農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル
【水路トンネル編】（改定版）
新旧対照表

目次

「目次」修正 …… 1
「第１章　総則」修正 …… 8
「第２章　長寿命化対策の検討のための調査・情報整理」修正 …… 25
「第３章　長寿命化対策の検討」修正 …… 28
「第４章　対策工法の共通事項」修正 …… 41
「第５章　裏込注入工法」修正 …… 87
「第６章　鋼板内張工法」修正 …… 115
　「6.7　鋼板内張工法の補修」新規 …… 134
「第７章　既製管挿入工法」修正 …… 153
「第８章　製管工法」修正 …… 175
「第９章　接着工法」修正 …… 186
「第 10 章　ロックボルト補強工法」修正 …… 214
「第 11 章　ライナープレート建込工法」新規 …… 233
「第 12 章　対策後のモニタリング」修正 …… 257
「引用文献・参考文献」修正 …… 273
「参考資料」修正 …… 275
「巻末資料」修正 …… 280

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【水路トンネル編】（改定案）　新旧対照表

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル
【水路トンネル編】
（改定版）

目　次

第 1 章　総則 …… 1- 1
1.1　本書策定の背景と目的 …… 1- 1
1.2　本書の概要と構成 …… 1- 3
1.3　本書の適用範囲 …… 1- 6
1.4　用語の説明 …… 1-11

第 2 章　長寿命化対策の検討のための調査・情報整理 …… 2- 1
2.1　基本的事項 …… 2- 1
2.2　施設基本条件の整理 …… 2- 2
2.3　現況施設の確認 …… 2- 5

第 3 章　長寿命化対策の検討 …… 3- 1
3.1　基本的事項 …… 3- 1
3.2　水路トンネルの機能と性能 …… 3- 2
3.3　対策方針の検討 …… 3- 3
3.4　対策工法選定の基本的な考え方 …… 3- 6
3.4.1　設計・施工条件の整理 …… 3- 7
3.4.2　工法・材料の検討 …… 3- 9
3.4.3　対策工法選定の留意事項 …… 3-15
3.4.4　その他 …… 3-17

第 4 章　対策工法の共通事項 …… 4- 1
4.1　水路トンネルの補修工法 …… 4- 1
4.2　水路トンネルの補強・改修工法 …… 4- 2
4.3　要求性能、性能照査 …… 4- 7
4.4　水理設計 …… 4-11
4.4.1　一般事項 …… 4-11
4.4.2　平均流速の計算 …… 4-12
4.4.3　水理計算 …… 4-14
4.5　構造設計 …… 4-16
4.5.1　構造設計の基本的な考え方 …… 4-16
4.5.2　解析の方法 …… 4-17
4.5.3　水抜工 …… 4-38

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル
【水路トンネル編】

目　次

第 1 章　総則 …… 1- 1
1.1　本書策定の背景と目的 …… 1- 1
1.2　本書の構成 …… 1- 3
1.3　本書の適用範囲 …… 1- 6
1.4　用語の説明 …… 1-10

第 2 章　長寿命化対策の検討のための調査・情報整理 …… 2- 1
2.1　基本的事項 …… 2- 1
2.2　施設基本条件の整理 …… 2- 2
2.3　現況施設の確認 …… 2- 5

第 3 章　長寿命化対策の検討 …… 3- 1
3.1　基本的事項 …… 3- 1
3.2　水路トンネルの機能と性能 …… 3- 2
3.3　対策方針の検討 …… 3- 3
3.4　対策工法選定の基本的な考え方 …… 3- 6
3.4.1　設計・施工条件の整理 …… 3- 7
3.4.2　工法・材料の検討 …… 3- 9
3.4.3　対策工法選定の留意事項 …… 3-15
3.4.4　その他 …… 3-17

第 4 章　対策工法の共通事項 …… 4- 1
4.1　水路トンネルの補修工法 …… 4- 1
4.2　水路トンネルの補強・改修工法 …… 4- 2
4.3　要求性能、性能照査 …… 4- 7
4.4　水理設計 …… 4-11
4.4.1　一般事項 …… 4-11
4.4.2　平均流速の計算 …… 4-12
4.4.3　水理計算 …… 4-14
4.5　構造設計 …… 4-16
4.5.1　構造設計の基本的な考え方 …… 4-16
4.5.2　解析の方法 …… 4-17
4.5.3　水抜工 …… 4-38

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

4.6　施工方法 …… 4-39
4.6.1　長寿命化対策の施工 …… 4-39
4.6.2　仮設備工 …… 4-41
4.6.3　坑内作業準備工 …… 4-44
4.6.4　下地処理工 …… 4-47
4.6.5　導水・止水対策工 …… 4-49
4.6.6　補修工法の施工 …… 4-52
4.7　施工管理と完成検査 …… 4-53
4.7.1　施工計画 …… 4-53
4.7.1.1　施工計画書 …… 4-54
4.7.1.2　材料の承諾 …… 4-56
4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入 …… 4-57
4.7.1.4　対策範囲の確認 …… 4-58
4.7.2　施工管理 …… 4-59
4.7.2.1　工程管理 …… 4-60
4.7.2.2　出来形管理 …… 4-61
4.7.2.3　品質管理 …… 4-63
4.7.2.4　安全・衛生管理 …… 4-64
4.7.3　完成検査 …… 4-67

第５章　裏込注入工法 …… 5- 1
5.1　工法概要 …… 5- 1
5.2　要求性能、性能照査 …… 5- 7
5.2.1　裏込注入工法の要求性能と性能照査 …… 5- 7
5.2.2　裏込注入工法の適用性 …… 5-12
5.3　構造設計 …… 5-16
5.3.1　構造設計の基本的な考え方 …… 5-16
5.3.2　解析の方法 …… 5-16
5.3.3　裏込注入工法の構造設計 …… 5-16
5.3.4　水抜工 …… 5-19
5.4　施工方法 …… 5-20
5.4.1　長寿命化対策の施工 …… 5-20
5.4.2　仮設備工 …… 5-20
5.4.3　坑内作業準備工 …… 5-20
5.4.4　下地処理工 …… 5-20
5.4.5　導水・止水対策工 …… 5-20
5.4.6　補修工法の施工 …… 5-20
5.4.7　裏込注入工法の施工 …… 5-20
5.5　裏込注入工法の施工管理 …… 5-34
5.5.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理 …… 5-34

4.6　施工方法 …… 4-39
4.6.1　長寿命化対策の施工 …… 4-39
4.6.2　仮設備工 …… 4-41
4.6.3　坑内作業準備工 …… 4-44
4.6.4　下地処理工 …… 4-47
4.6.5　導水・止水対策工 …… 4-49
4.6.6　補修工法の施工 …… 4-52
4.7　施工管理と完成検査 …… 4-53
4.7.1　施工計画 …… 4-53
4.7.1.1　施工計画書 …… 4-54
4.7.1.2　材料の承諾 …… 4-56
4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入 …… 4-57
4.7.1.4　対策範囲の確認 …… 4-58
4.7.2　施工管理 …… 4-59
4.7.2.1　工程管理 …… 4-60
4.7.2.2　出来形管理 …… 4-61
4.7.2.3　品質管理 …… 4-63
4.7.2.4　安全・衛生管理 …… 4-64

第５章　裏込注入工法 …… 5- 1
5.1　工法概要 …… 5- 1
5.2　要求性能、性能照査 …… 5- 5
5.2.1　裏込注入工法の要求性能と性能照査 …… 5- 5
5.2.2　裏込注入工法の適用性 …… 5-10
5.3　構造設計 …… 5-14
5.3.1　構造設計の基本的な考え方 …… 5-14
5.3.2　解析の方法 …… 5-14
5.3.3　裏込注入工法の構造設計 …… 5-14
5.3.4　水抜工 …… 5-17
5.4　施工方法 …… 5-18
5.4.1　長寿命化対策の施工 …… 5-18
5.4.2　仮設備工 …… 5-18
5.4.3　坑内作業準備工 …… 5-18
5.4.4　下地処理工 …… 5-18
5.4.5　導水・止水対策工 …… 5-18
5.4.6　補修工法の施工 …… 5-18
5.4.7　裏込注入工法の施工 …… 5-18
5.5　施工管理と完成検査 …… 5-30
5.5.1　施工計画 …… 5-30
5.5.2　施工管理 …… 5-30
5.5.3　裏込注入工法の施工管理 …… 5-30

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

5.5.2　裏込注入工法の施工時の管理 …… 5-35
5.5.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理 …… 5-37

第６章　鋼板内張工法 …… 6- 1
6.1　工法概要 …… 6- 1
6.2　要求性能、性能照査 …… 6- 3
6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査 …… 6- 3
6.2.2　鋼板内張工法の適用性 …… 6- 6
6.3　水理設計 …… 6- 7
6.4　構造設計 …… 6- 8
6.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 6- 8
6.4.2　解析の方法 …… 6- 8
6.4.3　鋼板内張工法の構造設計 …… 6- 8
6.4.4　水抜工 …… 6-12
6.5　施工方法 …… 6-13
6.5.1　長寿命化対策の施工 …… 6-13
6.5.2　仮設備工 …… 6-13
6.5.3　坑内作業準備工 …… 6-13
6.5.4　下地処理工 …… 6-13
6.5.5　導水・止水対策工 …… 6-13
6.5.6　補修工法の施工 …… 6-13
6.5.7　鋼板内張工法の施工 …… 6-13
6.6　鋼板内張工法の施工管理 …… 6-19
6.6.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理 …… 6-19
6.6.2　鋼板内張工法の施工時の管理 …… 6-20
6.6.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理 …… 6-22
6.7　鋼板内張工法の補修 …… 6-23
6.7.1　鋼板内張工法の劣化 …… 6-23
6.7.2　鋼板内張工法に対する補修の概要 …… 6-25
6.7.3　鋼板内張工法の補修対策の要求性能、性能照査 …… 6-26
6.7.4　鋼板内張工法の補修対策の適用性 …… 6-27
6.7.4.1　塗装補修の適用性 …… 6-28
6.7.4.2　当て板補修の適用性 …… 6-30
6.7.5　鋼板内張工法の補修対策の施工方法 …… 6-32
6.7.5.1　塗装補修の施工 …… 6-32
6.7.5.2　当て板補修の施工 …… 6-35
6.7.6　鋼板内張工法の補修対策の施工管理 …… 6-40
6.7.6.1　塗装補修・当て板補修の材料の承諾及び保管管理 …… 6-40
6.7.6.2　塗装補修・当て板補修の施工時の管理 …… 6-40
6.7.6.3　塗装補修・当て板補修の出来形管理及び品質管理 …… 6-41

5.5.3.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理 …… 5-30
5.5.3.2　裏込注入工法の施工時の管理 …… 5-31
5.5.3.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理 …… 5-33
5.5.4　完成検査 …… 5-34

第６章　鋼板内張工法 …… 6- 1
6.1　工法概要 …… 6- 1
6.2　要求性能、性能照査 …… 6- 3
6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査 …… 6- 3
6.2.2　鋼板内張工法の適用性 …… 6- 6
6.3　水理設計 …… 6- 7
6.4　構造設計 …… 6- 8
6.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 6- 8
6.4.2　解析の方法 …… 6- 8
6.4.3　鋼板内張工法の構造設計 …… 6- 8
6.4.4　水抜工 …… 6-12
6.5　施工方法 …… 6-13
6.5.1　長寿命化対策の施工 …… 6-13
6.5.2　仮設備工 …… 6-13
6.5.3　坑内作業準備工 …… 6-13
6.5.4　下地処理工 …… 6-13
6.5.5　導水・止水対策工 …… 6-13
6.5.6　補修工法の施工 …… 6-13
6.5.7　鋼板内張工法の施工 …… 6-13
6.6　施工管理と完成検査 …… 6-19
6.6.1　施工計画 …… 6-19
6.6.2　施工管理 …… 6-19
6.6.3　鋼板内張工法の施工管理 …… 6-19
6.6.3.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理 …… 6-19
6.6.3.2　鋼板内張工法の施工時の管理 …… 6-20
6.6.3.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理 …… 6-22
6.6.4　完成検査 …… 6-23

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

「目次」

第７章　既製管挿入工法 …… 7-1
7.1　工法概要 …… 7-1
7.2　要求性能、性能照査 …… 7-4
7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査 …… 7-4
7.2.2　既製管挿入工法の適用性 …… 7-7
7.3　水理設計 …… 7-9
7.4　構造設計 …… 7-10
7.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 7-10
7.4.2　解析の方法 …… 7-10
7.4.3　既製管挿入工法の構造設計 …… 7-10
7.4.4　水抜工 …… 7-15
7.5　施工方法 …… 7-16
7.5.1　長寿命化対策の施工 …… 7-16
7.5.2　仮設備工 …… 7-16
7.5.3　坑内作業準備工 …… 7-16
7.5.4　下地処理工 …… 7-16
7.5.5　導水・止水対策工 …… 7-16
7.5.6　補修工法の施工 …… 7-16
7.5.7　既製管挿入工法の施工 …… 7-16
7.6　既製管挿入工法の施工管理 …… 7-28
7.6.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理 …… 7-28
7.6.2　既製管挿入工法の施工時の管理 …… 7-29
7.6.3　既製管挿入工法の出来形管理及び品質管理 …… 7-29

第８章　製管工法 …… 8-1
8.1　工法概要 …… 8-1
8.2　要求性能、性能照査 …… 8-6
8.2.1　製管工法の要求性能と性能照査 …… 8-6
8.2.2　製管工法の適用性 …… 8-10
8.3　水理設計 …… 8-11
8.4　構造設計 …… 8-12
8.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 8-12
8.4.2　解析の方法 …… 8-12
8.4.3　製管工法の構造設計 …… 8-12
8.4.4　水抜工 …… 8-14
8.5　施工方法 …… 8-15
8.5.1　長寿命化対策の施工 …… 8-15
8.5.2　仮設備工 …… 8-15
8.5.3　坑内作業準備工 …… 8-15
8.5.4　下地処理工 …… 8-15
8.5.5　導水・止水対策工 …… 8-15

「目次」

第７章　既製管挿入工法 …… 7-1
7.1　工法概要 …… 7-1
7.2　要求性能、性能照査 …… 7-4
7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査 …… 7-4
7.2.2　既製管挿入工法の適用性 …… 7-7
7.3　水理設計 …… 7-9
7.4　構造設計 …… 7-10
7.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 7-10
7.4.2　解析の方法 …… 7-10
7.4.3　既製管挿入工法の構造設計 …… 7-10
7.4.4　水抜工 …… 7-14
7.5　施工方法 …… 7-15
7.5.1　長寿命化対策の施工 …… 7-15
7.5.2　仮設備工 …… 7-15
7.5.3　坑内作業準備工 …… 7-15
7.5.4　下地処理工 …… 7-15
7.5.5　導水・止水対策工 …… 7-15
7.5.6　補修工法の施工 …… 7-15
7.5.7　既製管挿入工法の施工 …… 7-15
7.6　施工管理と完成検査 …… 7-27
7.6.1　施工計画 …… 7-27
7.6.2　施工管理 …… 7-27
7.6.3　既製管挿入工法の施工管理 …… 7-27
7.6.3.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理 …… 7-27
7.6.3.2　既製管挿入工法の施工時の管理 …… 7-28
7.6.3.3　既製管挿入工法の出来形管理及び品質管理 …… 7-28
7.6.4　完成検査 …… 7-28

第８章　製管工法 …… 8-1
8.1　工法概要 …… 8-1
8.2　要求性能、性能照査 …… 8-6
8.2.1　製管工法の要求性能と性能照査 …… 8-6
8.2.2　製管工法の適用性 …… 8-9
8.3　水理設計 …… 8-10
8.4　構造設計 …… 8-11
8.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 8-11
8.4.2　解析の方法 …… 8-11
8.4.3　製管工法の構造設計 …… 8-11
8.4.4　水抜工 …… 8-13
8.5　施工方法 …… 8-14
8.5.1　長寿命化対策の施工 …… 8-14
8.5.2　仮設備工 …… 8-14
8.5.3　坑内作業準備工 …… 8-14
8.5.4　下地処理工 …… 8-14
8.5.5　導水・止水対策工 …… 8-14

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

8.5.6 補修工法の施工 …… 8-15
8.5.7 製管工法の施工 …… 8-15
8.6 製管工法の施工管理 …… 8-32
8.6.1 製管工法の材料の承諾及び保管管理 …… 8-32
8.6.2 製管工法の施工時の管理 …… 8-34
8.6.3 製管工法の出来形管理及び品質管理 …… 8-36

第９章 接着工法 …… 9- 1
9.1 工法概要 …… 9- 1
9.2 要求性能、性能照査 …… 9- 7
9.2.1 接着工法の要求性能と性能照査 …… 9- 7
9.2.2 接着工法の適用性 …… 9-12
9.3 水理設計 …… 9-14
9.4 構造設計 …… 9-15
9.4.1 構造設計の基本的な考え方 …… 9-15
9.4.2 解析の方法 …… 9-15
9.4.3 接着工法の構造設計 …… 9-15
9.4.4 水抜工 …… 9-23
9.5 施工方法 …… 9-24
9.5.1 長寿命化対策の施工 …… 9-24
9.5.2 仮設備工 …… 9-24
9.5.3 坑内作業準備工 …… 9-24
9.5.4 下地処理工 …… 9-24
9.5.5 導水・止水対策工 …… 9-24
9.5.6 補修工法の施工 …… 9-24
9.5.7 接着工法の施工 …… 9-24
9.6 接着工法の施工管理 …… 9-34
9.6.1 接着工法の材料の承諾及び保管管理 …… 9-34
9.6.2 接着工法の施工時の管理 …… 9-36
9.6.3 接着工法の出来形管理及び品質管理 …… 9-37

第 10 章 ロックボルト補強工法 …… 10- 1
10.1 工法概要 …… 10- 1
10.2 要求性能、性能照査 …… 10- 6
10.2.1 ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査 …… 10- 6
10.2.2 ロックボルト補強工法の適用性 …… 10- 9
10.3 水理設計 …… 10-13
10.4 構造設計 …… 10-14
10.4.1 構造設計の基本的な考え方 …… 10-14
10.4.2 解析の方法 …… 10-14
10.4.3 ロックボルト補強工法の構造設計 …… 10-14

8.5.6 補修工法の施工 …… 8-14
8.5.7 製管工法の施工 …… 8-14
8.6 施工管理と完成検査 …… 8-31
8.6.1 施工計画 …… 8-31
8.6.2 施工管理 …… 8-31
8.6.3 製管工法の施工管理 …… 8-31
8.6.3.1 製管工法の材料の承諾及び保管管理 …… 8-31
8.6.3.2 製管工法の施工時の管理 …… 8-33
8.6.3.3 製管工法の出来形管理及び品質管理 …… 8-35
8.6.4 完成検査 …… 8-36

第９章 接着工法 …… 9- 1
9.1 工法概要 …… 9- 1
9.2 要求性能、性能照査 …… 9- 7
9.2.1 接着工法の要求性能と性能照査 …… 9- 7
9.2.2 接着工法の適用性 …… 9-10
9.3 水理設計 …… 9-12
9.4 構造設計 …… 9-13
9.4.1 構造設計の基本的な考え方 …… 9-13
9.4.2 解析の方法 …… 9-13
9.4.3 接着工法の構造設計 …… 9-13
9.4.4 水抜工 …… 9-19
9.5 施工方法 …… 9-20
9.5.1 長寿命化対策の施工 …… 9-20
9.5.2 仮設備工 …… 9-20
9.5.3 坑内作業準備工 …… 9-20
9.5.4 下地処理工 …… 9-20
9.5.5 導水・止水対策工 …… 9-20
9.5.6 補修工法の施工 …… 9-20
9.5.7 接着工法の施工 …… 9-20
9.6 施工管理と完成検査 …… 9-29
9.6.1 施工計画 …… 9-29
9.6.2 施工管理 …… 9-29
9.6.3 接着工法の施工管理 …… 9-29
9.6.3.1 接着工法の材料の承諾及び保管管理 …… 9-29
9.6.3.2 接着工法の施工時の管理 …… 9-31
9.6.3.3 接着工法の出来形管理及び品質管理 …… 9-32
9.6.4 完成検査 …… 9-33

第 10 章 ロックボルト補強工法 …… 10- 1
10.1 工法概要 …… 10- 1
10.2 要求性能、性能照査 …… 10- 6
10.2.1 ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査 …… 10- 6
10.2.2 ロックボルト補強工法の適用性 …… 10- 8
10.3 水理設計 …… 10-12

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

10.4.4　水抜工 …… 10-17
10.5　施工方法 …… 10-18
10.5.1　長寿命化対策の施工 …… 10-18
10.5.2　仮設備工 …… 10-18
10.5.3　坑内作業準備工 …… 10-18
10.5.4　下地処理工 …… 10-18
10.5.5　導水・止水対策工 …… 10-18
10.5.6　補修工法の施工 …… 10-18
10.5.7　ロックボルト補強工法の施工 …… 10-18
10.6　ロックボルト補強工法の施工管理 …… 10-27
10.6.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理 …… 10-27
10.6.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理 …… 10-28
10.6.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理 …… 10-29

第 11 章　ライナープレート建込工法 …… 11- 1
11.1　工法概要 …… 11- 1
11.2　要求性能、性能照査 …… 11- 3
11.2.1　ライナープレート建込工法の要求性能と性能照査 …… 11- 3
11.2.2　ライナープレート建込工法の適用性 …… 11- 5
11.3　水理設計 …… 11- 6
11.4　構造設計 …… 11- 7
11.4.1　ライナープレート建込工法の構造設計 …… 11- 7
11.4.2　水抜工 …… 11-13
11.5　施工方法 …… 11-14
11.5.1　長寿命化対策の施工 …… 11-14
11.5.2　仮設備工 …… 11-14
11.5.3　坑内作業準備工 …… 11-14
11.5.4　ライナープレート建込工法の施工 …… 11-14
11.6　ライナープレート建込工法の施工管理 …… 11-22
11.6.1　ライナープレート建込工法の材料の承諾及び保管管理 …… 11-22
11.6.2　ライナープレート建込工法の施工時の管理 …… 11-23
11.6.3　ライナープレート建込工法の出来形管理及び品質管理 …… 11-24

第 12 章　対策後のモニタリング …… 12- 1
12.1　モニタリングの目的 …… 12- 1
12.2　モニタリングの実施 …… 12- 2
12.3　モニタリングの手法 …… 12- 3
12.4　モニタリング記録・管理 …… 12- 7

引用文献・参考文献 …… 引- 1

10.4　構造設計 …… 10-13
10.4.1　構造設計の基本的な考え方 …… 10-13
10.4.2　解析の方法 …… 10-13
10.4.3　ロックボルト補強工法の構造設計 …… 10-13
10.4.4　水抜工 …… 10-16
10.5　施工方法 …… 10-17
10.5.1　長寿命化対策の施工 …… 10-17
10.5.2　仮設備工 …… 10-17
10.5.3　坑内作業準備工 …… 10-17
10.5.4　下地処理工 …… 10-17
10.5.5　導水・止水対策工 …… 10-17
10.5.6　補修工法の施工 …… 10-17
10.5.7　ロックボルト補強工法の施工 …… 10-17
10.6　施工管理と完成検査 …… 10-26
10.6.1　施工計画 …… 10-26
10.6.2　施工管理 …… 10-26
10.6.3　ロックボルト補強工法の施工管理 …… 10-26
10.6.3.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理 …… 10-26
10.6.3.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理 …… 10-27
10.6.3.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理 …… 10-28
10.6.4　完成検査 …… 10-29

第 11 章　対策後のモニタリング …… 11- 1
11.1　モニタリングの目的 …… 11- 1
11.2　モニタリングの実施 …… 11- 2
11.3　モニタリングの手法 …… 11- 3
11.4　モニタリング記録・管理 …… 11- 6

引用文献・参考文献

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「目次」	「目次」

参考資料

参考資料①　覆工表面画像取得技術の適用性 …… 参①- 1
参考資料②　裏込注入材の逸走防止対策 …… 参②- 1
参考資料③　対策工法の効果が期待される期間 …… 参③- 1
参考資料④　設計注入量の設定方法 …… 参④- 1

巻末資料

1．現地調査方法 …… 巻末- 1
2．各試験方法（案） …… 巻末- 24
3．施工管理項目等参考例 …… 巻末- 39

参考資料

参考資料①　覆工表面画像取得技術の適用性 …… 参①- 1
参考資料②　裏込注入材の逸走防止対策 …… 参②- 1
参考資料③　対策工法の効果が期待される期間 …… 参③- 1
参考資料④　設計注入量の設定方法 …… 参④- 1

巻末資料

1．現地調査方法 …… 巻末- 1
2．各試験方法（案） …… 巻末- 23
3．施工管理項目等参考例 …… 巻末- 36

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-1 「1.1 本書策定の背景と目的」	P.1-1 「1.1 本書策定の背景と目的」

第１章 総 則

1.1 本書策定の背景と目的

全国に展開する農業水利施設は、老朽化の進行とともに更新時期を迎えるものが増加傾向にありライフサイクルコストを低減させるため、適切な対策工事の実施が求められている。「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【水路トンネル編】」（以下「本書」という。）は、水路トンネルの長寿命化のための機能保全対策（以下「長寿命化対策」という。）の適切な実施と品質確保を図るための実務に必要となる調査方法、材料・工法の選定、設計、施工管理、及びモニタリングに関する考え方や留意すべき事項を取りまとめたものであり、水路トンネルの長寿命化を図るとともにライフサイクルコスト低減を目的としている。

【解説】

（1）背 景

基幹的農業水利施設の整備状況は、現在、基幹的施設の施設数が約 7.8 千箇所、基幹的水路の延長が約 5.2 万 km となっており（表-1.1.1 及び表-1.1.2）、その資産価値は 20 兆円に達している（図-1.1.1）。基幹的農業水利施設の標準耐用年数の超過している施設数・延長は、基幹的水利施設が約 4.5 千箇所、基幹的水路が約 2.5 万 km で、それぞれ全体の 58%，48%を占めている（表-1.1.2）。

表-1.1.1 農業水利ストックの整備状況

基幹的施設	農業用用排水路	約40万km以上（地球約10周分）
	うち基幹的水路	約5万km
	ダム、取水堰、用排水機場等	7.8千箇所



注：各年度時点の資産価値（再建設費ベース）を支出済費用機械係数で令和2年度値に換算。

表-1.1.2 標準耐用年数超過状況

基幹的農業水利施設施設区分		施設数・延長（R5.3）	うち標準耐用年数超過	割合
基幹的施設（箇所）		7,763	4,535	58%
	貯水池	1,295	133	10%
	取水堰	1,976	897	45%
	用排水機場	3,030	2,401	79%
	水門等	1,138	862	76%
	管理設備	324	242	75%
基幹的水路（km）		52,073	24,902	48%

資料：農業基盤情報基礎調査（R5.3 時点）

注：「標準耐用年数」は、所得税法等の減価償却資産の償却期間を定めた財務省令を基に農林水産省が定めたものであり、主なものは以下のとおり。
貯水池：80 年、取水堰（頭首工）：50 年、水門：30 年、
機場：20 年、水路：40 年

図-1.1.1 農業水利施設の資産価値

（農業生産基盤の整備状況について（令和 5 年 3 月）、農村振興局、令和 7 年 3 月を改変して転載）

水路トンネルの延長は、約 2,000km（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、p.83）であり、膨大なストックを有している。そのため、施設の監視・診断等によるリスク管理を行いつつ施設の性能低下状況に応じた補修・補強等を計画的に行うことにより、施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理の推進が必要とされている。

戦略的な保全管理を推進するためには、ストックマネジメントのプロセスの中で確認された施設

第１章 総 則

1.1 本書策定の背景と目的

全国に展開する農業水利施設は、老朽化の進行とともに更新時期を迎えるものが増加傾向にありライフサイクルコストを低減させるため、適切な対策工事の実施が求められている。「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【水路トンネル編】」（以下「本書」という。）は、水路トンネルの長寿命化のための機能保全対策（以下「長寿命化対策」という。）の適切な実施と品質確保を図るための実務に必要となる調査方法、材料・工法の選定、設計、施工管理、及びモニタリングに関する考え方や留意すべき事項を取りまとめたものであり，水路トンネルの長寿命化を図るとともにライフサイクルコスト低減を目的としている。

【解説】

（1）背 景

現在、全国の基幹的な農業水利施設は約 7 千箇所、支線水路を含めた農業用用排水路は約 40 万 km に及び、基幹的農業水利施設の総資産価値（再建設費ベース）で 18.5 兆円のストックが蓄積されている（図-1.1.1）。



注）基幹的農業水利施設（受益面積100ha以上の農業水利施設）の資産価値（再建設費ベース）

農業用用排水路	約 40 万 km 以上（地球約 10 周分）
うち基幹的水路	約 5 万 km
ダム、取水堰、用排水機場等	約 7 千箇所

図-1.1.1 農業水利ストックの現状（出典：H31.2 農林水産省ホームページ）

水路トンネルは、全国で約 2,000km 以上整備されており、道路トンネル約 4,100km、鉄道トンネル約 2,400km、発電用水路トンネル約 4,700km に匹敵する膨大なストックを有している。しかし、トンネル構造物も変状が進行し、突発的な事故が発生している。

そのため、施設の監視・診断等によるリスク管理を行いつつ施設の性能低下状況に応じた補修・補強等を計画的に行うことにより、施設の長寿命化とライフサイクルコストの低減を図る戦略的な保全管理の推進が必要とされている。

戦略的な保全管理を推進するためには、ストックマネジメントのプロセスの中で確認された施設の性能低下状況、要求性能、使用環境条件等に応じて、適切な時期に補修や補強等の長寿命化対策を実施し、低下した施設性能の回復又は向上を行い施設の長寿命化を図ることが重要である。

一方、他分野も含めたトンネルの対策工法は各種存在する。しかし、水路トンネルは断面が小さく、他分野のトンネルの対策工法をそのまま適用することは、不合理・不経済となる場合もある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-3 「1.2 本書の概要と構成」	P.1-3 「1.2 本書の構成」

1.2 本書の概要と構成

本書は、経年劣化等が原因で低下した水路トンネルの性能を長寿命化対策により回復又は向上させるための対策工法のうち、国営土地改良事業（以下「国営事業」という。）で施工実績のある工法につき、調査、設計、施工、供用の各段階における技術的に留意すべき事項について取りまとめたものである。

【解説】

（1）本書の概要

水路トンネルの長寿命化対策に当たっては、施設に要求される性能の低下状況を踏まえて、その性能を回復又は向上させるために対策工法が保有すべき性能を明確にした上で、対策の目的に応じた工法・材料を選定することが重要である。また、水路トンネルの長寿命化対策の品質確保やライフサイクルコストの低減を図るには、その性能が施工、供用後に問題なく発揮、維持される必要がある。

そのため、本書では国営事業における水路トンネルの長寿命化対策事例を踏まえて、適用可能と考えられる無圧トンネルの対策工法について、対策工法の体系化を行い、対策工法の保有すべき性能を整理し、その性能が所定の供用期間を通して維持されることを設計、施工、供用の各段階で照査する方法を取りまとめた。

なお、本書については、本書の運用や対策後の施設のモニタリング等を通じた技術情報の蓄積、技術開発・研究の進展状況等を踏まえて、適宜、内容の見直しや充実を検討していくこととする。

（2）本書の構成

本書は、水路トンネルの長寿命化対策のための調査、設計、施工管理までの内容と、供用期間中のモニタリングを包括している。その構成を**図-1.2.1** に示す。

本書は、**図-1.2.2** の各プロセスのうち、③機能保全計画の策定（工法選定時に適用可能）と⑥対策（補修、補強、改修）の参考とする。

本書で取り上げた対策工法の中には、設計手法や長期の耐久性について解明されていない課題を残しているものもあるため、本書に記載された留意事項等を参照し、調査、設計、施工、施工管理及びモニタリングを慎重に行う必要がある。

ストックマネジメントによる機能保全の各プロセスにおける本書と「農業水利施設の機能保全の手引き（総論編）」（令和５年４月）との関係を**図-1.2.3** に示す。

1.2 本書の構成

本書は、経年劣化等が原因で低下した水路トンネルの性能を長寿命化対策により回復又は向上させるための対策工法のうち、国営土地改良事業（以下「国営事業」という。）で施工実績のある工法につき、調査、設計、施工、供用の各段階における技術的に留意すべき事項について取りまとめたものである。

【解説】

（1）本書の概要

水路トンネルの長寿命化対策に当たっては、施設に要求される性能の低下状況を踏まえて、その性能を回復又は向上させるために対策工法が保有すべき性能を明確にした上で、対策の目的に応じた工法・材料を選定することが重要である。また、水路トンネルの長寿命化対策の品質確保やライフサイクルコストの低減を図るには、その性能が施工、供用後に問題なく発揮、維持される必要がある。

そのため、本書では国営事業における水路トンネルの長寿命化対策事例を踏まえて、適用可能と考えられる無圧トンネルの覆工コンクリートの対策工法について、対策工法の体系化を行い、対策工法の保有すべき性能を整理し、その性能が所定の供用期間を通して維持されることを設計、施工、供用の各段階で照査する方法を取りまとめた。

なお、本書については、本書の運用や対策後の施設のモニタリング等を通じた技術情報の蓄積、技術開発・研究の進展状況等を踏まえて、適宜、内容の見直しや充実を検討していくこととする。

（2）本書の構成

本書は、水路トンネルの長寿命化対策のための調査、設計、施工管理までの内容と、供用期間中のモニタリングを包括している。その構成を**図-1.2.1** に示す。

本書は、**図-1.2.2** の各プロセスのうち、③機能保全計画の策定（工法選定時に適用可能）と⑤対策工事（実施設計、補修／補強／改修、モニタリング）の参考とする。

本書で取り上げた対策工法の中には、設計手法や長期の耐久性について解明されていない課題を残しているものもあるため、本書に記載された留意事項等を参照し、調査、設計、施工、施工管理及びモニタリングを慎重に行う必要がある。

ストックマネジメントによる機能保全の各プロセスにおける本書と「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成 28 年 8 月）との関係を**図-1.2.3** に示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-4 「1.2　本書の概要と構成」	**P.1-4** 「1.2　本書の構成」

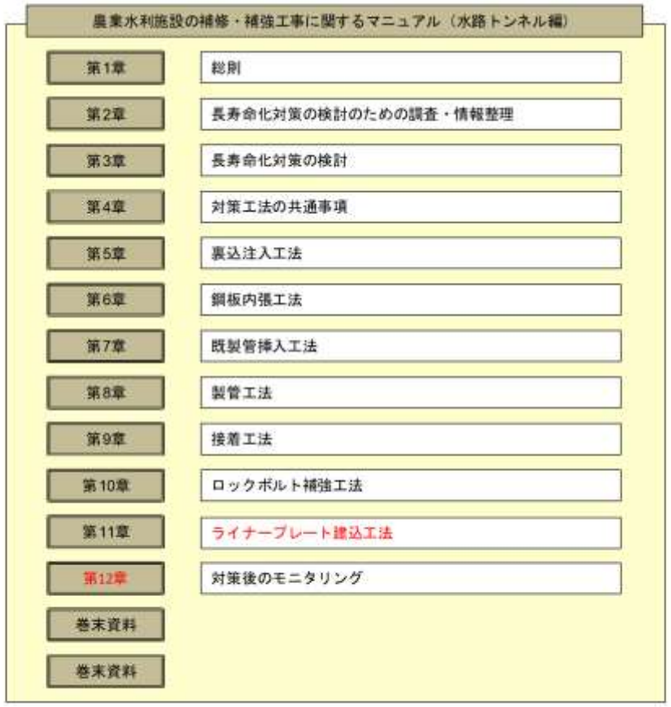


図-1.2.1　本書の構成

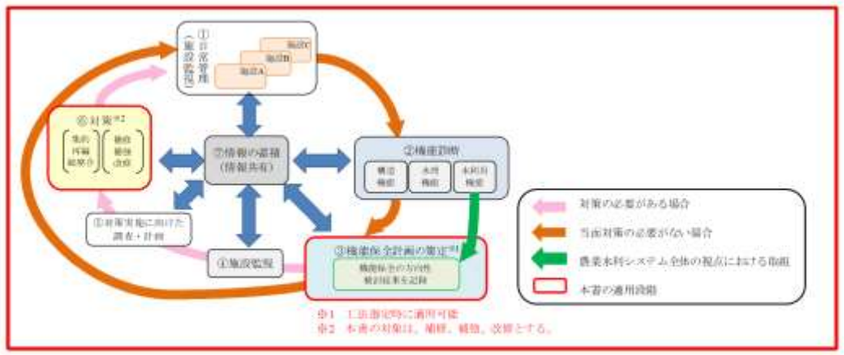


図-1.2.2　水路トンネルのストックマネジメントの基本サイクル

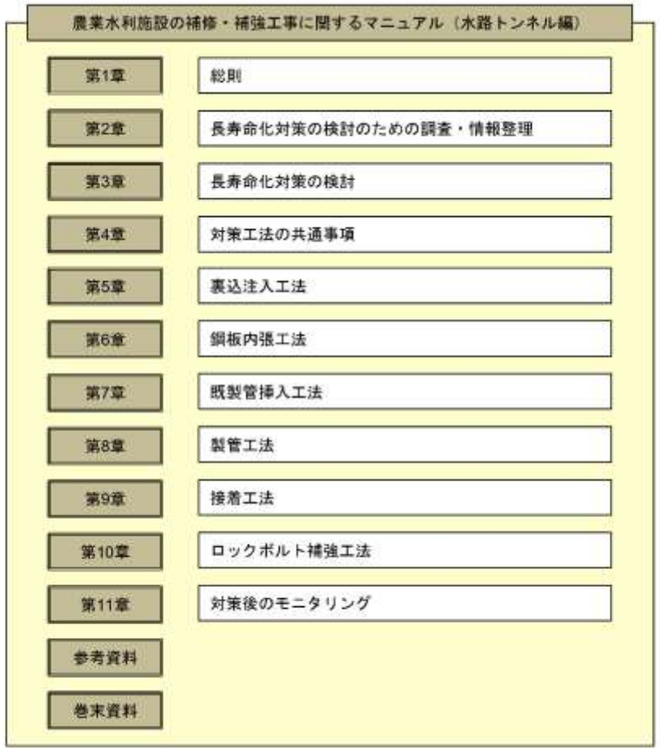


図-1.2.1　本書の構成



図-1.2.2　水路トンネルのストックマネジメントの基本サイクル

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-5 「1.2 本書の概要と構成」	P.1-5 「1.2 本書の構成」

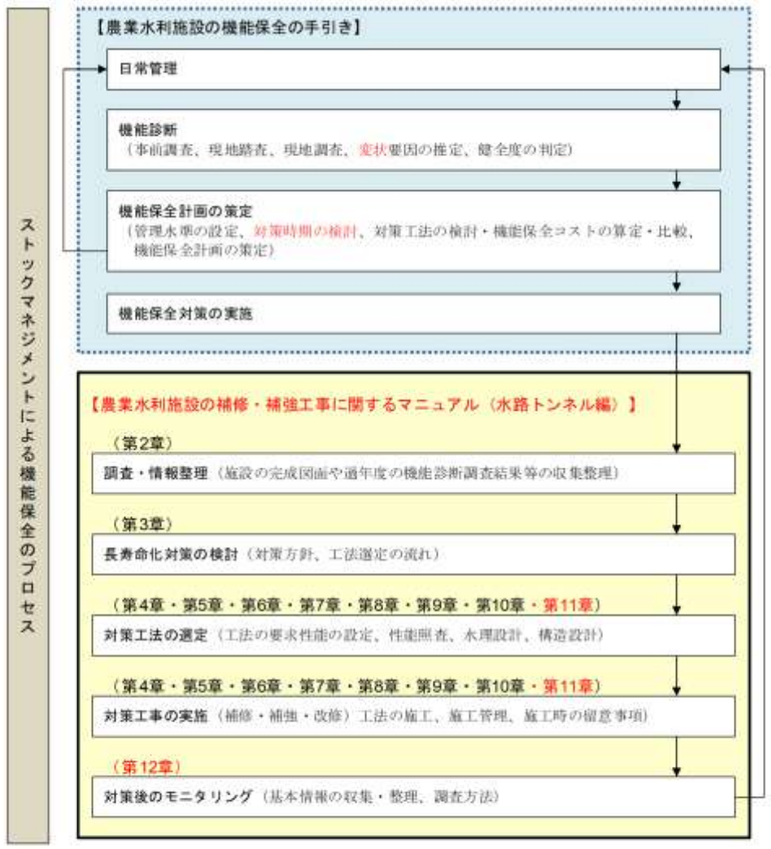


図-1.2.3 本書と「農業水利施設の機能保全の手引き（総論編）」（令和５年４月）との関連

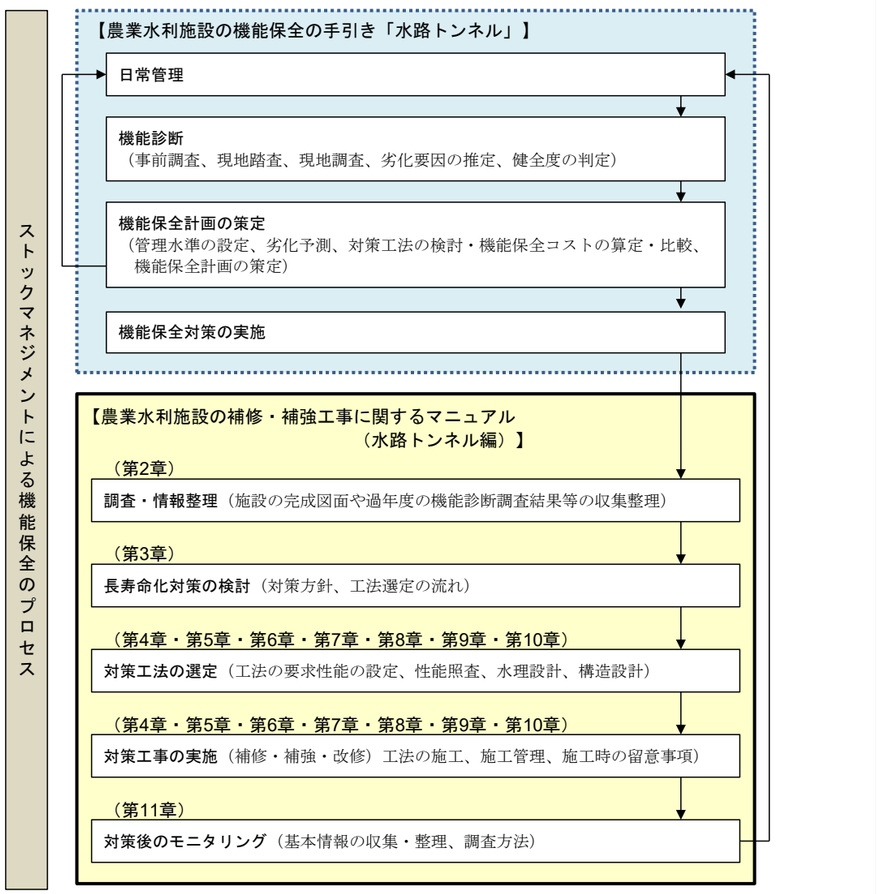


図-1.2.3 本書と「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成 28 年 8 月）との関連

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-6 「1.3 本書の適用範囲」	P.1-6 「1.3 本書の適用範囲」

1.3 本書の適用範囲

本書で扱う水路トンネルは山岳トンネルを対象とし、対象工法は、国営事業で施工実績のある無圧トンネルの覆工コンクリート及びAタイプのトンネルの補修、補強、改修を目的とする工法とした。

【解説】

(1) 補修・補強・改修・更新の定義

水路トンネルのタイプは、地質条件、ライニングの有無及びその材質、支保工の有無や型式・種類などによって、表-1.3.1 のように分類される。

水路トンネルに、力学上若しくは機能上の不具合が生じた場合又は将来生じるおそれがある場合には、長寿命化対策を実施しなければならない。

工法の選定に当たっては、変状現象を調査してその原因を明らかにすることが基本となる。最初に考える対策は、原因を取り除くことである。次に、原因を取り除くことが不可能、あるいは合理的でない場合は、水路トンネルの構成部材を補修、補強、改修、更新することになる。

したがって、水路トンネルの補修、補強、改修、更新に当たっては、変状の把握、原因の推定、健全度の判定を行った後、対策工の計画、設計を行わなければならない。

なお、本書で使用する用語の補修、補強、改修、更新は、表-1.3.2 のように定義する。

表-1.3.1 トンネルタイプと適用地山

トンネルタイプ	適用地山と支保工及びライニングの種類
Aタイプ	亀裂の少ない新鮮な岩盤で、発破掘削後素掘りのままで長時間自立可能な地山に適用され、地圧は働かないものとして設計される。ライニングは施工上の最小厚さであればよく、吹付けコンクリート（モルタル）によって岩盤の風化を防ぐ場合や素掘トンネルが適用される場合もある。
Bタイプ	硬い岩質であるが亀裂が発達し、掘削直後の切羽は自立するが湧水等の影響で時間の経過とともに風化が進み、肌落ちが生じるような地山の場合、または軟岩で掘削後切羽は自立するが時間の経過とともに地圧が発生するおそれがある場合に適用する。支保工は鋼アーチ支保工の掛矢板工法とし、ライニングは原則として無筋コンクリートとする。
Cタイプ	風化岩・破砕帯及び硬土等で、掘削後、速やかに支保工を設置して地山を支えなければずり出し作業に危険があるような場合に適用する。支保工は鋼製支保工を用い、アーチ部は送り矢板工法、側壁部は掛矢板工法とする。ライニングは無筋コンクリートを原則とする。
Dタイプ	著しく風化した岩、断層破砕帯及び湧水の多い軟質土砂地帯等で地圧が大きく作用する場合で、アーチ部の地圧は大きいが側土圧は小さく、切羽が自立する地山に適用する。鋼製支保工を用い、アーチ部は縫地工法、側壁部は掛矢板工法と縫地工法を併用する。ライニングは無筋コンクリート又は鉄筋コンクリートを用いる。
Eタイプ	アーチ部の地圧はさらに大きく、湧水あるいは地山の強度が低いため切羽は自立せず、鏡止め等の補助工法が必要となる地山や、地盤の支持力がないため支保工が沈下したり、側土圧によって押し出されたりするような地山に適用する。支保工は通常、鋼製支保工のインバートストラット付きとし、アーチ部、側壁部ともに縫地工法とする。ライニングは原則として鉄筋コンクリートとする。

1.3 本書の適用範囲

本書で扱う水路トンネルは山岳トンネルを対象とし、対象工法は、国営事業で施工実績のある無圧トンネルの覆工コンクリートの補修、補強、改修を目的とする工法とした。

【解説】

(1) 補修・補強・改修・更新の定義

水路トンネルの覆工コンクリートに力学上又は機能上の不具合が生じた場合、若しくはこれから生じるおそれがある場合は、長寿命化対策を実施する必要がある。工法の選定に当たっては、変状現象を調査してその原因を明らかにすることが基本となる。最初に考える対策は、原因を取り除くことである。次に、原因を取り除くことが不可能、あるいは合理的でない場合は、覆工コンクリートを補修、補強、改修、更新することになる。

したがって、覆工コンクリートの補修、補強、改修、更新に当たっては、変状の把握、原因の推定、健全度の判定を行った後、対策工の計画、設計を行わなければならない。

なお、本書で使用する用語の補修、補強、改修、更新は、表-1.3.1 のように定義する。

表-1.3.1 補修・補強・改修・更新の定義

用語	定 義	解 説
補修	主に施設の通水性、耐久性を回復又は向上させること	既設覆工コンクリートの構造的耐力に問題がない場合。ひび割れ補修工法、断面修復工法、通水性改善のための表面被覆工法等がこれに該当する。
補強	主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること	既設覆工コンクリート及び補強材に外力を負担させる場合。接着工法、ロックボルト補強工法等がこれに該当する。
改修	失われた機能を補い又は新たな機能を追加すること	既設覆工コンクリートは外力を負担せず、補強部材のみで外力を負担する場合。自立管(注1)として設計され、鋼板内張工法、既製管挿入工法、製管工法がこれに該当する。
更新	施設又は設備を撤去し新しく置き換えること	既設覆工コンクリートを撤去し、新しく建設する場合。巻替工法がこれに該当する。

(注1)自立管：補強部材のみで所定の外力や充満水による静水圧に耐える構造設計を行うもの。

(2) 対象工法

水路トンネルの構造機能は、覆工コンクリートや支保工のような人工構造物だけで得られるものではなく、トンネル周辺地山の安定が前提となる。したがって、点検・調査によってトンネル周辺地山の安定性とトンネル構造の弱点部を十分に把握し、合理的かつ効率的な補修・補強計画をたてる必要がある。合理的、効率的な補修・補強とは、例えば覆工コンクリートにひび割れが発生していても周辺地山が安定してひび割れの進行性が無い場合には、補強を実施する必要性が小さいため部分的な補修で十分であり、逆にひび割れに進行性が認められる場合にはトンネルの構造安定性を確保するための補強対策が必要となる。

補修、補強、改修、更新工法の分類を図-1.3.1、図-1.3.2 に示す。本書では、国営事業（国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）を含む）で実施した水路トンネル工

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-7 「1.3 本書の適用範囲」	P.1-7 「1.3 本書の適用範囲」

表-1.3.2 補修・補強・改修・更新の定義

用語	定 義	解 説
補修	主に施設の通水性、耐久性を回復又は向上させること	・既設覆工コンクリートの構造的耐力に問題がない場合。 ・ひび割れ補修工法、断面修復工法、通水性改善のための表面被覆工法等がこれに該当する。
補強	主に施設の構造的耐力を回復又は向上させること	・既設覆工コンクリート及び補強材に外力を負担させる場合、又はAタイプのトンネルの地山や吹付等の剥離・剥落対策として新たな覆工を構築する場合。 ・接着工法、ロックボルト補強工法が前者に該当し、ライナープレート建込工法(注1)が後者に該当する。
改修	失われた機能を補い又は新たな機能を追加すること	・既設覆工コンクリートは外力を負担せず、補強部材のみで外力を負担する場合。 ・自立管(注2)として設計され、鋼板内張工法、既製管挿入工法、製管工法がこれに該当する。
更新	施設又は設備を撤去し新しく置き換えること	・既設覆工コンクリートを撤去し、新しく建設する場合。 巻替工法がこれに該当する。

（注1）ライナープレート建込工法は、Aタイプのトンネルの地山や吹付等の剥離・剥落対策として新たな覆工を構築することで、構造的耐力を向上させるため、補強に分類した。

（注2）自立管：補強部材のみで所定の外力や充満水による静水圧に耐える構造設計を行うもの。

(2) 対象工法

水路トンネルの構造機能は、覆工コンクリートや支保工のような人工構造物だけで得られるものではなく、トンネル周辺地山の安定が前提となる。したがって、点検・調査によってトンネル周辺地山の安定性とトンネル構造の弱点部を十分に把握し、合理的かつ効率的な補修・補強計画をたてる必要がある。合理的、効率的な補修・補強とは、例えば覆工コンクリートにひび割れが発生していても周辺地山が安定してひび割れの進行性が無い場合には、補強を実施する必要性が小さいため部分的な補修で十分であり、逆にひび割れに進行性が認められる場合にはトンネルの構造安定性を確保するための補強対策が必要となる。

補修、補強、改修、更新工法の分類を図-1.3.2、図-1.3.3、図-1.3.4 に示す。本書では、国営事業（国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）を含む）で実施した水路トンネル工事における近年（平成16年度～令和3年度）の適用実績や工法の特性等を踏まえて、「裏込注入工法」、「鋼板内張工法」、「既製管挿入工法」、「製管工法」、「接着工法」、「ロックボルト補強工法」、「ライナープレート建込工法」、「表面被覆工法」、「ひび割れ補修工法」、「断面修復工法」、「目地補修工法」を対象とした。

この中で、裏込注入工法は、覆工背面の湧水量抑制や地山風化防止の補修対策として適用される場合と、地山安定化の補強対策として適用される場合がある。また、既製管挿入工法や製管工法は作業に支障のない水量なら通水したままで施工できる工法もあるため、改修目的に加え、ドライ施工が困難な箇所の補修目的として適用される場合がある。

事における近年（平成16年度～平成27年度）の適用実績や工法の特性等を踏まえて、「裏込注入工法」、「鋼板内張工法」、「既製管挿入工法」、「製管工法」、「接着工法」、「ロックボルト補強工法」、「表面被覆工法」、「ひび割れ補修工法」、「断面修復工法」、「目地補修工法」を対象とした。

この中で、裏込注入工法は、覆工背面の湧水量抑制や地山風化防止の補修対策として適用される場合と、地山安定化の補強対策として適用される場合がある。また、既製管挿入工法や製管工法は作業に支障のない水量なら通水したままで施工できる工法もあるため、改修目的に加え、ドライ施工が困難な箇所の補修目的として適用される場合がある。

(3) 適用範囲

本書で扱う水路トンネルは無圧トンネルを対象とし、補強対策の構造設計は無筋コンクリート覆工を対象とする。

水路トンネルは周辺地山と一体となって挙動するため、地表の構造物と比べて一般に地震の影響は小さい。しかし、洪積地盤（未固結の地層）における坑口、土かぶりが小さく軟弱な箇所、地質の急変部、断層破砕帯、開削トンネル等は地震時の検討が必要となる。トンネルの耐震照査は別途「耐震設計」の指針等に示されているため、本書では取り扱わないこととした。

また、水路トンネルに接続する暗きょやトランジションについては、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」（平成26年3月）」の暗きょ構造を参考に設計するため、本書では取り扱わないこととした。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-8 「1.3　本書の適用範囲」	

(3) 適用範囲

図-1.3.1 に近年（平成 16 年度～令和 3 年度）の国営事業における水路トンネルの補修、補強及び改修工事の実施例を対象にした、内空断面の直径のヒストグラムを示す。内空断面の直径は、最小 1.0m から最大 4.4m であった。これらの実績や土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）、p.4 に示された水路トンネルの定義を踏まえ、本書は、内空断面の直径がおおむね 4m 以内の水路トンネルを対象として取り扱う。また、水理特性による分類では無圧トンネルを対象とし、補強対策の構造設計は無筋コンクリート覆工を対象とする。

水路トンネルは周辺地山と一体となって挙動するため、地表の構造物と比べて一般に地震の影響は小さい。しかし、洪積地盤（未固結の地層）における坑口、土かぶりが小さく軟弱な箇所、地質の急変部、断層破砕帯、開削トンネル等は地震時の検討が必要となる。トンネルの耐震照査は別途「耐震設計」の指針等に示されているため、本書では取り扱わないこととした。

また、坑口部等に適用される鉄筋コンクリート覆工や水路トンネルに接続する暗きょやトランジションについては、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」（平成 26 年 3 月）」の暗きょ構造を参考に設計するため、本書では取り扱わないこととした。

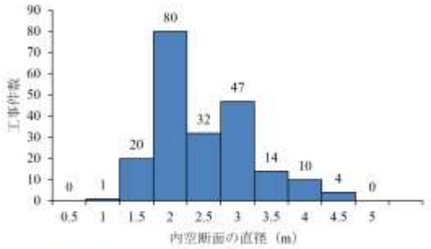


図-1.3.1　近年における国営事業工事の実績（内空断面のヒストグラム）

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-9 「1.3 本書の適用範囲」	P.1-8 「1.3 本書の適用範囲」

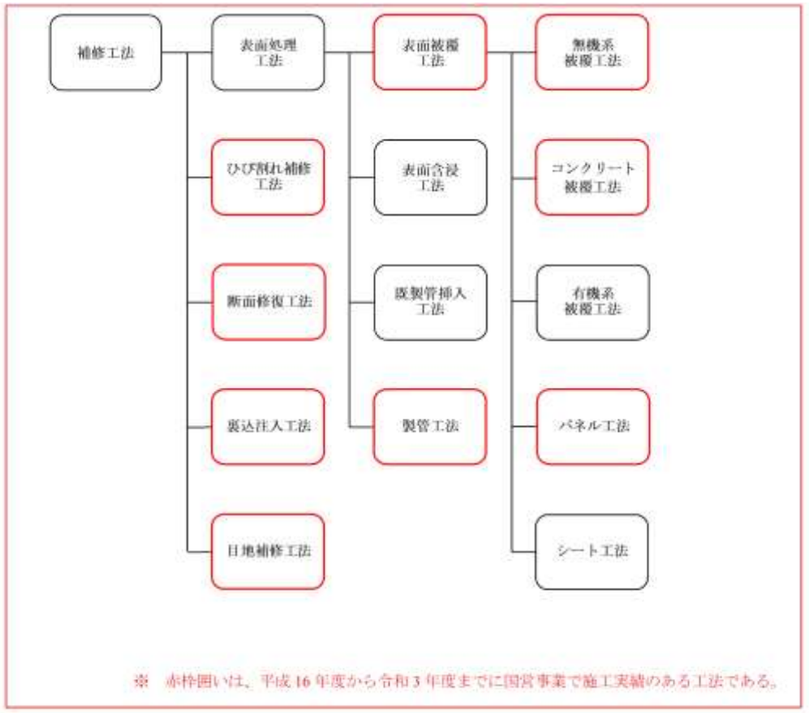


図-1.3.2 覆工トンネルの補修工法の分類（例）

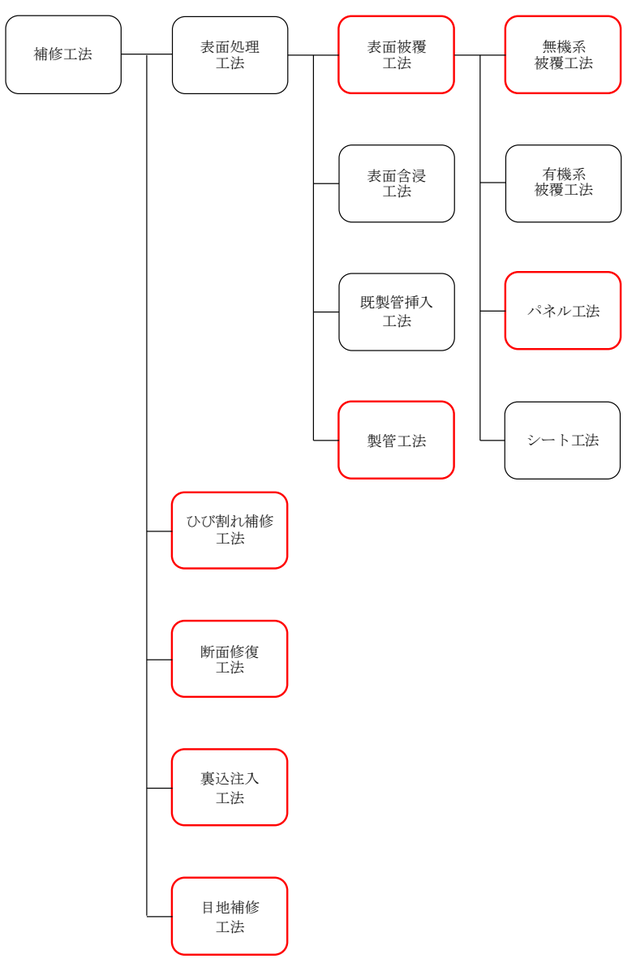


図-1.3.1 覆工トンネルの補修工法の分類（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-10 「1.3 本書の適用範囲」	P.1-9 「1.3 本書の適用範囲」

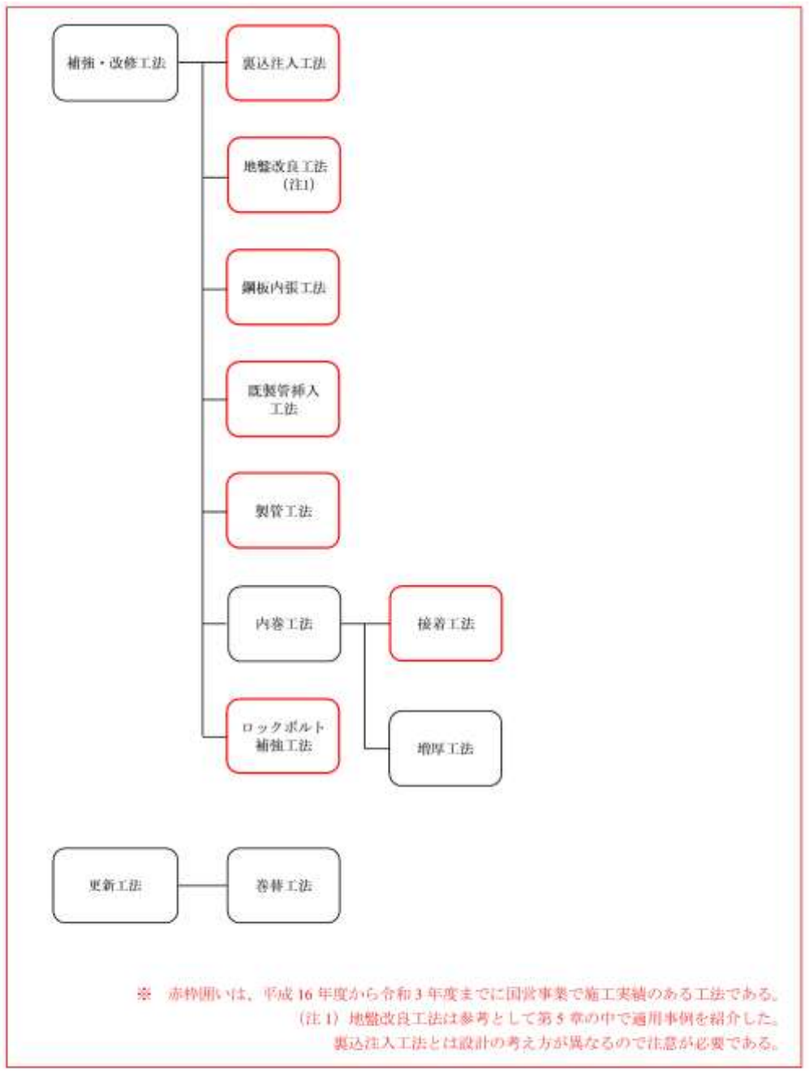
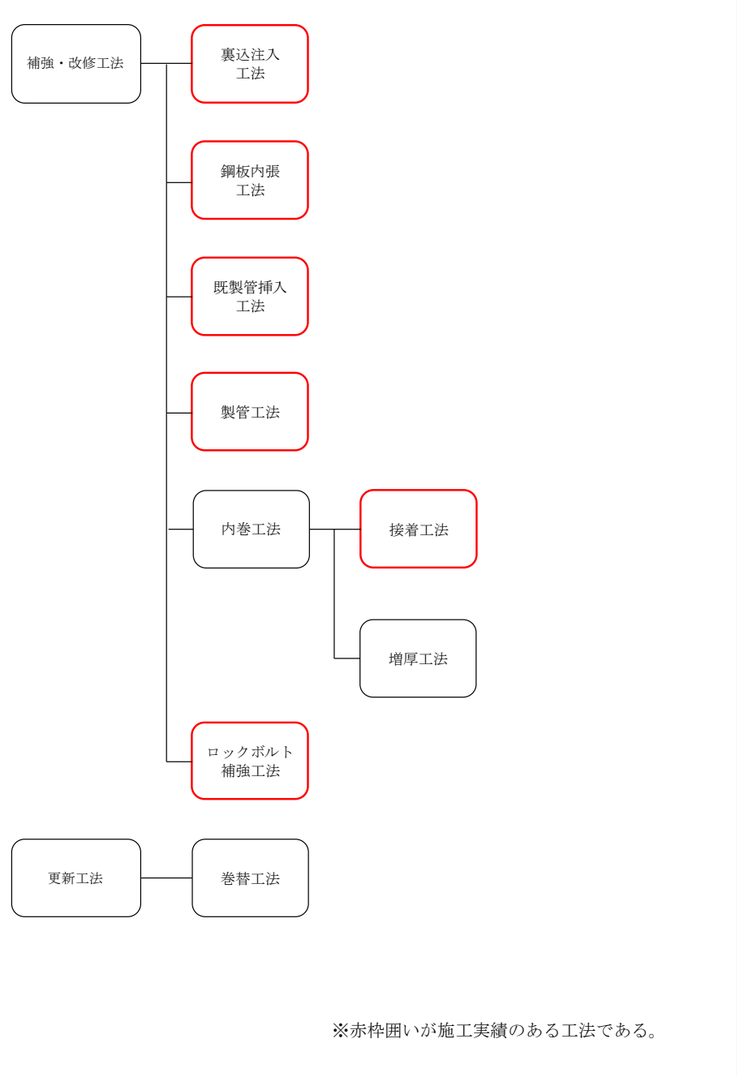


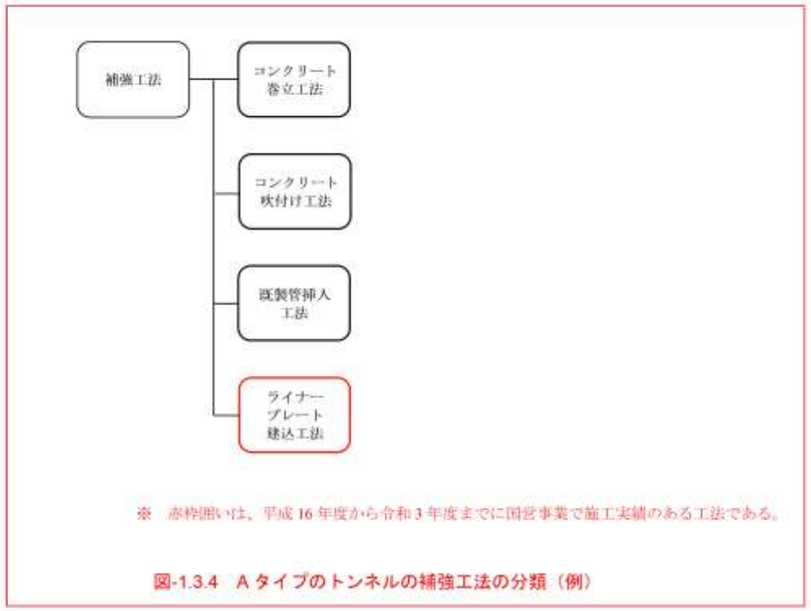
図-1.3.3 覆工トンネルの補強・改修・更新工法の分類（例）



※赤枠囲いが施工実績のある工法である。

図-1.3.2 覆工トンネルの補強・改修・更新工法の分類（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-11　「1.3　本書の適用範囲」	
 図-1.3.4　Aタイプのトンネルの補強工法の分類（例）	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.1-12　「1.4　用語の説明」

1.4　用語の説明

本書で使用する水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策に関わる用語を**表-1.4.1** に定義する。

表-1.4.1 を五十音順に修正

【解説】

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
あ行	
圧ざ	覆工が曲げ圧縮損傷し、はく離あるいは浮きが目視で確認できる状態。[1]
圧縮損傷	曲げが作用する部材におけるひび割れ断面の一部領域で、圧縮ひずみが限界値（3500μ）を超えているが、部材の耐力が完全に失われていない状態であり、解析上の圧ざである。[1]
圧縮破壊	圧縮損傷の状態からさらに曲げ変形が進行し、部材の耐力が完全に失われている状態であり「圧壊」ともいう。[1]
圧力トンネル	水理上のトンネルの分類で、計画流量が満流となり、内圧力が作用するトンネル。[2]
アルカリシリカ反応（ASR）	コンクリート細孔溶液に溶出したアルカリ成分と骨材中に含まれる特定の成分（シリカ鉱物等）が化学反応を起こし、それに伴うアルカリシリカゲルの生成、吸水膨張によりコンクリートにひび割れやはく離が生じる現象。[3]
E ガラス	無アルカリガラスと呼ばれ、電気的に安定で、機械的な特性に優れる。繊維化が容易なため、単にガラス繊維と言う場合はほとんどE ガラス繊維をさす。
インバート	底盤に打った逆アーチコンクリートをいう。また、底盤の部分をいうこともある。[2]
浮き	覆工や補修材が薄くはく離している状態。[4]
打換え工法	耐力の低下した部材を取り壊し必要な耐力を有する部材を再構築することにより、耐力の回復又は向上を図る工法。[3]
打継ぎ目	覆工において、ひび割れの発生を防止するためや施工上の都合により作られるコンクリートの継ぎ目。[4]
内巻工法	既設のコンクリートの表面にモルタル、コンクリート若しくは鉄筋コンクリート等を接着一体化することにより部材の断面や鉄筋量等を増加させ、耐力の回復や向上を図る工法。接着工法や増厚工法の総称としても使われる。
裏込充填材	鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法等において、既設覆工と補強材（鋼板、挿入管、製管体等）との間隙に充填する材料。
裏込注入	覆工背面と地山との間に生じた空隙部にモルタル等を注入することをいう。[5]
裏込注入工法	覆工背面と地山との空隙を裏込注入材で充填する工法。空隙を充填することで、地盤反力を均等に作用させる工法。補修工法では、漏水対策工として適用される。
裏込注入材	裏込注入工法において覆工背面と地山との空隙に充填する材料であり、セメント系材料と非セメント系材料に大別される。
ウレタン	1 つの分子中にウレタン結合を持つもので、イソシアネート化合物とポリオールとの重付加によって得られるもの。[6]

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.1-10　「1.4　用語の説明」

1.4　用語の説明

本書で使用する水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策に関わる用語を**表-1.4.1** に定義する。

【解説】

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
無圧トンネル	水理上のトンネルの分類で、計画流量が自由水面をもって流れ、内水圧が作用しないトンネル。[1]
圧力トンネル	水理上のトンネルの分類で、計画流量が満流となり、内圧力が作用するトンネル。[1]
地山分類	定量的な因子と経験的な指標に基づいて地山を総合的に評価し分類することをいう。地山評価の一定の手法で、地山区分とも呼ばれる。[1]
地質	地質学上の観点及び方法によって捉えられるある地域の性質、特徴をその地域の地質という。[1]
地層	堆積物の積み重なりを指す。[1]
岩トンネル	地質上のトンネルの分類で、比較的風化の進んでいない岩盤や、固結度の高い軟岩等からなる地山に構築されるトンネル。[1]
山岳トンネル	鉄道、道路、水路等山岳や丘陵を貫通するために設けられるトンネルをいい、都市トンネルや水底トンネルと対比させて建設場所の違いを表す呼称である。[1]
山岳工法	一般には、爆破掘削を主体にトンネルを掘削する工法を意味する。鋼アーチ支保工、ロックボルト、吹付けコンクリートなどの支保工類と、覆工コンクリートを用いる工法をいう。この工法は、山岳、山麓地帯における山岳トンネルに多く用いられていることから名付けられているが、海底トンネル、都市トンネルにおいても施工可能な場合には用いられることもある一般的な工法である。[1]
NATM	地山の強度的劣化を防止し、トンネル周辺地山が本来有している耐荷能力を積極的に活用するために、吹付けコンクリートやロックボルトを主たる支保部材として、現場計測による管理のもとトンネルを掘進させる工法をいう。1963 年、オーストリアのラブセビッツ教授によって命名され、新オーストリア工法の頭文字をとって、NATM と呼ばれている。わが国の技術基準書では「吹付け・ロックボルト工法」として取り扱っている。[1]
地圧	トンネルにおいては岩石の破壊や強度の劣化といった、通常の土圧の概念では処理できないような現象が見られるので、山岳トンネルではこれを地圧と称し、一般に用いられている土圧と区分して用いている。山岳トンネルの施工中に見られる地圧現象は、緩み性の地圧と真の地圧に分けられるが、明瞭に区別することは難しい。[1]
土かぶり（圧）	地中のある点において、その上方にある岩盤又は地盤を土かぶりという。土かぶりの岩盤等の重量によって生じる鉛直圧力を土かぶり圧という。[1]
塑性圧	トンネルを掘削したときに生じた二次応力が、地山の固有強度を超えて、塑性限界あるいは破壊に達した場合や、潜在的に塑性状態の地山を掘削したときに生じる地圧をいう。[1]

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.1-13　「1.4　用語の説明」

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
エアミルク	エアモルタルから砂等の原料土をのぞいたもの。
エアモルタル	セメント、原料土、水を練り混ぜたスラリー状のモルタルに起泡剤を用いて微細な気泡を均一に混入させた、軽量で流動性の高い充填材料。
エフロレッセンス	炭酸イオンやセメントに含まれる硫酸イオン等の成分が反応し漏水とともにコンクリート表面に流出したあと水分が蒸発して結晶化したものをいう。[4]
塩害	コンクリート中に侵入し蓄積した塩化物イオンにより鋼材が腐食し、腐食生成物の体積の膨張圧によってコンクリートにひび割れ、はく離、鋼材の断面減少等が生じる現象。[3]
か行	
可塑性	固体に外力を加えて変形させ、力を取り去ってももとに戻らない性質。裏込注入材においては、加圧あるいは揺動させることにより固体と液体の中間領域の性質を呈すること。
岩トンネル	地質上のトンネルの分類で、比較的風化の進んでいない岩盤や、固結度の高い軟岩等からなる地山に構築されるトンネル。[2]
機械製管工法	既設水路トンネル内に帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材を専用機械でスパイラル状に製管する工法。
既製管挿入工法	既設覆工を取り壊すことなく、鋼管、FRPM 管等を既設トンネルに挿入し、既設覆工と挿入管との間隙を裏込充填材で充填する工法。
グラウト	流動性に富み、地盤に圧入、充填された後、一定期間を経て硬化する性質を持つ材料の総称。[2]
検査	構造物の現状を把握し、構造物の性能を確認する行為。[4]
健全度指標	施設の機能の性能管理を行う代表指標として、主に構造性能に影響する対象施設の変状等のレベルを指標化したもの。[7]
更生管	構造部材で構成された管のことをいう。
構造部材	パネル組立工法の場合は円弧状プレキャストコンクリート版、機械製管工法・人力製管工法の場合は「鋼材＋裏込充填材」のことをいう。
鋼板内張工法	既設覆工を取り壊すことなく、工場で加工した既設トンネルよりわずかに小さい相似形断面の鋼板を運搬・据え付けし、溶接接合、塗装の後に鋼板と既設覆工の間隙を裏込充填材で充填する工法。
コールドジョイント	覆工において、先に打ち込んだコンクリートと後から打ち込んだコンクリートとの間に生じた完全に一体化していない打継ぎ目。[4]
さ行	
材質不良	一般に、覆工に低品質な材料を使用することにより生ずる不具合のこと。[4]
山岳工法	一般には、爆破掘削を主体にトンネルを掘削する工法を意味する。鋼アーチ支保工、ロックボルト、吹付けコンクリートなどの支保工類と、覆工コンクリートを用いる工法をいう。この工法は、山岳、山麓地帯における山岳トンネルに多く用いられていることから名付けられているが、海底トンネル、都市トンネルにおいても施工可能な場合には用いられることもある一般的な工法である。[2]

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.1-11　「1.4　用語の説明」

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
偏圧	トンネル等に対する土圧が左右対称でなく、著しく偏って作用する場合をいう。一般の場合でも、トンネルの荷重は支保工、覆工に対して対称、かつ一様に働くとは限らないが、特にトンネル上部の土かぶりが小さく、しかも傾斜している場合、地層がトンネル断面に対して傾斜している場合、地質が均一でない場合、膨張性地質で片側からより強く押さえる場合等では偏圧が作用する場合が多い。[1]
緩み圧	トンネル掘削に伴う爆破、支保工の沈下及び覆工裏の空隙等によりトンネル上方の地山が緩んで、ある高さ相当の地山重量がトンネルの支保工又は覆工に直接荷重として作用する地圧をいう。緩み荷重ともいう。[1]
インバート	底盤に打った逆アーチコンクリートをいう。また、底盤の部分をいうこともある。[1]
天端（クラウン）	一般的には、掘削面ないし構造物の上端面をいう。トンネルでは、掘削断面最上部のアーチクラウン（部）を指す。[1]
スプリングライン	トンネルの内空面で、上半アーチの始まる線。シールドトンネルでは、一般的に、最も幅の広い箇所を指す。[1]
グラウト	流動性に富み、地盤に圧入、充填された後、一定期間を経て硬化する性質を持つ材料の総称。[1]
盤ぶくれ	トンネルの掘削に伴い、底盤部分が内空にふくれ上がる現象をいう。膨張性を有する地山や強度の低い地山等で塑性流動する場合や側壁背面の地山が回り込む場合に生じる。[1]
覆工（ライニング）	地山の変形や崩落の抑制、防止など地山安定の確保、湧水や漏水の処理、トンネル内空の整斉や美観などの目的のためにトンネルの掘削面を被覆する構造体又はその構造体を構成することをいう。巻立てあるいはライニングともいう。[1]
吹付けコンクリート	圧縮空気や機械力によって吹付けられたコンクリートをいう。トンネルの NATM 工法では支保工部材として使用され、また覆工としての利用もある。[1]
巻厚	覆工の厚さをいう。普通掘削工法では掘削面に凹凸ができるため覆工厚は一定とならないので、通常、力学的あるいは耐久性などの点から設計上必要な厚さで覆工の厚さを表現する。設計巻厚ということもある。設計巻厚の中には木材など覆工の強度に影響を与えるような部材が入ることは許されない。したがって、縫地、掛矢板などの矢板のかけ方によって設計巻厚の取り方は違ってくる。[1]
打継ぎ目	覆工において、ひび割れの発生を防止するためや施工上の都合により作られるコンクリートの継ぎ目。[4]
目地	場所打ちコンクリートによる覆工においては、打継ぎ目と同義。[4]
中性化	二酸化炭素が硬化後のコンクリートに侵入し、水酸化カルシウムなどのセメント水和物と炭酸化反応を起こすことにより、コンクリートの細孔液中の pH が低下する現象。[3]
摩耗	流水中の土砂によるすり磨き作用や落差による衝撃力などが組み合わさり、コンクリートの断面が欠損する現象。[3]
凍害	寒冷地において、外気温差や日射によりコンクリート中の水分が凍結融解を繰り返し、それに伴う水分の凍結膨張圧によってコンクリートにひび割れやはく離が発生する現象。[3]

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.1-14　「1.4　用語の説明」

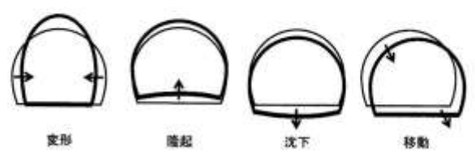
表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
山岳トンネル	鉄道、道路、水路等山岳や丘陵を貫通するために設けられるトンネルをいい、都市トンネルや水底トンネルと対比させて建設場所の違いを表す呼称である。[2]
シート工法	表面被覆工法において、特に被覆の構成要素の一つとしてシートを設置することによりコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
地山分類	定量的な因子と経験的な指標に基づいて地山を総合的に評価し分類することをいう。地山評価の一定の手法で、地山区分とも呼ばれる。[2]
ジャンカ	コンクリート打設時の生コン投入方法の不適切さやバイブレーターによる締め固め不足により材料分離が発生し硬化したもので、コンクリート表面があばたになる現象。[4]
樹脂モルタル	結合材にポリマーだけを用いたモルタル。レジンモルタルやポリマーモルタルとも称される。
自立管	補強部材のみで所定の外力や充満水による静水圧に耐える構造設計を行うもの。
人力製管工法	既設水路トンネル内に人力で組み立てた鋼製リングの内側に高密度ポリエチレン樹脂製の表面部材を人力で取り付けて製管する工法。
スプリングライン	トンネルの内空面で、上半アーチの始まる線。シールドトンネルでは、一般的に、最も幅の広い箇所を指す。[2]
製管工法	既設覆工を取り壊すことなく、既設覆工の内面に硬質塩化ビニル材等を嵌合させながら製管し、既設覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法。水路トンネルに適用する製管工法には、コンクリートパネルで製管する工法も含む。
接着工法	既設コンクリート覆工を取り壊すことなく、内面に繊維グリッドや連続繊維シート、鉄筋等を接着し、既設覆工の耐力の回復又は向上を図る工法である。本書では、内巻厚さが薄く、コテや吹付けで施工する工法を接着工法とする。
全面巻替工法	コンクリート等の既設覆工を全断面にわたり取り壊し、新たなコンクリート覆工を構築する工法。
塑性圧	トンネルを掘削したときに生じた二次応力が、地山の固有強度を超えて、塑性限界あるいは破壊に達した場合や、潜在的に塑性状態の地山を掘削したときに生じる地圧をいう。[2]
措置	構造物の監視、補修・補強、使用制限、改築・取替等の総称。[4]
た行	
対策工	トンネルを補修・補強する方法。劣化・剥落対策、漏水・凍結対策、外力対策工に区分する。[4]
打音調査	覆工をハンマーで打撃し、打撃音や、跳ね返り方、手応え等の違いから覆工の状態を調べる調査。[4]
濁音	打音調査時に発する音のうち、高音の澄んだ音（清音）以外の音の総称。[4]
断面修復工法	ジャンカ、コンクリートの劣化、内部鉄筋の腐食、その他の原因によって欠損しているコンクリート断面又は劣化因子を含むコンクリート部分を除去した後の断面をその当初の性能及び形状・寸法に修復する工法。[3]

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.1-12　「1.4　用語の説明」

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
塩害	コンクリート中に侵入し蓄積した塩化物イオンにより鋼材が腐食し、腐食生成物の体積の膨張圧によってコンクリートにひび割れ、はく離、鋼材の断面減少などが生じる現象。[3]
アルカリ骨材反応（ASR）	コンクリート細孔溶液に溶出したアルカリ成分と骨材中に含まれる特定の成分（シリカ鉱物等）が化学反応を起こし、それに伴う膨張圧によりコンクリートにひび割れやはく離が生じる現象。[3]
コールドジョイント	覆工において、先に打ち込んだコンクリートと後から打ち込んだコンクリートとの間に生じた完全に一体化していない打継ぎ目。[4]
ジャンカ	コンクリート打設時の生コン投入方法の不適切さやバイブレーターによる締め固め不足により材料分離が発生し硬化したもので、コンクリート表面があばたになる現象。[4]
湧水	覆工背面の地下水がトンネル内部に侵入し出てくる現象。鉄筋コンクリート構造物においては、鉄筋腐食や材料劣化を招く主要因となる。
漏水	トンネル内部の用水が目地やひび割れなどから覆工背面に漏れ出る現象。
エフロレッセンス	炭酸イオンやセメントに含まれる硫酸イオン等の成分が反応し漏水とともにコンクリート表面に流出したあと水分が蒸発して結晶化したものをいう。[4]
バクテリアスライム	土壌分内のバクテリアがエフロレッセンスに含まれたもの。[4]
遊離石灰	セメントや骨材中の石灰質の一部が溶けてコンクリート表面に湧出し白く結晶化したもの。[4]
浮き	覆工や補修材が薄くはく離している状態。[4]
はく落	覆工や補修材の一部がはがれ落ちる現象。[4]
ひび割れ	最も一般的に見られる変状現象で、広義には食い違い、目違い、目地切れもひび割れに含まれる。[4]
圧縮損傷	曲げが作用する部材におけるひび割れ断面の一部領域で、圧縮ひずみが限界値（3500μ）を超えているが、部材の耐力が完全に失われていない状態であり、解析上の圧ざである。[6]
圧ざ	覆工が曲げ圧縮損傷し、はく離あるいは浮きが目視で確認できる状態。[6]
圧縮破壊	圧縮損傷の状態からさらに曲げ変形が進行し、部材の耐力が完全に失われている状態であり「圧壊」ともいう。[6]
変形・隆起・沈下・移動	外力の作用によってトンネルの形状が変化したり変位したりする変状であり、それぞれ下図のような状態。[4] 
材料劣化	覆工を構成する材料が、中性化、有害水、気温、塩分、煤煙等の作用により、品質の低下をきたすこと。[4]

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-15 「1.4 用語の説明」	P.1-13 「1.4 用語の適説明」

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用語	定義
地圧	トンネルにおいては岩石の破壊や強度の劣化といった、通常の土圧の概念では処理できないような現象が見られるので、山岳トンネルではこれを地圧と称し、一般に用いられている土圧と区分して用いている。山岳トンネルの施工中に見られる地圧現象は、緩み性の地圧と真の地圧に分けられるが、明瞭に区別することは難しい。[2]
地質	地質学上の観点及び方法によって捉えられるある地域の性質、特徴をその地域の地質という。[2]
地層	堆積物の積み重なりを指す。[2]
調査	構造物の状態やその周辺の状況を調べる行為。[4]
中性化	二酸化炭素が硬化後のコンクリートに侵入し、水酸化カルシウム等のセメント水和物と炭酸化反応を起こすことにより、コンクリートの細孔液中のpHが低下する現象。[3]
天端（クラウン）	一般的には、掘削面ないし構造物の上端面をいう。トンネルでは、掘削断面最上部のアーチクラウン（部）を指す。[2]
凍害	寒冷地において、外気温差や日射によりコンクリート中の水分が凍結融解を繰り返し、それに伴う水分の凍結膨張圧によってコンクリートにひび割れやはく離が発生する現象。[3]
土かぶり（圧）	地中のある点において、その上方にある岩盤又は地盤を土かぶりという。土かぶりの岩盤等の重量によって生じる鉛直圧力を土かぶり圧という。[2]
な行	
内面被覆管	製管工法の表面部材を組み立てたもの（裏込充填前）。強度部材である場合（パネル組立工法）と、強度部材と考えない場合（機械製管工法・人力製管工法）を含む。
NATM	地山の強度的劣化を防止し、トンネル周辺地山が本来有している耐荷能力を積極的に活用するために、吹付けコンクリートやロックボルトを主たる支保部材として、現場計測による管理のもとトンネルを掘進させる工法をいう。1963年、オーストリアのラブセビッツ教授によって命名され、新オーストリア工法の頭文字をとって、NATM（New Austrian Tunneling Method）と呼ばれている。わが国の技術基準書では「吹付け・ロックボルト工法」として取り扱っている。[2]
は行	
バクテリアスライム	土壌分内のバクテリアがエフロレッセンスに含まれたもの。[4]
はく落	覆工や補修材の一部がはがれ落ちる現象。[4]
パネル組立工法	既設水路トンネル内に円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて新たなアーチを形成する工法。
パネル工法	表面被覆工法において、特に被覆の構成要素の一つとしてパネルを設置することによりコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用語	定義
材質不良	一般に、覆工に低品質な材料を使用することにより生ずる不具合のこと。[4]
検査	構造物の現状を把握し、構造物の性能を確認する行為。[4]
調査	構造物の状態やその周辺の状況を調べる行為。[4]
目視	変状等を直接目で見て行う調査。[4]
打音調査	覆工をハンマーで打撃し、打撃音や、跳ね返り方、手応え等の違いから覆工の状態を調べる調査。[4]
濁音	打音調査時に発する音のうち、高音の澄んだ音（清音）以外の音の総称。[4]
健全度	構造物に定められた要求性能に対し、当該構造物が保有する健全さの程度。[4]
措置	構造物の監視、補修・補強、使用制限、改築・取替等の総称。[4]
対策工	トンネルを補修・補強する方法。劣化・剥落対策、漏水・凍結対策、外力対策工に区分する。[4]
表面処理工法	コンクリート構造物の表面又は断面修復を終えたコンクリート構造物の表面に保護措置を施す工法。表面被覆工法と表面含浸工法に大別される。[3]
表面被覆工法	劣化因子の侵入を抑制又は防止する効果を有する被覆をコンクリート構造物の表面に形成する工法。[3]
無機系被覆工法	表面被覆工法において、無機系の材料を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
有機系被覆工法	表面被覆工法において、有機系樹脂を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
パネル工法	表面被覆工法において、特に被覆の構成要素の一つとしてパネルを設置することによりコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
シート工法	表面被覆工法において、特に被覆の構成要素の一つとしてシートを設置することによりコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
表面含浸工法	表面含浸材をコンクリート表面から含浸させコンクリート表層部の組織を改質し、所定の効果を発揮する性能を付与する工法。[3]
ひび割れ補修工法	ひび割れの発生によって損なわれたコンクリート部材（構造物）の構造安全性（耐力など）以外の性能を回復あるいは向上させる工法。[3]
断面修復工法	ジャンカ、コンクリートの劣化、内部鉄筋の腐食、その他の原因によって欠損しているコンクリート断面又は劣化因子を含むコンクリート部分を除去した後の断面をその当初の性能及び形状・寸法に修復する工法。[3]
目地補修工法	目地材の劣化、脱落などにより漏水等が生じている目地を補修する工法。[5]
打換え工法	耐力の低下した部材を取り壊し必要な耐力を有する部材を再構築することにより、耐力の回復又は向上を図る工法。[3]
裏込注入	覆工背面と地山との間に生じた空隙部にモルタル等を注入することをいう。[2]
裏込注入工法	覆工背面と地山との空隙を裏込注入材で充填する工法。空隙を充填することで、地盤反力を均等に作用させる工法。補修工法では、漏水対策工として適用される。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.1-16 「1.4 用語の説明」	P.1-14 「1.4 用語の適説明」

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用語	定義
盤ぶくれ	トンネルの掘削に伴い、底盤部分が内空にふくれ上がる現象をいう。膨張性を有する地山や強度の低い地山等で塑性流動する場合や側壁背面の地山が回り込む場合に生じる。[2]
ひび割れ	最も一般的に見られる変状現象で、広義には食い違い、目違い、目地切れもひび割れに含まれる。[4]
ひび割れ補修工法	ひび割れの発生によって損なわれたコンクリート部材（構造物）の構造安全性（耐力等）以外の性能を回復あるいは向上させる工法。[5]
表面含浸工法	表面含浸材をコンクリート表面から含浸させコンクリート表層部の組織を改質し、所定の効果を発揮する性能を付与する工法。[3]
表面処理工法	コンクリート構造物の表面又は断面修復を終えたコンクリート構造物の表面に保護措置を施す工法。表面被覆工法と表面含浸工法に大別される。[3]
表面被覆工法	劣化因子の侵入を抑制又は防止する効果を有する被覆をコンクリート構造物の表面に形成する工法。[3]
表面部材	内面被覆管を構成する部材で、パネル組立工法の場合は円弧状プレキャストコンクリート版、機械製管工法の場合は硬質塩化ビニル樹脂製の嵌合部材、人力製管工法の場合は高密度ポリエチレン樹脂製の嵌合部材のことをいう。
風化	岩石が化学的、物理的、生物的作用により母材や土壌に変化する現象であり、破砕と分解に大別される。
吹付けコンクリート	圧縮空気や機械力によって吹付けられたコンクリートをいう。トンネルのNATM 工法では支保工部材として使用され、また覆工としての利用もある。[2]
複合管	既設覆工と内面被覆管が裏込充填材により一体的な挙動を示す管となり、所定の外力や内水圧に耐える構造設計を行うもの。
覆工（ライニング）	地山の変形や崩落の抑制、防止など地山安定の確保、湧水や漏水の処理、トンネル内空の整斉や美観などの目的のためにトンネルの掘削面を被覆する構造体又はその構造体を構成することをいう。巻立てあるいはライニングともいう。[2]
部分巻替工法	インバートコンクリートライニングの損傷箇所を取り壊し、新たなコンクリート覆工を構築する工法。
偏圧	トンネル等に対する土圧が左右対称でなく、著しく偏って作用する場合をいう。一般の場合でも、トンネルの荷重は支保工、覆工に対して対称、かつ一様に働くとは限らないが、特にトンネル上部の土かぶりが小さく、しかも傾斜している場合、地層がトンネル断面に対して傾斜している場合、地質が均一でない場合、膨張性地質で片側からより強く押さえる場合等では偏圧が作用する場合が多い。[2]
変形・隆起・沈下・移動	外力の作用によってトンネルの形状が変化したり変位したりする変状であり、それぞれ下図のような状態。[4]

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

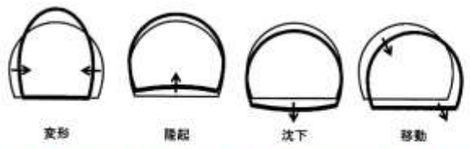
用語	定義
裏込注入材	裏込注入工法において覆工背面と地山との空隙に充填する材料であり、セメント系材料と非セメント系材料に大別される。
裏込充填材	鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法等において、既設覆工と補強材（鋼板、挿入管、製管体等）との間隙に充填する材料。
鋼板内張工法	既設覆工を取り壊すことなく、工場で加工した既設トンネルよりわずかに小さい相似形断面の鋼板を運搬・据え付けし、溶接接合、塗装の後に鋼板と既設覆工の間隙を裏込充填材で充填する工法。
既製管挿入工法	既設覆工を取り壊すことなく、鋼管，FRPM 管等を既設トンネルに挿入し、既設覆工と挿入管との間隙を裏込充填材で充填する工法。
製管工法	既設覆工を取り壊すことなく、既設覆工の内面に硬質塩化ビニル材等を嵌合させながら製管し、既設覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法。水路トンネルに適用する製管工法には、コンクリートパネルで製管する工法も含む。
自立管	補強部材のみで所定の外力や充満水による静水圧に耐える構造設計を行うもの。
複合管	既設覆工と内面被覆管が裏込充填材により一体的な挙動を示す管となり、所定の外力や内水圧に耐える構造設計を行うもの。
機械製管工法	既設水路トンネル内に帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材を専用機械でスパイラル状に製管する工法。
人力製管工法	既設水路トンネル内に人力で組み立てた鋼製リングの内側に高密度ポリエチレン樹脂製の表面部材を人力で取り付けで製管する工法。
パネル組立工法	既設水路トンネル内に円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて新たなアーチを形成する工法。
内面被覆管	製管工法の表面部材を組み立てたもの（裏込充填前）。強度部材である場合（パネル組立工法）と、強度部材と考えない場合（機械製管工法・人力製管工法）を含む。
表面部材	内面被覆管を構成する部材で、パネル組立工法の場合は円弧状プレキャストコンクリート版、機械製管工法の場合は硬質塩化ビニル樹脂製の嵌合部材、人力製管工法の場合は高密度ポリエチレン樹脂製の嵌合部材のことをいう。
構造部材	パネル組立工法の場合は円弧状プレキャストコンクリート版、機械製管工法・人力製管工法の場合は「鋼材＋裏込充填材」のことをいう。
更生管	構造部材で構成された管のことをいう。
内巻工法	既設のコンクリートの表面にモルタル、コンクリート若しくは鉄筋コンクリート等を接着一体化することにより部材の断面や鉄筋量等を増加させ、耐力の回復や向上を図る工法。接着工法や増厚工法の総称としても使われる。
接着工法	既設コンクリート覆工を取り壊すことなく、内面に繊維グリッドや連続繊維シート、鉄筋等を接着し、既設覆工の耐力の回復又は向上を図る工法である。本書では、内巻厚さが薄く、コテや吹付けで施工する工法を接着工法とする。
増厚工法	既設コンクリート覆工を取り壊すことなく、内面をコンクリートや鉄筋コンクリート等で覆工し、既設覆工と合わせて機能を維持する工法である。本書では、内巻厚さが厚く、スライディングフォーム等の型枠で施工する工法を増厚工法とする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.1-17　「1.4　用語の説明」

表-1.4.1　水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
	
変状	施設が健全な状態で本来期待されている機能や状況と比較して、異なっている状況。劣化、初期欠陥、損傷を含む。例えば、コンクリートでは、ひび割れ、剥離、欠損などの状態。施設に求められる性能が低下しているか否かという評価を必ずしも含まない[7]
ポリマーセメントモルタル	結合材にセメントとポリマーを用いたモルタル。PCM。ポリマーとして樹脂又はラテックスなどが用いられる。
ま行	
巻厚	覆工の厚さをいう。普通掘削工法では掘削面に凹凸ができるため覆工厚は一定とならないので、通常、力学的あるいは耐久性などの点から設計上必要な厚さで覆工の厚さを表現する。設計巻厚ということもある。設計巻厚の中には木材など覆工の強度に影響を与えるような部材が入ることは許されない。したがって、縫地、掛矢板などの矢板のかけ方によって設計巻厚の取り方は違ってくる。[2]
増厚工法	既設コンクリート覆工を取り壊すことなく、内面をコンクリートや鉄筋コンクリート等で覆工し、既設覆工と合わせて機能を維持する工法である。本書では、内巻厚さが厚く、スライディングフォーム等の型枠で施工する工法を増厚工法とする。
摩耗	流水中の土砂によるすり磨き作用や落差による衝撃力などが組み合わさり、コンクリートの断面が欠損する現象。[3]
無圧トンネル	水理上のトンネルの分類で、計画流量が自由水面をもって流れ、内水圧が作用しないトンネル。[2]
無機系被覆工法	表面被覆工法において、無機系の材料を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
目地	場所打ちコンクリートによる覆工においては、打継ぎ目と同義。[4]
目地補修工法	目地材の劣化、脱落等により漏水等が生じている目地を補修する工法。[3]
目視	変状等を直接目で見て行う調査。[4]
や行	
有機系被覆工法	表面被覆工法において、有機系樹脂を主な成分としてコンクリート構造物の表面を被覆する工法。[3]
湧水	覆工背面の地下水がトンネル内部に侵入し出てくる現象。鉄筋コンクリート構造物においては、鉄筋腐食や材料劣化を招く主要因となる。

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.1-18 「1.4 用語の説明」

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
遊離石灰	セメントや骨材中の石灰質の一部が溶けてコンクリート表面に滲出し白く結晶化したもの。[4]
緩み圧	トンネル掘削に伴う爆破、支保工の沈下及び覆工裏の空隙等によりトンネル上方の地山が緩んで、ある高さ相当の地山重量がトンネルの支保工又は覆工に直接荷重として作用する地圧をいう。緩み荷重ともいう。[2]
ら行	
劣化	立地や気象条件、使用状況（流水による浸食等）等に起因し、時間の経過とともに施設の性能低下をもたらす部材や構造等の変状。[7]
漏水	トンネル内部の用水が目地やひび割れなどから覆工背面に漏れ出る現象。
ロックボルト	トンネル掘削後、早急に岩盤を穿孔して、この中にボルトを挿入し、ナット締め、接着などによってトンネルの支保工として用いるボルトをいう。[5]
ロックボルト補強工法	ロックボルトが地山と一体となって地山強度の低下を防ぐことにより、変状の進行性を抑制する工法である。このため、周辺地山に対しロックボルトを確実に定着させることで、覆工の補強効果を得ることができる。

用語の定義　参考文献

1）変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月
2）農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」、平成 28 年 8 月
3）農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編、令和 5 年 3 月
4）トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月
5）土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月
6）矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和 6 年 7 月
7）農業水利施設の機能保全の手引き、令和 5 年 4 月

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.1-15 「1.4 用語の説明」

表-1.4.1 水路トンネル及び水路トンネルの長寿命化対策にかかわる用語の定義

用　語	定　義
ロックボルト	トンネル掘削後、早急に岩盤を穿孔して、この中にボルトを挿入し、ナット締め、接着などによってトンネルの支保工として用いるボルトをいう。[2]
ロックボルト補強工法	ロックボルトが地山と一体となって地山強度の低下を防ぐことにより、変状の進行性を抑制する工法である。このため、周辺地山に対しロックボルトを確実に定着させることで、覆工の補強効果を得ることができる。
全面巻替工法	コンクリート等の既設覆工を全断面にわたり取り壊し、新たなコンクリート覆工を構築する工法。
部分巻替工法	インバートコンクリートライニングの損傷箇所を取り壊し、新たなコンクリート覆工を構築する工法。
エアモルタル	モルタルに起泡剤により作製された気泡を混入したもの。[5]
エアミルク	エアモルタルから砂等の原料土をのぞいたもの。
可塑性	固体に外力を加えて変形させ、力を取り去ってももとに戻らない性質。裏込注入材においては、加圧あるいは振動させることにより固体と液体の中間領域の性質を呈すること。
ポリマーセメントモルタル	結合材にセメントとポリマーを用いたモルタル。PCM。ポリマーとして樹脂又はラテックスなどが用いられる。
ポリマーモルタル	結合材にポリマーだけを用いたモルタル。レジンモルタルや樹脂モルタルとも称される。
ウレタン	1 つの分子中にウレタン結合を持つもので、イソシアネート化合物とポリオールとの重付加によって得られるもの。[5]
E ガラス	無アルカリガラスと呼ばれ、電気的に安定で、機械的な特性に優れる。繊維化が容易なため、単にガラス繊維と言う場合はほとんど E ガラス繊維をさす。

用語の定義　参考文献

1）農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」、平成 28 年 8 月
2）土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月
3）農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）、平成 27 年 4 月
4）トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月
5）矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領、東,中,西日本高速道路株式会社、平成 18 年 10 月
6）変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.2-1　「2.1　基本的事項」	P.2-1　「2.1　基本的事項」

第２章　長寿命化対策の検討のための調査・情報整理

2.1　基本的事項

長寿命化対策の検討（材料・工法の選定）のための調査・情報整理は、設計・施工に必要な情報を得るため、当初設計や調査計画段階の資料を活用するほか、不足する情報を補うために実施する。

【解説】

長寿命化対策の設計や施工を検討するためには、既存資料等に基づく「施設基本条件の整理」と、不足する情報を補うための現地調査による「現況施設の確認」が不可欠である。

「現況施設の確認」については、施設の現況を確認した上で、具体的対策実施の観点から必要な施設状態について把握・整理する。具体的には、長寿命化対策の工法選定や構造計算での利用を目的として、ひび割れ等の変状発生状況の調査、不陸や段差等の縦横断線形の調査を実施する。過年度の当該施設の健全度評価結果や対策方針等の機能保全計画の内容についても必要に応じて見直す。

図-2.1.1 に一般的な水路トンネルにおける調査項目の例を示す。

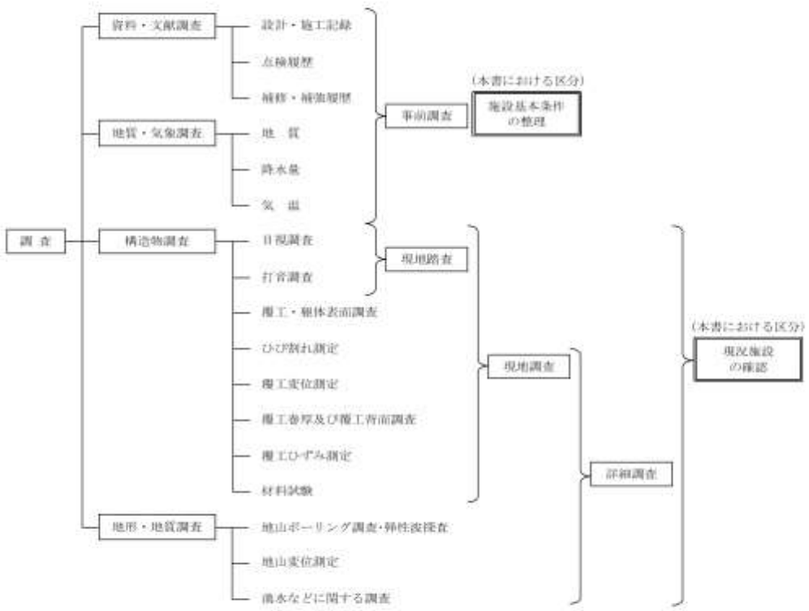


図-2.1.1　一般的な水路トンネルの調査項目（例）

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」平成 26 年 7 月、p.548 を改変して転載）

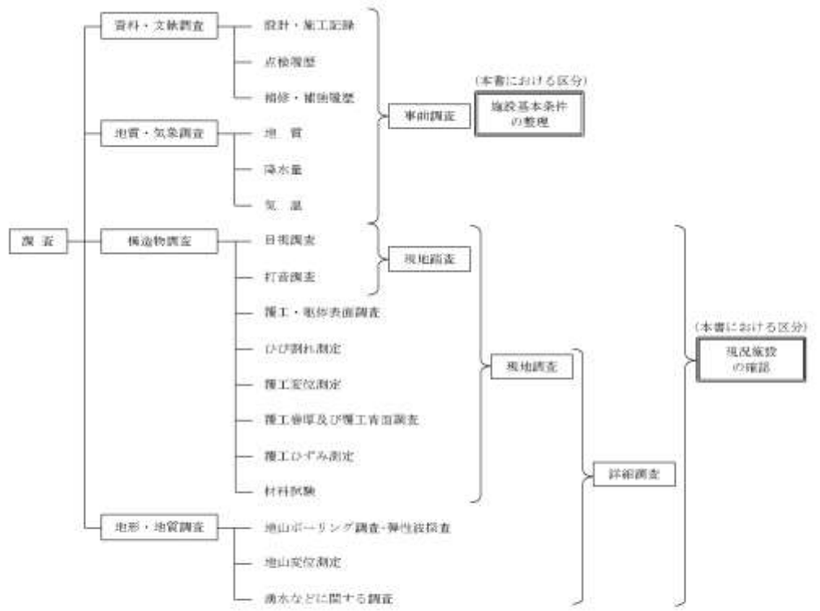


図-2.1.1　一般的な水路トンネルの調査項目（例）

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」平成 26 年 7 月、P.548 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.2-2 「2.2 施設基本条件の整理」	P.2-2 「2.2 施設基本条件の整理」

2.2 施設基本条件の整理

長寿命化対策の検討における基本条件の整理においては、農業水利ストック情報データベースシステム（以下「農業水利ストック DB」という。）等を活用し、施設諸元、過年度の機能診断調査データ、事故履歴及び補修歴等を収集する。また、施設の運用状況について、施設管理者等への問診調査を行う。

【解説】

施設基本条件の整理項目を以下に示す。特に以下の事項について確認・整理する。

(1) 施設・施工諸元

長寿命化対策の設計に必要な図面を竣工図書等から収集・整理する。既存図書がない場合は、現地実測による図面の作成を検討する。

水路トンネルの性能低下状態の評価や対策工法の検討において、断面寸法、覆工構造（有筋・無筋）、覆工厚、支保工の配置等を正確に把握しておくことが必要である。特に、竣工図面と実際の覆工構造が異なっていないか留意する必要がある。

例えば、覆工構造が異なっていた場合は、構造設計手法や補修･補強対策が異なる場合もある。このため、水路トンネルの断面寸法や覆工構造については、設計図書及び現地調査により確認する必要がある。特に有筋構造と無筋構造の覆工が混在する場合は、電磁波レーダー法（鉄筋探査機）等を用いてこれらの分布を確認することが望ましい。

1）調査項目

造成年、供用開始年、トンネル形式、断面寸法、覆工構造、覆工厚、支保工、施工条件（地質、湧水等）、地形条件（土かぶり、偏圧地形、地すべり）、地下水条件、気象条件等

2）調査手法

農業水利ストック DB、設計図書、工事誌、工事記録、完成図、既往の機能診断調査結果、地形図、水質・土質調査結果、観測記録等からの情報収集及び構造物の設計者、施工者等への問診調査

(2) 影響度と管理水準

リスク管理の観点から、ストックマネジメントの各プロセスを効率的に進めるため、既往の機能保全計画を確認し、施設の機能停止時における影響度と、求められる管理水準を把握する。影響度については、農業面および農業以外に与える影響を総合的に評価し、適切な管理水準の考え方と照らし合わせて決定する。評価の考え方については、「農業水利施設の機能保全の手引き（令和５年４月）」を参照する。

1）調査項目

覆工コンクリート崩落による施設周辺環境に与える影響、断水による影響等

2）調査手法

設計図書及び既往の機能保全計画からの情報収集、現地踏査、施設管理者への問診調査

(3) 設計条件の変更の有無

営農状況や社会環境の変化によって、水利用に係る性能の過不足等、設計条件の変更の有無を確

2.2 施設基本条件の整理

長寿命化対策の検討における基本条件の整理においては、農業水利ストック情報データベースシステム（以下「農業水利ストック DB」という。）等を活用し、施設諸元、過年度の機能診断調査データ、事故履歴及び補修歴等を収集する。また、施設の運用状況について、施設管理者等への問診調査を行う。

【解説】

施設基本条件の整理項目を以下に示す。特に以下の事項について確認・整理する。

(1) 施設・施工諸元

長寿命化対策の設計に必要な図面を竣工図書等から収集・整理する。既存図書がない場合は、現地実測による図面の作成を検討する。

水路トンネルの性能低下状態の評価や対策工法の検討において、断面寸法、覆工構造（有筋・無筋）、覆工厚、支保工の配置等を正確に把握しておくことが必要である。特に、竣工図面と実際の覆工構造が異なっていないか留意する必要がある。

例えば、覆工構造が異なっていた場合は、構造設計手法や補修･補強対策が異なる場合もある。このため、水路トンネルの断面寸法や覆工構造については、設計図書及び現地調査により確認する必要がある。特に有筋構造と無筋構造の覆工が混在する場合は、電磁波レーダー法（鉄筋探査機）等を用いてこれらの分布を確認することが望ましい。

1）調査項目

造成年、供用開始年、トンネル形式、断面寸法、覆工構造、覆工厚、支保工、施工条件（地質、湧水等）、地形条件（土かぶり、偏圧地形、地すべり）、地下水条件、気象条件等

2）調査手法

農業水利ストック DB、設計図書、工事誌、工事記録、完成図、既往の機能診断調査結果、地形図、水質・土質調査、観測記録等からの情報収集及び構造物の設計者、施工者等への問診調査

(2) 施設の重要度評価

施設の重要度とは、農業面では農業への影響度や復旧の難易度（費用・期間）等であり、農業以外の面では、住宅地、公共機関等の周辺施設の立地条件から、事故が起こった場合の被害額等で示される。評価の考え方については、「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成 28 年８月）を参照する。なお、水道や工業用水等との共用施設においては、水道や工業用水施設の規定を参考に重要度を設定する必要がある。

1）調査項目

覆工コンクリート崩落による施設周辺環境に与える影響、断水による影響等

2）調査手法

設計図書及び既往の機能診断調査結果からの情報収集、現地踏査、施設管理者への問診調査

(3) 設計条件の変更の有無

営農状況や社会環境の変化によって、水利用に係る性能の過不足等、設計条件の変更の有無を確

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.2-4　「2.2　施設基本条件の整理」	**P.2-4　「2.2　施設基本条件の整理」**
なお、調査計画段階の機能診断調査は、事前調査や現地踏査で得られた結果及び施設の影響度や経過年数等を踏まえて、調査範囲（定点）を設定して実施しているものであり、対策が必要な範囲に対して、設計・施工のために必要な調査が全て実施されているとは限らないことに留意する必要がある。特に、現場条件（断水可能時間等）によっては、現地調査を実施することが困難で、トンネル内の調査を実施していない場合もある。 設計・施工段階では、対策を行う（又は行う必要があると想定される）範囲全体の、既設トンネル状態を把握し、対策を検討する必要があるため、調査計画段階の資料で不足する情報がある場合については、適宜、現況施設の確認調査を行って情報を収集する。	なお、調査計画段階の機能診断調査は、事前調査や現地踏査で得られた結果及び施設の重要度や経過年数等を踏まえて、調査範囲（定点）を設定して実施しているものであり、対策が必要な範囲に対して、設計・施工のために必要な調査が全て実施されているとは限らないことに留意する必要がある。特に、現場条件（断水可能時間等）によっては、現地調査を実施することが困難で、トンネル内の調査を実施していない場合もある。 設計・施工段階では、対策を行う（又は行う必要があると想定される）範囲全体の、既設トンネル状態を把握し、対策を検討する必要があるため、調査計画段階の資料で不足する情報がある場合については、適宜、現況施設の確認調査を行って情報を収集する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-1　「3.1　基本的事項」	P.3-1　「3.1　基本的事項」

第３章　長寿命化対策の検討

3.1　基本的事項

長寿命化対策は、施設の調査結果に基づいて施設の性能低下状況を評価し、対策の要否を判定する。対策が必要な場合は、対策後の施設や工法に求められる機能と性能、施設の使用環境条件、経済性等を踏まえて対策区分と対策工法の選定を行う。

【解説】

長寿命化対策の検討においては、施設の調査結果に基づいて、水路トンネルの水利用機能、水理機能、構造機能及び社会的機能の性能低下の状況を明らかにし、対策の要否を判断する。

水路トンネルの長寿命化対策の区分には、補修、補強、改修、更新があり、施設の性能低下状況（変状の発生要因や程度）に応じてこれらの中から適切な対策方針を選択する必要がある。

対策を要する場合は、対策により回復又は向上が必要な施設性能に応じた適切な工法・材料の選定を行うことが重要である。

第３章　長寿命化対策の検討

3.1　基本的事項

長寿命化対策は、施設の調査結果に基づいて施設の性能低下状況を評価し、対策の要否を判定する。対策が必要な場合は、対策後の施設や工法に求められる機能と性能、施設の使用環境条件、経済性等を踏まえて対策区分と対策工法の選定を行う。

【解説】

長寿命化対策の検討においては、施設の調査結果に基づいて、水路トンネルの水利用機能、水理機能、構造機能及び社会的機能の性能低下の状況を明らかにし、対策の要否を判断する。

水路トンネルの長寿命化対策の区分には、補修、補強、改修、更新があり、施設の性能低下状況（変状の発生要因や程度）に応じてこれらの中から適切な対策方針を選択することとなる。

対策を要する場合は、対策により回復又は向上が必要な施設性能に応じた適切な工法・材料の選定を行うことが重要である。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-2 「3.2 水路トンネルの機能と性能」	P.3-2 「3.2 水路トンネルの機能と性能」

3.2 水路トンネルの機能と性能

水路トンネルは、農業用用排水を送水する目的を有しており、その機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。また、これらの機能のほかに、農業水利施設全般に求められる安全性・信頼性等といった社会的機能がある。

水路トンネルの性能は、これらの機能を発揮する能力であり、ひび割れ幅、変形量などの個別の指標や総合的な健全度指標で管理する。

【解説】

水路トンネルは、必要な農業用用排水を送水するといった本来的機能と、農業施設全般に求められる安全性・信頼性等の社会的機能を有している。本来的機能は、水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。水理機能、構造機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある。

これらの機能を発揮する能力が性能である。水路トンネルの性能を管理する上で、それぞれの性能は具体的な指標として数値化できることが望ましい。水路トンネルの機能と性能及び指標の例を**表-3.2.1** に示す。

表-3.2.1 水路トンネルの機能と性能及び指標の例

機能		性能の例		指標の例
本来的機能	1）水利用機能	水利用に対する性能（水利用性能）	保守管理・保全性	保守管理頻度（費用）、容易性（補修等の難易度、用水の止水性及び排水性）、維持管理の安全性（酸素濃度、有毒ガス等）
	2）水理機能	水理に対する性能（水理性能）	通水性	通水量、漏水量、粗度係数、トンネルインバートの勾配、水位、水面動揺、掃流力（堆積物の流送）
	3）構造機能	構造に対する性能（構造性能）	力学的安全性 耐久性 安定性	ひび割れ幅、変形量、断面破壊に対する安全性、継目の開き、段差、摩耗量、鉄筋腐食量、湧水、地圧の有無、覆工背面空洞の有無、地山の地すべり・陥没、地山の風化度
社会的機能			安全性・信頼性 経済性 環境性	漏水・破損・地表面陥没事故履歴（率・件数）、補修履歴、建設費、維持管理経費、補修費、歴史・文化的価値、動物の生息場

（出典：農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」、平成 28 年 8 月、p.12）

3.2 水路トンネルの機能と性能

水路トンネルは、農業用用排水を送水する目的を有しており、その機能は水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。また、これらの機能のほかに、農業水利施設全般に求められる安全性・信頼性等といった社会的機能がある。

水路トンネルの性能は、これらの機能を発揮する能力であり、ひび割れ幅、変形量などの個別の指標や総合的な健全度指標で管理する。

【解説】

水路トンネルは、必要な農業用用排水を送水するといった本来的機能と、農業施設全般に求められる安全性・信頼性等の社会的機能を有している。本来的機能は、水利用機能、水理機能、構造機能に分類される。水理機能、構造機能は、水利用機能の発揮を支える関係にある。

これらの機能を発揮する能力が性能である。水路トンネルの性能を管理する上で、それぞれの性能は具体的な指標として数値化できることが望ましい。水路トンネルの機能と性能及び指標の例を**表-3.2.1** に示す。

表-3.2.1 水路トンネルの機能と性能及び指標の例

機能		性能の例		指標の例
本来的機能	1）水利用機能	水利用に対する性能（水利用性能）	保守管理・保全性	保守管理頻度（費用）、容易性（補修等の難易度、用水の止水性及び排水性）、維持管理の安全性（酸素濃度、有毒ガス等）
	2）水理機能	水理に対する性能（水理性能）	通水性	通水量、漏水量、粗度係数、トンネルインバートの勾配、水位、水面動揺、掃流力（堆積物の流送）
	3）構造機能	構造に対する性能（構造性能）	力学的安全性 耐久性 安定性	ひび割れ幅、変形量、断面破壊に対する安全性、継目の開き、段差、摩耗量、鉄筋腐食量、湧水、地圧の有無、覆工背面空洞の有無、地山の地すべり・陥没、地山の風化度
社会的機能			安全性・信頼性 経済性 環境性	漏水・破損・地表面陥没事故履歴（率・件数）、補修履歴、建設費、維持管理経費、補修費、歴史・文化的価値、動物の生息場

（出典：農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」、平成 28 年 8 月、P.12）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-4　「3.3　対策方針の検討」	**P.3-4　「3.3　対策方針の検討」**

そのため、一般に機能診断調査により構造機能の性能低下状況を評価することは、技術的、経済的に難しい場合が多く、前述する水利用機能・水理機能にも着目して、総合的に施設の性能低下状況を評価することが重要である。

本書では、水路トンネル内での作業環境の制約、調査の実行性や精度、対策工法の性能等を踏まえ、施設性能に支障を及ぼすと考えられる変状のうち、比較的簡易に確認可能な変状を対象にその発生の有無と程度により対策区分の検討を行うことを基本とし、その考え方を示す。詳細は、「**3.4.2　工法・材料の検討**」で解説する。

なお、既設トンネルを構造計算によって性能評価する場合において、造成当時の既設トンネルの諸元や地山の状態が不明で、評価に用いる定量的なデータが得られないことが想定される。また、覆工厚等は過去の施工例等を基に経験的に決められているものが多い。

構造耐力の算定に当たっては、対象トンネルの変状発生状態を適切に表現する必要があるため、調査によって得られた物理的指標を適用する。ここで物理的指標とは、材料強度、覆工厚、覆工背面空洞の有無と範囲、地山の弾性係数等土質定数、地山の緩み領域（又は土かぶり）、地下水位等を指す。調査によってこれらの情報が既に得られていれば使用する。なお、調査が困難な諸元については、施設の性能状態等を踏まえて適切な値を推測して使用するものとする。

設定した物理的指標による計算結果から、想定される荷重に対して施設が断面破壊しないこと等を確認するが、計算結果のみで性能状態を評価するのではなく、施設の外観上の発生変状や変形等の実際の施設状態や施設の使用状況等を踏まえて総合的に検討した上で評価する必要がある。

3）社会的機能の性能低下状況の評価

水路トンネルの社会的機能の性能項目には、事故の発生による人的被害や周辺施設への社会的影響から、崩落事故や補修歴を指標とする「安全性・信頼性」や、維持管理費、補修費等を指標とする「経済性」がある。これらの各性能の管理水準は、施設の崩壊等による社会的被害の影響を踏まえた施設の重要度（リスク）、施設管理体制等を踏まえた維持管理費軽減の必要性等を考慮して、あらかじめ、受益者、施設管理者、地域住民等の関係者と調整した上で施設ごとに決めておく必要がある。

当該施設に必要とされる各性能が管理水準を満たしているか否かについて、各機能診断調査の結果及び関係者の意向を踏まえて評価する。

なお、水路トンネルのリスクを加味した性能管理の手法については、「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成 28 年 8 月）で解説されているため、参照するものとする。

(2) 対策要否の判定

水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能の各性能に係る機能診断調査・評価結果を踏まえ、対策の要否あるいは継続監視の要否を判断する。

施設の重要度、残存予定供用期間、地区全体の長寿命化計画、経済性、施設管理者の意向等を総合的に評価して、計画的に対策を行うものか、早急に対策を行う必要があるものか等を決定する必要がある。

そのため、一般に機能診断調査により構造機能の性能低下状況を評価することは、技術的、経済的に難しい場合が多く、前述する水利用機能・水理機能にも着目して、総合的に施設の性能低下状況を評価することが重要である。

本書では、水路トンネル内での作業環境の制約、調査の実行性や精度、対策工法の性能等を踏まえ、施設性能に支障を及ぼすと考えられる変状のうち、比較的簡易に確認可能な変状を対象にその発生の有無と程度により対策区分の検討を行うことを基本とし、その考え方を示す。詳細は、「**3.4.2　工法・材料の検討**」で解説する。

なお、既設トンネルを構造計算によって性能評価する場合において、造成当時の既設トンネルの諸元や地山の状態が不明で、評価に用いる定量的なデータが得られないことが想定される。また、覆工厚等は過去の施工例等を基に経験的に決められているものが多い。

構造耐力の算定に当たっては、対象トンネルの変状発生状態を適切に表現する必要があるため、調査によって得られた物理的指標を適用する。ここで物理的指標とは、材料強度、覆工厚、覆工背面空洞の有無と範囲、地山の弾性係数等土質定数、地山の緩み領域（又は土かぶり）、地下水位等を指す。調査によってこれらの情報が既に得られていれば使用する。なお、調査が困難な諸元については、施設の性能状態等を踏まえて適切な値を推測して使用することとする。

設定した物理的指標による計算結果から、想定される荷重に対して施設が断面破壊しないこと等を確認するが、計算結果のみで性能状態を評価するのではなく、施設の外観上の発生変状や変形等の実際の施設状態や施設の使用状況等を踏まえて総合的に検討した上で評価する必要がある。

3）社会的機能の性能低下状況の評価

水路トンネルの社会的機能の性能項目には、事故の発生による人的被害や周辺施設への社会的影響から、崩落事故や補修歴を指標とする「安全性・信頼性」や、維持管理費、補修費等を指標とする「経済性」がある。これらの各性能の管理水準は、施設の崩壊等による社会的被害の影響を踏まえた施設の重要度（リスク）、施設管理体制等を踏まえた維持管理費軽減の必要性等を考慮して、あらかじめ、受益者、施設管理者、地域住民等の関係者と調整した上で施設ごとに決めておく必要がある。

当該施設に必要とされる各性能が管理水準を満たしているか否かについて、各機能診断調査の結果及び関係者の意向を踏まえて評価する。

なお、水路トンネルのリスクを加味した性能管理の手法については、「農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」」（平成 28 年 8 月）で解説されているため、参照すること。

(2) 対策要否の判定

水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能の各性能に係る機能診断調査・評価結果を踏まえ、対策の要否あるいは継続監視の要否を判断する。

施設の重要度、残存予定供用期間、地区全体の長寿命化計画、経済性、施設管理者の意向等を総合的に評価して、計画的に対策を行うものか、早急に対策を行う必要があるものか等を決定する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-5　「3.3　対策方針の検討」	**P.3-5　「3.3　対策方針の検討」**
1）水利用機能の性能低下に対する対策の要否判定の留意事項 機能診断調査（問診調査や流量の実測調査等）の結果、水利用機能の各性能において要求性能を満たしていない項目があった場合には、その性能低下が水管理手法の工夫などの運用面の改善により解決可能かどうかを検討した上で、補修や補強の対策が必要かどうかを判定するものとする。 **2）水理機能の性能低下に対する対策の要否判定の留意事項** 機能診断調査（流量の実測調査等）の結果、水理機能に関して要求性能を満たしていない項目が確認された場合には、以下の点に留意して改善策の検討を行うこと。 ・局所的な補修や補強を実施した結果、水路システム全体の機能やバランスに悪影響を及ぼす可能性がある。システム全体の整合性に十分配慮する必要がある。 ・水管理方式と流量制御の整合が適切に図られていない場合や、水需要パターン・必要水量の変化がある場合など、水利用機能と密接に関連する要因が存在する可能性がある。これらも併せて検討対象とするものとする。 **（3）対策の目的や区分の設定** 対策の目的は、構造上の欠陥（覆工背面の空洞等）や地圧に伴う力学的安全性（耐荷性）の向上等、施設の性能低下状況や使用環境条件、重要度等を踏まえて設定する。 対策の目的を踏まえて、対策区分の検討を行う。継続監視を除いた水路トンネルの長寿命化対策の種類には、補修、補強、改修がある。対策の水準は、施設の建設当初を基準として、これを上回る水準（性能向上）、これと同等の水準（性能回復）、これらを下回る水準（短期的性能回復・応急対策）がある。対策の目的に応じてこれらの中から適切な対策区分を選択する。ただし、第三者に影響を及ぼす可能性が高いなど、問題となる変状が認められた場合には、直ちに適切な応急措置を実施する必要がある。なお、施設の重要度と性能低下予測や崩落事故のリスクを検討した結果、事後保全を含めた「継続監視」が選択される場合もある。	**1）水利用機能の性能低下に対する対策の要否判定の留意事項** 機能診断調査（問診調査や流量の実測調査等）の結果、水利用機能の各性能において要求性能を満足していない項目があった場合、その性能低下が水管理手法の工夫等、運用面で解決可能かを検討した上で、補修・補強の要否を判定する。 **2）水理機能の性能低下に対する対策の要否判定の留意事項** 機能診断調査（流量の実測調査等）の結果、水理機能の要求性能を満足していない項目があった場合、以下のことに留意して改善策の検討を行う。 ・局所的な補修・補強対策を行った結果、水路システム全体に悪影響を及ぼすことがある。 ・水管理方式と流量制御の適切な整合が図られていない、水需要パターンの変化、必要水量の変化等、水利用機能と密接に関連するものがある。 **（3）対策の目的や区分の設定** 対策の目的は、構造上の欠陥（覆工背面の空洞等）や地圧に伴う力学的安全性（耐荷性）の向上等、施設の性能低下状況や使用環境条件、重要度等を踏まえて設定する。 対策の目的を踏まえて、対策区分の検討を行う。継続監視を除いた水路トンネルの長寿命化対策の種類には、補修、補強、改修がある。対策の水準は、施設の建設当初を基準として、これを上回る水準（性能向上）、これと同等の水準（性能回復）、これらを下回る水準（短期的性能回復・応急対策）がある。対策の目的に応じてこれらの中から適切な対策区分を選択する。ただし、第三者に影響を及ぼす可能性が高いなど、直ちに問題となる変状が認められた場合には適切な応急措置を実施する必要がある。なお、施設の重要度と性能低下予測や崩落事故のリスクを検討した結果、事後保全を含めた「継続監視」が選択される場合もある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-7 「3.4.1 設計・施工条件の整理」	**P.3-7** 「3.4.1 設計・施工条件の整理」

3.4.1 設計・施工条件の整理

工法選定や施工計画の検討に当たり、水路トンネルの性能、予定供用期間、設計・水理条件、用地上の制約、対策工事の実施可能時期・期間、維持管理の現状等の前提条件を整理する。

【解説】

(1) 長寿命化の対象となる性能と予定供用期間

対策工法の選定に当たっては、変状の発生要因、程度、進行性の有無を把握し、施設の影響度、予定供用期間、対策の水準等を踏まえ、対策の種類や範囲等の対策方針を概定する。

なお、補強・改修工法は、変状の程度や原因によって適用可能な工法が限定されることが多く、地山の状況や既設覆工構造、コンクリートのひび割れ状況や進行性、背面空洞の有無、湧水状況等の事前把握が重要となる。

(2) 設計・施工条件の整理

1) 構造検討条件

機能診断調査等の結果を整理して、施設の設計諸元、図面、施工記録、完成図書、地域特性、地山の特性、過去の診断履歴、事故・補修履歴等をとりまとめる。

水路トンネル構造、断面、平面・縦断線形は、竣工図等を基に整理するのが原則であるが、建設後に補修や補強工事が実施されていることもあるので、現地調査において竣工図等と実際の構造、断面等が異なることが確認された時には、測量等により現況施設の諸元を把握する。

建設時の設計図書を整理し、覆工形式、施工方法の分類、地山の地質状況等を把握する必要がある。

変状状態については、現時点の変状規模を確認の上、過去の診断履歴と比較して変状の進行性を把握することが重要である。

周辺状況から、建設時と異なる荷重条件（造成による切盛土）等が確認された場合には、変更内容を取りまとめるとともに、覆工に生じた変状との関連を把握し、関連性が認められた場合は、荷重条件の変化を構造検討に反映させる。

2) 水理条件

建設時の水理計算書から対策工法に必要な条件（設計流量、必要水位、粗度係数、各種損失水頭等）を整理するとともに、現状の施設状況（漏水量、湧水量、設計流量の増減等）を把握する必要がある。

対策工法によって通水断面が縮小する場合、所要の通水性が確保できる材料・工法の検討とともに、水理設計における照査が必要となる。

3) 対策工事の実施時期、期間

対策工法や材料の選定に当たっては、断水可能期間や最小水量等が制約条件となる。このため、通水期間・水量・水深等を施設管理者に確認し、対策の実施時期を決定する。

3.4.1 設計・施工条件の整理

工法選定や施工計画の検討に当り、水路トンネルの性能、予定供用期間、設計・水理条件、用地上の制約、対策工事の実施可能時期・期間、維持管理の現状等の前提条件を整理する。

【解説】

(1) 長寿命化の対象となる性能と予定供用期間

対策工法の選定に当たっては、変状の発生要因、程度、進行性の有無を把握し、施設の重要度、予定供用期間、対策の水準等を踏まえ、対策の種類や範囲等の対策方針を概定する。

なお、補強・改修工法は、変状の程度や原因によって適用可能な工法が限定されることが多く、地山の状況や既設覆工構造、コンクリートのひび割れ状況や進行性、背面空洞の有無、湧水状況等の事前把握が重要となる。

(2) 設計・施工条件の整理

1) 構造検討条件

機能診断調査等の結果を整理して、施設の設計諸元、図面、施工記録、完成図書、地域特性、地山の特性、過去の診断履歴、事故・補修履歴等をとりまとめる。

水路トンネル構造、断面、平面・縦断線形は、竣工図等を基に整理するのが原則であるが、建設後に補修や補強工事が実施されていることもあるので、現地調査において竣工図等と実際の構造、断面等が異なることが確認された時には、測量等により現況施設の諸元を把握する。

建設時の設計図書を整理し、覆工形式、施工方法の分類、地山の地質状況等を把握する必要がある。

変状状態については、現時点の変状規模を確認の上、過去の診断履歴と比較して変状の進行性を把握することが重要である。

周辺状況から、建設時と異なる荷重条件（造成による切盛土）等が確認された場合には、変更内容を取りまとめるとともに、覆工に生じた変状との関連を把握し、関連性が認められた場合は、荷重条件の変化を構造検討に反映させる。

2) 水理条件

建設時の水理計算書から対策工法に必要な条件（設計流量、必要水位、粗度係数、各種損失水頭等）を整理するとともに、現状の施設状況（漏水量、湧水量、設計流量の増減等）を把握する必要がある。

対策工法によって通水断面が縮小する場合、所要の通水性が確保できる材料・工法の検討とともに、水理設計における照査が必要となる。

3) 対策工事の実施時期、期間

対策工法や材料の選定に当たっては、断水可能期間や最小水量等が制約条件となる。このため、通水期間・水量・水深等を施設管理者に確認し、対策の実施時期を決定する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-9　「3.4.2　工法・材料の検討」	**P.3-9**　「3.4.2　工法・材料の検討」

3.4.2　工法・材料の検討

対象となる施設の変状や劣化要因に対して所要の性能を有する工法・材料を選定する。

【解説】

水路トンネルの長寿命化対策の主な目的は、覆工コンクリートに生じている変状に対する通水性、耐久性、耐荷性の回復又は向上と、覆工コンクリートに生じている、若しくは生じる可能性のある劣化因子の抑制又は遮断である。

水路トンネルに長寿命化対策を適用する場合は、対象となる施設又は部位の性能や設計・施工条件、対策工法の特性等を踏まえ、変状や劣化要因に対して所要の性能を有する工法・材料を適切に選定する必要がある。

長寿命化対策の材料・工法に係る要求性能とその性能が確保されていることを照査するための方法については、各工法等（第４章～第 11 章）の「**要求性能、性能照査**」を、性能照査の一環として行う水理設計や構造設計の方法については、各工法等（第４章～第 11 章）の「**水理設計**」（第５章を除く）、「**構造設計**」を、対策工法の特性については、各工法（第５章～第 11 章）の「**工法概要**」を各々参照するものとする。

また、長寿命化対策は、その工法の性質上、施設に発生している変状や施設の線形などによって制約を受けるため、適用可能な施工条件が限定される。

これらを踏まえ、**図-3.4.2-1** に水路トンネルに適用する長寿命化対策の工法選定フロー図を示す。

なお、耐久性・耐荷性の回復又は向上を目的とする対策工法は、ひび割れの変状レベルに応じて適用性が異なる。**図-3.4.2-1** に示したひび割れの変状レベルは、**表-3.4.2-1** に示す判定レベルに対応している。**表-3.4.2-1** に示すひび割れ規模（幅や長さ）の判定レベルは、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】、日本道路協会、令和２年８月、p.184」を参考として設定したものである。この表は判定の目安として示したものであるから、機械的に適用するのではなく、現場の状況に応じて判定を行うことが望ましい。

