

第3編 トンネル設計

第1章 トンネル工（山岳トンネル）

1 総則

本手引きは、鹿児島県土木部で実施する山岳トンネルの計画・設計に適用する。

各設計は、示方書及び通達が全てに優先するので、示方書類の改訂、新しい通達等により内容が本手引きと異なった場合は、本手引きの内容を読み替えること。また、内容の解釈での疑問点は、その都度主務課と協議すること。

1-1 適用の範囲

- (1) トンネルには、山岳トンネルと市街地等に設置されるシールドトンネルや開削方式トンネルなどがあるが、この手引きでは、山岳トンネルの2車線道路を対象とする。

山岳トンネル工法とは、地山を掘削したのち、吹付コンクリート・ロックボルト・鋼アーチ支保工・覆工等により地山を支持してトンネルを建設する工法をいう。

- (2) 上記(1)に該当するトンネルの設計は本章によるものとするが、記述のないものについては表1の関係図書他によるものとする。

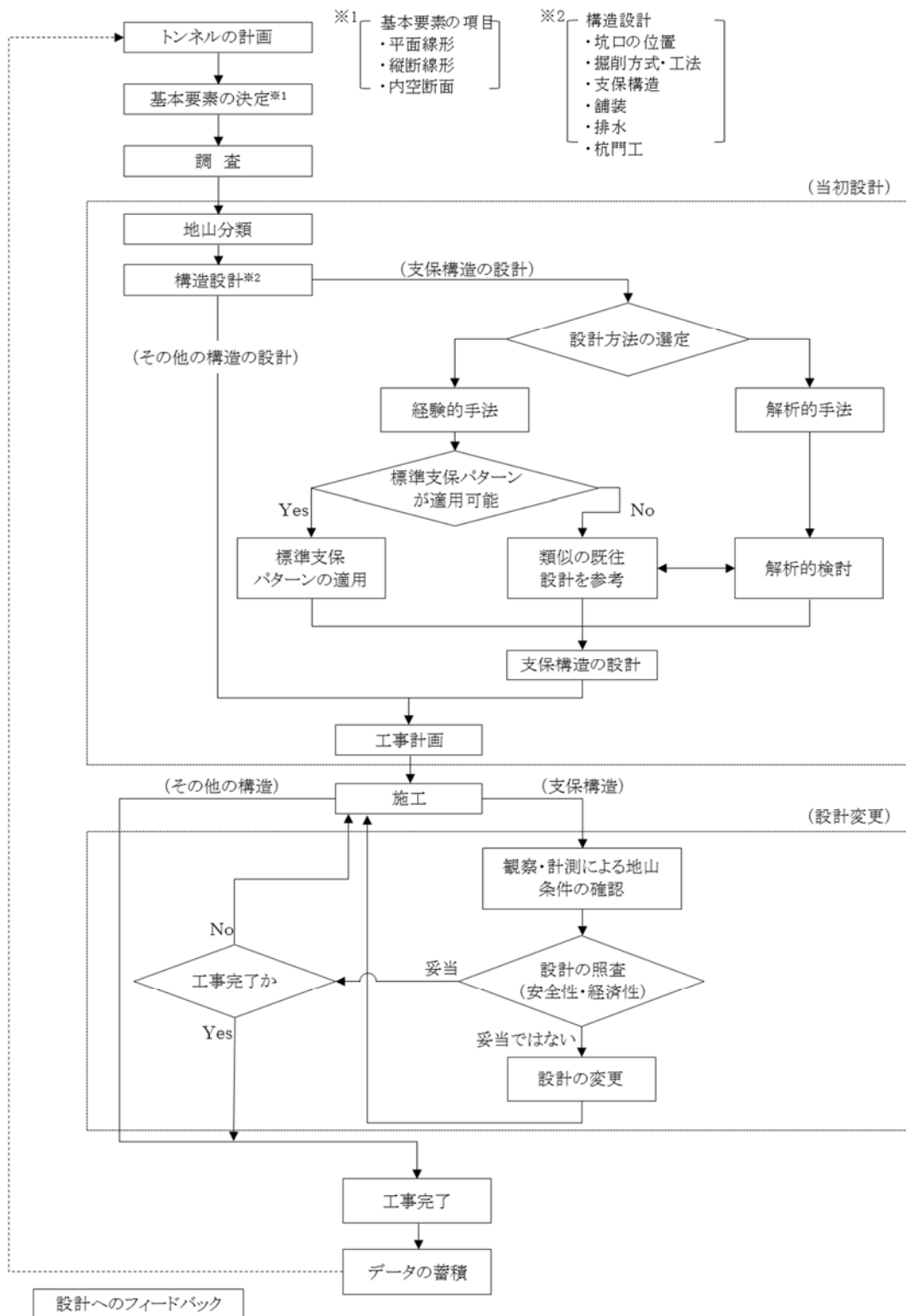
道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P3

表1 関係図書一覧

| 関係図書 | 発行年月 | 発行者 |
|--|------------|-------------|
| 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 | H15. 11 | 日本道路協会 |
| 道路トンネル技術基準(換気編)・同解説 | H20. 10 | 日本道路協会 |
| トンネル標準示方書(共通編)・同解説/ (山岳工法編)・同解説 | H28. 8 | 土木学会 |
| 道路構造令の解説と運用 | H27. 6 | 日本道路協会 |
| 自転車道等の設計基準解説 | S 49. 10 | 日本道路協会 |
| 道路照明施設設置基準・同解説 | H19. 10 | 日本道路協会 |
| 2012年制定コンクリート標準示方書(施工編) | H25. 3 | 土木学会 |
| 防護柵の設置基準・同解説 | H28. 12 | 日本道路協会 |
| 舗装設計施工指針 | H18. 2 | 日本道路協会 |
| 舗装設計便覧 | H18. 2 | 日本道路協会 |
| 舗装施工便覧 | H18. 2 | 日本道路協会 |
| コンクリート舗装ガイドブック 2016 | H28. 3 | 日本道路協会 |
| 道路トンネル観察・計測指針 | H21. 2 | 日本道路協会 |
| 道路トンネル維持管理便覧[本土工編] | H27. 6 | 日本道路協会 |
| 道路トンネル安全施工技術指針 | H 8. 10 | 日本道路協会 |
| 新版 ずい道等建設工事における換気技術指針 (換気技術の設計及び粉じん等の測定) | H24. 3 | 建設業労働災害防止協会 |
| 電気通信施設設計指針 電気編 | H14. 2 | 建設電気技術協会 |
| 土木構造物設計マニュアル(案) [土木構造物・橋梁編] | H11. 11 | 全日本建設技術協会 |
| 土木構造物設計マニュアル(案)に係わる設計・施工の手引き(案) [ボックスカルバート・擁壁編] | H11. 11 | 全日本建設技術協会 |
| 山岳トンネルの坑口部の設計・施工に関する報告書 | S60. 2 | 日本トンネル技術協会 |
| 道路トンネル非常用施設設置基準・同解説 | H13. 10 | 日本道路協会 |
| 「大断面トンネルの標準支保パターンについて」 | H 8. 5 | 事務連絡 |
| 薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定・指針について | S49. 7. 10 | 事務次官通達 |
| 山岳トンネルの補助工法 -2009年版- | H21. 9 | 土木学会 |
| 山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン(案) | H11. 4 | 国土開発技術センター |

(注) 使用にあたっては最新版を使用するものとする。

2 設計・施工の流れ



道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説を一部加筆
(H15.11) P75

図2 トンネル構造の設計と施工の流れ

3 トンネルの計画・調査

トンネルの計画にあたっては、経済性を考慮するとともに、トンネル部および前後に接続する道路部を含めて総合的に検討しなければならない。

計画交通量は、照明設備・換気設備・非常用設備等の規模を決める重要な要素であり、決定にあたっては十分な検討を行うことが重要である。

3-1 構造規格

トンネルの幅員構成は、この手引きの設計断面によるほか、建築限界、線形等の構造規格は道路構造令の規定による。

3-2 トンネル位置の選定要素

設定された予定路線について適切な地形図を路線沿に作成し、調査資料に基づいて、トンネル予定位置の詳細な検討を下記により行わなければならない。

- (1) 地形、地質から見た検討
- (2) 平面線形の検討
- (3) 縦断線形の検討
- (4) 供用開始後のトンネル坑口付近の崩壊等の維持管理面の検討
- (5) 完成後の管理設備の検討
- (6) トンネル付近における他の構造物への影響（鉄道、道路、河川、水路等）
- (7) 気象条件

3-3 調査

トンネルの建設にあたっては、安全で合理的な計画・設計・施工及び維持管理の基礎的資料を得るために、必要に応じて下記に掲げるような調査を行うものとする。

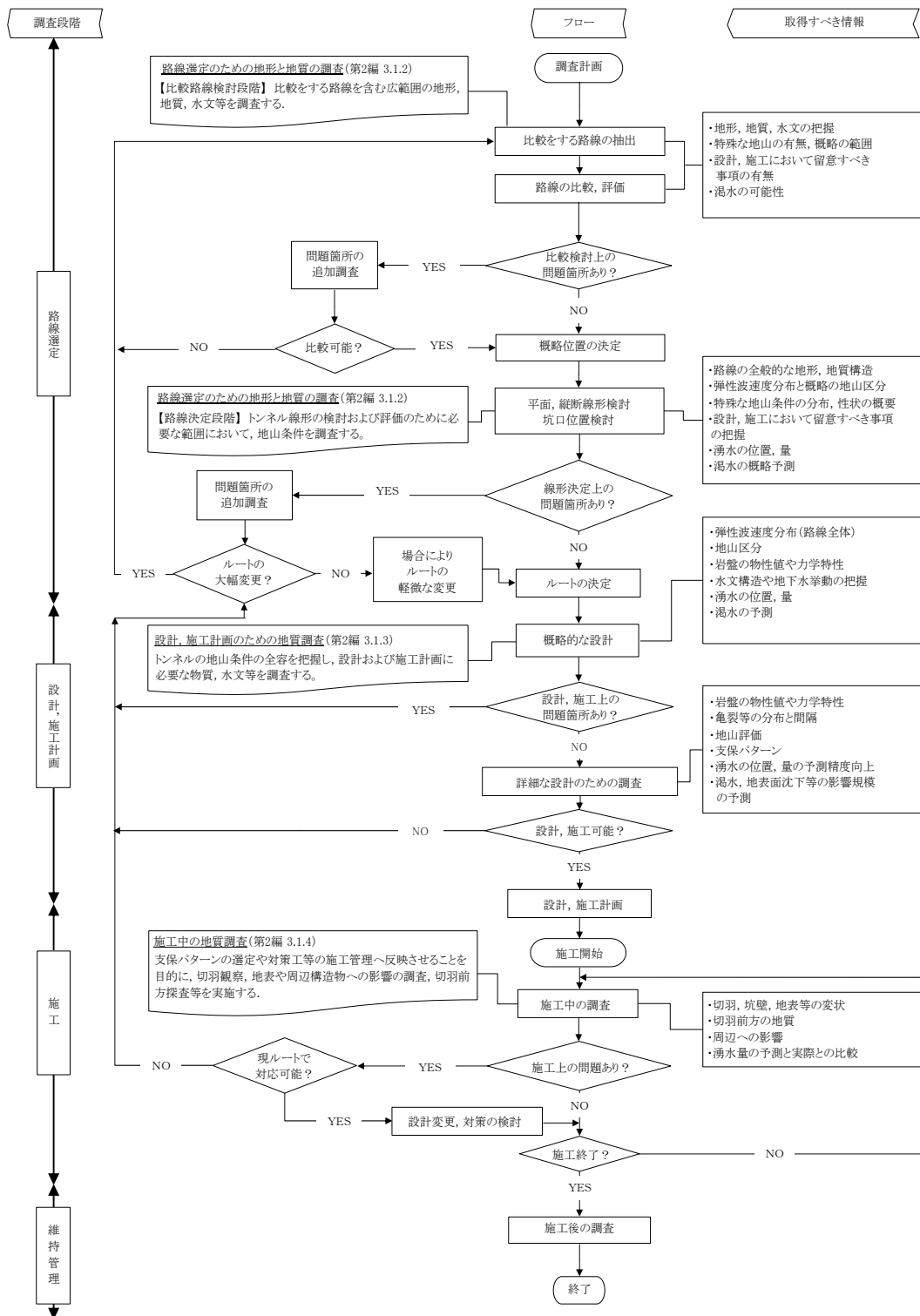
- (1) 地山条件調査：地形調査・地質調査・水文調査
- (2) 気象条件調査：気象調査
- (3) 立地条件調査：環境調査・施工条件調査・関連法令等に関する調査
- (4) その他の調査

表 3-1 トンネル建設の各段階と必要な調査

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P17

| 建設の各段階と作業概要 | | | 対応する必要な調査 | | | | |
|-------------|----------------------|---|---------------|---|---|----------------------------|--|
| 区分 | 時期 | 作業内容 | 区分 | 目的 | 内容 | 範囲 | 着眼点 |
| 構想・計画段階 | 比較路線の検討からトンネル位置の決定まで | 路線の線形、トンネルの位置、延長、概略の構造、施工法、施工計画、建設費およびこれらの比較検討を行う | 路線選定のための調査 | 地形・地質、その他に環境などの条件適合した路線の選定と概略の構造、施工法、施設計画等を検討するために必要な資料および次の段階の調査立案の基礎資料を得ること | 既往資料の収集検討、1/50,000～1/2,000 地形図の作成、地形・地質調査、環境調査、その他一般に概略的な調査 | 比較道路ルートを含む広範囲 | トンネルの建設上大きな支障となる地形・地質・環境・施工条件およびその他の支障物件 〔地形・地質・環境等の諸条件の概略の把握、および問題の抽出〕 |
| 設計段階 | トンネル位置の決定後、工事着工まで | トンネルの詳細な構造、施工法、設計計画、施工計画、環境保全対策および建設費を定める | 設計・施工計画のための調査 | 地形・地質、その他環境等の条件に適合した実施設計・施工計画の作成および積算などに必要な基礎資料を得ること | 1/1,000～1/500 地形図の作成、地形・地質調査、環境調査、その他精密な地質調査、具体的な周辺対策を考慮した調査および工事関係諸施設などのための調査等 | トンネル建設関連箇所およびそれらの周辺地 | 地形・地質・環境などの全般的な諸条件、特に坑口付近の斜面の安定、破砕帯等の弱層部や土被りの小さい箇所などの地山条件、地下水の状況、立坑等の施工場所の条件 |
| 施工段階 | 施工中 | 施工を実施するとともに、支保構造等の現設計、施工法、環境保全対策等の妥当性および設計変更の必要性を検討する | 施工中の調査 | 施工中に生ずる問題点の予測および確認、施工管理、補償のための資料を得ること | 地質調査、環境調査、測量、計測など 〔地質調査は坑内における調査が主、トンネル周辺の環境調査は、工事による影響および対策の効果判定が主〕 | トンネル内および施工により影響を受ける恐れがある範囲 | 切羽の自立性、湧水の状況、当初設計条件と異なる地質等の状況、トンネル内空変位や地表変位の状況、工事中の環境保全 |
| 施工終了後 | 施工後 | トンネル坑内の点検、トンネル周辺の環境調査 | 施工後の調査 | 施工中、施工後に生じた問題点の確認、補償あるいは変状の対策、維持管理のための資料を得ること | 計測、点検、トンネル周辺の環境調査、その他 | トンネル内および施工により影響を受ける恐れがある範囲 | 路面、覆工のひび割れ、トンネル内からの湧水および排水状況、大気汚染、騒音、周辺河川流量、井戸水位など |

トンネル計画・調査のフローと主な取得情報及び調査手法を図3-1に示す。



トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P22

図3-1 トンネルの計画・調査フロー図

調査にあたっては、調査目的に適合した調査方法を選定しなければならない。表3-2にこれらの一般的な目安を示す。

表3-2 地形・地質調査項目と調査方法(その1)

| 調査項目 | 調査方法 調査事項 | 資 | 空 | 現 | 地 | 弾 | 電 | 電 | 放 | ポ | 孔内試験 | | | 点 | 室 | 坑 | |
|--------|--------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|------|---|---|---|---|---|---|
| | | 料 | 中 | 地 | 表 | 性 | 気 | 磁 | 射 | ー | 標 | 物 | 孔 | 孔 | 載 | 内 | 内 |
| | | 調 | 写 | 踏 | 地 | 波 | 探 | 探 | 能 | リ | 準 | 理 | 内 | 内 | 荷 | 土 | 弾 |
| | | 査 | 真 | 査 | 質 | 探 | 査 | 探 | 探 | ン | 貫 | 検 | 載 | 湧 | 試 | 質 | 性 |
| | | 査 | 判 | 査 | 踏 | 査 | 査 | 査 | 査 | グ | 入 | 層 | 荷 | 水 | 験 | 岩 | 波 |
| | | | 査 | | 査 | | | | | | 試 | 試 | 試 | 圧 | 石 | 反 | |
| | | | | | | | | | | | 験 | 験 | 験 | 験 | 試 | 射 | |
| | | | | | | | | | | | 験 | 験 | 験 | 験 | 験 | 法 | |
| 地形 | 地すべり・崩壊地 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ○ | ○ | | | | | |
| | 急崖を形成する岩盤斜面 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | | | | | | | | | | | |
| | 土石流・なたれ等の発生地およびこれら予想される所 | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | | | | | | | | | | | |
| 表層堆積物 | 種類(表土, 風化土, 崖錐堆積物, 崩壊堆積物, 段丘堆積物等) | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | | | | | ○ | | | | | | | |
| | 構成物質(粒度, 粒形等) | ○ | | ◎ | ○ | | | | | ◎ | ◎ | | | | | ◎ | |
| | 分布・厚さ | | | ◎ | ○ | ◎ | ○ | | | ◎ | ○ | ○ | | | | | |
| | 固結程度 | | | ◎ | ○ | ◎ | ○ | | | ◎ | ◎ | ○ | ◎ | | | ○ | |
| | 含水状態および透水性 | | | ◎ | ○ | | ◎ | ○ | | ◎ | | ○ | | ◎ | | ○ | |
| 岩質 | 岩石の種類と地質時代 | ◎ | ○ | ○ | ◎ | | | | ○ | ◎ | | | | | | | |
| | 岩相(鉱物組成, 粒度, 組織, 空隙状態等) | ○ | | ○ | ◎ | | | | | ◎ | | | | | | ◎ | |
| | 岩石の物理的力学的性質(吸水率, 硬度, 圧縮強度, 超音波伝播速度等) | ○ | | | ○ | | | | | ○ | | ○ | | | ○ | ◎ | |
| | 岩盤の弾性波速度 | | | | | ◎ | | | | | | ○ | | | | ○ | |
| | 岩盤の強度, 変形性(膨張性の有無等を含む) | | | | ○ | ○ | | | | ◎ | | ○ | ◎ | | | ◎ | |
| | 風化・変質の程度 | ○ | | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | | ◎ | ○ | ○ | | | | ◎ | |
| 地質構造 | 地質の分布 | ◎ | | | ◎ | | | | | ◎ | | | | | | | ○ |
| | 地層の成層状態(層理面の走向, 傾斜, 褶曲の位置・規模等) | ◎ | | ○ | ◎ | | | | | ○ | | | | | | | |
| | 断層, 破碎帯の位置, 規模, 性状 | ○ | ◎ | ◎ | ◎ | ◎ | ○ | ○ | ○ | ◎ | | ○ | | | | | ◎ |
| | 葉理, 片理, 割れ目等(分布, 方向, 傾度, 狭在物等) | ○ | | ○ | ◎ | | | | | ◎ | | | | | | | |
| 湧水・地下水 | 地表水の状況(トンネル工事の影響が予想される範囲の水利用状況) | ○ | | ◎ | | | | | | | | | | | | | |
| | 地下水面, 帯水層および遮水層 | | | | ○ | | ◎ | ○ | | ◎ | | ○ | | ○ | | | |
| | 地下水の湧水圧, 湧水量 | | | | | | | | | ◎ | | | | ◎ | | | |
| 地下資源 | 種類, 分布 | ◎ | | | ○ | | ○ | | | ◎ | | ◎ | | | | | |
| | トンネル計画の関連 | ○ | | ◎ | ○ | | | | | ◎ | | | | | | | |

(◎: 特に有効な調査法 ○: 有効な調査法)

表3-3~表3-4に代表的な地質調査の特徴を示す。

表3-3 おもな地質調査法による調査項目、利用法、留意点および適用段階(その1)

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P24

| 調査法 | 調査により得られる情報 | 調査の目的と調査結果の利用 | 調査の留意点 | 適用段階 | | |
|---------|--|---|--|---|---------|----|
| | | | | 路線選定 | 設計・施工計画 | 施工 |
| 資料調査 | ・計画地域の地形、地質、水文、災害履歴、地下資源、施工性等の概要 | ①比較路線検討段階で回避すべき地形、地質、水文上の問題点および問題区域の概要を把握 ②地表踏査およびその後の調査で明らかにすべき問題点を抽出 | ①地域により資料がない場合がある。 ②一般に図面類の精度が低い。 ③図面類の表現等が調査目的と必ずしも一致しない。 ④踏査が困難な市街地、平地、台地下の場合、ボーリングや井戸の掘削記録や周辺での工事記録等の既存資料が重要である。 | ◎ | ○ | △ |
| 地形判読 | ①表層地層、特にトンネル坑口付近の不安定地形や地質 ②地質構造、特に断層、割れ目等の弱線 ③人工改変前の表層地層 | ③計画トンネルを含む地域の地形、地質、水文等の概要の検討 ④断層破砕帯、地すべり地、崩壊地、未固結堆積物等の表層地質の把握 ⑤坑口部の地形、地質状況の把握 | ①計画地内を均一精度で調査が可能だが、誤判読の可能性があるため、地表踏査で確認する必要がある。 ②各調査段階で再判読を行い、精度を上げていく必要がある。 ③空中写真や地形図の縮尺による判読の精度や難易度が異なる。航空レーザ測量により作成した地形図等は詳細な地形判読を行う上で非常に有用であり、地表地質踏査時の基礎資料としても活用できる。 ④地形改変の進んだ地域の場合、地形改変以前の空中写真、地形図による原地形の復元や埋没している低地等の把握が可能である。 | ◎ | ○ | △ |
| 地表地質踏査 | ①表層地質の分布、性状、安定性 ②基礎地質の分布、性状 ③地盤構造(褶曲、断層等)の分布、性状 | ①各種調査、試験結果をもとに地質平面図、断面図等を作成し、路線沿いの構成地質の分布、性状を把握 ②路線沿いの構成地質の安全性、施工性に関する定性的評価 ③以後の調査の方法、順序、位置等の検討資料の取得 | ①調査により作成された地質図類はひとつの解釈図であり、その後の調査で検証する必要がある。 ②使用する地形図の精度に大きく左右される。 ③以後の調査成果を反映させて修正されるものであり、その後の調査段階の要求にあわせて、別の角度からの踏査を実施することもある。 ④坑口部の調査ではつぼ掘りや、活断層等の調査ではトレンチ等による精密な地質調査が有効なことがある。 | ◎ | ◎ | ○ |
| 物理探査 | 弾性波探査 | ①地山の弾性波速度 ②断層、破砕帯等に起因する低速度帯の位置、規模、速度値 | ①線状構造物であるトンネルの地質調査に有効である。 ②解析方法には主として萩原の方法、トモグラフィの方法の2種類が用いられている。 ③解析上留意すべき地形条件、解析の困難な地質構造等が存在するため、その適用には注意が必要である。 ④低速度層が挟在する場合には、解析が不正確になる。 ⑤結果はあくまでも速度分布であり、詳細な地盤状況等の評価は、他の調査結果とあわせて総合的に評価する必要がある。 ⑥層厚の薄い層の把握は困難である。 ⑦都市部では振源が限定され、また人工的な振動ノイズが大きい。 | ◎ | ◎ | ○ |
| | 電気探査 | ・地盤の比抵抗値および比抵抗値の断面的分布状態 | ①軟弱挟在層の検出 ②地下水、帯水層の分布、性状検討 ③崖錐、風化層の深度把握 | ①探査地点の地形、地質条件で探査精度は大きく変わる。 ②地下深部ほど分解能が低下する。 ③比抵抗値を測定するものであり、地盤の力学強度とは直接関係しない。 ④地下水調査や弾性波探査との併用が望ましい。 ⑤都市部ではノイズ源が多く存在する。 ⑥舗装道路等では電極配置に工夫が必要である。 | ○ | ○ |
| ボーリング調査 | ①土砂、岩盤の成層状態と分布 ②地下水の有無、湧水圧と水量 ③軟弱層、断層、破砕帯の位置、規模、性状や連続性 ④岩石の種類、風化や変質、割れ目、節理等の性状 ⑤土の試料採取による構成土の判別・分類 | ①計画路線沿いの地質を直接確認し、構成地質の分布、性状の詳細を明らかにする ②採取岩石の硬さ、風化、地質状況、亀裂状況等より地山分類、掘削工法、支保工、覆工等を検討 ③採取試料から室内試験により物理特性、力学特性を取得 | ①地質を直接観察でき、確実な調査法である。 ②点の調査であり、地表踏査等の各種調査との併用が必要である。 ③都市部では調査用地の確保が困難な場合がある。 ④ボーリング孔を利用した孔内試験、物理検層、ポアホールスキャナによる観察、計測および水位観測が可能である。 ⑤水平ボーリングはトンネル線上の地質状況や湧水に関する情報も得られるので、坑口付近の調査や坑内切羽の前方地質の予測、水抜き孔として有効である。また、コントロールボーリングでは、ボーリング方向、傾斜をコントロールして目的位置のコアリングを行うことができる。 | ◎ | ◎ | ◎ |

(◎) : 重点的に実施すべき調査 (○) : 実施すべき調査 (△) : 必要に応じて実施した方がよい調査

表3-4 おもな地質調査法による調査項目、利用法、問題点および適用段階(その2)

| 調査法 | 調査により得られる情報 | 調査の目的と調査結果の利用 | 調査の留意点 | 適用段階 | | | |
|--------------------|--|--|---|---|---------|----|---|
| | | | | 路線選定 | 設計・施工計画 | 施工 | |
| 孔内試験および検層 | 標準貫入試験 | ・地山のN値と硬軟あるいは締まり具合 | ①都市部における一般的な地山の安定性の検討 ②岩盤や支持層の深さの把握 | ①N値50以上の硬い地盤では細かい判定はできない。 ②近年、軟岩地盤への適用例が増えてきたが、一般に岩盤や礫層には適用できない。 | ◎ | ○ | △ |
| | 孔内水平 載荷試験 | ・地山の变形係数、弾性係数等 | ・地山の变形解析 | ①構成地質、ボーリングの孔径に見合った機種を選定する必要がある。 ②コア観察により代表的な地質状況の区間を選定する必要がある。 | ○ | ○ | △ |
| | 透水試験 | ・地山の透水係数等の水理特性 | ①帯水層での突発湧水、恒常湧水の予測、評価 ②未固結地山での切羽安定性の評価 | ①測定値は概略であり、オーダーで評価する必要がある。 ②地盤条件により試験方法を選定する必要がある。 ③深度が深くなると、砂質土ではケーシングの挿入が困難となる。 | ○ | ○ | △ |
| | 速度検層 | ・地山の弾性波速度の鉛直分布 | ①測定値から間接的に岩盤、土砂の区分の推定 ②弾性波探査ではわからない低速度層の把握 | ・測定方法にはダウンホール方式と孔内起振受振方式の2種類があり、孔内水の有無や、ケーシング挿入の有無等により使い分ける。 | ○ | ○ | △ |
| | 電気検層 | ・孔壁に近接する部分の見かけの比抵抗値 | ①比抵抗値による地質分布の把握 ②帯水層の地下水賦存状況の評価 | ①地下水面下の測定に限られる。 ②ケーシング挿入区間は測定不能である。 | ○ | ○ | △ |
| | 温度検層 | ・孔内水の温度の変化 | ①地下水流動や透水性の評価 ②温泉水湧出の有無 | ①孔内温度を安定させるため、ボーリング削孔後時間をおいて測定する必要がある。 ②ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない。 | ○ | ○ | △ |
| | 密度検層 | ・地山の密度 | ・地山の湿潤密度、乾燥密度、間隙率の状況とそれらの深度方向の分布 | ①比較的強いγ線源を用いる必要がある。 ②校正曲線作成のための検定実験が必要である。 | ○ | ○ | △ |
| | キャリパー 検層 | ・ボーリング孔の孔径の変化 | ①地山の安定性の安定性的評価 ②不安定地層の深度分布の把握 | ・ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない。 | ○ | ○ | △ |
| | 地下水 検層 | ・地下水流動層の位置等 | ①地山中の地下水流動層の分布や流動性の把握 ②地すべり面の想定 | ①単一電極検層方式は測定に時間を要する。 ②深度が深くなると電解物質の攪拌が困難となる。 ③ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない。 | ○ | ○ | △ |
| | ボ ル ス マ ン ナ ル 測 定 | ①地層の成層状況、地質の構造 ②湧水状況 | ①切羽の安定性検討 ②湧水箇所の性状検討 | ①孔内洗浄を十分に行う必要がある。 ②ケーシングが挿入されたボーリング孔では観察不能である。 | △ | △ | △ |
| 初期地 圧 測 定 | ・地山応力 | ・地山の応力状態の把握 | ・測定結果はきわめて局所的な応力状態を表しており、測定結果から地山全体の応力状態の推定が難しい。 | △ | △ | △ | |
| 室内試験 | ①構成岩石の物理、力学特性(単体体積重量、弾性波速度、圧縮強さ等) ②構成岩石の鉱物化学的特性(粘土鉱物含有量、スレーキング特性、重金属溶出量等) ③構成土質の物理、力学特性(粒度組成、含水比、圧縮強さ、コンシステンシー等) | ①未固結地山での切羽安定性の検討 ②地山弾性波速度とあわせて割れ目等による地山の劣化程度を把握 ③地山の力学特性を把握 ④膨張性地山の予測評価 ⑤掘削ずりに含まれる重金属等の環境への影響の評価 | ①対象とする地山の問題点にあわせて試験項目を選択する。 ②結果は試験体の物性値であるので、地山の評価はこれらの試験結果に割れ目等の評価を考慮する。 ③軟岩試料では含水比により試験結果が大きく異なる場合がある。 ④力学試験では、試料採取時の試料攪乱の影響を受けやすい。 ⑤重金属等に関する試験については地質特性、地下水特性等に応じて最適な方法を検討する必要がある。 | ○ | ◎ | ○ | |

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P25

(◎) : 重点的に実施すべき調査 ○ : 実施すべき調査 △ : 必要に応じて実施した方がよい調査)

(3) 立地条件の調査

立地条件調査は、対象地域の気象、環境、施工条件、関係法令に関する資料の収集を目的として実施する。

① 気象調査

- ア 降雨、降雪に関する調査
- イ 気温、湿度、水温、地中温度に関する調査
- ウ 風向、風速に関する調査
- エ 霧に関する調査
- オ なだれ、吹きだまり、出水に関する調査

② 環境調査

- ア 自然環境調査
 - (ア) 地下水、表流水調査
 - (イ) 温泉、湧泉、湖沼、湿原等の調査
 - (ウ) 鉱物資源やガス、重金属汚染等の調査
 - (エ) 重要な動植物および生態系の調査
 - (オ) 重要な地形および地質の調査
- イ 社会環境調査
 - (ア) 土地利用状況（土地、建物、公園、風致地区等）の調査
 - (イ) 既存構造物（家屋、ガス、水道等埋設物、既設の坑道等）の調査
 - (ウ) 文化財、天然記念物、遺跡等の調査
 - (エ) 景観や人と自然のふれあいの場の調査
- ウ 生活環境調査
 - (ア) 濁水に関する調査
 - (イ) 騒音、振動に関する調査
 - (ウ) 地盤沈下に関する調査
 - (エ) 汚濁排水に関する調査
 - (オ) 大気汚染に関する調査
 - (カ) 交通障害に関する調査
 - (キ) 土壌汚染に関する調査

③ 施工条件調査

工事用道路、工事用設備、土捨場等の計画に必要な調査

④ 関係法令等に関する調査

- ア 規制を受ける法令等（表3-5）
- イ 法令等に基づく権利
 - (ア) 鉱業権（試掘権、採掘権等）
 - (イ) 水利権
 - (ウ) 温泉利用権
 - (エ) 漁業権
 - (オ) 地上権
 - (カ) その他

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P63

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P64～65

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P67

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P68

表3-5 トンネル工事を規制する主な関連法規類（その1）

| 法規類の名称 | おもな規制事項 | 公布年月日 /法令番号 |
|--|---|---|
| 【都市計画関係】 都市計画法 大深度地下の公共的使用に関する特別措置法（大深度法） 都市再生特別措置法（都市再生法） | 都市計画の手続き，都市計画区域内および都市計画事業地内の行為の規制 大深度地下の使用方法に関する基準 都市の再生促進に関する基本方針 | 昭43. 6. 15 / 法100 平12. 5. 26 / 法87 平14. 4. 5 / 法22 |
| 【自然・文化財保護関係】 自然公園法 都市公園法 文化財保護法 自然環境保全法 都市緑地保全法 森林法 環境基本法 環境影響評価法 大深度地下の公共的使用における振動の保全に係る指針 | 国立公園，国定公園，都道府県立自然公園内の行為の規制 都市公園内の行為の規制 史跡・名勝・天然記念物および埋蔵文化財包蔵地内の行為の規制 自然環境保全地域内の行為の規制 緑地の保全および緑化の推進に関する規制 森林計画，保安林その他の森林における行為の規制 環境の保全，公害の防止に関する規制 環境影響評価の手続き，調査，予測，評価に関する規制 大深度地下の公共的使用に関する基本方針の環境に係る事項を具体的に運用するための指針 | 昭32. 6. 1 / 法161 昭31. 4. 20 / 法79 昭25. 5. 30 / 法214 昭47. 6. 22 / 法85 昭48. 9. 1 / 法72 昭26. 6. 26 / 法249 平5. 11. 19 / 法91 平9. 6. 13 / 法81 平16. 2. 3 / 国土交通省 |
| 【環境・公害・廃棄物関係】 環境基本法 環境影響評価法 土壌汚染対策法 薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針 セメント及びセメント固化材の地盤改良への使用及び改良土の再利用に関する当面の措置について 水質汚濁防止法 湖沼水質保全特別措置法 瀬戸内海環境保全特別措置法 地下水の水質汚濁に係る環境基準について 騒音規制法 振動規制法 建設工事に伴う騒音，振動防止対策技術指針 大気汚染防止法 悪臭防止法 廃棄物の処理及び清掃に関する法律 資源の有効な利用の促進に関する法律 建設工事に係る資材の再資源化等に関する法律 国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法） 温泉法 建設物用地下水の採取の規制に関する法律 工業用水法 | 環境の保全，公害の防止に関する規制 環境影響評価の手続き，調査・予測・評価に関する規制 土壌汚染の状況把握，土壌汚染対策の実施に関する規制 薬液注入工法に関する規制 改良土からの六価クロム溶出量を低減するための措置 公共用水域に対する排水の規制 湖沼の水質の保全，水質汚濁の原因となる物を排出する施設に係る規制 瀬戸内海の環境保全を図るための規制 地下水の水質の測定方法に関する規制および環境基準 工事騒音に対する規制 工事振動に対する規制 建設工事の騒音および振動に関する規制 粉じん等の排出規制 悪臭原因等の排出規制 廃棄物の排出抑制，廃棄物の適正な処理に関する規制 リサイクルによる資源の有効利用の促進 特定建設資材の分別解体等および再資源化等の促進に関する措置 環境物品の調達の推進 温泉の保護と利用に関する規制 地盤沈下に関する規制 指定区域内への工業用水の供給および地下水の水源の保全に関する規則 | 平5. 11. 19 / 法91 平9. 6. 13 / 法81 平14. 5. 29 / 法53 昭49. 7. 10 / 建設省 平12. 3. 24 / 建設省 昭45. 12. 25 / 法138 昭59. 7. 27 / 法61 昭48. 10. 29 / 法110 平9. 3. 13 / 環境庁 昭43. 6. 10 / 法98 昭51. 6. 10 / 法64 昭51. 3. 2 / 建設省 昭43. 6. 10 / 法97 昭46. 6. 1 / 法91 昭45. 12. 25 / 法137 平3. 10. 18 / 法327 平12. 5. 31 / 法104 平12. 5. 31 / 法100 昭23. 7. 10 / 法125 昭37. 5. 1 / 法100 昭31. 6. 11 / 法146 |
| 【災害防止関係】 宅地造成等規制法 地すべり等防止法 急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律 砂防法 消防法 火薬類取締法 火薬類取締法施行規則 労働安全衛生法 労働安全衛生規則 建設工事公衆災害防止対策要綱 酸素欠乏症等防止規則 電気機械器具防爆構造規格 作業環境測定法 じん肺法 粉じん障害防止規則 ずい道等建設工事における粉塵対策に関するガイドライン 騒音障害防止のためのガイドライン 大深度地下の公共的使用における安全の確保に係る指針 | 宅地造成工事規制区域内の行為の規制 地すべり防止区域内の行為の規制 急傾斜地の崩壊を防止するための必要な処置，急傾斜地崩壊危険区域内の行為の規制 土砂災害警戒区域内の行為の制限 治水上実施する砂防工事に関する基準 火災防止のための遵守すべき予防措置 火薬類の製造，販売，運搬，その他取扱いの規制 火薬類の製造，販売，運搬，その他取扱いで遵守すべき事項 労働災害の防止のための規制 労働災害防止のための遵守すべき安全措置 建設工事を施工するにあたって遵守すべき最小限の技術的基準 酸素欠乏症等の防止に関する措置 電気機械器具に関する防爆構造の規格 適正な作業環境を確保するための作業環境測定の実施を規定 粉じん作業労働者の健康の保持 粉じん作業労働者の健康障害の防止措置 ずい道等建設工事における粉じん障害防止対策の推進，充実を図るための指針 騒音作業に従事する労働者の騒音障害を防止することを目的とするガイドライン 大深度地下の公共的使用に関する基本方針の安全に係る事項を具体的に運用するための指針 | 昭36. 11. 7 / 法191 昭33. 3. 31 / 法30 昭44. 7. 1 / 法57 平12. 5. 8 / 法57 明30. 3. 30 / 法29 昭23. 7. 24 / 法186 昭25. 5. 4 / 法149 昭25. 10. 31 / 通商産業省 昭47. 6. 8 / 法57 昭47. 9. 30 / 労働省 平5. 1. 12 / 建設省 昭47. 9. 30 / 労働省 昭44. 4. 1 / 労働省 昭50. 5. 1 / 法28 昭35. 3. 31 / 法30 平12. 10. 31 / 労働省 平20. 3. 1 / 厚生労働省 平4. 10. 1 / 労働省 平16. 2. 3 / 国土交通省 |

