

第 14 章 トンネル工

第 1 節 総則

1. 1 適用の範囲

- (1) 本章は、山梨県管内の 2 車線道路（内空幅 14.0m 程度まで）を対象とした山岳工法により施工される道路トンネルの設計に適用する。
- (2) 地山条件が特殊な場合や（1）と異なる条件の場合には、個々のトンネルの実情に合わせて検討し、適切な設計を行わなければならない。
- (3) 本章に記述の無い事項については表-14.1.1 に記す関係図書等によるものとする。

表-14.1.1 関係図書等

関係図書等	発行年月	発行者
道路構造令の解説と運用	平成 16 年 2 月	日本道路協会
トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説	平成 19 年 11 月	土木学会
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説	平成 15 年 11 月	日本道路協会
道路トンネル技術基準（換気編）・同解説	平成 20 年 10 月	日本道路協会
道路照明施設設置基準・同解説	平成 19 年 10 月	日本道路協会
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	平成 13 年 10 月	日本道路協会
道路トンネル観察・計測指針	平成 21 年 2 月	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧	平成 5 年 11 月	日本道路協会
道路土工 カルバート工指針	平成 22 年 3 月	日本道路協会
土木工事標準積算基準書	毎年発行	山梨県県土整備部
舗装設計施工指針	平成 18 年 2 月	日本道路協会
改訂 ずい道等建設工事における換気技術指針（設計及び粉じん等の測定）	平成 14 年 3 月	建設業労働災害防止協会
道路トンネル安全施工技術指針	平成 8 年 10 月	日本道路協会
電気通信施設設計要領・同解説（電気編）	平成 20 年 9 月	建設電気技術協会
道路・トンネル照明器材仕様書	平成 20 年 8 月	建設電気技術協会
【その他参考とする関係図書等】		
設計要領 第三集 トンネル編	平成 23 年 7 月	高速道路株式会社
設計要領 第七集 電気施設編・機械施設編	平成 22 年 7 月	高速道路株式会社
道路設計要領 第 4 集 トンネル	平成 23 年 5 月	北海道開発局
設計施工マニュアル（案） 河川・道路編	平成 15 年 4 月	東北地方整備局
設計要領 道路編	平成 18 年 4 月	北陸地方整備局
道路設計要領 設計編	平成 20 年 12 月	中部地方整備局
設計便覧（案） 第 3 編 道路編	平成 16 年 4 月	近畿地方整備局
土木工事設計マニュアル	平成 22 年 3 月	中国地方整備局
設計便覧（案） 第 3 編 道路編	平成 19 年 4 月	四国地方整備局
土木工事設計要領 第Ⅲ編 道路編	平成 23 年 7 月	九州地方整備局