3.4.2　工法・材料の検討

対象となる施設の変状や劣化要因に対して所要の性能を有する工法・材料を選定する。

【解説】

水路トンネルの長寿命化対策の主な目的は、覆工コンクリートに生じている変状に対する通水性、耐久性、耐荷性の回復又は向上と、覆工コンクリートに生じている、若しくは生じる可能性のある劣化因子の抑制又は遮断である。

水路トンネルに長寿命化対策を適用する場合は、対象となる施設又は部位の性能や設計・施工条件、対策工法の特性等を踏まえ、変状や劣化要因に対して所要の性能を有する工法・材料を適切に選定する必要がある。

長寿命化対策の材料・工法に係る要求性能とその性能が確保されていることを照査するための方法については、各工法等（第４章～第 10 章）の「**要求性能、性能照査**」を、性能照査の一環として行う水理設計や構造設計の方法については、各工法等（第４章～第 10 章）の「**水理設計**」（第５章を除く）、「**構造設計**」を、対策工法の特性については、各工法（第５章～第 10 章）の「**工法概要**」を各々参照すること。

また、長寿命化対策は、その工法の性質上、施設に発生している変状や施設の線形などによって制約を受けるため、適用可能な施工条件が限定される。

これらを踏まえ、**図-3.4.2-1** に水路トンネルに適用する長寿命化対策の工法選定フロー図を示す。

なお、耐久性・耐荷性の回復又は向上を目的とする対策工法は、ひび割れの変状レベルに応じて適用性が異なる。**図-3.4.2-1** に示したひび割れの変状レベルは、**表-3.4.2-1**、**表-3.4.2-2**、**表-3.4.2-3** に示す判定レベルに対応している。**表-3.4.2-2** と**表-3.4.2-3** は無筋コンクリート覆工のひび割れ規模（幅や長さ）の判定レベルを示す。

ひび割れの進行性については、過去の調査結果等を参考に判定するものとするが、ひび割れの進行性が不明な場合は**表-3.4.2-2** の判定レベルを適用し、ひび割れの進行性が確認された場合は**表-3.4.2-3** の判定レベルを適用する。これらの表は判定の目安として示したものであるから、機械的に適用するのではなく、現場の状況に応じて判定を行うことが望ましい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.3-11　「3.4.2　工法・材料の検討」

表-3.4.2-1　水路トンネルの構造的な安定性の判定レベル（例）

判定レベル	施設の状態
Ⅰ-5	・変状がほとんど生じていない状態、又は生じていても軽微で、措置を必要としない状態 ・ひび割れ幅が軽微で継続的に外力が作用している可能性が低く、ひび割れの進行が確認できないもの （ひび割れ幅 0.2mm 未満）
Ⅰ-4	・天端若しくは側壁にひび割れが発生している状態 （ひび割れ幅 0.2mm～1.0mm 未満） ・施工時の温度応力等による横断ひび割れが発生している状態 ・ひび割れの程度は Ⅰ-3 に該当しないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性がある状態
Ⅰ-3	・天端若しくは側壁にひび割れが発生しており、ひび割れは開口する傾向にある状態 （ひび割れ幅 1.0mm 以上） ・インバートひび割れや継目の開口が生じている状態 ・ひび割れ幅 3mm 以上かつ長さ 5m 以上のひび割れが確認された場合、又はひび割れ幅 3mm 以上でひび割れの進行が確認された場合 ・ひび割れ幅は 3mm 未満であるが、ひび割れの進行が認められ、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態 （地山条件や周辺のひび割れ発生状況等から、継続的な外力の作用の可能性がある場合） ・ひび割れが密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
Ⅰ-2	・天端や側壁に段差のあるひび割れが発生している状態 ・圧ざや食い違いあるいはインバートの盤膨れが発生しており、施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態 ・ひび割れ幅 5mm 以上かつ長さ 10m 以上のひび割れが確認された場合、又はひび割れ幅 3mm 以上かつ長さ 5m 以上でひび割れの進行が確認された場合 ・ひび割れが大きく密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している状態 ・緊急に対策を講じる必要がある状態

（注 1）連続したひび割れ内で幅が変化する場合は、最大幅を当該ひび割れの幅とすることが望ましい。
（注 2）覆工パレルをまたがる連続したひび割れは、覆工パレルをまたがって計測される長さを当該ひび割れの長さとする（覆工パレルごとのひび割れ長さでは評価しない）。
（注 3）（　）内の数値は鉄筋コンクリート覆工におけるひび割れ幅を表す。
（農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」平成 28 年 8 月、p.82 を改変して転載）

（1）無筋コンクリート覆工のひび割れ判定上の留意点

1）覆工耐荷力への影響

表-3.4.2-1 のひび割れは、縦断方向ひび割れ、あるいは引張ひび割れを念頭においており、横断方向ひび割れについては、ひび割れの発生原因や進行性を考慮して適宜判断する。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.3-11　「3.4.2　工法・材料の検討」

表-3.4.2-1　水路トンネルの構造的な安定性の判定レベル（例）

判定レベル	施設の状態
Ⅰ-5	・変状がほとんど生じていない状態、又は生じていても軽微で、措置を必要としない状態 （ひび割れ幅 0.2mm 未満）
Ⅰ-4	・天端若しくは側壁にひび割れが発生している状態 （ひび割れ幅 0.2mm～1.0mm 未満） ・施工時の温度応力等による横断ひび割れが発生している状態 ・ひび割れの進行が認められないが、将来的に構造物の機能が低下する可能性がある状態
Ⅰ-3	・天端若しくは側壁にひび割れが発生しており、ひび割れは開口する傾向にある状態 （ひび割れ幅 1.0mm 以上） ・インバートひび割れや継目の開口が生じている状態 ・ひび割れの進行が認められ、予防保全の観点から計画的に対策を必要とする状態 ・ひび割れが密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下しているため、早期に対策を講じる必要がある状態
Ⅰ-2	・天端や側壁に段差のあるひび割れが発生している状態 ・圧ざや食い違いあるいはインバートの盤膨れが発生しており、施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態 ・ひび割れが大きく密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が著しく低下している状態 ・緊急に対策を講じる必要がある状態

＊（　）内の数値は鉄筋コンクリート覆工におけるひび割れ幅を表す。
（農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」平成 28 年 8 月、P.82 を改変して転載）

表-3.4.2-2 無筋コンクリート覆工におけるひび割れの進行の有無が確認できない場合の判定レベル（例）

対象箇所	ひび割れ 幅 (注1) 5mm 以上	ひび割れ 幅 (注1) 3mm 以上 5mm 未満	ひび割れ 幅 (注1) 3mm 未満	ひび割れ 長さ (注2) 10m 以上	ひび割れ 長さ (注2) 5m 以上 10m 未満	ひび割れ 長さ (注2) 5m 未満	判定レベル
覆工			○	○	○	○	I-3、I-4、I-5 (注3)
		○				○	I-3、I-4
		○			○		I-3
		○		○			I-3
	○					○	I-3、I-4 (注4)
	○				○		I-3
	○			○			I-2

（注 1）連続したひび割れ内で幅が変化する場合は、最大幅を当該ひび割れの幅とすることが望ましい。
（注 2）覆工パレルをまたがる連続したひび割れは、覆工パレルをまたがって計測される長さを当該ひび割れの長さとする（覆工パレルごとのひび割れ長さでは評価しない）。
（注 3）3mm 未満のひび割れ幅の場合の判定例を以下に示す。
I-4、I-5　：ひび割れが軽微で継続的に外力が作用している可能性が低く、ひび割れに進行が確認できないもの。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-12 「3.4.2 工法・材料の検討」	P.3-12 「3.4.2 工法・材料の検討」

アーチ・側壁部にある水平打継ぎ目の段差、あるいは段差のあるひび割れの発生及び不同沈下による変状等は、トンネルの構造安定性を低下させる前兆である。これらの変状現象が確認された場合は、対策の緊急性が高い変状として判定する必要がある。

2）複数のひび割れに対する判定

表-3.4.2-1 の適用に当たり、ひび割れが複数ある場合は、最大の幅を有するひび割れの最大長を対象とする。また、ひび割れが密集している場合で、幅 0.3mm 以上のひび割れ密度が 20cm/m^2 以上の場合は、変状の原因を考慮しながら 1 ランク下げるか、判定区分の中の低いランクを採用することも検討する。ただし、ひび割れ密度が 20cm/m^2 未満の場合でも、局部的にひび割れが密集している場合は、1 ランク下げることも検討する。ここで、ひび割れ密度とは、調査対象とした覆工パレルの内、視認できる覆工表面の範囲内にある幅 0.3mm 以上のひび割れの総延長を視認できる範囲の表面積で除したものである。

3）不規則なひび割れ等

不規則なひび割れや放射状のひび割れが確認された箇所は、集中的な緩み圧が作用している可能性があり、覆工巻厚の不足を伴う場合、突発性崩壊につながる可能性が懸念される。このような変状が確認された箇所については、必要に応じて追加調査を実施し、原因を把握した上で判定するのが望ましい。

4）引張ひび割れ

引張ひび割れの延長が 10m 以上で、かつ段差がある又は幅が 5mm 以上ある場合には、判定のランクダウンを検討する。

5）せん断ひび割れ、圧ざ

圧ざが確認された箇所は過大な外力が作用していると考えられる。このような変状が確認された箇所は緊急に対策を講じる必要がある。また、せん断ひび割れや圧ざに至る兆候と考えられる圧縮に伴うひび割れが確認された場合は、早期に対策を講じる必要がある。

（2）地圧の種類とひび割れパターン

図-3.4.2-2 に塑性圧によるひび割れパターンを、**図-3.4.2-3** に緩み圧によるひび割れパターンを、また**図-3.4.2-4** に偏圧によるひび割れパターンを示す。

I-3 ：地山条件や周辺のひび割れ発生状況等から、継続的な外力の作用の可能性がある場合。ひび割れが密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下している状況。なお、地山条件や周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用が明らかに認められる場合は、その影響を考慮して判定を行うのが望ましい。

（注 4）ひび割れ幅が 5mm 以上でひび割れ長さが 5m 未満の場合は、ひび割れの発生位置や発生原因を考慮して、判定を行う。

（道路トンネル維持管理便覧【本体工編】日本道路協会、平成 27 年 6 月、P.202 を改変して転載）

表-3.4.2-3 無筋コンクリート覆工におけるひび割れの進行が確認された場合の判定レベル（例）

対象箇所	ひび割れ				判定レベル
	幅		長さ		
	3mm 以上	3mm 未満	5m 以上	5m 未満	
覆工		○	○	○	I-3、I-4 (注1)
	○			○	I-3
	○		○		I-2

（注 1）3mm 未満のひび割れ幅の場合の判定例を以下に示す。

I-4 ：I-3 に該当しないひび割れがあり、将来的に構造物の機能が低下する可能性があるもの。

I-3 ：地山条件や周辺のひび割れ発生状況等から、継続的な外力の作用の可能性がある場合。ひび割れが密集している、又はせん断ひび割れ等があり、構造物の機能が低下している状況。なお、地山条件や周辺のひび割れ発生状況等から、外力の作用が明らかに認められる場合は、その影響を考慮して判定を行うのが望ましい。

（道路トンネル維持管理便覧【本体工編】日本道路協会、平成 27 年 6 月、P.203 を改変して転載）

（1）無筋コンクリート覆工のひび割れ判定上の留意点

1）覆工耐荷力への影響

表-3.4.2-2 及び**表-3.4.2-3** のひび割れは、縦断方向ひび割れ、あるいは引張ひび割れを念頭においており、横断方向ひび割れについては、ひび割れの発生原因や進行性を考慮して適宜判断する。

アーチ・側壁部にある水平打継ぎ目の段差、あるいは段差のあるひび割れの発生、及び不同沈下による変状等は、トンネルの構造安定性を低下させる前兆である。これらの変状現象が確認された場合は、対策の緊急性が高い変状として判定する必要がある。

2）複数のひび割れに対する判定

表-3.4.2-2 及び**表-3.4.2-3** の適用にあたり、ひび割れが複数ある場合は、最大の幅を有するひび割れの最大長を対象とする。また、ひび割れが密集している場合で、幅 0.3mm 以上のひび割れ密度が 20cm/m^2 以上の場合は、変状の原因を考慮しながら 1 ランク下げるか、判定区分の中の低いランクを採用することも検討する。ただし、ひび割れ密度が 20cm/m^2 未満の場合でも、局部的にひび割れが密集している場合は、1 ランク下げることも検討する。ここで、ひび割れ密度とは、調査対象とした覆工パレルの内、視認できる覆工表面の範囲内にある幅 0.3mm 以上のひび割れの総延長を視認できる範囲の表面積で除したものである。

3）不規則なひび割れ等

不規則なひび割れや放射状のひび割れが確認された箇所は、集中的な緩み圧が作用している可能性があり、覆工巻厚の不足を伴う場合、突発性崩壊につながる可能性が懸念される。このよう

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-13 「3.4.2 工法・材料の検討」	P.3-13 「3.4.2 工法・材料の検討」

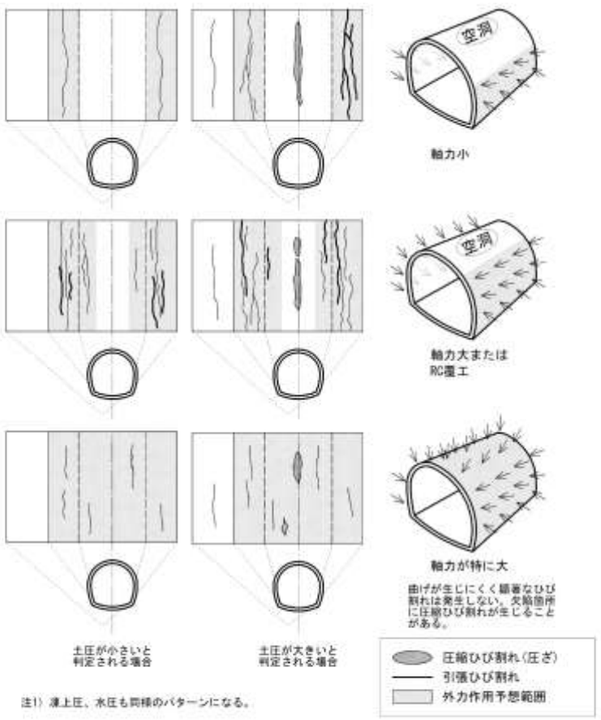


図-3.4.2-2 塑性圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、p.IV-8 を改変して転載）

な変状が確認された箇所については、必要に応じて追加調査を実施し、原因を把握した上で判定するのが望ましい。

4）引張ひび割れ

引張ひび割れの延長が 10m 以上で、かつ段差がある又は幅が 5mm 以上ある場合には、判定のランクダウンを検討する。

5）せん断ひび割れ、圧ざ

圧ざが確認された箇所は過大な外力が作用していると考えられる。このような変状が確認された箇所は緊急に対策を講じる必要がある。また、せん断ひび割れや圧ざに至る兆候と考えられる圧縮に伴うひび割れが確認された場合は、早期に対策を講じる必要がある。

(2) 地圧の種類とひび割れパターン

図-3.4.2-2 に塑性圧によるひび割れパターンを、図-3.4.2-3 に緩み圧によるひび割れパターンを、また図-3.4.2-4 に偏圧によるひび割れパターンを示す。

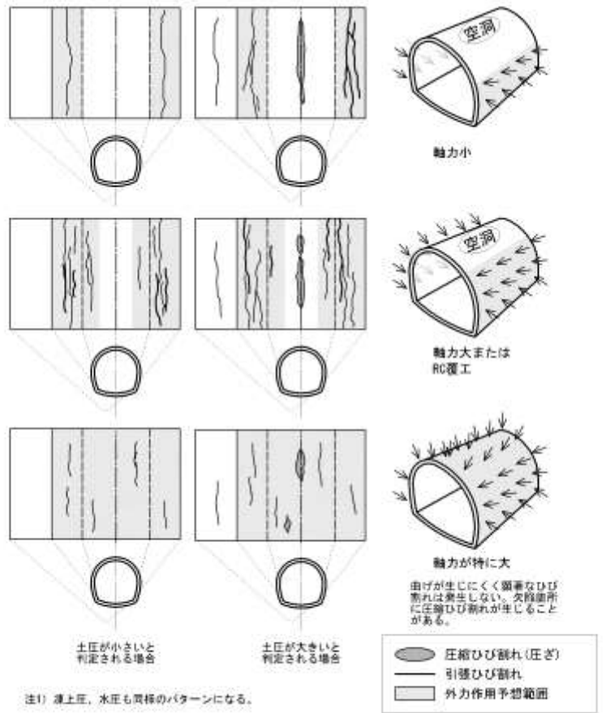


図-3.4.2-2 塑性圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、P.IV-8 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-14　「3.4.2　工法・材料の検討」	P.3-14　「3.4.2　工法・材料の検討」

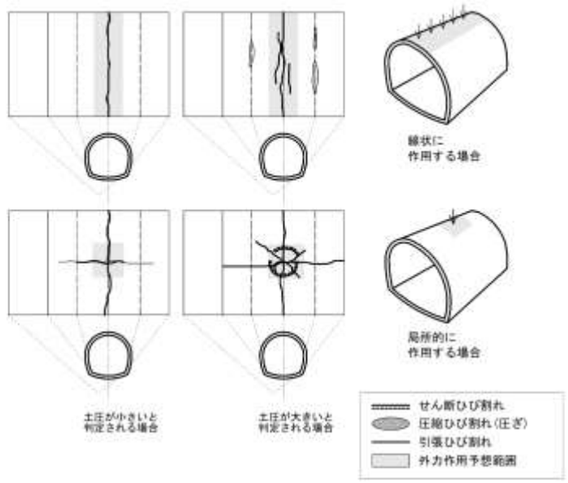


図-3.4.2-3　緩み圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、p.Ⅳ-14 を改変して転載）

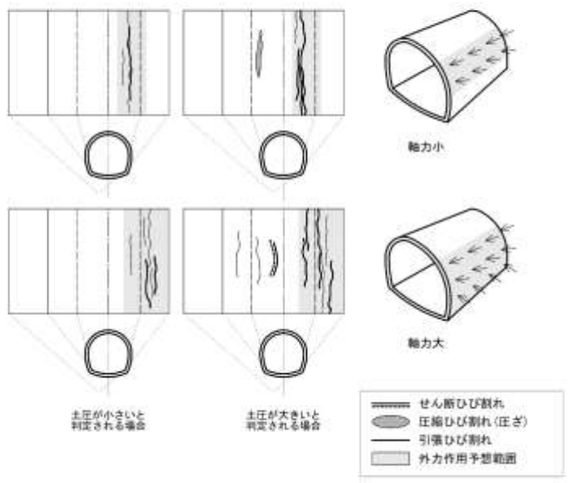


図-3.4.2-4　偏圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、p.Ⅳ-11 を改変して転載）

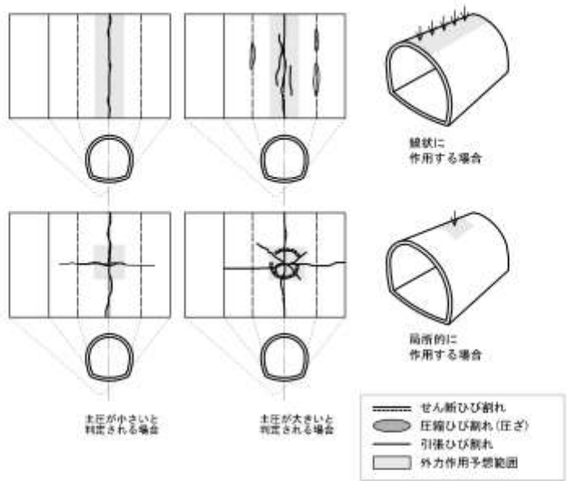


図-3.4.2-3　緩み圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、P.Ⅳ-14 を改変して転載）

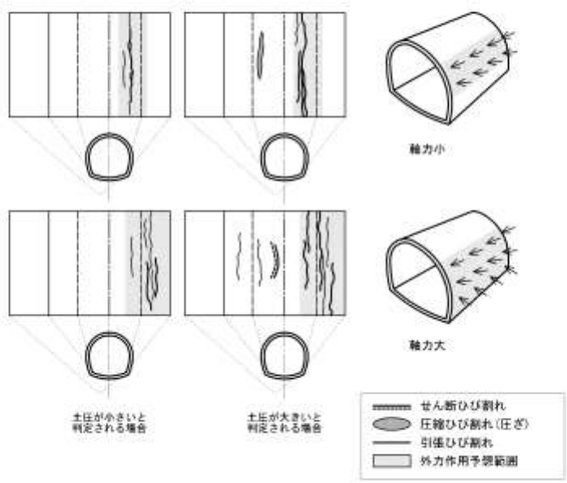


図-3.4.2-4　偏圧によるひび割れパターン図

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、P.Ⅳ-11 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-15 「3.4.3 対策工法選定の留意事項」	P.3-15 「3.4.3 対策工法選定の留意事項」

3.4.3 対策工法選定の留意事項

対策工法の選定に当たっては、対策工事に要求する性能（期待される耐用期間、強度など）だけではなく、水路の断水又は減水時期や期間、当該工法の劣化の特性、施工性、仮設の規模、経済性、維持管理の容易さ、環境との調和への配慮など、総合的な判断を行うことが必要である。

【解説】

水路トンネルの対策工法の選定に当たっては、以下の事項に留意しなければならない。なお、これらの事項の詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」技術書（平成 26 年 7 月）p.559 を参照されたい。

① 既存施設の設計条件等、基本的な設計思想を踏まえた検討
② 多様な劣化要因の存在
③ 既設と異なる断面等で計画する場合の検討
④ 十分な調査実施の必要性
⑤ 施工性、維持管理性の確保
⑥ 工事期間中に対する検討
⑦ 文化的価値への配慮
⑧ 環境との調和への配慮
⑨ 地下水への影響
⑩ 新技術の適用

トンネル変状に対する対策工の選定に当たっては、変状の状況、変状原因、トンネルの環境条件、構造条件、水理条件等を十分考慮して、合理的かつ効率的な計画を立案する必要がある。変状現象に基づく対策工法選定の標準的な考え方を**表-3.4.3-1** に示す。

3.4.3 対策工法選定の留意事項

対策工法の選定に当たっては、対策工事に要求する性能（期待される耐用期間、強度など）だけではなく、水路の断水又は減水時期や期間、当該工法の劣化の特性、施工性、仮設の規模、経済性、維持管理の容易さ、環境との調和への配慮など、総合的な判断を行うことが必要である。

【解説】

水路トンネルの対策工法の選定に当たっては、以下の事項に留意しなければならない。なお、これらの事項の詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」技術書（平成 26 年 7 月）P.559 を参照されたい。

① 既存施設の設計条件等、基本的な設計思想を踏まえた検討
② 多様な劣化要因の存在
③ 既設と異なる断面等で計画する場合の検討
④ 十分な調査実施の必要性
⑤ 施工性、維持管理性の確保
⑥ 工事期間中に対する検討
⑦ 文化的価値への配慮
⑧ 環境との調和への配慮
⑨ 地下水への影響
⑩ 新技術の適用

トンネル変状に対する対策工の選定に当たっては、変状の状況、変状原因、トンネルの環境条件、構造条件、水理条件等を十分考慮して、合理的かつ効率的な計画を立案する必要がある。変状現象に基づく対策工法選定の標準的な考え方を**表-3.4.3-1** に示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-16 「3.4.3 対策工法選定の留意事項」	P.3-16 「3.4.3 対策工法選定の留意事項」

表-3.4.3-1 変状現象と対策工法適用のポイント

変状現象	対策工法	対策工法適用のポイント
材質の劣化	補強・改修工法	・既設トンネル覆工の耐力が不足する又は不足するおそれのある場合
	表面処理工法	・表面からの劣化因子の侵入を防止する場合
ひび割れ	補強・改修工法	・補修工法だけでは、既設トンネル覆工の耐力を回復することが困難な場合
	裏込注入工法	・覆工背面の空洞がひび割れの原因と考えられる場合 ・覆工の耐力向上のために必要と判断される場合
	ひび割れ補修工法	・ひび割れが交錯し剥落するおそれがある場合 ・ひび割れ周辺の劣化を防止する場合 ・補修・補強工法の下地処理として行う場合
	水抜き工法	・外水圧がひび割れの原因と判断される場合
剥離・剥落	補強・改修工法	・剥離・剥落の進行が著しく、補修工法だけでは既設トンネル覆工の耐力を回復することが困難な場合
	断面修復工法	・剥落箇所の断面を復元することで覆工の耐久性が回復する、又は、耐力の低下が防止されると判断される場合
変　形	補強・改修工法	・変形を伴う変状の進行が著しく、補修工法だけでは既設トンネル覆工の耐力の回復が困難な場合
	裏込注入工法	・覆工背面の空洞が変形の原因と考えられる場合 ・覆工の耐力向上のために必要と判断される場合
	水抜き工法	・外水圧が変形の原因と判断される場合
摩耗・洗掘	断面修復工法	・洗掘により巻厚が不足する場合
	表面処理工法	・摩耗による粗度の低下を回復する又は防止する場合 ・摩耗・洗掘による巻厚の減少を防止する場合
湧水 漏水 地山の吸出し	裏込注入工法	・トンネル周囲の透水性を低下させる必要がある場合
	断面修復工法	・断面欠損箇所からの湧水（漏水）を防止する場合 ・裏込注入材のリークを防止する場合
	ひび割れ補修工法	・ひび割れ箇所や目地からの湧水（漏水）を防止する場合
	水抜き工法 (注1)	・地下水位が高く、覆工に過大な外水圧が作用するおそれがある場合
	導水対策工法 (注2)	・補修・補強・改修工法の下地処理として、湧水（漏水）の導水対策を施す場合

（注1）ウィープホール等の水抜工がこれに該当する。

（注2）補修・補強の前処理としてひび割れや目地等から湧水がある場合に行う導水対策工がこれに該当する。

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」平成26年7月、p.562 を改変して転載）

表-3.4.3-1 変状現象と対策工法適用のポイント

変状現象	対策工法	対策工法適用のポイント
材質の劣化	補強・改修工法	・既設トンネル覆工の耐力が不足する、又は、不足するおそれのある場合。
	表面処理工法	・覆工の材質劣化を防止する場合
ひび割れ	補強・改修工法	・補修工法だけでは、既設トンネル覆工の耐力を回復することが困難な場合。
	裏込注入工法	・覆工背面の空洞がひび割れの原因と考えられる場合。 ・覆工の耐力向上のために必要と判断される場合。
	ひび割れ補修工法	・ひび割れが交錯し剥落するおそれがある場合。 ・ひび割れ周辺の劣化を防止する場合。 ・補修・補強工法の下地処理として行う場合。
	水抜き工法	・外水圧がひび割れの原因と判断される場合。
剥離・剥落	補強・改修工法	・剥離・剥落の進行が著しく、補修工法だけでは既設トンネル覆工の耐力を回復することが困難な場合。
	断面修復工法	・剥落箇所の断面を復元することで覆工の耐久性が回復する、又は、耐力の低下が防止されると判断される場合。
変　形	補強・改修工法	・変形を伴う変状の進行が著しく、補修工法だけでは既設トンネル覆工の耐力の回復が困難な場合。
	裏込注入工法	・覆工背面の空洞が変形の原因と考えられる場合。 ・覆工の耐力向上のために必要と判断される場合。
	水抜き工法	・外水圧が変形の原因と判断される場合。
摩耗・洗掘	断面修復工法	・洗掘により巻厚が不足する場合。
	表面処理工法	・摩耗による粗度の低下を回復、又は、防止する場合。 ・摩耗・洗掘による巻厚の減少を防止する場合。
湧水 漏水 地山の吸出し	裏込注入工法	・トンネル周囲の透水性を低下させる必要がある場合。
	断面修復工法	・断面欠損箇所からの湧水（漏水）を防止する場合。 ・裏込注入材のリークを防止する場合。
	ひび割れ補修工法	・ひび割れ箇所や目地からの湧水（漏水）を防止する場合。
	水抜き工法 (注1)	・地下水位が高く、覆工に過大な外水圧が作用するおそれがある場合。
	導水対策工法 (注2)	・補修・補強・改修工法の下地処理として、湧水（漏水）の導水対策を施す場合。

（注1）ウィープホール等の水抜工がこれに該当する。

（注2）補修・補強の前処理としてひび割れや目地等から湧水がある場合に行う導水対策工がこれに該当する。

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」平成26年7月、P.562 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.3-17 「3.4.4 その他」	P.3-17 「3.4.4 その他」

3.4.4 その他

対策工法の選定に当たっては、経済性や周辺環境に配慮することが重要である。また、近年開発された技術で施工実績がないため本書で対象としていない新技術や、既往の対策工法の活用も含めて検討することが望ましい。

【解説】

(1) 経済性に優れる対策工法選定

対策工法は、イニシャルコストだけでなく対策後の施設の耐用期間を考慮して、適用性が高いと判断される複数工法の中から施設のライフサイクルコストが最も低減できる工法を選定する。

(2) 周辺環境に配慮した対策工法選定

対策工法は、流下する水や地下水等の水質への影響、宅地部では作業時等の騒音及び有機溶剤臭の発生等、周辺環境に配慮して選定する必要がある。

(3) 既往の対策工法の適用について

「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）」には、本書の対象工法以外の対策工法についても記載されている。近年において施工実績がない対策工法についても、適用可能な場合は、それらも含め検討することが望ましい。

(4) 新技術の適用について

近年、機能診断や施設の補修・補強に係る新技術が多数開発、提案されている。施設を効率的に長寿命化するためには、これらの技術の現場適用性や期待される耐用期間等について適切に評価を行うことが重要である。また、類似工法や調査機器の検証及び適用事例を参考にすることや、必要に応じて学識経験者等に意見を求めることが望ましい。

新技術を採用する場合は、構造物の立地環境や施工状況に応じた試験施工の実施や施工事例に関する情報収集と検討を行い、施工性や対策工法の効果・信頼性を確認することが必要である。

3.4.4 その他

対策工法の選定に当たっては、経済性や周辺環境に配慮することが重要である。また、近年施工実績がないため本書で対象としていない対策工法や新技術の活用も含め慎重に検討することが望ましい。

【解説】

(1) 経済性に優れる対策工法選定

対策工法は、イニシャルコストだけでなく対策後の施設の耐用期間を考慮して、適用性が高いと判断される複数工法の中から施設のライフサイクルコストが最も低減できる工法を選定する。

(2) 周辺環境に配慮した対策工法選定

対策工法は、流下する水や地下水等の水質への影響、宅地部では作業時等の騒音及び有機溶剤臭の発生等、周辺環境に配慮して選定する必要がある。

(3) 既設対策工法の適用について

土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」技術書には、本書の対象工法以外の対策工法についても記載されている。近年において施工実績がない対策工法についても、適用可能な場合は、それらも含め検討することが望ましい。

(4) 新技術の適用について

近年、機能診断や施設の補修・補強に係る新技術が多数開発、提案されている。施設を効率的に長寿命化するためには、これらの技術の現場適用性や期待される耐用期間等について適切に評価を行うことが重要である。また、類似工法や調査機器の検証及び適用事例を参考にすることや、必要に応じて学識経験者等に意見を求めることが望ましい。

新技術を採用する場合は、構造物の立地環境や施工状況に応じた試験施工を行い、施工性や対策工法の効果・信頼性を確認する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-1　「4.1　水路トンネルの補修工法」

第４章　対策工法の共通事項

4.1　水路トンネルの補修工法

補修工法の選定に当たっては、変状原因を明らかにし、変状の程度と範囲を把握した上で、通水性、耐久性、安全性、経済性を十分に考慮して対策工法を選定する。

【解説】

表-4.1.1 に補修工法の主な目的と適用条件を示す。

なお、覆工コンクリートの補修工法のうち、表面処理工法、ひび割れ補修工法、断面修復工法及び目地補修工法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編」（令和５年３月）を適用できる。裏込注入工法以外の補修工法の「**工法概要**」、「**要求性能、性能照査**」、「**施工**」、「**施工管理と完成検査**」、「**モニタリング**」については、同マニュアルを参照されたい。

併せて、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年７月）も参考とされたい。

表-4.1.1　補修工法の目的と適用条件

工　法	目　的	適用条件
表面処理工法	・水理性能の低下を改善する。 ・劣化因子の侵入を防止する。	・摩耗が進行して水理性能を確保できない場合 ・表面から劣化因子が侵入するおそれがある場合
ひび割れ補修工法	・ひび割れにより覆工コンクリートの耐力や水密性が低下するのを防止する。 ・鉄筋コンクリートでは鉄筋の腐食を防止する。	・ひび割れがブロック化するおそれがある場合 ・漏水の原因となる場合
断面修復工法	・断面欠損箇所や、劣化したコンクリートを除去した箇所の断面を復元し、覆工耐力の低下を防止する。 ・裏込注入材のリークを防止する。	・断面欠損が覆工耐力の低下を招くおそれがある場合 ・断面欠損部から地山が露出している又は露出するおそれがある場合 ・裏込注入工実施区間
裏込注入工法	・地圧を覆工全体に分布させ、過大な曲げ応力の発生を防止する。 ・覆工背面の地山の崩落を防止する。 ・湧水及び漏水を抑制する。	・覆工背面の空洞が原因で変状が発生している場合又は発生するおそれがある場合 ・覆工が注入圧に耐える ・湧水の状況は注入が可能な程度である
目地補修工法	・目地材の劣化、脱落などによる漏水を抑制する。 ・施工目地からの湧水及び漏水を抑制する。 ・目地周縁の劣化したコンクリート耐力や水密性が低下するのを防止する。	・漏水が著しく水利用性能を確保できない場合 ・湧水の状況に応じ導水対策を併用する必要がある ・目地周縁の劣化範囲が大きい場合は断面修復工法を併用する必要がある

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.4-1　「4.1　水路トンネルの補修工法」

第４章　対策工法の共通事項

4.1　水路トンネルの補修工法

補修工法の選定に当たっては、変状原因を明らかにし、変状の程度と範囲を把握した上で、通水性、耐久性、安全性、経済性を十分に考慮して対策工法を選定する。

【解説】

表-4.1.1 に補修工法の主な目的と適用条件を示す。

なお、覆工コンクリートの補修工法のうち、表面処理工法、ひび割れ補修工法、断面修復工法及び目地補修工法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年４月）を適用できる。裏込注入工法以外の補修工法の「**工法概要**」、「**要求性能、性能照査**」、「**施工**」、「**施工管理と完成検査**」、「**モニタリング**」については、同マニュアルを参照されたい。

併せて、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年７月）も参考とされたい。

表-4.1.1　補修工法の目的と適用条件

工　法	目　的	適用条件
表面処理工法	・水理性能の低下を改善する。 ・コンクリート表面の劣化が内部に進行するのを防止する。	・水理性能を確保できない場合。 ・摩耗が進行するおそれがある場合。
ひび割れ補修工法	・ひび割れにより覆工コンクリートの耐力や水密性が低下するのを防止する。 ・鉄筋コンクリートでは鉄筋の腐食を防止する。	・ひび割れがブロック化するおそれがある場合。 ・漏水の原因となる場合。
断面修復工法	・断面欠損箇所や、劣化したコンクリートを除去した箇所の断面を復元し、覆工耐力の低下を防止する。 ・裏込注入材のリーク防止	・断面欠損が覆工耐力の低下を招くおそれがある場合。 ・断面欠損部から地山が露出している、又は露出するおそれがある場合。 ・裏込注入工実施区間
裏込注入工法	・地圧を覆工全体に分布させ、過大な曲げ応力の発生を防止する。 ・覆工背面の地山の崩落を防止する。 ・湧水及び漏水を抑制する。	・覆工背面の空洞が原因で変状が発生している場合、又は発生するおそれがある場合。 ・覆工が注入圧に耐える。 ・湧水の状況は注入が可能な程度である。
目地補修工法	・目地材の劣化、脱落などによる漏水を抑制する。 ・施工目地からの湧水及び漏水を抑制する。 ・目地周縁の劣化したコンクリート耐力や水密性が低下するのを防止する。	・漏水が著しく水利用性能を確保できない場合。 ・湧水の状況に応じ導水対策を併用する必要がある。 ・目地周縁の劣化範囲が大きい場合は断面修復工法を併用する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-2 「4.2 水路トンネルの補強・改修工法」	P.4-2 「4.2 水路トンネルの補強・改修工法」

4.2 水路トンネルの補強・改修工法

補強・改修工法の選定に当たっては、変状原因を明らかにし、変状の程度と範囲及び進行性を把握した上で、通水性、耐久性、安全性、経済性を十分に考慮して対策工法を選定する。

【解説】

水路トンネルの構造安定性を確保するための補強対策には、変状原因を水路トンネルの外から直接取り除く工法と、水路トンネルの耐荷力を向上させる工法がある。前者は、土かぶりが浅いトンネルのように変状原因を直接取り除くことが可能な場合には有効であるが、一般には非効率となることが多い。

施工性や経済性の比較検討により、場合によっては両者を併用して適用することも考えられる。また、いずれの場合も安全性を確保するためには、施工性や経済性に留まらず、耐久性等の長期的な安全性や、維持管理の容易さ等も考慮して工法を選択することが重要である。

水路トンネル構造の補強・改修に際しては、覆工に作用する外力や覆工及び周辺地山の状態が分からないことが多いため、経験的な判断によらざるを得ないことが多い。

補強・改修対策の選定に当たっては、変状状態、変状原因を正確に把握するとともに、①変状現象（変状の内容、規模、程度、進行性）、②変状原因、③環境条件（水路トンネル周辺の地形、地質、気象等）、④構造条件（水路トンネルの構造、形状、経歴、保守状況等）、⑤作業条件、等を十分に考慮して、覆工に作用する外力に対し、できるだけ効果的な計画を策定する必要がある。

表-4.2.1 に、主たる変状原因である地圧（塑性圧、緩み圧、偏圧）に対する補強・改修対策の適用性を示す。その他の変状原因として、地すべり、水圧、凍上圧、地盤沈下、支持力不足、地震、近接施工等が想定される場合は、**表-4.2.2** に示す他機関制定の既設マニュアル類を参考に対策工の適用性を検討する。

なお、補強・改修対策では、変状を解消することが困難な場合には路線変更の検討が必要になる。また、地すべりや滑動地塊などの規模が大きく、すべり面が水路トンネル断面内あるいはそれ以下にあってトンネルが移動したり、対策工による変状の進行抑制効果が期待できない場合も、路線変更の検討が必要になる。ただし、路線変更の検討については本書の対象外である。

4.2 水路トンネルの補強・改修工法

補強・改修工法の選定に当たっては、変状原因を明らかにし、変状の程度と範囲及び進行性を把握した上で、通水性、耐久性、安全性、経済性を十分に考慮して対策工法を選定する。

【解説】

水路トンネルの構造安定性を確保するための補強対策には、変状原因を水路トンネルの外から直接取り除く工法と、水路トンネルの耐荷力を向上させる工法がある。前者は、土かぶりが浅いトンネルのように変状原因を直接取り除くことが可能な場合には有効であるが、一般には非効率となることが多い。

施工性や経済性の比較検討により、場合によっては両者を併用して適用することも考えられる。また、いずれの場合も安全性を確保するためには、施工性や経済性に留まらず、耐久性等の長期的な安全性や、維持管理の容易さ等も考慮して工法を選択することが重要である。

水路トンネル構造の補強に際しては、覆工に作用する外力や覆工及び周辺地山の状態が分からないことが多いため、経験的な判断によらざるを得ないことが多い。

補強対策の選定に当たっては、変状状態、変状原因を正確に把握するとともに、①変状現象（変状の内容、規模、程度、進行性）、②変状原因、③環境条件（水路トンネル周辺の地形、地質、気象等）、④構造条件（水路トンネルの構造、形状、経歴、保守状況等）、⑤作業条件、等を十分に考慮して、覆工に作用する外力に対し、できるだけ効果的な計画を策定する必要がある。

表-4.2.1 に、主たる変状原因である地圧（塑性圧、緩み圧、偏圧）に対する補強対策の適用性を示す。その他の変状原因として、地すべり、水圧、凍上圧、地盤沈下、支持力不足、地震、近接施工等が想定される場合は、**表-4.2.2** に示す他機関制定の既設マニュアル類を参考に対策工の適用性を検討する。

なお、補強対策では、変状を解消することが困難な場合には路線変更の検討が必要になる。また、地すべりや滑動地塊などの規模が大きく、すべり面が水路トンネル断面内あるいはそれ以下にあってトンネルが移動したり、対策工による変状の進行抑制効果が期待できない場合も、路線変更の検討が必要になる。ただし、路線変更の検討については本書の対象外である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-3 「4.2 水路トンネルの補強・改修工法」	P.4-3 「4.2 水路トンネルの補強・改修工法」

表-4.2.1 水路トンネルの変状原因と補強・改修対策の適用性（目安）

工法 ＼ 変状原因		地圧 塑性圧	地圧 緩み圧	地圧 偏圧
1	裏込注入工法（地盤改良工法）	○ (注1)	○ (注1)	○ (注1)
2	鋼板内張工法（自立管）	◎ (注2)	◎ (注2)	◎ (注2)
3	既製管挿入工法（自立管）			
	3-1. 鋼管挿入工法	◎ (注2)	◎ (注2)	◎ (注2)
	3-2. FRPM 管挿入工法	◎	◎	◎
4	製管工法（自立管）			
	4-1. 機械製管工法	◎	◎	◎
	4-2. 人力製管工法	◎	◎	◎
	4-3. パネル組立工法（アーチ部補強）	○ (注3)	◎	○ (注3)
5	接着工法（初期段階の変状に適用可能）	(◎) (注4)	(◎) (注4)	(◎) (注4)
6	ロックボルト補強工法	○ (注5)	△ (注5)	○ (注5)
7	ライナープレート建込工法	－ (注6)	－ (注6)	－ (注6)

凡例 ◎：変状に対して最適と考えられる対策
○：変状に対して適合すると考えられる対策
△：変状に対して場合によっては有効な対策
－：地圧に対する適用性が不明な対策

（注 1）単独での補強効果は小さく、その他の工法と併用して適用される。
（注 2）補強効果は大きいが、鋼材腐食に対する維持管理面に留意する必要がある。
（注 3）インバート部材を配置して全周補強した場合は、塑性圧、偏圧に対する適用性が向上する。
（注 4）(◎) は初期段階の変状に対する適用性。初期段階の変状とはレベル I-3 程度の変状であり、圧縮損傷（圧ざ）や、顕著な食い違い等、せん断によるひび割れが生じていない段階である（**表-3.4.2-1～表-3.4.2-3** を参照）。接着工法は引張側の補強を対象としており、圧縮力に対しては覆工の耐力を期待する構造であるため、自立管設計とは異なる。
（注 5）ロックボルト補強工法は、地山への定着効果が期待できる場合に適用できる工法であるため、必要な定着力が得られることを調査や試験によって確認する必要がある。また、鉛直方向の緩みの抑制効果を期待できない場合があるので、緩み圧に対する適用性は低い。
（注 6）ライナープレート建込工法は悪route トンネルの地山の剥落対策として適用された実績を有しているが、地圧対策として適用された実績はない。そのため、現状では地圧に対する適用性は不明である。

表-4.2.1 水路トンネルの変状原因と補強対策の適用性（目安）

工法 ＼ 変状原因		地圧 塑性圧	地圧 緩み圧	地圧 偏圧
1	裏込注入工法	○ (注1)	○ (注1)	○ (注1)
2	鋼板内張工法（自立管）	◎ (注2)	◎ (注2)	◎ (注2)
3	既製管挿入工法（自立管）			
	3-1. 鋼管挿入工法	◎ (注2)	◎ (注2)	◎ (注2)
	3-2. FRPM 管挿入工法	◎	◎	◎
4	製管工法（自立管）			
	4-1. 機械製管工法	◎	◎	◎
	4-2. 人力製管工法	◎	◎	◎
	4-3. パネル組立工法（アーチ部補強）	○ (注3)	◎	○ (注3)
5	接着工法（初期段階の変状に適用可能）	(◎) (注4)	(◎) (注4)	(◎) (注4)
6	ロックボルト補強工法	○ (注5)	△ (注5)	○ (注5)

凡例 ◎：変状に対して最適と考えられる対策
○：変状に対して適合すると考えられる対策
△：変状に対して場合によっては有効な対策

（注 1）単独での補強効果は小さく、その他の工法と併用して適用される。
（注 2）補強効果は大きいが、鋼材腐食に対する維持管理面に留意する必要がある。
（注 3）インバート部材を配置して全周補強した場合は、塑性圧、偏圧に対する適用性が向上する。
（注 4）(◎) は初期段階の変状に対する適用性。初期段階の変状とはレベル I-3 程度の変状であり、圧縮損傷（圧ざ）や、顕著な食い違い等、せん断によるひび割れが生じていない段階である（**表-3.4.2-1～表-3.4.2-3** を参照）。接着工法は引張側の補強を対象としており、圧縮力に対しては覆工の耐力を期待する構造であるため、自立管設計とは異なる。
（注 5）ロックボルト補強工法は、地山への定着効果が期待できる場合に適用できる工法であるため、必要な定着力が得られることを調査や試験によって確認する必要がある。また、鉛直方向の緩みの抑制効果を期待できない場合があるので、緩み圧に対する適用性は低い。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-4　「4.2　水路トンネルの補強・改修工法」

表-4.2.2　他機関制定の既設マニュアル類

番号	名　称	発行所	制定(改訂)年月日
1	トンネル補修・補強マニュアル	鉄道総合技術研究所	平成 19 年 1 月
2	道路トンネル維持管理便覧【本体工編】	日本道路協会	令和 2 年 8 月
3	設計要領　第三集　トンネル保全編・トンネル建設編	東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社	令和 5 年 7 月
4	山岳トンネル覆工の現状と対策	土木学会	平成 14 年 9 月
5	水路トンネル維持管理の手引き	土木学会	令和 3 年 1 月

表-4.2.3 に各補強・改修工法の適用条件を示す。

表-4.2.3　補強・改修工法の適用条件

工　法	適用条件
裏込注入工法 （地盤改良工法）	・覆工背面に空洞がある（又はゆるみ領域がある） ・湧水の状況が注入可能な程度である ・覆工の材質が良好で、注入圧による変状のおそれが無い（ただし、覆工を補強すれば適用できる） ・覆工の欠損があまり大きくなく、注入材がトンネル内に流入して支障を及ぼすおそれがない（ただし、欠損を修復すれば適用できる） ・施工中に発生する湧水を適切に処理できる
鋼板内張工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と内張鋼板との間隙の充填が可能である（注 1）
既製管挿入工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と挿入管との間隙の充填が可能である（注 1）
製管工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と内面被覆管との間隙の充填が可能である（注 1）
接着工法	・開口ひび割れ（判定レベル I-3 程度）があり、これを補強する効果がある ・シート等の十分な接着が期待できる（止水・導水による湧水対策が可能）
ロックボルト補強工法	・十分な引抜き耐力が得られる（未固結の土砂などのように非常に軟質な地山では適用できない） ・ロックボルトの施工が可能な内空断面である（ロックボルトの最小施工断面は直径 2.5m）（注 2）
ライナープレート建込工法	・既設トンネルが素掘トンネルである ・断面縮小に対する水理的余裕がある ・材料搬入が可能である ・既設断面とライナープレートとの間隙の充填が可能である（注 1）

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-4　「4.2　水路トンネルの補強・改修工法」

表-4.2.2　他機関制定の既設マニュアル類

番号	名　称	発行所	制定(改訂)年月日
1	トンネル補修・補強マニュアル	鉄道総合技術研究所	平成 19 年 1 月
2	道路トンネル維持管理便覧【本体工編】	日本道路協会	平成 27 年 6 月
3	設計要領　第三集　トンネル編	東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社	平成 27 年 7 月
4	山岳トンネル覆工の現状と対策	土木学会	平成 14 年 9 月

表-4.2.3 に各補強・改修工法の適用条件を示す。

表-4.2.3　補強・改修工法の適用条件

工　法	適用条件
裏込注入工法	・覆工背面に空洞がある ・湧水の状況が注入可能な程度である ・覆工の材質が良好で、注入圧による変状のおそれが無い（ただし、覆工を補強すれば適用できる） ・覆工の欠損があまり大きくなく、注入材がトンネル内に流入して支障を及ぼすおそれがない（ただし、欠損を修復すれば適用できる） ・施工中に発生する湧水を適切に処理できる
鋼板内張工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と内張鋼板との間隙の充填が可能である（注 1）
既製管挿入工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と挿入管との間隙の充填が可能である（注 1）
製管工法	・断面縮小に対する水理的余裕がある ・既設覆工の剛性を期待せず、自立管として構造設計が可能である ・材料搬入が可能である ・覆工と内面被覆管との間隙の充填が可能である（注 1）
接着工法	・開口ひび割れ（判定レベル I-3 程度）があり、これを補強する効果がある ・シート等の十分な接着が期待できる（止水・導水による湧水対策が可能）
ロックボルト補強工法	・十分な引抜き耐力が得られる（未固結の土砂などのように非常に軟質な地山では適用できない） ・ロックボルトの施工が可能な内空断面である（ロックボルトの最小施工断面は直径 2.5m）（注 2）

（注 1）湧水が非常に多く、止水･導水による対応や裏込充填材料の変更による対応ができない場合は適用できない。

（注 2）従来の吹付け・ロックボルト工法の最小施工断面は、直径 2.5m 以上であるが、近年、水路幅 1.5m 程度以上の水路トンネルに施工可能な技術が開発されている。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-7 「4.3 要求性能、性能照査」	P.4-7 「4.3 要求性能、性能照査」

4.3 要求性能、性能照査

水路トンネルに要求される性能の低下を対策工法によって回復又は向上させるためには、対策の目的に応じて材料・工法が有すべき性能を適切に設定する必要がある。

【解説】

（1）対策工法に求められる性能

水路トンネルの性能低下の回復又は向上等を図るために、対策工法には主に以下に示す性能が求められる。

1）水理機能の回復又は向上に関する要求性能
2）構造機能の回復又は向上に関する要求性能
3）社会的機能の維持等に関する要求性能

要求性能とは、施設や対策工法が果たすべき機能や目的を達成するために必要とされる性能をいう。また、性能照査とは、対策工法に期待される効果の持続期間中に、対策を施した施設が、対象とする変状や劣化作用に対し、所要の性能を満たしていることを確認することをいう。

なお、本書に示す対策工法の要求性能と性能照査は、水路トンネルの覆工コンクリートに生じた変状に対して、水路トンネル内から補修・補強を施す工法を対象とするものであり、地すべり対策や耐震補強は対象としていない。

以下に対策工法の要求性能項目の概要を示す。

1）水理機能

① 通水性：計画最大流量を安全に通水できる性能

対策工法を行うことで、一般的に内部の粗度が改善される。材料・工法の標準的な粗度係数を用いて、水理設計により通水性を照査する必要がある。通水断面が縮小する場合は、対策工法に用いる材料・工法の粗度係数の標準値を用いて、水理計算により計画最大流量が安全に流下することと、必要水位が確保されることを確認する。具体的な照査方法については、各工法（第６章～第11章）の「**水理設計**」を参照するものとする。

② 水密性：想定される水圧（充満水による静水圧・外水圧）に対して水密を保持できる性能

既製管においては、継手部が所定の圧力を保持できることを確認する。製管体においては、接合部や端部から漏水がないことを確認する。

2）構造機能

① 耐荷性（耐久性）：地圧や水圧に対し構造的に安定した性能を保持する性能

地圧や水圧に対する構造耐力を確保するための設計強度を有し、その性能を効果が期待される期間にわたり保持することを確認する。

② 充填性・流動性：注入材が空隙にスムーズに充填できる性能

裏込注入材や裏込充填材においては、不定形な空隙を完全充填できる流動性・充填性が求められる。

③ 耐摩耗性：摩耗による通水性及び耐荷性の低下が生じない性能

流水中の土砂による研磨作用等で水路トンネル内面が欠損していく現象であるため、期待される効果の持続期間中に摩耗による通水性及び耐荷性の低下が生じないことが求められる。

4.3 要求性能、性能照査

水路トンネルに要求される性能の低下を対策工法によって回復又は向上させるためには、対策の目的に応じて材料・工法が有すべき性能を適切に設定する必要がある。

【解説】

（1）対策工法に求められる性能

水路トンネルの性能低下の回復又は向上等を図るために、対策工法には主に以下に示す性能が求められる。

1）水理機能の回復又は向上に関する要求性能
2）構造機能の回復又は向上に関する要求性能
3）社会的機能の維持等に関する要求性能

要求性能とは、施設や対策工法が果たすべき機能や目的を達成するために必要とされる性能をいう。また、性能照査とは、対策工法に期待される効果の持続期間中に、対策を施した施設が、対象とする変状や劣化作用に対し、所要の性能を満たしていることを確認することをいう。

なお、本書に示す対策工法の要求性能と性能照査は、水路トンネルの覆工コンクリートに生じた変状に対して、水路トンネル内から補修・補強を施す工法を対象とするものであり、地すべり対策や耐震補強は対象としていない。

以下に対策工法の要求性能項目の概要を示す。

1）水理機能

① 通水性：計画最大流量を安全に通水できる性能

対策工法を行うことで、一般的に内部の粗度が改善される。材料・工法の標準的な粗度係数を用いて、水理設計により通水性を照査する必要がある。通水断面が縮小する場合は、対策工法に用いる材料・工法の粗度係数の標準値を用いて、水理計算により計画最大流量が安全に流下することと、必要水位が確保されることを確認する。具体的な照査方法については、各工法（第６章～第10章）の「**水理設計**」を参照すること。

② 水密性：想定される水圧（充満水による静水圧・外水圧）に対して水密を保持できる性能

既製管においては、継手部が所定の圧力を保持できることを確認する。製管体においては、接合部や端部から漏水がないことを確認する。

2）構造機能

① 耐荷性（耐久性）：地圧や水圧に対し構造的に安定した性能を保持する性能

地圧や水圧に対する構造耐力を確保するための設計強度を有し、その性能を効果が期待される期間にわたり保持することを確認する。

② 充填性・流動性：注入材が空隙にスムーズに充填できる性能

裏込注入材や裏込充填材においては、不定形な空隙を完全充填できる流動性・充填性が求められる。

③ 耐摩耗性：摩耗による通水性及び耐荷性の低下が生じない性能

流水中の土砂による研磨作用等で水路トンネル内面が欠損していく現象であるため、期待される効果の持続期間中に摩耗による通水性及び耐荷性の低下が生じないことが求められる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-8 「4.3 要求性能、性能照査」	P.4-8 「4.3 要求性能、性能照査」

④ 付着性：補強材が覆工コンクリートから剥離しない性能
通水量の変動や年間を通じた気候変動の中で乾湿及び温冷状態におかれる中で、期待される効果の持続期間中、覆工コンクリートに付着し続けることが求められる。

⑤ 引張抵抗性：ロックボルトが地山との抵抗性を発揮する性能
地山の種類（硬軟、腐食性、湧水量等）が異なる中で、期待される効果の持続期間中、ロックボルトが地山との抵抗性を発揮し続けることが求められる。

3）社会的機能

① 水質適合性：使用者の必要とする水質に適合する性能
水路トンネルは、農業用水のみならず、上水、工業用水と供用される場合があるため、対策工法を実施した後も使用者の必要とする水質に適合していることが求められる。

（2）基本的性能と個別的性能

水路トンネルの対策工法の要求性能を「基本的性能」、「個別的性能」に分類した（**表-4.3.1**）。「基本的性能」は対策工法の適用の際、標準的に求められる性能である。一方、「個別的性能」は、施工条件や環境条件等に応じて個々の施設や工事ごとに求められる性能である。

表-4.3.1 水路トンネルの対策工法別の主な要求性能

要求性能			要求項目	裏込注入工法	鋼板内張工法	既製管挿入工法	製管工法	接着工法	ロックボルト補強工法	ライナープレート建込工法
基本的性能	水理機能	通水性	計画最大流量を安全に通水できる性能	／	○ 水理計算	○ 水理計算	○ 水理計算	○ 水理計算	△(注1) 水理計算	○ 水理計算
		水密性	想定される水圧（充満水による静水圧・外水圧）に対して水密を保持できる性能	／	(○)	○	○	／	／	／
	構造機能	耐荷性	地圧、水圧に対し構造的に安定した性能	○	○	○	○	○	○	○(注1)
		充填性・流動性	裏込充填材（裏込注入材）が空隙にスムーズに充填できる性能	○	○	○	○	／	／	○
		耐摩耗性	摩耗による通水性耐荷性の低下が生じない性能	／	(○) 鋼管と同程度	(○) 既製管の実績	○ 塩ビ管と同程度	○	○	(○) コルゲート管と同程度
		付着性	補強材が覆工コンクリートから剥離しない性能	／	／	／	／	○	○	／
		引張抵抗性	ロックボルトが地山との抵抗性を発揮する性能	／	／	／	／	／	○	／
個別的性能	社会的機能	水質適合性	使用者の必要とする水質に適合する性能	○(注3)	(○) 鋼管の実績	(○) 既製管の実績	○	／	／	(○) コルゲート管の実績

【凡例】「○」：照査の必要あり、「(○)」：実績等により性能照査試験を省略可、「△」：照査方法の検討が必要

（注1）ロックボルトの頭部が突出する場合は、照査方法の検討が必要である。

（注2）裏込充填材の自重及び充填圧に対し構造的に安定した性能を有する。

（注3）排水基準に対する施工時の照査方法は、確立されているため本書では性能照査試験を規定しない。

④ 付着性：補強材が覆工コンクリートから剥離しない性能
通水量の変動や年間を通じた気候変動の中で乾湿及び温冷状態におかれる中で、期待される効果の持続期間中、覆工コンクリートに付着し続けることが求められる。

⑤ 引張抵抗性：ロックボルトが地山との抵抗性を発揮する性能
地山の種類（硬軟、腐食性、湧水量等）が異なる中で、期待される効果の持続期間中、ロックボルトが地山との抵抗性を発揮し続けることが求められる。

3）社会的機能

① 水質適合性：使用者の必要とする水質に適合する性能
水路トンネルは、農業用水のみならず、上水、工業用水と供用される場合があるため、対策工法を実施した後も使用者の必要とする水質に適合していることが求められる。

（2）基本的性能と個別的性能

水路トンネルの対策工法の要求性能を「基本的性能」、「個別的性能」に分類した（**表-4.3.1**）。「基本的性能」は対策工法の適用の際、標準的に求められる性能である。一方、「個別的性能」は、施工条件や環境条件等に応じて個々の施設や工事ごとに求められる性能である。

表-4.3.1 水路トンネルの対策工法別の主な要求性能

要求性能			要求項目	裏込注入工法	鋼板内張工法	既製管挿入工法	製管工法	接着工法	ロックボルト補強工法
基本的性能	水理機能	通水性	計画最大流量を安全に通水できる性能	／	○ 水理計算	○ 水理計算	○ 水理計算	○ 水理計算	△(注1) 水理計算
		水密性	想定される水圧（充満水による静水圧・外水圧）に対して水密を保持できる性能	／	(○)	○	○	／	／
	構造機能	耐荷性（耐久性）	地圧、水圧に対し構造的に安定した性能（長期耐久性を考慮する）	○	○	○	○	○	○
		充填性・流動性	裏込充填材（裏込注入材）が空隙にスムーズに充填できる性能	○	○	○	○	／	／
		耐摩耗性	摩耗による通水性耐荷性の低下が生じない性能	／	(○) 鋼管と同程度	(○) 既製管の実績	○ 塩ビ管と同程度	○	○
		付着性	補強材が覆工コンクリートから剥離しない性能	／	／	／	／	○	○
		引張抵抗性	ロックボルトが地山との抵抗性を発揮する性能	／	／	／	／	／	○
個別的性能	社会的機能	水質適合性	使用者の必要とする水質に適合する性能	○(注2)	(○) 鋼管の実績	(○) 既製管の実績	○	／	／

【凡例】「○」：照査の必要あり、「(○)」：実績等により性能照査試験を省略可、「△」：照査方法の検討が必要

（注1）ロックボルトの頭部が突出する場合は、照査方法の検討が必要である。

（注2）排水基準に対する施工時の照査方法は、確立されているため本書では性能照査試験を規定しない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-9 「4.3 要求性能、性能照査」	**P.4-9** 「4.3 要求性能、性能照査」

（3）要求性能に適合していることを照査する時期

対策工法の性能照査項目に応じて、工法開発時、設計時（工法選定時・水理/構造設計時）、施工計画書審査時（施工計画書提出時・材料承諾書提出時）、施工・竣工時（施工管理時）及び供用時（モニタリング）の照査時期を明確にし、性能照査を実施する。

1）工法開発時

工法開発時に試験を実施し、要求性能を満足していることを確認、材料や工法の特性の把握を行う。詳細な内容を各工法（第5章～第11章）の「**要求性能、性能照査**」に示す。

2）設計時

対策工法の選定に当たっての工法評価であり、水利用機能、水理機能、構造機能及び社会的機能について、施工対象とする現場条件に適合し、施工可能であることを確認する。

当該施設の性能低下状況（ひび割れ、湧水状況）や現場条件（内空断面規模、対象延長、坑口部の地形条件等）といった対策工法の選定条件を把握する。これらを踏まえた上で、対策工法に対する水理、構造性能の要求性能を設定し、要求性能に応じた対策工法を選定する。

選定に当たっては構造設計・水理設計を通じて照査する。このときに使用する設計値等は、本書で規定する性能照査試験で得られた値とする。

詳細な内容を各工法（第5章～第11章）の「**水理設計**」及び「**構造設計**」に示す。

3）施工計画書審査時（施工計画/材料承諾）

・工事着手前の施工計画書の審査時には、要求性能を満足する対策工法が選定されていること、対策工法の要求性能が確保される施工手順や体制となっていること、性能を満足するための施工管理手法が示されていることを確認する。

・使用する対策工法が、設計時に設定した対策工法の要求性能を満足していることを確認するために、対策工事前に受注者から提出がある材料承諾書を得ることとする。その際に提出する品質証明書は、本書で規定する性能照査項目及び試験方法に基づく試験結果とする。

・詳細な内容を各工法（第5章～第11章）の「**施工管理と完成検査**」に示す。

4）施工・竣工時（施工管理）

対策工法の要求性能を確保するため、施工管理においては、①材料の保管・搬送・搬入が適切に行われていること、②施工環境（温度等）が適切に管理されていること、③品質管理及び出来形管理により所要性能が確保されていることを、計測等により確認するものとする。

詳細な内容を各工法（第5章～第11章）の「**施工管理と完成検査**」に示す。

5）供用時（モニタリング）

性能照査の一環として、施工後、所要性能の変化の有無（所要性能が維持されているか）をモニタリングにより確認する。

詳細な内容を「**第12章　施工後のモニタリング**」に示す。

また、本書で規定する性能照査試験方法に基づいた適正な試験結果を得るために、性能照査試験結果は、公的機関等の第三者機関において実施したもの、又は立会試験で確認されたものを使用しなければならない。公的機関等の第三者機関とは、ISO/IEC 17025 の要求事項を満たす産業標準化

（3）要求性能に適合していることを照査する時期

対策工法の性能照査項目に応じて、工法開発時、設計時（工法選定時・水理/構造設計時）、施工計画書審査時（施工計画書提出時・材料承諾書提出時）施工・竣工時（施工管理時）及び供用時（モニタリング）の照査時期を明確にし、性能照査を実施する。

1）工法開発時

工法開発時に試験を実施し、要求性能を満足していることを確認、材料や工法の特性の把握を行う。詳細な内容を各工法（第5章～第10章）の「**要求性能、性能照査**」に示す。

2）設計時

対策工法の選定に当たっての工法評価であり、水利用機能、水理機能、構造機能及び社会的機能について、施工対象とする現場条件に適合し、施工可能であることを確認する。

当該施設の性能低下状況（ひび割れ、湧水状況）や現場条件（内空断面規模、対象延長、坑口部の地形条件等）といった対策工法の選定条件を把握する。これらを踏まえた上で、対策工法に対する水理、構造性能の要求性能を設定し、要求性能に応じた対策工法を選定する。

選定に当たっては構造設計・水理設計を通じて照査する。このときに使用する設計値等は、本書で規定する性能照査試験で得られた値とする。

詳細な内容を各工法（第5章～第10章）の「**水理設計**」及び「**構造設計**」に示す。

3）施工計画書審査時（施工計画/材料承諾）

・工事着手前の施工計画書の審査時には、要求性能を満足する対策工法が選定されていること、対策工法の要求性能が確保される施工手順や体制となっていること、性能を満足するための施工管理手法が示されていることを確認する。

・使用する対策工法が、設計時に設定した対策工法の要求性能を満足していることを確認するために、対策工事前に受注者から提出がある材料承諾書を得ることとする。その際に提出する品質証明書は、本書で規定する性能照査項目及び試験方法に基づく試験結果とする。

・詳細な内容を各工法（第5章～第10章）の「**施工管理と完成検査**」に示す。

4）施工・竣工時（施工管理）

対策工法の要求性能を確保するために、施工管理として、適切に材料の保管、搬送、搬入がなされていること、施工環境管理（温度管理等）がなされていること、及び品質管理・出来形管理で所要性能が確保されていることを計測等により確認する。

詳細な内容を各工法（第5章～第10章）の「**施工管理と完成検査**」に示す。

5）供用時（モニタリング）

性能照査の一環として、施工後、所要性能の変化の有無（所要性能が維持されているか）をモニタリングにより確認する。

詳細な内容を「**第11章　施工後のモニタリング**」に示す。

また、本書で規定する性能照査試験方法に基づいた適正な試験結果を得るために、性能照査試験結果は、公的機関等の第三者機関において実施したもの、又は立会試験で確認されたものを使用しなければならない。公的機関等の第三者機関とは、ISO/IEC 17025 の要求事項を満たす産業標準化

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-10 「4.3 要求性能、性能照査」	P.4-10 「4.3 要求性能、性能照査」

法試験事業者登録制度（JNLA）登録試験所、適合性評価（JAB）認証試験所、大学や公的研究機関等を示す。

材料・工法の性能試験のうち、日本産業規格（JIS）等に規格化されている試験を引用又は準用しているものについては、国際標準化機構（ISO）や国際電気標準会議（IEC）等に基づき一定の水準を満たした機関で実施する。

立会試験とは、試験開発機関又は工事発注機関の立会のもとに行う試験とし、適正に較正された計測機器により行われなければならない。

ここで立会試験として考えられる内容とは、材料工法の性能試験のうち、JIS 等に規格化されていない試験の実施や、試験方法が未整備のもの、その他監督職員が必要に応じて行う確認である。

なお、性能試験結果の有効期限は特に設けず、技術情報の蓄積や技術開発の進展に基づき要求性能（試験方法等）を見直した場合や工法改良を行った場合に、必要な試験を実施するものとする。

（4）耐久性

水路トンネルに適用する補強工法の耐用期間については、モニタリング期間が十分でないため、構造物としての効果の持続期間を規定するのが困難である。これにかわる耐久性指標は確立されていないため、本書の**参考資料③「対策工法の効果が期待される期間」**に想定されるリスクを基にした参考耐用期間を示すにとどめる。参考耐用期間については、今後のモニタリング調査等を基に見直す方針である。

法試験事業者登録制度（JNLA）登録試験所、適合性評価（JAB）認証試験所、大学や公的研究機関等を示す。

材料・工法の性能試験のうち、日本産業規格（JIS）等に規格化されている試験を引用若しくは準用しているものについては、国際標準化機構（ISO）や国際電気標準会議（IEC）等に基づき一定の水準を満たした機関で実施する。

立会試験とは、試験開発機関又は工事発注機関の立会のもとに行う試験とし、適正に較正された計測機器により行われなければならない。

ここで立会試験として考えられる内容とは、材料工法の性能試験のうち、JIS 等に規格化されていない試験の実施や、試験方法が未整備のもの、その他監督職員が必要に応じて行う確認である。

なお、性能試験結果の有効期限は特に設けず、技術情報の蓄積や技術開発の進展に基づき要求性能（試験方法等）を見直した場合や工法改良を行った場合に、必要な試験を実施することとする。

（4）耐久性

水路トンネルに適用する補強工法の耐用期間については、モニタリング期間が十分でないため、構造物としての効果の持続期間を規定するのが困難である。これにかわる耐久性指標は確立されていないため、本書の**参考資料③「対策工法の効果が期待される期間」**に想定されるリスクを基にした参考耐用期間を示すにとどめる。参考耐用期間については、今後のモニタリング調査等を基に見直す方針である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-13　「4.4.2　平均流速の計算」

表-4.4.2-1　粗度係数の値

水路の材料と状態	粗度係数		
	最小値	標準値	最大値
コンクリートライニング	0.012	0.015	0.016
吹付けコンクリートライニング（注1）	0.017	0.025	0.029
無ライニングの岩トンネル	0.030	0.035	0.040
平滑な鋼表面及び管（塗装）	0.012	0.013	0.017
鋳鉄板及び管（塗装）	0.010	0.013	0.014
強化プラスチック複合管	(0.010)	0.012	
表面被覆工法			
無機系被覆工法（モルタル準用）	0.011	0.013	0.015
パネル工法（FRP 板）	(0.010)	0.012	
（レジンコンクリート板）	(0.010)	(0.012)	
（RC 版）	0.012	0.014	0.016
鋼板内張工法	0.012	0.013	0.017
既製管挿入工法			
鋼管挿入工法	0.012	0.013	0.017
FRPM 管挿入工法	(0.010)	0.012	
製管工法			
機械製管工法（塩化ビニル管準用）	(0.010)	0.012	
人力製管工法（塩化ビニル管準用）	(0.010)	0.012	
パネル組立工法（RC 版）	0.012	0.014	0.016
（UFC 版）	(0.010)	(0.012)	
接着工法	0.011	0.013	0.015
波形表面（鋼板）ライナープレート	0.021	0.025	0.030

（注 1）トンネル掘削面など凹凸が大きい面に直接コンクリートを吹付ける場合に採用し、トンネル補修のコンクリート覆工面など平滑な面に吹付ける場合は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」に示す粗度係数を採用する。

（注 2）（　）内の値は各工法の水理実験値等である。

水路トンネルの補修材・補強材の粗度係数については**表-4.4.2-1** の値を適用する。**表-4.4.2-1** の（　）内の値は、各工法の水理実験値等を参考に示した。設計には一般に標準値を用いる。ただし、改修直後の水理特性は最小値に近いことが想定されるため、水位低下による影響が懸念される場合は分水位等の照査に最小値を用いることが望ましい。

2）合成粗度係数

潤辺の部分によって粗度係数が異なる場合は、全潤辺に対する合成粗度係数を計算して流速を求める。詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」を参照する。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-13　「4.4.2　平均流速の計算」

表-4.4.2-1　粗度係数の値

水路の材料と状態	粗度係数		
	最小値	標準値	最大値
コンクリートライニング	0.012	0.015	0.016
吹付けコンクリートライニング（注1）	0.017	0.025	0.029
無ライニングの岩トンネル	0.030	0.035	0.040
平滑な鋼表面及び管（塗装）	0.012	0.013	0.017
鋳鉄板及び管（塗装）	0.010	0.013	0.014
強化プラスチック複合管	(0.010)	0.012	
表面被覆工法			
無機系被覆工法（モルタル準用）	0.011	0.013	0.015
パネル工法（FRP 版）	(0.010)	0.012	
（レジンコンクリート版）	(0.010)	(0.012)	
（RC 版）	0.012	0.014	0.016
鋼板内張工法	0.012	0.013	0.017
既製管挿入工法			
鋼管挿入工法	0.012	0.013	0.017
FRPM 管挿入工法	(0.010)	0.012	
製管工法			
機械製管工法（塩化ビニル管準用）	(0.010)	0.012	
人力製管工法（塩化ビニル管準用）	(0.010)	0.012	
パネル組立工法（RC 版）	0.012	0.014	0.016
（UFC 版）	(0.010)	(0.012)	
接着工法	0.011	0.013	0.015

（注 1）トンネル掘削面など凹凸が大きい面に直接コンクリートを吹付ける場合に採用し、トンネル補修のコンクリート覆工面など平滑な面に吹付ける場合は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」に示す粗度係数を採用する。

（注 2）（　）内の値は各工法の水理実験値等である。

水路トンネルの補修材・補強材の粗度係数については**表-4.4.2-1** の値を適用する。**表-4.4.2-1** の〈　〉内の値は、各工法の水理実験値等を参考に示した。設計には一般に標準値を用いる。ただし、改修直後の水理特性は最小値に近いことが想定されるため、水位低下による影響が懸念される場合は分水位等の照査に最小値を用いる事が望ましい。

2）合成粗度係数

潤辺の部分によって粗度係数が異なる場合は、全潤辺に対する合成粗度係数を計算して流速を求める。詳細については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」を参照する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-16 「4.5.1 構造設計の基本的な考え方」	P.4-16 「4.5.1 構造設計の基本的な考え方」

4.5 構造設計

4.5.1 構造設計の基本的な考え方

補強対策の構造設計は、現時点では「構造部材となる補強材料の材料特性」、「既設覆工（以下「覆工」という）が有する耐荷性（又は剛性）（背面の空洞等、欠陥を考慮する）」、「覆工に作用する荷重（一般には地圧）」、「それら相互の関係性」を考慮した解析手法を適用するものとする。

【解説】

（1）構造計算手法の考え方

水路トンネルの構造計算においては、一般に、覆工に作用する荷重やその結果として生ずる覆工応力を正確に把握することが困難な場合が多い。しかし、覆工コンクリートのひび割れや変形等の変状現象や背面地質、覆工構造を総合的に検討することにより、荷重の作用方向及びその強度を概略的に推定することは可能である。また、ひび割れの発生断面を適切にモデル化することにより、ひび割れが生じた覆工コンクリートの力学挙動を解析により表現することが可能である。

本書においては、無筋コンクリート覆工を対象とした補強・改修工法について、これまでの知見や検討に基づいた構造計算手法を提示する。本書に提示する構造計算手法については、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）」の他、鉄道分野等の知見も踏まえて検討を行ったものであり、各工法の所要性能を考慮して解析手法による構造計算手法を整理した。

（2）構造設計の手順

変状トンネルの解析は、覆工背面の空洞やひび割れの存在が前提となるため、これらの変状を考慮したモデルにより骨組解析を行う。構造設計の流れを**図-4.5.1-1** に示す。

ステップ 1 では覆工のひび割れに着目して地圧モードと作用地圧を推定する。ステップ 2 ではひび割れ発生後のモデルに変更して現況断面の応力状態を推定する。ステップ 3 では裏込注入工法により背面の空洞を充填したモデルを用いて解析し、裏込注入工法の補強効果を把握する。ステップ 4 では補強・改修工法を適用したモデルで解析を実行し、対策の補強効果を評価する。各ステップの解析モデルや考え方については次節で詳述する。

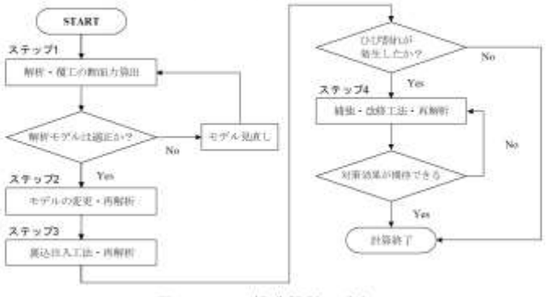


図-4.5.1-1 構造設計の流れ

4.5 構造設計

4.5.1 構造設計の基本的な考え方

補強対策の構造設計は、現時点では「構造部材となる補強材料の材料特性」、「既設覆工（以下、「覆工」という）が有する耐荷性（又は剛性）（背面の空洞等、欠陥を考慮する）」、「覆工に作用する荷重（一般には地圧）」、「それら相互の関係性」を考慮した解析手法を適用することとする。

【解説】

（1）構造計算手法の考え方

水路トンネルの構造計算においては、一般に、覆工に作用する荷重やその結果として生ずる覆工応力を正確に把握することが困難な場合が多い。しかし、覆工コンクリートのひび割れや変形等の変状現象や背面地質、覆工構造を総合的に検討することにより、荷重の作用方向及びその強度を概略的に推定することは可能である。また、ひび割れの発生断面を適切にモデル化することにより、ひび割れが生じた覆工コンクリートの力学挙動を解析により表現することが可能である。

本書においては、無筋コンクリート覆工を対象とした補強・改修工法について、これまでの知見や検討に基づいた構造計算手法を提示する。本書に提示する構造計算手法については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」の他、鉄道分野等の知見も踏まえて検討を行ったものであり、各工法の所要性能を考慮して解析手法による構造計算手法を整理した。

（2）構造設計の手順

変状トンネルの解析は、覆工背面の空洞やひび割れの存在が前提となるため、これらの変状を考慮したモデルにより骨組解析を行う。構造設計の流れを**図-4.5.1-1** に示す。

ステップ 1 では覆工のひび割れに着目して地圧モードと作用地圧を推定する。ステップ 2 ではひび割れ発生後のモデルに変更して現況断面の応力状態を推定する。ステップ 3 では裏込注入工法により背面の空洞を充填したモデルを用いて解析し、裏込注入工法の補強効果を把握する。ステップ 4 では補強・改修工法を適用したモデルで解析を実行し、対策の補強効果を評価する。各ステップの解析モデルや考え方については次節で詳述する。

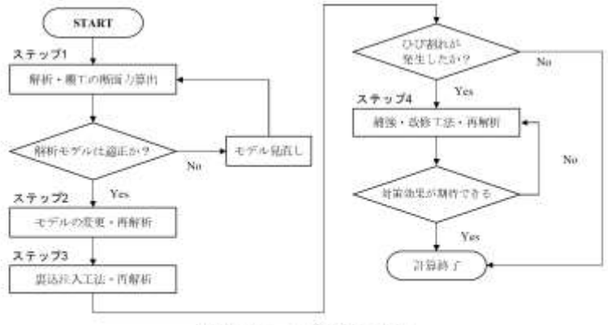


図-4.5.1-1 構造設計の流れ

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-17 「4.5.2 解析の方法」	P.4-17 「4.5.2 解析の方法」

4.5.2 解析の方法

解析の方法は、覆工の背面空洞や覆工コンクリートのひび割れを考慮した骨組解析を用いることを標準とする。

【解説】

（1）解析手法

表-4.5.2-1 にトンネル覆工の構造設計に適用される解析手法の概要と適用性を示す。

国営事業で施工された水路トンネルの補強・改修工事における設計手法を調査したところ、ロックボルト補強工法の 1 例を除き確認できた全ての設計で解析手法が適用されていた。解析の手法としては、骨組解析が主流であり、裏込注入工法、鋼板内張工法、既製管挿入工法（馬てい形 FRPM 管挿入工法以外）、製管工法、接着工法、ロックボルト補強工法の各方法に適用されている。馬てい形 FRPM 管挿入工法については、二次元有限要素解析（FEM）が適用されている。解析手法以外では、ロックボルト補強工法において「変状トンネル対策工設計マニュアル（鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）」に示された標準設計が適用された事例がある。

水路トンネルの補強対策に適用する解析手法は、覆工コンクリートの背面空洞やひび割れ、覆工コンクリートと地盤の相互作用、補強工法の効果を適切に表現できる必要がある。骨組解析ではこれらを適切かつ容易にモデル化することができ、また、市販のプログラムにより容易に実行できる。このことから、本書では水路トンネルの補強対策に適用する解析手法には骨組解析を標準とし、その手法について示す。ただし、解析による設計を適切に行うためには、調査によって可能な限り正確な変状現象、覆工構造、背面地質を把握することが必要である。また、本書に示す設計手法は、地圧や覆工のモデル化において多くの仮定を設けているので、解析結果の妥当性を総合的に評価するものとする。

4.5.2 解析の方法

解析の方法は、覆工の背面空洞や覆工コンクリートのひび割れを考慮した骨組解析を用いることを標準とする。

【解説】

（1）解析手法

表-4.5.2-1 にトンネル覆工の構造設計に適用される解析手法の概要と適用性を示す。

国営事業で施工された水路トンネルの補強・改修工事における設計手法を調査したところ、ロックボルト補強工法の 1 例を除き確認できた全ての設計で解析手法が適用されていた。解析の手法としては、骨組解析が主流であり、裏込注入工法、鋼板内張工法、既製管挿入工法（馬てい形 FRPM 管挿入工法以外）、製管工法、接着工法、ロックボルト補強工法の各方法に適用されている。馬てい形 FRPM 管挿入工法については、二次元有限要素解析（FEM）が適用されている。解析手法以外では、ロックボルト補強工法において「変状トンネル対策工設計マニュアル（鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）」に示された標準設計が適用された事例がある。

水路トンネルの補強対策に適用する解析手法は、覆工コンクリートの背面空洞やひび割れ、覆工コンクリートと地盤の相互作用、補強工法の効果を適切に表現できる必要がある。骨組解析ではこれらを適切かつ容易にモデル化することができ、また、市販のプログラムにより容易に実行できる。このことから、本書では水路トンネルの補強対策に適用する解析手法には骨組解析を標準とし、その手法について示す。ただし、解析による設計を適切に行うためには、調査によって可能な限り正確な変状現象、覆工構造、背面地質を把握することが必要である。また、本書に示す設計手法は、地圧や覆工のモデル化において多くの仮定を設けているので、解析結果の妥当性を総合的に評価することとする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-20 「4.5.2 解析の方法」	P.4-20 「4.5.2 解析の方法」

覆工コンクリートの圧ざが生じている場合は、圧縮損傷の状態である。圧ざの状態は、部材耐力が失われているわけではなく、トンネルとして機能している場合が多い。この圧縮損傷状態においては、引張ひび割れ先端から圧縮縁に斜め方向に向かうくさび状のひび割れが認められ、部材断面内でのせん断ひび割れの様相を呈する（**図-4.5.2-3**）。これをコンクリート表面から観察すると「圧ざ」と呼ばれるひび割れになる。この状態からさらに曲げ変形が進行すると、最終的に部材の耐力が失われ圧縮破壊に至る。

この圧縮損傷状態にある覆工挙動を解析によって評価することは、現状では難しいので、圧縮損傷を生じていない状態の場合に適用できることとした。

ただし、圧縮損傷箇所を修復する措置を施した場合など、覆工コンクリートに生じている圧縮損傷状態を除去できる場合や自立管設計を適用する場合は、本書に示す骨組解析による設計が適用できる。

その他、以下の変状が生じている場合は、骨組解析が適用できない。

① 押し抜きによる変状（放射状のひび割れ等）が生じている場合

② 顕著な食い違い等、せん断ひび割れがみられる場合

2）覆工構造

覆工コンクリートに顕著な構造欠陥があり、軸力を十分に伝達できない場合は骨組解析の適用が難しい。顕著な構造欠陥とは以下のような場合である。

① 極端に巻厚が不足する場合・材質不良の場合（一軸圧縮強度 15N/mm² 以上の部分の厚さが設計巻厚の 1/2 未満の場合）

② 打継ぎ目（側壁とインバートの接合部等）の構造が不良な場合

③ コールドジョイント等の力学的不連続面に顕著なずれが生じている場合

ただし、上記の欠陥を除去する対策を行う場合は、本書に示す解析手法を適用できる。

3）地山条件

覆工背面の空洞が解析結果に大きな影響を与えるので、空洞の範囲が設定できることを地山条件とする。また、解析に当たっては地山の弾性係数を把握する必要がある。

4）地圧モード

地圧モード（卓越する地圧の作用方向）は、変状現象、覆工構造、地山条件から推定することができる。この地圧モードを推定できれば、本書に示す解析手法により地圧強度を推定することができる。

覆工コンクリートの圧ざが生じている場合は、圧縮損傷の状態である。圧ざの状態は、部材耐力が失われているわけではなく、トンネルとして機能している場合が多い。この圧縮損傷状態においては、引張ひび割れ先端から圧縮縁に斜め方向に向かうくさび状のひび割れが認められ、部材断面内でのせん断ひび割れの様相を呈する（**図-4.5.2-3**）。これをコンクリート表面から観察すると「圧ざ」と呼ばれるひび割れになる。この状態からさらに曲げ変形が進行すると、最終的に部材の耐力が失われ圧縮破壊に至る。

この圧縮損傷状態にある覆工挙動を解析によって評価することは、現状では難しいので、圧縮損傷を生じていない状態の場合に適用できることとした。

ただし、圧縮損傷箇所を修復する措置を施した場合など、覆工コンクリートに生じている圧縮損傷状態を除去できる場合や自立管設計を適用する場合は、本書に示す骨組解析による設計が適用できる。

その他、以下の変状が生じている場合は、骨組解析が適用できない。

① 押し抜きによる変状（放射状のひび割れ等）が生じている場合

② 顕著な食い違い等、せん断力ひび割れがみられる場合

2）覆工構造

覆工コンクリートに顕著な構造欠陥があり、軸力を十分に伝達できない場合は骨組解析の適用が難しい。顕著な構造欠陥とは以下のような場合である。

① 極端に巻厚が不足する場合・材質不良の場合（一軸圧縮強度 15N/mm² 以上の部分の厚さが設計巻厚の 1/2 未満の場合）

② 打継ぎ目（側壁とインバートの接合部等）の構造が不良な場合

③ コールドジョイント等の力学的不連続面に顕著なずれが生じている場合

ただし、上記の欠陥を除去する対策を行う場合は、本書に示す解析手法を適用できる。

3）地山条件

覆工背面の空洞が解析結果に大きな影響を与えるので、空洞の範囲が設定できることを地山条件とする。また、解析に当たっては地山の弾性係数を把握する必要がある。

4）地圧モード

地圧モード（卓越する地圧の作用方向）は、変状現象、覆工構造、地山条件から推定することができる。この地圧モードを推定できれば、本書に示す解析手法により地圧強度を推定することができる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-21 「4.5.2 解析の方法」	P.4-21 「4.5.2 解析の方法」

（3）解析モデル

荷重、地盤、覆工、及び対策工の骨組解析モデルは、以下のように作成する。

1）荷重のモデル化

荷重としては一般に地圧及び自重を考慮し、必要に応じて水圧等のその他荷重を考慮する。荷重強度は後述する方法により、現況断面の変状現象を基に解析手法を用いて作用地圧を推定するが、既往の方法により変状現象に応じた地圧を適切に推定できる場合には、現況断面の変状現象に基づく解析によらず作用地圧を設定してよい。**表-4.5.2-3** に既往の推定方法を示す。

表-4.5.2-3 地圧の推定方法

地圧の推定法		参考資料
1. 施工時の崩壊高さ	①Terzaghi の表	文献 1）の p.275 文献 2）の p.237
	②トンネルの崩壊高さ	文献 1）の p.275
2. トンネルの支保荷重	①支保工に作用する緩み高さ	文献 2）の p.39
	②内空断面と土荷重	文献 1）の p.277
	③Q 値と支保荷重の関係	文献 1）の p.277
3. 理論解による方法	①緩み圧又は全土圧	文献 3）の p.53
	②Culmann の理論	文献 1）の p.279
	③Bierbaumer の理論	文献 1）の p.280
	④Terzaghi の理論	文献 1）の p.281
	⑤Protodyakonov の理論	文献 1）の p.283
4. 計測による方法	①岩盤弾性波速度と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の p.285
	②一軸圧縮強度と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の p.286
	③地山強度比と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の p.287
	④掘削断面と緩み層厚との関係	文献 1）の p.288
	⑤準岩盤弾性波速度及び断面の大きさと緩み層厚との関係	文献 1）の p.288
5. 土かぶりの薄いトンネルの場合	①偏圧	文献 1）の p.291
	②上載荷重	文献 1）の p.291
6. その他の荷重	①水圧	文献 1）の p.291
	②地震荷重	文献 1）の p.292

参考文献
1）変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月
2）土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月
3）トンネル標準示方書［シールド工法］・同解説、土木学会、平成 28 年 8 月

2）地圧のモデル化

以下に示す条件から、地圧モード（卓越する地圧の作用方向）を設定する。

① 地形条件（土かぶり、急斜面等）

（3）解析モデル

荷重、地盤、覆工、及び対策工の骨組解析モデルは、以下のように作成する。

1）荷重のモデル化

荷重としては一般に地圧及び自重を考慮し、必要に応じて水圧等のその他荷重を考慮する。荷重強度は後述する方法により、現況断面の変状現象を基に解析手法を用いて作用地圧を推定するが、既往の方法により変状現象に応じた地圧を適切に推定できる場合には、現況断面の変状現象に基づく解析によらず作用地圧を設定してよい。**表-4.5.2-3** に既往の推定方法を示す。

表-4.5.2-3 地圧の推定方法

地圧の推定法		参考資料
1. 施工時の崩壊高さ	①Terzaghi の表	文献 1）の P.275 文献 2）の P.237
	②トンネルの崩壊高さ	文献 1）の P.275
2. トンネルの支保荷重	①支保工に作用する緩み高さ	文献 2）の P.39
	②内空断面と土荷重	文献 1）の P.277
	③Q 値と支保荷重の関係	文献 1）の P.277
3. 理論解による方法	①緩み圧又は全土圧	文献 3）の P.53
	②Culmann の理論	文献 1）の P.279
	③Bierbaumer の理論	文献 1）の P.280
	④Terzaghi の理論	文献 1）の P.281
	⑤Protodyakonov の理論	文献 1）の P.283
4. 計測による方法	①岩盤弾性波速度と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の P.285
	②一軸圧縮強度と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の P.286
	③地山強度比と緩み層厚又は塑性範囲との関係	文献 1）の P.287
	④掘削断面と緩み層厚との関係	文献 1）の P.288
	⑤準岩盤弾性波速度及び断面の大きさと緩み層厚との関係	文献 1）の P.288
5. 土かぶりの薄いトンネルの場合	①偏圧	文献 1）の P.291
	②上載荷重	文献 1）の P.291
6. その他の荷重	①水圧	文献 1）の P.291
	②地震荷重	文献 1）の P.292

参考文献
1）変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月
2）土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月
3）トンネル標準示方書［シールド工法］・同解説、土木学会、平成 28 年 8 月

2）地圧のモデル化

以下に示す条件から、地圧モード（卓越する地圧の作用方向）を設定する。

① 地形条件（土かぶり、急斜面等）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-23 「4.5.2 解析の方法」	P.4-23 「4.5.2 解析の方法」

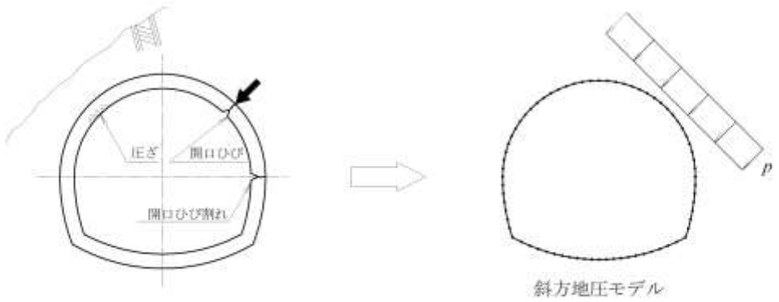


図-4.5.2-6 偏圧のモデル化

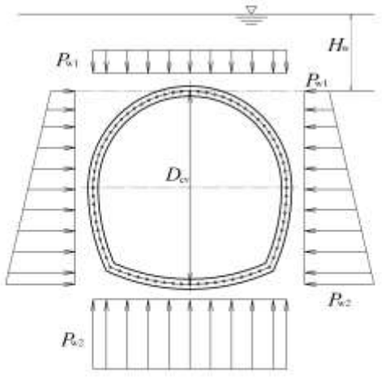
3）地下水圧のモデル化

湧水等の状況から地下水圧を考慮する必要がある場合には、地下水圧を考慮する。図-4.5.2-7 に地下水圧の解析モデルを示す。設計地下水位は以下のとおり設定する。

覆工アーチ部にウィープホールを設ける場合は、覆工の天端高までの地下水圧を考慮する。

現場条件からウィープホールを設けることが不可能な場合又は将来、ウィープホールが目詰まり等のためにその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。それに際しては「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.354」の内張管の事故事例等を参考に、十分安全となる地下水圧を考慮した設計を行わなければならない。

ここでいうウィープホールを設けることが不可能な場合とは、ウィープホールを設けると地下水位の低下や地盤の沈下が発生し、トンネル周辺に悪影響を及ぼすおそれがあるような場合である。



$P_{w1}=\gamma_w \cdot H_w$

$P_{w2}=P_{w1}+\gamma_w \cdot D_{cv}$

ここに、

H_w ：覆工外周の頂点から測った静水面の高さ

γ_w ：水の単位体積重量

D_{cv} ：覆工の図心直径（トンネルの高さ）

である。

図-4.5.2-7 地下水圧の解析モデル（概念図）

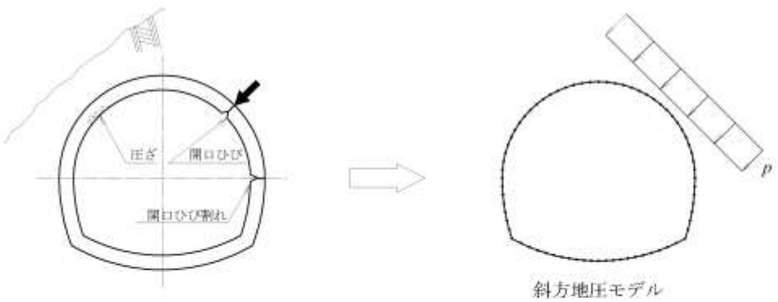


図-4.5.2-6 偏圧のモデル化

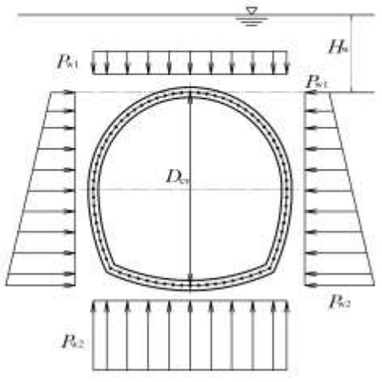
3）地下水圧のモデル化

湧水等の状況から地下水圧を考慮する必要がある場合には、地下水圧を考慮する。図-4.5.2-7 に地下水圧の解析モデルを示す。設計地下水位は以下のとおり設定する。

覆工アーチ部にウィープホールを設ける場合は、覆工の天端高までの地下水圧を考慮する。

現場条件からウィープホールを設けることが不可能な場合、又は、将来、ウィープホールが目詰まり等のためにその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。それに際しては「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）P.354」の内張管の事故事例等を参考に、十分安全となる地下水圧を考慮した設計を行わなければならない。

ここでいうウィープホールを設けることが不可能な場合とは、ウィープホールを設けると地下水位の低下や地盤の沈下が発生し、トンネル周辺に悪影響を及ぼすおそれがあるような場合である。



$P_{w1}=\gamma_w \cdot H_w$

$P_{w2}=P_{w1}+\gamma_w \cdot D_{cv}$

ここに、

H_w ：覆工外周の頂点から測った静水面の高さ

γ_w ：水の単位体積重量

D_{cv} ：覆工の図心直径（トンネルの高さ）

である。

図-4.5.2-7 地下水圧の解析モデル（概念図）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-24 「4.5.2 解析の方法」	P.4-24 「4.5.2 解析の方法」

4）充満水による静水圧のモデル化

解析に当たっては充満水による静水圧を考慮する。**図-4.5.2-8** に充満水による静水圧のモデルを示す。

ただし、地圧の種類によっては充満水による静水圧が外力の相殺力として作用する場合もあるので、荷重の組合せに留意し、安全側となる荷重の組合せを適用する必要がある。

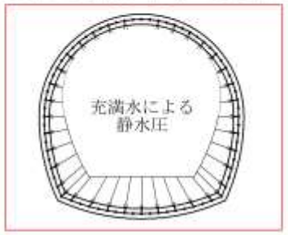


図-4.5.2-8 充満水による静水圧の解析モデル（概念図）

5）地盤のモデル化

① 解析モデル

地盤は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化する。ただし、地盤ばねは圧縮方向にのみ作用させるものとし、覆工が内側へ変位する場合には考慮しない。また、解析において背面空洞をモデル化する場合、その範囲には地盤ばねを設定しない。

図-4.5.2-9 に覆工コンクリート及び地盤の解析モデルの概念図を示す。

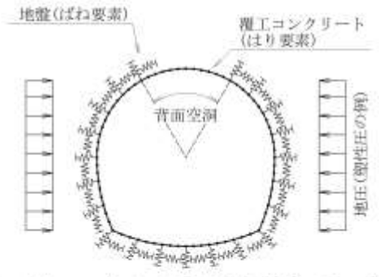


図-4.5.2-9 覆工コンクリート及び地盤の解析モデル（概念図）

② 解析物性値

地盤ばね係数の算定は、「変状トンネル対策工設計マニュアル」（鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）等の地盤反力係数の考え方に準拠して行う。以下に、上記マニュアルに準拠した地盤ばね係数の算定法を示す。

4）充満水による静水圧のモデル化

解析に当たっては充満水による静水圧を考慮する。**図-4.5.2-8** に充満水による静水圧のモデルを示す。

ただし、地圧の種類によっては充満水による静水圧が外力の相殺力として作用する場合もあるので、荷重の組合せに留意し、安全側となる荷重の組合せを適用する必要がある。



図-4.5.2-8 充満水による静水圧の解析モデル（概念図）

5）地盤のモデル化

① 解析モデル

地盤は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化する。ただし、地盤ばねは圧縮方向にのみ作用させるものとし、覆工が内側へ変位する場合には考慮しない。また、解析において背面空洞をモデル化する場合、その範囲には地盤ばねを設定しない。

図-4.5.2-9 に覆工コンクリート及び地盤の解析モデルの概念図を示す。

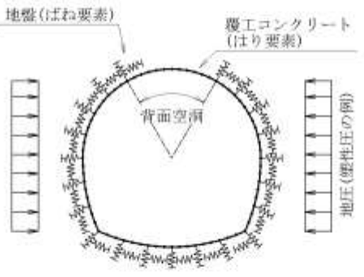


図-4.5.2-9 覆工コンクリート及び地盤の解析モデル（概念図）

② 解析物性値

地盤ばね係数の算定は、「変状トンネル対策工設計マニュアル」（鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）等の地盤反力係数の考え方に準拠して行う。以下に、上記マニュアルに準拠した地盤ばね係数の算定法を示す。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.4-25　「4.5.2　解析の方法」

$$k_r = \frac{1}{0.3}\alpha \cdot E_0 \cdot \left(\frac{B}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-1}$$

$$K_r = k_r \cdot A \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-2}$$

ここで、k_r　：法線方向地盤反力係数（kN/m³）
K_r　：法線方向地盤ばね係数（kN/m）
α　：E_0 の算定法に対する補正係数（**表-4.5.2-4** 参照）
E_0　：地盤の変形係数（kN/m²）
B　：荷重方向に直交する基礎の載荷幅とし、塑性圧の場合はトンネル全高、緩み圧の場合はトンネル全幅を適用する。偏圧の場合は全高と全幅の大きい方を適用してよい。（m）
A　：節点の支配面積（m²）

また、接線方向地盤ばね係数 K_θ は、法線方向地盤ばね係数 K_r の 1/3 とする。

表-4.5.2-4　E_0 の算定法に対する補正係数

地盤の変形係数の算定方法	α
直径 30cm の剛体円盤による平板載荷試験の繰り返し曲線から求めた変形係数 1/2	1
ボーリング孔内で測定した変形係数	4
一軸又は三軸試験から求めた変形係数	4
標準貫入試験の N 値より E_0=2800N で推定した変形係数	1

地盤ばね係数は、坑内弾性波探査や標準貫入試験、載荷試験等の測定値から地盤の変形係数（E_0）を求め、**式 4.5.2-1** で地盤反力係数を算定することを標準とする。地盤の変形係数を算定することが困難で、地山が土砂相当（砂質土又は粘性土）の場合は、「トンネル標準示方書［シールド工法編］・同解説、土木学会、2016 年、p.55、**解説 表 2.2.1**」に示された土砂の地盤反力係数（k）を適用している事例もある。

6）覆工のモデル化

覆工コンクリートの断面は、トンネル設計時の断面形状、部材厚及び部材の設計基準強度等に準拠してモデル化するが、これらの実測値がある場合は、実測値を用いるのがよい。

①　解析モデル

覆工コンクリートは線形弾性のはりとしてモデル化し、ひび割れ断面はひび割れ発生時点で塑性ヒンジとしてモデル化（剛結からピン結合に変更）する。施工継目等の不連続面については、その状況に応じてピン結合等によりモデル化してもよい。

解析モデルの支点条件は適切にモデル化しなければならない。覆工コンクリートは周囲を地盤ば

P.4-25　「4.5.2　解析の方法」

$$k_r = \frac{1}{0.3}\alpha \cdot E_0 \cdot \left(\frac{B}{0.3}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-1}$$

$$K_r = k_r \cdot A \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-2}$$

ここで、k_r　：法線方向地盤反力係数（kN/m³）
K_r　：法線方向地盤ばね係数（kN/m）
α　：E_0 の算定法に対する補正係数（**表-4.5.2-4** 参照）
E_0　：地盤の変形係数（kN/m²）
B　：荷重方向に直交する基礎の載荷幅とし、塑性圧の場合はトンネル全高、緩み圧の場合はトンネル全幅を適用する。偏圧の場合は全高と全幅の大きい方を適用してよい。（m）
A　：節点の支配面積（m²）

また、接線方向地盤ばね係数 K_θ は、法線方向地盤ばね係数 K_r の 1/3 とする。

表-4.5.2-4　E_0 の算定法に対する補正係数

地盤の変形係数の算定方法	α
直径 30cm の剛体円盤による平板載荷試験の繰り返し曲線から求めた変形係数 1/2	1
ボーリング孔内で測定した変形係数	4
一軸又は三軸試験から求めた変形係数	4
標準貫入試験の N 値より E_0=2800N で推定した変形係数	1

地盤ばね係数は、坑内弾性波探査や標準貫入試験、載荷試験等の測定値から地盤の変形係数（E_0）を求め、**式 4.5.2-1** で地盤反力係数を算定することを標準とする。地盤の変形係数を算定することが困難で、地山が土砂相当（砂質土又は粘性土）の場合は、「トンネル標準示方書［シールド工法編］・同解説、土木学会、2016 年、P.55、**解説 表 2.2.1**」に示された土砂の地盤反力係数（k）を適用している事例もある。

6）覆工のモデル化

覆工コンクリートの断面は、トンネル設計時の断面形状、部材厚及び部材の設計基準強度等に準拠してモデル化するが、これらの実測値がある場合は、実測値を用いるのがよい。

①　解析モデル

覆工コンクリートは線形弾性のはりとしてモデル化し、ひび割れ断面はひび割れ発生時点で塑性ヒンジとしてモデル化（剛結からピン結合に変更）する。施工継目等の不連続面については、その状況に応じてピン結合等によりモデル化してもよい。

解析モデルの支点条件は適切にモデル化しなければならない。覆工コンクリートは周囲を地盤ば

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-26　「4.5.2　解析の方法」

ねで支持された解析モデルが標準であるが、アーチ部のみを補強する場合（インバートを除く解析モデル）については、側壁基部を必ずしも不動点とせず適切にモデル化する。（側壁基部は地圧の作用で水平方向に変位することが想定される。この場合は水平ローラ支点を適用してよい。しかし、インバートとの接合条件によってはピン接合となる場合も想定されるため、支点条件に応じて適切にモデル化する必要がある。）

②　解析に用いる物性値

解析に用いる物性値として覆工コンクリートの部材厚や弾性係数等を設定する。また、ひび割れの判定を行うため、コンクリートの圧縮強度及び引張強度を設定する。

表-4.5.2-5 に解析に用いる覆工コンクリートの物性値設定例を示す。

③　自重

覆工の解析に当たっては自重を考慮する。

表-4.5.2-5　解析に用いる覆工コンクリートの物性値設定例

項　目	数　値	備　考
部材厚　t　m	0.30 m	（注 1）
断面二次モーメント　I　m^4	0.00225 m^4	$I=(b\cdot t^3)/12$　b：単位幅（1.0m）
断面係数　Z　m^3	0.01500 m^3	$Z=(b\cdot t^2)/6$　b：単位幅（1.0m）
圧縮強度　f_c'　N/mm^2	18.0 N/mm^2	（注 2）
引張強度　f_t　N/mm^2	1.58 N/mm^2 =1580 kN/m^2	（注 3）
弾性係数　E_c　kN/m^2	2.2×10^7 kN/m^2	（注 4）
単位体積重量　γ_c　kN/m^3	23.0 kN/m^3	無筋コンクリートの標準値

（注 1）コアボーリングによる計測値（＜設計値）を適用した事例である。

（注 2）設計基準強度（f_{ck}'=18N/mm^2 ）を適用する。

（注 3）「コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2022 年、p.40」より、$f_t=0.23f_c'^{2/3}$ で算定した。

（注 4）「コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2022 年、p.45」より、**式 4.5.2-3** で算出した。

$$E_c=\left(2.2+\frac{f_c'-18}{20}\right)\times10^4 \quad f_c'<30 \ (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-3}$$

図-4.5.2-10 にひび割れの解析モデルの概念図を示す。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-26　「4.5.2　解析の方法」

ねで支持された解析モデルが標準であるが、アーチ部のみを補強する場合（インバートを除く解析モデル）については、側壁基部を必ずしも不動点とせず適切にモデル化する。（側壁基部は地圧の作用で水平方向に変位することが想定される。この場合は水平ローラ支点を適用してよい。しかし、インバートとの接合条件によってはピン接合となる場合も想定されるため、支点条件に応じて適切にモデル化する必要がある。）

②　解析に用いる物性値

解析に用いる物性値として覆工コンクリートの部材厚や弾性係数等を設定する。また、ひび割れの判定を行うため、コンクリートの圧縮強度及び引張強度を設定する。

表-4.5.2-5 に解析に用いる覆工コンクリートの物性値設定例を示す。

③　自重

覆工の解析に当たっては自重を考慮する。

表-4.5.2-5　解析に用いる覆工コンクリートの物性値設定例

項　目	数　値	備　考
部材厚　t　m	0.30 m	（注 1）
断面二次モーメント　I　m^4	0.00225 m^4	$I=(b\cdot t^3)\div12$　b：単位幅（1.0m）
断面係数　Z　m^3	0.01500 m^3	$Z=(b\cdot t^2)\div6$　b：単位幅（1.0m）
圧縮強度　f_c'　N/mm^2	18.0 N/mm^2	（注 2）
引張強度　f_t　N/mm^2	1.58 N/mm^2 =1580 kN/m^2	（注 3）
弾性係数　E_c　kN/m^2	2.2×10^7 kN/m^2	（注 4）
単位体積重量　γ_c　kN/m^3	23.0 kN/m^3	無筋コンクリートの標準値

（注 1）コアボーリングによる計測値（＜設計値）を適用した事例である。

（注 2）設計基準強度（f_{ck}'=18N/mm^2 ）を適用する。

（注 3）「コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2017 年、P.39」より、$f_t=0.23f_c'^{2/3}$ で算定した。

（注 4）「コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2017 年、P.43」より、**式 4.5.2-3** で算出した。

$$E_c=\left(2.2+\frac{f_c'-18}{20}\right)\times10^4 \quad f_c'<30 \ (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-3}$$

図-4.5.2-10 にひび割れの解析モデルの概念図を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-27 「4.5.2　解析の方法」	**P.4-27** 「4.5.2　解析の方法」

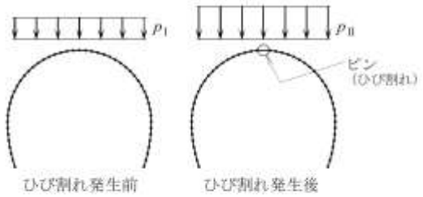


図-4.5.2-10　ひび割れのモデル化（概念図）

7）現況地圧強度の推定

覆工コンクリートに曲げひび割れが生じている場合は、ひび割れ位置等から地圧モードを設定し、以下の方法で覆工コンクリートに作用する現況地圧強度を推定する。

①　曲げ引張ひび割れが発生している場合の地圧強度

本解析においては、覆工コンクリート内縁の引張応力度が覆工コンクリートの引張強度 f_t を上回った場合に曲げ引張ひび割れが発生したと判定する。よって、現況地圧強度は、覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t が覆工コンクリートの引張強度 f_t と一致するときの強度とする。

覆工コンクリートの応力度は、**式 4.5.2-4** で求める。なお、コンクリートの引張強度 f_t は、圧縮強度 f_c' から、$f_t = 0.23 f_c'^{2/3}$（コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2022 年、p.40）により求めてよい。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-4}$$

ここに、σ　：覆工コンクリート（無筋）の応力度（kN/m²）
N　：軸力（kN）
A　：$A=b\cdot t$（m²）
b　：単位幅=1.0（m）
t　：覆工厚（m）
M　：曲げモーメント（kN･m）
Z　：断面係数（m³）

ただし、解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置に±30°を上回る差が生じた場合や、側壁とインバートのように解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置の発生部位が異なる場合は、±30°に関わらず地圧や覆工モデルの見直しを行う。**図-4.5.2-11** に解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置の関係を示す。

地圧モデルを変更する場合は、例えば塑性圧から偏圧又は緩み圧への見直しを行う。覆工モデルの変更を行う場合は、施工継目等の不連続面を剛結からピン結合に変更するなどの見直しが考えられる。

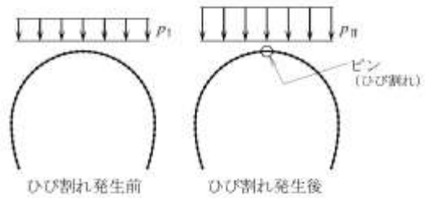


図-4.5.2-10　ひび割れのモデル化（概念図）

7）現況地圧強度の推定

覆工コンクリートに曲げひび割れが生じている場合は、ひび割れ位置等から地圧モードを設定し、以下の方法で覆工コンクリートに作用する現況地圧強度を推定する。

①　曲げ引張ひび割れが発生している場合の地圧強度

本解析においては、覆工コンクリート内縁の引張応力度が覆工コンクリートの引張強度 f_t を上回った場合に曲げ引張ひび割れが発生したと判定する。よって、現況地圧強度は、覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t が覆工コンクリートの引張強度 f_t と一致するときの強度とする。

覆工コンクリートの応力度は、**式 4.5.2-4** で求める。なお、コンクリートの引張強度 f_t は、圧縮強度 f_c' から、$f_t = 0.23 f_c'^{2/3}$（コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2017 年、P.39）により求めてよい。

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-4}$$

ここに、σ　：覆工コンクリート（無筋）の応力度（kN/m²）
N　：軸力（kN）
A　：$A=b\cdot t$（m²）
b　：単位幅=1.0（m）
t　：覆工厚（m）
M　：曲げモーメント（kN･m）
Z　：断面係数（m³）

ただし、解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置に±30°を上回る差が生じた場合や、側壁とインバートのように解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置の発生部位が異なる場合は、±30°に関わらず地圧や覆工モデルの見直しを行う。**図-4.5.2-11** に解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置の関係を示す。

地圧モデルを変更する場合は、例えば塑性圧から偏圧又は緩み圧への見直しを行う。覆工モデルの変更を行う場合は、施工継目等の不連続面を剛結からピン結合に変更するなどの見直しが考えられる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-28 「4.5.2 解析の方法」	P.4-28 「4.5.2 解析の方法」



図-4.5.2-11 解析上のひび割れと現況のひび割れの関係

補強対策の検討に適用する設計地圧強度は、曲げ引張ひび割れから推定した現況地圧強度に、後述する安全係数（作用係数 γ）を乗じた地圧強度とする。ただし、この曲げ引張ひび割れから推定した現況地圧強度が、②に示す**矢板工法の支保工に作用する荷重**（**表-4.5.2-6** 及び**表-4.5.2-7**）を下回る場合は、矢板工法の支保工に作用する荷重を設計地圧強度とする。この場合においても、地圧の作用範囲や地圧モデルの種類（塑性圧、緩み圧、偏圧）は、曲げひび割れから推定したモデルを適用する。

② 矢板工法の支保工に作用する荷重

矢板工法の支保工に作用する地圧は、特別な場合を除き、**表-4.5.2-6** に示した緩み高さの値を標準として算定することができる。

表-4.5.2-6 支保工に作用する緩み高さの標準（単位：m）

トンネルタイプ（注1）	Bタイプ	Cタイプ	D, Eタイプ	備考
緩み高さ	$0.5D_e$	$1.0D_e$	$2.0D_e$	D_e：掘削断面の直径（余掘を含む）

（注1）トンネルタイプの分類については土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」（平成26年7月）p.29を参照のこと

なお、特別な場合とは次に示す地質条件の場合である。このような場合には、**表-4.5.2-7** 等を参考に状況に応じて検討する必要がある。

① 地質が堅硬な岩石で極めて良好な場合。
② 地質が著しく不良で、かつ湧水もあって土砂が流動状態になりやすい場合。
③ 大きな押出し性及び膨張性の地圧が生じる場合。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成26年7月、p.39）



図-4.5.2-11 解析上のひび割れと現況のひび割れの関係

補強対策の検討に適用する設計地圧強度は、曲げ引張ひび割れから推定した現況地圧強度に、後述する安全係数（作用係数 γ）を乗じた地圧強度とする。ただし、この曲げ引張ひび割れから推定した現況地圧強度が、②に示す**矢板工法の支保工に作用する荷重**（**表-4.5.2-6** 及び**表-4.5.2-7**）を下回る場合は、矢板工法の支保工に作用する荷重を設計地圧強度とする。この場合においても、地圧の作用範囲や地圧モデルの種類（塑性圧、緩み圧、偏圧）は、曲げひび割れから推定したモデルを適用する。

② 矢板工法の支保工に作用する荷重

矢板工法の支保工に作用する地圧は、特別な場合を除き、**表-4.5.2-6** に示した緩み高さの値を標準として算定することができる。

表-4.5.2-6 支保工に作用する緩み高さの標準（単位：m）

トンネルタイプ（注1）	Bタイプ	Cタイプ	D, Eタイプ	備考
緩み高さ	$0.5D_e$	$1.0D_e$	$2.0D_e$	D_e：掘削断面の直径（余掘を含む）

（注1）トンネルタイプの分類については土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」（平成26年7月）P.29を参照のこと

なお、特別な場合とは次に示す地質条件の場合である。このような場合には、**表-4.5.2-7** 等を参考に状況に応じて検討する必要がある。

① 地質が堅硬な岩石で極めて良好な場合。
② 地質が著しく不良で、かつ湧水もあって土砂が流動状態になりやすい場合。
③ 大きな押出し性及び膨張性の地圧が生じるような場合。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成26年7月、P.39）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-29　「4.5.2　解析の方法」

表-4.5.2-7　Terzaghi の支保工に作用する土荷重の表

岩　盤　の　状　態	土荷重の高さ（m）	摘　　要
① 堅硬で侵されていないもの	0	肌落ちや山はねのある場合は軽易な支保工を要する。
② 徐々に押出してくるもの（中程度のかぶり）	（1.10～2.10）（$B+H_t$）	大きな側圧、インバートストラットが必要で、円形支保工が推奨される。
③ 徐々に押出してくるもの（大きなかぶり）	（2.10～4.50）（$B+H_t$）	
④ 膨張性の地質	（$B+H_t$）の値にかかわらず 80 以上	円形支保工を要する。膨張性が激しい場合は可縮支保工を用いる。

（注1）この表は、土かぶり 1.5（$B+H_t$）以上の場合の鋼アーチ支保工天端に作用する土荷重の高さを示す。
B はトンネル掘削断面の幅（m）、H_t はトンネル掘削断面の高さ（m）
（注2）この表は、トンネル天端が地下水位以下にあるものとする。
（注3）1946 年出版の、Rock Tunneling with Steel Supports 所載、Karl Terzaghi 著：Introduction to Tunnnel Geology による。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、p.237）

なお、地山を構成する岩石の単位体積重量については、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.131」等を参考に設定し、作用地圧強度を算定する。また、ここで求めた地圧強度と、①で推定した設計地圧強度を比較して、大きい方を設計荷重とするが、②の地圧強度を採用する場合においても①で設定した地圧モードと地圧の作用範囲は踏襲する。すなわち、②で求まる荷重は鉛直方向荷重であるが、この荷重強度をそのまま塑性圧や偏圧にも適用してよい。

③　圧ざ（圧縮損傷）が発生している場合の地圧強度

引張ひび割れが発生した後の覆工コンクリートの挙動は線形解析では評価できないが、本書では、圧ざ（圧縮損傷）箇所を適切に修復し、覆工コンクリートに生じている損傷状態を除去できる場合には、骨組解析による設計が適用できることとした。この場合の現況地圧強度は、覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' がコンクリートの圧縮強度 f_c' と一致するときの地圧強度としてよい。

なお、圧ざ（圧縮損傷）が発生している場合の地圧強度の設定方法はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

8）荷重の組合せ

解析に当たっては、あらゆる荷重状態を勘案して覆工コンクリート部材に最大応力が生じるような荷重条件の組合せを考える。**表-4.5.2-8** に想定される荷重の組合せを示す。このうち地下水圧及び充満水による静水圧は湧水状況や地圧モードに応じて適切な組合せを検討する。

表-4.5.2-8　現況断面の解析に適用する荷重の組合せ

荷　重		組合せ		
		I	II	III
(a)	自　重	○	○	○
(b)	地　圧	○	○	○
(c)	地下水圧	○	○	
(d)	充満水による静水圧		○	○

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-29　「4.5.2　解析の方法」

表-4.5.2-7　Terzaghi の支保工に作用する土荷重の表

岩　盤　の　状　態	土荷重の高さ（m）	摘　　要
① 堅硬で侵されていないもの	0	肌落ちや山はねのある場合は軽易な支保工を要する。
② 徐々に押出してくるもの（中程度のかぶり）	（1.10～2.10）（$B+H_t$）	大きな側圧、インバートストラットが必要で、円形支保工が推奨される。
③ 徐々に押出してくるもの（大きなかぶり）	（2.10～4.50）（$B+H_t$）	
④ 膨張性の地質	（$B+H_t$）の値にかかわらず 80 以上	円形支保工を要する。膨張性が激しい場合は可縮支保工を用いる。

（注1）この表は、土かぶり 1.5（$B+H_t$）以上の場合の鋼アーチ支保工天端に作用する土荷重の高さを示す。
B はトンネル掘削断面の幅（m）、H_t はトンネル掘削断面の高さ（m）
（注2）この表は、トンネル天端が地下水位以下にあるものとする。
（注3）1946 年出版の、Rock Tunneling with Steel Supports 所載、Karl Terzaghi 著：Introduction to Tunnnel Geology による。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、P.237）

なお、地山を構成する岩石の単位体積重量については、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）P.131」等を参考に設定し、作用地圧強度を算定する。また、ここで求めた地圧強度と、①で推定した設計地圧強度を比較して、大きい方を設計荷重とするが、②の地圧強度を採用する場合においても①で設定した地圧モードと地圧の作用範囲は踏襲する。すなわち、②で求まる荷重は鉛直方向荷重であるが、この荷重強度をそのまま塑性圧や偏圧にも適用してよい。

③　圧ざ（圧縮損傷）が発生している場合の地圧強度

引張ひび割れが発生した後の覆工コンクリートの挙動は線形解析では評価できないが、本書では、圧ざ（圧縮損傷）箇所を適切に修復し、覆工コンクリートに生じている損傷状態を除去できる場合には、骨組解析による設計が適用できることとした。この場合の現況地圧強度は、覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' がコンクリートの圧縮強度 f_c' と一致するときの地圧強度としてよい。

なお、圧ざ（圧縮損傷）が発生している場合の地圧強度の設定方法はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

8）荷重の組合せ

解析に当たっては、あらゆる荷重状態を勘案して覆工コンクリート部材に最大応力が生じるような荷重条件の組合せを考える。**表-4.5.2-8** に想定される荷重の組合せを示す。このうち地下水圧及び充満水による静水圧は湧水状況や地圧モードに応じて適切な組合せを検討する。

表-4.5.2-8　現況断面の解析に適用する荷重の組合せ

荷　重		組合せ		
		I	II	III
(a)	自　重	○	○	○
(b)	地　圧	○	○	○
(c)	地下水圧	○	○	
(d)	充満水による静水圧		○	○

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-30　「4.5.2　解析の方法」	P.4-30　「4.5.2　解析の方法」

9）対策工のモデル化

対策工は、既往の対策実績などから一般的な諸元を設定してモデル化する。ただし、ここに示すモデル化の方法以外で妥当性があると判断できるものについてはこの方法によらなくてもよい。

覆工コンクリートに外力を負担させる補強工法（裏込注入工法、接着工法、ロックボルト補強工法等）については、解析手法で設定した設計地圧強度と覆工コンクリートの応力度を引継いで補強効果の検討を行うことを原則とする。

裏込注入工法は、注入範囲に地圧と地盤ばねを作用させることでモデル化する。**図-4.5.2-12** に裏込注入工法の解析モデルの概念図を示す。

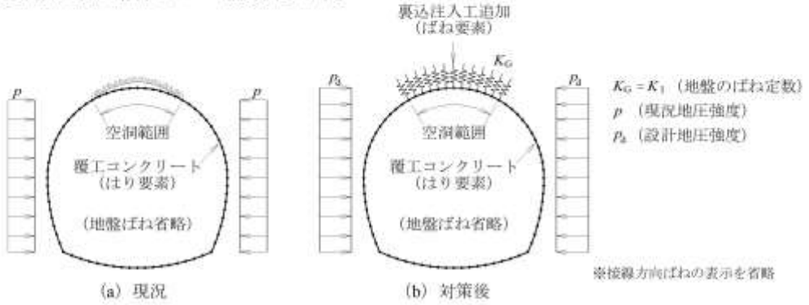


図-4.5.2-12　裏込注入工法解析モデル（概念図）

覆工背面空洞の裏込注入を行う場合は、ある程度の剛性を有する裏込注入材を用いることにより背面空洞が無い場合に近い値まで変形抑制効果を高めることができるが、剛性の低い裏込注入材を用いた場合は、変形抑制効果が注入前と大きく変わらない。よって、外力対策として裏込注入工法を適用する場合は、地山の弾性係数を考慮して材料を選定する必要がある。参考として、裏込注入材の弾性係数が地山の弾性係数の 1/4 を下回ると、解析上、急激に変形抑制効果が低減するという研究成果（佐藤ら、2012.7）もある。

発泡ウレタン系注入材の弾性係数は発泡倍率によって大きく異なり、発泡倍率の大きなものは弾性係数が 2MPa 程度であるため、地盤反力が必要な場合は、材料（発泡倍率）の選定に留意する。

裏込注入材と地山の弾性係数の比が 1/4 以上あると見込める場合は、裏込注入材の物性値（ばね係数）を地山相当としてよい。ただし、裏込注入工法による地山の物性変化は考慮しないものとする。

（参考：佐藤文法他、山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.1267-1268、2012.7）

（参考：日下敦他、山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察、トンネル工学報告集、第 26 巻、Ⅰ-19、pp.1-7、2016.11）

自立管として設計する改修工法（鋼板内張工法、既製管挿入工法、製管工法等）については、補

9）対策工のモデル化

対策工は、既往の対策実績などから一般的な諸元を設定してモデル化する。ただし、ここに示すモデル化の方法以外で妥当性があると判断できるものについてはこの方法によらなくてもよい。

覆工コンクリートに外力を負担させる補強工法（裏込注入工法，接着工法、ロックボルト補強工法等）については、解析手法で設定した設計地圧強度と覆工コンクリートの応力度を引継いで補強効果の検討を行うことを原則とする。

裏込注入工法は、注入範囲に地圧と地盤ばねを作用させることでモデル化する。**図-4.5.2-12** に裏込注入工法の解析モデルの概念図を示す。

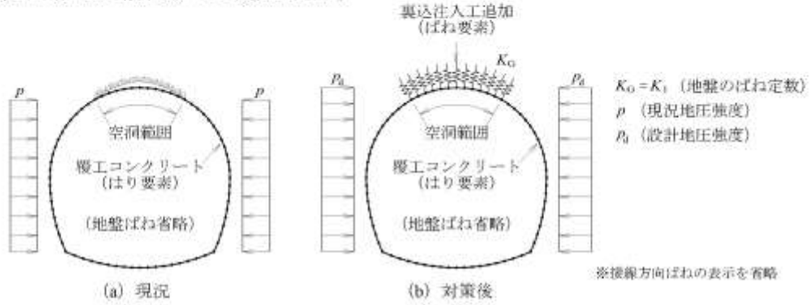


図-4.5.2-12　裏込注入工法解析モデル（概念図）

覆工背面空洞の裏込注入を行う場合は、ある程度の剛性を有する裏込注入材を用いることにより背面空洞が無い場合に近い値まで変形抑制効果を高めることができるが、剛性の低い裏込注入材を用いた場合は、変形抑制効果が注入前と大きく変わらない。よって、外力対策として裏込注入工法を適用する場合は、地山の弾性係数を考慮して材料を選定する必要がある。参考として、裏込注入材の弾性係数が地山の弾性係数の 1/4 を下回ると、解析上、急激に変形抑制効果が低減するという研究成果（佐藤ら、2012.7）もある。

発泡ウレタン系注入材の弾性係数は発泡倍率によって大きく異なり、発泡倍率の大きなものは弾性係数が 2MPa 程度であるため、地盤反力が必要な場合は、材料（発泡倍率）の選定に留意する。

裏込注入材と地山の弾性係数の比が 1/4 以上あると見込める場合は、裏込注入材の物性値（ばね係数）を地山相当としてよい。ただし、裏込注入工法による地山の物性変化は考慮しないものとする。

（参考：佐藤文法他、山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.1267-1268、2012.7）

（参考：日下敦他、山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込注入材の剛性と効果に関する一考察、トンネル工学報告集、第 26 巻、Ⅰ-19、pp.1-7、2016.11）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-32　「4.5.2　解析の方法」	P.4-32　「4.5.2　解析の方法」

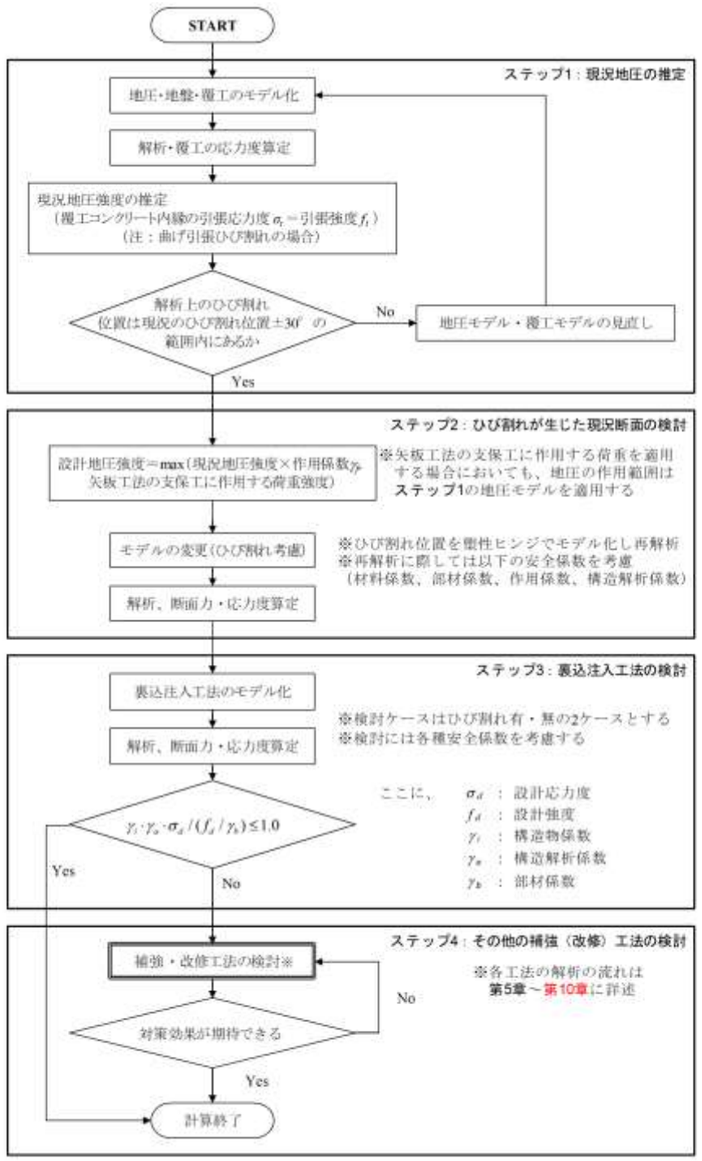


図-4.5.2-13　現況断面の変状現象を基に解析手法を用いて作用地圧を推定する場合の構造計算の流れ

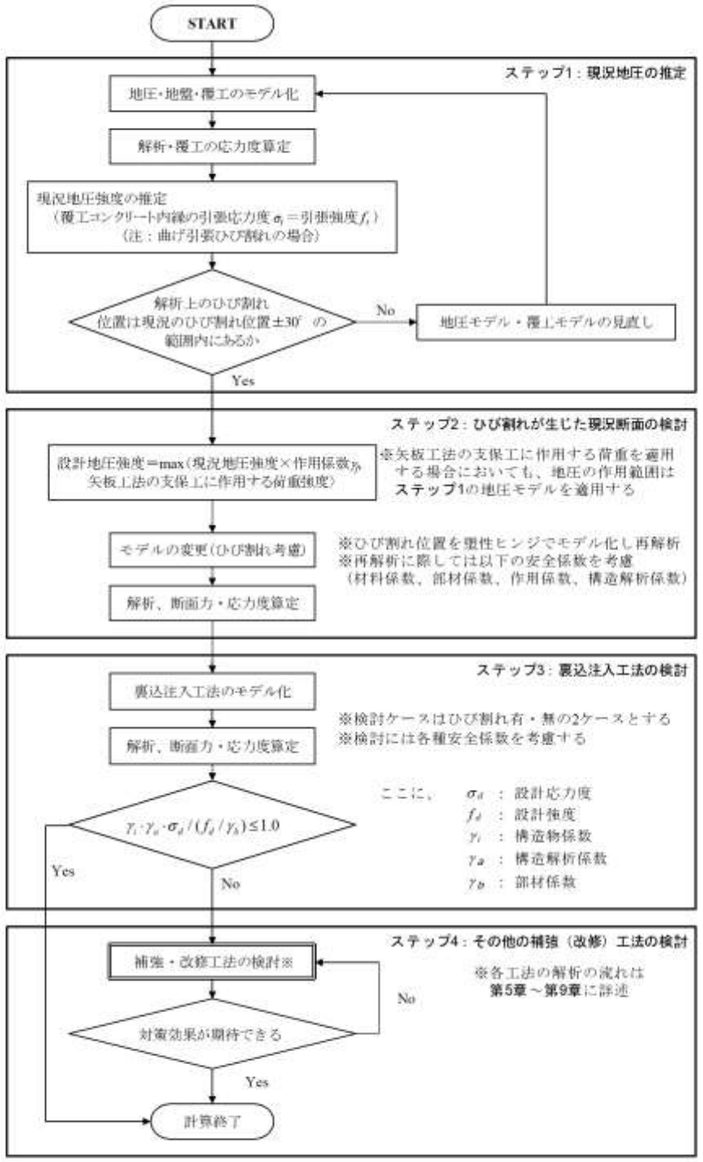


図-4.5.2-13　現況断面の変状現象を基に解析手法を用いて作用地圧を推定する場合の構造計算の流れ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-33 「4.5.2 解析の方法」

表-4.5.2-9 安全係数が表現する内容と対策の検討に適用する安全係数の値

項 目	内 容	一般値	採用値
材料係数 γ_m	・材料試験データの不足や偏り・品質管理の程度 ・供試体と構造物中との強度差・材料強度の経時変化	1.3	1.3
部材係数 γ_b	・部材寸法のバラツキ・部材の重要性 ・耐力計算の不確実性・破壊性状	1.1～1.3	1.3 (注1)
作用係数 γ_f	・作用の統計的データの不足や偏り・将来的な荷重の変動 ・作用を算定する手法の不確実性	1.0～1.2	1.0 又は 1.2 (注2)
構造解析係数 γ_a	・構造解析による作用力算定の不確実性	1.0～1.1	1.0 又は 1.1 (注3)
構造物係数 γ_i	・構造物の重要度 ・限界状態に至った場合の社会的影響度	1.0～1.2	1.0

（注1） 一般に、鉄筋コンクリートの部材係数 γ_b は、曲げ耐力に対して 1.1、せん断耐力に対して 1.3 が適用される。一方、無筋コンクリート覆工の部材係数 γ_b は、部材厚が不均一であることや、曲げ圧縮に対し構造自体が不安定であることから、鉄筋コンクリートのせん断耐力と同様に 1.3 を適用してよい。

