

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。

表-8.1.1 水路トンネルで施工実績のある製管工法

工法	工法の概要	構造部材	仕上り内面の材質
機械製管工法	継手機能を有する帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材をスパイラル状に製管する。 又は、覆工表面との間隔を保つ必要がある位置にスペーサーを設置してから帯状のリブ付き硬質塩化ビニル製の表面部材を、同じ材質の継手材を用いてスパイラル状に製管する。 背面は裏込充填材で充填する。	リブ付き硬質塩化ビニル樹脂製の表面部材＋鋼製補強材＋裏込充填材	硬質塩化ビニル樹脂
人力製管工法	トンネルの形状に基づいて製作された鋼製リングを組み立て、その内側に高密度ポリエチレン製の表面部材を、同じ材質の嵌合部材を用いて取り付けて製管する。背面は裏込充填材で充填する。	高密度ポリエチレン製の表面部材＋鋼製リング＋裏込充填材	ポリエチレン樹脂（高密度ポリエチレン製）
パネル組立工法	円弧状プレキャストコンクリート版を設置して新たなアーチを製管する。粗度係数の改善を目的に全断面にプレキャスト版を設置する場合もある。背面は裏込充填材で充填する。	超高強度繊維補強コンクリート版＋裏込充填材、 又は鉄筋コンクリート版＋裏込充填材 (注1)	プレキャストコンクリート

(注1) 仕上がり断面縮小が問題となる場合には、部材厚が薄い超高強度繊維補強コンクリート版が適用され、問題とならない場合は経済的な鉄筋コンクリート版が適用される。

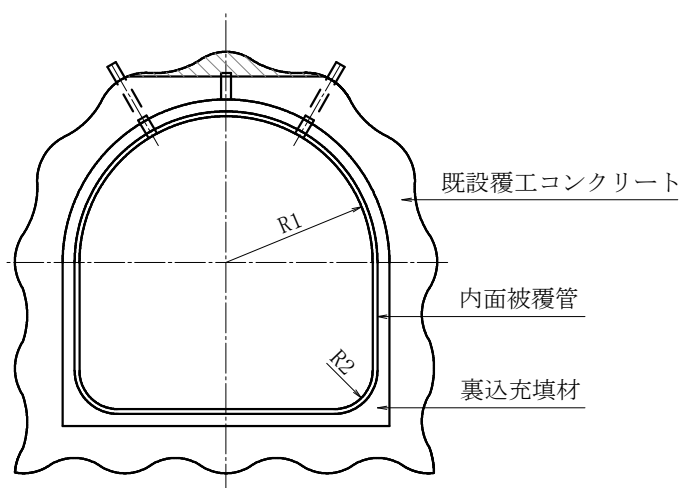


図-8.1.1 製管工法の例



施工中



施工後

図-8.1.2 機械製管工法の施工例（1）



施工前



施工後

図-8.1.3 機械製管工法の施工例（2）



施工中



施工後

図-8.1.4 人力製管工法の施工例

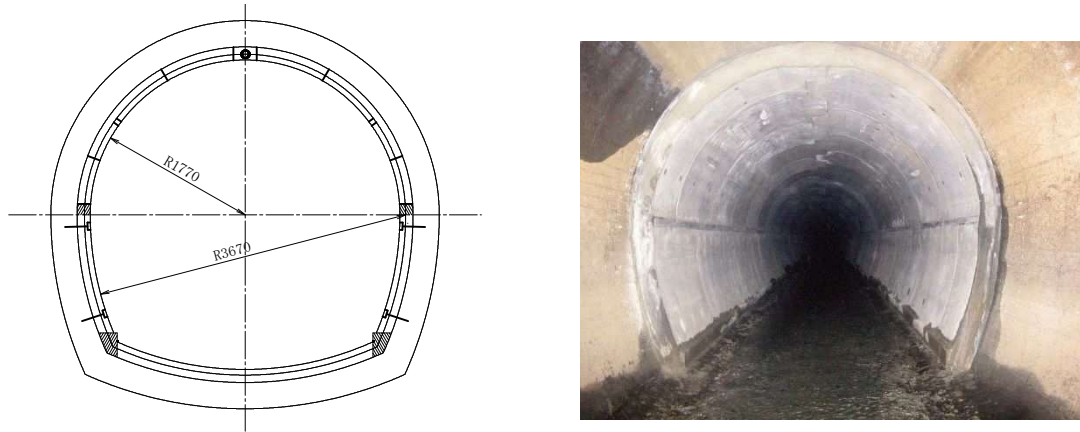


図-8.1.5 パネル組立工法の施工例

(3) 施工の概要

1) 機械製管工法の施工手順

機械製管工法は、覆工コンクリートの下地処理の後、必要に応じ覆工コンクリートに沿って補強鉄筋を組み立て、製管機械を設置して表面部材をスパイラル状に製管する。内面被覆管と覆工コンクリートの間隙は裏込充填材で充填する。図-8.1.6 に、機械製管工法の施工概要を示す。

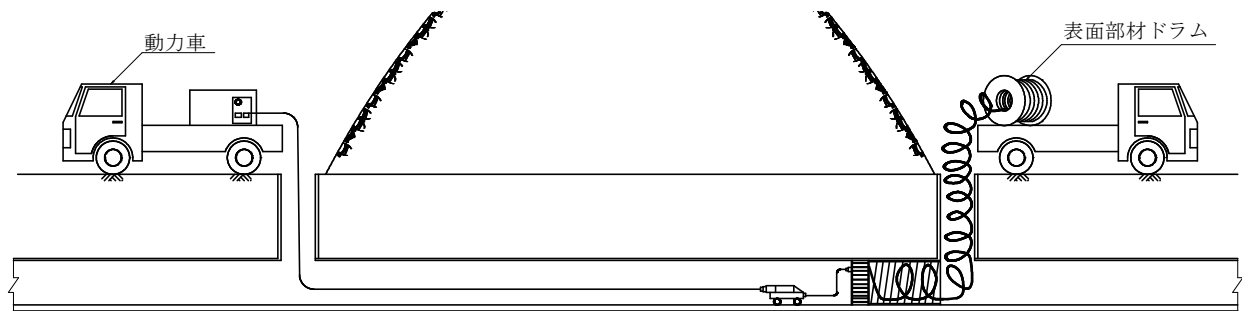


図-8.1.6 機械製管の施工概要

2) 人力製管工法の施工手順

人力製管工法は、覆工コンクリートの下地処理の後、人力で分割された鋼製リングを組み立て、高密度ポリエチレン製の嵌合部材と表面部材を鋼製リングに組み付ける。内面被覆管と覆工の間隙は裏込充填材で充填する。図-8.1.7 に、人力製管工法の施工概要を示す。

