

## 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   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・水理性能の低下を改善する。</li> <li>・劣化因子の侵入を防止する。</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・摩耗が進行して水理性能を確保できない場合</li> <li>・表面から劣化因子が侵入するおそれがある場合</li> </ul>                                             |
| ひび割れ補修工法 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・鉄筋コンクリートでは鉄筋の腐食を防止する。</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ひび割れがブロック化するおそれがある場合</li> <li>・漏水の原因となる場合</li> </ul>                                                        |
| 断面修復工法   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・裏込注入材のリークを防止する。</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面欠損が覆工耐力の低下を招くおそれがある場合</li> <li>・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</li> <li>・裏込注入工実施区間</li> </ul>             |
| 裏込注入工法   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・覆工背面の地山の崩落を防止する。</li> <li>・湧水及び漏水を抑制する。</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・覆工が注入圧に耐える</li> <li>・湧水の状況は注入が可能な程度である</li> </ul>            |
| 目地補修工法   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・目地材の劣化、脱落などによる漏水を抑制する。</li> <li>・施工目地からの湧水及び漏水を抑制する。</li> <li>・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。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・漏水が著しく水利用性能を確保できない場合</li> <li>・湧水の状況に応じ導水対策を併用する必要がある</li> <li>・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</li> </ul> |

## 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。

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<br>性<br>圧 | 緩<br>み<br>圧 | 偏<br>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）補強効果は大きいですが、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素掘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-4.2.2 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<br>中日本高速道路株式会社<br>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<br>(地盤改良工法) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・覆工背面に空洞がある（又はゆるみ領域がある）</li> <li>・湧水の状況が注入可能な程度である</li> <li>・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）</li> <li>・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）</li> <li>・施工中に発生する濁水を適切に処理できる</li> </ul> |
| 鋼板内張工法             | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面縮小に対する水理的余裕がある</li> <li>・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</li> <li>・材料搬入が可能である</li> <li>・覆工と内張鋼板との間隙の充填が可能である（注1）</li> </ul>                                                                                              |
| 既製管挿入工法            | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面縮小に対する水理的余裕がある</li> <li>・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</li> <li>・材料搬入が可能である</li> <li>・覆工と挿入管との間隙の充填が可能である（注1）</li> </ul>                                                                                               |
| 製管工法               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・断面縮小に対する水理的余裕がある</li> <li>・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</li> <li>・材料搬入が可能である</li> <li>・覆工と内面被覆管との間隙の充填が可能である（注1）</li> </ul>                                                                                             |
| 接着工法               | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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</li> <li>・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）</li> </ul>                                                                                                                                |
| ロックボルト補強工法         | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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）</li> <li>・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）</li> </ul>                                                                                                          |
| ライナープレート建込工法       | <ul style="list-style-type: none"> <li>・既設トンネルが素掘トンネルである</li> <li>・断面縮小に対する水理的余裕がある</li> <li>・材料搬入が可能である</li> <li>・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）</li> </ul>                                                                                                     |

- (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。

以下では、主たる変状原因である地圧別に対策工法の適用性を示す。

### (1) 塑性圧に対する対策工法

塑性圧に対する対策工法は、構造的欠陥を除去する方法と変状現象に対応した方法に区分することができる。

補強対策の選定に際しては、構造的欠陥を除去する方法として、「裏込注入工法」を適用する。「裏込注入工法」が適用できない場合や、「裏込注入工法」単独では十分な補強効果が得られない場合は、その他の対策工法の適用を検討する。

「鋼板内張工法」「既製管挿入工法」「製管工法」については、表-4.2.3 の補強工法の適用条件に留意する。自立管設計を適用する場合には、作用外力に対する構造設計を行う。

「接着工法」については、表-4.2.3 の補強工法の適用条件に留意するとともに、作用外力に対する構造設計を行う。接着工法は引張側の補強を前提にしており、圧縮力に対しては覆工の耐力を期待する工法であるため、自立管設計とは異なる。

「ロックボルト補強工法」については、表-4.2.3 の補強工法の適用条件に留意するとともに、作用外力に対する構造設計を行う。また、「ロックボルト補強工法」は、補強工事後も覆工コンクリート表面が通水面となるため、ひび割れ補修工法等を適切に併用することが重要である。

### (2) 緩み圧に対する対策工法

地山の緩みによる鉛直圧（緩み圧）の場合は、アーチ上部の空洞が緩みの原因となっている場合が多く、覆工コンクリートに不均一な地圧を生じさせるため、覆工背面の空洞を充填することが重要である。よって、背面に空洞が確認された場合は「裏込注入工法」を適用する。その際、覆工天端に緩みに伴う崩積土が堆積し、背面の空洞が明確でない場合や、ひび割れが顕著な場合には、裏込注入工法施工時の注入圧及び注入した裏込注入材の重量によりひび割れが発生したり変状が拡大したりするおそれがあるので注意が必要である。

「鋼板内張工法」「既製管挿入工法」「製管工法」「接着工法」については、塑性圧と同様の考えで選定できる。

「ロックボルト補強工法」は、鉛直方向の緩みの抑制効果を期待できない場合もあるので、適用に当たり注意が必要である。

### (3) 偏圧に対する対策工法

偏圧に対する補強対策は大別すると以下のように分類される。

- ① 偏圧の軽減、地山の補強
- ② 抵抗土圧の確保
- ③ 覆工の補強

これらの中で、①②については概念を図-4.2.1に示すにとどめ、本書では一般的な③覆工の補強対策について述べる。

偏圧に対する覆工の補強対策は、塑性圧と同様の考え方で選定できる。

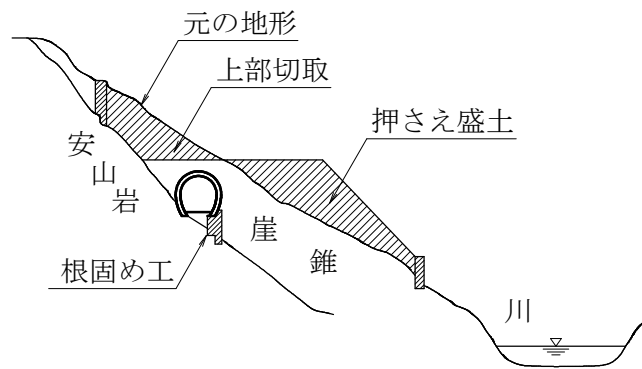


図-4.2.1 偏圧の軽減、抵抗土圧（押さえ盛土）の確保

### 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（充滿水による静水圧・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 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                    | ○             | ○             | ○             | ○    | △(注1)      | ○                 |
|       |       | 水密性     | 想定される水圧(充滿水による静水圧・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2)             |
|       |       | 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                | (○)<br>鋼管と同程度 | (○)<br>既製管の実績 | ○<br>塩ビ管と同程度  | ○    | ○          | (○)<br>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)         | (○)<br>鋼管の実績  | (○)<br>既製管の実績 | ○    |            | (○)<br>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。

### (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

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。

## 4.4 水理設計

### 4.4.1 一般事項

水路トンネルの水理設計は、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」に準拠する。

水路トンネルの水理設計に当たっては、一連の水路組織として統一的な機能、安全性及び経済性確保の観点から一貫性を保持するよう努めるものとする。

#### 【解説】

水路トンネルの補強対策後の通水断面積は、施工する補強部材厚に左右され、補強部材厚は構造設計により決定される。また、補修・補強材によっては、通水性を向上させる機能を有するものもあり、これらを適切に選定して、水理性能と構造性能を確保する必要がある。

#### 4.4.2 平均流速の計算

無圧トンネルの場合は、開水路系であるので、原則としてマンニング公式により平均流速を計算する。

##### 【解説】

##### (1) 平均流速公式

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots \text{式 4.4.2-1}$$

ここに、

$V$  : 平均流速 (m/s)

$n$  : 粗度係数

$R$  : 径深 (m)

$I$  : 水路底勾配

等流以外の平均流速を求める場合、式 4.4.2-1 の  $I$  は計算点でのエネルギー勾配又は水面勾配とする。

##### (2) 粗度係数

##### 1) 粗度係数の選定

マンニング公式の適否は、粗度係数の選定が適切であるか否かによる。したがって、その決定に当たっては、表面粗度、水路の湾曲、断面形状、流速、径深、沈殿と洗掘、浮遊物質、将来のトンネルの維持管理状況等多くの要素によって変化するため、適切な値の採用が必要である。また、水路トンネルは流水の作用によって摩耗・洗掘等が生じて水路内面の平滑さが次第に失われる場合もあるため、設計においてはこの点にも配慮する必要がある。設計に採用する粗度係数は、表-4.4.2-1 による。

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。

## 4.4.3 水理計算

水路トンネルの水理計算においては、以下の損失水頭を見込むものとする。

- ① 摩擦による損失水頭                      ② 流入、流出による損失水頭
- ③ 断面変化による損失水頭              ④ スクリーンによる損失水頭
- ⑤ 橋脚による損失水頭

なお、水路の湾曲による損失水頭は、原則として無視する。

## 【解説】

## (1) 各種損失水頭

①～⑤の各種損失水頭は、土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「水路工」、及び「水路トンネル」に従い算定する。