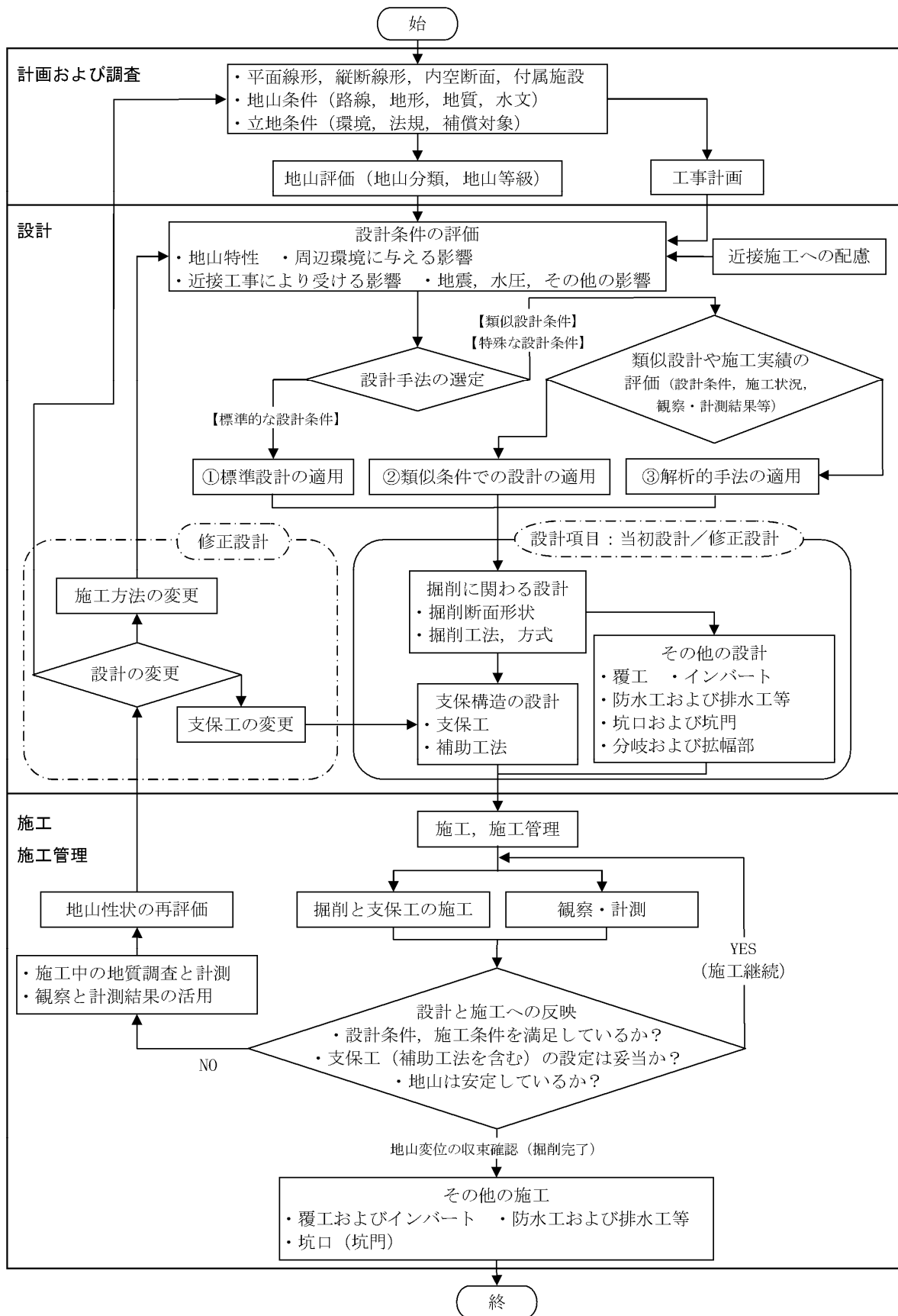
山岳トンネルに関する技術基準書は、「トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説：土木学会，平成 19 年 11 月」において，山岳工法を選定した場合における一般的原則が示され，「道路トンネル技術基準(構造偏)・同解説：日本道路協会，平成 15 年 11 月」では，道路トンネルの整備に関する一般的技術基準が示されている。これらを参考に，国土交通省の各地方整備局や高速道路株式会社などでは，それぞれ独自の指針として発刊されている。

したがって，本章においては，この標準示方書の基本理念を踏襲しつつ，山梨県の道路トンネルの設計に必要なと思われる具体的事項を「道路トンネル技術基準(構造偏)・同解説」および「道路工事標準積算基準 第VI編 道路 第5章トンネル工」を参考に，取りまとめた。

1. 2 設計・施工の流れ

設計は，設計条件を考慮し適切な手順で行わなければならない。また，施工中の観察や計測から設計が適切でないと判断された場合には，遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