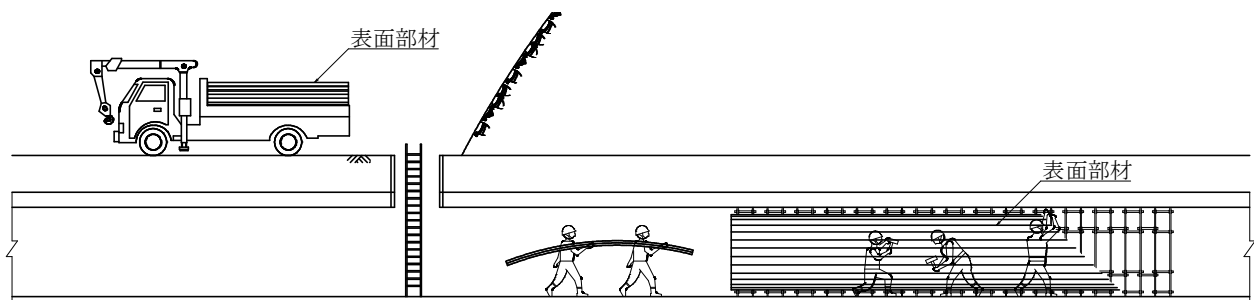


図-8.1.7 人力製管の施工概要

3) パネル組立工法の施工手順

パネル組立工法は、覆工コンクリートの下地処理の後、パネル架設用の基礎工（根固めコンクリート）を設置する。専用架設機械で側壁パネル・アーチパネルの順に据え付け、脚部の調整と頂部の連結を行う。1 リング分のパネル組み立て後に、継ぎ手ボルトでリング間を連結する。パネルと覆工の間隙は裏込充填材で充填する。

(4) 留意事項

- ① 覆工背面に空洞がある場合、更生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、トンネル内への湧水状況、圧送距離等に留意する必要がある。

(5) 裏込充填材

機械製管工法及び人力製管工法の裏込充填材は、構造部材としての機能を有することから裏込充填材には、耐久性に優れ、安定した強度が得られるセメントモルタル、ポリマーセメントモルタル等が使用される。

一方、パネル組立工法の裏込充填材は、覆工とプレキャストコンクリート版との間隙を充填することで覆工を介して背面地山の反力を伝達する機能を有することから、一般に一軸圧縮強さ $\sigma_{28}=1.0\text{N/mm}^2$ 以上の強度特性を持ったエアモルタル等が使用される。

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、想定される水压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、水压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。

充填性・流動性：所定の位置から注入する裏込充填材が内面被覆管と覆工との間隙にスムーズに充填できること。

耐摩耗性：流水等による摩耗に対する抵抗性を有していること。

補修対策で適用される場合の性能項目（照査項目）は、通水性（粗度係数）、水密性（材料の水密性）、耐摩耗性（摩耗に対する抵抗性）とする。

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きよ更生工法」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きよ更生工法」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」	工法の申告値以上
			充填材の単位容積質量	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」	工法の申告値以内
			充填材の材料不分離性	ブリーディング試験 (注1)	・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購入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

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 ($=3.5\text{mm}$)^(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) ($1.5 \times 3.5 \times (20/10) = 10.50$)

(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。ここでの平均摩耗深さは、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

8.2.2 製管工法の適用性

製管工法は、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工法（製管材料・補強範囲）を選定しなければならない。

【解説】

製管工法には機械製管工法のように全周補強を基本とする工法と、人力製管工法やパネル組み立て工法のようにアーチ部補強と全周補強とを選択できる工法とがある。

地圧に対する適用性について、アーチ部補強を基本とする製管工法は、緩み圧等の鉛直荷重に対する補強効果は大きいですが、塑性圧等の水平方向荷重に対しては補強効果が小さいので留意する必要がある。人力製管工法やパネル組み立て工法においてもインバート部材を配置して全周補強とした場合は、水平方向荷重（塑性圧や偏圧等）に対する補強効果が向上する。

8.3 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

8.4 構造設計

8.4.1 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

8.4.2 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

8.4.3 製管工法の構造設計

製管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) 製管工法の構造設計手法

製管工法の構造設計手法には自立管と複合管がある。製管工法（複合管）の構造計算例として「管きょ更生工法における設計・施工管理 ガイドラインー2017 年度版ー 日本下水道協会」があるが、覆工コンクリートの剛性が期待できない場合や著しいひび割れが生じている場合は、構造設計に際し劣化状況の適切なモデル化が課題とされている。そのため、本書は自立管設計を対象としている。改修工法として適用する場合は、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する必要がある。

(2) 製管工法の骨組解析検討モデル

自立管として設計する製管工法は、更生管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-8.4.3-1 に製管工法の骨組解析検討モデル（例）を示す。

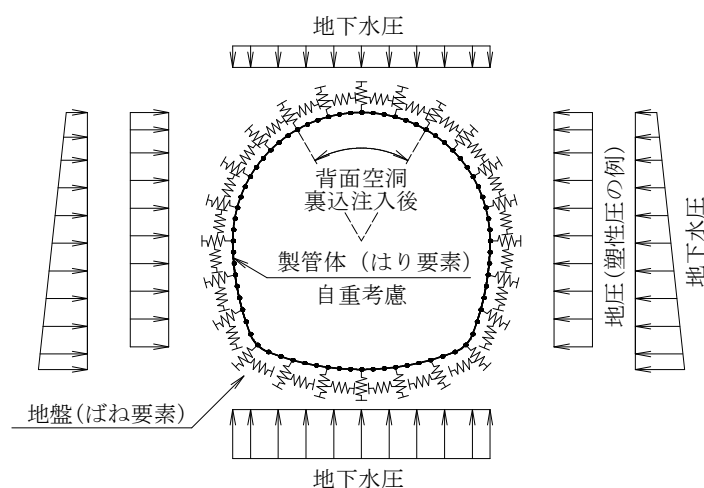


図-8.4.3-1 製管工法の骨組解析検討モデル（塑性圧の例）

- 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、又は圧ぎ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、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、