## (2) 補修・補強・改修工法の端部処理による損失水頭

補修（表面被覆工法）・補強・改修工法の端部では断面変化に伴う損失水頭を計上する。端部処理により生じる損失水頭は、①急縮による損失と②急拡による損失により求められる。

## 1) 急縮による損失水頭

$$h_{sc} = f_{sc} \frac{V_2^2}{2g} \cdots \cdots \cdots \text{式 4.4.3-1}$$

$$\Delta h_{sc} = h_{sc} + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \cdots \cdots \cdots \text{式 4.4.3-2}$$

ここに、

- $h_{sc}$  : 急縮による損失水頭 (m)
- $\Delta h_{sc}$  : 急縮による水位変化量 (m)
- $V_1$  : 急縮前の平均流速 (m/s)
- $V_2$  : 急縮後の平均流速 (m/s)
- $A_1$  : 急縮前の断面積 (m<sup>2</sup>)
- $A_2$  : 急縮後の断面積 (m<sup>2</sup>)
- $g$  : 重力の加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)
- $f_{sc}$  : 急縮損失係数 (表 4.4.3-1 による)

表-4.4.3-1 急縮前後の断面積と急縮損失係数  $f_{sc}$

| $A_2/A_1$ | 0    | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | (1.0) |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $f_{sc}$  | 0.50 | 0.48 | 0.45 | 0.41 | 0.36 | 0.29 | 0.21 | 0.13 | 0.07 | 0.01 | (0)   |

2) 急拡による損失水頭

$$h_{se} = f_{se} \frac{V_1^2}{2g} \cdots \cdots \cdots \text{式 4.4.3-3}$$

$$\Delta h_{se} = h_{se} + \left( \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \cdots \cdots \cdots \text{式 4.4.3-4}$$

ここに、

- $h_{se}$  : 急拡による損失水頭 (m)
- $\Delta h_{se}$  : 急拡による水位変化量 (m)
- $V_1$  : 急拡前の平均流速 (m/s)
- $V_2$  : 急拡後の平均流速 (m/s)
- $A_1$  : 急拡前の断面積 (m<sup>2</sup>)
- $A_2$  : 急拡後の断面積 (m<sup>2</sup>)
- $f_{se}$  : 急縮損失係数  $(1-A_1/A_2)^2$  (表-4.4.3-2 による)
- $g$  : 重力の加速度 (9.8m/s<sup>2</sup>)

表-4.4.3-2 急拡損失係数  $f_{se}$

| $A_1/A_2$ | 0   | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  | 0.6  | 0.7  | 0.8  | 0.9  | (1.0) |
|-----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $f_{se}$  | 1.0 | 0.81 | 0.64 | 0.49 | 0.36 | 0.25 | 0.16 | 0.09 | 0.04 | 0.01 | (0)   |

## 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。

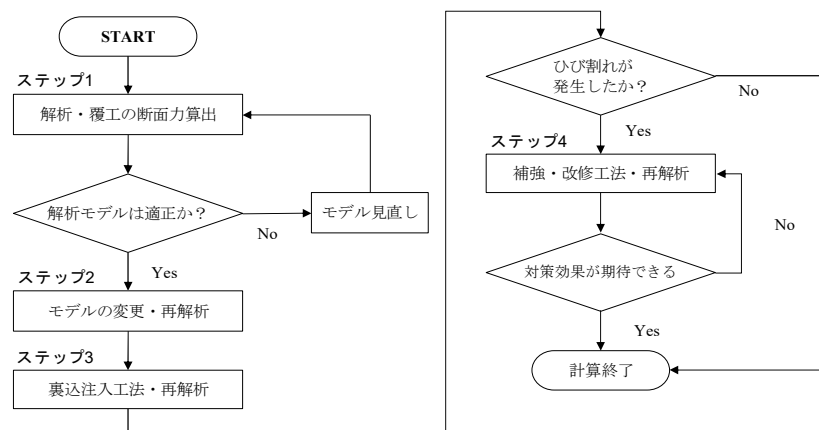


図-4.5.1-1 構造設計の流れ

#### 4.5.2 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。

表-4.5.2-1 解析手法の概要と適用性

| 項目    | 骨組解析<br>(ラーメン解析)                                         | 有限要素法<br>(FEM) 解析                                  | ファイバーコンポジット<br>モデル解析                             | 不連続変形法解析<br>(DDA)                                |
|-------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| モデル化  |                                                          |                                                    |                                                  |                                                  |
| 覆工の構造 | はり要素                                                     | 2次元(3次元)ソリッド要素                                     | 厚さ方向に多数のファイバーが層状に重なっている。                         | 弾性ブロックにより覆工を離散化し、ブロック間に適切な内部摩擦角、粘着力及び引張強度を与える。   |
| 非線形解析 | 基本的に不可能                                                  | 応力ひずみ曲線に非線形を考慮することにより可                             | 応力ひずみ曲線に非線形を考慮することにより可                           | 応力ひずみ曲線に非線形を考慮することにより可                           |
| 荷重    | 節点に集中荷重等の外力を加える。                                         | 地盤要素も含めてモデル化し、その重量によって荷重をかける方法と節点に外力として与える方法とがある。  | ひび割れ発生位置の節点に、分布荷重や集中荷重といった外力を加える。                | 地盤要素も含めてモデル化し、その重量によって荷重をかける方法と節点に外力として与える方法がある。 |
| ひび割れ部 | ヒンジ、塑性ヒンジ等によりモデル化。                                       | 接触面の要素(ジョイント要素)を用いて、直接的にひび割れを表現することが可能。            | コンクリートの引張強度を超えた部分には、ファイバー要素が無くなることでひび割れの進展を表現する。 | 弾性ブロック同士の結合部が離れることで表現する。                         |
| 補強部材  | はり要素(重ねばり)と層間ばね若しくは部材厚の増加によりモデル化。                        | はり要素やシェル要素でモデル化。                                   | 重ねばりとしてモデル化。                                     | 覆工同様、弾性ブロックとしてモデル化。                              |
| 地盤    | 地盤ばねを節点に配置することでモデル化。                                     | 地盤要素を配置する方法、節点に地盤ばねを配置する方法がある。                     | 地盤ばねを節点に配置することでモデル化。                             | 地盤要素を配置する方法、節点に地盤ばねを配置する方法がある。                   |
| モデル図  |                                                          |                                                    |                                                  |                                                  |
| 結果出力例 |                                                          |                                                    |                                                  |                                                  |
| 解析の流れ | 解析で得られた軸力、曲げモーメントでひび割れの発生を判定し、生じればヒンジ、塑性ヒンジとして表現し、解析を続行。 | 解析後、覆工要素に発生している応力、接触面の切れにより覆工コンクリートの破壊を確認する。       | 解析後ファイバー要素の欠損を確認することで覆工コンクリートの破壊を確認する。           | 解析後、弾性ブロック間の応力、変位などを確認し、覆工コンクリートの破壊を確認する。        |
| 適用性   | 変状トンネル対策工を設計する際に基本とする解析方法。その簡易性から、通常の設計においては非常に有効である。    | 偏圧の発生する地形条件や、近接施工などの場合や、特に変形挙動を詳細に検討したい場合などに有効である。 | RC 構造等による補強で、特に詳細な検討を必要とする場合に有効である。              | 覆工のひび割れ発生により不連続な挙動を示す場合や、大変形を追跡する場合に有効である。       |

(参考：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、pp.240~246)

## (2) 解析条件の設定

水路トンネルの変状状況や地質等から、表-4.5.2-2に示す適用条件を満足するか検討する。なお、本解析は、図-4.5.2-1に示すような横断面内の曲げモーメント・軸力が問題となる無筋コンクリート覆工に適用する。

表-4.5.2-2 骨組解析の適用条件

| 項 目      | 条 件                          |
|----------|------------------------------|
| ①変 状 現 象 | 圧縮損傷を生じていない。                 |
| ②覆 工 構 造 | 顕著な構造的欠陥が存在しない。              |
| ③地 山 条 件 | 背面の空洞範囲、地山物性（弾性係数）の設定が可能である。 |
| ④地圧モード   | 卓越する地圧の作用方向（横断面方向）を推定できる。    |

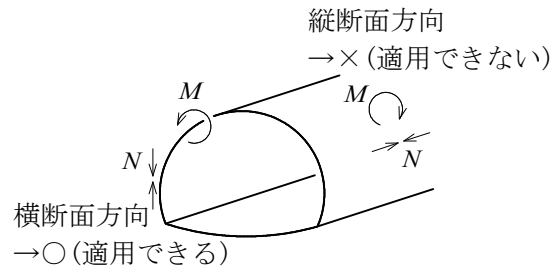


図-4.5.2-1 対象とする断面力

### 1) 変状現象

「圧縮損傷」とは、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（ $3500\mu$ ）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、解析上の圧ぎである。「圧縮破壊」とは、圧縮損傷の状態からさらに曲げ変形が進行し、部材のうち耐力が完全に失われている状態であり「圧壊」ともいう。（図-4.5.2-2 及び図-4.5.2-3 を参照）