（注2） 作用係数 γ_f について、ステップ 2 以降に適用する地圧強度及び地下水圧の作用係数 γ_f は 1.2 としてよい。ただし、充満水による静水圧の作用係数 γ_f は 1.0 としてよい。

（注3） 本解析では、ひび割れの生じた覆工コンクリートを線形弾性のはりとしてモデル化するが、ひび割れ断面を塑性ヒンジでモデル化することを前提としているため、断面力を過小評価するおそれがある。このことを踏まえ、構造解析係数 γ_a については、骨組解析モデルの不確実性を考慮し、「トンネル標準示方書［シールド工法編］」に準拠して 1.0～1.1 の幅を持たせた。よって、覆工コンクリートに塑性ヒンジ（ひび割れ）を適用する場合の構造解析係数 γ_a は 1.1 としてよい。また、塑性ヒンジを適用しない場合の構造解析係数 γ_a は 1.0 としてよい。

（参考：コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2022 年制定、p.31）

（参考：トンネル標準示方書［シールド工法編］、土木学会、2016 年制定、p.302）

① **ステップ 1** では、覆工の背面空洞やひび割れ位置などの変状を基に地圧モード（卓越する地圧の作用方向）を選択し、地圧・地盤・覆工コンクリート等の解析モデルを作成して現況地圧強度を推定する。現況地圧強度の推定は、ひび割れのない覆工モデルに外力を載荷し、覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t が覆工コンクリートの引張強度 f_t と等しくなる地圧強度を現況地圧強度と推定する。以下に現況地圧強度の推定手順（例）を示す。

・ 覆工モデルに作用する荷重を、設計条件から決定することができる荷重 P_1（自重、地下水圧、充満水による静水圧）と覆工の損傷状態から推定する荷重 P_2（地圧強度）の 2 つに区分する。**図-4.5.2-14** は例示用の骨組解析モデルを示す。

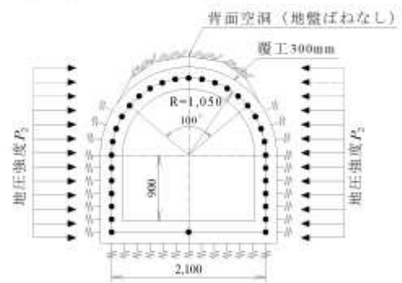


図-4.5.2-14 骨組解析モデル（例）

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-33 「4.5.2 解析の方法」

表-4.5.2-9 安全係数が表現する内容と対策の検討に適用する安全係数の値

項 目	内 容	一般値	採用値
材料係数 γ_m	・材料試験データの不足や偏り・品質管理の程度 ・供試体と構造物中との強度差・材料強度の経時変化	1.3	1.3
部材係数 γ_b	・部材寸法のバラツキ・部材の重要性 ・耐力計算の不確実性・破壊性状	1.1～1.3	1.3 (注1)
作用係数 γ_f	・作用の統計的データの不足や偏り・将来的な荷重の変動 ・作用を算定する手法の不確実性	1.0～1.2	1.0 又は 1.2 (注2)
構造解析係数 γ_a	・構造解析による作用力算定の不確実性	1.0～1.1	1.0 又は 1.1 (注3)
構造物係数 γ_i	・構造物の重要度 ・限界状態に至った場合の社会的影響度	1.0～1.2	1.0

（注1） 一般に、鉄筋コンクリートの部材係数 γ_b は、曲げ耐力に対して 1.1、せん断耐力に対して 1.3 が適用される。一方、無筋コンクリート覆工の部材係数 γ_b は、部材厚が不均一であることや、曲げ圧縮に対し構造自体が不安定であることから、鉄筋コンクリートのせん断耐力と同様に 1.3 を適用してよい。

（注2） 作用係数 γ_f について、ステップ 2 以降に適用する地圧強度及び地下水圧の作用係数 γ_f は 1.2 としてよい。ただし、充満水による静水圧の作用係数 γ_f は 1.0 としてよい。

（注3） 本解析では、ひび割れの生じた覆工コンクリートを線形弾性のはりとしてモデル化するが、ひび割れ断面を塑性ヒンジでモデル化することを前提としているため、断面力を過小評価するおそれがある。このことを踏まえ、構造解析係数 γ_a については、骨組解析モデルの不確実性を考慮し、「トンネル標準示方書［シールド工法編］」に準拠して 1.0～1.1 の幅を持たせた。よって、覆工コンクリートに塑性ヒンジ（ひび割れ）を適用する場合の構造解析係数 γ_a は 1.1 としてよい。また、塑性ヒンジを適用しない場合の構造解析係数 γ_a は 1.0 としてよい。

（参考：コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2017 年制定、P.31）

（参考：トンネル標準示方書［シールド工法編］、土木学会、2016 年制定、P.302）

① **ステップ 1** では、覆工の背面空洞やひび割れ位置などの変状を基に地圧モード（卓越する地圧の作用方向）を選択し、地圧・地盤・覆工コンクリート等の解析モデルを作成して現況地圧強度を推定する。現況地圧強度の推定は、ひび割れのない覆工モデルに外力を載荷し、覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t が覆工コンクリートの引張強度 f_t と等しくなる地圧強度を現況地圧強度と推定する。以下に現況地圧強度の推定手順（例）を示す。

・ 覆工モデルに作用する荷重を、設計条件から決定することができる荷重 P_1（自重、地下水圧、充満水による静水圧）と覆工の損傷状態から推定する荷重 P_2（地圧強度）の 2 つに区分する。**図-4.5.2-14** は例示用の骨組解析モデルを示す。

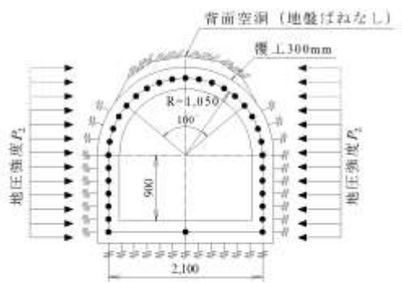


図-4.5.2-14 骨組解析モデル（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-34　「4.5.2　解析の方法」

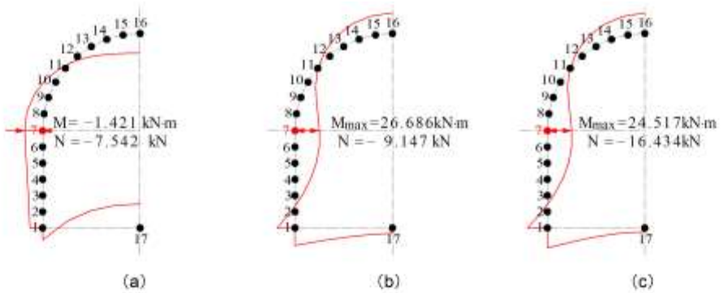


図-4.5.2-15　曲げモーメント図（例）

・　解析モデルは、覆工に地盤ばねと荷重 P_1 だけを載荷したモデルと、覆工に地盤ばねと地圧強度 p_e だけを載荷したモデルの 2 通りを作成する。ここで、p_e は地圧強度 P_2 を推定するための仮定値である。荷重 P_1 を載荷したモデルをモデル 1 とし、任意の地圧強度（等分布荷重）p_e を載荷したモデルをモデル 2 とする。説明の簡略化のため、モデル 1 は覆工自重のみを載荷することとし、覆工自重：P_1＝6.90kN/m を全周に載荷する。一方、地圧強度は、p_e＝100kN/m² と仮定する。

・　モデル 1、モデル 2 について、個別に骨組解析を行い、それぞれの断面力を算定する。**図-4.5.2-15** に解析結果（モーメント図）を示す。（**a**）がモデル 1、（**b**）がモデル 2 のモーメント図である。

・　モデル 2 の解析結果（**図-4.5.2-15（b）**）から、覆工内面に最大曲げモーメントが発生するのは節点 7 である。節点 7 の断面力（曲げモーメント M_2、軸力 N_2）から、覆工内縁の応力度 σ_2 を算定する。

M_2 = 26.686 kN·m、N_2 = −9.147 kN であり、節点 7 の応力度 σ_2 は、下式により求まる。

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-9.147}{0.30} \pm \frac{26.686}{0.015} = \begin{matrix} 1748.577 \\ -1809.557 \end{matrix} \quad (\mathrm{kN/m^2})$$

ここに、部材厚：t = 0.30m、断面積：A = 0.30m²、断面係数：Z = 0.015m³

ゆえに、節点 7 における覆工内縁の応力度は σ_{i2}=1748.577（kN/m²）である。

・　次に、モデル 1 の解析結果（**図-4.5.2-15（a）**）からモデル 2 で覆工内面に最大曲げモーメントが発生した節点 7 における断面力（曲げモーメント M_1、軸力 N_1）から、覆工内縁の応力度 σ_1 を算定する。

M_1 = −1.421 kN·m、N_1 = −7.542 kN であり、節点 7 の応力度 σ_1 は、下式により求まる。

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-7.542}{0.30} \pm \frac{-1.421}{0.015} = \begin{matrix} -119.873 \\ 69.593 \end{matrix} \quad (\mathrm{kN/m^2})$$

ゆえに、節点 7 における覆工内縁の応力度は σ_{i1}=−119.873（kN/m²）である。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-34　「4.5.2　解析の方法」

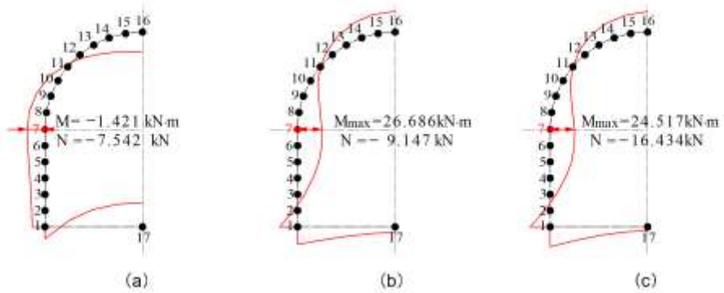


図-4.5.2-15　曲げモーメント図（例）

・　解析モデルは、覆工に地盤ばねと荷重 P_1 だけを載荷したモデルと、覆工に地盤ばねと地圧強度 p_e だけを載荷したモデルの 2 通りを作成する。ここで、p_e は地圧強度 P_2 を推定するために仮定値である。荷重 P_1 を載荷したモデルをモデル 1 とし、任意の地圧強度（等分布荷重）p_e を載荷したモデルをモデル 2 とする。説明の簡略化のため、モデル 1 は覆工自重のみを載荷することとし、覆工自重：P_1＝6.90kN/m を全周に載荷する。一方、地圧強度は、p_e＝100kN/m² と仮定する。

・　モデル 1、モデル 2 について、個別に骨組解析を行い、それぞれの断面力を算定する。**図-4.5.2-15** に解析結果（モーメント図）を示す。（**a**）がモデル 1、（**b**）がモデル 2 のモーメント図である。

・　モデル 2 の解析結果（**図-4.5.2-15（b）**）から、覆工内面に最大曲げモーメントが発生するのは節点 7 である。節点 7 の断面力（曲げモーメント M_2、軸力 N_2）から、覆工内縁の応力度 σ_2 を算定する。

M_2 = 26.686 kN·m、N_2 = −9.147 kN であり、節点 7 の応力度 σ_2 は、下式により求まる。

$$\sigma_2 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-9.147}{0.30} \pm \frac{26.686}{0.015} = \begin{matrix} 1748.577 \\ -1809.557 \end{matrix} \quad (\mathrm{kN/m^2})$$

ここに、部材厚：t = 0.30m、断面積：A = 0.30m²、断面係数：Z = 0.015m³

ゆえに、節点 7 における覆工内縁の応力度は σ_{i2}=1748.577（kN/m²）である。

・　次に、モデル 1 の解析結果（**図-4.5.2-15（a）**）からモデル 2 で覆工内面に最大曲げモーメントが発生した節点 7 における断面力（曲げモーメント M_1、軸力 N_1）から、覆工内縁の応力度 σ_1 を算定する。

M_1 = −1.421 kN·m、N_1 = −7.542 kN であり、節点 7 の応力度 σ_1 は、下式により求まる。

$$\sigma_1 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-7.542}{0.30} \pm \frac{-1.421}{0.015} = \begin{matrix} -119.873 \\ 69.593 \end{matrix} \quad (\mathrm{kN/m^2})$$

ゆえに、節点 7 における覆工内縁の応力度は σ_{i1}=−119.873（kN/m²）である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-35 「4.5.2 解析の方法」	P.4-35 「4.5.2 解析の方法」

・ 材料強度が f であるとき、地圧強度 P_2 は **式 4.5.2-5** で求まる。

$$P_2 = \alpha \times p_e \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-5}$$

ここに、$\alpha = (f - \sigma_1) / \sigma_2$ $\cdots\cdots$ **式 4.5.2-6**

ここで、覆工コンクリートの引張強度 f_t が 1580kN/m² のとき、地圧強度 P_2 は以下のとおりであり、この値が、現況地圧強度となる。

$\alpha = (f - \sigma_1) / \sigma_2$ = (1580−(−199.873)) / 1748.577=0.972

$P_2 = \alpha \times p_e$ = 0.972×100 = 97.2 (kN/m²)

・ 現況地圧強度 P_2 と荷重 P_1 を組合せたモデル 3 で再度骨組解析を行い、断面力を求める。その結果を（**図-4.5.2-15 (c)**）に示す。

M_3 = 24.517 kN·m、N_3 = −16.434 kN を用いて、節点 7 の応力度 σ_3 を求める。

$$\sigma_3 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-16.434}{0.30} \pm \frac{24.517}{0.015} = \frac{1579.687}{-1689.247} \quad \sigma_{t3} \fallingdotseq 1580 \text{ (kN/m}^2\text{)} = f_t \text{（引張強度）}$$

となり現況地圧強度の推定値は妥当である。この時、**図-4.5.2-11** に示すようにモデル 2 の最大モーメント位置が実際のひび割れ位置と大きく異なる場合は、地圧モード（卓越する地圧の作用方向）の見直しや覆工モデルの見直し（施工継目の結合条件の見直し等）を検討する。

また、覆工コンクリート内縁に圧ざが生じている場合は、上述の覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t と覆工コンクリートの引張強度 f_t を覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' と覆工コンクリートの圧縮強度 f_c' に置き換えてよい。

なお、ステップ 1 では、全ての安全係数を 1.0 としてよい。

ステップ 1 の照査は、以下の**式 4.5.2-7** 及び**式 4.5.2-8** で行う。**式 4.5.2-8** は圧ざが生じている場合を示す。

覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t = 覆工コンクリートの引張強度 f_t …**式 4.5.2-7**

覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' = 覆工コンクリートの圧縮強度 f_c' …**式 4.5.2-8**

② **ステップ 2** では、矢板工法で施工された覆工コンクリートの施工管理のバラツキや材料の不均質性及び地圧の推定における不確実性等に対する安全係数（**表-4.5.2-9**）を考慮して覆工コンクリートの物性値を再設定する。ここで、材料係数 γ_m 及び部材係数 γ_b は 1.3 としてよい。また、構造物係数 γ_i は 1.0 としてよい。

作用地圧強度については、矢板工法の支保工に作用する荷重とステップ 1 で求めた現況地圧強度に作用係数 γ_f を乗じたものを比較して、大なる方を設計地圧強度とする。ここで、地圧強度の作用係数 γ_f は 1.2 としてよい。

次に、覆工コンクリートにひび割れが生じた状態（現況）の応力度を算定するため、覆工コン

・ 材料強度が f であるとき、地圧強度 P_2 は **式 4.5.2-5** で求まる。

$$P_2 = \alpha \times p_e \quad \cdots\cdots \text{式 4.5.2-5}$$

ここに、$\alpha = (f - \sigma_1) \div \sigma_2$ $\cdots\cdots$ **式 4.5.2-6**

ここで、覆工コンクリートの引張強度 f_t が 1580kN/m² のとき、地圧強度 P_2 は以下のとおりであり、この値が、現況地圧強度となる。

$\alpha = (f - \sigma_1) \div \sigma_2 = (1580 - (-119.873)) \div 1748.577 = 0.972$

$P_2 = \alpha \times p_e = 0.972 \times 100 = 97.2$ (kN/m²)

・ 現況地圧強度 P_2 と荷重 P_1 を組合せたモデル 3 で再度骨組解析を行い、断面力を求める。その結果を（**図-4.5.2-15 (c)**）に示す。

M_3 = 24.517 kN·m、N_3 = −16.434 kN を用いて、節点 7 の応力度 σ_3 を求める。

$$\sigma_3 = \frac{N}{A} \pm \frac{M}{Z} = \frac{-16.434}{0.30} \pm \frac{24.517}{0.015} = \frac{1579.687}{-1689.247} \quad \sigma_{t3} \fallingdotseq 1580 \text{ (kN/m}^2\text{)} = f_t \text{（引張強度）}$$

となり現況地圧強度の推定値は妥当である。この時、**図-4.5.2-11** に示すようにモデル 2 の最大モーメント位置が実際のひび割れ位置と大きく異なる場合は、地圧モード（卓越する地圧の作用方向）の見直しや覆工モデルの見直し（施工継目の結合条件の見直し等）を検討する。

また、覆工コンクリート内縁に圧ざが生じている場合は、上述の覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t と覆工コンクリートの引張強度 f_t を覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' と覆工コンクリートの圧縮強度 f_c' に置き換えてよい。

なお、ステップ 1 では、全ての安全係数を 1.0 としてよい。

ステップ 1 の照査は、以下の**式 4.5.2-7** 及び**式 4.5.2-8** で行う。**式 4.5.2-8** は圧ざが生じている場合を示す。

覆工コンクリート内縁の引張応力度 σ_t = 覆工コンクリートの引張強度 f_t … **式 4.5.2-7**

覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 σ_c' = 覆工コンクリートの圧縮強度 f_c' …**式 4.5.2-8**

② **ステップ 2** では、矢板工法で施工された覆工コンクリートの施工管理のバラツキや材料の不均質性及び地圧の推定における不確実性等に対する安全係数（**表-4.5.2-9**）を考慮して覆工コンクリートの物性値を再設定する。ここで、材料係数 γ_m 及び部材係数 γ_b は 1.3 としてよい。また、構造物係数 γ_i は 1.0 としてよい。

作用地圧強度については、矢板工法の支保工に作用する荷重とステップ 1 で求めた現況地圧強度に作用係数 γ_f を乗じたものを比較して、大なる方を設計地圧強度とする。ここで、地圧強度の作用係数 γ_f は 1.2 としてよい。

次に、覆工コンクリートにひび割れが生じた状態（現況）の応力度を算定するため、覆工コン

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-37 「4.5.2 解析の方法」	**P.4-37** 「4.5.2 解析の方法」
γ_i ：構造物係数（1.0 としてよい） γ_a ：構造解析係数（**表-4.5.2-9**） f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度（**表-4.5.2-10**） k_1 ：強度の低減係数（$=1-0.003f'_{ck} \leq 0.85$、ここで、$f'_{ck}$ ：コンクリート強度の特性値（N/mm²）） γ_b ：部材係数（**表-4.5.2-9**） ステップ 3 の照査項目を満足すれば、裏込注入工法単独で十分な補強効果が得られると評価し、解析を終了する。この時の対策工法は、裏込注入工法及びひび割れ等の補修工法となる。 なお、裏込注入工法を適用しない場合は、ステップ 3 をとばしてステップ 4 に進む。 ④ **ステップ 4** では、各補強・改修工法のモデルにより解析を行い、対策工法の効果を検討する。 各工法の構造計算モデル等については、**第 5 章～第 11 章**で詳述する。	γ_i ：構造物係数（1.0 としてよい） γ_a ：構造解析係数（**表-4.5.2-9**） f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度（**表-4.5.2-10**） k_1 ：強度の低減係数（$=1-0.003f'_{ck} \leq 0.85$，ここで、$f'_{ck}$ ：コンクリート強度の特性値（N/mm²）） γ_b ：部材係数（**表-4.5.2-9**） ステップ 3 の照査項目を満足すれば、裏込注入工法単独で十分な補強効果が得られると評価し、解析を終了する。この時の対策工法は、裏込注入工法及びひび割れ等の補修工法となる。 なお、裏込注入工法を適用しない場合は、ステップ 3 をとばしてステップ 4 に進む。 ④ **ステップ 4** では、各補強・改修工法のモデルにより解析を行い、対策工法の効果を検討する。 各工法の構造計算モデル等については、**第 5 章～第 10 章**で詳述する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-38 「4.5.3 水抜工」	P.4-38 「4.5.3 水抜工」

4.5.3 水抜工

無圧トンネルは、長寿命化対策工事後の過大な静水圧の発生を防止するため、アーチ部にウィープホールを設置することを検討する。

【解説】

水路トンネルは、長寿命化対策工事が終わると地下水位が上昇し覆工に過大な静水圧が作用して、補修工法の再劣化や補強工法に変状をきたすおそれがある。また、覆工背面の地下水が多い場合は、裏込注入工法が十分施工できない懸念もある。

したがって、この静水圧を緩和するために、水抜工としてアーチ部にウィープホールを設ける必要がある。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な設置例を示す。

標準的なウィープホールの設計としては、トンネル頂部より 30° ±の位置に 5.0m 間隔交互に φ50mm で設けるものとする。また、土砂トンネルでは、フィルターを付けて土砂等の流出を防止する。また、水面下にウィープホールを設ける場合は、フラップバルブ付ウィープホールを設ける。

やむを得ずウィープホールを設けることができない場合は、補強・改修工法の設計に際し、湧水等の状況から実情に合った地下水圧を考慮する必要がある。内張管式の圧力トンネルにおいて、計画路線上の地表標高よりも高い地下水圧が作用し、内張管（鋼管）が座屈した事例がある。全てのトンネルについて計画路線の地表高より高い地下水位が作用するものではないが、地形が複雑な場合、亀裂集中帯などの透水性の断層がある場合、地山岩盤に透水ゾーンが存在する場合は、地表より高い地下水位が作用する場合があることも考慮する必要がある。

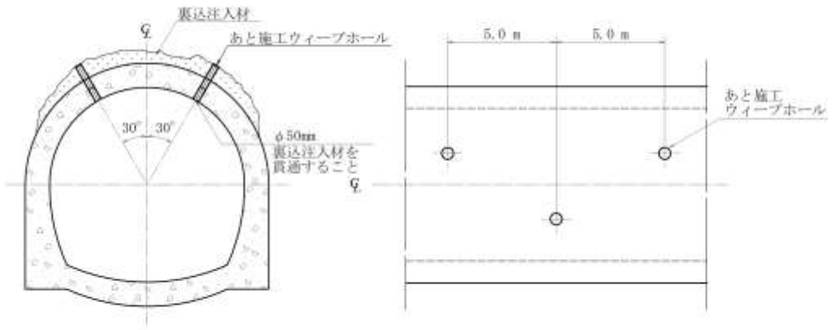


図-4.5.3-1 ウィープホール（水抜工）の標準的な位置

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、p.276 を改変して転載）

4.5.3 水抜工

無圧トンネルは、長寿命化対策工事後の過大な静水圧の発生を防止するため、アーチ部にウィープホールを設置することを検討する。

【解説】

水路トンネルは、長寿命化対策工事が終わると地下水位が上昇し覆工に過大な静水圧が作用して、補修工法の再劣化や補強工法に変状をきたすおそれがある。また、覆工背面の地下水が多い場合は、裏込注入工法が十分施工できない懸念もある。

したがって、この静水圧を緩和するために、水抜工としてアーチ部にウィープホールを設ける必要がある。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な設置例を示す。

標準的なウィープホールの設計としては、トンネル頂部より 30° ±の位置に 5.0m 間隔交互に φ50mm で設けるものとする。また、土砂トンネルでは、フィルターを付けて土砂等の流出を防止する。また、水面下にウィープホールを設ける場合は、フラップバルブ付ウィープホールを設ける。

やむを得ずウィープホールを設けることができない場合は、補強・改修工法の設計に際し、湧水等の状況から実情に合った地下水圧を考慮する必要がある。内張管式の圧力トンネルにおいて、計画路線上の地表標高よりも高い地下水圧が作用し、内張管（鋼管）が座屈した事例がある。全てのトンネルについて計画路線の地表高より高い地下水位が作用するものではないが、地形が複雑な場合、亀裂集中帯などの透水性の断層がある場合、地山岩盤に透水ゾーンが存在する場合は、地表より高い地下水位が作用する場合があることも考慮する必要がある。

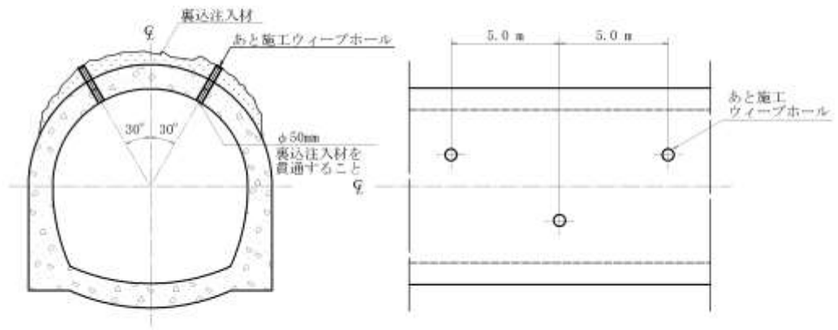


図-4.5.3-1 ウィープホール（水抜工）の標準的な位置

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、P.276 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-39　「4.6.1　長寿命化対策の施工」	P.4-39　「4.6.1　長寿命化対策の施工」

4.6　施工方法

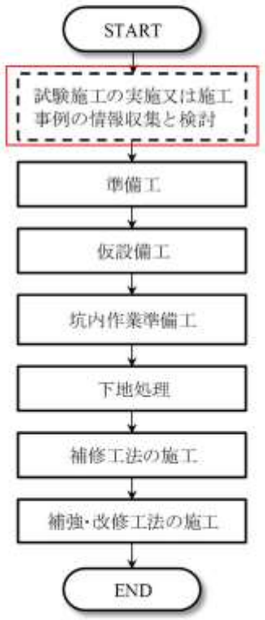
4.6.1　長寿命化対策の施工

水路トンネルの長寿命化対策の施工においては、補修・補強・改修工法を組合せた種々の制約条件を勘案した合理的な施工計画が求められる。新技術を大規模に適用する場合には、適用する構造物の立地条件や施工環境に応じた試験施工の実施や施工事例に関する情報収集と検討を行い、施工性や対策工法の効果・信頼性を確認することが必要である。

【解説】

図-4.6.1-1 に水路トンネルの長寿命化対策の施工手順例を示す。

補修工法は、補強・改修工法の事前措置となることもある。補強・改修工法と組み合わせる場合には、各対策工の施工範囲、実施時期及び期間についても十分に考慮して行うものとする。



注）破線は必要に応じて実施する

図-4.6.1-1　水路トンネルの長寿命化対策の施工手順（例）

4.6　施工方法

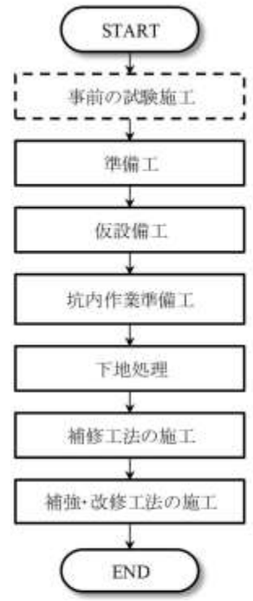
4.6.1　長寿命化対策の施工

水路トンネルの長寿命化対策の施工においては、補修・補強・改修工法を組合せた種々の制約条件を勘案した合理的な施工計画が求められる。新技術を大規模に適用する場合には、適用する構造物の立地条件や施工環境に応じた試験施工を行い、施工性や対策工法の効果・信頼性を確認することが必要である。

【解説】

図-4.6.1-1 に水路トンネルの長寿命化対策の施工手順例を示す。

補修工法は、補強・改修工法の事前措置となることもある。補強・改修工法と組み合わせる場合には、各対策工の施工範囲、実施時期及び期間についても十分に考慮して行うものとする。



注）破線は必要に応じて実施する

図-4.6.1-1　水路トンネルの長寿命化対策の施工手順（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-41　「4.6.2　仮設備工」	**P.4-41**　「4.6.2　仮設備工」

4.6.2　仮設備工

水路トンネルの補修・補強工事に際しては、施工の内容、トンネルの延長、施工条件、立地条件等を勘案の上、坑内・坑外に必要な仮設備工を計画する。一般的に必要な仮設備は、換気設備、照明設備、電力設備、用水設備、排水設備である。

【解説】

（1）換気設備

換気設備は、トンネル内で発生する有毒ガスや粉じんなどの空気汚染物質を合理的に集じん排気する又は新鮮な空気を送気して希釈するために設置する。換気方法の選定に当たっては、トンネルの形態・規模・施工方法などを考慮した上で、強制換気の風管換気法や坑道換気法の中から最も適合した換気集じん方式を採用する。また換気装置に集じん装置を組み込んで活用することも効果的である。

なお、自然換気については時期や時間によって無風状態となることも考えられるため、安易に採用せず、有効性について十分検討した上で採用する必要がある。

換気設備の設計に際しては、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）」や「ずい道等建設工事における換気技術指針」等を参照されたい。

写真-4.6.2-1～写真-4.6.2-2 に換気設備の施工状況例を示す。



写真-4.6.2-1　換気設備（坑外設備）



写真-4.6.2-2　換気設備（坑内設備）

（2）照明設備

照明には、直接作業を行う場所への一時的、局所的照明と作業を行っていない通路等への長期的、広域的な照明がある。

直接作業を行う箇所の照明については、作業が安全かつ効率的に行えるよう十分な照度を確保することが必要であり、必要な照度として 70 ルクス以上（労働安全衛生規則第 604 条による工場内での「粗な作業」の基準値）が望ましい。

通路となる区間についても、作業員の通行の安全確保と車両の安全運行のために、必要な照明を設置しなければならない。通路全域にわたって一様な照度を保持することは困難であるが、最暗部でも 10 ルクス程度確保するのが望ましい。

写真-4.6.2-3～写真-4.6.2-4 に照明設備の施工状況例を示す。

4.6.2　仮設備工

水路トンネルの補修・補強工事に際しては、施工の内容、トンネルの延長、施工条件、立地条件等を勘案の上、坑内・坑外に必要な仮設備工を計画する。一般的に必要な仮設備は、換気設備、照明設備、電力設備、用水設備、排水設備、坑外設備等である。

【解説】

（1）換気設備

換気設備は、トンネル内で発生する有毒ガスや粉じんなどの空気汚染物質を合理的に集じん排気する又は新鮮な空気を送気して希釈するために設置する。換気方法の選定に当たっては、トンネルの形態・規模・施工方法などを考慮した上で、強制換気の風管換気法や坑道換気法の中から最も適合した換気集じん方式を採用する。また換気装置に集じん装置を組み込んで活用することも効果的である。

なお、自然換気については時期や時間によって無風状態となることも考えられるため、安易に採用せず、有効性について十分検討した上で採用する必要がある。

換気設備の設計に際しては、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」」や「ずい道等建設工事における換気技術指針」等を参照されたい。

写真-4.6.2-1～写真-4.6.2-2 に換気設備の施工状況例を示す。



写真-4.6.2-1　換気設備（坑外設備）



写真-4.6.2-2　換気設備（坑内設備）

（2）照明設備

照明には、直接作業を行う場所への一時的、局所的照明と作業を行っていない通路等への長期的、広域的な照明がある。

直接作業を行う箇所の照明については、作業が安全かつ効率的に行えるよう十分な照度を確保することが必要であり、必要な照度として 70 ルクス以上（安全衛生規則第 604 条による工場内での「粗な作業」の基準値）が望ましい。

通路となる区間についても、作業員の通行の安全確保と車両の安全運行のために、必要な照明を設置しなければならない。通路全域にわたって一様な照度を保持することは困難であるが、最暗部でも 10 ルクス程度確保するのが望ましい。

写真-4.6.2-3～写真-4.6.2-4 に照明設備の施工状況例を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-42　「4.6.2　仮設備工」	**P.4-42**　「4.6.2　仮設備工」



写真-4.6.2-3　作業箇所の照明設備（投光器）



写真-4.6.2-4　照明設備（通路）

（3）電力設備

電力設備の計画は、他の諸設備との関連を十分把握するとともに、電気関係諸法規を遵守し、補修・補強工事の進捗に順応する設備としなければならない。

電力を商用にするか、発電機を利用するかの選択は、工事期間、所要電力量、電力設備費等、経済性を考慮して判断することが望ましい。

なお、非セメント系注入材（発泡ウレタン）を適用した裏込注入工の施工においては、電源設備の設置が困難な場合、蓄電容量 2kWh のバッテリーを坑内に持ち込んで施工した事例がある。

電力設備は、一般に次のような設備で構成される。

① 受変電設備（低圧の場合は受電設備）
② 配電設備
③ 発電設備
④ 負荷設備
⑤ 接地設備

①-1　低圧受電設備

小規模な工事現場で契約電力が 50kW 未満の仮設電気設備は、低圧で電力の供給を受ける。

①-2　高圧受変電設備

契約電力が 50kW 以上の仮設電気設備は、高圧（三相 3 線式　6kV）で電力の供給を受ける。

②　配電設備

配電設備は、受変電設備（又は発電設備）から負荷設備に電力を供給するための電線路、分電盤等により構成される。

③　発電設備

発電設備は、商用電源が得られない又は困難な場所、及び工事期間が短く受変電設備を設けることが経済性において不利となる場合、負荷設備に電力を供給するために設置する。

また、工事施工に当たって商用電源が停電することにより作業員の人命が危険にさらされる作業を行う場合には、予備電源として発電設備を設置する。

④　負荷設備

水路トンネルの補修・補強工事で使用する負荷設備には、送風機や水中ポンプ等の電動機器と



写真-4.6.2-3　作業箇所の照明設備（投光器）



写真-4.6.2-4　照明設備（通路）

（3）電力設備

電力設備の計画は、他の諸設備との関連を十分把握するとともに、電気関係諸法規を遵守し、補修・補強工事の進捗に順応する設備としなければならない。

電力を商用にするか、発電機を利用するかの選択は、工事期間、所要電力量、電力設備費等、経済性を考慮して判断することが望ましい。

なお、非セメント系注入材（発泡ウレタン）を適用した裏込注入工の施工においては、電源設備の設置が困難な場合、2kW のバッテリーを坑内に持ち込んで施工した事例がある。

電力設備は、一般に次のような設備で構成される。

① 受変電設備（低圧の場合は受電設備）
② 配電設備
③ 発電設備
④ 負荷設備
⑤ 接地設備

①-1　低圧受電設備

小規模な工事現場で契約電力が 50kW 未満の仮設電気設備は、低圧で電力の供給を受ける。

①-2　高圧受変電設備

契約電力が 50kW 以上の仮設電気設備は、高圧（三相 3 線式　6kV）で電力の供給を受ける。

②　配電設備

配電設備は、受変電設備（又は発電設備）から負荷設備に電力を供給するための電線路、分電盤等により構成される。

③　発電設備

発電設備は、商用電源が得られない又は困難な場所、及び工事期間が短く受変電設備を設けることが経済性において不利となる場合、負荷設備に電力を供給するために設置する。

また、工事施工に当たって商用電源が停電することにより作業員の人命が危険にさらされる作業を行う場合には、予備電源として発電設備を設置する。

④　負荷設備

水路トンネルの補修・補強工事で使用する負荷設備には、送風機や水中ポンプ等の電動機器と

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-43 「4.6.2 仮設備工」	**P.4-43** 「4.6.2 仮設備工」

電気溶接機等の機器がある。これらの負荷設備には労働災害を防止するために、配線用遮断器や漏電遮断器等の保護装置を設ける。

⑤ 接地設備

接地設備は、異常時の電位上昇、高電圧の侵入等による感電、火災その他人体に危険を及ぼす、又は工作物への損傷を防止することを目的に設置する。

(4) 用水設備

用水設備は、補修・補強工事に必要な工事用水（プラントの使用水、雑用水等）を水源から供給する設備である。主な用途としては、裏込注入材等の練り混ぜ用水や高圧洗浄や資・機材の洗浄用水等が挙げられる。ただし、裏込注入材に非セメント系注入材（発泡ウレタン）を用いる場合は練り混ぜ用水は不要である。

給水源としては、河川・谷水・湧水を自然圧で利用するか又はポンプで揚水する場合がある。自然勾配で地表水を利用できる場合は、簡易な堰上げを設けてパイプによって給水タンクに貯え、坑外・坑内に配管して使用する。自然圧が利用できない場合は、給水ポンプによりポンプアップして給水タンクに貯水する。給水タンクの大きさは工事の使用水量から決定するが、一般的には使用水量の 20～30 分の貯水タンクを適用する（3～5m³の鋼製タンクの使用事例が多い）。

また、河川や谷水等を使用する場合は、慣行水利権に留意するとともに、必要に応じて管理者の承諾を得るものとする。

(5) 排水設備

トンネル工事における排水は、坑内からの湧水及び工事使用水の排水が主なものである。排水設備はこれらを坑外に速やかに排除し、工事の円滑な進捗を図るものである。

水路トンネルの補修・補強工事において、インバートを改修する場合は、湧水の水替えが必要となる。それに際しては、湧水調査により想定された湧水量を施工範囲以外に排水する計画を立てなければならない。排水方法には自然排水と強制排水（ポンプ）とがある。

トンネル坑内の湧水量は、調査結果に基づいて推定することが望ましいが、調査結果のない場合、一般的なトンネル工事における推定湧水量は、おおむね多いと推定される場合は 25ℓ/s/km、普通 15～20ℓ/s/km、少ない場合は 10ℓ/s/km 程度である。ただし、既設トンネルの湧水量はトンネル新設時と比べて地下水位の低下に伴い減る傾向があるので留意する。

トンネルからの湧水自体は無害なものがほとんどであるが、高圧洗浄やグラウト等の工事使用水の混入により濁水となる。これらの濁水の排出に当たっては、水質汚濁防止法に基づく「排水基準」や各都道府県の公害防止条例等による「上乗せ基準」等に準拠した水質に処理しなければならない。

濁水の処理方法は、次の方法のうちから適切なものを選定する。

(a) 自然沈殿法により浄化する。
(b) 凝集剤を用いる凝集沈殿法により浄化する。
(c) 酸によりアルカリ性の高い排水を中和する。
(d) 炭酸ガスによりアルカリ性の高い排水を中和する。

電気溶接機等の機器がある。これらの負荷設備には労働災害を防止するために、配線用遮断器や漏電遮断器等の保護装置を設ける。

⑤ 接地設備

接地設備は、異常時の電位上昇、高電圧の侵入等による感電、火災その他人体に危険を及ぼす、又は工作物への損傷を防止することを目的に設置する。

(4) 用水設備

用水設備は、補修・補強工事に必要な工事用水（プラントの使用水、雑用水等）を水源から供給する設備である。主な用途としては、裏込注入材等の練り混ぜ用水や高圧洗浄や資・機材の洗浄用水等が挙げられる。

給水源としては、河川・谷水・湧水を自然圧で利用するか、又はポンプで揚水する場合がある。自然勾配で地表水を利用できる場合は、簡易な堰上げを設けてパイプによって給水タンクに貯え、坑外・内に配管して使用する。自然圧が利用できない場合は、給水ポンプによりポンプアップして給水タンクに貯水する。給水タンクの大きさは工事の使用水量から決定するが、一般的には使用水量の 20～30 分の貯水タンクを適用する（3～5m³の鋼製タンクの使用事例が多い）。

なお、非セメント系注入材（発泡ウレタン）を適用した裏込注入工の施工においては、用水は不要である。

また、河川水等を使用する場合は、必要に応じ管理者の了解を得るものとする。

(5) 排水設備

トンネル工事における排水は、坑内からの湧水及び工事使用水の排水が主なものである。排水設備はこれらを坑外に速やかに排除し、工事の円滑な進捗を図るものである。

水路トンネルの補修・補強工事において、インバートを改修する場合は、湧水の水替えが必要となる。それに際しては、湧水調査により想定された湧水量を施工範囲以外に排水する計画を立てなければならない。排水方法には自然排水と強制排水（ポンプ）とがある。

トンネル坑内の湧水量は、調査結果に基づいて推定することが望ましいが、調査結果のない場合、一般的なトンネル工事における推定湧水量は、おおむね多いと推定される場合は 25ℓ/s/km、普通 15～20ℓ/s/km、少ない場合は 10ℓ/s/km 程度である。ただし、既設トンネルの湧水量はトンネル新設時と比べて地下水位の低下に伴い減る傾向があるので留意する。

トンネルからの湧水自体は無害なものがほとんどであるが、高圧洗浄やグラウト等の工事使用水の混入により濁水となる。これらの濁水の排出に当たっては、水質汚濁防止法に基づく「排水基準」や各都道府県の公害防止条例等による「上乗せ基準」等に準拠した水質に処理しなければならない。

濁水の処理方法は、次の方法の内から適切なものを選定する。

(a) 自然沈殿法で浄化させる。
(b) 凝集剤を用いる凝集沈殿法で浄化させる。
(c) 酸によるアルカリ性の高い排水の中和。
(d) 炭酸ガスによるアルカリ性の中和。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-44　「4.6.3　坑内作業準備工」	**P.4-44**　「4.6.3　坑内作業準備工」

4.6.3　坑内作業準備工

水路トンネルの補修・補強工事に際して、適切な坑内の作業準備を行う。

【解説】

水路トンネルの補修・補強工事に必要な坑内作業準備工は、対策工法や現場条件により異なるため、現場ごとに検討の上実施する。坑内作業のための準備工として、主に次の作業を事前に行う。

・水替え工等により、施工区間に流入するおそれのある浸入水や湧水対策を行う。
・水路トンネルのインバート上に堆積している土砂や**ごみ等を除去する。**
・側壁面に施工の支障となる樹木の根や草、泥土等が存在する場合は除去する。
・資材等の坑内運搬方式には、レール方式（軌道式）とタイヤ方式（無軌道式）がある（**図-4.6.3-1**）。機関車には**蓄電池機関車（バッテリカー）**とディーゼル機関車があるが、排気ガス処理の問題等から水路トンネルでは一般に**蓄電池機関車**が使用されている。仮設用管材等の運搬には平台車（人力運搬）が使用されている。トンネルの延長が短く排ガス処理が作業員の作業環境等に支障とならない場合では経済性を含めた検討が望ましい。タイヤ方式により運搬を行う場合、排水を処理し良好な路面を確保する。また、レール方式により運搬を行う場合は、随時軌道の保守点検を行い、脱線等の事故防止を図る。

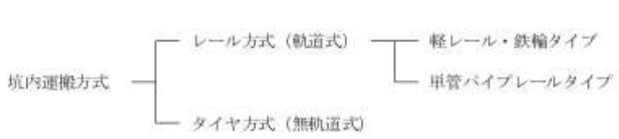


図-4.6.3-1　坑内運搬方式

・補修・補強工事に先立ち、坑内測量とトンネル調査を行う。ただし、高圧洗浄を行う工事においては、高圧洗浄完了後にトンネル調査を行う。
坑内測量では、測点の確認や水準測量、内空断面の測定等、対策工事に必要な坑内測量を行う。
トンネル調査では、設計図書と照合しながら、既設構造物の湧水箇所・断面欠損箇所・コンクリート表面の浮き等を目視及び点検ハンマーにて確認する。また、ひび割れについては、クラックスケールによるひび割れ幅測定を行う。
写真-4.6.3-1 及び**写真-4.6.3-2** に坑内作業準備工の状況例を、**写真-4.6.3-3** 及び**写真-4.6.3-4** にトンネル調査の状況例を、**写真-4.6.3-5～写真-4.6.3-7** に坑内運搬状況例を示す。

4.6.3　坑内作業準備工

水路トンネルの補修・補強工事に際して、適切な坑内の作業準備を行う。

【解説】

水路トンネルの補修・補強工事に必要な坑内作業準備工は、対策工法や現場条件により異なるため、現場ごとに検討の上実施する。坑内作業のための準備工として、主に次の作業を事前に行う。

・水替え工等により、施工区間に流入するおそれのある浸入水や湧水対策を行う。
・水路トンネルのインバート上に堆積している土砂やゴミ等を除去する。
・側壁面に施工の支障となる樹木の根や草、泥土等が存在する場合は除去する。
・資材等の坑内運搬方式には、レール方式（軌道式）とタイヤ方式（無軌道式）がある（**図-4.6.3-1**）。機関車には蓄電池機関車とディーゼル機関車があるが、排気ガス処理の問題等から水路トンネルでは一般に蓄電池機関車（バッテリカー）が使用されている。仮設用管材等の運搬には平台車（人力運搬）が使用されている。トンネルの延長が短く排ガス処理が作業員の作業環境等に支障とならない場合では経済性を含めた検討が望ましい。タイヤ方式により運搬を行う場合、排水を処理し良好な路面を確保する。また、レール方式により運搬を行う場合は、随時軌道の保守点検を行い、脱線等の事故防止を図る。

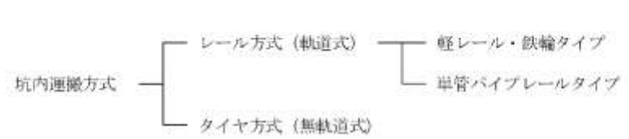


図-4.6.3-1　坑内運搬方式

・補修・補強工事に先立ち、坑内測量とトンネル調査を行う。ただし、高圧洗浄を行う工事においては、高圧洗浄完了後にトンネル調査を行う。
坑内測量では、測点の確認や水準測量、内空断面の測定等、対策工事に必要な坑内測量を行う。
トンネル調査では、設計図書と照合しながら、既設構造物の湧水箇所・断面欠損箇所・コンクリート表面の浮き等を目視及び点検ハンマーにて確認する。また、ひび割れについては、クラックスケールによるひび割れ幅測定を行う。
写真-4.6.3-1 及び**写真-4.6.3-2** に坑内作業準備工の状況例を、**写真-4.6.3-3** 及び**写真-4.6.3-4** にトンネル調査の状況例を、**写真-4.6.3-5～写真-4.6.3-7** に坑内運搬状況例を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-47　「4.6.4　下地処理工」	**P.4-47**　「4.6.4　下地処理工」

4.6.4　下地処理工

水路トンネルの補修・補強工事に際しては、十分な下地処理を行い、覆工との付着性を確保しなければならない。

【解説】

補修工法は、下地処理後、覆工コンクリートの表面に補修材料を被覆接着することが主たる方法であり、補修の効果は下地処理の影響を強く受ける。このため、十分な下地処理を行い、付着性を確保しなければならない。

補強工法においても、接着工法のように覆工コンクリートと一体となって補強機能を果たす工法については、補修工法と同様に下地処理の影響を強く受けるため、十分な下地処理を行い、付着性を確保しなければならない。

その他の補強・改修工法においても、必要な場合は補強の前処理としての補修を行う。そのため、覆工コンクリート表面を十分に洗浄したうえで覆工の変状を確認し、断面修復等の補修が必要な箇所は入念な下地処理を実施し、補修を行った後、補強を施さなければならない。

（1）事前の試験施工

工事発注後の試験施工で下地処理の方法（水圧）や処理深さ等を決定することは、工法変更等のリスクを伴う。そのため、工事発注に先立ち調査・設計業務等でコア抜き等を行い、覆工コンクリートの強度や劣化状況を確認するとともに、下地処理の試験施工を実施して下地処理の仕様を決定することが望ましい。

（2）現場試験施工

覆工コンクリートの汚れや劣化状況は施設や部位において異なるため、工事発注後の現場試験施工により詳細な下地処理の方法を決定する。

現場試験施工は、路線及び構造種別ごとに１箇所を目安とし、仕様書に定められた方法により行う。

現場試験施工の方法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編」（令和５年３月）を参照されたい。

（3）高圧・超高圧洗浄

下地処理を水圧洗浄で行う場合は、現場試験施工で決定した水圧により全面を処理する。水圧洗浄機は機種により水量や施工圧力等が異なる場合があるため、本施工において試験時と異なる機種を用いる場合は、同等以上の性能であることを確認する。

下地処理完了後は、単軸引張試験による付着試験を行い、施工品質を確認する。付着試験は、両側壁、インバートの各面についてあらかじめ施工計画書に定められた面積毎に付着強度を確認する。

写真-4.6.4-1 及び**写真-4.6.4-2** に高圧洗浄状況例を示す。

4.6.4　下地処理工

水路トンネルの補修・補強工事に際しては、十分な下地処理を行い、覆工との付着性を確保しなければならない。

【解説】

補修工法は、下地処理後、覆工コンクリートの表面に補修材料を被覆接着することが主たる方法であり、補修の効果は下地処理の影響を強く受ける。このため、十分な下地処理を行い、付着性を確保しなければならない。

補強工法においても、接着工法のように覆工コンクリートと一体となって補強機能を果たす工法については、補修工法と同様に下地処理の影響を強く受けるため、十分な下地処理を行い、付着性を確保しなければならない。

その他の補強・改修工法においても、必要な場合は補強の前処理としての補修を行う。そのため、覆工コンクリート表面を十分に洗浄したうえで覆工の変状を確認し、断面修復等の補修が必要な箇所は入念な下地処理を実施し、補修を行った後、補強を施さなければならない。

（1）事前の試験施工

工事発注後の試験施工で下地処理の方法（水圧）や処理深さ等を決定することは、工法変更等のリスクを伴う。そのため、工事発注に先立ち調査・設計業務等でコア抜き等を行い、覆工コンクリートの強度や劣化状況を確認するとともに、下地処理の試験施工を実施して下地処理の仕様を決定することが望ましい。

（2）現場試験施工

覆工コンクリートの汚れや劣化状況は施設や部位において異なるため、工事発注後の現場試験施工により詳細な下地処理の方法を決定する。

現場試験施工は、路線及び構造種別ごとに１箇所を目安とし、仕様書に定められた方法により行う。

現場試験施工の方法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）」（平成 27 年４月）を参照されたい。

（3）高圧・超高圧洗浄

下地処理を水圧洗浄で行う場合は、現場試験施工で決定した水圧により全面を処理する。水圧洗浄機は機種により水量や施工圧力等が異なる場合があるため、本施工において試験時と異なる機種を用いる場合は、同等以上の性能であることを確認する。

下地処理完了後は、単軸引張試験による付着試験を行い、施工品質を確認する。付着試験は、両側壁、インバートの各面についてあらかじめ施工計画書に定められた面積毎に付着強度を確認する。

写真-4.6.4-1 及び**写真-4.6.4-2** に高圧洗浄状況例を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-50　「4.6.5　導水・止水対策工」	P.4-50　「4.6.5　導水・止水対策工」



(1) V 字形溝切工法　　(2) U 字形溝切工法

注) V 字形溝切工法は端部からの水が浸透しやすく充填材が剥離などを起こしやすいので、近年は U 字形溝切工法を採用する場合が多い。

図-4.6.5-1　接着工法に適用された導水対策工の事例



写真-4.6.5-1　接着工法に適用された導水対策工（流末処理）の事例

図-4.6.5-2 及び表-4.6.5-2 は、「トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所」（平成 19 年 1 月）に紹介された導水溝の事例である。同マニュアルでは、導水溝のほか、導水樋や防水板、防水シートを設置する事例が紹介されている。これらの概要、適用条件、及び設計・施工上の留意点については、同マニュアルを参照されたい。

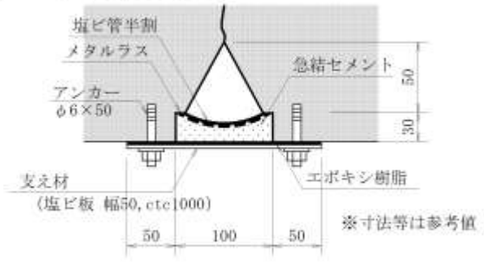


図-4.6.5-2　塩ビ管半割を埋設する導水溝の事例

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所、平成 19 年 1 月、p.Ⅲ-13 を改変して転載）



(1) V 字形溝切工法　　(2) U 字形溝切工法

注) V 字形溝切工法は端部からの水が浸透しやすく充填材が剥離などを起こしやすいので、近年は U 字形溝切工法を採用する場合が多い。

図-4.6.5-1　接着工法に適用された導水対策工の事例



写真-4.6.5-1　接着工法に適用された導水対策工（流末処理）の事例

図-4.6.5-2 及び表-4.6.5-2 は、「トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所」（平成 19 年 1 月）に紹介された導水溝の事例である。同マニュアルでは、導水溝のほか、導水樋や防水板、防水シートを設置する事例が紹介されている。これらの概要、適用条件、及び設計・施工上の留意点については、同マニュアルを参照されたい。

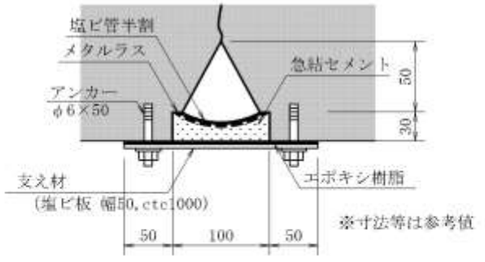


図-4.6.5-2　塩ビ管半割を埋設する導水溝の事例

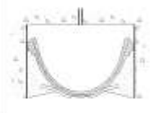
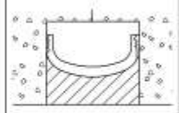
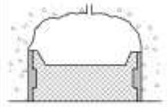
（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所、平成 19 年 1 月、P.Ⅲ-13 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.4-51　「4.6.5　導水・止水対策工」

表-4.6.5-2　既製品を埋設する導水溝の事例

工　法	A	B	C	D
形　状				
概　要	板ばねの反力により溝面に押しつける。表面はエポキシ樹脂系パテで固定する。	はつり溝に角状のゴムを装着する。	樹脂系導水材（樋材）をはつり溝に挿入し、表面をコーキング材で被覆する。	はつり溝に角状のゴムを装着する。
材　質	クロロプレンゴム	ネオプレン系独立気泡スポンジゴム	エチレン酢酸ビニル重合樹脂	クロロプレン系独立気泡スポンジゴム
有効導水幅	60~110mm	60、100、150mm	40、65mm	80~310mm
備　考	・板ばね内蔵なので、覆工（く体）の伸縮に追随できる。 ・折れ角の急なひび割れには施工できない。	・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。 ・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。	・導水材（樋材）にパッキンがなく、止水はコーキング材のみになる。 ・幅が狭いため、漏水量の多い場合は適用できない。	・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。 ・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所、平成 19 年 1 月、p.Ⅲ-14 を改変して転載）

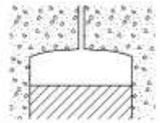
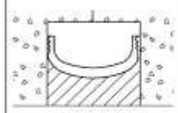
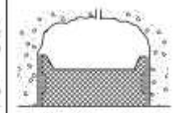
（2）止水対策工

止水対策については、ひび割れ充填工法や止水注入工が適用される。ひび割れ充填工法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編」（令和 5 年 3 月）を参照する。また、止水注入工については、「トンネル補修・補強マニュアル（鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、pp.Ⅲ-24～Ⅲ-27）」を参考にする。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.4-51　「4.6.5　導水・止水対策工」

表-4.6.5-2　既製品を埋設する導水溝の事例

工　法	A	B	C	D
形　状				
概　要	板ばねの反力により溝面に押しつける。表面はエポキシ樹脂系パテで固定する。	はつり溝に角状のゴムを装着する。	樹脂系導水材（樋材）をはつり溝に挿入し、表面をコーキング材で被覆する。	はつり溝に角状のゴムを装着する。
材　質	クロロプレンゴム	ネオプレン系独立気泡スポンジゴム	エチレン酢酸ビニル重合樹脂	クロロプレン系独立気泡スポンジゴム
有効導水幅	60~110mm	60、100、150mm	40、65mm	80~310mm
備　考	・板ばね内蔵なので、覆工（く体）の伸縮に追随できる。 ・折れ角の急なひび割れには施工できない。	・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。 ・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。	・導水材（樋材）にパッキンがなく、止水はコーキング材のみになる。 ・幅が狭いため、漏水量の多い場合は適用できない。	・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。 ・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。

（トンネル補修・補強マニュアル、鉄道技術総合研究所、平成 19 年 1 月、P.Ⅲ-14 を改変して転載）

（2）止水対策工

止水対策については、ひび割れ充填工法や止水注入工が適用される。ひび割れ充填工法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（開水路補修編）（案）」（平成 27 年 4 月）を参照する。また、止水注入工については、「トンネル補修・補強マニュアル（鉄道総合技術研究所、平成 19 年 1 月、pp.Ⅲ-24～Ⅲ-27）」を参考にする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-52　「4.6.6　補修工法の施工」	P.4-52　「4.6.6　補修工法の施工」

4.6.6　補修工法の施工

補修工法の施工は、各工法に共通する部分と工法ごとに異なる部分があり、現場条件によっても施工方法が異なる。また補修工法の施工は、ひび割れ補修や断面修復単独で実施する場合と、それらを施工した上で表面処理工法や補強・改修工法を行うなど、複数の工法を組み合わせて行う場合がある。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

補修工法のうち「表面被覆工法」、「ひび割れ補修工法」、「断面修復工法」、「目地補修工法」の施工方法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編」（令和５年３月）を参照されたい。「裏込注入工法」、「既製管挿入工法」、「製管工法」の施工方法については、**第５章、第７章**及び**第８章**を参照されたい。

4.6.6　補修工法の施工

補修工法の施工は、各工法に共通する部分と工法ごとに異なる部分があり、現場条件によっても施工方法が異なる。また補修工法の施工は、ひび割れ補修や断面修復単独で実施する場合と、それらを施工した上で表面処理工法や補強・改修工法を行うなど、複数の工法を組み合わせて行う場合がある。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

補修工法のうち「表面被覆工法」、「ひび割れ補修工法」、「断面修復工法」、「目地補修工法」の施工方法については、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）」（平成27年４月）を参照されたい。「裏込注入工法」、「既製管挿入工法」、「製管工法」の施工方法については、**第５章、第７章**及び**第８章**を参照されたい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-53 「4.7.1 施工計画」	P.4-53 「4.7.1 施工計画」

4.7 施工管理と完成検査

4.7.1 施工計画

水路トンネルの対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するため、施工過程の各段階において各々の品質を確認することが重要である。施工計画打合せ時には施工計画書、材料承諾書、保管管理、対策範囲の確認を行う。

【解説】

施工計画打合せ時には、良質な工事目的物を完成させるために、施工計画書、材料承諾書、保管管理、対策範囲に係る必要な事項を確認する。対策工事の施工前に必要となる主な事項を**図-4.7.1-1** に示す。

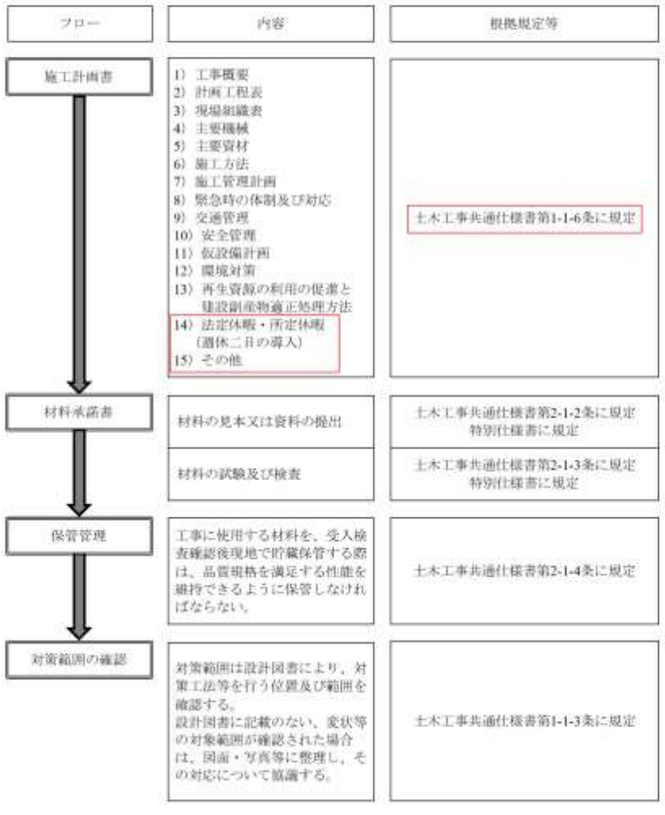


図-4.7.1-1 施工前に必要となる主な事項

4.7 施工管理と完成検査

4.7.1 施工計画

水路トンネルの対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するため、施工過程の各段階において各々の品質を確認することが重要である。施工計画打合せ時には施工計画書、材料承諾書、保管管理、対策範囲の確認を行う。

【解説】

施工計画打合せ時には、良質な工事目的物を完成させるために、施工計画書、材料承諾書、保管管理、対策範囲に係る必要な事項を確認する。対策工事の施工前に必要となる主な事項を**図-4.7.1-1** に示す。

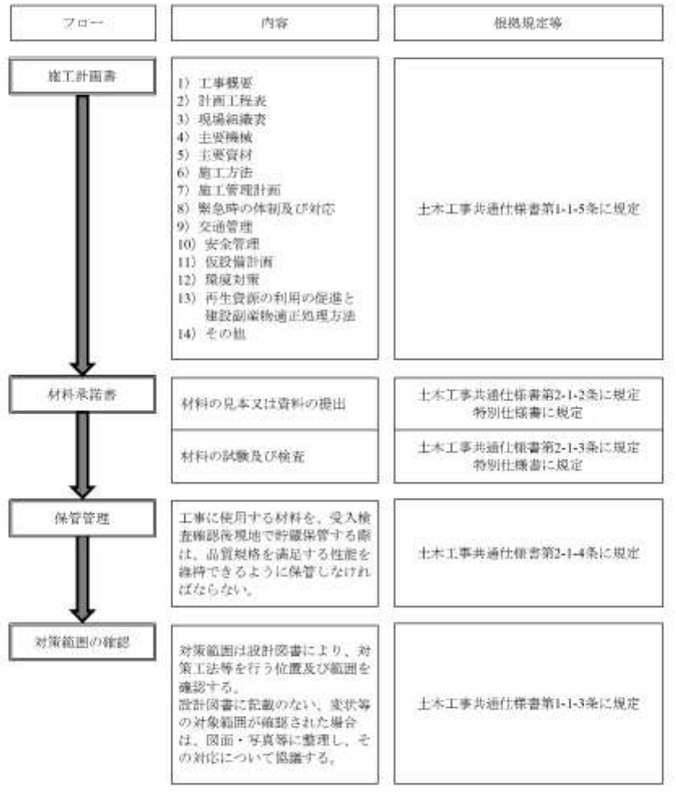


図-4.7.1-1 施工前に必要となる主な事項

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-54 「4.7.1.1 施工計画書」	P.4-54 「4.7.1.1 施工計画書」

4.7.1.1 施工計画書

工事着手前に、工事目的物を完成させるために必要な手順や工法等を記載した施工計画書の内容を確認する。また、施工中においては、記載内容の遵守を確認する。

【解説】

施工計画とは、図面・仕様書等に定められた工事目的物をどのような施工方法・段取りで所定の工期内に適正な費用で安全に施工するか、工事途中の管理をどのように行うか等を定めたものであり、工事の施工及び施工管理の最も基本となるものである。

施工計画書には、次の事項が記載されていることを確認する。なお、施工現場の特殊性に基づく追記事項が必要な場合は、対象となる特殊事項についての記載を確認する。

（1）施工計画書に記載すべき事項

1）工事概要　2）計画工程表　3）現場組織表
4）主要機械　5）主要資材　6）施工方法
7）施工管理計画　8）緊急時の体制及び対応　9）交通管理
10）安全管理　11）仮設備計画　12）環境対策
13）再生資源の利用の促進と建設副産物適正処理方法
14）法定休暇・所定休暇（週休二日の導入）　15）その他

（2）計画工程表

工程計画の確認では、設計図書（図面、特別仕様書、土木工事共通仕様書、現場説明書及び現場説明に対する質問回答書）の内容を勘案し、周辺住民の生活に支障をきたさないように、施工可能な工事の範囲をあらかじめ確認し、必要な作業時間、養生時間等に基づき工程計画が作成されていることを確認する。

施工時間の制約となる主な条件とは、①水路トンネルの通水停止可能時間、②交通管理者の道路使用許可時間、③作業帯の設置・撤去時間等である。水路トンネルの長寿命化対策においては非かんがい期に実施することが多く、施工期間に制約がある場合が多いため、工事の全容を早期に把握することにより、工程管理に反映させる必要がある。

このため、各施工区間のサイクルタイムを示した工程表が作成され、作業責任者の管理の下で施工が行われているかを確認する。

（3）現場組織表

職務分担及び緊急時の連絡体制では、次の事項を確認する。

1）主任技術者及び監理技術者

主任技術者及び監理技術者は、建設業法に定める有資格者でなければならない。施工管理手法が従来の水路トンネル工事と異なるため、工事を熟知した専門技術者（主任技術者又は監理技術者との兼務可能）を配置させなければならない。

2）職務分担

4.7.1.1 施工計画書

工事着手前に、工事目的物を完成させるために必要な手順や工法等を記載した施工計画書の内容を確認する。また、施工中においては、記載内容の遵守を確認する。

【解説】

施工計画とは、図面・仕様書等に定められた工事目的物をどのような施工方法・段取りで所定の工期内に適正な費用で安全に施工するか、工事途中の管理をどのように行うか等を定めたものであり、工事の施工、及び施工管理の最も基本となるものである。

施工計画書には、次の事項が記載されていることを確認する。なお、施工現場の特殊性に基づく追記事項が必要な場合は、対象となる特殊事項についての記載を確認する。

（1）施工計画書に記載すべき事項

1）工事概要
2）計画工程表
3）現場組織表
4）主要機械
5）主要資材
6）施工方法
7）施工管理計画
8）緊急時の体制及び対応
9）交通管理
10）安全管理
11）仮設備計画
12）環境対策
13）再生資源の利用の促進と建設副産物適正処理方法
14）その他

（2）計画工程表

工程計画の確認では、設計図書（図面、特別仕様書、土木工事共通仕様書、現場説明書及び現場説明に対する質問回答書）の内容を勘案し、周辺住民の生活に支障をきたさないように、施工可能な工事の範囲をあらかじめ確認し、必要な作業時間、養生時間等に基づき工程計画が作成されていることを確認する。

施工時間の制約となる主な条件とは、①水路トンネルの通水停止可能時間、②交通管理者の道路使用許可時間、③作業帯の設置・撤去時間等である。水路トンネルの長寿命化対策においては非かんがい期に実施することが多く、施工期間に制約がある場合が多いため、工事の全容を早期に把握することにより、工程管理に反映させる必要がある。

このため、各施工区間のサイクルタイムを示した工程表が作成され、作業責任者の管理の下で施工が行われているかを確認する。

（3）現場組織表

職務分担及び緊急時の連絡体制では、次の事項を確認する。

1）主任技術者及び監理技術者

主任技術者及び監理技術者は、建設業法に定める有資格者でなければならない。施工管理手法が従来の水路トンネル工事と異なるため、工事を熟知した専門技術者（主任技術者又は監理技術者との兼務可能）を配置させなければならない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-55　「4.7.1.1　施工計画書」	P.4-55　「4.7.1.1　施工計画書」
職務の主なものとして、現場代理人、主任技術者又は監理技術者、専門技術者、工事に伴う作業主任者（安全管理者、電気取扱責任者、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者、工事写真責任者等）が選任され、有資格者については免許証の写しを確認する。 **(4) 主要資材** 裏込注入工法に使用する注入材は、本書に示す管理基準値を満足する材料、配合、物性値とする。 **(5) 施工方法** 施工方法については、既設水路トンネルの状況、現場の施工条件に照らし合わせ、当該現場で適用可能であるか、品質・要求性能を満足するかなどの確認を行う。 **(6) 緊急時の体制及び対応** 緊急事態が発生した場合は、直ちに応急処置を講じるとともに、緊急連絡体制に基づいて関係機関に連絡通報し、指示に従い対応できるよう徹底するものとする。 **(7) 安全管理** 坑内作業においては、有毒ガス・酸素欠乏、水流等に対して十分な安全確保が重要である。 特に、近年多発する豪雨による急激な水量の変化には適切な対策を講じる必要がある。このため、急激な流入水に遭遇しないよう危険予防のための連絡システムを講じる。 **(8) 仮設備計画** 施工に先立ち現場の機器設置スペースを確認し、適切に工事設備を設置する必要がある。また、裏込注入工法に必要な工事用水の給水計画を適切に立案する。 **(9) 環境対策** 裏込注入工法を適用する場合は、湧水による材料分離、逸出、及び土かぶりの小さい箇所では地表への漏出にも注意しなければならない。また、非セメント系の注入材を適用する場合は、取り扱う作業者の安全、周辺環境への影響、火災への安全を考慮して十分安全なものを選定する必要がある。 また、施工時の騒音、振動等に対する周辺環境への対策を確実に行う計画を立案する。 **(10) その他** 準備工、坑内作業準備工、後片付け工等についても、施工概要、使用する主要資機材等の内容を確認する。 工事の施工に先立ち、周辺住民に工事の内容を説明し、理解と協力を求め、工事を円滑に進行する。	**2) 職務分担** 職務の主なものとして、現場代理人、主任技術者又は監理技術者、専門技術者、工事に伴う作業主任者（安全管理者、電気取扱責任者、酸素欠乏・硫化水素危険作業主任者、工事写真責任者等）が選任され、有資格者については免許証の写しを確認する。 **(4) 主要資材** 裏込注入工法に使用する注入材は、本書に示す管理基準値を満足する材料、配合、物性値とする。 **(5) 施工方法** 施工方法については、既設水路トンネルの状況、現場の施工条件に照らし合わせ、当該現場で適用可能であるか、品質・要求性能を満足するかなどの確認を行う。 **(6) 緊急時の体制及び対応** 緊急事態が発生した場合は、直ちに応急処置を講じるとともに、緊急連絡体制に基づいて関係機関に連絡通報し、指示に従い対応できるよう徹底すること。 **(7) 安全管理** 坑内作業においては、有毒ガス・酸素欠乏、水流等に対して十分な安全確保が重要である。 特に、近年多発する豪雨による急激な水量の変化には適切な対策を講じる必要がある。このため、急激な流入水に遭遇しないよう危険予防のための連絡システムを講じる。 **(8) 仮設備計画** 施工に先立ち現場の機器設置スペースを確認し、適切に工事設備を設置する必要がある。また、裏込注入工法に必要な工事用水の給水計画を適切に立案する。 **(9) 環境対策** 裏込注入工法を適用する場合は、湧水による材料分離、逸出、及び土かぶりの小さい箇所では地表への漏出にも注意しなければならない。また、非セメント系の注入材を適用する場合は、取り扱う作業者の安全、周辺環境への影響、火災への安全を考慮して十分安全なものを選定する必要がある。 また、施工時の騒音、振動等に対する周辺環境への対策を確実に行う計画を立案する。 **(10) その他** 準備工、坑内作業準備工、後片付け工等についても、施工概要、使用する主要資機材等の内容を確認する。 工事の施工に先立ち、周辺住民に工事の内容を説明し、理解と協力を求め、工事を円滑に進行する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-57　「4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入」	P.4-57　「4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入」

4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入

受注者は、対策工に使用する材料について所定の品質が保持されるよう、受入検査後の現場内保管及び搬送・搬入時・施工時のいずれにおいても、適正に管理を行わなければならない。

【解説】

土木工事共通仕様書「2-1-4　材料の保管管理」に基づき、材料の特性に留意して保管しなければならない。

対策工法に使用する材料は、雨水や湿気による吸湿及び温度変化や直射日光の照射により品質が劣化するおそれがある。

また、搬送・搬入時の損傷等にも留意する必要がある。

4.7.1.3　材料の保管及び搬送・搬入

受注者は、対策工に使用する材料について所定の品質が保持されるよう、受入検査後の現場内保管、及び搬送・搬入時・施工時のいずれかにおいても適正に管理を行わなければならない。

【解説】

土木工事共通仕様書「2-1-4　材料の保管管理」に基づき、材料の特性に留意して保管しなければならない。

対策工法に使用する材料は、雨水や湿気による吸湿及び温度変化や直射日光の照射により品質が劣化するおそれがある。

また、搬送・搬入時の損傷等にも留意する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-59 「4.7.2 施工管理」	P.4-59 「4.7.2 施工管理」

4.7.2 施工管理

(1) 施工管理は、水路トンネルの補修・補強工事の対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するよう、各工法の特性を踏まえて適切に行わなければならない。そのため、施工過程の各段階において適切な管理を実施しなければならない。

(2) 施工後の維持管理及び将来の保全のために、施工管理の記録を保持しなければならない。

【解説】

(1) 施工管理について

施工管理の基本構成は、**図-4.7.2-1** に示すとおりである。



図-4.7.2-1 施工管理の基本構成

水路トンネルの対策工法には各工法の特性があり、要求性能を満足する施工品質及び出来形を確保するため、材料及び工法の特徴や施工における留意事項を理解し、適切に施工しなければならない。

その際、**表-4.7.2-1** に示す基準等のほか、発注契約における特別仕様書等に基づき、適切な施工管理を行う必要がある。

表-4.7.2-1 対策工法の施工管理において準拠するべき基準等

基準等	備　考
土木工事共通仕様書	農林水産省農村振興局　制定
土木工事施工管理基準	農林水産省農村振興局　制定
土木工事施工管理基準の手引き	農林水産省農村振興局整備部　制定

(2) 施工管理の記録について

対策工事の施工の際、適宜、施工管理の記録を保存するものとする。施工後の施設の維持管理のほか、モニタリングにより得られた情報と併せて蓄積し、将来の保全管理に役立てるため、適切に記録し、必要な時期に活用できるように保管しておくことが重要である。

4.7.2 施工管理

(1) 施工管理は、水路トンネルの補修・補強工事の対策工法に求められる要求性能を満足する品質及び出来形を確保するよう、各工法の特性を踏まえて適切に行わなければならない。そのため、施工過程の各段階において適切な管理を実施しなければならない。

(2) 施工後の維持管理及び将来の保全のために、施工管理の記録を保持しなければならない。

【解説】

(1) 施工管理について

施工管理の基本構成は、**図-4.7.2-1** に示すとおりである。



図-4.7.2-1 施工管理の基本構成

水路トンネルの対策工法には各工法の特性があり、要求性能を満足する施工品質及び出来形を確保するため、材料及び工法の特徴や施工における留意事項を理解し、適切に施工しなければならない。

その際、**表-4.7.2-1** に示す基準等のほか、発注契約における特別仕様書等に基づき、適切な施工管理を行う必要がある。

表-4.7.2-1 対策工法の施工管理において準拠するべき基準等

基準等	備　考
土木工事共通仕様書	農林水産省農村振興局　制定
土木工事施工管理基準	農林水産省農村振興局　制定
土木工事施工管理基準の手引き	農林水産省農村振興局整備部　制定

(2) 施工管理の記録について

対策工事の施工の際、適宜、施工管理の記録を保存するものとする。施工後の施設の維持管理のほか、モニタリングにより得られた情報と併せて蓄積し、将来の保全管理に役立てるため、適切に記録し、必要な時期に活用できるように保管しておくことが重要である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-60 「4.7.2.1 工程管理」	P.4-60 「4.7.2.1 工程管理」

4.7.2.1 工程管理

（1）工程管理の目的

工事の品質及び工事の原価は、工程速度に大きく影響されるものであるため、工程（作業の進捗）管理は施工管理の中でも重要な項目となる。

（2）工程管理の手順

工程管理の手順は、計画→実施→検討→処置（Plan → Do → Check → Action）の各手段に分けて行う。

【解説】

（1）工程管理の目的について

発注者にとって工程管理は、工期内に適切な進度で、十分な品質・精度のもとに施工されていく工事過程の管理であり、工事予算執行あるいは天災不可抗力などによる損害額算定の重要な資料ともなる。更に、工事経営の要素を加えることにより、最小の費用で最大の生産を上げるために工事を管理していくこととなる。

（2）工程管理の手順について

工程管理は、工程表に基づき工事を実施し、毎日、毎週及び毎月定期的に工事進捗の実績を工程表に記入し、予定工程と実施工程とを比較の上、実績が計画に対してどのようになっているかを絶えずチェックし、できるだけ計画に沿って工事が進行するよう管理するものである。しかし、計画と実績の間に大きな差が出た場合（計画に対し±10%程度）には計画あるいは実施体制等に問題があることとなるため、計画を見直し必要な処置をとる必要がある。そして、再計画された工程表に基づき再度、実施-検討-処置の各手段を実行することが一般的な工程管理の手順である。**図-4.7.2-2** に施工管理の PDCA サイクルを示す。



図-4.7.2-2 施工管理における PDCA サイクル

4.7.2.1 工程管理

（1）工程管理の目的

工事の品質及び工事の原価は、工程速度に大きく影響されるものであるため、工程（作業の進捗）管理は施工管理の中でも重要な項目となる。

（2）工程管理の手順

工程管理の手順は、計画→実施→検討→処置（Plan → Do → Check → Action ）の各手段に分けて行う。

【解説】

（1）工程管理の目的について

発注者にとって工程管理は、工期内に適切な進度で、十分な品質・精度のもとに施工されていく工事過程の管理であり、工事予算執行あるいは天災不可抗力などによる損害額算定の重要な資料ともなる。更に、工事経営の要素を加えることにより、最小の費用で最大の生産を上げるために工事を管理していくこととなる。

（2）工程管理の手順について

工程管理は、工程表に基づき工事を実施し、毎日、毎週及び毎月定期的に工事進捗の実績を工程表に記入し、予定工程と実施工程とを比較の上、実績が計画に対してどのようになっているかを絶えずチェックし、できるだけ計画に沿って工事が進行するよう管理するものである。しかし、計画と実績の間に大きな差が出た場合（計画に対し±10%程度）には計画あるいは実施体制等に問題があることとなるため、計画を見直し必要な処置をとる必要がある。そして、再計画された工程表に基づき再度、実施-検討-処置の各手段を実行することが一般的な工程管理の手順である。**図-4.7.2-2** に施工管理の PDCA サイクルを示す。

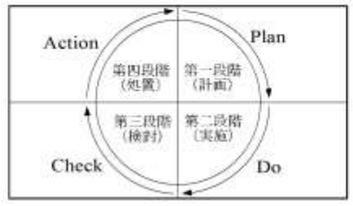


図-4.7.2-2 施工管理における PDCA サイクル

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-62　「4.7.2.2　出来形管理」	P.4-62　「4.7.2.2　出来形管理」

5）モニタリング調査に資する定点の設置

補強・改修工法を適用した箇所については、モニタリング調査で継続監視するための定点を設け、初期値を測定しなければならない。定点は、本書の「第 12 章　対策後のモニタリング」に示すモニタリングの調査を継続的に行うための基準点と、変化を観測するための測定点を設けるものである。定点の種類は、調査項目に応じて定めるものとする。例えば、ひび割れ調査においてはモルタルパッド等を設置し、内空変位測定では、測定位置を明示する鋲等を設置し初期値を計測することが重要である。

計測範囲は、既存の変状が顕著に表れている区間や、調査や解析等で最も大きい変位が予想される区間を中心として、10～20m の間隔で定点（測定点）を設ける。定点は変状の著しい区間だけでなく、隣接する健全な区間にも設け、双方の断面変化量を比較することで、変形モード等を正確に把握することができる。

（2）撮影記録による出来形管理

対策工事の撮影記録による出来形管理は、施工完了後に確認できない箇所の出来形・出来高数量、施工の状態等、施工段階ごとの進行過程を写真により確認するために行う。よって、撮影記録による出来形管理箇所は、原則として直接測定による出来形管理の場合と同一箇所を選定する。

土木工事施工管理基準及び特別仕様書に基づき、あらかじめ施工計画書に各施工段階における撮影基準、撮影箇所等を定め、これに従って管理しなければならない。

そのほか、管理に当たっては以下の点に留意して行うものとし、工事写真の保管と管理を適切に行い、必要に応じて提示するとともに、検査時に提出する。

1）撮影内容の表示

撮影に当たっては、形状・寸法及び位置が判明できるよう黒板と箱尺、ノギス等を目的物に添えるものとする。黒板には、撮影日、測点、設計寸法、実測寸法及び略図を記入する。

2）拡大写真

ある箇所の一部分を拡大して撮影する必要がある場合は、その箇所の全景を撮影した後、拡大撮影する部分の位置が確認できるように撮影する。

5）モニタリング調査に資する定点の設置

補強・改修工法を適用した箇所については、モニタリング調査で継続監視するための定点を設け、初期値を測定しなければならない。定点は、本書の「**第 11 章　対策後のモニタリング**」に示すモニタリングの調査を継続的に行うための基準点と、変化を観測するための測定点を設けるものである。定点の種類は、調査項目に応じて定めるものとする。例えば、ひび割れ調査においてはモルタルパッド等を設置し、内空変位測定では、測定位置を明示する鋲等を設置し初期値を計測することが重要である。

計測範囲は、既存の変状が顕著に表れている区間や、調査や解析等で最も大きい変位が予想される区間を中心として、10～20m の間隔で定点（測定点）を設ける。定点は変状の著しい区間だけでなく、隣接する健全な区間にも設け、双方の断面変化量を比較することで、変形モード等を正確に把握することができる。

（2）撮影記録による出来形管理

対策工事の撮影記録による出来形管理は、施工完了後に確認できない箇所の出来形・出来高数量、施工の状態等、施工段階ごとの進行過程を写真により確認するために行う。よって、撮影記録による出来形管理箇所は、原則として直接測定による出来形管理の場合と同一箇所を選定する。

土木工事施工管理基準及び特別仕様書に基づき、あらかじめ施工計画書に各施工段階における撮影基準、撮影箇所等を定め、これに従って管理しなければならない。

そのほか、管理に当たっては以下の点に留意して行うものとし、工事写真の保管と管理を適切に行い、必要に応じて提示するとともに、検査時に提出する。

1）撮影内容の表示

撮影に当たっては、形状・寸法及び位置が判明できるよう黒板と箱尺、ノギス等を目的物に添えるものとする。黒板には、撮影日、測点、設計寸法、実測寸法及び略図を記入する。

2）拡大写真

ある箇所の一部分を拡大して撮影する必要がある場合は、その箇所の全景を撮影した後、拡大撮影する部分の位置が確認できるように撮影する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-65 「4.7.2.4 安全・衛生管理」	P.4-65 「4.7.2.4 安全・衛生管理」

(2)「酸素欠乏症、有毒ガス等の安全処置」について（参考：労働安全衛生法第 65 条）

坑内作業となるため、酸素欠乏や有毒ガス等に対する安全処置が必要である。作業前に酸素濃度や硫化水素濃度を測定し、安全を確認して坑内に入る。

なお、作業前に濃度が異常値を示している場合は、有効な空気呼吸器等の呼吸用保護具を着用して調査する。

1）酸素濃度及び有毒ガス濃度の許容値（参考：労働安全衛生規則第 585 条）

① 酸素濃度…… 18%以上を確認
② 硫化水素濃度……10ppm 以下を確認
③ 溶媒から発生するガス濃度……20ppm 以下を確認（作業環境評価基準濃度 20ppm 以下）
④ 一酸化炭素濃度……50ppm 以下を確認

2）測定方法と留意事項（参考：酸素欠乏症等防止規則第３条）

① 密閉式の蓋を開けた直後は、酸欠空気、硫化水素等が吐き出されるおそれがあるので、決して蓋の内部をのぞかない。
② 測定者（有資格者）は、測定方法について十分習熟する。
③ 測定者は、必ず１人以上の補助者の監視の下で測定を行うものとする。
④ 転落のおそれがあるところでは、監視人が測定者を監視するとともに命綱等を装備させ、安全を確認する。
⑤ 土砂の堆積や滞水のある場所での作業では、測定者は携帯用ガス測定器により、事前に安全を確認しながら作業を行うものとする。
⑥ 測定者は、メタンガス等の可燃性ガスが存在するおそれがある場所において電気機械器具を使用するときは、防爆構造電気器具でなければ使用してはならない旨規定されており、非防爆タイプの電動ファン付き呼吸用保護具を使用してはならない。
⑦ 坑内作業中は、携帯用測定器で連続的に測定する。

3）測定箇所

① 作業場所に硫化水素が発生、侵入又は停滞するおそれのある場所
② 作業場所に酸素欠乏が発生するおそれのある場所
③ 作業に伴って作業員が立ち入る箇所

4）酸素欠乏が発生しやすい場所（参考：労働安全衛生法施行令別表第６）

① 上部に不浸透水層がある砂れき層のうち含水・湧水がない又は少ない部分、第１鉄塩類又は第１マンガン塩類を含有している地層、メタン・エタン又はブタンを含有している地層、炭酸水を湧出している又は湧出するおそれのある地層、腐泥層等の地層に接している又は通じる部分
② 附帯工、保護工ピットの内部
③ 雨水、河川の流水若しくは湧水が滞水している、又は滞留したことがある箇所

5）硫化水素が発生しやすい場所

① 伏越した下流部、上流部
② 泥が堆積しやすい箇所
③ 坑内の硫化水素濃度は、1 日の時間帯及び季節により大きく変動するため注意が必要である。

(2)「酸素欠乏症、有毒ガス等の安全処置」について（参考：労働安全衛生法第 65 条）

坑内作業となるため、酸素欠乏や有毒ガス等に対する安全処置が必要である。作業前に酸素濃度や硫化水素濃度を測定し、安全を確認して坑内に入る。

なお、作業前に濃度が異常値を示している場合は、有効な空気呼吸器等の呼吸用保護具を着用して調査する。

1）酸素濃度及び有毒ガス濃度の許容値（参考：労働安全衛生規則第 585 条）

① 酸素濃度…… 18%以上を確認
② 硫化水素濃度……10ppm 以下を確認
③ 溶媒から発生するガス濃度……20ppm 以下を確認（作業環境評価基準濃度 20ppm 以下）
④ 一酸化炭素濃度……50ppm 以下を確認

2）測定方法と留意事項（参考：酸素欠乏症等防止規則第３条）

① 密閉式の蓋を開けた直後は、酸欠空気、硫化水素等が吐き出されるおそれがあるので、決して蓋の内部をのぞかない。
② 測定者（有資格者）は、測定方法について十分習熟する。
③ 測定者は、必ず１人以上の補助者の監視の下で測定を行うものとする。
④ 転落のおそれがあるところでは、監視人が測定者を監視するとともに命綱等を装備させ、安全を確認する。
⑤ 土砂の堆積や滞水のある場所での作業では、測定者は携帯用ガス測定器により、事前に安全を確認しながら作業を行うものとする。
⑥ 測定者は、メタンガス等の可燃性ガスが存在するおそれがある場所では、圧縮酸素放出式マスクを使用しない。
⑦ 坑内作業中は、携帯用測定器で連続的に測定する。

3）測定箇所

① 作業場所に硫化水素が発生、侵入又は停滞するおそれのある場所
② 作業場所に酸素欠乏が発生するおそれのある場所
③ 作業に伴って作業員が立ち入る箇所

4）酸素欠乏が発生しやすい場所（参考：労働安全衛生法施行令別表第６）

① 上部に不浸透水層がある砂れき層のうち含水・湧水がない又は少ない部分、第１鉄塩類又は第１マンガン塩類を含有している地層、メタン・エタン又はブタンを含有している地層、炭酸水を湧出している又は湧出するおそれのある地層、腐泥層等の地層に接している又は通じる部分
② 附帯工、保護工ピットの内部
③ 雨水、河川の流水若しくは湧水が滞水している、又は滞留したことがある箇所

5）硫化水素が発生しやすい場所

① 伏越した下流部、上流部
② 泥が堆積しやすい箇所
③ 坑内の硫化水素濃度は、1 日の時間帯及び季節により大きく変動するため注意が必要である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-66 「4.7.2.4 安全・衛生管理」	P.4-66 「4.7.2.4 安全・衛生管理」
6）**換気**（参考：労働安全衛生規則第 602 条） ① 硫化水素や酸素欠乏の発生が予想される箇所では、作業前から換気を実施し、作業終了後、坑内に作業員がいないことを確認するまで換気を継続する。 ② 換気方法は、外気の風向きを考慮してファン等を設置し、一方から送気、他方から外へ排気することにより、安全が確認できるまで坑内の換気を行うものとする。 ③ 作業前の換気時間は、送風機の能力と坑内容積から、坑内の空気が入れ替わる時間の 3～5 倍の時間をもって換気時間の目安とする。その後、ガス濃度測定を行い、安全を確認した後、作業員を進入させ、作業員が坑内にいる間は換気を続ける。 ④ 気温が 10℃以下であるときには、換気に際し、作業員を 1m/s 以上の気流にさらしてはならない。 ⑤ 粉じん濃度の目標レベルは、吸入性粉じんで 2mg/m³以下とする。ただし、トンネル断面が小さく、2mg/m³を達成するために必要な風管の口径や本数、または集じん装置の容量の確保が施工上極めて困難な場合には、可能な限り 2mg/m³に近い値を目標とし、その測定値を記録するものとする。 7）**保護具**（参考：労働安全衛生規則第 389 条） 異常時には直ちに有効な空気呼吸器等の呼吸用保護具を用いられるように作業場所や搬入口部に配置するとともに、作業員全員が確実に装着及び使用できるよう日常的訓練を励行する。また、転落のおそれのある場所では安全帯を使用する。 **(3)「安全に関する研修、訓練」について**（参考：土木工事等施工技術安全指針第 1 章第 6 節） 労働安全関係法令に基づく安全活動の実施とともに、現場作業の安全を確保するため、「KYK」（危険予知活動）や「TBM」（ツールボックスミーティング）の励行を求める。	6）**換気**（参考：労働安全衛生規則第 602 条） ① 硫化水素や酸素欠乏の発生が予想される箇所では、作業前から換気を実施し、作業終了後、坑内に作業員がいないことを確認するまで換気を継続する。 ② 換気方法は、外気の風向きを考慮してファン等を設置し、一方から送気、他方から外へ排気することにより、安全が確認できるまで坑内の換気を行うものとする。 ③ 作業前の換気時間は、送風機の能力と坑内容積から、坑内の空気が入れ替わる時間の 3～5 倍の時間をもって換気時間の目安とする。その後、ガス濃度測定を行い、安全を確認した後、作業員を進入させ、作業員が坑内にいる間は換気を続ける。 ④ 気温が 10℃以下であるときには、換気に際し、作業員を 1m/s 以上の気流にさらしてはならない。 7）**保護具**（参考：労働安全衛生規則第 389 条） 異常時には直ちに有効な空気呼吸器等の呼吸用保護具を用いられるように作業場所や搬入口部に配置するとともに、作業員全員が確実に装着及び使用できるよう日常的訓練を励行する。また、転落のおそれのある場所では安全帯を使用する。 **(3)「安全に関する研修、訓練」について**（参考：土木工事等施工技術安全指針第 1 章第 6 節） 労働安全関係法令に基づく安全活動の実施とともに、現場作業の安全を確保するため、「KYK」（危険予知活動）や「TBM」（ツールボックスミーティング）の励行を求める。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.4-67 「4.7.3　完成検査」	
4.7.3　完成検査 工事後、関係書類に基づき、工事の実施状況、出来形及び品質について検査を実施する。 【解説】 工事の出来形及び品質の検査は、位置、出来形寸法、品質及び出来ばえについて、仕様書、図面その他関係図書と対比して行う。	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-1 「5.1 工法概要」	P.5-1 「5.1 工法概要」

第５章　裏込注入工法

5.1　工法概要

裏込注入工法は、覆工背面と地山との空洞を裏込注入材で充填する工法であり、裏込注入材の種類から分類できる。

【解説】

覆工背面と地山との空洞を充填することで覆工に作用する地圧を均等に分布させることや、地盤反力を有効に働かせることができ、その後の合理的な補修・補強の構造力学条件を整えることができる。また、覆工への地山からの偏圧の防止にも効果がある。さらに、地山の風化やそれに伴う崩落を防止し、漏水を抑制する効果がある。**図-5.1.1** に裏込注入工法の概念図を示す。

裏込注入工法は、漏水対策等の補修的な目的と地圧対策等の補強的な目的の両面で適用される工法であり、水路トンネルの補修・補強工事における適用実績が非常に多い工法である。裏込注入工法は外力によるひび割れ等の変状対策として最も基本となる工法であり、かつ最も効果的な工法であるため、原則として空洞の存在する変状トンネルにおいては、まず裏込注入工法を計画する必要がある。特にアーチ部の空洞を確実に充填することが基本となる。

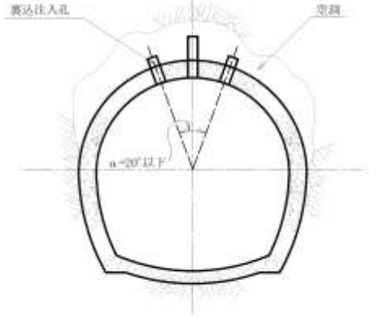


図-5.1.1　裏込注入工法（セメント系）（例）

（1）適用条件

①　覆工背面の空洞が原因で、変状が発生している場合
②　覆工が注入圧力に耐え得る状態の場合
③　湧水の状況が注入可能な程度である場合

（2）注入材料の特徴

裏込注入材には、セメント系注入材と非セメント系注入材がある。セメント系注入材については更に非可塑性注入材と可塑性注入材に分けられ、それぞれ更に非エア系とエア系に分類される。セメント系注入材の適用実績としては、近年は可塑性注入材が多く用いられている。

また、非セメント系注入材には各種の材料が用いられてきたが、近年では発泡ウレタン系の材料が用いられている。

第５章　裏込注入工法

5.1　工法概要

裏込注入工法は、覆工背面と地山との空洞を裏込注入材で充填する工法であり、裏込注入材の種類から分類できる。

【解説】

覆工背面と地山との空洞を充填することで覆工に作用する地圧を均等に分布させることや、地盤反力を有効に働かせることができ、その後の合理的な補修・補強の構造力学条件を整えることができる。また、覆工への地山からの偏圧の防止にも効果がある。さらに、地山の風化やそれに伴う崩落を防止し、漏水を抑制する効果がある。**図-5.1.1** に裏込注入工法の概念図を示す。

裏込注入工法は、漏水対策等の補修的な目的と地圧対策等の補強的な目的の両面で適用される工法であり、水路トンネルの補修・補強工事における適用実績が非常に多い工法である。裏込注入工法は外力によるひび割れ等の変状対策として最も基本となる工法であり、かつ最も効果的な工法であるため、原則として空洞の存在する変状トンネルにおいては、まず裏込注入工法を計画する必要がある。特にアーチ部の空洞を確実に充填することが基本となる。

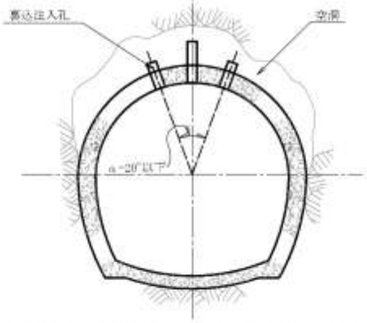


図-5.1.1　裏込注入工法（セメント系）（例）

（1）適用条件

①　覆工背面の空洞が原因で、変状が発生している場合
②　覆工が注入圧力に耐え得る状態の場合
③　湧水の状況が注入可能な程度である場合

（2）注入材料の特徴

裏込注入材には、セメント系注入材と非セメント系注入材がある。セメント系注入材については更に非可塑性注入材と可塑性注入材に分けられ、それぞれ更に非エア系とエア系に分類される。セメント系注入材の適用実績としては、最近は可塑性注入材が多く用いられている。

また、非セメント系注入材には各種の材料が用いられてきたが、最近では発泡ウレタン系の材料が用いられている。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-2 「5.1 工法概要」	P.5-2 「5.1 工法概要」

図-5.1.2 に裏込注入材の分類を、表-5.1.1 にこれらの裏込注入材の特性を示す。

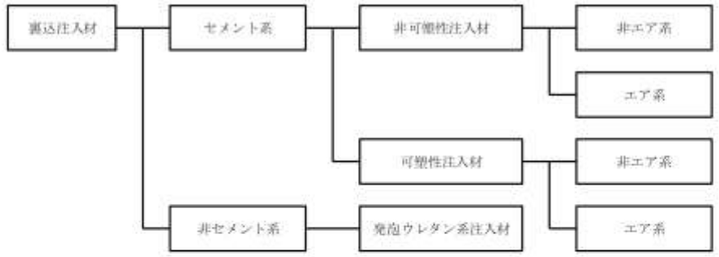


図-5.1.2 裏込注入材の分類

表-5.1.1 裏込注入材の材料特性一覧

	セメント系				非セメント系
材料	非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	－
	モルタル、セメントベントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン
材料の特徴	モルタルや、モルタルにベントナイトを混合して流動性を良くしたもの	モルタルやセメントミルクに、空気を混入し流動性を良くしたもの	セメントベントナイト等にポリマー材料を混入し流動性を高めたもの等	エアモルタル又はエアミルクに可塑剤や繊維物質等を添加したもの	発泡ウレタンを用いた注入材
単位体積重量 (kN/m³)	20 程度	11～14：エアモルタル 6 程度:エアミルク	11～15	10～12	0.3～1.0 （発泡倍率 40～12）
ゲルタイム（硬化時間）	数時間～1 日程度（硬化時間）	数時間～1 日程度（硬化時間）	混合直後から可塑性	混合直後から可塑性	1～3 分程度（硬化時間）
フロー値 (mm)	15～20sec（P ロート法）	200±20mm（シリンダー法）	80～120mm（シリンダー法）	80～150mm（シリンダー法）	－（注 1）

（注 1）発泡ウレタンの場合、発泡しながら硬化するため、フロー値はない。

（土木研究所資料第 3877 号 道路トンネル変状対策工マニュアル（案）、土木研究所、平成 15 年 2 月、p.109 を引用）

① セメント系の注入材（非可塑性注入材）としては古くからモルタルが用いられてきたが、覆工背面の空洞充填に必要な流動性が不十分で大量施工には適さないため、近年では流動性を改善する目的でベントナイトを混合したセメントベントナイトや、気泡を混入したエアモルタル、エアミルクが用いられている。

図-5.1.2 に裏込注入材の分類を、表-5.1.1 にこれらの裏込注入材の特性を示す。

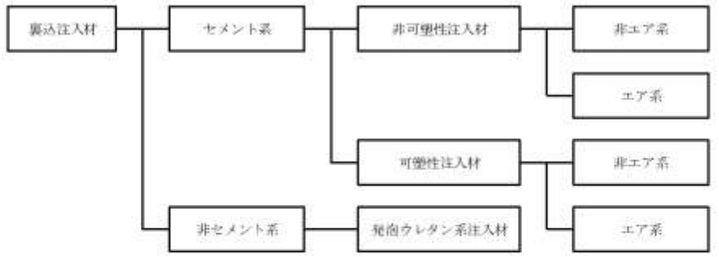


図-5.1.2 裏込注入材の分類

表-5.1.1 裏込注入材の材料特性一覧

	セメント系				非セメント系
材料	非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	－
	モルタル、セメントベントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン
材料の特徴	モルタルや、モルタルにベントナイトを混合して流動性を良くしたもの	モルタルやセメントミルクに、空気を混入し流動性を良くしたもの	セメントベントナイト等にポリマー材料を混入し流動性を高めたもの等	エアモルタル又はエアミルクに可塑剤や繊維物質等を添加したもの	発泡ウレタンを用いた注入材
単位体積重量 (kN/m³)	20 程度	11～14：エアモルタル 6 程度:エアミルク	11～15	10～12	0.3～1.0 （発泡倍率 40～12）
ゲルタイム（硬化時間）	数時間～1 日程度（硬化時間）	数時間～1 日程度（硬化時間）	混合直後から可塑性	混合直後から可塑性	1～3 分程度（硬化時間）
フロー値 (mm)	15～20sec（P ロート法）	200±20mm（シリンダー法）	80～120mm（シリンダー法）	80～150mm（シリンダー法）	－（注 1）

（注 1）発泡ウレタンの場合、発泡しながら硬化するため、フロー値はない。

（道路トンネル維持管理便覧【本体工編】日本道路協会、平成 27 年 6 月、P.276 を改変して転載）

① セメント系の注入材（非可塑性注入材）としてはモルタルが古くから用いられてきたが、覆工背面の空洞を充填するための流動性が不十分で大量施工に向かないため、流動性を改善する目的でベントナイトを混合したセメントベントナイトや、気泡を混入したエアモルタル、エアミルクが用いられるようになった。

非可塑性注入材の特徴は以下のとおりである。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-4 「5.1 工法概要」	P.5-4 「5.1 工法概要」

(3) 施工の概要

セメント系注入材の施工においては、トンネル内に圧送管を設置し、アーチ部に直径 65mm 程度の注入孔を削孔した後、裏込注入プラントで製造した材料を圧送管で圧送し覆工背面に注入する。

非セメント系注入材の施工においては、注入機器と注入材料を坑内の注入箇所まで搬入し、アーチ部に直径 30mm 程度の注入孔を削孔して注入管を設置した後、注入ホースを接続して覆工背面に注入する。

(4) 留意事項

他の補修・補強工法と併用する場合には、合理的な補修・補強の構造力学条件を整えるため、裏込注入工法を優先して行う。しかし、巻厚不足の場合等、先に補強工法を行う場合もあるため、現場条件を踏まえて施工順序を決定する。

地山と覆工とが裏込注入材によって密着できるよう細部まで充填することができ、それぞれの変位、変形による反力を十分に伝達できる材料を選定する必要がある。

裏込注入材料は、それぞれの材料の特性を把握した上で選定することが重要である。

裏込注入により湧水が抑制されて、トンネル周辺の地下水位が上昇し、覆工に現状以上の水圧が作用する場合がある。その場合は、ウィープホール等の水抜工を設け、地下水位の上昇を防止する必要がある。

裏込注入工法は空洞への充填を目的としており、地山（緩み領域など）の改良は対象としていない。よって、緩んだ地山などの改良を目的とする場合は、地盤改良工法の適用を検討する必要がある。次頁のコラムに坑内からの地盤改良工法を適用した事例を示す。

(3) 施工の概要

裏込注入工事においては、トンネル内への圧送管設置と、アーチ部注入孔（φ65mm 程度）を削孔した後に、裏込注入プラントで製造した材料を圧送管で圧送し覆工背面に注入する。

非セメント系注入材の施工においては、注入機器及び注入材料を坑内の注入箇所まで搬入し、アーチ部注入孔（φ30mm 程度）に注入管を設置し、注入ホースを接続して、覆工背面に注入する。

(4) 留意事項

他の補修・補強工法と併用する場合には、合理的な補修・補強の構造力学条件を整えるため、裏込注入工法を優先して行う。しかし、巻厚不足の場合等、先に補強工法を行う場合もあるため、現場条件を踏まえて施工順序を決定する。

地山と覆工とが裏込注入材によって密着できるよう細部まで充填することができ、それぞれの変位、変形による反力を十分に伝達できる材料を選定する必要がある。

裏込注入材料は、それぞれの材料の特性を把握した上で選定することが重要である。

裏込注入により湧水が抑制されて、トンネル周辺の地下水位が上昇し、覆工に現状以上の水圧が作用する場合がある。その場合は、ウィープホール等の水抜工を設け、地下水位の上昇を防止する必要がある。

裏込注入工法は空洞への充填を目的としており、地山の改良は対象としていない。地山の改良を目的とする場合は、その他の地盤改良工法の適用を検討する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-5 「5.1 工法概要」	

【坑内からの地盤改良工法を適用した事例（参考）】

① 地盤改良工法の適用理由

・トンネル上の地表面に陥没や沈下が生じ、調査の結果、覆工背面や地表付近に緩み領域が確認されたため、覆工背面の緩み領域を対象として坑内から地盤改良工法を適用した。なお、地表付近に緩み領域や空洞が確認された場合には、地上からの地盤改良工法を適用した。

・目地や断面欠損部からの土砂の流亡や、覆工背面に地山の緩み領域が確認され、放置すると地山の空洞化や地表陥没に進展するおそれがあったので坑内からの地盤改良工法を適用した。

② 地盤改良工法の施工事例

覆工背面地山の緩み領域に対し薬液注入工法（恒久グラウト材注入）を施工した事例を示す。

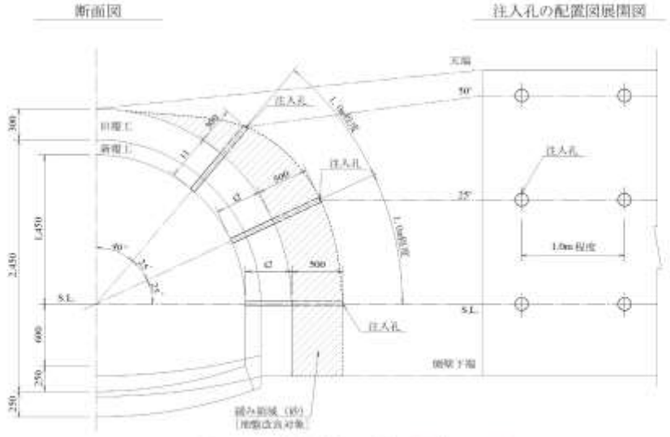


図-5.1.3 地盤改良工法施工標準断面図

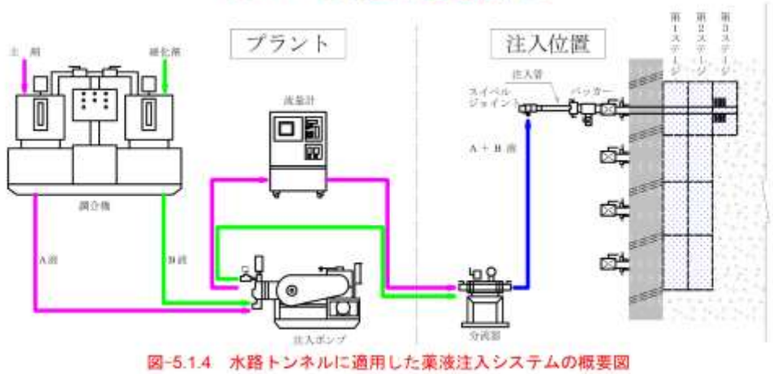


図-5.1.4 水路トンネルに適用した薬液注入システムの概要図

新 規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-6 「5.1　工法概要」	

③　施工状況写真



写真-5.1.1　資機材搬入



写真-5.1.2　注入孔削孔状況



写真-5.1.3　グラウト注入状況



写真-5.1.4　目詰工・施工完了

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-8 「5.2.1 裏込注入工法の要求性能と性能照査」	P.5-6 「5.2.1 裏込注入工法の要求性能と性能照査」

耐荷性（強度・剛性）：覆工に作用する地圧の均等化を図ることができる強度を有していること。裏込注入工法に用いる注入材は、一般に高強度のものは必要なく、覆工に作用する地圧を均等に伝達できるように、材料のバラツキがないように施工することが重要である。

セメント系注入材の圧縮強さの目標値は、一般に 28 日圧縮強さで 1.0～1.5N/mm² の例が多い。施工時には湧水がある場合や、過度に注入材が流動したりすることが考えられるため、注入後のバラツキを考慮して設計基準強度は 1.5N/mm² 以上とする。

非セメント系注入材（発泡ウレタン）は、材料の単価が高く、配合（発泡倍率）による単価のバラツキも大きいため、緩み圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発性崩壊の防止を目的とした注入なのかなど、対策の目的を明確にした上で個別に材料剛性を設定して、薬液の配合比率を定める必要がある。

一般に、発泡ウレタン系注入材は、圧縮強さが低く 1.0N/mm² 未満であるため、外力対策として適用する場合には、材料剛性に留意する必要がある。既存の材料には数倍から 40 倍発泡までの材料があるが、外力対策が必要な場合には 12 倍から 30 倍発泡程度の材料を用い、地山の緩みによる突発崩壊の防止を目的とする場合は 40 倍発泡程度の材料が用いられている。

近年、裏込注入材の剛性が対策工の効果に及ぼす影響についての研究が進められており、外力対策として裏込注入を行う場合は、ある程度の剛性を有する裏込注入材を用いることにより背面空洞が無い場合に近い値まで変形抑制効果を高められることが明らかとなった。一方、注入材の弾性係数と地山の弾性係数の比が 1/4 程度を下回ると、補強効果が顕著に低下することが数値シミュレーションにより示されている。

これらの研究報告を踏まえ、外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の 1/4 以上を目安に材料を選定してよい。

ただし、30 倍発泡で注入した後に、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告もあるので、各工法の補強の考え方に沿って適切な材料を選定することが重要である。

（参考：佐藤文法他、山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.1267-1268、2012.7）

（参考：日下敦他、山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察、トンネル工学報告集、第 26 巻、Ⅰ-19、pp.1-7、2016.11）

（参考：長束勇他、トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術、農業農村工学会誌、第 82 巻 4 号、pp.19-22、2014.4）

充填性・流動性：注入材が空洞にスムーズに充填できること。注入材においては、空洞を十分に充填できる流動性が最も重要である。また、施工性の面からも、注入ホースや注入管内をスムーズに流れることが必要である。特に圧送距離が長い場合には十分な検討が必要である。エアモルタルやエアミルクの場合、流動性は材料分離と密接な関係にあり、あまり流動性を良くすると材料分離の原因となることもある。

また、エアモルタルに使用する砂は、その粒径や粗粒率によりエアモルタルの性質が異なることがあるので、あらかじめ使用する砂を想定して配合を計画する必要がある。一般には、粗

耐荷性（強度・剛性）：覆工に作用する地圧の均等化を図ることができる強度を有していること。裏込注入工法に用いる注入材は、一般に高強度のものは必要なく、覆工に作用する地圧を均等に伝達できるように、材料のバラツキがないように施工することが重要である。

セメント系注入材の圧縮強さの目標値は、一般に 28 日圧縮強さで 1.0～1.5N/mm² の例が多い。施工時には湧水がある場合や、過度に注入材が流動したりすることが考えられるため、注入後のバラツキを考慮して設計基準強度は 1.5N/mm² 以上とする。

非セメント系注入材（発泡ウレタン）は、材料の単価が高く、配合（発泡倍率）による単価のバラツキも大きいため、緩み圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発性崩壊の防止を目的とした注入なのかなど、対策の目的を明確にした上で個別に材料剛性を設定して、薬液の配合比率を定める必要がある。

一般に、発泡ウレタン系注入材は、圧縮強さが低く 1.0N/mm² 未満であるため、外力対策として適用する場合には、材料剛性に留意する必要がある。既存の材料には数倍から 40 倍発泡までの材料があるが、外力対策が必要な場合には 12 倍から 30 倍発泡程度の材料を用い、地山の緩みによる突発崩壊の防止を目的とする場合は 40 倍発泡程度の材料が用いられている。

近年、裏込注入材の剛性が対策工の効果に及ぼす影響についての研究が進められており、外力対策として裏込注入を行う場合は、ある程度の剛性を有する裏込注入材を用いることにより背面空洞が無い場合に近い値まで変形抑制効果を高められることが明らかとなった。一方、注入材の弾性係数と地山の弾性係数の比が 1/4 程度を下回ると、補強効果が顕著に低下することが数値シミュレーションにより示されている。

これらの研究報告を踏まえ、外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の 1/4 以上を目安に材料を選定してよい。

ただし、30 倍発泡で注入した後に、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告もあるので、各工法の補強の考え方に沿って適切な材料を選定することが重要である。

（参考：佐藤文法他、山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討、第 47 回地盤工学研究発表会、pp.1267-1268、2012.7）

（参考：日下敦他、山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込注入材の剛性と効果に関する一考察、トンネル工学報告集、第 26 巻、Ⅰ-19、pp.1-7、2016.11）

（参考：長束勇他、トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術、農業農村工学会誌、第 82 巻 4 号、pp.19-22、2014.4）

充填性・流動性：注入材が空洞にスムーズに充填できること。注入材においては、空洞を十分に充填できる流動性が最も重要である。また、施工性の面からも、注入ホースや注入管内をスムーズに流れることが必要である。特に圧送距離が長い場合には十分な検討が必要である。エアモルタルやエアミルクの場合、流動性は材料分離と密接な関係にあり、あまり流動性を良くすると材料分離の原因となることもある。

また、エアモルタルに使用する砂は、その粒径や粗粒率によりエアモルタルの性質が異なることがあるので、あらかじめ使用する砂を想定して配合を計画する必要がある。一般には、粗

新（改定版）

P.5-10　「5.2.1　裏込注入工法の要求性能と性能照査」

表-5.2.1-1　裏込注入材（セメント系(可塑性注入材)）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」	材齢 28 日の圧縮強さ 1.5N/mm² 以上
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS A 1116「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」 JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536「PC グラウトの単位容積質量試験方法」	エ　ア　系：10～12kN/m³ エア系以外：11～15kN/m³
			非漏出性	非漏出性試験	本書に示す試験	60 分経過後において 5mm 以下の隙間に完全流出があってはならないこと
			水中分離抵抗性	水中分離抵抗性試験	本書に示す試験	【濁度】分光光度計により測定した光透過率の値により、濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と、投入後 60 分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること
						【pH】注入直後からの 60 分経過後の pH 測定比率が±10%であること
			非収縮性	非収縮性試験	本書に示す試験	28 日硬化後の収縮量が 2cm（2%）以下であること
			空気量（エア系）	NEXCO 試験方法 空気量試験	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±5（%）
		充填性流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること
			流動性	NEXCO 試験方法 フロー試験	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」	フロー値 〔可塑状前〕200mm±20mm（注 2） 〔可塑状後〕80mm～150mm
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注 1）	各社技術による	工法の申告値

（注 1）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。
（注 2）可塑状前のフロー値はエア系の可塑性注入材に適用する。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.5-8　「5.2.1　裏込注入工法の要求性能と性能照査」

表-5.2.1-1　裏込注入材（セメント系(可塑性注入材)）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216（土の一軸圧縮試験方法）	材齢 28 日の圧縮強さ 1.5N/mm² 以上
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS A 1116（フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法））	エ　ア　系：10～12kN/m³ エア系以外：11～15kN/m³
			非漏出性	非漏出性試験	本書に示す試験	60 分経過後において 5mm 以下の隙間に完全流出があってはならないこと
			水中分離抵抗性	水中分離抵抗性試験	本書に示す試験	【濁度】分光光度計により測定した光透過率の値により、濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と、投入後 60 分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること
						【pH】注入直後からの 60 分経過後の pH 測定比率が±10%であること
			非収縮性	非収縮性試験	本書に示す試験	28 日硬化後の収縮量が 2cm（2%）以下であること
			空気量（エア系）	NEXCO 試験方法 空気量試験	試験法 313（エアモルタル及びエアミルクの試験方法）	申告値 ±5（%）
		充填性流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること
			流動性	NEXCO 試験方法 フロー試験	試験法 313（エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法）	フロー値 〔可塑状前〕200mm±20mm（注 2） 〔可塑状後〕80mm～150mm
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注 1）	各社技術による	工法の申告値

（注 1）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。
（注 2）可塑状前のフロー値はエア系の可塑性注入材に適用する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-11 「5.2.1 裏込注入工法の要求性能と性能照査」	P.5-9 「5.2.1 裏込注入工法の要求性能と性能照査」

表-5.2.1-2 裏込注入材（非セメント系）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度	圧縮強さ試験	1. 供試体の作り方 JIS A 9511 2. 圧縮強さの試験方法 JIS K 7220「硬質発泡プラスチック－圧縮特性の求め方」	40 倍発泡　0.14N/mm²以上 30 倍発泡　0.20N/mm²以上 12 倍発泡　0.90N/mm²以上 非セメント系注入材の圧縮強さについては，対策の目的や地山の性状に応じて適切に設定しなければならないこと
			注入材の剛性	弾性係数試験	JIS K 7220「硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方」に準拠	設計値以上（注 1）
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS K 7222「発泡プラスチック及びゴム－見掛け密度の求め方」	0.3±0.03～1.0±0.2kN/m³
		充填性 流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること

（注 1）外力対策として適用する裏込注入材については，弾性係数試験を追加する。外力対策として適用する裏込注入材の弾性係数は，実施設計で定める値を要求値とする。

（3）耐久性

第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

表-5.2.1-2 裏込注入材（非セメント系）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	注入材の強度	圧縮強さ試験	1. 供試体の作り方 JIS A 9511 2. 圧縮強さの試験方法 JIS K 7220（硬質発泡プラスチック－圧縮特性の求め方）	40 倍発泡　0.14N/mm²以上 30 倍発泡　0.20N/mm²以上 12 倍発泡　0.90N/mm²以上 非セメント系注入材の圧縮強さについては，対策の目的や地山の性状に応じて適切に設定しなければならない
			注入材の剛性	弾性係数試験	JIS K 7220（硬質発泡プラスチック-圧縮特性の求め方に準拠）	設計値以上（注 1）
			単位体積重量	単位体積重量試験	JIS K 7222（発泡プラスチック及びゴム－見掛け密度の求め方）	0.3±0.03～1.0±0.2kN/m³
		充填性 流動性	充填性	充填性試験	本書に示す試験	容器内全体に注入材が充填され角材や H 型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること

（注 1）外力対策として適用する裏込注入材については，弾性係数試験を追加する。外力対策として適用する裏込注入材の弾性係数は，実施設計で定める値を要求値とする。

（3）耐久性

第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

新（改定版）

P.5-12　「5.2.2　裏込注入工法の適用性」

5.2.2　裏込注入工法の適用性

裏込注入工法の選定に当たっては、要求性能を整理した上で、安全性、施工性、経済性の面で最も合理的な注入材及び注入工法を選定しなければならない。

【解説】

（1）注入材の選定

裏込注入工法は、対策工の目的（外力対策・突発性崩壊防止）、施工延長（圧送距離、流動性、圧送性、材料分離抵抗性）、湧水の有無、水環境への影響、覆工コンクリートのひび割れや目地等からの漏出、限定注入への適用、覆工厚不足箇所への適用、施工ヤードの確保、機材搬入・運搬性、仮設備（換気設備・照明設備・電力設備・用排水設備）、等に着目して、注入材及び注入工法を適切に選定しなければならない。　**表-5.2.2-1** に裏込注入材の着目項目による選定の目安を示す。

表-5.2.2-1　裏込注入材の着目項目による選定の目安

着目項目＼材料	セメント系				非セメント系
	非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	－
	モルタル、セメントペントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン
覆工への負荷	大	中			小
巻厚不足箇所への適用	内面補強工法等の検討を要する				可（ただし、注入圧や発泡圧の検討が必要）
湧水箇所への適用性	不適（材料分離しやすい）		適		
空洞細部への充填性	充填しにくい	充填できる	加圧により充填できる		注入孔を設けることで充填できる
坑内仮設備	坑内の配管（用排水管・注入材圧送管）、電力設備、照明設備等が必要であり、内空断面が小さい場合には仮設材の搬入・運搬に要注意				施工機材が小規模でとくに注意を要しない
坑外の仮設ヤード	坑内で直接生コンを荷受けできない場合必要				不要
圧送性能	2～3 百 m	百 m 程度	数百～数千 m	数百 m	－
施工後の坑内排水 pH	変動する可能性あり				変化しない（注 1）
冬季施工	可（ただし、坑外プラントや坑口までの配管部など施工場所の日平均気温が 4℃以下になることが予想されるときは注意を要する）				10℃以下の場合には注意を要する（注 2）
備考	機械化による大量施工に不向き	－	近年、新材料の開発、適用例が増えている		－

（注 1）注入材固化後（ポリマー状態）では水質への影響はほとんどないが、未固化状態（モノマー状態）の注入材が坑内水へ溶出した場合は、環境上問題となる場合があるため、水質が重要視される場合は適用に十分注意を要する。

（注 2）発泡ウレタンは、施工場所の気温が 10℃以下になると、粘性が増し注入機械への過剰負担と固化不足が懸念されるため、パイプヒーターを使用して加温したり、低温でも安定した反応性と物性を確保できる材料を使用したりするなどの注意が必要である。

（土木研究所資料第 3877 号　道路トンネル変状対策工マニュアル（案）、土木研究所、平成 15 年 2 月、p.110 を引用）

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.5-10　「5.2.2　裏込注入工法の適用性」

5.2.2　裏込注入工法の適用性

裏込注入工法の選定に当たっては、要求性能を整理した上で、安全性、施工性、経済性の面で最も合理的な注入材及び注入工法を選定しなければならない。

【解説】

（1）注入材の選定

裏込注入工法は、対策工の目的（外力対策・突発性崩壊防止）、施工延長（圧送距離、流動性、圧送性、材料分離抵抗性）、湧水の有無、水環境への影響、覆工コンクリートのひび割れや目地等からの漏出、限定注入への適用、覆工厚不足箇所への適用、施工ヤードの確保、機材搬入・運搬性、仮設備（換気設備・照明設備・電力設備・用排水設備）、等に着目して、注入材及び注入工法を適切に選定しなければならない。

表-5.2.2-1 に裏込注入材の着目項目による選定の目安を示す。

表-5.2.2-1　裏込注入材の着目項目による選定の目安

着目項目＼材料	セメント系				非セメント系
	非可塑性注入材		可塑性注入材		発泡ウレタン系注入材
	非エア系	エア系	非エア系	エア系	－
	モルタル、セメントペントナイト	エアモルタル、エアミルク	ポリマーセメント等	エアモルタル・エアミルク＋添加剤	裏込め注入用発泡ウレタン
覆工への負荷	大	中			小
巻厚不足箇所への適用	内面補強工法等の検討を要する				可（ただし、注入圧や発泡圧の検討が必要）
湧水箇所への適用性	不適（材料分離しやすい）		適		
空洞細部への充填性	充填しにくい	充填できる	加圧により充填できる		注入孔を設けることで充填できる
坑内仮設備	坑内の配管（用排水管・注入材圧送管）、電力設備、照明設備等が必要であり、内空断面が小さい場合には仮設材の搬入・運搬に要注意				施工機材が小規模でとくに注意を要しない
坑外の仮設ヤード	坑内で直接生コンを荷受けできない場合必要				不要
圧送性能	2～3 百 m	百 m 程度	数百～数千 m	数百 m	－
施工後の坑内排水 pH	変動する可能性あり				変化しない（注 1）
冬季施工	可（ただし、坑外プラントや坑口までの配管部など施工場所の日平均気温が 4℃以下になることが予想されるときは注意を要する）				10℃以下の場合には注意を要する（注 2）
備考	機械化による大量施工に不向き	－	近年、新材料の開発、適用例が増えている		－

（注 1）注入材固化後（ポリマー状態）では水質への影響はほとんどないが、未固化状態（モノマー状態）の注入材が坑内水へ溶出した場合は、環境上問題となる場合があるため、水質が重要視される場合は適用に十分注意を要する。

（注 2）発泡ウレタンは、施工場所の気温が 10℃以下になると、粘性が増し注入機械への過剰負担と固化不足が懸念されるため、パイプヒーターを使用して加温したり、低温でも安定した反応性と物性を確保できる材料を使用したりするなどの注意が必要である。

（参考：道路トンネル維持管理便覧【本体工編】日本道路協会、平成 27 年 6 月、P.278）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-13　「5.2.2　裏込注入工法の適用性」	P.5-11　「5.2.2　裏込注入工法の適用性」
また、注入材の選定に当たっては、**表-5.2.2-1** に示す事項も含め、以下の点に留意する必要がある。 (a) 注入材の選定に当たっては、材料分離やブリージングが少なく、均一な強度が得られ、注入後の体積収縮が少ないものを選定する。また、空洞を十分に充填できる流動性が必要である。さらに、覆工への負荷を軽減するため、できるだけ単位体積重量が小さく軽量であることが望ましい。 (b) 湧水のある場合には、湧水によって注入材が流され、充填不足となりやすいことから、水中で分離しない材料や急結性のある材料を使用するなどの検討が必要である。 (c) セメント系注入材に混和する材料には、分散、気泡、膨張（発泡）及びセメント量を少なくすることを目的とするもの等種々の種類があり、目的に応じて適宜選定する必要がある。材料の分散作用を促進させ、流動性を改善するためには、一般的に減水剤や繊維物質が使用されている。膨張材は注入材が固まらないうちに膨張して収縮を打ち消すための混和剤であり、一般的にアルミ粉末が使用されている。セメント量を少なくする混和材料にはフライアッシュ等があり、施工性を向上させるための材料としてはベントナイト等があげられる。 (d) 非セメント系の注入材（発泡ウレタン）は、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社･中日本高速道路株式会社･西日本高速道路株式会社、令和２年２月」の基準を満足するものでなければならない。 (e) 非セメント系注入材（発泡ウレタン）は、一般に材料単価が高価であるが、近年では地山の緩み防止対策等で安価な高発泡倍率材料の使用実績が増加している。高発泡倍率材料は強度が小さいため、地圧等の外力に対する対策目的には適用できず、用途に応じた適切な発泡倍率の選定が重要である。また、発泡ウレタンは有機化合物を原料とするため、取り扱う作業者の安全確保、周辺環境への影響、危険物としての保管方法等について十分に配慮する必要がある。 (f) 大規模な裏込注入工を計画する場合には、事前に一部区間で複数材料により試験施工を実施し、最も効率の良い材料を選定するなどの配慮が必要である。	また、注入材の選定に当たっては、**表-5.2.2-1** に示す事項も含め、以下の点に留意する必要がある。 (a) 注入材の選定に当たっては、材料分離やブリージングが少なく、均一な強度が得られ、注入後の体積収縮が少ないものを選定する。また、空洞を十分に充填できる流動性が必要である。さらに、覆工への負荷を軽減するため、できるだけ単位体積重量が小さく軽量であることが望ましい。 (b) 湧水のある場合には、湧水によって注入材が流され、充填不足となりやすいことから、水中で分離しない材料や急結性のある材料を使用するなどの検討が必要である。 (c) セメント系注入材に混和する材料には、分散、気泡、膨張（発泡）及びセメント量を少なくすることを目的とするもの等種々の種類があり、目的に応じて適宜選定する必要がある。材料の分散作用を促進させ、流動性を改善するためには、一般的に減水剤や繊維物質が使用されている。膨張材は注入材が固まらないうちに膨張して収縮を打ち消すための混和剤であり、一般的にアルミ粉末が使用されている。セメント量を少なくする混和材料にはフライアッシュ等があり、施工性を向上させるための材料としてはベントナイト等があげられる。 (d) 非セメント系の注入材（発泡ウレタン）は、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東,中,西日本高速道路株式会社、令和２年２月」の基準を満足するものでなければならない。 (e) 非セメント系の注入材（発泡ウレタン）は、一般に材料単価が高価である。安価な高発泡倍率の材料は強度が小さい。そのため、流水下で注入する場合や、他の材料での空洞充填が困難な場合、緊急性（作業の迅速性）を要する場合、注入範囲が小規模で注入量が少ない場合等、特殊な条件の場合に限定して適用される。発泡ウレタンは有機化合物を用いるため、取り扱う作業者の安全、周辺環境への影響、貯蔵場所を検討する必要がある。また、2 液が化学反応で硬化するときに発熱するため、注意する必要がある。さらに、発泡倍率の大きな材料は経済的であるが、ある程度以上の地盤反力が必要な場合、対策工の目的や要求品質を満足しない懸念があるため、材料（発泡倍率）の選定に際しては注意を要する。 (f) 大規模な裏込注入工を計画する場合には、事前に一部区間で複数材料により試験施工を実施し、最も効率の良い材料を選定するなどの配慮が必要である。

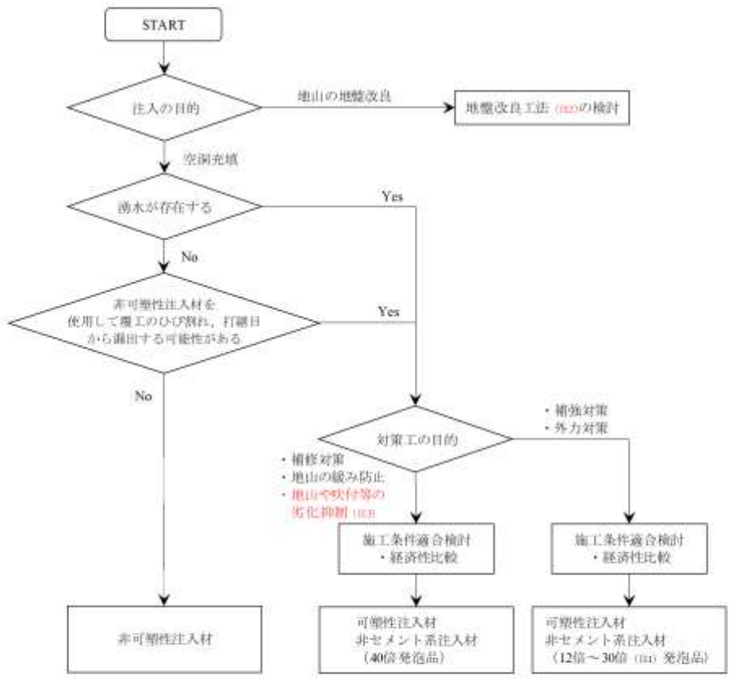
（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-14 「5.2.2 裏込注入工法の適用性」	P.5-12 「5.2.2 裏込注入工法の適用性」

(2) 注入材選定の流れ

注入材の設計基準強度と配合は、地圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発崩壊の防止を目的とした注入なのかなど、対策の目的を明確にし、個別に設計基準強度を設定して注入材の配合を定める必要がある。

図-5.2.2-1 に裏込注入材選定フローを示す。図中の非セメント系注入材は発泡ウレタン系注入材を示す。国営事業で施工した水路トンネルの補修・補強工事における近年（平成 28 年度～令和 3 年度）の施工実績によれば、施工件数の比率は、可塑性注入材が 60%、非セメント系注入材が 40%、非可塑性注入材が 0%であった。



（注 1）外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の 1/4 以上を目安に材料を選定する。ただし、30 倍発泡で注入した後に、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告がある。

（注 2）pp.5-4～5-5 の地盤改良工法の適用事例を参照。

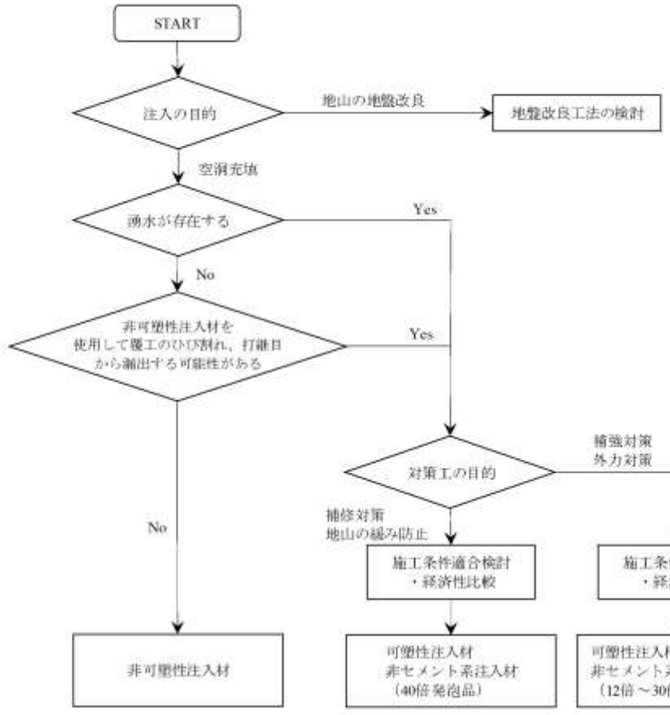
（注 3）A タイプのトンネルの補強対策として行うライナープレート建込工法の裏込充填材に適用。

図-5.2.2-1 裏込注入材の選定フロー（例）

(2) 注入材選定の流れ

注入材の設計基準強度と配合は、地圧等の外力対策を目的とした注入なのか、空洞があっても長期間安定していた地山での将来の突発崩壊の防止を目的とした注入なのかなど、対策の目的を明確にし、個別に設計基準強度を設定して注入材の配合を定める必要がある。

図-5.2.2-1 に裏込注入材選定フローを示す。図中の非セメント系注入材は発泡ウレタン系注入材を示す。国営事業で施工した水路トンネルの補修・補強工事における近年（平成 16 年度～平成 27 年度）の施工実績によれば、可塑性注入材の適用比率が 83%であり、非可塑性注入材と非セメント系注入材がそれぞれ 8%であった。



（注 1）外力対策として適用する発泡ウレタン系注入材の弾性係数は、地山の弾性係数の 1/4 以上を目安に材料を選定する。ただし、30 倍発泡で注入した後に、再度、加圧注入することで、外力対策としての有効性が示された研究報告がある。

図-5.2.2-1 裏込注入材の選定フロー（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-18 「5.3.3 裏込注入工法の構造設計」	P.5-16 「5.3.3 裏込注入工法の構造設計」