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 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

8.5 施工方法

8.5.1 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

8.5.2 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

8.5.3 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

8.5.4 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

8.5.5 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

8.5.6 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

8.5.7 製管工法の施工

製管工法は、製管方法や構造部材の種類等から分類される。製管工法の施工は、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】

施工実績のある製管工法は図-8.5.7-1 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。

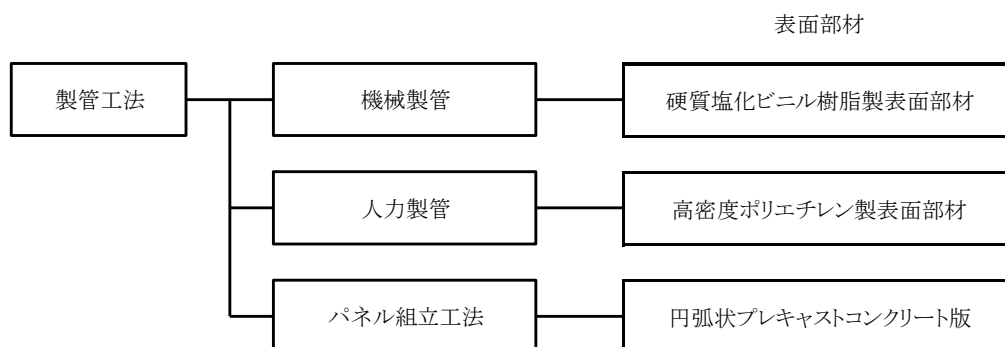
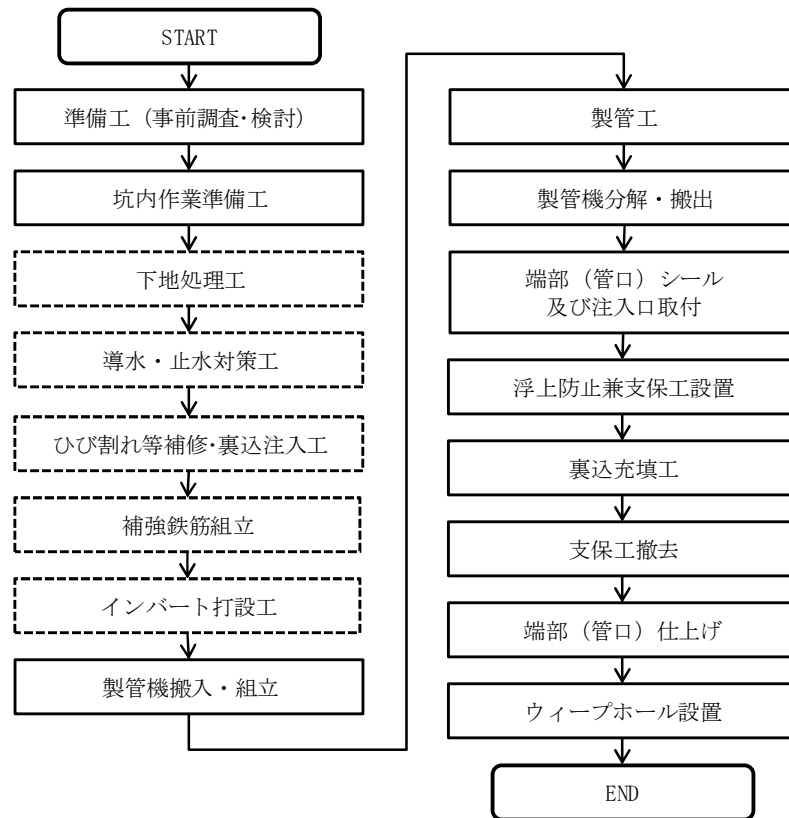


図-8.5.7-1 製管工法の分類（例）

(1) 機械製管工法の施工

機械製管工法は、帯状のリブ付き硬質塩化ビニル樹脂製表面部材を専用機械でスパイラル状に製管する工法である。覆工と内面被覆管との間隙は裏込充填材で充填する。施工は、図-8.5.7-2 の手順で行う。



注) 破線は必要に応じて実施する

図-8.5.7-2 機械製管工法の施工フロー（例）

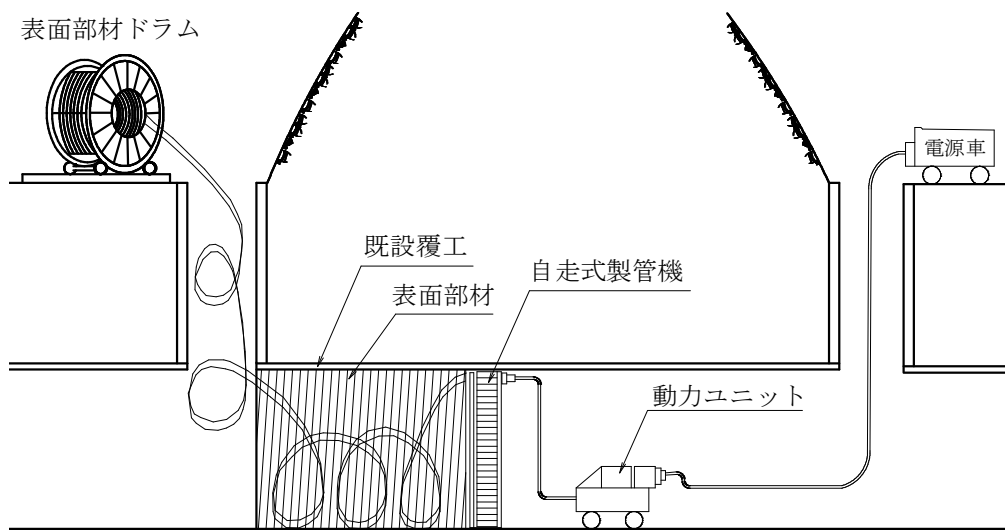


図-8.5.7-3 自走式製管機による製管状況（例）

1) 導水・止水対策工

機械製管工法は、湧水に対する止水処理が充分に行われず、裏込充填材の充填が不十分な箇所に浸入水による高水圧が作用し、表面部材が座屈した事例がある。地下水による高水圧や多量の湧水は裏込充填材の充填に悪影響を及ぼすため、導水・止水対策を適正に行う必要がある。写真-8.5.7-1に導水工設置例を示す。