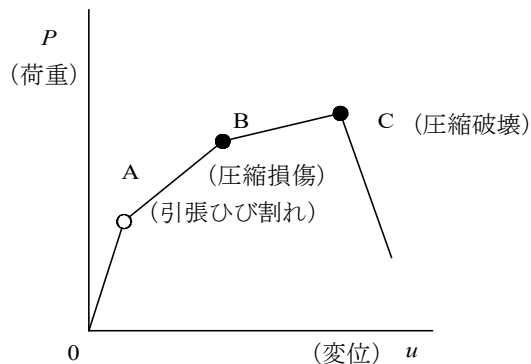


図-4.5.2-2 圧縮損傷と圧縮破壊

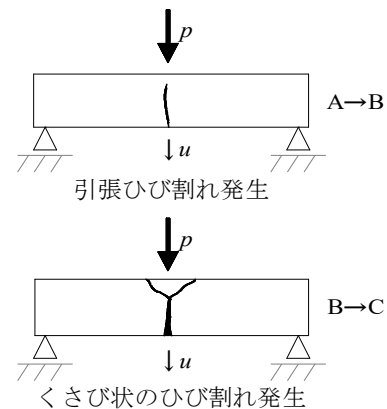


図-4.5.2-3 無筋コンクリートの曲げひび割れ

覆工コンクリートの圧が生じている場合は、圧縮損傷の状態である。圧の状態は、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、引張り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  $15\text{N/mm}^2$  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。

## (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<br>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                  |
|                   | ③ $Q$ 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）

- ② 地質条件（風化帯、断層・破碎帯、軟岩層、地すべり地帯等）
- ③ 変状現象（ひび割れのパターン、内空変位量、天端沈下量等）

なお、地下水による水圧が覆工に作用すると判断した場合、地下水圧による荷重を考慮する。

#### ① 地圧モード（卓越する地圧の作用方向）

地圧モード（卓越する地圧の作用方向）は、以下の3パターンから設定してよい。

- a. 塑性圧：水平方向分布荷重としてモデル化（図-4.5.2-4）
- b. 緩み圧：鉛直方向分布荷重としてモデル化（図-4.5.2-5）
- c. 偏圧：斜め方向分布荷重としてモデル化（図-4.5.2-6）

#### ② 地圧の作用範囲

地圧の作用範囲を特定できない場合は、一様分布荷重としてモデル化してもよい。

卓越したひび割れの開口、局所的な押出し等の局所的な変状が確認される場合には、局所地圧として設定した範囲に対して集中荷重を作用させてもよい。ただし、その設定に当たっては十分な検討が必要である。

また、背面に空洞を有する場合、空洞設定範囲には荷重を考慮しない。

図-4.5.2-4～図-4.5.2-6に地圧のモデル化の例を示す。

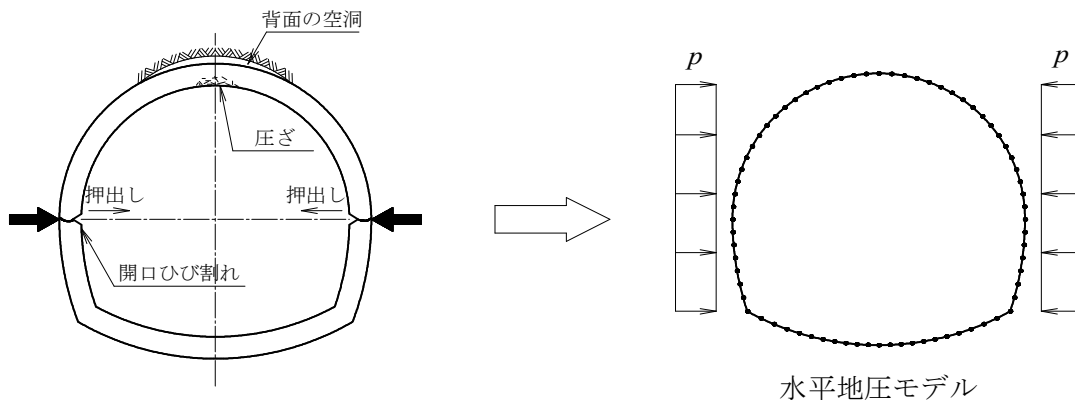


図-4.5.2-4 塑性圧のモデル化

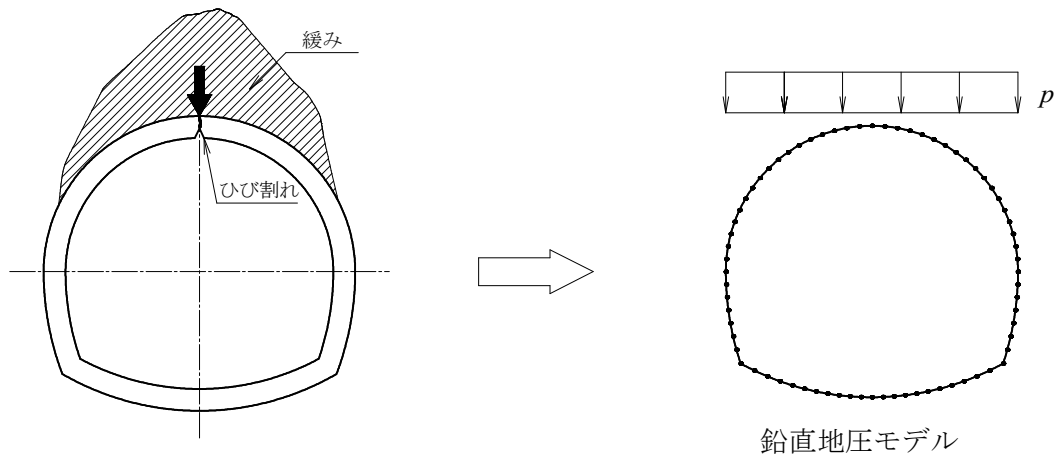


図-4.5.2-5 緩み圧による鉛直圧のモデル化

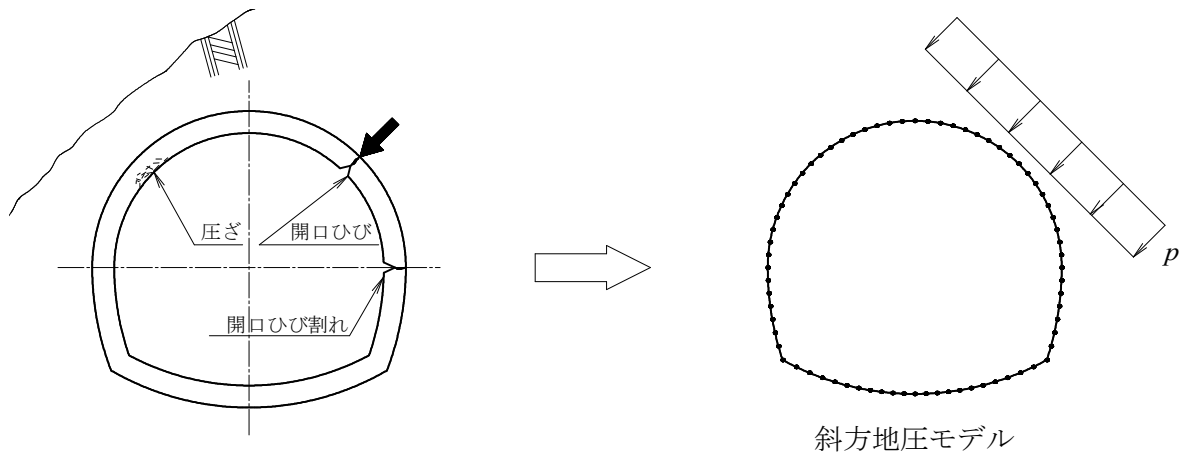


図-4.5.2-6 偏圧のモデル化

### 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ブ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ブホールを設けることが不可能な場合又は将来、ウィーブ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。

ここでいうウィーブホールを設けることが不可能な場合とは、ウィーブ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。

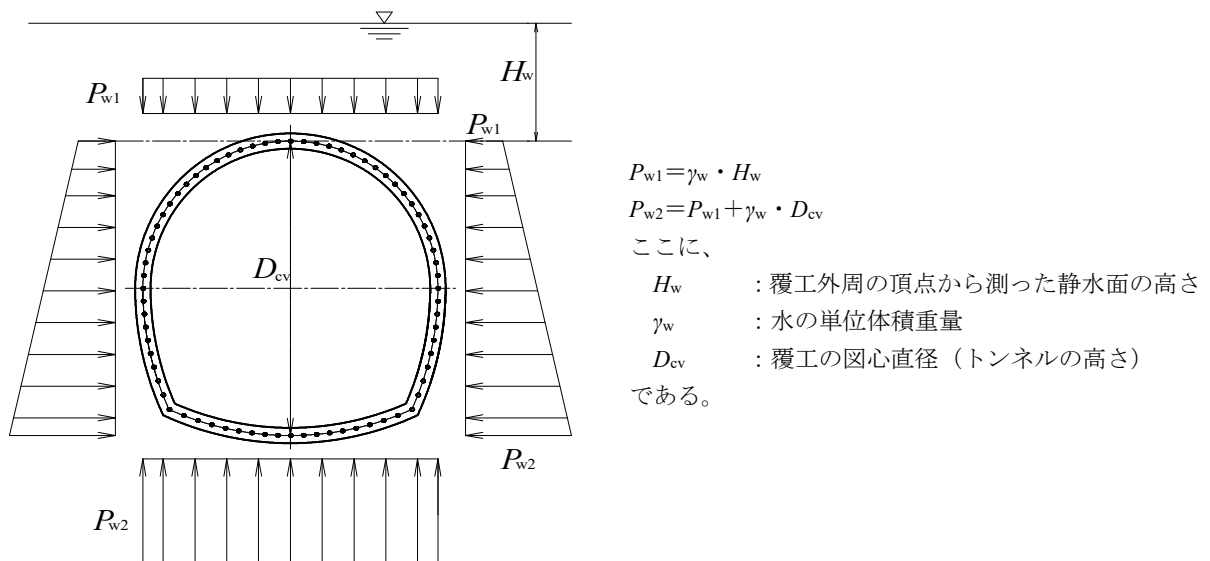


図-4.5.2-7 地下水圧の解析モデル（概念図）

#### 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。

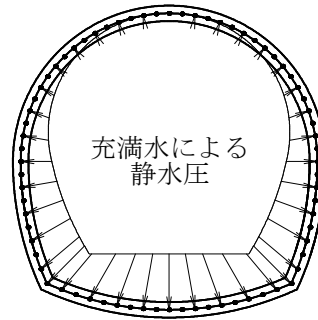


図-4.5.2-8 充満水による静水圧の解析モデル（概念図）

#### 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： $K_\theta$ ）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。