⑤ 裏面排水工を閉塞することが問題となる場合（裏面排水工を閉塞すると他の変状を誘発するおそれのある場合は、水抜工などの地下水位低下工法との併用を検討する。）

⑥ 環境問題上、施工時に地下水の汚染対策が実施できない場合

［仮補強工］

覆工コンクリート厚の不足や材質不良などで裏込注入圧がかけられない場合や、ひび割れがブロック化して注入圧による崩落の危険性がある場合には、崩落やコンクリート剥落等の不測の事態から作業員を防護するため、注入孔周辺の覆工コンクリートを仮補強して施工することが望ましい（**写真-5.3.3-1**）。



写真-5.3.3-1 仮補強工の施工状況

(3) 裏込注入工法の調査における留意点

① 地形・地質

土砂地山、軟岩地山及びはく落が生じやすい地山では緩みが増大し、また土被りが小さい場合にはそれらに起因して地表の陥没や沈下、裏込注入材の漏出等が生じ環境被害を及ぼすおそれがある。このような場合は、背面地山の状態を十分に調査し、裏込注入工法の必要性、及び裏込注入圧・注入量の施工管理規定を綿密に計画することが重要である。裏込注入材の漏出等逸走防止対策については、本書の参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参照されたい。

② 覆工背面の空洞の分布・大きさ

裏込注入工の対象となる空洞の状態を正確に把握することが重要である。覆工背面空洞の調査には電磁波レーダー法を用いるのが一般的であるが、覆工コンクリート背面に崩積土が堆積している場合は、堆積厚さやその背面の空洞を探査できない。このため、必ず検証用の削孔を行い、ファイバースコープ等を用いて崩積土背面の空洞の有無を確認するとともに、針金やコンベックス等を用いて崩積土の厚さと空洞の大きさを測定する必要がある。なお、覆工背面空洞調査は側壁部も含めて実施することを基本とする。

⑤ 裏面排水工を閉塞することが問題となる場合（裏面排水工を閉塞すると他の変状を誘発するおそれのある場合は、水抜工などの地下水位低下工法との併用を検討する。）

⑥ 環境問題上、施工時に地下水の汚染対策が実施できない場合

［仮補強工］

覆工コンクリート厚の不足や材質不良などで裏込注入圧がかけられない場合や、ひび割れがブロック化して注入圧による崩落の危険性がある場合には、崩落やコンクリート剥落等の不測の事態から作業員を防護するため、注入孔周辺の覆工コンクリートを仮補強して施工することが望ましい（**写真-5.3.3-1**）。

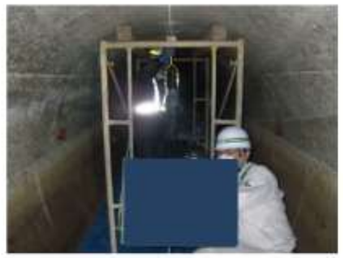


写真-5.3.3-1 仮補強工の施工状況

(3) 裏込注入工法の調査における留意点

① 地形・地質

土砂地山、軟岩地山及びはく落が生じやすい地山では緩みが増大し、また土被りが小さい場合にはそれらに起因して地表の陥没や沈下、裏込注入材の漏出等が生じ環境被害を及ぼすおそれがある。このような場合は、背面地山の状態を十分に調査し、裏込注入工法の必要性、及び裏込注入圧・注入量の施工管理規定を綿密に計画することが重要である。裏込注入材の漏出等逸走防止対策については、本書の参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参照されたい。

② 覆工背面の空洞の分布・大きさ

裏込注入工の対象となる空洞の状態を正確に把握することが重要である。覆工背面空洞調査は、側壁部も含めて行うことが重要である。

③ 覆工コンクリートの状態

覆工コンクリートの欠陥、欠損の状態を調査し、覆工コンクリートが裏込注入の圧力に耐えられるかなどの適用性の可否、断面修復や仮補強工等の必要性を判断する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-20 「5.4.7 裏込注入工法の施工」	P.5-18 「5.4.7 裏込注入工法の施工」

5.4 施工方法
5.4.1 長寿命化対策の施工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.1 長寿命化対策の施工 を参照

5.4.2 仮設備工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.2 仮設備工 を参照

5.4.3 坑内作業準備工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.3 坑内作業準備工 を参照

5.4.4 下地処理工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.4 下地処理工 を参照

5.4.5 導水･止水対策工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.5 導水･止水対策工 を参照

5.4.6 補修工法の施工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.6 補修工法の施工 を参照

5.4.7 裏込注入工法の施工

裏込注入工法の施工は、各工法に共通する部分と注入材料の種類によって異なる部分があり、現場条件によっても異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

(1) 裏込注入工法の施工上の留意点

① 湧水が多量にある場合は、裏込注入によって地下水位が上昇し、湧水の浸出箇所が変化したり、湧水圧が増加したり、噴泥が生じたりする場合があるので、水抜工（ウィープホール）の併用を検討する。また、降雨等によりトンネル内の湧水が増加している場合には、注入作業の中断を検討する必要がある。

② 注入を実施する区間やその付近に導水対策工等が施されている場合には、注入材のリークによって導水断面が閉塞し、排水機能が低下したり、湧水の浸出箇所が変化したりする場合がある。そのため、注入後に導水状況を確認し、必要に応じ導水対策工の追加を検討する。

③ アンダードレーン等のトンネル排水設備についても、裏込注入材が流出する場合があるため、注入作業中及び注入作業終了時に点検し、裏込注入材が流出していないことを確認する。
また、水路トンネル近傍で地下水利用があり、裏込注入による水質への影響が懸念される場合

5.4 施工方法
5.4.1 長寿命化対策の施工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.1 長寿命化対策の施工 を参照

5.4.2 仮設備工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.2 仮設備工 を参照

5.4.3 坑内作業準備工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.3 坑内作業準備工 を参照

5.4.4 下地処理工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.4 下地処理工 を参照

5.4.5 導水･止水対策工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.5 導水･止水対策工 を参照

5.4.6 補修工法の施工
第４章 対策工法の共通事項 4.6.6 補修工法の施工 を参照

5.4.7 裏込注入工法の施工

裏込注入工法の施工は、各工法に共通する部分と注入材料の種類によって異なる部分があり、現場条件によっても異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

(1) 裏込注入工法の施工上の留意点

① 湧水が多量にある場合は、裏込注入によって地下水位が上昇し、湧水の浸出箇所が変化したり、湧水圧が増加したり、噴泥が生じたりする場合があるので、水抜工（ウィープホール）の併用を検討する。また、降雨等によりトンネル内の湧水が増加している場合には、注入作業の中断を検討する必要がある。

② 注入を実施する区間やその付近に導水対策工等が施されている場合には、注入材のリークによって導水断面が閉塞し、排水機能が低下したり、湧水の浸出箇所が変化したりする場合がある。そのため、注入後に導水状況を確認し、必要に応じ導水対策工の追加を検討する。

③ アンダードレーン等のトンネル排水設備についても、裏込注入材が流出する場合があるため、注入作業中及び注入作業終了時に点検し、裏込注入材が流出していないことを確認する。
また、トンネル坑内からの排水に注入材が混入することで環境に影響を及ぼす可能性がある場

（凡例）赤字：修正箇所

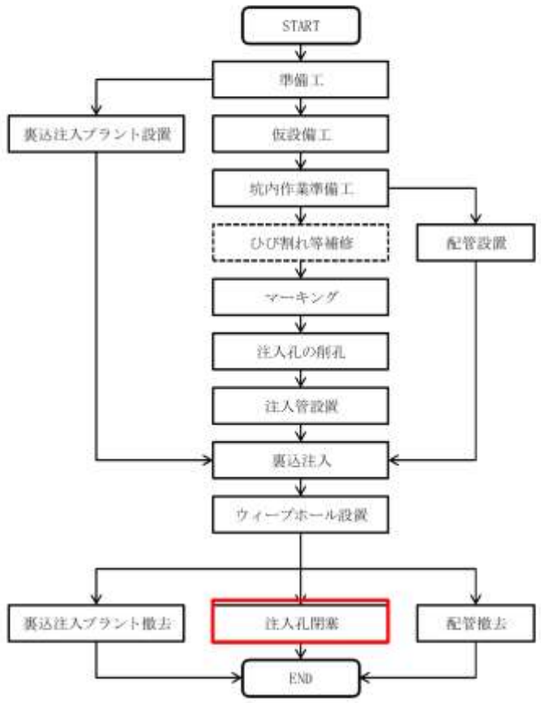
新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-21　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	**P.5-19　「5.4.7　裏込注入工法の施工」**
には、周辺環境への影響を考慮し、注入作業前に注入区域の地下水の水質を確認する。注入作業中は水質の変化を継続的に監視し、有害物質等が検出された場合には速やかに適切な措置を講じる。さらに、注入作業終了後も引き続き水質の変化を監視する。 ④　水質の監視地点は、注入箇所直近のトンネル坑内の１箇所とする。また、近隣の利水状況に応じて監視地点を増やすことも検討する。 ⑤　水質検査項目は注入材の種類に応じて適切に定める。セメント系注入材の場合は、セメントのアルカリ成分により水質がアルカリ性に移行する可能性があるため、pH の監視を主とする。また、非セメント系注入材に関しては、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和２年２月」に基づき、重点項目及び精密項目の水質監視を行う。重点項目は、発泡ウレタン系注入材の主成分である有機物を監視するため、過マンガン酸カリウム消費量と pH の２項目とする。精密項目は水道法水質基準及び水質汚濁防止法健康項目に加え、全有機炭素の量、過マンガン酸カリウム消費量、ジアルキルスズ及びフタル酸ジ（2―エチルヘキシル）とする。 ⑥　水質監視の結果，水質基準に適合しない場合，又はこれまでの測定値から著しい変化が現れた場合には、注入作業を中止し、以下のような措置を講じなければならない。 *a.* 注入工法を再検討する。 *b.* 注入機材の不具合等の有無の点検を実施する。 *c.* 必要に応じて地質調査等を追加して実施し、工法の見直しを図る。 *d.* 周辺の利水状況に応じた措置を講じる。 ⑦　注入材が目地部やひび割れや確認孔等からリークする場合には、注入を一時停止し、状態に応じて必要な処置を行う。ひび割れや断面欠損が著しく、裏込注入材がリークするおそれがある箇所については、事前にひび割れ補修工や断面修復工等のリーク防止措置を講じる。 ⑧　注入の際に過度な注入圧を与えると、覆工が変形する危険性があるため、施工中には上限値を設定して圧力管理を行う必要がある。 ⑨　１孔当たりの注入量が、施工前に定めた目安量を大幅に上回る場合には、範囲外へリークしている可能性が高いため、注入を一時中断し、周辺注入孔の注入を先行させる。その後、再度その注入孔の状況を確認し、再注入の可否を検討する必要がある。裏込注入材の地上への漏出や充填範囲外への逸走が懸念された場合には、参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参考に逸走防止対策を検討する必要がある。	合には、事前に排水の水質基準、監視方法、濁水処理方法を定めて監視を行う。 ④　注入材が目地部やひび割れや確認孔等からリークする場合には、注入を一時停止し、状態に応じて必要な処置を行う。ひび割れや断面欠損が著しく、裏込注入材がリークするおそれがある箇所については、事前にひび割れ補修工や断面修復工等のリーク防止措置を講じる。 ⑤　注入の際に過度な注入圧を与えると、覆工が変形する危険性があるため、施工中には上限値を設定して圧力管理を行う必要がある。 ⑥　１孔当たりの注入量が、施工前に定めた目安量を大幅に上回る場合には、範囲外へリークしている可能性が高いため、注入を一時中断し、周辺注入孔の注入を先行させる。その後、再度その注入孔の状況を確認し、再注入の可否を検討する必要がある。裏込注入材の地上への漏出や充填範囲外への逸走が懸念された場合には、参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参考に逸走防止対策を検討する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-22 「5.4.7 裏込注入工法の施工」	P.5-20 「5.4.7 裏込注入工法の施工」

(2) セメント系注入材の施工

セメント系注入材料の中で適用例の多い可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工に際しては、トンネル内に圧送用配管等を設置し、アーチ部に注入孔と確認孔を削孔した後、裏込注入プラントで製造した材料を圧送し、覆工背面の空洞に注入する。可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を図-5.4.7-1 に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-1 可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

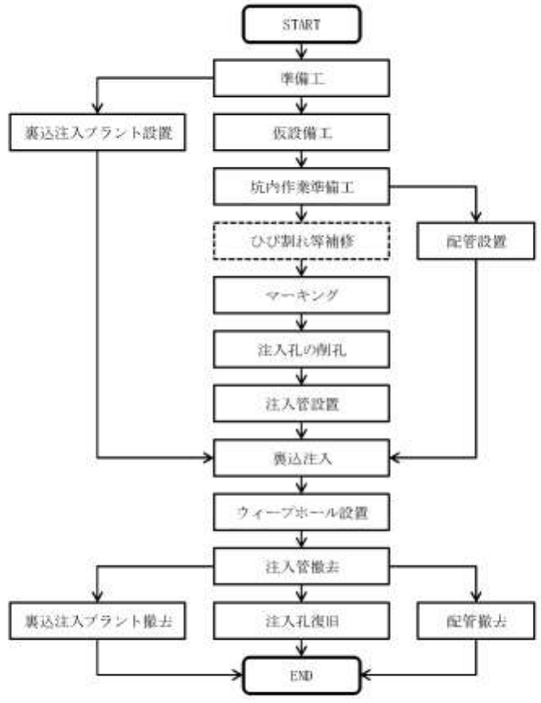
1）準備工

削孔作業の前に覆工コンクリートのひび割れや劣化状況等を目視、打音調査等により調査し、剥落するおそれのあるものや注入圧により落下するおそれのあるものはハンマー等でたたき除去する。

貫通ひび割れや顕著な目開きのある目地部については、裏込注入材が漏出する可能性があるため、事前の対策（補修）を講じる。

(2) セメント系注入材の施工

セメント系注入材料の中で適用例の多い可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工に際しては、トンネル内に圧送用配管等を設置し、アーチ部に注入孔と確認孔を削孔した後、裏込注入プラントで製造した材料を圧送し、覆工背面の空洞に注入する。可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を図-5.4.7-1 に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-1 可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

1）準備工

削孔作業の前に覆工コンクリートのひび割れや劣化状況等を目視、打音調査等により調査し、剥落するおそれのあるものや注入圧により落下するおそれのあるものはハンマー等でたたき除去する。

貫通ひび割れや顕著な目開きのある目地部については、裏込注入材が漏出する可能性があるため、事前の対策（補修）を講じる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-23　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	P.5-21　「5.4.7　裏込注入工法の施工」

2）裏込注入プラント設置

トンネルの坑口付近に、注入用のプラントを設置する。裏込注入プラントは、基材及び可塑材の製造プラントと圧送ポンプ、発電機等で構成される。施工システムの一例を**図-5.4.7-2** に示す。

裏込注入プラントの設置に必要な面積は、概ね 100～200m² 程度であるが、適用する工法やセメントサイロの有無により異なる。

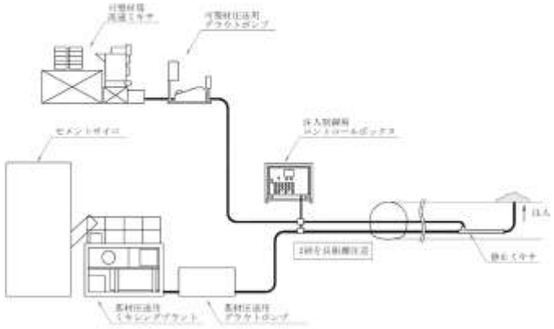


図-5.4.7-2　可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工システム（例）

3）配管設置

裏込注入プラントから注入箇所までの圧送用配管及びリターン管を設置する。これらの裏込注入用配管は、**図-5.4.7-3** に示す配管支持金具等を用いて覆工側壁部に設置する。

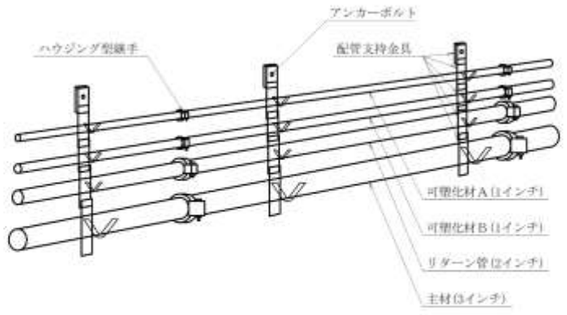


図-5.4.7-3　裏込注入用配管設置例（可塑性注入材の事例）

4）マーキング

設計図面等に基づき注入位置をマーキングする。ただし、注入位置が、ひび割れの多い箇所や目地に近い場合は、覆工コンクリートに悪影響を及ぼさない位置に移動してマーキングを行う。

2）裏込注入プラント設置

トンネルの坑口付近に、注入用のプラントを設置する。裏込注入プラントは、基材及び可塑材の製造プラントと圧送ポンプ、発電機等で構成される。施工システムの一例を**図-5.4.7-2** に示す。

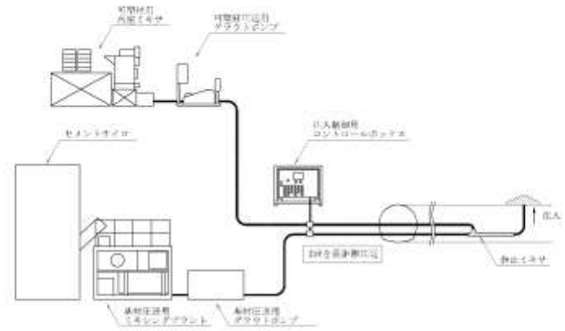


図-5.4.7-2　可塑性注入材を用いた裏込注入工法の施工システム（例）

3）配管設置

裏込注入プラントから注入箇所までの圧送用配管及びリターン管を設置する。これらの裏込注入用配管は、**図-5.4.7-3** に示す配管支持金具等を用いて覆工側壁部に設置する。

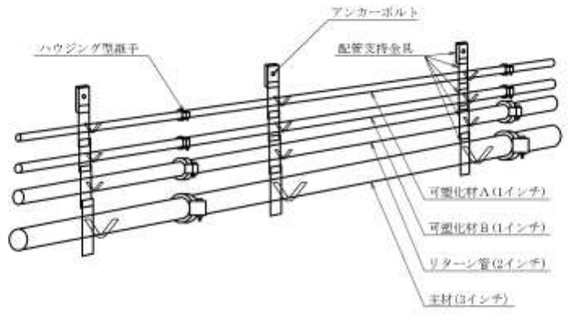


図-5.4.7-3　裏込注入用配管設置例（可塑性注入材の事例）

4）マーキング

設計図面等に基づき注入位置をマーキングする。ただし、注入位置が、ひび割れの多い箇所や目地に近い場合は、覆工コンクリートに悪影響を及ぼさない位置に移動してマーキングを行う。

5）注入孔（確認孔）の削孔

注入孔と確認孔の使い分けは**図-5.4.7-7** のとおり。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-24　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	P.5-22　「5.4.7　裏込注入工法の施工」

5）注入孔（確認孔）の削孔

注入孔と確認孔の使い分けは**図-5.4.7-7** のとおり。

削孔はコンクリート用コアドリルを用いて行う。削孔径は注入孔径を考慮して定めるが、一般に注入孔径が 50mm 程度の場合、削孔径は 65mm である。注入孔の配置は中心線上に設けることを標準とする。また内空断面が大きい場合は、**図-5.1.1** に示すα=20°以内の箇所に千鳥若しくは両側ともに注入孔を設ける。なお、天端に空洞がない場合は、空洞分布に応じて注入孔の配置を検討する。注入孔の間隔は、5m を標準とする。削孔長は、覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

6）注入管設置・閉塞

一般的な注入管及び取付器具の構造と材料を、**図-5.4.7-4** に示す。

図-5.4.7-4 のとおり注入管の先端は竹割構造とし、覆工背面地山から 50mm 程度離して固定する。ただし、空洞厚が薄い場合には注入直後に急激な圧力上昇が生じて注入できないことがあるため、**図-5.4.7-5** のとおり注入管を配管する。

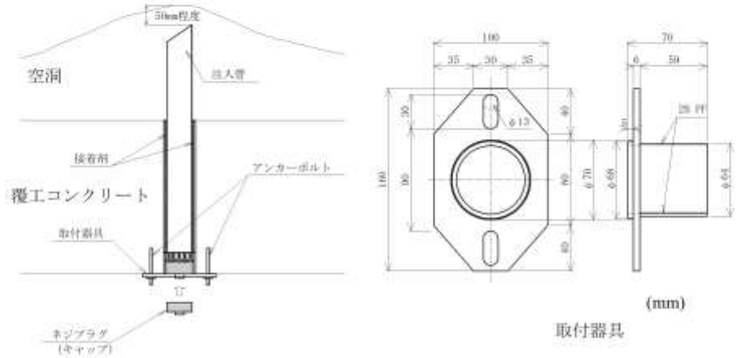


図-5.4.7-4　注入管及び取付器具（例）

削孔はコンクリート用コアドリルを用いて行う。削孔径は注入孔径を考慮して定めるが、一般に注入孔径が 50mm 程度の場合、削孔径は 65mm である。注入孔の配置は中心線上に設けることを標準とする。また内空断面が大きい場合は、**図-5.1.1** に示すα=20°以内の箇所に千鳥若しくは両側ともに注入孔を設ける。なお、天端に空洞がない場合は、空洞分布に応じて注入孔の配置を検討する。注入孔の間隔は、5m を標準とする。削孔長は、覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

6）注入管設置・撤去

一般的な注入管及び取付器具の構造と材料を、**図-5.4.7-4** に示す。

図-5.4.7-4 のとおり注入管の先端は竹割構造とし、覆工背面地山から 50mm 程度離して固定する。ただし、空洞厚が薄い場合には注入直後に急激な圧力上昇が生じて注入できないことがあるため、**図-5.4.7-5** のとおり注入管を配管する。

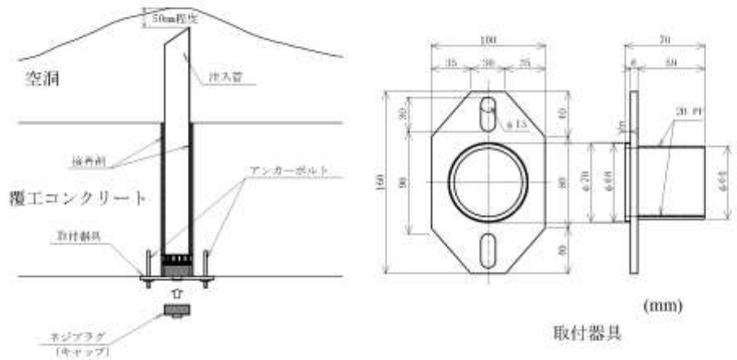


図-5.4.7-4　注入管及び取付器具（例）

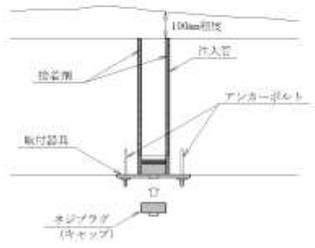


図-5.4.7-5　注入管（空洞厚が薄い場合）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-27 「5.4.7 裏込注入工法の施工」	P.5-24 「5.4.7 裏込注入工法の施工」

7）裏込注入

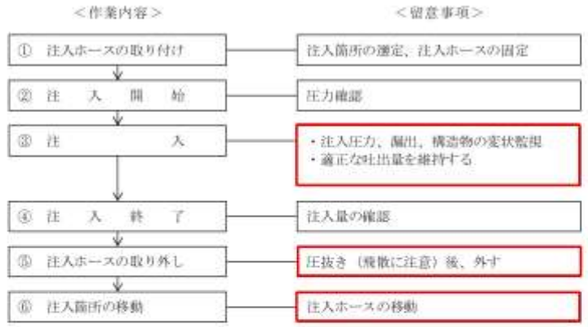


図-5.4.7-9 注入施工手順（例）

① 注入工施工手順

注入順序は、トンネルの縦断方向の高度の低い方から高い方に片押しで施工する例が多い。標準的な注入施工手順は**図-5.4.7-9** のとおりである。

② 注入圧力の管理

注入圧力は、注入管直下に取り付けた圧力計で初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa 程度で管理し、背面の空洞を十分に充填できる範囲内で覆工等への影響がないよう、注入が可能な範囲で小さくしなければならない。注入圧力は、材料の特徴や気温、吐出量等施工状況により変化する。初期注入圧力は、流出先に圧力がかかっていない状態の圧力である。注入孔毎に注入を開始して、所定の流量で安定した時の圧力を初期注入圧力とする。

急激な圧力変化が生じた場合は、異常の有無を確認する。

湧水圧がある場合は、水抜工を設けて湧水圧を前もって下げるなど、適切な処理を施してから注入するのがよい。しかし、地質によっては水抜工から地山中の細粒分が流出する場合があるので、十分な配慮が必要である。場合によっては地山注入等の併用を検討する必要がある。

③ 充填管理方法

裏込注入材の充填確認は、以下のⅰ）又はⅱ）により行う。

ⅰ）隣接の注入孔（確認孔）から注入材が流出（リーク）した場合。

ⅱ）注入圧力が初期注入圧力 + 0.1～0.2MPa まで上昇した場合。

ただし、注入量が設計数量の 1.5 倍に達した場合には、当該箇所での注入を一度中断して、周辺の他の注入箇所の注入を行った後に、再度その箇所で注入する。

また、それでも充填が確認されない場合は、覆工及び地山状況を確認の上打ち止めとするか、粘性の高い充填材で堰状に固め逸走防止用の隔壁を形成させて注入を続けるかの判断を行う。裏込注

7）裏込注入

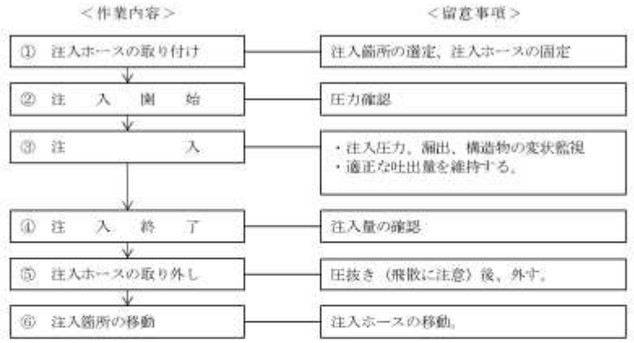


図-5.4.7-9 注入施工手順（例）

① 注入工施工手順

注入順序は、トンネルの縦断方向の高度の低い方から高い方に片押しで施工する例が多い。標準的な注入施工手順は**図-5.4.7-9** のとおりである。

② 注入圧力の管理

注入圧力は、注入管直下に取り付けた圧力計で 0.1～0.2MPa 程度（静水圧のない場合の標準値）で管理し、背面の空洞を十分に充填できる範囲内で覆工等への影響がないよう、注入が可能な範囲で小さくしなければならない。

急激な圧力変化が生じた場合は、異常の有無を確認する。

湧水圧がある場合は、水抜工を設けて湧水圧を前もって下げるなど、適切な処理を施してから注入するのがよい。しかし、地質によっては水抜工から地山中の細粒分が流出する場合があるので、十分な配慮が必要である。場合によっては地山注入等の併用を検討する必要がある。

③ 充填確認方法

裏込注入材の充填確認は、以下のⅰ）又はⅱ）により行う。

ⅰ）隣接の注入孔（確認孔）から注入材が流出（リーク）した場合。

ⅱ）注入圧力が 0.2MPa（標準値）まで上昇した場合。

ただし、注入量が設計数量の 1.5 倍に達した場合には、当該箇所での注入を一度中断して、周辺の他の注入箇所の注入を行った後に、再度その箇所で注入する。

また、それでも充填が確認されない場合は、覆工及び地山状況を確認の上打ち止めとするか、粘性の高い充填材で堰状に固め逸走防止用の隔壁を形成させて注入を続けるかの判断を行う。裏込注入材の逸走防止対策については、本書の参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参考にされたい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-28　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	P.5-25　「5.4.7　裏込注入工法の施工」

入材の逸走防止対策については、本書の参考資料②「**裏込注入材の逸走防止対策**」を参考にされたい。

注入材料によって注入圧力の管理値（標準値）を適用できない場合は、施工計画打合せ時の協議において個別の管理値を定めることができる。ただし、初期注入圧力 + 0.2MPa を上回る管理値は適用できない。

④　流量計の管理

覆工背面空洞への注入量は、外観からの確認ができないため、使用材料の入荷伝票との照合により流量計で確認することになる。よって、流量計による数量管理が重要であり、注入時には流量計のキャリブレーションを実施しなければならない。流量計のキャリブレーション方法については、「矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和６年７月、p.30」を参照されたい。

写真-5.4.7-1～写真-5.4.7-4 に施工状況を示す。



写真-5.4.7-1　注入孔削孔



写真-5.4.7-2　注入管取付



写真-5.4.7-3　ストップバルブ設置状況



写真-5.4.7-4　可塑性材注入状況

8）ウィープホール設置

裏込注入材が７日強度以上発現した時点でコア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3　水抜工**を参考にする。

注入材料によって注入圧力の管理値（標準値）を適用できない場合は、施工計画打合せ時の協議において個別の管理値を定めることができる。ただし、0.2MPa を上回る管理値は適用できない。

④　流量計の管理

覆工背面空洞への注入量は、外観からの確認ができないため、使用材料の入荷伝票との照合により流量計で確認することになる。よって、流量計による数量管理が重要であり、注入時には流量計のキャリブレーションを実施しなければならない。流量計のキャリブレーション方法については、「矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領、東,中,西日本高速道路株式会社、平成 18 年 10 月、P.25」を参照されたい。

写真-5.4.7-1～写真-5.4.7-4 に施工状況を示す。



写真-5.4.7-1　注入孔削孔



写真-5.4.7-2　注入管取付



写真-5.4.7-3　ストップバルブ設置状況



写真-5.4.7-4　可塑性材注入状況

8）ウィープホール設置

裏込注入材が７日強度以上発現した時点でコア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3　水抜工**を参考にする。

9）周辺環境への影響等

破砕帯等で湧水が多い場合には、可塑性を強めた特殊配合を適用する場合がある。それに際しては、有害物質９項目（シアン、アルキル水銀、有機リン、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-29 「5.4.7 裏込注入工法の施工」	P.5-26 「5.4.7 裏込注入工法の施工」

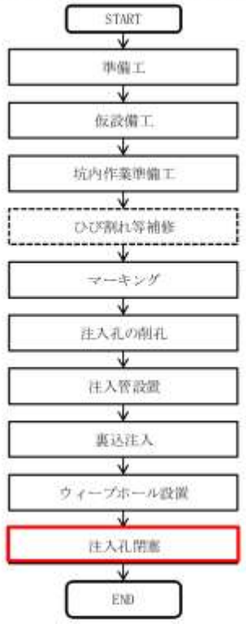
9）周辺環境への影響等

破砕帯等で湧水が多い場合には、可塑性を強めた特殊配合を適用する場合がある。それに際しては、有害物質９項目（シアン、アルキル水銀、有機リン、カドミウム、鉛、六価クロム、砒素、総水銀、PCB）に関する硬化体の溶出試験を実施し、排水基準を満足していることを確認する。

（3）非セメント系注入材の施工

非セメント系注入材料の中で適用例の多い発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法は、トンネル坑外の注入プラントや圧送設備が不要であり、小型の注入設備を注入箇所まで搬入して裏込注入を行うことができる。

発泡ウレタン注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を**図-5.4.7-10** に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-10 発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

1）準備工

準備工については、「**（2）セメント系注入材の施工**」を参照されたい。

2）マーキング

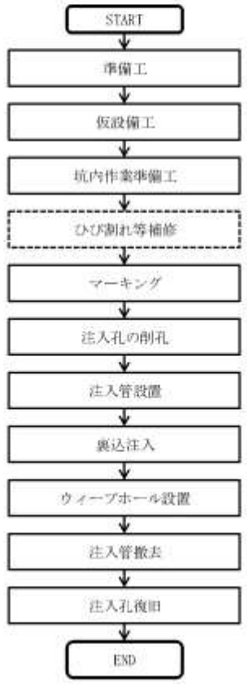
マーキングについては、「**（2）セメント系注入材の施工**」を参照されたい。

水銀、PCB）に関する硬化体の溶出試験を実施し、排水基準を満足していることを確認する。

（3）非セメント系注入材の施工

非セメント系注入材料の中で適用例の多い発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法は、トンネル坑外の注入プラントや圧送設備が不要であり、小型の注入設備を注入箇所まで搬入して裏込注入を行うことができる。

発泡ウレタン注入材を用いた裏込注入工法の施工手順を**図-5.4.7-10** に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

図-5.4.7-10 発泡ウレタン系注入材を用いた裏込注入工法の施工手順（例）

1）準備工

準備工については、「**（2）セメント系注入材の施工**」を参照されたい。

2）マーキング

マーキングについては、「**（2）セメント系注入材の施工**」を参照されたい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-30 「5.4.7 裏込注入工法の施工」	P.5-27 「5.4.7 裏込注入工法の施工」

3）注入孔（確認孔）の削孔

削孔は、削岩機又はハンマードリル等を用いてφ32mm の注入孔を削孔する。セメント系注入材の注入孔間隔は 5m（標準）であるが、発泡ウレタンは流動性が低いため 1.5～3m 間隔で施工される例が多い。**図-5.4.7-11** に注入孔の配置と注入順序の例を示す。削孔長は覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

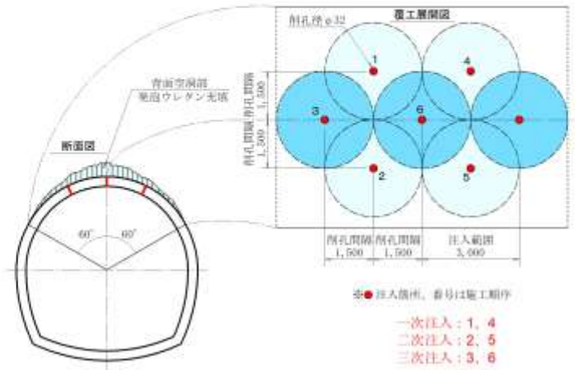


図-5.4.7-11 注入孔の配置と注入順序（例）

4）注入管設置

注入孔の削孔後にスケール等で空洞厚の検測を行う。注入管を設置し、その口元をウェス等でコーキングして注入材のリークを防止する（**図-5.4.7-12**）。

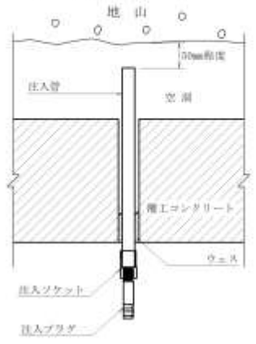


図-5.4.7-12 注入管設置要領図（例）

3）注入孔（確認孔）の削孔

削孔は、削岩機又はハンマードリル等を用いてφ32mm の注入孔を削孔する。セメント系注入材の注入孔間隔は 5m（標準）であるが、発泡ウレタンは流動性が低いため 1.5～3m 間隔で施工される例が多い。**図-5.4.7-11** に注入孔の配置と注入順序の例を示す。削孔長は覆工コンクリート厚が確認できる長さとし、覆工コンクリート厚、背面空洞厚を記録しておき注入計画の資料とする。

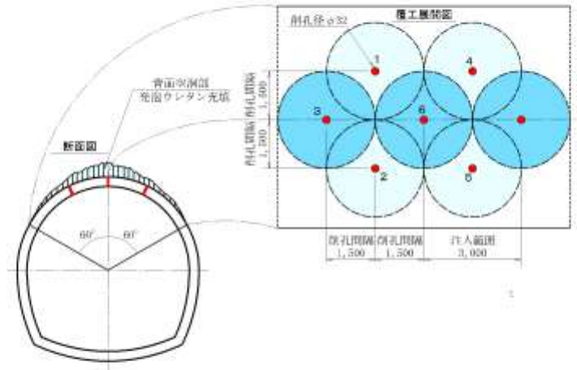


図-5.4.7-11 注入孔の配置と注入順序（例）

4）注入管設置

注入孔の削孔後にスケール等で空洞厚の検測を行う。注入管を設置し、その口元をウェス等でコーキングして注入材のリークを防止する（**図-5.4.7-12**）。

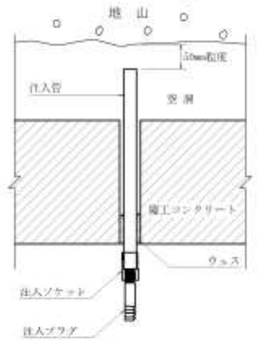


図-5.4.7-12 注入管設置要領図（例）

5）裏込注入

① 注入工施工手順

裏込注入については、注入管に接続した注入ホースにミキシングヘッドを接続し、**図-5.4.7-13**

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-31　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	P.5-28　「5.4.7　裏込注入工法の施工」

5）裏込注入

① 注入工施工手順

裏込注入については、注入管に接続した注入ホースにミキシングヘッドを接続し、図-5.4.7-13 に示す注入系統で注入を行う。所定注入量又は所定圧に到達した後、注入ホースを取り外し、隣接する注入管に接続する。この繰り返しにより最終の注入孔まで注入を進める。

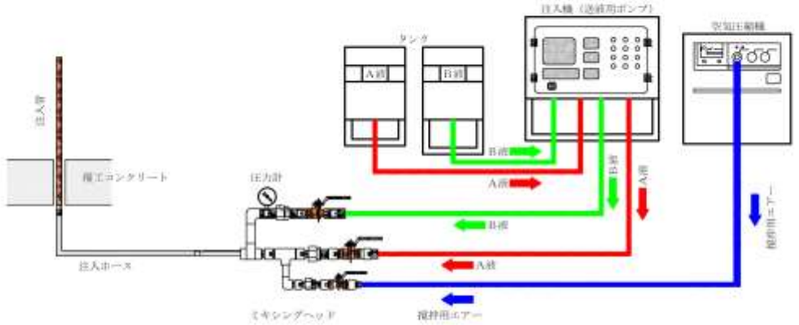


図-5.4.7-13　発泡ウレタン系注入材の注入要領図（例）

② 注入管理方法

発泡ウレタン系注入材の注入管理方法としては、*a*. 設定注入量による管理、*b*. 注入圧による管理、*c*. 確認孔からの注入材リークの目視管理、*d*. 確認孔から棒等による感触管理、が挙げられる。

一般には、*a*. 設定注入量管理と *b*. 注入圧管理を併用することで、注入不足の防止と、過剰な注入圧による覆工への負担軽減を図る。なお、***c***. ***d***. の管理は未注入の隣接注入孔等を利用して実施する。

③ 注入圧力の管理

注入圧力は、初期注入圧力 +0.1～0.2MPa の上昇をもって注入完了の目安と考えるのが一般的である。規定注入圧以下であっても、覆工コンクリートのひび割れが進展する等の不具合・変状が発生すれば、直ちに注入停止等の措置を取らなければならない。

写真-5.4.7-5～写真-5.4.7-8 に施工状況例を示す。

④ 充填管理方法

注入量管理は、注入孔削孔時に計測した背面空洞厚から算出した全体空洞量から各孔の空洞量を算出し、それを各注入孔の注入完了値として管理する方法が一般的である。

ただし、以下の場合には、直ちに注入を中断する。

・注入圧力が急上昇、若しくは初期注入圧力 +0.1～0.2MPa 程度の上昇を確認した場合

・近接する注入孔（確認孔）から注入材の流出（リーク）を確認した場合

に示す注入系統で注入を行う。所定注入量若しくは所定圧まで注入が到達後、注入ホースを取り外し、隣接する注入管に注入ホースを接続する。この繰り返しにより最終の注入孔まで注入を進める。

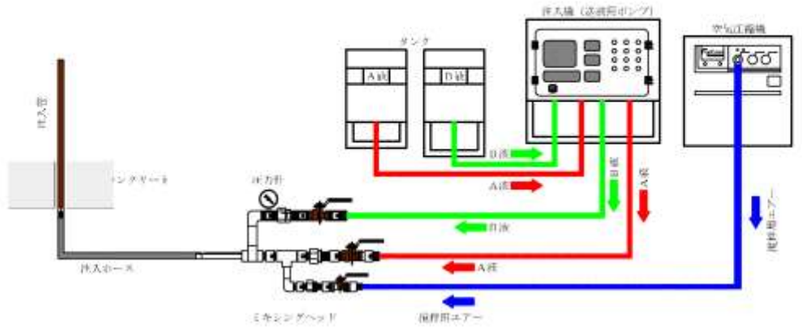


図-5.4.7-13　発泡ウレタン系注入材の注入要領図（例）

② 注入管理方法

発泡ウレタン系注入材の注入管理方法として、***a***. 設定注入量管理、***b***. 注入圧力管理、***c***. 確認孔からの注入材リークによる目視管理、***d***. 確認孔から棒などでの感触管理が挙げられるが、一般には、***a***. の設定注入量管理、並びに ***b***. 注入圧管理を併用することで、注入不足と過剰注入圧による覆工への負担を防止する。なお、***c***. ***d***. の管理は未注入の隣接注入孔等を利用して実施する。

③ 注入圧力の管理

注入圧は、初期注入圧＋0.1～0.2MPa の上昇をもって注入完了の目安と考えるのが一般的である。規定注入圧以下であっても、覆工コンクリートのひび割れが進展する等の不具合・変状が発生すれば、直ちに注入停止等の措置を取らなければならない。

写真-5.4.7-5～写真-5.4.7-8 に施工状況例を示す。

④ 充填確認方法

注入量管理は、注入孔削孔時に計測した背面空洞厚から算出した全体空洞量から各孔の空洞量を算出し、それを各注入孔の注入完了値として管理する方法が一般的である。

ただし、以下の場合には、直ちに注入を中断する。

・注入圧力が急上昇、若しくは初期圧＋0.2MPa 程度の上昇を確認した場合

・近接する注入孔（確認孔）から注入材の流出（リーク）を確認した場合

・覆工コンクリートに変状、異常を確認した場合

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-32　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	P.5-29　「5.4.7　裏込注入工法の施工」

・覆工コンクリートに変状、異常を確認した場合

1 孔当たりの注入量が設計数量の 1.5 倍に達した場合は、当該箇所での注入を一時中断し、周辺の他の注入箇所の注入を実施した後に再度当該箇所へ戻り，別途注入孔を設けて注入する必要がある。この場合、急な機材の段取り替えが難しく時間を要するため、あらかじめそのような事態が想定される場合には、一次・二次注入時に設計数量の約 1.5 倍を注入し、三次注入時には注入圧力に留意しつつ充填を完了させるものとする。なお、設計数量の 1.5 倍は、「矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和 6 年 7 月、p.30」を参考として設定したものである。



写真-5.4.7-5　注入管取付状況



写真-5.4.7-6　注入状況



写真-5.4.7-7　ミキシングヘッド



写真-5.4.7-8　注入機操作盤

6）ウィープホール設置

裏込注入材が強度を発現した時点で、コア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3　水抜工**を参考にする。

7）注入孔閉塞

トンネル内空面からはみ出した注入管を切断し、エポキシ樹脂系パテ又はポリマーセメントモルタル等で目詰め処理を行う。



写真-5.4.7-5　注入管取付状況



写真-5.4.7-6　注入状況



写真-5.4.7-7　ミキシングヘッド



写真-5.4.7-8　注入機操作盤

6）ウィープホール設置

裏込注入材が強度を発現した時点で、コア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込注入材の充填状況を確認する。未充填箇所が確認された場合は、再注入を行う。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3　水抜工**を参考にする。

7）注入管撤去・注入孔復旧

トンネル内空面からはみ出した注入管を切断し、エポキシ樹脂系パテ又はポリマーセメントモルタル等で目詰め処理を行う。

8）周辺環境への影響等

非セメント系の注入材は、作業者の安全、周辺環境への影響、火災などを考慮して十分安全なものでなければならない。また、施工に際しては「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東,中,西日本高速道路株式会社、令和 2 年 2 月」及び「消防法」を遵守した施工管理が必要である。

発泡ウレタンは発泡する際に反応熱をともない，特にウレタン内部が高温となるため、大きな空洞へ注入する場合は分割して注入する必要がある。保管や取り扱いに関しては、薬液の一部が「消防法」における危険物に該当するため、少量危険物貯蔵取扱所（指定数量未満の貯蔵・取扱い）として所轄消防署へ届け出て、所定の保管・取扱いを行う必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-33　「5.4.7　裏込注入工法の施工」	

8）周辺環境への影響等

発泡ウレタンは成分の大部分が有機物であり、十分に固結しない場合は未固結成分が地下水に流入するおそれがある。また、注入成分に含まれるイソシアネートには水をやや酸性に変化させる性質があるため、注入箇所周辺の湧水等について水質汚濁の状況を監視しなくてはならない。施工に際しては、「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン、東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社、令和２年２月」を遵守し、適切な施工管理を行うことが必要である。

9）作業者の安全管理

発泡ウレタンの使用にあたっては、「化学物質等による危険性又は有害性等の調査等に関する指針、厚生労働省 基発 0918 第３号、平成 27 年９月 18 日」に基づきリスクアセスメントを実施し、リスク低減に努めなければならない。注入材および固結物には燃焼の可能性があるため、火気の取り扱いには十分注意しなければならない。また、作業員の健康被害を防止するため、事前健康チェックの実施および保護具の着用を徹底するものとする。

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-34　「5.5.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理」	P.5-30　「5.5.3.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理」

5.5　裏込注入工法の施工管理

5.5.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、材料、配合、物性値管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、本書に示す品質規格を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。なお、本書に示す品質試験に合格した材料を使用する場合は、現場毎に試験を行わなくても良い。性能試験を受けていないものについては、公的機関の証明又は同等の証明を得た材料承諾書を監督職員に提出する。

発泡ウレタンの保管や取扱いに関しては、薬液の一部が「消防法」における危険物に該当するため、少量危険物貯蔵取扱所（指定数量未満の貯蔵・取扱い）として所轄消防署へ届け出て、所定の保管・取扱いを行う必要がある。

5.5　施工管理と完成検査

5.5.1　施工計画

第４章　対策工法の共通事項　4.7.1　施工計画　を参照

5.5.2　施工管理

第４章　対策工法の共通事項　4.7.2　施工管理　を参照

5.5.3　裏込注入工法の施工管理

5.5.3.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、材料、配合、物性値管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

裏込注入工法に使用する裏込注入材については、本書に示す品質規格を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。なお、本書に示す品質試験に合格した材料を使用する場合は、現場毎に試験を行わなくても良い。性能試験を受けていないものについては、公的機関の証明又は同等の証明を得た材料承諾書を監督職員に提出する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-35 「5.5.2 裏込注入工法の施工時の管理」	P.5-31 「5.5.3.2 裏込注入工法の施工時の管理」

5.5.2 裏込注入工法の施工時の管理

裏込注入工の施工管理においては、裏込注入材に対し、次の項目について確認を行う。
（1）裏込注入材物性管理（フロー値、一軸圧縮強さ等）
（2）裏込注入圧力管理（設定値以下）
（3）裏込注入材充填管理

【解説】

（1）裏込注入材物性管理

裏込注入工法の施工管理においては、覆工コンクリート背面と地山との空隙に注入する裏込注入材の物性値を管理することが重要である。標準的な裏込注入材の試験項目と試験方法及び測定回数を表-5.5-1 に示す。なお、これによらない新技術等については、実験等の根拠に基づき、別途裏込注入材の性能管理規格値を定めることができる。

裏込注入材管理規格値（フロー値、一軸圧縮強さ）
① フ ロ ー 値：材料承諾及び施工計画での申告値±20（mm）
② 一軸圧縮強さ：セメント系注入材 1.5N/mm² 以上（材齢 28 日）
圧縮強さ ：非セメント系注入材（発泡ウレタン）
40 倍発泡 0.14N/mm² 以上
30 倍発泡 0.20N/mm² 以上
12 倍発泡 0.90N/mm² 以上

表-5.5-1 標準的な管理項目と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
フロー値	平滑な盤上のフローコーン（φ80mm×H80mm）に試料を水平に満たし、フローコーンを引き上げ 1 分後の広がりを測定する。	2 回/日（午前・午後）
一軸圧縮強さ	JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」による。 供試体の作製は JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」による。	1 回/日

（2）裏込注入圧力管理

裏込注入材の注入圧力は、注入材の種類及び施工方法や施工現場（背面の空洞状況）等に応じて変化するため、常に設計値以下で管理を行う。

（3）裏込注入材充填管理

裏込注入材の充填管理においては、隣接する注入孔からの裏込注入材の流出（リーク）等により裏込注入材の充填完了確認を行い、裏込注入量が設計量と比較して適正であることを確認する。

ただし、背面空洞調査に基づく想定空洞量と実績注入量の間には数倍もの乖離が生じることが多く、また国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）で実施した裏込注入工法のモニタリング調査では、背面の空洞が十分に充填されていないケースが多く確認されている。

5.5.3.2 裏込注入工法の施工時の管理

裏込注入工の施工管理においては、裏込注入材に対し、次の項目について確認を行う。
（1）裏込注入材物性管理（フロー値、一軸圧縮強さ等）
（2）裏込注入圧力管理（設定値以下）
（3）裏込注入材充填管理

【解説】

（1）裏込注入材物性管理

裏込注入工法の施工管理においては、覆工コンクリート背面と地山との空隙に注入する裏込注入材の物性値を管理することが重要である。標準的な裏込注入材の試験項目と試験方法及び測定回数を表-5.5.3-1 に示す。なお、これによらない新技術等については、実験等の根拠に基づき、別途裏込注入材の性能管理規格値を定めることができる。

裏込注入材管理規格値（フロー値、一軸圧縮強さ）
① フ ロ ー 値：材料承諾及び施工計画での申告値±20（mm）
② 一軸圧縮強さ：セメント系注入材 1.5N/mm² 以上（材齢 28 日）
圧縮強さ ：非セメント系注入材（発泡ウレタン）
40 倍発泡 0.14N/mm² 以上
30 倍発泡 0.20N/mm² 以上
12 倍発泡 0.90N/mm² 以上

表-5.5.3-1 標準的な管理項目と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
フロー値	平滑な鋼上のフローコーン（φ80mm×H80mm）に試料を水平に満たし、フローコーンを引き上げ 1 分後の広がりを測定する。	2 回/日（午前・午後）
一軸圧縮強さ	JIS A 1216（土の一軸圧縮試験方法）による。 供試体の作製は JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）による。	1 回/日

（2）裏込注入圧力管理

裏込注入材の注入圧力は、注入材の種類及び施工方法や施工現場（背面の空洞状況）等に応じて変化するため、常に設計値以下で管理を行う。

（3）裏込注入材充填管理

裏込注入材の充填管理においては、隣接する注入孔からの裏込注入材の流出（リーク）等により裏込注入材の充填完了確認を行い、裏込注入量が設計量と比較して適正であることを確認する。

ただし、背面空洞調査に基づく想定空洞量と実績注入量の間には数倍もの乖離が生じることが多く、また国営造成水利施設ストックマネジメント推進事業（技術高度化事業）で実施した裏込注入工法のモニタリング調査では、背面の空洞が十分に充填されていないケースが多く確認されている。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-36　「5.5.2　裏込注入工法の施工時の管理」	P.5-32　「5.5.3.2　裏込注入工法の施工時の管理」
これらのことに鑑み、裏込注入完了後に施工範囲全体の充填状況を確認する必要がある。 裏込注入材の充填状況は、7日強度以上発現時点でコア抜きにより確認することを基本とする。 確認孔は、ウィープホール（水抜工）を兼ねる方針とする。確認孔は地山まで削孔し、裏込注入材と地山の密着度を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。 確認孔の頻度は、覆工コンクリートの1スパン（継目間隔）に1箇所を標準とする。確認位置は注入孔間の中央部を標準とする。継目位置が明らかでない場合は、12m程度に1箇所を目安に充填状況確認を行う。 ウィープホールを設けない場合は、充填状況確認後に確認孔を断面修復材で閉塞する。 確認孔で空隙が確認された場合は、採取したコア長と孔口から地山までの距離を測定し、残存空隙量を確認する。残存空隙量が裏込注入前の空隙量の2%を上回る場合は、再注入を行わなければならない。再注入後は、新たに確認孔を設けて充填状況を再確認する。	これらのことに鑑み、裏込注入完了後に施工範囲全体の充填状況を確認することを規定する。 裏込注入材の充填状況は、7日強度以上発現時点でコア抜きにより確認する方針とする。 確認孔は、ウィープホール（水抜工）を兼ねる方針とする。確認孔は地山まで削孔し、裏込注入材と地山の密着度を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。 確認孔の頻度は、覆工コンクリートの1スパン（継目間隔）に1箇所を標準とする。確認位置は注入孔間の中央部を標準とする。継目位置が明らかでない場合は、12m程度に1箇所を目安に充填状況確認を行う。 ウィープホールを設けない場合は、充填状況確認後に確認孔を断面修復材で閉塞する。 確認孔で空隙が確認された場合は、採取したコア長と孔口から地山までの距離を測定し、残存空隙量を確認する。残存空隙量が裏込注入前の空隙量の2%を上回る場合は、再注入を行わなければならない。再注入後は、新たに確認孔を設けて充填状況を再確認する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.5-37　「5.5.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理」	P.5-33　「5.5.3.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理」

5.5.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。
裏込注入材の出来形管理は、充填量及びコア抜きにより行う。品質管理は、一軸圧縮強さ（材齢 28 日）等による。

【解説】

出来形管理は土木工事施工管理基準によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

裏込注入材の出来形管理は、充填量による確認とコア抜きにより充填状況を確認する。

品質管理基準、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。

5.5.3.3　裏込注入工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。
裏込注入材の出来形管理は充填量、品質管理は一軸圧縮強さ（材齢 28 日）等による。

【解説】

出来形管理は土木工事施工管理基準による。記載されていない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。

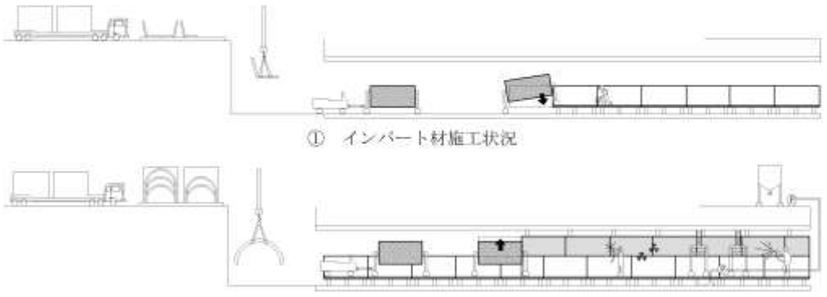
裏込注入材の出来形管理は、充填量による確認とコア抜きにより充填状況を確認する。

品質管理基準、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-2　「6.1　工法概要」	**P.6-2**　「6.1　工法概要」

を、台車により既設トンネル内へ運搬・据付し、その後、溶接接合と仕上げ塗装を行う。鋼板と覆工の間隙は裏込充填材で充填する。**図-6.1.2** に鋼板内張工法の施工概要を示す。



① インバート材施工状況

② クラウン材施工状況

図-6.1.2　鋼板内張工法の施工概要

(4) 留意事項

① 覆工背面に空洞がある場合、鋼板に作用する荷重を均一にするために裏込注入工法との併用を検討する必要がある。

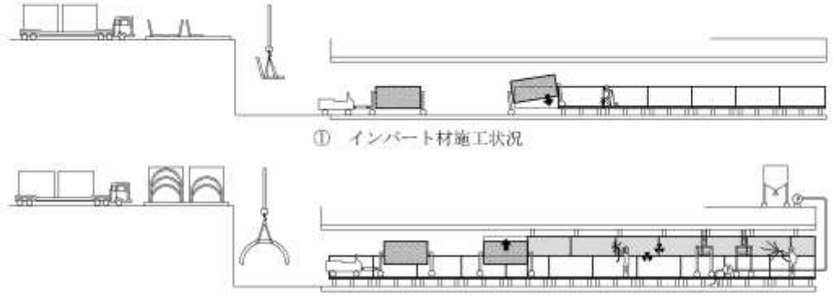
② 裏込充填材の選定に当たっては、トンネル内の湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。

③ 計画で見込んだ地下水位より高い地下水圧が管に作用し、管が座屈した事例があるので注意する必要がある。

(5) 裏込充填材

裏込充填材は、覆工と鋼板との間隙部へ充填するものであるから、スラリー性状と硬化性状が要求される。一般に裏込充填材は、一軸圧縮強さσ_{28}=1.0N/mm^2 以上の強度特性を持ったエアミルク、エアモルタル、セメントベントナイトモルタル、セメントベントナイトミルクや可塑性充填材等が使用される。砂エアモルタルの圧送限界は約 300m 程度であり、長距離用としては微粒子混和材エアモルタル、クレーサンドエアモルタル、高流動エアモルタル等がある。

を、台車により既設トンネル内へ運搬・据付し、その後、溶接接合と仕上げ塗装を行う。鋼板と覆工の間隙は裏込充填材で充填する。**図-6.1.2** に鋼板内張工法の施工概要を示す。



① インバート材施工状況

② クラウン材施工状況

図-6.1.2　鋼板内張工法の施工概要

(4) 留意事項

① 覆工背面に空洞がある場合、鋼板に作用する荷重を均一にするために裏込注入工法との併用を検討する必要がある。

② 裏込充填材の選定に当たっては、トンネル内の湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。

③ 計画で見込んだ地下水位より高い地下水圧が管に作用し、管が座屈した事例があるので注意する必要がある。

(5) 裏込充填材

裏込充填材は、覆工と鋼板との間隙部へ充填するものであるから、スラリー性状と硬化性状が要求される。一般に裏込充填材は、一軸圧縮強さσ_{28}=1.0N/mm^2 以上の強度特性を持ったエアミルク、エアモルタルや可塑性グラウト材等が使用される。砂エアモルタルの圧送限界は約 300m 程度であり、長距離用としては微粒子混和材エアモルタル、クレーサンドエアモルタル、高流動エアモルタル等がある。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-3 「6.2.1 鋼板内張工法の要求性能と性能照査」	P.6-3 「6.2.1 鋼板内張工法の要求性能と性能照査」

6.2 要求性能、性能照査

6.2.1 鋼板内張工法の要求性能と性能照査

鋼板内張工法の要求性能は、現場条件に応じて適切に設定する。

鋼板内張工法の性能照査は、標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

鋼板内張工法の性能照査は、鋼板内張工法に期待される効果の持続期間中に、鋼板内張工法を施工した水路トンネルが所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルに対して試験施工を行うことや鋼板内張工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、鋼板内張工法の性能照査に当たっては、鋼板内張工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験等で確認することで性能照査とする。ただし、鋼板内張工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

鋼板内張工法を施工した水路トンネルが、所要の性能を確保するためには、鋼板内張工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。鋼板内張工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-6.2.1-1** に示す。なお、鋼板内張工法で使用する材料は、工場製品であることから、要求性能の確認は JIS 等の公的規格に基づくものとし、ここでは主に裏込充填材の要求性能を示す。試験方法は、それぞれ適用する JIS 規格、NEXCO 試験方法等を参照されたい。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：鋼板内張工法に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有することを基本とする。水理計算により流下能力の照査を実施する。

耐荷性：鋼板内張工法（材料）が、期待される強度を有していること。裏込充填材が鋼板の基礎として安定した耐荷性能を有していること。構造計算により現場条件に応じた耐荷強度を有していることの照査を実施する。

耐久性：鋼板内張工法（材料）が、鋼材腐食に対し期待される耐久性を有していること。

6.2 要求性能、性能照査

6.2.1 鋼板内張工法の要求性能と性能照査

鋼板内張工法の要求性能は、現場条件に応じて適切に設定する。

鋼板内張工法の性能照査は、標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

鋼板内張工法の性能照査は、鋼板内張工法に期待される効果の持続期間中に、鋼板内張工法を施工した水路トンネルが所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルに対して試験施工を行うことや鋼板内張工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、鋼板内張工法の性能照査に当たっては、鋼板内張工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験等で確認することで性能照査とする。ただし、鋼板内張工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

鋼板内張工法を施工した水路トンネルが、所要の性能を確保するためには、鋼板内張工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。鋼板内張工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-6.2.1-1** に示す。なお、鋼板内張工法で使用する材料は、工場製品であることから、要求性能の確認は JIS 等の公的規格に基づくものとし、ここでは主に裏込充填材の要求性能を示す。試験方法は、それぞれ適用する JIS 規格、NEXCO 試験方法等を参照されたい。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：鋼板内張工法に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有すること。水理計算により流下能力の照査を実施する。

耐荷性：鋼板内張工法（材料）が、期待される強度を有していること。裏込充填材が鋼板の基礎として安定した耐荷性能を有していること。構造計算により現場条件に応じた耐荷強度を有していることの照査を実施する。

耐久性：鋼板内張工法（材料）が、鋼材腐食に対し期待される耐久性を有していること。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.6-4　「6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査」

表-6.2.1-1　鋼板内張工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性（注1）	充填材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験（注2）	JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」	材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ以上 下限値 1.0N/mm²（注3）
			充填材の単位容積質量	NEXCO試験方法	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±100（kg/m³）
			充填材の空気量	NEXCO試験方法 空気量の測定方法	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±5（%）
			充填材の水中不分離性	水中作製供試体の圧縮強さ試験（注2）	本書に示す試験	材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ以上 下限値 1.0N/mm²（注3）
		耐久性	耐久性を有する	溶接部の検査	JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」	WSP 008「水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準」による
				塗装部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性を確認する
		充填性流動性	充填材の流動性（フロー値）	NEXCO試験方法 コンシステンシー試験方法	試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」	申告値 ±20（mm）
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注4）	各社技術による	工法の申告値

（注1）充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量により行うこととし、圧縮強さに加えて、所定の強度に管理するための諸数値を設定する。

（注2）①湧水が無い場合は、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、「一軸圧縮強さ試験」を実施する。　②湧水の痕跡がある又は湧水量が滲み出しや滴水程度である場合には、「一軸圧縮強さ試験」を省略し、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を実施する。　③流水、噴水程度の湧水が確認され、湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が適用される。可塑性充填材については、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、**表-5.2.1-1** に示す裏込注入工法の「一軸圧縮強さ試験」及び「水中分離抵抗性試験」を実施する。

（注3）石礫等の流下による摩耗対策として、インバート部分については他の塗装・モルタルを選択する場合がある。

（注4）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。

（注5）地下水圧に対する鋼板の座屈を抑制するために必要な裏込充填材の設計圧縮強さが 1.0N/mm² を超える場合は、その値を要求値とする。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.6-4　「6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査」

表-6.2.1-1　鋼板内張工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性（注1）	充填材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験（注2）	JIS A 1216（土の一軸圧縮試験方法）	材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm²以上
			充填材の単位容積質量	NEXCO試験方法	試験法 313（エアモルタル及びエアミルクの試験方法）	申告値 ±100（kg/m³）
			充填材の空気量	NEXCO試験方法 空気量の測定方法	試験法 313（エアモルタル及びエアミルクの試験方法）	申告値 ±5（%）
			充填材の水中不分離性	水中作製供試体の圧縮強さ試験（注2）	本書に示す試験	材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm²以上
		耐久性	鋼材腐食に対し耐久性を有する	溶接部の検査	JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準 WSP 008 による
				塗装部の検査	JIS G 3443-4（水輸送用塗覆装鋼管-第4部：内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装））（注5）	外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性を確認する
		充填性流動性	充填材の流動性（フロー値）	NEXCO試験方法 コンシステンシー試験方法	試験法 313（エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法）	申告値 ±20（mm）
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注4）	各社技術による	工法の申告値

（注1）充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量により行うこととし、圧縮強さに加えて、所定の強度に管理するための諸数値を設定する。

（注2）①湧水が無い場合は、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、「一軸圧縮強さ試験」を実施する。　②湧水の痕跡がある、若しくはその量が滲み出し、滴水程度である場合は「一軸圧縮強さ試験」を省略し、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を実施する。　③流水、噴水程度の湧水が確認され、湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が適用される。可塑性充填材については、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、**表-5.2.1-1** に示す裏込注入工法の「一軸圧縮強さ試験」及び「水中分離抵抗性試験」を実施する。ただし、一軸圧縮強さ試験の要求値は 1.0N/mm² 以上とする。

（注3）石礫等の流下による摩耗対策として、インバート部分については他の塗装・モルタルを選択する場合がある。

（注4）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-5　「6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査」	**P.6-5**　「6.2.1　鋼板内張工法の要求性能と性能照査」
①　溶接部の検査 ［検査方法］ 溶接部の検査は、JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」による。 ［判定基準］ 判定基準は WSP 008「水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準」に基づくものとする。 **②　塗装部の検査** ［検査方法］ 塗装部の検査は、土木工事施工管理基準（管水路工事）による。 検査の時期は塗膜硬化後とし、外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性について検査を行う。 **③　耐荷性：充填材** 内張鋼板と覆工の間隙に充填する材料については、側壁部が直線形に近い構造の特殊性から地下水圧に対する座屈を抑制するための強度を有する必要がある。間隙を充填することにより内張鋼板外面の保護や覆工コンクリート破損時の緩衝体としての機能も求めるものとする。 強度以外の照査項目は、覆工と内張鋼板の間隙を確実に充填するための施工性を確保するためのものとする。 ［試験方法］ 照査の項目は、充填材の強度（圧縮強さ）とする。これに加え、所定の強度を管理するため、充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量の諸数値を設定する。 試験方法は、充填材の強度（圧縮強さ）は JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」、単位容積質量は NEXCO 試験方法の試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」、材料の流動性は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法、空気量は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」によるものとする。 ［要求値］ 充填材の強度（圧縮強さ）は、地下水圧に対する鋼板の座屈を抑制するための設計圧縮強さ以上とする。ただし、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.274 を参考に、下限値は 1.0N/mm²（材齢 28 日）とする。 **(3) 耐久性** **第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査**を参照。	**①　溶接部の検査** ［検査方法］ 溶接部の検査は、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による非破壊検査により行うことを原則とする。 ［判定基準］ 判定基準は「水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準」WSP 008 に基づくものとする。 **②　塗装部の検査** ［検査方法］ 水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装の検査は、日本産業規格（JIS G 3443-4）及び土木工事施工管理基準（管水路工事）による。 検査の時期は塗膜硬化後とし、外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性について検査を行う。 **③　耐荷性：充填材** 内張鋼板と覆工の間隙に充填する材料については、側壁部が直線形に近い構造の特殊性から地下水圧に対する座屈を抑制するための強度を期待する必要がある。間隙を充填することにより内張鋼板外面の保護や覆工コンクリート破損時の緩衝体としての機能も求めるものとする。 強度以外の照査項目は、覆工と内張鋼板の間隙を確実に充填するための施工性を確保するためのものとする。 ［試験方法］ 照査の項目は、充填材の強度（圧縮強さ）とする。これに加え、所定の強度を管理するため、充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量の諸数値を設定する。 試験方法は、充填材の強度（圧縮強さ）は JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」、単位容積質量は NEXCO 試験方法の試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」、材料の流動性は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法、空気量は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」によるものとする。 ［要求値］ 充填材の強度（圧縮強さ）は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）P.274 を参考に、固結後 1.0N/mm² 以上とする。 **(3) 耐久性** **第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査**を参照。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-6 「6.2.2 鋼板内張工法の適用性」	P.6-6 「6.2.2 鋼板内張工法の適用性」

6.2.2 鋼板内張工法の適用性

鋼板内張工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能、及び施工条件を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して選定しなければならない。

【解説】

（1）鋼板内張工法の適用性

鋼板内張工法は断面縮小率が小さいため、断面縮小率が大きい他工法（既製管挿入工法等）では必要な通水量を確保できない場合に適用される。

また、鋼板内張工法は、あらゆる地圧に対応可能であり、高い補強効果を有する工法である。

（2）裏込充填材の適用性

覆工と内張鋼板の間隙には裏込充填材を注入する。

裏込充填材は、背面地山からの外力を、覆工を介して自立管となる内張鋼板に伝達し、また内張鋼板の変形によって生じた反力を覆工・地山へと伝達する重要な基礎部材である。

裏込充填材は、pH の高いアルカリ成分により内張鋼板外面を不動態化させる防食材としての機能を有している。

湧水が無い場合は、エアミルクやエアモルタル等の非可塑性充填材の採用事例が多いが、これらの材料は、水と接すると気泡とセメントペーストが材料分離を起こし、強度・剛性が低下するため注意が必要である。

湧水がある場合は、湧水を完全に処理した上でエアミルクやエアモルタルを使用することが一般的である。湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材等の水中不分離性を有する材料が採用されるが、エアミルク、エアモルタルと比較して流動性が劣るため裏込充填材の打設間隔や充填方法を検討する必要がある。

6.2.2 鋼板内張工法の適用性

鋼板内張工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能、及び施工条件を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して選定しなければならない。

【解説】

（1）鋼板内張工法の適用性

鋼板内張工法の適用性については、通常水理設計を行い、既製管挿入工法等では必要な通水量を確保できない場合に適用される。

また、鋼板内張工法は、あらゆる地圧に対応可能であり、高い補強効果を有する工法である。よって、資材の運搬・搬入等の施工条件を満足する場合にあって、他の工法と比較して経済性や維持管理性に加え、リスク低減効果（ライフサイクルコストの低減）が期待される場合に適用する。

（2）裏込充填材の適用性

覆工と内張鋼板の間隙には裏込充填材を注入する。

裏込充填材は、背面地山からの外力を、覆工を介して自立管となる内張鋼板に伝達し、また内張鋼板の変形によって生じた反力を覆工・地山へと伝達する重要な基礎部材である。

裏込充填材は、pH の高いアルカリ成分により内張鋼板外面を不動態化させる防食材としての機能を有している。

湧水が無い場合は、エアミルクやエアモルタル等の非可塑性充填材の採用事例が多いが、これらの材料は、水と接すると気泡とセメントペーストが材料分離を起こし、強度・剛性が低下するため注意が必要である。

湧水がある場合は、湧水を完全に処理した上でエアミルクやエアモルタルを使用することが一般的である。湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が採用されるが、エアミルク、エアモルタルと比較して流動性が劣るため裏込充填材の打設間隔や充填方法を検討する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-8 「6.4.3 鋼板内張工法の構造設計」	P.6-8 「6.4.3 鋼板内張工法の構造設計」

6.4 構造設計

6.4.1 構造設計の基本的な考え方

第４章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

6.4.2 解析の方法

第４章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

6.4.3 鋼板内張工法の構造設計

鋼板内張工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) 鋼板内張工法の骨組解析検討モデル

鋼板内張工法は自立管として構造計算を行うことを標準とする。

自立管として設計する鋼板内張工法は、鋼板断面をはり要素と仮定し、地盤ばねで支持された構造モデルで解析を行う。**図-6.4.3-1** に鋼板内張工法の骨組解析検討モデル（例）を示す。

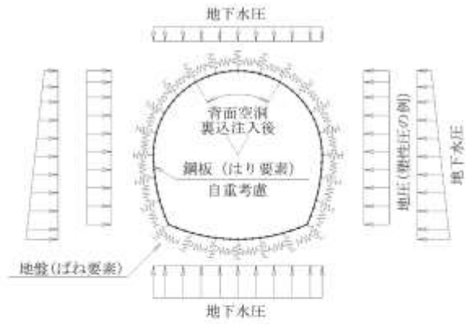


図-6.4.3-1 鋼板内張工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① 内張鋼板の構造検討において考慮する荷重は、次のとおりとする。

- 自重（鋼板及び覆工コンクリートの自重）
- 地圧
- 地下水圧
- 内水圧
- 施工時荷重（裏込充填材充填時における浮力・充填圧）

6.4 構造設計

6.4.1 構造設計の基本的な考え方

第４章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

6.4.2 解析の方法

第４章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

6.4.3 鋼板内張工法の構造設計

鋼板内張工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) 鋼板内張工法の骨組解析検討モデル

鋼板内張工法は自立管として構造計算を行うことを標準とする。

自立管として設計する鋼板内張工法は、鋼板断面をはり要素と仮定し、地盤ばねで支持された構造モデルで解析を行う。**図-6.4.3-1** に鋼板内張工法の骨組解析検討モデル（例）を示す。

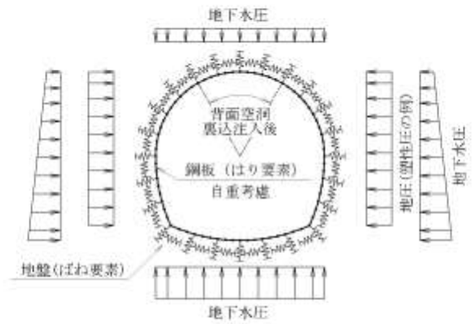


図-6.4.3-1 鋼板内張工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① 内張鋼板の構造検討で考慮する荷重は次の通りとする。

- 自重（鋼板及び覆工コンクリートの自重）
- 地圧
- 地下水圧
- 内水圧
- 施工時荷重（裏込充填材充填時における浮力・充填圧）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.6-9　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」

② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第 4 章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と、矢板工法の支保工に作用する荷重のいずれか大きい方を採用する。また、圧ざが発生している場合には、その地圧強度を考慮し、適切に設定する。

③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第 4 章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。

鋼管や鋼板内張工法では、ウィープホールを設置していたにもかかわらずフィルター材の目詰まりによって過剰水圧が作用し、局所的な座屈が発生した事例がある。このため、ウィープホールが目詰まり等によりその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。設計地下水位の設定には、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例もある。ただし、被圧水頭は別途考慮する。

鋼板内張工法は、全周を覆工と裏込充填材で囲まれ、外側への変形が拘束された状態にある。鋼板と裏込充填材との間隙に地下水が浸透した場合、鋼板は周辺拘束状態で外水圧を受けて局所的な変形をおこす可能性がある。このため、地下水圧に対する座屈の検討を行う。座屈に対しては 1.5 倍の安全率を考慮する。

図-6.4.3-2 に鋼板内張工法の板厚決定フローを示す。

④ 鋼板背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。

地盤のモデル化の詳細は**第 4 章**を参照する。

地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。地山のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を参考にされたい（地盤反力係数を算出する補正係数αは 4 を適用する）。

また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。

表-6.4.3-1　エアモルタルの設計強度特性

圧縮強さ σ_{28} (N/mm²)	変形係数 E_{50} (N/mm²)
1.0	150
1.5	180

（参考：強化プラスチック複合管協会、提供値）

（参考：PCL 工法技術マニュアル、PCL 協会、平成 29 年 4 月、pp.資-15～18）

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.6-9　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」

② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第 4 章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。

③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第 4 章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。

鋼板内張工法は、ウィープホールを設置していたにもかかわらずフィルター材の目詰まりによって過剰水圧が作用し、局所的な座屈が発生した事例がある。このため、ウィープホールが目詰まり等によりその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。設計地下水位の設定には、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例もある。ただし、被圧水頭は別途考慮する。

鋼板内張工法は、全周を覆工と裏込充填材で囲まれ、外側への変形が拘束された状態にある。鋼板と裏込充填材との間隙に地下水が浸透した場合、鋼板は周辺拘束状態で外水圧を受けて局所的な変形をおこす可能性がある。このため、地下水圧に対する座屈の検討を行う。座屈に対しては 1.5 倍の安全率を考慮する。

図-6.4.3-2 に鋼板内張工法の板厚決定フローを示す。

④ 鋼板背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。

地盤のモデル化の詳細は**第 4 章**を参照する。

地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。裏込充填材のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を参考にされたい（地盤反力係数を算出する補正係数αは 4 を適用する）。

また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。

表-6.4.3-1　エアモルタルの設計強度特性

圧縮強さ σ_{28} (N/mm²)	変形係数 E_{50} (N/mm²)
1.0	150
1.5	180

（参考：強化プラスチック複合管協会、提供値）

（参考：PCL 工法技術マニュアル、PCL 協会、平成 29 年 4 月、pp.資-15～18）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-11　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」	P.6-11　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」

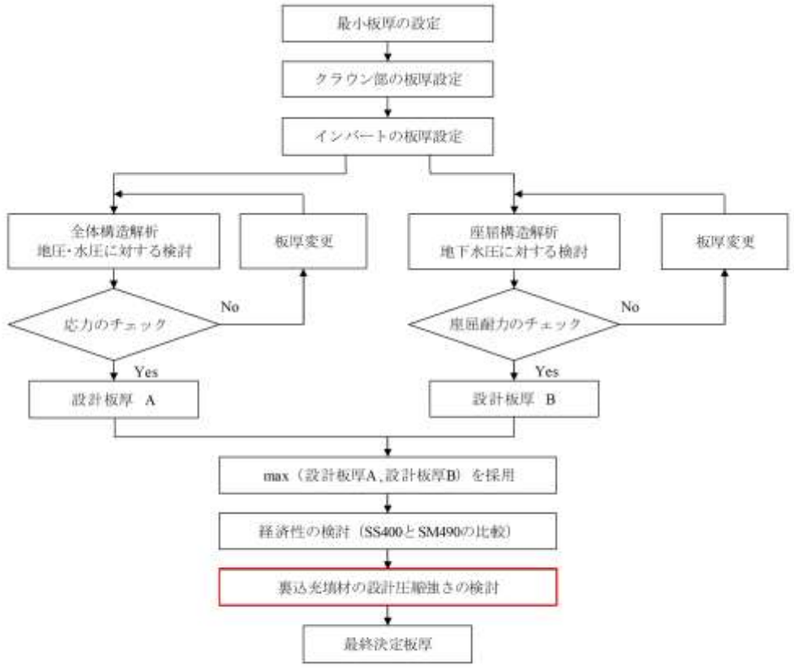


図-6.4.3-2　鋼板内張工法板厚決定フロー

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」技術書、平成８年10月、p.572 を改変して転載）

⑦　鋼板内張工法は、裏込充填材充填時に新設管の変形防止を目的として変形防止材（パイプサポート）が設置される。施工時荷重の検討については、裏込充填時の変形防止材の安全性及び設計間隔について検討する。**図-6.4.3-3** に変形防止材の設置例を示す。**図-6.4.3-4** は１段目打設時の荷重モデル図である。裏込充填１段目の検討では浮力が生じるものとして、鉛直方向の支保工に作用する軸力と新設管の変位量及び応力度の検討を行う。また、２段目以降は**図-6.4.3-5** のように、側圧が作用するものとして、水平方向の支保工に作用する軸力と新設管の変位量及び応力度の検討を行う。なお、施工時荷重で板厚が決定されることがないよう、充填方法を検討して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。

浮力防止工・兼間隔保持材については、WSP A-103-2021「鞘管工法の計画・施工指針（農業用パイプラインにおけるパイプ・イン・パイプ工法）」（日本水道鋼管協会）、p.30 の図を参照する。なお、浮上防止工は、間隔保持材と兼ねるのが一般的である。

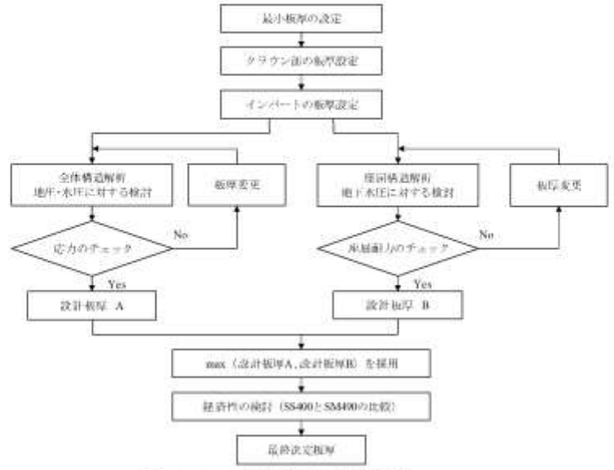


図-6.4.3-2　鋼板内張工法板厚決定フロー

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」平成８年10月、P.572 を改変して転載）

⑦　鋼板内張工法は、裏込充填材充填時に新設管の変形防止を目的として変形防止材（パイプサポート）が設置される。施工時荷重の検討については、裏込充填時の変形防止材の安全性及び設計間隔について検討する。**図-6.4.3-3** に変形防止材の設置例を示す。**図-6.4.3-4** は１段目打設時の荷重モデル図である。裏込充填１段目の検討では浮力が生じるものとして、鉛直方向の支保工に作用する軸力と新設管の変位量及び応力度の検討を行う。また、２段目以降は**図-6.4.3-5** のように、側圧が作用するものとして、水平方向の支保工に作用する軸力と新設管の変位量及び応力度の検討を行う。

浮力防止工については、「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針、日本水道鋼管協会、WSP 080-2015、P.43」の図を参照する。なお、浮上防止工は、間隔保持材と兼ねるのが一般的である。

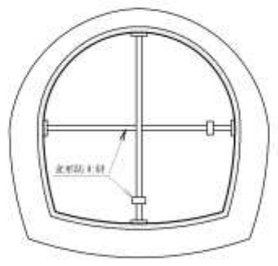


図-6.4.3-3　変形防止材取付図（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-12　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」	**P.6-12**　「6.4.3　鋼板内張工法の構造設計」



図-6.4.3-3　変形防止材取付図（例）

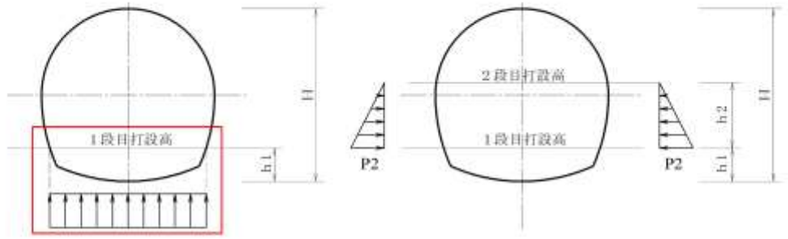


図-6.4.3-4　１段目打設時の荷重モデル　　図-6.4.3-5　２段目打設時の荷重モデル

6.4.4　水抜工

第４章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工　を参照

鋼板内張工法は、ウィープホールの設置を標準とする。**図-6.4.4-1** に鋼板内張工法で実績のあるウィープホールの設置要領を示す。

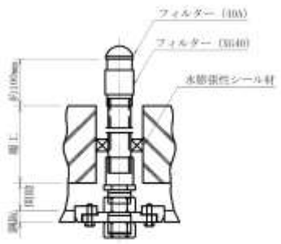


図-6.4.4-1　ウィープホール設置要領図

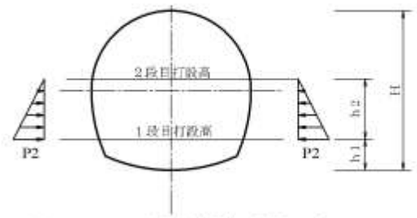


図-6.4.3-4　１段目打設時の荷重モデル　　図-6.4.3-5　２段目打設時の荷重モデル

6.4.4　水抜工

第４章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工　を参照

鋼板内張工法は、ウィープホールの設置を標準とする。**図-6.4.4-1** に鋼板内張工法で実績のあるウィープホールの設置要領を示す。

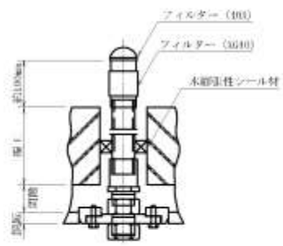


図-6.4.4-1　ウィープホール設置要領図

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-13　「6.5.7　鋼板内張工法の施工」	P.6-13　「6.5.7　鋼板内張工法の施工」

6.5　施工方法
6.5.1　長寿命化対策の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　長寿命化対策の施工　を参照

6.5.2　仮設備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　仮設備工　を参照

6.5.3　坑内作業準備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.3　坑内作業準備工　を参照

6.5.4　下地処理工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.4　下地処理工　を参照

6.5.5　導水･止水対策工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.5　導水･止水対策工　を参照

6.5.6　補修工法の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.6　補修工法の施工　を参照

6.5.7　鋼板内張工法の施工

鋼板内張工法は、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

図-6.5.7-1 に鋼板内張工法の施工手順を示す。

（1）準備工（測量）

実施設計段階で行われた坑内路線測量の確認と鋼板製作のための測量を行う。測量は、トンネルの高さ・布設延長・芯ズレの確認を行い、鋼板据付高さを測定する。

縦断測量の調査結果を基に、凸部の管頂部には裏込充填確認孔を凹部の管底部には湧水排水用孔を設けポンプ等で排水できる構造とすることが望ましい。

（2）鋼板製作

工場で規定の設計形状の鋼板を成形する。

（3）資機材搬入（写真-6.5.7-1、写真-6.5.7-2 参照）

所定の輸送ルートを決定し輸送する。

鋼板の輸送はトラック、セミトレーラ等により行い、現場搬入した鋼板は、クレーンにより坑口付近の資材ヤードに仮置きする。

6.5　施工方法
6.5.1　長寿命化対策の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　長寿命化対策の施工　を参照

6.5.2　仮設備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　仮設備工　を参照

6.5.3　坑内作業準備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.3　坑内作業準備工　を参照

6.5.4　下地処理工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.4　下地処理工　を参照

6.5.5　導水･止水対策工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.5　導水･止水対策工　を参照

6.5.6　補修工法の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.6　補修工法の施工　を参照

6.5.7　鋼板内張工法の施工

鋼板内張工法は、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

図-6.5.7-1 に鋼板内張工法の施工手順を示す。

（1）準備工（測量）

実施設計段階で行われた坑内路線測量の確認と鋼板製作のための測量を行う。測量は、トンネルの高さ・布設延長・芯ズレの確認を行い、鋼板据付高さを測定する。

縦断測量の調査結果を基に、凸部の管頂部には裏込充填確認孔を凹部の管底部には湧水排水用孔を設けポンプ等で排水できる構造とすることが望ましい。

（2）鋼板製作

工場で規定の設計形状の鋼板を成形する。

（3）資機材搬入（写真-6.5.7-1、写真-6.5.7-2 参照）

所定の輸送ルートを決定し輸送する。

鋼板の輸送はセミトレーラにより行い、現場搬入した鋼板は、クレーンにより坑口付近の資材ヤードに仮置きする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.6-14　「6.5.7　鋼板内張工法の施工」

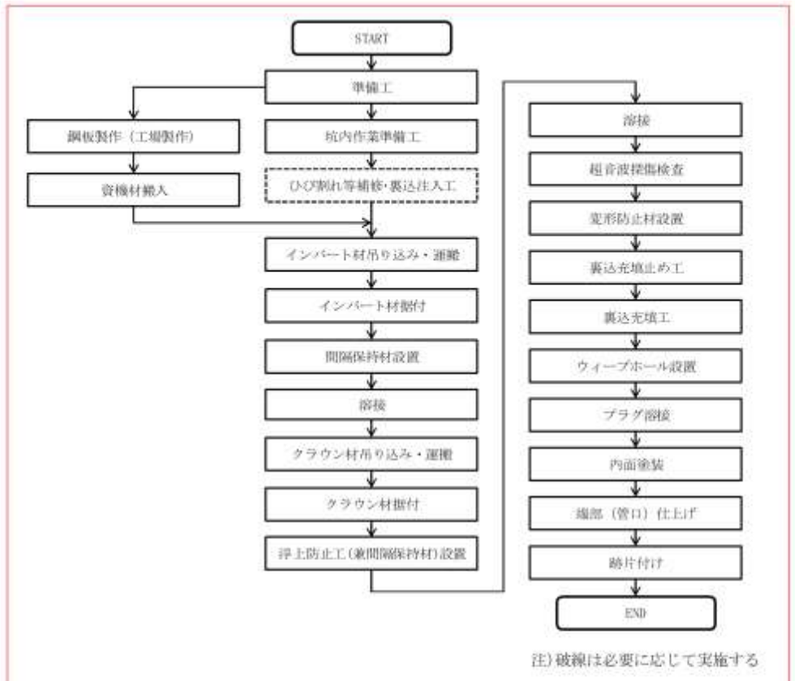


図-6.5.7-1　鋼板内張工法の施工手順（例）



写真-6.5.7-1　インバート材搬入



写真-6.5.7-2　クラウン材搬入

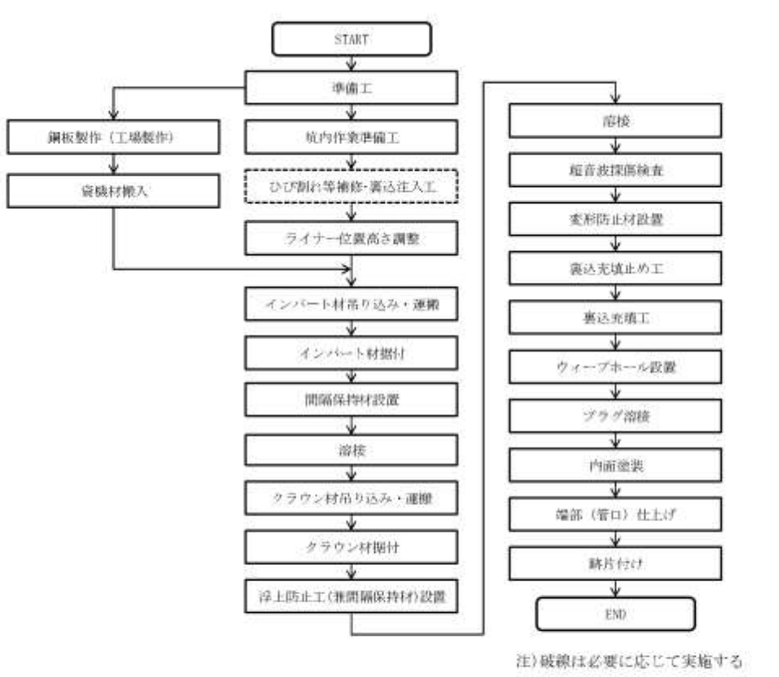


図-6.5.7-1　鋼板内張工法の施工手順（例）



写真-6.5.7-1　インバート材搬入



写真-6.5.7-2　クラウン材搬入

（4）ライナー位置高さ調整

インバート材隙間保持ライナー設置位置のインバート高さを測量し、インバート材との隙間が所定の寸法（例えば 50mm）になるように急結モルタルで高さを調整する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-15 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」	P.6-15 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」

(4) インバート材吊り込み・運搬（写真-6.5.7-3、写真-6.5.7-4 参照）

クレーンにより資材ヤードから坑内に鋼板を吊り込み、仮置きする。仮置きされた鋼板上を運搬台車が通過し、運搬台車にレバーブロックで固定する。据え付け箇所へは特装運搬車（キャリア）にて運搬する。

(5) インバート材据付（写真-6.5.7-5、写真-6.5.7-6 参照）

運搬したインバート材は、レバーブロック等で鋼板を徐々に引き寄せ、据付済み鋼板の円周方向裏当金上に合わせ、棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用して肌合わせを行い、所定の間隔（300mm ピッチに 100mm 程度）に仮付溶接を行う。

据付完了後、部材下端と覆工の間隙に部材振動防止及び間隔保持を目的とした間隔保持材（硬質ゴムライナー）を取り付ける。

(6) クラウン材吊り込み・運搬（写真-6.5.7-7、写真-6.5.7-8 参照）

クレーンにより資材ヤードから坑内に鋼板を吊り込み、仮置きする。仮置きされた鋼板を運搬台車にレバーブロックで固定する。据え付け箇所へは特装運搬車（キャリア）にて運搬する。

(7) クラウン材据付

台車上下ジャッキにより据付済みのインバート材及びクラウン材のそれぞれ軸方向・円周方向の裏当金に合わせ、棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用して肌合わせを行い、所定の間隔（300mm ピッチに 100mm 程度）に仮付溶接を行う。

据付完了後、クラウン材と覆工の間隙に、間隔保持を目的とした浮上防止工・兼間隔保持材（硬質ゴムライナー）を取り付け、台車を後退させる。



写真-6.5.7-3 インバート材専用台車取付



写真-6.5.7-4 インバート材坑内運搬

(5) インバート材吊り込み・運搬（写真-6.5.7-3、写真-6.5.7-4 参照）

クレーンにより資材ヤードから坑内に鋼板を吊り込み、仮置きする。仮置きされた鋼板上を運搬台車が通過し、運搬台車にレバーブロックで固定する。据え付け箇所へは特装運搬車（キャリア）にて運搬する。

(6) インバート材据付（写真-6.5.7-5、写真-6.5.7-6 参照）

運搬したインバート材は、レバーブロック等で鋼板を徐々に引き寄せ、据付済み鋼板の円周方向裏当金上に合わせ、棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用して肌合わせを行い、所定の間隔（30cm ピッチに 10cm 程度）に仮付溶接を行う。

据付完了後、部材下端と覆工の間隙に部材振動防止及び間隔保持を目的とした間隔保持材（硬質ゴムライナー）を取り付ける。

(7) クラウン材吊り込み・運搬（写真-6.5.7-7、写真-6.5.7-8 参照）

クレーンにより資材ヤードから坑内に鋼板を吊り込み、仮置きする。仮置きされた鋼板を運搬台車にレバーブロックで固定する。据え付け箇所へは特装運搬車（キャリア）にて運搬する。

(8) クラウン材据付

台車上下ジャッキにより据付済みのインバート材及びクラウン材のそれぞれ軸方向・円周方向の裏当金に合わせ、棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用して肌合わせを行い、所定の間隔（30cm ピッチに 10cm 程度）に仮付溶接を行う。

据付完了後、クラウン材と覆工の間隙に、間隔保持を目的とした浮上防止工・兼間隔保持材（硬質ゴムライナー）を取り付け、台車を後退させる。



写真-6.5.7-3 インバート材専用台車取付



写真-6.5.7-4 インバート材坑内運搬

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-16　「6.5.7　鋼板内張工法の施工」	P.6-16　「6.5.7　鋼板内張工法の施工」



写真-6.5.7-5　インバート材据付



写真-6.5.7-6　インバート材溶接



写真-6.5.7-7　クラウン材専用台車取付



写真-6.5.7-8　クラウン材坑内運搬

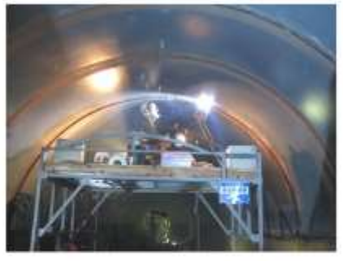


写真-6.5.7-9　クラウン材溶接



写真-6.5.7-10　施工完了

(8) 溶接

仮付・本溶接とも手溶接又は半自動溶接とする。（**写真-6.5.7-6、写真-6.5.7-9** 参照）

(9) 超音波探傷検査

溶接部の検査は、JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」による非破壊検査とする。



写真-6.5.7-5　インバート材据付



写真-6.5.7-6　インバート材溶接



写真-6.5.7-7　クラウン材専用台車取付



写真-6.5.7-8　クラウン材坑内運搬

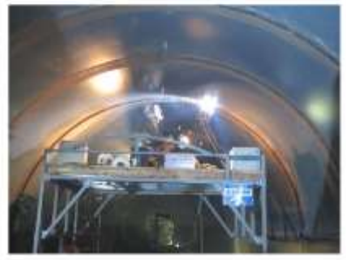


写真-6.5.7-9　クラウン材溶接



写真-6.5.7-10　施工完了

(9) 溶接

仮付・本溶接とも手溶接又は半自動溶接とする。（**写真-6.5.7-6、写真-6.5.7-9** 参照）

(10) 超音波探傷検査

溶接部の検査は、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による非破壊検査とする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-17 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」	P.6-17 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」

(10) 変形防止材設置

裏込充填の打設に先立ち、鋼板の変形防止として**図-6.4.3-3** に示す変形防止材を取り付ける。

鋼板内張工法は、既製鋼管と異なり特にインバート材の側板は直線に近い形状となるため、裏込充填圧に対して十分に耐え得る支保工を設置する必要がある。

(11) 裏込充填止め工（図-6.5.7-2）

裏込充填打設前に、鋼板端部への裏込充填止め工を施工する。裏込充填止め工の設置間隔は、裏込充填材料決定後に裏込充填時の構造計算を行い、段階打設や一括打設する場合の打設量を満足するように決定する。

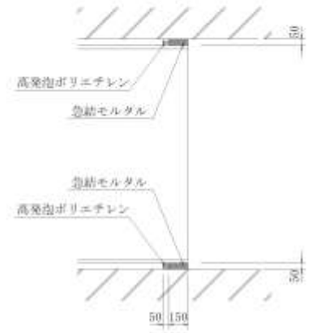


図-6.5.7-2 裏込充填止め工設置図（例）

(12) 裏込充填工

覆工と鋼板の間隙に裏込充填材を注入する。

① 坑外プラントで製造された注入材を、圧送管を通して坑内に圧送し、グラウトホールより注入する。

② インバート部においては、1 番奥のグラウトホールから注入を開始する。両サイドの材料の充填（上昇）具合を見ながら、順次手前のグラウトホールへ移動し注入を行う。最後のグラウトホールでは、端部閉塞工に設けた確認孔より材料の流出（リーク）が確認されたら完了とする。

③ クラウン部においては、1 日目に両サイドのグラウトホールより注入を開始する。材料の入り具合を確認しながら順次手前のグラウトホールへと移動し注入する。

2 日目は、天端の 1 番奥のグラウトホールから注入する。裏込充填止め工の確認孔から材料の流出（リーク）が確認されたら閉塞する。

④ 常時圧力を確認し隣接するグラウトホールより材料が流出（リーク）したら注入を止め、流出したグラウトホールに移動して注入を再開する。順次流出を確認しながら、各グラウトホールで注入を行い裏込充填止め工の確認孔より材料の流出（リーク）が確認されたら注入を完了する。注入中は注入ホースの先端部に取り付けた圧力計を常に監視する。

〔補足〕鋼板内張工法は、既製鋼管とは異なりインバート材の側板が直線に近い形状となるため、

(11) 変形防止材設置

裏込充填の打設に先立ち、鋼板の変形防止として**図-6.4.3-3** に示す変形防止材を取り付ける。

鋼板内張工法は、既製鋼管と異なり特にインバート材の側板は直線に近い形状となるため、裏込充填圧に対して十分に耐え得る支保工を設置する必要がある。

(12) 裏込充填止め工（図-6.5.7-2）

裏込充填打設前に、鋼板端部への裏込充填止め工を施工する。裏込充填止め工の設置間隔は、裏込充填材料決定後に裏込充填時の構造計算を行い、段階打設や一括打設する場合の打設量を満足するように決定する。

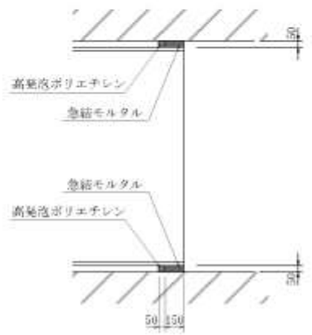


図-6.5.7-2 裏込充填止め工設置図（例）

(13) 裏込充填工

覆工と鋼板の間隙に裏込充填材を注入する。

① 坑外プラントで製造された注入材を、圧送管を通して坑内に圧送し、グラウトホールより注入する。

② インバート部においては、1 番奥のグラウトホールから注入を開始する。両サイドの材料の充填（上昇）具合を見ながら、順次手前のグラウトホールへ移動し注入を行う。最後のグラウトホールでは、端部閉塞工に設けた確認孔より材料の流出（リーク）が確認されたら完了とする。

③ クラウン部においては、1 日目に両サイドのグラウトホールより注入を開始する。材料の入り具合を確認しながら順次手前のグラウトホールへと移動し注入する。

2 日目は、天端の 1 番奥のグラウトホールから注入する。裏込充填止め工の確認孔から材料の流出（リーク）が確認されたら閉塞する。

④ 常時圧力を確認し隣接するグラウトホールより材料が流出（リーク）したら注入を止め、流出したグラウトホールに移動して注入を再開する。順次流出を確認しながら、各グラウトホールで注入を行い裏込充填止め工の確認孔より材料の流出（リーク）が確認されたら注入を完了する。注入中は注入ホースの先端部に取り付けた圧力計を常に監視する。

〔補足〕鋼板内張工法は、既製鋼管とは異なりインバート材の側板が直線に近い形状となるため、

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-18 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」	P.6-18 「6.5.7 鋼板内張工法の施工」

設計板厚に対する裏込充填圧の検討と裏込充填圧に耐え得る変形防止材の配置計画が重要である。変形防止材の強度及び配置間隔は、構造計算により決定する。

(13) ウィープホール設置

裏込充填材が７日強度以上発現した時点でコア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込充填材（や場合により裏込注入材）の充填状況を確認する。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3 水抜工**及び**図-6.4.4-1** を参考にする。

(14) プラグ溶接

裏込充填材注入工のプラグネジ込み部を溶接する。

(15) 内面塗装

鋼板の表面処理（下地処理：ブラスト処理等）、塗装作業を行い、塗装検査を行う。

現場溶接部における鋼板内面の溶剤形エポキシ樹脂塗装方法は、JIS G 3443-4「水輸送用塗覆装鋼管－第４部：内面エポキシ樹脂塗装」の C.3.2 による。

塗装部の検査は、土木工事施工管理基準（管水路工事）による。

なお、流下時の石礫等の摩耗対策としてインバート部分については他の塗装・モルタルを選択する場合もある。

〔補足〕塗装時の留意点として、主に鋼面に結露がないこと、気温 5℃以上かつ湿度 85%以下であること等がある。

(16) 端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（**図-6.5.7-3** 参照）

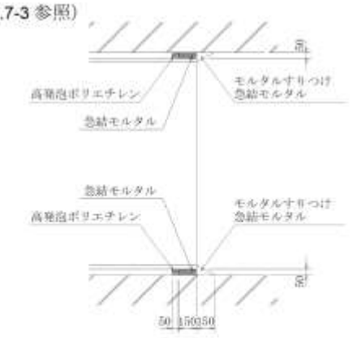


図-6.5.7-3 端部（管口）仕上げ（例）

施工完了状況を**写真-6.5.7-10** に示す。

設計板厚に対する裏込充填圧の検討と裏込充填圧に耐え得る変形防止材の配置計画が重要である。変形防止材の強度及び配置間隔は、構造計算により決定する。

(14) ウィープホール設置

裏込充填材が７日強度以上発現した時点でコア抜きによりウィープホールを設置する。ウィープホールは地山まで削孔し、裏込充填材（や場合により裏込注入材）の充填状況を確認する。ウィープホールの構造、配置については、**4.5.3 水抜工**及び**図-6.4.4-1** を参考にする。

(15) プラグ溶接

裏込充填材注入工のプラグネジ込み部を溶接する。

(16) 内面塗装

鋼板の表面処理（下地処理：ブラスト処理等）、塗装作業を行い、塗装検査を行う。

現場溶接継手部における鋼板内面の液状エポキシ樹脂塗料塗装方法は、「JIS G 3443-4 水輸送塗覆装鋼管 第４部：内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装）」による。

液状エポキシ樹脂塗料塗装の検査は、「JIS G 3443-4 水輸送塗覆装鋼管 第４部：内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装）」及び土木工事施工管理基準（管水路工事）による。

また、流下時の石礫等の摩耗対策としてインバート部分については他の塗装・モルタルを選択する場合もある。

〔補足〕塗装時の留意点として、主に鋼面に結露がないこと、気温 5℃以上かつ湿度 85%以下であること等がある。

(17) 端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（**図-6.5.7-3** 参照）

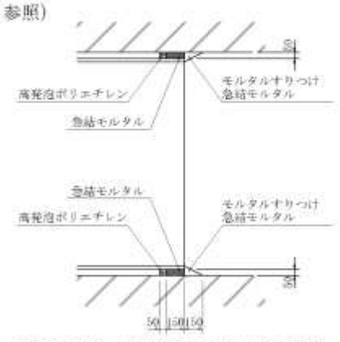


図-6.5.7-3 端部（管口）仕上げ（例）

施工完了状況を**写真-6.5.7-10** に示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-19　「6.6.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理」	P.6-19　「6.6.3.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理」

6.6　鋼板内張工法の施工管理

6.6.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理

鋼板内張工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) 鋼板内張工法に使用する資材の製造管理と品質管理

鋼板内張工法に使用する資材は、表-6.6-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

表-6.6-1　鋼板内張工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
金属部材	鋼製材等 （鋼製材は製作仕様書を提出する）	製作仕様書に基づく寸法等 （入荷ロットごとの品質チェック）
裏込充填材	セメント、モルタル等	圧縮強さ、フロー値等 （原材料の入荷ロットごとの品質チェック）

(2) 鋼板内張工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

1) 金属部材

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

2) 裏込充填材

裏込充填材は水和性を有するため、その保管及び搬送・搬入時には、水漏れや結露がないよう十分に留意し、適切な措置をとらなければならない。

6.6　施工管理と完成検査

6.6.1　施工計画

第４章　対策工法の共通事項　4.7.1　施工計画　を参照

6.6.2　施工管理

第４章　対策工法の共通事項　4.7.2　施工管理　を参照

6.6.3　鋼板内張工法の施工管理

6.6.3.1　鋼板内張工法の材料の承諾及び保管管理

鋼板内張工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) 鋼板内張工法に使用する資材の製造管理と品質管理

鋼板内張工法に使用する資材は、表-6.6.3-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

表-6.6.3-1　鋼板内張工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
金属部材	鋼製材等 （鋼製材は製作仕様書を提出する）	製作仕様書に基づく寸法等 （入荷ロットごとの品質チェック）
裏込充填材	セメント、モルタル等	圧縮強さ、フロー値等 （原材料の入荷ロットごとの品質チェック）

(2) 鋼板内張工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

1) 金属部材

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取り扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

2) 裏込充填材

裏込充填材は水和性を有するため、その保管及び搬送・搬入時には、水漏れや結露がないよう十分に留意し、適切な措置をとらなければならない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-20 「6.6.2 鋼板内張工法の施工時の管理」	P.6-20 「6.6.3.2 鋼板内張工法の施工時の管理」

6.6.2 鋼板内張工法の施工時の管理

鋼板内張工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）内張鋼板設置段階の確認　（2）溶接環境管理　（3）溶接状態の確認
（4）塗装環境管理　（5）塗装状態の確認
（6）裏込充填材物性管理　（7）裏込充填材圧力管理　（8）裏込充填材充填量管理

【解説】

（1）内張鋼板設置状態の確認

内張鋼板設置段階で基準高、内空高さ、内空幅等を測定し確認する。なお、測定項目と管理値については、監督職員の承諾を得るものとする。

（2）溶接環境管理

溶接は、温度、水分等に影響される作業であるから、実施に当たっては常に天候、気温、湿度、風速に注意を払い、悪条件の場合は適当な処置をとらなければならない。気温が低い場合は、硬化割れが生じやすいため、母材の材質、板厚等に応じて、予熱、後熱その他適当な処置をとらなければならない。また、感電事故防止の観点から、作業場所の排水は十分に行わなければならない。

（3）溶接状態の確認

溶接部については、JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」に基づく非破壊検査を実施するとともに、余盛高等の測定により適否を確認する。

（4）塗装環境管理

現場塗装に当たっては、鋼面が結露していないこと、気温が 5℃以上かつ湿度 85%以下であること、並びに粉塵が発生していないことを確認する。結露の有無については、気温、鋼面温度、及び湿度を計測し、「露点管理表（結露判定用記録表）」で事前にチェックするものとする。

結露、気温、湿度の条件を満たさない場合には、強制排気又は使用環境に適する塗料乾燥機器、余熱機器等を用い、それにあった塗装要領を選定して行う。また、塗装工程の短縮等のため強制乾燥を行う場合、加熱温度は塗料製造者の指定する温度とし、局部加熱などのないよう注意しなければならない。

塗装面にほこりや泥が付着している時は、布でふき取る。水分が付着している時は乾いた布でふき取った後、乾燥させる。油分が付着している時は、溶剤を含ませた布で除去する。

塗膜は、指触乾燥までの間に、ほこりや水分が付着しないように養生する。

（5）塗装状態の確認

塗装については、塗膜厚等を測定して確認するとともに、最終工程完了後には外観検査（全面）を行い、ピンホール検査及び膜厚検査を実施する必要がある。

6.6.3.2 鋼板内張工法の施工時の管理

鋼板内張工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）内張鋼板設置段階の施工管理（鋼板設置工、溶接工、塗装工）
（2）裏込充填材物性管理　（3）裏込充填材圧力管理
（4）裏込充填材充填量管理

【解説】

（1）内張鋼板設置状態の確認

内張鋼板設置段階で基準高、内空高さ、内空幅等を測定し確認する。なお、測定項目と管理値については、監督職員の承諾を得るものとする。

内張鋼板設置段階での溶接部については、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による非破壊検査、及び余盛高等の測定により確認する。塗装については塗膜厚等を測定し確認することと、最終工程完了後、外観検査（全面）を行い、ピンホール検査及び膜厚検査を行う必要がある。

（2）裏込充填材物性管理

鋼板内張工法は、自立管路を構築できる工法であるので、内張鋼板と覆工との間隙に注入する裏込充填材の物性値を管理することが重要となる。標準的な裏込充填材の試験項目と試験方法及び測定回数を**表-6.6.3-2** に示す。工法によりゲルタイム測定が必要な場合には、その測定を行い記録する。

なお、実験等の根拠に基づき、別途裏込充填材の性能管理規格値を定めることができる。

充填材物性管理規格値（単位容積質量、フロー値、空気量）
①単位容積質量：材料承諾及び施工計画書での申告値　±100（kg/m³）
②フ ロ ー 値：材料承諾及び施工計画書での申告値　±20（mm）
③空　　気　　量：材料承諾及び施工計画書での申告値　±5（%）

表-6.6.3-2 標準的な管理項目と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
単位容積質量	定量容器で、試料の容積質量を測定する。	2 回/日 （午前・午後）
フロー値	平滑な盤上のフローコーン（φ80mm×H80mm）に試料を水平に満たし、フローコーンを引き上げ 1 分後の広がりを測定する。	2 回/日 （午前・午後）
空 気 量 （参考値）	500cc のメスシリンダーに試料 200cc を入れ、更に 200cc の清水を加えてよく振り、上部に浮揚した気泡にアルコール 100cc を滴下して消泡させ、消泡後の目盛り（B）を読む。 空気量（A）=［{試料（200cc）+水（200cc）+アルコール（100cc）-B} ÷試料（200cc）］×100	2 回/日 （午前・午後）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-21 「6.6.2 鋼板内張工法の施工時の管理」	P.6-21 「6.6.3.2 鋼板内張工法の施工時の管理」

(6) 裏込充填材物性管理

鋼板内張工法は、自立管路を構築できる工法であるので、内張鋼板と覆工との間隙に注入する裏込充填材の物性値を管理することが重要となる。標準的な裏込充填材の試験項目と試験方法及び測定回数を表-6.6-2 に示す。工法によりゲルタイム測定が必要な場合には、その測定を行い記録する。

なお、実験等の根拠に基づき、別途裏込充填材の性能管理規格値を定めることができる。

充填材物性管理規格値（単位容積質量、フロー値、空気量）

①単位容積質量：材料承諾及び施工計画書での申告値 ±100（kg/m³）

②フ ロ ー 値：材料承諾及び施工計画書での申告値 ±20（mm）

③空 気 量：材料承諾及び施工計画書での申告値 ±5（%）

表-6.6-2 標準的な管理項目と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
単位容積質量	定量容器で、試料の容積質量を測定する。	2回/日 （午前･午後）
フロー値	平滑な盤上のフローコーン（φ80mm×H80mm）に試料を水平に満たし、フローコーンを引き上げ1分後の広がりを測定する。	2回/日 （午前･午後）
空気量 （参考値）	500cc のメスシリンダーに試料 200cc を入れ、更に 200cc の清水を加えてよく振り、上部に浮揚した気泡にアルコール 100cc を滴下して消泡させ、消泡後の目盛り（B）を読む。 空気量（A）＝［［試料（200cc）+水（200cc）+アルコール（100cc）−B］/試料（200cc）］×100	2回/日 （午前･午後）

(7) 裏込充填材圧力管理

裏込充填材の注入圧力は現場に応じて変動するため、設計値以下で管理を行う。

(8) 裏込充填材充填量管理

裏込充填止め工の確認孔から裏込充填材が流出（リーク）することにより、裏込充填材の充填完了確認を行い、裏込充填材打設量が設計量と比較して適正であるかを確認する。

充填後はウィープホール（水抜工）削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。

ウィープホールによる確認の頻度は、覆工コンクリートの1スパン（継目間隔）に1箇所を標準とする。確認位置は注入孔間の中央部を標準とする。継目位置が明らかでない場合は、12m 程度に1箇所を目安に充填状況確認を行う。

(3) 裏込充填材圧力管理

裏込充填材の注入圧力は現場に応じて変動するため、設計値以下で管理を行う。

(4) 裏込充填材充填量管理

裏込充填止め工の確認孔から裏込充填材が流出（リーク）することにより、裏込充填材の充填完了確認を行い、裏込充填材打設量が設計量と比較して適正であるかを確認する。

充填後はウィープホール（水抜工）削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。

ウィープホールによる確認の頻度は、覆工コンクリートの1スパン（継目間隔）に1箇所を標準とする。確認位置は注入孔間の中央部を標準とする。継目位置が明らかでない場合は、12m 程度に1箇所を目安に充填状況確認を行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-22　「6.6.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理」	P.6-22　「6.6.3.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理」

6.6.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

内張鋼板と覆工の間隙に注入する充填材の出来形管理は充填量及びコア抜きにより行う。品質管理は、一軸圧縮強さ（材齢 28 日に圧縮強さが設計圧縮強さ以上、下限値 1.0N/mm²）とする。

【解説】

出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）」によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

充填材の品質管理は、充填量（充填材の逸出）及び一軸圧縮強さにより行う。試験方法及び測定回数を表-6.6-3 に示す。なお、現地では早期に強度を確認する必要があるため、強度発現の速度を事前に確認した上で、短い材齢での一軸圧縮強さにより材齢 28 日の強さを推定してよいこととする。

表-6.6-3　標準的な管理値と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
一軸圧縮強さ	JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」による。 供試体の作製は JIS A 1132「コンクリートの強度試験用供試体の作り方」による。	1 回/日

計測等による出来形管理、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。

6.6.3.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

内張鋼板と覆工の間隙に注入する充填材の出来形管理は充填量、品質管理は一軸圧縮強さ 1.0N/mm² 以上（材齢 28 日）とする。

【解説】

出来形管理は、土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）による。記載されていない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。

充填材の品質管理は、充填量（充填材の逸出）及び一軸圧縮強さ 1.0N/mm² 以上（材齢 28 日）により行う。試験方法及び測定回数を表-6.6.3-3 に示す。なお、現地では早期に強度を確認する必要があるため、強度発現の速度を事前に確認した上で、短い材齢での一軸圧縮強さにより材齢 28 日の強さを推定してよいこととする。

表-6.6.3-3　標準的な管理値と試験法及び測定回数（例）

試験項目	試験方法	測定回数
一軸圧縮強さ	JIS A 1216（土の一軸圧縮試験方法）による。 供試体の作製は JIS A 1132（コンクリートの強度試験用供試体の作り方）による。	1 回/日

計測等による出来形管理、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-23　「6.7　鋼板内張工法の補修」	

6.7　鋼板内張工法の補修

鋼板内張工法は、劣化部の補修により施設の長寿命化を図ることができる。

【解説】

鋼板内張工法を構成する内張鋼板の劣化は主として腐食によるものであるため、腐食の特性や現象を踏まえて説明するとともに、耐久性回復を目的とした補修方法を提示する。

6.7.1　鋼板内張工法の劣化

鋼板内張工法を構成する内張鋼板の劣化は，内面塗装の劣化が主たる要因で発生する鋼面腐食である。

【解説】

内張鋼板の劣化は、摩耗や当て傷、塗装の経年劣化に伴う腐食（錆）が主である。一般に塗装鋼材の劣化は、高湿潤環境では塗膜を透過した水や酸素が接着界面に浸入し、接着強度の低下、ブリスター（膨れ）の発生、鋼面の腐食という劣化現象を生じて進行する。**図-6.7.1-1** にその進行過程を模式的に示す。また、**写真-6.7.1-1～6.7.1-4** に鋼板製内張工の腐食状況を示す。なお、**写真-6.7.1-4** は土砂礫を含む水流摩耗で塗装が削れ鋼材が腐食（発錆）したものであり、他の写真とは劣化のメカニズムが異なる。

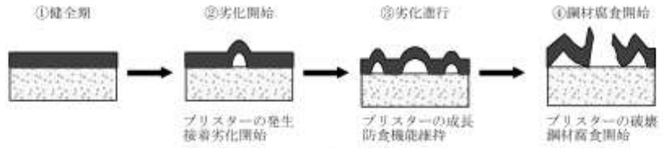


図-6.7.1-1　内面塗装鋼材の劣化過程概念図

（JWWA K 157:2013「水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」、日本水道協会、p.44 を改変して転載）



写真-6.7.1-1　点的なブリスター（膨れ）



写真-6.7.1-2　面的なブリスター（膨れ）

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-24　「6.7.1　鋼板内張工法の劣化」	
 写真-6.7.1-3　面的な塗膜浮き・剥離  写真-6.7.1-4　インバート材の摩耗腐食	新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-25　「6.7.2　鋼板内張工法に対する補修の概要」	

6.7.2　鋼板内張工法に対する補修の概要

鋼板内張工法は、腐食等の劣化部を補修すれば比較的容易に機能回復が可能である。塗装補修と当て板補修は、内張鋼板の機能維持に有効な手法である。

【解説】

鋼板内張工法は、平成元年頃から水路トンネルの改修工事に適用されており、供用期間の長い施設においては塗装の劣化や鋼面の腐食劣化が進行している場合がある。このような場合には、内張工の劣化状況を計測器等を用いて調査し、傷みが進んでいる箇所を対象に補修を行い、施設の長寿命化を図ることが機能維持の有効な手法である。本項では、鋼板内張工法の補修技術である塗装補修と当て板補修について記載する。

なお、現在供用中の鋼板内張工法において、当て板補修の適用実績は未だないが、長寿命化対策の展開を見据え、選択肢の一つとして当て板補修についても記載した。



写真-6.7.2-1　水路トンネルにおける塗装補修の事例



写真-6.7.2-2　当て板補修の事例（鋼管外面）

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6.26　「6.7.3　鋼板内張工法の補修対策の要求性能、性能照査」	

6.7.3　鋼板内張工法の補修対策の要求性能、性能照査

鋼板内張工法の補修対策の要求性能は、現場条件に応じて適切に設定する。

【解説】

（1）性能照査の基本的な考え方

補修対策の性能照査に当たっては、補修に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験等で確認することで性能照査とする。

補修対策が所要の性能を有することを確認するためには、これに加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう施工計画が適切であることを、あらかじめ確認しておかなければならない。

（2）照査方法と品質規格値の考え方

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えばJIS等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。補修対策の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を表-6.7.3に示す。

耐久性：第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

表-6.7.3　鋼板内張工法の補修対策に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐久性	耐久性を有する	すみ肉溶接部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	溶接完了後に外観検査を行う
				塗装部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	外観、塗膜の厚さ、ピンホール、付着性を確認する

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-27　「6.7.4　鋼板内張工法の補修対策の適用性」	

6.7.4　鋼板内張工法の補修対策の適用性

鋼板内張工法の補修対策は、鋼板の劣化形態や劣化の程度に応じて適切に選定する。

【解説】

鋼板内張工法の補修対策は、鋼板の劣化形態によって異なるので、図-6.7.4-1 に示すフローに従い補修方法を選定する。

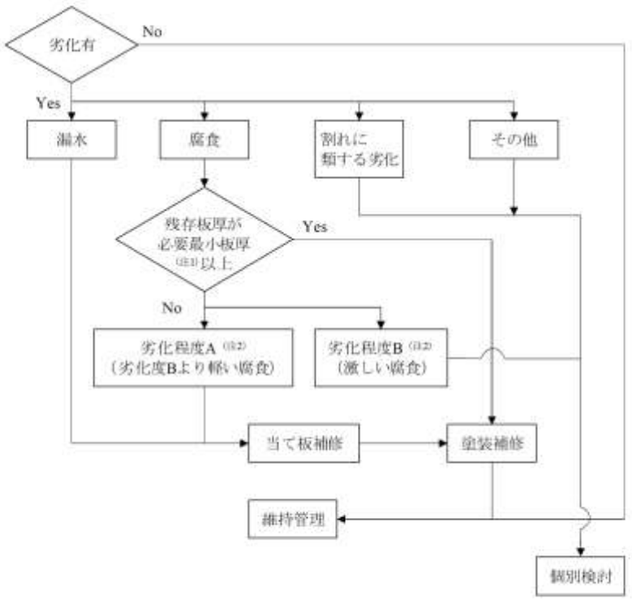


図-6.7.4-1　劣化対策選定フロー　＊

（注1）　必要最小板厚は、「許容応力度を降伏強度で除した値」を基本とする。実運用上は公称板厚の 70%を必要最小板厚としてよい。

（注2）　表-6.7.4-1 参照

図-6.7.4-1 のフローに従い補修するときは、劣化の程度（面積や深さ等）によって補修方法を選定する。劣化の範囲は、数 cm^2 の小さな面積から数 m^2 の比較的大きな面積まで想定される。劣化の深さも様々であり、劣化形態を定型化（劣化度と腐食面積大中小等で区分）することは困難と考え、表-6.7.4-1 のように劣化程度を分類した。なお、予算や工程上の制約などで対策範囲の制限がある場合は、リスクの大きな変状から順に対策箇所を設定する必要がある。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-28　「6.7.4　鋼板内張工法の補修対策の適用性」	

表-6.7.4-1　劣化程度別の補修方法選定の目安　＊

劣化度	鋼板の状態	通常の劣化	周方向劣化など特殊形態
A	必要最小板厚未満で、かつ劣化度Bよりも程度が軽く、表面清掃が可能な腐食がある。	当て板	個別検討
B	表面清掃を行うと貫通し、開口するほど著しい腐食が進行している状態。	更新又は個別検討	個別検討

多くの場合、当て板で補修できると考えられるが、まれなケースもあるため表-6.7.4-1 のとおり区分した。個別検討となる場合は、補修の経験や溶接の知見が豊富な施工会社に検討を依頼することが望ましい。

6.7.4.1　塗装補修の適用性

内張鋼板の内面塗装が劣化した部分や、劣化部の調査や当て板補修により鋼面が露出した部分は、既設同等以上の防食性能を有する塗装方法で補修しなければならない。塗装の補修材料は、既設塗装の種類や補修深さに応じて選定する。

【解説】

防食性能の確保には、劣化した塗装の確実な除去と共に、補修の施工環境の確保と各工程管理が非常に重要である。

本来、塗装の補修には、既設の鋼板内張工法で使用している材料と同じものを使用することが望ましいが、施工年数が古い施設では現在あまり使用されていない材料を採用しているものもあるため、「既設同等以上の防食性能を有する」ものとした。

鋼板内張工法で従来使用されていた塗装材料に対する標準的な補修材料を表-6.7.4.1-1 に示す。また、表-6.7.4.1-2 に鋼板内張工法の内面補修で実績のある補修材料の特徴を示す。なお、鋼板内張工法の補修材料の選択については、経済的な JIS G 3443-4 の溶剤形エポキシ樹脂塗装を基本とする。

表-6.7.4.1-1　既設内面塗装と補修材料の関係

既設内面塗装	内面塗装の補修材料
タールエポキシ樹脂塗装	溶剤形エポキシ樹脂塗装　0.5mm 以上 又は（プライマー＋無溶剤形エポキシ樹脂塗装 0.5mm 以上）(注1)
溶剤形エポキシ樹脂塗装 （液状エポキシ樹脂塗装）	

（注1）工期を短くしたい場合や補修面積が小さい箇所においては、（　）で示した無溶剤形エポキシ樹脂塗料を使用してもよい。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-29　「6.7.4.1　塗装補修の適用性」	

表-6.7.4.1-2　内面塗装の補修材料の特徴

内面塗装の補修材料	長　所	短　所
溶剤形エポキシ樹脂塗装	経済性に優れる。 鋼面の下地処理は汎用工具でも可能（ISO 8501-1 の St3 以上）。	有機溶剤に対する換気が必要。 塗装回数が多い。
無溶剤形エポキシ樹脂塗装	厚塗りが容易であり、塗装回数が少ない。 有機溶剤対策が不要。	溶剤形に比べて、塗料単価・施工単価ともに高価。 鋼面の下地処理に専用工具が必要。 塗装機を用いる場合、機材寸法の関係で断面に制限がある。

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-30　「6.7.4.2　当て板補修の適用性」	

6.7.4.2　当て板補修の適用性

当て板補修は、腐食箇所の状況や現場の施工条件などを考慮し、適切な方法で実施する。

【解説】

当て板補修は、簡便に構造鋼板の機能を回復し、健全性を確保できることから、広く適用されている補修工法である。

（1）当て板による補修例

水路内面からの当て板補修においては、劣化箇所の状況（腐食形態、発生位置等）に応じて、当て板形状を決定する。水路内面から施工する当て板補修の例を**図-6.7.4.2-1** に示す。

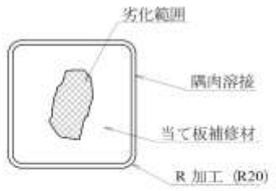


図-6.7.4.2-1　当て板による補修例　※

（2）当て板の使用材料及び形状

当て板の材料は、既設鋼板と同じ鋼材又は同等品を用いる。当て板に使用する材料は、JIS G3101 に規定する一般構造用圧延鋼材（SS400）又は JIS G3106 に規定する溶接構造用圧延鋼材（SM490）の鋼板を用いる。

当て板の形状は、必要に応じて曲げロール加工やプレス加工等を行い、既設鋼板の曲率に合う形状にする。

（3）当て板の厚さ

当て板の厚さは、既設鋼板の公称板厚に応じた必要厚さとする。当て板の厚さ一覧表を**表-6.7.4.2-1** に示す。

当て板の厚さは、既設鋼板の板厚と同等以上であることが望ましいが、板厚が厚い場合の施工性を考慮して、少なくとも必要最小板厚（既設鋼板の公称板厚の 70%）以上の厚さを確保する。当て板と既設鋼板の厚さの関係を**図-6.7.4.2-2** に示す。

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.6-31　「6.7.4.2　当て板補修の適用性」

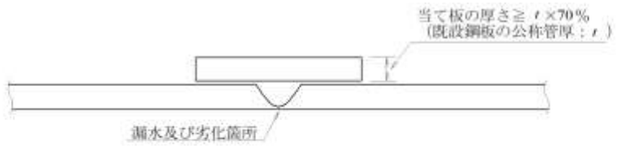


図-6.7.4.2-2　当て板と既設鋼板の厚さの関係　＊

表-6.7.4.2-1　当て板の厚さ一覧表

既設鋼板厚（mm）	当て板の厚さ（mm）(注1)	SS400 鋼板の適用例（mm）(注2)	既設鋼板厚（mm）	当て板の厚さ（mm）(注1)	SS400 鋼板の適用例（mm）(注2)
6	4.2 以上	6.0（5.50）	17	11.9 以上	16.0（15.35）
7	4.9 以上	6.0（5.50）	18	12.6 以上	16.0（15.35）
8	5.6 以上	9.0（8.45）	19	13.3 以上	16.0（15.35）
9	6.3 以上	9.0（8.45）	20	14.0 以上	16.0（15.35）
10	7.0 以上	9.0（8.45）	21	14.7 以上	16.0（15.35）
11	7.7 以上	9.0（8.45）	22	15.4 以上	19.0（18.35）
12	8.4 以上	9.0（8.45）	23	16.1 以上	19.0（18.35）
13	9.1 以上	12.0（11.45）	24	16.8 以上	19.0（18.35）
14	9.8 以上	12.0（11.45）	25	17.5 以上	19.0（18.35）
15	10.5 以上	12.0（11.45）	26	18.2 以上	19.0（18.35）
16	11.2 以上	12.0（11.45）	27	18.9 以上	22.0（21.35）

（注 1）：既設鋼板の必要最小板厚（公称板厚×70%）以上

（注 2）：鋼板の規格で板幅 1600mm 未満の鋼板を用いた場合の適用例。（　）内は鋼板のマイナス許容差から算出した最小厚さを示している。許容差については JIS G 3193「熱間圧延鋼板及び鋼帯の形状、寸法，質量及びその許容差」に準拠している。適用する当て板の厚さは、鋼板のマイナス許容差も踏まえ、必要最小板厚を確保する鋼板を選択する。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-32　「6.7.5.1　塗装補修の施工」	

6.7.5　鋼板内張工法の補修対策の施工方法

6.7.5.1　塗装補修の施工

塗装補修は、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

内張鋼板の劣化部に塗装を施す場合は、劣化部の凹みや当て板の凸部に応じて整形を行うなど、補修対策特有の処置が必要となる。これらの工程を織り込んだ塗装補修の標準作業フローを図-6.7.5.1-1 示す。

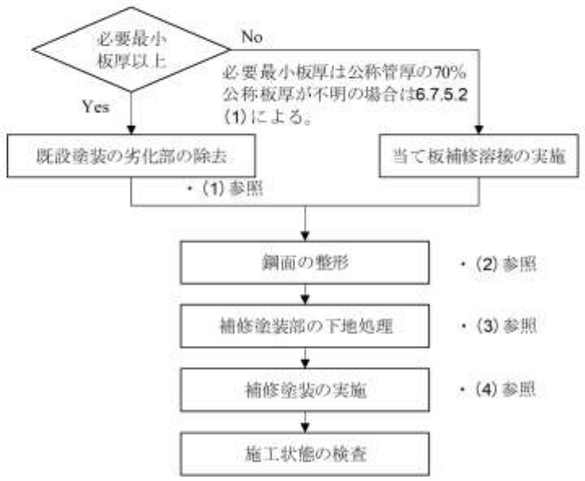


図-6.7.5.1-1　塗装補修の標準作業フロー　＊

(1) 既設塗装の劣化部の除去

既設塗装の劣化部は、適切に除去しなければならない。劣化した既設塗装の表面にそのまま補修塗装を施すと、ピンホールや外観上の欠陥の原因となるので、劣化部とその周辺を含めて鋼面まで完全に既設塗装を除去する必要がある。

(2) 鋼面劣化部の整形方法

鋼面の劣化部は、適切な方法で整形しなければならない。塗装の補修に先立ち、補修塗装の膜厚が確保できる鋼面形状にするために劣化部を整形する。

当て板溶接を行わない場合は、補修鋼面全体が確実に下地処理できるように、劣化部の凹凸をディスクサンダー等で研削し、劣化部をなだらかにする（図-6.7.5.1-2 参照）。狭小な孔食であっても

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-33　「6.7.5.1　塗装補修の施工」	

下地処理が可能となるよう、ピットの形状をなだらかに整形する（図-6.7.5.1-3 参照）。

当て板補修溶接を行う場合は、当て板補修溶接の隅肉溶接の形状が均一な塗膜厚確保に支障を来すか確認し、必要な箇所は滑らかに整形する（図-6.7.5.1-4 参照）。

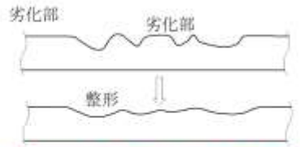


図-6.7.5.1-2　面的な劣化部の整形方法



図-6.7.5.1-3　狭小な孔食部の整形方法

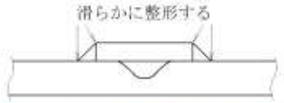


図-6.7.5.1-4　当て板補修溶接部の整形方法

（3）下地処理

鋼面劣化部の補修塗装を行う前に、下地処理を行う。図-6.7.5.1-5 に当て板をしない場合とする場合に分けて、下地処理の概念図を示す。

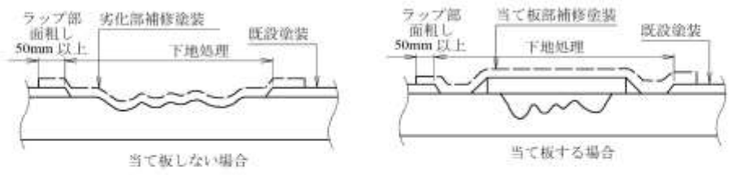


図-6.7.5.1-5　下地処理の概要図　＊

1）補修塗装する前に既設鋼板塗装ラップ部の水垢や塵埃等の異物を除去する。
2）鋼面は、ブラスト処理によって JIS Z 0313 の $Sa2\frac{1}{2}$ 以上の等級に仕上げるか、又はロータリー式下地処理によって SSPC-SP11（ISO 8501-1 の Sa2 相当）の等級に仕上げる。
3）塗装の劣化部は、既設塗装と補修塗装のラップ部の長さが 50mm 以上となるように劣化部周辺をマスキングテープで囲い、ディスクサンダー、サンドペーパー等で表層だけ面粗しを実施する。また、健全な塗膜の端部になだらかなテーパーを付ける。
4）溶剤を含んだウエスで油分と面粗しカスを除去する。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-34　「6.7.5.1　塗装補修の施工」	



工具本体



プラスターブラシ

図-6.7.5.1-6　ロータリー式下地処理工具（例）

（4）塗装補修の方法

塗装は、現地での下地処理完了後、速やかに行うこと。塗装補修に使用する塗料は**表-6.7.4.1-1** に示す塗料とする。塗装補修は、塗膜に異物の混入、ピンホール、塗りむら、塗り漏れなどがないようにして、エアレス塗装機又はこれと同等以上の性能をもつ塗装機を用いて塗装する。手塗りする場合は、はけ、へら又はローラを用いて塗装する。