トンネル標準示方書
 (山岳工法編)・同解説
 (H28. 8) P3

表 3-5 トンネル工事を規制する主な関連法規類（その2）

| 法規類の名称 | おもな規制事項 | 公布年月日 ・法令番号 |
|--|--|--|
| 【河川関係】 河川法 公有水面埋立法 水産資源保護法 | 河川区域，河川保全区域の占用および行為の規制 河川，湖沼等，公共用水域または水面の占用および行為の規制 保護水面の区域内の行為の制限 | 昭 39. 7. 10 / 法 167 大 10. 4. 9 / 法 57 昭 26. 12. 17 / 法 313 |
| 【道路交通関係】 道路法 道路交通法 | 道路の占用に関する規制 道路の使用に関する規制 | 昭 27. 6. 10 / 法 180 昭 35. 6. 25 / 法 105 |
| 【その他】 建築基準法 公共工事の品質確保の促進に関する法律（品確法） | 建築物の敷地，構造，設備および用途に関する基準 公共工事の品質確保の促進に関する規制 | 昭 25. 5. 24 / 法 201 平 17. 3. 31 / 法 18 |

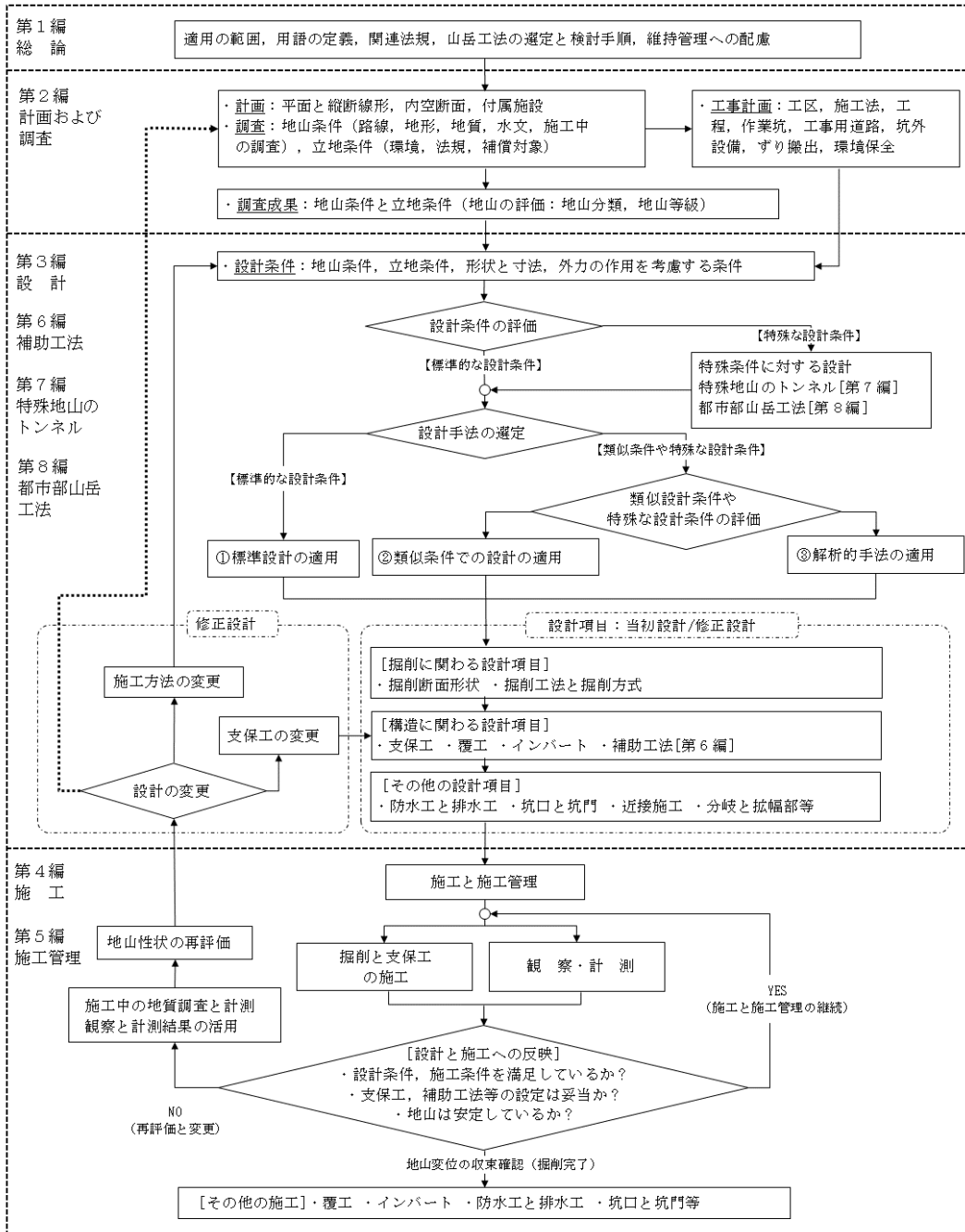
トンネル標準示方書
 (山岳工法編)・同解説
 (H28.8) P4

4 トンネルの設計

4-1 設計の手順

- (1) トンネルは調査結果に基づいて、使用目的に応じた所有の規格構造に適用し、安全で合理的に施工でき、経済性が得られるよう設計しなければならない。
- (2) また施工中、当初の設計が現場の条件に適合しないと認めるときは、遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P6, P55



※表内の「第〇編」は、「トンネル標準示方書」の各編をさす。

図4-1 設計の手順

4-2 荷重等

(1) 土圧

支保の設計にあたっては、調査によって判明した地山特性に応じた土圧、並びに変形を必要により考慮しなければならない。

(2) 偏圧

地形・地質、その他からトンネルに対して大きい偏圧が働くおそれのある場合は、偏圧の状態と、これに対する処置について、特に考慮しなければならない。

(3) 上載荷重の影響

土被りが小さく、かつ地表面に荷重が作用することが考えられるトンネルでは、上載荷重の影響を考慮しなければならない。

(4) 地震の影響

地震の影響は、トンネルの土被り、地山条件、立地条件、周辺環境等に応じて必要により考慮しなければならない。

4-3 線形計画

4-3-1 平面線形

(1) トンネルの線形の計画にあたっては、できるだけ直線または大きな半径の曲線を用い、付属施設、工事中設備の設置等を考慮のうえ、地山条件が良好であり、維持管理が容易で周辺環境への影響が小さい位置にトンネルを設定しなければならない。

(2) トンネルの坑口は、安定した地山で、地形条件の良い位置に選定するように努めなければならない。

(3) 2本以上のトンネルを隣接して設置する場合、または他の構造物に近接してトンネルを設置する場合には、相互の影響を検討のうえ位置選定しなければならない。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P9

表4-1 トンネル断面の拡幅が不必要な曲線の最小半径の例 (縦断勾配0%の場合)

| 設計速度 (km/h) | 視距 (m) | 車線の幅員 (m) | 路肩の幅員 (m) | 最小半径 (m) | 備考 |
|----------------|-----------|--------------|--------------|-------------|------|
| 120 | 210 | 3.50 | 1.00 | 2,000 | 1種1級 |
| 100 | 160 | 3.50 | 1.00 | 1,200 | 1種2級 |
| 80 | 110 | 3.50 | 0.50 | 670 | 3種1級 |
| 60 | 75 | 3.25 | 0.50 | 330 | 3種2級 |
| 50 | 55 | 3.00 | 0.50 | 190 | 3種3級 |
| 40 | 40 | 2.75 | 0.50 | 160* | 3種4級 |

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P87

注1) 本表は視線が建築限界内に入ることとして計算してある。ただし、*は道路構造令解説による曲線部の拡幅を必要としない値である。

注2) 雪積寒冷地等で別途視距を確保する場合は本表と異なる。

4-3-2 縦断線形

- (1) トンネルの縦断勾配は、トンネル完成後の坑内湧水を良好な縦断排水工等によって自然流下させる場合、通常 0.2%以上の勾配があればよい。ただし、施工中の湧水を自然流下させるためには、湧水が少ない場合でも 0.3%以上、相当多い場合 0.5%程度の勾配が必要である。
- (2) 換気を必要とするトンネルの縦断勾配は、止むを得ない場合でも 3%程度以下を目標とするのが望ましい。また、換気量が大きくなる長大トンネルにあっては 2%程度以下とすることが望ましい。
- (3) 換気を必要としないトンネルの場合には、道路の線形上有利な勾配として差しつかえない。
- (4) 縦断勾配の変化点には、視線誘導等を考慮し、少なくとも道路構造令の規定長の 2 倍以上の縦断曲線長をとることが望ましい。
- (5) レール方式の縦断勾配は、急勾配になると車両の逸走や機関車の制動距離が長くなることや作業能率が低下することなどが考えられるため、一般に、2%程度以内が望ましい。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P13

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P88

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P88

4-4 トンネルの幅員

4-4-1 車道

車道幅員は、「第1編 道路設計 第1章 道路計画」を参考にする。

4-4-2 歩道

歩道・自転車歩行者道は、主務課と協議した上で設置の有無や構造等について決定するものとする。

- (1) マウントアップはH=0.25mまで高くすることができる。
- (2) 路上施設帯は、必要に応じて設置、または省略することができる。

4-5 併設トンネルおよび他構造物との間隔

- (1) 併設トンネルの中心間隔は、掘削幅の3倍程度とする。
- (2) トンネル中心間隔を縮める必要のある特殊な場合には、設計、施工法を十分に検討しなければならない。
- (3) 他の構造物に近接してトンネルを施工する場合および市街地や重要構造物等の直下に小さな土被りでトンネルを設ける場合も同様に、相互の影響を検討のうえ位置を選定しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P88~89

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P12

4-6 トンネルに接続する道路のすり付け

トンネルに接続する道路部には、適当な長さのすり付け区間を設けなければならない。すり付け区間のすりつけ率は表4-2による。

道路構造令の解説と運用
(H27.6) P383

(1) 直線区間

表 4-2 すりつけ率の標準値

| 設計速度 (km/h) | すりつけ率の標準値 | |
|----------------|-----------|------|
| | 地方部 | 都市部 |
| 100 | 1/60 | — |
| 80 | 1/50 | 1/40 |
| 60 | 1/40 | 1/30 |
| 50 | 1/30 | 1/25 |
| 40 | 1/25 | 1/20 |
| 30 | 1/20 | 1/15 |
| 20 | 1/15 | 1/10 |

(2) 曲線区間

曲線区間において車線数を増減させる場合のすり付けは、その曲線半径等によって条件が違ってくるが、S曲線をつくらなくてすむので、一般には直線区間より容易である。すり付け長としては、直線区間よりやや短くてよい。

道路構造令の解説と運用
(H27.6) P383

4-7 非常駐車帯

非常駐車帯は、通常 500~1,500m 程度の間隔に設けるものとするが、片側あたり 750m 程度の間隔に設けるのを標準とする。なお、一方向トンネルについては左側に配置するものとするが、対面通行のトンネルについては左右に 50m 程度ずらして配置するものとする。

非常駐車帯はできるだけ地山条件の良好な箇所に選定すべきである。

なお、設置位置については、前後の明かり区間の非常駐車帯位置も考慮して配置するものとする。

【断面形状および支保構造】

- (1) 非常駐車帯の断面区分が、大断面の適用範囲となる場合には、一般部の側壁部半径を有する 3 心円断面とし、内空縦横比は 0.57 以上確保することを標準とする。また、支保構造については表 11-2 に従って設計することを標準とする。
- (2) 非常駐車帯の断面区分が、大断面の適用範囲を越える場合には、「建設省事務連絡 (H8.8.5) 「大断面トンネルの支保パターンについて」における断面区分「大断面Ⅱ」を参考に断面形状、支保構造を設計するものとする。
- (3) 大断面における非常駐車帯の選定にあたっては、側壁部の形状を共有する形で拡大すると、断面区分に応じた内空縦横比を超える場合には、一般部の内空形状を相似拡大する案も含め、地山条件に応じた検討を行う。
- (4) 非常駐車帯の断面区分が、通常断面の適用範囲となる場合は、一般部の側壁部半径を共有する 3 心円断面とし、内空縦横比 0.60 以上において大断面支保パターンと通常断面支保パターンを適用した断面について検討を行う。
- (5) 一般部から非常駐車帯部へのすり付け区間の支保構造は、当該非常駐車帯部の支保構造にあわせるものとし、非常駐車帯部の妻壁は吹付けコンクリートとロックボルトにより補強するものとする。

4-8 中央帯開口部及び非常用施設

中央開口部及び非常用施設について、往復方向別分離2車線の第1種道路においては、下記に掲げるように設けるものとする。

(1) 中央帯開口部

① 車両用

往復方向別分離2車線の第1種道路においては、中央帯により往復方向が分離されているため、事故・災害発生時等の緊急時に車線閉塞等により片側車線の通行が不可能となることが想定されることから、対向車線を活用した速やかな救急活動や事故処理を可能とするため、中央帯に開口部を設けるものとする。

ア 中央帯開口部の配置は、次の各項を考慮して決定する。

(ア) 開口部は衝突の可能性のより少ない直線区間など線形の良い箇所に設けるものとする。

(イ) トンネル内で事故や車両火災が発生した場合の通行止めや滞留車の速やかな排除を考慮し、トンネルの前後には設けるものとする。ただし、トンネルが連続している区間あるいは道路の線形の状況等により設定することが困難な区間などの場合は、その限りではない。

(ウ) 事故・災害時等において、速やかに本線外に車両を排出させるため、インターチェンジ前後には設けるものとする。ただし、道路の線形の状況等により設定することが困難な場合は、その限りではない。

(エ) 非常駐車帯が設置されている区間では、緊急車両の転回等を考慮し、原則として非常駐車帯の位置にあわせて設けるものとする。ただし、道路の線形の状況等により設定することが困難な場合は、その限りではない。

(オ) 非常駐車帯が設置されていない区間では、地形の状況や事故発生時の交通運用等も踏まえ、適切な位置に設けるものとする。

イ 開口幅

中央帯開口部の幅は、事故・災害発生時等における緊急車両や作業車両等の対向車線への移行、滞留車両の排出を考慮して決定する。

ウ 構造

通常の運用においては、開口部からの転回・逆走等を防止するため、中央帯開口部には柵を設ける。ただし、柵の構造は、事故・災害時において迅速な緊急車両の対向車線への移行や復旧活動や事故処理等が可能となるように容易に撤去できるものとする。この前提であるが、正面衝突等の事故を防止するため、車両の反対車線への逸脱を可能な限り防止できる性能を併せて有するものとする。

② 人道用

道路トンネル非常用施設設置基準（昭和56年4月建設省都市局長・道路局長通達）により、避難通路をAA等級のトンネルは原則、A等級のトンネルは必要に応じて設置することとされている。このため、避難通路を設けるトンネルにおいては、火災発生時等の緊急時に運転者等が迅速に避難できるよう、避難連絡坑の位置に合わせて人道用の開口部を設けるものとする。

事務連絡(H22.2.22)
道路関係事務所長宛
発九州地方整備局道路
部道路計画第一課長道
路工事課長
「往復の方向別に分離
された車線の数2で
ある第1種の道路にお
ける中央帯開口部及び
非常用施設の取扱いに
ついて」

なお、車両用開口部の配置などとの関係から避難用連絡坑の位置に合わせて設置することが困難な場合、実際の避難形態等を勘案し、できるだけ避難連絡坑に近接して人道用開口部を設けるものとする。

さらに、開口部の付近には、安全対策に配慮した構造や塗装等の工夫を行うことが望ましい。

(2) 非常用施設

非常用施設については、中央帯により往復方向の空間が分離されているため、非常用施設を片側のみの設置の場合、事故・災害発生時等に道路利用者が対向車線側の非常用施設に迅速に到達できない可能性があることから、原則として全線にわたり両側に設置するものとする。

トンネル内部については、別途、道路トンネル非常用施設設置基準が示されているところであるが、明かり部と同様の慰留により、原則として全線にわたり両側に設置するものとする。

5 内空断面

5-1 内空断面設計の一般的事項

- (1) トンネルの内空断面の形状と寸法は、道路構造令に定める所要の建築限界および換気等に必要断面を包含し、トンネルの安全性と経済性を考慮して定めなければならない。
- (2) 同一断面内に、自動車、自転車および歩行者を通行させるトンネルにあっては、特に自転車および歩行者の安全に留意した構造としなければならない。

トンネルの内空断面を決定する要素は、次の項目が考えられる。

- ① 道路構造令に定める建築限界
- ② 換気施設・照明施設・非常用施設を設置する空間
- ③ 内装・管理用の通路・舗装（オーバーレイを含む）・排水工を設置する空間
- ④ 覆工の施工誤差に対する余裕
- ⑤ その他

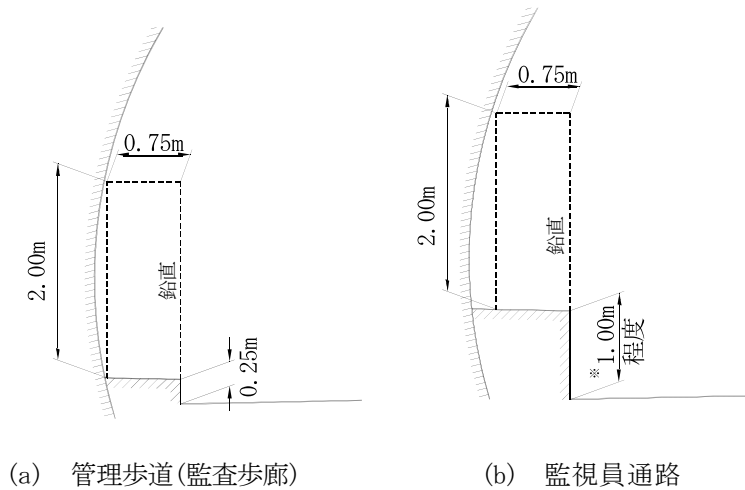
上記の条件を満足し、トンネルの安全性・施工性等を考慮し、合理的な断面形状とする。

5-2 内空断面決定の諸条件

- (1) 決定する内空断面は1トンネル1内空断面とすることを原則とするが、平面線形で部分的に大きな拡幅が入り断面積が大きく異なるような場合には別途検討を行うものとする。
- (2) 内空高の余裕
トンネル内の舗装は、全面的な打換えが困難なため普通オーバーレイが行われる。従って建築限界の内空高の外に余裕を見込んでおく必要がある。この余裕は20cmとする。
- (3) 施工に対する余裕
トンネル内空断面には施工に対する余裕として片側5cm見込むものとする。ただし、管理歩道は見込まない。
- (4) 管理歩道(監査歩廊)
管理歩道(監査歩廊)の幅員は75cmとする。管理歩道(監査歩廊)の建築限界高は2.0mとする。
また、管理歩道(監査歩廊)の有無および、防災等級の高いトンネル等においてマウントアップする場合は、管理者協議により決定する。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P91

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説を一部加筆
(H15.11) P95



(a) 管理歩道(監査歩廊) (b) 監視員通路
※ マウントアップ高は、主務課と協議により決定する。

図5-1 管理歩道(監査歩廊)・監視員通路

(5) 施設帯

施設帯を設ける場合は50cmを確保する。ただし、主務課と協議の上判断すること。

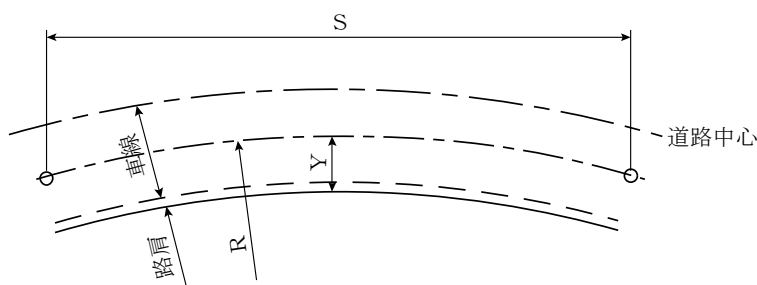
(6) 曲線部のトンネルにおいて路面の横断勾配が変化する場合は、全ての位置において上記(2)～(5)の条件及び覆工の1打設長等の施工余裕の条件を満足しなければならない。

(7) 内装板の設置

内装板の設置は、「19-2 設置基準」によるものとする。内装余裕は3cmを標準とし、吸音内装工を設置する場合には10cmとすることができる。

(8) 視距確保のための拡幅

曲線区間を有するトンネルにおいては、道路構造令に従い、下記により算出した視距確保のための必要幅が車線幅員の1/2に路肩幅を加算した値より大きな場合には、その差を拡幅幅として車線内側に確保するものとする。



$$Y = R (1 - \cos R/2R) \approx S^2/8R \quad \dots \dots \text{式(5-1)}$$

ここに、Y：視距確保のための必要幅 (m)

R：車線中心半径 (m)

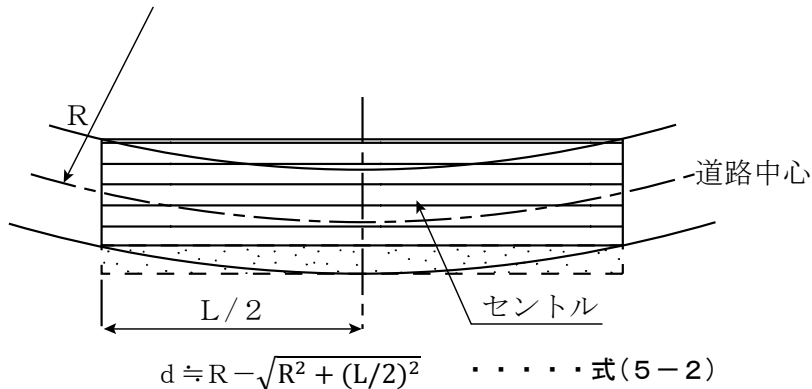
S：視距 (m)

図5-2 視距確保のための必要幅

(9) 平面曲線に起因する余裕

曲線区間を有するトンネルにおいては、セントルを使用して覆工コンクリート

を施工する際の移程量として、下式により算出した値を余裕として車道部及び歩道部・自転車走行者道部の建築限界及び監査歩廊・監視員通路部の歩行区間の曲線の外側に見込むものとする。



ここに、 d ：平面曲線に起因する余裕 (m)
 R ：平面曲線半径 (m)
 L ：セントル長 (m)

図5-3 平面曲線に起因する余裕

5-3 内空断面設定の考え方

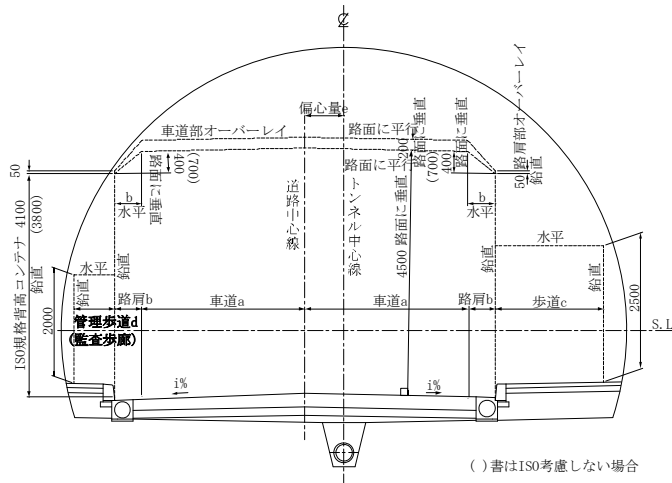
(1) 建築限界の考え方

道路構造令に定められた建築限界を満足しなければならない。

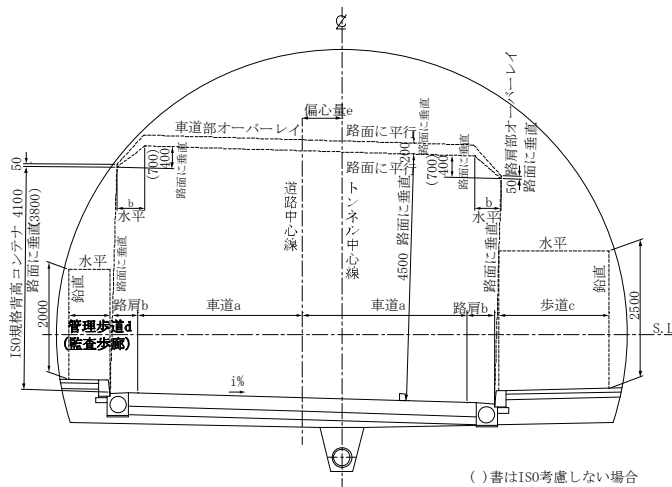
- ① 路面上の車道幅員，路肩幅員，歩道幅員，監査歩廊幅は水平距離とする。
- ② 車道部の建築限界は4.5m（路肩部3.8m）とし，路面に垂直とする。
ただし，標準勾配（拌み勾配）の場合は鉛直とする。
- ③ 指定経路におけるISOコンテナ等特殊車両の通行を考慮する場合，建築限界は非常駐車帯を除き，縁石前面で4.1m以上とし，路面に垂直とする。ただし，標準勾配（拌み勾配）の場合は鉛直とする。
- ④ 歩道部の建築限界高さは側壁側で2.5mを確保するものとし，車道の横断勾配に関係なく鉛直とする。また，上部は水平とする。

車道の建築限界および管理歩道上の歩行空間の取り方は図5-4に示すとおりとする。

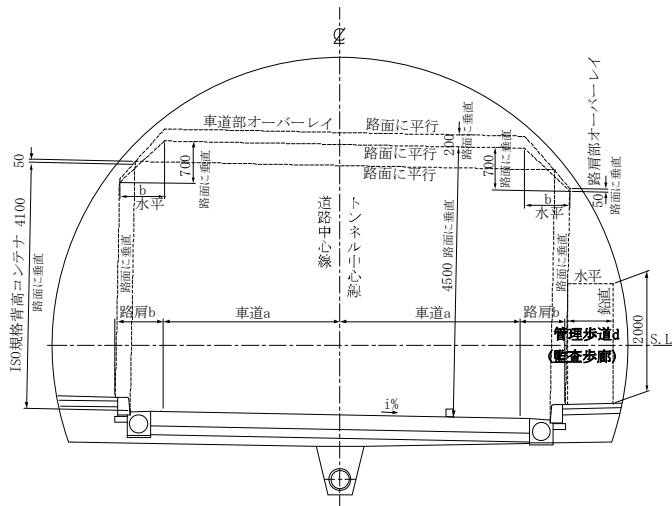
道路構造令の解説と運用
(H27.6) P284



(a) 拌み勾配の場合



(b) 片勾配の場合



(c) 自動車専用道路の場合

図5-4 建築限界等の考え方

注1) 路面勾配が片勾配の場合は路面に垂直とする。

注2) ISO規格背高コンテナを考慮し、縁石前面の路面から壁面までの垂直高さを4.1m以上確保するものとする。

(2) 内空断面設定上の施設

① 舗装及び排水

底盤地山と舗装路盤は、2%程度以上の勾配で中央排水に摺付けけるものとする。片勾配，センタードレーン等により，路盤厚が変化する場合，車道端部における最小厚として $t = 150\text{mm}$ 以上を確保する。

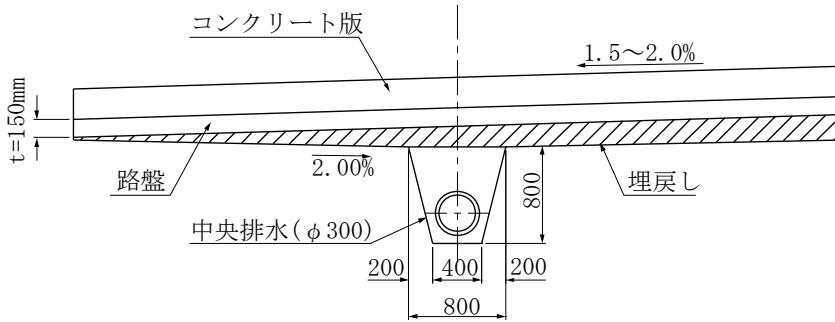


図5-5 舗装および中央排水工の構造

② 換気設備

換気設備として，ジェットファンを想定する場合は，表5-1に示す建築限界によるトンネル断面により検討するものとする。

表5-1 ジェットファンを想定する場合の建築限界

| 型式 | a | b | c | d |
|---------|-----|------|-----|----------------|
| JF 600 | 200 | 800 | 250 | 車線幅員の 1/2程度 |
| JF 1000 | 200 | 1200 | 250 | |
| JF 1250 | 200 | 1450 | 250 | |
| JF 1500 | 200 | 1750 | 250 | |

(注1) c寸法については，離間距離（トンネル壁面とジェットファンとの距離）が標準 $0.5D$ (D : JF口径) より短くなるにつれ，昇圧力が減少するのでJF性能を含めた設計検討の上，寸法を決定するものとする。ただし，メンテナンス性を考慮し，250mmを最小値として確保する。

(注2) d寸法については，車線幅員の1/2程度とする。ただし，メンテナンス時の交通規則を考慮した幅を確保するものとする。

(参考: J F 600・J F 1000は1225mm以上，J F 1250・J F 1500は1525mm以上)

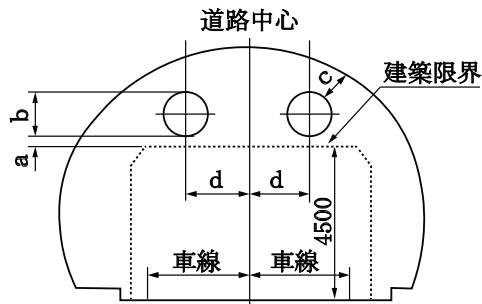


図5-6 ジェットファンの断面取付図

(3) 断面区分

断面区分は表5-2に示す。内空形状と内空縦横比の組み合わせを標準とする。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P94~95

表5-2 断面区分

| 項目 \ 区分 | 通常断面 | 大断面 | 小断面 |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| 内空幅 (m) | 8.5~12.5 程度 | 12.5~14.0 程度 | 3.0~5.0 程度 |
| 内空形状 | 一般的に 上半単心円断面 | 一般的に 上半三心円断面 | 一般的に 上半単心円 側壁部鉛直断面 |
| 内空縦横比 | 概ね0.6 以上 | 概ね0.57 以上 | 概ね0.8 以上 |
| 内空断面積 (m ²) (参考値) | 40~80 程度 | 80~100 程度 | 8~16 程度 |

注1) 内空幅とは、スプリングライン上での内空幅をいう。(図5-7, 8に示すWをいう。)

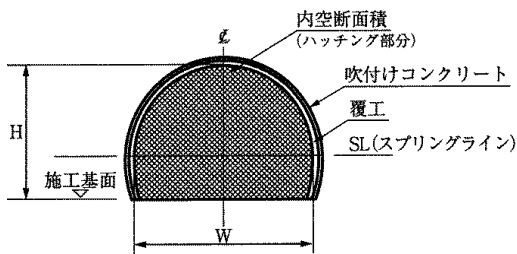


図5-7 インバートなしの場合

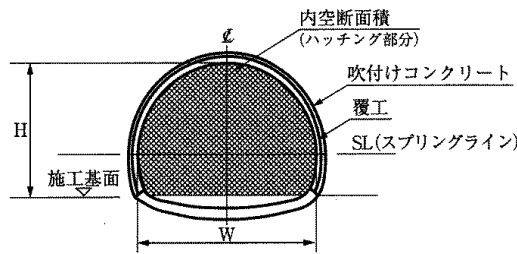


図5-8 インバートありの場合

注2) ここでいう内空断面積とは、図5-9, 10に示すようにインバート(盤下げ)を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空(舗装面の上部)とは異なる。

注3) 内空形状は上半(SLより上)を形成する円弧の数で表示した。

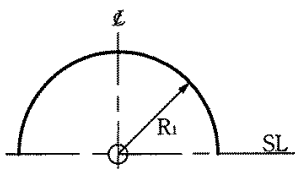


図5-9 上半単芯円

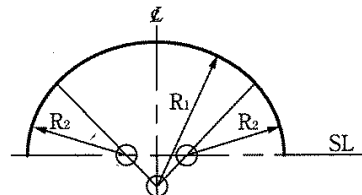


図5-10 上半3芯円

注4) 内空縦横比は図5-7, 8に示す内空高さ(H)と内空幅(W)の比で表示した。

$$\text{内空縦横比} = H/W$$

注5) 内空縦横比が表5-2の値を下回る場合は、別途検討を行うこととする。

注6) 標準断面には、従来内空幅10m程度の断面に適してきた標準的な支保構造の組合せを適用することとする。

注7) 標準断面の適用範囲であっても、地山状況、経済性により上半三心円を採用してもよいが、内空縦横比を概ね0.6以上確保すること。また、大断面との境界領域付近には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

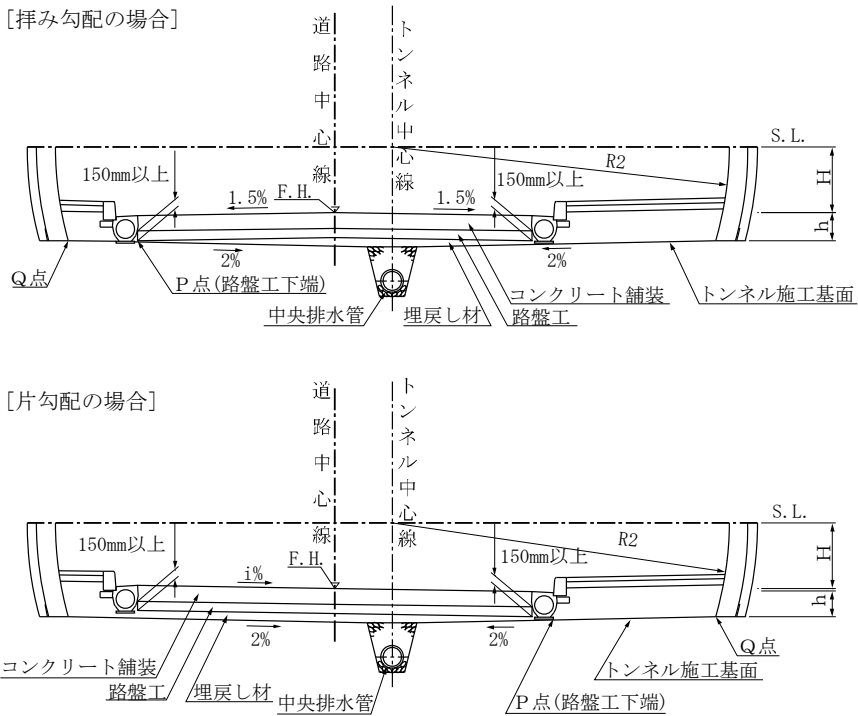
注8) 大断面における非常駐車帯の内空断面の設定にあたっては、側壁部の形状を共有する形で拡大すると、極度に扁平になることも考えられるため、一般部の内空形状を相似拡大する案も含め、地山条件などに応じた検討が必要である。

注9) 大断面の設計については、主務課と協議すること。

注10) 内空断面積は断面形状や内空縦横比などの影響を受けやすいため、この影響を受けない内空幅により断面を区分する。参考値として各断面のおおよその内空断面積を表に示した。なお、ここでいう内空断面積とは、図5-7, 8に示すようにインバート(盤下げ)を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空(舗装面の上部)とは異なる。

(4) その他

- ① 下半断面の形状については、上半半径の1.0倍、1.5倍、2.0倍を検討の対象とするが、内空幅10m程度までは2.0倍とすることを標準とする。内空幅がこれを超えるものについては、経済性やトンネル構造の安定性等を考慮し決定するものとする。
- ② 道路中心とトンネル中心の偏心量については1mm単位（1cm単位で丸めても内空断面が変わらない場合は、1cm単位）で丸めるものとし、トンネル全線を変えないことを標準とする。ただし、トンネル内に複数の横断勾配を有し、シフトさせることにより内空断面を小さくすることが可能な場合には施工性等を考慮した上でシフトすることが出来る。
- ③ 内空断面の各半径（上下半、インバート）は5cm単位で丸めるものとする。ただし、下半半径を上半半径の1.5倍とする場合の下半半径はこの限りではない。
- ④ 側壁部とインバート部との接合部には、応力の集中をさけるために $R=1.0$ mの曲線を設けることとする。ただし、主務課と協議の上、この曲線を $R=1.5$ mとすることもできる。
- ⑤ 下半盤の最下端位置は次に示す覆工コンクリートの足付け位置とする。



片勾配の場合

- (1) トンネルの施工基面は、Q点から2%で中央排水工にすりつける。
- (2) Q点は、P点を通る(1)の勾配(2%)とR2の交点から求める。
- (3) $h-F.H.=Q$ で、hの高さは5cm単位に丸める。
(数値を丸める場合は、最小路盤厚 $t=15$ cm 以上となるようにする。)

図5-11 覆工コンクリートの足付け位置

6 地山分類

6-1 地山分類一般

トンネルの設計・施工にあたっては、地質調査等の結果に技術的に判断を加えて地山分類を行わなければならない。

6-2 地山分類

地山分類は表 6-1 によるものとする。

なお、設計段階における地山分類の区間長は、積算時や施工時の煩雑さを考慮し坑口部を除いて 20m 以上とし 5 m 単位で丸めることを標準とする。

6-3 支保の緩和

地山条件に応じてトンネル周辺地山の挙動は異なり、また支保構造の違いにより作用する荷重や変位量はそれぞれに異なる。支保構造が急変すると力学的な不連続面が生じ、その変化点付近の覆工コンクリートにはクラックが生じる恐れがある。