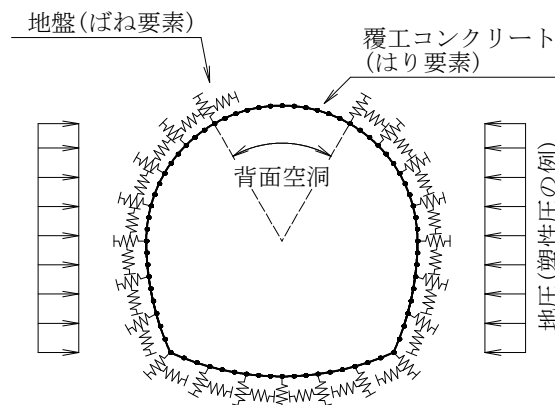


図-4.5.2-9 覆工コンクリート及び地盤の解析モデル（概念図）

##### 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。

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

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

ここで、 $k_r$  : 法線方向地盤反力係数 (kN/m<sup>3</sup>)

$K_r$  : 法線方向地盤ばね係数 (kN/m)

$\alpha$  :  $E_0$  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/m<sup>2</sup>)

$B$  : 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 (m<sup>2</sup>)

また、接線方向地盤ばね係数  $K_\theta$  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                              | $\alpha$ |
|-------------------------------------------|----------|
| 直径 30cm の剛体円盤による平板載荷試験の繰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

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 <sup>4</sup>        | 0.00225 m <sup>4</sup>                            | $I = (b \cdot t^3) / 12$ $b$ : 単位幅 (1.0m) |
| 断面係数 $Z$ m <sup>3</sup>             | 0.01500 m <sup>3</sup>                            | $Z = (b \cdot t^2) / 6$ $b$ : 単位幅 (1.0m)  |
| 圧縮強度 $f'_c$ N/mm <sup>2</sup>       | 18.0 N/mm <sup>2</sup>                            | (注 2)                                     |
| 引張強度 $f_t$ N/mm <sup>2</sup>        | 1.58 N/mm <sup>2</sup><br>=1580 kN/m <sup>2</sup> | (注 3)                                     |
| 弾性係数 $E_c$ kN/m <sup>2</sup>        | $2.2 \times 10^7$ kN/m <sup>2</sup>               | (注 4)                                     |
| 単位体積重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup> | 23.0 kN/m <sup>3</sup>                            | 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 ( $f'_{ck}=18\text{N/mm}^2$ ) 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、 $f_t = 0.23 f'_c{}^{2/3}$  で算出した。

(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。

$$E_c = \left( 2.2 + \frac{f'_c - 18}{20} \right) \times 10^4 \quad f'_c < 30 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \cdots \cdots \text{式 4.5.2-3}$$

図-4.5.2-10 にひび割れの解析モデルの概念図を示す。

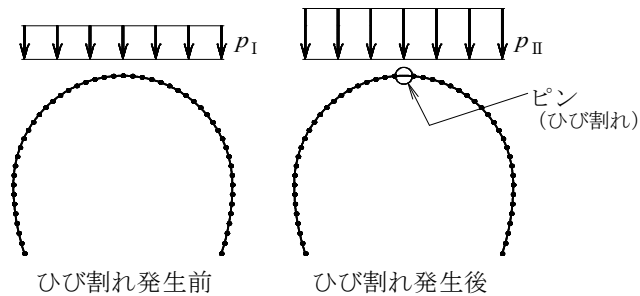


図-4.5.2-10 ひび割れのモデル化（概念図）

## 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  $\sigma_t$  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。

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

ここに、 $\sigma$  : 覆工コンクリート（無筋）の応力度（kN/m<sup>2</sup>）

$N$  : 軸力（kN）

$A$  :  $A=b \cdot t$ （m<sup>2</sup>）

$b$  : 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（m<sup>3</sup>）

ただし、解析上のひび割れ位置と現況のひび割れ位置に $\pm 30^\circ$ 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、 $\pm 30^\circ$ 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変更を行う。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。

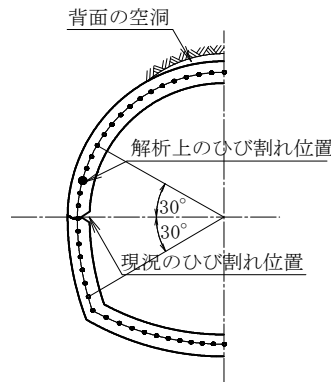


図-4.5.2-11 解析上のひび割れと現況のひび割れの関係

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  $\gamma$ ）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<br>(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<br>(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)

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<br>(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<br>(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<br>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 Tunnel 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  $\sigma'_c$  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。このうち地下水压及び充満水による静水压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) | 地下水压      | ○     | ○  |     |
| (d) | 充満水による静水压 |       | ○  | ○   |

## 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。

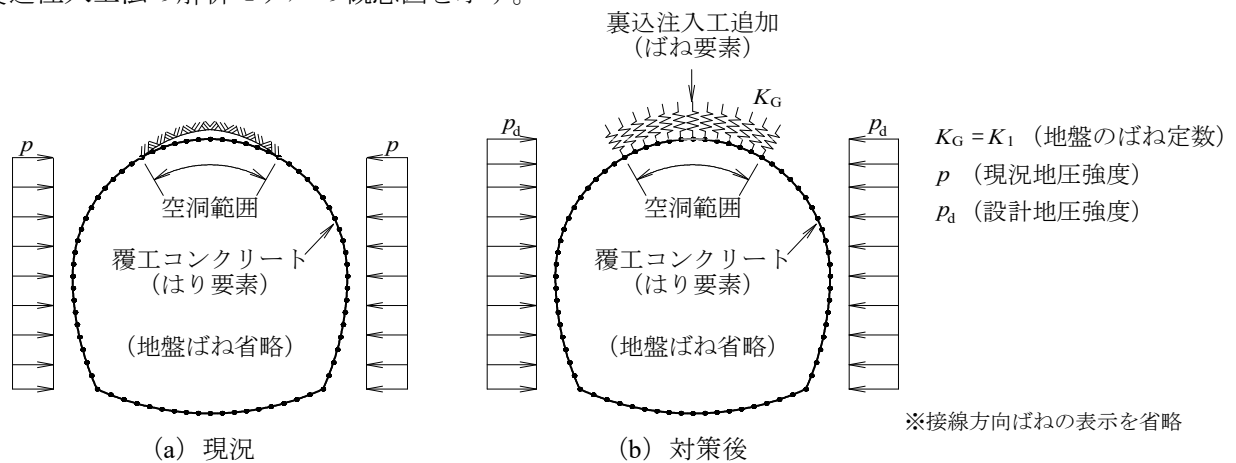


図-4.5.2-12 裏込注入工法解析モデル（概念図）

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  $2\text{MPa}$  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  $1/4$  以上で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

強部材を新たな線形弾性のはり要素としてモデル化する例が多いが、それに際しても解析手法によって設定した設計地圧強度や地圧の作用範囲（覆工背面空洞）、地盤ばね係数等は引継がなければならない。また、既設トンネルが排水性のトンネルであっても、改修工法によっては補強部材に地下水圧が作用することがあるので、設計地下水位に留意する必要がある。