山岳トンネルを建設する際の計画，調査から設計，施工，施工管理に至るまでの一般的な流れを，図-14.1.1に示す。



図一14.1.1 山岳トンネルの計画・調査・設計・施工・施工管理のフロー

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.6 平成19年11月 土木学会に加筆

1.3 設計の手順

当初設計の標準的な手順の例を，図-14.1.2 に示す。

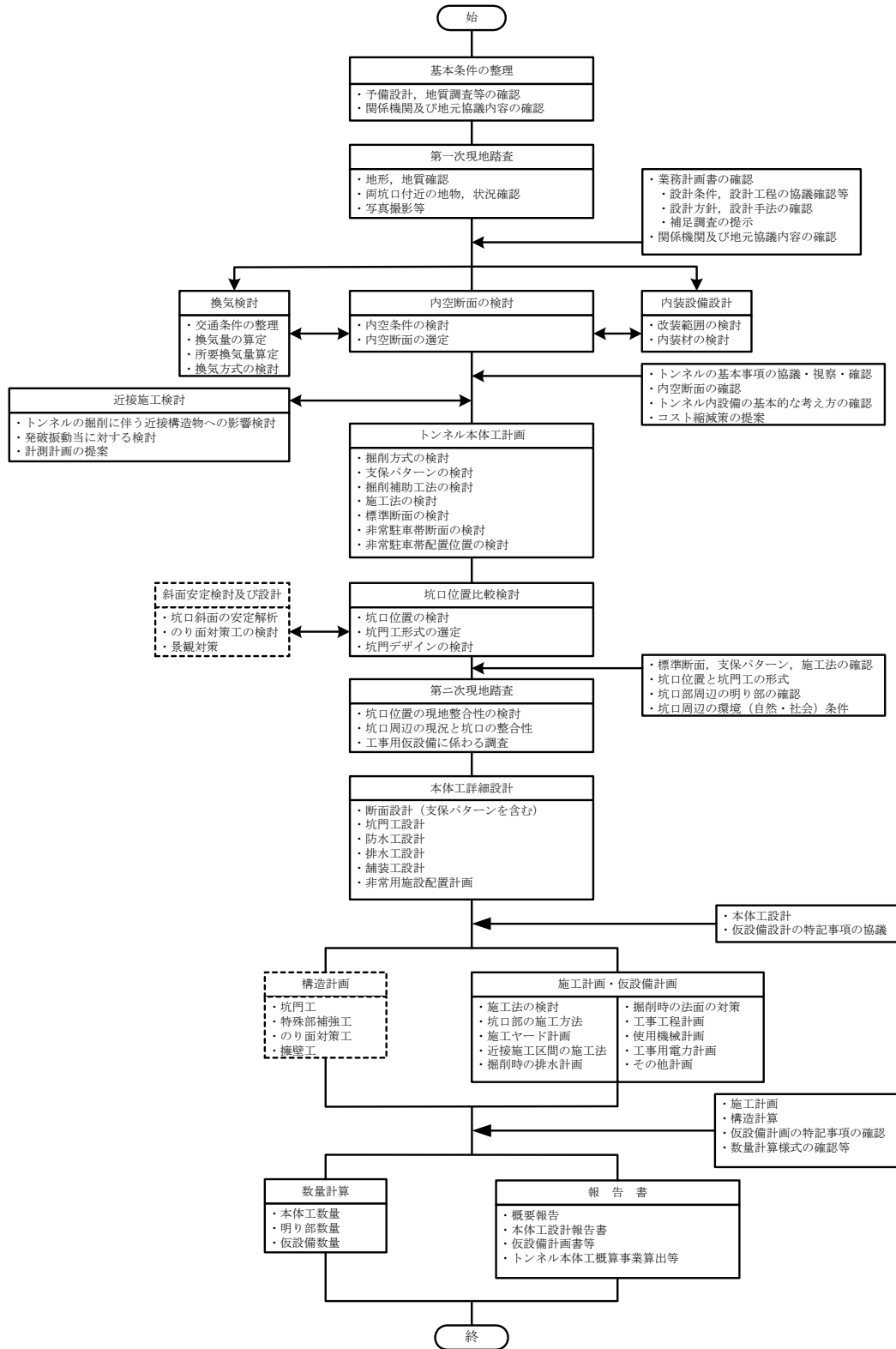


図-14.1.2 設計の手順

第2節 調査

2.1 調査の基本

トンネルの建設にあたっては、安全で合理的な計画、設計、施工および維持管理の基礎資料を得るため、トンネルの規模に応じて、建設の段階ごとに、系統的に地形、地質、環境等に関する調査を実施するものとする。