このため、低速度帯前後等で 2 ランク以上の地山等級差がある場合には緩衝区間を設けることが望ましい。

| | | | | | | |
|-------------|------|------|------|------|-----|---|
| | 緩衝区間 | | 低速度帯 | 緩衝区間 | | |
| 【掘削方向】⇒ ⇒ ⇒ | | | | | | |
| B | C I | C II | D I | C II | C I | B |

図 6 地山等級 2 ランク差の支保緩和の例

表6-1 地山分類表

| 地山等級 | 岩石グループ | 代表岩石名 | 弾性速度Vp (km/s) | | 岩質、水による影響 | 地山の状態 | | 不連続面の状態 | コアの状態、RDQ(%) | 地山強度比 | トンネル掘削の状況 |
|------|--------|------------------------|-------------------------------|-----|---|---|--|--|--------------|-------|--|
| | | | 1.0 | 2.0 | | 3.0 | 4.0 | | | | |
| B | H塊状 | 花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に50cm程度。 層理、片理の影響が認められるがトンネル掘削に対する影響は小さい。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土がほとんどみられない。 不連続面は密着している。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの形状は岩片状～短柱状～棒状を示す。 コアの長さが概ね10cm～20cmであるが5cm前後のものもみられる。 RQDは70以上。 | — | — | 岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて非常に大きい。 不連続面の状態も良好で、トンネル掘削による緩みはほとんど生じない。掘削壁面から部分的に肌落ちする場合もある。切羽は自立する。 掘削幅10m程度のトンネルでは、掘削にも十分な内空変位は15mm程度以下の微小弾性変位にとどまる。 |
| | | 中古生層砂岩、チャート | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に30cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土がごく一部みられる。 不連続面は部分的に開口しているが開口幅は小さい。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが概ね5cm～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RQDは40～70。 | | | |
| | M塊状 | 安山岩、玄武岩、流紋岩、石英 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | — | — | 岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べてあまり大きくはないが、概ね弾性変形をとどめる程度である。 岩石の強度は大きくても不連続面の状態が悪く、掘削によりすべりやずれ、不連続面に沿って岩塊が落下しうとして緩みが大きくなる。 切羽はほぼ自立する。 掘削にも十分な内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さく、弾性変形を生じ、掘削にともなう内空変位は、2D離れたまでにほぼ収束する。 |
| | | 第三紀砂岩、礫岩 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | | | |
| | | 粘板岩、中古生層頁岩 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 岩質は多少軟い部分もあるが、全体的に強い風化変質を受けたもの。 層理、片理が非常に顕著なもの。 不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 小規模な断層も存在する。 粘土を多く含む土砂、礫層など。 水により劣化や緩みが著しい。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 小規模な断層も存在する。 粘土を多く含む土砂、礫層など。 水により劣化や緩みが著しい。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアは細片状となる。時には、角張った砂状の粗片がある。 RQDは10程度以下。 | | | |
| | | 黒色片岩、緑色片岩 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 岩質は多少軟い部分もあるが、全体的に強い風化変質を受けたもの。 層理、片理が非常に顕著なもの。 不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 小規模な断層も存在する。 粘土を多く含む土砂、礫層など。 水により劣化や緩みが著しい。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 小規模な断層も存在する。 粘土を多く含む土砂、礫層など。 水により劣化や緩みが著しい。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアは細片状となる。時には、角張った砂状の粗片がある。 RQDは10程度以下。 | | | |
| D I | M塊状 | 花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | — | — | 岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きく、弾性変形とともに一部塑性変形を生じる。 岩石の強度は十分に足りるほど大きくても、不連続面の状態が非常に悪く、掘削により多くのすべりやずれ、不連続面に沿って地山の緩みが拡大する。切羽の自立が悪く、掘削にともなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい。場合によっては、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで30～60mm程度発生し、切羽が2D離れた後も収束しないことが多い。 |
| | | 安山岩、玄武岩、流紋岩、石英 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | | | |
| D II | M塊状 | 花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | — | — | 岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく、弾性変形とともに大きな塑性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加え、不連続面の状態も非常に悪く、掘削により多くのすべりやずれ、不連続面に沿って地山の緩みが拡大する。切羽の自立が悪く、掘削にともなう内空変位は、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで60～200mm程度発生し、切羽が2D離れた後も収束しない。 |
| | | 中古生層砂岩、チャート | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | | | |
| | L塊状 | 安山岩 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | | | |
| | | 第三紀砂岩、礫岩 | [Bar chart showing Vp values] | | <ul style="list-style-type: none"> 比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。 固結度の比較的良好。軟岩。 水による劣化はない。 | <ul style="list-style-type: none"> 節理の間隔は平均的に20cm程度。 層理、片理が顕著でトンネル掘削に影響を与えるもの。 | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面に亀裂や粘土が部分的にみられる。 不連続面が開口しており、開口幅も比較的大きくなる。 幅の狭い小断層も存在する。 | <ul style="list-style-type: none"> コアの長さが10cm以下のもので多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。 RQDは10～40。 | | | |

注1) 本分類において、はまらないほど地山が良好なものを地山等級A、劣悪なものを地山等級E、劣悪なものを地山等級Dとする。
 注2) H, M, Lの区分は、岩石の初生的な新鮮な状態での強度により、一軸圧縮強度で次のように区分する。
 $H: \sigma_c \geq 80N/mm^2$ $M: 20N/mm^2 \leq \sigma_c < 80N/mm^2$ $L: \sigma_c < 20N/mm^2$
 注3) 塊状、層状の区分は、層理面が支配的な不連続面となるもの。層状、層理面あるいは片理面が支配的な不連続面となるもの。

《表6-1を適用する場合の留意事項》

表6-1の地山分類表は、原則として吹付けコンクリート、ロックボルトを主たる支保とする場合の当初設計段階および施工中における地山分類に用いるものとするが、その適用にあたっては、次に示す事項について十分留意しなければならない。

- (1) 地山等級Eは、特殊な地山条件下（大きな崖錐，大きな断層，破碎帯などの土圧が著しい地山状況）で，内空変位が200mm程度以上（掘削幅10m程度のトンネルでの目安）になるものに適用し，支保の設計にあたっては数値解析の結果や類似の地山条件での施工事例などを参考にする。また，本地山分類表に当てはまらないほど良好な地山については地山等級Aとし，工区に占める比率や地山状態により経済的な見地からトンネル毎に設計する。
- (2) 当初設計段階における地山分類は，地表地質踏査，ボーリング調査，地山試料試験などの調査結果および弾性波探査を総合的に判断して行うものとする。特に，弾性波速度および地山強度比は地山判定の一応の目安を与えるものであり，できるだけ地表地質踏査，ボーリング調査，地山試料試験などの調査結果を活用し，それらを補完する目的で使用するものとする。

表6-2 岩石グループ

| | | 岩盤の初生的性質を反映した新鮮な状態での強度の区分 | | |
|-------------|------|---|---|------------------------------------|
| | | H (硬質岩) 80N/mm ² 以上 | M (中硬質岩) 20～80N/mm ² 以上 | L (軟質岩) 20N/mm ² 以下 |
| 劣化のしかたによる区分 | 塊状岩盤 | はんれい岩，かんらん岩 閃緑岩 花崗閃緑岩 花崗岩 石英斑岩，輝緑岩 花崗斑岩 ホルンフェルス 角閃石岩 | 安山岩 玄武岩，輝緑凝灰岩 石英安山岩 流紋岩 ひん岩 | 蛇紋岩 凝灰岩 凝灰角礫岩 |
| | 層状岩盤 | 中・古生層砂岩 石灰岩・チャート（珪岩） 片麻岩 | 第三紀層砂岩，礫岩 | |
| | | | 粘板岩 中・古生層頁岩 | 千枚岩 黒色片岩，石墨片岩 緑色片岩 第三紀層泥岩 |

注) -----は，主に地山の弾性波速度の違いによる分類を示し，分類されたグループは，表6-1の代表岩種名欄のグループに対応する。

- (3) 施工中の地山分類は，工事着手後の観察・計測等によって直接的に掘削地山を評価することができる。この場合，まず，トンネル掘削による地山の挙動と変位の目安により地山を分類し，内空変位が30mm程度（掘削幅が10m程度のトンネルでの目安）以下でおさまる場合には，切羽観察による岩質，水による影響，不連続面の状態，不連続面の間隔によって分類するものとする。また，内空変位量が30mmを超え塑性変形を呈すると考えられる場合には，岩質，水による影響，不連続面の状態，不連続面の間隔に加え地山強度比も指標とし，さらに坑内計測結果も考慮して分類する。

(4) 上下線を段階的に建設する場合で、既に建設されたトンネルが隣接するトンネルの設計においては、既設トンネルの施工時の観察・計測データを十分に活用する。すなわち、既設トンネルの地山等級や支保パターンだけでなく、掘削時の地山の挙動と変位の実績および、不連続面の状態、不連続面の間隔、地下水の影響などの記録によって地山を分類する。

地山分類表の各指標の評価にあたっては、これら指標の持つ特性を理解し総合的に判断しなければならない。以下に各指標の持つ特性について示す。

① 弾性波速度 (km/s)

トンネルの調査においては、対象物が線状で長く、地中の深いところを通過し、ボーリング調査などのように直接地山を観察する手法がどうしても適用できない部分があるので、間接的手法として弾性波速度を用いて補足する必要がある。弾性波速度は、不連続面を反映した岩盤の力学的性状を、広い範囲にわたって比較的簡単に把握できるので便利であるが、あくまでも間接的手法であり、誤差もあることを認識しておく必要がある。弾性波速度を評価する場合には、次の点に注意する。

ア 頁岩、粘板岩、片岩などで褶曲などによる初期地圧が潜在する場合、あるいは微細な亀裂が多く施工時に緩みやすい場合には、実際の地山等級よりも事前の弾性波速度によるものが良好に評価されることがある。

イ 弾性波速度および地山強度比の値が各地山等級間の境界となる。データについては、地形的特性、地質状態等により工学的に判定する。

ウ トンネル計画高より上部約 1.5D (Dはトンネル掘削幅) の範囲が複数の速度層からなる場合は、弾性波速度分布図におけるトンネル計画高の速度層より上層 (速度の遅い層) の速度を採用する方が望ましい。

エ 土被りの小さい所では地質が比較的悪く、地質区分の変化も著しいことが多いため、測量誤差 (航測図化図, 実測図, 弾性波探査測量図) や物理探査の解析誤差が地質区分の判定に大きな影響を与えるので、特に注意を払う必要がある。

オ 断層・破砕帯については、弾性波速度のみではなく、その方向・土被り・その他の判定基準も参考にして、補正を行う。

カ 施工中に坑内弾性波速度が得られた場合は、地山等級の確認を行い、必要があれば当初設計の変更を行う資料とする。

② 地山の状態

トンネル掘削に関する地山、すなわち岩盤を評価するためには、岩盤が岩塊、岩片という要素が重なり合った不連続物体であり、岩片がある一定以上の強度を持つものであれば、その強度は不連続面の強度に支配されることを良く理解しておく必要がある。一方、地山の状態が非常に悪くなれば、無数の不連続面の存在により逆に連続体的な挙動を示すようになり、トンネル掘削による挙動は不連続面を含む地山の強度が支配的となる。

ア 岩質、水による影響

ここでいう岩質とは、新鮮な地質体が風化によって劣化した、現時点での岩盤を構成する岩片の状態のことである。事前調査においては、地表地質踏査、ボーリングコアから採取した試料の室内強度試験などにより、できるだけ直接的、定量的な強度の把握に努める。施工中には、切羽より採取した岩片の一軸圧縮強度試験、点載荷試験などによって強度を判定し、ハンマーの打撃などによって補足する。

地下水による地山の強度劣化は、トンネル構造と施工の難易に対して評価する必要がある。当初設計段階において、湧水が有ると予想される場合には地下水による強度劣化を想定して地山評価を行い、施工段階では、実際の湧水の量と強度劣化の度合いに応じて地山の評価を修正するものとする。

イ 不連続面の状態

不連続面の状態は、不連続面がトンネルの挙動を支配する場合には、最も重要な地山判定項目となる。すなわち、岩盤のせん断強度は、不連続面の形状と不連続面に狭在する物質の種類によって決まる。したがって、不連続面の粗さ（形状および表面のすべりやすさ）、粘土などの充填物を主とし、長さ（連続性）、幅（開き）、風化の状態を総合的に検討して、トンネル掘削の岩盤の挙動の観点から評価する。事前調査においては、地表地質踏査、ボーリングコア観察等によってできるだけ直接的な観察によって判断する必要がある。施工中は、切羽の詳細な観察により判定することができる。

ウ 不連続面の間隔

不連続面の間隔とは、層理、片理、節理による規則性を持った割れ目の平均的間隔をいい、トンネル掘削によって切羽に明確な凹凸を生じさせ、岩塊として分離するような割れ目を評価する。事前調査においては、地表地質調査、ボーリングコア観察等によってできるだけ直接的な観察により判断する。施工中は、切羽の詳細な観察により判定できる。

③ ボーリングコア（コアの状態、RQD）

ボーリングコアの採取は、事前調査段階では、全ての岩種において直接地山を観察できる数少ない有用な指標になる。これらの観察結果は、主に地表地質踏査と合わせ、岩片の強度や不連続面の状態、不連続面の間隔などの判定に使われる。また、ボーリングコアの状態、RQDは、ボーリングの施工技術や掘削径によって左右されるので、必ずしも一律な判定基準とはならないが、大まかな目安として利用できる。ただし、この基準は、オールコアボーリングで採取されたコアについて適用する。

RQD とは、ボーリングの調査によって得られた岩盤の不連続性を表したもので、1.0m区間に得られた10cm以上のコアの総長を百分率で表示したものである。

$$RQD = (1 \text{ mあたりの } 10\text{cm 以上のコア長さの合計}) / 100\text{cm} \times 100\%$$

- ・測定に当たっては、掘削中や観察・整理中に生じた割れは除く。
- ・軟質な岩石には適さない。

表 6-3 RQD と岩盤良好度

| RQD (%) | 岩盤良好度の表示 |
|---------|----------|
| 0~25 | 非常に悪い |
| 25~50 | 悪い |
| 50~75 | 普通 |
| 75~90 | 良い |
| 90~100 | 非常に良い |

④ 地山強度比

地山強度比は、次のように定義する。

$$\text{地山強度比} = \frac{q_u}{\gamma h} \quad \dots \dots \text{式(6-1)}$$

q_u : 地山の一軸圧縮強度 (kN/m²)

γ : 地山の単位体積重量 (kN/m³)

h : 土被りの高さ (m)

なお、地山の一軸圧縮強度は、亀裂等の存在が無視できる地山においては試料の一軸圧縮強度を適用できるが、亀裂等の影響が大きい地山においては準岩盤強度 q_u (kN/m²) を用いる。

$$q_u' = (V_p/U_p)^2 \times q_u \quad \dots \dots \text{式(6-2)}$$

V_p : 地山の弾性波速度 (縦波, km/s)

U_p : 試料の超音波伝播速度 (縦波, km/s)

q_u : 試料の一軸圧縮強度 (kN/m²)

一般的に $U_p \geq V_p$ であるが、スレーキング性や土被り等の関係で $V_p \geq U_p$ となる場合は、 $U_p = V_p$ として準岩盤強度を求める。

⑤ トンネル掘削の状況と変位の目安

トンネル掘削時の状況と変位の目安は表 6-1 に示したとおりである。変位量の計測は、支保工施工後できるだけ早い時期に初期値を測定し、初期変位速度や変位量の評価に差が生じないようにする必要がある。なお、施工時の切羽観察による地山評価においては、切羽で観察される不連続面の走向・傾斜とトンネル軸の関係、および地下水の湧水量、地下水による強度低下に対して必要に応じて地山の評価を修正できるものとする。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P84

⑥ 注意すべき岩石

下記に示す岩石については、一般的にトンネル施工にともなう問題が発生しやすく注意が必要であり、場合によっては、表6-1に示される地山等級を下げる必要がある。

ア 蛇紋岩や蛇紋岩化を受けた岩石，泥岩・頁岩，凝灰岩，火山碎屑物等は水による劣化を生じ易いので十分注意を要する。

イ 蛇紋岩は変質が極めて不規則であるので，物理探査やボーリング調査の結果だけでは地質の実態を把握できないことが多いので，施工段階に十分注意を要する。

ウ 輝緑岩，角閃岩，かんらん岩・はんれい岩，輝緑凝灰岩は，蛇紋岩化作用を受け易いので，蛇紋岩と同様の注意が必要である。

エ 蛇紋岩や変朽安山岩（プロピライト），黒岩片岩，泥岩，凝灰岩などで膨張性が明確に確かめられたならば，DⅡまたはEに等級を下げる。

オ 比較的岩片の硬い頁岩，粘板岩，片岩類は，薄板状にはく離する性質があり，切羽の自立性，緩み域の拡大，緩み荷重に注意を必要とする場合がある。

7 掘削

7-1 掘削一般

掘削にあたっては、極力地山を緩めないよう、適切な掘削方式、掘削工法等を選定しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P187

7-2 掘削方式

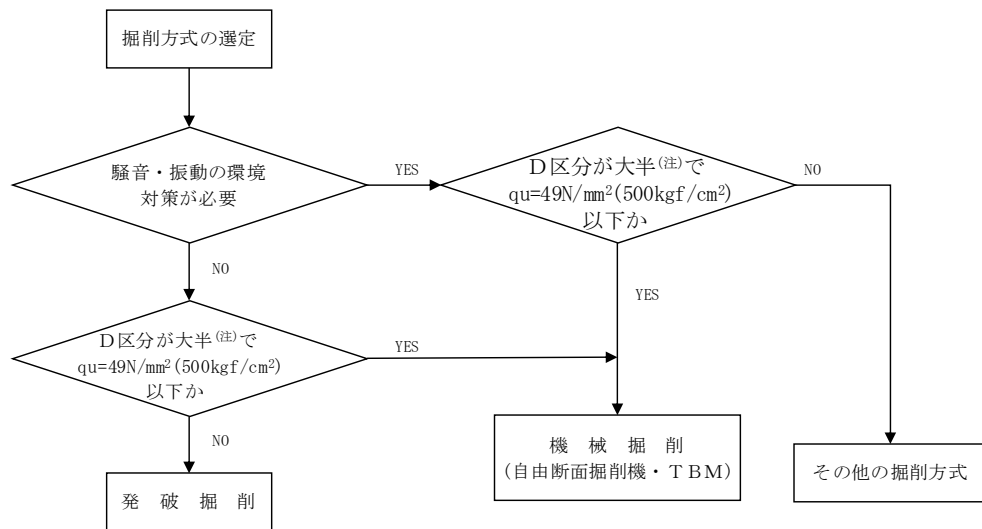
掘削方式の選定にあたっては、地山条件、トンネルの規模、立地条件等を十分考慮しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P187

掘削方式には発破掘削・機械掘削・人力掘削があるが、現状では作業効率や施工性の面から発破掘削と機械掘削が主体となっている。

掘削方式は工事の根幹となるものであり、施工途中での変更が極力生じないよう、十分検討のうえ決定しなければならない。

掘削方法の選定は、下図を標準とするが、摘要に当たっては、ボーリング調査等の事前調査により、トンネルの地山条件（一軸圧縮強度、亀裂係数、地質、湧水量等）や環境条件等を総合的に判断し、これにより難しい場合は別途選定するものとする。



(注)大半の区分は、90%程度を目安とする。

図7 掘削方式選定フロー

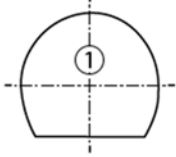
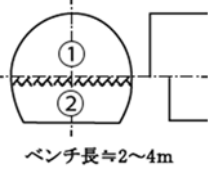
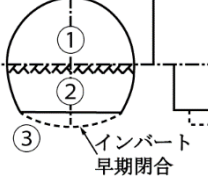

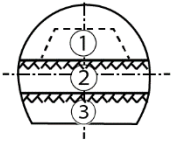
7-3 掘削工法

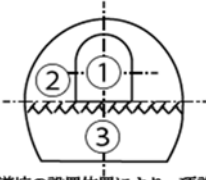
掘削工法の選定にあたっては、断面の大きさ、形状、地山条件、立地条件、工期等を十分考慮しなければならない。

表7に代表的な掘削工法を示す。

表7 標準的な掘削方法の工法の分類と特質

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P70

| 掘削工法 | 加背割 | 主として地山条件からみた適用条件 | 長所 | 短所 |
|--------------|---|---|--|--|
| 全断面工法 |  | <ul style="list-style-type: none"> 水路等の小断面トンネルでは、ほぼすべての地山。 30 m²以上の断面では比較的安定した地山で適用可能だが、60 m²以上ではきわめて安定した地山でなければ適用は困難。 良好な地山が多くても不良地山が狭在する場合には段取り替えが多くなり不適。 | <ul style="list-style-type: none"> 機械化による省力化急速施工に有利。 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利。 | <ul style="list-style-type: none"> トンネル全長が単一工法で施工可能とは限らないので、補助ベンチ等の施工方法の変更体制が必要。 天端付近からの肌落ちがある場合には、落下高さに比例して衝突エネルギーが増大するので注意を要する。 |
| 補助ベンチ付き全断面工法 |  ベンチ長≒2~4m | <ul style="list-style-type: none"> 全断面掘削では施工が困難であるが、比較的安定した地山 全断面掘削が困難になった場合。 良好な地山が多いが部分的に不良地山が狭在する場合。 | <ul style="list-style-type: none"> 上下半の同時併進で大型機械による効率的な急速施工に有利。 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利。 | <ul style="list-style-type: none"> 補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の段取り替えが困難。 |
| |  インバート早期閉合 | <ul style="list-style-type: none"> 大きな土被り、膨張性地山等で変位が大きい地山。 地表面沈下を抑制する必要がある場合。 | <ul style="list-style-type: none"> 大型機械を用い、更なる省力化、急速施工が可能。 急速施工で緩み拡大の抑制に有利。 | <ul style="list-style-type: none"> 鏡や天端部の安定を図る掘削補助工法を併用する必要がある。 早期閉合に補助工法を用いて切羽が自立しなくなった場合、導坑先進や多段ベンチカット工法等への段取り替えが困難。 |
| ベンチカット工法 |  核残し | <ul style="list-style-type: none"> ロングベンチ(ベンチ長>5D)は、全断面では施工困難であるが、比較的安定した地山 ショートベンチ(D<ベンチ長≤5D)は、良好な地山から不良地山まで幅広い変化に対応しやすい。 ミニベンチ(ベンチ長≤D)は、膨張性地山等で内空変位を抑制する場合や早期閉合が必要な場合。 切羽の安定性が悪い場合、核残しなどによって対応する。 | <ul style="list-style-type: none"> 上半と下半を交互に掘削する方式の場合には、機械設備と作業員が少なくてすむ。 ショートベンチ地山の変化に対応しやすい。 ミニベンチは、インバートの早期閉合がしやすい。 | <ul style="list-style-type: none"> 交互掘進方式の場合、工期がかかる。 ショートベンチやミニベンチでは、同時掘削の場合には上半と下半の作業時間サイクルのバランスが取りにくい。 ミニベンチでは、上半盤に掘削機械を乗せる場合、施工機械が限定されやすい。 |
| |  | <ul style="list-style-type: none"> 縦長の大断面トンネルで比較的良好的な地山に適用されることが多い。 不良な地山で加背を小さくして切羽を安定させる場合に適用されることもある。 | <ul style="list-style-type: none"> 切羽の安定性を確保しやすい。 | <ul style="list-style-type: none"> 閉合時期が遅れると不良地山では変形が大きくなる。 各ベンチの長さが限定され作業スペースが狭くなる。 各段のずり処理に工夫を要す。 |

| 掘削工法 | 加背割 | 主として地山条件からみた適用条件 | 長所 | 短所 |
|--|---|---|--|--|
| 導坑先進工法 | 側壁導坑先進工法  側壁コンクリートを打ち込む場合 | <ul style="list-style-type: none"> 地盤支持力の不足する地山であらかじめ十分な支持力を確保したうえ、上半部の掘削を行う必要がある場合。 偏土圧、地すべり等の懸念される土被りの小さい軟岩や未固結地山。 側壁コンクリートを打ち込まない場合もある。 | <ul style="list-style-type: none"> 導坑断面の一部を比較的マッシブな側壁コンクリートとして先行施工するため支持力が期待できるとともに、偏土圧に対する抵抗力も高い。 側壁コンクリートを打ち込まない場合、中壁分割工法の中壁の撤去に比較して、側壁部の仮壁撤去が容易。 | <ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 導坑掘削時に上方の地山を緩ませることが懸念される。 |
| | 中央導坑先進工法  導坑の設置位置により、頂設導坑、底設導坑等がある | <ul style="list-style-type: none"> 地質確認、水抜き、先行変位や拡張時発生応力の軽減等を期待する地山。 TBM によって導坑を先進させる場合もある。 排水工法を必要とするような地山には、底設導坑が用いられる。 | <ul style="list-style-type: none"> 導坑を先進させることで地質確認、水抜き、いなし効果等が期待できる。 発破工法の場合、芯抜きがいらないため、騒音振動対策にもなる。 拡張時の切羽の安定性が向上する。 導坑貫通後の換気効果が期待できる。 | <ul style="list-style-type: none"> TBM を用いる場合、地質が比較的安定していないと掘削に時間がかかる。 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 各切羽のサイクルのバランスがとりにくい。 施工機械の種類が増える。 |
| 中壁分割工法  上半のみ中壁分割する方法と上下半ともに分割する方法がある | <ul style="list-style-type: none"> 地表面沈下を最小限に防止する必要がある土被りの小さい未固結地山。 大断面トンネルで比較的不良な地山。 | <ul style="list-style-type: none"> 断面を分割することによって切羽の安定性を確保しやすい。 地表面沈下を小さくすることが可能。 側壁導坑先進工法より加背が大きく、施工機械をやや大きくすることが可能。 | <ul style="list-style-type: none"> 中壁撤去時の変形等に留意が必要。 中壁の撤去工程が加わる。 坑内からの特殊な補助工法の併用が困難。 | |

7-4 加背割

上半盤の位置は、スプリングライン(S.L)とする。

ただし、上半の加背が軟岩用トンネル掘進機の最大掘削高 (H=6.0m) を超える場合は、上半盤の位置を 5 cm ピッチで上げる事ができる。その場合、掘削断面が最大となる断面で検討する。(余掘は含まない)

7-5 坑内ずり運搬方式

坑内のずりだし方式は、タイヤ方式を標準とする。ただし、湧水が多いため施工基面が泥ねい化し、タイヤ方式では極めて施工困難な場合や導坑先進工法での導坑部分等においては、レール方式とすることもできる。

8 支保工の設計

8-1 支保構造の一般

支保構造の設計にあたっては、トンネルの掘削にともなう地山の挙動を的確にとらえ、施工の各段階に応じて支保構造部材を適切に配置し、地山条件に最も適合したものとしなければならない。

支保構造を構成する部材は下記の通りである。

- (1) 吹付けコンクリート
- (2) ロックボルト工
- (3) 鋼製支保工
- (4) 覆工コンクリート

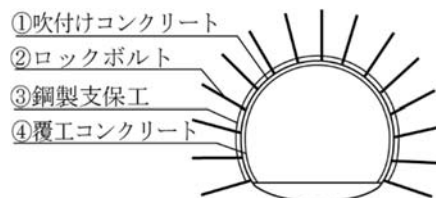


図 8-1 トンネル断面

平成 28 年熊本地震を踏まえ、道路トンネルの設計・施工上、耐震対策に関して、特に留意すべき点は以下のとおりである。

- (1) 地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件とは、以下のいずれかに該当する区間を示す。

- ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
- ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
- ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
- ④ 地質が急変して 2 パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所（ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く）
- ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
- ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所
- ⑦ 極端に土被りが小さい箇所
- ⑧ 地山等級 D II およびそれよりも不良と評価される箇所（断層・破碎帯等を含む）

- (2) 特殊条件を有する区間における支保構造の考え方は、以下のとおりである。

- ① インバートを設置してトンネルをリング構造とし、力学的により安定な構造とする。
- ② 吹付コンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトに代表される支保工を十分な構造とする。
- ③ 地震により覆工に破壊が生じたとしても、大規模な覆工コンクリート塊が崩落することのないよう、覆工に単鉄筋補強するなどの措置を講じる。

8-2 支保パターンの設定

(1) 支保構造の標準パターン

① 支保構造の適用範囲

- (ア) 通常の地山条件(土被り高さ 20m以上 500m未満程度)における、内空幅 8.5~12.5m程度・内空縦横比概ね 0.6 以上の通常断面トンネル。
- (イ) 内空幅 12.5~14.0m程度・内空縦横比概ね 0.57 以上の大断面トンネル。
- (ウ) 内空幅 3.0~5.0m程度・内空縦横比概ね 0.8 以上の小断面トンネル。
- (エ) 土被り高さ 20m未満の小土被りの場合、あるいは 500m以上の場合および内空幅 14mを上回るものについての設計は、類似の既往設計を参考に行うか、解析手法により個別に行うものとする。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P125

② 標準支保パターン

表 8-1 標準的な支保構造の組み合わせの目安 (通常断面トンネル 内空幅 8.5~12.5m程度)

| 地山等級 | 支保パターン | 標準 I 掘進長 (m) | ロックボルト | | | | 鋼アーチ支保工 | | | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚 | | | 余吹き (cm) | 余吹き (cm) | 余掘り (cm) | 変形 余裕量 (cm) | 掘削 工法 |
|-------|--------|-----------------------|-----------|----------------|-----------------|------------|---------------|---------------|-----------------|--------------|--------------------|-------------------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------------|---|
| | | | 長さ (m) | 施工間隔 | | 施工 範囲 | 上半 部種 類 | 下半 部種 類 | 建込 間隔 (m) | | アーチ・ 側壁 (cm) | イン バート (cm) | 補 強 | | | | | |
| | | | | 周 方向 (m) | 延長 方向 (m) | | | | | | | | | | | | | |
| B | B | 2.0 | 3.0 | 1.5 | 2.0 | 上半 120° | - | - | - | 5 | 30 | 0 | | 4 | 23 | 27 | 0 | 補助ベンチ付 全断面 工法 または 上半半 断面工 法 |
| C I | C I | 1.5 | 3.0 | 1.5 | 1.5 | 上半 | - | - | - | 10 | 30 | (40) | | 5 [5] | 17 [8] | 22 [13] | 0 | |
| C II | C II-a | 1.2 | 3.0 | 1.5 | 1.2 | 上・ 下半 | - | - | - | 10 | 30 | (40) | | 7 [5] | 13 [8] | 20 [13] | 0 | |
| | C II-b | | | | | | H-125 | - | 1.2 | | | | | | | | | |
| D I | D I-a | 1.0 | 3.0 | 1.2 | 1.0 | 上・ 下半 | H-125 | H-125 | 1.0 | 15 | 30 | 45 | | 7 [5] | 10 [8] | 17 [13] | 0 | |
| | D I-b | 1.0 | 4.0 | | | | | | 1.0 | | | | | | | | | |
| D II | D II | 1.0 | 4.0 | 1.2 | 1.0 以下 | 上・ 下半 | -150 | H-150 | 1.0 以下 | 20 | 30 | 50 | 単鉄 筋 | 7 [5] | 10 [8] | 17 [13] | 10 | |
| D III | D III | 1.0 | 4.0 | 1.2 | 1.0 以下 | 上・ 下半 | H-200 | H-200 | 1.0 以下 | 25 | 35 | 50 | 単鉄 筋 | 7 [5] | 10 [8] | 17 [13] | 0 | |

注 1) 支保パターンの a, b の区分は、地山等級が C II, D II の場合は b を基本とし、トンネル掘削に伴う変位が小さく、切羽が安定すると予想される場合は a の適用を検討する。

注 2) 「8-1 支保構造の一般(1)①~⑦」に示す特殊条件が、地山等級 B~D I において見られた場合は、「8-1 支保構造の一般(2)」に示す事項の実施について、必要に応じて検討を行うものとする。

注 3) インバートについて

① () 内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は () の厚さを有するインバートを設置する。

② 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さを含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。

③ 地山等級が D I であっても、下半部に堅岩が現れるなどの岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注 4) 金網について

① 地山等級が D I においては、一般に上半部に設置する。なお、D II においては、上・下半部に設置するのが通例である。

② 鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合は、金網を省略できる。

注 5) 覆工について

覆工に単鉄筋補強する場合は、坑口部 (支保パターン D IIIa) の覆工で用いられている配筋が参考となる。

注 6) 覆工コンクリートについて

地山等級 D 区分 (D パターン) における覆工コンクリートに鋼繊維または非鋼繊維を 0.3%/m³ 混入することを標準とする。

注 7) 変形余裕量について

地山等級が D II においては、上半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として 10 cm 程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注 8) 地山等級 A, E については、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注 9) 通常断面の適用範囲であっても、大断面との境界付近で上半三心円などの偏平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

注 10) [] 内は機械掘削の値を示す。

注 11) 余吹き・余巻き・余掘りの値は参考値とし、主務課と協議の上、決定すること。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説に一
部加筆
(H15.11) P126~127

表 8-2 標準的な支保構造の組み合わせの目安（大断面トンネル 内空幅 12.5~14.0m程度）

| 地山等級 | 支保パターン | 標準1掘進長 (m) | ロックボルト | | | 鋼アーチ支保工 | | | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚 | | 変形余裕量 (cm) | 掘削工法 | |
|-------|--------|---------------|-----------|------------|-------------|---------|-------|-------------|--------------|----------------|---------------|---------------|------|------------------------------------|
| | | | 長さ (m) | 施工間隔 | | 上半部種類 | 下半部種類 | 建込間隔 (m) | | アーチ・側壁 (cm) | インバート (cm) | | | |
| | | | | 周方向 (m) | 延長方向 (m) | | | | | | | | | 施工範囲 |
| B | B | 2.0 | 4.0 | 1.5 | 2.0 | 上半 | - | - | - | 10 | 40 | 0 | | |
| C I | C I | 1.5 | 4.0 | 1.2 | 1.5 | 上・下半 | - | - | - | 15 | 40 | (45) | 0 | 補助ベンチ付全断面工法・上半断面工法・中壁分割工法・中央導坑先進工法 |
| C II | C II | 1.2 | 4.0 | 1.2 | 1.2 | 上・下半 | H-150 | - | 1.2 | 15 | 40 | (45) | 0 | |
| D I | D I | 1.0 | 6.0 | 1.0 | 1.0 | 上・下半 | H-150 | H-150 | 1.0 | 20 | 40 | 50 | 0 | |
| D II | D II | 1.0以下 | 6.0 | 1.0 | 1.0以下 | 上・下半 | H-200 | H-200 | 1.0以下 | 25 | 40 | 50 | 10 | |
| D III | D III | 1.0以下 | 6.0 | 1.0 | 1.0以下 | 上・下半 | H-200 | H-200 | 1.0以下 | 25 | 45 | 50 | 0 | |

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説に一部加筆
(H15.11) P129~131

注1) インバートについて

- ① ()内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は ()の厚さを有するインバートを設置する。
- ② 脚部では図8-2に示すように吹付けコンクリートと覆工の厚さの合計がインバート厚さになるようにインバート厚さのすり付けを行う。
- ③ 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さを含めることが出来るが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の履工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ④ 地山等級がD Iであっても、下半部に堅岩が現れるなどの長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

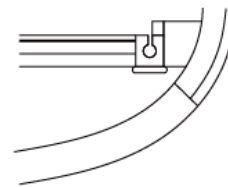


図8-2 大断面トンネル脚部のインバートの形状

注2) 金網について

- ① 一般に地山等級がC IIにおいては天端90°範囲に、D I、D IIでは上・下半部に設置する。
- ② 上記以外の地山等級であっても、必要に応じて天端付近に設置できる。また、鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は金網を省略できる。

注3) 覆工コンクリートについて

地山等級D区分(Dパターン)における覆工コンクリートに鋼繊維または非鋼繊維を0.3%/m³混入することを標準とする。

注4) 変形余裕量について

地山等級がD IIにおいては、上半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付き全断面工法は掘削に時間差が無い場合上・下半部に変形余裕量として、10 cm程度見込んで設計することが通常である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注5) 掘削工法について

- ① 中壁分割工法を採用する場合、本坑には上記の支保の組み合わせを適用することとするが、中壁の支保構造の組み合わせは、現地条件を考慮し決定するものとする。また、中壁分割工法は後進トンネル掘削時に頂部での先進トンネルとの支保工の接合部が弱点になることがあるから、接合部の処理に関して慎重に検討を行う必要がある。さらに、発破方式では発破の衝撃により中壁が掘削と同時に破損し、本来の中壁の果たすべき役割が発揮できないことから、発破との併用は好ましくない。
- ② 中壁分割工法の中壁頂部の先受けの施工が難しいことなどの理由から、中央導坑(頂設導坑)先進工法を採用する場合は、本坑には上記の支保の組み合わせを適用することとするが、中央導坑の支保構造の組み合わせは、現地条件を考慮し決定するものとする。
- ③ 加背の高さを決定するに当たっては、支保の規模、大きさを十分勘案したうえで、安全で効率的な施工が行える高さを決定しなければならない。