各工法のモデル化については、後述（第5章～第10章）する。

#### （4）解析手順

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標準的な解析の手順を図-4.5.2-13に示す。

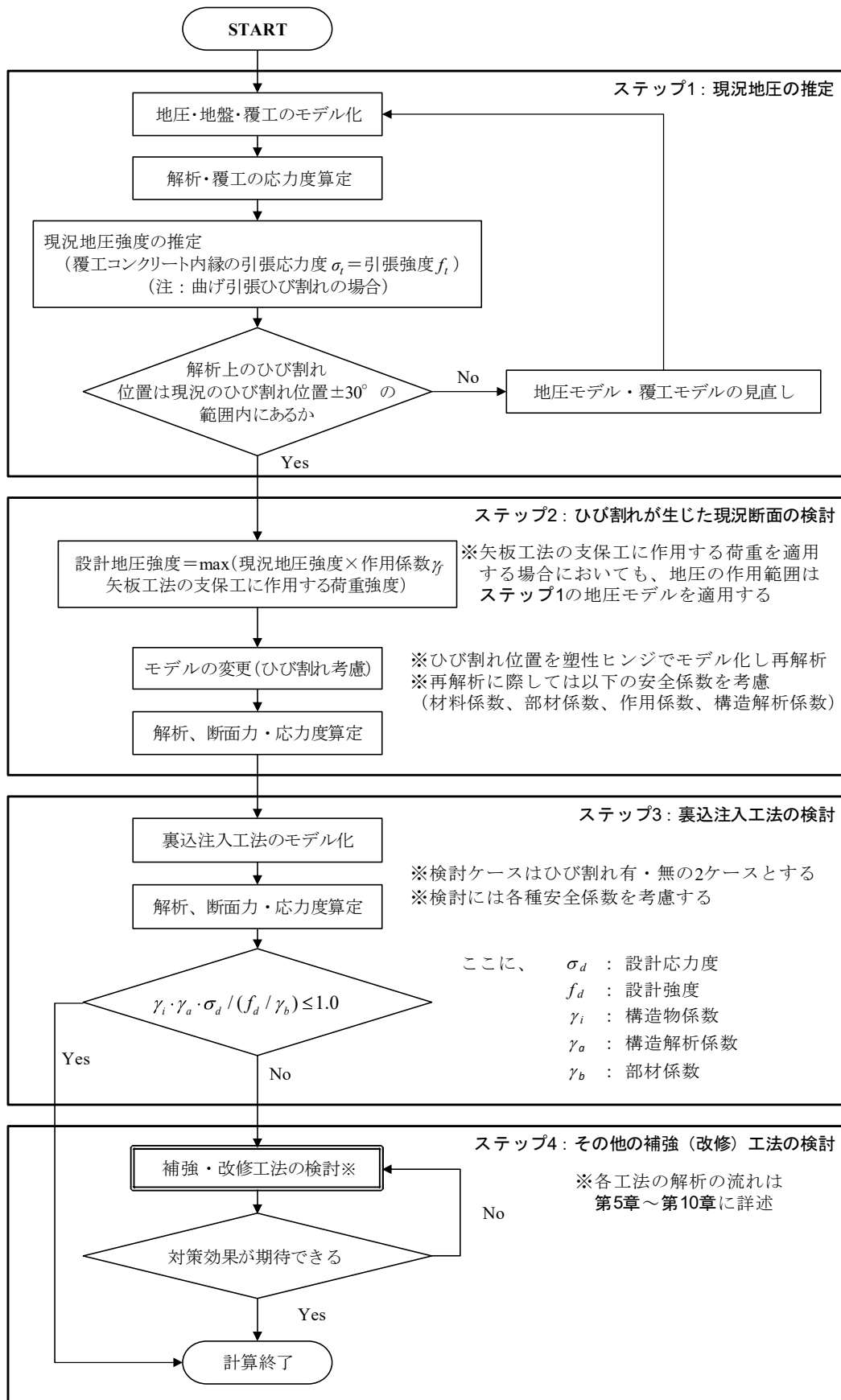


図-4.5.2-13 現況断面の変状現象を基に解析手法を用いて作用地圧を推定する場合の構造計算の流れ

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 $\gamma_m$   | ・材料試験データの不足や偏り・品質管理の程度<br>・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 $\gamma_b$   | ・部材寸法のバラツキ・部材の重要性<br>・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 $\gamma_f$   | ・作用の統計的データの不足や偏り・将来的な荷重の変動<br>・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 $\gamma_a$ | ・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 $\gamma_i$  | ・構造物の重要度<br>・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  $\gamma_b$  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  $\gamma_b$  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  $\gamma_f$  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  $\gamma_f$  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  $\gamma_f$  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  $\gamma_a$  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  $\gamma_a$  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  $\gamma_a$  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  $\sigma_t$  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。

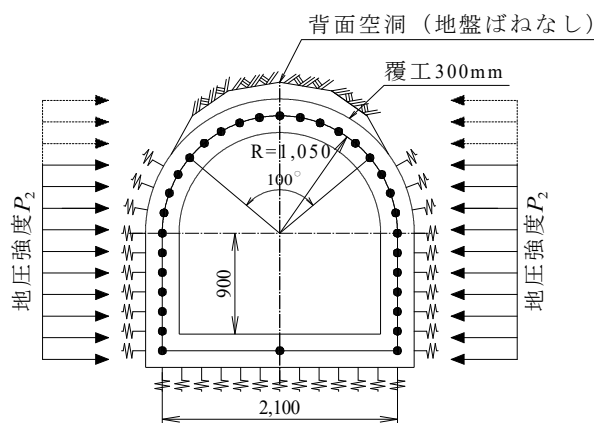


図-4.5.2-14 骨組解析モデル（例）

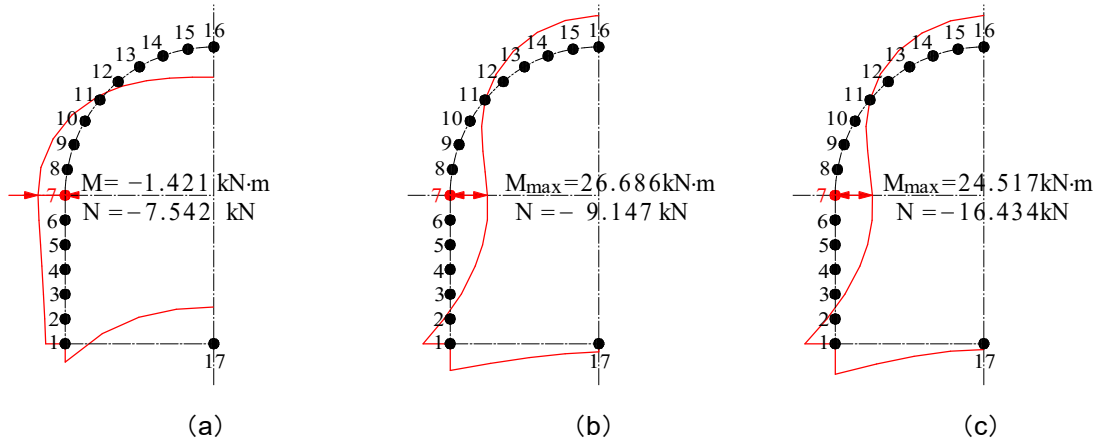


図-4.5.2-15 曲げモーメント図（例）

- 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： $P_1=6.90\text{kN/m}$ を全周に載荷する。一方、地圧強度は、 $p_e=100\text{kN/m}^2$ 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  $\sigma_2$ を算定する。

$M_2 = 26.686 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、 $N_2 = -9.147 \text{ kN}$ であり、節点7の応力度  $\sigma_2$ は、下式により求まる。

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

ここに、部材厚： $t=0.30\text{m}$ 、断面積： $A=0.30\text{m}^2$ 、断面係数： $Z=0.015\text{m}^3$

ゆえに、節点7における覆工内縁の応力度は  $\sigma_2=1748.577 \text{ (kN/m}^2)$  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  $\sigma_1$ を算定する。

$M_1 = -1.421 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 、 $N_1 = -7.542 \text{ kN}$ であり、節点7の応力度  $\sigma_1$ は、下式により求まる。

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

ゆえに、節点7における覆工内縁の応力度は  $\sigma_1=-119.873 \text{ (kN/m}^2)$  である。

- 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。

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

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

ここで、覆工コンクリートの引張強度  $f_t$  が 1580kN/m<sup>2</sup> 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。

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

$$P_2 = \alpha \times p_e = 0.972 \times 100 = 97.2 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

- 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。

$M_3 = 24.517 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 、 $N_3 = -16.434 \text{ kN}$  を用いて、節点 7 の応力度  $\sigma_3$  を求める。

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

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  $\sigma_t$  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  $\sigma'_c$  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 は圧が生じている場合を示す。

$$\text{覆工コンクリート内縁の引張応力度 } \sigma_t = \text{覆工コンクリートの引張強度 } f_t \cdots \text{式 4.5.2-7}$$

$$\text{覆工コンクリート内縁の圧縮応力度 } \sigma'_c = \text{覆工コンクリートの圧縮強度 } f'_c \cdots \text{式 4.5.2-8}$$

- 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  $\gamma_m$  及び部材係数  $\gamma_b$  は 1.3 としてよい。また、構造物係数  $\gamma_i$  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  $\gamma_f$  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  $\gamma_f$  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