補修塗装の膜厚は、既設塗装の仕様に合わせることとし、補修塗装は既設塗装に 50mm 以上ラップさせる（**図-6.7.5.1-7** の※1）。

当て板ありの場合の補修方法を**図-6.7.5.1-8** に示す。

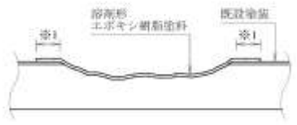


図-6.7.5.1-7　塗装の補修方法

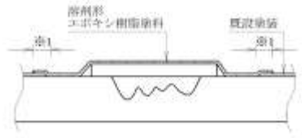


図-6.7.5.1-8　当て板補修部の補修方法

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-35 「6.7.5.2　当て板補修の施工」	

6.7.5.2　当て板補修の施工

当て板補修は、現場条件を十分踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

当て板補修は腐食箇所の状況や現場の施工条件等を考慮して適切な方法で実施する。当て板補修のフローを図-6.7.5.2-1 に示す。

1) 腐食形態は様々であるので、当て板の形状は腐食箇所の状況に応じて対処する。補修が広範囲となる場合は、現場での施工性を考慮して、当て板を分割しても良い。
2) 腐食箇所からの漏水や湧水の浸入がある場合は、止水を行ったうえで当て板補修を実施する。止水方法等、経験やノウハウが必要な場合は、経験が豊富な施工会社に検討を依頼することが望ましい。

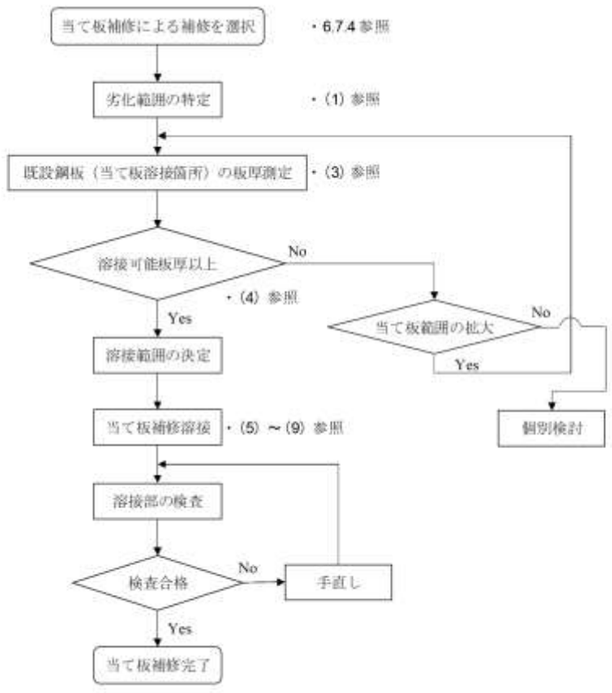


図-6.7.5.2-1　当て板補修のフロー

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-36 「6.7.5.2　当て板補修の施工」	

（1）劣化範囲の特定

超音波厚さ計及びデプスゲージを用いて内張鋼板の健全箇所及び劣化箇所の板厚を測定し、残存板厚が必要最小板厚（既設公称板厚の 70%）以下の箇所を劣化範囲として特定する。劣化範囲の測定手順を以下に、板厚確認例を図-6.7.5.2-2 に示す。

1）鋼板表面が健全な箇所で板厚測定を行い、既設鋼板の公称板厚を確認する。測定は、劣化箇所から数十 cm 程度離れた位置で、ばらつきを考慮して数点～十点程度実施する。（測定 A）

2）劣化箇所の凹み深さをデプスゲージで測定する。（測定 B）
測定 A の板厚からデプスゲージの測定値を引くことで、残存板厚が求まる。

3）前項で確認した凹みの周囲の板厚を超音波厚さ計で測定し、周囲の板厚の状況を確認する。（測定 C）

4）残存板厚（測定 A－測定 B）及び測定 C の測定結果において、必要最小板厚以下の箇所を劣化範囲とする。

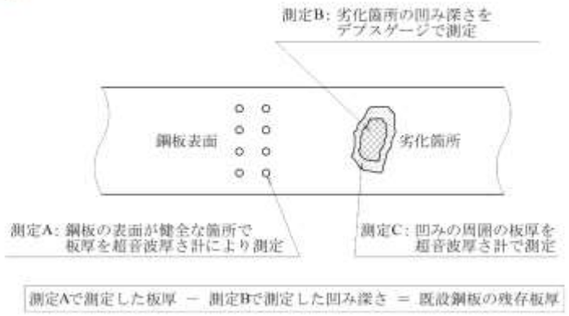


図-6.7.5.2-2　劣化箇所周囲の板厚確認例　＊

（2）当て板補修の範囲

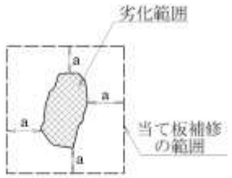
1）当て板の大きさは、特定した劣化範囲を 25mm 以上覆う大きさとする。当て板補修の範囲例を図-6.7.5.2-3 に示す。

2）溶接する箇所に腐食などの凹凸があると、溶接時にアーク長が不安定となり、溶接欠陥の原因となる。このため、平坦な箇所で溶接が行えるように範囲を設定する。設定できない場合は、当て板の大きさを調整するなどして対処する。

3）当て板の補修における溶接箇所の近傍に既設鋼板の溶接線がある場合は、溶接線から 50mm 以上の離隔を設ける。

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-37　「6.7.5.2　当て板補修の施工」	



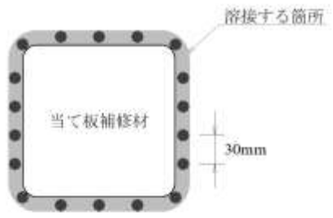
a部：25mm以上

図-6.7.5.2-3　当て板補修の範囲例　＊

(3) 当て板補修における溶接箇所の既設板厚測定

1) 溶接の実施可否を判断するため、当て板補修における溶接箇所の板厚測定を実施する。

2) 溶接を行う前に、超音波厚さ計で溶接箇所の周囲の板厚を測定する。測定間隔は、30mm を超えない範囲とする。溶接箇所の既設板厚測定例を図-6.7.5.2-4 に示す。



●：板厚測定箇所（測定間隔30mm）

図-6.7.5.2-4　当て板補修における溶接箇所の既設板厚測定例　＊

3) 測定した板厚が、表-6.7.5.2-1 に示す溶接可能板厚以上であれば溶接可能と判断する。溶接可能板厚未満である場合は、溶接可能板厚以上の板厚となる箇所まで、当て板補修の範囲を広げる。

(4) 当て板補修における溶接箇所の溶接可能板厚

当て板を溶接する場合，品質（溶け込み深さ）や適切な能率，必要最小板厚の確保と溶接時の溶け落ち防止を考慮して溶接可能板厚を設定する必要がある。これらの要因を踏まえた公称板厚別の溶接可能板厚を表-6.7.5.2-1 に示す。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-38　「6.7.5.2　当て板補修の施工」	新　規

表-6.7.5.2-1　鋼板板厚別の溶接可能板厚

鋼板板厚（mm）	溶接可能板厚（mm）	鋼板板厚（mm）	溶接可能板厚（mm）	鋼板板厚（mm）	溶接可能板厚（mm）
6	4.5	14	9.8	21	14.7
7	4.5	15	10.5	22	15.4
8	6.0 (注1)	16	11.2	23	16.1
9	6.0 (注1)	17	11.9	24	16.8
10	6.0 (注1)	18	12.6	25	17.5
11	6.6 (注1)	19	13.3	26	18.2
12	8.4	20	14.0	27	18.9
13	9.1				

（注1）：板厚測定で確認した既設鋼板（当て板補修における溶接箇所）の板厚が、公称板厚のマイナス側許容差内である場合は、必要最小板厚以上とする。

（5）内面塗装の除去範囲

溶接箇所に近接する内面塗装は、溶接時の溶接熱の影響を受けて劣化することが考えられるため、影響範囲の内面塗装を除去する。内面塗装の除去範囲例を図-6.7.5.2-5 に示す。

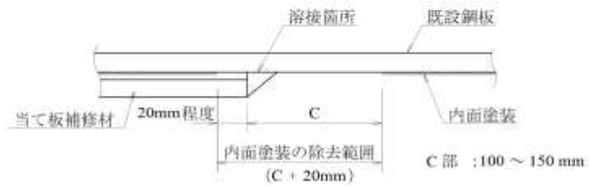


図-6.7.5.2-5　内面塗装の除去範囲例　※

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-39　「6.7.5.2　当て板補修の施工」	

(6) 溶接方法

溶接方法は、現場での施工性、溶接に要する時間及び適用実績等を考慮し、被覆アーク溶接で実施することを原則とする。

(7) 溶接士

補修溶接を行う溶接士は、JIS Z 3801「手溶接技術検定における試験方法及び判定基準」に規定された試験合格者、又はこれと同等以上の技量を有する者とする。

(8) 溶接機器及び材料

溶接機器及び溶接材料は、JIS（日本産業規格）適合品を使用することを基本とする。表-6.7.5.2-2 に標準的な溶接機器及び溶接材料の規格を示す。

表-6.7.5.2-2　溶接機器及び材料の規格

項　目	JIS 規格番号	表　題
溶接機	C 9300-1	アーク溶接装置－第 1 部：アーク溶接電源
トーチ	C 9300-7	アーク溶接装置－第 7 部：トーチ
溶接ホルダ	C 9300-11	アーク溶接装置－第 11 部：溶接棒ホルダ
溶接ケーブル	C 3404	溶接用ケーブル
溶接棒	Z 3211	軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用被覆アーク溶接棒

(9) 補修溶接（すみ肉溶接）の条件

すみ肉溶接は、溶け落ちを考慮して、既設鋼板の公称板厚によって溶接条件を設定する。また、すみ肉溶接の外観形状は、図-6.7.5.2-6 に示すのど厚及び脚長を確保する。

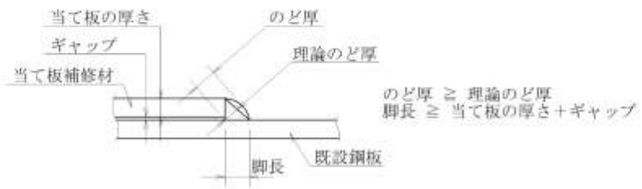


図-6.7.5.2-6　すみ肉溶接ののど厚及び脚長　＊

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-40　「6.7.6.1　塗装補修・当て板補修の材料の承諾及び保管管理」	

6.7.6　鋼板内張工法の補修対策の施工管理

6.7.6.1　塗装補修・当て板補修の材料の承諾及び保管管理

塗装補修に使用する材料については、材料、配合、物性値管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。当て板補修に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び運搬・搬入時の環境条件は適正なものとする。

【解説】

塗装補修に使用する材料については、品質規格を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。当て板補修に用いる金属部材については、入荷ロットごとの品質チェックを行う。また、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

6.7.6.2　塗装補修・当て板補修の施工時の管理

塗装補修及び当て板補修の施工管理においては、次の項目について確認を行う。

(1)　施工環境管理（塗装工、当て板溶接）

(2)　施工管理（塗装工、当て板溶接）

【解説】

(1) 塗装環境管理

現場塗装に当たっては、鋼面が結露していないこと、気温が5℃以上、かつ、湿度85%以下であることを確認する。結露の有無については、気温、鋼面温度及び湿度を計測し、「露点管理表（結露判定用記録表）」で事前にチェックするものとする。

結露、気温、湿度の条件を満たさない場合には、強制排気又は使用環境に適する塗料乾燥機器、余熱機器等を用い、それにあった塗装要領を選定して行う。また、塗装工程の短縮等のため強制乾燥を行う場合、加熱温度は塗料製造者の指定する温度とし、局部加熱などのないよう注意しなければならない。

(2) 塗装状態の確認

塗装については塗膜厚等を測定し確認することと、最終工程完了後、外観検査（全面）を行い、ピンホール検査及び膜厚検査を行う必要がある。

(3) 溶接環境管理

溶接は温度や水分等の影響を受けやすい作業であるため、実施に当たっては常に天候、気温、湿度及び風速に注意を払い、悪条件の場合は適切な処置を講じなければならない。気温が低い場合は、硬化割れが生じやすいため、母材の材質、板厚等に応じて、予熱、後熱その他適当な処置をとらなければならない。また、感電事故防止の観点から、作業場所の排水は十分に行わなければならない。

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.6-41　「6.7.6.2　塗装補修・当て板補修の施工時の管理」	

(4) 溶接状態の確認

溶接部については、外観検査によりのど厚や脚長を測定し確認するものとする。

6.7.6.3　塗装補修・当て板補修の出来形管理及び品質管理

塗装工及び溶接工の出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

【解説】

出来形管理は「土木工事施工管理基準（管水路工事）」によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

本章の図表の末尾に＊が付いたものは，WSP 081-2020「鋼管路の更新診断マニュアル（診断から劣化調査・補修まで）」、日本水道鋼管協会を参考に作成した。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-1 「7.1 工法概要」	P.7-1 「7.1 工法概要」

第７章　既製管挿入工法

7.1　工法概要

既製管挿入工法は、既設トンネル内に既製管を挿入し、挿入管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法であり、管種や管体の形状から分類できる。

【解説】

既製管挿入工法は、覆工を取り壊すことなく、既設トンネルの形状寸法内に合わせてあらかじめ製作した鋼管、FRPM 管等を、既設トンネル内に挿入し、挿入管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法である。管体の形状については円形管と馬てい形管が適用されている（**図-7.1.1** 参照）。

既製管挿入工法は、覆工の失われた耐荷性能を補う目的（自立管）で適用する。また、水路システムの再編に伴い、圧力トンネルの内張管として適用される場合もある。

本書では、自立管として適用する既製管挿入工法を対象とする。

（1）適用条件

① 覆工の老朽度合が著しく、地圧等の外圧を負担できない場合
② 地山条件が悪く、覆工に手をかけると危険である場合
③ 水路システムの再編等により、圧力トンネルの内張管として更新する場合は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月、第 7 章　圧力トンネル）に準拠して設計する（本書の適用外）。

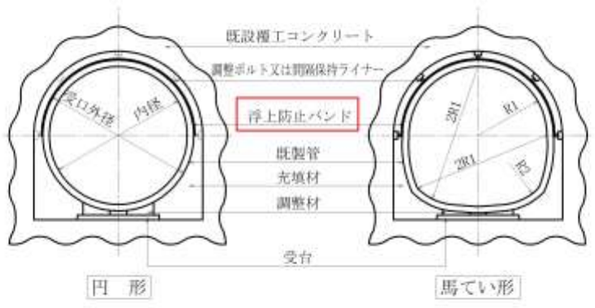


図-7.1.1　既製管挿入工法（例）

（2）工法の特徴

既製管挿入工法は、鋼管、FRPM 管等を既設トンネルに運搬、引込み、据付けを行い、覆工と挿入管との間隙に裏込充填材を充填する工法である。**図-7.1.2** に実績のある既製管挿入工法の分類を示す。

第７章　既製管挿入工法

7.1　工法概要

既製管挿入工法は、既設トンネル内に既製管を挿入し、挿入管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法であり、管種や管体の形状から分類できる。

【解説】

既製管挿入工法は、覆工を取り壊すことなく、既設トンネルの形状寸法内に合わせてあらかじめ製作した鋼管、FRPM 管等を、既設トンネル内に挿入し、挿入管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法である。管体の形状については円形管と馬てい形管が適用されている（**図-7.1.1** 参照）。

既製管挿入工法は、覆工の失われた耐荷性能を補う目的（改修工法：自立管）で適用する。また、水路システムの再編に伴い、圧力トンネルの内張管として適用される場合もある。

本書では、改修工法（自立管）として適用する既製管挿入工法を対象とする。

（1）適用条件

① 覆工の老朽度合が著しく、地圧等の外圧を負担できない場合
② 地山条件が悪く、覆工に手をかけると危険である場合
③ 水路システムの再編等により、圧力トンネルの内張管として更新する場合は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月、第 7 章　圧力トンネル）に準拠して設計する（本書の適用外）。

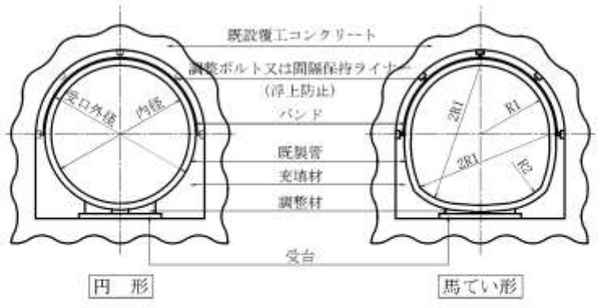


図-7.1.1　既製管挿入工法（例）

（2）工法の特徴

既製管挿入工法は、鋼管、FRPM 管等を既設トンネルに運搬、引込み、据付けを行い、覆工と挿入管との間隙に裏込充填材を充填する工法である。**図-7.1.2** に実績のある既製管挿入工法の分類を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-2 「7.1 工法概要」	P.7-2 「7.1 工法概要」



図-7.1.2 既製管挿入工法の分類

鋼管挿入工法は、普通鋼管を使用する工法と、既設トンネルの内空断面に近い口径を確保する目的で、あらかじめ縮径した巻込鋼管を使用する工法がある。**図-7.1.3** に巻込鋼管の拡管状況を示す。普通鋼管を挿入する場合は、既設内空断面の 100mm 落ちサイズで施工することができる。また、巻込鋼管を使用する場合は 40mm 落ちサイズで施工できる。

FRPM 管挿入工法は、円形 FRPM 管を挿入する工法（**写真-7.1.1**）や馬てい形 FRPM 管を挿入する工法（**写真-7.1.2**）がある。また、近年、FRPM 管内に浮力を発生させる浮体を設置し、通水しながら管を浮上させて運搬する工法も開発・実用化されている。

覆工表面と挿入管受口外径との間隔は、覆工最小部分から 20mm 以上とすることが多い。また、インバート部では、運搬方法（レール式、タイヤ式）、台車構造（積載タイプ、キャスター付の埋め殺しタイプ）及びインバートの形状（曲線形、水平形）によって必要な離隔が異なるので、これらを勘案して挿入管の運搬方法を決定する。

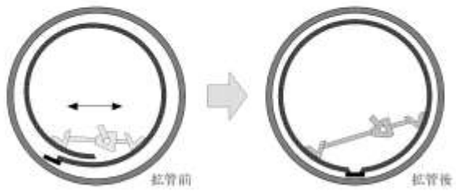


図-7.1.3 巻込鋼管拡管状況



図-7.1.2 既製管挿入工法の分類

鋼管挿入工法は、普通鋼管を使用する工法と、既設トンネルの内空断面に近い口径を確保する目的で、あらかじめ縮径した巻込鋼管を使用する工法がある。**図-7.1.3** に巻込鋼管の拡管状況を示す。普通鋼管を挿入する場合は、既設内空断面の 100mm 落ちサイズで施工することができる。また、巻込鋼管を使用する場合は 40mm 落ちサイズで施工できる。

FRPM 管挿入工法は、円形 FRPM 管を挿入する工法（**写真-7.1.1**）や馬てい形 FRPM 管を挿入する工法（**写真-7.1.2**）がある。また、近年、FRPM 管内に浮力を発生させる浮体を設置し、通水しながら管を浮上させて運搬する工法も開発・実用化されている。

覆工表面と挿入管受口外径との間隔は、覆工最小部分から 50mm 以上とすることが多い。また、インバート部では、運搬方法（レール式、タイヤ式）、台車構造（積載タイプ、キャスター付の埋め殺しタイプ）及びインバートの形状（曲線形、水平形）によって異なるので、これらを勘案して挿入管の管径を決定する。

既製管挿入工法は、既設水路トンネルの補強を目的とする場合と、水路システムの変更に伴うオープン水路のパイプライン化を目的として適用されている場合がある。

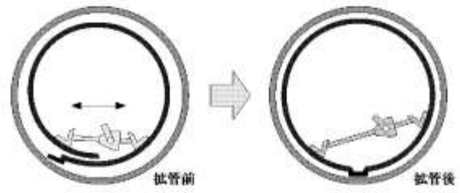


図-7.1.3 巻込鋼管拡管状況

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-3 「7.1 工法概要」	P.7-3 「7.1 工法概要」



写真-7.1.1 円形 FRPM 管挿入工法



写真-7.1.2 馬てい形 FRPM 管挿入工法

(3) 施工の概要

1) 鋼管挿入工法の施工手順

既製管をバッテリー車等で坑内に運搬し、巻き込み鋼管の場合はジャッキ等を使用して拡管したあと管軸方向の仮溶接を行う。円周方向の裏当て金を取り付け、レバーブロック等で所定の位置に据え付け、間隔保持ライナーを設置する。芯出し作業の後、本溶接（裏当金溶接）と溶接箇所の超音波検査を行い、鋼管と覆工との間隙を裏込充填材で充填する。最後に、現場溶接継手部の内面塗装と塗装検査を行う。

2) 円形・馬てい形 FRPM 管挿入工法の施工手順

円形又は馬てい形の FRPM 管をバッテリー車等で坑内に運搬し、レバーブロック等を使用して接合する。管 1 本毎に浮上防止工を設置し、注入 1 スパン毎に間仕切り壁を設置した後、FRPM 管と覆工との間隙を裏込充填材で充填する。最後に、継ぎ手性能試験を行う。

(4) 留意事項

① 既設水路トンネルの形状を精度よく測量し、挿入管の通過可能管長を決定する必要がある。
② 覆工背面に空洞がある場合、挿入管に作用する荷重を均一にするために裏込注入工法との併用を検討する必要がある。
③ 裏込充填材の選定に当たっては、トンネル内の湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。
④ 計画で見込んだ地下水位より高い地下水位が管に作用し、管が座屈する事例があるので注意する必要がある。
⑤ 水路システムの変更に伴い自由水面水路のパイプライン化を目的として適用されている場合は、圧力トンネルの内張管として設計する必要がある。

(5) 裏込充填材

裏込充填材は、覆工と挿入管との間隙部へ充填するものであるから、スラリー性状と硬化性状が要求される。一般に裏込充填材は、一軸圧縮強さσ_{28}=1.0N/mm^{2}以上の強度特性を持ったエアミルク、エアモルタルや可塑性充填材等が使用される。砂エアモルタルの圧送限界は約 300m 程度であり、長距離用としては微粒子混和材エアモルタル、クレーサンドエアモルタル、高流動エアモルタル等がある。



写真-7.1.1 円形 FRPM 管挿入工法



写真-7.1.2 馬てい形 FRPM 管挿入工法

(3) 施工の概要

1) 鋼管挿入工法の施工手順

既製管をバッテリー車等で坑内に運搬し、巻き込み鋼管の場合はジャッキ等を使用して拡管したあと管軸方向の仮溶接を行う。円周方向の裏当て金を取り付け、レバーブロック等で所定の位置に据え付け、間隔保持ライナーを設置する。芯出し作業の後、本溶接（裏当金溶接）と溶接箇所の超音波検査を行い、鋼管と覆工との間隙を裏込充填材で充填する。最後に、現場溶接継手部の内面塗装と塗装検査を行う。

2) 円形・馬てい形 FRPM 管挿入工法の施工手順

円形又は馬てい形の FRPM 管をバッテリー車等で坑内に運搬し、レバーブロック等を使用して接合する。管 1 本毎に浮上防止工を設置し、1 スパン毎に間仕切り壁を設置した後、FRPM 管と覆工との間隙を裏込充填材で充填する。最後に、継ぎ手性能試験を行う。

(4) 留意事項

① 覆工背面に空洞がある場合、挿入管に作用する荷重を均一にするために裏込注入工法との併用を検討する必要がある。
② 裏込充填材の選定に当たっては、トンネル内の湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。
③ 計画で見込んだ地下水位より高い地下水位が管に作用し、管が座屈する事例があるので注意する必要がある。
④ 水路システムの変更に伴い自由水面水路のパイプライン化を目的として適用されている場合は、圧力トンネルの内張管として設計する必要がある。

(5) 裏込充填材

裏込充填材は、覆工と挿入管との間隙部へ充填するものであるから、スラリー性状と硬化性状が要求される。一般に裏込充填材は、一軸圧縮強さσ_{28}=1.0N/mm^{2}以上の強度特性を持ったエアミルク、エアモルタルや可塑性グラウト材等が使用される。砂エアモルタルの圧送限界は約 300m 程度であり、長距離用としては微粒子混和材エアモルタル、クレーサンドエアモルタル、高流動エアモルタル等がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-4 「7.2.1 既製管挿入工法の要求性能と性能照査」	P.7-4 「7.2.1 既製管挿入工法の要求性能と性能照査」

7.2 要求性能、性能照査

7.2.1 既製管挿入工法の要求性能と性能照査

既製管挿入工法の要求性能は、管種や構造形式及び現場条件に応じて適切に設定する。

既製管挿入工法の性能照査は、材料及び施工の性能が標準的な試験により定められた基準値を満足していることを確認するとともに、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

（1）性能照査の基本的な考え方

既製管挿入工法の性能照査は、当該工法に期待される効果の持続期間中に、水路トンネルが所要の要求性能を満足していることを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルについて都度試験施工を行うことや、当該工法に要求される性能を一つの試験で直接評価することは、一般に困難である。

このため、性能照査に当たっては、当該工法に係る材料及び施工の各照査項目について、試験値が基準値を満足していることを確認するものとする。ただし、当該工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加え、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しなければならない。

（2）照査方法と品質規格値の考え方

既製管挿入工法を施工した水路トンネルが所要の性能を確保するためには、当該工法に適用する材料の特性及び施工方法を考慮して要求性能を決定する必要がある。試験方法については、JIS 等に規定された方法を用いるものとする。

既製管挿入工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-7.2.1-1** に示す。なお、既製管挿入工法で使用する管材料は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」に掲載されている既製管等を対象とした工場製品であることから、要求性能の確認は JIS 等の公的規格に基づくものとし、ここでは主に裏込充填材の要求性能を示す。試験方法の詳細は、それぞれ適用する JIS 規格、NEXCO 試験方法等を参照されたい。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：既製管の実績より性能照査試験を省略可能とする。ただし、水理計算による流下能力の照査は実施する。

水密性：既製管の実績より性能照査試験を省略可能とする。

7.2 要求性能、性能照査

7.2.1 既製管挿入工法の要求性能と性能照査

既製管挿入工法の要求性能は、管種や構造形式及び現場条件に応じて適切に設定する。

既製管挿入工法の性能照査は、標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

（1）性能照査の基本的な考え方

既製管挿入工法の性能照査は、既製管挿入工法に期待される効果の持続期間中に、既製管挿入工法を施工した水路トンネルが所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルに対して試験施工を行うことや既製管挿入工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、既製管挿入工法の性能照査に当たっては、既製管挿入工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験等で確認することで性能照査とする。ただし、既製管挿入工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

（2）照査方法と品質規格値の考え方

既製管挿入工法を施工した水路トンネルが、所要の性能を確保するためには、既製管挿入工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。

既製管挿入工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-7.2.1-1** に示す。なお、既製管挿入工法で使用する管材料は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」に掲載されている既製管等を対象とした工場製品であることから、要求性能の確認は JIS 等の公的規格に基づくものとし、ここでは主に裏込充填材の要求性能を示す。試験方法の詳細は、それぞれ適用する JIS 規格、NEXCO 試験方法等を参照されたい。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：既製管の実績より性能照査試験を省略可能とする。ただし、水理計算による流下能力の照査は実施する。

水密性：既製管の実績より性能照査試験を省略可能とする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.7-5　「7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査」

表-7.2.1-1　既製管挿入工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	水理機能	水密性	想定される水圧に対して水密を保持できる性能	水密性試験（注1）	継目試験 「テストバンドによる継手性能試験等」	試験水圧で 5 分間放置後の水圧が 80%以下に低下していないこと
	構造機能	耐荷性（注2）	充填材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験（注3）	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」	材齢 28 日の圧縮強さ 1.0N/mm² 以上
			充填材の単位容積質量	NEXCO 試験方法	試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±100（kg/m³）
			充填材の空気量	NEXCO 試験方法 空気量の測定方法	試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」	申告値 ±5（%）
			充填材の水中不分離性	水中作製供試体の圧縮強さ試験（注3）	本書に示す試験	材齢 28 日の圧縮強さ 1.0N/mm² 以上
		耐久性	鋼材腐食に対し耐久性を有する	溶接部の検査	JIS Z 3060 「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準 WSP 008 による
				塗装部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性を確認する
		充填性流動性	充填材の流動性（フロー値）	NEXCO 試験方法 コンシステンシー試験方法	試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法	申告値 ±20（mm）
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注4）	各社技術による	工法の申告値

（注1）水密性試験は FRPM 管挿入工法を対象とする。

（注2）充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量により行うこととし、圧縮強さに加えて、所定の強度に管理するための諸数値を設定する。

（注3）①湧水が無い場合は、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、「一軸圧縮強さ試験」を実施する。　②湧水の痕跡がある、若しくはその量が滲み出し、滴水程度である場合は「一軸圧縮強さ試験」を省略し、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を実施する。　③流水、噴水程度の湧水が確認され、湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が適用される。可塑性充填材については、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、**表-5.2.1-1** に示す裏込注入工法の「一軸圧縮強さ試験」及び「水中分離抵抗性試験」を実施する。ただし、一軸圧縮強さ試験の要求値は 1.0N/mm² 以上とする。

（注4）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。

①　水密性：水密性試験（FRPM 管）

［試験方法］

水密性の照査は、「テストバンドを使用した継目試験」により行うものとする。

［要求値］

試験水圧は「充満水による静水圧」とし、5 分間放置後の水圧が 80%以下に低下しないことを確認する。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.7-5　「7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査」

表-7.2.1-1　既製管挿入工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	水理機能	水密性	想定される水圧に対して水密を保持できる性能	水密性試験（注1）	継目試験 （テストバンドによる継手性能試験等）	試験水圧で 5 分間放置後の水圧が 80%以下に低下していないこと
	構造機能	耐荷性（注2）	充填材の強度（圧縮強さ）	一軸圧縮強さ試験（注3）	JIS A 1216 （土の一軸圧縮試験方法）	材齢 28 日の圧縮強さ 1.0N/mm² 以上
			充填材の単位容積質量	NEXCO 試験方法	試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法）	申告値 ± 100（kg/m³）
			充填材の空気量	NEXCO 試験方法 空気量の測定方法	試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法）	申告値 ± 5（%）
			充填材の水中不分離性	水中作製供試体の圧縮強さ試験（注3）	本書に示す試験	材齢 28 日の圧縮強さ 1.0N/mm² 以上
		耐久性	鋼材腐食に対し耐久性を有する	溶接部の検査	JIS Z 3060 （鋼溶接部の超音波探傷試験方法）	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準 WSP 008 による
				塗装部の検査	JIS G 3443-4 （水輸送用塗覆装鋼管-第 4 部: 内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装））	外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性を確認する
		充填性流動性	充填材の流動性（フロー値）	NEXCO 試験方法 コンシステンシー試験方法	試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法）のシリンダー法	申告値 ± 20（mm）
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注4）	各社技術による	工法の申告値

（注1）水密性試験は FRPM 管挿入工法を対象とする。

（注2）充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量により行うこととし、圧縮強さに加えて、所定の強度に管理するための諸数値を設定する。

（注3）①湧水が無い場合は、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、「一軸圧縮強さ試験」を実施する。　②湧水の痕跡がある、若しくはその量が滲み出し、滴水程度である場合は「一軸圧縮強さ試験」を省略し、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を実施する。　③流水、噴水程度の湧水が確認され、湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が適用される。可塑性充填材については、「水中作製供試体の圧縮強さ試験」を省略し、**表-5.2.1-1** に示す裏込注入工法の「一軸圧縮強さ試験」及び「水中分離抵抗性試験」を実施する。ただし、一軸圧縮強さ試験の要求値は 1.0N/mm² 以上とする。

（注4）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。

①　水密性：水密性試験（FRPM 管）

［試験方法］

水密性の照査は、「テストバンドを使用した継目試験」により行うものとする。

［要求値］

試験水圧は「充満水による静水圧」とし、5 分間放置後の水圧が 80%以下に低下しないことを確認する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-6　「7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査」	**P.7-6　「7.2.1　既製管挿入工法の要求性能と性能照査」**
② 溶接部の検査（鋼管） ［検査方法］ 溶接部の検査は、JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」による。 ［判定基準］ 判定基準は、WSP 008「水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準」に基づくものとする。 **③ 塗装部の検査（鋼管）** ［検査方法］ 溶剤形エポキシ樹脂塗装の検査は、土木工事施工管理基準（管水路工事）による。 検査の時期は塗膜硬化後とし、外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性について検査を行う。 **④ 耐荷性：充填材** 挿入管と覆工の間隙に充填する材料については、構造としての強度は期待しないことから高い強度は必要なく、間隙を充填することにより管体外面の保護や覆工コンクリート破損時の緩衝体としての機能を求めるものとする。 強度以外の照査項目は、覆工と挿入管の間隙を確実に充填するための施工性を確保するためのものとする。 ［試験方法］ 照査の項目は、充填材の強度（圧縮強さ）とする。これに加え、所定の強度を管理するため、充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量の諸数値を設定する。 試験方法について、充填材の強度（圧縮強さ）は JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」、単位容積質量は NEXCO 試験方法の試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」、材料の流動性は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法、空気量は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」によるものとする。 ［要求値］ 充填材の強度（圧縮強さ）は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.274 を参考に、下限値は 1.0N/mm²（材齢 28 日）とする。 **(3) 耐久性** **第 4 章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査**を参照	**② 溶接部の検査（鋼管）** ［検査方法］ 溶接部の検査は、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による非破壊検査により行うことを原則とする。 ［判定基準］ 判定基準は、「水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準」WSP 008 に基づくものとする。 **③ 塗装部の検査（鋼管）** ［検査方法］ 水道用液状エポキシ樹脂塗料塗装の検査は、日本産業規格（JIS G 3443-4）及び土木工事施工管理基準（管水路工事）による。 検査の時期は塗膜硬化後とし、外観、塗膜の厚さ（0.5mm 以上）、ピンホール、付着性について検査を行う。 **④ 耐荷性：充填材** 挿入管と覆工の間隙に充填する材料については、構造としての強度は期待しないことから高い強度は必要なく、間隙を充填することにより管体外面の保護や覆工コンクリート破損時の緩衝体としての機能を求めるものとする。 強度以外の照査項目は、覆工と挿入管の間隙を確実に充填するための施工性を確保するためのものとする。 ［試験方法］ 照査の項目は、充填材の強度（圧縮強さ）とする。これに加え、所定の強度を管理するため、充填材の施工時の品質管理は、単位容積質量、フロー値、空気量の諸数値を設定する。 試験方法について、充填材の強度（圧縮強さ）は JIS A 1216「土の一軸圧縮試験方法」、単位容積質量は NEXCO 試験方法の試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」、材料の流動性は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」のシリンダー法、空気量は試験法 313「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」によるものとする。 ［要求値］ 充填材の強度（圧縮強さ）は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）P.274 を参考に、固結後 1.0N/mm² 以上とする。 **(3) 耐久性** **第 4 章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査**を参照。

新（改定版）

P.7-7 「7.2.2 既製管挿入工法の適用性」

7.2.2 既製管挿入工法の適用性

既製管挿入工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能及び施工条件を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して管種を選定しなければならない。

【解説】

（1）挿入管の適用性

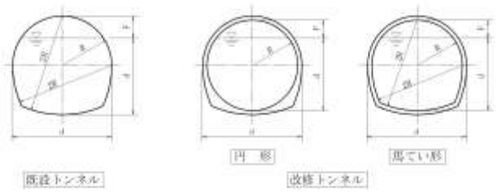
既製管挿入工法の適用目的は、水路トンネルの補強だけでなく、水理性能向上のためのライニング管や水路システムの再構築に伴うパイプライン化の一環として適用するなど、多岐にわたる。このため、既製管挿入工法の適用に当たっては、適用目的に合った管種を選定することが重要である。

挿入管の通水能力は、管の形状や管種によって異なる。通水能力の比較例を表-7.2.2-1 に示す。

粗度係数の標準値は、鋼管の場合 0.013、FRPM 管の場合 0.012 とする（表-4.4.2-1 参照）。

表-7.2.2-1 通水能力の比較例

既設トンネルが 2R 馬てい形 2R=2.0m の場合											
	内空断面の形状	内空直径 D(m)	F=0.20・D			F=0.17・D			F=0.10・D		
			d	V	Q	d	V	Q	d	V	Q
既設トンネル（n=0.015）	2R 馬てい形	2.00	1.600	1.076	3.088	1.660	1.076	3.188	1.800	1.062	3.349
FRPM（n=0.012）	円形	1.80	1.440	1.247	2.722	1.494	1.210	2.814	1.620	1.230	2.968
	2R 馬てい形			1.254	2.915		1.253	3.007		1.237	3.160
鋼管・鋼板（n=0.013）	円形	1.85	1.480	1.172	2.703	1.536	1.172	2.796	1.665	1.157	2.947
	2R 馬てい形			1.179	2.895		1.178	2.988		1.163	3.138



I = 1/2000
d: 水深(m)
V: 流速(m/s)
Q: 流量(m^3/s)
$V = 1/n \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3}$
$Q = A \cdot V$

既設トンネルが 2R 馬てい形 2R=3.0m の場合											
	内空断面の形状	内空直径 D(m)	F=0.20・D			F=0.17・D			F=0.10・D		
			d	V	Q	d	V	Q	d	V	Q
既設トンネル（n=0.015）	2R 馬てい形	3.00	2.400	1.410	9.106	2.490	1.410	9.398	2.700	1.391	9.872
FRPM（n=0.012）	円形	2.80	2.240	1.674	8.842	2.324	1.674	9.143	2.520	1.652	9.641
	2R 馬てい形	2.60 (注1)	2.080	1.602	7.771	2.158	1.601	8.017	2.340	1.581	8.426
鋼管・鋼板（n=0.013）	円形	2.85	2.280	1.564	8.556	2.366	1.564	8.852	2.565	1.543	9.329
	2R 馬てい形			1.572	9.164		1.572	9.459		1.551	9.935

（注 1）2R 馬てい形 FRPM 管の製作可能最大口径は 2.60m である。

FRPM 管はほろ形の成形ができないが、馬てい形（縦長馬てい形など）の FRPM 管はほろ形トンネルに適用できる。

既設トンネルに曲りがある場合は、トンネル坑内路線図を基に通過管長を検討する。通過管長の算定は、WSP A-103-2021「鋼管工法の計画・施工指針（農業用パイプラインにおけるパイプ・イン・

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.7-7 「7.2.2 既製管挿入工法の適用性」

7.2.2 既製管挿入工法の適用性

既製管挿入工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能、及び施工条件を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して管種を選定しなければならない。

【解説】

（1）挿入管の適用性

既製管挿入工法の適用目的は、水路トンネルの補強だけでなく、水理性能向上のためのライニング管や水路システムの再構築に伴うパイプライン化の一環として適用するなど、多岐にわたる。このため、既製管挿入工法の適用に当たっては、適用目的に合った管種を選定することが重要である。

挿入管の通水能力は、管の形状や管種によって異なる。通水能力の比較例を表-7.2.2-1 に示す。

粗度係数の標準値は、鋼管の場合 0.013，FRPM 管の場合 0.012 とする（表-4.4.2-1 参照）。

表-7.2.2-1 通水能力の比較例

既設トンネルが 2R 馬てい形 2R=2.0m の場合											
	内空断面の形状	内空直径 D(m)	F=0.20・D			F=0.17・D			F=0.10・D		
			d	V	Q	d	V	Q	d	V	Q
既設トンネル（n=0.015）	2R 馬てい形	2.00	1.600	1.076	3.088	1.660	1.076	3.188	1.800	1.062	3.349
FRPM（n=0.012）	円形	1.80	1.440	1.247	2.722	1.494	1.210	2.814	1.620	1.230	2.968
	2R 馬てい形			1.254	2.915		1.253	3.007		1.237	3.160
鋼管・鋼板（n=0.013）	円形	1.85	1.480	1.172	2.703	1.536	1.172	2.796	1.665	1.157	2.947
	2R 馬てい形			1.179	2.895		1.178	2.988		1.163	3.138



I = 1/2000
d: 水深(m)
V: 流速(m/s)
Q: 流量(m^3/s)
$V = 1/n \cdot I^{1/2} \cdot R^{2/3}$
$Q = A \cdot V$

既設トンネルが 2R 馬てい形 2R=3.0m の場合											
	内空断面の形状	内空直径 D(m)	F=0.20・D			F=0.17・D			F=0.10・D		
			d	V	Q	d	V	Q	d	V	Q
既設トンネル（n=0.015）	2R 馬てい形	3.00	2.400	1.410	9.106	2.490	1.410	9.398	2.700	1.391	9.872
FRPM（n=0.012）	円形	2.80	2.240	1.674	8.842	2.324	1.674	9.143	2.520	1.652	9.641
	2R 馬てい形	2.60 (注1)	2.080	1.602	7.771	2.158	1.601	8.017	2.340	1.581	8.426
鋼管・鋼板（n=0.013）	円形	2.85	2.280	1.564	8.556	2.366	1.564	8.852	2.565	1.543	9.329
	2R 馬てい形			1.572	9.164		1.572	9.459		1.551	9.935

（注 1）2R 馬てい形 FRPM 管の製作可能最大口径は 2.60m である。

ホロ形トンネルへの適用性について、FRPM 管は、ホロ形の成型ができないが、馬てい形（縦長馬てい形等）FRPM 管による適用が可能である。

既設トンネルに曲りがある場合は、トンネル坑内路線図を基に通過管長を検討する。通過管長の算定は、「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針、日本水道鋼管協会、WSP 080-2015、P.10」等

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-8 「7.2.2 既製管挿入工法の適用性」	P.7-8 「7.2.2 既製管挿入工法の適用性」
パイプ工法)」、日本水道鋼管協会、p.17 等を参照する。 **(2) 裏込充填材の適用性** 覆工と挿入管の間隙には裏込充填材を注入する。 裏込充填材は、背面地山からの外力を、覆工を介して自立管となる挿入管に伝達し、また挿入管の変形によって生じた反力を覆工・地山へと伝達する重要な基礎部材である。 裏込充填材は、pH の高いアルカリ成分により鋼管外面を不動態化させる防食材としての機能を有している。 湧水が無い場合は、エアミルクやエアモルタル等の非可塑性充填材の採用事例が多いが、これらの材料は、水と接すると気泡とセメントペーストが材料分離を起こし、強度・剛性が低下するため注意が必要である。 湧水がある場合は、湧水を完全に処理した上でエアミルクやエアモルタルを使用することが一般的である。湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材等の水中不分離性を有する材料が採用されるが、エアミルク、エアモルタルと比較して流動性が劣るため裏込充填材の打設間隔や充填方法を検討する必要がある。	を参照する。 **(2) 裏込充填材の適用性** 覆工と挿入管の間隙には裏込充填材を注入する。 裏込充填材は、背面地山からの外力を、覆工を介して自立管となる挿入管に伝達し、また挿入管の変形によって生じた反力を覆工・地山へと伝達する重要な基礎部材である。 裏込充填材は、pH の高いアルカリ成分により鋼管外面を不動態化させる防食材としての機能を有している。 湧水が無い場合は、エアミルクやエアモルタル等の非可塑性充填材の採用事例が多いが、これらの材料は、水と接すると気泡とセメントペーストが材料分離を起こし、強度・剛性が低下するため注意が必要である。 湧水がある場合は、湧水を完全に処理した上でエアミルクやエアモルタルを使用することが一般的である。湧水を完全に処理できない場合は、可塑性充填材が採用されるが、エアミルク、エアモルタルと比較して流動性が劣るため裏込充填材の打設間隔や充填方法を検討する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-11　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」	P.7-11　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」
② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。	② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。
③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** の中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。 円形の既製管挿入工法は、一般にウィープホールが設置されないため、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。設計地下水位の設定には、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例が多い。ただし、被圧水頭は別途考慮する。 既製管挿入工法は、全周を覆工と裏込充填材で囲まれ、外側への変形が拘束された状態にある。挿入管と裏込充填材との間隙に地下水が浸透した場合、挿入管は周辺拘束状態で外水圧を受けて局所的な変形をおこす可能性がある。このため、地下水圧に対する座屈の検討を行う。座屈に対しては鋼管の場合は 1.5 倍、FRPM 管の場合は 3.0 倍の安全率を考慮する。 円形管の外水圧及び充填圧に対する検討は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、pp.339～345 を参考にする。	③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** の中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。 円形の既製管挿入工法は、一般にウィープホールが設置されないため、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。設計地下水位の設定には、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例が多い。ただし、被圧水頭は別途考慮する。 既製管挿入工法は、全周を覆工と裏込充填材で囲まれ、外側への変形が拘束された状態にある。挿入管と裏込充填材との間隙に地下水が浸透した場合、挿入管は周辺拘束状態で外水圧を受けて局所的な変形をおこす可能性がある。このため、地下水圧に対する座屈の検討を行う。座屈に対しては鋼管の場合は 1.5 倍、FRPM 管の場合は 3.0 倍の安全率を考慮する。 円形管の外水圧及び充填圧に対する検討は、「土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、pp.339～345」を参考にする。
④ 挿入管背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。 地盤のモデル化の詳細は**第４章**を参照する。 地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。地山のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を適用してよい（地盤反力係数を算出する補正係数αは 4 を適用する）。 また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。	④ 挿入管背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。 地盤のモデル化の詳細は**第４章**を参照する。 地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。裏込充填材のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を適用してよい（地盤反力係数を算出する補正係数αは 4 を適用する）。 また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。
⑤ 鋼管の最小板厚は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「パイプライン」に準ずる。ただし、余裕厚（腐食代及び管厚公差余裕を見込んだもの）は考慮しない。	⑤ 鋼管の最小板厚は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「パイプライン」に準ずる。ただし、余裕厚（腐食代及び管厚公差余裕を見込んだもの）は考慮しない。
⑥ 施工時荷重に対する検討は、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（パイプライン編）（案）、pp.4-24～4-25 を参考にする。施工時荷重で管厚（管級）が決定されることがないよう、充填方法を検討して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。	⑥ 施工時荷重に対する検討は、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル（パイプライン編）（案）、pp.4-24～4-25 を参考にする。施工時荷重で管厚（管級）が決定されることがないよう、充填方法を工夫して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。
⑦ FRPM 管には内圧管と内挿用内圧管があるので、比較検討を行う。	⑦ FRPM 管には内圧管と内挿用内圧管があるので、比較検討を行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.7-13　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」

別表①　試験内圧　H_c（N/mm²）

規格	管種	試験内圧
FRPM K-111A	内圧 1 種	2.6
	内圧 2 種	2.1
	内圧 3 種	1.6
	内圧 4 種	1.2
	内圧 5 種	0.6
FRPM K-111	内圧 1 種	2.6
	内圧 2 種	2.1
	内圧 3 種	1.4
	内圧 4 種	1.0
	内圧 5 種	0.5
FRPM K-111L	内挿用内圧 3 種	1.4
	内挿用内圧 4 種	1.0
	内挿用内圧 5 種	0.5

別表②　諸元

規格	管種	圧縮強度 σ_F（N/mm²）	曲げ弾性係数 E_b（N/mm²）	圧縮弾性係数 E_c（N/mm²）	円周方向許容曲げ応力 σ_{by}（N/mm²）
FRPM K-111A	内圧 1 種	175	22,000	19,000	96
	内圧 2 種	175	20,000	17,000	95
	内圧 3 種	160	17,000	14,500	86
	内圧 4 種	140	15,500	13,500	76
	内圧 5 種	135	15,000	13,000	73
FRPM K-111	内圧 1 種	172	21,600	18,600	94
	内圧 2 種	172	19,600	16,700	93
	内圧 3 種	157	16,700	14,200	85
	内圧 4 種	137	15,200	13,200	75
	内圧 5 種	132	14,700	12,700	72
FRPM K-111L	内挿用内圧 3 種	157	16,700	14,200	85
	内挿用内圧 4 種	137	15,200	13,200	75
	内挿用内圧 5 種	132	14,700	12,700	72

（注 1）円周方向許容曲げ応力は円周方向曲げ強さを、安全率 =3 で除した数値とした。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.7-12　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」

⑧　挿入管の構造検討に使用する諸数値及び許容応力度を**表-7.4.3-1** に示す。補強効果の照査は、解析で求める補強部材の応力度が同表に示す許容応力度を超えなければよい。

表-7.4.3-1　既製管の構造検討に使用する諸数値

		既製管		
		鋼管（STW400）	鋼管（STW490）	FRPM 管
①	内水圧に対する検討			
σ_a	許容引張応力度（N/mm²）	170	208	−
H_c	管の試験内圧力（N/mm²）	−	−	別表①
②	外水圧に対する検討			
S	安全率	1.5	1.5	3.0
σ_Y	材料の降伏点（N/mm²）	225	t≦16：325 16<t≦40：315	（圧縮強度）別表②
ν	管材のポアソン比	0.3	0.3	0.3
E_b	管の曲げ弾性係数（N/mm²）	2.0× 10⁵	2.0× 10⁵	別表②
E_c	管の圧縮弾性係数（N/mm²）	2.0× 10⁵	2.0× 10⁵	別表②
③	充填圧に対する検討			
E_b	管の曲げ弾性係数（N/mm²）	2.0× 10⁵	2.0× 10⁵	別表②
ν	管材のポアソン比	0.3	0.3	0.3
S	安全率	1.5	1.5	1.5
④	充填時の浮力に対する検討			
(a)	円周方向の曲げ応力			
σ_b	許容曲げ応力度（N/mm²）	225（注1）	312	別表②
(b)	軸方向の曲げ応力			
σ_b	許容曲げ応力度（N/mm²）	225（注1）	312	別表③

（注 1）許容曲げ応力度は許容引張応力度 σ_a を用い、施工中の荷重であるので 1.5 倍する。
170× 1.5=255N/mm²　降伏点（225N/mm²）を超えるので、降伏点を許容曲げ応力度とする。
内水圧に対する諸数値は参考値として示した。

別表①　試験内圧　H_c（N/mm²）

種類	試験内圧
内圧 1 種	2.6
内圧 2 種	2.1
内圧 3 種	1.4
内圧 4 種	1.0
内圧 5 種	0.5
内挿用内圧 3 種	1.4
内挿用内圧 4 種	1.0
内挿用内圧 5 種	0.5

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.7-14　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」

別表③　軸方向許容曲げ応力 σ_{ba}（N/mm²）

規格	FRPM K-111A		FRPM K-111		FRPM K-111L
呼び径	内圧 1 種～2 種	内圧 3 種～5 種	内圧 1 種～2 種	内圧 3 種～5 種	内挿内圧 3 種～5 種
200	30.00	25.00	29.40	24.50	－
250～350	27.50	22.50	26.95	22.05	－
400～500	25.00	20.00	24.50	19.60	－
600	22.50	17.50	22.05	17.15	28.60
700	17.50	15.00	17.15	14.70	24.50
800～900	15.00	12.50	14.70	12.25	20.40
1,000	12.50	10.00	12.25	9.80	16.35
1,100～3,000	10.00	7.50	9.80	7.35	12.25

（注 1）軸方向許容曲げ強度は軸方向曲げ強さを、安全率 =2 で除した数値とした。

（注 2）許容曲げ応力は内張管として通常用いられる 4.0m 管の数値とした。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.7-13　「7.4.3　既製管挿入工法の構造設計」

別表②　諸元

管種	圧縮強度 σ_F（N/mm²）	曲げ弾性係数 E_b（N/mm²）	圧縮弾性係数 E_c（N/mm²）	円周方向許容曲げ応力 σ_{bc}（N/mm²）
1 種	172	21,600	18,600	94
2 種	172	19,600	16,700	93
3 種	157	16,700	14,200	85
4 種	137	15,200	13,200	75
5 種	132	14,700	12,700	72
内挿用 3 種	157	16,700	14,200	85
内挿用 4 種	137	15,200	13,200	75
内挿用 5 種	132	14,700	12,700	72

（注 1）円周方向許容曲げ応力は円周方向曲げ強さを、安全率=3 で除した数値とした。

別表③　軸方向許容曲げ応力 σ_{ba}（N/mm²）

呼び径	内圧 1～2 種	内圧 3～5 種	内挿用 3～5 種
200	29.40	24.50	－
250～350	26.95	22.05	－
400～500	24.50	19.60	－
600	22.05	17.15	28.60
700	17.15	14.70	24.50
800～900	14.70	12.25	20.40
1,000	12.25	9.80	16.35
1,100～3,000	9.80	7.35	12.25

（注 1）軸方向許容曲げ応力は軸方向曲げ強さを、安全率=2 で除した数値とした。

（注 2）許容曲げ応力は内張管として通常用いられる 4.0m 管の数値とした。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-17　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-16　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

2）鋼管仕様決定・鋼管製作

既設水路トンネル内調査結果に基づき、管種（普通鋼管、巻き込み鋼管）、管長等の仕様を決定し、管割図や製作図を作成する。

製作図に基づき普通鋼管や巻き込み鋼管を製作し、現場へ搬入する。



注）破線は必要に応じて実施する

（注1）　既設水路トンネル内調査は原則として実施設計段階で行う。これによらない場合は鋼管仕様決定前に既設水路トンネル内調査を行わなければならない。

（注2）　止水・導水対策工については、7.4.4　水抜工を参照するものとする。

図-7.5.7-1　鋼管挿入工法施工フロー（例）

3）鋼管の吊り降ろし

管が工事現場に到着した後、管の寸法形状、材質等を製作図及び仕様書と照査するとともに、輸送中における傷の有無を確認する。

据付方向、順序、天地について確認し、クレーン等により立坑内に鋼管を吊り降ろす。吊り降ろし設備は、吊り荷に対して適切な能力を持ったものを使用する。

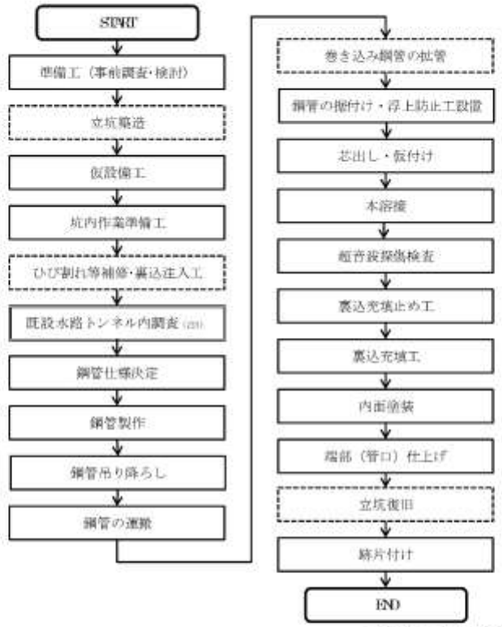
4）鋼管の運搬

運搬方法は、一般的には鋼管の管端部にローラーを取り付け、バッテリー車で運搬する方法又は

2）鋼管仕様決定・鋼管製作

既設水路トンネル内調査結果に基づき、管種（普通鋼管、巻き込み鋼管）、管長等の仕様を決定し、管割図や製作図を作成する。

製作図に基づき普通鋼管や巻き込み鋼管を製作し、現場へ搬入する。



注）破線は必要に応じて実施する

（注1）　既設水路トンネル内調査は原則として実施設計段階で行う。これによらない場合は鋼管仕様決定前に既設水路トンネル内調査を行わなければならない。

図-7.5.7-1　鋼管挿入工法施工フロー（例）

3）鋼管の吊り降ろし

管が工事現場に到着した後、管の寸法形状、材質等を製作図及び仕様書と照査するとともに、輸送中における傷の有無を確認する。

据付方向、順序、天地について確認し、クレーン等により立坑内に鋼管を吊り降ろす。吊り降ろし設備は、吊り荷に対して適切な能力を持ったものを使用する。

4）鋼管の運搬

運搬方法は、一般的には鋼管の管端部にローラーを取り付け、バッテリー車で運搬する方法又は

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-19　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-18　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

6）鋼管の据付け・浮上防止工設置

鋼管の据え付けは、バッテリー車等にて据え付け位置まで運搬し、鋼管管端のローラーを取り外し既設水路トンネル内に仮置きした後、円周方向裏当て金を取り付け、レバーブロックやジャッキ等を用いて所定の位置に据え付ける。

図-7.5.7-4 に鋼管据付作業の例を示す。

間隔保持ライナー（浮上防止工を兼ねる）は、配管が部分的に完了し、鋼管と既設水路トンネルとの間隙に裏込充填材を注入する際の間隔保持を目的として行うものであり、管1本毎に設置する。

間隔保持ライナーの形状、取付位置、取付方法等には特に規定はないが、浮力により間隔保持ライナーが損壊したり、鋼管が局部変形を起こしたりしないようなものを使用するとともに適切な取付方法を選定する必要がある。

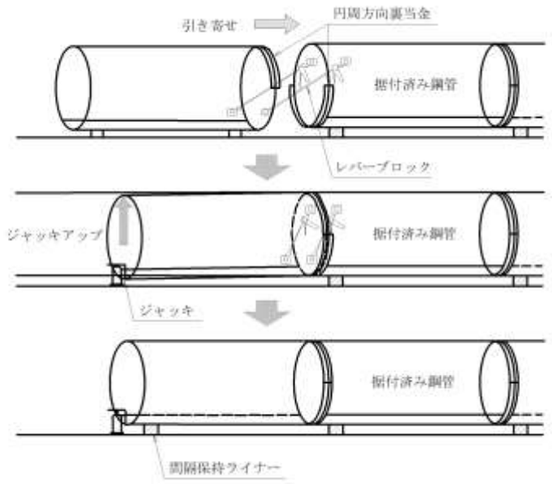


図-7.5.7-4　鋼管の据付作業の例

7）芯出し・仮付け

芯出し作業は、既設管との目違い、ルート間隔を棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用し天地左右を調整しながら肌合わせを行う。

また、仮付溶接は、ほとんどが内面からの作業となり、本溶接と同様にブローホールや割れなどの有害な欠陥を生じないよう入念に行う。

鋼管の溶接は、重要な作業であり、適切な方法で溶接しなければならない。溶接方法としては、被覆アーク溶接法、半自動溶接法及び自動溶接法が採用されている。

6）鋼管の据付け・浮上防止工設置

鋼管の据え付けは、バッテリー車等にて据え付け位置まで運搬し、鋼管管端のローラーを取り外し既設水路トンネル内に仮置きした後、円周方向裏当て金を取り付け、レバーブロックやジャッキ等を用いて所定の位置に据え付ける。

図-7.5.7-4 に鋼管据付作業の例を示す。

間隔保持ライナー（浮上防止工を兼ねる）は、配管が部分的に完了し、鋼管と既設水路トンネルとの間隙に裏込充填材を注入する際の間隔保持を目的として行うものであり、管1本毎に設置する。

間隔保持ライナーの形状、取付位置、取付方法等には特に規定はないが、浮力により間隔保持ライナーが損壊したり、鋼管が局部変形を起こしたりしないようなものを使用するとともに適切な取付方法を選定する必要がある。

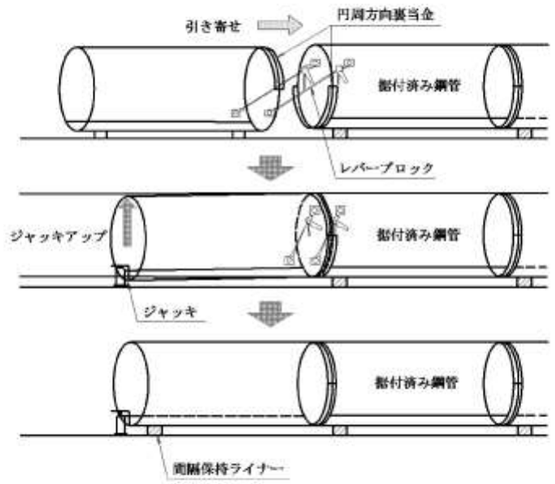


図-7.5.7-4　鋼管の据付作業の例

7）芯出し・仮付け

芯出し作業は、既設管との目違い、ルート間隔を棒ジャッキ、溶接ジグ等を使用し天地左右を調整しながら肌合わせを行う。

また、仮付溶接は、ほとんどが内面からの作業となり、本溶接と同様にブローホールや割れなどの有害な欠陥を生じないよう入念に行う。

鋼管の溶接は、重要な作業であり、適切な方法で溶接しなければならない。溶接方法としては、被覆アーク溶接法、半自動溶接法、及び自動溶接法が採用されている。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-20 「7.5.7 既製管挿入工法の施工」	P.7-19 「7.5.7 既製管挿入工法の施工」

8）本溶接

溶接作業は、一般的に裏当金を用いた管内面からの片面溶接によって行われる。その開先形状の標準は、**図-7.5.7-5** に示すとおりである。

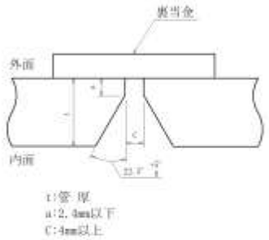


図-7.5.7-5 標準開先

9）超音波探傷検査

溶接部の検査は、JIS Z 3060「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」による非破壊検査とする。

10）裏込充填止め工

裏込充填打設前に、鋼板端部への裏込充填止めを施工する。裏込充填止め工の設置間隔は、裏込充填材料決定後に裏込充填時の構造計算を行い、段階打設や一括打設する場合の打設量を満足するように決定する。（**鋼板内張工法：図-6.5.7-2** 参照）

11）裏込充填工

裏込充填工については、充填材の性状確認、注入圧力、注入量等について管理を行う。

注入方法の選定は、注入量や注入延長、注入プラントの設置条件を考慮して行う。**図-7.5.7-6** に車上プラントによる方法を示す。

【実施内容及び留意点】

① 充填材注入施工条件

外気温等が規定の範囲内であることを確認する。

② 充填材性状の管理方法

充填材の配合比、フロー値や圧縮強さ試験値等が規定内であることを確認する。

③ 注入圧力の管理方法

注入圧力は注入ポンプの口元及び注入口に設置した圧力計を用いて随時測定し、記録する。注入ポンプを用いる場合には注入口で規定の圧力を超えないように注入圧力を管理する。

④ 注入量の管理方法

実際の注入量を計画注入量と対比し、大きな差異がないことを確認する。充填材が管口の空気抜き（確認孔）から流出（リーク）することを確認する。

8）本溶接

溶接作業は、一般的に裏当金を用いた管内面からの片面溶接によって行われる。その開先形状の標準は、**図-7.5.7-5** に示すとおりである。

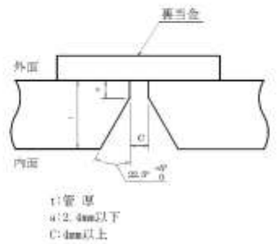


図-7.5.7-5 標準開先

9）超音波探傷検査

溶接部の検査は、JIS Z 3060（鋼溶接部の超音波探傷試験方法）による非破壊検査とする。

10）裏込充填止め工

裏込充填打設前に、鋼板端部への裏込充填止めを施工する。裏込充填止め工の設置間隔は、裏込充填材料決定後に裏込充填時の構造計算を行い、段階打設や一括打設する場合の打設量を満足するように決定する。（**鋼板内張工法：図-6.5.7-2** 参照）

11）裏込充填工

裏込充填工については、充填材の性状確認、注入圧力、注入量等について管理を行う。

注入方法の選定は、注入量や注入延長、注入プラントの設置条件を考慮して行う。**図-7.5.7-6** に車上プラントによる方法を示す。

【実施内容及び留意点】

① 充填材注入施工条件

外気温等が規定の範囲内であることを確認する。

② 充填材性状の管理方法

充填材の配合比、フロー値や圧縮強さ試験値等が規定内であることを確認する。

③ 注入圧力の管理方法

注入圧力は注入ポンプの口元及び注入口に設置した圧力計を用いて随時測定し、記録する。注入ポンプを用いる場合には注入口で規定の圧力を超えないように注入圧力を管理する。

④ 注入量の管理方法

実際の注入量を計画注入量と対比し、大きな差異がないことを確認する。充填材が管口の空気抜き（確認孔）から流出（リーク）することを確認する。

新（改定版）

P.7-21　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

⑤　充填確認パイプの設置間隔

充填材の注入方法は、管内面にソケットとプラグから構成されている裏込充填孔（**図-7.5.7-7**）を設け、そこから充填を行う。充填孔の取付ピッチは、20m 程度が多いが、打設量や配管線形などから検討する必要がある。

裏込充填工では，充填中に空気溜まりが発生した場合、隅々までに充填材がまわりきらない可能性があり、弱部となるおそれがあることから、空気が確実に排除できるよう空気抜きを配置する。

充填中に挿入管が座屈しないよう適切な対応を検討する。充填方法としては，一度に全断面を充填する方法と2回に分けて下部半断面を充填した後に上部半断面を充填する方法がある。また、状況によっては3回に分けて行う場合もある。

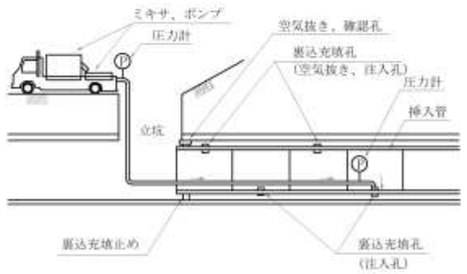


図-7.5.7-6　車上プラントによる充填施工の例

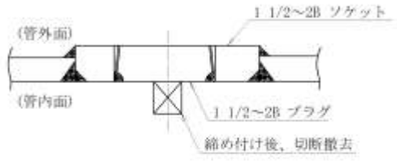


図-7.5.7-7　裏込充填孔の構造例

12）内面塗装

鋼管の表面処理（下地処理：ブラスト処理等）、塗装作業を行い、塗装検査を行う。

現場溶接継手部における鋼管内面の溶剤形エポキシ樹脂塗装方法は、JIS G 3443-4「水輸送用塗覆装鋼管－第4部：内面エポキシ樹脂塗装（溶剤形エポキシ樹脂塗装）」の C.3.2 による。

溶剤形エポキシ樹脂塗装の検査は、土木工事施工管理基準（管水路工事）による。

13）端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（**図-6.5.7-3** 参照）

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.7-20　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

⑤　充填確認パイプの設置間隔

充填材の注入方法は、管内面にソケットとプラグから構成されている裏込充填孔（**図-7.5.7-7**）を設け、そこから充填を行う。充填孔の取付ピッチは、20m 程度が多いが、打設量や配管線形などから検討する必要がある。

裏込充填工では、充填中に空気溜まりが発生した場合、隅々までに充填材がまわりきらない可能性があり，弱部となるおそれがあることから、空気が確実に排除できるよう空気抜きを配置する。

充填中に挿入管が座屈しないよう適切な対応を検討する。充填方法としては、一度に全断面を充填する方法と2回に分けて下部半断面を充填した後に上部半断面を充填する方法がある。また、状況によっては3回に分けて行う場合もある。

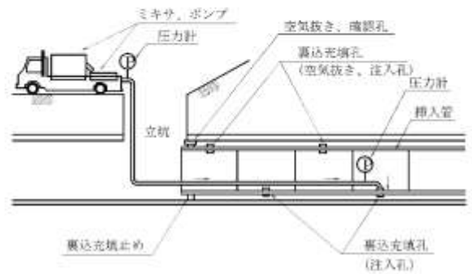


図-7.5.7-6　車上プラントによる充填施工の例

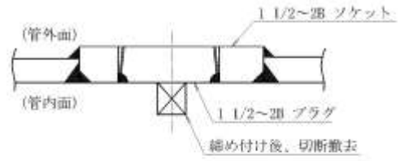


図-7.5.7-7　裏込充填孔の構造例

12）内面塗装

鋼管の表面処理（下地処理：ブラスト処理等）、塗装作業を行い、塗装検査を行う。

現場溶接継手部における鋼管内面の液状エポキシ樹脂塗料塗装方法は，「JIS G 3443-4 水輸送塗覆装鋼管 第4部：内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装）」による。

液状エポキシ樹脂塗料塗装の検査は、「JIS G 3443-4 水輸送塗覆装鋼管 第4部：内面エポキシ樹脂塗料」及び土木工事施工管理基準（管水路工事）による。

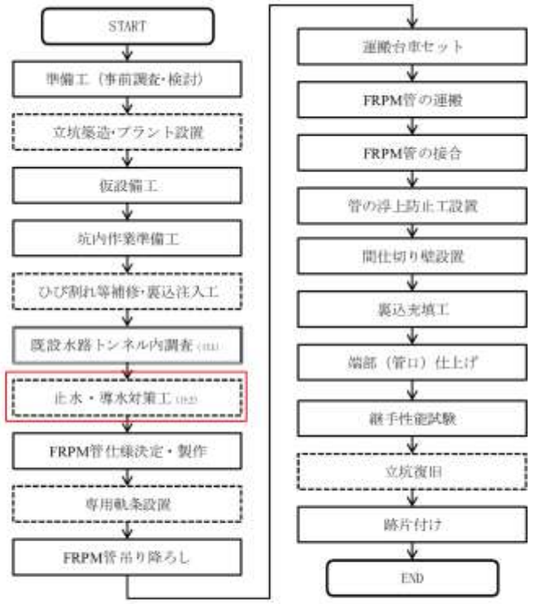
13）端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（**図-6.5.7-3** 参照）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-23　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-22　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

それぞれ施工手順が異なるが、FRPM 管挿入工法の施工手順の一例を図-7.5.7-12 に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

（注1）　既設水路トンネル内調査は原則として実施設計段階で行う。これによらない場合は FRPM 管仕様決定前に既設水路トンネル内調査を行わなければならない。

（注2）　止水・導水対策工については，7.4.4　水抜工を参照するものとする。

図-7.5.7-12　FRPM 管挿入工法施工フロー（例）

1）既設水路トンネル内調査

「**（1）鋼管挿入工法**」に準じる。

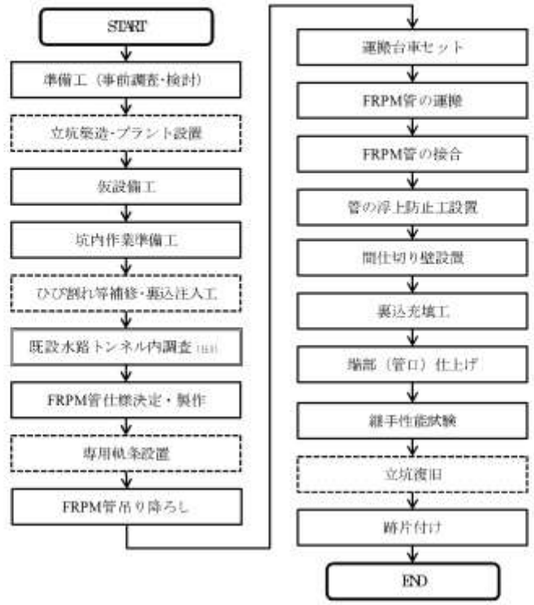
2）FRPM 管仕様決定・製作

既設水路トンネル内調査結果に基づき、管種、管長等の仕様を決定し、管割図や製作図を作成する。製作図に基づき FRPM 管を製作し、現場へ搬入する。

3）専用軌条設置（必要に応じ）

既設水路トンネル内に FRPM 管を挿入する台車及びバッテリー機関車には、専用軌条が必要なものと、必要ないものがある。専用軌条が必要な工法を適用する場合には、事前に専用軌条を設置する。

それぞれ施工手順が異なるが、FRPM 管挿入工法の施工手順の一例を図-7.5.7-12 に示す。



注）破線は必要に応じて実施する

（注 1）　既設水路トンネル内調査は原則として実施設計段階で行う。これによらない場合は FRPM 管仕様決定前に既設水路トンネル内調査を行わなければならない。

図-7.5.7-12　FRPM 管挿入工法施工フロー（例）

1）既設水路トンネル内調査

「**（1）鋼管挿入工法**」に準じる。

2）FRPM 管仕様決定・製作

既設水路トンネル内調査結果に基づき、管種、管長等の仕様を決定し、管割図や製作図を作成する。製作図に基づき FRPM 管を製作し、現場へ搬入する。

3）専用軌条設置（必要に応じ）

既設水路トンネル内に FRPM 管を挿入する台車及びバッテリー機関車には、専用軌条が必要なものと、必要ないものがある。専用軌条が必要な工法を適用する場合には、事前に専用軌条を設置する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-24 「7.5.7 既製管挿入工法の施工」	P.7-23 「7.5.7 既製管挿入工法の施工」

4）FRPM 管の吊り降ろし

管が工事現場に到着した後、管の寸法形状、材質等を製作図及び仕様書と照査するとともに、輸送中における傷の有無を確認する。

据付方向、順序、天地について確認し、クレーン等でナイロンスリングを使用して立坑内に FRPM 管を吊り降ろす。この際、管のバランスに注意し、とも綱を使用して吊り降ろす。

吊り降ろし設備は、吊り荷に対して適切な能力を持ったものを使用する。

5）運搬台車セット

ここでは、カゴ型運搬台車とバッテリーカーを使用する場合について示す。

吊り降ろした管内にカゴ型運搬台車を乗り上げ、油圧ジャッキで担ぎ上げ、低重心バッテリーカーと連結する。**写真-7.5.7-1** にカゴ型運搬台車とバッテリーカーの例を示す。



写真-7.5.7-1 カゴ型運搬台車とバッテリーカーの例

6）FRPM 管の運搬

バッテリー機関車等により、布設位置まで管を運搬する。

7）FRPM 管の接合

管の接合部には、運搬前に滑剤を塗布する。布設位置まで運搬した管は、レバーブロックにて左右均等に引き込み接合する。その後、カゴ型運搬台車及びバッテリーカーで芯出しを行う。

8）FRPM 管の浮上防止工設置

裏込充填材を注入する際に、管に浮力が発生するため、事前に管の浮上対策を行う。**図-7.5.7-13**、**写真-7.5.7-2** に浮上防止材設置例を示す。浮上防止材は、管１本毎に設置する。

9）間仕切り壁設置

注入１スパン分の管の配管を完了した後、既設水路トンネルと FRPM 管の間隙にモルタルバックやレンガ等を用いて間仕切り壁を設置する。**図-7.5.7-14** に間仕切り壁設置例、**写真-7.5.7-3** に間仕切り壁設置状況を示す。最大注入スパンは、裏込注入プラントの容量及び注入断面 1m 当たりの注入量（m^3/m）により定めるものとする。また、１日当たりの配管本数（本/日）から配管日進量（m/日）を算定し、最大注入スパン及び配管日進量に基づいて作業工程を決定する。さらに、これらに基づき間仕切り壁の設置間隔を定めるものとする。ただし、裏込充填材の配合に応じて

4）FRPM 管の吊り降ろし

管が工事現場に到着した後、管の寸法形状、材質等を製作図及び仕様書と照査するとともに、輸送中における傷の有無を確認する。

据付方向、順序、天地について確認し、クレーン等でナイロンスリングを使用して立坑内に FRPM 管を吊り降ろす。この際、管のバランスに注意し、とも綱を使用して吊り降ろす。

吊り降ろし設備は、吊り荷に対して適切な能力を持ったものを使用する。

5）運搬台車セット

ここでは、カゴ型運搬台車とバッテリーカーを使用する場合について示す。

吊り降ろした管内にカゴ型運搬台車を乗り上げ、油圧ジャッキで担ぎ上げ、低重心バッテリーカーと連結する。**写真-7.5.7-1** にカゴ型運搬台車とバッテリーカーの例を示す。



写真-7.5.7-1 カゴ型運搬台車とバッテリーカーの例

6）FRPM 管の運搬

バッテリー機関車等により、布設位置まで管を運搬する。

7）FRPM 管の接合

管の接合部には、運搬前に滑剤を塗布する。布設位置まで運搬した管は、レバーブロックにて左右均等に引き込み接合する。その後、カゴ型運搬台車及びバッテリーカーで芯出しを行う。

8）FRPM 管の浮上防止工設置

裏込充填材を注入する際に、管に浮力が発生するため、事前に管の浮上対策を行う。**図-7.5.7-13**、**写真-7.5.7-2** に浮上防止材設置例を示す。浮上防止材は、管１本毎に設置する。

9）間仕切り壁設置

１スパン分の管の配管を完了した後、既設水路トンネルと FRPM 管の間隙にモルタルバックやレンガ等を用いて間仕切り壁を設置する。**図-7.5.7-14** に間仕切り壁設置例、**写真-7.5.7-3** に間仕切り壁設置状況を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-25　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-24　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

打設可能延長が異なる場合は、その特性を考慮して設定しなければならない。

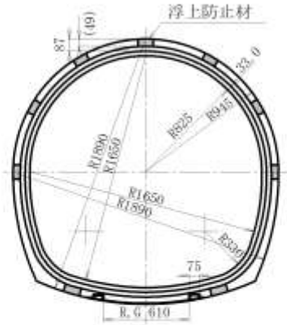


図-7.5.7-13　浮上防止材設置例

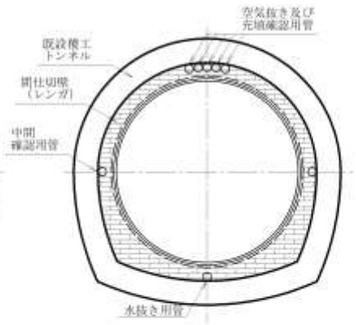


図-7.5.7-14　間仕切り壁設置例



写真-7.5.7-2　浮上防止材設置状況



写真-7.5.7-3　間仕切り壁設置状況

10）裏込充填工

裏込充填工については、充填材の性状確認、注入圧力、注入量等について管理を行う。

充填材の注入方法については、管内面にグラウト孔を設置（開口）して注入を行う内面注入と、覆工と挿入管の間に注入用の配管（塩ビ管口径 50mm 等）を設置して充填を行う外面注入の 2 つがある。図-7.5.7-15 に裏込充填材の内面注入方法を示す。

【実施内容及び留意点】

①　充填材注入施工条件

外気温等が規定の範囲内であることを確認する。

②　充填材性状の管理方法

充填材の配合比、フロー値や圧縮強さ試験値等が規定内であることを確認する。

③　注入圧力の管理方法

注入圧力は注入ポンプの口元及び注入口に設置した圧力計を用いて随時測定し、記録する。注入ポンプを用いる場合には注入口で規定の圧力を超えないように注入圧力を管理する。

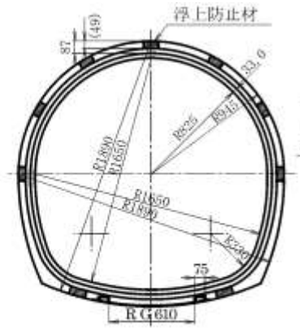


図-7.5.7-13　浮上防止材設置例

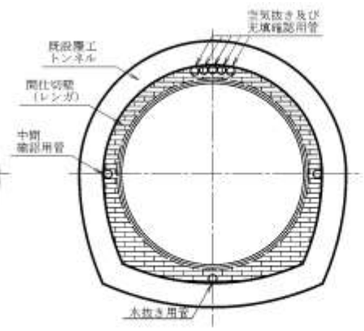


図-7.5.7-14　間仕切り壁設置例



写真-7.5.7-2　浮上防止材設置状況



写真-7.5.7-3　間仕切り壁設置状況

10）裏込充填工

裏込充填工については、充填材の性状確認、注入圧力、注入量等について管理を行う。

充填材の注入方法については、管内面にグラウト孔を設置（開口）して注入を行う内面注入と、覆工と挿入管の間に注入用の配管（塩ビ管口径 50mm 等）を設置して充填を行う外面注入の 2 つがある。図-7.5.7-15 に裏込充填材の内面注入方法を示す。

【実施内容及び留意点】

①　充填材注入施工条件

外気温等が規定の範囲内であることを確認する。

②　充填材性状の管理方法

充填材の配合比、フロー値や圧縮強さ試験値等が規定内であることを確認する。

③　注入圧力の管理方法

注入圧力は注入ポンプの口元及び注入口に設置した圧力計を用いて随時測定し、記録する。注入ポンプを用いる場合には注入口で規定の圧力を超えないように注入圧力を管理する。

④　注入量の管理方法

実際の注入量を計画注入量と対比し、大きな差異がないことを確認する。充填材が管口の空気

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-26　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-25　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」

④　注入量の管理方法

実際の注入量を計画注入量と対比し、大きな差異がないことを確認する。充填材が管口の空気抜き（確認孔）から流出（リーク）することを確認する。

⑤　充填確認パイプの設置間隔

内面注入によるグラウト孔（注入および空気抜き兼用）の設置間隔は、注入１スパンにおける間仕切り壁の設置間隔を基準とし、配管方向におおむね注入区間距離が均等となるよう３か所に分割して設置するものとする。ただし、打設量や配管線形などの条件に応じて、個別に検討する必要がある。

外面注入では、端部まで充填できるよう、挿入管路の線形を考慮して注入用配管の配置・本数を検討する。

裏込充填工では、充填中に空気溜まりが発生した場合、隅々までに充填材がまわりきらない可能性があり、弱部となるおそれがあることから、空気が確実に排除できるよう空気抜きを配置する。**写真-7.5.7-4** に空気抜き管の設置状況を、**写真-7.5.7-5** に空気抜き管によるリーク確認状況を示す。

また、充填材注入時に挿入管が浮上する場合は適切な対応を検討する。

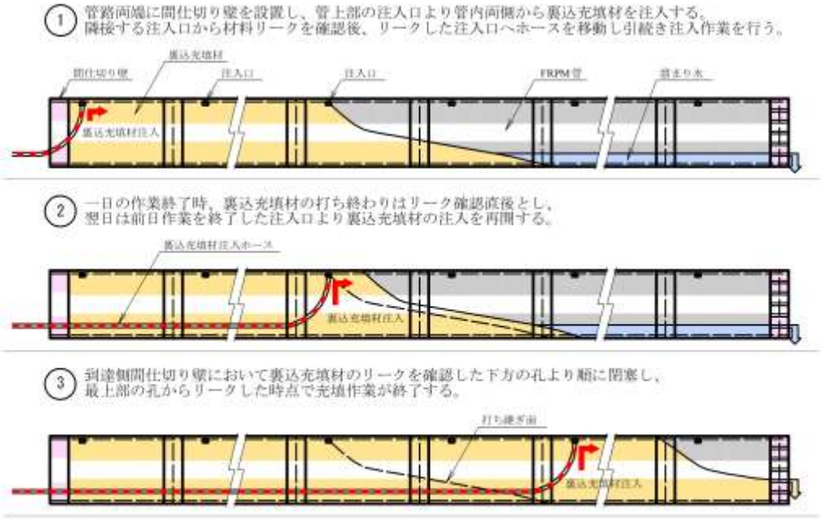


図-7.5.7-15　裏込充填材の注入方法（例）

抜き（確認孔）から流出（リーク）することを確認する。

⑤　充填確認パイプの設置間隔

内面注入によるグラウト孔（注入と空気抜き兼用）の設置間隔は、打設１スパン当たり３か所の設置を標準としているが、打設量や配管線形等から個別に検討が必要である。

外面注入では、端部まで充填できるよう、挿入管路の線形を考慮して注入用配管の配置・本数を検討する。

裏込充填工では、充填中に空気溜まりが発生した場合、隅々までに充填材がまわりきらない可能性があり、弱部となるおそれがあることから、空気が確実に排除できるよう空気抜きを配置する。

また、充填材注入時に挿入管が浮上する場合は適切な対応を検討する。

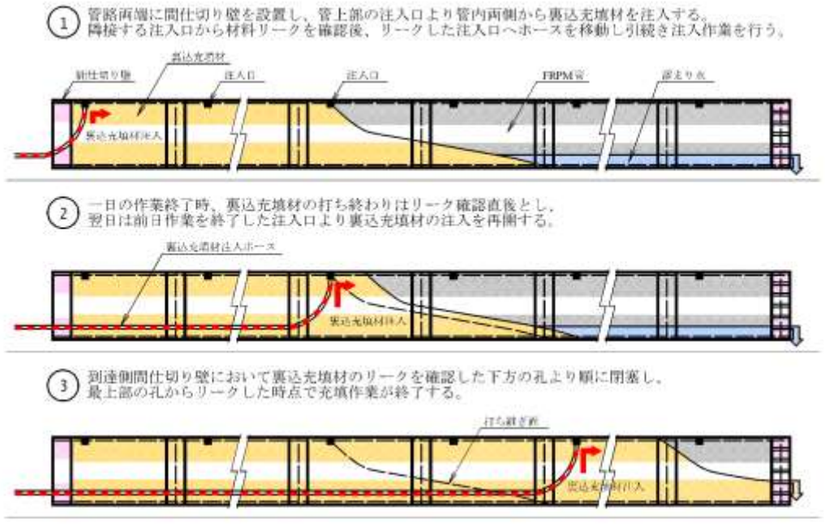


図-7.5.7-15　裏込充填材の注入方法（例）

11）端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（**図-6.5.7-3** 参照）

12）継手性能試験

FRPM 管の布設に際しては、継手の隙間管理と内面テストバンドによる継手性能試験を実施し、水密性能管理を徹底する。**写真-7.5.7-4** に内面テストバンドによる継手性能試験状況を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-27　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」	P.7-26　「7.5.7　既製管挿入工法の施工」



写真-7.5.7-4　空気抜き管（管頂位置）



写真-7.5.7-5　空気抜き管によるリーク確認

11）端部（管口）仕上げ

更生管端部（管口）は、ポリマーセメントモルタル等を使用して覆工の内径に合わせてテーパー状に仕上げる。（図-6.5.7-3 参照）

12）継手性能試験

FRPM 管の布設に際しては、継手の隙間管理と内面テストバンドによる継手性能試験（φ900mm 以上）を実施し、水密性能管理を徹底する。なお、通常の水圧試験の実施が困難な場合（φ800mm 以下等）は、監督職員と協議するものとする。写真-7.5.7-6 に内面テストバンドによる継手性能試験状況を示す。



写真-7.5.7-6　内面テストバンドによる継手性能試験状況



写真-7.5.7-4　内面テストバンドによる継手性能試験状況

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-28　「7.6.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理」	P.7-27　「7.6.3.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理」

7.6　既製管挿入工法の施工管理

7.6.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理

既製管挿入工法に使用する管材の品質管理は、土木工事施工管理基準による。挿入管と覆工の間隙に注入する裏込充填材は、材料、配合、物性値、管理値等について監督職員の承諾を得ることとする。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

既製管挿入工法に使用される管材は、JIS 等の公的規格又は団体規格に準拠した工場二次製品であり、土木工事施工管理基準に適合するものとする。材料の現場搬入時には、外観及び形状寸法について監督職員の検査を受けることを原則とする。さらに、現場での保管管理は、変質又は損傷を受けないよう適切に行わなければならない。

挿入管と覆工の間隙に注入する裏込充填材は、本書に示す管理基準値を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得ることとする。

7.6　施工管理と完成検査

7.6.1　施工計画

第４章　対策工法の共通事項　4.7.1　施工計画　を参照

7.6.2　施工管理

第４章　対策工法の共通事項　4.7.2　施工管理　を参照

7.6.3　既製管挿入工法の施工管理

7.6.3.1　既製管挿入工法の材料の承諾及び保管管理

既製管挿入工法に使用する管材の材料の品質管理は、土木工事施工管理基準による。挿入管と覆工の間隙に注入する裏込充填材は、材料、配合、物性値、管理値等について監督職員の承諾を得ることとする。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

既製管挿入工法に使用される管材は、JIS 等の公的規格や団体規格に準拠した工場二次製品であり、土木工事施工管理基準によるものとし、品質管理は本書で規定しないが、材料の現場搬入時に外観及び形状寸法について監督職員の検査を受けることを原則とする。また、現場での保管管理は、変質・損傷を受けないように適切に行う。

挿入管と覆工の間隙に注入する裏込充填材は、本書に示す管理基準値を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得ることとする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.7-29　「7.6.2　既製管挿入工法の施工時の管理」	P.7-28　「7.6.3.2　既製管挿入工法の施工時の管理」

7.6.2　既製管挿入工法の施工時の管理

既製管挿入工法の施工管理においては、挿入管と覆工との間隙に注入する裏込充填材について、次の項目を確認するものとする。

（1）裏込充填材物性管理（単位容積質量、空気量、フロー値等）

（2）裏込充填材圧力管理（設定値以下）

（3）裏込充填材充填量管理

【解説】

（1）裏込充填材物性管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（2）裏込充填材物性管理　を参照

（2）裏込充填材圧力管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（3）裏込充填材圧力管理　を参照

（3）裏込充填材充填量管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（4）裏込充填材充填量管理　を参照

7.6.3　既製管挿入工法の出来形管理及び品質管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理　を参照

7.6.3.2　既製管挿入工法の施工時の管理

既製管挿入工法の施工管理においては、挿入管と覆工との間隙に注入する裏込充填材に対し、次の項目について確認を行う。

（1）裏込充填材物性管理（単位容積質量、空気量、フロー値等）

（2）裏込充填材圧力管理（設定値以下）

（3）裏込充填材充填量管理

【解説】

（1）裏込充填材物性管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.3.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（2）裏込充填材物性管理　を参照

（2）裏込充填材圧力管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.3.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（3）裏込充填材圧力管理　を参照

（3）裏込充填材充填量管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.3.2　鋼板内張工法の施工時の管理　（4）裏込充填材充填量管理　を参照

7.6.3.3　既製管挿入工法の出来形管理及び品質管理

第６章　鋼板内張工法　6.6.3.3　鋼板内張工法の出来形管理及び品質管理　を参照

7.6.4　完成検査

第５章　裏込注入工法　5.5.4　完成検査　を参照

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-1 「8.1 工法概要」	P.8-1 「8.1 工法概要」

第８章　製管工法

8.1　工法概要

製管工法は、既設水路トンネル内で現場製管によって内面被覆管を形成し、内面被覆管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法であり、製管方法や構造部材の種類から分類できる。

【解説】

製管工法には、既設水路トンネル内に帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材を専用機械でスパイラル状に製管する工法（機械製管工法）や、人力で組み立てた鋼製リングの内側に高密度ポリエチレン製の表面部材を人力で取り付けて製管する工法（人力製管工法）及び円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて新たなアーチを形成する工法（パネル組立工法）等がある。**表-8.1.1** に水路トンネルでの施工実績がある製管工法を示す。

製管工法には、覆工コンクリートの強度を期待せず自立管として設計する事例と、覆工コンクリートの強度を期待する複合管として設計される事例とがある。しかし、複合管については覆工コンクリートのひび割れ等を適切に評価（モデル化）する設計手法が確立されていないため、本書では自立管として改修する製管工法を対象とする。

（1）適用条件

① 地山条件が悪く、覆工に手をかけると危険である場合

② 更生管単独で外圧を負担できる場合、又はアーチ部の更生管と既設インバートコンクリートとで外圧を負担できる場合

（2）工法の特徴

覆工と内面被覆管との間隙は裏込充填材で充填する（**図-8.1.1** 参照）。水路トンネルで実績がある製管工法の施工例を**図-8.1.2～図-8.1.5** に示す。

機械製管工法は既設水路トンネル全周に内面被覆管（帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材）を配置する工法である。人力製管工法には既設水路トンネル全周に内面被覆管（鋼製リング及び高密度ポリエチレン製の表面部材）を配置する工法とアーチ部のみに内面被覆管を配置する工法がある。また、パネル組立工法は側壁及びアーチ部に円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて改修する工法である。このように、適用工法によって補強範囲が異なるため、構造設計の考え方も異なることに留意する必要がある。

製管工法は、補強を目的とする施工実績に加え、覆工コンクリートの摩耗・洗堀に対する表面粗度の向上と耐久性能確保を目的とする補修対策での施工実績とがある。

第８章　製管工法

8.1　工法概要

製管工法は、既設水路トンネル内で現場製管によって内面被覆管を形成し、内面被覆管と覆工との間隙に裏込充填材を充填する工法であり、製管方法や構造部材の種類から分類できる。

【解説】

製管工法には、既設水路トンネル内に帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材を専用機械でスパイラル状に製管する工法（機械製管工法）や、人力で組み立てた鋼製リングの内側に高密度ポリエチレン製の表面部材を人力で取り付けて製管する工法（人力製管工法）及び円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて新たなアーチを形成する工法（パネル組立工法）等がある。**表-8.1.1** に水路トンネルでの施工実績がある製管工法を示す。

製管工法には、覆工コンクリートの強度は期待せず自立管として設計する事例と、覆工コンクリートの強度を期待する複合管として設計される事例とがある。しかし、複合管については覆工コンクリートのひび割れ等を適切に評価（モデル化）する設計手法が確立されていないため、本書では自立管として改修する製管工法を対象とする。

（1）適用条件

① 地山条件が悪く、覆工に手をかけると危険である場合

② 更生管単独で外圧を負担できる場合、又はアーチ部の更生管と既設インバートコンクリートとで外圧を負担できる場合

（2）工法の特徴

覆工と内面被覆管との間隙は裏込充填材で充填する（**図-8.1.1** 参照）。水路トンネルで実績がある製管工法の施工例を**図-8.1.2～図-8.1.5** に示す。

機械製管工法は既設水路トンネル全周に内面被覆管（帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材）を配置する工法である。人力製管工法には既設水路トンネル全周に内面被覆管（鋼製リング及び高密度ポリエチレン製の表面部材）を配置する工法とアーチ部のみに内面被覆管を配置する工法がある。また、パネル組立工法は側壁及びアーチ部に円弧状プレキャストコンクリート版を組み立てて改修する工法である。このように、適用工法によって補強範囲が異なるため、構造設計の考え方も異なることに留意する必要がある。

製管工法は、補強を目的とする施工実績に加え、覆工コンクリートの摩耗・洗堀に対する表面粗度の向上と耐久性能確保を目的とする補修対策での施工実績とがある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-6 「8.2.1 製管工法の要求性能と性能照査」	P.8-6 「8.2.1 製管工法の要求性能と性能照査」

8.2 要求性能、性能照査

8.2.1 製管工法の要求性能と性能照査

製管工法の要求性能は、工法毎に構造部材の種類や施工方法等に応じて適切に設定する。
製管工法の性能照査は、材料及び施工の性能が標準的な試験により定められた基準値を満足していることを確認するとともに、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

製管工法の性能照査は、当該工法に期待される効果の持続期間中に、水路トンネルが所要の要求性能を満足していることを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルについて都度試験施工を行うことや、当該工法に要求される性能を一つの試験で直接評価することは、一般に困難である。

このため、性能照査に当たっては、当該工法に係る材料及び施工の各照査項目について、試験値が基準値を満足していることを確認するものとする。ただし、当該工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加え、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

製管工法を施工した水路トンネルが所要の性能を確保するためには、当該工法に適用する材料の特性及び施工方法を考慮して要求性能を決定する必要がある。試験方法については、JIS 等に規定された方法を用いるものとする。

製管工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-8.2.1-1** に示す。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については本書に示す試験により照査を行う。なお、本書に示す試験よりも合理的な試験方法が確立され、工場製作時点において更生管としての性能が証明されるとともに、施工後においても同一の性能を有していることが証明できる場合に限り、当該試験結果を性能照査に用いることが可能である。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：製管工法施工後に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有することを基本とする。水理計算により流下能力の照査を実施する。

水密性：製管工法構成部及び端部において、想定される水圧に対し所定の許容減水量以下であること。ただし、性能照査においては漏水がないこと。

耐荷性：更生管が地圧、水圧に対する安定した耐荷性能を有していること。

耐力評価手法の正確性を確認する目的で、代表断面（口径）による耐荷強度試験を行う。耐荷強度試験では、自立管の供試体を作製して耐荷強度を測定し、試験結果と材料強度の平均値を用いた構造計算結果が概ね一致することを確認するものとする。

8.2 要求性能、性能照査

8.2.1 製管工法の要求性能と性能照査

製管工法の要求性能は、工法毎に構造部材の種類や施工方法等に応じて適切に設定する。
製管工法の性能照査に際しては、試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、さらに、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

製管工法の性能照査に際しては、製管工法に期待される効果の持続期間中に、製管工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことや製管工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため本書では、製管工法の性能照査に当たっては、製管工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることとした。ただし製管工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

製管工法を施工した水路トンネル施設が所要の性能を確保するためには、製管工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。

工法開発時の製管工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-8.2.1-1** に示す。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については本書に示す試験により照査を行う。なお、本書に示す試験よりも合理的な試験方法が確立され、工場製作時点において更生管としての性能が証明されるとともに、施工後においても同一の性能を有していることが証明できる場合に限り、当該試験結果を性能照査に用いることが可能である。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：製管工法施工後に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有すること。

水密性：製管工法構成部及び端部において、想定される水圧に対し所定の許容減水量以下であること。ただし、性能照査においては漏水がないこと。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.8-8　「8.2.1　製管工法の要求性能と性能照査」

表-8.2.1-1　製管工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	水理機能	水密性	材料の水密性	内水圧水密試験	・JIS A 7511「下水道用プラスチック製管さよ更生工法」に準拠［平板］	所定の内水圧で漏水がないこと
				外水圧水密試験	・JIS A 7511「下水道用プラスチック製管さよ更生工法」に準拠［平板］	所定の外水圧で漏水がないこと
	構造機能	耐荷性	耐荷強度	自立管断面による強度試験	各社技術による	工法の申告値以上
			鋼材の引張強度	引張強度試験	・JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」 ・使用材料の対応 JIS に準拠 ・炭素繊維材料を使用する場合は JSCE-E531 等	工法の申告値以上
			充填材の圧縮強度	圧縮強度試験（注4）	・JSCE-G521「プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法」 ・JSCE-G505「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法」	工法の申告値以上
			充填材の単位容積質量	単位容積質量試験（注4）	・JIS A 1116:2005「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を準用 ・JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 ・JSCE-F536「PC グラウトの単位容積質量試験方法」	工法の申告値以内
			充填材の材料不分離性	ブリーディング試験（注4）	・JSCE-F542「充填モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」 ・JSCE-F522「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」	材料分離が生じない（ブリーディング率が 0%）
		充填性流動性	充填材の流動性	フロー試験（注4）	・JIS R 5201「セメントの物理試験方法」 ・JASS15M-103「セルフレベリング材の品質基準」を準用 ・JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等（J ロート試験）	工法の申告値以内
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注2）	各社技術による	工法の申告値
		耐摩耗性	流水等による摩耗に対する抵抗性	耐摩耗性試験	【樹脂製の表面部材】 ・JIS K 7204「プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法」 ・JIS A 1452「建築材及び建築構成部分の摩耗試験方法 落砂法」 【コンクリート製の表面部材】 ・表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）［20 時間経過後（注3）の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）］	硬質塩化ビニル管と同程度の摩耗量（±50%程度以内）である 標準モルタル供試体（注4）に対する平均摩耗深さの比が 1.5 以下
個別的機能	社会的機能	水質適合性	有害物質の溶出	浸出試験	・JWWA Z 108「水道用資機材浸出試験方法」	有害物質が検出されない

（注 1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。
（注 2）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。
（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 40 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編（令和 5 年 3 月）を参照されたい。
（注 4）標準モルタル供試体（水セメント比 W/C=50%、砂セメント比 S/C=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

○耐摩耗性の試験方法と要求値

コンクリート製の表面部材には流水中の土砂による研磨等によって過度の摩耗が発生しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似し

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.8-8　「8.2.1　製管工法の要求性能と性能照査」

表-8.2.1-1　製管工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	水理機能	通水性	粗度係数（n）	水理計算	設計基準に準拠した水理計算	計画最大流量以上の流下能力
		水密性	材料の水密性	内水圧水密試験	・JIS A 7511（下水道用プラスチック製管さよ更生工法）に準拠［平板］	所定の内水圧で漏水がないこと
				外水圧水密試験	・JIS A 7511（下水道用プラスチック製管さよ更生工法）に準拠［平板］	所定の外水圧で漏水がないこと
	構造機能	耐荷性	耐荷強度	自立管断面による強度試験	各社技術による	工法の申告値以上
			鋼材の引張強度	引張強度試験	・JIS Z 2241（金属材料引張試験方法） ・使用材料の対応 JIS に準拠 ・炭素繊維材料を使用する場合は JSCE-E531 等	工法の申告値以上
			充填材の圧縮強度	圧縮強度試験（注4）	・JSCE-G521（プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法（案）） ・JSCE-G505（円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法（案））	工法の申告値以上
			充填材の単位容積質量	単位容積質量試験（注4）	・JIS A 1116:2005（フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法））を準用 ・JSCE-F536（PC グラウトの単位容積質量試験方法（案））	工法の申告値以内
			充填材の材料不分離性	ブリーディング試験（注4）	・JSCE-F542（充填モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法（案）） ・JSCE-F522（プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法（案））	材料分離が生じない（ブリーディング率が 0%）
		充填性流動性	充填材の流動性	フロー試験（注4）	・JIS R 5201（セメントの物理試験方法） ・JASS15M-103（セルフレベリング材の品質基準）を準用 ・JSCE-F541（充填モルタルの流動性試験方法（案））等（J ロート試験）	工法の申告値以内
			長距離圧送性	模擬配管による充填性能試験（注2）	各社技術による	工法の申告値
		耐摩耗性	流水等による摩耗に対する抵抗性	耐摩耗性試験	【樹脂製の表面部材】 ・JIS K 7204（プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法） ・JIS A 1452（建築材及び建築構成部分の摩耗試験方法 落砂法） 【コンクリート製の表面部材】 ・表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）（材齢 28 日，20 時間経過後（注3））	硬質塩化ビニル管と同程度の摩耗量（±50%程度以内）である 標準モルタル供試体（注4）に対する平均摩耗深さの比が 1.5 以下
個別的機能	社会的機能	水質適合性	有害物質の溶出	浸出試験	・JWWA Z 108（水道用資機材浸出試験方法）	有害物質が検出されない

（注 1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。
（注 2）過去の圧送距離を超える圧送を行う場合には、適用する配合に対し新たな模擬配管による充填性能試験を行う。
（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 40 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年 4 月）を参照されたい。
（注 4）標準モルタル供試体（水セメント比 W/C=50%、砂セメント比 S/C=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

（3）耐久性

第 4 章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-9 「8.2.1　製管工法の要求性能と性能照査」	

ている水砂噴流摩耗試験により照査する。

（参考：長束勇、上野和広、渡嘉敷勝、石井将幸、水砂噴流摩耗試験機の試作とその性能評価、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.89-95、2010）

［試験方法］

上野らの試験によれば、摩耗を受けた水路構造物から採取した供試体と水砂噴流摩耗試験機による摩耗試験結果を比べた結果、実水路における概ね 20 年間の摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験機の試験 10 時間に相当する。

パネル組立工法の効果が期待される期間を 40 年と想定した場合、水砂噴流摩耗試験（水砂噴流、水圧 2MPa）の 20 時間後の平均摩耗深さを測定し照査する。耐摩耗性の照査に用いる試験供試体は 3 個とし、試験材齢は 28 日とする。

（参考：上野和広、長束勇、石井将幸、開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.105-111、2010）

［要求値］

要求値は、水砂噴流摩耗試験装置における、標準モルタル 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（=3.5mm）(注1) とコンクリート製の表面部材の平均摩耗深さ B の比（B/A）で規定する。要求値 B/A は、表-8.2.1-2 に示すとおりである。

長束らによる表面被覆工法の材料を対象とした水砂噴流摩耗試験結果では、摩耗時間と平均摩耗深さは線形的な比例関係が示されている。よって、標準モルタル供試体と単一材料からなるコンクリート製の表面部材の平均摩耗深さの比である要求値（B/A）において、効果が期待される期間を 40 年の要求値（B/A）は、効果が期待される期間 20 年（水砂噴流摩耗試験で 10 時間相当）の要求値（B/A）と同一値とする。

表-8.2.1-2　コンクリート製の表面部材の耐摩耗性の要求値（B/A）

材料の種類	標準モルタル供試体の 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）(注1) と頭部処理材の平均摩耗深さ B の比（B/A）	参考 (注2) コンクリート製の表面部材 の許容平均摩耗深さ（20 時間）（mm）
コンクリート製の表面部材	1.5 以下	10.5 以下 (注2) （1.5×3.5×（20/10）=10.50）

（注 1）標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）は、これまでに水砂噴流摩耗試験で得られた標準モルタル供試体 10 時間平均摩耗深さの母平均及び標準誤差より算出し、安全側を考慮し実測データの母平均 3.62mm より 0.5mm 刻みで切り捨てた。

（注 2）摩耗時間と平均摩耗深さが線形的な比例関係を示すことから、コンクリート製の表面部材の許容平均摩耗深さ（20 時間）は、標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）に摩耗時間の比（20 時間/10 時間）を乗じ、その値に、基準値 A とコンクリート製の表面部材の平均摩耗深さ B の比 B/A を乗じた値とする。小数点 2 桁とした場合では計測が困難となるため、安全側に値の端数を切り捨てた小数点 1 位の値とした。ここでいう平均摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験（20 時間）の平均摩耗深さが 10.5mm 以下であること、又は水砂噴流摩耗試験（10 時間）の平均摩耗深さを 2.0 倍した値が 10.5mm 以下であることを意味する。

（3）耐久性

第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-13　「8.4.3　製管工法の構造設計」	P.8-12　「8.4.3　製管工法の構造設計」
① 製管工法の構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。 ・ 自重（更生管及び覆工コンクリートの自重） ・ 地圧 ・ 地下水圧 ・ 内水圧 ・ 施工時荷重（裏込充填材充填時における浮力・充填圧） ② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。 ③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。地下水位が高くウィープホールが目詰まり等によりその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。その場合の水位設定については、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例もある。ただし、被圧水頭は別途考慮する。 自立管として設計する製管工法は、構造部材厚が厚く、座屈耐力が大きい。そのため構造部材全体が座屈する状況は考えにくいが、覆工や裏込め材と比べて剛性が小さく，水密性の高い表面部材だけが外水圧の影響で変形する可能性がある。 機械製管工法及び人力製管工法では、最大の外水圧が作用しても内水の流下阻害につながるような表面部材の膨れや変形が生じないことを確認する。 ④ 更生管背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。 地盤のモデル化の詳細は**第４章**を参照する。 地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。地山のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を適用してよい（地盤反力係数を算出する補正係数αは４を適用する）。 また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。 ⑤ 製管工法の施工時に作用する荷重は裏込充填材の注入圧である。裏込を全断面一括で施工した場合の他、日当たり打設量や過大な断面力の発生を避けるため、仕上がり高さで管理する分割施工により作用荷重の低減を図る場合もある。分割施工の場合は、各施工段階における解析を行い、	① 製管工法の構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。 ・ 自重（更生管及び覆工コンクリートの自重） ・ 地圧 ・ 地下水圧 ・ 内水圧 ・ 施工時荷重（裏込充填材充填時における浮力・充填圧） ② 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。 ③ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。地下水位が高くウィープホールが目詰まり等によりその機能を十分発揮できなくなるおそれがある場合には、将来考えられる最大の外水圧を考慮して構造計算を行う。その場合の水位設定については、ボーリング調査による長期間の水位観測が必要であるが、予想される最高地下水位を計画路線上の地表標高として設計する事例もある。ただし、被圧水頭は別途考慮する。 自立管として設計する製管工法は、構造部材厚が厚く、座屈耐力が大きい。そのため構造部材全体が座屈する状況は考えにくいが、覆工や裏込め材と比べて剛性が小さく，水密性の高い表面部材だけが外水圧の影響で変形する可能性がある。 機械製管工法及び人力製管工法では、最大の外水圧が作用しても内水の流下阻害につながるような表面部材の膨れや変形が生じないことを確認する。 ④ 更生管背面の反力係数は、解析モデルの節点に作用する地盤ばね（法線方向地盤ばね係数：K_r、接線方向地盤ばね係数：K_θ）でモデル化してよい。作用力は部材に直接作用させるものとする。部材を支持する地盤ばねは、圧縮方向にのみ作用させるものとし、部材が内側へ変位する場合には考慮しない。 地盤のモデル化の詳細は**第４章**を参照する。 地盤ばね係数は、地山相当のばね係数と裏込充填材のばね係数を比較して、小さい方を適用する。裏込充填材のばね係数は、**式 4.5.2-1**、**式 4.5.2-2** で算出してよい。なお、裏込充填材（エアモルタル）の変形係数は、**表-6.4.3-1** の値を適用してよい（地盤反力係数を算出する補正係数αは４を適用する）。 また、覆工背面空洞への裏込注入を実施しない場合は、空洞範囲の地盤ばねを設定しない。 ⑤ 製管工法の施工時に作用する荷重は裏込充填材の注入圧である。裏込を全断面一括で施工した場合の他、日当たり打設量や過大な断面力の発生を避けるため、仕上がり高さで管理する分割施工により作用荷重の低減を図る場合もある。分割施工の場合は、各施工段階における解析を行い、

（凡例）赤字：修正箇所

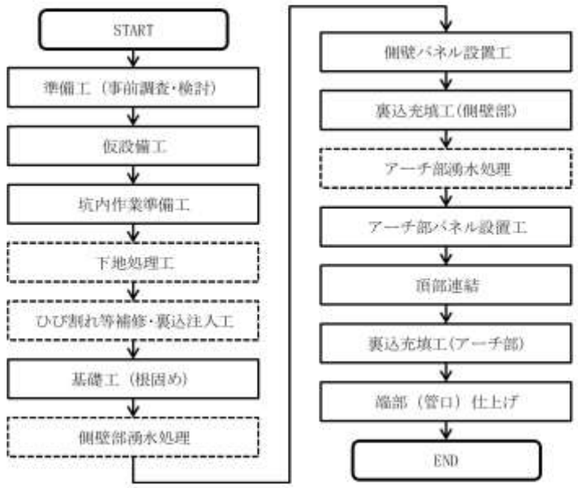
新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-14　「8.4.3　製管工法の構造設計」	P.8-13　「8.4.3　製管工法の構造設計」
内面被覆管に対する曲げ・せん断、又は変形・座屈の照査を行う。内面に支保材を設置して更生管の浮上や変形を防止する場合は、支保材及び更生管に作用する断面力を算定し、応力度を照査する。施工時荷重で構造部材の規格が決定されることがないよう、充填方法を検討して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。	内面被覆管に対する曲げ・せん断、又は変形・座屈の照査を行う。内面に支保材を設置して更生管の浮上や変形を防止する場合は、支保材及び更生管に作用する断面力を算定し、応力度を照査する。施工時荷重で構造部材の規格が決定されることがないよう、充填方法を工夫して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。
⑥　照査は、解析で求まる補強部材の応力度と許容応力度との比較（許容応力度法）、又は、設計断面力と設計断面耐力の比較（限界状態設計法）により行う。限界状態設計法における部分安全係数は土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」（平成 26 年 3 月、**8.2　限界状態設計法による設計**）に示された断面破壊の値を適用する。	⑥　照査は、解析で求まる補強部材の応力度と許容応力度との比較（許容応力度法）、又は、設計断面力と設計断面耐力の比較（限界状態設計法）により行う。限界状態設計法における部分安全係数は土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路工」（平成 26 年 3 月、**8.2　限界状態設計法による設計**）に示された断面破壊の値を適用する。
8.4.4　水抜工 **第４章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工**　を参照	8.4.4　水抜工 **第４章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工**　を参照

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-26　「8.5.7　製管工法の施工」	P.8-25　「8.5.7　製管工法の施工」

（3）パネル組立工法の施工

パネル組立工法は、トンネル横断方向で多分割された円弧状のプレキャストコンクリート版をあらかじめ構築された側壁の上に設置して新たなアーチを製管する工法である。急速施工を目的としてプレキャストコンクリート製品を用いた側壁を適用することもある。プレキャストコンクリート版（以下「PCL 版」という。）と覆工との間隙は、裏込充填材で充填する。施工は、**図-8.5.7-15** の手順で行う。



注）破線は必要に応じて実施する

図-8.5.7-15　パネル組立工法の施工フロー（例）

1）基礎工（根固めコンクリート）

覆工コンクリートの側壁下端部にアンカー鉄筋を挿入・組み立てて（**写真-8.5.7-10**）、根固めコンクリートを打設し、側壁パネルの基礎を構築する（**写真-8.5.7-11**）。



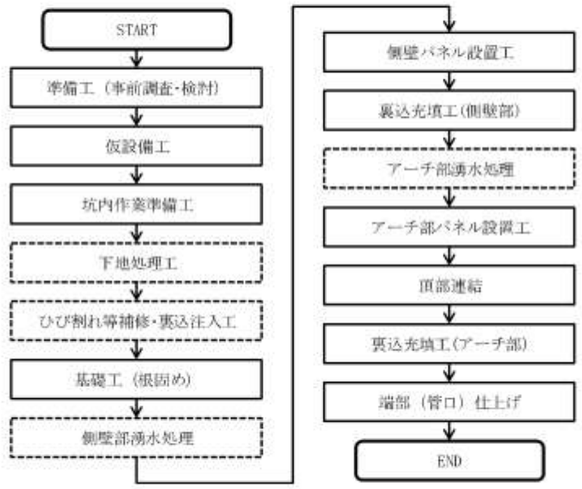
写真-8.5.7-10　鉄筋挿入・組み立て



写真-8.5.7-11　基礎工（根固めコンクリート）

（3）パネル組立工法の施工

パネル組立工法は、トンネル横断方向で多分割された円弧状のプレキャストコンクリート版をあらかじめ構築された側壁の上に設置して新たなアーチを製管する工法である。急速施工を目的としてプレキャストコンクリート製品を用いた側壁を適用することもある。プレキャストコンクリート版（以下、「PCL 版」という）と覆工との間隙は、裏込充填材で充填する。施工は、**図-8.5.7-15** の手順で行う。



注）破線は必要に応じて実施する

図-8.5.7-15　パネル組立工法の施工フロー（例）

1）基礎工（根固めコンクリート）

覆工コンクリートの側壁下端部にアンカー鉄筋を挿入・組み立てて（**写真-8.5.7-10**）、根固めコンクリートを打設し、側壁パネルの基礎を構築する（**写真-8.5.7-11**）。



写真-8.5.7-10　鉄筋挿入・組み立て



写真-8.5.7-11　基礎工（根固めコンクリート）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-27　「8.5.7　製管工法の施工」	P.8-26　「8.5.7　製管工法の施工」

2）湧水処理工

覆工から湧水のある場合は、止水・導水対策として、防水シートやドレーンを設置する。覆工からの湧水量が多い場合、防水シートの敷設と併せて導水対策を行うことが望ましい。**写真-8.5.7-12** に湧水処理工の施工例を示す。



写真-8.5.7-12　湧水処理工の施工例

3）パネル（PCL 版）設置工

①　パネル（PCL 版）運搬・架設

PCL 版の運搬・架設に係る施工機械については、交通の制約条件、パネル分割数、重量、施工延長及び経済性などを総合的に判断して決定しなければならない。水路トンネルにおける施工実績として、2r=3.8m（標準馬てい形）の補強工事に、フォークリフト方式が採用された実績がある。**写真-8.5.7-13～写真-8.5.7-16** に PCL 版運搬・架設状況を示す。



写真-8.5.7-13　側壁 PCL 版運搬



写真-8.5.7-14　側壁 PCL 版架設

2）湧水処理工

覆工から湧水のある場合は、止水・導水対策として、防水シートやドレーンを設置する。覆工からの湧水量が多い場合、防水シートの敷設と併せて導水対策を行うことが望ましい。**写真-8.5.7-12** に湧水処理工の施工例を示す。



写真-8.5.7-12　湧水処理工の施工例

3）パネル（PCL 版）設置工

①　パネル（PCL 版）運搬・架設

PCL 版の運搬・架設に係る施工機械については、交通の制約条件、パネル分割数、重量、施工延長並びに経済性などについて総合的に判断して決定しなければならない。水路トンネルにおける施工実績として、2r=3.8m（標準馬てい形）の補強工事に、フォークリフト方式が採用された実績がある。**写真-8.5.7-13～写真-8.5.7-16** に PCL 版運搬・架設状況を示す。



写真-8.5.7-13　側壁 PCL 版運搬



写真-8.5.7-14　側壁 PCL 版架設

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.8-32　「8.6.1　製管工法の材料の承諾及び保管管理」

8.6　製管工法の施工管理

8.6.1　製管工法の材料の承諾及び保管管理

製管工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

（1）製管工法に使用する資材の製造管理と品質管理

製管工法に使用する資材は、表-8.6-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

表-8.6-1　製管工法に使用する資材の構成要素と材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
表面部材	硬質塩化ビニル樹脂 ポリエチレン樹脂	外観・形状・寸法 （原材料の入荷ロットごとの品質チェック）
金属部材	鋼製材等	寸法、ミルシート、めっき量等 （入荷ロットごとの品質チェック）
パネル部材	鉄筋コンクリート版 超高強度繊維補強コンクリート版	外観・形状・寸法 （入荷ロットごとの品質チェック）
裏込充填材	セメント、モルタル等	圧縮強度、フロー値等 （材料の入荷ロットごとの品質チェック）

（2）製管工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

1）表面部材

表面部材は、長期にわたり屋外で紫外線暴露すると、表面の劣化により部材の物性が低下するおそれがある。このため、保管場所は屋内を原則とし、搬送・搬入時には適切な遮光措置を講じる必要がある。また、部材は熱可塑性樹脂であるため、極度の高温状態（硬質塩化ビニル樹脂では 60℃以上、ポリエチレン樹脂では 45℃以上）での保管は、材料変形をもたらし、極度の低温状態（−10℃以下）での保管は材料の脆化を招くため避けなければならない。さらに、その取扱いにおいても、損傷を与えないよう細心の注意を払わなければならない。

2）金属部材

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

3）パネル部材

パネル部材を置き場に保管する場合には、自重や積重ねによる異常な応力や塑性変形が生じることのないようにしなければならない。取扱いや運搬の途中で、ひび割れ、欠け等の損傷を受けやすいので作業は十分に注意し、必要な場合にはこれらの損傷を防ぐための防護措置を施さなければならない。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.8-31　「8.6.3.1　製管工法の材料の承諾及び保管管理」

8.6　施工管理と完成検査

8.6.1　施工計画

第４章　対策工法の共通事項　4.7.1　施工計画　を参照

8.6.2　施工管理

第４章　対策工法の共通事項　4.7.2　施工管理　を参照

8.6.3　製管工法の施工管理

8.6.3.1　製管工法の材料の承諾及び保管管理

製管工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

（1）製管工法に使用する資材の製造管理と品質管理

製管工法に使用する資材は、表-8.6.3-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

表-8.6.3-1　製管工法に使用する資材の構成要素と材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
表面部材	硬質塩化ビニル樹脂 ポリエチレン樹脂	外観・形状・寸法 （原材料の入荷ロットごとの品質チェック）
金属部材	鋼製材等	寸法、ミルシート、めっき量等 （入荷ロットごとの品質チェック）
パネル部材	鉄筋コンクリート版 超高強度繊維補強コンクリート版	外観・形状・寸法 （入荷ロットごとの品質チェック）
裏込充填材	セメント、モルタル等	圧縮強度、フロー値等 （材料の入荷ロットごとの品質チェック）

（2）製管工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

1）表面部材

表面部材は、長期にわたり屋外で紫外線暴露すると、表面の劣化により部材の物性が低下するおそれがある。このため、保管場所は屋内を原則とし、搬送・搬入時には適切な遮光措置を講じる必要がある。また、部材は熱可塑性樹脂であるため、極度の高温状態（硬質塩化ビニル樹脂では 60℃以上、ポリエチレン樹脂では 45℃以上）での保管は、材料変形をもたらし、極度の低温状態（−10℃以下）での保管は材料の脆化を招くため避けなければならない。さらに、その取扱いにおいても、損傷を与えないよう細心の注意を払わなければならない。

2）金属部材

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなけ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-34　「8.6.2　製管工法の施工時の管理」	P.8-33　「8.6.3.2　製管工法の施工時の管理」

8.6.2　製管工法の施工時の管理

製管工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）製管状態の確認　（2）裏込充填材性状確認　（3）裏込充填材注入圧力管理
（4）裏込充填材注入量管理　（5）充填状況の確認

【解説】

表面被覆管の製管に関しては嵌合又は組合せ状態に注意を払いながら施工を実施し、裏込充填材注入に関しては裏込充填材の性状と間隙が残らないように細心の注意を払いながら注入を行わなければならない。

管理項目は、次のとおりである。

（1）製管状態の確認

製管時に、嵌合部（接合部）にごみ等の不純物が挟まっていないかを確認する。挟まっている場合は、嵌合部（接合部）をハケ、ブラシ等で清掃し、異物を取り除いた後、製管を行う。

製管完了後、全スパンにわたり、嵌合（接合）状態を含め表面被覆管の内面を目視により確認する。

（2）裏込充填材性状確認

現場配合を行う場合は、配合比を管理し、データシート等に記録する。

注入日ごとにフロー試験等を行い、裏込充填材の性状の確認を行い、記録する。工法によりゲルタイム測定が必要な場合には、その測定を行い記録する。

（3）裏込充填材注入圧力管理

充填材を圧力注入する場合は、注入中は注入圧力を圧力計等により随時計測し、記録する。

圧力注入しない場合は、ポンプ吐出圧の監視を行い、異常圧力に注意する。

（4）裏込充填材注入量管理

施工中の充填材注入量については、流量計等を用いて連続的に注入量と時間を計測し、チャート紙に記録する。

（5）充填確認方法

注入時に充填確認孔から裏込充填材が流出（リーク）したことを確認する。また、注入時に充填材が仕上げ表面に漏出していないことや計画注入量と実際の注入量の対比により注入時の確認を行う。

充填後は打音調査及びウィープホール（水抜工）により裏込充填状況を確認する。打音調査は裏込充填範囲の全延長の全面を対象とし、打音調査の密度（間隔）は縦横 0.2m 程度を目安に行うものとする。また、ウィープホール削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。

8.6.3.2　製管工法の施工時の管理

製管工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）製管状態の確認　（2）裏込充填材性状確認　（3）裏込充填材注入圧力管理
（4）裏込充填材注入量管理　（5）充填状況の確認

【解説】

表面被覆管の製管に関しては嵌合又は組合せ状態に注意を払いながら施工を実施し、裏込充填材注入に関しては裏込充填材の性状と間隙が残らないように細心の注意を払いながら注入を行わなければならない。

管理項目は、次のとおりである。

（1）製管状態の確認

製管時に、嵌合部（接合部）にゴミ等の不純物が挟まっていないかを確認する。挟まっている場合は、嵌合部（接合部）をハケ、ブラシ等で清掃し、異物を取り除いた後、製管を行う。

製管完了後、全スパンにわたり、嵌合（接合）状態を含め表面被覆管の内面を目視により確認する。

（2）裏込充填材性状確認

現場配合を行う場合は、配合比を管理し、データシート等に記録する。

注入日ごとにフロー試験等を行い、裏込充填材の性状の確認を行い、記録する。工法によりゲルタイム測定が必要な場合には、その測定を行い記録する。

（3）裏込充填材注入圧力管理

充填材を圧力注入する場合は、注入中は注入圧力を圧力計等により随時計測し、記録する。

圧力注入しない場合は、ポンプ吐出圧の監視を行い、異常圧力に注意する。

（4）裏込充填材注入量管理

施工中の充填材注入量については、流量計等を用いて連続的に注入量と時間を計測し、チャート紙に記録する。

（5）充填確認方法

注入時に充填確認孔から裏込充填材が流出（リーク）したことを確認する。また、注入時に充填材が仕上げ表面に漏出していないことや計画注入量と実際の注入量の対比により注入時の確認を行う。

充填後は打音調査及びウィープホール（水抜工）により裏込充填状況を確認する。打音調査は裏込充填範囲の全延長の全面を対象とし、打音調査の密度（間隔）は縦横 20cm 程度を目安に行うものとする。また、ウィープホール削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認する。**図-4.5.3-1** にウィープホールの標準的な位置を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.8-36　「8.6.3　製管工法の出来形管理及び品質管理」	P.8-35　「8.6.3.3　製管工法の出来形管理及び品質管理」

8.6.3　製管工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。
裏込充填材の品質管理については、施工した水路トンネル施設から採取したテストピース等を使用し、試験結果から確認を行う。

【解説】

（1）出来形管理

出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）」によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

1）製管工法の仕上がり内径

製管工法の仕上がり内径は、20m 毎に測定する。測定は、0°から 180°、90°から 270°の２断面について実施する。

2）仕上がり内面の状況

製管後の仕上がり面について、縦断勾配の不陸等の欠陥や異常箇所がないことを確認する。また、仕上げ部においては、浸入水、仕上げ材の剥離、ひび割れ等の異常がないことを確認する。

3）工事記録写真等の撮影及び提出

工事記録写真等の内容及び撮影頻度については、本書の巻末資料に示す検査結果等の記録が報告書に添付されていることを確認する。

（2）品質管理

1）品質管理方法

製管後に行う裏込充填材の圧縮強度試験は、裏込充填時の材料で成型した供試体を使用し、その試験は「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）（JSCE G 505）」等の圧縮試験に準じて行う。その結果が規格値を上回ることを公的試験機関又は監督職員の立会いのもとで確認する。また、裏込充填材の充填状況確認のため打音検査等を実施する。

2）供試体採取方法

供試体の採取方法は、施工時のアジテータ及び水路トンネル坑内において裏込充填材注入ホース先端から採取を行い、作製方法は「モルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方（案）（JSCE F 506）」に準拠する。

3）採取頻度

供試体の採取頻度は、注入日ごとに１回とする。

4）あと施工アンカーの品質管理

あと施工アンカーの品質管理は「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針（案）、土木学会、令和４年１月、pp.101～107」を参考にする。

8.6.3.3　製管工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。
裏込充填材の品質管理については、施工した水路トンネル施設から採取したテストピース等を使用し、試験結果から確認を行う。

【解説】

（1）出来形管理

出来形管理は、土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）による。記載されてない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。

1）製管工法の仕上がり内径

製管工法の仕上がり内径は、20m 毎に測定する。測定は、0°から 180°、90°から 270°の２断面について実施する。

2）仕上がり内面の状況

製管後の仕上がり面について、縦断勾配の不陸等の欠陥や異常箇所がないことを確認する。また、仕上げ部においては、浸入水、仕上げ材の剥離、ひび割れ等の異常がないことを確認する。

3）工事記録写真等の撮影及び提出

工事記録写真等の内容及び撮影頻度については、本書の巻末資料に示す検査結果等の記録が報告書に添付されていることを確認する。

（2）品質管理

1）品質管理方法

製管後に行う裏込充填材の圧縮強度試験は、裏込充填時の材料で成型した供試体を使用し、その試験は「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法（案）（JSCE G 505）」等の圧縮試験に準じて行う。その結果が規格値を上回ることを公的試験機関又は監督職員の立会いのもとで確認する。また、裏込充填材の充填状況確認のため打音検査等を実施する。

2）供試体採取方法

供試体の採取方法は、施工時のアジテータ及び水路トンネル坑内において裏込充填材注入ホース先端から採取を行い、作製方法は「モルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験用円柱供試体の作り方（案）（JSCE F 506）」に準拠する。

3）採取頻度

供試体の採取頻度は、注入日ごとに１回とする。

4）あと施工アンカーの品質管理

あと施工アンカーの品質管理は「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）、土木学会、平成 26 年３月、pp.70～73」を参考にする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-1 「9.1 工法概要」	P.9-1 「9.1 工法概要」

第９章　接着工法

9.1　工法概要

接着工法は、覆工を取り壊すことなく、内面に繊維グリッドや繊維シート、鉄筋等の補強材を接着することにより、覆工の耐力の回復又は向上を図る工法であり、補強材の種類から分類できる。

【解説】

既設コンクリートの表面にモルタル、コンクリート又は鉄筋コンクリート等を接着一体化することにより部材の断面や鉄筋量等を増加させ、耐力の回復や向上を図る工法は、「内巻工法」と称される。また、「内巻工法」は内巻厚さや施工方法により「接着工法」と「増厚工法」に分類される。

表-9.1.1 に本書における内巻工法の分類を示す。本書では、スライディングフォームなどの型枠を使うものを「増厚工法」、コテ塗りや吹付けで施工するものを「接着工法」に分類する。内巻工法は、必要な構造性能（剛性・耐荷力）に応じて部材厚を増やすことができる。一般に内巻厚さが 125mm 以下は吹付けやコテ塗り施工が適用される。

本書では「内巻工法」の中で、施工実績を有する「接着工法」を対象とする。

接着工法は、覆工を取り壊さずに覆工コンクリートの表面に格子状の繊維や連続繊維、鉄筋などの補強材を取り付け、その上に増厚材としてポリマーセメントモルタル（PCM）や複数微細ひび割れ型繊維補強セメント複合材（HPFRCC）、樹脂モルタルなどを吹付け又はコテ塗りし、覆工コンクリートと一体化することで、主に引張応力を分担させ、耐荷性や耐久性の向上を図る工法である。

表-9.1.1　内巻工法の分類

工　法	内巻厚さ	施工方法
接着工法	薄い	コテ塗り・吹付け
増厚工法	厚い	型枠施工

（1）適用条件

①　覆工背面空洞への裏込注入工単独では機能の維持ができない場合

②　覆工コンクリートの強度が期待できる場合

（2）工法の特徴

接着工法は、補強材と増厚材を覆工コンクリートと一体化させることで、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、覆工コンクリートが十分な強度を有する場合に適用できる。

図-9.1.1 に水路トンネルにおける適用例を示す。

第９章　接着工法

9.1　工法概要

接着工法は、覆工を取り壊すことなく、内面に繊維グリッドや繊維シート、鉄筋等の補強材を接着することにより、覆工の耐力の回復又は向上を図る工法であり、補強材の種類から分類できる。

【解説】

既設コンクリートの表面にモルタルやコンクリート若しくは鉄筋コンクリート等を接着一体化することにより部材の断面や鉄筋量等を増加させ、耐力の回復や向上を図る工法は、「内巻工法」と称される。また、「内巻工法」は内巻厚さや施工方法により「接着工法」と「増厚工法」に分類される。

表-9.1.1 に本書における内巻工法の分類を示す。本書では、スライディングフォームなどの型枠を使うものを「増厚工法」、コテ塗りや吹付けで施工するものを「接着工法」に分類する。内巻工法は、必要な構造性能（剛性・耐荷力）に応じて部材厚を増やすことができる。一般に内巻厚さが 125mm 以下は吹付けやコテ塗り施工が適用される。

本書では「内巻工法」の中で、施工実績を有する「接着工法」を対象とする。

接着工法は、覆工を取り壊さずに覆工コンクリートの表面に格子状の繊維や連続繊維、鉄筋等の補強材を取り付け、その上に増厚材としてポリマーセメントモルタル等を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化することにより、耐荷性や耐久性の向上を図る工法である。

表-9.1.1　内巻工法の分類

工　法	内巻厚さ	施工方法
接着工法	薄い	コテ塗り・吹付け
増厚工法	厚い	型枠施工

（1）適用条件

①　覆工背面空洞への裏込注入工単独では機能の維持が出来ない場合

②　覆工コンクリートの強度が期待できる場合

（2）工法の特徴

接着工法は、補強材と増厚材を覆工コンクリートと一体化させることで、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、覆工コンクリートが十分な強度を有する場合に適用できる。

図-9.1.1 に水路トンネルにおける適用例を示す。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-2　「9.1　工法概要」	**P.9-2**　「9.1　工法概要」

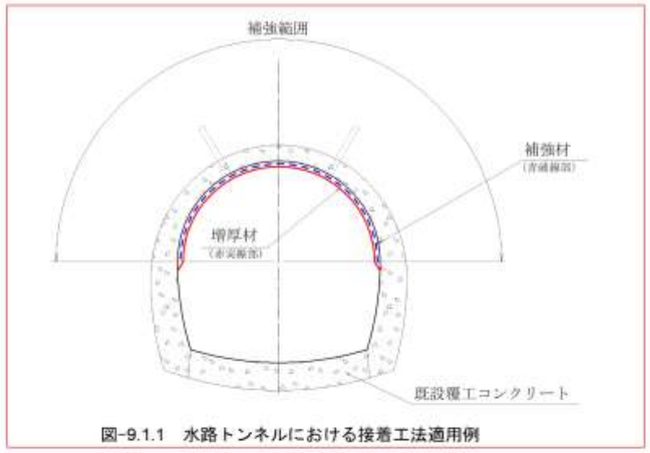
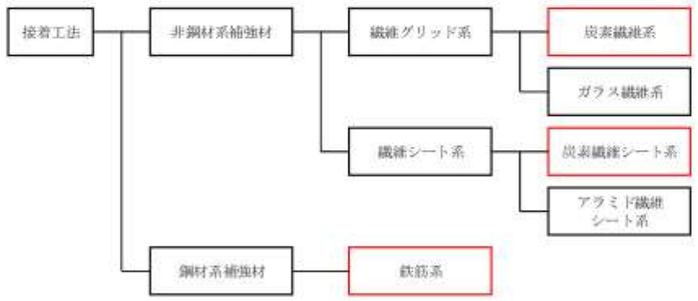