1) 調査の分類

トンネルの調査はその対象により次のように分類できる。

- ① 資料調査-----文献等による既存資料の収集
- ② 地山条件の調査-----地形調査，地質調査，水文調査
- ③ 立地条件の調査-----気象調査，環境調査，施工条件調査，関連法令などに関する調査

2) 調査の手順と要領

トンネルの建設段階とそれぞれの調査内容を表—14.2.1 に示す。

表—14.2.1 トンネル建設の各段階と必要な調査

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、その他環境などの条件に適合した路線の選定と概略の構造、施工法、施設計画など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・環境など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、施設計画、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など	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、破砕帯など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、立坑などの施工場所の条件
施工段階	施工中	施工を実施するとともに、支保構造などの現設計、施工法、環境保全対策など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などの状況、トンネルの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

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 P.17 平成 15 年 11 月 日本道路協会

2.2 資料調査

対象地域の地形・地質等の概要や特徴を把握するために、地形、地質、気象、災害、環境、土地利用および工事等に関する既往資料を収集するものとする。

既往資料による調査事項と着眼点を表-14.2.2 に記す。

表-14.2.2 既往資料による調査事項と着眼点

資料	調査事項	着眼点
地形	崖錐、地すべり、崩壊地などの分布、形状、規模および河川、溪谷の浸食形状など。	斜面形状、標高差、等高線の形状、谷密度、傾斜変換線など。
地質	地質・岩質の種類、地質系統、分布、地質構造、地下水など。	断層の位置、方向、規模、地層の走向、傾斜、坑口上方斜面の節理分布、方向など。
気象	各観測事項別地域特性の有無。	路面凍結、霧の発生、吹きだまりやなだれの発生など。
災害	災害地分布、頻度、規模など。	斜面崩壊跡、湧水地点など地形図に示されたものとの対比。
環境	対象物件の路線に対する位置関係や環境条件。土地利用その他の制約条件。	貴重な自然、遺跡、文化財、付近の民家、既設構造物など。
工事	地山条件、工法選択の理由など。	施工方法、土圧、湧水、環境など類似条件。工事中の工法変更の有無。特殊な工法の採用など。