注6) 地山等級A、Eについては、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

③ 参考支保パターン

内空幅 3.0~5.0m程度・内空縦横比概ね 0.8 以上の小断面トンネルの標準的な支保構造を表 8-3 に示す。

表 8-3 標準的な支保構造の組合せの目安

(小断面トンネル 内空幅 3.0~5.0m程度)

| 地山等級 | 支保パターン | 標準1掘進長 (m) | ロックボルト | | | | 鋼アーチ支保工 | | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚 ^{注)} (cm) | 掘削工法 |
|------|--------|---------------|-------------|------------|-----------------|-------------|---------|-------------|--------------|---------------------------|-------|
| | | | 長さ (m) | 施工間隔 | | 施工範囲 (m) | 種類 | 建込間隔 (m) | | | |
| | | | | 周方向 (m) | 延長方向 (m) | | | | | | |
| B | B | 2.0 | なし | — | — | — | なし | — | 5 | 20 | 全断面工法 |
| C I | C I | 1.5 | 2.0 | 1.2 | 1.2 ~ 1.5 | 上・下半 | なし | — | 5 | 20 | |
| C II | C II | 1.2 | | | | | | | | | |
| D I | D I | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 1.0 | 上・下半 | H-100 | 1.0 | 10 | 20 | |
| D II | D II | 1.0 | 2.0~ 3.0 | 1.0 以下 | 1.0 | 上・下半 | H-100 | 1.0 | 10~12 | 20 | |

注1) 該当トンネルの利用状況および地山状況などを考慮し、覆工の省略を検討する必要がある。

注2) レール方式の場合は、標準歩掛りによる。

(2) 支保工の変更

施工にあたって、当初の設計が現場の状況に適合しないと認められたときは、遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

表 8-4 設計の変更の考え方

| | 現象 | 主な検討事項 | 修正方法 |
|----------------|--|---|---|
| 設計を軽減する必要がある場合 | <ul style="list-style-type: none"> 変位量が小さい ロックボルトの軸力が小さい 吹付けコンクリートの応力が小さくかつ変状がない 切羽が安定している | <ul style="list-style-type: none"> 不連続面の間隔、状態 湧水の多少 地山強度比が小さい | <ul style="list-style-type: none"> 支保構造の軽減 一掘進長延伸 断面分割の変更 変形余裕量の減 |
| 設計を増強する必要がある場合 | <ul style="list-style-type: none"> 変位量が大きい 吹付けコンクリートに変状がある ロックボルトのプレートに変状がある 吹付けコンクリートに過大な応力が発生している 鋼アーチ支保工に過大な応力が発生している ロックボルトに過大な軸力が発生している 切羽が安定していない | <ul style="list-style-type: none"> 初期変位速度 変位の収束性 地山の応力・歪状態 ゆるみ領域の大きさ 地山強度比が小さい 切羽の自立性 湧水の多少 鋼アーチ支保工脚部の沈下量 | <ul style="list-style-type: none"> 支保構造の増強 切羽付近の補強 (フォアボーリング、切羽吹付けなど) 断面の早期閉合 断面分割の変更 掘削断面の変更 (インバートの曲率半径を小さくするなど) 変形余裕量の増 支保工脚部の補強(ウイングリップ、脚部補強ボルトなど) |

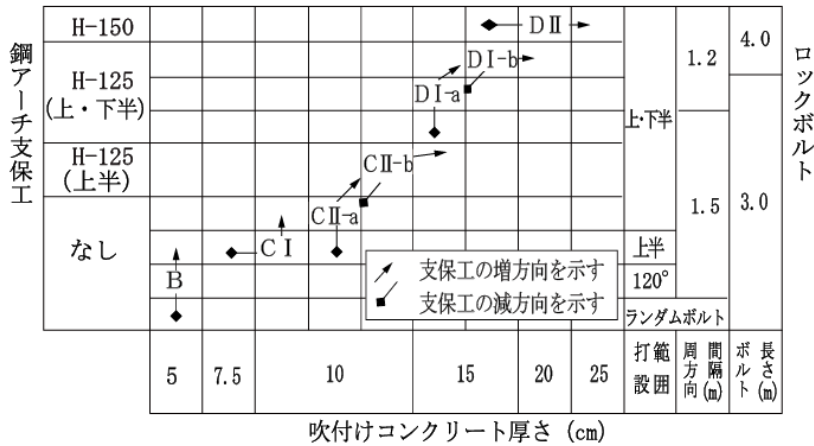


図 8 - 3 部分的な支保工増減の実施例

8 - 3 吹付けコンクリート

(1) 吹付けコンクリート一般

- ① 吹付けコンクリートの設計は、地山条件および使用目的に適合したものとしなければならない。
- ② 吹付けコンクリートの配合は、付着性が良く、必要な強度特性が得られるようにしなければならない。

(2) 吹付けコンクリートの配合

- ① 吹付けコンクリートの配合は、必要な強度が得られ、付着性・施工性の良いコンクリートが得られるように定めなければならない。
- ② 吹付けコンクリートは湿式を標準とし、地山状況その他の条件から他の工法を用いる場合は十分に検討する。又、湿式の配合は下記を標準とする。

表 8 - 5 湿式の配合例

| 強度 | スランプ | W/C | 粗骨材 最大寸法 | 単位 セメント量 | 砂 | 碎石 | 急結剤 | 摘要 |
|---------------------------------|-----------|-------|-------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|----|
| $\sigma_{28} = 18\text{N/mm}^2$ | 10 ± 2 cm | (56%) | (15 mm) | 『普通ボルト ラントセメント』 360kg | 0.80 m ³ (1086kg) | 0.47 m ³ (675kg) | セメント量の (5.5%程度) | 湿式 |

- 注) 1 乾式の場合は別途考慮すること。
2 ()書きは参考であり、現場条件により考慮する。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P108~

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P111

表 8-6 吹付けコンクリートの作用効果

| 分類 | | 概要 |
|--|--|--|
| 性能 | I | 吹付けコンクリートの軸圧縮抵抗性能 コンクリートの軸圧縮耐力や剛性によって、アーチに作用するおもに内空に向いた比較的均一な外力や変形に起因する軸力に抵抗する。 |
| | II | 吹付けコンクリートのせん断抵抗性能 コンクリートのせん断耐力や剛性によって、局所的な抜落ち等に起因するせん断力やせん断変位に抵抗する。地山と吹付けコンクリート間の付着力が必要である。付着力が損なわれると曲げ抵抗モードとなる。 |
| | III | 吹付けコンクリートの曲げ抵抗性能 コンクリートの曲げ耐力や剛性によって、局所的な抜落ち等に起因する曲げモーメント等に抵抗する。 |
| | IV | 吹付けコンクリートと地山の境界面せん断抵抗, 付着抵抗性能 I～IIIによって受け止めた荷重を, 吹付けコンクリートと地山の境界面におけるせん断抵抗(付着抵抗)によって支持するとともに, 地山に分散させる。 |
| | <p>I 軸圧縮抵抗性能 II せん断抵抗性能 III 曲げ抵抗性能 IV コンクリートと地山の境界面せん断抵抗性能, 付着抵抗性能</p> | |
| 効果 | ① | 肌落ち防止, 小岩塊保持効果 掘削直後の切羽面から, 不連続面で分離されて重力により落下しようとする小岩塊を保持することにより, 作業の安全性を確保するとともに, 引き続いて発生する恐れのある大きな緩みや崩壊を防止する効果である。 |
| | ② | 地山への内圧付与効果 坑内方向へ変形が大きい軟岩や未固結地山のトンネルでは, 吹付けコンクリートが反力として半径方向外向きの拘束力を地山に与え, トンネル掘削面近傍地山を三軸状態に保つことで地山の耐荷力を高める効果である。 |
| | ③ | 弱層補強および形状保持の効果 開口亀裂や規模の小さい弱層等地山の弱点となる箇所を, 吹付けコンクリートで充填補強する, あるいは跨いで比較的しっかりとした地山部分同士を連結, 一体化することで, 地山内の不連続面や弱層の影響を低減する効果である。 |
| | ④ | 応力分布の平滑化効果 凹部を充填し吹付け表面を円弧状に滑らかに仕上げることで, 吹付けコンクリートや地山内の円周方向応力分布が平滑化される。また, 局所的に配置されたロックボルトや鋼製支保工等の支持効果を面的に拡大して伝達する, あるいはトンネルに作用する偏荷重, 局所荷重を面的に分散して支持する効果である。 |
| | ⑤ | 被覆効果, 地山の劣化防止効果 掘削地山表面を被覆し, 空気との接触による乾燥や酸化による地山の劣化, あるいは湧水との接触による地山の軟化や土粒子の流出等を防止する効果である。 |
| <p>②内圧付与効果 ③弱層補強効果 ④円周方向応力の半径方向応力分布の平滑化効果(外力, 支保力分散) ④半径方向応力の円周方向応力分布の平滑化効果(凹部の充填)</p> | | |

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P82

(3) 金網工

① 金網工一般

ア 良質な地山以外では、基本的に吹付けコンクリートに金網を使用する。

イ 地山条件が悪い場合には、原則として吹付コンクリートの補強に金網を使用する。

② 金網の材料

金網は構造用溶接金網 150×150×φ5 とし、材料は JIS G 3551 の規格品とする。

③ 金網の施工

金網は地山または一次吹付けコンクリートにアンカーボルトで固定する。金網のラップ長は 15cm 程度とする。

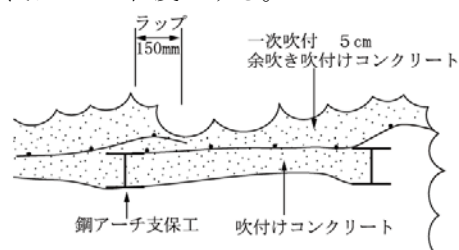


図 8 - 4 金網の施工要領

(4) 繊維補強

① 繊維補強一般

変形が大きくじん性が必要な箇所や、支保工の応力分布が複雑でじん性や曲げ耐力が必要な箇所において、繊維補強吹付けコンクリートが使用されている。

② 繊維補強の施工効果

ア ピーク強度後の残留強度が高くなる。

イ せん断強度、耐衝撃性あるいは凍結融解抵抗性等が向上する。

③ 繊維補強の材料

使用する繊維には、鋼繊維と非鋼繊維がある。

表 8 - 7 繊維補強に使用する繊維 (参考)

| 長さ | アスペクト比 (長さ/径) | 繊維混入率 (容積比) |
|------------|---------------|-------------|
| 25~35mm 程度 | 40~60 程度 | 0.5~1.0% |

④ 繊維補強の施工

施工性を確保するため、セメントの増量や高性能減水剤を使用するのが一般的。

⑤ その他

非鋼繊維としては、ポリプロピレン繊維、ビニロン繊維等が使用され、施工性、強度特性が鋼繊維を使用する場合と異なるため、事前に確認する必要がある。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P87~88

8-4 ロックボルト

(1) ロックボルト一般

① ロックボルトの型式、配置および長さは、地山条件と使用目的に合わせて設計しなければならない。

ロックボルトの配置については、下記項目について検討し決定する。

ア 吹付け周長に対し周方向間隔に配置する。

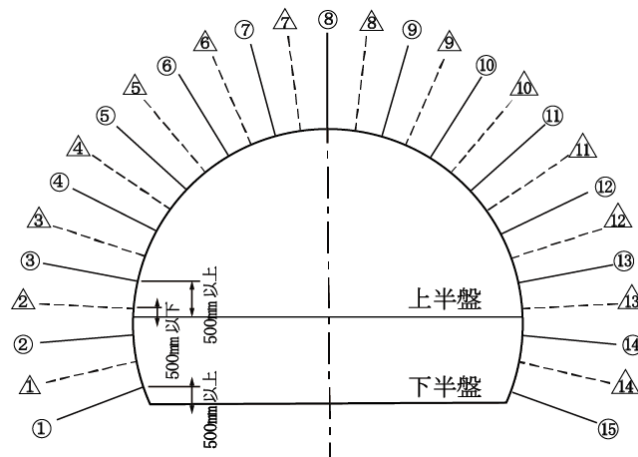
イ 配置は左右対称とする。

ウ 周方向間隔は断面の途中で変えない。

エ 上下半最下部のロックボルトは、打設機械のガイドセル高さを考慮し、上半盤あるいは下半盤から 500 mm 程度離すことが望ましい。配置する上でやむを得ない場合には、下半盤からの離隔を優先する。

オ 同一トンネルであっても、上半頂部に配置するか、あるいは上半頂部を外すかは、支保パターン毎に使い分け、支保の作用効果、経済性の双方に優れた最適な配置を選定すること。ただし、現地の状況により上記によることが不都合と思われる場合は別途考慮のこと。

図 8-5 に配置例を示す。



○ : 上半頂部に配置する計画

△ : 上半頂部を外して配置する計画

図 8-5 ロックボルトの配置の考え方

② ロックボルトには、適切な肌落ちの防止対策を検討しなければならない。

(2) ロックボルトの材質及び強度

ロックボルトは、棒鋼または異形棒鋼から製作するものとし、材質・強度は、それぞれの棒鋼のJISに適合するものでなければならない。

また、断面形状は必要な強度をもつものでなければならない。ロックボルト使用する材質と地山分類は下表による。

表 8-8 ロックボルトの材質 (耐力)

| ネジ部耐力 | 地山分類 |
|---------------|------------------------|
| 耐力 117.7kN 以上 | B, C I |
| 耐力 176.5kN 以上 | C II, D I, D II, D III |

注 1) 耐力はネジ部の降状点耐力とし、耐力の算定は次式による。

耐力 = ロックボルト降状点強度 (σ_y) × ネジ部等の有効断面積 (A_s)

$$A_s = \pi / 4 (d - 0.9382p)^2 \quad \dots \dots \text{式(8-1)}$$

d : ねじの外径 (ねじの呼径)

p : ネジのピッチ

※ 小断面 (掘削断面積 35m² 以下) のロックボルトの耐力は歩掛りに準じて 117.7kN とする。

表 8-9 ロックボルトの作用効果の概念

| 分類 | | 概要 |
|--|-----------|---|
| 性能 | I | ロックボルトの引張抵抗性能 ロックボルト軸方向の引張抵抗によってその方向の地山との相対変位を抑制する。 |
| | II | ロックボルトのせん断抵抗 ロックボルト軸直角方向のせん断抵抗によってその方向の地山との相対変位を抑制する。 |
| 効果 | ① 地山の補強効果 | a: 吊下げ効果 b: 縫付け効果 c: 地山物性の改良効果 亀裂の発達した中硬岩、硬岩地山の場合には、亀裂によって区切られた不安定な岩塊を深部の地山と一体化し、そのはく落や抜落ちを防止する。 中硬岩、硬岩地山の場合に、亀裂に交差してロックボルトを打設すると、亀裂面のせん断強度が向上し、物性改良効果を期待できる。また、強度の小さい軟岩地山や未団結地山の場合においても、ロックボルトの打設によって地山のせん断抵抗が向上して降伏後の残留強度も向上し、物性改良効果を期待できる。 |
| | ② 内圧効果 | 軟岩地山や未団結地山の場合、ロックボルトに発生する軸力が吹付けコンクリートを介して坑壁に作用することで内圧効果が発揮され、トンネルの周辺地山の塑性化とその拡大の抑制を期待できる。 |
| | ③ 吹付け支持効果 | ロックボルト打設間隔よりも小さく、地山から分離した岩片は吹付けコンクリートで支持される。吹付けコンクリートは地山との付着によって荷重を支持するが、吹付けコンクリートと地山の付着が損なわれた場合には、ロックボルトが吹付けコンクリートを地山に縫い付けることによって、このような荷重を支持することを期待できる。 |
| 性能と効果の概要 | | |
| <p>(a) 中硬岩、硬岩地山(不連続体地山)</p> <p>(b) 軟岩、未団結地山(連続体地山)</p> | | |

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P80

表 8-10 ロックボルトの機械的性質

| ロックボルトの種類 | 種類の記号 | ボルトの呼び径 | ねじ部の機械的性質 | | 素材部の機械的性質 | |
|-----------|----------------------|---------|-----------|----------|-----------|----------|
| | | | 降伏荷重(kN) | 破断荷重(kN) | 降伏荷重(kN) | 破断荷重(kN) |
| ねじり棒鋼 | STD510 ^{※1} | TD21 | 153.9 | 207.8 | 188.2 | 252.8 |
| | | TD24 | 179.3 | 242.1 | 226.4 | 305.8 |
| 異形棒鋼 | SD345 ^{※1} | D25 | 120.5 | 172.5 | 173.5 | 247.9 |
| 全ねじ棒鋼 | SD295 ^{※2} | D22 | 113.7 | 185.2 | — | — |
| 鋼管膨張型 | SS1232 ^{※3} | 37T2 | — | — | 120 | 140 |
| | | 37T3 | — | — | 180 | 200 |

(注) ※1 JIS M 2506-1992 による。
 ※2 JIS M 2506-1992 でねじふし棒鋼として異形棒鋼に含む。
 ※3 スウェーデン工業規格による。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P115

(3) ロックボルトの配置及び長さ

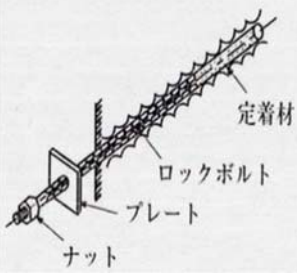
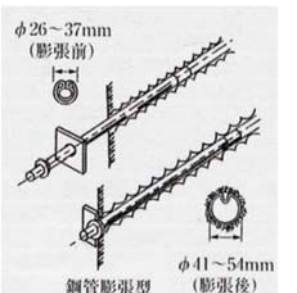
ロックボルトの配置及び長さは、その目的、トンネルの断面形状、並びに地山条件等を考慮して定めなければならない。なお、配置検討にあたっては、施工時のガイドセル設置余裕高として上半 50 cm 以上、下半 35 cm 以上を考慮するものとする。

(4) ロックボルトの定着

ロックボルトには、定着材式と摩擦式とがあるが、一般的には定着材式が用いられる。定着材はロックボルト全体をモルタルあるいはセメントミルクなどの定着材で地山に固定するもので、広い範囲の地山に固定するもので、広い範囲の地山に使用することができる。ロックボルトの施工のためには、削孔ができることが条件であるが、孔くずれして普通のロックボルトが施工できない地山に対してはボルト自身で削孔する自穿孔式（後注入方式）と呼ばれる特殊な方式のものもある。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P114

表 8-11 ロックボルトの定着方式

| 定着方式 | 定着方法 | 適用範囲 | ボルト概略図 |
|------|--|---|--|
| 定着材式 | <p>① 定着材を孔に充填し、ボルトを挿入して定着させる方法。定着材にはセメントモルタルが用いられる（先充填方式）。</p> <p>② ボルトを挿入したのち定着材を注入して定着させる方法。定着材には、セメントミルクや樹脂が用いられる（後注入方式）。</p> | <p>硬岩、中硬岩、軟岩、土砂地山から膨張性地山に至る種々の地山に適用可能である。</p> |  |
| 摩擦式 | <p>ロックボルトを孔壁面に密着させることにより得られる摩擦力によって定着する方法で、穿孔した孔より大きめのボルトを強制的に挿入するスリットばね型と穿孔した孔の中で高圧水を注入して鋼管を膨張させる鋼管膨張型の2種類の定着方法がある。</p> | <p>スリットばね型の場合は、湧水の多い硬岩地山に適用可能である。一方、鋼管膨張型の場合は孔壁の形状にあわせて変形するため、独自の柔軟性を持っているため、適用範囲が広い。</p> |  |

(5) ロックボルトの頭部処理

ロックボルトの頭部については、防水シートの損傷を防止するため、ヘッドキャップを設置するなど適切な処理を行うこと。

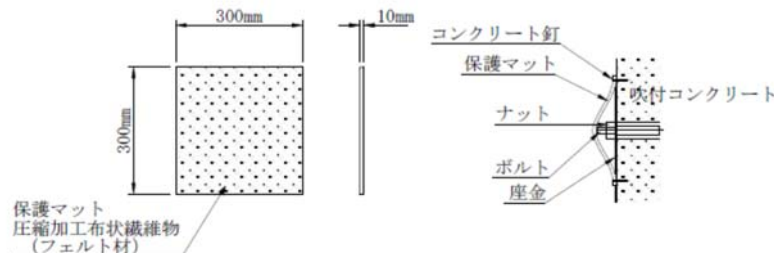


図 8-6 ロックボルトの頭部処理（保護マット設置例）

(6) 吹付コンクリートとロックボルトの位置

吹付コンクリートとロックボルトの位置関係は図8-7のとおりとする。

| 支保パターン | 設計概念図 |
|--------------------|---|
| B | <p>ロックボルト</p> <p>吹付けコンクリート</p> <p>覆工 300</p> |
| C I C II - a | <p>ロックボルト</p> <p>吹付けコンクリート</p> <p>覆工 300</p> <p>100</p> |
| C II - b | <p>ロックボルト</p> <p>鋼アーチ支保工 (H-125)</p> <p>吹付けコンクリート</p> <p>覆工 300</p> <p>100</p> |
| D I - a D I - b | <p>ロックボルト</p> <p>吹付けコンクリート (一層目)</p> <p>金網</p> <p>鋼アーチ支保工 (H-125)</p> <p>吹付けコンクリート (二層目)</p> <p>覆工 300</p> <p>50</p> <p>100</p> |
| D II | <p>ロックボルト</p> <p>吹付けコンクリート (一層目)</p> <p>金網</p> <p>鋼アーチ支保工 (H-150)</p> <p>吹付けコンクリート (二層目)</p> <p>覆工 300</p> <p>50</p> <p>150</p> |

図8-7 吹付けコンクリートと他の支保構造物との関係

8-5 鋼製支保工

(1) 鋼製支保工一般

- ① 鋼アーチ支保工は、その使用目的を明確にし、使用目的に適合した設計としなければならない。

鋼アーチ支保工の性能および効果の概念は表8-12のとおりとする。

表8-12 鋼製支保工の性能および効果の概念

| 分類 | | 概要 | |
|----|------------------|---|--|
| 性能 | | <p>鋼製支保工は、吹付けコンクリートと同様に、軸圧縮抵抗性能、せん断抵抗性能、曲げ抵抗性能により外力に抵抗することができる。これらは、鋼製支保工建込み直後は単体で抵抗し、吹付けコンクリートの強度発現後は吹付けコンクリート等と一体となって抵抗する。</p> | |
| | ① 岩塊保持効果 | <p>鋼製支保工を地山と密着させることにより、部材の曲げ抵抗性能やせん断抵抗性能により局部的な岩塊の崩落を防止する効果である。</p> | |
| 効果 | ② 弱層補強効果 | <p>開口亀裂や規模の小さい弱層等の地山の弱点となる箇所を鋼製支保工が支持することにより、地山内の不連続面や弱層の影響を低減する効果である。</p> | |
| | ③ 地山への内圧付与効果 | <p>グラウンドアーチが形成されにくい軟岩や未団結地山等では、鋼製支保工等が反力として半径方向外向きの拘束力(内圧)を地山に与え、掘削面近傍地山を三軸応力状態に保つことで地山の耐荷力を高める効果である。</p> | |
| | ④ 吹付けコンクリートの補強効果 | <p>吹付けコンクリートは初期材齢において弾性係数が小さいために変形しやすく、強度も小さいため、鋼製支保工を用いて一体化することにより、支保工の剛性、じん性を向上させる効果である。また、吹付けコンクリート強度の発現後においては、吹付けコンクリートと一体となって地山に密着し、トンネル軸方向に連続したアーチシェル構造を形成してトンネルや周辺地山の安定を図る効果である。</p> | |
| | ⑤ 地山(脚部)への荷重伝達効果 | <p>支保工に作用する荷重を、鋼製支保工が底板やウイングリップを介して地山(脚部)に伝達される効果である。</p> | |
| | ⑥ 先受け工の支点効果 | <p>未団結地山や破砕帯等の切羽が不安定な地山で先受け工を行う場合、先受け鋼管等の反力支点として切羽前方地山と対になって荷重を支え、地山の緩みや崩壊を抑制する効果である。</p> | |

- ② 鋼製支保工の設計にあたっては、その支持地盤の支持力等について検討しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P118

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P97

(2) 鋼製支保工の形状

鋼製支保工は、掘削断面を考慮し、掘削面と十分密着するよう形状や寸法を決定しなければならない。

また、作用荷重その他の諸条件に対して有利で、かつ施工上の便宜を備えたものでなければならない。

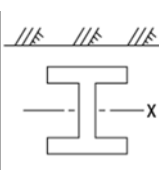
(3) 鋼製支保工の断面，材質

① 鋼製支保工は、作用荷重のほか、吹付けコンクリートの厚さ、施工法等を考慮して適切な断面形状・寸法を有するものとしなければならない。

② 鋼製支保工の鋼材には、延性が大きく、かつ曲げや溶接等の加工が正確・良好に行える材質のものを用いなければならない。支保工の材質はSS-400とし、寸法諸元は下表のとおりとする。

表 8-13 鋼製支保工に使用される鋼材の諸元例

(最小曲率半径は、冷間加工による標準を示す)

| 種別 | 材質 | 呼称 寸法 (mm) | 断面積 A (cm ²) | 単位質量 W (kg/m) | 断面二次 モーメント I _x (cm ⁴) | 断面係数 Z _x (cm ³) | 最小 曲率半径 R (cm) | 使用方向 |
|-----|-------|------------------|--------------------------------|---------------------|---|--|-------------------------|--|
| H形鋼 | SS400 | H-100×100×6×8 | 21.59 | 16.9 | 378 | 75.6 | 120 |  |
| | | H-125×125×6.5×9 | 30.00 | 23.6 | 839 | 134 | 150 | |
| | | H-150×150×7×10 | 39.65 | 31.1 | 1620 | 216 | 200 | |
| | | H-175×175×7.5×11 | 51.42 | 40.4 | 2900 | 331 | 340 | |
| | | H-200×200×8×12 | 63.53 | 49.9 | 4720 | 472 | 420 | |
| | | H-250×250×9×14 | 91.43 | 71.8 | 10700 | 860 | 550 | |

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P100

(4) 鋼製支保工の断面，材質

① 鋼製支保工の継手

鋼製支保工の部材相互の継手は，断面力（特に軸力）を円滑に伝えるように設計しなければならない。

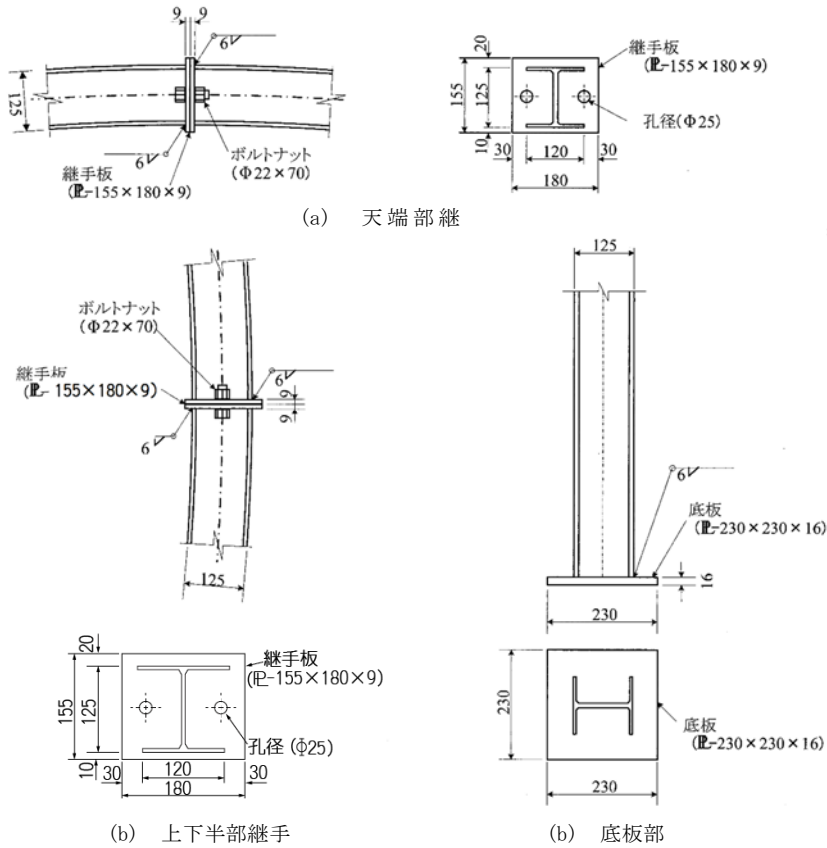


図 8 - 8 鋼製支保工の継手および底板の例

② つなぎ

鋼製支保工は，建込んだ後，吹付けコンクリートで固定されるまでの間，有効なつなぎ材によって転倒を防止しなければならない。

DⅢのつなぎは，さや管方式の設計を標準とするが，地形・地質条件等によりたおれこみが懸念される場合には，タイロッド方式を採用してもよい。

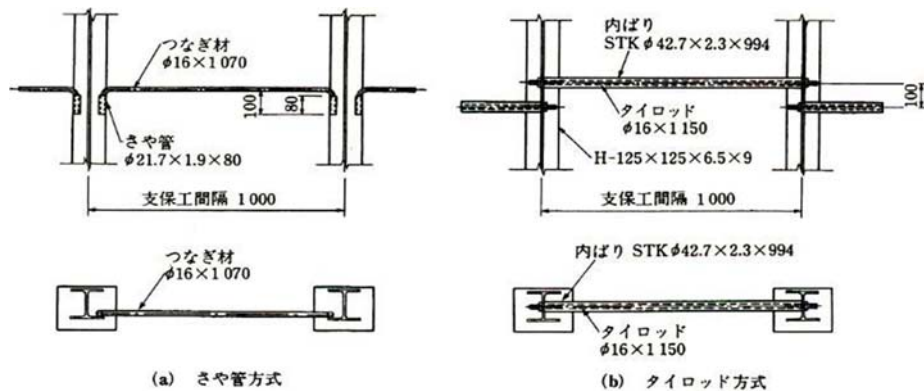


図 8 - 9 鋼製支保工のつなぎ材の例

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P101

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P102~103

表 8-14 鋼製支保工の使用材料

| 掘削 区分 名称 | 通常断面（一般部） | | | 通常断面（坑口部） | | 大断面 | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | C II b @ 1.2m | D I @ 1.0m | D II @ 1.0m | 上部半 断面工法 D III @ 1.0m | 側壁導坑 先進工法 D III @ 1.0m | C II | D I | D III |
| H形鋼 (上半) | H-125 ×125 ×6.5×9 n=2 | H-125 ×125 ×6.5×9 n=2 | H-150 ×150 ×7×10 n=2 | H-200 ×200 ×8×12 n=2 | H-200 ×200 ×8×12 n=2 | H-150×150 ×7×10 n=2 | H-150×150 ×7×10 n=2 | H-200×200 ×8×12 n=2 |
| 継手板 (天端) | PL-155 ×180 ×9 n=2 | PL-155 ×180 ×9 n=2 | PL-180 ×180 ×9 n=2 | PL-230 ×230 ×16 n=2 | PL-230 ×230 ×16 n=2 | PL-180 ×180 ×9 n=2 | PL-180×180 ×9 n=2 | PL-230×230 ×16 n=2 |
| 継手板 | — | PL-155 ×180 ×9 n=4 | PL-180 ×180 ×9 n=4 | PL-230 ×230 ×16 n=4 | — | — | PL-180×180 ×9 n=4 | PL-230×230 ×16 n=4 |
| H形鋼 (下半) | — | H-125 ×125 ×6.5×9 n=2 | H-150 ×150 ×7×10 n=2 | H-200 ×200 ×8×12 n=2 | — | — | H-150×150 ×7×10 n=2 | H-200×200 ×8×12 n=2 |
| 底板 | PL-230 ×180 ×16 n=2 | PL-230 ×230 ×16 n=2 | PL-250 ×250 ×16 n=2 | PL-300 ×300 ×19 n=2 | PL-300 ×300 ×19 n=2 | PL-180 ×180 ×16 n=2 | PL-250×250 ×16 n=2 | PL-300×300 ×19 n=2 |

土木工事標準歩掛
(道路編)に一部加筆
(H28) IV-5-①-29

8-6 余掘、余巻及び余吹

(1) 余掘、余巻及び余吹と掘削の考え方

トンネル工事では、設計断面どおり掘削することは困難であり、設計巻厚を確保するには、設計断面積より大きく掘削しなければならない。これを余掘といい、覆工及び吹付けコンクリートで充填する。これをそれぞれ余巻及び余吹という。

この余掘を考慮した断面積の外周を支払線（ペイライン）といい、当初から掘削と覆工及び吹付けコンクリートの設計数量に見込むものとする。

また、変形余裕を設計図書に明示した場合は、掘削断面に変形余裕厚さ相当面積を加算する。なお、余掘、余巻及び余吹は次表を標準とする。

表 8-15 余掘、余巻及び余吹厚

| 掘削区分 | 余掘厚(cm) | 余巻厚(cm) | 余吹厚(N ₁)(cm) |
|-------|---------|---------|--------------------------|
| B | 27 | 23 | 4 |
| C I | 22(13) | 17(8) | 5(5) |
| C II | 20(13) | 13(8) | 7(5) |
| D I | 17(13) | 10(8) | 7(5) |
| D II | 17(13) | 10(8) | 7(5) |
| D III | 17(13) | 10(8) | 7(5) |

土木工事標準歩掛
(道路編)に一部加筆
(H28) IV-5-①-12

- 注) 1 設計巻厚及び設計掘削断面に対する割増し厚さ。
 2 非常駐車帯、避難連絡坑等についても上表を適用する。
 3 変形余裕量を見込む場合は、余掘・余巻は上表より5cm減じ、掘削断面に変形余裕量を加えるものとする。
 4 インパートの余掘り及び余巻きは5cmを標準とする。
 5 ()書は、機械掘削を示す。

(2) 変形余裕

膨張性地山のトンネルの設計，施工にあたっては事前調査ならびに施工中の調査計測を十分に行って膨張性を示す地山区間の推定，膨張性地山の性状などを把握し対策を講じると共に適切な変形余裕を設定しておく必要がある。

土木工事標準歩掛
(道路編)
(H28) IV-5-①-13

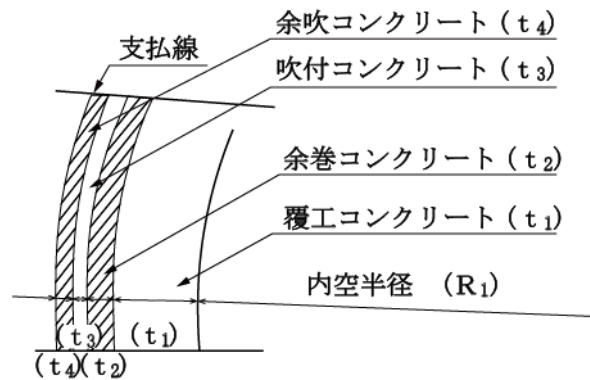


図 8-10 変形余裕を見込まない場合

設計掘削半径 = 内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)
 支払掘削半径 = [内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)]
 + 余掘 = 設計掘削半径 + 余掘
 ※余掘 = 余巻コンクリート (t_2) + 余吹コンクリート (t_4)

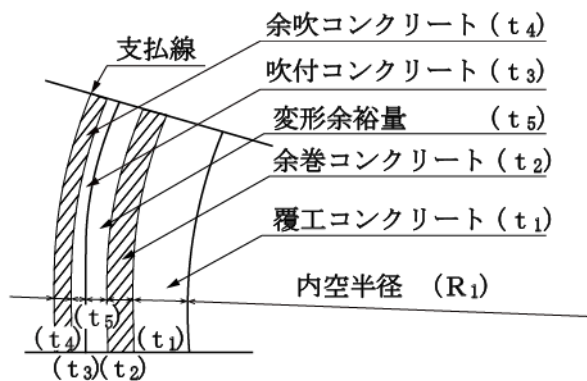


図 8-11 変形余裕を見込む場合

設計掘削半径 = 内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)
 + 変形余裕量 (t_5)
 支払掘削半径 = [内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)
 + 変形余裕量 (t_5)] + 余掘 = 設計掘削半径 + 余掘
 ※余掘 = 余巻コンクリート (t_2) + 余吹コンクリート (t_4)

8-7 覆工

(1) 覆工の一般

- ① 覆工はその目的、作用荷重に対して合理的な構造でなければならない。
- ② 覆工コンクリートの配合は、耐久性、施工性および強度を考慮して定めなければならない。
- ③ ひび割れの発生が予測される場合には、原則としてひび割れ防止対策を設計するものとする。

(2) 覆工の厚さ

- ① 覆工の厚さは設計巻厚線を示すものとする。
- ② コンクリート覆工の設計巻厚は、30cmを標準とする。
ただし、DⅢ、坑口付部の設計巻厚は、35cmを標準とする。
- ③ 地質が不良な場合、大きな偏圧が作用する場合等はインバートを設けなければならない。インバートの形状及び厚さは、地山条件、施工法等を考慮して定めなければならない。

(3) 覆工コンクリートの配合

覆工に用いるコンクリート配合は、所要の強度、十分な耐久性及び良好な施工性が得られるように定めなければならない。また、地山等級D区分(パターンD)における覆工コンクリートに鋼繊維または非鋼繊維を0.3%/m³混入することを標準とする。

表8-16 覆工コンクリートの配合基準

| 設計基準強度 | 生コン呼び強度 | 粗骨材の最大寸法 | スランプ | セメント量 | 水セメント比 | セメントの種類 | 繊維混入率(%/m ³) | 適用工種 |
|--------|---------|----------|----------|-------------------------|--------|---------|--------------------------|------------|
| 18N/㎢ | 18N/㎢ | 40mm以下 | 15cm±2.5 | 270kg/m ³ 以上 | 60%以下 | 高炉(B)以上 | - | 覆工(CⅠ, CⅡ) |
| 18N/㎢ | 18N/㎢ | 40mm以下 | 15cm±2.5 | 310kg/m ³ 以上 | 60%以下 | 高炉(B)以上 | 0.3 | 覆工(DⅠ, DⅢ) |

※ 鋼繊維を使用する場合は、セメントを310kg/m³以上(※非鋼繊維を使用する場合は、セメントを340kg/m³以上)

(4) 覆工の施工時期

覆工の施工時期は、原則として地山変位の収束を待って施工するが、変位が長期にわたる場合には、計測結果等を考慮して判断する。

(5) 型枠

型枠はスライドセントルフォーム(L=10.5m)を使用することを標準とする。

ただし、トンネル延長が100m未満と短い場合や、平面線形における曲率半径がR=300m未満と小さい場合などでは施工性や経済性が問題となるので、主務課と協議の上セントル長を短くすることができる。