図-9.1.1　水路トンネルにおける接着工法適用例



※　赤枠囲いが施工実績のある工法である。

図-9.1.2　補強材の種類による接着工法の分類

水路トンネルで施工実績のある接着工法は、補強材の種類により**図-9.1.2** のように分類される。本マニュアルでは、これらの工法を、以下の一般名称で呼称する。

「繊維グリッド系接着工法」
（炭素繊維グリッド系接着工法・ガラス繊維グリッド系接着工法）
「繊維シート系接着工法」
（炭素繊維シート系接着工法・アラミド繊維シート系接着工法）
「鉄筋系接着工法」

なお、本書で取り扱う接着工法は、水路トンネルにおける施工実績が確認されている炭素繊維グリッド系接着工法、ストランド型炭素繊維シート系接着工法、及び鉄筋系接着工法である。

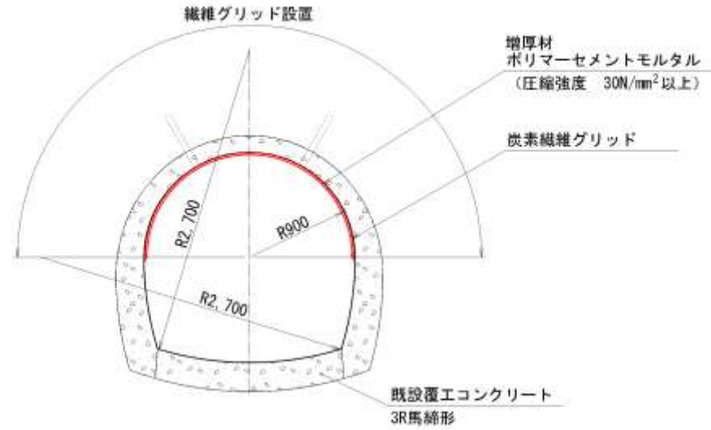


図-9.1.1　水路トンネルにおける接着工法適用例

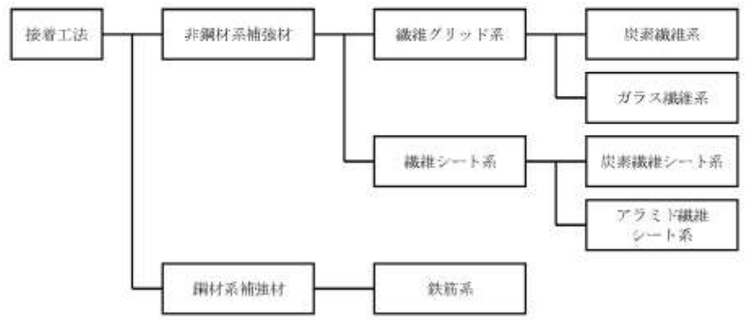


図-9.1.2　補強材の種類による接着工法の分類

水路トンネルで施工実績のある接着工法は、補強材の種類により**図-9.1.2** のように分類される。本マニュアルでは、これらの工法を、以下の一般名称で呼称する。

「繊維グリッド系接着工法」
（炭素繊維グリッド系接着工法・ガラス繊維グリッド系接着工法）
「繊維シート系接着工法」
（炭素繊維シート系接着工法・アラミド繊維シート系接着工法）
「鉄筋系接着工法」

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-3　「9.1　工法概要」	P.9-3　「9.1　工法概要」

表-9.1.2 に接着工法の概要を示す。なお、接着工法に適用するポリマーセメントモルタルや樹脂モルタルについては、増厚材、結合材、接合材、接着材等、種々の呼び方が存在するが、本書では、これらの総称を「増厚材」という。（既設覆工の部材厚を増厚する材料であるので増厚材とする。）

表-9.1.2　水路トンネルで施工実績のある接着工法の概要

工法	工法の概要	補強材	増厚材
繊維グリッド系接着工法	格子状の炭素繊維やガラス繊維を補強材とし、付着力の高いポリマーセメントモルタルや HPFRCC を吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	格子状の炭素繊維又はガラス繊維	ポリマーセメントモルタル 又は HPFRCC
繊維シート系接着工法	炭素繊維シートやアラミドシートを樹脂モルタルや含浸・接着樹脂等により既設水路トンネルのアーチ部に定着固定し、覆工コンクリートと一体化させる工法である。補強層の摩耗対策として樹脂モルタルやポリマーセメントモルタル等で増厚し、表面保護を行う場合もある。（図-9.1.3 参照）	炭素繊維シート又はアラミド繊維シート	樹脂モルタル等
鉄筋系接着工法	覆工コンクリートの表面に鉄筋を配筋し、ポリマーセメントモルタルや HPFRCC を吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	鉄筋	ポリマーセメントモルタル 又は HPFRCC



図-9.1.3　繊維シート系接着工法の断面図

繊維グリッドに使用するガラス繊維は、組成によりＥガラス（一般用）、Ｃガラス（耐酸用）、ARガラス（耐アルカリ用）等があるが、通常、繊維強化プラスチック（FRP）にはＥガラスが用いられる。

Ｅガラスを用いたFRPは、乾燥状態においては各性能に問題はないが、湿潤＋アルカリ環境では引張強度が低下することが報告されている。

コンクリート素材は、水セメント比、最大骨材寸法にもよるが、数%の吸水があることが確認されており、セメント成分によりコンクリートは、アルカリ環境にある。その湿潤アルカリ環境に、Ｅガラスを用いたガラス繊維プラスティック（GFRP）を用いると、素材の引張強度が低下するおそ

表-9.1.2 に接着工法の概要を示す。なお、接着工法に適用するポリマーセメントモルタルや接着用ポリマーモルタルについては、増厚材、結合材、接合材、接着材等、種々の呼び方が存在するが、本書では、これらの総称を「増厚材」という。

表-9.1.2　水路トンネルで施工実績のある接着工法の概要

工法	工法の概要	補強材	増厚材
繊維グリッド系接着工法	格子状の炭素繊維やガラス繊維を補強材とし、付着力の高いポリマーセメントモルタルを吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	格子状の炭素繊維又はガラス繊維	ポリマーセメントモルタル
繊維シート系接着工法	炭素繊維シートやアラミドシートを接着用ポリマーモルタルや含浸・接着樹脂等により既設水路トンネルのアーチ部に定着固定し、ポリマーモルタル等のコテ塗りにより表面保護を行う。	炭素繊維シート又はアラミド繊維シート	接着用ポリマーモルタル等
鉄筋系接着工法	覆工コンクリートの表面に鉄筋を配筋し、ポリマーセメントモルタルを吹付け又はコテ塗りにより覆工コンクリートと一体化させる。	鉄筋	ポリマーセメントモルタル

繊維グリッドに使用するガラス繊維は、組成によりＥガラス（一般用）、Ｃガラス（耐酸用）、ARガラス（耐アルカリ用）等があるが、通常、繊維強化プラスチック（FRP）にはＥガラスが用いられる。

Ｅガラスを用いたFRPは、乾燥状態においては各性能に問題はないが、湿潤＋アルカリ環境では引張強度が低下することが報告されている。

コンクリート素材は、水セメント比、最大骨材寸法にもよるが、数%の吸水があることが確認されており、セメント成分によりコンクリートは、アルカリ環境にある。その湿潤アルカリ環境に、Ｅガラスを用いたガラス繊維プラスティック（GFRP）を用いると、素材の引張強度が低下するおそれがあるため、採用においては留意が必要である。

また、耐アルカリ性が考慮されたガラス繊維素材、耐アルカリガラス（ARG）が考案されているが、FRPとすることは化学的組成から困難であるため、セメントモルタルなどに、そのまま混合されることが一般的な利用法である。

そのため、水路トンネルの補強材として適用する場合、目的とする供用期間や環境条件を考慮することが必要である。

（参考：杉山基美他、耐久性に優れたGFRPロッドの開発、生産研究、56巻3号（2004））

繊維シート系に分類されるアラミド繊維シートは電気を通さないので、電力系の施設（発電所の施設）や電気通信施設、鉄道関係（電車）のように導電性を嫌うところで使用される。アラミド繊

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.9-4　「9.1　工法概要」

れがあるため、採用においては留意が必要である。

また、耐アルカリ性が考慮されたガラス繊維素材、耐アルカリガラス（ARG）が考案されているが、FRP とすることは化学的組成から困難であるため、セメントモルタルなどに、そのまま混合されることが一般的な利用法である。

そのため、水路トンネルの補強材として適用する場合、目的とする供用期間や環境条件を考慮することが必要である。

（参考：杉山基美他、耐久性に優れた GFRP ロッドの開発、生産研究、56 巻 3 号（2004））

繊維シート系に分類されるアラミド繊維シートは電気を通さないので、電力系の施設（発電所の施設）や電気通信施設、鉄道関係（電車）のように導電性を嫌うところで使用される。アラミド繊維シートのヤング係数は炭素繊維シートの半分程度なので、導電性が問題とならない水路トンネルにおいては、構造計算が必要となる補強対策ではなく剥落防止対策のような補修対策として使用される。

水路トンネルで実績のある繊維シート系接着工法は、炭素繊維をすだれ状に編み込んだストランド型の繊維シートを用いた工法である。

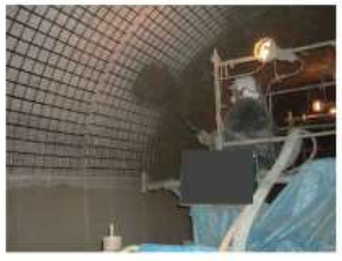
（3）施工の概要

接着工法の施工においては、覆工コンクリートの下地処理工の後、接着材やアンカー等を用いて補強材を覆工コンクリートに接着若しくは固定し、増厚材を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化させる。

写真-9.1.1～写真-9.1.3 に接着工法の施工例を示す。



繊維グリッド取付（アンカー打設）



ポリマーセメントモルタル吹付け

写真-9.1.1　繊維グリッド系接着工法施工例

P.9-4　「9.1　工法概要」

維シートのヤング係数は炭素繊維シートの半分程度なので、導電性が問題とならない水路トンネルにおいては、構造計算を行う補強対策ではなく剥落防止対策のような補修対策として使用される。

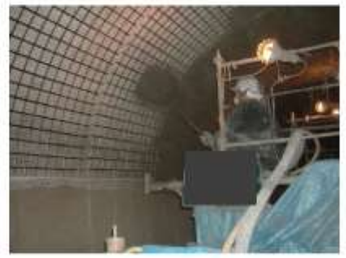
（3）施工の概要

接着工法の施工においては、覆工コンクリートの下地処理工の後、アンカー等を用いて補強材を覆工コンクリートに固定し、プライマー工の後、増厚材を吹付け又はコテ塗りして覆工コンクリートと一体化させる。

写真-9.1.1～写真-9.1.3 に接着工法の施工例を示す。



繊維グリッド取付（アンカー打設）



ポリマーモルタル吹付け

写真-9.1.1　繊維グリッド系接着工法施工例



繊維シート設置



接着用ポリマーモルタル上塗り

写真-9.1.2　繊維シート系接着工法施工例

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.9-5　「9.1　工法概要」



繊維シート設置



樹脂モルタルコテ塗り（上塗り）

写真-9.1.2　繊維シート系接着工法施工例



補強鉄筋組立（アンカー打設）



ポリマーセメントモルタルコテ塗り

写真-9.1.3　鉄筋系接着工法施工例

（4）留意事項

接着工法は、覆工コンクリートと補強材及び増厚材が一体となることで、覆工コンクリート内面側の曲げ引張耐力の増加を期待する工法であり、覆工コンクリートの内面側に引張応力が作用する箇所に対しては補強効果を発揮するが、覆工コンクリートの背面側に引張応力が作用する箇所に対しては接着工法の曲げ剛性を考慮しない。接着工法は、自立管設計とは補強に対する考え方が異なることに留意する。

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて対策し（図-9.1.4）、②鉛直圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する事例（図-9.1.5）もある。

①において、側圧による変状の場合は内面に圧縮応力が生じるアーチ部の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のためにも、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

接着工法は覆工コンクリートの残存強度を期待する工法であり、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。接着工法においては、補強材が引張力を負担し、既設コンクリートが圧縮力を負担するため、コンクリートのひび割れ部は別途充填や注入を行う必要がある。

P.9-5　「9.1　工法概要」



補強鉄筋組立（アンカー打設）



増厚材コテ塗り

写真-9.1.3　鉄筋系接着工法施工例

（4）留意事項

接着工法は、覆工コンクリートと補強材及び増厚材が一体となることで、覆工コンクリート内面側の曲げ引張耐力の増加を期待する工法であり、覆工コンクリートの内面側に引張応力が作用する箇所に対しては補強効果を発揮するが、覆工コンクリートの背面側に引張応力が作用する箇所に対しては接着工法の曲げ剛性を考慮しない。接着工法は、自立管設計とは補強に対する考え方が異なることに留意する。

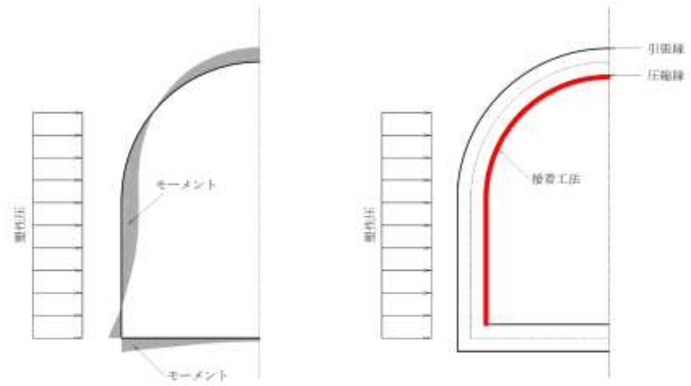
接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて対策し（**図-9.1.3**）、②鉛直圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する事例（**図-9.1.4**）もある。

①において、側圧による変状の場合は圧縮応力を受けるアーチ部の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のためにも、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

接着工法は覆工コンクリートの残存強度を期待する工法であり、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。接着工法においては、補強材が引張力を負担し、既設コンクリートが圧縮力を負担するため、コンクリートのひび割れ部は別途充填や注入を行い圧縮変位させないようにする必要がある。

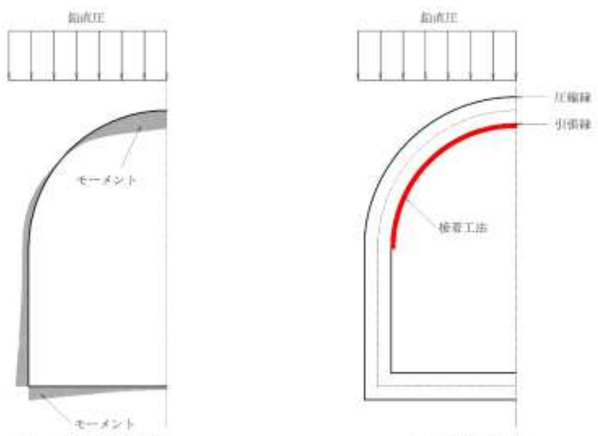
（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-6　「9.1　工法概要」	P.9-6　「9.1　工法概要」



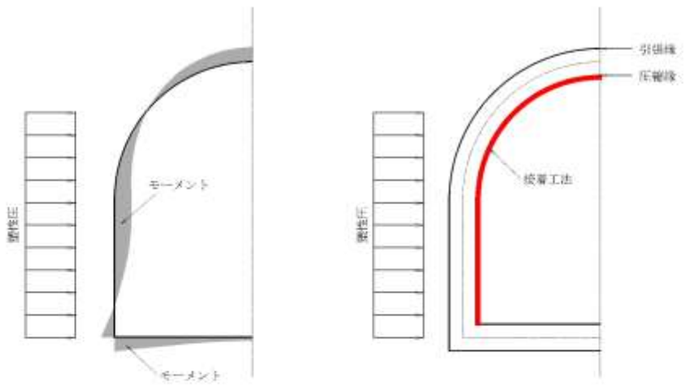
(1) モーメント図　　(2) 対策範囲図

図-9.1.4　塑性圧が作用する場合の対策範囲の例



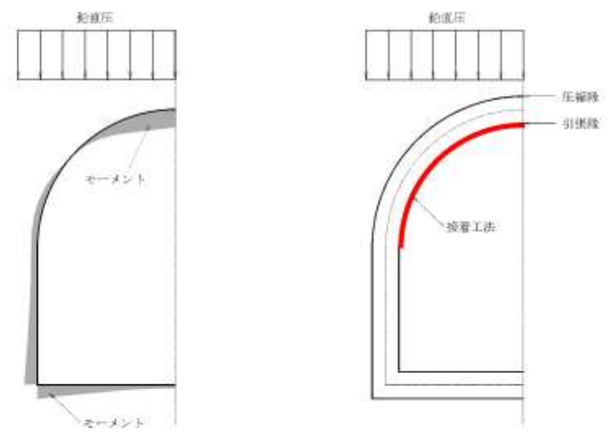
(1) モーメント図　　(2) 対策範囲図

図-9.1.5　鉛直圧が作用する場合の対策範囲の例



(1) モーメント図　　(2) 対策範囲図

図-9.1.3　塑性圧が作用する場合の対策範囲の例



(1) モーメント図　　(2) 対策範囲図

図-9.1.4　鉛直圧が作用する場合の対策範囲の例

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-7　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」	**P.9-7**　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

9.2　要求性能、性能照査

9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査

接着工法の要求性能は、工法毎の補強材や増厚材の種類に応じて適切に設定する。
接着工法の性能照査においては、JIS 等の標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

接着工法の性能照査に際しては、接着工法に期待される効果の持続期間中に、接着工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことや接着工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、本書では、接着工法の性能照査に当たっては、接着工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることとした。ただし、接着工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

接着工法を施工した水路トンネル施設が所要の性能を確保するためには、接着工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。

無機系の増厚材（ポリマーセメントモルタル）の要求性能と性能照査方法を**表-9.2.1-1** に示し、有機系の増厚材である樹脂モルタルやシート接着時に使用する含浸・接着樹脂等の樹脂系の材料の要求性能と性能照査方法を**表-9.2.1-2** に示す。また、補強材の要求性能と性能照査方法を**表-9.2.1-4** に示す。増厚材については、開水路補修編に示された表面被覆工法の要求性能及び性能照査方法に準拠した。ただし、試験条件については参考であり、使用材料に応じて指定するものとする。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については本書に示す試験により照査を行う。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：接着工法施工後に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有すること。

耐荷性：地圧、水圧、載荷重に対する安定した耐荷性能を有していること。また、接着樹脂は、補

9.2　要求性能、性能照査

9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査

接着工法の要求性能は、工法毎の補強材や増厚材の種類に応じて適切に設定する。
接着工法の性能照査においては、JIS 等の標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

接着工法の性能照査に際しては、接着工法に期待される効果の持続期間中に、接着工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことや接着工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、本書では、接着工法の性能照査に当たっては、接着工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることとした。ただし、接着工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

接着工法を施工した水路トンネル施設が所要の性能を確保するためには、接着工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。

増厚材の要求性能と性能照査方法を**表-9.2.1-1** に、補強材の要求性能と性能照査方法を**表-9.2.1-2** に示す。増厚材については、開水路補修編に示された表面被覆工法の要求性能及び性能照査方法に準拠した。ただし、試験条件については参考であり、使用材料に応じて指定するものとする。JIS 等に規定されている試験方法を用いて性能照査を行うことが困難な照査項目については本書に示す試験により照査を行う。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：接着工法施工後に期待される通水能力が低下せず、計画最大流量を安全に流下できる性能を有すること。

耐荷性：地圧、水圧、載荷重に対する安定した耐荷性能を有していること。

耐摩耗性：増厚材には、流水中の土砂による研磨等に過度の摩耗が発生しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.9-8　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

強材を確実に接着させ、補強材のヤング係数、引張強度、付着強度、継手強度を確保できるもので、作業に適した粘度を有していること。

耐摩耗性：増厚材には、流水中の土砂による研磨等に過度の摩耗が発生しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴流摩耗試験により照査する。設計かぶり厚さは適用する材料や現場条件にあわせて設定することになるが、かぶり厚さの設計においては水流摩耗代を考慮しなければならない。

付着性：水路トンネルは様々な自然環境やかんがい期間中水中状態に置かれるため、材料・工法は、乾湿繰返し状態や水中状態、低温状態での付着性を照査する必要がある。

一体化性：増厚材は補強後に単独で破壊してはならない。そのため、既設コンクリートと同程度あるいはそれ以上の強度が求められる。

寸法安定性：寸法安定性は、自己収縮、乾燥収縮及び温度変化に伴う寸法変化のしにくさを表すが、ここでは、無機系材料における乾燥による収縮を照査する。

中性化抑止性：無筋コンクリート覆工の場合は、中性化により鋼材が腐食し、構造物の性能を損なうおそれがないので、この照査は不要である。ただし、鉄筋系接着工法においては、開水路に適用する表面被覆工法に準拠して中性化抑止性を照査しなければならない。

表-9.2.1-1　増厚材（無機系）に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法			要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性 耐久性	一体化性	圧縮試験	JSCE K 561（28 日間養生）		28 日圧縮強度値が 21.0 N/mm² 以上
			寸法安定性	長さ変化率試験	JIS A 1129 (注 1)		0.05%以下
			中性化抑止性	中性化深さ試験	JIS A 1171（4 週間） (注 2)		中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）〔15 時間経過後 (注 3) の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）〕		標準モルタル供試体 (注 5) に対する平均摩耗深さの比 無機系：1.5 以下
		付着性	付着性	付着強度試験	JSCE K 531 又は JSCE K 561（乾湿・温冷繰り返し回数は 15 サイクル (注 3)）	標準条件	1.5 N/mm² 以上
						多湿条件	
						低温条件	
						水中条件 (注 4)	1.0 N/mm² 以上
						乾湿繰返し条件	
						温冷繰返し条件	

（注 1）ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23±2℃、湿度 50±5%の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編（令和 5 年 3 月）を参照されたい。

（注 2）鉄筋系接着工法に適用する。試験方法及び品質規格値については本書の巻末資料に示す。

（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 30 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編（令和 5 年 3 月）を参照されたい。

（注 4）JSCE-K 561（水中条件）における、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20±2℃、相対湿度 60±10%の状態で 7 日間行うものとする。

（注 5）標準モルタル供試体（水セメント比 *W/C*=50%、砂セメント比 *S/C*=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.9-8　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

流摩耗試験により照査する。設計かぶり厚さは適用する材料や現場条件にあわせて設定することになるが、かぶり厚さの設計においては水流摩耗代を考慮しなければならない。

付着性：水路トンネルは様々な自然環境やかんがい期間中水中状態に置かれるため、材料・工法は、乾湿繰返し状態や水中状態、低温状態での付着性を照査する必要がある。

一体化性：増厚材は補強後に単独で破壊してはならない。そのため、既設コンクリートと同程度あるいはそれ以上の強度が求められる。

寸法安定性：寸法安定性は、自己収縮、乾燥収縮及び温度変化に伴う寸法変化を表すが、ここでは、無機系材料における乾燥による収縮を照査する。

中性化抑止性：無筋コンクリート覆工の場合は、中性化により鋼材が腐食し、構造物の性能を損なうおそれがないので、この照査は不要である。ただし、鉄筋系接着工法においては、開水路に適用する表面被覆工法に準拠して中性化抑止性を照査しなければならない。

表-9.2.1-1　増厚材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法			要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性 耐久性	一体化性	圧縮試験	JSCE K 561（28 日間養生）		28 日圧縮強度値が 21.0 N/mm² 以上
			寸法安定性	長さ変化率試験	JIS A 1129 (注 1)		0.05%以下
			中性化抑止性	中性化深さ試験	JIS A 1171（4 週間） (注 2)		中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）（材齢 28 日、15 時間経過後 (注 3)）		標準モルタル供試体 (注 5) に対する平均摩耗深さの比が 1.5 以下
		付着性	付着性	付着強度試験	JSCE K 531 又は JSCE K 561（乾湿・温冷繰り返し回数は 15 サイクル (注 3)）	標準条件	1.5 N/mm² 以上
						多湿条件	
						低温条件	
						水中条件 (注 4)	1.0 N/mm² 以上
						乾湿繰返し条件	
						温冷繰返し条件	

（注 1）ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23± 2℃、湿度 50± 5%の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年 4 月）を参照されたい。

（注 2）鉄筋系接着工法に適用する。試験方法及び品質規格値については本書の巻末資料に示す。

（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 30 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年 4 月）を参照されたい。

（注 4）JSCE-K 561（水中条件）における、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20± 2℃、相対湿度 60± 10%の状態で 7 日間行うものとする。

（注 5）標準モルタル供試体（水セメント比 *W/C*=50%、砂セメント比 *S/C*=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.9-9　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

準砂を用いる。

表-9.2.1-2　増厚材（有機系）に求められる要求性能と性能照査方法 (注1)

要求性能			要求項目	照査方法			要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性（基本性能）	圧縮強度	圧縮試験	JIS K 7181		樹脂モルタル 35N/mm² 以上
			引張強度	引張試験	JIS K 7161		含浸・接着樹脂 30N/mm² 以上 樹脂モルタル 30N/mm² 以上
			曲げ強度	曲げ試験	JIS K 7171		含浸・接着樹脂 40N/mm² 以上 樹脂モルタル 40N/mm² 以上
			引張せん断強度	引張せん断試験	JIS K 6850		含浸・接着樹脂 10N/mm² 以上 樹脂モルタル 10N/mm² 以上
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）〔15 時間経過後 (注2) の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）〕		標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比 樹脂モルタル：0.2 以下
		付着性	付着性	付着強度試験 (注4)	JSCE K 561（乾湿・温冷繰り返し回数は 15 サイクル (注2)）	標準条件	1.5 N/mm² 以上
						多湿条件	
						低温条件	
						水中条件 (注3)	1.0 N/mm² 以上
						乾湿繰返し条件	
						温冷繰返し条件	

（注 1）**表-9.2.1-2** に加え、各材料の性状を明らかにするために、各材料について以下に示す物性について確認することが望ましい。
「プライマー」「含浸・接着樹脂」「樹脂モルタル」
［主剤・硬化剤の主成分］、［混合比（重量比で示す）］、［比重（JIS K 7112（硬化物））］、［粘度（JIS K 6833-1（混合物））］、［可使時間（温度上昇法）］
「不陸調整材」
［主成分］、［可使時間（温度上昇法）］、［圧縮強度（JIS K 7181）］、［圧縮弾性率（JIS K 7181）］、［引張せん断強さ（JIS K 6850）］
（注 2）**表-9.2.1-1**（注 3）参照
（注 3）**表-9.2.1-1**（注 4）参照
（注 4）併せて不陸調整を行う場合、本表の付着強度試験は不陸調整材を用いた仕様で供試体を作成し実施する。

○耐摩耗性の試験方法と要求値

増厚材には流水中の土砂による研磨等によって過度の摩耗が発生しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴流摩耗試験により照査する。

（参考：長束勇、上野和広、渡嘉敷勝、石井将幸、水砂噴流摩耗試験機の試作とその性能評価、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.89-95、2010）

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.9-10　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

〔試験方法〕

上野らの試験によれば、摩耗を受けた水路構造物から採取した供試体と水砂噴流摩耗試験機による摩耗試験結果を比べた結果、実水路における概ね 20 年間の摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験機の試験 10 時間に相当する。

接着工法の効果が期待される期間を 30 年と想定した場合、水砂噴流摩耗試験（水砂噴流、水圧 2MPa）の 15 時間後の平均摩耗深さを測定し照査する。耐摩耗性の照査に用いる試験供試体は 3 個とし、試験材齢は 28 日とする。

（参考：上野和広、長束勇、石井将幸、開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.105-111、2010）

〔要求値〕

要求値は、水砂噴流摩耗試験装置における、標準モルタル 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（=3.5mm）(注 1) と各増厚材の平均摩耗深さ B の比（B/A）で規定する。要求値 B/A は、**表-9.2.1-3** に示すとおりである。

長束らによる表面被覆工法の材料を対象とした水砂噴流摩耗試験結果では、摩耗時間と平均摩耗深さは線形的な比例関係が示されている。よって、標準モルタル供試体と単一材料からなる増厚材の平均摩耗深さの比である要求値（B/A）において、効果が期待される期間を 30 年の要求値（B/A）は、効果が期待される期間 20 年（水砂噴流摩耗試験で 10 時間相当）の要求値（B/A）と同一値とする。

表-9.2.1-3　増厚材の耐摩耗性の要求値（B/A）

材料の種類	標準モルタル供試体の 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）(注 1) と各増厚材の平均摩耗深さ B の比（B/A）	参考 (注 2) 増厚材の許容平均摩耗深さ（15 時間）（mm）
無機系材料	1.5 以下	7.8 以下 (注 2) （1.5×3.5×（15/10）=7.88）
有機系材料 (注 3)	0.2 以下 (注 3)	1.0 以下 (注 2) (注 3) （0.2×3.5×（15/10）=1.05）

（注 1）標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）は、これまでに水砂噴流摩耗試験で得られた標準モルタル供試体 10 時間平均摩耗深さの母平均及び標準偏差より算出し、安全側を考慮し実測データの母平均 3.62mm より 0.5mm 刻みで切り捨てた。

（注 2）摩耗時間と平均摩耗深さが線形的な比例関係を示すことから、増厚材の許容平均摩耗深さ（15 時間）は、標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）に摩耗時間の比（15 時間/10 時間）を乗じ、その値に、基準値 A と増厚材の平均摩耗深さ B の比 B/A を乗じた値とする。小数点 2 桁とした場合では計測が困難となるため、安全側に値の端数を切り捨てた小数点 1 位の値とした。ここでいう平均摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験（15 時間）の平均摩耗深さが 7.8mm 以下であること、又は水砂噴流摩耗試験（10 時間）の平均摩耗深さを 1.5 倍した値が 7.8mm 以下であることを意味する。

（注 3）有機系材料は、増厚材の部材厚の 1/3 と増厚材の平均摩耗深さ B のうち小さい方を許容値とすることを基本とするが、部材厚が 2.1mm（0.7mm の 3 倍）を上回る場合は、部材厚の 1/3 を許容値とする。ここに、0.7mm は 0.2×3.5mm（増厚材 10 時間の平均摩耗深さ）である。なお、有機系の増厚材では全ての部材厚で部材厚の 1/3 が許容値となるが、耐摩耗性の品質規格値を B/A と規定したことから、**表-9.2.1-3** では B/A 値 0.2 以下を記載した。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-11　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」	P.9-9　「9.2.1　接着工法の要求性能と性能照査」

表-9.2.1-4　補強材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	引張強度	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	1,400N/mm² 以上 （高強度炭素繊維） 1,200N/mm² 以上 （高弾性炭素繊維）
					JIS A 1191 【繊維シート系】	3,400N/mm² 以上 （高強度炭素繊維） 2,900N/mm² 以上 （中弾性炭素繊維）
					JIS G 3112（SD295A、SD345） 【鉄筋系】	295N/mm² 以上 （SD295A 降伏強度） 345N/mm² 以上 （SD345 降伏強度）
			引張弾性係数	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	100kN/mm² 以上 （高強度炭素繊維） 165kN/mm² 以上 （高弾性炭素繊維）
					JIS A 1191 【繊維シート系】	245kN/mm²±10% （高強度炭素繊維） 390kN/mm²±10% （中弾性炭素繊維）
					JIS G 3112（SD295A、SD345） 【鉄筋系】	200kN/mm² 以上

(3) 耐久性
　第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

表-9.2.1-2　補強材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	引張強度	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	1,400N/mm² （高強度炭素繊維） 1,200N/mm² （高弾性炭素繊維）
					JSCE E 541 【炭素繊維シート系】	3,400N/mm²
					JIS G 3112（SD295A、SD345） 【鉄筋系】	295N/mm² （SD295A 降伏強度） 345N/mm² （SD345 降伏強度）
			引張弾性係数	引張試験	JSCE E 531 【繊維グリッド系】	100kN/mm² （高強度炭素繊維） 165kN/mm² （高弾性炭素繊維）
					JSCE E 541 【炭素繊維シート系】	245kN/mm²± 10%
					JIS G 3112（SD295A、SD345） 【鉄筋系】	200kN/mm²

(3) 耐久性
　第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-12　「9.2.2　接着工法の適用性」	P.9-10　「9.2.2　接着工法の適用性」

9.2.2　接着工法の適用性

接着工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して工法（補強材・補強範囲）を選定しなければならない。

【解説】

（1）接着工法適用上の留意事項

接着工法は、覆工コンクリートの表面に補強材を取り付けて、その上に増厚材を吹付け又はコテ塗りして、覆工コンクリートと一体化する工法である。接着工法は、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。

また、覆工コンクリートの巻厚が薄い箇所や強度が不足している箇所において裏込注入を適用する際の補強対策として用いられる場合もある。

接着工法の適用に当たっては、適用目的や施工条件等を勘案の上、材料（工法）や補強範囲を選定することが重要である。

地圧に対する補強目的で適用する場合、覆工内面の引張強度を補うことができる接着工法が有効であるが、ひび割れの程度（段差ひび割れ等）によっては十分な補強効果が得られない場合や、補強後に増厚材にひび割れが生じる場合がある。また、覆工外面に引張応力が生じる箇所や圧ざ（圧縮損傷）に対する補強効果はあまり期待できない。すなわち、接着工法は引張側の補強を対象としており、圧縮力に対しては覆工コンクリートの耐力を期待する構造である。

接着工法は自立管設計とは補強に対する考え方が異なるため、初期段階の変状に適用すべき補強工法である。ここでいう初期段階とは、圧縮損傷（圧ざ）や、顕著な食い違い等、せん断によるひび割れが生じていない段階である。これらの変状が生じた状態は、更に曲げ変形が進行すると最終的に部材の耐力が失われる破壊に至る直前の状態であり、覆工コンクリートの圧縮強度を期待する接着工法の適用性は低いと考えられる。

接着工法の適用に際しては解析手法の適用により、現況地圧を適正に評価するとともに、必要な補強強度に見合った補強材（工法）を選定しなければならない。

接着工法における補強範囲（補強材配置範囲）については、①緩み圧等の鉛直圧に対してはアーチ部のみに補強材を配置する事例もあるが、②塑性圧又は偏圧に対しては、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置するのが望ましい。②において、側圧による変状の場合は、圧縮応力を受けるアーチ部の補強効果は期待することができないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のためにアーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

9.2.2　接着工法の適用性

接着工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して工法（補強材・補強範囲）を選定しなければならない。

【解説】

（1）接着工法適用上の留意事項

接着工法は、覆工コンクリートの表面に補強材を取り付けて、その上に増厚材を吹付け又はコテ塗りして、覆工コンクリートと一体化する工法である。接着工法は、曲げ引張耐力の増加を期待する工法である。圧縮耐力については覆工コンクリートの強度を期待するため、コンクリート自体が健全な場合に適用できる。

また、覆工コンクリートの巻厚が薄い箇所や強度が不足している箇所において裏込注入を適用する際の補強対策として用いられる場合もある。

接着工法の適用にあたっては、適用目的や施工条件等を勘案の上、材料（工法）や補強範囲を選定することが重要である。

地圧に対する補強目的で適用する場合、覆工内面の引張強度を補うことができる接着工法が有効であるが、ひび割れの程度（段差ひび割れ等）によっては十分な補強効果が得られない場合や、補強後に増厚材にひび割れが生じる場合がある。また、覆工外面に引張応力が生じる箇所や圧ざ（圧縮損傷）に対する補強効果はあまり期待できない。すなわち、接着工法は引張側の補強を対象としており、圧縮力に対しては覆工コンクリートの耐力を期待する構造である。

接着工法は自立管設計とは補強に対する考え方が異なるため、初期段階の変状に適用すべき補強工法である。ここでいう初期段階の変状とは、圧縮損傷（圧ざ）や、顕著な食い違い等、せん断によるひび割れが生じていない段階である。これらの変状が生じた状態は、更に曲げ変形が進行すると最終的に部材の耐力が失われる破壊に至る直前の状態であり、覆工コンクリートの圧縮強度を期待する接着工法の適用性は低いと考えられる。

接着工法の適用に際しては解析手法の適用により、現況地圧を適正に評価するとともに、必要な補強強度に見合った補強材（工法）を選定しなければならない。

接着工法における補強範囲（補強材配置範囲）については、①緩み圧等の鉛直圧に対してはアーチ部のみに補強材を配置する事例もあるが、②塑性圧又は偏圧に対しては、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置するのが望ましい。②において、側圧による変状の場合は、圧縮応力を受けるアーチ部の補強効果は期待することができないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のためにアーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-15 「9.4.3 接着工法の構造設計」	P.9-13 「9.4.3 接着工法の構造設計」

9.4 構造設計

9.4.1 構造設計の基本的な考え方

第４章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

9.4.2 解析の方法

第４章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

9.4.3 接着工法の構造設計

接着工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) 接着工法の骨組解析検討モデル

接着工法の骨組解析検討モデル（例）を図-9.4.3-1 に示す。

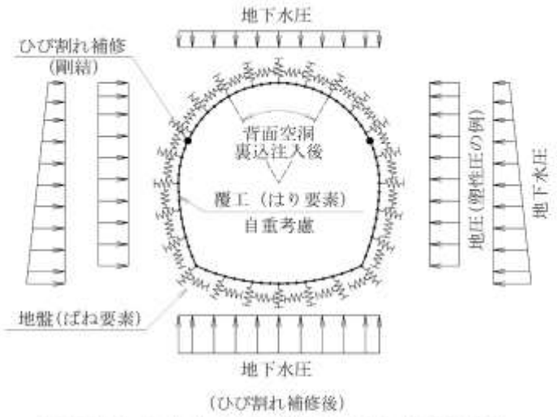


図-9.4.3-1 接着工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① 接着工法の構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。

- 自重（覆工コンクリート）
- 地圧
- 地下水圧
- 内水圧

② 接着工法は施工前にひび割れ部の補修を行い、圧縮変位させないようにした上で補強材と増厚材を覆工コンクリートに接着して一体化を図る工法である。覆工コンクリート内側に生じた引張

9.4 構造設計

9.4.1 構造設計の基本的な考え方

第４章 対策工法の共通事項 4.5.1 構造設計の基本的な考え方 を参照

9.4.2 解析の方法

第４章 対策工法の共通事項 4.5.2 解析の方法 を参照

9.4.3 接着工法の構造設計

接着工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) 接着工法の骨組解析検討モデル

接着工法の骨組解析検討モデル（例）を図-9.4.3-1 に示す。

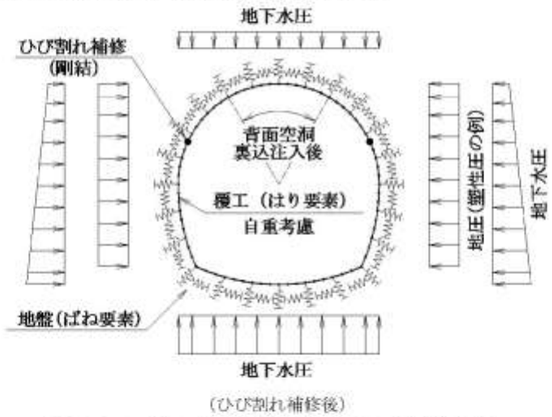


図-9.4.3-1 接着工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

① 接着工法の構造検討で考慮する荷重は次の通りとする。

- 自重（覆工コンクリート）
- 地圧
- 地下水圧
- 内水圧

② 接着工法は施工前にひび割れ部の補修を行い、圧縮変位させないようにした上で補強材と増厚材を覆工コンクリートに接着して一体化を図る工法である。覆工コンクリート内側に生じた引張

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.9-18　「9.4.3　接着工法の構造設計」

c. **応力度の計算**

各応力度は、以下の方法で計算する。

＜コンクリートの応力度＞

$$\sigma_c = N \Big/ \left\{ b \cdot X/2 - n_g \cdot A_g \cdot \left(d_g - X \right) / X \right\} \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-4}$$

＜繊維グリッドの応力度＞

$$\sigma_g = n_g \cdot \sigma_c \cdot \left(d_g - X \right) / X \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-5}$$

(3) 繊維シート系接着工法の構造設計

ここでは、繊維シート系接着工法の１例としてストランド型炭素繊維シート系接着工法の構造設計条件を示す。

曲げを受ける部材の部材断面応力度の算定及び照査は、以下により行う。

① 設計荷重作用時に部材断面に生じるコンクリートの応力度は、**式 4.5.2-10** を満足しなければならない。また、ストランド型炭素繊維シートの応力度は、許容応力度以下としなければならない。なお、ストランド型炭素繊維シートの許容引張応力度は、$1{,}000\times10^{-6}$ ひずみ時の応力度とする。

② 補強前に既に作用している荷重は、補強後の既設断面が負担するものとして、これらの荷重による応力度の合成応力度を算定するものとする。

③ 部材断面に生じるコンクリート及びストランド型炭素繊維シートの応力度は次の仮定により算定するものとする。

- 繊ひずみは中立軸からの距離に比例する。
- コンクリート及び増厚材の引張強度は無視する。
- ストランド型炭素繊維シートとコンクリートのヤング係数比は**式 9.4.3-6** で算定してよい。

$$n_{cf} = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot n = \frac{E_{cf}}{E_s} \cdot 15 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-6}$$

ここに

n_{cf} ：ストランド型炭素繊維シートとコンクリートのヤング係数比

E_{cf} ：ストランド型炭素繊維シートのヤング係数（$\mathrm{N/mm^2}$）

E_s ：鉄筋のヤング係数（$\mathrm{N/mm^2}$）

n ：鉄筋とコンクリートのヤング係数比

以下に曲げ・軸力を受ける無筋コンクリートの補強後断面応力度の算定方法を示す。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.9-16　「9.4.3　接着工法の構造設計」

c. **応力度の計算**

各応力度は、以下の方法で計算する。

＜コンクリートの応力度＞

$$\sigma_c = N \Big/ \left\{ b \cdot X/2 - n_g \cdot A_g \cdot \left(d_g - X \right) / X \right\} \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-4}$$

＜繊維グリッドの応力度＞

$$\sigma_g = n_g \cdot \sigma_c \cdot \left(d_g - X \right) / X \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-5}$$

(3) 構造解析モデル化の課題

繊維グリッド系接着工法の構造設計は、解析手法を適用して覆工コンクリートの応力度を算定し、引張強度の不足分を繊維グリッドで補う計画が行われる。それに際し、覆工内面側の引張応力に対しては繊維グリッドによる補強効果が期待できるが、覆工背面側に作用する引張応力に対しては大きな補強効果を発揮しないので留意する必要がある。

補強前のトンネルに顕著なひび割れが生じている場合、ひび割れ箇所が塑性ヒンジとなり建設当初と応力状態（パターン）が異なることが想定される。そのため、「**9.2.2　接着工法の適用性**」に示したとおり、接着工法は、圧ざや顕著な食い違い等のひび割れが生じていない段階で適用することを想定している。

(4) 対策範囲の設定

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。

①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（**図-9.4.3-3**）。

②緩み圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する（**図-9.4.3-4**）。

①において、側圧が卓越する場合は、圧縮応力を受けるアーチ部内面の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のために、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

②において、鉛直圧が卓越する場合は、アーチ部のみに補強材と増厚材を配置する（**図-9.4.3-4**）。側壁部材の補修（摩耗対策等）を兼ねる場合は、アーチ部にのみに補強材を配置し、増厚材（ポリマーセメントモルタル）は側壁脚部からアーチ部を施工範囲とする（**図-9.4.3-5**）。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-19　「9.4.3　接着工法の構造設計」	P.9-15　「9.4.3　接着工法の構造設計」

a．計算断面

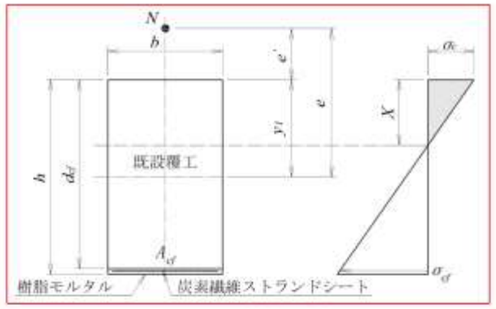


図-9.4.3-3　設計断面諸元

ここに

X　：圧縮縁から中立軸までの距離（mm）
b　：検討断面幅（mm）
h　：補強後断面厚（mm）
d_{cf}　：ストランド型炭素繊維シートの有効高さ（mm）
A_{cf}　：ストランド型炭素繊維シートの断面積（mm²）

b．中立軸位置の計算

長方形断面の中立軸の位置は、図-9.4.3-3 を参照して、以下のように計算する。

圧縮縁から図心までの距離 y_1

$$y_1 = h/2$$

偏心距離 e' は

$$e' = e - y_1 = M/N - y_1 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-7}$$

ここに

M　：設計曲げモーメント（N･mm）
N　：設計軸力（N）

圧縮縁から中立軸までの距離 X は、式 9.4.3-8 の３次方程式を解くことで得られる。

$$X^3 + 3\cdot e'\cdot X^2 + \left[6\cdot n_{cf}/b\cdot A_{cf}\cdot\left(d_{cf}+e'\right)\right]\cdot X - 6\cdot n_{cf}\cdot d_{cf}\cdot A_{cf}\cdot\left(d_{cf}+e'\right)/b = 0 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-8}$$

c．応力度の計算

各応力度は、以下の方法で計算する。

＜コンクリートの応力度＞

$$\sigma_c = N/\left\{b\cdot X/2 - n_{cf}\cdot A_{cf}\cdot\left(d_{cf}-X\right)/X\right\} \ (\text{N/mm}^2) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-9}$$

n_g　：繊維グリッドとコンクリートのヤング係数比
E_g　：繊維グリッドのヤング係数（N/mm²）
E_s　：鉄筋のヤング係数（N/mm²）
n　：鉄筋とコンクリートのヤング係数比

以下に曲げ・軸力を受ける無筋コンクリートの補強後断面応力度の算定方法を示す。

a．計算断面

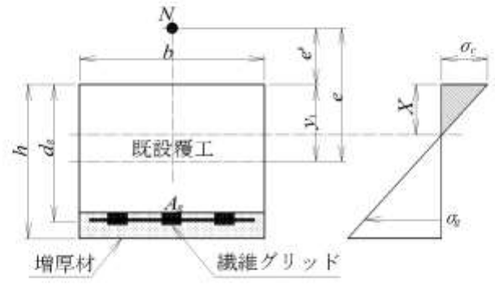


図-9.4.3-2　設計断面諸元

ここに

X　：圧縮縁から中立軸までの距離（mm）
b　：検討断面幅（mm）
h　：補強後断面厚（mm）
d_g　：繊維グリッドの有効高さ（mm）
A_g　：繊維グリッドの断面積（mm²）

b．中立軸位置の計算

長方形断面の中立軸の位置は、図-9.4.3-2 を参照して、以下のように計算する。

圧縮縁から図心までの距離 y_1

$$y_1 = h/2$$

偏心距離 e' は

$$e' = e - y_1 = M/N - y_1 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-2}$$

ここに

M　：設計曲げモーメント（N･mm）
N　：設計軸力（N）

圧縮縁から中立軸までの距離 X は、式 9.4.3-3 の３次方程式を解くことで得られる。

$$X^3 + 3\cdot e'\cdot X^2 + \left[6\cdot n_g/b\cdot A_g\cdot\left(d_g+e'\right)\right]\cdot X - 6\cdot n_g\cdot d_g\cdot A_g\cdot\left(d_g+e'\right)/b = 0 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-3}$$

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-20 「9.4.3 接着工法の構造設計」	P.9-16 「9.4.3 接着工法の構造設計」

＜ストランド型炭素繊維シートの応力度＞

$$\sigma_{cf} = n_{cf} \cdot \sigma_c \cdot \left(d_{cf} - X\right) / X \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-10}$$

(4) 構造解析モデル化の課題

接着工法の構造設計は、解析手法を適用して覆工コンクリートの応力度を算定し、引張強度の不足分を補強材で補う計画が行われる。それに際し、覆工内面側の引張応力に対しては補強材による補強効果が期待できるが、覆工背面側に作用する引張応力に対しては大きな補強効果を発揮しないので留意する必要がある。

補強前のトンネルに顕著なひび割れが生じている場合、ひび割れ箇所が塑性ヒンジとなり建設当初と応力状態（パターン）が異なることが想定される。そのため、「**9.2.2 接着工法の適用性**」に示したとおり、接着工法は、圧ざや顕著な食い違い等のひび割れが生じていない段階で適用することを想定している。

(5) 対策範囲の設定

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。

①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（図-9.4.3-4）。

②緩み圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する（図-9.4.3-5）。

①において、側圧が卓越する場合は、圧縮応力を受けるアーチ部内面の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のために、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

②において、鉛直圧が卓越する場合は、アーチ部のみに補強材と増厚材を配置する（図-9.4.3-5）。側壁部材の補修（摩耗対策等）を兼ねる場合は、アーチ部にのみに補強材を配置し、増厚材は側壁脚部からアーチ部を施工範囲とする（図-9.4.3-6）。

繊維シート系接着工法でストランド型の炭素繊維シートを使用する場合は、荷重状態にかかわらず側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（図-9.4.3-4）。

c. **応力度の計算**

各応力度は、以下の方法で計算する。

＜コンクリートの応力度＞

$$\sigma_c = N \Big/ \left\{ b \cdot X/2 - n_g \cdot A_g \cdot \left(d_g - X\right) / X \right\} \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-4}$$

＜繊維グリッドの応力度＞

$$\sigma_g = n_g \cdot \sigma_c \cdot \left(d_g - X\right) / X \quad (\mathrm{N/mm^2}) \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-5}$$

(3) 構造解析モデル化の課題

繊維グリッド系接着工法の構造設計は、解析手法を適用して覆工コンクリートの応力度を算定し、引張強度の不足分を繊維グリッドで補う計画が行われる。それに際し、覆工内面側の引張応力に対しては繊維グリッドによる補強効果が期待できるが、覆工背面側に作用する引張応力に対しては大きな補強効果を発揮しないので留意する必要がある。

補強前のトンネルに顕著なひび割れが生じている場合、ひび割れ箇所が塑性ヒンジとなり建設当初と応力状態（パターン）が異なることが想定される。そのため、「**9.2.2 接着工法の適用性**」に示したとおり、接着工法は、圧ざや顕著な食い違い等のひび割れが生じていない段階で適用することを想定している。

(4) 対策範囲の設定

接着工法の対策範囲は、変状原因、変状現象、トンネル構造を考慮して設定する。

①塑性圧又は偏圧の場合は、側壁脚部からアーチ部にかけて補強材を配置する（図-9.4.3-3）。

②緩み圧の場合はアーチ部のみに補強材を配置する（図-9.4.3-4）。

①において、側圧が卓越する場合は、圧縮応力を受けるアーチ部内面の補強効果を期待することはできないが、補強材端部の応力集中を避け、更にアーチ部からのはく離防止のために、アーチ部も対策範囲とすることが望ましい。

②において、鉛直圧が卓越する場合は、アーチ部のみに補強材と増厚材を配置する（図-9.4.3-4）。側壁部材の補修（摩耗対策等）を兼ねる場合は、アーチ部にのみに補強材を配置し、増厚材（ポリマーセメントモルタル）は側壁脚部からアーチ部を施工範囲とする（図-9.4.3-5）。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-21　「9.4.3　接着工法の構造設計」	P.9-17　「9.4.3　接着工法の構造設計」

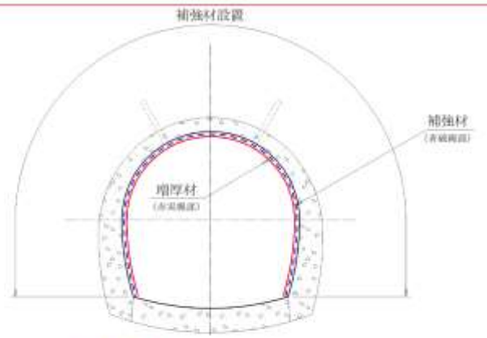


図-9.4.3-4　塑性圧・偏圧に対する対策範囲

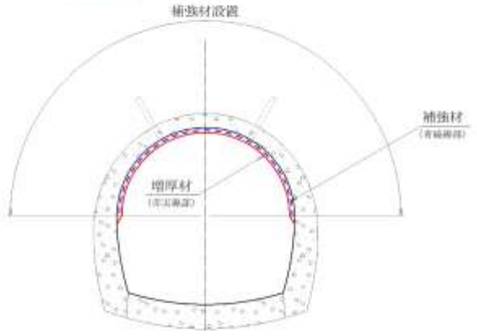


図-9.4.3-5　緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲

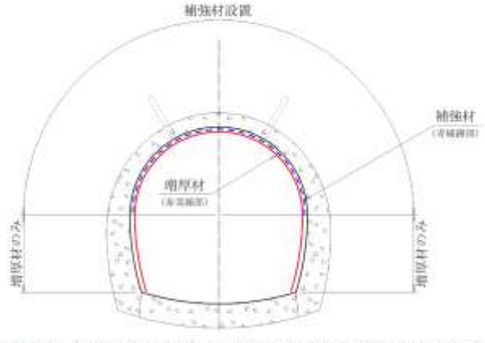


図-9.4.3-6　緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲（補修を兼ねる場合）

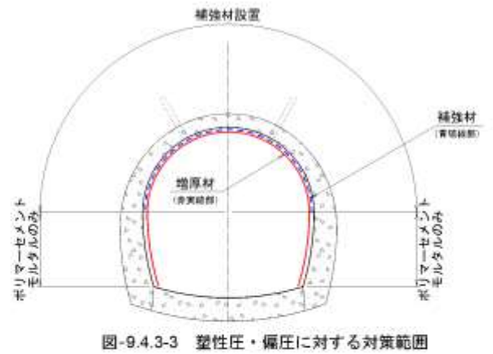


図-9.4.3-3　塑性圧・偏圧に対する対策範囲

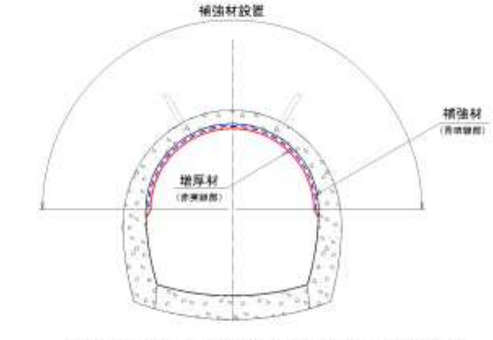


図-9.4.3-4　緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲

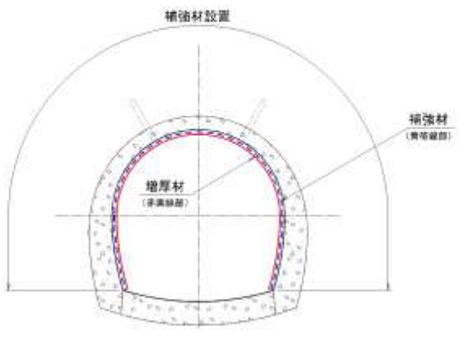


図-9.4.3-5　緩み圧等の鉛直圧に対する補強対策範囲（補修を兼ねる場合）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-22　「9.4.3　接着工法の構造設計」	P.9-18　「9.4.3　接着工法の構造設計」

(6) ひび割れに対する照査

増厚材に発生するひび割れについて、設計段階の照査で用いるひび割れ幅は、1）に示す基準値以下であることを確認するものとする。また、現場で確認したひび割れ幅が、2）～3）に示す管理基準値を上回った場合は、ひび割れの補修を行わなければならない。

以下の照査手法は、モニタリングにより適宜見直す方針とする。

1）鋼材腐食に対するひび割れ幅の設計基準値

鉄筋系接着工法に対し、設計段階の照査で用いるひび割れ幅の基準値は 0.4mm とする。この値は鉄筋コンクリート開水路を対象にひび割れ幅と鉄筋腐食の状況を調査した結果に基づくものである。この調査では、ひび割れによって生じる鉄筋腐食はかぶりの影響をあまり受けないことが示されている。鉄筋系接着工法は、かぶりが 20mm 程度と極めて小さいが、同工法におけるひび割れ幅と鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本マニュアルでは鉄筋コンクリート開水路の基準値を適用する方針とした。なお、本基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

（参考：石井将幸他、現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係、農土論集 247（75-1）、pp.73～82）

2）ひび割れ幅の管理基準値

ひび割れ幅の管理基準値は、「農業水利施設の長寿命化のための手引き」の検討経緯を踏まえ、1.0mm とする。ただし、接着工法における増厚材のひび割れ幅や浮き、剥がれ、及び鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本管理基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

［参考］開水路におけるひび割れ幅の評価について

- 気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm を超えると断面欠損を伴う鉄筋腐食が半数を超えていた。気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm 未満では、点錆等の表面的な腐食にとどまっていた。
- 水密性（漏水等の水理機能）に配慮したひび割れ幅（0.2mm）の評価指標について、用水管理上 10%のロスを見込んでおり、またロスの大きな要因は継目からの漏水であることを踏まえ、水密性のひび割れ幅（0.2mm）の基準は適用しないこととした。

（出典：農業水利施設の長寿命化のための手引き、平成 27 年 11 月、p.5-21）

3）補修が必要なひび割れの状態

接着工法の増厚材において、ひび割れ周縁の増厚材の浮きが確認された場合やひび割れ幅が 1.0mm 以上のものは補修対象とし、ひび割れ周縁の浮きが確認されない場合や析出物で塞がれたひび割れについては経過観察とする。ただし、鉄筋腐食の兆候が確認された場合は補修対象とする。析出物を伴うひび割れは、水が貫通していることにより生じる。析出物で塞がれていてもさび汁や漏水が確認されたり、析出物の成長が確認されたりした場合は、背面から継続的に湧水が供給されており腐食の兆候があるので補修対象とする。

4）曲げひび割れ幅の算定

無筋コンクリートの覆工に鉄筋系接着工法を適用した場合の曲げひび割れ幅予測式は確立されていないため、鉄筋系接着工法で補強された断面を鉄筋コンクリート断面と見なし、鉄筋コンクリ

(5) ひび割れに対する照査

増厚材に発生するひび割れについて、設計段階の照査で用いるひび割れ幅は、1）に示す基準値以下であることを確認するものとする。また、現場で確認したひび割れ幅が、2）～3）に示す管理基準値を上回った場合は、ひび割れの補修を行わなければならない。

以下の照査手法は、モニタリングにより適宜見直す方針とする。

1）鋼材腐食に対するひび割れ幅の設計基準値

鉄筋系接着工法に対し、設計段階の照査で用いるひび割れ幅の基準値は 0.4mm とする。この値は鉄筋コンクリート開水路を対象にひび割れ幅と鉄筋腐食の状況を調査した結果に基づくものである。この調査では、ひび割れによって生じる鉄筋腐食はかぶりの影響をあまり受けないことが示されている。鉄筋系接着工法は、かぶりが 20mm 程度と極めて小さいが、同工法におけるひび割れ幅と鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本マニュアルでは鉄筋コンクリート開水路の基準値を適用する方針とした。なお、本基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

（参考：石井将幸他、現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係、農土論集 247（75-1）、pp.73～82）

2）ひび割れ幅の管理基準値

ひび割れ幅の管理基準値は、「農業水利施設の長寿命化のための手引き」の検討経緯を踏まえ、1.0mm とする。ただし、接着工法における増厚材のひび割れ幅や浮き、剥がれ、及び鋼材腐食に関する知見は得られていないため、本管理基準値はモニタリングにより適宜見直す方針とする。

［参考］開水路におけるひび割れ幅の評価について

- 気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm を超えると断面欠損を伴う鉄筋腐食が半数を超えていた。気中の最大ひび割れ幅が 1.0mm 未満では、点錆等の表面的な腐食にとどまっていた。
- 水密性（漏水等の水理機能）に配慮したひび割れ幅（0.2mm）の評価指標について、用水管理上 10%のロスを見込んでおり、またロスの大きな要因は継目からの漏水であることを踏まえ、水密性のひび割れ幅（0.2mm）の基準は適用しないこととした。

（出典：農業水利施設の長寿命化のための手引き、平成 27 年 11 月、P.5-21）

3）補修が必要なひび割れの状態

接着工法の増厚材において、ひび割れ周縁の増厚材の浮きが確認された場合やひび割れ幅が 1.0mm 以上のものは補修対象とし、ひび割れ周縁の浮きが確認されない場合や析出物で塞がれたひび割れについては経過観察とする。ただし、鉄筋腐食の兆候が確認された場合は補修対象とする。析出物を伴うひび割れは、水が貫通していることにより生じる。析出物で塞がれていてもさび汁や漏水が確認されたり、析出物の成長が確認されたりした場合は、背面から継続的に湧水が供給されており腐食の兆候があるので補修対象とする。

4）曲げひび割れ幅の算定

無筋コンクリートの覆工に鉄筋系接着工法を適用した場合の曲げひび割れ幅予測式は確立されていないため、鉄筋系接着工法で補強された断面を鉄筋コンクリート断面と見なし、鉄筋コンクリ

新（改定版）

P.9-23　「9.4.3　接着工法の構造設計」

ートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値を準用してよい。

鉄筋コンクリートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値は、式 9.4.3-11 によって算出してよい。なお、曲げひび割れ幅の設計応答値は、1）に示す設計基準値を超えてはならない。

$$w = 1.1k_1k_2k_3\left\{4c + 0.7\left(c_s - \phi\right)\right\}\left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd}\right] \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-11}$$

ここに、

k_1　：鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数で、一般に、異形鉄筋の場合に 1.0、普通丸鋼の場合に 1.3 としてよい。

k_2　：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、式 9.4.3-12 による。

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-12}$$

f'_c：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）

一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いてよい。なお、コンクリートの圧縮強度は覆工コンクリートの設計基準強度を適用してよい。

k_3：引張鋼材の段数の影響を表す係数で、式 9.4.3-13 による。

$$k_3 = \frac{5\left(n+2\right)}{7n+8} \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-13}$$

n　：引張鋼材の段数

c　：かぶり（mm）

c_s：鋼材の中心間隔（mm）

ϕ　：鋼材径（mm）

ε'_{csd}：コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅を考慮するための数値

乾湿繰返し環境においては 250×10⁻⁶ を適用してよい（表-9.4.3-1）。

σ_{se}　：鋼材位置のコンクリートの応力度が 0 の状態からの鉄筋応力度の増加量（N/mm²）

E_s　：鉄筋のヤング係数　　2.0×10⁵（N/mm²）

表-9.4.3-1　収縮及びクリープ等の影響によるひび割れ幅の増加を考慮する数値

環境条件	常時乾燥環境（雨水の影響を受けない桁下面等）	乾湿繰返し環境（桁上面、海岸や川の水面に近く湿度が高い環境等）	常時湿潤環境（土中部材等）
自重でひび割れが発生（材齢 30 日を想定）する部材	450×10⁻⁶	250×10⁻⁶	100×10⁻⁶
永続作用時にひび割れが発生（材齢 100 日を想定）する部材	350×10⁻⁶	200×10⁻⁶	100×10⁻⁶
変動作用時にひび割れが発生（材齢 200 日を想定）する部材	300×10⁻⁶	150×10⁻⁶	100×10⁻⁶

（出典：コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2022 年、p.242）

9.4.4　水抜工

第 4 章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工　を参照

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.9-19　「9.4.3　接着工法の構造設計」

ートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値を準用してよい。

鉄筋コンクリートにおける曲げひび割れ幅の設計応答値は、式 9.4.3-6 によって算出してよい。なお、曲げひび割れ幅の設計応答値は、1）に示す設計基準値を超えてはならない。

$$w = 1.1k_1k_2k_3\left\{4c + 0.7\left(c_s - \phi\right)\right\}\left[\frac{\sigma_{se}}{E_s} + \varepsilon'_{csd}\right] \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-6}$$

ここに、

k_1　：鋼材の表面形状がひび割れ幅に及ぼす影響を表す係数で、一般に、異形鉄筋の場合に 1.0、普通丸鋼の場合に 1.3 としてよい。

k_2　：コンクリートの品質がひび割れ幅に及ぼす係数で、式 9.4.3-7 による。

$$k_2 = \frac{15}{f'_c + 20} + 0.7 \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-7}$$

f'_c：コンクリートの圧縮強度（N/mm²）

一般に設計圧縮強度 f'_{cd} を用いてよい。なお、コンクリートの圧縮強度は覆工コンクリートの設計基準強度を適用してよい。

k_3：引張鋼材の段数の影響を表す係数で、式 9.4.3-8 による。

$$k_3 = \frac{5\left(n+2\right)}{7n+8} \quad \cdots\cdots \text{式 9.4.3-8}$$

n　：引張鋼材の段数

c　：かぶり（mm）

c_s：鋼材の中心間隔（mm）

ϕ　：鋼材径（mm）

ε'_{csd}：コンクリートの収縮及びクリープ等によるひび割れ幅を考慮するための数値

乾湿繰返し環境においては 250× 10⁻⁶ を適用してよい（表-9.4.3-1）。

σ_{se}　：鋼材位置のコンクリートの応力度が 0 の状態からの鉄筋応力度の増加量（N/mm²）

E_s　：鉄筋のヤング係数　　2.0× 10⁵（N/mm²）

表-9.4.3-1　収縮及びクリープ等の影響によるひび割れ幅の増加を考慮する数値

環境条件	常時乾燥環境（雨水の影響を受けない桁下面等）	乾湿繰返し環境（桁上面、海岸や川の水面に近く湿度が高い環境等）	常時湿潤環境（土中部材等）
自重でひび割れが発生（材齢 30 日を想定）する部材	450× 10⁻⁶	250× 10⁻⁶	100× 10⁻⁶
永続作用時にひび割れが発生（材齢 100 日を想定）する部材	350× 10⁻⁶	200× 10⁻⁶	100× 10⁻⁶
変動作用時にひび割れが発生（材齢 200 日を想定）する部材	300× 10⁻⁶	150× 10⁻⁶	100× 10⁻⁶

（出典：コンクリート標準示方書［設計編］、土木学会、2017 年、P.232）

9.4.4　水抜工

第 4 章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工　を参照

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-24　「9.5.7　接着工法の施工」	P.9-20　「9.5.7　接着工法の施工」

9.5　施工方法
9.5.1　長寿命化対策の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　長寿命化対策の施工　を参照

9.5.2　仮設備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　仮設備工　を参照

9.5.3　坑内作業準備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.3　坑内作業準備工　を参照

9.5.4　下地処理工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.4　下地処理工　を参照

9.5.5　導水･止水対策工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.5　導水･止水対策工　を参照

9.5.6　補修工法の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.6　補修工法の施工　を参照

9.5.7　接着工法の施工

接着工法は、補強材の種類で分類され、補強材の種類により補強材の接着方法（増厚材）が異なる。接着工法施工は、各工法に共通する部分と異なる部分があり、現場条件によっても施工方法が異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

施工実績のある接着工法は**図-9.5.7-1** のとおり分類され、それぞれ施工方法が異なる。以下では工法毎の施工手順、施工内容、施工時の留意事項を示す。

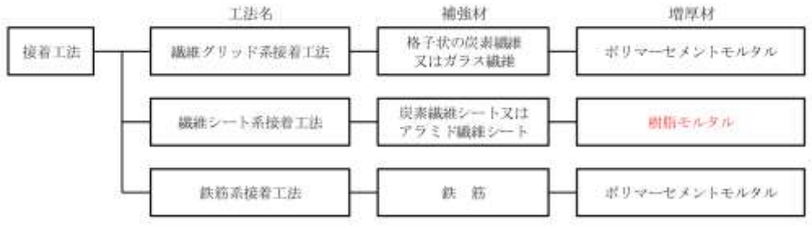


図-9.5.7-1　接着工法の分類

9.5　施工方法
9.5.1　長寿命化対策の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　長寿命化対策の施工　を参照

9.5.2　仮設備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　仮設備工　を参照

9.5.3　坑内作業準備工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.3　坑内作業準備工　を参照

9.5.4　下地処理工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.4　下地処理工　を参照

9.5.5　導水･止水対策工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.5　導水･止水対策工　を参照

9.5.6　補修工法の施工
第４章　対策工法の共通事項　4.6.6　補修工法の施工　を参照

9.5.7　接着工法の施工

接着工法は、補強材の種類で分類され、補強材に種類により補強材の接着方法（増厚材）が異なる。接着工法施工は、各工法に共通する部分と異なる部分があり、現場条件によっても施工方法が異なる。そのため、各工法の施工方法や特徴、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

施工実績のある接着工法は**図-9.5.7-1** のとおり分類され、それぞれ施工方法が異なる。以下では工法毎の施工手順、施工内容、施工時の留意事項を示す。

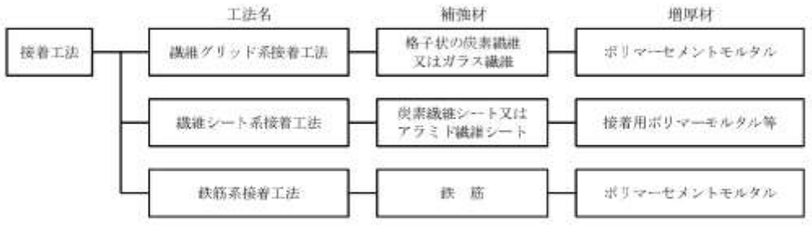


図-9.5.7-1　接着工法の分類（例）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-26　「9.5.7　接着工法の施工」	P.9-22　「9.5.7　接着工法の施工」

2）繊維グリッドの取り付け

繊維グリッドの取り付けについては、覆工コンクリートと繊維グリッドの間にできる限り隙間が生じないように所定の位置にコンクリートアンカー等を用いて堅固に固定する。コンクリートアンカー等で固定する際、ドリルによる削孔時やアンカー締め付け時に繊維グリッドに損傷を与えないよう注意して施工する。

アンカーの配置については、以下の２通りの考え方がある。

① アンカーの定着効果を設計上考慮しない場合には、施工時の繊維グリッドの固定に必要な数量のアンカーを設置する。このような場合には、繊維グリッドの筋番に応じて M8 程度の金属拡張アンカーを５本/m²、又はリベットアンカーを 10 本/m² 程度配置するのが一般的である。ただし、既設コンクリートの表面状態や形状に応じて、アンカーの形状や打込み本数を調整してもよい。

② アンカーの定着効果を設計上考慮する場合には、アンカーが所要のせん断耐力及び引張耐力を確保できるよう、アンカーの材質、寸法、固定方法、及び配置を選定する。

写真-9.5.7-1 に繊維グリッド取り付け状況を示す。



写真-9.5.7-1　繊維グリッド取付



写真-9.5.7-2　プライマーエ

3）プライマーエ

プライマー工は、覆工コンクリートとモルタルとの境界面のドライアウトによる付着力低下を防ぐために実施する。

覆工コンクリートが一様な湿潤状態にある場合には、プレウェッティング（水湿し）は不要であるが、湿潤状態と乾燥状態とがまだらにあるような場合にはプレウェッティング（水湿し）を実施し、下地コンクリートが一様な湿潤表乾状態になるように調整する。覆工コンクリートが一様な湿潤状態又は湿潤表乾状態に調整されている場合は、プライマー工を省略することができる。ただし、乾燥状態にある場合は、各種増厚材ごとに所定のプライマー材を選定し、塗布するものとする。

写真-9.5.7-2 にプライマー施工状況を示す。

4）増厚材練混ぜ

増厚材の配合については、使用する材料毎に決められた配合を用いるものとし、決められた練混ぜ方法（材料の投入順序、ミキサ能力、練混ぜ時間等）により増厚材を作製する。

2）繊維グリッドの取り付け

繊維グリッドの取り付けについては、覆工コンクリートと繊維グリッドの間にできる限り隙間が生じないように所定の位置にコンクリートアンカー等を用いて堅固に固定する。コンクリートアンカー等で固定する際、ドリルによる削孔時やアンカー締め付け時に繊維グリッドに損傷を与えないよう注意して施工する。

写真-9.5.7-1 に繊維グリッド取り付け状況を示す。



写真-9.5.7-1　繊維グリッド取付



写真-9.5.7-2　プライマーエ

3）プライマーエ

プライマー工は、覆工コンクリートとの境界面のドライアウトによる付着力低下を防ぐために実施する。

覆工コンクリートが湿潤状態にある場合にはプレウェッティングを実施し、覆工コンクリートが乾燥状態にある場合には各種増厚材毎に所定のプライマー材を選定し塗布する。

写真-9.5.7-2 にプライマー施工状況を示す。

4）増厚材練混ぜ

増厚材の配合については、使用する材料毎に決められた配合を用いるものとし、決められた練混ぜ方法（材料の投入順序、ミキサ能力、練混ぜ時間等）により増厚材を作製する。

5）増厚工

① 吹付けの施工については、増厚材を吹付け位置まで圧送し、覆工コンクリートに所定量厚付けを行う。増厚材は所定の流動性を有する必要があり、吹付け前にフロー試験等を実施し流動性を確認する。モルタルフロー基準に関しては各材料製造業者の規定による。

② １回に吹付け可能な厚さは、アーチ面で 20mm～30mm、側壁面で 30mm～50mm 程度である。この吹付け厚さを超える厚さを吹付ける場合は、２層以上に積層して吹付ける。また、繊維グリッドの格子部は空隙が出来やすいので、コテ押さえなどを併用して空隙を充填する。

写真-9.5.7-3 に増厚材吹付け状況を、**写真-9.5.7-4** にコテ仕上げ状況を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-27　「9.5.7　接着工法の施工」	P.9-23　「9.5.7　接着工法の施工」

5）増厚工

① 吹付けの施工については、増厚材を吹付け位置まで圧送し、覆工コンクリートに所定量厚付けを行う。事前に試験吹付けなどを実施して，吐出量や吹付け厚さが適正であるか，適切に施工が行えるかなどを確認する。

② 1回に吹付け可能な厚さは、アーチ面で 20mm～30mm、側壁面で 30mm～50mm 程度である。2層以上で吹付ける場合はコールドジョイントとならないよう留意し、施工方法については材料メーカーの規定による。また、繊維グリッドの格子部は空隙が出来やすいので、コテ押さえなどを併用して空隙を充填する。

写真-9.5.7-3 に増厚材吹付け状況を、**写真-9.5.7-4** にコテ仕上げ状況を示す。

6）養生工

寒中施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う。施工箇所に設置した温度計で温度管理を行い、日平均気温が 5℃以上であることを確認し施工する。これらの温度を外れる場合には、モルタルの圧縮強度が 5N/mm² 以上に達するまで適切な養生を行う。



写真-9.5.7-3　増厚材吹付け



写真-9.5.7-4　コテ仕上げ

6）養生工

施工時は、施工箇所に設置した温度計で温度管理を行い、日平均気温が 5℃以上であることを確認し施工する。これらの温度を外れる場合には、モルタルの圧縮強度が 5N/mm² 以上に達するまで適切な養生を行う。

寒中施工では、養生時の温度管理を行うとともに、初期凍害を防止するための加温養生を必要に応じて行う。



写真-9.5.7-3　増厚材吹付け



写真-9.5.7-4　コテ仕上げ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-28　「9.5.7　接着工法の施工」	P.9-24　「9.5.7　接着工法の施工」

（2）繊維シート系接着工法の施工

繊維シート系接着工法は、以下に示す繊維シートを樹脂モルタルや含浸・接着樹脂等により覆工コンクリートに定着固定し、覆工コンクリートと一体化させる工法である。覆工コンクリートの表面に結露があるような湿潤状態では適用できないので留意する必要がある。

繊維シート系接着工法の施工は、**図-9.5.7-3** の手順で行う。

繊維シート系接着工法は、繊維シートを削孔などで切断しないことが望ましい。そのため、裏込注入工法を先に施工した後、繊維シートの設置を行うことが多い。ただし、覆工コンクリートが裏込注入圧に耐えられない場合には繊維シート設置後に裏込注入工を施工することも可能である。

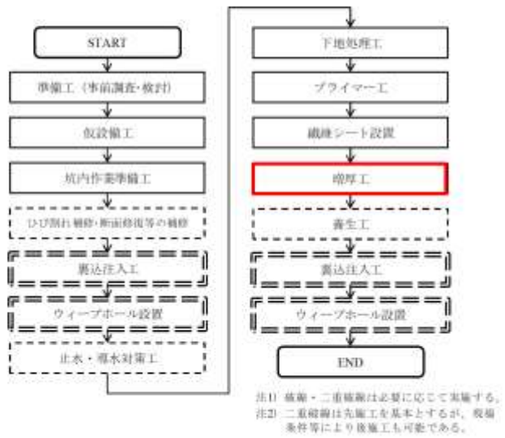


図-9.5.7-3　繊維シート系接着工法の施工フロー（例）

1）下地処理工

下地処理においては、覆工コンクリート表面の劣化層（風化・レイタンス・離型剤・はく離モルタル・塗装・汚れなど）をディスクサンダーや水圧洗浄機などで十分除去・研磨する。水で洗浄する場合は、その後十分に乾燥させる。覆工コンクリート面の著しい劣化やひび割れ、部分的な断面欠損等は、適切に補修し、湧水箇所の止水・導水対策を施す。

2）プライマー工

プライマーをローラー刷毛等を用いて均一に補強面全面に塗布する。覆工コンクリートのうねりの大きい箇所、型枠段差等は無機系または有機系の不陸調整材を用い、平滑に修整しておく。プライマー塗布前に覆工コンクリートの水分量を測定し、使用するプライマーの適用範囲である 10%以下であることを確認する。覆工コンクリートの表面の水分量を小さくするためには、送風機などを用いると良い。

写真-9.5.7-5 にプライマー施工状況を示す。

（2）繊維シート系接着工法の施工

繊維シート系接着工法は、以下に示す繊維シートを接着用ポリマーモルタルや含浸・接着樹脂等により覆工コンクリートに定着固定し、表面保護用ポリマーモルタル等を塗布して表面保護を行う工法である。覆工コンクリートの表面に結露があるような湿潤状態では適用できないので留意する必要がある。

繊維シート系接着工法の施工は、**図-9.5.7-3** の手順で行う。

繊維シート系接着工法は、繊維シートを断面欠損させないことが望ましい。そのため、裏込注入工法を先に施工した後、繊維シートの設置を行うことが多い。ただし、覆工コンクリートが裏込注入圧に耐えられない場合には繊維シート設置後に裏込注入工を施工することも可能である。

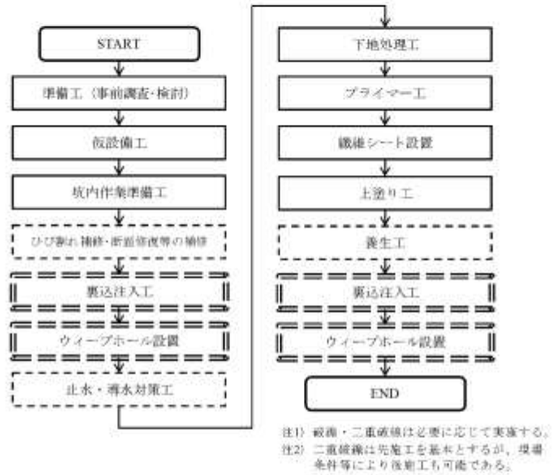


図-9.5.7-3　繊維シート系接着工法の施工フロー（例）

1）下地処理工

下地処理においては、覆工コンクリート表面の劣化層（風化・レイタンス・離型剤・はく離モルタル・塗装・汚れなど）をディスクサンダーなどで十分除去・研磨する。水で洗浄する場合は、その後十分に乾燥させる。

2）プライマー工

接着用ポリマーモルタルを、金コテなどを用いて補強面全面に塗布する。覆工コンクリートのうねりの大きい箇所、型枠段差等には接着用ポリマーモルタルを予め塗布し、段差部を修正しておく。

写真-9.5.7-5 にプライマー施工状況を示す。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-29　「9.5.7　接着工法の施工」	**P.9-25**　「9.5.7　接着工法の施工」

3）繊維シート設置

樹脂モルタル又は含浸・接着材を用いて繊維シートを貼り付ける。シート全面にわたって、繊維シートの繊維束の隙間から下塗り樹脂モルタルがはみ出してくる程度にプラスチックローラーやコテで押しつけ、覆工コンクリートと一体化させる。繊維シートの繊維束の隙間からはみ出した樹脂モルタルをゴムベラ等で平にならす。**写真-9.5.7-6** に繊維シート設置状況を示す。繊維シート系接着工法は樹脂材の接着効果のみで繊維シートを固定する工法であるため、期待されている持続期間中は十分に接着性が保たれている必要がある。しかし、覆工面から湧水があるとシート材に背面水圧が作用し、常時水に押されることで接着性が低下してシート材に浮きや剥離などが生じる場合がある。このため、施工時に湧水や湧水跡がある部位には、事前に通水機能を有したアンカー材（**写真-9.5.7-7**）などを設置して、水を逃がす処置対策が必要である。

4）増厚工

繊維シートの素線間からのはみ出し具合を見ながら、樹脂モルタルの少ないところを中心に樹脂モルタルをゴムヘラ等で補充して平滑に仕上げる。増厚材の厚さは、水砂噴流摩耗試験による耐摩耗性を考慮して設定する。繊維シートの端部など浮きやハネの起きやすい箇所は注意して仕上げる。

写真-9.5.7-8 に増厚工の施工状況を示す。

5）養生工

施工時は、施工箇所に設置した温度計および湿度計で温度・湿度管理を行い、日平均気温が 5℃以上、湿度 85%以下であることを確認し施工する。これらの環境条件を外れる場合には、送風機等を用い適切な条件で施工を行う。プライマー及び樹脂モルタルの硬化養生中に結露等が生じた場合、表面が硬化不良（白化：低温高湿時にエポキシ樹脂中の硬化剤と二酸化炭素が化合して樹脂表面が白く濁る現象）を起こす可能性がある。白化部分を除去せずに施工を継続すると樹脂同士の剥離が懸念されるため、溶剤処理（アセトン）やサンドペーパーにより白化部分を除去したうえで次工程の施工を行わなければならない。

仕上がり状態の検査方法や判定基準及び補修方法の詳細については、「炭素繊維シート貼付け工事における品質管理マニュアル（案）、炭素繊維補修・補強技術研究会材料部会、平成 16 年 1 月」を参照されたい。

3）繊維シート設置

繊維シートを貼り付ける。シート全面にわたって、ストランドの隙間から下塗り樹脂がはみ出してくる程度にプラスチックローラーやコテで押しつけ、覆工コンクリートと一体化させる。ストランドの間からはみ出した接着用ポリマーモルタルをゴムベラ等で平にならす。**写真-9.5.7-6** に繊維シート設置状況を示す。繊維シート系接着工法は樹脂による接着作用のみで繊維シートを固定する工法であるが、試験施工において、リベットアンカー固定が併用された事例がある（**写真-9.5.7-7**）。

4）上塗り工

繊維シートの隙間からのはみ出し具合を見ながら、接着用ポリマーモルタルの少ないところを中心に接着用ポリマーモルタルをゴムヘラ等補充して上塗りし平滑に仕上げる。上塗り樹脂の目安量は、0.5kg/m^{2}とする。繊維シートの端部など浮きやハネの起きやすい箇所は注意して仕上げる。

写真-9.5.7-8 に上塗り状況を示す。

5）養生工

「**（1）繊維グリッド系接着工法の施工**」を参照



写真-9.5.7-5　プライマー工(接着用ポリマーモルタル)



写真-9.5.7-6　繊維シート設置



写真-9.5.7-7　リベットアンカー固定



写真-9.5.7-8　上塗り(接着用ポリマーモルタル)

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-30　「9.5.7　接着工法の施工」	



写真-9.5.7-5　プライマー工



写真-9.5.7-6　繊維シート設置



写真-9.5.7-7　通水型アンカー設置



写真-9.5.7-8　増厚工（樹脂モルタル）



写真-9.5.7-9　完了状況

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.9-34　「9.6.1　接着工法の材料の承諾及び保管管理」

9.6　接着工法の施工管理

9.6.1　接着工法の材料の承諾及び保管管理

接着工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) 接着工法に使用する資材の製造管理と品質管理

接着工法に使用する資材は、表-9.6-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

使用材料の検査は、製造者が発行する品質保証書（又は試験成績書等）により行うことを原則とする。しかし、運搬中の不具合、現場における長期保存、工事中の不具合などによって損傷を受けたと考えられるものについては、外観上問題がなくとも試験によって品質を確認してから使用する。

表-9.6-1　接着工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
繊維部材	炭素繊維グリッド 炭素繊維シート アラミド繊維シート	外観・形状・寸法　(注1) （入荷ロットごとの品質チェック）
金属部材	鋼製材等	外観・形状・寸法 （入荷ロットごとの品質チェック）
増厚材	ポリマーセメントモルタル等	圧縮強度等　(注2) （メーカー発行の試験成績書などで確認）
	樹脂モルタル	引張強度等　(注3) （メーカー発行の試験成績書などで確認）
接着剤	含浸・接着樹脂等	接着強度等 （メーカー発行の試験成績書などで確認）

（注 1）オーブンモールド工法で製造される繊維材料は軸筋の断面寸法が一定とならず、また樹脂の含有量も若干変動するため、実際の断面積にはバラツキが生じる。そのため繊維材料の品質管理は、形状寸法によらず、工場生産時の品質記録により引張耐力及び引張剛性を確認しなければならない。

（注 2）増厚材の強度は、材料メーカーの製造時に実施する品質管理試験（圧縮強度試験）により確認する。

（注 3）樹脂モルタルの強度などは、材料メーカーの製造時に実施する品質管理試験結果により確認する。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.9-29　「9.6.3.1　接着工法の材料の承諾及び保管管理」

9.6　施工管理と完成検査

9.6.1　施工計画

第 4 章　対策工法の共通事項　4.6.1　施工計画　を参照

9.6.2　施工管理

第 4 章　対策工法の共通事項　4.6.2　施工管理　を参照

9.6.3　接着工法の施工管理

9.6.3.1　接着工法の材料の承諾及び保管管理

接着工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) 接着工法に使用する資材の製造管理と品質管理

接着工法に使用する資材は、表-9.6.3-1 に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

使用材料の検査は、製造者が発行する品質保証書（又は試験成績書等）により行うことを原則とする。しかし、運搬中の不具合、現場における長期保存、工事中の不具合などによって損傷を受けたと考えられるものについては、外観上問題がなくとも試験によって品質を確認してから使用する。

表-9.6.3-1　接着工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
繊維部材	炭素繊維グリッド 炭素繊維シート アラミド繊維シート	外観・形状・寸法　(注1) （入荷ロットごとの品質チェック）
金属部材	鋼製材等	外観・形状・寸法 （入荷ロットごとの品質チェック）
増厚材	ポリマーセメントモルタル等	圧縮強度等　(注2) （メーカー発行の規格書などで確認）

（注 1）オーブンモールド工法で製造される繊維材料は軸筋の断面寸法が一定とならず、また樹脂の含有量も若干変動するため、実際の断面積にはバラツキが生じる。そのため繊維材料の品質管理は、形状寸法によらず、工場生産時の品質記録により引張耐力及び引張剛性を確認しなければならない。

（注 2）増厚材の強度は、材料メーカーの製造時に実施する品質管理試験（圧縮強度試験）により確認する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-36　「9.6.2　接着工法の施工時の管理」	P.9-31　「9.6.3.2　接着工法の施工時の管理」

9.6.2　接着工法の施工時の管理

接着工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。

（1）下地処理工及び補修工の確認
（2）施工表面及び作業環境の確認
（3）補強材配置状況の確認
（4）増厚材施工状況の確認

【解説】

（1）下地処理工及び補修工の確認

下地処理の状態及び断面修復工、ひび割れ補修工の施工状態を確認する。付着強度試験は、覆工コンクリートを対象に、施工計画書に定められた面積毎に付着強度の規格値を満足していることを確認する。その結果、下地処理工及び補修工の状態が適切でないと判定された場合には、それらの状態の改善を行わなければならない。

（2）施工表面及び作業環境の確認

覆工コンクリート表面の水分量、施工時の温度、湿度が、使用する材料の適用範囲であることを確認しなければならない。適用範囲外の条件で施工すると、硬化不良や材料強度が不足して一体化性を損なうおそれがあるため、注意する必要がある。

（3）補強材配置状況の確認

繊維グリッドや補強鉄筋等の補強材の配置状況を確認する。補強材の配置誤差は、かぶり不足につながりやすいので、配置誤差がある場合は施工層厚を増やす必要がある。

（4）増厚材施工状況の確認

増厚材の層厚、かぶり厚を確認する。増厚材は施工中及び施工後に付着強度試験や圧縮強度試験を行って性能を確認する。増厚材の付着強度試験は、現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが、現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には、コンクリートの物性が明らかな平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。ここで、現場の覆工コンクリート部材躯体での試験が困難な場合とは、増厚材の層厚が厚く、付着強度試験の際に覆工コンクリートまで達する切込みが困難な場合などである。

9.6.3.2　接着工法の施工時の管理

接着工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。

（1）下地処理工及び補修工の確認
（2）補強材配置状況の確認
（3）増厚材施工状況の確認

【解説】

（1）下地処理工及び補修工の確認

下地処理の状態及び断面修復工、ひび割れ補修工の施工状態を確認する。付着強度試験は、覆工コンクリートを対象に、施工計画書に定められた面積毎に付着強度の規格値を満足していることを確認する。その結果、下地処理工及び補修工の状態が適切でないと判定された場合には、それらの状態の改善を行わなければならない。

（2）補強材配置状況の確認

繊維グリッドや補強鉄筋等の補強材の配置状況を確認する。補強材の配置誤差は、かぶり不足につながりやすいので、配置誤差がある場合は施工層厚を増やす必要がある。

（3）増厚材施工状況の確認

増厚材の層厚、かぶり厚を確認する。増厚材は施工中及び施工後に付着強度試験や圧縮強度試験を行って性能を確認する。増厚材の付着強度試験は、現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが、現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には、コンクリートの物性が明らかな平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。ここで、現場の覆工コンクリート部材躯体での試験が困難な場合とは、増厚材の層厚が厚く、付着強度試験の際に覆工コンクリートまで達する切込みが困難な場合などである。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.9-37　「9.6.3　接着工法の出来形管理及び品質管理」	P.9-32　「9.6.3.3　接着工法の出来形管理及び品質管理」

9.6.3　接着工法の出来形管理及び品質管理

接着工法の品質は材料の配合及び強度試験等により管理する。
出来形管理に際しては、出来形を測定・観察し、その都度、結果を調査記録表に記録する。完成後は、関連仕様書に準じて出来形を写真等で記録し、これを管理する。

【解説】

（1）品質管理

増厚材については、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合等を確認する。強度管理については付着強度試験及び圧縮強度により確認する。

（2）出来形管理

接着工法の出来形管理は面積と厚さの計測を基本とする。厚さは、各ブロックに設置した検測ピンや樹脂板等のガイドを目安として施工を行い、概ね 100m² 毎に設置した検測孔（発泡スチロールなどを施工面に設置し、増厚材を施工後に発泡スチロールなどを撤去して定規で計測するための孔）により確認する。
各工法の出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

（3）工事記録写真等の撮影及び提出

工事記録写真等の内容及び撮影頻度については、本書の巻末資料に示す検査結果等の記録が報告書に添付されていることを確認する。

9.6.3.3　接着工法の出来形管理及び品質管理

接着工法の品質は材料の配合及び強度試験等により管理する。
出来形管理に際しては、出来形を測定・観察し、その都度、結果を調査記録表に記録する。完成後は、関連仕様書に準じて出来形を写真等で記録し、これを管理する。

【解説】

（1）品質管理

増厚材については、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合等を確認する。強度管理については付着強度試験及び圧縮強度により確認する。

（2）出来形管理

接着工法の出来形管理は面積と厚さの計測を基本とする。厚さは、各ブロックに設置した検測ピンや樹脂板等のガイドを目安として施工を行い、概ね 100m² 毎に設置した検測孔（発泡スチロールなどを施工面に設置し、増厚材を施工後に発泡スチロールなどを撤去して定規で計測するための孔）により確認する。
各工法の出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

（3）工事記録写真等の撮影及び提出

工事記録写真等の内容及び撮影頻度については、本書の巻末資料に示す検査結果等の記録が報告書に添付されていることを確認する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-1 「10.1 工法概要」	P.10-1 「10.1 工法概要」

第 10 章　ロックボルト補強工法

10.1　工法概要

ロックボルト補強工法は、ロックボルトと地山が一体となって地山強度の低下を防ぐことにより、変状の進行を抑制する工法である。

【解説】

ロックボルト補強工法は、既設トンネルの覆工コンクリートが塑性圧又は偏圧により変状を生じた場合に、覆工コンクリート表面から地山にロックボルトを設置し、覆工と周辺地山を一体化させることにより変状の進行を抑制する工法である。**図-10.1.1** にロックボルト工法例を示す。

しかし、ロックボルトによる補強効果を定量的に設定する設計手法は確立されておらず、鉄道や道路トンネルでは、類似設計や標準設計に基づく経験的な設計手法が主に適用されている。

ロックボルト工に使用される機械・材料は多種多様であることから、現場条件や地質条件に対応して選定する必要がある。

（1）適用条件

① 覆工背面空洞への裏込注入工単独では機能の維持ができない場合
② 塑性圧や偏圧等の地圧による変状の進行の抑制
③ 覆工コンクリート片の剥落の防止（地山への縫い付け）
④ 覆工コンクリートの強度を期待できる場合

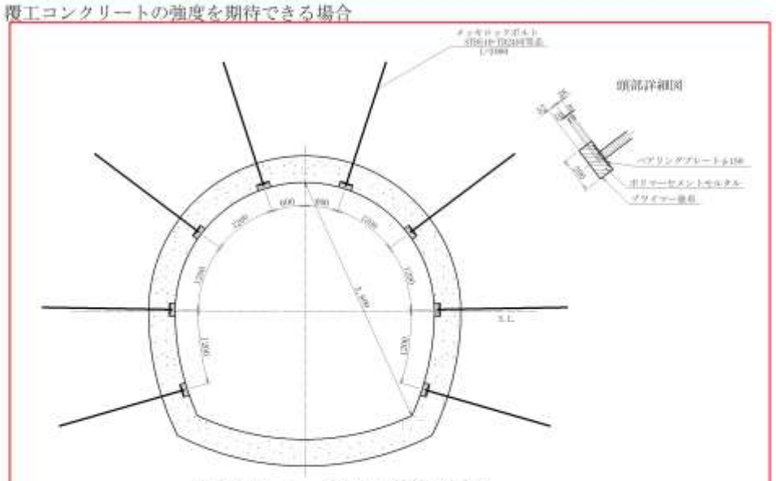


図-10.1.1　ロックボルト補強工法の例

（2）工法の特徴

ロックボルト補強工法は、周辺地山にロックボルトを確実に定着させることで、覆工の補強効果が得られるため、確実な定着が得られる地山条件であることを十分に調査した上で計画することが

第 10 章　ロックボルト補強工法

10.1　工法概要

ロックボルト補強工法は、ロックボルトと地山が一体となって地山強度の低下を防ぐことにより、変状の進行を抑制する工法である。

【解説】

ロックボルト補強工法は、塑性圧や偏圧によって変状が生じた場合に、ロックボルトを覆工コンクリート表面から地山に設置し、覆工を周辺地山と一体化させることで変状の進行を抑制する工法である。**図-10.1.1** にロックボルト工法例を示す。

しかし、ロックボルトによる補強効果を定量的に設定する設計手法は確立されておらず、鉄道や道路トンネルでは、類似設計や標準設計に基づく経験的な設計手法が主に適用されている。

ロックボルト工に使用される機械・材料は多種多様であることから、現場条件や地質条件に対応して選定する必要がある。

（1）適用条件

① 覆工背面空洞への裏込注入工単独では機能の維持ができない場合
② 塑性圧や偏圧等の地圧による変状の進行の抑制
③ 覆工コンクリート片の剥落の防止（地山への縫い付け）
④ 覆工コンクリートの強度を期待できる場合

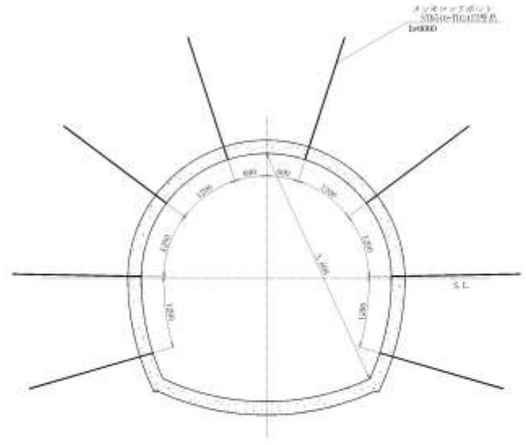


図-10.1.1　ロックボルト補強工法の例

（2）工法の特徴

ロックボルト補強工法は、周辺地山にロックボルトを確実に定着させることで、覆工の補強効果が得られるため、確実な定着が得られる地山条件であることを十分に調査した上で計画することが

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.10-3 「10.1　工法概要」

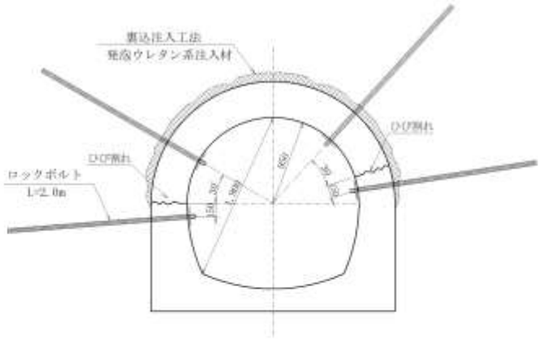
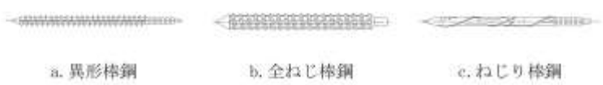


図-10.1.3　極小断面におけるロックボルト補強工法例

(3) ロックボルトの種類

ロックボルトは、変状の状況に応じて必要な強度と伸び特性を有するものでなければならない。ロックボルトに使用される材料には、一般に、異形棒鋼、全ねじ棒鋼、ねじり棒鋼などがある（**図-10.1.4**）。ロックボルトに使用される材料の種類別の材質と耐力を**表-10.1.1** に示す。



a. 異形棒鋼　　b. 全ねじ棒鋼　　c. ねじり棒鋼

図-10.1.4　ロックボルトの例

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、p.92）

表-10.1.1　ロックボルトの種類別の材質と耐力

ボルトの種類		異形棒鋼				全ねじ棒鋼	ねじり棒鋼	
材質		SD295	SD295	SD345	SD345	SD295	STD510	STD510
呼径		D22	D25	D22	D25	D22	TD21	TD24
ねじ部	径（mm）	M22	M24	M22	M24	－	M22	M24
	断面積（cm²）	3.03	3.53	3.03	3.53	3.87	3.03	3.53
	降伏耐力（kN）	89	105	105	122	114	155	180
	破断耐力（kN）	133	155	148	172	170	207	244
素材部	断面積（cm²）	3.87	5.07	3.87	5.07	－	3.69	4.46
	降伏耐力（kN）	114	150	133	175	－	188	227
	破断耐力（kN）	170	223	190	248	－	253	306

（注）全ねじ棒鋼以外は、転造ねじ

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、p.91）

ロックボルトは定着方式によって**表-10.1.2** のように分類される。定着方式には、全面定着方式、摩擦定着方式などがあり、一般には全面定着方式が用いられる。

P.10-3 「10.1　工法概要」

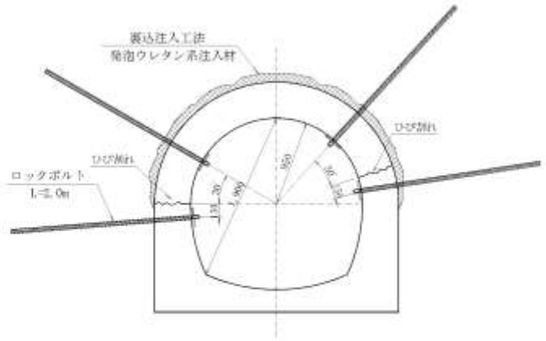


図-10.1.3　極小断面におけるロックボルト補強工法例

(3) ロックボルトの種類

ロックボルトは、変状の状況に応じて必要な強度と伸び特性を有するものでなければならない。ロックボルトに使用される材料には、一般に、異形棒鋼、全ねじ棒鋼、ねじり棒鋼などがある（**図-10.1.4**）。ロックボルトに使用される材料の種類別の材質と耐力を**表-10.1.1** に示す。



a. 異形棒鋼　　b. 全ねじ棒鋼　　c. ねじり棒鋼

図-10.1.4　ロックボルトの例

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、P.92）

表-10.1.1　ロックボルトの種類別の材質と耐力

ボルトの種類		異形棒鋼				全ねじ棒鋼	ねじり棒鋼	
材質		SD295	SD295	SD345	SD345	SD295	STD510	STD510
呼径		D22	D25	D22	D25	D22	TD21	TD24
ねじ部	径（mm）	M22	M24	M22	M24	－	M22	M24
	断面積（cm²）	3.03	3.53	3.03	3.53	3.87	3.03	3.53
	降伏耐力（kN）	89	105	105	122	114	155	180
	破断耐力（kN）	133	155	148	172	170	207	244
素材部	断面積（cm²）	3.87	5.07	3.87	5.07	－	3.69	4.46
	降伏耐力（kN）	114	150	133	175	－	188	227
	破断耐力（kN）	170	223	190	248	－	253	306

（注）全ねじ棒鋼以外は、転造ねじ

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、P.91）

ロックボルトは定着方式によって**表-10.1.2** のように分類される。定着方式には、全面定着方式、摩擦定着方式などがあり、一般には全面定着方式が用いられる。

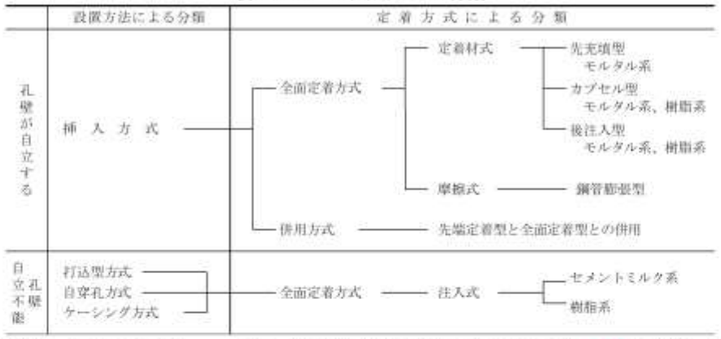
（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-4　「10.1　工法概要」	**P.10-4**　「10.1　工法概要」

孔壁が自立できない地山において通常の施工方法のように穿孔後モルタル充填、ロックボルトの挿入ができない場合には、定着効果を事前に十分確認の上、自穿孔ボルトの採用についても考慮する必要がある。

湧水が多い場合には、ロックボルトの定着材が洗い流されたり、十分な定着が得られなかったりする場合があるため、摩擦定着方式（鋼管膨張型）が採用された例もある。

表-10.1.2　ロックボルトの分類



（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、p.92 を改変して転載）

ロックボルトの定着材は、硬化後に全長にわたり十分な定着力が得られるものでなければならない。定着材の種類を**表-10.1.3** に示す。

ロックボルトの定着材にはセメント系と樹脂系があり、一般にはセメント系が用いられる。また、湧水の多い場合や先端定着を定着材により行う場合及びロックボルト周辺を注入改良する等の場合には、樹脂系定着材が用いられることもある。

表-10.1.3　ロックボルト定着材の種類

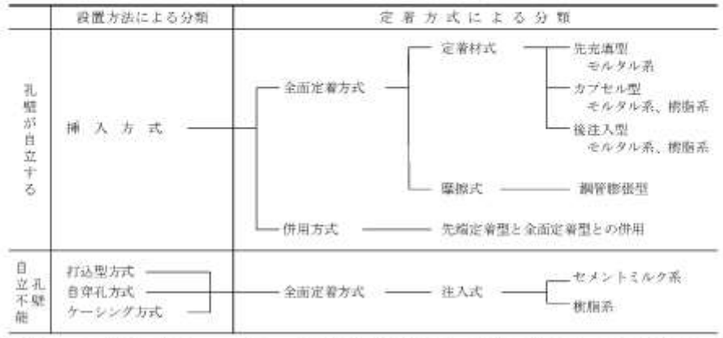
定着材の種類		材　質
セメント系	充填式	モルタル
		セメントミルク
	注入式	モルタル
		セメントミルク
	カプセル式	モルタル
樹脂系	注入式	シリカレジン
		ポリエステル
		ウレタン
	カプセル式	ウレタン

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、p.93）

孔壁が自立できない地山において通常の施工方法のように穿孔後モルタル充填、ロックボルトの挿入ができない場合には、定着効果を事前に十分確認の上、自穿孔ボルトの採用についても考慮する必要がある。

湧水が多い場合には、ロックボルトの定着材が洗い流されたり、十分な定着が得られなかったりする場合があるため、摩擦定着方式（鋼管膨張型）が採用された例もある。

表-10.1.2　ロックボルトの分類



（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所，平成 10 年 2 月、P.92 を改変して転載）

ロックボルトの定着材は、硬化後に全長にわたり十分な定着力が得られるものでなければならない。定着材の種類を**表-10.1.3** に示す。

ロックボルトの定着材にはセメント系と樹脂系があり、一般にはセメント系が用いられる。また、湧水の多い場合や先端定着を定着材により行う場合及びロックボルト周辺を注入改良する等の場合には、樹脂系定着材が用いられることもある。

表-10.1.3　ロックボルト定着材の種類

定着材の種類		材　質
セメント系	充填式	モルタル
		セメントミルク
	注入式	モルタル
		セメントミルク
	カプセル式	モルタル
樹脂系	注入式	シリカレジン
		ポリエステル
		ウレタン
	カプセル式	ウレタン

（出典：変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月、P.93）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-5 「10.1 工法概要」	P.10-5 「10.1 工法概要」

（4）施工の概要

一般的なロックボルト補強工法の施工手順を以下に示す。

① 資・機材搬入後に施工位置をマーキングし、削孔機で所定の深さまで削孔する。

② 定着材充填前にベアリングプレートを設置するための拡径（φ200mm、深さ 90mm 程度）を行う。

③ 削孔完了後に定着材を充填し、充填完了後にロックボルトを所定の深さまで挿入する。

④ 定着材の養生後、所定の本数を対象に引抜き試験を実施する。

⑤ 引抜き試験の後、ロックボルトにベアリングプレートとナットを設置し、頭部締め付け（プレストレス）を行う。

⑥ 最後に頭部処理（拡径部にポリマーセメントモルタルを充填）を行う。

（5）留意事項

① ロックボルトの定着工法としては、全面定着方式を原則とする。

② 水理断面内に突起物が露出しないよう、ロックボルトの頭部は覆工コンクリート内に埋め込むことが望ましい。

③ 極小断面トンネルは、覆工コンクリート厚が薄く、ロックボルトの頭部を覆工コンクリート内に埋め込むことができないため、防錆塗料の塗布や、ステンレス製のキャップを被せるなどの防錆対策を施す必要がある。

④ ロックボルトの寸法及び配置は、必要な耐荷性能を定めた上で、地山条件、トンネル断面形状・寸法、覆工の状態、施工性及び経済性を考慮して決定する必要がある。

⑤ ロックボルト補強工法の施工範囲は、トンネルの周辺の地形・地質条件、変状原因（地圧の種類と方向）、変状現象（変状の程度）、トンネル断面形状、覆工の構造を考慮して設定する必要がある。

⑥ ロックボルト補強工が効果を発揮するためには、十分な定着力を得ることのできる地山でなければならない。したがって、未固結な土砂地山（洪積層、強風化層等）や、粘土化した軟弱な破砕帯等の極端に軟質な地山には適用できない。

⑦ 変状が著しい場合には、トンネル周辺地山の劣化範囲（緩み領域）がかなり広範囲に及ぶこともあるので、坑内からの弾性波探査や地質調査ボーリングなどにより劣化範囲を確認する必要がある。

⑧ 湧水が多い場合は、定着材が流出する等の問題が生じるので、事前に湧水状況を把握しておく必要がある。

⑨ 極小断面トンネルにロックボルトを打設可能な新技術が開発されているが、打設可能なロックボルト長や地山の種類、地山の強度について留意する必要がある。

（4）施工の概要

一般的なロックボルト補強工法の施工手順を以下に示す。

① 資・機材搬入後に施工位置をマーキングし、削孔機で所定の深さまで削孔する。

② 定着材充填前にベアリングプレートを設置するための拡径（φ200mm、深さ 90mm 程度）を行う。

③ 削孔完了後に定着材を充填し、充填完了後にロックボルトを所定の深さまで挿入する。

④ 定着材の養生後、所定の本数を対象に引抜き試験を実施する。

⑤ 引抜き試験の後、ロックボルトにベアリングプレートとナットを設置し、頭部締め付け（プレストレス）を行う。

⑥ 最後に頭部処理（拡径部にポリマーセメントモルタルを充填）を行う。

（5）留意事項

① ロックボルトの定着工法としては、全面定着方式を原則とし、ロックボルト、ナット、ベアリングプレートなどの材料は、溶融亜鉛メッキによる防錆処理を行ったものを用いる。

② 水理断面内に突起物が露出しないよう、ロックボルトの頭部は覆工コンクリート内に埋め込むことが望ましい。

③ 極小断面トンネルは、覆工コンクリート厚が薄く、ロックボルトの頭部を覆工コンクリート内に埋め込むことができないため、防錆塗料の塗布や、ステンレス製のキャップを被せるなどの防錆対策を施す必要がある。

④ ロックボルトの寸法及び配置は、必要な耐荷性能を定めた上で、地山条件、トンネル断面形状・寸法、覆工の状態、施工性及び経済性を考慮して決定する必要がある。

⑤ ロックボルト補強工法の施工範囲は、トンネルの周辺の地形・地質条件、変状原因（地圧の種類と方向）、変状現象（変状の程度）、トンネル断面形状、覆工の構造を考慮して設定する必要がある。

⑥ ロックボルト補強工が効果を発揮するためには、十分な定着力を得ることのできる地山でなければならない。したがって、未固結な土砂地山（洪積層、強風化層等）や、粘土化した軟弱な破砕帯等の極端に軟質な地山には適用できない。

⑦ 特に変状の進行が著しい場合には、トンネル周辺地山の劣化範囲を確認する必要がある。

⑧ 湧水が多い場合は、定着材が流出する等の問題が生じるので、事前に湧水状況を把握しておく必要がある。

⑨ 極小断面トンネルにロックボルトを打設可能な新技術が開発されているが、打設可能なロックボルト長や地山の種類、地山の強度について留意する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-6　「10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査」	P.10-6　「10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査」

10.2　要求性能、性能照査

10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査

ロックボルト補強工法の要求性能は、地山条件、トンネル断面･形状、施工性等を考慮し、補強部材として十分な機能と効果を発揮するように設定する。

ロックボルト補強工法の性能照査においては、試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

ロックボルト補強工法の性能照査においては、同工法に期待される効果の持続期間中に、同工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことやロックボルト補強工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、本書では、ロックボルト補強工法の性能照査に当たっては、同工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることを基本とした。ただし、ロックボルト補強工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

ロックボルト補強工法を施工した水路トンネル施設が、所要の性能を確保するためには、同工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査方法を**表-10.2.1-1** 及び**表-10.2.1-2** に示す。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：ロックボルトの頭部が覆工コンクリートの表面に露出する場合は、設計段階では水理計算によって通水性能を照査する。施工後の照査では、期待する通水能力が発揮されていることを測定によって確認する。

耐荷性：地圧、水圧、載荷重に対する安定した耐荷性能を有していることを構造計算により照査する。施工後のモニタリング調査においては、補強後に従前の変状が進行していないことを測定等により確認する。

引張抵抗性：ロックボルトが地山との定着力を発揮することを、設計段階、施工段階及び供用期間中のモニタリング調査段階に確認する。設計段階における照査は設計引抜き耐力により算定す

10.2　要求性能、性能照査

10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査

ロックボルト補強工法の要求性能は、地山条件、トンネル断面･形状、施工性等を考慮し、補強部材として十分な機能と効果を発揮するように設定する。

ロックボルト補強工法の性能照査においては、試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に施工が適切に実施されることを施工計画の照査に基づいて確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

ロックボルト補強工法の性能照査においては、同工法に期待される効果の持続期間中に、同工法を施工した水路トンネル施設が所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネル施設に対して試験施工を行うことやロックボルト補強工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、本書では、ロックボルト補強工法の性能照査に当たっては、同工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が要求値を満足することを試験によって確認することで性能照査をすることとした。ただし、ロックボルト補強工法が所要の性能を有することを確認するためには、試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

ロックボルト補強工法を施工した水路トンネル施設が、所要の性能を確保するためには、同工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求する性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確保することとし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査方法を**表-10.2.1-1** 及び**表-10.2.1-2** に示す。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：ロックボルトの頭部が覆工コンクリートの表面に露出する場合は、設計段階では水理計算によって通水性能を照査する。施工後の照査では、期待する通水能力が発揮されていることを測定によって確認する。

耐荷性：地圧、水圧、載荷重に対する安定した耐荷性能を有していることを構造計算により照査する。施工後のモニタリング調査においては、補強後に従前の変状が進行していないことを測定等により確認する。

引張抵抗性：ロックボルトが地山との定着力を発揮することを、設計段階、施工段階、及び供用期間中のモニタリング調査段階に確認する。設計段階における照査は設計引抜き耐力により算定

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.10-7　「10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査」

る。施工段階及びモニタリング調査段階の照査においては、ロックボルトの引抜き試験により測定する。

表-10.2.1-1　ロックボルト及び定着材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	定着材の一体化性	圧縮強度試験	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」(注1)	1 日圧縮強度値が 10 N/mm² 以上
			定着材の流動性	フロー試験	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」(注1)	150±20 mm
		引張抵抗性	引張抵抗性	引抜試験 NEXCO 試験方法	JGS 3731-2005－NEXCO 試験法条件「ロックボルトの引抜き試験方法」	引抜き耐力 100 kN 以上

（注 1）モルタル系定着材の事例を示す。

表-10.2.1-2　頭部処理材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法			要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性 耐久性	一体化性	圧縮試験	JSCE K 561（28 日間養生）		28 日圧縮強度値が 21.0 N/mm² 以上
			寸法安定性	長さ変化率試験	JIS A 1129 (注1)		0.05%以下
			中性化抑止性	中性化深さ試験	JIS A 1171（4 週間） (注2)		中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）［15 時間経過後 (注3) の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢 28 日）］		標準モルタル供試体 (注5) に対する平均摩耗深さの比が 1.5 以下
		付着性	付着性	付着強度試験	JSCE K 531 又は JSCE K 561（乾湿・温冷繰り返し回数は 15 サイクル (注3)）	標準条件 多湿条件 低温条件	1.5 N/mm² 以上
						水中条件 (注4) 乾湿繰返し条件 温冷繰返し条件	1.0 N/mm² 以上

（注 1）ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23±2℃、湿度 50±5%の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編（令和 5 年 3 月）を参照されたい。
（注 2）試験方法及び品質規格値については本書の巻末資料に示す。
（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 30 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路編（令和 5 年 3 月）を参照されたい。
（注 4）JSCE-K 561（水中条件）における、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20±2℃、相対湿度 60±10%の状態で 7 日間行うものとする。
（注 5）標準モルタル供試体（水セメント比 *W/C*=50%、砂セメント比 *S/C*=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

○耐摩耗性の試験方法と要求値

ロックボルト補強工法の頭部処理材には流水中の土砂による研磨等によって過度の摩耗が発生

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.10-7　「10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査」

する。施工段階及びモニタリング調査段階の照査においては、ロックボルトの引抜き試験により測定する。

表-10.2.1-1　ロックボルト及び定着材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	耐荷性	定着材の一体化性	圧縮強度試験	JIS R 5201（セメントの物理試験方法）(注1)	1 日圧縮強度値が 10 N/mm² 以上
			定着材の流動性	フロー試験	JIS R 5201（セメントの物理試験方法）(注1)	150± 20 mm
		引張抵抗性	引張抵抗性	引抜試験 NEXCO 試験方法	JGS 3731-2005－NEXCO 試験法条件（ロックボルトの引抜き試験方法）	引抜き耐力 100 kN 以上

（注 1）モルタル系定着材の事例を示す。

表-10.2.1-2　頭部処理材に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法			要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件		
基本的性能	構造機能	耐荷性 耐久性	一体化性	圧縮試験	JSCE K 561（28 日間養生）		28 日圧縮強度値が 21.0 N/mm² 以上
			寸法安定性	長さ変化率試験	JIS A 1129 (注1)		0.05%以下
			中性化抑止性	中性化深さ試験	JIS A 1171（4 週間） (注2)		中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下
		耐摩耗性	耐摩耗性	摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案）（材齢 28 日、15 時間経過後 (注3)）		標準モルタル供試体 (注5) に対する平均摩耗深さの比が 1.5 以下
		付着性	付着性	付着強度試験	JSCE K 531 又は JSCE K 561（乾湿・温冷繰り返し回数は 15 サイクル (注3)）	標準条件 多湿条件 低温条件	1.5 N/mm² 以上
						水中条件 (注4) 乾湿繰返し条件 温冷繰返し条件	1.0 N/mm² 以上

（注 1）ゲージプラグ付き金型に所定の材料をコテで充填し、温度 23± 2℃、湿度 50± 5%の状態で 28 日後の長さ変化率を測定する。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年 4 月）を参照されたい。
（注 2）試験方法及び品質規格値については本書の巻末資料に示す。
（注 3）対策工法の効果が期待される期間を 30 年とした場合の例を示す。右欄に示す要求値も同じ。照査方法については、農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル　開水路補修編（案）（平成 27 年 4 月）を参照されたい。
（注 4）JSCE-K 561（水中条件）における、供試体作製後、水中養生を開始するまでの気中養生は、温度 20± 2℃、相対湿度 60± 10%の状態で 7 日間行うものとする。
（注 5）標準モルタル供試体（水セメント比 *W/C*=50%、砂セメント比 *S/C*=3.0、材齢 28 日）の作製には、社団法人セメント協会で販売しているセメント標準試料（強さ試験用ロット No.401H）及びセメント強さ試験用標準砂を用いる。

（3）耐久性

第 4 章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-8　「10.2.1　ロックボルト補強工法の要求性能と性能照査」	新　規

しないことが求められる。耐摩耗性は、砂を含む水の噴流によるすり磨き及び衝撃による摩耗作用を疑似している水砂噴流摩耗試験により照査する。

（参考：長束勇、上野和広、渡嘉敷勝、石井将幸、水砂噴流摩耗試験機の試作とその性能評価、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.89-95、2010）

〔試験方法〕

上野らの試験によれば、摩耗を受けた水路構造物から採取した供試体と水砂噴流摩耗試験機による摩耗試験結果を比べた結果、実水路における概ね 20 年間の摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験機の試験 10 時間に相当する。

ロックボルト補強工法の効果が期待される期間を 30 年と想定した場合、水砂噴流摩耗試験（水砂噴流、水圧 2MPa）の 15 時間後の平均摩耗深さを測定し照査する。耐摩耗性の照査に用いる試験供試体は 3 個とし、試験材齢は 28 日とする。

（参考：上野和広、長束勇、石井将幸、開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率、農業農村工学会論文集、78（2）、pp.105-111、2010）

〔要求値〕

要求値は、水砂噴流摩耗試験装置における、標準モルタル 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（=3.5mm）(注 1) と頭部処理材（ポリマーセメントモルタル）の平均摩耗深さ B の比（B/A）で規定する。要求値 B/A は、**表-10.2.1-3** に示すとおりである。

長束らによる表面被覆工法の材料を対象とした水砂噴流摩耗試験結果では、摩耗時間と平均摩耗深さは線形的な比例関係が示されている。よって、標準モルタル供試体と単一材料からなる頭部処理材の平均摩耗深さの比である要求値（B/A）において、効果が期待される期間を 30 年の要求値（B/A）は、効果が期待される期間 20 年（水砂噴流摩耗試験で 10 時間相当）の要求値（B/A）と同一値とする。

表-10.2.1-3　頭部処理材の耐摩耗性の要求値（B/A）

材料の種類	標準モルタル供試体の 10 時間平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）(注 1) と頭部処理材の平均摩耗深さ B の比（B/A）	参考 (注 2) 頭部処理材の許容平均摩耗深さ（15 時間） （mm）
無機系材料	1.5 以下	7.8 以下 (注 2) （1.5×3.5×（15/10）=7.88）

（注 1）標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）は、これまでに水砂噴流摩耗試験で得られた標準モルタル供試体 10 時間平均摩耗深さの母平均及び標準誤差より算出し、安全側を考慮し実測データの母平均 3.62mm より 0.5mm 刻みで切り捨てた。

（注 2）摩耗時間と平均摩耗深さが線形的な比例関係を示すことから、頭部処理材の許容平均摩耗深さ（15 時間）は、標準モルタル供試体の平均摩耗深さの基準値 A（3.5mm）に摩耗時間の比（15 時間/10 時間）を乗じ、その値に、基準値 A と頭部処理材の平均摩耗深さ B の比 B/A を乗じた値とする。小数点 2 桁とした場合では計測が困難となるため、安全側に値の端数を切り捨てた小数点 1 位の値とした。ここでいう平均摩耗深さは、水砂噴流摩耗試験（15 時間）の平均摩耗深さが 7.8mm 以下であること、又は水砂噴流摩耗試験（10 時間）の平均摩耗深さを 1.5 倍した値が 7.8mm 以下であることを意味する。

（3）耐久性

第４章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-9　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」	P.10-8　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性

(1) ロックボルトの定着方式は、使用目的、地山条件、施工性等を考慮して選定しなければならない。
(2) ロックボルトの定着材は、十分な定着力が得られるものでなければならない。
(3) ロックボルト補強工法を適用する場合は、覆工コンクリートに発生したひび割れ等の変状を補修しなければならない。

【解説】

(1) ロックボルトの定着方式

ロックボルトの定着方式は、ロックボルト全長を地山に定着させる全面定着方式が基本である。全面定着方式には定着材式と摩擦式の 2 種類があり、それらの構造や定着材の種類等によって**図-10.2.2-1** のように分類される。2 種類の定着方法の概要を**表-10.2.2-1** に示す。

定着材式は、ロックボルトをモルタル等の定着材を用いて地山に固定する方法である。定着材式には、先充填型、カプセル型及び後注入型がある。

先充填型は、モルタル等の定着材をあらかじめ孔内に充填した後、ロックボルトを挿入し定置する方法であり、孔壁の自立性が良好な場合に用いられ、使用実績が多い。

カプセル型は、モルタルを充填する代わりに、モルタル又は樹脂及び硬化剤を封入したカプセルを定着材として先に挿入する方法であり、孔壁が自立するものの、湧水処理を行っても先充填したモルタルが流出するおそれがある場合に使用を検討するものとする。

後注入型は、ロックボルトを孔内に挿入し定置した後、モルタル又は樹脂系定着材を注入する方法であり、未固結地山、崖錐又は亀裂の多い地山などにおいて、より確実に定着力を発揮させる場合又は注入による地山改良効果を期待する場合に用いるものとする。

摩擦式は、ロックボルトを孔壁に密着させて得られる摩擦力により定着させる方法である。摩擦式の代表例としては鋼管膨張型があり、この方法は、高水圧ポンプを用いて孔内で鋼管製ロックボルトを膨張させることにより定着を得るものである。高圧によりロックボルト表面が孔壁に直接押し付けられ、摩擦抵抗がボルト全長の孔壁に作用する。摩擦式は、湧水処理を行っても定着材が流出して必要な性能を満足できない場合、又は打設後早期にロックボルトの性能発揮を期待する場合に採用されることが多い。なお、軟岩地山又は未固結地山等においては、十分な定着力が得られないおそれがあるため，その採用に当たっては注意を要する。また，摩擦式ロックボルトは孔壁内で芯材が地山と直接接触することから、防食性を考慮して高耐食性めっきを施した材料を使用するものとする。

ロックボルトは、地山に定着された後、軸方向の引張りと軸直角方向のせん断に対抗する機能から補強効果を発揮する。したがって、ロックボルトの設計に当たっては、引張り及びせん断に対するロックボルトの降伏荷重と定着部の定着力について十分検討する必要がある。ロックボルトの定着力が十分であるかどうかは、引抜き試験を行い、試験結果に基づいて引抜き耐力を判断しなければならない。引抜き耐力は、通常、地山と定着材との間に生ずる定着力で得られるが、地山条件、定着方式、定着材、配置と寸法、材質と形状等によって異なるので注意が必要である。なお、ロックボルト補強工法の構造設計においては、軸方向引張力を照査対象とする。

10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性

(1) ロックボルトの定着方式は、使用目的、地山条件、施工性等を考慮して選定しなければならない。
(2) ロックボルトの定着材は、十分な定着力が得られるものでなければならない。
(3) ロックボルト補強工法を適用する場合は、覆工コンクリートに発生したひび割れ等の変状を補修しなければならない。

【解説】

(1) ロックボルトの定着方式

ロックボルトの定着方式は、ロックボルト全長を地山に定着させる全面定着方式が基本である。全面定着方式には定着材式と摩擦式の 2 種類があり、それらの構造や定着材の種類等によって**図-10.2.2-1** のように分類される。2 種類の定着方法の概要を**表-10.2.2-1** に示す。

定着材式は、早強モルタル等を用いて地山に固定する方法である。この方法には、早強モルタル等の定着材を先に孔内に充填した後にロックボルトを挿入して定着する先充填型と、ロックボルトを孔内に挿入した後に超早強モルタルや樹脂系定着材を注入する後注入型がある。

先充填型は孔壁の自立性がよい場合に用いられ、使用実績が最も多い。後注入型は地山が脆弱であるために、ロックボルトの効果に加えて注入による地山改良の効果を期待する場合に用いることもある。なお、孔壁は自立するが湧水が多く、先充填した早強モルタルが流出するおそれがある場合には、モルタルや樹脂と硬化剤を封入したカプセルを用いることもある。また、地山の強度が著しく低い未固結層や崖錐等で、ロックボルトを挿入するための孔壁の自立が困難な場合には、後注入型の自穿孔ロックボルト等の使用を検討する必要がある。

摩擦式の代表例として鋼管膨張型がある。この方法では、高水圧ポンプを用いて孔の中で鋼管膨張型のロックボルトを膨張させることにより、定着が得られる。高圧力でロックボルトの表面が孔壁に直接押し付けられ、すべりに対する摩擦抵抗がボルト全長の孔壁に作用する。摩擦式は、湧水処理を行ってもモルタルの品質確保が困難な場合や、打設後速やかにロックボルトの効果を発揮させたい場合に採用される。なお、軟岩地山や土砂地山等では、必要な定着力が得られない場合があるので、その採用に当たっては注意が必要である。

ロックボルトは、地山に定着された後、軸方向の引張りと軸直角方向のせん断に対抗する機能から補強効果を発揮する。したがって、ロックボルトの設計に当たっては、引張り及びせん断に対するロックボルトの降伏荷重と定着部の定着力について十分検討する必要がある。ロックボルトの定着力が十分であるかどうかは、引抜き試験を行い、試験結果に基づいて引抜き耐力を判断しなければならない。引抜き耐力は、通常、地山と定着材との間に生ずる定着力で得られるが、地山条件、定着方式、定着材、配置と寸法、材質と形状等によって異なるので注意が必要である。なお、ロックボルト補強工法の構造設計においては、軸方向引張力を照査対象とする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.10-10　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

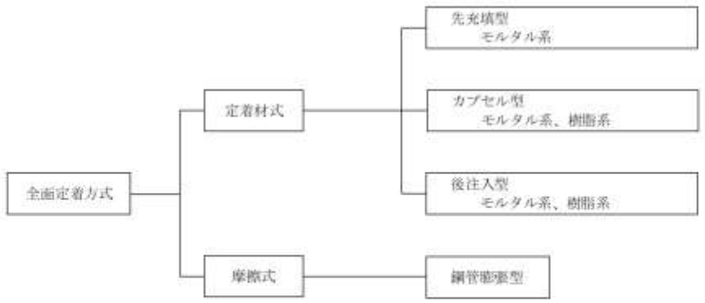
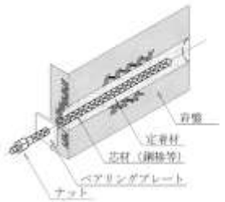


図-10.2.2-1　全面定着方式ロックボルトの分類

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、p.94）

表-10.2.2-1　全面定着方式の概要

	定着方法	特　徴	適用範囲	概略図
定着材式	定着材を孔に充填し，芯材を挿入して定着させる先充填型と，定着材を封入したカプセルを先に充填するカプセル型，芯材を挿入した後に定着材を注入して定着させる後注入型がある。 定着材は，先充填型にはモルタル，カプセル型にはモルタル及び樹脂，後注入型にはモルタル及び樹脂が主に用いられている。	定着材を用いて芯材全長を地山に定着させる。地山条件（亀裂、湧水の状態）や孔壁の自立性等に応じ、各種のものがある。	硬岩、中硬岩、軟岩、未固結地山をはじめ、膨張性地山も含めて種々の地山に適用可能である。	先充填型 
摩擦式	芯材を孔壁面に密着させることにより得られる摩擦力によって定着される，代表的なものとして，鋼管膨張型がある。	鋼管膨張型では，穿孔した孔の中に先端を閉塞した鋼管を挿入した後、高水圧を注入して鋼管を膨張させることにより，瞬時に定着力が得られる。鋼管表面の腐食や孔壁面に加えられた押付け力低下等の耐久性の低減について十分な検討が必要である。	摩擦式は，湧水の多い地山に適用可能である。鋼管膨張型は穿孔した孔の半径方向に大きな塑性変形が可能なので，孔壁が自立すれば，広い範囲の地山に適用できる。	鋼管膨張型 

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、p.94）

（2）ロックボルトの定着材

ロックボルトの支保効果が発揮されるためには、ロックボルト、定着材及び地山との間に十分な

P.10-9　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

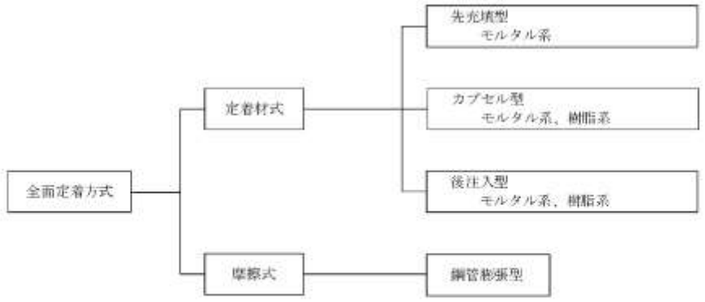
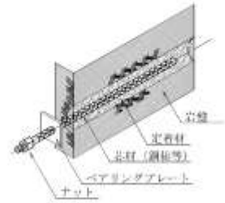
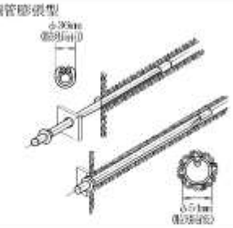


図-10.2.2-1　全面定着方式ロックボルトの分類

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、P.94）

表-10.2.2-1　全面定着方式の概要

	定着方法	特　徴	適用範囲	概略図
定着材式	定着材を孔に充填し，芯材を挿入して定着させる先充填型と，定着材を封入したカプセルを先に充填するカプセル型，芯材を挿入した後に定着材を注入して定着させる後注入型がある。 定着材は，先充填型にはモルタル，カプセル型にはモルタル及び樹脂，後注入型にはモルタル及び樹脂が主に用いられている。	定着材を用いて芯材全長を地山に定着させる。地山条件（亀裂、湧水の状態）や孔壁の自立性等に応じ、各種のものがある。	硬岩、中硬岩、軟岩、未固結地山をはじめ、膨張性地山も含めて種々の地山に適用可能である。	先充填型 
摩擦式	芯材を孔壁面に密着させることにより得られる摩擦力によって定着される，代表的なものとして，鋼管膨張型がある。	鋼管膨張型では，穿孔した孔の中に先端を閉塞した鋼管を挿入した後、高水圧を注入して鋼管を膨張させることにより，瞬時に定着力が得られる。鋼管表面の腐食や孔壁面に加えられた押付け力低下等の耐久性の低減について十分な検討が必要である。	摩擦式は，湧水の多い地山に適用可能である。鋼管膨張型は穿孔した孔の半径方向に大きな塑性変形が可能なので，孔壁が自立すれば，広い範囲の地山に適用できる。	鋼管膨張型 

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、P.94）

（2）ロックボルトの定着材

ロックボルトの支保効果が発揮されるためには、ロックボルト、定着材及び地山との間に十分な

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.10-11　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