クリートのモデルを変更する。モデル変更に際しては、ひび割れ位置の節点の結合条件を剛結合→ピン結合に変更する。

表-4.5.2-10 に安全係数を考慮した物性値の設定例を示す。この表は表-4.5.2-5 に示す物性値に対し安全係数を適用したものである。

表-4.5.2-10 安全係数を考慮した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                                            | 表-4.5.2-5 の値                                 |
| 断面二次モーメント $I$ m <sup>4</sup>        | 0.00225 m <sup>4</sup>                            | 同上                                           |
| 断面係数 $Z$ m <sup>3</sup>             | 0.01500 m <sup>3</sup>                            | 同上                                           |
| 設計圧縮強度 $f'_{cd}$ N/mm <sup>2</sup>  | 13.8 N/mm <sup>2</sup>                            | 表-4.5.2-5 の $f'_c$ を材料係数 $\gamma_m=1.3$ で除した |
| 設計引張強度 $f_{td}$ N/mm <sup>2</sup>   | 1.22 N/mm <sup>2</sup><br>=1220 kN/m <sup>2</sup> | 表-4.5.2-5 の $f_t$ を材料係数 $\gamma_m=1.3$ で除した  |
| 設計弾性係数 $E_{cd}$ kN/m <sup>2</sup>   | $1.8 \times 10^7$ kN/m <sup>2</sup>               | 式 4.5.2-3 による                                |
| 単位体積重量 $\gamma_c$ kN/m <sup>3</sup> | 23.0 kN/m <sup>3</sup>                            | 無筋コンクリートの標準値                                 |

ステップ2で設定した物性値、設計地圧強度、解析モデルで再度解析を行い、ひび割れが生じた現況の設計断面力を算定する。

③ ステップ3では、裏込注入工法を地盤ばねでモデル化して再度解析を行う。

この時の覆工コンクリートモデルは、ひび割れ無とひび割れ有の2ケースを対象とする。ここで、ひび割れ無のケースは、ひび割れが発生する直前の状態又はひび割れ発生後にひび割れを補修した状態を想定している。ひび割れ有のケースは、ひび割れ位置の節点を剛結合→ピン結合に変更したモデルを適用する。

検討に際しては、ステップ2と同様に安全係数を考慮した物性値と設計地圧強度を適用する。ステップ3の照査は、以下の式 4.5.2-9 及び式 4.5.2-10 で行う。

a. 覆工コンクリートの引張強度

$$\gamma_i \cdot \gamma_a \cdot \sigma_{td} / (f_{td} / \gamma_b) \leq 1.0 \quad \cdots \cdots \text{式 4.5.2-9}$$

ここに、 $\sigma_{td}$  : コンクリート内縁の引張応力度

$\gamma_i$  : 構造物係数 (1.0 とする)

$\gamma_a$  : 構造解析係数 (表-4.5.2-9)

$f_{td}$  : 設計引張強度 (表-4.5.2-10)

$\gamma_b$  : 部材係数 (表-4.5.2-9)

b. 覆工コンクリートの圧縮強度

$$\gamma_i \cdot \gamma_a \cdot \sigma'_{cd} / (k_1 \cdot f'_{cd} / \gamma_b) \leq 1.0 \quad \cdots \cdots \text{式 4.5.2-10}$$

ここに、 $\sigma'_{cd}$  : コンクリート内縁の圧縮応力度

|            |                                                                                                  |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\gamma_i$ | : 構造物係数 (1.0 としてよい)                                                                              |
| $\gamma_a$ | : 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 ( $= 1 - 0.003 f'_{ck} \leq 0.85$ 、ここで、 $f'_{ck}$ : コンクリート強度の特性値 (N/mm <sup>2</sup> )) |
| $\gamma_b$ | : 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。

## 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、アーチ部にウィーブ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ブホールを設ける必要がある。図-4.5.3-1 にウィーブホールの標準的な設置例を示す。

標準的なウィーブホールの設計としては、トンネル頂部より  $30^\circ$  位の位置に 5.0m 間隔交互に  $\phi 50\text{mm}$  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、水面下にウィーブホールを設ける場合は、フラップバルブ付ウィーブホールを設ける。

やむを得ずウィーブ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も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、地表よりも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。

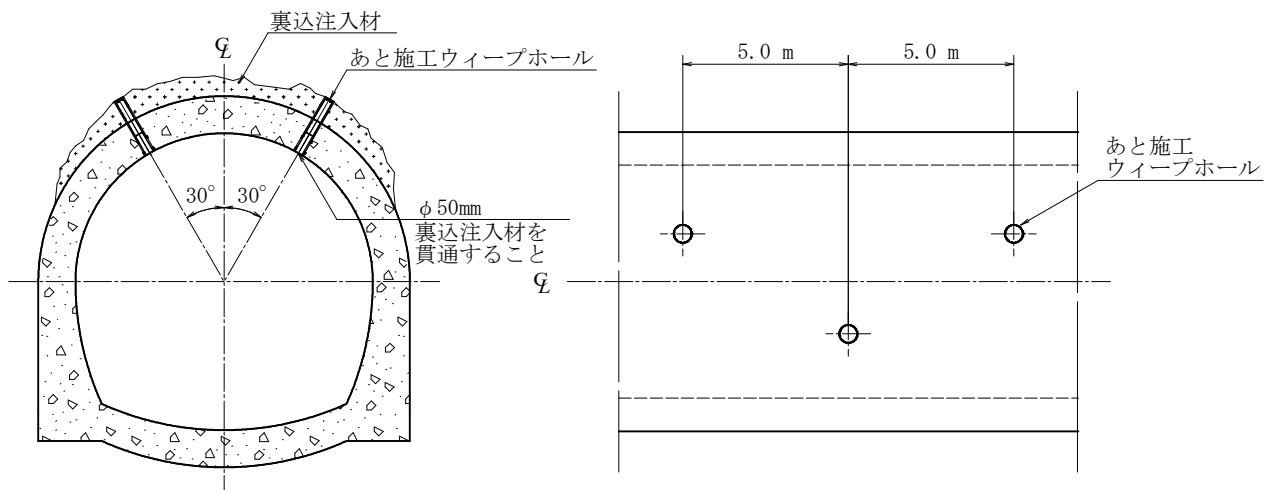


図-4.5.3-1 ウィーブホール（水抜工）の標準的な位置

（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）

## 4.6 施工方法

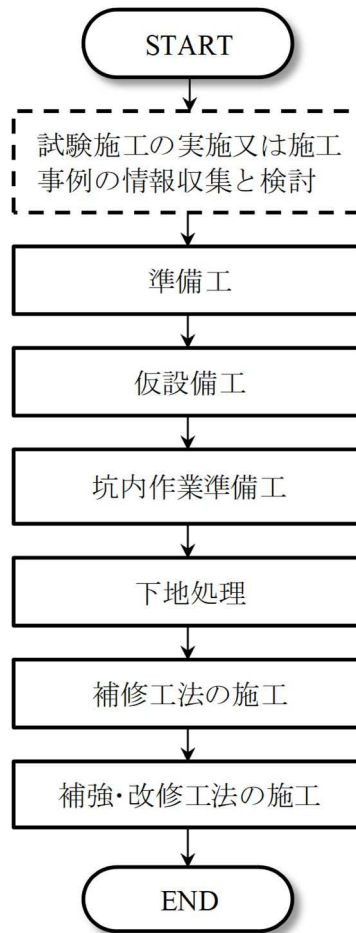
### 4.6.1 長寿命化対策の施工

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。新技術が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）

水路トンネルは、他の構造物と比較して対策工事を行う上での制約が多いため、変状状況、運用状況、施工条件等を総合的に判断して対策工を計画し、施工する必要がある。ただし、覆工に作用する外力や覆工及びその背面の状態に関して分からないことが多いため、経験的判断によらざるを得ないことが多い。

対策工事を行うに当たって、運用上断水できない区間については、水路の仮切回し等の検討が必要となる。このような施設の対策工事においては、施工の方法や位置、期間、費用について十分な検討を行い、必要に応じて施工後の緊急用あるいは保守管理用のバイパストンネルとしての活用などについても考慮しておくことが望ましい。

特に通年取水を実施している地区については、断水あるいは減水による影響とその期間について施設管理者と十分に調整し、対策を検討する必要がある。

近年、補修・補強に係る新技術が多数開発されている。これらの技術の現場適用性や耐用期間について適切な評価を行う必要がある。

### 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。

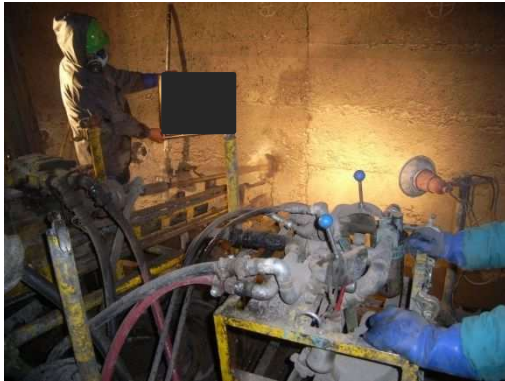


写真-4.6.2-3 作業箇所の照明設備（投光器）



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を選択は、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

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（3～5m<sup>3</sup>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250/s/km、普通15～200/s/km、少ない場合は100/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「上乘せ基準」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。