導水管設置時



製管後

写真-8.5.7-1 導水工設置状況（例）

2) 補強鉄筋組立

自立管の場合、表面部材のみでは作用地圧に抵抗できない場合がある。その場合は、覆工に沿って補強鉄筋を配置する。補強鉄筋の組み立ては、坑内作業準備工の後に行う。

3) インバート打設工

自立管において底版厚が必要な場合は、製管に先立ち底版に裏込充填材と同質のモルタルを打設する。なお、鋼製スペーサーを設置して嵩上げを行い、底版打設をせずに製管する場合もある。

4) 製管機搬入・組立

自走式製管機を作業坑内に搬入し組み立てる。

5) 製管工

地上に置かれた表面部材ドラムから連続的に表面部材を坑内の製管機に送り込み、既設トンネルと相似のガイドフレームに沿って自走式製管機のローラが回転しながら既設トンネル内を自走し、表面部材を所定の断面に成形する。図-8.5.7-3に自走式製管機による製管状況を示す。

6) 製管機分解・搬出

製管終了後、表面部材と製管機を切り離し、製管機を分解、搬出する。

7) 端部（管口）シール及び注入口取付

覆工と内面被覆管の間に注入用パイプを取り付け、端部（管口）をシールする。また、内面被

覆管の内部に注入用バルブを設置する場合もある。

8) 浮上防止兼支保工設置

覆工と内面被覆管の間隙を裏込充填する際、内面被覆管の浮上及び変形を防止するため、内面被覆管内部に支保材を設置する。写真-8.5.7-2 に支保材設置状況を示す。



写真-8.5.7-2 支保材設置状況（例）

9) 裏込充填工

地上に裏込充填材注入プラントを設置し、端部（管口）シール部及び更生管内部に設置した注入用バルブから、覆工と内面被覆管の間隙に裏込充填材を順次注入していく。裏込充填材注入は、内面被覆管が座屈変形しないように、注入圧力を管理しながら行う。図-8.5.7-4 に裏込充填状況を示す。

裏込充填材の充填状況は、注入用バルブ及び空気抜き管からの充填材の流出（リーク）により確認するとともに、打音調査により確認する。

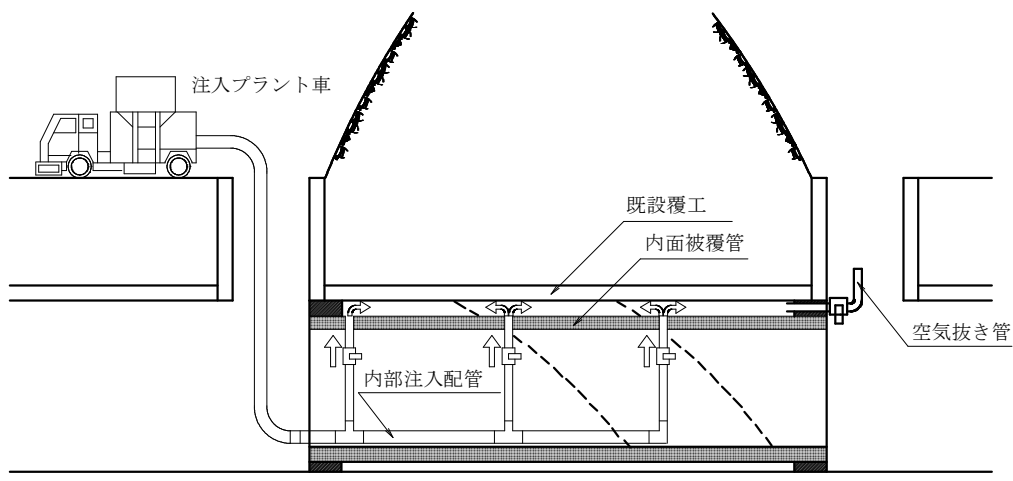


図-8.5.7-4 裏込充填作業配置図（例）

10) 支保工撤去

裏込充填工終了後、支保材を分解、搬出する。浮上防止工設置のために削孔した部分のシールを行うとともに、端部（管口）に取り付けた裏込充填材注入用バルブを除去する。

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一状に仕上げる。図-8.5.7-5 に端部（管口）仕上げ状況の構造図を、写真-8.5.7-3 に端部（管口）仕上げ状況を示す。

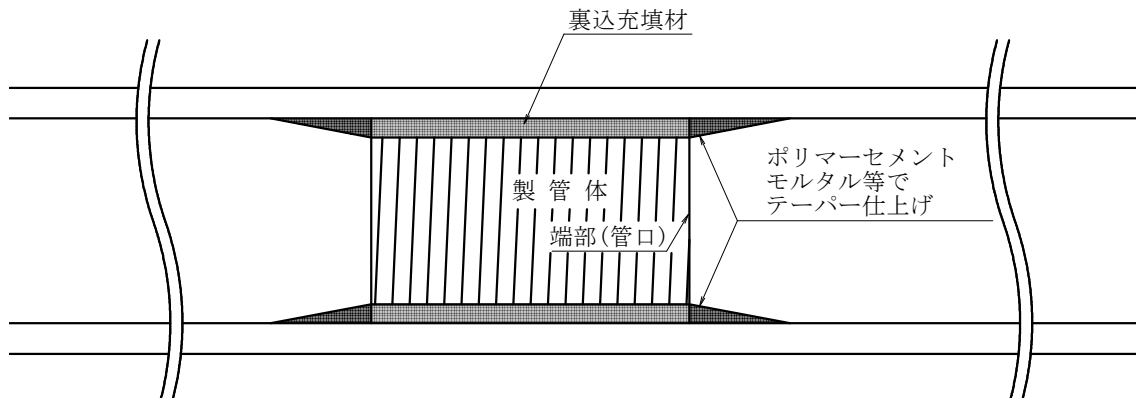


図-8.5.7-5 端部（管口）仕上げ（例）



写真-8.5.7-3 端部（管口）仕上げ状況

12) 曲線部の施工方法

補強対象トンネルが曲線部を有する場合、機械製管工法では曲線用の表面部材を使用して製管を行う。図-8.5.7-6 に直線用の表面部材を、図-8.5.7-7 に曲線用の表面部材を示す。曲線用の表面部材は伸縮部により既設トンネルの曲線形状に追従させて製管する。図-8.5.7-8 に曲線部の製管状況を示す。