(6) 打継ぎ部の処理

型わく据付けにおいて、既設側のコンクリートが若材齢の段階で新設側の覆工を打設すると、重ね合せ部分に過度の荷重をかけることとなり、ひび割

れなどが発生することがある。このようなひび割れによる角落ちなどの危険性を防止するため、打継ぎ部にゴムや発泡スチロールなどの打継ぎ目溝型わくを設置し切欠き部を設けることにより、重ね合せ部の型わくがこの打継ぎ目溝型わくのみ接するよう工夫している例が多い。

打継ぎの例を図8-12に示す。

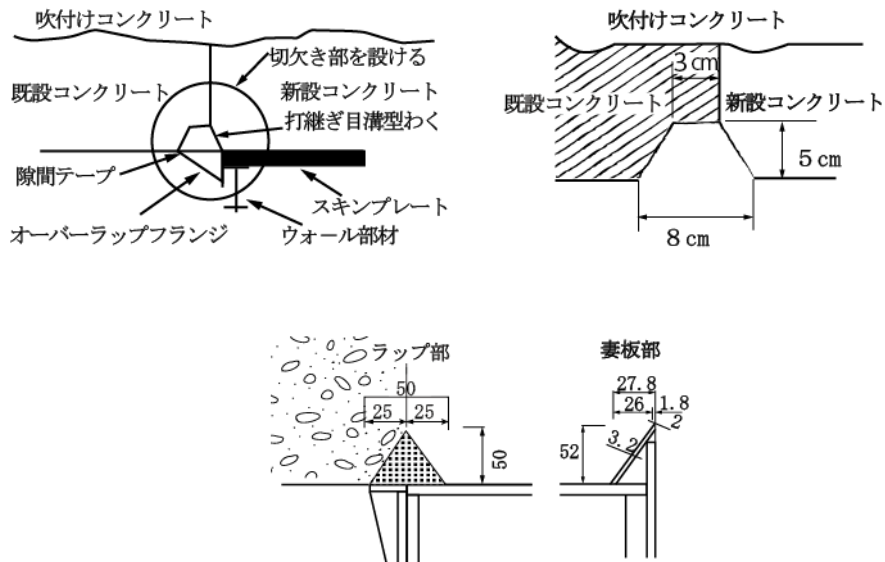


図8-12 打継ぎ部のオーバーラップフランジと切欠き部の例

8-8 インバート

(1) インバートに求められる性能（供用性）

- ① 覆工とともに必要な内空断面を保持する（内空断面保持）
- ② 地下水等の漏水の少ない、水密性の良い構造物にする（水密性保持）
- ③ トンネル内の排水設備等の施設を保持する（施設保持）
- ④ 道路や鉄道トンネルにおいて、路面の平坦性を確保し車両の安全な走行を確保する（平坦性保持）
- ⑤ 水路トンネルにおいて、覆工とともに円滑な流路を形成する（通水性保持）

(2) インバートに求められる性能（力学的な性能）

① 施工時の変位抑制

ア 地山が不良な場合に、支持力不足による脚部の沈下や塑性圧等の作用による側壁部の変位を防止する。

イ トンネル断面の変形を抑制するために、早期に設置して支保工と一体となったリング状の構造を形成することにより、トンネル構造の変形に対する安定性を向上させる。

② 供用後の長期的安定性向上

ア 土圧、水圧等の荷重が長期的に作用すると想定される場合に、これらに対して十分な耐荷能力を有するように、支保工や覆工と一体となったリング状の構造体を形成し、構造的な安定性を向上させる。

イ 押し出し性の地山や長期的な劣化が生じる地山における盤ぶくれ現象等の変状、あるいは完成後の繰返し荷重等による地山の劣化を防止することにより、トンネル構造物としての耐久性を向上させる。

(3) インバートが必要な地山

坑口部および未団結地山を含む不良地山、ならびにトンネル掘削後に著しく劣化し長期的な安定性を損なうおそれのある地山等があげられる。道路トンネルでは、原則として坑口部および地山等級Dの区間にインバートを設置し、地山等級Cにおいても泥質岩類、凝灰岩類、蛇紋岩、風化した結晶片岩、温泉余土等の泥ねい化、粘土化しやすい地質では原則として設置することとしている。

(4) インバートの設置区間

必要と判断される区間の前後に影響範囲を考慮した一定延長を確保することが望ましい。また、設置が必要な区間が断続的に続くような場合には、連続した設置を検討する等、線状構造物としての特性を考慮する。

(5) インバートの設置時期

インバートの長期耐久性を確保するという観点から、基本的には覆工と同様に変位が収束してからインバートを設置するのが望ましい。掘削時の変位を抑制させるためにインバートを早い段階で設置する場合は、力学的な検討を行う必要がある。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P111

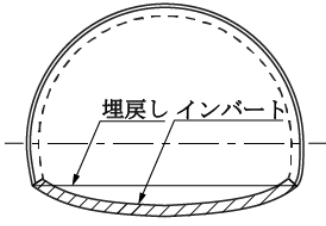
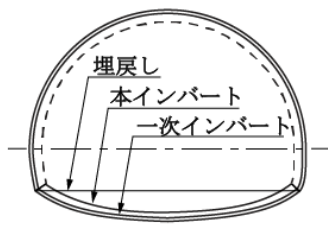
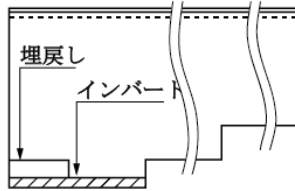
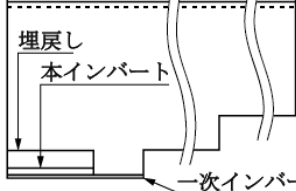
トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P112

(6) 一次インバート，仮インバート

① 一次インバート

掘削による変位を抑制することを目的として，掘削後早い段階で吹付けコンクリートあるいは鋼製支保工を併用した吹付けコンクリートを底盤部に施工し断面を閉合する場合を一次インバートと称し，その後に施工する場所打ちコンクリートを本インバートと称して図 8-17 のように区分する場合がある。

表 8-17 一次インバートと本インバート

| 区分 | インバート | 一次インバートと本インバート |
|------|--|--|
| 施工位置 |  |  |
| |  |  |
| 構成部材 | 場所打ちコンクリート | <ul style="list-style-type: none"> 一次インバート：吹付けコンクリート，あるいは鋼製支保工を併用した吹付けコンクリート 本インバート：場所打ちコンクリート |
| 概要 | 覆工や支保工と一体になってトンネルとしての必要な機能を発揮させるために底盤に施工する。 | おもに変位抑制を目的として一次インバートを設置し，変位が収束した段階で本インバートを施工する。 |

② 仮インバート

変位抑制を目的として上半盤や下半盤に一時的に設置され，掘削の進行に伴ってある段階で撤去されるものを仮インバートという。

(7) インバートの形状と厚さ

インバートの設計厚は，道路トンネルでは標準支保パターンの一部として地山等級に基づき表 8-1 のとおり定められている。

(8) インバートコンクリートの強度と配合

インバートに用いるコンクリートは，覆工コンクリートと同様に，所要の強度と耐久性を発揮するように配合を定める必要がある。

表 8-18 インバートコンクリートの配合基準

| 設計基準強度 | 生コン呼び強度 | 粗骨材の最大寸法 | スランプ | セメント量 | 水セメント比 | セメントの種類 | 繊維混入率 (%/m ³) | 適用工種 |
|--------|---------|----------|----------|--------------------------|--------|---------|---------------------------|-------|
| 18N/㎠ | 18N/㎠ | 40 mm以下 | 8 cm±2.5 | 230 kg/m ³ 以上 | — | 高炉(B)以上 | — | インバート |

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P112

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P115

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P114

9 防・排水工の設計

9-1 防水工及び排水工一般

- (1) トンネル内への漏水を防ぐため、適切な防水工を設計するものとする。
- (2) トンネルの湧水等をすみやかにトンネル外へ排出できるよう、排水工を設計しなければならない。

一般に防水工・排水工は、それぞれの目的・役割に応じて次のように細分類できる。

- ① 防水工……吹付けコンクリートと覆工との間の縁切りを行うことで遮水層を形成し、トンネル内部への漏水を防止することを目的としたものである。
- ② 裏面排水工……覆工背面の湧水を集めて路盤排水工または路側排水工へ導くことを目的とした排水工である。
- ③ 路盤排水工……路盤内および覆工背面湧水をトンネル外へ導くことを目的として路面下に設ける中央排水工および横断排水工である。
- ④ 路側排水工……車両によるトンネル内への持込水やトンネル内壁の洗浄清掃水、漏水などの排水を目的として路肩に設ける排水工である。
- ⑤ 湧水処理工……吹付けコンクリートを施工する場合の事前の湧水処理を目的としたものである。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P132～134

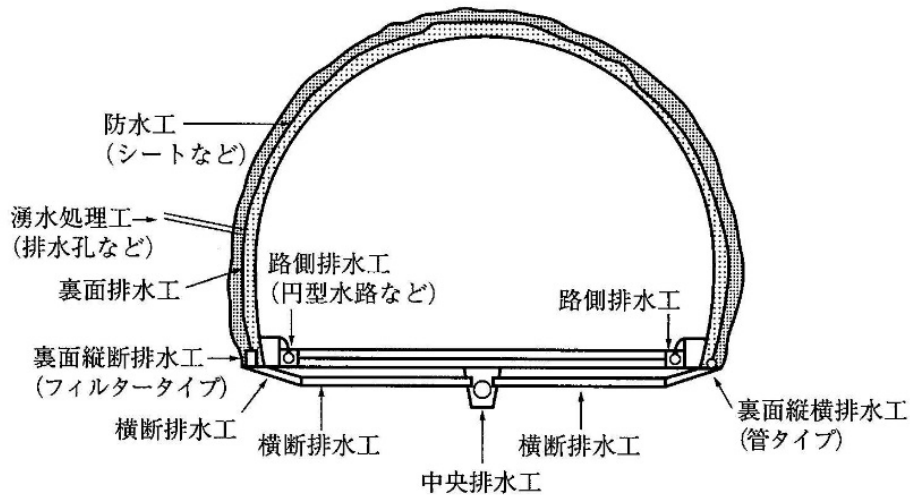


図9-1 防水工・排水工の名称

9-2 防水工

湧水が予測される場合には、原則として防水工を設計するものとする。
なお、防水工は覆工のひび割れ防止に対する効果もかねて設置する。

(1) 防水工の材質

防水工に使用する防水シートは、厚さ0.8mm以上で、下表に示す規格に合格するものとする。

表9-1 防水シートの規格等

| 項目 | 試験法 | 規格値 |
|---------------------------|-------------------|-----------|
| 比重 | JIS K 6773 (20°C) | 0.90~0.95 |
| 引張強さ (N/mm ²) | 〃 | 16.0以上 |
| 伸び (%) | 〃 | 600以上 |
| 引裂強さ (N/cm) | JIS K 6301 (20°C) | 500以上 |

(2) 防水工の施工

- ① 防水シート (t=0.8mm) と透水性緩衝材 (t=3mm) を組合せて吹付コンクリートになじみ良く設置する。
- ② 防水シートは吹付コンクリートにピン等で固定させ、又防水シートと防水シートも漏水のないよう接合させる。

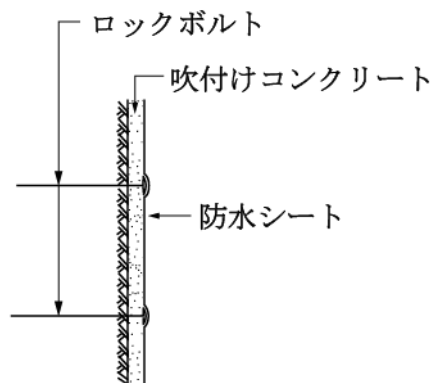


図9-2 防水シートの施工例

9-3 排水工

トンネルの排水工は、湧水やトンネル洗浄水等が自然流下できる断面および勾配としなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P135

(1) 裏面排水工

側壁の覆工背面下部に、地下水が滞りしないように設ける排水工を裏面排水工という。裏面排水工は、側壁下部の縦断方向全線に設ける暗きょ排水材と50m間隔で設ける横断排水工へ接続するための塩化ビニールパイプφ100で構成される。このうち暗きょ排水材は、覆工コンクリートの背面に設けるため、その材料の選定にあたっては通水性、集水性、施工性等を十分考慮したものとする。

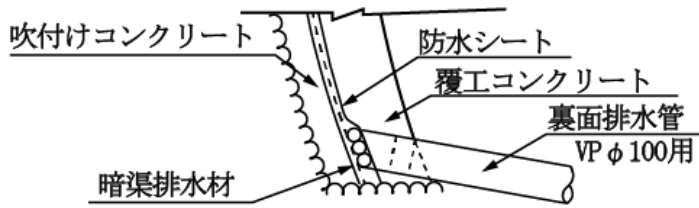
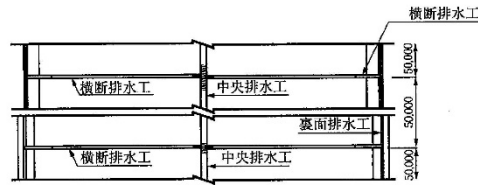


図9-3 裏面排水工

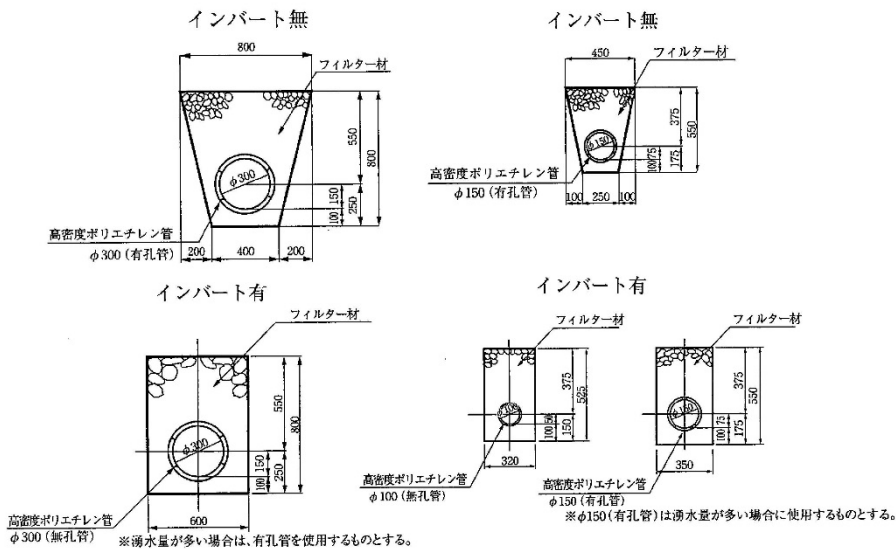
(2) 路盤排水工

路盤内および覆工背面の湧水をトンネル外へ導くために、路面下に設ける中央排水工と横断排水工を路盤排水工という。その詳細な形状等については図9-4に示す。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P139



(a) 路盤排水工配置例



(b) 中央排水工 (c) 横断排水工

図9-4 路盤排水工

- ① 横断排水工は、湧水量等を考慮して30～50m間隔に設置するものとする。(通常は50mを標準とする。)
- ② 横断排水のVP管とポリエチレン管の境界は、路側側溝の中央とする。

(3) 路側排水工

- ① トンネル内の側溝は下記のとおり設置するものとするが、側溝断面は清掃等を十分検討のうえ決定するものとする。
- ② トンネル内の集水柵は50m間隔とし、蓋はグレーチング(固定式)とする。
- ③ 清掃を考慮し中間部(25m)にグレーチング蓋(固定式)を設ける。
- ④ 縦断勾配の関係でトンネル内へ雨水の流入が考えられる坑口部では、必要に応じて集水のためのグレーチング蓋付(固定式)側溝を設けるよう検討すること。
- ⑤ 側溝は管(函)渠型側溝等の2次製品側溝を標準とするが、施工性、管理、経済性を踏まえ検討すること。また、トンネル内の勾配や湧水量を勘案し、L型側溝等の使用についても検討するものとする。

10 トンネル内の舗装

10-1 舗装

- (1) トンネル内の舗装は、セメントコンクリート舗装を標準とする。
- (2) セメントコンクリート舗装の設計は、「舗装設計便覧」(H18.2)によるものとする。
- (3) 舗装の設計期間は、トンネル内での舗装工事が交通に及ぼす影響が大きいことから20年を標準とする。
- (4) 舗装設計に用いる交通量は、舗装計画交通量とする。
普通道路における舗装計画交通量とは、舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量のことであり、道路の計画期間内の最終年度の自動車交通量として規定される計画交通量とは異なる。
この舗装計画交通量は、一方向2車線以下の道路においては、大型自動車の一方向当たりの日交通量のすべてが1車線を通過するものとして算定する。一方向3車線以上の道路においては、各車線の大型自動車の交通の分布状況を勘案して、大型自動車の方向別の日交通量の70~100%が1車線を通過するものとして算定する。
- (5) コンクリート版の厚さは、舗装計画交通量に基づき表10-1によることを標準とする。なお、高規格幹線道路や都市間主要道路等では、走行性や維持管理の観点から連続鉄筋コンクリート舗装を採用することが効果的な場合もあるので、舗装の採用に関しては十分な検討を行った上で決定すること。

舗装設計便覧
(H18.2) P145~

コンクリート舗装がトブック
(H28.3) P12

表 10-1 コンクリート版の版厚等（普通コンクリート舗装）

| 交通量 区分 | 舗装計画交通量 (台/日・方向) | コンクリート版の設計 | | | 収縮目地間隔 | タイバー ダウエルバー |
|--|---------------------|--------------------|----------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| | | 設計基準 曲げ強度 | 版厚 | 鉄網 | | |
| N ₁ ~N ₃ | T < 100 | 4.4MPa (3.9MPa) | 15cm (20cm) | 原則として 使用する。 3kg/m ² | ・8m ・鉄網を用いない場合 5m | 原則として 使用する。 |
| N ₄ | 100 ≤ T < 250 | 4.4MPa (3.9MPa) | 20cm (25cm) | | | |
| N ₅ | 250 ≤ T < 1000 | 4.4MPa | 25cm | | 10m | |
| N ₆ | 1000 ≤ T < 3000 | 4.4MPa | 28cm | | | |
| N ₇ | 3,000 ≤ T | 4.4MPa | 30cm | | | |
| [注] 1. 表中の盤厚の欄における()内の値は設計基準曲げ強度3.9MPaのコンクリートを使用する場合の値である。 2. N ₅ ~N ₇ の場合で鉄網を省略する場合には、収縮目地を6m程度の間隔で設置することを検討するとよい。 | | | | | | |

コンクリート舗装がトブック
(H28.3) P33

- (6) 拌み勾配での舗装については、2車線同時舗装を標準とするが、片勾配が変化する場合あるいは片車線を工事用道路とする場合等、現地状況により片車線舗装とすることができる。
- (7) トンネル内の横断勾配は1.5~2%の拌み勾配を標準とする。

(8) コンクリート舗装のすり付け

一般部がアスファルト舗装となる場合には、その接続部は、すりつけ版を設けるものとする。

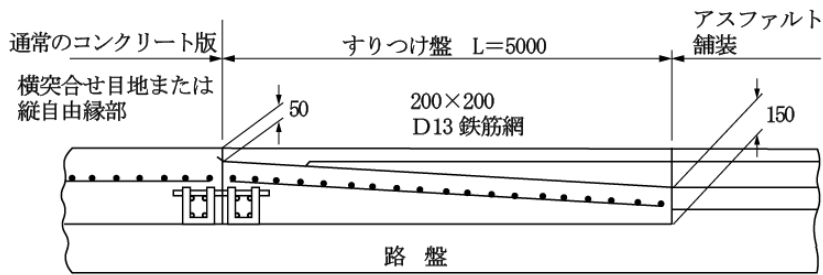


図 10-1 すりつけ版の構造 (参考)

10-2 路盤

トンネル内の路盤は、粒調碎石を標準とし湧水など水の影響を受ける場合は、セメント安定処理路盤を検討する。なお、路盤が水みちとなっているとの実体を考慮し、トンネル内の路床が岩盤の場合であっても、路盤をするものとする。

ただし、片勾配、センタードレーン等により路盤厚が変化する場合、車道端部における最小厚さ ($t=15\text{ cm}$) 以上とする。(図 10-2 参照)

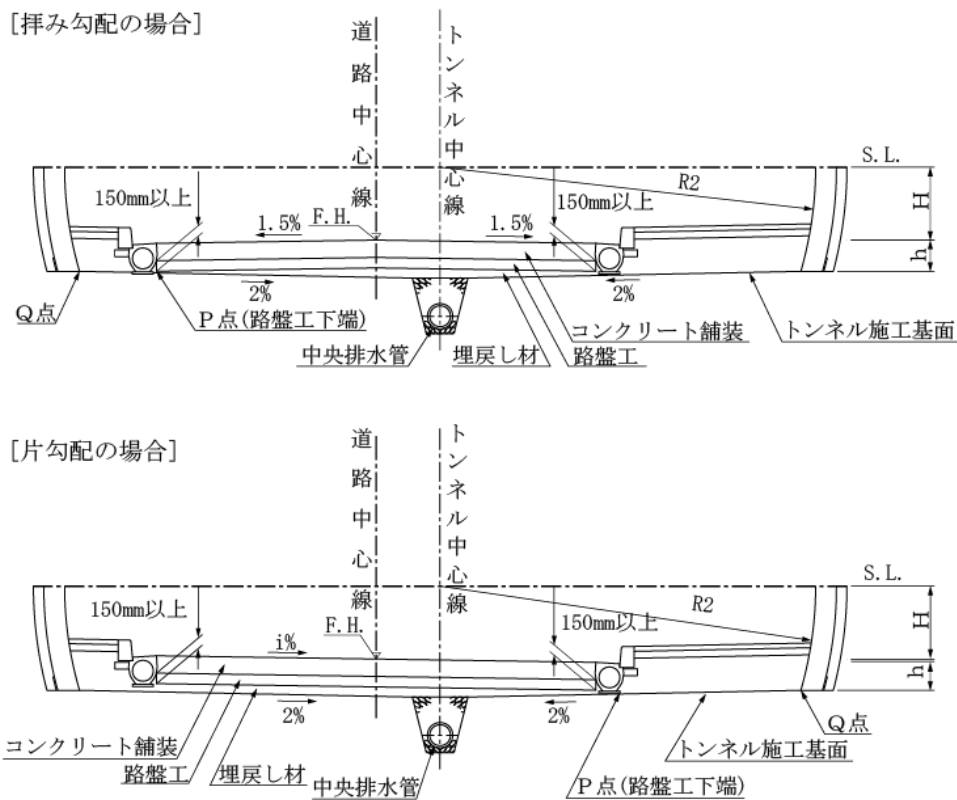


図 10-2 路盤の最小厚の考え方

10-3 アスファルト混合物（コンポジット舗装）

(1) 表層

表層の厚さは、4 cm を標準とする。

表層は、十分なすべり抵抗性、耐流動性、耐摩耗性を有するものとし、改質アスファルト混合物を標準とする。

(2) 中間層

中間層の厚さは、4 cm を標準とする。

中間層は、十分な耐流動性、荷重分散性、水密性を有するものとし、砕石マスチックアスファルト混合物を標準とする。

10-4 歩道部の舗装

(1) 歩道部の舗装はセメントコンクリート舗装を標準とする。

(2) 設計は、「舗装設計便覧（H18.2）」によるものとする。

(3) 版厚は7 cm程度とし、路盤上にはアスファルト乳剤を散布するか、路盤紙を敷く。路盤材料には一般に粒状材料（再生クラッシャーラン RC-40）を用い、路盤厚さは10 cmとする。

コンクリート舗装の場合、トンネル内は表面が乾燥状態となり、目地部でそり上がることが多いため、収縮目地は2.5m程度とし、打込み目地かカタ目地とする。膨張目地間隔は30mを標準とし、コンクリートの全断面に目地板を用いた、突合せ目地構造とする。

舗装設計便覧
(H18.2) P244

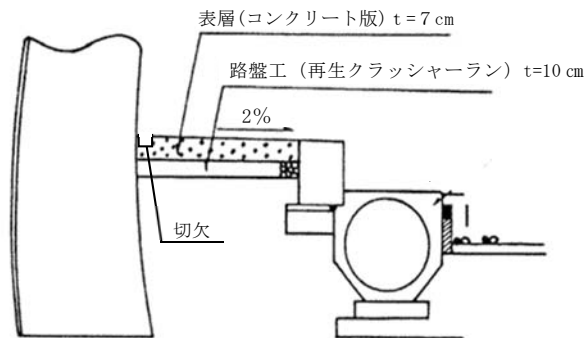


図 10-3 歩道部舗装

表 10-2 歩道・自転車のコンクリート舗装の標準

| 断面 cm | 目地 | | | | 路盤材料 | コンクリートの品質 |
|-------|-------|-------|------|-----|--------------------------|--|
| | 収縮目地 | | 膨張目地 | | | |
| 7 cm | 2.5 m | 打込み目地 | 30 m | 木材等 | 再生クラッシャーラン 最大粒径 40 mm | 設計基準圧縮強度 18N/mm ² 粗骨材の最大寸法 20~40 mm スランブ 8 cm |
| 10 cm | | | | | | |

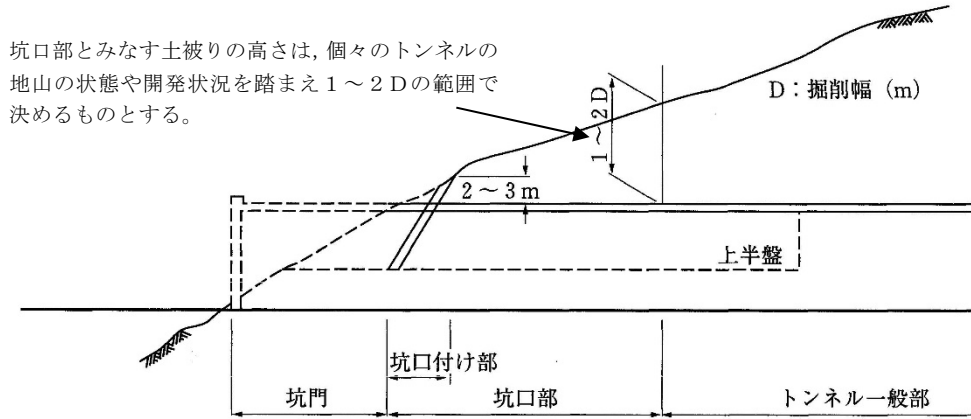
11 坑口部設計

11-1 坑口部一般

坑口部の設計にあたっては、下記に示す項目を検討しなければならない。

- (1) 坑口の位置
- (2) 坑口部として施工する範囲
- (3) 坑口付けの方法
- (4) 坑口部の支保構造と補助工法
- (5) 坑口斜面の安定度と必要な斜面安定工
- (6) 気象災害の可能性と必要な対策工
- (7) 地表沈下等坑口周辺の構造物等に与える影響

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P140～



坑口部とみなす土被りの高さは、個々のトンネルの地山の状態や開発状況を踏まえ1～2Dの範囲で決めるものとする。

図 11-1 標準的トンネル坑口部の範囲

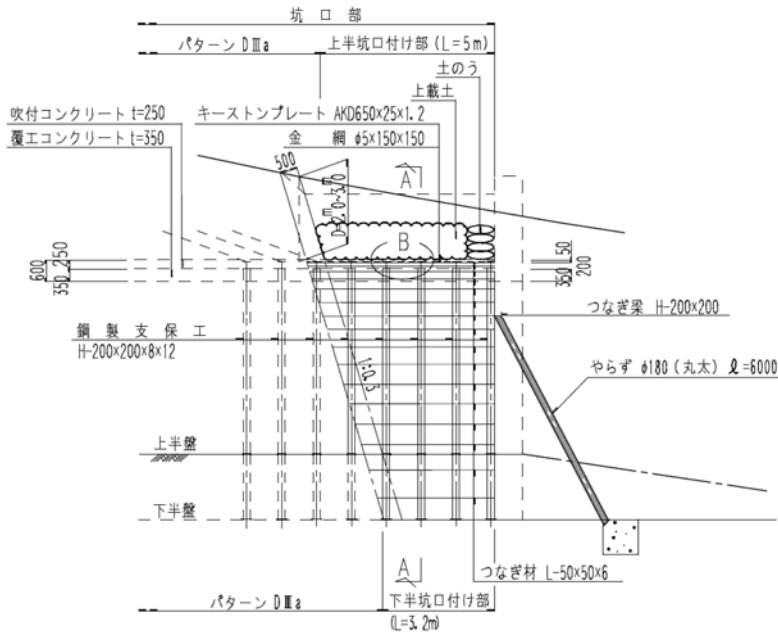


図 11-2 坑口付け部の考え方

11-2 坑口部の支保構造

坑口部における支保パターンは、表 11-1 及び表 11-2 を標準とする。また、表に示した側壁導坑先進工法による場合の設計例を図 11-3 に示す。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P145

表 11-1 内空幅が 10m 程度の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

| 掘削工法 | 1 掘進長 (m) | ロックボルト (フォアポーリング) | | | 鋼製支保工 | | | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚 (cm) | | |
|----------------------------|-----------|----------------------|--------------|--------------|--------------|-------|----------|-----------|----------|--------|----------|
| | | 長さ (m) | 周方向 (m) | 延長方向 (m) | 上半部種類 | 下半部種類 | 建込間隙 (m) | | アーチ部側壁部 | インバート部 | |
| 上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法 | 1.0 | 4.0 (3.0) | 1.2 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-200 | H-200 | 1.0 | 25 | 35 | 50 | |
| 側壁導坑先進工法 | 本坑 | 1.0 | 4.0 (3.0) | 1.2 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-200 | — | 1.0 以下 | 25 | 35 | 50 以上 |
| | 導坑 | 1.0 | 2.0 (2.0) | 1.0 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-125 | | 1.0 | 10 | — | — |

注 1) ロックボルトは、側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは 4 m を標準とする。

注 2) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質及び工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。なお、フォアポーリングの規格は、異形棒鋼(SD345)を標準とする。

注 3) 金網は、上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上半・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合はこの限りではない。

表 11-2 大断面の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

| 掘削工法 | 1 掘進長 (m) | ロックボルト (フォアポーリング) | | | 鋼製支保工 | | | 吹付け厚 (cm) | 覆工厚 | | |
|----------|-----------|----------------------|--------------|--------------|--------------------|-------|----------|-----------|-------------|------------|-------|
| | | 長さ (m) | 施工間隔 | | 上半部種類 | 下半部種類 | 建込間隙 (m) | | アーチ・側壁 (cm) | インバート (cm) | |
| | | | 周方向 (m) | 延長方向 (m) | | | | | | | |
| 上部半断面工法 | 1.0 | 6.0 (3.0) | 1.0 (0.5) | 1.0 (1.0) | H-200 | H-200 | 1.0 | 25 | 45 | 50 | |
| 上半中壁分割工法 | 本坑 | 1.0 | 6.0 (3.0) | 1.0 (0.5) | 1.0 (1.0) | H-200 | H-200 | 1.0 | 25 | 45 | 50 |
| | 中壁 | 1.0 | 3.0 (3.0) | 1.2 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-150 | — | 1.0 | 15 | — | — |
| 側壁導坑先進工法 | 本坑 | 1.0 | 6.0 (3.0) | 1.0 (0.5) | 1.0 以下 (1.0 以下) | H-200 | — | 1.0 以下 | 25 | 45 | 50 以上 |
| | 導坑 | 1.0 | 2.0 (2.0) | 1.0 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-125 | | 1.0 | 10 | — | — |
| 中央導坑先進工法 | 本坑 | 1.0 | 6.0 (3.0) | 1.0 (0.5) | 1.0 以下 (1.0 以下) | H-200 | H-200 | 1.0 以下 | 25 | 45 | 50 以上 |
| | 導坑 | 1.0 | 2.0 (2.0) | 1.0 (0.6) | 1.0 (1.0) | H-125 | H-125 | 1.0 | 10 | — | — |

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P146

- 注1) ロックボルトは必要に応じて側壁部に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。
- 注2) 中壁分割工法での先進坑施工時に中壁に設置するロックボルトは、後進坑の掘削を考慮して、グラスファイバー等撤去・切断しやすい材質のものも使用できる。
- 注3) 先受工(フォアポーリング)は、天端120°の範囲に必要に応じて設置するものとし、その材質および工法等の選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 注4) 金網は原則として上下半に設置するものとする。なお、鋼繊維等による補強吹付けコンクリートを適用する場合はこの限りではない。
- 注5) 断面の大型化に伴って、坑口部においては入念に偏圧対策を検討する必要がある。
- 注6) 面壁型坑門を用いる場合、面壁の厚さとトンネル覆工の厚さの差を十分考慮して、面壁との接合箇所の覆工厚さを決定しなければならない。

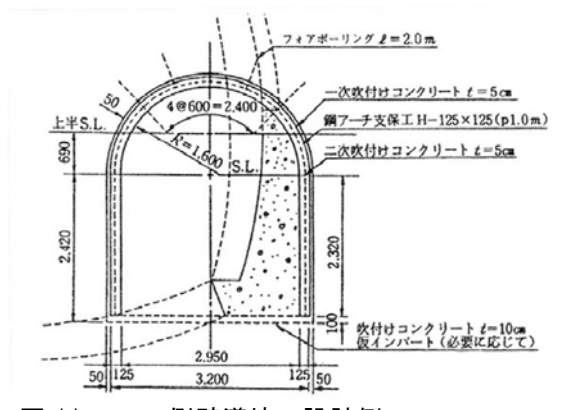


図 11-3 側壁導坑の設計例

11-3 坑口部の補強鉄筋

- (1) 坑口部等がかぶりが小さい場合及び著しい土圧を受ける場合の覆工コンクリートは、単鉄筋で補強した構造とする。なお、坑口付部については、引張力の発生が認められるため複鉄筋で施工するものとする。(標準断面 主鉄筋 D19mm@20 cm, 配力筋 D16mm@30 cm) (大断面 主鉄筋 D22mm@20cm, 配力筋 D19mm@30 cm)
- (2) 重ね継ぎ手長や定着長で調整できる鉄筋は原則として定尺鉄筋(50 cmピッチ)を使用するものとする。
- (3) 鉄筋の継ぎ手については千鳥配置とし、鉄筋を軸方向に相互にずらす距離は、継手の長さに鉄筋直径の25倍を加えた長さ以上を標準とする。
- (4) 坑口部覆工コンクリートに補強鉄筋を入れた場合は、インバートにも同等の配筋を考慮する。
- (5) 突出型坑門等で明り巻となる区間は、原則として鉄筋コンクリート構造とする。
- (6) 鉄筋の規格は、補強鉄筋とする場合(坑口部(坑口付け部・DⅢ))および、鉄筋コンクリート構造とする場合はSD345とする。
- (7) 鉄筋の被りは、100 mmを標準とする。

11-4 坑口部の補強工法

坑口部において予想される問題点とその対策工法を表 11-3 に、抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例を図 11-4 に、また、坑口対策のフローを図 11-5 に示す。

表 11-3 坑口部施工時に予想される現象と対策工

| 予想される現象 対策工 | 斜面崩壊 | 地すべり | 岩盤崩壊 | 偏土圧 | 地耐力不足 | 切羽崩壊 | 地表面沈下 | 湧水 | 備考 |
|----------------|------|------|------|-----|-------|------|-------|----|---------|
| 垂直縫地工 | ◎ | ◎ | | ◎ | | ○ | ◎ | | 掘削前 |
| 法面吹付け工 | ◎ | | | | | | | | 〃 |
| 法面補強ボルト | ◎ | | ○ | | | | | | 〃 |
| 押え盛土 | ○ | ◎ | | ◎ | | | | | 〃 |
| 抱き擁壁 | ○ | ◎ | | ◎ | | | | | 〃 |
| 抑止杭 | ○ | ◎ | | | | | | | 〃 |
| アンカー工 | ○ | ◎ | ○ | ○ | | | | | 〃 |
| パイプルーフ工 | ○ | | | ○ | | ○ | ◎ | | 〃 |
| 水抜き（坑外から） | ○ | ◎ | | | | ○ | | ○ | 〃 |
| 薬液注入工（地表から） | ○ | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 掘削前、掘削中 |
| 〃（坑内から） | | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | 掘削中 |
| 先受工 | ○ | | | | | ◎ | ◎ | | 〃 |
| 鏡止（ボルト・吹付け）工 | | | | | | ○ | ○ | | 〃 |
| 一時閉合（仮インバート） | | | | ◎ | ◎ | | ◎ | | 〃 |
| 側壁導坑 | | | | | ◎ | | ○ | | 〃 |