定着力が確保される必要がある。**表-10.2.2-2** は、地山条件別に定着方式と定着材の適用範囲の考え方を示した例である。

表-10.2.2-2　定着方式と定着材の適用範囲の考え方（例）

定着方式		定着材	地山条件					孔壁の状態等			適用条件、注意事項
			硬岩、中硬岩	軟岩	未固結	膨張性	崖錐	多亀裂	孔荒れ	湧水	
定着材式	先充填型	モルタル系	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	硬岩から未固結地山まで適用可能、標準的な長さや普通の施工条件では、最も広く適用される。孔壁の荒れや湧水等特殊な条件下では別の方式について検討する必要がある。 充填ホースの挿入性、湧水によるモルタルの流出に注意。
	カプセル型	モルタル系	○	○	○	○	○	△	△	○	湧水により先充填型の定着材がほとんど、あるいは一部が流出するなど、適合しない場合等に適用される。 カプセルの挿入性、充填量、湧水による流出に注意。
		樹脂系	○	○	×	○	×	△	△	○	
	後注入型	モルタル系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	孔壁が荒れて充填ホースの挿入が困難な場合、所定の引抜き耐力が得られない軟弱な地山等で加圧注入により付着力の向上を図る場合等に適用される。 ロックボルトの挿入性、定着材の漏出、湧水下での硬化性能に注意。
		樹脂系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	
摩擦式		鋼管膨張型	○	○	△	○	△	○	△	○	湧水により先充填型あるいはカプセル型等の定着材が流出する場合に適用される。 ロックボルトの挿入性、不良地山等で穿孔した孔径が必要以上に拡大する場合の摩擦力に注意。

注）◎：適用できる（最も一般的）
　　○：適用できる
　　△：条件によっては適用できない場合もある（十分な定着効果が発揮されない場合がある）
　　×：ほとんど適用できない。
＊ 孔壁の条件が更に劣悪で、ボルト挿入あるいは穿孔自体に支障をきたす場合は、自穿孔式ボルトで施工する必要がある。
※同じ地山、孔壁条件でもその性質や程度によって適用性が異なる場合がある。
※同じ定着材、定着方式であっても個々の特性の違いによって適用性が異なる場合がある。

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、p.95）

定着材の選定に当たっては、地山条件、施工性等を考慮し、定着部の全長にわたって十分な定着力が得られるものを選定しなければならない。定着材の必要条件は、早期と長期の定着力が大きく、充填性がよいことである。

定着材式ロックボルトの定着力については、ロックボルトと定着材の付着性、及び定着材と地山との付着性の両面で検討する必要がある。一般に使用されている定着材では、通常の施工により十分な充填が行われれば問題が生じないが、定着材と地山との付着性は、地山条件によっては十分得られないこともあるので注意が必要である。特に、地山の強度が小さく、地山と定着材との定着力が期待できない場合には、地山の改良効果を伴う定着材を使用するか、あるいは、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。ロックボルトに期待する引抜き耐力や効果を見直す場合には、ロックボルトの配置や本数、長さ等の変更を含めた検討が必要となる。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.10-10　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

定着力が確保される必要がある。**表-10.2.2-2** は、地山条件別に定着方式と定着材の適用範囲の考え方を示した例である。

表-10.2.2-2　定着方式と定着材の適用範囲の考え方（例）

定着方式		定着材	地山条件					孔壁の状態等			適用条件、注意事項
			硬岩、中硬岩	軟岩	未固結	膨張性	崖錐	多亀裂	孔荒れ	湧水	
定着材式	先充填型	モルタル系	◎	◎	◎	◎	◎	○	○	△	硬岩から未固結地山まで適用可能、標準的な長さや普通の施工条件では、最も広く適用される。孔壁の荒れや湧水等特殊な条件下では別の方式について検討する必要がある。 充填ホースの挿入性、湧水によるモルタルの流出に注意。
	カプセル型	モルタル系	○	○	○	○	○	△	△	○	湧水により先充填型の定着材がほとんど、あるいは一部が流出するなど、適合しない場合等に適用される。 カプセルの挿入性、充填量、湧水による流出に注意。
		樹脂系	○	○	×	○	×	△	△	○	
	後注入型	モルタル系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	孔壁が荒れて充填ホースの挿入が困難な場合、所定の引抜き耐力が得られない軟弱な地山等で加圧注入により付着力の向上を図る場合等に適用される。 ロックボルトの挿入性、定着材の漏出、湧水下での硬化性能に注意。
		樹脂系	○	○	○	○	○	○*	○*	△	
摩擦式		鋼管膨張型	○	○	△	○	△	○	△	○	湧水により先充填型あるいはカプセル型等の定着材が流出する場合に適用される。 ロックボルトの挿入性、不良地山等で穿孔した孔径が必要以上に拡大する場合の摩擦力に注意。

注）◎：適用できる（最も一般的）
　　○：適用できる
　　△：条件によっては適用できない場合もある（十分な定着効果が発揮されない場合がある）
　　×：ほとんど適用できない。
＊ 孔壁の条件が更に劣悪で、ボルト挿入あるいは穿孔自体に支障をきたす場合は、自穿孔式ボルトで施工する必要がある。
※同じ地山、孔壁条件でもその性質や程度によって適用性が異なる場合がある。
※同じ定着材、定着方式であっても個々の特性の違いによって適用性が異なる場合がある。

（出典：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説、土木学会、2016 年制定、P.95）

定着材の選定に当たっては、地山条件、施工性等を考慮し、定着部の全長にわたって十分な定着力が得られるものを選定しなければならない。定着材の必要条件は、早期と長期の定着力が大きく、充填性がよいことである。

定着材式ロックボルトの定着力については、ロックボルトと定着材の付着性、及び定着材と地山との付着性の両面で検討する必要がある。一般に使用されている定着材では、通常の施工により十分な充填が行われれば問題が生じないが、定着材と地山との付着性は、地山条件によっては十分得られないこともあるので注意が必要である。特に、地山の強度が小さく、地山と定着材との定着力が期待できない場合には、地山の改良効果を伴う定着材を使用するか、あるいは、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。ロックボルトに期待する引抜き耐力や効果を見直す場合には、ロックボルトの配置や本数、長さ等の変更を含めた検討が必要となる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-12　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」	P.10-11　「10.2.2　ロックボルト補強工法の適用性」

定着材の種類には、モルタル、樹脂等がある。一般には、品質のバラツキが少ないプレミックスタイプのモルタルが多く使用されている。一般に用いられるモルタル系定着材の早期の強度としては、材齢 1~3 日で、10N/mm²以上の圧縮強度が設定されている。

定着材の施工方法には、先充填型と後注入型があるが、施工方法の選定に当たっては、地山条件、湧水の状況等を考慮しなければならない。なお、長いロックボルトを天端付近に打設する場合には、定着材の充填が不十分になること、あるいは崖錐のような未固結地山ではロックボルトを挿入するための孔壁が崩壊することもあるため、定着材の施工方法についても検討する必要がある。

このように、所要の定着力を得るためには、ロックボルトの定着方式や定着材の選定に際して、穿孔性、定着材の充填性等の施工性及び孔壁の自立性、湧水による定着材の流出や開口亀裂からの漏洩等の地山条件を十分に考慮する必要がある。

(3) 補修工法の併用

ロックボルト補強工法においては、補強工事の後も覆工コンクリート表面が通水面となるため、ひび割れや断面欠損等に対する補修工法を併用して覆工コンクリートの劣化や変状の進行を抑制しなければならない。

写真-10.2.2-1、**写真-10.2.2-2** は、ロックボルト補強工法施工後にスプリングライン（S.L.）付近のひび割れが流水摩耗により拡大した事例である。ひび割れが拡大すると覆工背面の地山土が吸出される危険性があるので留意する。特に水面下の変状は流水摩耗等により拡大することが想定されるため、変状の程度に応じた補修工事の併用を検討することが重要である。

また、ひび割れ等の補修工法を併用することで、補強工事後の覆工コンクリートの挙動を把握しやすくなるというメリットもある。（補修跡の再劣化状況を確認することにより補強効果を確認することができる。）



写真-10.2.2-1　S.L.付近の縦断方向ひび割れ



写真-10.2.2-2　同左の接写

(4) 防錆工

ロックボルトは定着方式や地山の腐食環境に応じて、適切な防錆方法を選定しなければならない。一般にロックボルト、ナット、ベアリングプレートなどの材料は、溶融亜鉛メッキによる防錆処理を行ったものを用いる。摩擦式ロックボルトは孔壁内で芯材が地山と直接触れるため、防食性を考慮して高耐食性めっき（Zn-6Al-3Mg めっき品）を施した材料のものが多く使用されている。

定着材の種類には、モルタル、樹脂等がある。一般には、品質のバラツキが少ないプレミックスタイプの早強モルタルが多く使用されている。

定着材の施工方法には、先充填型と後注入型があるが、施工方法の選定に当たっては、地山条件、湧水の状況等を考慮しなければならない。

なお、長いロックボルトを天端付近に打設する場合には、定着材の充填が不十分になること、あるいは崖錐のような未固結地山ではロックボルトを挿入するための孔壁が崩壊することもあるため、定着材の施工方法についても検討する必要がある。

このように、所要の定着力を得るためには、ロックボルトの定着方式や定着材の選定に際して、穿孔性、定着材の充填性等の施工性及び孔壁の自立性、湧水による定着材の流出や開口亀裂からの漏洩等の地山条件を十分に考慮する必要がある。

(3) 補修工法の併用

ロックボルト補強工法においては、補強工事の後も覆工コンクリート表面が通水面となるため、ひび割れや断面欠損等に対する補修工法を併用して覆工コンクリートの劣化や変状の進行を抑制しなければならない。

写真-10.2.2-1、**写真-10.2.2-2** は、ロックボルト補強工法施工後にスプリングライン（S.L.）付近のひび割れが流水摩耗により拡大した事例である。ひび割れが拡大すると覆工背面の地山土が吸出される危険性があるので留意する。特に水面下の変状は流水摩耗等により拡大することが想定されるため、変状の程度に応じた補修工事の併用を検討することが重要である。

また、ひび割れ等の補修工法を併用することで、補強工事後の覆工コンクリートの挙動を把握しやすくなるというメリットもある。（補修跡の再劣化状況を確認することにより補強効果を確認することができる。）



写真-10.2.2-1　S.L.付近の縦断方向ひび割れ



写真-10.2.2-2　同左の接写

(4) 防錆工

ロックボルトは定着方式や地山の腐食環境に応じて、適切な防錆方法を選定しなければならない。一般にロックボルト、ナット、ベアリングプレートなどの材料は、溶融亜鉛メッキによる防錆処理を行ったものを用いる。摩擦式ロックボルトは孔壁内で芯材が地山と直接触れるため、防食性を考慮して高耐食性めっき（Zn-6Al-3Mg めっき品）を施した材料のものが多く使用されている。

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-15 「10.4.3 ロックボルト補強工法の構造設計」	P.10-14 「10.4.3 ロックボルト補強工法の構造設計」

③ 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げ引張ひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。

④ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。

⑤ ロックボルトは先端固定としたばね K_B をロックボルト打設位置の節点に追加することによりモデル化する。

⑥ ロックボルトに導入するプレストレス P_i は、ロックボルト打設位置の節点に内空側から荷重 P_i を載荷させることにより表現する。（**図-10.4.3-1** 参照）

⑦ 補強効果の照査は、裏込注入工法と同様に、**第４章**で示したとおり、**式 4.5.2-9** 及び**式 4.5.2-10** により、覆工コンクリート内縁の応力度の設計強度に対する比に構造物係数 γ_i と構造解析係数 γ_a を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。照査の結果、これらの条件を満足していれば、裏込注入工法、ひび割れ等補修工法、及びロックボルト補強工法を対策工法に適用する。

(2) ロックボルトの寸法と配置

1) ロックボルトの長さ

ロックボルトの長さと内空直径の関係については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.311 の**表-6.2.8** を参考にする。ロックボルトの長さは、後述する引抜き耐力を得られる長さを確保することが前提であり、地山と定着材との間の定着力が期待できない場合には、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。

2) ロックボルトの配置・本数

1 断面当たりのロックボルトの配置・本数は、鉄道トンネルの標準設計（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）等を参考に、ひび割れ位置を考慮した解析モデルにより効果的な配置・本数を決定する。

3) ロックボルトの打設間隔

ロックボルトのトンネル軸方向の打設間隔は、1～1.5m 間隔で行われるのが一般的である。実施設計に当たっては、建設時の鋼製支保工間隔に併せて設定するのがよい。支保工がない場合や支保工間隔が特殊な場合等においては、1.2m 間隔を基本とする。

③ 地圧モードは覆工コンクリートの変状（ひび割れ位置等）や地山条件等から選択する。地圧強度は、**第４章**で示した曲げ引張ひび割れから推定した設計地圧強度と矢板工法の支保工に作用する荷重の大なる方、又は圧ざが発生している場合の地圧強度などから適切に設定する。

④ 水圧条件については、湧水状況や地圧モードに応じて、**表-4.5.2-8** に示す組合せの中から適切な組合せを検討する。設計地下水位は、**第４章**で示したとおりウィープホールの有無等に応じて適切に設定する。

⑤ ロックボルトは先端固定としたばね K_B をロックボルト打設位置の節点に追加することによりモデル化する。

⑥ ロックボルトに導入するプレストレス P_i は、ロックボルト打設位置の節点に内空側から荷重 P_i を載荷させることにより表現する。（**図-10.4.3-1** 参照）

⑦ 補強効果の照査は、裏込注入工法と同様に、**第４章**で示したとおり、**式 4.5.2-9** 及び**式 4.5.2-10** により、覆工コンクリート内縁の応力度の設計強度に対する比に構造物係数 γ_i と構造解析係数 γ_a を乗じた値が、1.0 以下であることを確かめることにより行う。照査の結果、これらの条件を満足していれば、裏込注入工法、ひび割れ等補修工法、及びロックボルト補強工法を対策工法に適用する。

(2) ロックボルトの寸法と配置

1) ロックボルトの長さ

ロックボルトの長さと内空直径に関係については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説設計「水路トンネル」P.311 の**表-6.2.8** を参考にする。ロックボルトの長さは、後述する引抜き耐力を得られる長さを確保することが前提であり、地山と定着材との間の定着力が期待できない場合には、得られる定着力から逆算してロックボルトに期待する引抜き耐力を決めることもある。

2) ロックボルトの配置・本数

1 断面当たりのロックボルトの配置・本数は、鉄道トンネルの標準設計（変状トンネル対策工設計マニュアル、鉄道総合技術研究所、平成 10 年 2 月）等を参考に、ひび割れ位置を考慮した解析モデルにより効果的な配置・本数を決定する。

3) ロックボルトの打設間隔

ロックボルトのトンネル軸方向の打設間隔は、1～1.5m 間隔で行われるのが一般的である。実施設計に当たっては、建設時の鋼製支保工間隔に併せて設定するのがよい。支保工がない場合や支保工間隔が特殊な場合等においては、1.2m 間隔を標準と考えればよい。

新（改定版）

P.10-22　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」



写真-10.5.7-5　ベアリングプレート・ナット



写真-10.5.7-6　頭部処理状況

2）穿孔における留意事項

①　穿孔機械

ロックボルトの穿孔機械には、ロックボルト孔専用機と発破孔との兼用機とがある。専用機には、ロックボルトの挿入、締付けまで一台の機械で一貫して行うことができるものもある。

ロックボルト孔の穿孔作業は、1サイクルに占める割合が大きいので、効率のよい穿孔機械を選定する。一般に使用される穿孔機械には、ドリフター、レッグドリル、エアオーガ等がある。**表-10.5.7-1** に穿孔機械の特徴を示す。

表-10.5.7-1　穿孔機械の特徴

ドリフター （ジャンボ）	レッグドリル、シンカー、 ストーパー	ハンドオーガ レッグオーガ
大型で穿孔能力が大きく、大孔径や長孔の穿孔に適する。ロットの回転をライフルバーで行うものと、独立の回転モータをもつものとがある。後者の方が、回転力が強く、また、回転数の変更もできるので適用範囲が広い。	レッグドリルは、上向き孔や下向き孔の穿孔が困難である。上向き孔にはストーパー、下向き孔にはシンカーを用いる。 一般に、人力作業なので、ロットの引き抜きが困難なことがある。	軟岩、土砂等に対して用いられる。玉石層や礫層では、穿孔が困難である。 粘土層では、スパイラルロッドにくり粉が付着して、穿孔不能となることもある。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、p.407）

ドリフターの動力には空圧式と油圧式があり、現在のトンネル工事では油圧式（油圧ジャンボ等）が多く使用され、ロックボルト用穿孔にも兼用されている。水路トンネルのように断面規模が小さい場合、両穿孔機種の兼用は使用機種の減数、稼働率の向上等の有利性もあるが、小断面では以下の理由により、ロックボルトの穿孔はレッグドリルを使用する事例も多く、機種選定に当たっては総合的な検討が望ましい。

・断面が小さくブームを上向きにすることができない。

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.10-21　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」



写真-10.5.7-5　ベアリングプレート・ナット



写真-10.5.7-6　頭部処理状況

2）穿孔における留意事項

①　穿孔機械

ロックボルトの穿孔機械には、ロックボルト孔専用機と発破孔との兼用機とがある。専用機には、ロックボルトの挿入、締付けまで一台の機械で一貫して行うことができるものもある。

ロックボルト孔の穿孔作業は、1サイクルに占める割合が大きいので、効率のよい穿孔機械を選定する。一般に使用される穿孔機械には、ドリフター、レッグドリル、エアオーガ等がある。**表-10.5.7-1** に穿孔機械の特徴を示す。

表-10.5.7-1　穿孔機械の特徴

ドリフター （ジャンボ）	レッグドリル、シンカー、 ストーパー	ハンドオーガ レッグオーガ
大型で穿孔能力が大きく、大孔径や長孔の穿孔に適する。ロットの回転をライフルバーで行うものと、独立の回転モータをもつものとがある。後者の方が、回転力が強く、また、回転数の変更もできるので適用範囲が広い。	レッグドリルは、上向き孔や下向き孔の穿孔が困難である。上向き孔にはストーパー、下向き孔にはシンカーを用いる。 一般に、人力作業なので、ロットの引き抜きが困難なことがある。	軟岩、土砂等に対して用いられる。玉石層や礫層では、穿孔が困難である。 粘土層では、スパイラルロッドにくり粉が付着して、穿孔不能となることもある。

（出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、P.407）

ドリフターの動力には空圧式と油圧式があり、現在のトンネル工事では油圧式（油圧ジャンボ等）が多く使用され、ロックボルト用穿孔にも兼用されている。水路トンネルのように断面規模が小さい場合、両穿孔機種の兼用は使用機種の減数、稼働率の向上等の有利性もあるが、小断面では以下の理由により、ロックボルトの穿孔はレッグドリルを使用する事例も多く、機種選定に当たっては総合的な検討が望ましい。

・断面が小さくブームを上向きにすることができない。

・ロックボルトの本数が少ない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-23　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」	P.10-22　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」

・ロックボルトの本数が少ない。
・機械の入替えを少なくすることが望ましい。
・穿孔径が小さい。

②　穿孔作業

ロックボルト孔の穿孔は、浮石を取除き、安全を確認してから、適切な寸法のビットを用い、所定の位置に、正確な方向と深さで施工する。穿孔径はビット径により定まるので、硬岩の場合はビットの消耗状況の点検を行い、許容値を超えないようにする。

軟岩や土砂地山にロックボルト孔を穿孔する場合は、くり粉の排出や孔荒れ防止を主眼において、エアオーガなどを用いることがある。特に、断層破砕帯等、固結度の低い地山への穿孔では、孔径の拡大や孔壁の荒れ及び崩壊等の障害が生じやすい。

③　穿孔径

穿孔径は、使用するボルトの型式によりおのおの異なるが、孔が小さすぎれば挿入が困難となったり、ボルトの型式によってはネジ部の破壊が生じたりするおそれもある。また、孔径が大きすぎると定着材が多く必要となり、填充されない部分が残りやすく、不完全な施工となる場合がある。小断面トンネルで一般に用いられる全面定着方式ロックボルトの形式と穿孔径の考え方は**表-10.5.7-2** に示すとおりである。

表-10.5.7-2　ロックボルト形式と穿孔径

ロックボルト型式		穿孔径（φ）
定着材式	セメントモルタル型	ボルト径＋（10～15mm）
	普通レジン型	〃　＋（ 6～ 8mm）
	発泡レジン型	〃　＋（10～15mm）
	セメントカプセル型	〃　＋（10～15mm）
摩擦式	打込み型	〃　－（ 3～ 5mm）
	鋼管膨張型	〃　＋（ 6～10mm）

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、p.408 を改変して転載）

④　孔長

ロックボルト孔は、使用するロックボルトに対して短すぎても長すぎても好ましくない。穿孔時に、孔の長さのチェックが簡単にできる方法を講じておくことが望ましく、孔が短すぎるとベアリングプレートが吹付けコンクリート面に密着せず、長すぎるとセメントモルタル型以外では定着材が不足する。孔長の長短の許容限界は、概ね－50mm～＋100mm 程度と考えられている。

・機械の入替えを少なくすることが望ましい。
・穿孔径が小さい。

②　穿孔作業

ロックボルト孔の穿孔は、浮石を取除き、安全を確認してから、適切な寸法のビットを用い、所定の位置に、正確な方向と深さで施工する。穿孔径はビット径により定まるので、硬岩の場合はビットの消耗状況の点検を行い、許容値を超えないようにする。

軟岩や土砂地山にロックボルト孔を穿孔する場合は、くり粉の排出や孔荒れ防止を主眼において、エアオーガなどを用いることがある。特に、断層破砕帯等、固結度の低い地山への穿孔では、孔径の拡大や孔壁の荒れ及び崩壊等の障害が生じやすい。

③　穿孔径

穿孔径は、使用するボルトの型式によりおのおの異なるが、孔が小さすぎれば挿入が困難となったり、ボルトの型式によってはネジ部の破壊が生じたりするおそれもある。また、孔径が大きすぎると定着材が多く必要となり、填充されない部分が残りやすく、不完全な施工となる場合がある。小断面トンネルで一般に用いられる全面定着方式ロックボルトの形式と穿孔径の考え方は**表-10.5.7-2** に示すとおりである。

表-10.5.7-2　ロックボルト形式と穿孔径

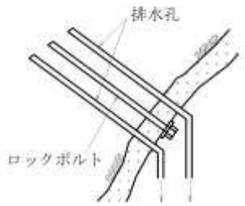
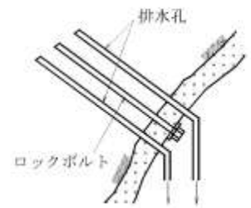
ロックボルト型式		穿孔径（φ）
定着材式	セメントモルタル型	ボルト径＋（10～15mm）
	普通レジン型	〃　＋（ 6～ 8mm）
	発泡レジン型	〃　＋（10～15mm）
	セメントカプセル型	〃　＋（10～15mm）
摩擦式	打込み型	〃　－（ 3～ 5mm）
	鋼管膨張型	〃　＋（ 6～10mm）

（土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、P.408 を改変して転載）

④　孔長

ロックボルト孔は、使用するロックボルトに対して短すぎても長すぎても好ましくない。穿孔時に、孔の長さのチェックが簡単にできる方法を講じておくことが望ましく、孔が短すぎるとベアリングプレートが吹付けコンクリート面に密着せず、長すぎるとセメントミルク型以外では定着材が不足する。孔長の長短の許容限界は、概ね－50mm～＋100mm 程度と考えられている。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-25　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」	P.10-24　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」
用いる。また、摩擦式のボルトは定着材が不要で透水性があり、施工時間も短時間となる利点がある。  図-10.5.7-5　排水孔による湧水処理 （出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、p.409）	用いる。また、摩擦式のボルトは定着材が不要で透水性があり、施工時間も短時間となる利点がある。  図-10.5.7-5　排水孔による湧水処理 （出典：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」、平成 26 年 7 月、P.409）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-26　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」	P.10-25　「10.5.7　ロックボルト補強工法の施工」

(2) 極小断面用ロックボルト施工法

写真-10.5.7-7 に極小断面用に開発された穿孔システムの構成を示す。また、**図-10.5.7-6** に極小断面用ロックボルト施工機械配置図を示す。このシステムの特徴は、以下のとおりである。

① 穿孔及びロックボルトの打設に継ぎのみ方式を採用し、トンネル幅より長いロックボルトが打設可能であり、水路幅 1.5m 程度以上の水路トンネルに適用可能である。
② 強度 150kN/mm² 程度の硬岩まで穿孔可能である。
③ 発生粉塵は全てサイクロンとバキュームにより吸引するため、狭小な作業空間の環境を良好に維持できる。
④ 小型・軽量で分割が可能なため、狭い坑内での運搬・組み立てが容易である。
⑤ 自穿孔ボルトの採用により、孔荒れの激しい地山でも施工可能である。

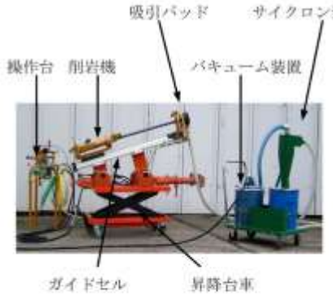


写真-10.5.7-7　削孔システムの構成

（出典：戸村豪治、山地宏志、黒川幸彦（三井住友建設株式会社）
「小断面トンネルリニューアルシステム工法の開発」、ARIC 情報（96）2010、p.44）

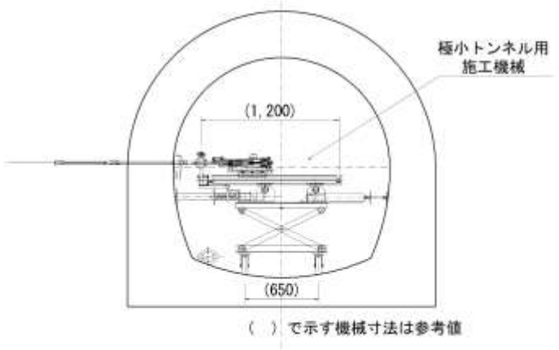


図-10.5.7-6　極小断面用ロックボルト施工機械配置図（例）

（若林孝他、ロックボルトを用いた水路トンネルの補強、農業農村工学会材料施工研究部会、
材料と施工、2014 年 2 月、p.40 を改変して転載）

(2) 極小断面用ロックボルト施工法

写真-10.5.7-7 に極小断面用に開発された穿孔システムの構成を示す。また、**図-10.5.7-6** に極小断面用ロックボルト施工機械配置図を示す。このシステムの特徴は、以下のとおりである。

① 穿孔及びロックボルトの打設に継ぎのみ方式を採用し、トンネル幅より長いロックボルトが打設可能であり、水路幅 1.5m 程度以上の水路トンネルに適用可能である。
② 強度 150kN/mm² 程度の硬岩まで穿孔可能である。
③ 発生粉塵は全てサイクロンとバキュームにより吸引するため、狭小な作業空間の環境を良好に維持できる。
④ 小型・軽量で分割が可能なため、狭い坑内での運搬・組み立てが容易である。
⑤ 自穿孔ボルトの採用により、孔荒れの激しい地山でも施工可能である。

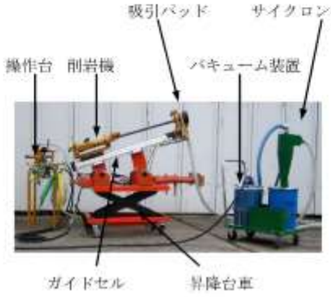


写真-10.5.7-7　削孔システムの構成

（出典：戸村豪治、山地宏志、黒川幸彦（三井住友建設株式会社）
「小断面トンネルリニューアルシステム工法の開発」、ARIC 情報（96）2010、P.44）

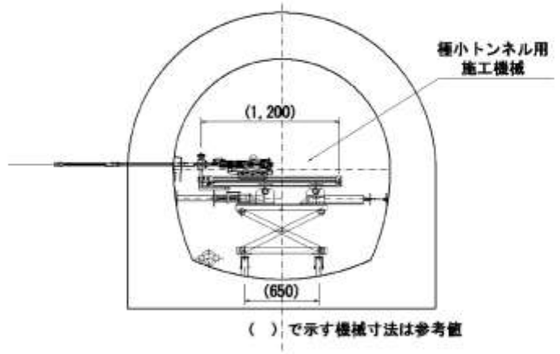


図-10.5.7-6　極小断面用ロックボルト施工機械配置図（例）

（若林孝他、ロックボルトを用いた水路トンネルの補強、農業農村工学会材料施工研究部会、
材料と施工、2014 年 2 月、P.40 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-27　「10.6.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理」	P.10-26　「10.6.3.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理」

10.6　ロックボルト補強工法の施工管理

10.6.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理

ロックボルト補強工法に使用する資材の品質管理に際しては、製造時の品質記録により確認する。定着材については、材料、配合、物性値、管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

(1) ロックボルトの管理

ロックボルトは、JIS 等の公的規格や団体規格に準拠した二次製品であり、品質管理は、工場生産時の品質記録により降伏耐力等を確認する。

ロックボルトには、定着材との定着効果を妨げる有害な錆、ごみ、油等が付着しないよう、有害な曲り、ねじの損傷等がないように管理する。

(2) 定着材の管理

定着材の品質管理に際しては、モルタル等の配合、流動性状、及び強度等を確認する。これらについては、管理基準値を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。

定着材にはセメント、樹脂など多くの製品が市販されているが、それぞれの製品に応じた保管方法などの注意を守り適切な貯蔵の方法、設備等について事前に検討して不良品の発生を防止する。

粉末のもの、特に急結性のセメントなどについては、湿気、温度等による変質、異物の混入等のほか、製品の特性に応じた注意を払って劣化の防止に努め、劣化等の疑いがある時には検査して確認する。

樹脂は気温により硬化時間が異なるので、配合を変えることも検討する。

10.6　施工管理と完成検査

10.6.1　施工計画

第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　施工計画　を参照

10.6.2　施工管理

第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　施工管理　を参照

10.6.3　ロックボルト補強工法の施工管理

10.6.3.1　ロックボルト補強工法の材料の承諾及び保管管理

ロックボルト補強工法に使用する資材の品質管理に際しては、製造時の品質記録により確認する。定着材については、材料、配合、物性値、管理値等について監督職員の承諾を得る。また、使用材料は適正に保管管理を行う。

【解説】

(1) ロックボルトの管理

ロックボルトは、JIS 等の公的規格や団体規格に準拠した二次製品であり、品質管理は、工場生産時の品質記録により降伏耐力等を確認する。

ロックボルトには、定着材との定着効果を妨げる有害な錆、ごみ、油等が付着しないよう、有害な曲り、ねじの損傷等がないように管理する。

(2) 定着材の管理

定着材の品質管理に際しては、モルタル等の配合、流動性状、及び強度等を確認する。これらについては、管理基準値を満足する材料、配合、物性管理の試験項目と管理値を示し、監督職員の承諾を得る。

定着材にはセメント、樹脂など多くの製品が市販されているが、それぞれの製品に応じた保管方法などの注意を守り適切な貯蔵の方法、設備等について事前に検討して不良品の発生を防止する。

粉末のもの、特に急結性のセメントなどについては、湿気、温度等による変質、異物の混入等のほか、製品の特性に応じた注意を払って劣化の防止に努め、劣化等の疑いがある時には検査して確認する。

樹脂は気温により硬化時間が異なるので、配合を変えることも検討する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-28　「10.6.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理」	P.10-27　「10.6.3.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理」

10.6.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理

ロックボルト補強工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）打設孔の管理　（2）ロックボルトの引抜き耐力の管理等

【解説】

（1）打設孔の管理

孔壁の荒れや崩壊等によりロックボルトの挿入や定着材の充填が難しくなることがあるので、事前に所要の孔が確保されていることを確認する。

また、施工時に設計どおりの位置、方向に打設できない場合がある。このような変更を行った場合は、設計上の作用効果と同等の効果が発揮されていることを確認する。

さらに孔壁の荒れやくり粉の残り等がある場合には、定着力が低下するおそれがあるため、くり粉等が残らないように十分清掃がなされていることを確認する。

湧水のある場合には、定着材が湧水により流出したり、分離又は水セメント比の増大により、著しく強度が低下したりするため、水抜孔の併設や定着材及び注入方式の変更等が検討されていることを確認する。

（2）ロックボルトの引抜き耐力の管理等

ロックボルトの定着効果は、地山の強度のほか孔壁の状態、定着方法等の条件に支配されるので、ロックボルトの施工に当たっては事前に引抜き試験を行ってどの位の引抜き耐力があるのかを確認する。引抜き試験は、ロックボルトの引抜き耐力から適正な定着方法、適正ロックボルト長、種別等を判断するために行う。また、施工中にも必要に応じて引抜き試験等を行って十分な定着力が得られているかを確認する。

引抜き耐力については、定着材の各材齢で試験を行い、材料と定着力の関係を求め、施工中に実施する品質確認試験の判定基準を決めるのがよい。一般に引抜き耐力はロックボルトの降伏点耐力（通常、ねじ部の降伏点耐力）と同程度となるよう定め、製品の製造工場又は品質の変更の有無についても確認する。

施工中の引抜き試験では、引抜き耐力の 80%程度に達すれば合格とみなしてよいが、引抜き試験と実際の現象ではロックボルトに作用する荷重状態が異なる。また、地質によっては引抜き耐力が低くてもロックボルトとしての効果がある場合もあるので、得られた結果を総合的に判断する必要がある。

10.6.3.2　ロックボルト補強工法の施工時の管理

ロックボルト補強工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）打設孔の管理　（2）ロックボルトの引抜き耐力の管理等

【解説】

（1）打設孔の管理

孔壁の荒れや崩壊等によりロックボルトの挿入や定着材の充填が難しくなることがあるので、事前に所要の孔が確保されていることを確認する。

また、施工時に設計どおりの位置、方向に打設できない場合がある。このような変更を行った場合は、設計上の作用効果と同等の効果が発揮されていることを確認する。

さらに孔壁の荒れやくり粉の残り等がある場合には、定着力が低下するおそれがあるため、くり粉等が残らないように十分清掃がなされていることを確認する。

湧水のある場合には、定着材が湧水により流出したり、分離又は水セメント比の増大により、著しく強度が低下したりするため、水抜孔の併設や定着材及び注入方式の変更等が検討されていることを確認する。

（2）ロックボルトの引抜き耐力の管理等

ロックボルトの定着効果は、地山の強度のほか孔壁の状態、定着方法等の条件に支配されるので、ロックボルトの施工に当たっては事前に引抜き試験を行ってどの位の引抜き耐力があるのかを確認する。引抜き試験は、ロックボルトの引抜き耐力から適正な定着方法、適正ロックボルト長、種別等を判断するために行う。また、施工中にも必要に応じて引抜き試験等を行って十分な定着力が得られているかを確認する。

引抜き耐力については、定着材の各材齢で試験を行い、材料と定着力の関係を求め、施工中に実施する品質確認試験の判定基準を決めるのがよい。一般に引抜き耐力はロックボルトの降伏点耐力（通常、ねじ部の降伏点耐力）と同程度となるよう定め、製品の製造工場又は品質の変更の有無についても確認する。

施工中の引抜き試験では、引抜き耐力の 80%程度に達すれば合格とみなしてよいが、引抜き試験と実際の現象ではロックボルトに作用する荷重状態が異なる。また、地質によっては引抜き耐力が低くてもロックボルトとしての効果がある場合もあるので、得られた結果を総合的に判断する必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.10-29　「10.6.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理」	P.10-28　「10.6.3.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理」

10.6.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

ロックボルトの品質は、製造時の品質記録により確認する。定着材は、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合及び流動性等を確認する。強度管理は圧縮強度試験等により確認する。

【解説】

出来形管理は、土木工事施工管理基準（農道工事）に準じ、位置間隔、角度、穿孔深さ、孔径の計測を基本とする。出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

品質管理は、土木工事施工管理基準による。記載されていない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。

10.6.3.3　ロックボルト補強工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。

ロックボルトの品質は、製造時の品質記録により確認する。定着材は、練混ぜ開始時及び配合変更時に材料の配合及び流動性等を確認する。強度管理は圧縮強度試験等により確認する。

【解説】

出来形管理は、土木工事施工管理基準（農道工事）に準じ、位置間隔、角度、穿孔深さ、孔径の計測を基本とする。出来形管理指標は本書の巻末資料に示す。

品質管理は、土木工事施工管理基準による。記載されていない項目の管理は、監督職員の承諾を得て各団体等が発行する資料に則って行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-1　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

第 11 章　ライナープレート建込工法

11.1　工法概要

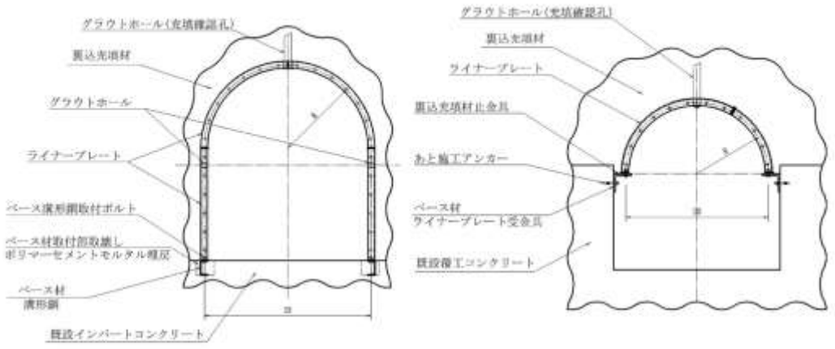
ライナープレート建込工法は、A タイプのトンネルの地山や吹付等の劣化抑制対策として、既設トンネル内にライナープレートによる覆工を構築し、既設トンネルの表面（地山や吹付等）と覆工との間隙に裏込充填材を充填することで耐荷性の向上を図る工法である。

【解説】

ライナープレートは鋼板に波付け加工し、四辺にフランジを設けた構造部材であり、元来トンネルの覆工材として開発されたものである。ライナープレート建込工法は、A タイプのトンネルの内面に、半円アーチと直線部に分割したライナープレートをフランジボルト締めにより接合組立して、新たな覆工を構築する工法である。ライナープレートと既設トンネルの表面（地山や吹付等）との間隙は裏込充填材により充填する（**図-11.1.1** 参照）。

A タイプのトンネルは、亀裂の少ない新鮮な岩盤で、発破掘削後素掘りのままで長時間自立可能な地山に適用され、地圧は働かないものとして設計される。ライニングは施工上の最小厚さであればよく、吹付けコンクリート（モルタル）によって岩盤の風化を防ぐ場合や素掘トンネルが適用される場合もある。

水路トンネルの補強対策として適用されるライナープレート建込工法は、国営事業における実績から、A タイプのトンネルの地山や吹付等の劣化抑制を主な目的とし、地圧の影響は考慮せず、裏込充填材の存置型枠として設計することを標準とする。



（1）ほろ形タイプ　　（2）半円形タイプ

図-11.1.1　ライナープレート建込工法（例）

（1）適用条件

① 既設が A タイプのトンネルで、地山表面や吹付材の劣化範囲が広く、将来的に剥離・剥落に至ることが想定される場合

② 施工時に、落盤や肌落ちの危険性がない場合

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-2　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

(2) 工法の特徴

ライナープレート建込工法は，A タイプのトンネルの内面にライナープレートで新たな覆工を構築し、覆工（ライナープレート）と既設トンネルの表面との間隙に裏込充填材を充填して両者の一体化を図ることで、地山や吹付等の劣化を抑制する工法である。

ライナープレートは裏込充填材の自重や充填圧等の作用力を考慮して板厚を決定するので、強度面での最適設計が可能である。

(3) 施工の概要

ライナープレートは薄肉鋼板に波付け加工したものであり、軽量であるため人力で運搬が可能である。組立が内面からできるため、余掘りを必要としない。また、継手ボルトを取付けたり、取外したりすることにより簡単に組立・解体ができる。更に、積重ねた状態で運搬や保管ができ、狭隘なストックヤードでの保管が可能である。

ライナープレートの脚部に作用する鉛直力や水平力の伝達と不陸調整の目的でベース材を設置し、その上にフランジボルト締め構造のライナープレートを建込む。地山とライナープレートの間隙は裏込充填材で充填する。ライナープレートにはグラウト用の孔をあけておき、そこから裏込充填材を注入する。**図-11.1.2** に標準的なライナープレートの建込順序を示す。

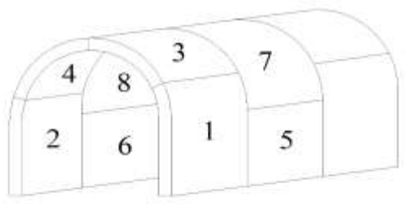


図-11.1.2　ライナープレートの建込順序

（ライナープレート設計･施工マニュアル，コルゲート･ライナー技術協会，p.130 を改変して転載）

(4) 留意事項

① 不定形な A タイプのトンネル内部に半円形やほろ形のライナープレートを組立る前に，障害となる地山の凸部がないことを確認する必要がある。

② 裏込充填材の選定に当たっては、トンネル内の湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。

③ 鋼材腐食に対する維持管理面に留意する必要がある。

(5) 裏込充填材

一般にライナープレート建込工法に適用する裏込充填材には、裏込注入工法と同等の材料・工法が適用される。これについては、**第５章　裏込注入工法**　を参照するものとする。それに際しては、裏込注入材を裏込充填材に置換して読むこととする。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-3　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.2　要求性能、性能照査

11.2.1　ライナープレート建込工法の要求性能と性能照査

ライナープレート建込工法の要求性能は、現場条件に応じて適切に設定する。

ライナープレート建込工法の性能照査は、標準的な試験によって得られる材料及び施工の性能が、定められた基準値を満足することを適切な方法によって確認し、更に、施工が適切に実施されることを施工計画の照査により確認する。

【解説】

(1) 性能照査の基本的な考え方

ライナープレート建込工法の性能照査は、ライナープレート建込工法に期待される効果の持続期間中に、ライナープレート建込工法を施工した水路トンネルが所要の要求性能を満足することを確認しなければならない。しかし、施工対象の水路トンネルに対して試験施工を行うことやライナープレート建込工法に要求される性能を一つの試験で直接的に正しく評価することは、一般に困難である。

このため、ライナープレート建込工法の性能照査に当たっては、ライナープレート建込工法に係る材料及び施工に要求される照査項目について、その照査項目の試験値が基準値を満足することを標準的な試験等で確認することで性能照査とする。ただし、ライナープレート建込工法が所要の性能を有することを確認するためには、標準的な試験による確認に加えて、仕様どおりに確実に施工されるよう、施工計画が適切であることをあらかじめ確認しておかなければならない。

(2) 照査方法と品質規格値の考え方

ライナープレート建込工法を施工した水路トンネルが、所要の性能を確保するためには、ライナープレート建込工法に適用する材料の特性及びその施工方法等を考慮して要求性能を決定し、それらを明確にしておく必要がある。

材料及び施工の照査項目の試験方法については、例えば JIS 等に規定されている試験方法を用いてその品質を確認することを基本とし、基準値の適用に当たっては、変状や劣化要因に応じて要求される性能を考慮して設定する。

ライナープレート建込工法の要求性能に対する要求項目と照査方法及び要求値に関する基本的な考え方を**表-11.2.1-1** に示す。なお、ライナープレート建込工法で使用する材料は、工場製品であることから、要求性能の確認はコルゲート・ライナー技術協会規格に基づくものとし、ここでは主にベース材を固定するあと施工アンカーの要求性能を示す。

また、裏込充填材の要求性能は、**第５章　裏込注入工法　5.2　要求性能、性能照査**を、埋戻用ポリマーセメントモルタルの要求性能は、**第 10 章　ロックボルト補強工法　10.2　要求性能、性能照査**の頭部処理材の要求性能と性能照査方法を参照する。

また、以下に性能照査に関する特記事項を記す。

通水性：排水トンネルやコルゲートパイプ、コルゲートフリュームの実績により性能照査試験を省略可能とする。ただし、水理計算により流下能力の照査を実施する。

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.11-4　「第 11 章　ライナープレート建込工法」

水密性：ライナープレートは水密性がない。水密性が必要な場合にはライナープレートのフランジ間にパッキングを挟み込み、止水性能を持たせることが可能であるが、完全止水は構造上困難である。

耐荷性：構造計算によりライナープレートが施工時（裏込充填時）の耐荷強度を有していること。地山とライナープレートの間隙を充填する裏込充填材は、構造部材ではないため高い強度は必要ないが、地山との一体化を図ることで覆工としてのライナープレートに作用する荷重を均等に伝達できるように材料のバラつきがないこと、及び地山の風化や緩みの進行を抑制するために間隙を確実に充填する機能が求められる。

耐久性：ライナープレートは、亜鉛メッキを施したものと、黒皮品があるが、水路トンネルでは長期間耐用させるため、通常、溶融亜鉛めっき（JIS H 8641）による防食対策が適用される。ライナープレートにめっきを施す場合は、ライナープレートを成形加工した後、JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」HDZT63（膜厚が片面 63μm 以上）に規定された亜鉛めっきを施す。また、この場合には、組立ボルトなどにも、JIS H 8641「溶融亜鉛めっき」HDZ49 に規定された亜鉛めっきを施す。腐食が著しいと予想される環境の場合には必要に応じて塗装を行う。

引抜抵抗性：あと施工アンカー（**図-11.1.1（2）**を参照）によりライナープレートのベース材と既設覆工コンクリートとの一体化を図る場合は、あと施工アンカーの引抜抵抗性を「基本的性能」として扱う。

表-11.2.1-1　ライナープレート建込工法に求められる要求性能と性能照査方法

要求性能			要求項目	照査方法		要求値（性能照査判定基準）
				試験方法	試験条件	
基本的性能	構造機能	引抜抵抗性	アンカー引抜強度	非破壊引張試験法（注 1）	JCAA「日本建設あと施工アンカー協会が定めた非破壊引張試験法」	許容引張荷重又は設計荷重が予想破壊荷重の 2/3 を検査荷重とする（注 2）

（注 1）現場試験に用いる引張試験装置は、油圧ジャッキを用いてアンカーに直接引張力を加えるタイプとアンカーのねじ部にナット等を嵌め、ナットを回転させてアンカーに引張力を生じさせるタイプの二つのタイプが一般的に用いられる。

（注 2）検査荷重に対してアンカーの急激な抜け出しやコンクリート表面のひび割れが生じなければ合格とする。

（3）耐久性

第 4 章　対策工法の共通事項　4.3　要求性能、性能照査を参照

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-5　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.2.2　ライナープレート建込工法の適用性

ライナープレート建込工法は、水利用機能、水理機能、構造機能、社会的機能及び施工条件を満足し、経済性、施工性、維持管理性等を比較検討して断面形式（半円形・ほろ形）や規格寸法を選定しなければならない。

【解説】

（1）ライナープレート建込工法の適用性

ライナープレート建込工法は、A タイプのトンネルの新たな覆工として構築される工法であるため、必要なトンネル断面からライナープレートの形状と寸法を決定する。ライナープレート建込工法の適用性については、通常水理設計を行い、ライナープレートによるライニング後の断面で、必要な通水量を確保できる場合に適用される。

また、ライナープレート建込工法は、地山の風化抑制対策で適用される場合が多く、その場合には地圧の影響は考慮しないが、岩石トンネルの支保工に作用する荷重や土砂トンネルに作用する土圧を載荷した構造設計も可能である。

（2）裏込充填材の適用性

地山とライナープレートの間隙には裏込充填材を注入する。

裏込充填材は、背面地山からの外力を、ライナープレートに伝達し、並びにライナープレートの変形によって生じる反力を地山へと伝達する重要な基礎部材である。

セメント系の裏込充填材は、pH の高いアルカリ成分によりライナープレート外面を不動態化させる防食材としての機能も有している。また、非セメント系の裏込充填材（発泡ウレタン系注入材）を充填した場合は、裏込充填材がライナープレートに接着するため、酸素や水分の供給を遮断することによる防錆効果が期待できる。

裏込充填材の選定については、**第 5 章　裏込注入工法　5.2　要求性能、性能照査　5.2.2　裏込注入工法の適用性**を参照。なお、A タイプのトンネルの地山や吹付等の劣化抑制対策として適用するライナープレート建込工法の裏込充填材には、可塑性注入材又は発泡ウレタン系注入材が適用されていた。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-6　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	
11.3　水理設計 第４章　対策工法の共通事項　4.4　水理設計　を参照	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-7　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.4　構造設計

11.4.1　ライナープレート建込工法の構造設計

ライナープレート建込工法の適用に際しては、水路トンネルの特性を踏まえ、現場条件に応じた構造設計手法を選定し、適切な構造計算を実施して耐荷性能を照査する。

【解説】

(1) ライナープレート建込工法の骨組解析検討モデル

ライナープレート建込工法は、ライナープレートをはり要素と仮定し、下端を２点ヒンジで支持された構造モデルで解析を行う。**図-11.4.1-1** にライナープレート建込工法の骨組解析検討モデル（例）を示す。構造計算においては、作用する適切な荷重を算定して、ライナープレートの板厚及び補強リングのピッチ等を定める。水路トンネルにおけるライナープレートの設計は、一般にその横断方向についてのみ行う。

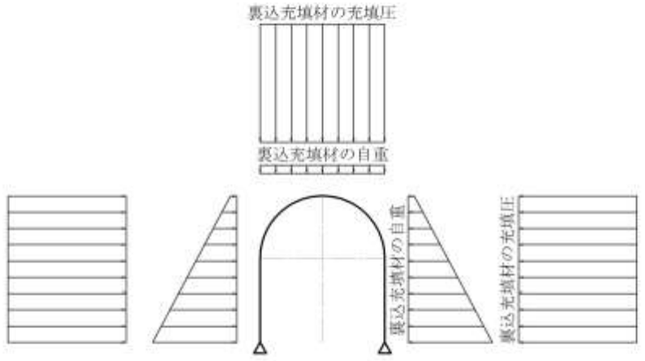


図-11.4.1-1　ライナープレート建込工法の骨組解析検討モデル

①　ライナープレートの構造検討で考慮する荷重は次のとおりとする。

・　自重（ライナープレートの自重はその他の荷重と比較して小さいことから無視する場合が多い）

・　裏込充填材の自重（セメント系注入材の充填時の側圧は、液圧 p_w と見なしてよい）

$p_w = W_c \cdot H$

ここに、　p_w　：液圧（kN/m²）

W_c　：裏込充填材の単位体積重量（kN/m³）

H　：裏込充填材の充填高さ（m）

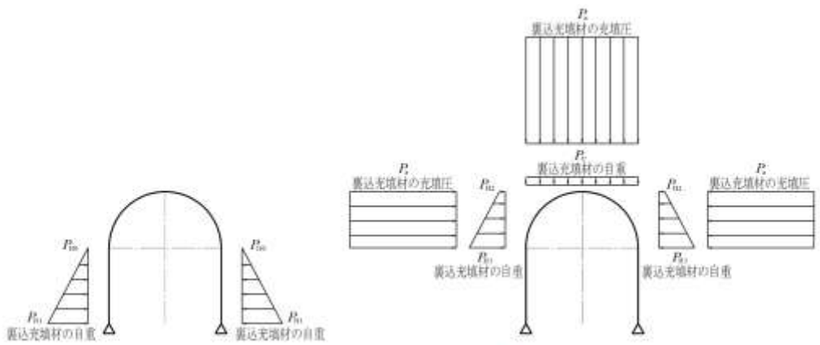
・　施工時荷重（裏込充填材の充填圧は全周に作用させる）

裏込充填材の充填圧は 0.1～0.2MPa を標準とする。施工時荷重によりライナープレートの板厚や補強部材が決まる場合は、充填方法を検討して、可能な範囲で施工時荷重の減少を図る。**図-11.4.1.-2** に裏込充填材を２回に分けて充填する場合の検討モデルを示す。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-8　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規



① 第 1 回裏込充填時荷重 (注 1)　　② 第 2 回裏込充填時荷重 (注 2)

（注 1）①の状態は下部に裏込充填材の液圧が発生する。

（注 2）②の状態は①で充填した裏込充填材が硬化しているため下部の充填圧は計上しない。

図-11.4.1-2　裏込充填材を 2 回に分けて充填する場合の検討モデル

② A タイプのトンネルの地山や吹付等の劣化抑制対策として適用するライナープレート建込工法において、一部に地山表面の風化が認められるが、全体として地山が安定な場合には、地圧や水圧の影響を考慮しないのが一般的である。この用途におけるライナープレート建込工法において、構造設計に地圧や水圧の影響を考慮した事例は見られなかった。

③ ライナープレート本体は JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」に規定される SS330 材を使用する。補強リングに用いる H 形鋼並びに、これらの継手板には JIS G 3101「一般構造用圧延鋼材」に規定されている SS400 材を使用する（**表-11.4.1-1** 参照）。ボルト、ナット、ワッシャーは JIS B 1180「六角ボルト」、JIS B 1181「六角ナット」及び JIS B 1256「平座金」に規定されたものを使用する。ただし、コルゲート・ライナー技術協会の定める試験方法にて十分な性能を有していると判断される締結材は、ライナープレートに使用することができる。

表-11.4.1-1　鋼材の機械的性質

種類	化学成分（%）		機械的性質				
	P	S	降伏点 (N/mm²)	引張強さ (N/mm²)	伸び (%)		曲げ角度 (°)
SS330	0.050 以下	0.050 以下	205 以上	330～430	板厚≦5mm	26 以上	180
					5mm＜板厚≦16mm	21 以上	
SS400	0.050 以下	0.050 以下	245 以上	400～510	板厚≦5mm	21 以上	180
					5mm＜板厚≦16mm	17 以上	

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-9　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規

④　ライナープレートの断面寸法及び断面性能は図-11.4.1-3 及び表-11.4.1-2 に示すとおりである。

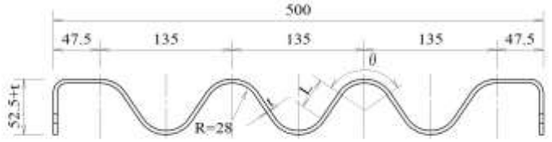


図-11.4.1-3　ライナープレートの断面寸法

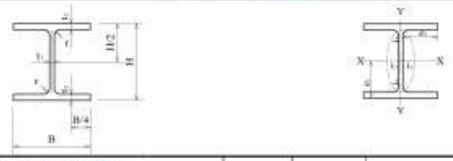
表-11.4.1-2　ライナープレートの断面性能

板厚 t (mm)	弧の中心角 θ	L (mm)	1 枚あたり 断面積 A (cm²)	1 枚あたり 断面係数 Z (cm³)	1 枚あたり 断面二次モーメント I (cm⁴)	1m あたり 断面積 A (cm²/m)	1m あたり 断面係数 Z (cm³/m)	1m あたり 断面二次モーメント I (cm⁴/m)
2.7	109° 30′	33.9	19.88	23.0	70.5	39.76	46.0	141
3.2	110° 14′	33.1	23.56	27.2	83.8	47.12	54.4	168
4.0	111° 26′	31.8	29.43	33.7	105	58.86	67.4	210
4.5	112° 14′	31.0	33.11	37.9	119	66.22	75.8	238
5.3	113° 36′	29.6	38.97	44.4	140	77.94	88.8	280
6.0	114° 52′	28.3	44.10	50.0	160	88.20	100	320
7.0	116° 50′	26.4	51.43	58.1	188	102.9	116	376

（出典：ライナープレート設計・施工マニュアル、コルゲート・ライナー技術協会、平成 23 年 4 月 pp.3~4）

⑤　補強強部材として用いられる H 形鋼の断面性能は、JIS G 3192 に規定される表-11.4.1-3 の値を用いる。補強部材として H 形鋼以外の形鋼を用いる場合も、JIS G 3192 の規定による。

表-11.4.1-3　H 形鋼の断面性能



標準断面寸法（mm） 呼称寸法（高さ×辺）	H×B	t_1	t_2	r	断面積 (cm²)	単位質量 (kg/m)	参考 断面二次モーメント (cm⁴) I_x	I_y	断面二次半径 (cm) i_x	i_y	断面係数 (cm³) Z_x	Z_y
100×100	100×100	6	8	8	21.59	16.9	378	134	4.18	2.49	75.6	26.7
125×125	125×125	6.5	9	8	30.00	23.6	839	293	5.29	3.13	134	46.9
150×150	150×150	7	10	8	39.65	31.1	1620	563	6.40	3.77	216	75.1
175×175	175×175	7.5	11	13	51.42	40.4	2900	984	7.50	4.37	331	112
200×200	200×200	8	12	13	63.53	49.9	4720	1600	8.62	5.02	472	160
250×250	250×250	9	14	13	91.43	71.8	10700	3650	10.8	6.32	860	292
300×300	300×300	10	15	13	118.4	93.0	20200	6750	13.1	7.55	1350	450

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-10　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

⑥　ライナープレート及び補強部材の組み立てに用いるボルトの有効断面積は JIS B 1180 に規定される表-11.4.1-4 の値を用いる。

表-11.4.1-4　ボルトの有効断面積

ボルト呼称	M16	M18	M20	M22	M24
有効断面積（mm^2）	157	192	245	303	353

⑦　ライナープレートの標準的な設計手順を図-11.4.1-4 に示す。

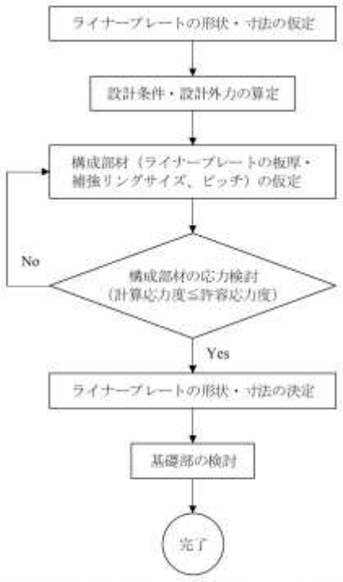


図-11.4.1-4　ライナープレート建込工法の設計の手順

⑧　発生する応力度の照査

a）ライナープレートのみの場合

$$\sigma_L = \frac{M}{Z_L} + \frac{N}{A_L} \leq \sigma_{La} \quad \cdots\cdots \text{式 11.4.1-1}$$

ここに

σ_L　：ライナープレートに生じる応力度（N/mm^2）

σ_{La}　：ライナープレートの許容応力度（N/mm^2）

M　：曲げモーメント（N･mm/m）

N　：軸力（N/m）

Z_L　：ライナープレートの断面係数（mm^3/m）

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-11　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

A_L　：ライナープレートの断面積（mm²/m）

b）補強リングを用いる場合

横杭用ライナープレートに発生する曲げモーメントと軸力は、それぞれライナープレート及び補強リングの曲げ剛性、軸剛性に比例して分担するものと考えて応力度の照査を行う。ライナープレートと補強リングとの断面力の分担率は**表-11.4.1-5** に示すとおりである。

表- 11.4.1-5　ライナープレートと補強リングとの断面力の分担率

項　目	ライナープレート	補強リング
軸　力	$\alpha_L = A_L \Big/ \left(A_L + \frac{A_H}{\ell_H} \right)$	$\alpha_H = \frac{A_H}{\ell_H} \Big/ \left(A_L + \frac{A_H}{\ell_H} \right)$
曲げモーメント	$\beta_L = I_L \Big/ \left(I_L + \frac{I_H}{\ell_H} \right)$	$\beta_H = \frac{I_H}{\ell_H} \Big/ \left(I_L + \frac{I_H}{\ell_H} \right)$

ここに

A_L　：ライナープレートの断面積（mm²/m）
A_H　：補強リングの断面積（mm²）
I_L　：ライナープレートの断面二次モーメント（mm⁴/m）
I_H　：補強リングの断面二次モーメント（mm⁴）
ℓ_H　：補強リングの間隔（m）

応力度の照査はそれぞれ**式 11.4.1-2**、**式 11.4.1-3** により行う。

［ライナープレート］

$$\sigma_L = \frac{\alpha_L \cdot N}{A_L} + \frac{\beta_L \cdot M_{max}}{Z_L} \leq \sigma_{La} \quad \cdots\cdots \text{式 11.4.1-2}$$

［補強リング］

$$\sigma_H = \frac{\alpha_H \cdot N}{\frac{A_H}{\ell_H}} + \frac{\beta_H \cdot M_{max}}{\frac{Z_H}{\ell_H}} \leq \sigma_{Ha} \quad \cdots\cdots \text{式 11.4.1-3}$$

ここに

σ_L　：ライナープレートの発生応力度（N/mm²）
σ_H　：補強リングの発生応力度（N/mm²）
σ_{La}　：ライナープレートの許容応力度（N/mm²）
σ_{Ha}　：補強リングの許容応力度（N/mm²）
N　：軸力（N/m）
M_{max}　：曲げモーメント（N･mm/m）

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-12　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規

A_L　：ライナープレートの断面積（mm²/m）
A_H　：補強リングの断面積（mm²）
Z_L　：ライナープレートの断面係数（mm³/m）
Z_H　：補強リングの断面係数（mm³）
α_L　：ライナープレートの軸力分担率
α_H　：補強リングの軸力分担率
β_L　：ライナープレートの曲げモーメント分担率
β_H　：補強リングの曲げモーメント分担率
ℓ_H　：補強リングの間隔（m）

⑨　許容応力度及び弾性係数

ライナープレート

JIS G 3101 SS330　許容曲げ応力度　：σ_{La}=120N/mm²（長期）
：σ_{La}=180N/mm²（短期）

補強部材（H 形鋼）

JIS G 3101 SS400　許容曲げ応力度　：$\sigma_{Ha}=\sigma_{Sa}$=140N/mm²（長期）
：$\sigma_{Ha}=\sigma_{Sa}$=210N/mm²（短期）
添字の H、S はそれぞれ補強リング、支保部材を示す

ボルト

強度区分 4.6　許容せん断応力度　：τ_a=90N/mm²（長期）
：τ_a=135N/mm²（短期）
強度区分 8.8　許容せん断応力度　：τ_a=200N/mm²（長期）
：τ_a=300N/mm²（短期）

ライナープレート及び補強部材の弾性係数
：E=200kN/mm²

裏込充填材の充填圧及び充填時の側圧を考慮した構造計算においては、短期の許容応力度を適用する。

⑩　施工時荷重によって構成部材の規格（ライナープレートの板厚等）が決定されることを避けるため、充填方法を工夫することにより、可能な範囲で施工時荷重を低減するものとする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-13　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	
11.4.2　水抜工 第４章　対策工法の共通事項　4.5.3　水抜工　を参照 ライナープレート建込工法においては、湧水状況に応じてウィープホールの要否を検討する必要がある。ライナープレート建込工法は水密性がないため、少量の湧水に対する水抜工は不要である。ただし、大量の湧水がある場合は、裏込充填材の止水効果により排水機能が失われることがあるため、水抜工の設置を検討する必要がある。なお、A タイプのトンネルの地山や吹付等の劣化抑制対策として適用するライナープレート建込工法において、水抜工が設置された事例は見られなかったが、排水トンネルでは水抜工が設置されている場合がある。	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-14　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.5　施工方法

11.5.1　長寿命化対策の施工

第４章　対策工法の共通事項　4.6.1　長寿命化対策の施工　を参照

11.5.2　仮設備工

第４章　対策工法の共通事項　4.6.2　仮設備工　を参照

11.5.3　坑内作業準備工

第４章　対策工法の共通事項　4.6.3　坑内作業準備工　を参照

11.5.4　ライナープレート建込工法の施工

ライナープレート建込工法は、現場条件を十分に踏まえた計画の下で施工を行うことが求められる。

【解説】

図-11.5.4-1 にライナープレート建込工法の施工手順を示す。

(1) 準備工（測量・トンネルの断面測定）（写真-11.5.4-3、写真-11.5.4-21 参照）

実施設計段階で行われた坑内路線測量の確認のための測量を行い、トンネルの高さ・ライナープレート布設延長・芯ズレの確認と、ベース材掘付高さを決定する。また、トンネルの断面測定を行い、裏込充填量の確認とライナープレート設置の支障となる部分的な地山の撤去（岩盤掘削）計画を立案する。岩盤掘削に際しては、事前に目視調査や打音調査を行い、肌落ちの危険性がないことを確認する。

縦断測量の調査結果を基に、凸部の管頂部には裏込充填確認孔を凹部の管底部には湧水排水用孔を設けポンプ等で排水できる構造とすることが望ましい。

(2) ライナープレート割付図作成

準備工の測量結果を踏まえ、ライナープレートの割付図を作成する。

(3) 構造物取壊し・地山掘削（写真-11.5.4-4～6、写真-11.5.4-22 参照）

ベース材設置のために既設インバートコンクリートの取壊しを行う。また、ライナープレート設置の障害となる地山を部分的に掘削（岩掘削）する。コンクリート殻及び岩塊等の残土は坑外搬出・処分する。

(4) ベース材設置（写真-11.5.4-7、写真-11.5.4-23～26 参照）

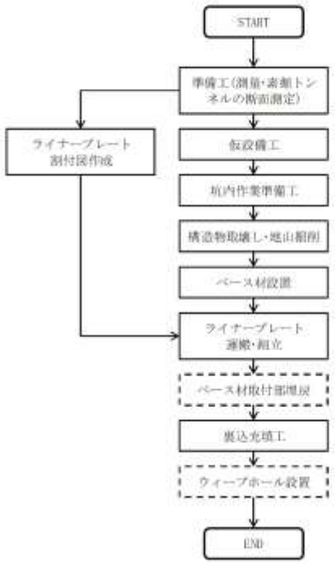
既設インバートコンクリートの取壊し後、断面を清掃し、ベース材設置位置の高さを確認の上、調整モルタル等によりベース材の高さ調整を行った上でベース材（溝形鋼等）を設置する。

また、既設側壁コンクリートにベース材（等辺山形鋼等）を設置する場合は、あと施工アンカー

新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.11-15　「第 11 章　ライナープレート建込工法」



注）破線は必要に応じて実施する

図-11.5.4-1　ライナープレート建込工法の施工手順（例）

(5) ライナープレート運搬・組立（写真-11.5.4-8～10、写真-11.5.4-27～28 参照）

ベース材設置後に、ライナープレート部材を坑内施工箇所へ運搬・配置する。最下部の部材をベース材に仮締めし、そのあと上部部材を連結してボルトナットにより仮締めする。前後のリングのボルトナットを通し、連結、仮締めする。

それぞれのプレートを合わせる際にボルト穴が合わない箇所は、シノ等を突き刺し穴の通りを合わせ、ボルトを通す。仮締め固定ができるまでは部材プレートを押さえる担当と、ボルトナットを仮締めする担当の複数人により作業を進める。

仮組が完了した後、通り、かみ合わせ、よれ等の調整を行い、本締めする。本締めに際しては、裏込充填材の漏れの原因にもなるので、ライナープレートの上下、円周方向、隣同士に隙間のないよう十分に締め付ける。

(6) ベース材取付部埋戻（写真-11.5.4-11～12 参照）

ベース材取付のために取壊したインバート材の取壊し面を洗浄後、プライマーを塗布する。埋戻に用いるポリマーセメントモルタル（PCM）は、使用する材料毎に決められた配合を用いるものとし、決められた練混ぜ方法（材料の投入順序、ミキサ能力、練混ぜ時間等）により作成する。ベー

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-16　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

ス材の周囲にポリマーセメントモルタルを充填し、表面をコテ仕上げする。

(7) **裏込充填工**（写真-11.5.4-13～17、写真-11.5.4-29～33 参照）

裏込充填材の注入手順は、使用材料や工法毎に異なる。裏込充填工の施工については、**第 5 章 裏込注入工法　5.4　施工方法　5.4.7　裏込注入工法**の施工を参照。注入スパン毎の間仕切りや端部には型枠用合板等を用いて間仕切り壁を設ける。

以下にほろ形タイプの施工状況写真を示す。



写真-11.5.4-1　着手前



写真-11.5.4-2　完成



写真-11.5.4-3　断面測定



写真-11.5.4-4　インバート取壊し



写真-11.5.4-5　地山掘削



写真-11.5.4-6　殻集積・運搬・搬出

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-17　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規



写真-11.5.4-7　ベース材（溝形鋼）設置



写真-11.5.4-8　ライナープレート運搬・搬入



写真-11.5.4-9　ライナープレート仮置き



写真-11.5.4-10　ライナープレート組立



写真-11.5.4-11　PCM 混練



写真-11.5.4-12　ベース材取付部埋戻(PCM)

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-18　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規



写真-11.5.4-13　裏込充填機材搬入



写真-11.5.4-14　裏込充填機材（発泡ウレタン）



写真-11.5.4-15　裏込充填材注入状況



写真-11.5.4-16　発泡ウレタン注入状況



写真-11.5.4-17　裏込充填材注入完了



写真-11.5.4-18　施工完了

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-19　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

以下に半円形タイプの施工状況写真を示す。



写真-11.5.4-19　着手前



写真-11.5.4-20　完成



写真-11.5.4-21　断面測定



写真-11.5.4-22　人力岩掘削



写真-11.5.4-23　アンカーボルト削孔



写真-11.5.4-24　アンカーボルト設置

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-20　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規



写真-11.5.4-25　アンカーボルト引抜試験



写真-11.5.4-26　ベース材設置



写真-11.5.4-27　ライナープレート組立



写真-11.5.4-28　ライナープレート組立完了



写真-11.5.4-29　可塑性注入材注入プラント設置



写真-11.5.4-30　可塑性注入材注入用配管

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-21　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	新　規



写真-11.5.4-31　可塑性注入材注入管取付



写真-11.5.4-32　可塑性注入材注入状況



写真-11.5.4-33　可塑性注入材リーク確認



写真-11.5.4-34　端部（管口）仕上げ状況
（モルタル仕上）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-22　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.6　ライナープレート建込工法の施工管理

11.6.1　ライナープレート建込工法の材料の承諾及び保管管理

ライナープレート建込工法に使用する資材の搬入検査は、適正な管理下で製造されたことを証明する資料に基づいて行う。資材の保管及び搬送・搬入時の環境条件は適正なものとする。また、資材の取り扱いにも十分に留意する必要がある。

【解説】

(1) ライナープレート建込工法に使用する資材の製造管理と品質管理

ライナープレート建込工法に使用する資材は、**表-11.6-1** に示す構成要素からなっており、受入検査項目は、それぞれ次のとおりである。

表-11.6-1　鋼板内張工法に使用する資材の構成要素と原材料搬入検査項目

構成要素	材　質	原材料受入検査項目
金属部材	鋼製材等 （鋼製材は製作仕様書を提出する）	製作仕様書に基づく寸法等 （入荷ロットごとの品質チェック）
裏込充填材	セメント系注入材、 非セメント系注入材	圧縮強さ、フロー値等 （原材料の入荷ロットごとの品質チェック）

(2) ライナープレート建込工法に要求される保管及び搬送・搬入管理

1) 金属部材

金属部材には、長期にわたる屋外暴露等による著しい発錆がないように、適切な対策を講じなければならない。なお、取扱いは慎重に行い、大きな変形や傷を与えてはならない。

2) 裏込充填材

裏込充填材については、**第５章　裏込注入工法　5.5　裏込注入工法の施工管理　5.5.1　裏込注入工法の材料の承諾及び保管管理**を参照

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-23　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.6.2　ライナープレート建込工法の施工時の管理

ライナープレート建込工法の施工管理においては、次の項目について確認を行う。
（1）ライナープレート設置段階の施工管理（ベース材設置、ライナープレート組立）
（2）裏込充填材物性管理　　（3）裏込充填材圧力管理
（4）裏込充填材充填量管理

【解説】

（1）ライナープレート設置状態の確認

ベース材設置時の既設構造物取壊し長さ、幅及び厚さ等を測定し確認する。ライナープレート組立段階では基準高、内空高さ、内空幅等を測定し確認する。なお、測定項目と管理値については、監督職員の承諾を得るものとする。

あと施工アンカーを設置する場合は、非破壊引張試験法によりアンカー引抜強度を確認する。

（2）裏込充填材物性管理
（3）裏込充填材圧力管理
（4）裏込充填材充填量管理

裏込充填材物性管理、裏込充填材圧力管理、裏込充填材充填量管理については、**第５章　裏込注入工法　5.5　裏込注入工法の施工管理　5.5.2　裏込注入工法の施工時の管理**を参照

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.11-24　「第 11 章　ライナープレート建込工法」	

11.6.3　ライナープレート建込工法の出来形管理及び品質管理

出来形管理及び品質管理は、土木工事施工管理基準による。
裏込充填材の出来形管理は充填量、品質管理は一軸圧縮強さ（材齢 28 日）等による。

【解説】

出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）」によるものとする。ただし、当該基準に記載されていない項目については、巻末資料「施工管理項目等参考例」や各団体等が発行する資料に則って行う。

裏込充填材の出来形管理は、充填量により確認する。なお、ウィープホールを設置する場合は、コア抜きにより充填状況を確認する。

品質管理基準、計測等による出来形管理、工事記録写真の内容及び撮影頻度は、本書の巻末資料に示す。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-1　「12.1　モニタリングの目的」	P.11-1　「11.1　モニタリングの目的」

第 12 章　対策後のモニタリング

12.1　モニタリングの目的

対策後のモニタリングは、対策工法の効果が期待される期間中、備えるべき性能（要求性能）を確認することを目的として実施する。また、補修・補強部材の変化を確認することで、変状の進行性を把握することができる。よって、対策後のモニタリング範囲は、対策を実施した区間全線を対象とする。

【解説】

対策後のモニタリングは、技術的かつ経済的に可能な範囲において調査項目を設定し、継続して行っていくことが重要である。水路トンネルの対策工法を実施した区間は、今後モニタリングのデータを蓄積し、対策工法の要求性能と効果の検証にフィードバックする必要がある。

水路トンネルの対策後のモニタリングにおいては、変状の進行性を把握することも重要な目的の一つである。対策工法を施工した時点においては、竣工から対策工事実施までの変状の経時変化が十分把握されていない場合が多く、変状の進行性が不明なまま対策工事が施される事例も少なくない。このような場合には、対策後の再劣化により、変状の進行性が明らかになる場合もある。**写真-12.1.1** に補修工法施工後に再劣化した事例を、**写真-12.1.2** に鋼板内張工法の内張鋼板が腐食した事例を示す。これらを確認することは、対策工法の効果の検証や、今後のモニタリング方針（調査頻度と調査項目）の検討にも役立つ。



写真-12.1.1　補修工法施工後の再劣化



写真-12.1.2　鋼板内張工法の腐食状況

対策区間は、もともと変状の多かった区間であるため、対策後のモニタリング範囲は、対策を実施した区間全線を対象に遠隔目視を行い、再変状が発生した箇所に定点を設ける。また、水路トンネルの内空変位を確認するための定点は、対策工施工時に設置し、施工直後の初期値を計測して記録しなければならない。定点箇所は変状の経年的変化を定量的に把握するための継続調査を実施する。

第 11 章　対策後のモニタリング

11.1　モニタリングの目的

対策後のモニタリングは、対策工法の効果が期待される期間中、備えるべき性能（要求性能）を確認することを目的として実施する。また、補修・補強部材の変化を確認することで、変状の進行性を把握することができる。よって、対策後のモニタリング範囲は、対策を実施した区間全線を対象とする。

【解説】

対策後のモニタリングは、技術的かつ経済的に可能な範囲において調査項目を設定し、継続して行っていくことが重要である。水路トンネルの対策工法を実施した区間は、今後モニタリングのデータを蓄積し、対策工法の要求性能と効果の検証にフィードバックする必要がある。

水路トンネルの対策後のモニタリングにおいては、変状の進行性を把握することも重要な目的の一つである。対策工法を施工した時点においては、竣工から対策工事実施までの変状の経時変化が十分把握されていない場合が多く、変状の進行性が不明なまま対策工事が施される事例も少なくない。このような場合には、対策後の再劣化により、変状の進行性が明らかになる場合もある。**写真-11.1.1** に補修工法施工後に再劣化した事例を、**写真-11.1.2** に鋼板内張工法の内張鋼板が腐食した事例を示す。これらを確認することは、対策工法の効果の検証や、今後のモニタリング方針（調査頻度と調査項目）の検討にも役立つ。



写真-11.1.1　補修工法施工後の再劣化



写真-11.1.2　鋼板内張工法の腐食状況

対策区間は、もともと変状の多かった区間であるため、対策後のモニタリング範囲は、対策を実施した区間全線を対象に遠隔目視を行い、再変状が発生した箇所に定点を設ける。また，水路トンネルの内空変位を確認するための定点は、対策工施工時に設置し、施工直後の初期値を計測して記録しなければならない。定点箇所は変状の経年的変化を定量的に把握するための継続調査を実施する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-2 「12.2　モニタリングの実施」	P.11-2 「11.2　モニタリングの実施」

12.2　モニタリングの実施

モニタリングは、供用開始後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、性能等を検証するものであり、施工後に行う。

【解説】

本書に示す対策工法に求める要求性能は、対策工法の効果が期待される期間中に発揮すべき性能を施工時点で照査するために必要なものとして定めたものであり、対策工法が要求性能を備え、水路トンネルの機能が維持されているかをモニタリングにより確認し、検証しなければならない。しかしながら、本書に示す性能指標と効果が期待される期間の関係性が現時点では得られていないため、モニタリングを行いながら性能指標を見直していく必要がある。

性能の検証は、施工時に行う施工管理記録と施工後のモニタリング結果とを比較し、対策工法の性能低下状況等を評価する。次項に示すモニタリング手法の中には、簡易に測定できないものや高価なものも含まれるが、性能指標の見直しに資するデータを蓄積することが重要である。

モニタリングに当たっての留意点として以下のことが挙げられる。

・対策工法の変状や機能低下の早期検出が可能であること
・極力定量的で、精度のバラツキが少ないこと
・目視や計測した情報を高精度かつ効率的に電子情報として記録し経年的に継承していくこと

11.2　モニタリングの実施

モニタリングは、供用開始後の状況変化、当初品質の維持状況を継続的に把握し、性能等を検証するものであり、施工後に行う。

【解説】

本書に示す対策工法に求める要求性能は、対策工法の効果が期待される期間中に発揮すべき性能を施工時点で照査するために必要なものとして定めたものであり、対策工法が要求性能を備え、水路トンネルの機能が維持されているかをモニタリングにより確認し、検証しなければならない。しかしながら、本書に示す性能指標と効果が期待される期間の関係性が現時点では得られていないため、モニタリングを行いながら性能指標を見直していく必要がある。

性能の検証は、施工時に行う施工管理記録と施工後のモニタリング結果とを比較し、対策工法の性能低下状況等を評価する。次項に示すモニタリング手法の中には、簡易に測定できないものや高価なものも含まれるが、性能指標の見直しに資するデータを蓄積することが重要である。

モニタリングに当たっての留意点として以下のことが挙げられる。

・対策工法の変状や機能低下の早期検出が可能であること
・極力定量的で、精度のバラツキが少ないこと
・目視や計測した情報を高精度かつ効率的に電子情報として記録し経年的に継承していくこと

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-3 「12.3　モニタリングの手法」	P.11-3 「11.3　モニタリングの手法」

12.3　モニタリングの手法

対策工法の施工後に実施するモニタリングの調査項目は、対策工法の補強効果や変位抑制効果等を把握する目的で、各対策工法に対して適切なものを選定する。

【解説】

(1) モニタリングにおける調査項目

標準的な対策工法のモニタリングにおける調査項目を**表-12.3.1** に示す。なお、各調査手法については、**第２章「長寿命化対策の検討のための調査・情報整理」**の**表-2.3.1** 及び巻末資料「**1. 現地調査方法**」を参照する。

表-12.3.1　モニタリングにおける調査項目（例）

監視項目＼対策工法	裏込注入工法	鋼板内張工法	既製管挿入工法	製管工法	接着工法	ロックボルト補強工法	ライナープレート建込工法	備考
①覆工の変状調査と打音調査	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ひび割れ等の進行性の有無，対策工の変状の有無
②ひび割れ調査	◎	－	◎	◎	◎	◎	－	ひび割れ幅、長さの測定，析出物の成長状況
③トンネル断面の形状調査	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	トンネル内空の変位状態の計測
④トンネルの測量	○	○	○	○	○	○	－	インバートの沈下・盤膨れの測量
⑤覆工応力と作用荷重	△	△	△	△	△	△	－	覆工に発生するひずみを測定して応力を推定
⑥補強材応力測定	－	△	△	△	△	－	－	補強材に発生するひずみを測定して応力を推定
⑦ロックボルト軸力測定	－	－	－	－	－	△	－	ロックボルトに発生する軸力の測定
⑧トンネル内外の気温調査	○	○	○	○	○	○	○	トンネル内外の気温測定
⑨湧水及び漏水調査	○	○	○	○	○	○	○	裏込注入による湧水の水質・水量への影響調査、補修・補強による水みちの変化の調査
⑩覆工厚と背面空洞調査	○	－	－	－	－	－	－	裏込注入施工後の湧水による浸食等に起因する再空洞化の確認調査
⑪増厚材の性能低下量調査	－	－	－	－	○	－	－	接着工法における増厚材のひび割れや浮き・剥離、鉄筋腐食、摩耗量等の調査
⑫塗装及び鋼板の劣化調査	－	◎	◎	－	－	－	◎	近接目視、塗装膜厚，鋼板板厚，腐食深さの測定

（注）◎：原則として実施、○：必要に応じて実施（本文中に記載）、△：特殊な場合に実施（試験施工等に適用）

①　覆工の変状調査と打音調査

覆工コンクリートや対策工に新たなひび割れや変状の発生、それらの進展状況、漏水状態の変化の有無、などについて観察し、展開図などに記録する。また、鋼板内張工法や製管工法等で補修・補強した場合は、補修・補強後の表面部材の変状（発錆、析出物、開き、膨れ、段差等）について確認・調査し、展開図などに記録する。

11.3　モニタリングの手法

対策工法の施工後に実施するモニタリングの調査項目は、対策工法の補強効果や変位抑制効果等を把握する目的で、各対策工法に対して適切なものを選定する。

【解説】

(1) モニタリングにおける調査項目

標準的な対策工法のモニタリングにおける調査項目を**表-11.3.1** に示す。なお、各調査手法については、**第２章「長寿命化対策の検討のための調査・情報整理」**の**表-2.3.1** 及び巻末資料「**1. 現地調査方法**」を参照する。

表-11.3.1　モニタリングにおける調査項目（例）

監視項目＼対策工法	裏込注入工法	鋼板内張工法	既製管挿入工法	製管工法	接着工法	ロックボルト補強工法	備考
①目視調査	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ひび割れ等の進行性の有無、対策工の変状の有無
②ひび割れ調査	◎	－	◎	◎	◎	◎	ひび割れ幅、長さの測定，析出物の成長状況
③内空変位測定	◎	◎	◎	◎	◎	◎	トンネル内空の変位状態の計測
④トンネル内の測量	○	○	○	○	○	○	インバートの沈下・盤膨れの測量
⑤覆工応力測定	△	△	△	△	△	△	覆工に発生するひずみを測定して応力を推定
⑥補強材応力測定	－	△	△	△	△	－	補強材に発生するひずみを測定して応力を推定
⑦ロックボルト軸力測定	－	－	－	－	－	△	ロックボルトに発生する軸力の測定
⑧坑内気温測定	○	○	○	○	○	○	坑内気温の測定
⑨水質・水量・水みち等の調査	○	○	○	○	○	○	裏込注入による湧水の水質・水量への影響調査、補修・補強による水みちの変化の調査
⑩覆工背面の再空洞化の確認	○	－	－	－	－	－	裏込注入施工後の湧水による浸食等に起因する再空洞化の確認調査
⑪増厚材の性能低下量調査	－	－	－	－	○	－	接着工法における増厚材のひび割れや浮き・剥離、鉄筋腐食、摩耗量等の調査

（注）◎：原則として実施、○：必要に応じて実施（本文中に記載）、△：特殊な場合に実施（試験施工等に適用）

①　目視調査

覆工コンクリートや対策工に新たなひび割れや変状の発生、それらの進展状況、漏水状態の変化の有無、などについて観察し、展開図などに記録する。また、鋼板内張工法や製管工法等で補修・補強した場合は、補修・補強後の表面部材の変状（発錆、析出物、開き、膨れ、段差等）について確認・調査し、展開図などに記録する。

②　ひび割れ調査

対策工施工前のひび割れの幅と長さが対策工施工前後でどのように変化したかを測定する。また、

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-4　「12.3　モニタリングの手法」	P.11-4　「11.3　モニタリングの手法」

② ひび割れ調査

対策工施工前のひび割れの幅と長さが対策工施工前後でどのように変化したかを測定する。また、補修・補強対策後の再劣化についてもひび割れ幅、長さを測定し、析出物の状況を記録する。

既製管挿入工法については、施工後にひび割れが発生した場合を対象とする。また、製管工法は表面部材の嵌合部からの裏込充填材の析出や内面被覆管のひび割れを対象とする。

接着工法は、施工後に曲げひび割れが発生する場合があるため、施工後１年目にひび割れ状況を確認するのが望ましい。**9.4.3　接着工法の構造設計（5）ひび割れに対する照査**　に示す管理基準値を上回った場合は、ひび割れの補修を行わなければならない。

補修工法（表面被覆工法、断面修復工法、ひび割れ補修工法等）の再劣化についても、接着工法と同様の照査を行い、管理基準値を上回った場合は再補修を行わなければならない。

③ トンネル断面の形状調査

トンネル覆工の内空変位量の大きさによって、変状の程度、進行性、トンネルの安定性を判断する。特に、対策工施工前後で変位速度が変化したかどうかが、対策工による補強効果を判断する上で重要である。計測範囲は、既存の変状が顕著に表れている区間や、調査や解析等で最も大きい変位が予想される区間を中心として、10～20m の間隔で定点（測定断面）を設ける。

鉄道や高速道路トンネルでは、変位速度をもとに標準設計による適用工法を選定する流れが確立しているが、水路トンネルにおいては、標準設計が確立されていないため、今後データを蓄積し、標準設計を策定することが課題である。

④ トンネルの測量

トンネルの沈下や盤ぶくれは内空変位と同様に対策工法による補強効果を判定する上で重要な監視項目である。よって、トンネルの沈下や盤ぶくれ対策に対するモニタリングに際しては、トンネル内の水準測量を実施し、その変化を把握するのが望ましい。

計測範囲は内空変位と同じ考え方でよいが、3D スキャナ測量は短時間に広範囲の測定が可能なため、変状の著しい区間と隣接する健全な区間を同時に測定し、双方を比較することで、変形モードを正確に把握することができる。

⑤ 覆工応力と作用荷重

あらかじめ覆工コンクリートにひずみ計を取り付けている場合には、覆工コンクリートの表面等に発生するひずみを測定し、弾性係数から応力を推定して応力状態の変化を把握することができる。

⑥ 補強材応力測定

あらかじめ鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法、接着工法の補強材にひずみ計を取り付けている場合には、発生するひずみを測定し、補強の効果や設計の適否に関する評価を行うことができる。

補修・補強対策後の再劣化についてもひび割れ幅、長さを測定し、析出物の状況を記録する。

既製管挿入工法については、施工後にひび割れが発生した場合を対象とする。また、製管工法は表面部材の嵌合部からの裏込充填材の析出や内面被覆管のひび割れを対象とする。

接着工法は、施工後に曲げひび割れが発生する場合があるため、施工後１年目にひび割れ状況を確認するのが望ましい。**9.4.3　接着工法の構造設計（5）ひび割れに対する照査**　に示す管理基準値を上回った場合は、ひび割れの補修を行わなければならない。

補修工法（表面被覆工法、断面修復工法、ひび割れ補修工法等）の再劣化についても、接着工法と同様の照査を行い、管理基準値を上回った場合は再補修を行わなければならない。

③ 内空変位測定

トンネル覆工の内空変位量の大きさによって、変状の程度、進行性、トンネルの安定性を判断する。特に、対策工施工前後で変位速度が変化したかどうかが、対策工による補強効果を判断する上で重要である。計測範囲は、既存の変状が顕著に表れている区間や、調査や解析等で最も大きい変位が予想される区間を中心として、10～20m の間隔で定点（測定断面）を設ける。

鉄道や高速道路トンネルでは、変位速度をもとに標準設計による適用工法を選定する流れが確立しているが、水路トンネルにおいては、標準設計が確立されていないため、今後データを蓄積し、標準設計を策定することが課題である。

④ トンネル内の測量

トンネルの沈下や盤ぶくれは内空変位と同様に対策工法による補強効果を判定する上で重要な監視項目である。よって、トンネルの沈下や盤ぶくれ対策に対するモニタリングに際しては、トンネル内の水準測量を実施し、その変化を把握するのが望ましい。

計測範囲は内空変位と同じ考え方でよいが、3D スキャナ測量は短時間に広範囲の測定が可能なため、変状の著しい区間と隣接する健全な区間を同時に測定し、双方を比較することで、変形モードを正確に把握することができる。

⑤ 覆工応力測定

あらかじめ覆工コンクリートにひずみ計を取り付けている場合には、覆工コンクリートの表面等に発生するひずみを測定し、弾性係数から応力を推定して応力状態の変化を把握することができる。

⑥ 補強材応力測定

あらかじめ鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法、接着工法の補強材にひずみ計を取り付けている場合には、発生するひずみを測定し、補強の効果や設計の適否に関する評価を行うことができる。

⑦ ロックボルト軸力測定

ロックボルトにあらかじめひずみゲージを取り付けて軸力を測定することで、ロックボルトに生じる軸力とその分布を測定し、ロックボルトの補強効果を判定することができる。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-5　「12.3　モニタリングの手法」	P.11-5　「11.3　モニタリングの手法」

⑦　ロックボルト軸力測定

ロックボルトにあらかじめひずみゲージを取り付けて軸力を測定することで、ロックボルトに生じる軸力とその分布を測定し、ロックボルトの補強効果を判定することができる。

⑧　トンネル内外の気温調査

内空変位測定器のテープやひずみ計等は温度変化の影響を受けるため、気温測定を行い測定値の温度補正を行わなければならない。すなわち、モニタリング時の坑内気温測定は、計測時の坑内環境の変動状況を把握することを目的として行う。

⑨　湧水及び漏水調査

裏込注入工法を採用する場合には、湧水量が多く注入材が十分固結しない状態で流出することが考えられる。また、用水の利用形態によっては、補修・補強工事に伴う水質や水量の変化が大きな問題となることもあるので、水質・水量・水みちに関する調査を行う。

すなわち、対策実施後に多量の湧水が確認された場合には、湧水量や湧出箇所の変化（水みち）及び有害物質溶出の有無について調査の実施を検討する必要がある。

⑩　覆工厚と背面空洞調査

裏込注入工施工後に湧水による浸食等により再空洞化することが考えられる。ひび割れ補修箇所の再劣化が確認された場合には、覆工背面の再空洞化が疑われる。よって、裏込注入工施工後にひび割れ等の進行が確認された場合には、原因究明の目的で背面空洞調査の実施を検討する。

調査手法は、簡易ボーリングや電磁波レーダー等によるが、鉄筋コンクリート覆工区間や非セメント系注入材（発泡ウレタン）注入区間は電磁波法で充填状況を確認できないので留意する必要がある。

⑪　増厚材の性能低下量調査

接着工法の増厚材については、モニタリングによりひび割れ幅の管理基準値を適宜見直す方針であるため、増厚材の浮きとひび割れの相関や補強材（鉄筋）の腐食の相関を確認する目的で増厚材の性能低下量調査を行う。

性能低下量調査では、打音調査による浮きの確認や、ひび割れ幅と長さの計測を行い、浮きとひび割れの進行性を確認・調査する。鉄筋腐食の兆候が確認された場合は補修対象とする。また、計測用ピンを用いた摩耗量調査も併せて実施することが望ましい。

⑫　塗装及び鋼板の劣化調査

鋼板内張工法や既製管挿入工法（鋼管挿入工法）については、塗装の劣化状況と鋼板の腐食状況を近接目視により確認する。

塗装の劣化や鋼板の腐食が確認された場合は、補修対策の検討に資するため、塗装膜厚や鋼板板厚、腐食深さを測定する。

⑧　坑内気温測定

内空変位測定器のテープやひずみ計等は温度変化の影響を受けるため、気温測定を行い測定値の温度補正を行わなければならない。すなわち、モニタリング時の坑内気温測定は、計測時の坑内環境の変動状況を把握することを目的として行う。

⑨　水質・水量・水みち等の調査

裏込注入工法を採用する場合には、湧水量が多く注入材が十分固結しない状態で流出することが考えられる。また、用水の利用形態によっては、補修・補強工事に伴う水質や水量の変化が大きな問題となることもあるので、水質・水量・水みちに関する調査を行う。

すなわち、対策実施後に多量の湧水が確認された場合には、湧水量や湧出箇所の変化（水みち）及び有害物質溶出の有無について調査の実施を検討する必要がある。

⑩　覆工背面の再空洞化の確認

裏込注入工施工後に湧水による浸食等により再空洞化することが考えられる。ひび割れ補修箇所の再劣化が確認された場合には、覆工背面の再空洞化が疑われる。よって、裏込注入工施工後にひび割れ等の進行が確認された場合には、原因究明の目的で背面空洞調査の実施を検討する。

調査手法は、簡易ボーリングや電磁波レーダー等によるが、鉄筋コンクリート覆工区間や非セメント系注入材（発泡ウレタン）注入区間は電磁波法で充填状況を確認できないので留意する必要がある。

⑪　増厚材の性能低下量調査

接着工法の増厚材については、モニタリングによりひび割れ幅の管理基準値を適宜見直す方針であるため、増厚材の浮きとひび割れの相関や補強材（鉄筋）の腐食の相関を確認する目的で増厚材の性能低下量調査を行う。

性能低下量調査では、打音調査による浮きの確認や、ひび割れ幅と長さの計測を行い、浮きとひび割れの進行性を確認・調査する。鉄筋腐食の兆候が確認された場合は補修対象とする。また、計測用ピンを用いた摩耗量調査も併せて実施することが望ましい。

(2) モニタリングの実施頻度

モニタリングは施設造成者が対策工法の施工後計画的に実施するが、モニタリング等で確認された変状の程度に応じて適宜再設定する。標準的なモニタリング頻度を以下に示す。

1) 原則として、対策１年後及び５年後にモニタリング調査を実施する。ただし、接着工法については、増厚材のひび割れが管理基準値内であるか確認する必要があるため、対策１年後のモニタリングを必ず実施する。
2) 対策２年後から４年後までは、１年後の変状を勘案して頻度や調査項目を決定する。
3) 対策６年後からは、原則５年に１回の頻度で実施するものとし、変状の進行状況を考慮して頻度の見直しを行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-6　「12.3　モニタリングの手法」	

(2) モニタリングの実施頻度

モニタリングは施設造成者が対策工法の施工後計画的に実施するが、モニタリング等で確認された変状の程度に応じて適宜再設定する。標準的なモニタリング頻度を以下に示す。

1) 原則として、対策実施の１年後及び５年後にモニタリング調査を実施する。水路トンネルの補修・補強工法については、施工後１回目の通水後に変状が見られることがあるため、対策実施１年後に目視可能な範囲で変状の有無を確認することが望ましい。例えば接着工法については、施工後早期に覆工コンクリートのひび割れに沿って増厚材にひび割れや、浮き・はく離が発生するおそれがあるため、対策実施１年後のモニタリング調査を実施することが望ましい。なお、接着工法におけるひび割れ幅の管理基準値については、**9.4.3 (6) 2)** を参照するものとする。

2) 対策２年後から４年後までは、１年後の変状を勘案して頻度や調査項目を決定する。

3) 対策６年後からは、原則５年に１回の頻度で実施するものとし、変状の進行状況を考慮して頻度の見直しを行う。

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-7 「12.4 モニタリング記録・管理」	P.11-6 「11.4 モニタリング記録・管理」

12.4 モニタリング記録・管理

モニタリングの結果は、直接測定及び撮影記録により結果を記録する。これらの調査結果は記録媒体で記録・管理する。

【解説】

モニタリングでは採用した対策工法、施設状況を踏まえ直接測定と撮影記録を行う。

(1) 直接測定

直接測定では、対策工法の変状箇所やウィークポイントを把握するため、ひび割れ等を直接測定し記録をとる。

(2) 撮影記録

撮影記録では、以下に配慮して記録・管理を行う。

・撮影箇所の確認、寸法等の判定ができるように工夫する。
・撮影箇所には、工事名、対策工法、ウィークポイント、測点、実測数量・寸法などを黒板等に記入し、説明資料となるように工夫する。
・写真はモニタリングの時期、地点が判定できるように整理し、アルバムや電子媒体で整理する。

(3) 近年の情報技術を活用したモニタリング記録・管理

近年の情報技術の発達により、計測データ等の数値的なデータ以外にも、トンネル覆工表面をデジタルカメラ、レーザー、CCD カメラ等で撮影して記録する方法や、変状展開図を CAD データとして記録する方法等、電子化されたデータとして記録する方法が普及してきた。トンネルの変状の進行は長期にわたる場合が多いので、経時的な変化を追跡できるよう、これらの方法を併用してトンネルの状態を客観的に記録できるようにするとよい。

(4) モニタリング結果の記録

モニタリング結果は所定の記録様式に整理・蓄積し、対策工法の効果検証に活用する。記録様式の一例を**表-12.4.1～表-12.4.9** に示す。

モニタリング調査の様式は、調査主体によって変状記録にバラツキが生じないよう留意し、記入者は各項目について漏れのないよう確実に記載するものとする。

また、蓄積したモニタリング調査データから変状規模（定量値）を整理することで、対策後の劣化進行性を把握できる。さらに、地域別・施工状況別に変状の進行度合いを分析することで、工法ごとの特性を把握することが可能となる。

11.4 モニタリング記録・管理

モニタリングの結果は、直接測定及び撮影記録により結果を記録する。これらの調査結果は記録媒体で記録・管理する。

【解説】

モニタリングでは採用した対策工法、施設状況を踏まえ直接測定と撮影記録を行う。

(1) 直接測定

直接測定では、対策工法の変状箇所やウィークポイントを把握するため、ひび割れ等を直接測定し記録をとる。

(2) 撮影記録

撮影記録では、以下に配慮して記録・管理を行う。

・撮影箇所の確認、寸法等の判定ができるように工夫する。
・撮影箇所には、工事名、対策工法、ウィークポイント、測点、実測数量・寸法などを黒板等に記入し、説明資料となるように工夫する。
・写真はモニタリングの時期、地点が判定できるように整理し、アルバムや電子媒体で整理する。

(3) 近年の情報技術を活用したモニタリング記録・管理

近年の情報技術の発達により、計測データ等の数値的なデータ以外にも、トンネル覆工表面をデジタルカメラ、レーザー、CCD カメラ等で撮影して記録する方法や、変状展開図を CAD データとして記録する方法等、電子化されたデータとして記録する方法が普及してきた。トンネルの変状の進行は長期にわたる場合が多いので、経時的な変化を追跡できるよう、これらの方法を併用してトンネルの状態を客観的に記録できるようにするとよい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-8　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.1　モニタリング様式例（1/9）

施設基本情報・施設劣化情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】

	項目		記入欄	入力情報 調査	入力情報 設計	入力情報 施工	添付資料	備考
施設基本情報	施設名		東北農政局	○				
	都道府県名		秋田	○				
	工種区分		無圧トンネル（無筋コンクリート覆工形式、支保工有）	○				
	用途区分		用水	○				
	造成事業名		○○事業	○				
	施設路線名		○○用水路	○				
	施設路線延長		**.*km	○				
	トンネル名称		○○トンネル	○				
	トンネル延長		***.**m	○				
	ストック団施設番号		##########	○				
	施設管理者		○○土地改良区	○				
	供用開始年		340（施工年度）	○				
	施工法（構造形式）		矢板工法	○				
	トンネル断面形状		1円弧ほろ形	○				
	断面寸法		B=0.95m、H=1.95m	○				
	地山の地質区分		岩トンネル	○				
	トンネル外部環境（地圧、ガス、地滑り等）		無	○				
	覆工の施工方法		場きょ打式	○				
	覆工背面の空洞充填		無	○				
	目地間隔（1パネルの延長）		15m	○				
	施工目地の構造		止水版無、充填目地無	○				
	ひび割れ誘発目地の有無		無	○				
	設計水深		1.569m	○				
	水路勾配		1/****	○				
	平均流速		1.133m/s	○				
	灌漑期	計画最大通水量	2.951m3/s	○				
		灌漑期の平均水深	1.392m					
		開始月日	4月1日					
		終了月日	9月10日					
	非灌漑期	非灌漑期通水量	0m3/s	○				
		非灌漑期の平均水深	0m					
		開始月日	9月11日					
		終了月日	3月31日					
	共同施設（上下・工水・発電）の該当有無		無	○	○			
	施設の使用・劣化環境について	施設諸元（地域劣化特性）	無	○	○			
		水分供給状況（地下水位，被砕帯，低土被りの沢地形等）	全体にわたり地下水あり	○	○			
		流下物の状況や水質（摩耗環境や腐食の過酷性について）	特になし	○	○			
		地表外部環境の状況（荷重や土地利用等の変化状況について）	特に使用・環境条件について変更なし	○	○			
		地下水位、坑内通水の状況について	坑内通水状況については，変状展開図等に記載	○	○			
		特記事項	補修工事（裏込注入工法）で裏込未注入区間あり	○	○			
施設劣化情報	業務名	業務名	○○実施設計業務	○			・変状展開図 ・背面空洞状況調査図 ・機能診断評価	背面空洞状況調査（機能診断含む）
		業務期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日					
	工事名	工事名	○○工事			○		工事（裏込注入工法）
		工事期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日					
	業務名	業務名	○○実施設計業務		○			実施設計（健全度評価・工法選定）
		業務期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日					
	工事名	工事名	○○工事			○		工事（既製管挿入工法）
		工事期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日					

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-9　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.2　モニタリング様式例（2/9）

対策工法情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】[対策工法基本情報]

項　　目			記入欄	入力情報			添付資料	備考
				顧客	設計	施工		
対策工法基本情報	業務	業務名	○○トンネル地補強工法検討業務		○			
		業務期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日					
	工事	工事名	○○トンネル工事					
		施工期間	平成○年○月○日～平成○年○月○日			○		
		施工業者名	○○建設共同企業体					
	基本情報（設計）	対策工法名	馬蹄形FRPM管挿入工法		○			
		FRPM管の使用材料	特殊形状強化プラスチック複合管		○			
		口径、管厚	馬蹄形2R=****mm、t=32mm		○			
		充填材の使用材料	エアミルク		○			
		工法メーカー名	○○株式会社		○			
		高度化事業管理番号	対象外		○			
		施工延長	**.*m		○		・平面線形図	
		測点（又はスパンNo.）	No.****.***～No.*****.***		○		〃	
		充填量	155m3		○			
		充填圧	0.02MPa以下		○			
		仮設ヤードから坑口までの距離	20m		○		・仮設図等	
		坑口から施工法人工施工始点までの距離	****m		○		・平面線形図	
		工法に求める性能（要求性能）	補強（主に構造的耐力を回復又は向上させること）		○			
		工法の選定理由	本トンネルの変状原因は塑性圧によるものである。塑性圧に対する耐荷性能を有し、施工可能な工法であり、施工性もよく工事費も安価であるため。		○			
	基本情報（施工）	対策工法名	馬蹄形FRPM管挿入工法			○		
		FRPM管の使用材料	特殊形状強化プラスチック複合管			○		
		口径、管厚	馬蹄形2R=****mm、t=32mm			○		
		充填材の使用材料	エアミルク			○		
		工法メーカー名	○○株式会社			○		
		高度化事業管理番号	対象外			○		
		施工延長	**.*m			○	・施工計画書	
		測点（又はスパンNo.）	No.****.***～No.*****.***			○	・施工計画書	
		充填量	145.9m3			○	・出来形管理図表	
		充填圧	0.02MPa以下			○	・施工計画書	
		仮設ヤードから坑口までの距離	20m			○	・仮設図等	
		坑口から施工法人工施工始点までの距離	****m			○	・平面線形図	
		工法に求める性能（要求性能）	補強（主に構造的耐力を回復又は向上させること）			○		
		工法の選定理由	設計における工法選定に基づいて決定。			○		
	仮設（設計）	坑口部仮囲いの概要	無		○		・仮設図等	
		水替えの概要	工事用水中ポンプ（φ50mm、揚程 5m、動力 0.4kW）を使用、給水量0.05m3/min		○		〃	
		仮設ヤード及びプラントの概要	仮設図添付		○		〃	
		トンネル内電気設備（動力用、照明用）の概要	仮設電気設備レイアウト図添付		○		〃	
		坑外電気設備の概要			○		〃	
		トンネル内換気設備の概要	φ300、100V電源のポータブル型送風機		○		〃	
		湧水処理設備の概要	機械式処理放水方式 （参考資料）湧水処理装置の例　添付		○		〃	
	仮設（施工）	坑口部仮囲いの概要	無			○	・施工計画書 ・仮設図等	
		水替えの概要	排水ポンプ、常時排水 既設水路上流からの流入水：6m3/hr未満 トンネル施工区間：15m3/hr未満			○	〃	
		仮設ヤード及びプラントの概要	仮設図添付			○	〃	
		トンネル内電気設備（動力用、照明用）の概要	照明設備：投光器300W2台（20W以上の照明を3m間隔で設置） 通信配信設備：特定小電力トランシーバーを使用（途中に中継器設置）			○	〃	
		坑外電気設備の概要	受電設備設置、配電盤設備設置			○	〃	
		トンネル内換気設備の概要	反転軸流式送風機　風量：70m3/min、風圧：300Pa、出力：0.55kW			○	〃	
		湧水処理設備の概要	湧水処理装置（処理量）6m3/hr）			○	〃	

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-10　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.3　モニタリング様式例（3/9）

対策工法情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】[対策工法情報・併用補修工法情報]

項目				記入欄	入力情報 調査	入力情報 設計	入力情報 施工	添付資料	備考
対策工法情報	馬てい形FRPM管	使用材料	製品名	特殊形状強化プラスチック複合管			○		
		施工管理（品質）	材料 水密性	記載無			○		
		施工管理（出来形）	基準高	管理基準値±30mmを満足			○		
			幅	測定無			○		
			高さ	測定無			○	・出来形管理図表	
			中心線のズレ	管理基準値±65mmを満足			○		
			ジョイント間隔	管理基準値＋20、－0mmを満足			○		
			施工延長	**.*m			○		
	充填材	使用材料	製品名	エアミルク（**-1）			○		
		施工管理（品質）	材料 充填材の強度	1.0N/mm2以上（JIS A 1216に準ずる）			○		
			材料 充填材の単位容積質量	密度 1.1±0.1t/m3（JHS 313に準ずる）			○		
			材料 充填材の空気量	40±5%			○	・カタログ	
			材料 充填材の水中不分離性	水中打設可能（水中分離抵抗性大）			○		
			材料 充填材の流動性	120±20mm（JHS 313に準ずる）			○		
			材料 長期耐圧透性	記載無			○		
			施工 充填材の強度	1.22N/mm2～1.58N/mm2			○		
			施工 充填材の単位容積質量	1.08t/m3～1.13t/m3			○		
			施工 充填材の空気量	記載無			○		
			施工 充填材の流動性	120～135mm			○	・品質管理図表	
			施工 充填量	145.9m3			○		
			施工 充填確認	記載無			○		
			施工 充填圧	0.02MPa以下			○		
		施工管理（出来形）	ウィーブホール削孔長	設計値（545～1135mm）以上			○	・出来形管理図表	
			充填確認	確認孔よりリークを確認			○		
併用補修工法情報	ひび割れ補修工	ひび割れ補修工法の有無		無			○		
		工法種類		該当なし					
		製品名（会社名）		該当なし					
		主要材料		該当なし					
	断面修復工	断面修復工法の有無		無			○		
		工法種類		該当なし					
		製品名（会社名）		該当なし					
		主要材料		該当なし					
	導水・止水対策工	導水対策工の有無		有			○	・施工計画書 ・材料承認 ・断面図等	
		工法名及び概要		薬液排水工及び集水管理工					
		止水対策工の有無		有					
		工法名及び概要		止水工（止水注入工（ショットプラグ）、断面補修工					
	目地補修工	目地補修工法の有無		無			○		
		工法種類		該当なし					
		製品名（会社名）		該当なし					
		主要材料		該当なし					

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-11　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.4　モニタリング様式例（4/9）

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】［施設・モニタリング調査基本情報及び総括］

施設の基本情報			
地区名	○○地区	施設の築造年	昭和○年施工
対象施設名	○○用水路	施設の工種区分	無機コンクリート覆工（一部鉄筋コンクリート）
	○○トンネル	対策工法名	既製管挿入工法（馬てい形FRP製管）
断面形状・寸法	1円弧ほろ形、R=0.85m、H=1.55m	対策工法の実施年	平成○年

項目		工事施工前（実施設計時）				第1回モニタリング調査（供用○年目）				
施設・モニタリング調査基本情報	調査実施日	平成○年○月○日～平成○年○月○日（屋外期間）	調査時間	不明		調査実施日	令和○年○月○日～○日	調査時間	9時～16時（8時間）	
	気温	測定位置	不明	測定時間	不明	数値	不明	気温	測定位置	本坑内部	測定時間	9時～16時	数値	平均15.3℃
		測定位置	不明	測定時間	不明	数値	不明		測定位置	外気温	測定時間	15時	数値	14.4℃
	天気	不明	調査時間等の制約条件	不明		天気	晴れ	調査時間等の制約条件	おかんがい期は通水なし	
	実施計画	○○事業所	実施担当者	○○コンサルタント（株）		実施担当者	○○事務所	実施担当者	○○コンサルタント（株）	
	洗浄前の情報調査状況（情報の付着状況）	記載無				洗浄前の情報調査状況（情報の付着状況）	モニタリング前に洗浄無			
	洗浄方法	記載無				洗浄方法	モニタリング前に洗浄無			
	仮設の有無とその概要	記載無				仮設の有無とその概要	仮設無			
	現地調査項目	（モニタリング実施図を添付）				現地調査項目	（モニタリング実施図を添付）			
		☑視認査					☑視認査、☑手間隔計測、打音調査、内空変位調査、坑内温度調査、水質（pH試験）、水量・水みち等の調査（湧水量調査）			
	現地調査地点	定点No.	測点or パレルNo.	調査・試験項目		現地調査地点（重要監視ポイント（パレル））	定点No.	測点or（管）No.	調査・試験項目	
		無	無	無			定点1	（管）No. 4	漏水量測定、pH試験	
							定点2	（管）No. 5	内空変位計測（内空寸法測定）、坑内温度測定	
							定点3	（管）No. 10	漏水量測定、pH試験	
							定点4	（管）No. 23	ひび割れ測定	
							定点5	（管）No. 34	漏水量測定、pH試験	
							定点6	（管）No. 40	打音調査、マーキング	
							以降無			
	現地調査地点の選定理由	無				現地調査地点の選定理由	○ひび割れが確認された No. 23 ○漏水量（流水以上の漏水） No. 4, No. 10, No. 24, No. 35, No. 37 ○打音調査で異音が確認された No. 40, No. 42, No. 43, No. 44 ○内空寸法測定 No. 5、No. 110：上・下流端付近の標準断面 No. 45、No. 102：現況の変状が著しく補強工で裏込注入工法が施工された区間 No. 104、No. 105：継手の段差が最も大きかった管	
	基本調査項目	目視調査				基本調査項目	当初調査・打音調査、間隔計測調査（ひび割れ寸法、継手間隔計測、漏水量調査）			
	詳細調査項目	電気探査（坑軸）、岩石試験（コア抜き3箇所）				詳細調査項目	目視調査、打音調査、内空変位調査（内空寸法測定）			
	詳細調査実施の目的 調査項目の選定理由	・電気探査は、地下の地質性状や地下水の賦存状況を把握する目的 ・岩石試験は、膨張や劣化を発生し易い地山の判定を行うため				詳細調査実施の目的 調査項目の選定理由	工法の要求性能である耐荷性、耐震性・透水性を確認するため			
モニタリング結果	維持管理上の課題					維持管理上の課題	○トンネル内部は、スパン通記が無い、維持管理（点検）等において、例えば（変状等）が確認された際、場所を特定するのが困難である。 ○現在、利水や構造に係る支障や問題は無い。			
	○変状調査（目視調査）結果 補修ひび割れの進行、新規が確認されたスパンが23スパンあり、変状が進行しているものと考えられる。 ○電気探査　結果 ○○トンネル区間における地山全体の比抵抗値は、概ね中央（1000Ω）付近を境に終点側に対して起点側の方が高い値を示す。 ○岩石試験　結果 物理試験、変性試験、科学試験を行い変状箇所に分布する岩盤の膨張性地山としての判定結果は、困難（固型）性がある地山の可能性が高く、特に「岩2」はその可能性が非常に高いと考えられる。 ※「岩2」はSP452+13mの左岸壁、下から1mの地点、 上流坑口からは1589.025mの地点で採取した岩石試料					○基本調査、坑内空洞調査 目視調査では、パレル割（管割）、継手開隔計測、ひび割れ等変状の確認・マーキング、ひび割れ幅・長さの測定、漏水量（pH含む）の測定を行い、補修対策施工前後の変状の変化を確認した。 継手部分にモルタル埋込が確認された。これについてメーカーに確認した結果、構造性能に影響を及ぼす変状（箇所）ではないことが確認された。経年劣化によりモルタル埋込材の剥落等が懸念される。 中略 ○詳細調査 詳細調査として、No. 3, No. 45, No. 102, No. 104, No. 105, No. 110の内空寸法測定を行った。今後の進行性を把握する目的でモニタリングの対象とする。ただし、幅については、測定位置が正確ではなかった可能性も考慮されるため、今回の測定値は参考値扱いとする。			
	モニタリング頻度（調査項目）	特に記載無し				モニタリング頻度（調査項目）	次回モニタリングは、5年後の令和○年を目安に実施する。			

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-12　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.5　モニタリング様式例（5/9）

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】［基本調査：目視調査（ひび割れ、浮き、剥落等の変状）］

試験項目	（参考）規格値
継手間隔	0, +53

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】［基本調査：目視調査（継手間隔）］

試験項目	（参考）規格値
継手間隔	0, +53

：モルタル埋込

項目		工事施工直後							第1回モニタリング調査（令和○年○月○日～○年○○日）								
		（管）No.	測定値（mm） a（上部）	b（右岸）	c（左岸）	d（水路底）	平均	その他	（管）No.	測定値（mm） a（上部）	b（右岸）	c（左岸）	d（水路底）	平均	前回との差	段差（mm）	その他
モニタリング調査（継手間隔）結果		1							1								
		2	16	15	17	16	16		2	17	16	19	17	17	+1		
		3	19	13	20	19	19		3	17	13	26	19	19	±0		
		4	20	26	18	27	23		4	22	28	15	25	23	-2		
		5	16	20	15	16	17		5	17	18	14	18	16	±0		
		6	18	19	18	18	18		6	19	18	18	18	19	±0		
		7	16	20	15	18	17		7	17	20	15	17	17	-1		
		8	22	18	21	15	19		8	21	17	20	13	18	-2		
		9	28	19	27	28	22		9	19	15	27	25	22	-1		
		10	21	22	20	21	21		10	21	22	20	21	21	±0		
		11	16	21	14	18	17		11	18	20	13	18	17	±0		前出物有
			中間							中間							
		78	18	13	15	12	15		78	16	14	12	8	13	-3		
		79	18	29	10	24	19		79	20	30	14	32	24	+6		
		80	20	11	29	21	20		80	19	28	30	21	29	+10	10	前出物有
		81	15	13	17	18	15		81	11	8	13	11	11	-5		
		82	18	14	20	15	17		82	21	19	35	30	21	+6		
		83	19	18	23	20	20		83	24	22	26	25	24	+5		
		84	16	21	13	15	16		84	13	18	8	12	13	-3	10	
		85	17	19	13	16	16		85	17	19	12	13	15	-1	7	
		86							86								
			以降間							以降間							
		写真番号	写真を添付						写真番号	写真を添付							
		パネルNo.							パネルNo.								
		変状							変状								

新　規

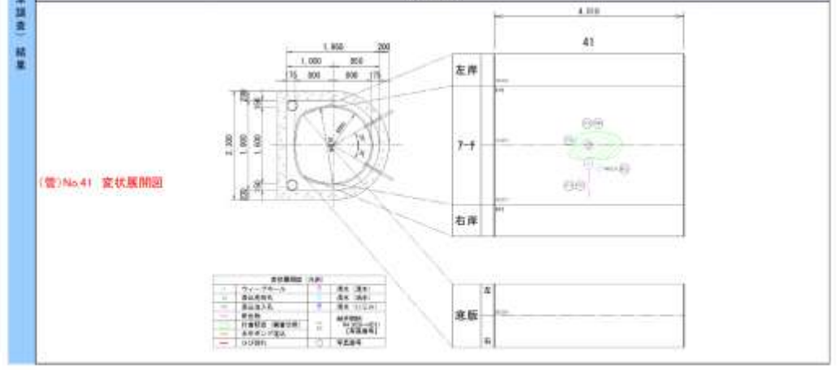
（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-13　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.6　モニタリング様式例（6/9）

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】［基本調査：打音調査］

項目	工事施工直後					第1回モニタリング調査（令和○年○月○日～○月○日）				
	(管)No.	調査部位	調査手法	調査(試験)結果	その他記事	(管)No.	調査部位	調査手法	調査(試験)結果	その他記事
モニタリング調査（基本調査）結果	1					1	全面	モルタル検査ハンマー	異音無	
	2					2	〃	〃	〃	
	中略					中略				
	39					39	〃	〃	〃	
	40					40	〃	〃	異音有	
	41					41	〃	〃	異音有	
	42					42	〃	〃	異音無	
	43					43	〃	〃	異音有	
	44					44	〃	〃	異音有	
	45					45	〃	〃	異音無	
	46					46	〃	〃	〃	
	以降略					以降略				
	調査器具・調査状況写真									
	打音調査状況写真及び調査器具の写真を添付									
	変状展開図									



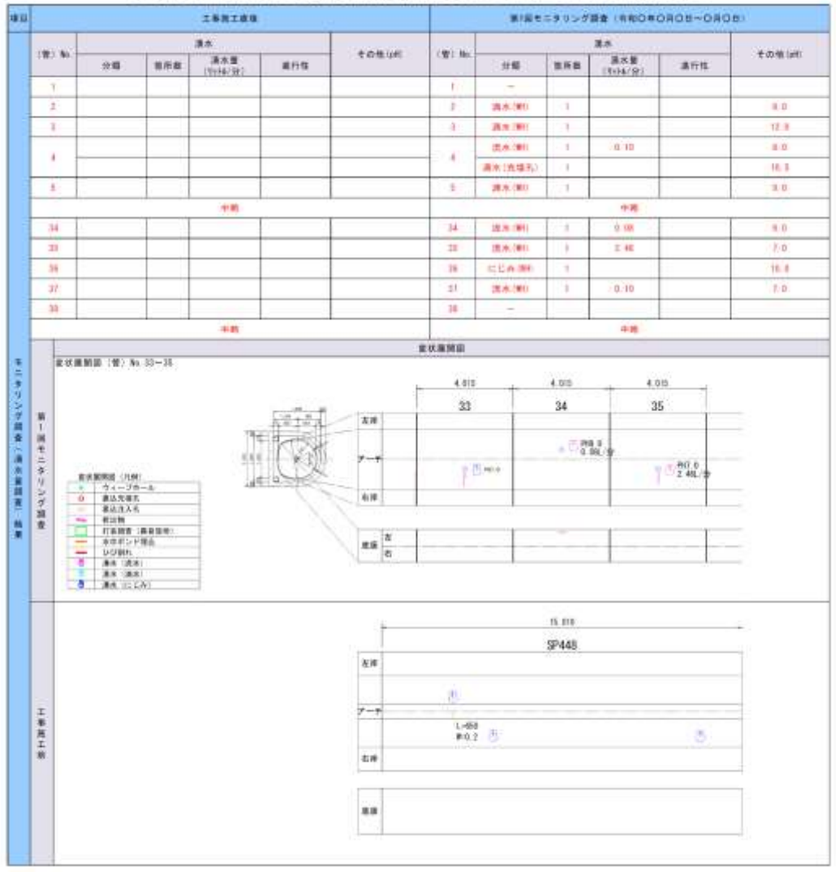
新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-14　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.7　モニタリング様式例（7/9）

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRPM管）】［基本調査：湧水量調査］



新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.12-15　「12.4　モニタリング記録・管理」	

表-12.4.8　モニタリング様式例（8/9）

モニタリング調査情報調査表【既製管挿入工法（馬てい形FRP管）】【詳細調査：内空変位測定・坑内気温測定】



新　規

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.12-16　「12.4　モニタリング記録・管理」

表-12.4.9　モニタリング様式例（9/9）

| 水路トンネル調査記録表 | | 件名 | 南部幹線水路　10号トンネル　モニタリング調査業務（仮称） | | |

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.引-1　「引用文献・参考文献」	P.引-1　「引用文献・参考文献」

引用文献・参考文献

【引用文献】
・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」　平成 26 年 7 月
・公益社団法人土木学会　「コンクリート標準示方書「設計編」」　2022 年制定
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「変状トンネル対策工設計マニュアル」　平成 10 年 2 月
・公益社団法人土木学会　「トンネル標準示方書［共通編］・同解説／［山岳工法編］・同解説」
2016 年制定
・農業水利施設の機能保全の手引き　令和 5 年 4 月
・農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」　平成 28 年 8 月
・農業水利施設の長寿命化のための手引き　平成 27 年 11 月
・戸村豪治、山地宏志、黒川幸彦（三井住友建設株式会社）　「小断面トンネルリニューアルシステム工法の開発」　ARIC 情報（96）2010 年
・コルゲート・ライナー技術協会「ライナープレート設計・施工マニュアル」平成 23 年 4 月

【参考文献】
・農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」　平成 28 年 8 月
・「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】」　令和 5 年 3 月
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「トンネル補修・補強マニュアル」　平成 19 年 1 月
・東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社　「矢板工法トンネルの背面空洞注入に関する調査設計・施工要領」令和 6 年 7 月
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「変状トンネル対策工設計マニュアル」　平成 10 年 2 月
・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」　平成 26 年 7 月
・土地改良事業計画設計基準　設計「水路トンネル」　平成 8 年 10 月
・東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社　「設計要領　第三集　トンネル保全編・トンネル建設編」　令和 5 年 7 月
・公益社団法人土木学会　「水路トンネル維持管理の手引き」　令和 3 年 1 月
・国立研究開発法人土木研究所　「土木研究所資料第 3887 号　道路トンネル変状対策工マニュアル（案）」　平成 15 年 2 月
・公益社団法人日本道路協会　「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」　令和 2 年 8 月
・公益社団法人土木学会　「トンネル標準示方書［共通編］・同解説／［シールド工法編］・同解説
2016 年制定
・公益社団法人土木学会　「コンクリート標準示方書「設計編」」　2022 年制定
・東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社　「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン」　令和 2 年 2 月
・日本水道鋼管協会　「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針」　WSP 080-2015
・公益社団法人土木学会　「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針（案）」　令和 4 年 1 月

引用文献・参考文献

【引用文献】
・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」　平成 26 年 7 月
・公益社団法人土木学会　「コンクリート標準示方書「設計編」」　2017 年制定
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「変状トンネル対策工設計マニュアル」　平成 10 年 2 月
・公益社団法人土木学会　「トンネル標準示方書［共通編］・同解説／［山岳工法編］・同解説」
2016 年制定
・農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」　平成 28 年 8 月
・農業水利施設の長寿命化のための手引き　平成 27 年 11 月
・戸村豪治、山地宏志、黒川幸彦（三井住友建設株式会社）　「小断面トンネルリニューアルシステム工法の開発」　ARIC 情報（96）2010 年

【参考文献】
・農業水利施設の機能保全の手引き「水路トンネル」　平成 28 年 8 月
・「農業水利施設の補修・補強に関するマニュアル【開水路補修編】（案）」　平成 27 年 4 月
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「トンネル補修・補強マニュアル」　平成 19 年 1 月
・東,中,西日本高速道路株式会社　「矢板工法トンネルの背面空洞注入工　設計・施工要領」平成 18 年 10 月
・公益財団法人鉄道総合技術研究所　「変状トンネル対策工設計マニュアル」　平成 10 年 2 月
・土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」　平成 26 年 7 月
・土地改良事業計画設計基準　設計「水路トンネル」　平成 8 年 10 月
・公益社団法人日本道路協会　「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」　平成 27 年 6 月
・公益社団法人土木学会　「トンネル標準示方書［共通編］・同解説／［シールド工法編］・同解説
2016 年制定
・公益社団法人土木学会　「コンクリート標準示方書「設計編」」　2017 年制定
・東,中,西日本高速道路株式会社　「山岳トンネル工法におけるウレタン系注入の安全管理に関するガイドライン」　令和 2 年 2 月
・日本水道鋼管協会　「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針」　WSP 080-2015
・公益社団法人土木学会　「コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工指針（案）」　平成 26 年 3 月
・日本建築学会　「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」　2016 年 7 月
・長束勇、青山咸康、松藤展和、大川栄二「トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術」農業農村工学会誌　82（4）
・佐藤文法、嶋本敬介、堺倉俊弘「山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討」第 47 回地盤工学研究発表会
・日下敦、岸田展明、砂金伸治、河田皓介「山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察」トンネル工学報告集　第 26 巻　I-19　2016.11

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.引-2　「引用文献・参考文献」	P.引-2　「引用文献・参考文献」

・日本建築学会　「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」　2016 年 7 月
・長束勇、青山咸康、松藤展和、大川栄二「トンネル空洞への現場発泡硬質ウレタンフォーム充填による機能回復技術」農業農村工学会誌　82（4）
・佐藤文法、嶋本敬介、朝倉俊弘「山岳トンネルの背面空洞に対する裏込注入材の剛性に関する検討」第 47 回地盤工学研究発表会
・日下敦、岸田展明、砂金伸治、河田皓介「山岳トンネルにおける覆工背面空洞の裏込め注入材の剛性と効果に関する一考察」トンネル工学報告集　第 26 巻　Ⅰ-19　2016.11
・強化プラスチック複合管協会、提供値
・PCL 協会「PCL 工法技術マニュアル」平成 29 年 4 月
・杉山基美、魚本健人「耐久性に優れた GFRP ロッドの開発」生産研究　56 巻 3 号（2004）
・石井将幸、佐藤周之、緒方英彦、野中資博「現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係」農土論集 247（75-1）
・足立昭平「人工粗度の実験的研究」土木学会論文集　vol.104　昭和 39 年 4 月
・若林孝、山根洋子、田本敏之、岩崎賢史「ロックボルトを用いた水路トンネルの補強」材料施工研究部会報　材料と施工　第 52 号　2014 年 2 月
・森充広、齋藤豊、高岩庸博、稲垣正晴「農業用水路トンネルの機能診断への電磁波レーダ法の適用」農業農村工学会誌　76（9）
・深沢成年、小林寛明、張信一郎、三谷憲司、保田尚俊、朝倉俊弘「内空変位の長期計測と覆工応力計測に基づく長大海底トンネルの健全度評価」土木学会論文集 F1、Vol.72、No.1（2016）
・NPO 法人臨床トンネル工学研究所「技術研究部会トンネル維持管理委員会平成 24 年度～平成 25 年度活動報告書」　平成 26 年 6 月
・日本水道協会　「水道用無溶剤形エポキシ樹脂塗料塗装方法」　JWWA K 157:2013
・日本水道鋼管協会　「鋼管路の更新診断マニュアル（診断から劣化調査・補修まで）」WSP 081-2020
・長束勇、上野和広、渡嘉敷勝、石井将幸「水砂噴流摩耗試験機の試作とその性能評価」農業農村工学会論文集、78（2）、2010
・上野和広、長束勇、石井将幸「開発した水砂噴流摩耗試験機の促進倍率」農業農村工学会論文集、78（2）、2010
・炭素繊維補修・補強技術研究会材料部会「炭素繊維シート貼付け工事における品質管理マニュアル（案）」平成 16 年 1 月

・強化プラスチック複合管協会、提供値
・PCL 協会「PCL 工法技術マニュアル」平成 29 年 4 月
・杉山基美、魚本健人「耐久性に優れた GFRP ロッドの開発」生産研究　56 巻 3 号（2004）
・石井将幸、佐藤周之、緒方英彦、野中資博「現場打ち RC 開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係」農土論集 247（75-1）
・足立昭平「人工粗度の実験的研究」土木学会論文集　vol.104　昭和 39 年 4 月
・若林孝、山根洋子、田本敏之、岩崎賢史「ロックボルトを用いた水路トンネルの補強」材料施工研究部会報　材料と施工　第 52 号　2014 年 2 月
・森充広、齋藤豊、高岩庸博、稲垣正晴「農業用水路トンネルの機能診断への電磁波レーダ法の適用」農業農村工学会誌　76（9）
・深沢成年、小林寛明、張信一郎、三谷憲司、保田尚俊、朝倉俊弘「内空変位の長期計測と覆工応力計測に基づく長大海底トンネルの健全度評価」土木学会論文集 F1、Vol.72、No.1（2016）
・NPO 法人臨床トンネル工学研究所「技術研究部会トンネル維持管理委員会平成 24 年度～平成 25 年度活動報告書」　平成 26 年 6 月

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.参①-2　「参考①　覆工表面画像取得技術の適用性」	P.参①-2　「参考①　覆工表面画像取得技術の適用性」

参考①　覆工表面画像取得技術の適用性

覆工表面のひび割れは、水路トンネルの変状現象で最も一般的にみられる変状現象であり、ひび割れ形態、規模、パターン等を観察することにより荷重のかかり方、変状の状況、変状原因等をある程度推定することができる。ひび割れ測定方法は、人力作業による方法と水路トンネル壁面の連続画像を取得して計測する方法がある。後者は人力作業に比べ調査時間を大幅に短縮することができるため、断水時間の制約を受ける場合や長距離トンネルでの適用実績が多い。

(a) 覆工ひび割れ測定（人力作業及び計測器による）

人力作業による覆工ひび割れ測定は、クラックスケールや巻尺によってひび割れの幅や位置を調査し、ひび割れ展開図を作成するものである。人力によるひび割れ調査は、暗所での長時間労働となり、作業条件が極めて悪いことや観察者の主観が入りやすいという欠点があるので機械を使った方法に移行しつつある。しかし、緊急性を要する場合や調査対象が狭い場合には依然として有効な方法である。

(b) 覆工ひび割れ測定（覆工表面画像取得による）

人力作業によるひび割れ調査は、作業条件が悪いことや観察者の主観が入るという欠点を持つことから、覆工表面画像取得による水路トンネルの覆工ひび割れ調査方法が開発され、ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法やレーザーによる方法が実用化されている。

(c) 覆工ひび割れ測定技術の適用性

覆工ひび割れ測定技術について、人力作業による近接目視と覆工表面画像取得による方法の経済性と現地調査時間の比較例を示す。比較対象の水路トンネル断面は標準馬てい形 2r=2.0m、3.0m、及び 4.0m の 3 断面で、対象延長は 200m～5,000m である。**参①図-1** に経済性比較結果を、また、**参①図-2** に現地調査時間の比較結果を示す。

人力作業による近接目視調査費及び調査時間については、土地改良工事積算基準（調査・測量・設計）による。覆工表面画像取得の調査費及び調査時間は見積もりによる。調査時間は、それぞれ 1 班体制の場合の現地調査時間を示す。

2r=4.0m の調査費用においては、距離が長くなると（4,000m 以上）、従来の近接目視より画像取得技術の方が経済的であることがわかる。また、現地調査時間は圧倒的に画像取得技術の方が短いことがわかる。これらに鑑み、断水時間の制約を受ける場合や大断面・長距離トンネルにおいては画像取得技術の適用を検討することが肝要である。

参考①　覆工表面画像取得技術の適用性

覆工表面のひび割れは、水路トンネルの変状現象で最も一般的にみられる変状現象であり、ひび割れ形態、規模、パターン等を観察することにより荷重のかかり方、変状の状況、変状原因等をある程度推定することができる。ひび割れ測定方法は、人力作業による方法と水路トンネル壁面の連続画像を取得して計測する方法がある。後者は人力作業に比べ調査時間を大幅に短縮することができるため、断水時間の制約を受ける場合や長距離トンネルでの適用実績が多い。

(a) 覆工ひび割れ測定（人力作業及び計測器による）

人力作業による覆工ひび割れ測定は、クラックスケールや巻尺によってひび割れの幅や位置を調査し、ひび割れ展開図を作成するものである。人力によるひび割れ調査は、暗所での長時間労働となり、作業条件が極めて悪いことや観察者の主観が入りやすいという欠点があるので機械を使った方法に移行しつつある。しかし、緊急性を要する場合や調査対象が狭い場合には依然として有効な方法である。

(b) 覆工ひび割れ測定（覆工表面画像取得による）

人力作業によるひび割れ調査は、作業条件が悪いことや観察者の主観が入るという欠点を持つことから、覆工表面画像取得による水路トンネルの覆工ひび割れ調査方法が開発され、ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法やレーザーによる方法が実用化されている。