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 P.22 平成15年11月 日本道路協会

2.3 地山条件の調査

調査は、計画・設計・施工の各段階および目的に適合した調査方法を選定し、順次精度を高めつつ実施しなければならない。

図-14.2.1 に地山条件に関する調査の流れを、表-14.2.3～表-14.2.5 に代表的な地質調査の特徴および水文調査の概要を示す。

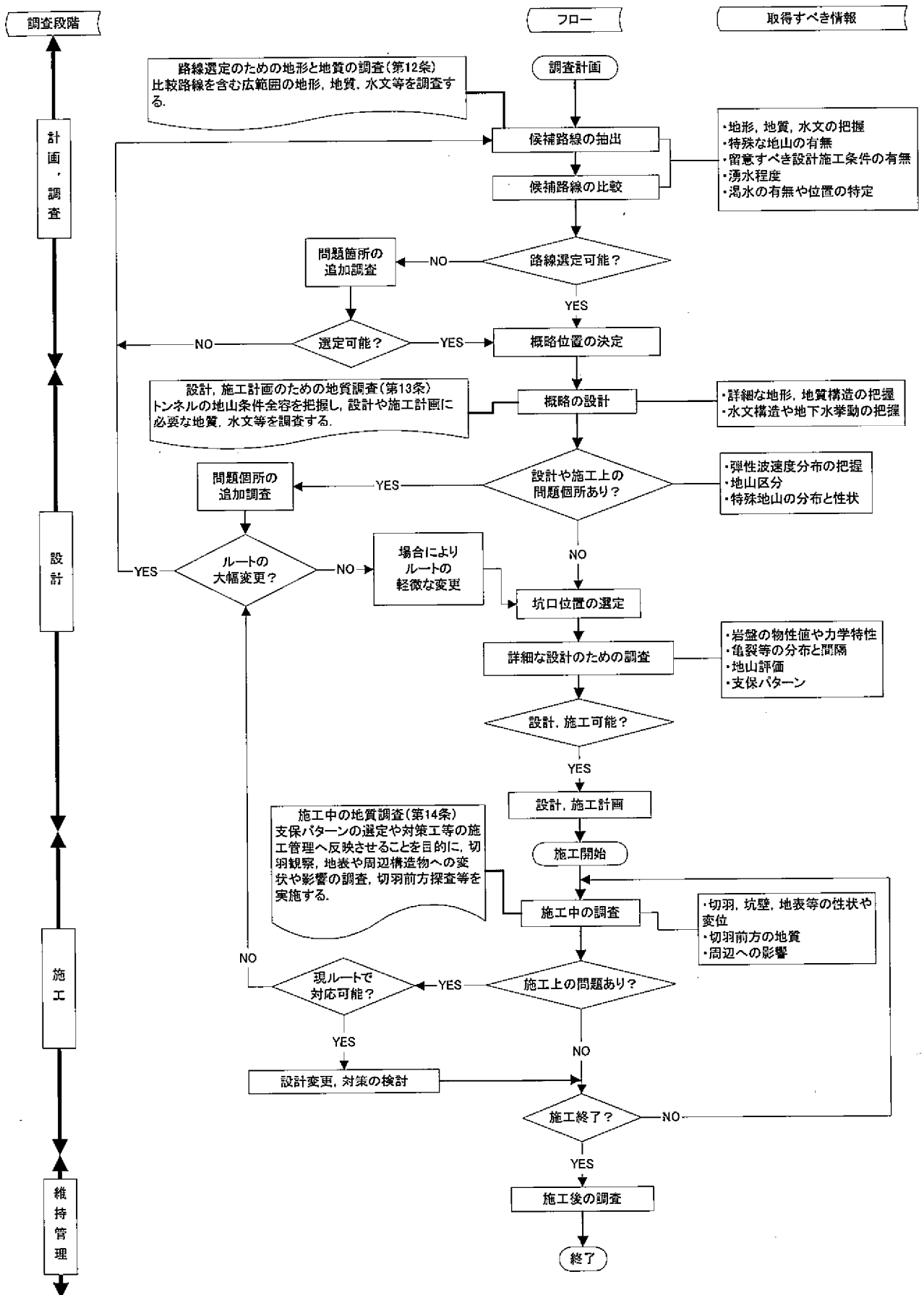


図-14.2.1 地山条件調査の流れ

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.15 平成19年11月 土木学会

表-14.2.3 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

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	調査の問題点	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, 施工性等の概要	①候補路線の選定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する ②地表調査およびその後の精密で明らかにすべき問題点を抽出 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	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, 周辺での工事記録等の既存資料が特に重要である。	◎	○	△	
空中写真判読	①表層地質, とくにトンネル坑口付近の不安定地形や地質 ②地質構造, とくに断層, 割れ目等の弱線 ③人工改変前の表層地質	④断層破砕帯, 地すべり地, 崩壊地, 未固結堆積物の表層地質の把握 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り, 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空中写真の縮尺による判読の精度や難易度が異なる。 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相対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基盤地質の分布, 性状 ③地質構造(褶曲, 断層等)の分布, 性状	①各種調査, 試験結果を合わせて地質平面図, 断面図などを作成し, 路線沿いの構成地質の分布, 性状を明らかにする 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一つの解釈図であり, 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合わせて, 別の角度からの踏査を実施することもある。 ④坑口部や活断層等の調査では, 範囲を限定した掘削やトレンチ等による精密な踏査が有効である。	◎	◎	○	
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帯等の位置, 規模, 速度値	①線状構造物であるトンネルの地質調査に非常に有効である。 ②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。 ③低速帯層が狭くなる場合には, 解析が不正確になる。 ④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, 他の調査結果と合わせて総合的に評価する必要がある。 ⑤層厚の薄い層の把握等は困難である。 ⑥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, 湧水圧とその水量 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	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, 質状況・亀裂状況等より地山分類, 掘削工法, 支保, 覆工などを検討 ③採取試料から室内試験により諸物性, 力学特性を取得	①地下の地質を直接観察でき, 最も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点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, ボアホールテレビによる諸観察, 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, 坑口付近の調査ならびに坑内切羽の前方地質の予測や水抜き孔として有効である。	◎	◎	◎	
孔内試験および検層	標準貫入試験	①地山のN値と硬軟あるいは締まり具合 ②土の試料採取, 構成土の判別, 分類	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。	◎	○	△
	孔内水平成層試験	・地山の変形係数, 弾性係数等	・地山の変形解析	①構成地質, ボーリングの孔径に見合った規模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潜水層での突発湧水, 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深度が大きくなると, 砂質土ではケーシングの立て込みが困難となる。	○	○	△
	速度検層, P S 検層	・地山の弾性波速度の鉛直分布	①速度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層層の把握	①地下水がないと測定できない場合がある。 ②地下水下面下では低速層層の測定ができない場合がある。 ③都市部では振源が限られる。	○	○	△
	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潜水層の地下水賦存状況の評価	①地下水下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。 ③比較的強いノイズ源を用いる必要がある。 ④校正曲線作成のための検定実験が必要である。	○	○	△
	密度検層	・地山の密度	・地山の湿潤密度, 乾燥密度, 孔隙率の状況とそれらの深さ方向の分布	①地山の安定性の定性的評価 ②不安定地層の深さ分布の把握	○	○	△
	キャリパー検層	・ボーリング孔の孔径の変化	①地山の安定性の定性的評価 ②不安定地層の深さ分布の把握	・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	・地下水流動層の把握	・地山中の地下水流動層の分布や流動性の把握	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極物質の腐蝕が困難となる。 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。	○	○	△
	ボアホールテレビ	①地層の成層状況 ②湧水状況	①切羽の安定性検討 ②湧水箇所性状検討	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	・測定結果は極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(単体重量, 弾性波速度, 圧縮強度等) ②構成岩石の鉱物化学的特性(粘土鉱物含有量, スレーキング特性等) ③構成土質の物理, 力学特性(粒組成, 含水比, 圧縮強度, 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地山弾性波速度と合わせて割れ目等による地山の劣化程度を把握 ③圧縮強度より地山の力学特性把握 ④膨張性地山の予測評価	①対象とする地山の問題点にあわせて試験項目を選定する。 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。	○	◎	○	

◎: 重点的に実施する ○: 実施する △: 必要に応じて実施する

出典: トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.17~18 平成 19 年 11 月 土木学会