注) ◎：有効な工法 ○：場合により有効な工法

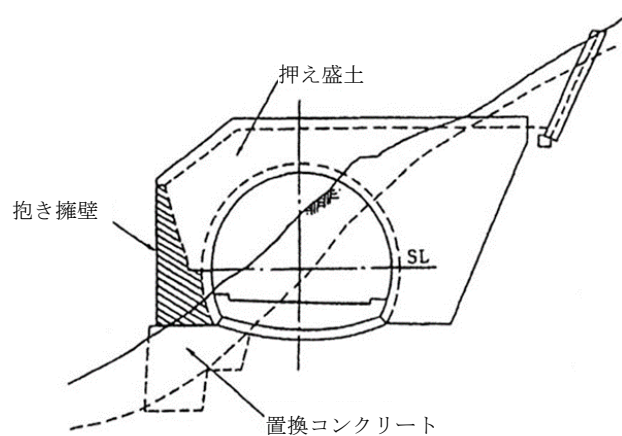


図 11-4 抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例

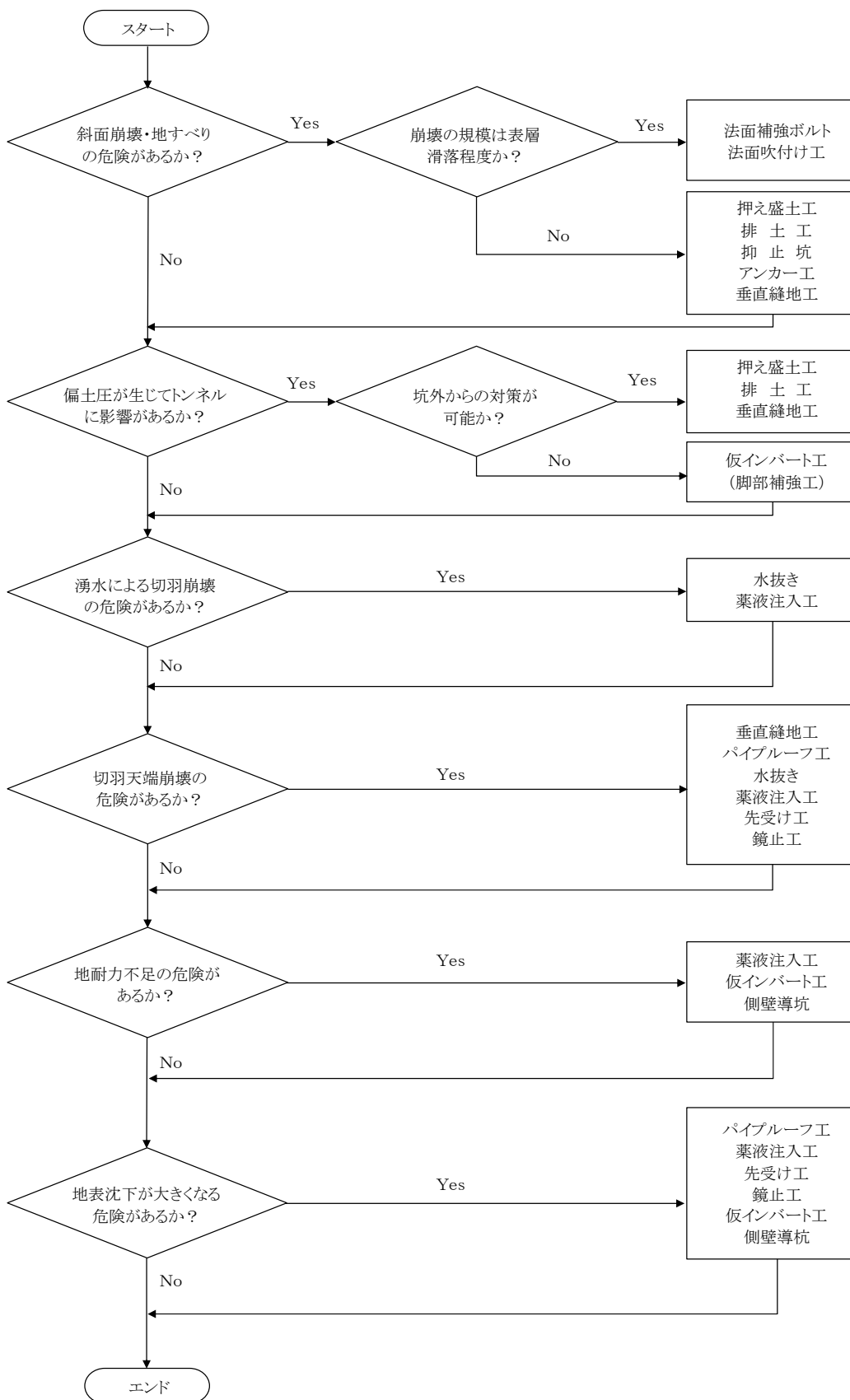


図 11-5 坑口対策工選定フロー

12 坑門の設計

坑門は、地山条件、気象条件、周辺環境、車両の走行性等を考慮して位置、型式等を選定し、設計を行わなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P147

12-1 坑門の設計に当たっての留意事項

坑門は土石流・落石・崩壊・なだれ・異常出水等から坑口部を守るものであり、設計に当たっては次のことを考慮しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P148

(1) 安定性

坑門は坑口付けでバランスを崩した斜面を安定化させるものであり、背面の土圧・落石等に対して安定な構造物としなければならない。

(2) 施工性

坑門は坑口部の施工と密接に関連するものであり、施工が容易で無理のないものとする必要がある。

また、近接する橋台等構造物の設計との整合性を考慮した位置・構造とする必要がある。

(3) 景観等

道路トンネルの坑門は、進入するドライバーに圧迫感・抵抗感がないデザインが望まれる。また、コンクリート面が大きいと照明上、野外輝度が大きくなり緩和照明のレベルに影響するので、できるだけコンクリート面の小さい設計が望ましい。さらに、周辺環境に配慮し、緑化などについて検討する必要がある。

(4) 気象条件等

坑門は、なだれ・異常出水等気象災害の被害を受けないよう、設計する必要がある。

また、積雪地においては、雪の吹込みが少ないこと、雪庇が発生しにくいこと、除雪作業が容易なこと等の条件を考慮する必要がある。

(5) その他機能との調和

坑門は、その他にルーバー・換気所等の機能を合わせ持つ場合があるが、その場合にはこれら機能と調和のとれた構造とする必要がある。また、坑口付近には各種施設が設けられるので、維持管理しやすい構造を検討する必要がある。

12-2 坑門の型式

一般的な坑門の型式としては、表 12-1 のようなものがあり、それぞれ特徴があるので、「12-1 坑門の設計に当たっての留意事項」に留意の上、地形・地質等の条件に適合したものを選択するものとする。

坑門の設計には所要の荷重のほか、必要に応じて地震・温度変化・コンクリートの乾燥収縮等の影響を考慮しなければならない。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P148～149

表 12-1 トンネル坑門の形式と特徴

| 型式 項目 | 重量壁 | 両壁型 | | 半突出型 | 突出型 | | |
|------------|--|--|--|--|---|---|--|
| | 重力・半重力式 | ウイング式 | アーチウイング式 | パラペット式 | 突出式 | 竹割(逆)式 | ベルマウス(逆)式 |
| 形状 | | | | | | | |
| 地山条件による適用性 | <ul style="list-style-type: none"> ・比較的地形急峻の場合や土留要壁の構造を必要とする場合 ・落石が多いと予想される場合 ・背面の排水処理が容易 | <ul style="list-style-type: none"> ・両切土工の場合 ・背面土圧を全面的に受ける場合 ・積雪量の多い場合には防雪工を併用 | <ul style="list-style-type: none"> ・比較的地形がなだらかな場合 ・左右の切土工が比較的少ない場合 | <ul style="list-style-type: none"> ・屋根状地形や左右に他の構造物との取合いが少ない場合 ・積雪地でも可能 | <ul style="list-style-type: none"> ・押え盛土を施工した場合 ・坑口周辺の地質が良い場合 ・積雪地でも可能 ・坑口周辺地形の切取り等、整形が比較的可能な場合 | <ul style="list-style-type: none"> ・坑門周辺の地形がなだらかな場合 ・逆竹割式の場合重心位置の関係から基礎の支持力の十分な検討を要する | <ul style="list-style-type: none"> ・地形・地質が比較的良く、坑口周辺の開けた箇所には吸い込み、雪庇が生じやすい |
| 施工性 | <ul style="list-style-type: none"> ・不良地山では切土量が多くなるので、背面切土法面の安定化対策としての防護を十分に行う必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・不良地山では切土量が多くなるので、背面切土法面の安定化対策としての防護を十分に行う必要がある ・トンネル本体との一体化が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・地形によっては、一部、明り巻き(特にアーチ部)が必要である ・多少の保護盛土を必要とする | <ul style="list-style-type: none"> ・数mの本体工の明り巻きを必要とし、かつ盛りこぼしに対し多少の土留壁が生ずるが、坑門としては合理的な構造である | <ul style="list-style-type: none"> ・型わく、配筋などに手間がかかる。 ・両壁型に比べ坑門位置が前に出るため指示力不足に留意する必要がある。 | <ul style="list-style-type: none"> ・同左 | <ul style="list-style-type: none"> ・同左 |
| 景観 | <ul style="list-style-type: none"> ・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリ等)が必要 ・重量感はあるが、走行上の圧迫を感じ易い | <ul style="list-style-type: none"> ・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリ等)が必要 ・重量感はあるが、走行上の圧迫を感じ易い | <ul style="list-style-type: none"> ・アーチ部の曲線が、周辺地形とあまり違和感を感じさせないような配慮が必要 | <ul style="list-style-type: none"> ・坑門コンクリートの面壁面積が少なくなるため、視覚的には違和感を感じさせない ・坑口周辺地形と良く適合する | <ul style="list-style-type: none"> ・圧迫感が少なく、車両の走行に与える影響は少ない。 ・周辺地形と良く適合する。 | <ul style="list-style-type: none"> ・圧迫感が少なく、車両の走行に与える影響は少ない。 ・周辺地形を修景することにより坑門との調和が図れる。 | <ul style="list-style-type: none"> ・車両の走行に与える影響は少ない。 ・坑口周辺地形と良く適合する。 |

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P150

12-3 坑門の構造設計

坑門は、完成後これに加わる死荷重、土圧および地震の影響等に対して安全であるように設計しなければならない。これらの荷重は、坑門の型式に応じて適宜組み合わせで行うものとするが、特に、突出型のような場合は、一般に土被りが薄くまた覆工の一部が露出することもあり、地震、温度変化、コンクリートの乾燥収縮等の影響を受け易いのでこれらを考慮した設計とする必要がある。

(1) 面壁型坑門の設計

面壁型の坑門は、トンネル本体に剛結された版構造物として設計するものとする。そのウイングの断面力の算定は、原則として、**図 12-1** に示すようにトンネル本体を固定端とする片持版として求めるものとする。しかし、トンネルの場合は、ウイングは本体覆工の円曲線上に固定されるため、2方向版の性状が強く滑らかな応力分布を示すことから、ウイングの設計にあたっては、次のように考えるものとする。

① 荷重

土圧は背面埋戻し土の影響を考慮したクーロン土圧とする。その他の荷重としては、必要に応じて施工時荷重（仮設時荷重として計算時には、許容応力の割り増しを行う）、及び雪荷重、輪荷重等を見込むものとする。

なお、施工時荷重と他荷重を同時に考慮する必要がある場合には、施工時荷重のみの場合と他荷重を考慮した場合で部材厚の大きくなる方を採用するものとする。また、地震時については一般的には考慮しないものとする。なお、施工時荷重の許容応力度の割増し率については、道路橋示方書(下部構造編)・同解説に準拠する。

② ウイング水平方向及び鉛直方向の応力計算

水平方向の応力は、**図 12-1** に示す面 A B C D E F G の仮想ウイング端 G ~ A ~ B に対する曲げモーメント $\Sigma M_{G \sim A \sim B}$ 、せん断力 $\Sigma S_{G \sim A \sim B}$ を求める。

同様に、鉛直方向の応力は、面 A D E F G H I の仮想ウイング端 I ~ A ~ D に対する曲げモーメント $\Sigma M_{I \sim A \sim D}$ 、せん断力 $\Sigma S_{I \sim A \sim D}$ を求める。

ただし、I ~ A ~ B は吹付コンクリートの内面（覆工コンクリートの外面）を示す。

③ ウイング固定端の断面力

ア 水平方向の断面力

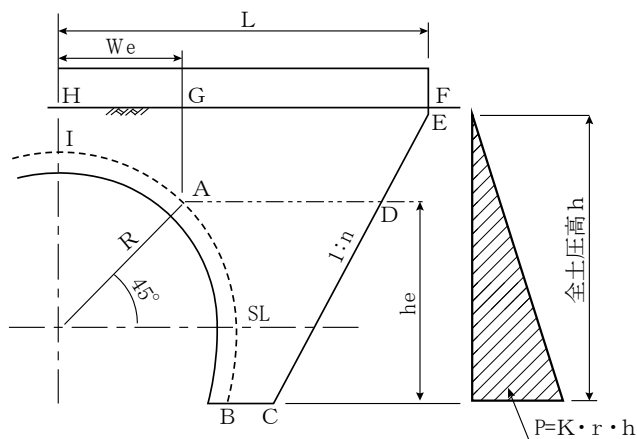
$$\text{曲げモーメント } M_{A \sim B} = \Sigma M_{G \sim A \sim B} / h_e \quad \dots \dots \text{式(12-1)}$$

$$\text{せん断力 } S_{A \sim B} = \Sigma S_{G \sim A \sim B} / h_e \quad \dots \dots \text{式(12-2)}$$

イ 鉛直方向の断面力

$$\text{曲げモーメント } M_{A \sim I} = \Sigma M_{I \sim A \sim D} / W_e \quad \dots \dots \text{式(12-3)}$$

$$\text{せん断力 } S_{A \sim I} = \Sigma S_{I \sim A \sim D} / W_e \quad \dots \dots \text{式(12-4)}$$



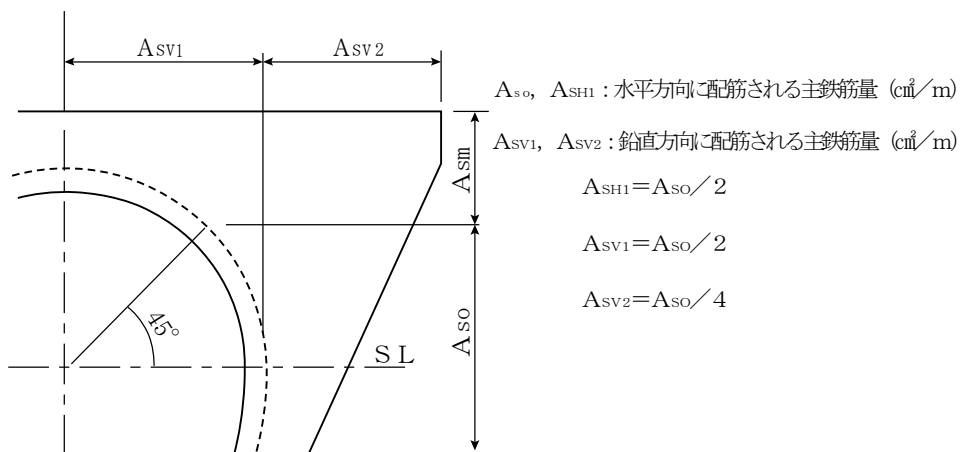
- I : ウイング長(m)
 h_e : 水平方向の断面力算出時のウイング付根部の有効高さ(m)
 W_e : 鉛直方向の断面力算出時のウイング付根部の有効幅(m)
k : クーロンの土圧係数
 γ : 土の単位体積重量(kN/m³)
 δ : 壁面と土の摩擦角(°) ($\delta = 2/3 \phi$)
 ϕ : 土の内部摩擦角(°)

| 裏込め土の種類 | γ (kN/m ³) | ϕ (°) |
|---------|----------------------------------|---------------|
| レキ・レキ質土 | 20 | 35 |
| 砂・砂質土 | 19 | 30 |
| シルト・粘性土 | 18 | 25 |

図 12-1 ウイングの断面力の算定 (片持版)

④ 配筋設計

ウイングの配筋設計は、一般的にはウイング固定幅の断面力計算結果により図 12-2 に示す鉄筋量算定の考え方に基づいて行うものとする。そのなかで、鉛直方向については、一般には水平方向の断面力に比べて非常に小さくなるが、配筋設計にあたっては図 12-2 により行うものとする。また、坑門に生ずる応力のトンネル本体への影響を考慮して、覆工外側に主鉄筋同等の鉄筋を先端から 5.0m 程度配筋するものとする。



A_{so}, A_{SH1} : 水平方向に配筋される主鉄筋量 (cm²/m)

A_{sv1}, A_{sv2} : 鉛直方向に配筋される主鉄筋量 (cm²/m)

$$A_{SH1} = A_{so} / 2$$

$$A_{sv1} = A_{so} / 2$$

$$A_{sv2} = A_{so} / 4$$

図 12-2 鉄筋量の算定の考え方

⑤ 材料及び強度

坑門工に使用するコンクリート及び鉄筋の材料及び強度は、以下のとおりとする。

表 12-2 コンクリート・鉄筋の規格(坑門)

| 材料 | 設計基準強度 | 規格 | 備考 |
|--------|----------------------|------------|---------|
| コンクリート | 24N/mm ² | 24-8-20~25 | |
| 鉄筋 | 180N/mm ² | SD345 | D16 を下限 |

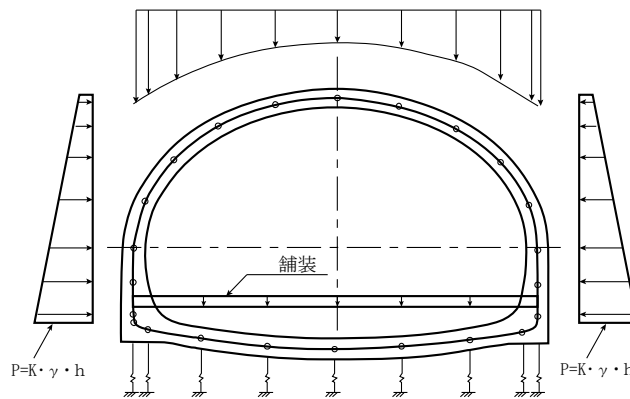
(2) 突出型坑門の設計

突出型坑門は、トンネル本体と同一のアーチカルバートがトンネル坑口部に連続して設けられる坑門である。設計は、完成後の整形盛土による上載荷重、水平荷重、その他の荷重（雪荷重、輪荷重等）を考慮して、断面力及び地盤の支持力の計算を行うものとする。なお、インバートの形状は、トンネル内の中央排水工の連続性からトンネル断面と同一の曲率を持った形状とする。

断面力の算定に当たっては、原則として、図 12-3 に示すように弾性バネを考慮した変形法により計算を行うものとする。

設計細部については、ボックスカルバートの設計に準ずるものとする。

- ① 側壁に作用する水平土圧係数は 0.3 及び 0.5 として両方で部材応力を計算し、不利な応力で断面を設計する。
- ② 地山を溝型に掘削してアーチカルバートを設ける場合は、サイロ土圧を考慮する。
- ③ 土被りが薄い状態で工事車両も含めた施工時応力を照査する。
- ④ アーチカルバート構造の一部が埋戻し土から露出する場合は、地震、温度変化、コンクリートの乾燥収縮の影響等必要に応じて考慮する。
- ⑤ 舗装部の活荷重を考慮するとインバートの変形が抑制されるため、考慮したケースと考慮しないケースの 2 ケースにて検討すること。



- (ア) 上載荷重……………埋戻し土，雪，その他
- (イ) 土 圧……………常時：静止土圧他，地震等：クーロン土圧
- (ウ) 地盤定数……………弾性バネ
- (エ) 温度変化，乾燥収縮…温度：±15℃，乾燥収縮：-20℃
- (オ) 自 重……………覆工，舗装

図 12-3 断面力の算定

図 12-4 を参考として，突出型の配筋図例を図 12-5 に示す。

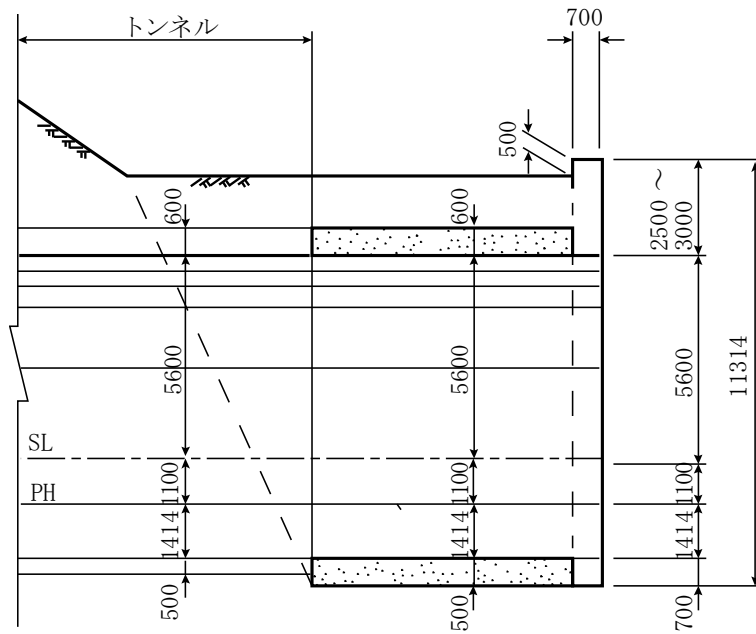


図 12-4 一般図

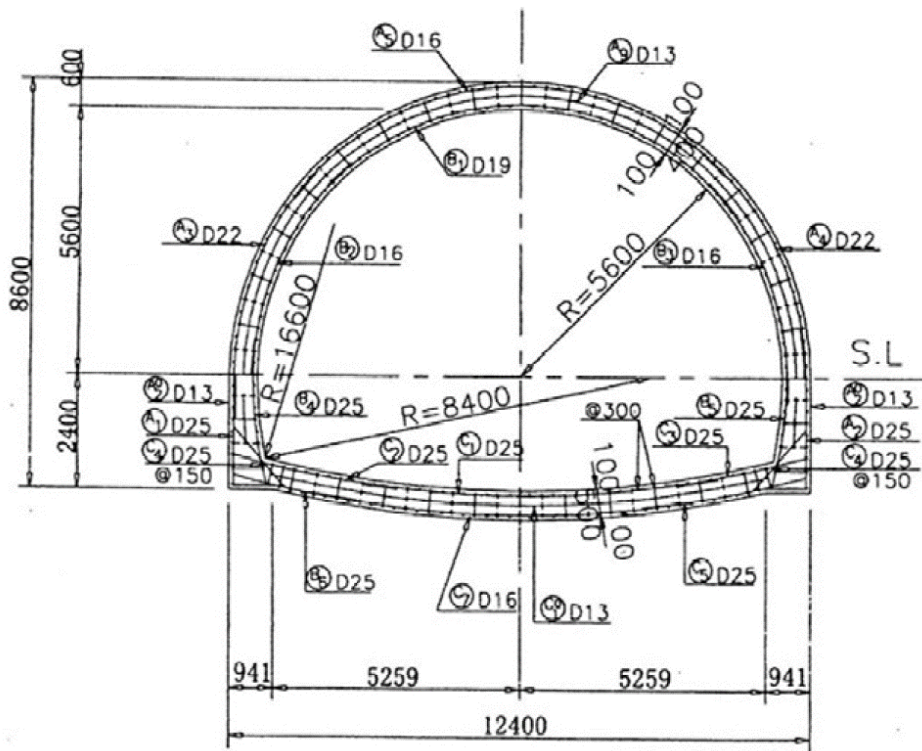


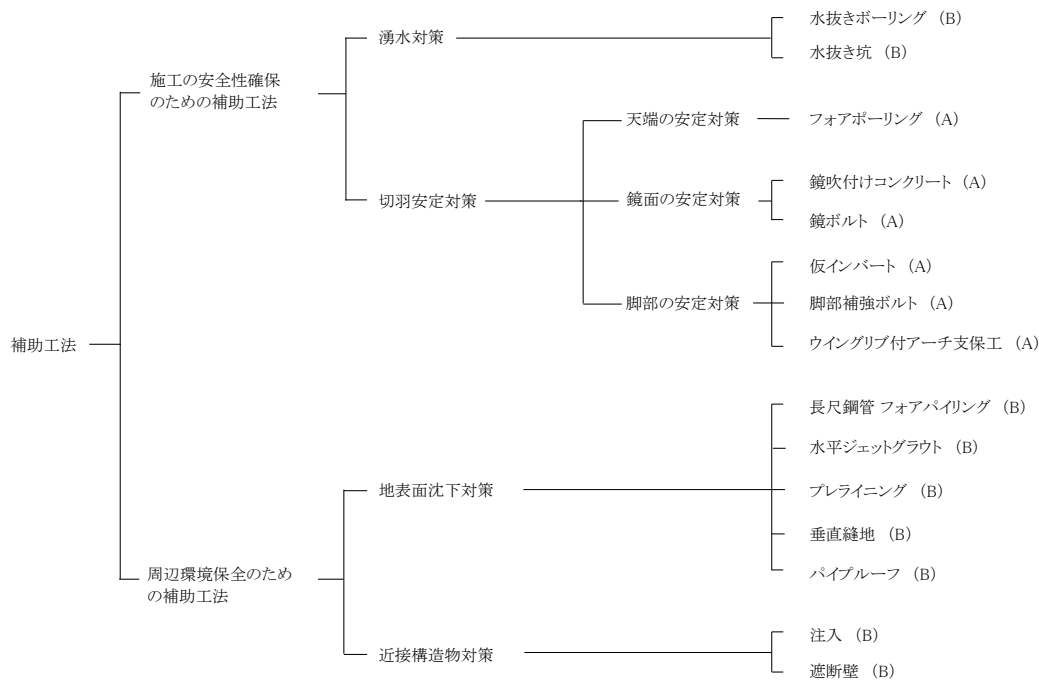
図 12-5 突出型坑門の配筋図例

13 補助工法

13-1 概説

吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等の通常の支保パターンでは対処できないか、対処することが得策でない場合に、切羽の安定、施工の安全性、並びに周辺環境の保全のため、主に地山条件の改善を図る目的で適用される補助的または特殊な工法を補助工法という。

代表的な補助工法とその使用目的による分類を図13-1に示す。



(注) 各工法末尾の(A)(B)は補助工法の区分を表す。

補助工法(A)：通常の施工で採用され使用している機械、設備、材料がそのまま使用できるもので掘削後支保工の施工が完了するまで切羽の自立を保持する工法

補助工法(B)：通常の施工機械設備・材料で対処が困難な対策または、施工サイクルへの影響の大きい対策工法

図13-1 補助工法の分類

(1) 設計時の補助工法適用について

当初設計に補助工法を盛り込むことが合理的と判断される場合には、地山条件、掘削断面、地表面沈下の制限等の立地条件に基づき、安全性と経済性が得られるよう合理的な補助工法を検討する。

なお、当初設計は限定された調査結果に基づいたものであるため、施工時において当初設計の仕様、施工範囲にとらわれることなく、切羽の観測・計測結果等を踏まえて、合理的な補助工法に修正する。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P285

(2) トンネル施工中に補助工法を採用する場合

施工状況，計測結果等に基づき，採用する補助工法と支保パターン，掘削工法の適合性を検討し，効果，経済性及び工期等を勘案して決定する。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28. 8) P286

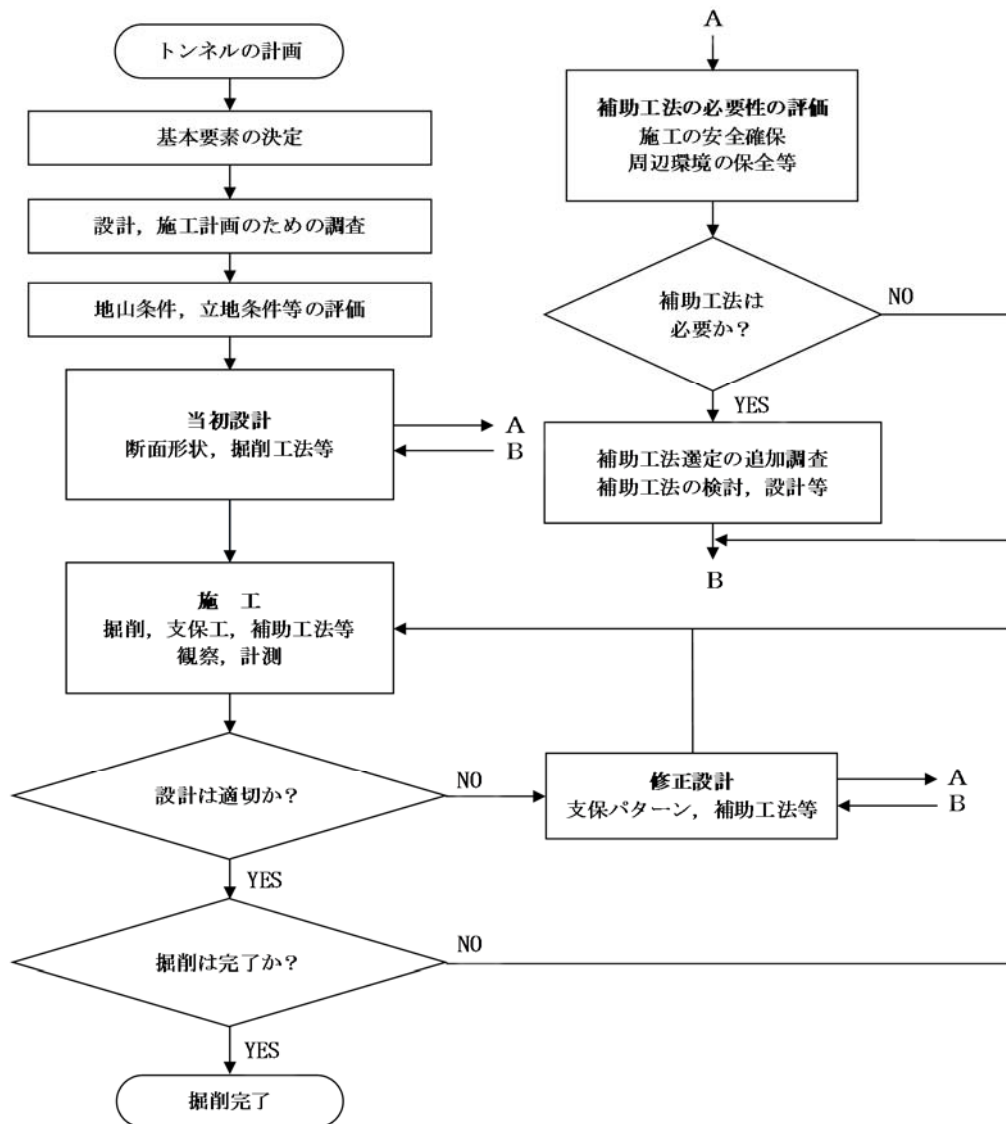


図 13-2 補助工法に着目したトンネルの調査・設計・施工の流れ

13-2 補助工法の選定

当初設計に補助工法を計画することが合理的であると判断される場合、または、トンネルの施工中に補助工法の必要が認められた場合には、地山条件、施工の安全性、施工サイクルへの影響、周辺環境への影響等を考慮し、目的、効果、安全性、施工性及び経済性について検討を行い、合理的な工法を選定する必要がある。代表的な補助工法についてその使用目的と対象地山に分類したものを表13-1に示す。なお、選定に際しては「NEXCO設計要領第三集トンネル」を参考としてもよい。

表13-1 補助工法の選定

(「トンネル標準示方書」を一部加筆修正)

| 工 法 | 目 的 | | | | | | 対 象 地 山 | | | 摘要 | |
|--------------------------------------|-----------------------------|------------|------------|----------|-----------------|------------------|---------|----|----|----|---|
| | 施工の安全性確保 | | | | 周辺環境の保全 | | 硬岩 | 軟岩 | 土砂 | | |
| | 湧水 対策 | 切羽安定対策 | | | 地表面 沈下 対策 | 近 接 構造物 対策 | | | | | |
| | | 天端の 安 定 | 鏡面の 安 定 | 脚部 安定 | | | | | | | |
| 先 受 け 工 | フォアボーリング (非充填式・充填式, 注入式) | | ◎ | ○ | | | ○ | ○ | ◎ | ◎ | A |
| | パイプルーフ | | ○ | ○ | | ◎ | ○ | | ○ | ◎ | B |
| | 水平ジェットグラウト (噴射攪拌) | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | | ○ | B |
| | 長尺鋼管フォアパイリング (充填式, 注入式) | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | B |
| | ブレライニング | | ○ | ○ | | ○ | ○ | | ○ | ○ | B |
| 鏡 面 脚 部 の 補 強 | 鏡吹付コンクリート | | | ◎ | | | | ○ | ◎ | ◎ | A |
| | 鏡ボルト | | | ◎ | | | | ○ | ◎ | ◎ | A |
| | 仮インパート(上半, イパート) | | | | ○ | ○ | | | ○ | ○ | A |
| | 脚部補強ボルト | | | | ○ | ○ | | | ○ | ○ | A |
| | ウイングリップ付鋼アーチ支保工 | | | | ◎ | ○ | | | ○ | ◎ | A |
| 湧 水 対 策 地 山 補 強 | 水抜きボーリング | ◎ | ○ | ○ | | | | ◎ | ◎ | ◎ | B |
| | 水抜き坑 | ◎ | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | B |
| | 注入 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ◎ | | ○ | ○ | B |
| | 垂直縫地 | | ○ | ○ | | ○ | | | ○ | ○ | B |
| | 遮断壁 | ○ | | | | ○ | ◎ | | | ○ | B |

注) ◎ : 比較的好く用いられる工法,

○ : 場合によって用いられる工法

摘要欄のA, Bは補助工法の区分を示す。

トンネル標準示方書
(山岳工法編)・同解説
(H28.8) P287 を一部
加筆

主な補助工法の概要は以下のとおり。

(1) フォアポーリング

① 充填式フォアポーリング

切羽面から上半アーチ外周に6 m以下（一般に3～4 m）の長さの先受けボルト、鋼管などを施工し支保工支えることにより、天端の見かけのせん断強度の増大、前方地山の緩み防止等を期待する工法である。この工法は、一般にセメントミルクやモルタルを充填した孔に先受けボルトを挿入するものであるが、孔壁が自立せず崩れるような地山条件の場合には、自穿孔式や非充填式のフォアポーリングを用いる場合もある。この工法は小規模な天端の崩壊や崩落対策として一般的であり、対策の初期段階に採用されることが多い。しかし、先受け長が6 m程度以下と短いため、先受け効果には限界があり、地山の変位・変形の抑制目的では採用されていない。

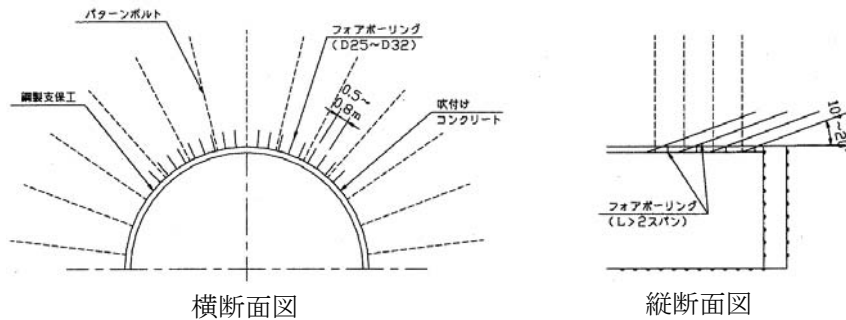


図 13-3 充填式フォアポーリングの施工例

② 注入式フォアポーリング

切羽より斜め前方のアーチ天端部にロックボルトや鋼管等を打設した上で、超急結性のセメントミルクや薬液（ウレタン系）等を注入し、前方地山天端部の地盤改良により安定性を高める工法である。注入は、穿孔後、注入用ボルトを挿入し注入材を施工するタイプが標準であるが、地山条件によっては、穿孔と注入を同一のボルトで実施する自穿孔タイプもある。この工法は、芯材のボルトによるせん断強度の増大とともに注入材により一定範囲内の地山を改良できるため、簡易な天端安定対策としては比較的信頼性が高く、多くの施工実績がある。しかし、先受け長が6 m以下と短いため、先受け効果には限界がある。また、天端部に加えて鏡面の安定性向上を図る場合には、鏡吹付けコンクリートや鏡ボルト等と併用する場合もある。

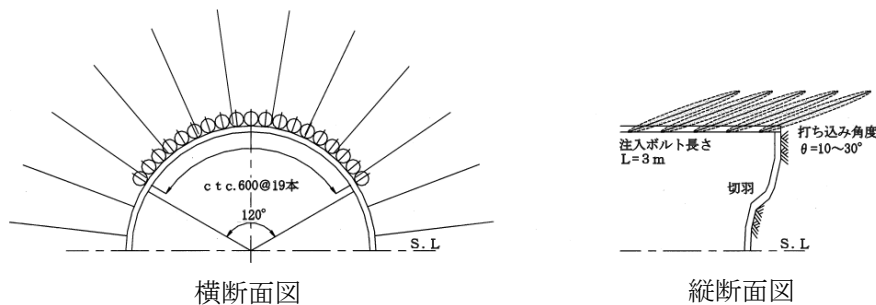


図 13-4 注入式フォアポーリングの施工例

(2) 長尺鋼管フォアパイリング

崖錐、断層破碎帯、未固結地山等のグラウンドアーチ形状が期待できない不安定な地山において、先行変位を抑制するとともに切羽の安定化を図る工法である。一般に、先受け材としては鋼管が用いられ、打設長が6 mを超えるものをいう。長尺フォアパイリングは、トンネル掘削に先立って、掘削断面外周に沿ってトンネル円周方向に一定の間隔で鋼管を設置することが一般的であるが、地山条件（地形、地質、切羽の状態）や近接構造物とトンネルの位置関係を考慮して適切な鋼管配置を決める必要がある。