### 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（バッテリーカー）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。

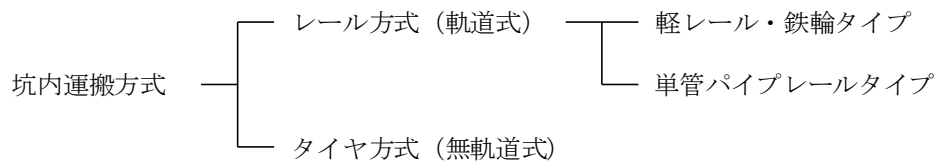


図-4.6.3-1 坑内運搬方式

- ・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。



写真-4.6.3-1 浸入水の遮断



写真-4.6.3-2 水路トンネルインバートの清掃



写真-4.6.3-3 現況調査



写真-4.6.3-4 ひび割れ幅測定



写真-4.6.3-5 坑内運搬状況（レール方式（軌道式））



写真-4.6.3-6 坑内運搬状況（タイヤ方式（無軌道式））





写真-4.6.3-7 坑内運搬状況（人力運搬）

#### 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・超高压洗浄

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。



写真-4.6.4-1 高圧洗浄（インバート）



写真-4.6.4-2 高圧洗浄（補修箇所・脆弱部）

(4) 躯体処理（必要に応じて実施）

型枠ズレなどの段差や断面を侵す部分に関して、施工後に不要となる箇所は必要に応じてチッパーや電動ピックなどを用いて除去する。

## 4.6.5 導水・止水対策工

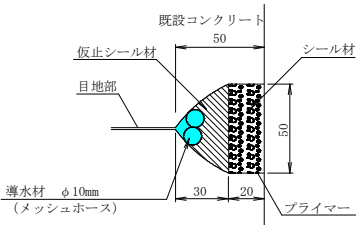
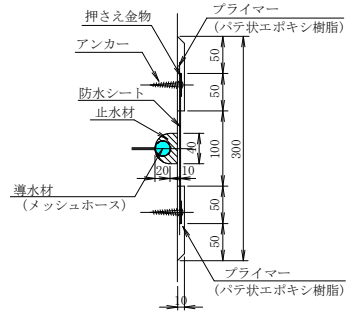
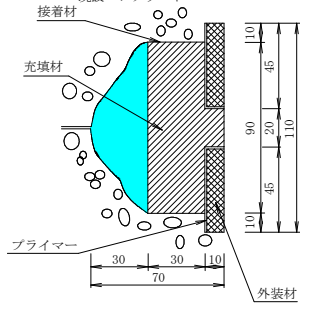
覆工コンクリートのひび割れや目地等からの湧水がある場合は、補修・補強材の付着性の低下等をきたすおそれがあるため、事前に止水又は導水対策工を施す必要がある。

## 【解説】

## (1) 導水対策工

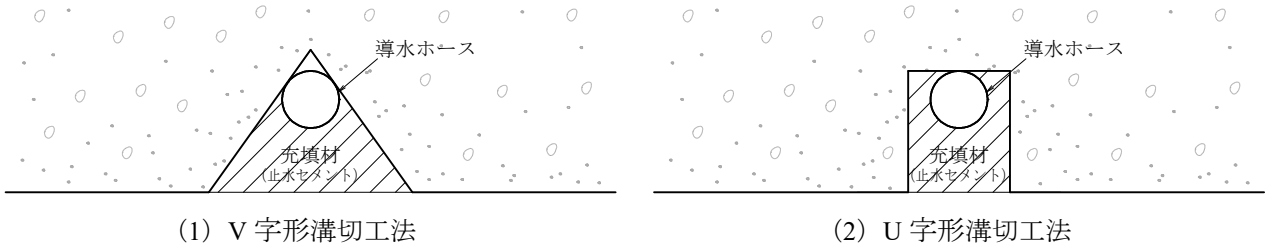
溝切による導水対策工は、湧水がある目地やひび割れに沿って V 字形や U 字形に切込み、塩ビ管（半割）や既製品を導水材として埋設し、湧水を導水する工法である。表-4.6.5-1 は水路トンネルの目地部に適用された導水対策工の事例である。

表-4.6.5-1 水路トンネルの目地部に適用された導水対策工の事例

| 工法   | A                                                                                              | B                                                                                               | C                                                                                                |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 施工断面 |  <p>(mm)</p> |  <p>(mm)</p> |  <p>(mm)</p> |
| 施工写真 |             |             |             |
| 概要   | 目地やコンクリート打継目、及びひび割れ等からの湧水を、既製品の導水材を使用して導水する工法。                                                 | 既製品の導水材で目地部の湧水を受けて導水する工法。                                                                       | 充填材は耐寒性と柔軟性に富み、凍結による導水路の閉塞圧を充填材と補強カバー（外装材）により吸収させる工法。                                            |

また、図-4.6.5-1 及び写真-4.6.5-1 は、接着工法で適用された導水対策工の事例である。接着工法及び表面被覆工法に適用する導水対策工の充填材には、増厚材や表面被覆材との付着性を確保するためにセメント系の充填材を適用する。

導水対策工の流末処理は、対策工事の支障とならない場所に設ける。



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。

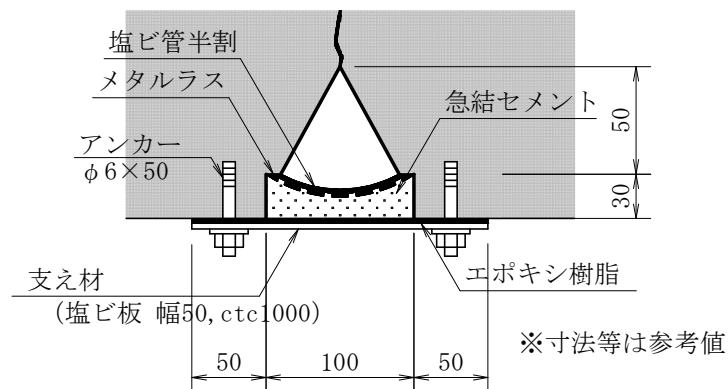
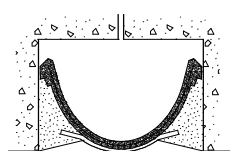
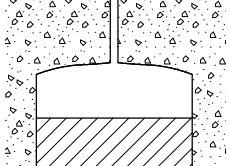
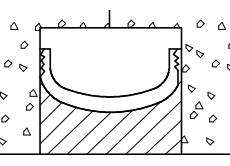
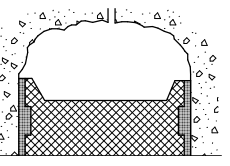


図-4.6.5-2 塩ビ管半割を埋設する導水溝の事例

（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）

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   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・板ばね内蔵なので、覆工（く体）の伸縮に追随できる。</li> <li>・折れ角の急なひび割れには施工できない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。</li> <li>・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・幅が狭いため、漏水量の多い場合は適用できない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・導水材がゴムのため、曲線施工が可能である。</li> <li>・ゴムの劣化や堆積物により、はく離する可能性がある。</li> </ul> |

（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。

#### 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。

## 4.7 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。

| フロー     | 内容                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 根拠規定等                                                                                   |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 施工計画書   | <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 工事概要</li> <li>2) 計画工程表</li> <li>3) 現場組織表</li> <li>4) 主要機械</li> <li>5) 主要資材</li> <li>6) 施工方法</li> <li>7) 施工管理計画</li> <li>8) 緊急時の体制及び対応</li> <li>9) 交通管理</li> <li>10) 安全管理</li> <li>11) 仮設備計画</li> <li>12) 環境対策</li> <li>13) 再生資源の利用の促進と建設副産物適正処理方法</li> <li>14) 法定休暇・所定休暇（週休二日の導入）</li> <li>15) その他</li> </ol> | 土木工事共通仕様書第1-1-6条に規定                                                                     |
| 材料承諾書   | <div>材料の見本又は資料の提出</div> <div>材料の試験及び検査</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | <div>土木工事共通仕様書第2-1-2条に規定<br/>特別仕様書に規定</div> <div>土木工事共通仕様書第2-1-3条に規定<br/>特別仕様書に規定</div> |
| 保管管理    | 工事に使用する材料を、受入検査確認後現地で貯蔵保管する際は、品質規格を満足する性能を維持できるように保管しなければならない。                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 土木工事共通仕様書第2-1-4条に規定                                                                     |
| 対策範囲の確認 | 対策範囲は設計図書により、対策工法等を行う位置及び範囲を確認する。<br>設計図書に記載のない、変状等の対象範囲が確認された場合は、図面・写真等に整理し、その対応について協議する。                                                                                                                                                                                                                                                              | 土木工事共通仕様書第1-1-3条に規定                                                                     |

図-4.7.1-1 施工前に必要となる主な事項

#### 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

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、取り扱い作業者の安全、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。

#### 4.7.1.2 材料の承諾

##### (1) 見本・資料の提出

使用する材料（工法）は、見本、カタログ、試験成績書等により、使用前に要求性能を満足していることを確認した後承諾する。また、原則として試験状況を写真撮影し、自主検査を行うものとする。

##### (2) 材料（工法）の品質試験

工事に使用する材料（工法）の要求性能は、適正に実施された試験の結果により確認しなければならない。

#### 【解説】

##### (1) 見本・資料の提出

水路トンネルの対策工事に使用する材料（工法）は、設計図書に示す品質規格を満足するものでなければならない。設計図書及び監督職員が指示するものについては、土木工事共通仕様書「2-1-2 材料の見本又は資料の提出」に基づき、使用前に、見本、カタログ、試験成績書等を提出し、監督職員の承諾を得るものとする。また、現場搬入時、受注者において検査を実施し、記録に残すものとする。