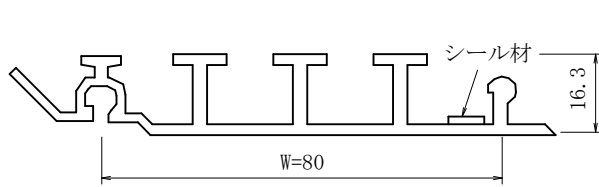


図-8.5.7-6 直線用表面部材の例

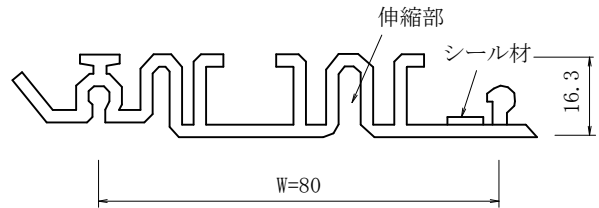


図-8.5.7-7 曲線用表面部材の例

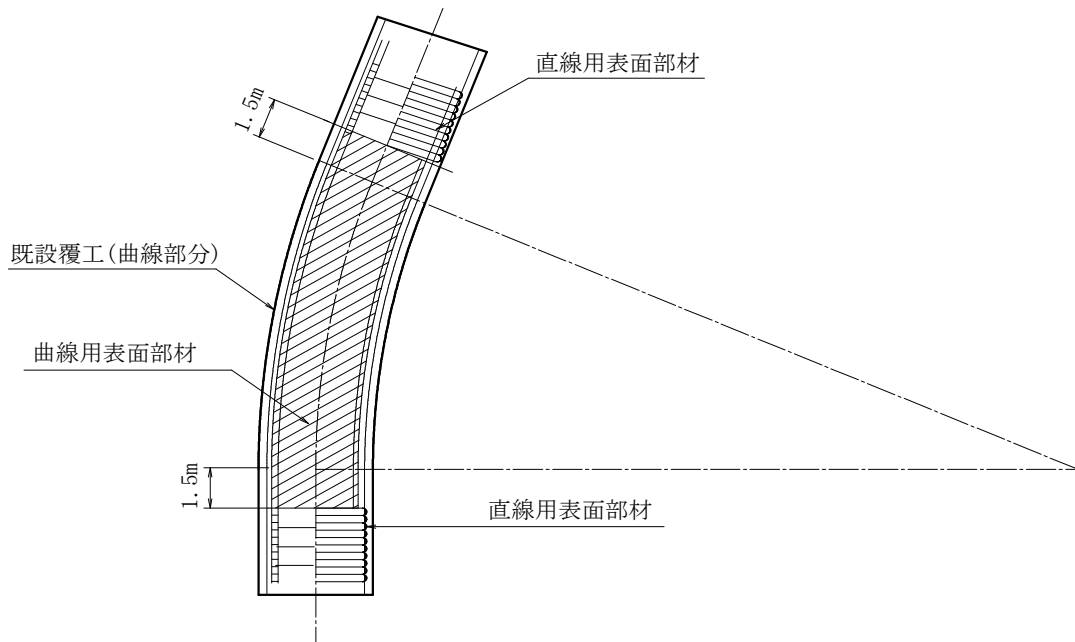


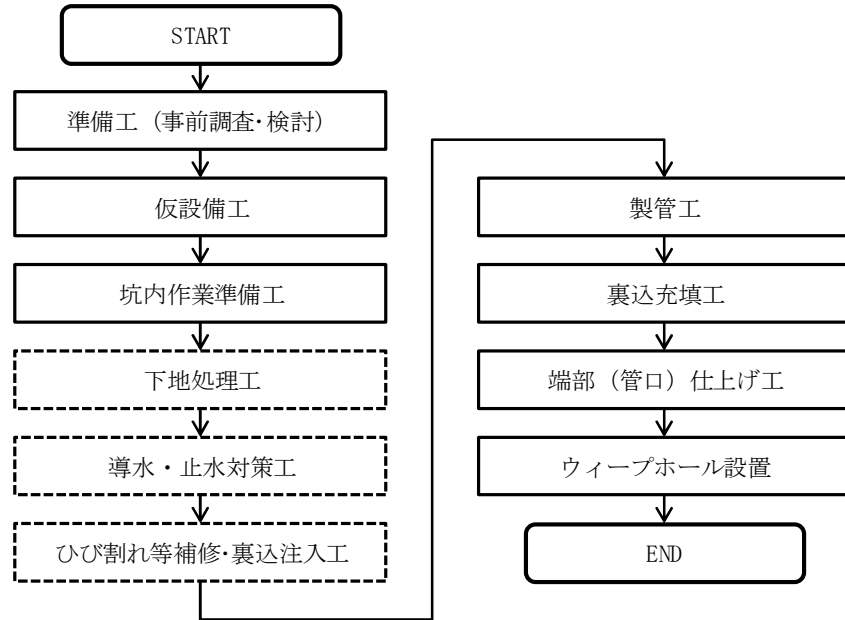
図-8.5.7-8 曲線部の施工例

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（場合により裏込注入材も含めて）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 水抜工を参考にする。

(2) 人力製管工法の施工

人力製管工法は、覆工内で組み立てた鋼製リングに高密度ポリエチレン製の嵌合部材と表面部材とを管軸方向に嵌合させて製管する工法である。覆工と表面部材との間隙は、裏込充填材で充填する。施工は、図-8.5.7-9 の手順で行う。



注) 破線は必要に応じて実施する

図-8.5.7-9 人力製管工法の施工フロー (例)

1) 導水・止水対策工

湧水がある場合の処理方法の一例を写真-8.5.7-4 に示す。湧水を更生管内に導水し、裏込充填工のドライワークと裏込充填材の品質を確保する。



写真-8.5.7-4 湧水処理 (水路内への導水) (参考)