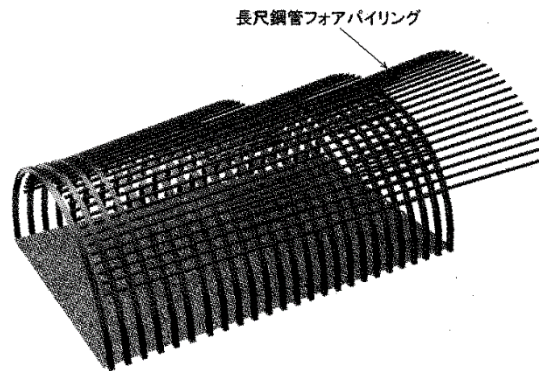


図 13-5 長尺鋼管フォアパイリングの概念図

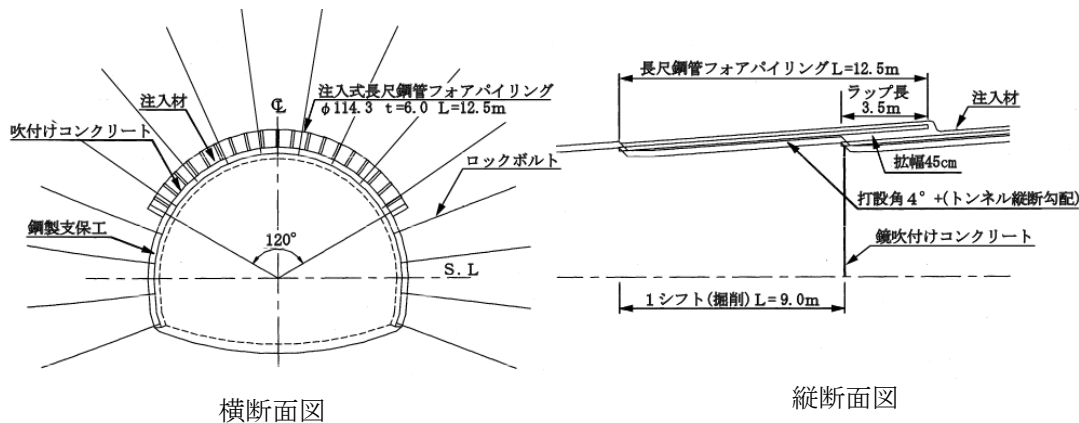


図 13-6 長尺鋼管フォアパイリングの施工例

(3) 鏡ボルト

鏡面での崩落が著しい場合に使用する。また、小土被りのトンネルなど崩落を生じた場合に陥没に発展するなどリスクが大きい場合にも、予防策として使用される。鏡ボルトには、一打設長6 m以下の短尺のものとそれを超える長尺のものがある。

短尺の鏡ボルトは、掘削により緩んだ鏡面の岩塊を奥部の岩盤に固定するものである。ボルト長としては2～6 mが用いられるが、4 m程度のものが多い。連続的な補強効果を期待して、ボルト全長の半分程度の残長を確保して鏡面からオーバーラップして打設する。鏡ボルトの採用により、核残しの核の奥行き長を短くすることができる。これにより、支保パターンのロックボルトをより切羽近くで施工することが可能となり、支保効果の向上を期待できる。

長尺鏡ボルトでは、一般に3～5mのボルトをネジ式のカプラなどで継ぎ足して、長さ12.5mなどの長尺ボルトとして使用する。ボルトの材料としては、機械掘削時の切断しやすさを考慮してGFRPが採用されることが多い。一方、切削されたボルト材料をずりと分別して回収する必要から、これを容易にする目的で、スリット式鋼管タイプが使用されるようになってきた。同様な目的と補強効果の即効性を期待して、連結式鋼管膨張型ボルトも使用された事例がある。

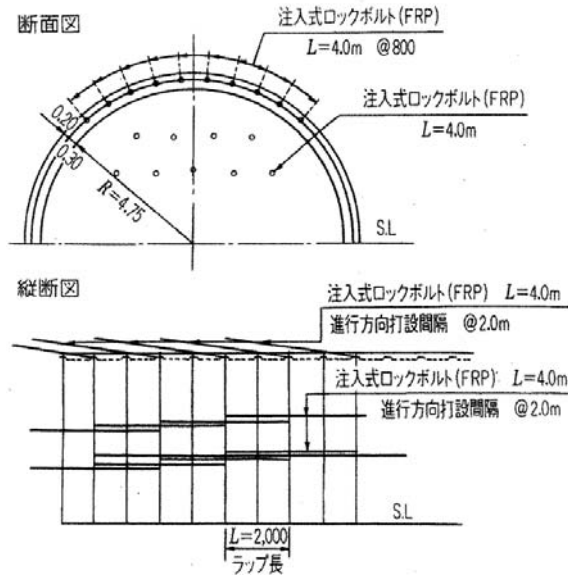


図 13-7 短尺鏡ボルトの施工例

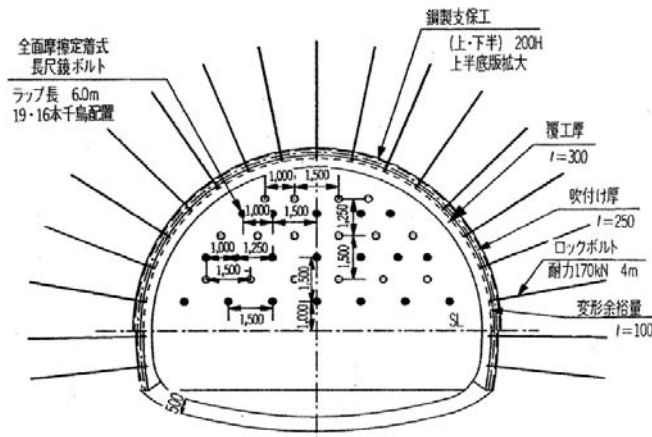


図 13-8 連結式鋼管膨張型ボルトタイプの長尺鏡ボルトの施工例

13-3 薬液注入による施工管理

薬液注入材を採用する場合は、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について」（建設省事務次官通達 S49.7.10）によるものとする。

なお、ウレタン注入材については、「山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン(案)」日本道路公団 (H4.10)によるものとする。

山岳トンネルの
補助工法
(H21) P181～182

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11) P222～223

14 観察・計測

14-1 観察・計測の目的

トンネルの掘削に伴う周辺地山の挙動と各支保部材の効果を把握し工事の安全性及び経済性を確認することにある。

14-2 観察・計測の分類

トンネルの施工中に行う観察・計測は計測Aと計測Bに分類する。

- (1) 計測A……地山および支保構造が異常な挙動をしてないか、安定しつつあるか等の判断材料を得るために、トンネル延長方向に一定の間隔で実施する。
- (2) 計測B……使用している支保部材や施工法が妥当かどうかを判断し、主にそれ以奥のトンネルの設計・施工を合理的・経済的なものとするために実施する。

計測工Aおよび計測工Bの調査項目と内容を表14-1に示す。

表 14-1 調査の項目と内容

| 計測項目 | | 計測によって求められる主な事項 | 計測種別 |
|-------------------------------|--|---|----------|
| 坑内観察調査 | | ①切羽の自立性、素掘面の安全性 ②岩質、断層破砕帯、褶曲構造、変質帯などの性状把握 ③吹付けコンクリート等、支保工の変状把握 ④当初の地山区分の再評価 | 注1) A |
| I 原位 置調 査・ 試 験 | 坑内弾性波速度測定 | ①当初の地山区分の再評価 ②緩み領域 ③地層の亀裂、変質の程度 ④岩盤としての強度の把握 | 注1) B |
| | ボーリング調査 | ①岩質、断層破砕帯、褶曲構造、変質帯、ガスなどの性状把握 ②地山試験試料の採取 | |
| | ボーリング孔を利用した諸調査、検層 | 地耐力（標準貫入試験）、水圧、透水試験（湧水圧試験）、変形係数（孔内水平載荷試験） | |
| | 岩盤直接せん断試験 | 地山の初期せん断強度（ c, ϕ ）、残留強度（ c', ϕ' ）、変形係数（D） | |
| | ジャッキ試験 | 変形係数（D）、地盤反力係数（K） | |
| II 地山 試料 試験 | 一軸圧縮試験 | 一軸圧縮強度（ σ_c ）、静ヤング率（ E_s ）、静ポアソン比（ ν_s ） | 注2) B |
| | 超音波伝播速度測定 | P波速度（ v_p ）、S波速度（ v_s ）、動ヤング率（ E_d ）、動ポアソン比（ ν_d ） | |
| | 単位体積重量試験 | 単位体積重量（ γ ）、含水比（ ω ） | |
| | 吸水率試験 | 吸水率 | |
| | 圧裂引張試験 | 圧裂引張強度（ σ_t ） | |
| | クリープ試験 | クリープ定数（ η ） | |
| | 粒度分析試験 | 土砂地山の場合、切羽の安定性の判断資料とする 泥岩、温泉余土などの場合、膨張性の判断資料とする | |
| | 浸水崩壊度試験 | 軟岩の場合、水に対する安定性の判断資料とする | |
| | 三軸圧縮試験 | 粘着力（ c ）、内部摩擦角（ ϕ ）、残留強度（ c', ϕ' ） | |
| | X線回折試験 | 粘土鉱物の種類（膨張性粘土の有無） | |
| 陽イオン交換容量（CEC） | 粘土鉱物の含有量の推定 | | |
| III 計測 | 天端沈下測定 | トンネル天端の絶対沈下量を監視し断面の変形状態を知り、トンネル天端の安定性を判断する | A |
| | 内空変位測定 | 変位量、変位速度、変位収束状況、断面の変形状態により、①周辺地山の安定性 ②支保工の設置、施工の妥当性 ③覆工の打設時期などを判断する | A |
| | 地表沈下測定 | 坑口部や土かぶりの小さい区間でトンネル縦断方向に地表面の沈下量を測定し、トンネル掘削の地表面への影響とトンネルの安定性を評価する | A |
| | 坑内地中変位測定 | トンネル周辺の緩み領域、変位量を知り、ロックボルトの長さ、設計、施工の妥当性を判断する | B |
| | ロックボルト軸力測定 | ロックボルトに生じたひずみから、ロックボルト軸力を算出し、効果の確認、ロックボルト長ロックボルト径の適否を判断する | B |
| | 吹付けコンクリート応力測定 | 吹付けコンクリートに作用する背面土圧、吹付けコンクリート内応力から、支保効果の確認、増吹き等の必要性等を判断する | 注3) B |
| | 地表・地中の変位測定 | トンネル掘削による地表への影響、沈下防止対策の効果判定、トンネル周辺の緩み範囲を推定する | B |
| | 鋼アーチ支保工応力測定 | 鋼アーチ支保工応力により支保工の大きさ、ピッチの適否を判断する さらに鋼アーチ支保工に作用する土圧の大きさ、方向、側圧係数（K）を推定する | |
| | 覆工応力測定 | 二次覆工コンクリートの安定性、双設トンネルの相互干渉の有無を確認する | |
| | 盤ぶくれ測定 | インバートの必要性、効果の判定をする | |
| A E 測定 | 山はね現象の発生の危険度を評価する | | |
| ロックボルト引抜き試験 | ロックボルトの定着効果を確認し、引抜き耐力から適正な定着方法や、ロックボルトの種類を選定を目的として実施する | 注4) | |

道路トンネル観察・計測指針
(H21.2) P12～13

注1) 計測種別Aは日常の施工管理のために必ず実施すべき計測をいう。計測種別Bは地山条件の応じ、計測Aに追加して選定される計測をいう。なお、計測種別が空欄のもの、あるいは本表に示されていない試験、計測項目についても、必要と認められるものについては実施する。

注2) 地山試料試験の試験項目は地山条件に応じて選定する。

注3) 吹付けコンクリート応力測定のうち、トンネル半径方向の測定を背面土圧測定、接線方向の測定を吹付けコンクリート内応力測定とよぶ。

注4) ここでいうロックボルト引抜き試験は、施工前あるいは掘削の初期段階で実施するものであり、日常の施工管理としてのロックボルト引抜き試験は、計測Bとしては取り扱わない。

14-3 計測A

計測Aは、日常の施工管理のために必ず実施すべき計測項目で下記項目を計画するものとする。

- (1) 坑内観察調査
- (2) 天端・脚部沈下測定
- (3) 内空変位測定
- (4) 地表沈下測定(坑口部および土被りの小さいトンネル)

① 天端・脚部沈下、内空変位の測定の間隔と頻度

天端・脚部沈下および内空変位測定は、同一断面において実施することを原則とする。

表 14-2 測定の間隔

| 条件 地山等級 | 坑口付近 | 土かぶり 2D以下 (D:トンネル掘削幅) | 施工初期 の段階 ^{注)} | ある程度施工 の進んだ段階 |
|------------|------|--------------------------|---------------------------|------------------|
| A, B | 10m | 10m | 20m | 必要に応じて実施 |
| C I, C II | 10m | 10m | 20m | 30m |
| D I, D II | 10m | 10m | 20m | 20m |
| E | 10m | 10m | 10m | 10m |

注) 施工初期の段階とは、200m程度の施工が進むまでの段階をいう。

表 14-3 測定の間隔

| 頻度 | 測定位置と 切羽の離れ | 変位速度 | 摘 要 |
|-------|----------------|----------|--|
| 2回/1日 | 0~0.5D | 10mm/日以上 | 測定頻度は、変位速度より定まる測定頻度と切羽からの離れより定まる測定頻度のうち高い方を採ることを原則とする。 |
| 1回/1日 | 0.5~2D | 5~10mm/日 | |
| 1回/2日 | 2~5D | 1~5mm/日 | |
| 1回/1週 | 5D以上 | 1mm/日以下 | |

注) Dはトンネル掘削幅

② 測定位置

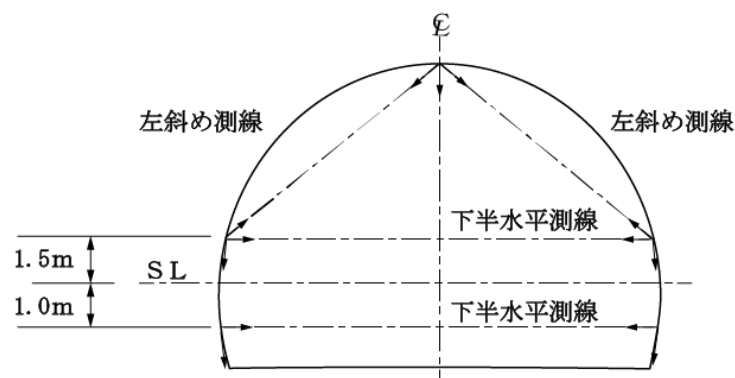


図 14-1 測定位置の例

道路トンネル観察・計測指針 (H21.2) P20~

道路トンネル観察・計測指針 (H21.2) P33

道路トンネル観察・計測指針 (H21.2) P35

道路トンネル観察・計測指針 (H21.2) P32

測点を設置する上で、以下のような点に留意するとよい。

- ア 地山がよく、変位が非常に小さい場合や小断面を掘削する場合には、下半盤の水平測線を省略してよい。
- イ 変位が大きい場合や偏圧が著しい場合、盤ぶくれ等の特殊地山、あるいは大断面トンネルでは、必要に応じてアーチ肩部の左右等に測点を追加して測定する。
- ウ 中壁分割工法の場合には、中壁に測点を追加して測定する。ただし、通常の2車線断面トンネルの場合には上半盤の高さがSL付近の位置になるが、大断面トンネルの場合には上半盤の高さがSL付近の位置になるとは限らない。このような場合、測線の位置は上半盤の底盤から1.0～1.5m程度の高さの位置に設定する必要がある。

③ 地表沈下測定

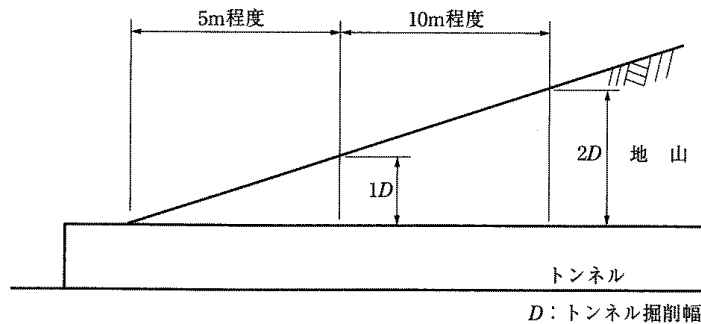


図 14-2 地表沈下の測定間隔

坑口部および土被りの小さいトンネルで地表面沈下測定を行う場合は、トンネル中心線上に測点を設けることを標準とする。

地表面沈下の測定間隔を図 14-2 に示す。なお、土被りが 2D 以上であっても、地質、地下水、偏圧等を考慮し、地表面沈下が予想される場合は、随時、地表面沈下測定を行う。

測定は、切羽掘削による沈下の影響が現れる以前から沈下が収束するまで継続する。

14-4 計測 B

計測 B は、地山条件に応じ計測 A に追加して選定する計測項目で下記項目等があるが、大きな塑性地圧や破碎帯等で計測が必要となる場合は主務課と協議するものとする。

- | | |
|------------------|------------------|
| (1) 原位置調査・試験 | (7) 鋼アーチ支保工応力測定 |
| (2) 地山試料試験 | (8) 覆工応力測定 |
| (3) 坑内地中変位測定 | (9) 盤ぶくれ測定 |
| (4) ロックボルト軸力測定 | (10) AE測定 |
| (5) 吹付コンクリート応力測定 | (11) ロックボルト引抜き試験 |
| (6) 地表面・地中の変位測定 | |

(注) ロックボルト引抜き試験は、施工前あるいは掘削の初期段階で実施するものであり、日常の施工管理としてのロックボルト引抜き試験は、計測 B としては取り扱わない。

15 その他構造物の設計

15-1 避難連絡坑

避難連絡坑は併設される上下線トンネル相互間を連絡するもので、トンネル内に設置される非常駐車帯の反対側側壁部に設ける。この設計にあたっては、原則として「8 支保工の設計」等の諸規定に準じて行うものとし、その内空断面は図 15-1 を標準とするが、長大トンネル等については別途考慮し、主務課と協議するものとする。

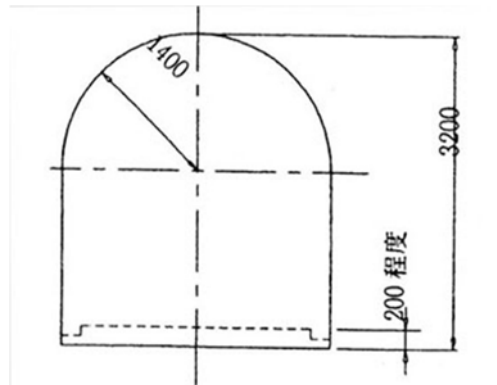


図 15-1 避難連絡坑の内空断面

避難連絡坑の計画高は、排水勾配、本坑への取り付け等を検討して決定するものとし、その出入口部は利用者の非常時における進入脱出に支障を来さないように本坑との接続部の段差を小さくするものとする。また、連絡坑内は斜路化に努め、延長が長い場合には途中で踊り場を設けたり、勾配が急な場合は手摺りを設けるなど、避難者の安全に設計上の配慮を行うものとする。(図 15-2 参照)

しかし、トンネル間の高低差が大きい等で斜路とすることに問題がある場合には階段で計画することができるが、その勾配は 1/2 以下を標準とし、やむを得ない場合でも蹴上げ寸法 16 cm 以下、踏み面寸法 26 cm 以上とする。また、階段部の高さが 3 m を超える場合には、高さ 3 m 以内毎に 2 m 程度の踊り場を設けるものとする。

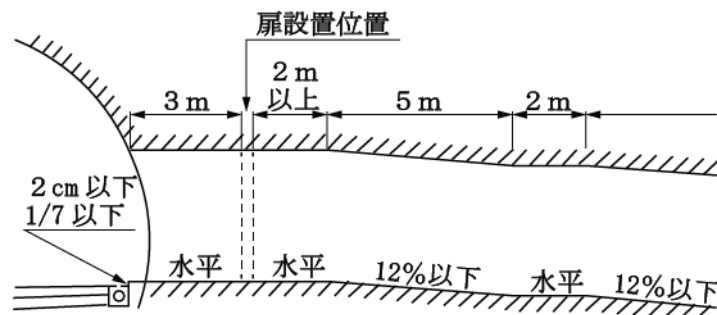


図 15-2 標準的な斜路の例

なお、避難連絡坑と本坑との交差は原則として直交とするが、施工上の便宜を図る上で斜交とすることもできる。

対面通行で暫定的に供用されるトンネルにあつては、下記のとおり避難連絡坑を設置するものとする。

- (1) 避難連絡坑は、700～800m程度の間隔でⅡ期線に向けてⅠ期線施工時にある程度掘削するものとし、原則としてⅠ期線の将来追越車線側の非常駐車帯と対の位置に設置にするものとする。

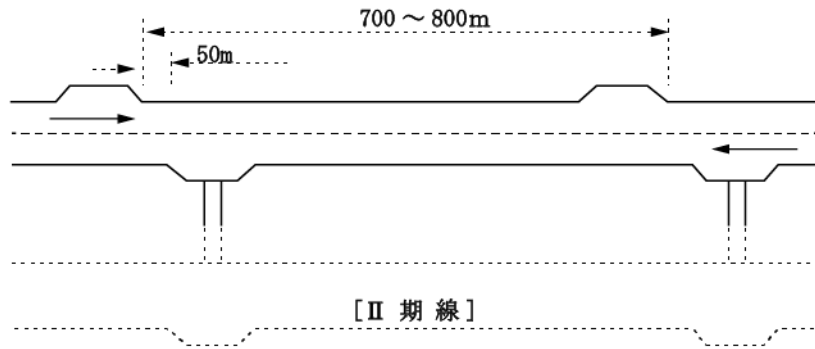


図 15-3 避難連絡坑 (1)

- (2) 避難坑を設けるトンネルにあつては、設置間隔が 300～400m程度になるようにⅠ期線の将来追越車線側非常駐車帯と対の位置およびその中間付近に避難連絡坑を設置するものとする。

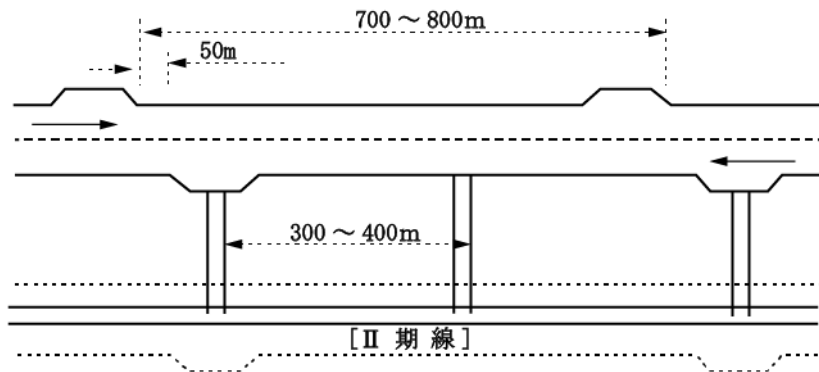


図 15-3 避難連絡坑 (2)

15-2 諸設備のための箱抜き

トンネルの側壁部等には、照明設備や非常用設備、換気設備等の機器を埋設・設置するための空間（箱抜き）を設けるものとする。

箱抜きは、地山の状況等に応じて適宜位置を変更しても良いが、当初設計及び「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」等を踏まえ、適切な位置を選定すること。

設計にあたっては、箱抜きの形状や機器の配置がトンネル毎に異なるので、それぞれの詳細設計に示された形状や配置の条件に従って行うものとする。

箱抜きの形状寸法の小さいものについては、一般に覆工等の補強は必要としないが、形式寸法の大きな箱抜き（例えば、非常電話ボックス）は、覆工等に悪影響を及ぼすこともあるので、必要に応じて覆工等の補強を考慮しておかなければならない。

なお、機器立ち上げ部の配管については埋め込み式とすることを標準とする。

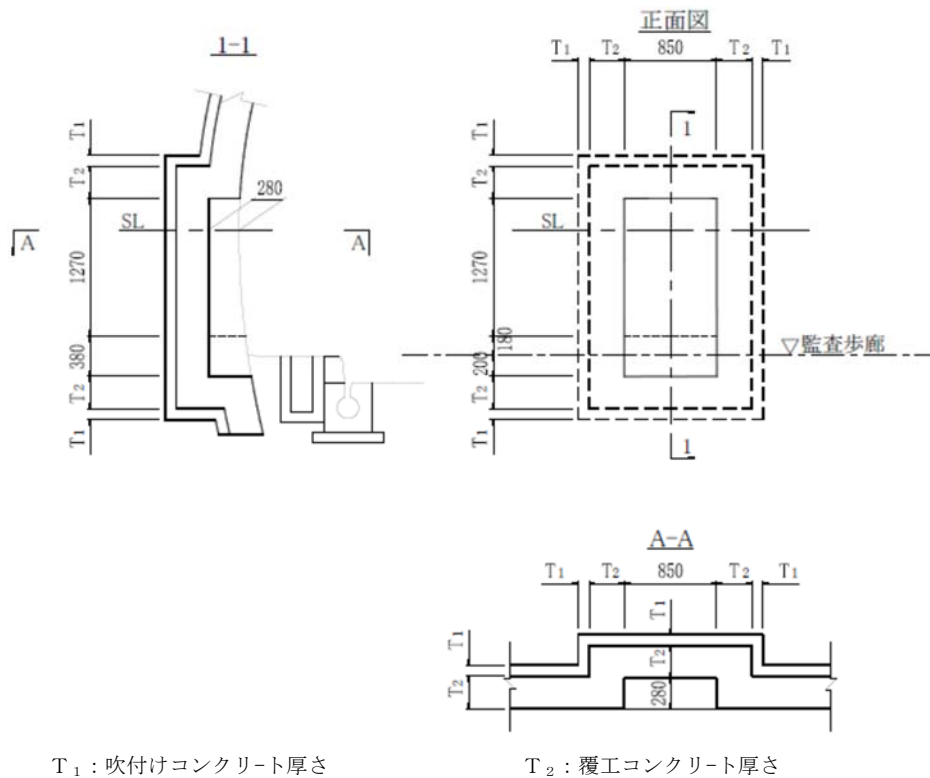


図 15-3 押ボタン式通報装置+消火器（内装工なし）

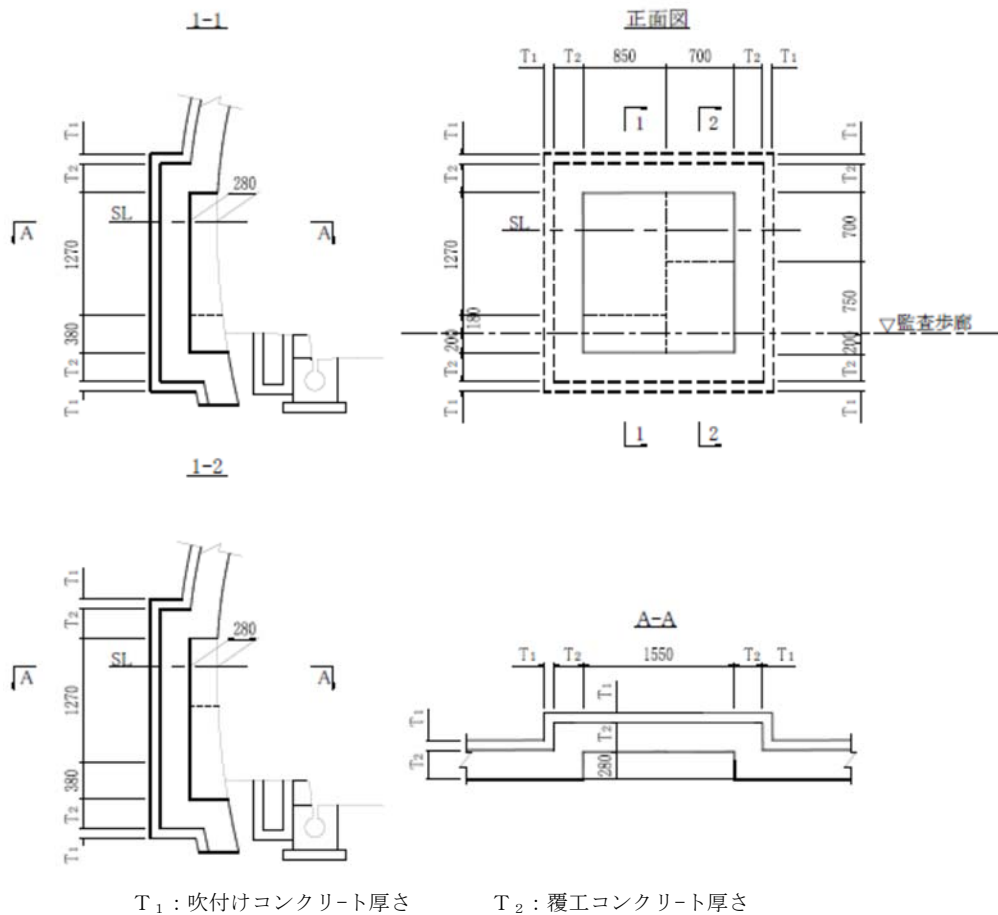


図 15-4 非常電話+押ボタン式通報装置+消火器

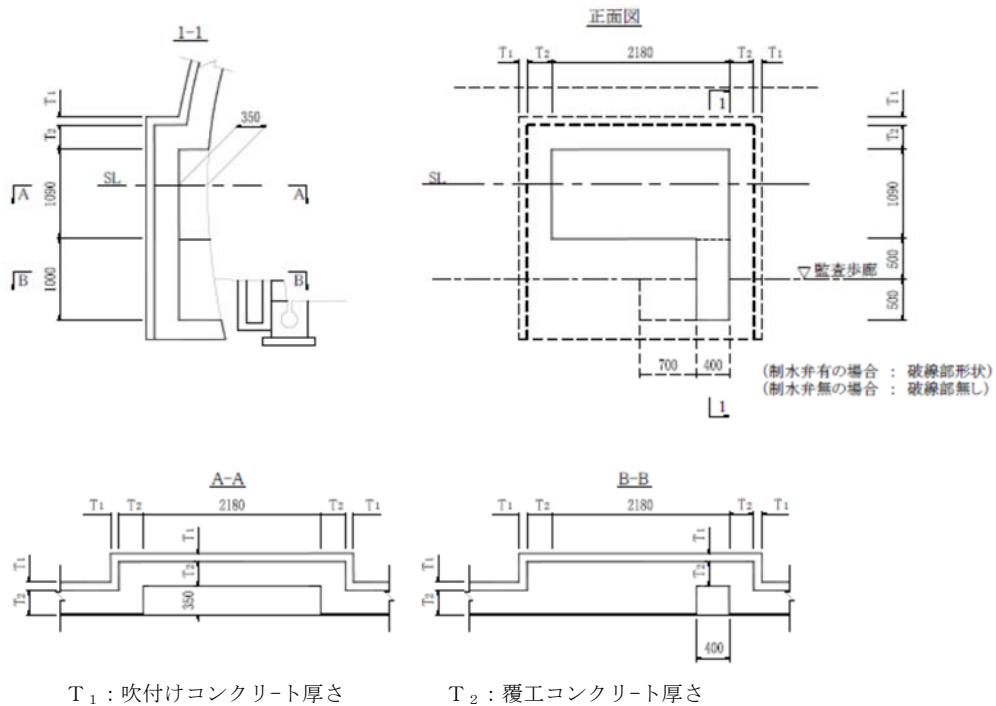


図 15-4 押ボタン式通報装置+消火器+消火栓 (内装工なし)

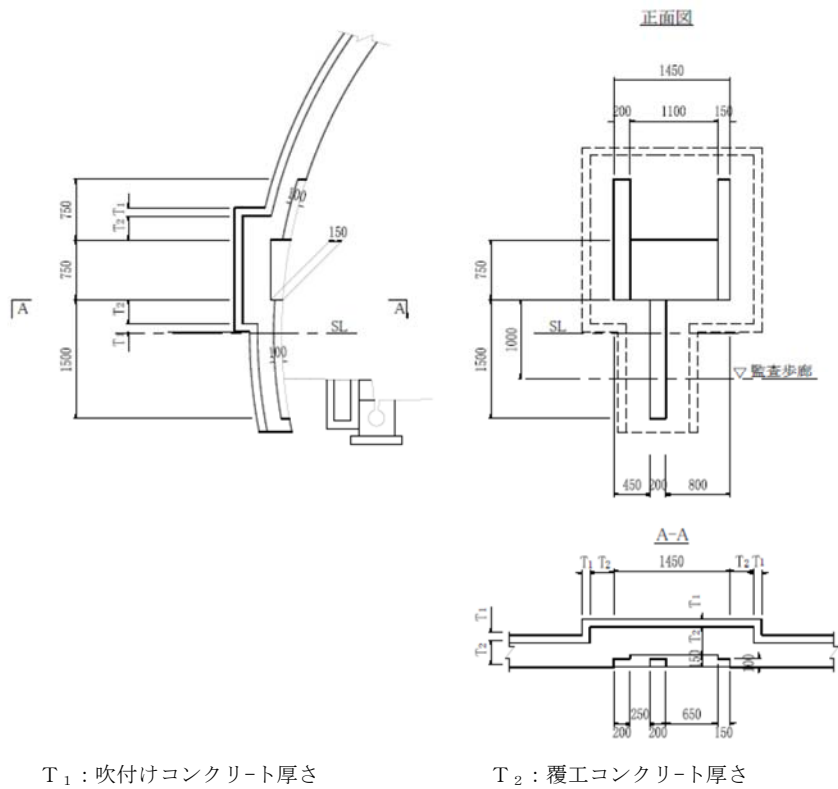


図 15-8 (1) 煙霧透過率測定装置 (VI 計) (受光部 内装工なし)

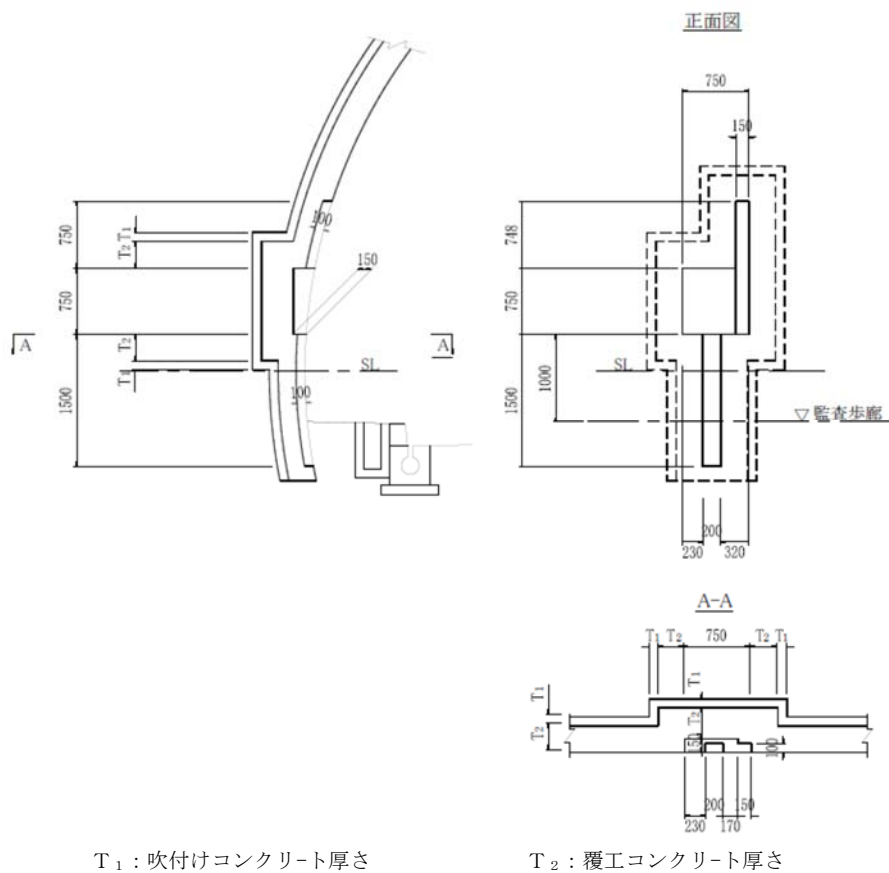


図 15-8 (2) 煙霧透過率測定装置 (VI 計) (投光部 内装工なし)

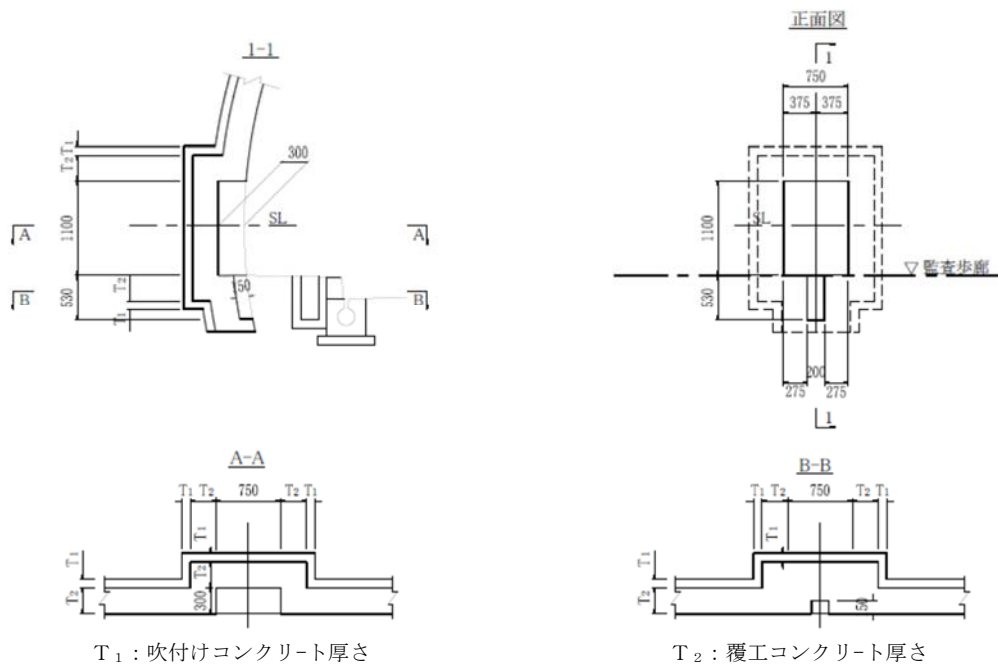


図 15-9 一酸化炭素検出装置 (CO 計) (内装工なし)