なお、設計図書及び監督職員が指示するものについては、土木工事共通仕様書「2-1-3 材料の試験及び検査」に基づき、使用前に監督職員立会いの下、検査又は試験を行い、その結果を記録、報告しなければならない。

##### (2) 材料の品質試験

適正な試験結果を得るためには、適切に管理された試験体制と試験機器により、日本産業規格（JIS）等の規格書や本書の巻末資料に示す「2. 各試験方法」に基づき、正しい手順で試験を行う必要がある。

#### 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。

#### 4.7.1.4 対策範囲の確認

受注者は、設計図書により対策位置及び範囲を確認する。

##### 【解説】

土木工事共通仕様書「1-1-3 設計図書の照査等」に基づき、設計図書と現地の照査を行う。設計図書に記載のない、ひび割れ、断面欠損等の劣化が確認された場合には、図面・写真等に整理し、その対応について監督職員と協議する。

水路トンネルの補修・補強工事は、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。

### 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、各工法の特徴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。

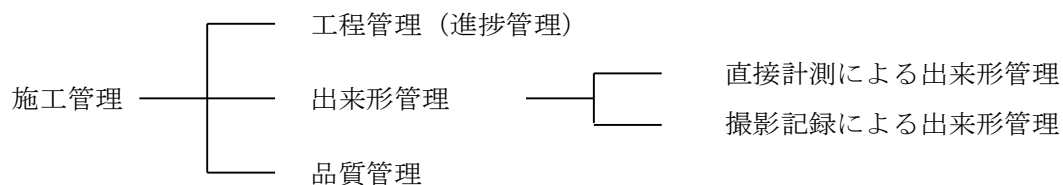


図-4.7.2-1 施工管理の基本構成

水路トンネルの対策工法には各工法の特徴があり、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。

#### 4.7.2.1 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、工期内に適切な進捗で、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。

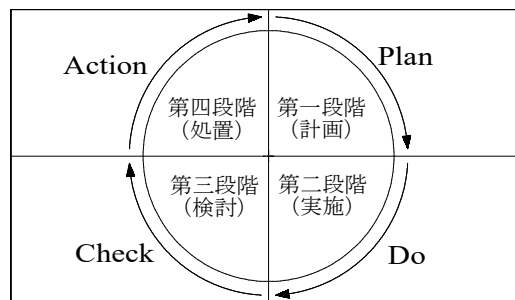


図-4.7.2-2 施工管理におけるPDCAサイクル

## 4.7.2.2 出来形管理

## (1) 直接測定による出来形管理

工事の出来形を確保するため、工作物の寸法、基準高等の測定項目を施工順序に従い直接測定し、その都度、結果を管理方法に定められた方式により記録し、常に適正な管理を行うものとする。また、補強・改修工法を適用する箇所については、モニタリング調査に資する内空変位測定等のための定点を設ける。

## (2) 撮影記録による出来形管理

出来形測定、品質管理を実施した場合、また、施工段階（区切り）及び施工進行過程が確認できるよう撮影基準等に基づいて撮影記録を行い、常に適正な管理を行うものとする。

## 【解説】

## (1) 直接測定による出来形管理

出来形管理は、工事で施工された目的物が、発注者の意図する契約条件に対してどのように施工されているかを調べ、条件に不満足なものを早期に発見し、原因を追求して改善を図ることを目的とする。

直接測定による出来形管理は、工作物の形状寸法等を施工の順序に従い直接測定して設計値と実測値を対比・記録し、測定の都度、管理図表、結果一覧表又は構造図に朱記、併記等を行う。管理基準値に対するバラツキの度合いを管理し、適切な是正措置を講じるものとする。

以上から、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測定基準、管理基準値及び規格値を定め、これに従って管理しなければならない。

## 1) 管理を行う測点の選定

施工計画書に定める管理測点は、現場条件を考慮した上で選定する。

## 2) 管理基準値

管理基準値は、測定値が「規格値」の範囲内に収まるよう、受注者が実施する施工管理の「目標値」とするものである。

## 3) 規格値

規格値は、設計値と出来形測定値、試験値との差の限界値であり、測定・試験値は全て規格値の範囲内にななければならない。

## 4) 管理方式

出来形管理は、規格値に対する“ゆとり”と出来形数量確認の2つの目的で実施され、工事完成後において目的物を発注者に引き渡すためのデータとして不可欠なものである。管理方式は、以下のように分類される。

|      |   |                               |
|------|---|-------------------------------|
| 管理方式 | { | 管理図表によるもの……管理値が20点（測定数）以上の場合  |
|      |   | 結果一覧表によるもの……管理値が20点（測定数）未満の場合 |
|      |   | 構造図に朱記するもの……管理値が箇所単位の場合       |
|      |   | 記録を要しないもの……管理基準の測定項目になっていない場合 |

## 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鋸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。

#### 4.7.2.3 品質管理

工事の品質を確保するため、材料の品質及び施工段階での品質について試験を実施し、その都度、成果を管理方法に定められた方式により記録し、常に適正な管理を行う。

##### 【解説】

品質管理は、施工管理の一環として、工程管理、出来形管理と併せて行い、統計的手法を応用して問題点や改善の方法を見出し、所期の目的である工事の品質、安定した工程及び適切な出来形を確保するものである。

品質管理に当たっては、品質評価の対象となる目標、つまり品質特性について試験を行い、ヒストグラム等によって規格値とのチェックを行う。また、管理図によって工程の安定状態を確認し、異常があれば処置を施すといった方法により、品質を確保することが重要である。

水路トンネルの対策工法では、使用する材料・工法の材料品質や現場における施工段階ごとの施工品質について、各々の試験（測定）の項目、方法、基準、規格値、測定値の管理手法等を定め、それに従って管理を行うことや、上記の基準等を守るために、施工における作業方法や手順、注意事項等に関する規定を定めることも含まれる。

上記から、土木工事施工管理基準、共通仕様書、特別仕様書に基づき、あらかじめ施工計画書に、材料品質及び各施工段階における施工品質の管理基準及び規格値を定め、これに従って管理しなければならない。また、施工後の水路トンネルの構造安定性を確認するため、例えばロックボルトの引抜き試験等の性能確認試験を行うとともに、モニタリング調査の管理基準値となる施工直後の初期値を計測・記録することで、継続的な構造安定性照査に資することが重要である。

なお、品質管理における試験及び測定値は全て、上記により定めた規格値の範囲内になければならない。

#### 4.7.2.4 安全・衛生管理

労働災害はもとより、物件損害等の未然防止に努めるため、関連仕様書の定めるところに従い、その防止に必要な措置を行う。

##### (1) 安全管理

- |                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| 1) 有資格者の適正配置      | 2) 坑内作業に適した保護具の着用 |
| 3) 施工前の安全対策（情報収集） | 4) 施工時の安全対策       |
| 5) 災害防止について       |                   |

##### (2) 酸素欠乏症、有毒ガス等の安全処置

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1) 酸素濃度及び有毒ガス濃度  | 2) 測定方法と留意事項     |
| 3) 測定箇所          | 4) 酸素欠乏が発生しやすい場所 |
| 5) 硫化水素が発生しやすい場所 | 6) 換気            |
| 7) 保護具           |                  |

##### (3) 安全に関する研修、訓練

#### 【解説】

##### (1) 安全管理について

###### 1) 有資格者の適正配置（参考：労働安全衛生法第14条）

- ① 酸素欠乏、硫化水素危険作業主任者

###### 2) 坑内作業に適した保護具の着用（参考：労働安全衛生規則第593条）

- ① 覆工コンクリートをはつる時や裏込注入材の現場練り混ぜ時は、必ず保護メガネを着用する。  
必要に応じて保護マスクの着用や集塵機の設置を行う。

###### 3) 施工前の安全対策（情報収集）（参考：労働安全衛生規則第382条）

- ① 施工現場周辺の排水系統、排水施設、排水条件等を事前に確認する。
- ② 当日の気象情報を天気予報等より把握し、坑口等から降雨が入らないように対策を講じる。
- ③ 坑内で発生が予想される有毒ガス、酸欠空気、可燃性ガス等の有無を調査する。

###### 4) 施工時の安全対策（参考：労働安全衛生規則第389条）

- ① 坑内作業員は、坑内への浸入水等の異変を感じた場合には、直ちに作業を中断し、地上に避難する。
- ② 坑内連絡体制は、坑口に地上監視員を配置し緊急時に備える。
- ③ 地上監視員と坑内作業員との連絡は重要であるため、現場状況に応じた連絡体制をとる。
- ④ 坑内作業員を明確にするために、作業員名板を地上の搬入口箇所に設置する。個人ごとに退出を確認し、全作業員が退出したことを確認した後に、送風機、ガス検知器等を撤収する。
- ⑤ 燃焼、爆発の原因となる着火源を作業帯に置かない。また、静電気によるスパークにも十分注意する。

###### 5) 災害防止について（参考：労働安全衛生規則第389条）

- ① 緊急時に備え救出用装備、救出方法等の訓練を実施する。
- ② 救出に備え、有効な空気呼吸器等の呼吸用保護具を現場に常設し、直ちに装備できる場所に保管する。

(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。

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、吸入性粉じんでは 2mg/m<sup>3</sup>以下とする。ただし、トンネル断面が小さく、2mg/m<sup>3</sup>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/m<sup>3</sup>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。

### 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。