2) 製管工

① 鋼製リング組立工

分割された鋼製リングを坑口等から坑内に運搬し、ボルト結合により鋼製リングを組み立てる。組立作業は汎用工具を使用して行うことができ、特殊な施工設備を必要としない。

鋼製リングの組立後、各鋼製リングの頂部及び両側部に位置調整金具を取り付ける。位置調整

金具を使用して、覆工と鋼製リングをアンカーボルトで固定することも可能である。写真-8.5.7-5に鋼製リング組立状況を示す。

組み立て作業終了後にボルト、ナットのゆるみがないことを確認する。



写真-8.5.7-5 鋼製リング組立状況

② 勾配の調整

内面被覆管の勾配調整は、位置調整金具を使用して高低差をつけることによって行う。勾配調整の要領図を図-8.5.7-10に示す。

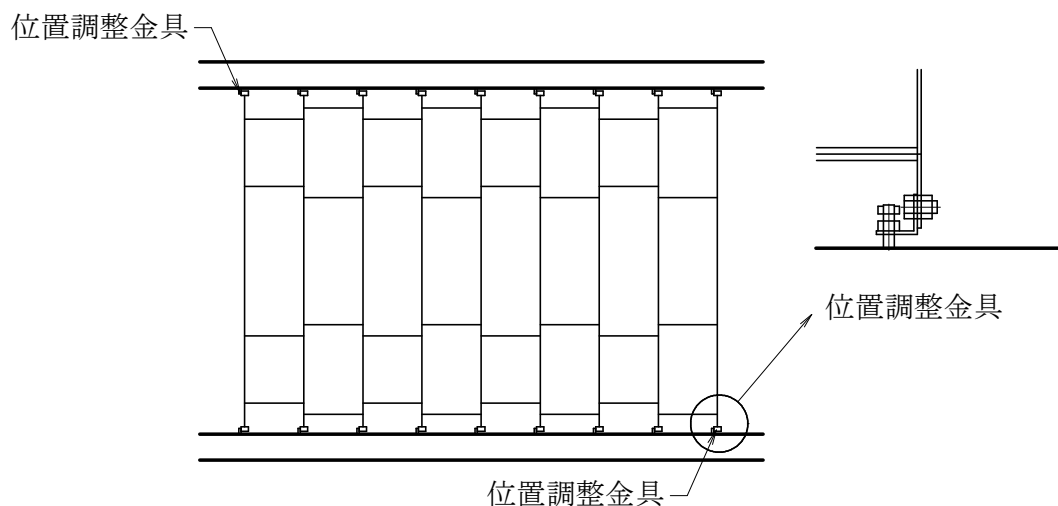


図-8.5.7-10 勾配調整要領図（例）

③ 屈曲部の施工

鋼製リングを図-8.5.7-11に示すように角度をつけて組み立てることによって、屈曲部の施工が可能である。

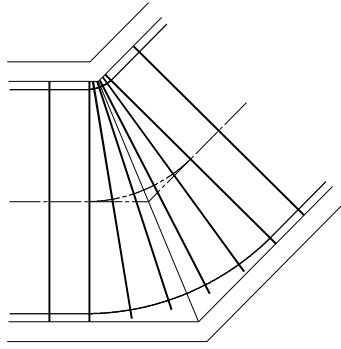


図-8.5.7-11 屈曲部鋼製リング組立平面図（例）

④ 嵌合部材、表面部材組付工

鋼製リング組立完了後、嵌合部材を搬入し、鋼製リングの溝に組み付ける。その後、表面部材を搬入して嵌合部材と嵌合させ、更生形状に仕上げる。写真-8.5.7-6 及び図-8.5.7-12 に、嵌合部材と表面部材の組付け状況を示す。



写真-8.5.7-6 嵌合部材、表面部材組付工の組付状況

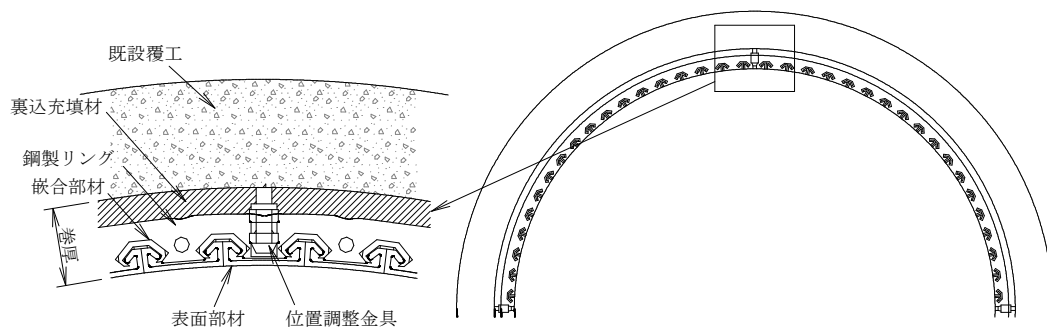


図-8.5.7-12 嵌合部材、表面部材組付工の横断面図（例）

3) 裏込充填工

① 充填工

表面部材の組付完了後、部材端部を切り揃えて、更生管の端部を速硬性モルタル等で端部処理を行う。裏込充填材の充填口は表面部材に直接穴を開けてネジ加工を行う。充填材の充填口は 5m から 10m 間隔で取り付ける。人力製管工法は機械製管工法のような浮上防止工を設置しないため、内面被覆管が裏込充填時に浮上しないよう、充填材の充填は、充填ポンプを使用して数日に分けて行う。1 日当たりの充填高さは 50cm 以下とする。図-8.5.7-13 に裏込充填工の縦断面図を示す。