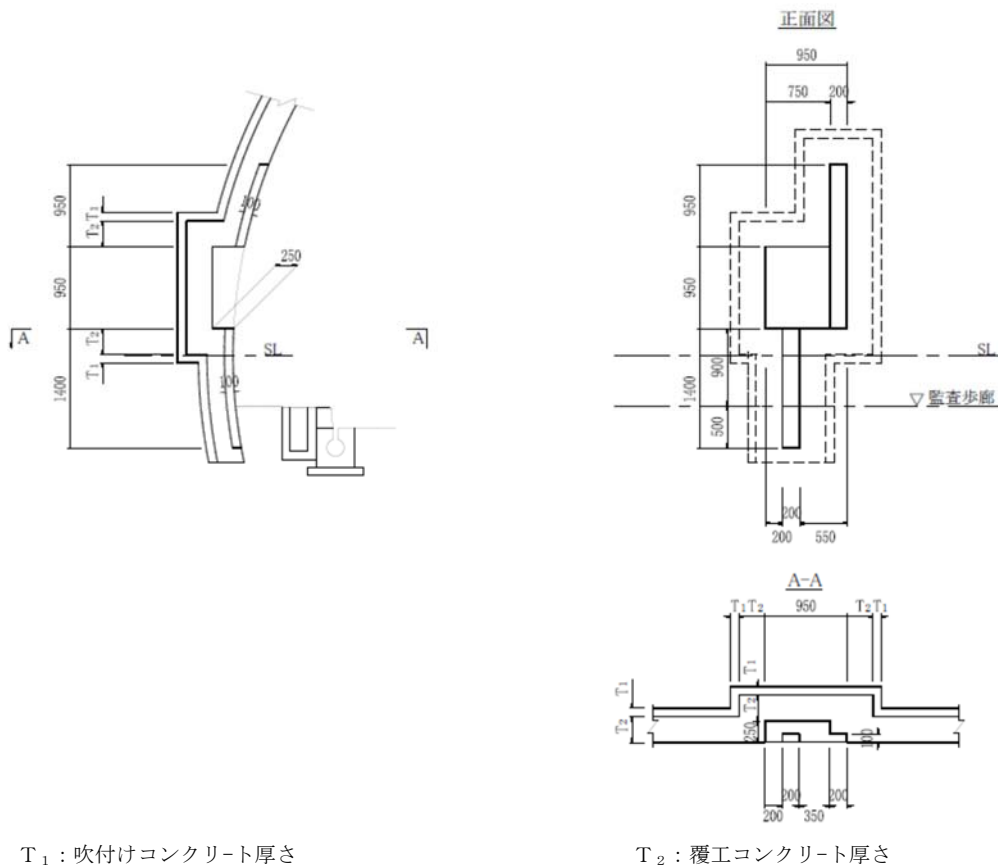


図 15-10 風向風速測定装置 (WD 計) (内装工なし)

16 トンネル照明設計

(1) トンネル照明施設設計に用いる基準書等

トンネル照明施設の設計は、「道路照明施設設置基準・同解説」(H19.10)、「電気通信施設設計要領・同解説(電気編)平成25年版(トンネル照明)」、「道路・トンネル照明器材仕様書」(平成27年改版)等によるものとする。

(2) 設置計画

延長50mを超えるトンネルには入口部照明等を含む照明施設を設置するものとする。また、延長50m以下のトンネルにおいては、基本照明の夜間の平均路面輝度を満たす照明を設けるものとする。

(3) 光源の選定

光源は、「道路・トンネル照明器材仕様書」に規定された性能を満足するものとし、ライフサイクルコスト等を勘案して選定するものとする。

また、光源の種類は単一光源に限らず、これらの光源を組み合わせで使用することもできる。

(4) 器具の選定

照明器具は直付け型または埋め込み型で、「道路・トンネル照明器材仕様書」に規定された性能を満足するものとする。

(5) 照明方式、照明器具の配列、取り付け高さ

照明方式は原則として対称照明方式とする。ただし非対称照明方式の有する特徴を考慮し、道路構造、交通状況によっては、非対称照明方式も選定できる。

配列方式は向き合わせ配列あるいは千鳥配列を標準とするが、状況に応じて片側配列または中央配列とすることもできる。

器具は、建築限界外の路面上4～5m程度以上の高さとなる位置に、取り付けられる。

(6) 基本照明の性能指標

① 平均路面輝度

基本照明における平均路面輝度は表16-1を標準とするが、交通量が10,000台/日未満の場合は1/2に低下させてもよい。ただし0.7cd/m²未満であってはならない。

② 輝度均斉度

総合均斉度0.4以上を原則とする。(車線軸均斉度0.6以上を推奨する。ただし、一般国道で設計速度60km/h以下の場合に、交通量により平均路面輝度を低減しているトンネルの車線軸均斉度はこの限りでない。)

③ 視機能低下グレア

視機能低下グレアは、相対閾値増加15%以下を原則とする。

④ 誘導性

適切な誘導性が得られるよう、灯具の高さ、配列及び間隔等を決定すること。

電気通信施設設計要領・同解説(電気編)
(H25) P4-88

電気通信施設設計要領・同解説(電気編)
(H25) P4-90

道路照明施設設置基準・同解説
(H19.10) P68～69

道路照明施設設置基準・同解説
(H19.10) P70

道路照明施設設置基準・同解説
(H19.10) P68

道路照明施設設置基準・同解説
(H19.10) P68

表 16-1 基本照明の平均路面輝度

| 設計速度 (km/h) | 平均路面輝度 (cd/m ²) |
|-------------|-----------------------------|
| 100 | 9.0 |
| 80 | 4.5 |
| 70 | 3.2 |
| 60 | 2.3 |
| 50 | 1.9 |
| 40 以下 | 1.5 |

(7) 照明の調光

基本照明の平均路面輝度は夜間等においては、表 16-1 に示す値よりも低い値(夜間 1/2, 深夜 1/4 程度まで)とすることができるが、この値は最低でも 0.7cd/m², 総合均斉度 0.4 を下回らないものとする。

また、野外輝度が変化した場合には野外輝度にあわせて入口照明の路面輝度を 2 又は 4 段階に調光することができる。

(8) 灯具間隔

灯具間隔は、路面の輝度均斉度を守るとともに、ちらつきによる不快感を与えないよう考慮する必要がある。ただし、明暗輝度比が 10 以下の場合や、走行時間 30 秒以下の短いトンネル及び入り口照明区間では問題にしなくてよい。

表 16-2 ちらつき防止のために避けるべき灯具間隔

| 設計速度 (km/h) | 灯具間隔 (m) | 設計速度 (km/h) | 灯具間隔 (m) |
|-------------|----------|-------------|----------|
| 100 | 1.5~5.6 | 60 | 0.9~3.3 |
| 80 | 1.2~4.4 | 50 | 0.8~2.8 |
| 70 | 1.1~3.9 | 40 | 0.6~2.2 |

(9) 保守率

照明施設は、経年による光源の光束低下や器具の汚れにより路面輝度が設置当初の値よりも減少するため、設計時にあらかじめこれを見込んでおく必要がある。この係数を保守率というが、この値は道路構造、交通状況、ランプの交換間隔やその方法、清掃間隔によって異なり、標準値は 0.5~0.75 とされている。本要領では「電気通信施設設計要領・同解説(電気編)」の基準に従い表 16-3 に示す値を標準とする。

表 16-3 保守率

| 日交通量 a | 20,000 ≤ a | 10,000 ≤ a < 20,000 | 5,000 ≤ a < 10,000 | a < 5,000 |
|--------|------------|---------------------|--------------------|-----------|
| 保守率 | 0.55 | 0.6 | 0.65 | 0.7 |

道路照明施設設置基準・同解説 (H19.10) P68

道路照明施設設置基準・同解説 (H19.10) P92

道路照明施設設置基準・同解説 (H19.10) P75

道路照明施設設置基準・同解説 (H19.10) P108~109

(10) 停電時照明

電気設備の故障などによるトンネル内の停電時には、通常の電源以外の電源によって照明を行わなければならない。停電時照明の電源には、蓄電池方式と自家発電方式とがあるが、採用に当たっては照明施設以外の電力使用施設との関係もあるため、経済性や保守性を総合的に検討した上で選定するものとする。

また、この照明は停電後 10 分以上持続するものとする。

道路照明施設設置基準・
同解説
(H19.10) P90

(11) 接続道路の照明

接続道路の照明は、夜間時トンネル入り口付近の道路幅員の変化や、出口に接続する道路の線形や障害物の存在を明示するために必要である。このため、トンネルに続く道路には坑口から 15m 付近の進入車線側に照明灯を 1 基設置するものとする。ただし、坑門と交差点や橋梁が近接する場合等で、その設置位置が合理的でないと判断される場合には適当な位置に変更できる。

道路照明施設設置基準・
同解説
(H19.10) P91

(12) 非常駐車帯の照明

非常駐車帯は、トンネル内で故障等を起こした車両の駐車場所であり、簡単な修理を行う場所であるので、その照明は光源に蛍光灯を用い、平均路面照度は、基本照明と合わせて 50Lx 以上を標準とする。

道路照明施設設置基準・
同解説
(H19.10) P89

(13) 配線・配管設計

配線設計は、器具の負荷容量、電圧降下、電源供給方式等を考慮して、「内線規定」等に従って行うものとする。なお、使用ケーブルの最小断面積は 2.0 m^2 とする。

配管設計においては、ケーブルの被覆絶縁物を含む断面積の総和が管の内断面積の 32% 以下になるようにしなければならない。また、管路材は硬質ビニル電線管あるいは合成樹脂可とう電線管を標準とする。

電気通信施設設計要領・
同解説(電気編)
(H25) 4-118

17 トンネル非常用設備

(1) トンネル非常用設備設計に用いる基準書等

トンネル非常用設備の設計は、「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」(H13.10)によるものとする。

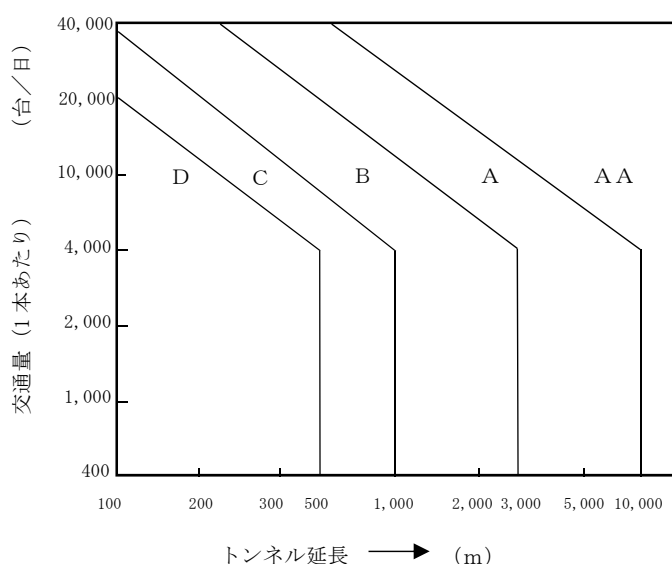
道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P9

(2) 施設設置計画

トンネルの等級区分及びトンネル等級別の非常用施設の設置標準は次のとおりである。

① トンネルの非常用施設設置のための等級区分は、その延長及び交通量に応じて図17-1に示すように区分する。

ただし、高速自動車国道等設計速度が高い道路のトンネルで延長が長いトンネルまたは平面線形、もしくは縦断線形の特に屈曲している等見通しの悪いトンネルにあたっては一階級上位の等級とすることが望ましい。



道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P9, P14

図17-1 トンネル等級区分

② トンネルには、火災その他の非常の際の連絡や危険防止、事故の拡大防止のため、トンネル等級区分に応じて、表17-1に示す施設を設置するものとする。

A等級以上のトンネルは、トンネル非常用施設の設置の必要性、または設置する機器の仕様等について消防や警察と事前協議すること。

表 17-1 トンネル等級別の非常用施設

| 非常用施設 | | トンネル等級 | | | | |
|---------|------------------|--------|---|---|---|---|
| | | AA | A | B | C | D |
| 通報・警報設備 | 非常電話 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 押ボタン式通報装置 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| | 火災検知器 | ○ | △ | | | |
| | 非常警報装置 | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 消火設備 | 消火器 | ○ | ○ | ○ | | |
| | 消火栓 | ○ | ○ | | | |
| 避難誘導設備 | 誘導表示板 | ○ | ○ | ○ | | |
| | 排煙設備又は避難通路 | ○ | △ | | | |
| その他の設備 | 給水栓 | ○ | △ | | | |
| | 無線通信補助設備 | ○ | △ | | | |
| | ラジオ再放送設備又は拡声放送設備 | ○ | △ | | | |
| | 水噴霧設備 | ○ | △ | | | |
| | 監視装置 | ○ | △ | | | |

(注) 上表中「○印は原則として設置する」、「△印は必要に応じて設置する」ことを示す。△については、事前協議を必ず実施すること。

(3) 各施設の配置計画

① 通報・警報設備

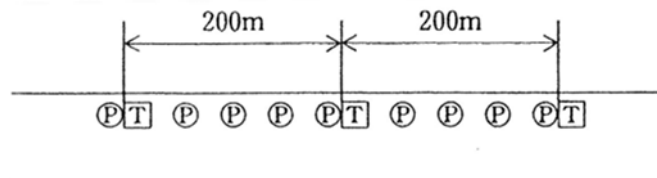
ア 非常電話

非常電話設備は、電話機とその位置を明示するための表示灯などにより構成される。

送受話器の取り付け高さは、利用者が容易に取り扱えるように、送受話器の高さを路面または監視員通路面より 1.2~1.5m にすることが適切である。

設置間隔は一方通行および対面通行の場合で片側 200m 以下とする。ただし、対面通行トンネルにおいて片側 200m 間隔の千鳥配置としている例もある。なお、案内板は電話を設置する側に 25m 間隔で設置する。(図 17-2 参照)

電話機は、NTT の技術基準に適合したもので、NTT からの支給品とする。



凡例・・・ P : 押しボタン式通報装置, T : 非常電話

図 17-2 非常電話の設置間隔

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P9, P14

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P22

イ 押ボタン式通報装置

押ボタン式通報装置は、押ボタンスイッチと赤色表示灯で構成される。

押ボタンスイッチの取り付け高さは、利用者が容易に操作取り扱いはできるように、路面または監視員通路面より0.8～1.5mにすることが適切である。設置間隔は一方通行および対面通行の場合で片側50m間隔を標準とする。ただし、対面交通トンネルにおいて片側100m間隔の千鳥配置としている例もある。

また、設置箇所に消火栓、消火器箱及び非常電話が設置される場合には、箱抜きの一体化を考えて併設することが望ましい。

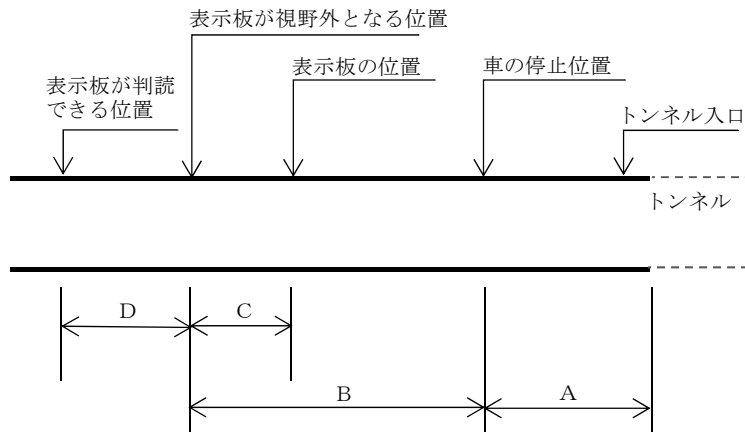
ウ 火災検知器

光式火災検知器とし二波長式ちらつき型火災検知器またはCO₂共鳴式ちらつき型火災検知器とする。

取付間隔は25m、取付高1.2～1.5mで片側配列を標準とする。

エ 非常警報装置

警報表示板の設置位置は、トンネル坑口付近で、トンネル利用者などが表示内容を十分視認し、安全に停止できるような位置に設けるものとし、図17-3に走行速度と警報表示板の設置位置の関係例を示す。



| 項目 | 設計速度 | |
|----------------------------------|-----------------|------------------|
| | 一般道路 60 km/h | 高速道路 100 km/h |
| A：停止余裕距離（料金所なし） | 50m | 50m |
| B：車の制動距離（反応距離+ブレーキを踏んで停止するまでの距離） | 85m | 200m |
| C：表示が運転者の視野となる距離 | 30～40m | |
| A+B-C：トンネル坑口と表示板の距離 | 95～105m | 210～220m |
| D：判読所要距離（4文字とする） | 50m | 83m |
| C：D：最小限の視認距離 | 80～90m | 113～123m |

図17-3 警報表示板位置図の例（参考）

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P24～27

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P34

② 消火設備

ア 消火器

消火器は、手さげ式粉末ABC型(6kg型)が一般的であり、2本を1組として消火器箱内に格納するものとする。

消火器箱の材質はステンレス鋼製を標準とする。

消火器の配置位置は、一方通行および対面通行トンネルにおいて片側50m間隔を標準とする。ただし、対面通行トンネルにおいて片側100m間隔の千鳥配置としている例もある。

設置高さは、他の非常用施設の配置との関連、持ち出しやすい高さ及びトンネル形状などとの関係を考慮して決定する。

イ 消火栓

消火栓は、口径40mm、放水量130L/min、放水圧力0.29MPaを標準とし、ホース長さは30mを標準とする。

消火栓箱の材質はステンレス鋼製を標準とする。

消火栓箱の外側は原則として赤色蛍光塗装仕上げとする。消火栓の設置位置は、片側50m間隔を標準とする。

消火栓箱は、材質及び塗装を前項の消火器箱と同様とする。

ウ 消火ポンプ

消火ポンプは、電動機直結駆動の渦巻きポンプを標準とし、送水対象となる消火栓、給水栓等に対して必要な同時放水量を必要圧力で送水できるものとする。

エ 貯水槽

給水源は、公共用上水道を一般的とするが、公共用上水道による水源の確保が困難な場合は、トンネル湧水、井戸、沢水等から年間を通じて必要量の確保が確実にできるよう検討計画すること。

貯水槽は、各消火設備に対しての基準容量に若干の余裕を加え十分な容量となるよう計画すること。

オ 送水配管

配管は、必要な水量と圧力に耐えるものとし、車両による振動、不等沈下、凍結及び弁開閉等によるウォーターハンマ等に対して十分安全なもので維持管理も考慮した配管計画を行うものとする。

③ 避難誘導設備

ア 誘導表示板

設置間隔は両側200m以下を標準とするが、配置は対向および千鳥の例がある。

設置高さは一般的には1.5m程度の高さに設置している例が多い。

誘導表示板には、内照式と反射式があり、内照式を採用する場合は蛍光灯を光源とし、停電時対策として内蔵型の無停電電源装置により30分以上の機能を維持できるものとする。

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P40～45

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(H13.10) P46～51

④ その他の設備

その他の設備として通報・警報設備・消火設備および避難誘導設備を補完し、消火活動を容易にするための設備をトンネルの防災等級に応じて設置するものとする。

なお、設置に当たっては、前記の基準書によるものとする。

(4) 配管・配線

① 配管

ア 縦断部は歩道又は監査廊部の地中とする。

イ 機器への立上がり，立下り部は埋込を原則とする。

ウ コンクリート内埋設配管とする場合は、耐衝撃性硬質ビニル電線管（HI）とする。

② 配線

ア 電源線はCVを原則とする。

イ 信号線はCPEV，CVVを原則とする。

電気通信施設設計要領・
同解説（電気編）
(H25) 1-10

18 換気設備

18-1 換気設備の設計に用いる示方書等

換気設備の設計にあたっては、次の関係図書等に準拠して行うものとする。

表 18-1 関係図書

| 関係図書 | 発行年月 | 発行者 |
|---------------------------------|---------|--------|
| 道路トンネル技術基準 | H15. 11 | 日本道路協会 |
| 道路トンネル技術基準（換気編） 以下「換気基準」・同解説 | H20. 10 | 日本道路協会 |
| 道路構造令の解説と運用 | H27. 6 | 日本道路協会 |
| 道路の交通容量 | S59. 9 | 日本道路協会 |

18-2 調査・計画

18-2-1 一般

道路トンネル換気計画は、トンネル建設の全体計画の一環として、交通量の推移、トンネル本体の建設計画等を勘案し、綿密に行わなければならない。その手順の一例を示すと、下記のとおりである。

- (1) トンネルのルート選定
- (2) 換気設計上必要な資料の収集
- (3) 所要換気量の算定
- (4) 換気の基本計画の作成(換気方式の選定)基本換気方式におけるトンネル周辺への影響照査
- (5) 断面計画および風量・風圧計算
- (6) 非常用設備計画……排煙設備の確認
- (7) 設備諸元の決定
- (8) 換気機器等の製作・施工
- (9) 運転調整

18-2-2 調査

換気施設の計画にあたっては、交通・気象・環境および地形・地物・地質等について調査を行わなければならない。

- (1) 交通量調査
「交通量および大型車混入率、交通特性等の調査」
- (2) 気象調査
「自然換気力の算定のための坑口間差圧、風速、風向の調査」
ただし、現実に難しい場合は、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説による一般値を用いても良い。

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) P4~9

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) P10~13

(3) トンネル内現況調査

「既設のトンネルにおける場合の交通量，CO 濃度，煤煙濃度および換気機器の運転状態の調査」

供用中のトンネルにおいて，換気機器の増設等を計画する場合には，実施することが望ましい。

(4) トンネル外環境地用

「換気により生ずる排気ガス，騒音等の影響が及ぶと思われる範囲の環境調査」

(5) 地形・地物・地質調査

「換気所および立坑，斜坑等の換気用，構造物の位置選定のための調査」

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) P10～13

18-2-3 設計に用いる交通量

設計に用いる交通量は，次のとおりとする。

- (1) 換気施設の設計に用いる交通量は，当該トンネルの設計交通容量を用いることを原則とする。ただし，当該道路の設計時間交通量が設計交通容量を大幅に下回る場合には，交通量として設計時間交通量を用いることができる。なお，交通の集中性等により渋滞走行が予想される場合には，これらの状況においても最低限の換気状態が確保されるかどうか等について，検討することが望ましい。

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) P14

18-2-4 換気の対象物質および濃度

(1) 換気対象物質

トンネル換気施設設計の対象とする有害物質は，次のとおりとする。

- ・生理的な影響を及ぼす物質……一酸化炭素 (CO)
- ・視野環境に影響を及ぼす物質…煤煙

(2) 設計濃度

換気施設の設計に用いる煤煙および一酸化炭素の設計濃度は，トンネル内の交通の安全性および快適性並びに維持管理作業の安全性を確保するために必要な値とするものとし，当該道路の走行速度に応じ，次の表に示す値を標準とする。

なお，歩道を有するトンネルで，且つ，歩行者が多い場合は，歩行者を対象とした設計濃度を別途設定しても良い。

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) P19

表 18-2 走行速度に応じた一酸化炭素の設計濃度

| 設計速度 | 煤煙の設計濃度 (100m透過率) | 一酸化炭素の 設計濃度 |
|------------|----------------------|----------------|
| 80 km/h 以上 | 50% | 100ppm |
| 60 km/h 以下 | 40% | |

※ 走行速度は，Q-V図より設計速度を V_s/V_D を乗じて算定するものとする。

また，渋滞走行時の設計濃度は，走行速度およびトンネル内滞留時間等から設定することが望ましい。

18-2-5 換気施設の必要性の検討

(1) 対面通行トンネル

対面通行のトンネルにおける交通換気力は交通量および方向別の交通量の変動により時々刻々変化する。このため、自然換気の効果を一律には決めがたいのが実情である。既往の実績から対面交通トンネルにおいて機械換気を行っているトンネルは、下図から次式で示される。

$$L \cdot N = 1000 \quad \dots \dots \text{式(18-1)}$$

ただし、L：トンネル延長 (km)

N：時間交通量 (台/h)

(2) 一方通行トンネル

一方通行トンネルの場合、交通換気の効果が一方向に作用するため、自然換気の限界は対面通行トンネルに比べて飛躍的に拡大される。

既往の実績によると、一方通行トンネルにおいて機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度となっている。

$$L \cdot N = 3000 \quad \dots \dots \text{式(18-2)}$$

ただし、L：トンネル延長 (km)

N：時間交通量 (台/h)

なお、式(18-2)は平均的なトンネルにおける自然換気の一つの目安であり、勾配が急なトンネル、延長が長いトンネル、大型車混入率が高いトンネル、渋滞が発生しやすいトンネルなどの特殊な場合の適用に当たっては、特に注意が必要であり、別途、検討することが望ましい。

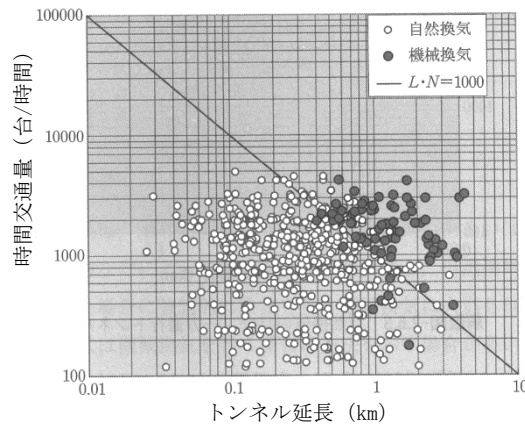


図 18 自然換気の目安
(対面通行トンネル)

19 内装工

19-1 概説

トンネル内装工には運転者が安全に走行できるための視環境の改善及び、視線誘導を目的とする一般内装と坑口付近の騒音低減を図ることを目的とする吸音内装とがある。吸音内装は特殊であるため個別に検討するものとし、ここでは一般内装の標準的な基準を示す。

19-2 設置基準

トンネル内装工は、原則として図 19-1 に示す内装等級区分 I，及び II のトンネルに設置するものとする。ただし、この範囲外にあっても

- (1) 幾何構造が厳しい。
- (2) 大型車混入率が高いことが予想される。
- (3) トンネル区間が連続する。

等の路線にあつて、その必要性が高い場合は内装工を設置できるものとする。

なお、内装等級区分の検討には、供用時より20年後の推定交通量（トンネル1本当たり）を使用するものとする。

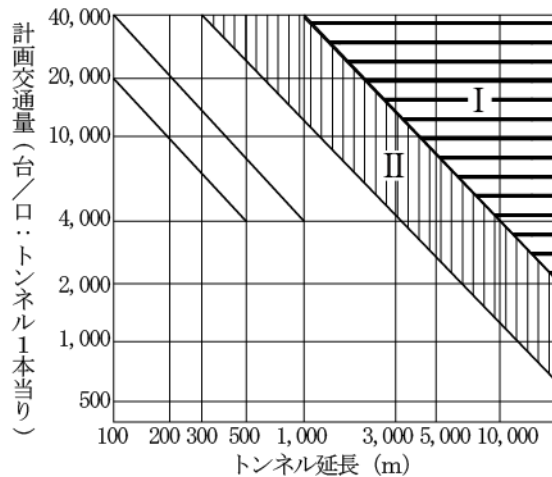


図 19-1 内装等級区分

表 19-1 内装等級の定義

| 内装等級 | 適用範囲 |
|-------|----------------------------|
| 区分 I | 図 19-1 に示す I に属する範囲のトンネル。 |
| 区分 II | 図 19-1 に示す II に属する範囲のトンネル。 |

19-3 設置範囲

トンネル内装工の設置範囲は、当該トンネルの諸条件を考慮し、表 19-2 に示す区分に従って設置するものとする。

表 19-2 内装等級と設置幅

| 内装等級 | 路面からの高さ(a) | 設置幅(d) |
|------|------------|--------|
| I | 3.5m | 3.25m |
| II | 2.5m | 2.25m |

(注1) 設置幅は図 19-2 の b, c, d を参照。
 (注2) 具体的な設置高さについては、「トンネル標準設計図集」トンネル付帯工内装工図を参照。

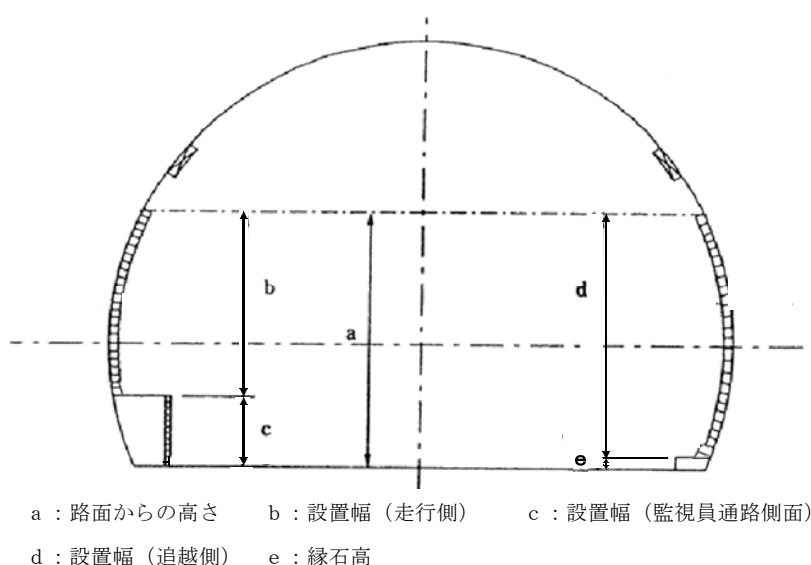


図 19-2 内装工設置範囲

19-4 内装材料

19-4-1 内装材料

内装材料は道路条件、設置箇所、施工性、経済性、長期的な耐久性を総合的に判断して選択するものとする。

表 19-3 トンネル内装工検討対象材料

| | |
|--------------|----------------|
| ① タイル直張り | ⑤ アルミニウム系金属板 |
| ② 繊維補強化セメント板 | ⑥ タイルパネル系 |
| ③ ホーロー系金属板 | ⑦ セラミック系大型板 |
| ④ ステンレス系金属板 | ⑧ その他 (塗装系を含む) |

19-4-2 内装取り付け方法

内装工の取り付け方法はタイル、パネル系とも直張り方式を標準とする。

表 19-4 内装板の設置方法と材料の種類（実績）

| 番号 | 名称 | 設置方法（施工法） | 内装板の材種 | 取り付け位置 |
|----|--------|--|-----------|-------------------|
| ① | タイル直張り | (a) 接着剤張り | タイル | 監視員通路側壁部 |
| | | (b) モルタル張り | タイル | 覆工側壁部 |
| ② | パネル直張り | (a) 接着剤張りとアンカーボルトの併用 (b) 上下部を押さえ金具とアンカーボルトで覆工面に固定 | 繊維強化セメント板 | 監視員通路側壁部 覆工側壁部 |
| | | | ホーロー板 | |
| | | | ステンレス板 | |
| | | | その他 | |

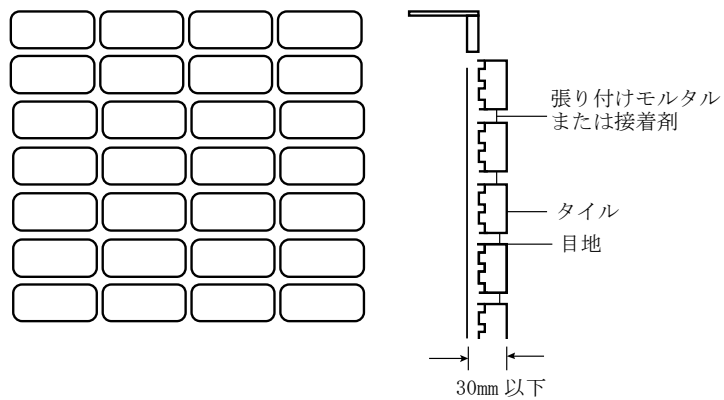


図 19-3 タイル直張り

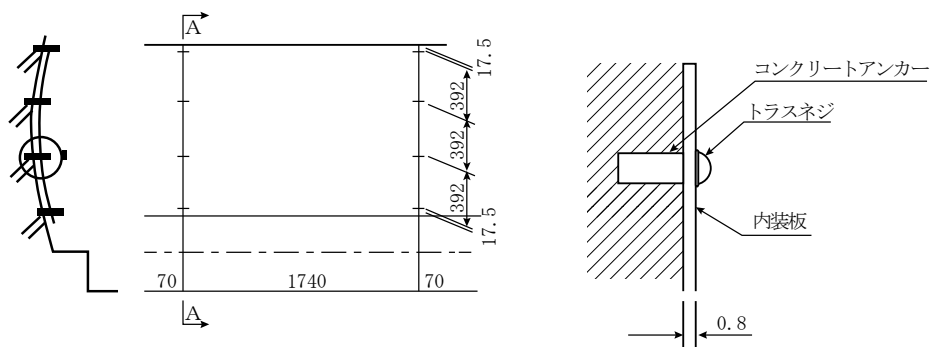


図 19-4 パネル直張り（ホーロー板の例）

19-4-3 材料規格

(1) タイル直張り

タイル直張りする場合の構造および材料規格は次のとおりとする。

① タイル規格

タイル直張りに使用するタイルは、磁器質、施ゆう、外装タイル（JIS A 5209）の磁器質タイルを標準とする。タイルの裏足の高さは表 19-5 による。

表 19-5 タイル裏面の裏足の高さ

| 施工法 | 裏足の高さ |
|---------|----------|
| モルタル張り用 | 1.5 mm以上 |
| 接着剤張り用 | 1.0 mm以上 |

② タイルの表面反射率

表面反射率の測定は、JIS A 5400 7.5 の 45° 0° 法による試験法とし、初期値は 65%以上とする。

③ 寸法・色

タイルの寸法は、二丁掛け（227×60 mm）または 100 mm角二丁（目地共寸法 200×100 mm）を基本とし、色は白色・ブライトゆう菓を標準とする。

④ タイル接着強度

接着方法は全面接着とし、引張り接着強度は 0.40 N/mm²以上とする。

⑤ タイルの目地

目地処理は通し目地（いも目地）とし、水平目地 4 mm，縦目地 5 mmを標準とする。

⑥ シーリング

タイルの上端部と横断部はシーリング（JIS A 5758）を施工するものとする。

⑦ 安全衛生管理

施工中の安全衛生管理は、関連法規などに従って適切に行う。

(2) パネル系内装板

パネル系内装板の構造および材料規格は次のとおりとする。

① 耐火性

表 19-6 耐火性に関する事項

| 項目 | 基準値 | 備考 |
|-----|--------------------------------------|--|
| 耐火性 | 建設大臣が指定する「不燃材」であること。または「認定不燃材」であること。 | 建築基準法 建設省告示 1828 (S45. 12. 28) の 「不燃材料を指定する件」より 不燃材申請による認定。 |

② 内装材に作用する荷重およびその他の物性値

下地構造と一体となって通常作用する外力に耐え得る強度を有する材料を採用するものとし、その物性値は基本的に JIS A 5430 に規定されるスレートボードのフレキシブル板等で板厚 4 mm を標準とし、かつ表 19-7 に示す物性値を満足するものとする。

表 19-7 内装材料の強度および物性値

| 項目 | 基準値 | 備考 | |
|------------|----------|---------------------------|--|
| 内装板に関する事 | 曲げ破壊荷重 | 4.5N以上 | JIS A 1408 3.1 および JIS A 5430 の試験方法による。(3号供試体) |
| | たわみ (mm) | 10 以上 | JIS A 1408 3.1 の試験方法 |
| | 含水率 (%) | 10 以下 | JIS A 5430 |
| | 耐衝撃性試験 | 亀裂, 剥離貫通孔, および割れのいずれもないこと | JIS A 5430 参考 1 の試験方法 |
| 表面塗膜に関するもの | 色 | 白色系を標準とすること | |
| | 初期反射率 | 60%以上 | JIS A 5400 7.5 視感反射率測定方法 JIS Z 8722 |
| | 塗膜厚 (μm) | 30 以上 | |
| | 塗膜硬度 | 無機塗膜 3~4 以上 | モース強度 |
| | 耐薬品性 | 著しい変化のないこと | 5%硝酸。5%硝酸の酸滴下試験, 24時間放置後の目視観察 (JIS A 5707 6.8 の試験方法) |
| | 耐候性 | 異常なし | ウエザメーター試験 1,000時間 |

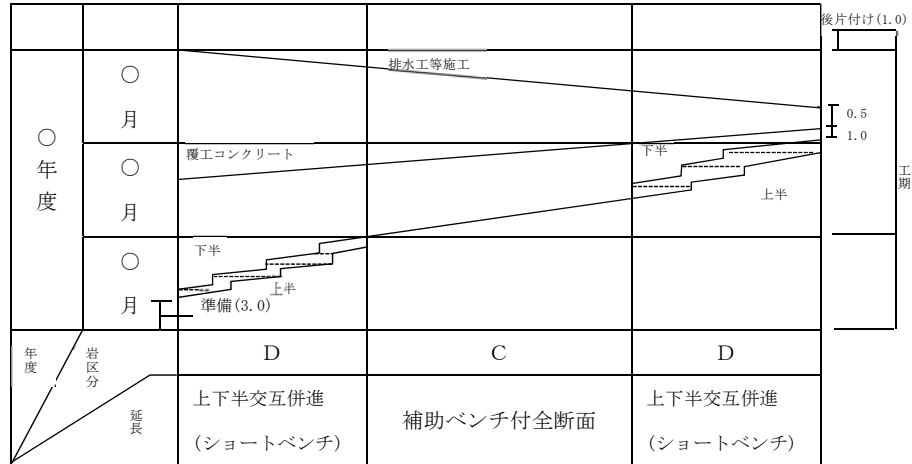
20 標準的な工程表作成の考え方

工程表の決定にあたっては、トンネル延長、地質、地形、掘削方式及び掘削工法等を考慮して決定する。

(1) 発破工法

必要工期＝補助ベンチ付全断面掘削期間＋上下半交互併進時の上半掘削期間＋上下半交互併進時の下半掘削期間＋1.5ヶ月（特別な場合は別）＋排水工等雑工期間＋準備及び後片付け

標準的な工程表作成の考え方（参考）



(2) 機械掘削工法

必要工期＝上半掘削期間＋2ヶ月（特別な場合は別）＋排水工等雑工期間＋準備及び後片付け

標準的な工程表作成の考え方（参考）