(c) 覆工ひび割れ測定技術の適用性

覆工ひび割れ測定技術について、人力作業による近接目視と覆工表面画像取得による方法の経済性と現地調査時間の比較例を示す。比較対象の水路トンネル断面は標準馬てい形 2r=2.0m、3.0m、及び 4.0m の 3 断面で、対象延長は 200m～5,000m である。**参①図-1** に経済性比較結果を、また、**参①図-2** に現地調査時間の比較結果を示す。

人力作業による近接目視調査費及び調査時間については、平成 29 年度土地改良工事積算基準（調査・測量・設計）による。覆工表面画像取得の調査費及び調査時間は見積もりによる。調査時間は、それぞれ 1 班体制の場合の現地調査時間を示す。

2r=4.0m の調査費用においては、距離が長くなると（4,000m 以上）、従来の近接目視より画像取得技術の方が経済的であることがわかる。また、現地調査時間は圧倒的に画像取得技術の方が短いことがわかる。これらに鑑み、断水時間の制約を受ける場合や大断面・長距離トンネルにおいては画像取得技術の適用を検討することが肝要である。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.参③-3　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」

参③表-1　対策後の施設又は部位の耐用期間（参考値）

工法名	適用目的	工法材料の耐久性 (注1)	期待される耐用期間
裏込注入工法	補修 （主に漏水対策） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※長期曝露試験や湿熱劣化による促進試験により照査	30 年
鋼板内張工法	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※工場製品であり既製鋼管と同品質。既製鋼管の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	40 年
既製管挿入工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上）	50 年 ※工場製品であり既製管と同品質。既製管の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	35 年
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）		40 年
製管工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上）	50 年 ※繰り返し載荷試験等により照査。コンクリート・超高強度繊維補強コンクリートと同品質であり耐久性は 50 年以上と判断	30 年
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）		35 年・40 年 (注2)
接着工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※促進中性化試験・引張接着性試験等により耐久性は 50 年以上と判断	30 年 (注3)
ロックボルト補強工法	補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※ロックボルトの素材は工場製品であり既製鋼材と同品質。既製鋼材の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	30～25 年 (注4)
ライナープレート建込工法	補強 （主に地山の劣化抑制と新たな覆工構築による耐荷性向上）	50 年 ※ライナープレートの素材は工場製品であり既製鋼材と同品質。既製鋼材の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	40～35 年 (注5)

（注 1）：対策後の施設（又は部位）の耐用期間については、継続的な施設の機能診断調査や施設監視の結果より実際の施設の性能低下の進行状況を見極めて、適宜、見直していくものである。

（注 2）：裏込充填材に構造部材としての強度を期待する工法については 35 年、裏込充填材に背面地山の反力を伝達する機能を期待する工法については 40 年とする。

（注 3）：表面被覆工法は工法に期待される耐用期間を 20 年に想定して付着強度試験や摩耗試験が行われている。接着工法における付着強度は、増厚材の付着強度に加えてアンカー固定しているため 30 年の耐用期間を想定することが可能である。また、摩耗試験については耐用期間 30 年相当の摩耗厚さが確保される。これらのことから接着工法の期待される耐用期間は 30 年とする。

（注 4）：摩擦式ロックボルトに標準的な溶融亜鉛めっき（HDZT77 相当）を施す場合の耐久性は、めっき皮膜の耐用期間と同等と判断し 25 年とする。一方、摩擦式ロックボルトに高耐食性めっきを施す場合の耐久性は、

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.参③-3　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」

参③表-1　対策後の施設又は部位の耐用期間（参考値）

工法名	適用目的	工法材料の耐久性 (注1)	期待される耐用期間
裏込注入工法	補修 （主に漏水対策） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※長期曝露試験や湿熱劣化による促進試験により照査	30 年
鋼板内張工法	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※工場製品であり既製鋼管と同品質。既製鋼管の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	40 年
既製管挿入工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上）	50 年 ※工場製品であり既製管と同品質。既製管の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	35 年
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）		40 年
製管工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上）	50 年 ※繰り返し載荷試験等により照査。コンクリート・超高強度繊維補強コンクリートと同品質であり耐久性は 50 年以上と判断	30 年
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）		35 年・40 年 (注2)
接着工法	補修 （主に水密性、通水性の回復又は向上） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※促進中性化試験・引張接着性試験等により耐久性は 50 年以上と判断	30 年 (注3)
ロックボルト補強工法	補強 （主に耐荷性の回復・向上）	50 年 ※ロックボルトの素材は工場製品であり既製鋼材と同品質。既製鋼材の性能低下実態を踏まえ耐久性は 50 年以上と判断	30～25 年 (注4)

（注 1）：対策後の施設（又は部位）の耐用期間については、継続的な施設の機能診断調査や施設監視の結果より実際の施設の性能低下の進行状況を見極めて、適宜、見直していくものである。

（注 2）：裏込充填材に構造部材としての強度を期待する工法については 35 年、裏込充填材に背面地山の反力を伝達する機能を期待する工法については 40 年とする。

（注 3）：表面被覆工法は工法に期待される耐用期間を 20 年に想定して付着強度試験や摩耗試験が行われている。接着工法における付着強度は、増厚材の付着強度に加えてアンカー固定しているため 30 年の耐用期間を想定することが可能である。また、摩耗試験については耐用期間 30 年相当の摩耗厚さが確保される。これらのことから接着工法の期待される耐用期間は 30 年とする。

（注 4）：摩擦式ロックボルトに標準的な溶融亜鉛めっき（HDZ55 相当）を施す場合の耐久性は、めっき皮膜の耐用期間と同等と判断し 25 年とする。一方、摩擦式ロックボルトに高耐食性めっきを施す場合の耐久性は、めっき皮膜の耐久性に支配されないため耐用期間を 30 年とする。定着材式ロックボルトで溶融亜鉛めっきを施す場合の耐久性は、めっき皮膜の耐久性に支配されないため耐用期間を 30 年とする。なお、めっき皮膜の耐用期間は「溶融亜鉛めっきの耐食性」（亜鉛めっき鋼構造物研究会）を参考に 25 年程度とする。溶融亜鉛めっきを施さない場合や自立不能孔壁（自穿孔方式等）に適用するロックボルトのように標準的なめっきが剥げるおそれがある場合の耐久性は、鋼材の腐食速度に支配されるため適切に腐食代を設けるとともに腐食代に応じた耐用期間を設定する。また、ロックボルトの頭部が水路内に露出する場合は、防錆処理（塗装工等）の耐用期間に従い個別に設定しなければならない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.参③-4　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」	

めっき皮膜の耐久性に支配されないため耐用期間を 30 年とする。定着材式ロックボルトで溶融亜鉛めっきを施す場合の耐久性は、めっき皮膜の耐久性に支配されないため耐用期間を 30 年とする。なお、めっき皮膜の耐用期間は「溶融亜鉛めっきの耐食性」（亜鉛めっき鋼構造物研究会）を参考に 25 年程度とする。溶融亜鉛めっきを施さない場合や自立不能孔壁（自穿孔方式等）に適用するロックボルトのように標準的なめっきが剥げるおそれがある場合の耐久性は、鋼材の腐食速度に支配されるため適切に腐食代を設けるとともに腐食代に応じた耐用期間を設定する。また、ロックボルトの頭部が水路内に露出する場合は、防錆処理（塗装工等）の耐用期間に従い個別に設定しなければならない。

（注 5）：ライナープレートの亜鉛めっき付着量は片面 450g/m²（HDZT63）であり、田園地帯・山間地帯における大気中の腐食速度（片面）は平均で 6~10g/m²/年であるので、擁ね母材の耐用期間（50 年）と同等の耐久性を有すると考えられる。ただし、大気や用水が強い腐食性を有する場合はめっきの腐食速度に応じた耐用期間を設定する必要がある。ここでは、気中部の部材の期待される耐用期間は 40 年とし、水中部の部材の期待される耐用期間は 35 年とする。

続　き

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.参③-6　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」	P.参③-5　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」

2）対策後の施設又は部位の耐用期間の設定について

対策後の施設（又は部位）の耐用期間を『機能的耐用期間』として、工法・材料自身の耐久性に対策後の施設の耐久性評価に係る不確かさを踏まえて、

『工法・材料自身の長期耐久期間×（1－リスク係数の累計）』の式により算定するものとする。

ⅰ）工法材料の長期耐久性

工法・材料自身の耐用期間は 50 年とし、その耐久性を室内試験により照査する。

ⅱ）対策後の施設の耐久性評価において配慮すべき不確かさ（リスク）

対策後の施設又は部位の機能的耐用期間を検討する上で考慮すべきリスク（不確実性）とその係数を以下のとおり設定する。

- 地下構造物のため対策後の施設状態の日常点検や再劣化対策が困難【α_1：0.1】
- 対策後の施設の性能低下予測と低下時の施設状態の想定が困難【α_2：0.1】
- 覆工と対策工法の相互作用が不明確【α_3：0.1】
- 事前に照査しきれない施工時の気温や施工延長、断面寸法等の現場施工条件上による裏込注入材・裏込充填材の現場充填性や強度発現のバラツキの施設性能への影響が不明確（ただし、裏込充填材が構造部材ではなく補強部材に背面地山の反力を伝達する基礎材料とする場合は本リスクを考慮しない）【α_4：0.1】
- ロックボルト補強工法やライナープレート建込工法において、めっき皮膜の耐久性に支配される場合【α_5：0.1】

2）対策後の施設又は部位の耐用期間の設定について

対策後の施設（又は部位）の耐用期間を『機能的耐用期間』として、工法・材料自身の耐久性に対策後の施設の耐久性評価に係る不確かさを踏まえて、

『工法・材料自身の長期耐久期間×（1－リスク係数の累計）』の式により算定することとする。

ⅰ）工法材料の長期耐久性

工法・材料自身の耐用期間は 50 年とし、その耐久性を室内試験により照査する。

ⅱ）対策後の施設の耐久性評価において配慮すべき不確かさ（リスク）

対策後の施設又は部位の機能的耐用期間を検討する上で考慮すべきリスク（不確実性）とその係数を以下のとおり設定する。

- 地下構造物のため対策後の施設状態の日常点検や再劣化対策が困難【α_1：0.1】
- 対策後の施設の性能低下予測と低下時の施設状態の想定が困難【α_2：0.1】
- 覆工と対策工法の相互作用が不明確【α_3：0.1】
- 事前に照査しきれない施工時の気温や施工延長、断面寸法等の現場施工条件上による裏込注入材・裏込充填材の現場充填性や強度発現のバラツキの施設性能への影響が不明確（ただし、裏込充填材が構造部材ではなく補強部材に背面地山の反力を伝達する基礎材料とする場合は本リスクを考慮しない）【α_4：0.1】
- ロックボルト補強工法において、めっき皮膜の耐久性に支配される場合【α_5：0.1】

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.参③-7　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」

参③表-2　対策後の施設又は部位の耐用期間（参考値）で考慮した耐久性評価のリスク

工法名	適用目的	対策後の施設の耐久性評価のリスク
裏込注入工法	補修 （主に漏水対策） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・背面地山の長期安定性が不明確（α_3） （湧水等の作用による再空洞化のおそれ） ・施工条件による現場充填性や強度発現のバラツキ（α_4）
鋼板内張工法	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
既製管挿入工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
製管工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・構造部材である裏込充填材の施工条件による現場充填性の確保（α_4）
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・構造部材である裏込充填材の施工条件による現場充填性の確保（α_4）(注1)
接着工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・付着性のバラツキに伴うリスク（α_4）
ロックボルト 補強工法	補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・背面地山の長期安定性が不明確（α_3） ・周面摩擦抵抗のバラツキに伴うリスク（α_4） ・防錆材の耐久性に伴うリスク（α_5）(注2)
ライナープレート 建込工法	補強 （主に地山の劣化抑制と新たな覆工構築による耐荷性向上）	・日常点検が困難（α_1） ・背面地山の長期安定性が不明確（α_3） ・防錆材の耐久性に伴うリスク（α_5）(注3)

（注1）裏込充填材に構造部材としての強度を期待する工法についてはα_4を適用し、裏込充填材に背面地山の反力を伝達する機能を期待する工法についてはα_4を適用しない。
（注2）めっき皮膜の耐久性に支配される場合にα_5を適用する。高耐食性めっきを施す場合や定着材式ロックボルトで溶融亜鉛めっきを施す場合はα_5を適用しない。
（注3）大気や用水が強い腐食性を有する場合にα_5を適用する。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.参③-6　「参考③　対策工法の効果が期待される期間」

参③表-2　対策後の施設又は部位の耐用期間（参考値）で考慮した耐久性評価のリスク

工法名	適用目的	対策後の施設の耐久性評価のリスク
裏込注入工法	補修 （主に漏水対策） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・背面地山の長期安定性が不明確（α_3） （湧水等の作用による再空洞化のおそれ） ・施工条件による現場充填性や強度発現のバラツキ（α_4）
鋼板内張工法	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
既製管挿入工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3）
製管工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・構造部材である裏込充填材の施工条件による現場充填性の確保（α_4）
	改修（自立管） （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・構造部材である裏込充填材の施工条件による現場充填性の確保（α_4）(注1)
接着工法	補修 （主に水密性、通水性の回復・向上） 補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・覆工と補強材の相互作用が不明確（α_3） ・付着性のバラツキに伴うリスク（α_4）
ロックボルト 補強工法	補強 （主に耐荷性の回復・向上）	・日常点検が困難（α_1） ・覆工の性能低下予測が困難（α_2） ・背面地山の長期安定性が不明確（α_3） ・周面摩擦抵抗のバラツキに伴うリスク（α_4） ・防錆材の耐久性に伴うリスク（α_5）(注2)

（注1）裏込充填材に構造部材としての強度を期待する工法についてはα_4を適用し、裏込充填材に背面地山の反力を伝達する機能を期待する工法についてはα_4を適用しない。
（注2）めっき皮膜の耐久性に支配される場合にα_5を適用する。高耐食性めっきを施す場合や定着材式ロックボルトで溶融亜鉛めっきを施す場合はα_5を適用しない。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
「巻末資料　目次」	「巻末資料　目次」

巻末資料

1. 現地調査方法 …… 巻末-1

2. 各試験方法（案） …… 巻末-24

3. 施工管理項目等参考例 …… 巻末-39

巻末資料

1. 現地調査方法 …… 巻末-1

2. 各試験方法（案） …… 巻末-23

3. 施工管理項目等参考例 …… 巻末-36

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-3　「2.　地表面・地山の調査」	P.巻末-3　「2.　地表面・地山の調査」

験（地山試料試験）を行うことによって、地山の物性値や力学特性を把握することができる。地山の主な試料試験項目については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）p.241 を参考にされたい。

また、掘削後のボーリング孔を利用して、ボアホールカメラなどによる諸観察を行い、コア観察だけではわからない事項（亀裂状況、地下水、岩石の硬さなど）を判断するためのデータを得ることができるほか、地中変位計や傾斜計を挿入して地山の変位を観察することもできる。

(4) 地山剛性調査

地山剛性調査は、弾性波探査等によりトンネル覆工背面の地山の剛性を把握するために行うものであり、この結果から地山の弾性係数等、対策工の設計条件を得ることが目的である。

弾性波探査には、地表から測定する方法と坑内から測定する方法があるが、既設トンネルの補強・改修対策の検討に際しては、覆工背面の緩み領域の弾性波速度や緩み層厚を正確に測定できる坑内弾性波探査を適用するのが望ましい。なお、坑内弾性波探査については、**11. 緩み領域調査**の項で詳述する。

地山の弾性波探査については、トンネル建設当時の地質調査報告書等に記録されている場合があるので、事前にそれらの資料調査を行い、地山の剛性を確認することが望ましい。ただし、対策を必要とする変状トンネルの場合は、既設覆工背面に緩み領域が存在するため、対策工の構造設計に際しては、緩み領域の剛性を把握することが重要である。

また、コアボーリングにより地山のコアを採取し、地質や岩級区分から弾性係数を推定する方法もある。ただし、変状トンネルの既設覆工背面には緩み領域が存在するため、弾性係数の推定に留意する必要がある。コアボーリングで不撹乱試料が採取可能な場合は、強度試験から弾性係数を測定することも可能である。

その他の方法として、ボーリング孔を利用した孔内検層（速度検層）や孔内載荷試験を行い、弾性係数等を測定する方法がある。ただし、ボーリング調査には費用がかかること、及び小断面トンネルが主流の水路トンネル坑内からボーリング調査を実施することが難しいことに留意して計画しなければならない。

(5) 地山挙動調査

地山挙動調査は、地すべり等による地山の移動の計測、覆工の押出しが進行している場合の緩み領域の範囲の推定、対策工施工中の覆工及び地山の挙動を把握することを目的に行う。調査方法には、トンネル内からの地中変位測定と地表面から行う地すべり変位測定等がある。具体的な調査方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）pp.237～240 を参考にされたい。

3. 覆工の変状調査と打音調査

(1) 現地踏査

現地踏査については、技術的見地を持つ技術者が遠隔目視により対象施設の坑内を調査することにより、変状箇所の位置、変状の内容や程度などを大まかに把握し、覆工の変状調査（近接目視）

験（地山試料試験）を行うことによって、地山の物性値や力学特性を把握することができる。地山の主な試料試験項目については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年６月）P.165 を参考にされたい。

また、掘削後のボーリング孔を利用して、ボアホールカメラなどによる諸観察を行い、コア観察だけではわからない事項（亀裂状況、地下水、岩石の硬さなど）を判断するためのデータを得ることができるほか、地中変位計や傾斜計を挿入して地山の変位を観察することもできる。

(4) 地山剛性調査

地山剛性調査は、弾性波探査等によりトンネル覆工背面の地山の剛性を把握するために行うものであり、この結果から地山の弾性係数等、対策工の設計条件を得ることが目的である。

弾性波探査には、地表から測定する方法と坑内から測定する方法があるが、既設トンネルの補強・改修対策の検討に際しては、覆工背面の緩み領域の弾性波速度や緩み層厚を正確に測定できる坑内弾性波探査を適用するのが望ましい。なお、坑内弾性波探査については、**11. 緩み領域調査**の項で詳述する。

地山の弾性波探査については、トンネル建設当時の地質調査報告書等に記録されている場合があるので、事前にそれらの資料調査を行い、地山の剛性を確認することが望ましい。ただし、対策を必要とする変状トンネルの場合は、既設覆工背面に緩み領域が存在するため、対策工の構造設計に際しては、緩み領域の剛性を把握することが重要である。

また、コアボーリングにより地山のコアを採取し、地質や岩級区分から弾性係数を推定する方法もある。ただし、変状トンネルの既設覆工背面には緩み領域が存在するため、弾性係数の推定に留意する必要がある。コアボーリングで不撹乱試料が採取可能な場合は、強度試験から弾性係数を測定することも可能である。

その他の方法として、ボーリング孔を利用した孔内検層（速度検層）や孔内載荷試験を行い、弾性係数等を測定する方法がある。ただし、ボーリング調査には費用がかかること、及び小断面トンネルが主流の水路トンネル坑内からボーリング調査を実施することが難しいことに留意して計画しなければならない。

(5) 地山挙動調査

地山挙動調査は、地すべり等による地山の移動の計測、覆工の押出しが進行している場合の緩み領域の範囲の推定、対策工施工中の覆工及び地山の挙動を把握することを目的に行う。調査方法には、トンネル内からの地中変位測定と地表面から行う地すべり変位測定等がある。具体的な調査方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年６月）pp.162～164 を参考にされたい。

3. 覆工の観察調査と打音調査

(1) 現地踏査

現地踏査については、技術的見地を持つ技術者が遠隔目視により対象施設の坑内を調査することにより、変状箇所の位置、変状の内容や程度などを大まかに把握し、覆工の変状調査（近接目視）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-7　「3.　覆工の変状調査と打音調査」	**P.巻末-7**　「3.　覆工の観察調査と打音調査」

ひび割れは水路トンネルで最も一般的にみられる変状現象であり、ひび割れ形態、規模、パターン等を観察することにより荷重のかかり方、変状の状況、変状原因等をある程度推定することができる。水路トンネルの補修・補強対策を検討する上で、ひび割れ等の変状を精度良く調査することが最も重要である。

覆工の変状調査（近接目視）方法は、人力作業による方法と水路トンネル壁面の連続画像を取得して計測する方法がある。後者は人力作業に比べ調査時間を大幅に短縮することができるため、断水時間の制約を受ける場合や長距離トンネルでの適用実績が多い。これらの適用性を把握し、所定の時間内に精度の高い調査を実施することが重要である。適用性については本書の参考資料①「**覆工表面画像取得技術の適用性**」を参照されたい。

1）人力作業及び計測器による覆工の変状測定

人力作業による覆工変状測定は、クラックスケールや巻尺によってひび割れの幅や位置を調査し、ひび割れ等の変状展開図を作成するものである。人力による覆工変状調査は、暗所での長時間労働となり、作業条件が極めて悪いことや観察者の主観が入りやすいという欠点があるため機械を使った方法に移行しつつある。しかし、緊急性を要する場合や調査対象が狭い場合には依然として有効な方法である。

2）覆工表面画像取得による覆工の変状測定

近年、覆工表面画像取得による水路トンネルの覆工の変状調査方法が開発され、ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法やレーザーによる方法が実用化されている。

①　ビデオカメラによる覆工変状測定方法

ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法は、測定用台車上の架台に設置した複数台のビデオカメラと照明機器を用いてトンネル坑口から連続で撮影し、画像処理によりひび割れを検出するものである。撮影時の走行速度によりひび割れの検出限界があり、時速 30km の走行で 0.5mm 程度、時速 3km の走行で 0.3mm 程度のひび割れを検出することが可能である。ひび割れ以外にも漏水、エフロレッセンス等の検出も可能である。

画像処理は、複数台のビデオカメラにより撮影した画像とトンネル縦断方向の画像を静止画の状態で貼り合わせ処理を行い、展開画像を作成するものである。

調査方法は、画像から全ての変状を確認・計測する方法と、人力作業の補助として変状の確認（ひび割れ幅の測定を含む）とチョーキングを人力で行った後、撮影した画像を元に変状展開図を作成する 2 種類の方法に大別される。前者は画像からひび割れ幅等を測定するために、高画質画像データが必要であり、高スペックの機器が必要となることや、データ容量が非常に大きく扱いにくいという欠点がある。一方、後者（補助）はあらかじめ人力により変状をチョーキングした後で撮影を行い、画像に写ったチョーキングを元に変状展開図を作成する方法である。この方法は、高画質画像を必要としないため、汎用機器の使用が可能であることや、データ容量が小さく扱いやすいといったメリットがある。

写真-1.1 にビデオカメラによる覆工変状測定状況を、**図-1.2** にビデオカメラ（CCD エリアカ

ひび割れは水路トンネルの変状現象で最も一般的にみられる変状現象であり、ひび割れ形態、規模、パターン等を観察することにより荷重のかかり方、変状の状況、変状原因等をある程度推定することができる。水路トンネルの補修・補強対策を検討する上で、ひび割れ等の変状を精度良く調査することが最も重要である。

覆工の変状調査（近接目視）方法は、人力作業による方法と水路トンネル壁面の連続画像を取得して計測する方法がある。後者は人力作業に比べ調査時間を大幅に短縮することができるため、断水時間の制約を受ける場合や長距離トンネルでの適用実績が多い。これらの適用性を把握し、所定の時間内に精度の高い調査を実施することが重要である。適用性については本書の参考資料①「**覆工表面画像取得技術の適用性**」を参照されたい。

1）人力作業及び計測器による覆工の変状測定

人力作業による覆工変状測定は、クラックスケールや巻尺によってひび割れの幅や位置を調査し、ひび割れ等の変状展開図を作成するものである。人力による覆工変状調査は、暗所での長時間労働となり、作業条件が極めて悪いことや観察者の主観が入りやすいという欠点があるため機械を使った方法に移行しつつある。しかし、緊急性を要する場合や調査対象が狭い場合には依然として有効な方法である。

2）覆工表面画像取得による覆工の変状測定

近年、覆工表面画像取得による水路トンネルの覆工の変状調査方法が開発され、ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法やレーザーによる方法が実用化されている。

①　ビデオカメラによる覆工変状測定方法

ビデオカメラ（CCD エリアカメラ等）による方法は、測定用台車上の架台に設置した複数台のビデオカメラと照明機器を用いてトンネル坑口から連続で撮影し、画像処理によりひび割れを検出するものである。撮影時の走行速度によりひび割れの検出限界があり、時速 30km の走行で 0.5mm 程度、時速 3km の走行で 0.3mm 程度のひび割れを検出することが可能である。ひび割れ以外にも漏水、エフロレッセンス等の検出も可能である。

画像処理は、複数台のビデオカメラにより撮影した画像とトンネル縦断方向の画像を静止画の状態で貼り合わせ処理を行い、展開画像を作成するものである。

調査方法は、画像から全ての変状を確認・計測する方法と、人力作業の補助として変状の確認（ひび割れ幅の測定を含む）とチョーキングを人力で行った後、撮影した画像を元に変状展開図を作成する 2 種類の方法に大別される。前者は画像からひび割れ幅等を測定するために、高画質画像データが必要であり、高スペックの機器が必要となることや、データ容量が非常に大きく扱いにくいという欠点がある。一方、後者（補助）はあらかじめ人力により変状をチョーキングした後で撮影を行い、画像に写ったチョーキングを元に変状展開図を作成する方法である。この方法は、高画質画像を必要としないため、汎用機器の使用が可能であることや、データ容量が小さく扱いやすいといったメリットがある。

写真-1.1 にビデオカメラによる覆工変状測定状況を、**図-1.2** にビデオカメラ（CCD エリアカ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-10 「4. ひび割れ調査」	P.巻末-10 「4. ひび割れ調査」

4. ひび割れ調査

(1) ひび割れ幅の測定

ひび割れ調査は変状の進行の有無とその進行状況を確認する目的で行われる。ひび割れの測定方法としては、①ひび割れにクラックスケールを当てて、ひび割れの幅に該当するクラックスケール上の線の太さを読み取る方法や、②ひび割れの末端に印をつけ、観測した日付を壁面に記入する方法、③ひび割れをまたいで標点を設置し、その間隔をノギス等で計測する方法等が適用される。なお、ひび割れ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）p.243 を参考にされたい。

透明なプラスチック板に目盛りを表示したひび割れ測定ゲージを覆工コンクリートの表面に２枚接着し、それらの位置のずれを読み取るだけの簡便な方法もあるが、曲面への接着性が劣るため、水流抵抗で剥がれてしまうことがあるので留意する必要がある。

ひび割れ又は施工目地に段差が生じている場合には、開口幅と同時に段差もメジャー等で測定することが望ましい。なお、これらの調査結果を時系列的に記録、整理することにより、進行性の有無又は進行速度を把握する。

(2) ひび割れ深さ・方向性等の測定

ひび割れの深さや方向性等の測定法の例としては、コアボーリングによりひび割れを観察記録する方法や超音波を用いてひび割れ位置や深さを測定する方法がある。前者は圧縮ひび割れ（圧ざ）の状況を確認するのに適した方法である。また、後者は開口ひび割れの深さを測定するのに適した方法である。

なお、ひび割れ深さ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）pp.244～246 を参考にされたい。

(3) ひび割れ変化調査

ひび割れの形状に変化が認められる場合には、変状が進行している可能性が高く、何らかの対策が必要な場合が多い。本調査はこうした場合、ひび割れの進行性を詳細に調べることを目的に行う調査である。ひび割れ変化調査の調査要領については **(1) ひび割れ幅の測定**を参照する。

5. 湧水及び漏水調査

(1) 湧水調査

湧水の調査は、位置、量、濁りの有無、などについて調査する。

1) 位置

不規則に覆工表面を濡らして滴下する水は、覆工材質の不良あるいはひび割れの存在を示すものであり、更にそれらの欠陥を促進するように作用するものである。湧水位置及び範囲は、変状展開図（**図-1.1**）上に示すものとする。

2) 湧水量

水路トンネル内の湧水量や湧水状態を調べる。湧水状態は、**図-1.4** の分類を参考にして次のようにＡ～Ｄに区分し、変状展開図に記載する。

4. ひび割れ調査

(1) ひび割れ幅の測定

ひび割れ調査は変状の進行の有無とその進行状況を確認する目的で行われる。ひび割れの測定方法としては、①ひび割れにクラックスケールを当てて、ひび割れの幅に該当するクラックスケール上の線の太さを読み取る方法や、②ひび割れの末端に印をつけ、観測した日付を壁面に記入する方法、③ひび割れをまたいで標点を設置し、その間隔をノギス等で計測する方法等が適用される。なお、ひび割れ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年６月）P.167 を参考にされたい。

透明なプラスチック板に目盛りを表示したひび割れ測定ゲージを覆工コンクリートの表面に２枚接着し、それらの位置のずれを読み取るだけの簡便な方法もあるが、曲面への接着性が劣るため、水流抵抗で剥がれてしまうことがあるので留意する必要がある。

ひび割れ又は施工目地に段差が生じている場合には、開口幅と同時に段差もメジャー等で測定することが望ましい。なお、これらの調査結果を時系列的に記録、整理することにより、進行性の有無又は進行速度を把握する。

(2) ひび割れ深さ・方向性等の測定

ひび割れの深さや方向性等の測定法の例としては、コアボーリングによりひび割れを観察記録する方法や超音波を用いてひび割れ位置や深さを測定する方法がある。前者は圧縮ひび割れ（圧ざ）の状況を確認するのに適した方法である。また、後者は開口ひび割れの深さを測定するのに適した方法である。

なお、ひび割れ深さ測定方法の概要については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年６月）pp.168～170 を参考にされたい。

(3) ひび割れ変化調査

ひび割れの形状に変化が認められる場合には、変状が進行している可能性が高く、何らかの対策が必要な場合が多い。本調査はこうした場合、ひび割れの進行性を詳細に調べることを目的に行う調査である。ひび割れ変化調査の調査要領については **(1) ひび割れ幅の測定**を参照する。

5. 湧水及び漏水調査

(1) 湧水調査

湧水の調査は、位置、量、濁りの有無、などについて調査する。

1) 位置

不規則に覆工表面を濡らして滴下する水は、覆工材質の不良あるいはひび割れの存在を示すものであり、更にそれらの欠陥を促進するように作用するものである。湧水位置及び範囲は、変状展開図（**図-1.1**）上に示すものとする。

2) 湧水量

水路トンネル内の湧水量や湧水状態を調べる。湧水状態は、**図-1.4** の分類を参考にして次のようにＡ～Ｄに区分し、変状展開図に記載する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-12　「5.　湧水及び漏水調査」	**P.巻末-12　「5.　湧水及び漏水調査」**

地表水に関係するものかの判別に利用できる。同一地点において顕著な変動が認められる場合には、湧水が地表水に直接関係することを示している。

このほか、トンネルの変状や湧水の原因を究明するために、湧水に含まれている成分を詳しく調べる必要がある場合には、湧水を採取して詳細な水質分析を行う。

コンクリートに接触している水の pH について概略的な判断基準については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）p.249 を参照する。湧水が強い酸性を示す場合で湧水中にコンクリートの劣化に対し有害な酸が含まれている場合には、セメント水和物が溶解され崩壊する等の現象が現れる場合があるので注意が必要である。

6. 覆工厚と背面空洞調査

覆工厚・背面空洞（地山）調査は、覆工コンクリートの巻厚や背面の空洞及び背面の地山状況を調査し、変状原因の推定及び対策工設計等に必要な資料を得ることを目的とした調査である。調査の方法には、局所破壊検査法（覆工ボーリング調査等）により直接測定・観察する方法と非破壊検査法（電磁波レーダー法等）がある。これらの調査方法により、覆工巻厚と覆工背面の空洞及び覆工背面の地質状況あるいは裏込の有無などについて調べるものである。

(1) 局所破壊検査による調査

局所破壊検査による調査は、覆工巻厚及び空洞の深さ、背面の地質状況等を覆工ボーリング調査により直接測定及び観察するものである。覆工のボーリング調査には簡易なボーリング機（コアボーリング又は削孔）が用いられる。また、削孔したボーリング孔内にボアスコープ又はファイバースコープを挿入して観察することにより、背面の状況を精度よく観察できる。

覆工ボーリング調査の位置は調査の目的により異なるが、**図-1.5** に標準的な位置を示す。簡易ボーリング機による削孔状況を**写真-1.2** に示す。

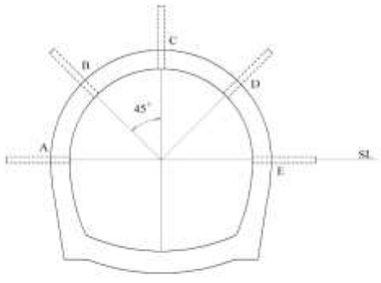


図-1.5　覆工ボーリング調査位置（例）



写真-1.2　簡易ボーリング機による削孔作業

標準的な電動式簡易ボーリング機の穿孔深度は 0.5m 程度であり、それより深い穿孔には油圧式簡易ボーリング機等が必要となる。ボーリング深さについて、対策工の計画のためにトンネル周辺地山の地質状況の把握や地山の物理試験が必要な場合には、深さ 3～10m 程度のボーリングが必要であり、大型のボーリング機械が必要となる。小断面トンネルの坑内から大型ボーリング機械によ

地表水に関係するものかの判別に利用できる。同一地点において顕著な変動が認められる場合には、湧水が地表水に直接関係することを示している。

このほか、トンネルの変状や湧水の原因を究明するために、湧水に含まれている成分を詳しく調べる必要がある場合には、湧水を採取して詳細な水質分析を行う。

コンクリートに接触している水の pH について概略的な判断基準については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年６月）P.173 を参照する。湧水が強い酸性を示す場合で湧水中にコンクリートの劣化に対し有害な酸が含まれている場合には、セメント水和物が溶解され崩壊する等の現象が現れる場合があるので注意が必要である。

6. 覆工厚と背面空洞調査

覆工厚・背面空洞（地山）調査は、覆工コンクリートの巻厚や背面の空洞及び背面の地山状況を調査し、変状原因の推定及び対策工設計等に必要な資料を得ることを目的とした調査である。調査の方法には、局所破壊検査法（覆工ボーリング調査等）により直接測定・観察する方法と非破壊検査法（電磁波レーダー法等）がある。これらの調査方法により、覆工巻厚と覆工背面の空洞及び覆工背面の地質状況あるいは裏込の有無などについて調べるものである。

(1) 局所破壊検査による調査

局所破壊検査による調査は、覆工巻厚及び空洞の深さ、背面の地質状況等を覆工ボーリング調査により直接測定及び観察するものである。覆工のボーリング調査には簡易なボーリング機（コアボーリング又は削孔）が用いられる。また、削孔したボーリング孔内にボアスコープ又はファイバースコープを挿入して観察することにより、背面の状況を精度よく観察できる。

覆工ボーリング調査の位置は調査の目的により異なるが、**図-1.5** に標準的な位置を示す。簡易ボーリング機による削孔状況を**写真-1.2** に示す。

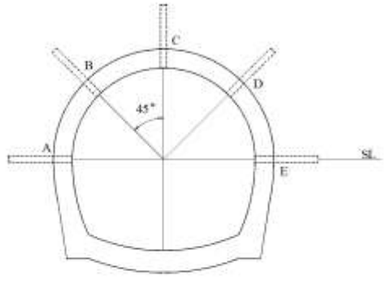


図-1.5　覆工ボーリング調査位置（例）



写真-1.2　簡易ボーリング機による削孔作業

標準的な電動式簡易ボーリング機の穿孔深度は 0.5m 程度であり、それより深い穿孔には油圧式簡易ボーリング機等が必要となる。ボーリング深さについて、対策工の計画のためにトンネル周辺地山の地質状況の把握や地山の物理試験が必要な場合には、深さ 3～10m 程度のボーリングが必要であり、大型のボーリング機械が必要となる。小断面トンネルの坑内から大型ボーリング機械によ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-16　「8.　トンネル断面の形状調査」	P.巻末-16　「8.　トンネル断面の形状調査・形状変化調査」

8. トンネル断面の形状調査

(1) 簡易トンネル断面測定

変状の状況から、トンネル断面の傾斜、天端沈下等の断面変形が予想される場合には、簡易に断面寸法を測定し、上下流の健全な箇所と比較することにより、断面変形の有無を把握することができる。また、調査の実施に際し、トンネルの施工断面図がない場合には、展開図作成のため断面測定を行う必要がある。

簡易に断面測定を行う方法としては、メジャーポールやレーザー距離計等を用いて、図-1.8 に示す程度の寸法を測定することにより、概略のトンネル断面を把握することができる。なお、トンネル断面寸法を正確に把握したい場合には、後述するトンネル断面測定器を用いる。

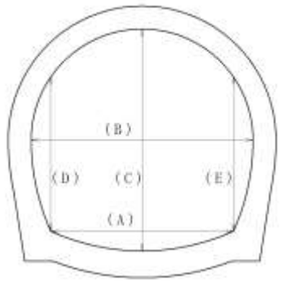


図-1.8　断面寸法測定位置

(2) 覆工断面の形状変化調査

覆工断面の形状変化の測定は、水理断面に対する余裕や作用土圧の方向を推定したり、内空幅の変化量から変状の進行速度を測定したりすることを目的に行う。また、補強対策後の水路トンネルに対しては、補強効果の照査（モニタリング）に欠かせない調査項目である。

覆工断面の形状変化の測定方法には、断面の形状寸法を測定して設計断面と比較するためのトンネル内空断面測定と、内空断面の変化量を経時的に測定する内空変位測定がある。

1) トンネル内空断面測定

トンネルの内空断面の形状を、断面測定器を用いて測定し、覆工が変形したり、移動したりしているときには、水理断面に対する余裕をチェックする。また、断面変形の傾向からトンネルの作用土圧の方向を推定することができる場合がある。

トンネル断面の測定には、反射板が必要ないノンプリズム光波計による方法やレーザーを用いたスキャナによる方法（3D スキャナ測量）等が適用されている。スキャナは、覆工面にレーザー光を照射して対象物の凹凸を関知し、3 次元の断面形状が得られる。計測距離は 50～300m 程度である。測定に際しては、時系列的な追跡が可能なように、測定断面を一定にできるような目印（標点）を設けておくことが望ましい。図-1.9 にトンネル断面測定例（3D スキャナ測量による）を示す。こ

8. トンネル断面の形状調査・形状変化調査

(1) 簡易トンネル断面測定

変状の状況から、トンネル断面の傾斜、天端沈下等の断面変形が予想される場合には、簡易に断面寸法を測定し、上下流の健全な箇所と比較することにより、断面変形の有無を把握することができる。また、調査の実施に際し、トンネルの施工断面図がない場合には、展開図作成のため断面測定を行う必要がある。

簡易に断面測定を行う方法としては、メジャーポールやレーザー距離計等を用いて、図-1.8 に示す程度の寸法を測定することにより、概略のトンネル断面を把握することができる。なお、トンネル断面寸法を正確に把握したい場合には、後述するトンネル断面測定器を用いる。

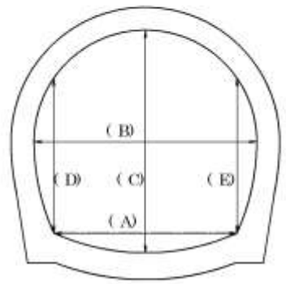


図-1.8　断面寸法測定位置

(2) 覆工断面の形状変化調査

覆工断面の形状変化の測定は、水理断面に対する余裕や作用土圧の方向を推定したり、内空幅の変化量から変状の進行速度を測定したりすることを目的に行う。また、補強対策後の水路トンネルに対しては、補強効果の照査（モニタリング）に欠かせない調査項目である。

覆工断面の形状変化の測定方法には、断面の形状寸法を測定して設計断面と比較するためのトンネル内空断面測定と、内空断面の変化量を経時的に測定する内空変位測定がある。

1) トンネル内空断面測定

トンネルの内空断面の形状を、断面測定器を用いて測定し、覆工が変形したり、移動したりしているときには、水理断面に対する余裕をチェックする。また、断面変形の傾向からトンネルの作用土圧の方向を推定することができる場合がある。

トンネル断面の測定には、反射板が必要ないノンプリズム光波計による方法やレーザーを用いたスキャナによる方法（3D スキャナ測量）等が適用されている。スキャナは、覆工面にレーザー光を照射して対象物の凹凸を関知し、3 次元の断面形状が得られる。1 回の計測（約 5 分）で、直径 150～300m 程度の範囲が計測できる性能を保有する。測定に際しては、時系列的な追跡が可能なように、測定断面を一定にできるような目印（標点）を設けておくことが望ましい。図-1.9 にトンネ

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-18　「9.　トンネルの測量」	P.巻末-18　「9.　トンネルの測量」

内空変位測定によって得られた測点間の長さの変化には、外力によるもの、覆工・地山の温度変化によるもの、テープ式ではテープ自体の温度変化の影響によるもの、測定誤差によるものなどが含まれている。これらの中から外力によるもののみを取り出すためには、健全な箇所でも同様の測定を行ったり、温度補正を行うなどして変動値を差し引いたりして相対差を求めるのがよい。

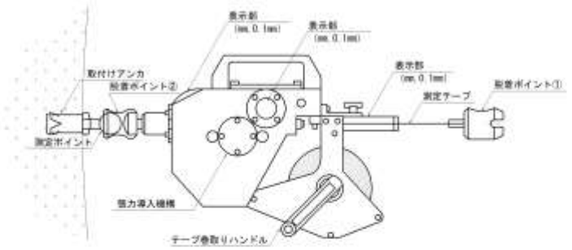


図-1.11　テープ式内空変位測定器

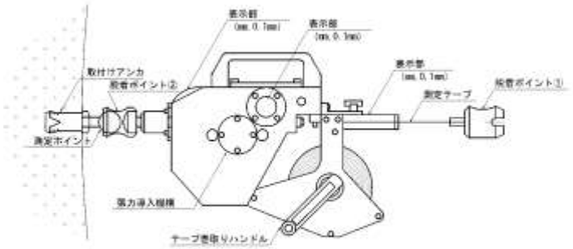


図-1.11　テープ式内空変位測定器

9. トンネルの測量

(1) 坑内路線測量

補強・改修計画をたてる上で、既設トンネルの平面線形、縦断線形、断面形状及び延長を調査する必要がある。平面線形に屈折や小さな半径の曲線がある場合は、線形の改良が必要になるので、既設トンネルの平面形状を実測して図化しておくとよい。小断面トンネルでは、わずかな曲線や屈折が施工機械等の通行の妨げになる場合があるので、このような区間の平面形状を正確に調査しておく必要がある。

また、インバートの高さ、アーチクラウンの高さ等の水準測量並びに側壁位置等の横断測量等の路線測量を行うことにより、トンネル全体の移動の有無やインバートの沈下、浮き上がりの傾向を把握でき、変状原因推定の有効な資料となる。

坑内路線測量を行う際の測量機器には、トランシット、レベル、光波測距儀、トータルステーションなどが適用される。鋼板内張工法や既製管挿入工法を適用する場合には、詳細な更生管の割り付けが必要となるため、近年、3D スキャナ測量により坑内路線測量が行われる事例が増えている。

鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法等を適用する場合は、資材の通過検討や離隔確認を行うため、WSP 080-2015「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針」日本水道鋼管協会、pp.53-55 に準拠した 3 次元測量が必要であり、3D スキャナ測量を実施することが望ましい。

(2) 地表の路線測量

土かぶりの薄いトンネルの改修では、どの程度の土かぶりがあるかを調査し、補強・改修におけるトンネル構造の検討資料とする。

地表に構造物や民家等がある場合にも土かぶりを調べておく必要がある。

内空変位測定によって得られた測点間の長さの変化には、外力によるもの、覆工・地山の温度変化によるもの、テープ式ではテープ自体の温度変化の影響によるもの、測定誤差によるものなどが含まれている。これらの中から外力によるもののみを取り出すためには、健全な箇所でも同様の測定を行ったり、温度補正を行うなどして変動値を差し引いたりして相対差を求めるのがよい。

9. トンネルの測量

(1) 坑内路線測量

補強・改修計画をたてる上で、既設トンネルの平面線形、縦断線形、断面形状及び延長を調査する必要がある。平面線形に屈折や小さな半径の曲線がある場合は、線形の改良が必要になるので、既設トンネルの平面形状を実測して図化しておくとよい。小断面トンネルでは、わずかな曲線や屈折が施工機械等の通行の妨げになる場合があるので、このような区間の平面形状を正確に調査しておく必要がある。

また、インバートの高さ、アーチクラウンの高さ等の水準測量並びに側壁位置等の横断測量等の路線測量を行うことにより、トンネル全体の移動の有無やインバートの沈下、浮き上がりの傾向を把握でき、変状原因推定の有効な資料となる。

坑内路線測量を行う際の測量機器には、トランシット、レベル、光波測距儀、トータルステーションなどが適用される。鋼板内張工法や既製管挿入工法を適用する場合には、詳細な更生管の割り付けが必要となるため、近年、3D スキャナ測量により坑内路線測量が行われる事例が増えている。

鋼板内張工法や既製管挿入工法、製管工法等を適用する場合は、資材の通過検討や離隔確認を行うため、「パイプ・イン・パイプ工法設計・施工指針」WSP 080-2015、日本水道鋼管協会、pp.53-55 に準拠した 3 次元測量が必要であり、3D スキャナ測量を実施することが望ましい。

(2) 地表の路線測量

土かぶりの薄いトンネルの改修では、どの程度の土かぶりがあるかを調査し、補強・改修におけるトンネル構造の検討資料とする。

地表に構造物や民家等がある場合にも土かぶりを調べておく必要がある。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-19 「10. 覆工応力と作用荷重」	P.巻末-19 「10. 覆工応力と作用荷重」

10. 覆工応力と作用荷重

（1）覆工応力・ひずみ測定

覆工応力は、覆工コンクリートに直接ひずみ計を取り付けて測定する方法とコンクリート中にひずみ計を埋め込んで測定する方法がある。ひずみ計をあらかじめ取り付けておき、施工当初からの累積値を測定することで覆工コンクリートの応力を測定することができる。参考事例として、応力解放法による覆工応力の計測事例を以下に示す。

（参考：深沢成年他、内空変位の長期計測と覆工応力計測に基づく長大海底トンネルの健全性評価、土木学会論文集 F1（トンネル工学）、Vol.72、No.1、pp.1-10（2016））

ただし、ひずみ計があらかじめ取り付けられていない場合の測定方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（令和２年８月）pp.266～267 を参考にされたい。

（2）水圧測定

水圧の測定は、トンネル内からボーリングを行って、覆工と地山の境界付近に間隙水圧計を設置することにより行われる。

11. 緩み領域調査

（1）補強工法検討のための調査

ロックボルト補強工法を検討する場合には、背面の緩み領域の調査（深度・強度）を行わなければならない。緩み領域の推定方法としては、以下の方法がある。

1）地山ボーリング調査

地山ボーリング調査には、坑内から行う場合と地表から行う場合の２種類の方法がある。土かぶりが大きい大断面トンネルにおいては通常坑内から行うが、小断面トンネルでは坑内から機械ボーリングを行うことが困難な場合が多い。坑口付近など土かぶりが小さい場合は地表から行う場合もある。

地山ボーリングの結果から、割れ目、強度、コアの状態を推定する。また、ボーリング孔を利用して孔内載荷試験や物理検層を行い、速度値の変化等から緩み領域を推定するとともに、緩み領域の変形係数等の設計定数を取得する。

2）坑内弾性波探査（P 波）

トンネル坑内において、トンネル縦断方向の弾性波探査を行い、覆工背面の緩み領域の範囲と弾性波速度を求めるものである。

一般に、物質は硬質になるほど弾性波速度が大きくなる性質を有している。坑内弾性波探査は、坑内でカケヤ等により人工的に弾性波を発生させ、覆工背面地山の速度の異なる地層境界を屈折して戻ってきた屈折波を坑内に設置した測定装置で観測して、覆工背面地山の速度構造を求める探査法であり、屈折法と呼ばれる。地中を伝播する弾性波には、実体波として P 波と S 波があり、屈折法では P 波の初動を利用した測定方法が一般的である。弾性波探査の測定概念については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）p.98 に詳述されている。また、**写真-1.6～1.9** に坑内弾性波探査作業状況を示す。また、**図-1.12** に弾性波探査結果断面

10. 覆工応力と作用荷重

（1）覆工応力と作用荷重の測定

覆工応力は、覆工コンクリートに直接ひずみ計を取り付けて測定する方法とコンクリート中にひずみ計を埋め込んで測定する方法がある。ひずみ計をあらかじめ取り付けておき、施工当初からの累積値を測定することで覆工コンクリートの応力を測定することができる。参考事例として、応力解放法による覆工応力の計測事例を以下に示す。

（参考：深沢成年他、内空変位の長期計測と覆工応力計測に基づく長大海底トンネルの健全性評価、土木学会論文集 F1（トンネル工学）、Vol.72、No.1、pp.1-10（2016））

ただし、ひずみ計があらかじめ取り付けられていない場合の測定方法については、「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】」日本道路協会（平成 27 年 6 月）pp.189～190 を参考にされたい。

また、水圧の測定は、トンネル内からボーリングを行って、覆工と地山の境界付近に間隙水圧計を設置することにより行われる。

11. 緩み領域調査

（1）補強工法検討のための調査

ロックボルト補強工法を検討する場合には、背面の緩み領域の調査（深度・強度）を行わなければならない。緩み領域の推定方法としては、以下の方法がある。

1）地山ボーリング調査

地山ボーリング調査には、坑内から行う場合と地表から行う場合の２種類の方法がある。土かぶりが大きい大断面トンネルにおいては通常坑内から行うが、小断面トンネルでは坑内から機械ボーリングを行うことが困難な場合が多い。坑口付近など土かぶりが小さい場合は地表から行う場合もある。

地山ボーリングの結果から、割れ目、強度、コアの状態を推定する。また、ボーリング孔を利用して孔内載荷試験や物理検層を行い、速度値の変化等から緩み領域を推定するとともに、緩み領域の変形係数等の設計定数を取得する。

2）坑内弾性波探査（P 波）

トンネル坑内において、トンネル縦断方向の弾性波探査を行い、覆工背面の緩み領域の範囲と弾性波速度を求めるものである。

一般に、物質は硬質になるほど弾性波速度が大きくなる性質を有している。坑内弾性波探査は、坑内でカケヤ等により人工的に弾性波を発生させ、覆工背面地山の速度の異なる地層境界を屈折して戻ってきた屈折波を坑内に設置した測定装置で観測して、覆工背面地山の速度構造を求める探査法であり、屈折法と呼ばれる。地中を伝播する弾性波には、実体波として P 波と S 波があり、屈折法では P 波の初動を利用した測定方法が一般的である。弾性波探査の測定概念については、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説　設計「水路トンネル」（平成 26 年 7 月）P.98 に詳述されている。また、**写真-1.6～1.9** に坑内弾性波探査作業状況を示す。また、**図-1.12** に弾性波探査結果断面図を、**図-1.13** に弾性波探査の解析例を示す。

新（改定版）

P.巻末-22　「11.　緩み領域調査」

発生した弾性波の波動には実体波として縦波（P 波）と横波（S 波）があり、それぞれの伝播速度 V_p、V_s と弾性係数等の関係は、**式 1.1**、**式 1.2**、**式 1.3** によって表される。また、V_p と V_s との関係は、**式 1.4** によって表される。

$$V_p=\sqrt{\frac{E\cdot g\cdot(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.1}$$

$$V_s=\sqrt{\frac{E\cdot g}{\rho\cdot 2(1+\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.2}$$

$$E=\frac{V_p^2\cdot\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{g\cdot(1-\nu)} \quad \cdots\cdots \text{式 1.3}$$

$$V_s=V_p\times\sqrt{\frac{1-2\nu}{2(1-\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.4}$$

ここに、ρ：密度、E：弾性係数、ν：ポアソン比、g：重力加速度

12　塗装及び鋼板の劣化調査

塗装及び鋼板の劣化に関する主な調査項目は、近接目視、塗装膜厚、鋼板板厚、腐食深さである。調査対象は、対象工法の全長を基本とし、劣化の位置別の傾向、劣化の種類ごとの傾向を把握する。

近接目視においては、工場塗装部、現場塗装部、インパート材、アーチ材別に観察し、劣化形態や位置を記録する。

錆こぶを除去するときは、過大な衝撃を与えて鋼板を損傷させないように注意する。錆の発生が多数ある場合は、代表的な箇所を選択して腐食深さを測定する。

測定の事例

（1）膜厚測定

塗装の膜厚は、電磁膜厚計（**図-1.14**）を用いて測定する。

（2）腐食部の深さ測定

腐食部の深さは、錆こぶを除去後にデプスゲージ（**図-1.15**）により測定する。



図-1.14　電磁膜厚計（例）

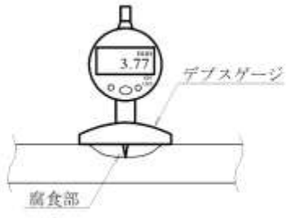


図-1.15　デプスゲージ測定概念

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.巻末-22　「11.　緩み領域調査」

発生した弾性波の波動には実体波として縦波（P 波）と横波（S 波）があり、それぞれの伝播速度 V_p、V_s と弾性係数等の関係は、**式 1.1**、**式 1.2**、**式 1.3** によって表される。また、V_p と V_s との関係は、**式 1.4** によって表される。

$$V_p=\sqrt{\frac{E\cdot g\cdot(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.1}$$

$$V_s=\sqrt{\frac{E\cdot g}{\rho\cdot 2(1+\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.2}$$

$$E=\frac{V_p^2\cdot\rho(1+\nu)(1-2\nu)}{g\cdot(1-\nu)} \quad \cdots\cdots \text{式 1.3}$$

$$V_s=V_p\times\sqrt{\frac{1-\nu}{2(1-2\nu)}} \quad \cdots\cdots \text{式 1.4}$$

ここに、ρ：密度、E：弾性係数、ν：ポアソン比、g：重力加速度

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-23 「12.　塗装及び鋼板の劣化調査」	
(3) 鋼板板厚測定 鋼板板厚は、超音波厚さ計（図-1.16）を用いて測定する。残存板厚は、腐食部付近の板厚を測定した後、腐食部の深さを引くことで求められる。測定は塗膜が劣化していない平滑な位置で行う。 超音波厚さ計には、①塗装膜厚を自動キャンセルする機能が付いた機種と、②自動キャンセル機能を持たない機種がある。自動キャンセル機能がない機種で塗装の上から測定する場合は、次のように計算で管厚を求める。 超音波厚さ計で、鋼板板厚と塗装膜厚を合わせた厚さ測定する（測定値 A）。同じ場所の塗装の塗膜を電磁膜厚計で測定する（測定値 B）。鋼板板厚は、超音波厚さ計の測定値から塗装厚さの3倍（音速が鋼と塗料で異なるため）を引いて計算で求める（計算値 C、$C=A-3\times B$）  図-1.16　超音波厚さ計（例）	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-25　「裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）」	P.巻末-24　「裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）」

裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）

試験方法規定者：東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（可塑性注入材）に対して、試験器具を用いて、注入材の充填性、非漏出性（隙間への進入深さ）、水中分離抵抗性、非収縮性の各種性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 試験種別

この試験の種別は次のとおり区分する。

① 充填性試験
② 非漏出性試験
③ 水中分離抵抗性試験
④ 非収縮性試験

3. 試験の一般条件

15℃～25℃の室内により、規定した各種試験装置を使用して試験を実施する。

3.1 充填性試験

3.1.1 試験装置

試験装置は図-3.1.1-1 のとおりとする。

a. 高さ 300mm、幅 300mm、長さ 4000mm の排水こう底部に、所定の傾斜を付けて、モルタルを打設し硬化させる。

b. 硬化した排水こう（容器）の下端には、高さ 100mm 程度のコンクリートブロックを 4 箇所、上端には 100mm 程度の角材（木材）を 4 箇所及び H 型鋼を 2 箇所固定する。

c. 表面には、充填状況等が確認できるように、透明のアクリル板を固定する。なお、注入圧力によるアクリル板の浮き上がり防止として、適当な間隔で鋼材にて固定を行う。

d. 上記で製作された容器内には、注入口と注入口から 2m の位置の計 2 箇所に、圧力計を設置する。

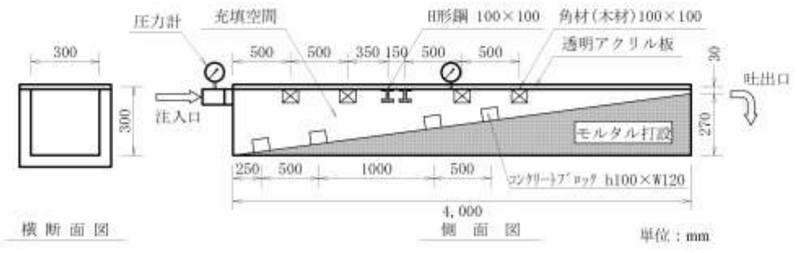


図-3.1.1-1　試験装置（充填性試験）

裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（可塑性注入材）に対して、試験器具を用いて、注入材の充填性、非漏出性（隙間への進入深さ）、水中分離抵抗性、非収縮性の各種性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 試験種別

この試験の種別は次のとおり区分する。

① 充填性試験
② 非漏出性試験
③ 水中分離抵抗性試験
④ 非収縮性試験

3. 試験の一般条件

15℃～25℃の室内により、規定した各種試験装置を使用して試験を実施する。

3.1 充填性試験

3.1.1 試験装置

試験装置は図-3.1.1-1 のとおりとする。

a. 高さ 300mm、幅 300mm、長さ 4000mm の排水こう底部に、所定の傾斜を付けて、モルタルを打設し硬化させる。

b. 硬化した排水こう（容器）の下端には、高さ 100mm 程度のコンクリートブロックを 4 箇所、上端には 100mm 程度の角材（木材）を 4 箇所及び H 型鋼を 2 箇所固定する。

c. 表面には、充填状況等が確認できるように、透明のアクリル板を固定する。なお、注入圧力によるアクリル板の浮き上がり防止として、適当な間隔で鋼材にて固定を行う。

d. 上記で製作された容器内には、注入口と注入口から 2m の位置の計 2 箇所に、圧力計を設置する。

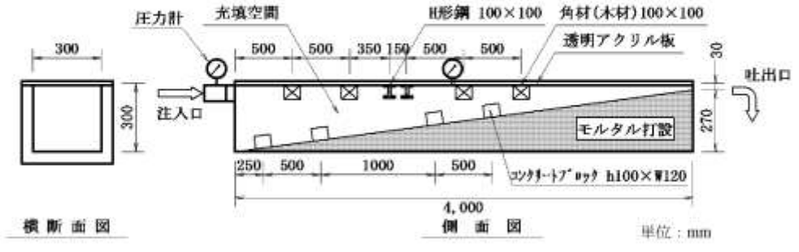


図-3.1.1-1　試験装置（充填性試験）

新（改定版）

P.巻末-26　「裏込注入工法（可堕性注入材）の適用性確認試験方法（案）」

3.1.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a. 試験装置内に注入材を注入する。

b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は 30 ℓ/min とする。

c. アクリル板から充填状況を観察する。

d. 圧力計にて、注入時の圧力を計測する。

e. 注入は、先端部の吐出口から、試料が流出した時点で終了とする。

f. 注入開始時点から約 2 時間経過後に、容器を解体して充填状況の確認を行う。このとき、容器内の上端・下端に設置した、角材や H 型鋼等の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。



写真-3.1.2-1　試験装置



写真-3.1.2-2　充填確認状況

旧（本マニュアル（令和 3 年 6 月制定））

P.巻末-25　「裏込注入工法（可堕性注入材）の適用性確認試験方法（案）」

3.1.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a. 試験装置内に注入材を注入する。

b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は 30 ℓ/min とする。

c. アクリル板から充填状況を観察する。

d. 圧力計にて、注入時の圧力を計測する。

e. 注入は、先端部の吐出口から、試料が流出した時点で終了とする。

f. 注入開始時点から約 2 時間経過後に、容器を解体して充填状況の確認を行う。このとき、容器内の上端・下端に設置した、角材や H 型鋼等の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。

3.2　非漏出性試験

3.2.1　試験装置

試験装置は図-3.2.1-1 のとおりとする。

a. 木枠、木板、透明アクリル板を加工し、所定の容器を作製する。

b. 隙間への漏出状況（注入材の進入深さ）を確認できるように、容器の表側には透明アクリル板を設置する。

c. 容器の片側には、長さ 400mm 程度のシュート状の投入口を作製する。

d. 容器の下部には、1・3・5・7・10mm の隙間を発泡スチロールにて作製する。

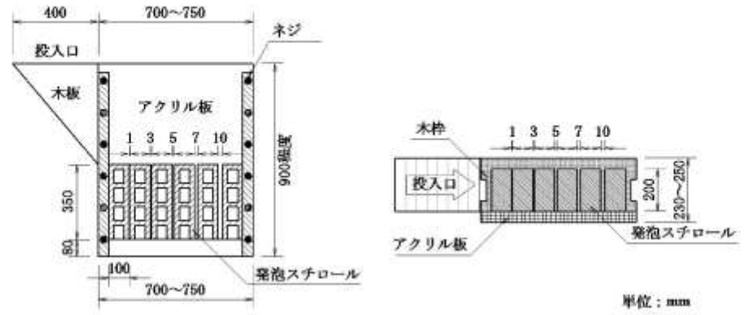


図-3.2.1-1　試験装置（非漏出性試験）

3.2.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a. 試験装置内に注入材を流し込む。ただし注入材は直接入れず、シュート状の投入口から流し込むものとする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-27　「裏込注入工法（可堕性注入材）の適用性確認試験方法（案）」	P.巻末-26　「裏込注入工法（可堕性注入材）の適用性確認試験方法（案）」

3.2　非漏出性試験

3.2.1　試験装置

試験装置は図-3.2.1-1 のとおりとする。

a. 木枠、木板、透明アクリル板を加工し、所定の容器を作製する。

b. 隙間への漏出状況（注入材の進入深さ）を確認できるように、容器の表側には透明アクリル板を設置する。

c. 容器の片側には、長さ 400mm 程度のシュート状の投入口を作製する。

d. 容器の下部には、1・3・5・7・10mm の隙間を発泡スチロールにて作製する。

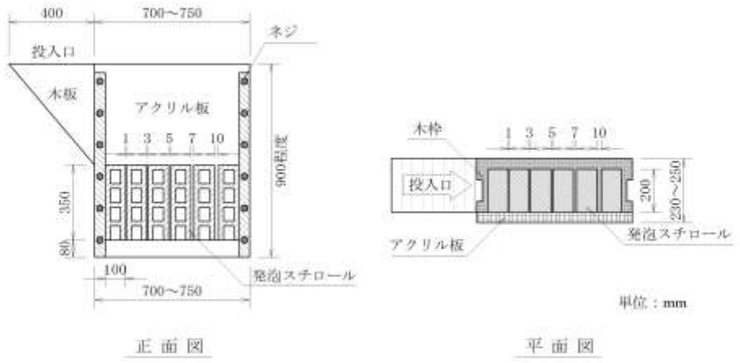


図-3.2.1-1　試験装置（非漏出性試験）

3.2.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a. 試験装置内に注入材を流し込む。ただし注入材は直接入れず、シュート状の投入口から流し込むものとする。

b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は 30 ℓ/min の速度とする。

c. 注入は、発泡スチロール天端から、高さ 300mm に達した時点で終了とする。

d. 各隙間に入り込んだ（進入した）注入材の深さを投入開始後 10min、30min、60min で計測する。

e. 注入材が発泡スチロールの隙間（350mm）に留まらず、垂れたり流出したりした場合を完全流出と判定する。

3.3　水中分離抵抗性試験

3.3.1　試験装置

試験装置は図-3.3.1-1 のとおりとする。

a. 長さ約 450mm 程度、幅 300mm 程度、高さ 300mm 程度の水槽に 26 ℓの水を張る。使用水は、

b. 注入材の注入流量（注入ホースからの吐出量）は 30 ℓ/min の速度とする。

c. 注入は、発泡スチロール天端から、高さ 300mm に達した時点で終了とする。

d. 各隙間に入り込んだ（進入した）注入材の深さを投入開始後 10min、30min、60min で計測する。

e. 試験装置の隙間長 350mm 以内の留まらず、垂れたり流出したりした場合を完全流出と判定する。

3.3　水中分離抵抗性試験

3.3.1　試験装置

試験装置は図-3.3.1-1 のとおりとする。

a. 長さ約 450mm 程度、幅 300mm 程度、高さ 300mm 程度の水槽に 26 ℓの水を張る。使用水は、pH が 7～8 程度の水道水とする。

b. 水槽の中に、pH 計を取り付ける。この時、pH 計の設置位置は、水面から 10cm とする。

c. 濁度は、水面から 10cm の位置よりスポイドで水をサンプリングし、分光光度計により波長 800nm での光透過率を測定する。

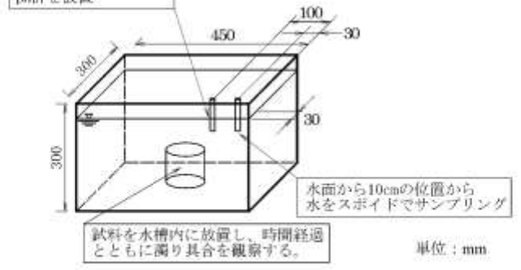


図-3.3.1-1　試験装置（水中分離抵抗性試験）

3.3.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a. φ80mm、高さ 80mm（NEXCO 規格）のフローコーンに注入材を注ぐ。

b. 水槽内にフローコーンを入れ、素早くフローコーンを除去する。この時、振動等の衝撃を与えず初期の濁り等はできるだけ発生しないようにするものとする。

c. 注入材を水槽に投入する前、投入直後、及び 10min、30min、60min 経過後の各々pH と濁度を測定する。

d. 各時間経過別の濁り具合を観察する。

（凡例）赤字：修正箇所

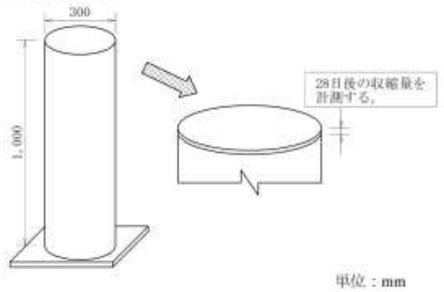
新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-29　「裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）」	P.巻末-27　「裏込注入工法（可塑性注入材）の適用性確認試験方法（案）」

3.4　非収縮性試験

3.4.1　試験装置

試験装置は図-3.4.1-1 のとおりとする。

a．φ300mm、高さ 1,000mm の硬質塩化ビニール管に下端に注入材の漏れが生じないように平板を取り付けた容器を作製する。



単位：mm

図-3.4.1-1　試験装置（非収縮性試験）

3.4.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a．容器に注入材を入れる。

b．注入材の水分発散防止のためにキャッピングを行い、15℃～25℃の室内にて養生を行う。

c．28 日経過後の収縮量を計測する。

4．報告

（1）使用材料の種類及び配合等

（2）充填性試験

解体後の充填確認においては、角材やＨ型鋼等の周辺への充填状況を、写真とともに記録する。

（3）非漏出性試験

隙間ごと、及び時間経過毎の計測値を記録する。また、全ての隙間への進入程度が一望できるような方向で、時間経過別に写真を撮影する。

（4）水中分離抵抗性試験

時間経過別の濁りの程度を写真撮影するとともに、供試体と濁りの状況を記録する。

（5）非収縮性試験

28 日後の収縮量の写真撮影をするとともに記録する。

（6）その他特記すべき事項

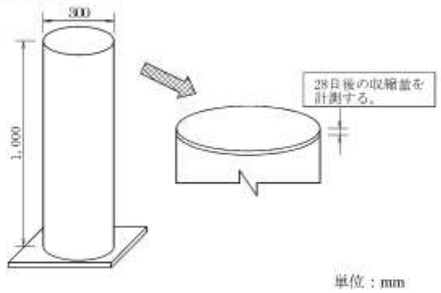
（矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工要領、東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社、西日本高速道路株式会社、平成 18 年 10 月、pp.30-33 を改変して転載）

3.4　非収縮性試験

3.4.1　試験装置

試験装置は図-3.4.1-1 のとおりとする。

a．φ300mm、高さ 1,000mm の硬質塩化ビニール管に下端に注入材の漏れが生じないように平板を取り付けた容器を作製する。



単位：mm

図-3.4.1-1　試験装置（非収縮性試験）

3.4.2　試験方法

試験方法は次のとおりとする。

a．容器に注入材を入れる。

b．注入材の水分発散防止のためにキャッピングを行い、15℃～25℃の室内にて養生を行う。

c．28 日経過後の収縮量を計測する。

4．報告

（1）使用材料の種類及び配合等

（2）充填性試験

解体後の充填確認においては、角材やＨ型鋼等の周辺への充填状況を、写真とともに記録する。

（3）非漏出性試験

隙間ごと、及び時間経過毎の計測値を記録する。また、全ての隙間への進入程度が一望できるような方向で、時間経過別に写真を撮影する。

（4）水中分離抵抗性試験

時間経過別の濁りの程度を写真撮影するとともに、供試体と濁りの状況を記録する。

（5）非収縮性試験

28 日後の収縮量の写真撮影をするとともに記録する。

（6）その他特記すべき事項

（矢板工法トンネル背面空洞注入工設計・施工要領、東,中,西日本高速道路株式会社、平成 18 年 10 月、pp.30-33 を改変して転載）

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-30　「裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）」	P.巻末-28　「裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）」

裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）

試験方法規定者：農林水産省

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（非セメント系）に対して、試験器具を用いて、注入材の充填性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 充填性試験

2.1 試験装置

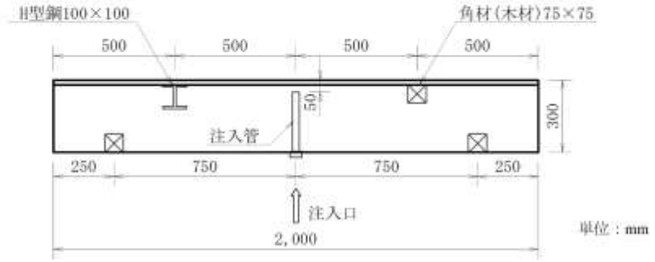


図-2.1.1　試験装置

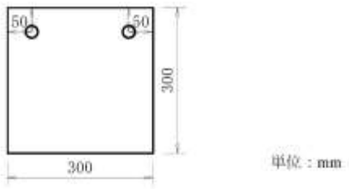


図-2.1.2　試験装置（両側板）（空気穴）

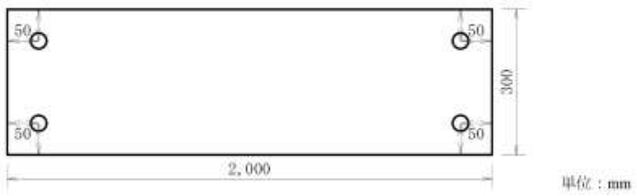


図-2.1.3　試験装置（天板）（空気穴）

a．高さ 300mm、幅 300mm、長さ 2000mm の型枠を作製する。

b．型枠の下端に 75mm 程度の角材を 2 箇所、上端に 75mm 程度の角材及び H 型鋼を各 1 箇所固定する。

裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）

1. 適用範囲

この規格は、水路トンネルの覆工背面空洞への注入に用いる裏込注入材（非セメント系）に対して、試験器具を用いて、注入材の充填性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。

2. 充填性試験

2.1 試験装置

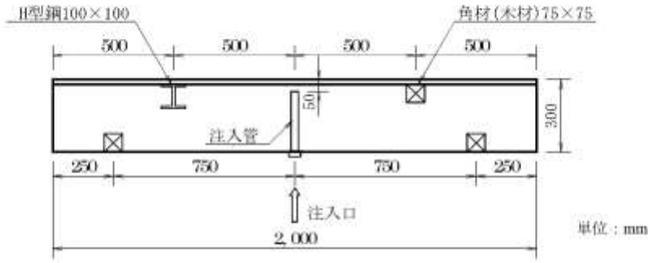


図-2.1.1　試験装置

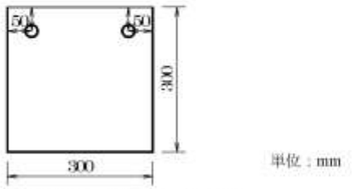


図-2.1.2　試験装置（両側板）（空気穴）

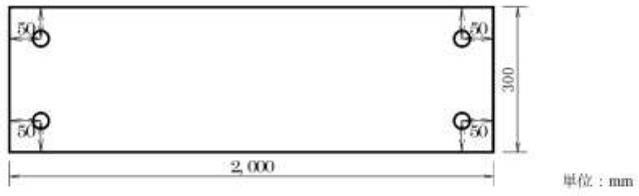


図-2.1.3　試験装置（天板）（空気穴）

a．高さ 300mm、幅 300mm、長さ 2000mm の型枠を作製する。

b．型枠の下端に 75mm 程度の角材を 2 箇所、上端に 75mm 程度の角材及び H 型鋼を各 1 箇所固定する。

c．型枠の中央下端から注入管を 250mm 程度挿入する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-31　「裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）」	**P.巻末-29　「裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）」**

c. 型枠の中央下端から注入管を 250mm 程度挿入する。
d. 図-2.1.2 及び図-2.1.3 のとおり、側板に 2 箇所（両側板の合計 4 箇所）、天板に 4 箇所の空気穴を設置しておく。

2.2　試験方法

a. 試験装置内に注入材を注入する。
b. 注入材の注入流量（注入管からの吐出量）は 7kg/min とする。
c. 注入量は倍率毎に以下のとおり算出する。

40 倍発泡ウレタン

注入量（kg）＝空洞容積（m^3）×注入材の密度（kg/m^3）×1.8±0.3（標準割増率）

30 倍発泡ウレタン

注入量（kg）＝空洞容積（m^3）×注入材の密度（kg/m^3）×1.5±0.3（標準割増率）

12 倍発泡ウレタン

注入量（kg）＝空洞容積（m^3）×注入材の密度（kg/m^3）×1.5±0.3（標準割増率）

「標準割増率」とは、理論計算値に対して、実施工・試験で確実に空洞を充填するための安全側の割増係数である。

参考例

① 注入量（kg）＝0.18×30×1.8＝9.7　（40 倍発泡ウレタン）
② 注入量（kg）＝0.18×40×1.5＝10.8　（30 倍発泡ウレタン）
③ 注入量（kg）＝0.18×98×1.5＝26.5　（12 倍発泡ウレタン）

d. 注入終了後、発泡ウレタンが広がり空気穴から流出する直前に、順番に穴を塞ぐ。
e. 注入終了後から約 1 時間程度経過後に、型枠を解体して充填状況の確認を行う。このとき、型枠の上下端に設置した角材や H 型鋼の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。
f. 発泡倍率の違いにより発泡の挙動が異なるため、充填性試験は発泡倍率毎に行うことを基本とする。



写真-2.2.1　試験装置

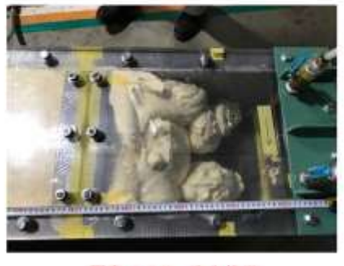


写真-2.2.2　注入状況

d. 図-2.1.2 及び図-2.1.3 のとおり、側板に 2 箇所（両側板の合計 4 箇所）、天板に 4 箇所の空気穴を設置しておく。

2.2　試験方法

a. 試験装置内に注入材を注入する。
b. 注入材の注入流量（注入管からの吐出量）は 7kg/min とする。
c. 注入量は倍率毎に以下のとおり算出する。

40 倍発泡ウレタン

注入量（kg）＝空洞容積（m^3）×注入材の密度（kg/m^3）×1.8± 0.3（標準割増率）

12 倍発泡ウレタン

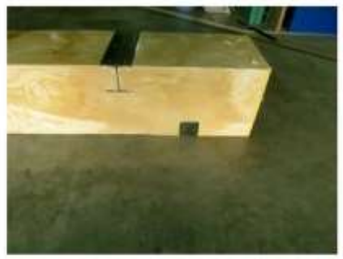
注入量（kg）＝空洞容積（m^3）×注入材の密度（kg/m^3）×1.5± 0.3（標準割増率）

参考例

① 注入量（kg）＝0.18×30×1.8＝9.7（40 倍発泡ウレタン）
② 注入量（kg）＝0.18×98×1.5＝26.5（12 倍発泡ウレタン）

d. 注入終了後、発泡ウレタンが広がり空気穴から流出する直前に、順番に穴を塞ぐ。
e. 注入終了後から約 1 時間程度経過後に、型枠を解体して充填状況の確認を行う。このとき、型枠の上端に設置した角材や H 型鋼の周辺にかけて、注入材が隙間なく密実に充填がなされているか詳細に観察して記録する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-32　「裏込注入工法（非セメント系注入材）の適用性確認試験方法（案）」	
 写真-2.2.3　充填確認状況（1）  写真-2.2.4　充填確認状況（2）	新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-33　「裏込充填材の水中作製供試体の圧縮強さ試験方法（案）」	P.巻末-30　「裏込充填材の水中作製供試体の圧縮強さ試験方法（案）」

裏込充填材の水中作製供試体の圧縮強さ試験方法（案）

試験方法規定者：農林水産省

1. 適用範囲

この規格は、矢板工法トンネルに用いる鋼板内張工法及び既製管挿入工法の裏込充填材に対して、試験器具を用いて、湧水がある現場で適用する充填材の水中不分離性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。ただし、湧水を完全に処理できない場合に適用する可塑性モルタル等については、裏込注入工法（可塑性注入材）の水中分離抵抗性試験を適用する。

2. 測定項目

測定項目は、NEXCO 試験方法のフロー値（試験法 313）、単位容積質量（試験法 313）及び土の一軸圧縮試験（JIS A 1216）とする。圧縮試験用供試体は、ケースごとに 3 本採取し、水中養生（JSCE-F 504）を行い、材齢 28 日で試験を行う。

3. 水中供試体の作製方法

3.1 供試体寸法

供試体の寸法は、JIS A 1216 に従いφ50×h100mm とする。

3.2 作製手順

a. 水槽に深さ 10cm 程度の水を入れ、φ50×h100mm の型枠を水没させる。（**写真-3.2.1**）



写真-3.2.1

b. 注入器（J14 漏斗等）の吐出口をラップフィルム等で塞ぐ。（**写真-3.2.2**）



写真-3.2.2

裏込充填材の水中作製供試体の圧縮強さ試験方法（案）

1. 適用範囲

この規格は、矢板工法トンネルに用いる鋼板内張工法及び既製管挿入工法の裏込充填材に対して、試験器具を用いて、湧水がある現場で適用する充填材の水中不分離性の性能評価を行う試験方法について規定するものである。ただし、湧水を完全に処理できない場合に適用する可塑性モルタル等については、裏込注入工法（可塑性注入材）の水中分離抵抗性試験を適用する。

2. 測定項目

測定項目は、NEXCO 試験方法のフロー値（試験法 313）、単位容積質量（試験法 313）及び土の一軸圧縮試験（JIS A 1216）とする。圧縮試験用供試体は、ケースごとに 3 本採取し、水中養生（JSCE-F 504）を行い、材齢 28 日で試験を行う。

3. 水中供試体の作製方法

3.1 供試体寸法

供試体の寸法は、JIS A 1216 に従いφ50×h100mm とする。

3.2 作製手順

a. 水槽に深さ 10cm 程度の水を入れ、φ50×h100mm の型枠を水没させる。（**写真-3.2.1**）



写真-3.2.1

b. 注入器（J14 漏斗等）の吐出口をラップフィルム等で塞ぐ。（**写真-3.2.2**）



写真-3.2.2

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-36　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」」	P.巻末-33　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」」

中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」

試験方法規定者：日本工業規格（日本規格協会）

品質規格値規定者：農林水産省

1. 期待される耐用期間 30 年における中性化深さの基準値

鉄筋系接着工法において許容される増厚材の中性化深さは、鉄筋のかぶり厚さと中性化残りを考慮して設定する。鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さは各社技術により異なるが、最小設計かぶり厚さ（純かぶり）は 10mm 程度である。

次に、中性化残りについては、開水路補修マニュアルではコンクリートの中性化残りを 10mm 以上保てば鉄筋腐食が起こらないことが示されている。一方、鉄筋系接着工法で使用する増厚材は、コンクリートよりも緻密で劣化因子の遮断性に優れるポリマーセメントモルタル（PCM）を使用しているため、中性化残りをコンクリートよりも少なくすることができる。例えば、PCM の中性化速度や酸素透過性は、コンクリートの 1/2 以下であるため、増厚材を PCM とした場合の中性化残りはコンクリートの 1/2（=5mm）以下になることが想定される。一般的に、鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さを少なく設定している根拠は、この考え方に基づいている。

以上の観点から、PCM を増厚材として使用した場合は、期待される耐用期間（30 年）中の増厚材の中性化深さが 5mm 以下であれば、補強材として配置する鉄筋の腐食を抑止することができると考え、中性化抑止性の品質規格を設定する。

2. 照査方法

中性化抑止性の照査は、中性化速度係数と中性化深さを評価するものとし、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」により行うものとする。

中性化深さ試験に用いる供試体については、養生終了 3 日前に供試体の両端部、打込み面及び底面を JIS K 5664 に規定する 1 種又はこれと同等の性能をもつエポキシ樹脂塗料で密封する。供試体を、温度 30±2℃、相対湿度 60±10%、二酸化炭素濃度 5.0%の二酸化炭素環境槽内に静置する。静置開始から 28 日経過した後に供試体を取り出し、更に温度 20±2℃、相対湿度 60±10%に 24 時間静置した後に割裂して二分割する。その断面にフェノールフタレインの 1%アルコール溶液を噴霧し、赤変しない部分を中性化域として、中性化した 1 側面 3 箇所ずつ、計 6 箇所で、供試体表面から赤変した所までの深さを、ノギスを用いて 1mm まで測定する。測定した 6 箇所の平均値を 1 個の供試体の中性化深さとし、整数値に丸める。中性化深さは、3 個の供試体の平均値で表す。

3. 品質規格値

補修の効果が期待される期間を 30 年、中性化深さを 5mm 以下とし、中性化速度係数と中性化深さの品質規格値を以下の手順で算定した。

① 水路トンネル環境下 30 年間で中性化深さが 5mm となる増厚材の、自然環境下における中性化速度係数 A を算定する。
② 上記①の中性化速度係数 A に対し、促進試験条件に対する補正を行う。

中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」

1. 期待される耐用期間 30 年における中性化深さの基準値

鉄筋系接着工法において許容される増厚材の中性化深さは、鉄筋のかぶり厚さと中性化残りを考慮して設定する。鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さは各社技術により異なるが、最小設計かぶり厚さ（純かぶり）は 10mm 程度である。

次に、中性化残りについては、開水路補修マニュアルではコンクリートの中性化残りを 10mm 以上保てば鉄筋腐食が起こらないことが示されている。一方、鉄筋系接着工法で使用する増厚材は、コンクリートよりも緻密で劣化因子の遮断性に優れるポリマーセメントモルタル（PCM）を使用しているため、中性化残りをコンクリートよりも少なくすることができる。例えば、PCM の中性化速度や酸素透過性は、コンクリートの 1/2 以下であるため、増厚材を PCM とした場合の中性化残りはコンクリートの 1/2（=5mm）以下になることが想定される。一般的に、鉄筋系接着工法の設計かぶり厚さを少なく設定している根拠は、この考え方に基づいている。

以上の観点から、PCM を増厚材として使用した場合は、期待される耐用期間（30 年）中の増厚材の中性化深さが 5mm 以下であれば、補強材として配置する鉄筋の腐食を抑止することができると考え、中性化抑止性の品質規格を設定する。

2. 照査方法

中性化抑止性の照査は、中性化速度係数と中性化深さを評価するものとし、JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」により行うものとする。

中性化深さ試験に用いる供試体については、養生終了 3 日前に供試体の両端部、打込み面及び底面を JIS K 5664 に規定する 1 種又はこれと同等の性能をもつエポキシ樹脂塗料で密封する。供試体を、温度 30± 2℃、相対湿度 60± 10%、二酸化炭素濃度 5.0%の二酸化炭素環境槽内に静置する。静置開始から 28 日経過した後に供試体を取り出し、更に温度 20± 2℃、相対湿度 60± 10%に 24 時間静置した後に割裂して二分割する。その断面にフェノールフタレインの 1%アルコール溶液を噴霧し、赤変しない部分を中性化域として、中性化した 1 側面 3 箇所ずつ、計 6 箇所で、供試体表面から赤変した所までの深さを、ノギスを用いて 1mm まで測定する。測定した 6 箇所の平均値を 1 個の供試体の中性化深さとし、整数値に丸める。中性化深さは、3 個の供試体の平均値で表す。

3. 品質規格値

補修の効果が期待される期間を 30 年、中性化深さを 5mm 以下とし、中性化速度係数と中性化深さの品質規格値を以下の手順で算定した。

① 水路トンネル環境下 30 年間で中性化深さが 5mm となる増厚材の、自然環境下における中性化速度係数 A を算定する。
② 上記①の中性化速度係数 A に対し、促進試験条件に対する補正を行う。
③ 上記②の補正後の中性化速度係数 A'を促進試験条件下の中性化速度係数（品質規格値）とする。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-37　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」	**P.巻末-34　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」**

③　上記②の補正後の中性化速度係数 A' を促進試験条件下の中性化速度係数（品質規格値）とする。

①　中性化速度係数 A の算出

水路トンネル環境下30年間で中性化深さが5mmとなる表面被覆材の自然環境下における中性化速度係数 A は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、p.99　5.2 中性化に対する性能の検証方法 5.1 式を用いて算出する。

$$C = A\sqrt{t}$$

ここに、

C：平均中性化深さ（mm）

A：材料、調合、環境条件により
　　決定する中性化速度係数（mm/√年）

t：材齢（年）

$$5\text{mm} = A\sqrt{30\text{年}}$$
$$A = 5 / \sqrt{30\text{年}}$$
$$= 0.913 \fallingdotseq 0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$$

以上より、自然環境下における中性化速度係数は $0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ 以下でなければならない。

②　促進試験条件に対する補正（炭酸ガス濃度、乾燥しにくい環境）

1)　自然環境下における A から促進試験条件下における中性化速度係数 A' を求めるため、促進試験条件下の炭酸ガス濃度の影響を考慮する。「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、p.116 二酸化炭素濃度による係数（解 5.2.18）によると、補正係数 α_1 は以下のように算出できる。

$$\alpha_1 = \sqrt{\text{促進試験の炭酸ガス濃度}／\text{自然環境の炭酸ガス濃度}}$$
$$= \sqrt{\frac{5.0\%}{0.05\%}}$$
$$= 10$$

ここに、自然環境の炭酸ガス濃度は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、p.116 の屋外の値を適用した。

2)　既設コンクリートはかんがい期における通水や背面からの滲出水などにより、湿潤状態にあるのに対し、室内における促進試験条件は乾燥しやすい環境下にあると言える。

上記を踏まえ、「コンクリート標準示方書」におけるコンクリートの中性化の進行予測に及ぼす環境作用の程度を適用し、促進試験条件に対する補正として、環境作用の程度を表す係数1.6を乗ずるものとする。

$$\alpha_2 = 1.6$$

①　中性化速度係数 A の算出

水路トンネル環境下30年間で中性化深さが5mmとなる表面被覆材の自然環境下における中性化速度係数 A は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、P.99　5.2 中性化に対する性能の検証方法 5.1 式を用いて算出する。

$$C = A\sqrt{t}$$

ここに、

C：平均中性化深さ（mm）

A：材料、調合、環境条件により
　　決定する中性化速度係数（mm/√年）

t：材齢（年）

$$5\text{mm} = A\sqrt{30\text{年}}$$
$$A = 5 \div \sqrt{30\text{年}}$$
$$= 0.913 \fallingdotseq 0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$$

以上より、自然環境下における中性化速度係数は $0.9\text{mm}/\sqrt{\text{年}}$ 以下でなければならない。

②　促進試験条件に対する補正（炭酸ガス濃度、乾燥しにくい環境）

1)　自然環境下における A から促進試験条件下における中性化速度係数 A' を求めるため、促進試験条件下の炭酸ガス濃度の影響を考慮する。「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、P.116 二酸化炭素濃度による係数（解 5.2.18）によると、補正係数 α_1 は以下のように算出できる。

$$\alpha_1 = \sqrt{\text{促進試験の炭酸ガス濃度}／\text{自然環境の炭酸ガス濃度}}$$
$$= \sqrt{5.0\% \div 0.05\%}$$
$$= 10$$

ここに、自然環境の炭酸ガス濃度は、「鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計施工指針・同解説」日本建築学会、2016年7月、P.116 の屋外の値を適用した。

2)　既設コンクリートはかんがい期における通水や背面からの滲出水などにより、湿潤状態にあるのに対し、室内における促進試験条件は乾燥しやすい環境下にあると言える。

上記を踏まえ、「コンクリート標準示方書」におけるコンクリートの中性化の進行予測に及ぼす環境作用の程度を適用し、促進試験条件に対する補正として、環境作用の程度を表す係数1.6を乗ずるものとする。

$$\alpha_2 = 1.6$$

ここに、α_2 は「2017年制定　コンクリート標準示方書［設計編］」土木学会、P.154 の環境作用の程度を表す係数の値を適用した。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-38　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」	**P.巻末-35　「中性化抑止性：JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」**
ここに、α_2は「2022 年制定　コンクリート標準示方書［設計編］」土木学会、p.162 の環境作用の程度を表す係数の値を適用した。 **③　中性化速度係数 A'の算出** $A' = \alpha_1 \times \alpha_2 \times A$ ＝10×1.6×0.9　≒14mm/$\sqrt{年}$　となる。 上述の中性化速度係数 A' を用いて、JIS A 1171（促進期間 4 週間）後の中性化深さを求めると C＝14×$\sqrt{0.077年}$　3.88≒4mm となる。 よって、中性化深さ試験 JIS A 1171（4 週間）に対する要求値は、以下のとおりである。 中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数　14mm/$\sqrt{年}$ 以下	**③　中性化速度係数 A'の算出** $A' = \alpha_1 \times \alpha_2 \times A$ ＝10×1.6×0.9　≒14mm/ $\sqrt{年}$　となる。 上述の中性化速度係数 A' を用いて、JIS A 1171（促進期間 4 週間）後の中性化深さを求めると C＝14×$\sqrt{0.077年}$　3.88≒4mm となる。 よって、中性化深さ試験 JIS A 1171（4 週間）に対する要求値は、以下のとおりである。 中性化深さ 4mm 以下 中性化速度係数　14mm/$\sqrt{年}$ 以下

新（改定版）

P.巻末-41　「裏込注入工法　②撮影記録による出来形管理」

裏込注入工法
②　撮影記録による出来形管理

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
裏込注入工法	1.一般	省略　※「土木工事施工管理基準」第2表　撮影記録による出来形管理　1.共通工事を参照。			
	2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		適宜	使用前の使用材料の確認状況		
		現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
		試験実施ごと	試験実施状況		
	3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
		適宜	照明設備（設置状況）		
		施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
		適宜	その他		
	4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	5.裏込注入工	10孔につき1箇所 上記未満は2箇所	注入孔削孔（検尺）		
			注入管取付		
			注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影		
		1スパン（継目間隔）につき1箇所	充填状況確認		
	6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-38　「裏込注入工法　②撮影記録による出来形管理」

裏込注入工法
②　撮影記録による出来形管理

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
裏込注入工法	1.一般	省略　※「土木工事施工管理基準」第2表　撮影記録による出来形管理　1.共通工事を参照。			
	2.材料・品質等	適宜	施工前の使用材料の保管状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		適宜	使用前の使用材料の確認状況		
		現場採取ごと	試験用材料の現場採取確認状況		
		試験実施ごと	試験実施状況		
	3.仮設備工	施工箇所ごと	換気設備（設置状況）		
		適宜	照明設備（設置状況）		
		施工箇所ごと	電力設備（設置状況）		
		適宜	その他		
	4.坑内作業準備工	施工箇所ごと	止水・導水状況		
	5.裏込注入工	10孔につき1箇所 上記未満は2箇所	注入孔削孔（検尺）		
			注入管取付		
			注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影		
		1スパン（継目間隔）につき1箇所	背面空洞調査		
	6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.巻末-42 「裏込注入工法 ③品質管理」

裏込注入工法

③ 品質管理

工種		区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
裏込注入工法	可塑性注入材	材料	配合試験		工法の性能，材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容，試験結果を確認し，必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
			一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」		材齢28日の圧縮強さ 1.5N/mm^{2}以上		
			単位体積重量試験	JIS A 1116 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」 JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F 536「PCグラウトの単位容積質量試験方法」		エア系：10～12kN/m^3 エア系以外：11～15kN/m^3		
			非漏出性試験	本書に示す試験		60分経過後において5mm以下の隙間に完全流出があってはならないこと		
			水中分離抵抗性試験	本書に示す試験		【濁度】分光光度計による測定した光透過率の値により，濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と，投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること		
						【pH】注入直後からの60分経過後のpH測定比率が±10%であること		
			非収縮性試験	本書に示す試験		28日硬化後の収縮量が2cm（2%）以下		
			空気量試験（エア系）	NEXCO試験方法　試験法 313 「エアモルタルおよびエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
			充填性試験	本書に示す試験		容器内全体に注入材が充填され角材や H型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること		
			フロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」		フロー値 〔可塑状前〕200mm±20mm 〔可塑状後〕80mm～150mm		
			長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による		工法の申告値		

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-39 「裏込注入工法 ③品質管理」

裏込注入工法

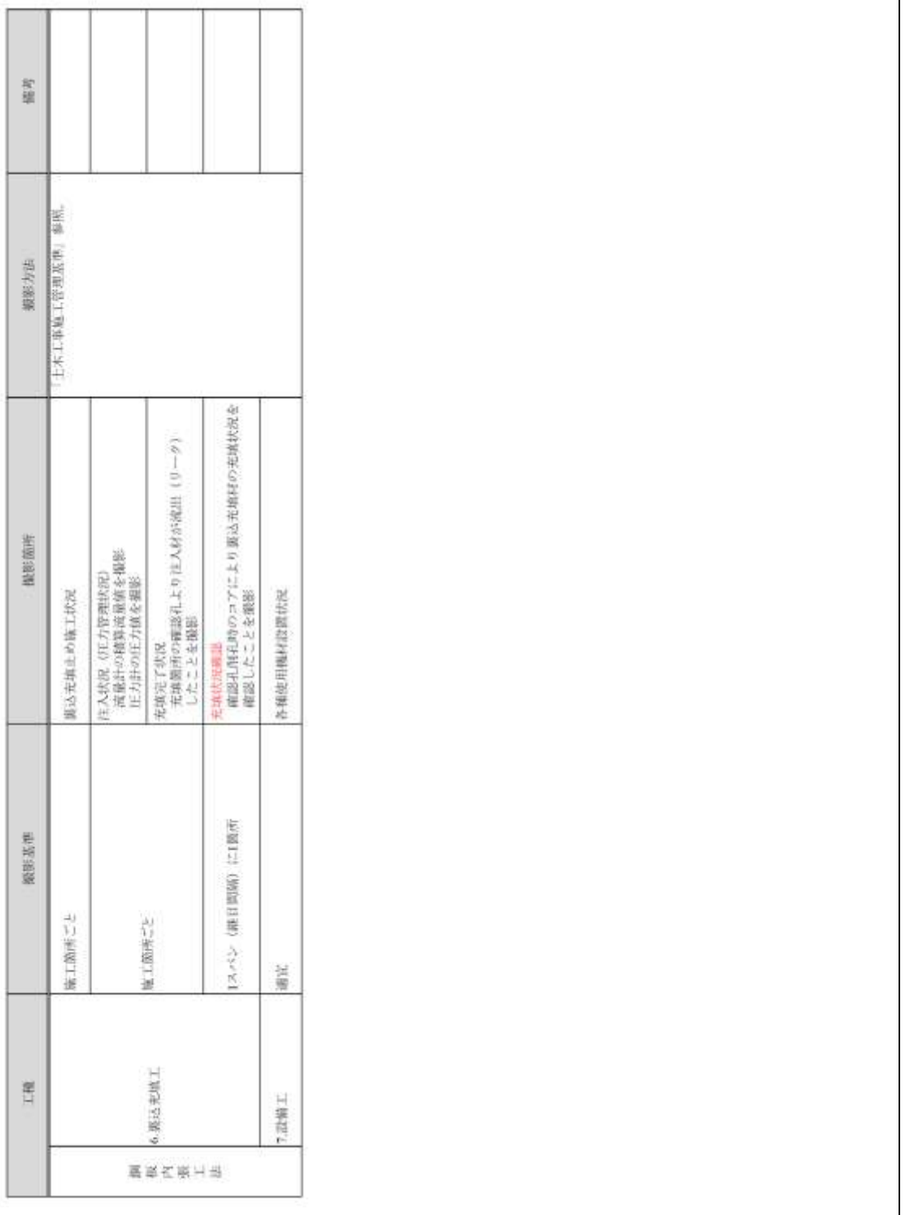
③ 品質管理

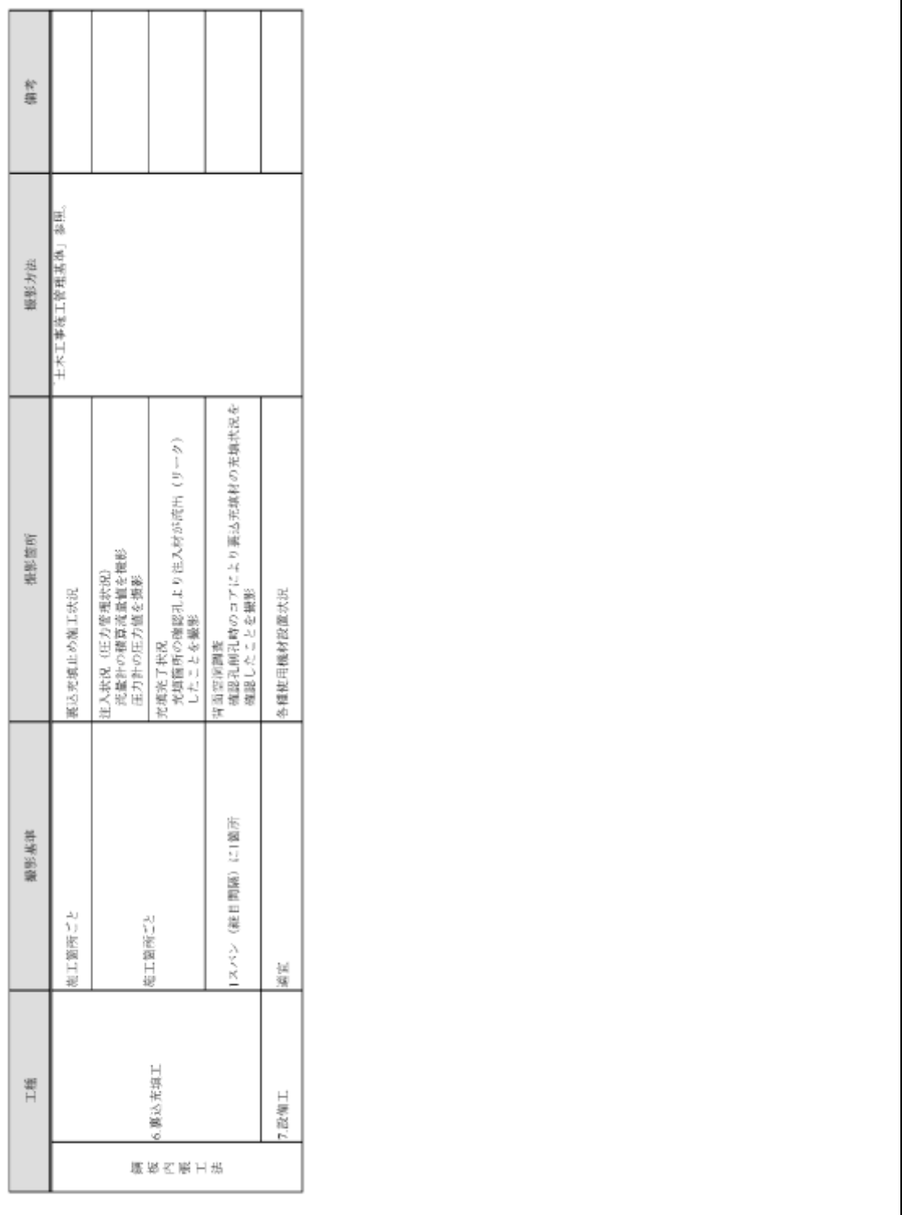
工種		区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
裏込注入工法	可塑性注入材	材料	配合試験		工法の性能，材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容，試験結果を確認し，必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
			一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 （土の一軸圧縮試験方法）		材齢28日の圧縮強さ 1.5N/mm^{2}以上		
			単位体積重量試験	JIS A 1116 （フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法））		エア系：10～12kN/m^3 エア系以外：11～15kN/m^3		
			非漏出性試験	本書に示す試験		60分経過後において5mm以下の隙間に完全流出があってはならないこと		
			水中分離抵抗性試験	本書に示す試験		【濁度】分光光度計による測定した光透過率の値により，濁り具合を確認する。水槽内に注入材を投入する前の水の測定値と，投入後60分経過後の水の測定値の増減比率が±2%であること		
						【pH】注入直後からの60分経過後のpH測定比率が±10%であること		
			非収縮性試験	本書に示す試験		28日硬化後の収縮量が2cm（2%）以下		
			空気量試験（エア系）	NEXCO試験方法　試験法 313 （エアモルタルおよびエアミルクの試験方法）		工法の申告値		
			充填性試験	本書に示す試験		容器内全体に注入材が充填され角材や H型鋼との間にも隙間がなく密実に充填がなされていること		
			フロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法）		フロー値 〔可塑状前〕200mm±20mm 〔可塑状後〕80mm～150mm		
			長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による		工法の申告値		

（凡例）赤字：修正箇所

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-47　「鋼板内張工法　②撮影記録による出来形管理」	P.巻末-44　「鋼板内張工法　②撮影記録による出来形管理」





新（改定版）

P.巻末-48 「鋼板内張工法 ③品質管理」

鋼板内張工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
鋼板内張工法	材料	金属部材の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	製作仕様書との比較		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		充填材の配合試験			工法の申告値		
		充填材の一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 「土の一軸圧縮試験方法」		材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ、かつ 1.0N/mm^{2}以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法」		工法の申告値		
		充填材の 水中作製供試体の圧縮強さ試験	本書に示す試験		材齢28日の圧縮強さ 設計圧縮強さ、かつ 1.0N/mm^{2}以上		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 「エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法」		工法の申告値		
		充填材の長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による		工法の申告値		
	施工	溶接部の検査	JIS Z 3060 「鋼溶接部の超音波探傷試験方法」	現地溶接部全箇所で、周方向は溶接1リング全長のうち任意500mmを2箇所、軸方向はパット溶接位置から500mm部全数	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準WSP 008による		
		塗装部の検査	土木工事施工管理基準（管水路工事）	［膜厚計測］ 現地塗装部全箇所で、周方向、軸方向とも500mm間隔で塗装部両端の膜厚計測 ［ピンホール検査］ 周方向、軸方向とも現地塗装部全数 ［付着性検査］ 試験片を用いて任意	外観、塗膜の厚さ（0.5mm以上）、ピンホール、付着性を確認		

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-45 「鋼板内張工法 ③品質管理」

鋼板内張工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
鋼板内張工法	材料	金属部材の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	製作仕様書との比較		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		充填材の配合試験			工法の申告値		
		充填材の一軸圧縮強さ試験	JIS A 1216 （土の一軸圧縮試験方法）		材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm^{2}以上		
		充填材の単位容積質量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法）		工法の申告値		
		充填材の空気量試験	NEXCO試験方法 試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法）		工法の申告値		
		充填材の 水中作製供試体の圧縮強さ試験	本書に示す試験		材齢28日の圧縮強さ 1.0N/mm^{2}以上		
		充填材のフロー試験	NEXCO試験方法 試験法 313 （エアモルタル及びエアミルクの試験方法のシリンダー法）		工法の申告値		
		充填材の長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による		工法の申告値		
	施工	溶接部の検査	JIS Z 3060 （鋼溶接部の超音波探傷試験方法）	現地溶接部全箇所で、周方向は溶接1リング全長のうち任意500mmを2箇所、軸方向はパット溶接位置から500mm部全数	水道用鋼管現場溶接継手部の非破壊検査基準WSP 008による		
		塗装部の検査	JIS G 3443-4 （水輸送用塗覆装鋼管-第4部:内面エポキシ樹脂塗料（溶液型エポキシ樹脂塗装））	［膜厚計測］ 現地塗装部全箇所で、周方向、軸方向とも500mm間隔で塗装部両端の膜厚計測 ［ピンホール検査］ 周方向、軸方向とも現地塗装部全数 ［付着性検査］ 試験片を用いて任意	外観、塗膜の厚さ（0.5mm以上）、ピンホール、付着性を確認		

（凡例）赤字：修正箇所

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-50　「鋼板内張工法の補修　①直接測定による出来形管理」	

鋼板内張工法の補修

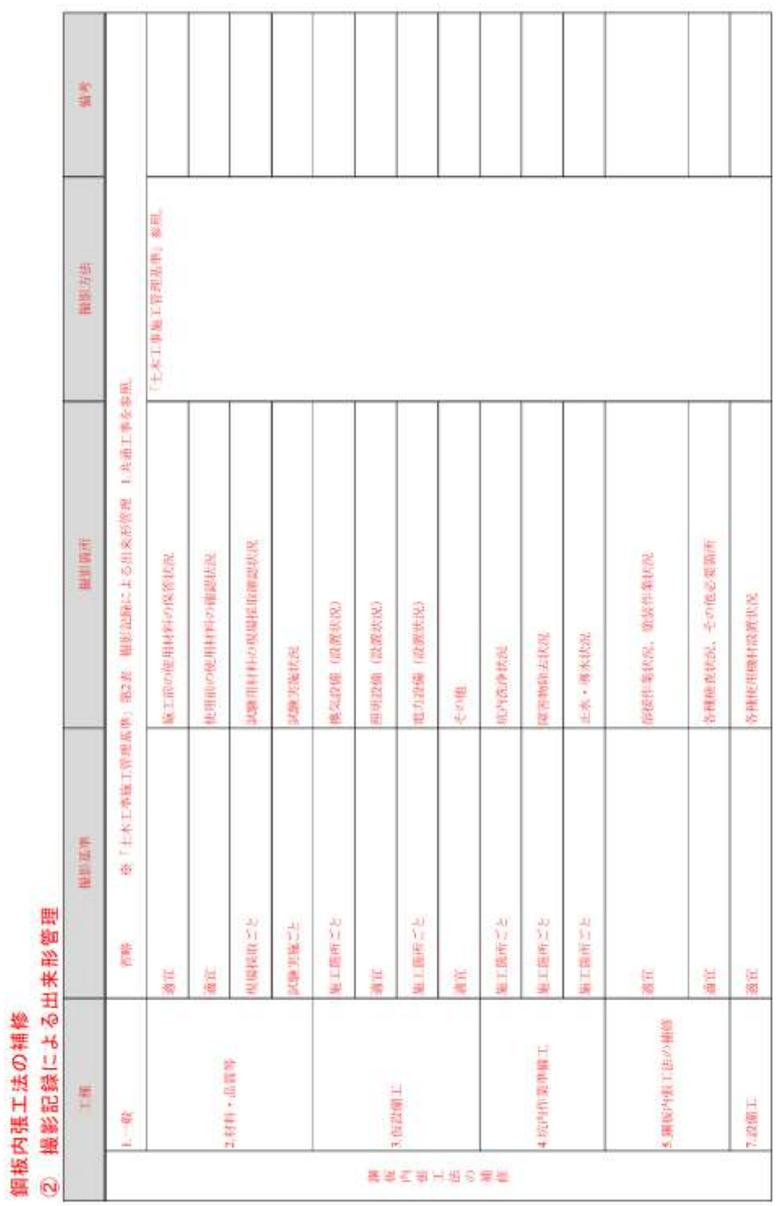
① 直接測定による出来形管理

塗装工及び溶接工は「土木工事施工管理基準（管水路工事）」に準じることとし省略する。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-51　「鋼板内張工法の補修　②撮影記録による出来形管理」	



新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-52　「鋼板内張工法の補修　③品質管理」	

鋼板内張工法の補修
③　品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験（方法）		管理方法	基準
鋼板内張工法の補修	材料	金属部材の外観検査（当て板補修）	目視、寸法計測等	（参考）規格値		
	施工	溶接部の検査	土木工事施工管理基準（鉄水協工事）	製品仕様書との比較		
		接合部の検査	土木工事施工管理基準（鉄水協工事）	溶接完了後に外観検査を行う		
				外観、形状の歪き、ピンホール、付着性全般確認		
				全数		
				[膜厚計測] 全数 [ピンホール検査] 全数 [付着性確認] 試験片を用いて任意		

新　規

新（改定版）

P.巻末-55　「既製管挿入工法　②撮影記録による出来形管理」

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
既製管挿入工法	5.裏込充填工	施工箇所ごと	間仕切り壁設置状況、裏込充填止め施工状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		施工箇所ごと	注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影		
		1スパン（継目間隔）に1箇所（注1）	充填状況確認 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認したことを撮影		
	6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（注1）水抜工を設置する場合に行う。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-49　「既製管挿入工法　②撮影記録による出来形管理」

工種		撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
既製管挿入工法	5.裏込充填工	施工箇所ごと	間仕切り壁設置状況、裏込充填止め施工状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
		施工箇所ごと	注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
			充填完了状況 充填箇所の確認孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影		
		1スパン（継目間隔）に1箇所（注1）	背面空洞調査 確認孔削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認したことを撮影		
	6.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（注1）水抜工を設置する場合に行う。

（凡例）赤字：修正箇所

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-59　「製管工法　②撮影記録による出来形管理」

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
製管工法	6.裏込充填工	施工箇所ごと	「土木工事施工管理基準」参照。	
			注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影	
			充填完了状況 充填箇所の削孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影	
		1スパン（離目間隔）に1箇所（注1）	充填状況確認 削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認したことを撮影	
			充填状況の打音確認	
	7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況	

（注1）本工を設置する場合に行う。

P.巻末-53　「製管工法　②撮影記録による出来形管理」

工種	撮影基準	撮影箇所	撮影方法	備考
製管工法	6.裏込充填工	施工箇所ごと	「土木工事施工管理基準」参照。	
			注入状況（圧力管理状況） 流量計の積算流量値を撮影 圧力計の圧力値を撮影	
			充填完了状況 充填箇所の削孔より注入材が流出（リーク）したことを撮影	
		1スパン（離目間隔）に1箇所（注1）	背面空洞調査 削孔時のコアにより裏込充填材の充填状況を確認したことを撮影	
			充填状況の打音確認	
	7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況	

（注1）本工を設置する場合に行う。

新（改定版）

P.巻末-60 「製管工法 ③品質管理」

製管工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材料	部材（表面・金属・パネル）の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	設計図書による		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		材料の内水圧水密試験	JIS A 7511「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠［平板］		所定の内水圧で漏水がないこと		
		材料の外水圧水密試験	JIS A 7511「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠［平板］		所定の外水圧で漏水がないこと		
		耐荷強度試験	自立管断面の試験（各社技術による）		工法の申告値		
		鋼材の引張強度試験	JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」 使用材料の対応JISに準拠 炭素繊維材料を使用する場合はJSCE-E531等		工法の申告値		
		充填材の配合			工法の申告値		
		充填材の圧縮強度試験（注1）	JSCE-G521 「プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法」 JSCE-G505 「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法」		工法の申告値		
		充填材の単位容積質量試験（注1）	JIS A 1116：2005 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を準用 JIS A 1171 「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536 「PCグラウトの単位容積質量試験方法」		工法の申告値		
		充填材のブリーディング試験（注1）	JSCE-F-542「充填モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」 JSCE-F 522「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」		材料分離が生じない（ブリーディング率が0%）		
		充填材のフロー試験（注1）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」 JASS15M-103 「セルフレベリング材の品質基準」を準用 JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等（Jロート試験）		工法の申告値		

（注1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-54 「製管工法 ③品質管理」

製管工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材料	部材（表面・金属・パネル）の外観検査	目視、寸法計測等	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	設計図書による		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		材料の内水圧水密試験	JIS A 7511「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠［平板］		所定の内水圧で漏水がないこと		
		材料の外水圧水密試験	JIS A 7511「下水道用プラスチック製管きょ更生工法」に準拠［平板］		所定の外水圧で漏水がないこと		
		耐荷強度試験	自立管断面の試験（各社技術による）		工法の申告値		
		鋼材の引張強度試験	JIS Z 2241「金属材料引張試験方法」 使用材料の対応JISに準拠 炭素繊維材料を使用する場合はJSCE-E531等		工法の申告値		
		充填材の配合			工法の申告値		
		充填材の圧縮強度試験（注1）	JSCE-G521 「プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法」 JSCE-G505 「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法」		工法の申告値		
		充填材の単位容積質量試験（注1）	JIS A 1116：2005 「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を準用 JIS A 1171 「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536 「PCグラウトの単位容積質量試験方法」		工法の申告値		
		充填材のブリーディング試験（注1）	JSCE-F-542「充填モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」 JSCE-F 522「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリーディング率及び膨張率試験方法」		材料分離が生じない（ブリーディング率が0%）		
		充填材のフロー試験（注1）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」 JASS15M-103 「セルフレベリング材の品質基準」を準用 JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等（Jロート試験）		工法の申告値		

（注1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.巻末-61　「製管工法　③品質管理」

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材料	充填材の長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		耐摩耗性試験	【樹脂製の表面部材】 JIS K 7204「プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法」 JIS A 1452「建築材及び建築調製部分の摩耗試験方法　落砂法」 【コンクリート製の表面部材】 表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） ［20時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）］		硬質塩化ビニル管と同程度の摩耗量（±50%程度以内）である 標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		浸出試験	JWWA Z 108「水道用資機材浸出試験方法」		有害物質が検出されない		
	施工	充填材の圧縮強度試験 （注1）	JSCE-G521「プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法」 JSCE-G505「円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法」	1回／日	工法の申告値以上		
		充填材の単位容積質量試験 （注1）	JIS A 1116：2005「フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法）」を準用 JIS A 1171「ポリマーセメントモルタルの試験方法」 JSCE-F536「PCグラウトの単位容積質量試験方法」	2回／日 （午前・午後）	工法の申告値以内		
		充填材のフロー試験 （注1）	JIS R 5201「セメントの物理試験方法」 JASS15M-103 「セルフレベリング材の品質基準」を準用 JSCE-F541「充填モルタルの流動性試験方法」等（Jロート試験）	2回／日 （午前・午後）	工法の申告値以内		
		充填材注入量		充填スパンごと	確認孔から流出（リーク）時点を充填完了とし、設計値以上を注入したことを確認する。		
		充填材注入圧力管理		施工中の記録の提出	設定値以下		
		充填材の充填状況	打音調査	濁音が生じないこと	全延長の全面を対象とし、打音調査の密度（間隔）は縦横20cm程度を目安に行う。		

（注1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-55　「製管工法　③品質管理」

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
製管工法	材料	充填材の長距離圧送性 （模擬配管による充填性能試験）	各社技術による	工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	工法の申告値		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		耐摩耗性試験	【樹脂製の表面部材】 JIS K 7204 （プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法） JIS A 1452 （建築材及び建築調製部分の摩耗試験方法　落砂法） 【コンクリート製の表面部材】 表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） （材齢28日、20時間経過後）		硬質塩化ビニル管と同程度の摩耗量（±50%程度以内）である 標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		浸出試験	JWWA Z 108（水道用資機材浸出試験方法）		有害物質が検出されない		
	施工	充填材の圧縮強度試験 （注1）	JSCE-G521 （プレパックドコンクリートの注入モルタルの圧縮強度試験方法（案）） JSCE-G505 （円柱供試体を用いたモルタル又はセメントペーストの圧縮強度試験方法（案））	1回／日	工法の申告値以上		
		充填材の単位容積質量試験 （注1）	JIS A 1116：2005 （フレッシュコンクリートの単位容積質量試験方法及び空気量の質量による試験方法（質量方法））を準用 JSCE-F536 （PCグラウトの単位容積質量試験方法（案）））	2回／日 （午前・午後）	工法の申告値以内		
		充填材のフロー試験 （注1）	JIS R 5201 （セメントの物理試験方法） JASS15M-103 （セルフレベリング材の品質基準）を準用 JSCE-F541 （充填モルタルの流動性試験方法（案））等（Jロート試験）	2回／日 （午前・午後）	工法の申告値以内		
		充填材注入量		充填スパンごと	確認孔から流出（リーク）時点を充填完了とし、設計値以上を注入したことを確認する。		
		充填材注入圧力管理		施工中の記録の提出	設定値以下		
		充填材の充填状況	打音調査	濁音が生じないこと	全延長の全面を対象とし、打音調査の密度（間隔）は縦横20cm程度を目安に行う。		

（注1）パネル組立の裏込充填材に係る試験は、鋼板内張工法や既製管挿入工法を準用する。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.巻末-66 「接着工法 ③品質管理」

接着工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法		試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
接着工法	材料	増厚材(無機系)の圧縮試験	JSCE K 561（28日養生）		工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	28日圧縮強度値が21.0N/mm²以上		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		増厚材(無機系)の長さ変化率試験	JIS A 1129			0.05%以下		
		増厚材(無機系)の中性化深さ試験	JIS A 1171（4週間）			中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下		
		増厚材(無機系)の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） （15時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日））			標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		増厚材(無機系)の付着強度試験	JSCE K 531又はJSCE K 561（乾湿・温冷繰返し回数は15サイクル）	標準条件		1.5N/mm²以上		
				多湿条件				
				低温条件				
				水中条件		1.0N/mm²以上		
				乾湿繰返し条件				
				温冷繰返し条件				
		補強材(繊維部材・金属部材)の外観検査	目視、寸法計測等			設計図書による		
		補強材の引張試験（引張強度）	JSCE E 531【繊維グリッド系】 JIS A 1191【繊維シート系】 JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】			1,400N/mm²以上（高強度炭素繊維） 1,200N/mm²以上（高弾性炭素繊維） 3,400N/mm²以上（高強度炭素繊維） 2,900N/mm²以上（中弾性炭素繊維） 295N/mm²以上（SD295A降伏強度） 345N/mm²以上（SD345降伏強度）		
		補強材の引張試験（引張弾性係数）	JSCE E 531【繊維グリッド系】 JIS A 1191【繊維シート系】 JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】			100kN/mm²以上（高強度炭素繊維） 165kN/mm²以上（高弾性炭素繊維） 245kN/mm²±10%（高強度炭素繊維） 390kN/mm2±10%（中弾性炭素繊維） 200kN/mm²以上		

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-60 「接着工法 ③品質管理」

接着工法

③ 品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法		試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
接着工法	材料	増厚材の圧縮試験	JSCE K 561（28日養生）		工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	28日圧縮強度値が21.0N/mm²以上		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		増厚材の長さ変化率試験	JIS A 1129			0.05%以下		
		増厚材の中性化深さ試験	JIS A 1171（4週間）			中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/√年 以下		
		増厚材の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） （材齢28日、15時間経過後）			標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		増厚材の付着強度試験	JSCE K 531又はJSCE K 561（乾湿・温冷繰返し回数は15サイクル）	標準条件		1.5N/mm²以上		
				多湿条件				
				低温条件				
				水中条件		1.0N/mm²以上		
				乾湿繰返し条件				
				温冷繰返し条件				
		補強材(繊維部材・金属部材)の外観検査	目視、寸法計測等			設計図書による		
		補強材の引張試験（引張強度）	JSCE E 531【繊維グリッド系】 JSCE E 541【炭素繊維シート系】 JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】			1,400N/mm²（高強度炭素繊維） 1,200N/mm²（高弾性炭素繊維） 3,400N/mm² 295N/mm²（SD295A降伏強度） 345N/mm²（SD345降伏強度）		
		補強材の引張試験（引張弾性係数）	JSCE E 531【繊維グリッド系】 JSCE E 541【炭素繊維シート系】 JIS G 3112（SD295A、SD345）【鉄筋系】			100kN/mm²（高強度炭素繊維） 165kN/mm²（高弾性炭素繊維） 245kN/mm²±10% 200kN/mm²		

（凡例）赤字：修正箇所

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-67　「接着工法　③品質管理」	

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法		（参考）規格値	管理方式	処置
接着工法	材料	増厚材（有機系）の圧縮試験	JIS K 7181		35N/mm²以上		1.試験頻度非常記載の試験内容，試験結果を確認し，必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		増厚材（有機系）の引張試験	JIS K 7161		常温・接着樹脂 30N/mm²以上 被覆モルタル 3N/mm²以上		
		増厚材（有機系）の曲げ試験	JIS K 7171		常温・接着樹脂 40N/mm²以上 被覆モルタル 4N/mm²以上		
		増厚材（有機系）の引張せん断試験	JIS K 6850		常温・接着樹脂 10N/mm²以上 被覆モルタル 1N/mm²以上		
		増厚材（有機系）の熱劣化試験	表面増厚材の未硬化状態試験（表）（150回経過後の平均値が浸漬前の60%平均値を超えること）の比較（材齢28日）	標準条件	標準モルタル供試体に対する平均値比率が85%以上		
				多湿条件			
				低温条件	1.5N/mm²以上		
		増厚材（有機系）の付着強度試験	JSCE K 561（乾湿・凍害繰返し回数は15サイクル）	水中条件	1.0N/mm²以上		
				乾湿繰返し条件			
				凍害繰返し条件			

新　規

新（改定版）

P.巻末-68 「接着工法 ③品質管理」

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
接着工法（下地処理工）	施工	付着強度試験	単軸引張試験	下地処理後 200m^{2}ごとに3箇所（クラウン部及び左右側壁2箇所），1箇所当たりの試験数は3個	個々の試験値が1.5N/mm^{2}以上		
接着工法	施工	増厚材の圧縮強度試験	JSCE K 561 試験体：円柱供試体（φ50mm×100mm）等を1回につき3本採取。供試体の成型と養生は、製造業者が定める方法、あるいは実際の施工方法に併せて行う。	①試験体の作製： 増厚材使用中の材料練り混ぜ中のものから採取。 ②試験頻度： 200m^{2}毎に1回	28日圧縮強度値が21.0N/mm^{2}以上		
		付着強度試験 （注1）（注2）	単軸引張試験	増厚材使用後 工事ごとに1箇所，1箇所あたりの試験数3個	個々の試験値が1.5N/mm^{2}以上		

（注1）現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが，現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には，
JIS A 5371の普通平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。
（注2）普通平板を用いる場合は，実際の施工断面と同様の施工条件を再現した上で試験を行うこと。

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-61 「接着工法 ③品質管理」

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
接着工法（下地処理工）	施工	付着強度試験	単軸引張試験	下地処理後 200m^{2}ごとに3箇所（クラウン部及び左右側壁2箇所），1箇所当たりの試験数は3個	個々の試験値が1.5N/mm^{2}以上		
接着工法	施工	増厚材の圧縮強度試験	JSCE K 561 試験体：円柱供試体（φ50mm×100mm）等を1回につき3本採取。作成1日後に脱型し，材齢28日まで20°±2°Cの水中養生。	①試験体の作製： 増厚材使用中の材料練り混ぜ中のものから採取。 ②試験頻度： 200m^{2}毎に1回	28日圧縮強度値が21.0N/mm^{2}以上		
		増厚材の付着強度試験 （注1）	単軸引張試験	増厚材使用後 工事ごとに1箇所，1箇所あたりの試験数3個	個々の試験値が1.5N/mm^{2}以上		

（注1）現場での作業と同一の材料を使用して現場の覆工コンクリート躯体で行うことを原則とするが，現場の覆工コンクリート躯体での試験が困難な場合には，
コンクリートの物性が明らかな平板を用いて付着強度試験を行ってもよい。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）

P.巻末-71　「ロックボルト補強工法　③品質管理」

ロックボルト補強工法

③　品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法		試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
ロックボルト補強工法	材料	定着材の圧縮強度試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」		工法の性能、材料の配合が変わる毎に実施	1日圧縮強度値が10N/mm^{2}以上		1.試験報告書記載の試験内容、試験結果を確認し、必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		定着材のフロー試験 （モルタル系）	JIS R 5201 「セメントの物理試験方法」			150±20 mm		
		ロックボルトの外観検査	目視，寸法計測等			設計図書による		
		頭部処理材の圧縮強度試験	JSCE K 531 （28日間養生）			28日圧縮強度値が21.0N/mm^{2}以上		
		頭部処理材の長さ変化率試験	JIS A 1129			0.05%以下		
		頭部処理材の中性化深さ試験	JIS A 1171 （4週間）			中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/$\sqrt{年}$ 以下		
		頭部処理材の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） ［15時間経過後の平均摩耗深さと標準モルタル供試体の平均摩耗深さとの比較（材齢28日）］			標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		頭部処理材の付着強度試験	JSCE K 531 又はJSCE K 561 （乾湿・温冷繰返し回数は15サイクル）	標準条件		1.5N/mm^{2}以上		
				多湿条件				
				低温条件				
				水中条件		1.0N/mm^{2}以上		
				乾湿繰返し条件				
				温冷繰返し条件				

旧（本マニュアル（令和３年６月制定））

P.巻末-64　「ロックボルト補強工法　③品質管理」

ロックボルト補強工法

③　品質管理

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法		試験（測定）基準	（参考）規格値	管理方式	処置
ロックボルト補強工法	材料	定着材の圧縮強度試験 （モルタル系）	JIS R 5201 （セメントの物理試験方法）		工法の性能，材料の配合が変わる毎に実施	1日圧縮強度値が10N/mm^{2}以上		1.試験報告書記載の試験内容，試験結果を確認し，必要に応じて立会検査する。 2.規格値の範囲に収まらない材料は使用してはならない。
		定着材のフロー試験 （モルタル系）	JIS R 5201 （セメントの物理試験方法）			150±20 mm		
		ロックボルトの外観検査	目視，寸法計測等			設計図書による		
		ロックボルトの引抜試験	NEXCO試験方法 JGS 3731-2005－NEXCO 試験法条件 （ロックボルトの引抜き試験方法）			引抜き耐力100kN以上		
		頭部処理材の圧縮強度試験	JSCE K 531 （28日間養生）			28日圧縮強度値が21.0N/mm^{2}以上		
		頭部処理材の長さ変化率試験	JIS A 1129			0.05%以下		
		頭部処理材の中性化深さ試験	JIS A 1171 （4週間）			中性化深さ4mm以下 中性化速度係数 14mm/$\sqrt{年}$ 以下		
		頭部処理材の摩耗深さ試験	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験（案） （材齢28日，15時間経過後）			標準モルタル供試体に対する平均摩耗深さの比が1.5以下		
		頭部処理材の付着強度試験	JSCE K 531 又はJSCE K 561 （乾湿・温冷繰返し回数は15サイクル）	標準条件		1.5N/mm^{2}以上		
				多湿条件				
				低温条件				
				水中条件		1.0N/mm^{2}以上		
				乾湿繰返し条件				
				温冷繰返し条件				

（凡例）赤字：修正箇所

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-73　「ライナープレート建込工法　①直接測定による出来形管理」	

ライナープレート建込工法
① 直接測定による出来形管理

ライナープレート工法の直接測定による出来形管理は「土木工事施工管理基準（水路トンネル工事、管水路工事）」に準じることとし省略する。

新　規

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-74　「ライナープレート建込工法　②撮影記録による出来形管理」	



新　規

（凡例）赤字：修正箇所

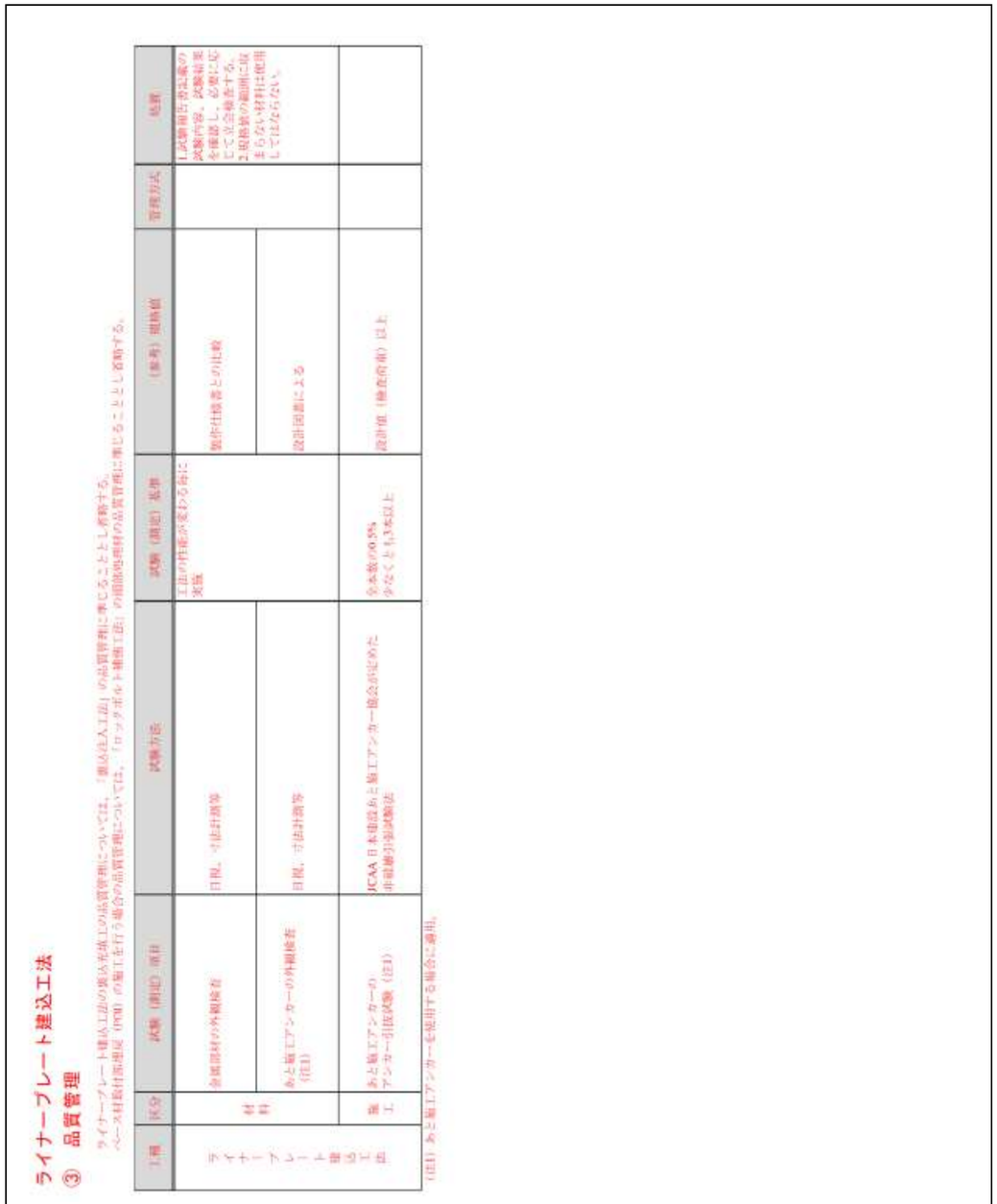
新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-75　「ライナープレート建込工法　②撮影記録による出来形管理」	

工種	種別	施工箇所	撮影箇所	撮影方法	備考
ライナープレート建込工法	6.建込完了工	施工箇所ごと	発生要因止め施工状況	「土木工事施工管理基準」参照。	
			注入状況（圧力管理状況） 裏込材の膨張収縮状態を撮影 圧力計の圧力値を撮影		
		施工箇所ごと	充填完了状況 充填箇所の補助孔より注入材が流出（リーク）したことを確認		
			充填状況確認 裏込材別充填のコアにより裏込充填材の充填状況を確認したことを撮影		
	7.設備工	適宜	各種使用機材設置状況		

（注）本施工を省略する場合に行う。

（凡例）赤字：修正箇所

新（改定版）	旧（本マニュアル（令和３年６月制定））
P.巻末-76　「ライナープレート建込工法　③品質管理」	



ライナープレート建込工法
③ 品質管理

ライナープレート建込工法の嵌込先行工法の品質管理については、「嵌込先入工法」の品質管理に準じることとし省略する。
ベース材設置作業時（HW）の施工を行う場合の品質管理については、「ロックボルト併用工法」の品質管理に準じることとし省略する。

工種	区分	試験（測定）項目	試験方法	（参考）規格値	管理方式	処置
ライナープレート建込工	材料	金属部材の外観検査	目視、寸法計測等	製作仕様書との比較		
				設計図書による		
		あと施工アンカーの外観検査（注1）	目視、寸法計測等			
	施工	あと施工アンカーの引抜試験（注1）	JCAA 日本建設あと施工アンカー協会が定めた非破壊引張試験法	公称値の0.95倍以上、かつ3本以上		

（注1）あと施工アンカーを使用する場合に適用。

新　規