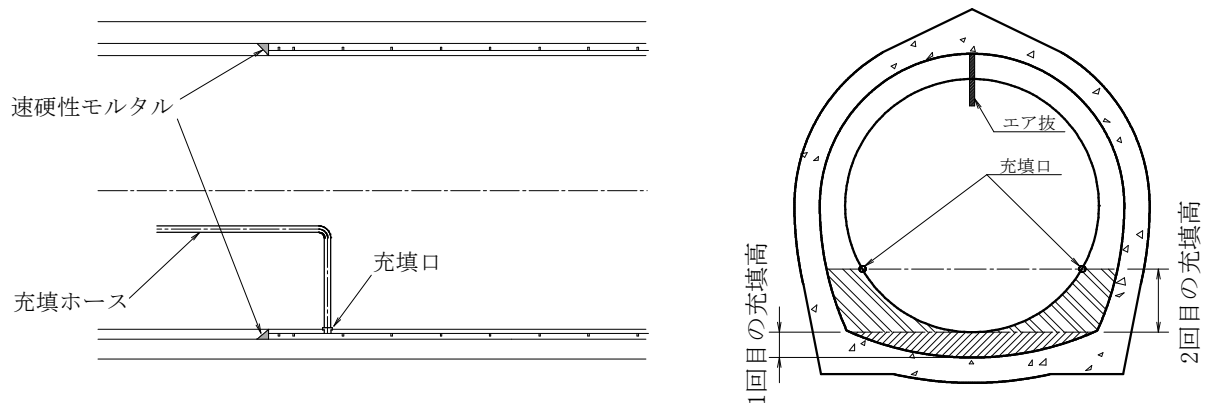


図-8.5.7-13 裏込充填工の縦断面図・横断面図（例）

② 空気抜き管の取り付け

裏込充填工において空気が溜まると予想される頂部に、写真-8.5.7-7 に示すような中空の空気抜き管を取り付ける。

表面部材に穴を開けてネジ加工を行い、空気抜き管を取り付ける。空気抜き管から充填材が流出（リーク）したことを確認して充填を完了する。取り付け状況を写真-8.5.7-8 に示す。

裏込充填材の充填状況は、充填口及び空気抜き管からの充填材の流出（リーク）により確認するとともに、打音調査により確認する。



写真-8.5.7-7 空気抜き管（参考）



写真-8.5.7-8 空気抜き状況

4) 端部（管口）仕上げ工

妻型枠の撤去後に、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状に仕上げる。図-8.5.7-14 に端部（管口）仕上げ工の構造図を、写真-8.5.7-9 端部（管口）仕上げ状況を示す。

端部（管口）仕上材

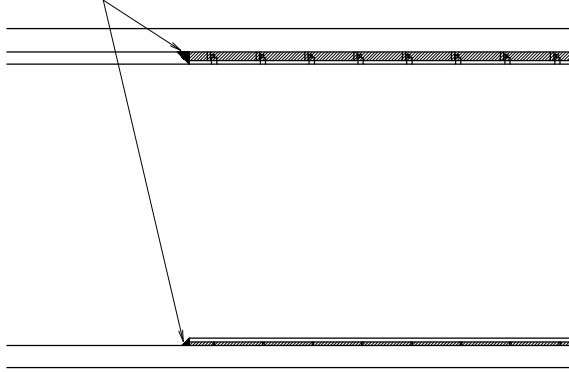


図-8.5.7-14 端部（管口）仕上げ工（例）

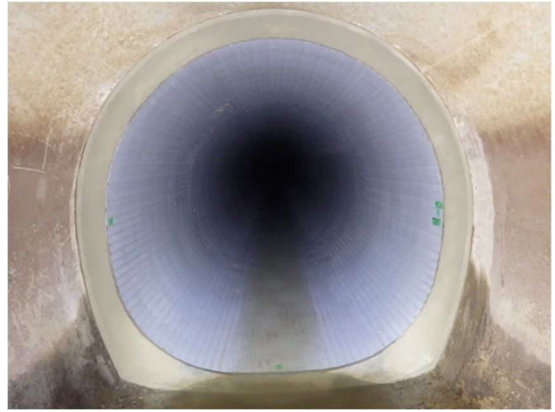


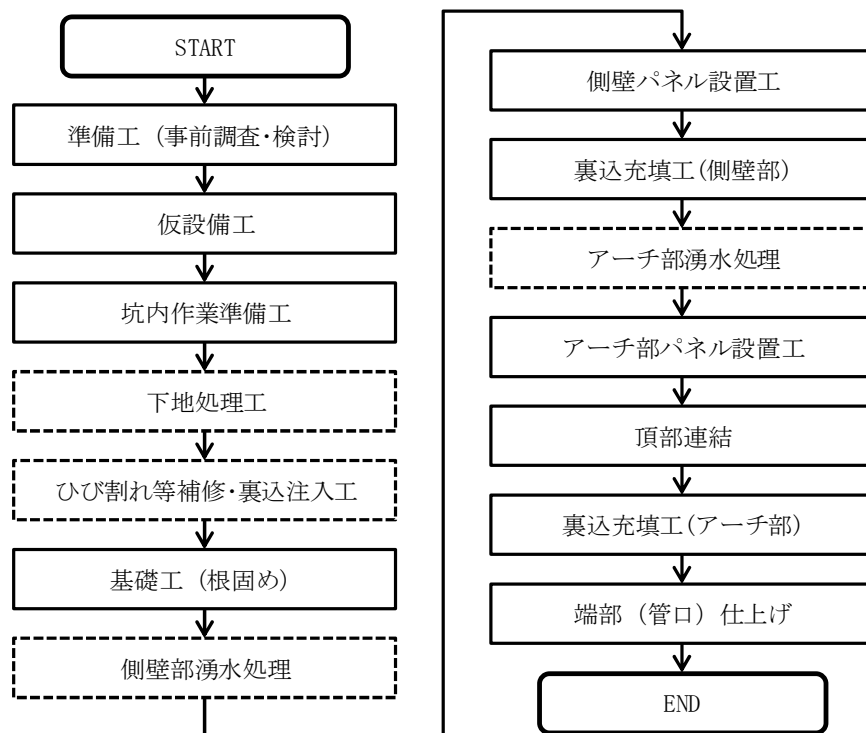
写真-8.5.7-9 端部（管口）仕上げ状況

5) ウィープホール設置

機械製管工法を参照する。

(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）

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、 $2r=3.8\text{m}$ （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



写真-8.5.7-15 アーチ PCL 版運搬



写真-8.5.7-16 アーチ PCL 版架設

② 側壁工

側壁は、現場打ちコンクリートで構築されることが多く、スライディングフォームを用いた構築方法が多く採用されている。一方、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の例もある。この場合、覆工と側壁の間隙には裏込充填材を充填する。写真-8.5.7-17 に側壁部への裏込充填状況を示す。



写真-8.5.7-17 側壁部裏込充填材注入



写真-8.5.7-18 側壁部アンカー工

③ アンカー工

パネル組立工法では、PCL 版と覆工との付着確保、PCL 版の脚部調整、頂部調整などを目的に各種アンカー工を併用する。PCL 版脚部（側壁）の水平方向の連結は、覆工に取り付けた樹脂アンカーや機械式打ち込みボルトなどのあと施工アンカーを介して連結するのが一般的である。あと施工アンカーは、図-8.5.7-16 に示すように穿孔時に適切な径のビットを用いて削孔し、孔内の清掃を入念に行った後、適切な打込棒とハンマーでアンカーを固定する必要がある。写真-8.5.7-18 に側壁部のアンカー設置状況を示す。

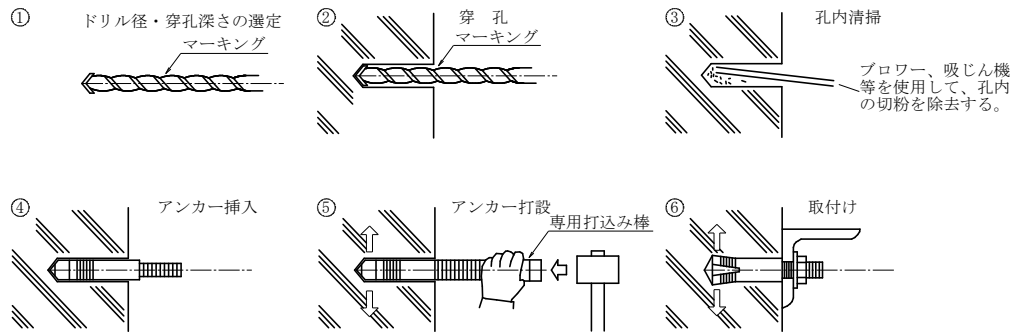


図-8.5.7-16 あと施工アンカー施工手順（例）

④ 脚部固定工

PCL 版設置後のトンネル内では、工事用車両などの壁面接触などによって、PCL 版の破損や脱落などの危険性が想定される。そのため、側壁、覆工、PCL 版、垂直支持金物並びに水平支持金物などで構成される脚部の間隙には、 $f'_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 以上のモルタルを充填し脚部を保護する。

脚部モルタルの注入は、1 日の架設作業が終了した時点でモルタルをその都度充填する方法と、覆工や側壁に埋め込んだアンカーと PCL 版の取付け金具を連結し、PCL 版設置完了後に脚部モルタルをまとめて充填する 2 通りの方法が行われている。写真-8.5.7-19 に PCL 版（アーチ）の高さ調整状況を、写真-8.5.7-20 に PCL 版（アーチ）の脚部固定状況を示す。

注）PCL 版設置後、PCL 版と側壁の間隙に木製型枠を取り付ける。このとき、側壁の凹凸部にはシールテープを貼り、モルタルが漏れないよう対策を施す。小口部分は、PCL 版据付時にプレミックスモルタルなどで仕切り壁を設ける。



写真-8.5.7-19 PCL 版脚部高さ調整



写真-8.5.7-20 PCL 版脚部固定

⑤ PCL 版連結工

PCL 版頂部の接合部はピン構造とするが、脱落防止のため PCL 版をかみ合わせる構造として連結ボルトにより接合する。PCL 版接合部のシール溝には、スポンジ系のシール材を貼り付けて、裏込充填材の漏出を防止する。

写真-8.5.7-21 に連結ボルト締め付け状況を、写真-8.5.7-22 に連結ボルト締付完了状況を示す。



写真-8.5.7-21 連結ボルト締め付け



写真-8.5.7-22 連結ボルト締付完了

4) 裏込充填工

① 裏込充填材の配合例

パネル組立工法の裏込充填材には、通常、エアモルタルを使用するが、1:3 モルタルを使用する例もある。

② エアモルタルの施工

エアモルタルの注入については、PCL 版の構造計算から決まる注入限界高さに留意する。エアモルタル注入の手順例を以下に示す。

- a. 注入ポンプのノズルを PCL 版の注入口にセットする。
- b. 起泡剤と調整水を混合し圧搾空気を送って発生させた気泡を、モルタルを搭載したアジテータに添加し、所要のモルタルを製造する。
- c. エアモルタルを搭載したアジテータを注入ポンプに接続する。
- d. エアモルタルは、できるだけ低圧、低速で注入する。
- e. 注入高さの確認は、版の裏込充填孔によって確認する。
- f. 充填はクラウン部に設けた裏込充填孔からの流出（リーク）で確認する。裏込充填孔の先端は覆工寸前までのノズルを有したものをを用いる。（図-8.5.7-17 参照）

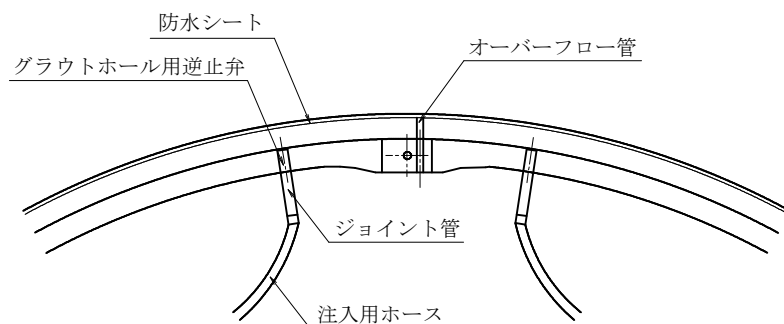


図-8.5.7-17 裏込充填材の充填確認参考図(例)

③ 裏込充填材注入時の妻止め（端部壁）の構築

裏込充填材の注入については、PCL版と覆工で構成される空間を注入能力や注入限度高さなどの制約条件から、縦断方向のブロックに分割して（端部壁で区切って）施工する。妻止め（端部壁）構築に用いる材料には、設置済みPCL版の過度の変形や防水シートの破損などを起こさない材料で、密着性に優れた材料を選定する。

写真-8.5.7-23 に裏込充填材の注入状況を、また、写真-8.5.7-24 に PCL 版組立完了状況を示す。



写真-8.5.7-23 裏込充填工



写真-8.5.7-24 PCL版組立完了

5) 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一状に仕上げる。図-8.5.7-5 に端部（管口）仕上げ状況を示す。

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、材料変形をもたらす、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。

4) 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。

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。

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。

未充填箇所が確認された場合は、再注入を行わなければならない。再注入後は、打音調査を行い、充填状況を再確認する。

なお、打音調査の範囲は、モニタリングにより適宜見直す方針とする。

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。