表-14.2.4 地山条件, 調査項目と調査法の関係

地山条件	調査項目	地形		地質構造		岩質および土質				地下水		物理的性質		力学的性質		鉱物化学的性質		その他								
		地すべり	偏圧が作用する地形	土被り	地質分布	断層, 褶曲	岩質, 土質名	岩相	割れ目等分離面	風化, 変質	固結度	帯水層	地下水位	透水係数	弾性波速度	物理特性	圧縮強さ等の強度特性	変形係数等の変形特性	粘土鉱物	スレーキング特性	吸水, 膨張率	地熱	温泉	有害ガス	地下資源	
		○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	○	△	
地山条件 一般的な条件	硬岩および中硬岩	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	軟岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
	土砂	○	○	○	○	△	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
特殊な地山条件等	坑口周辺や他に部で地すべりや崩壊の可能性のある地山	○	○	○	○					○	○			○	○	○		○								
	小さな土被りの地山			○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	断層破砕帯, 褶曲じょう乱帯	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△		
	未固結地山			○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
	膨張性地山	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○				△	
	山はねが予想される地山			○						○	○				○	○	○		○							
	高い地熱, 温度, 有害ガス, 地下資源などがある地山			△	○	○	○	○	○	△		○			△	○	△	△	△		△	○	○	○	△	
高い水圧や大量水の発生が予想される地山				○	○	○	○	○	△	○	○	○	○													
調査法	資料調査	○	△	○	△	△	△	△															△	△	△	△
	空中写真判読	○	△		△	○		△	△																	
路線踏定	地表地質踏査	○	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○										△	△	△	△	
	弾性波探査	△			○	○			○	○	△														△	
	電気探査	△			△				△	△	○	○			△								△	△		
	ボーリング調査	○			○	○	○	○	○	○	○	○											△	△	△	△
設計・施工計画段階 ↳ 施工段階	孔内試験 および 検層	標準貫入試験									○					△	△									
		孔内水平載荷試験															△	△								
		透水試験										○		○										○		
		速度検層				△	△			○	○	△			○	△										
	室内試験	電気検層				△	△			△	△	○	△	△		△										
		ボアホールテレビ				△				○																
		単位体積重量試験														○										
		自然含水比														○					△	△				
		粒度試験														○										
		土粒子の比重試験														○										
		コンシステンシー試験														○										
		一軸圧縮試験									△	△					○	△					△			
		三軸圧縮試験															○	○					△			
		圧裂試験															△									
		点載荷試験															○									
		針貫入試験															○									
		透水試験												○												
超音波伝播速度試験														○	○	△										
スレーキング試験 (浸水崩壊度試験)	△																	△	○	△						
陽イオン交換容量試験 (CEC)	△																	○	△	△						
吸水膨張試験																		△	△	○						
X線回折試験																		○							○	

表中の記号: (地山条件) ○ 把握すべき, △ 場合によって把握すべき
(調査法) ○ 有効, △ 場合によって有効

出典: トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.21 平成19年11月 土木学会

表-14.2.5 水文調査の概要

項目	調査目的	調査内容	調査段階				
			路線選定段階	設計、施工計画段階	施工段階	維持管理段階	
水文調査の細分	資料	地形、地質、水文、地下水利用に関する資料を収集し、調査地域の水理地質構造、地下水の概要、問題点を把握し調査計画を立案する。	地形地質：水理地質構造 水文気象：降水量、気温等 地下水利用：井戸、用水等	◎	◎	△	△
	事例	地山条件の類似した地域、近接地域の既往工事を参考に、対象トンネルにおける湧水、湧水の規模の評価、調査方法の適用性を検討する。	既往工事の資料 地質、湧水量、施工状況 湧水影響範囲、対策工事	◎	◎	△	△
	水文地質	《帯水層の構造》 地下水の容器としての水理地質構造（帯水層の分布、規模）、地下水の性状（地層水、裂か水）等を水理地質図にとりまとめ、湧水地点、集水範囲を予測する。また、有効な水文地質調査計画を立案する。	地表地質踏査	◎	◎	○	△
			物理探査（電気探査等）	○	◎	○	△
			ボーリング調査	○	◎	○	△
			孔内検層	△	◎	○	△
《帯水層の特性》 帯水層の透水係数、貯留係数等の水理定数を評価し、水理学的手法により湧水量と集水範囲を予測する。	単孔式透水試験（ピエゾメーター法等）	△	◎	△	△		
	湧水圧試験、注水試験	△	◎	△	△		
	揚水試験、孔間透水試験	△	○	△	△		
	トレーサー試験、流向流速試験	△	△	△	△		
減水深調査	△	△	△	△			
水収支	調査地周辺の水循環系を把握するため水文気象、表流量、地下水位調査等を実施し、水収支の検討を行い、施工による地下水動態を予測する。	水文気象：降水量、気温	◎	◎	◎	◎	
		表流量：河川流量、湖沼貯水池、用水量、湧泉量	◎	◎	◎	◎	
		地下水位：観測井、既設井	◎	◎	◎	◎	
		蒸発散量	○	○	○	○	
		トンネル湧水量、湧水影響	△	△	◎	◎	
水文環境	上記調査から考えられる集水範囲および近接地域における水源と水利用の実態を把握し、施工による影響を予測する。	水源：湧泉、河川、湖沼、貯水池、井戸、有効雨量	◎	◎	○	○	
		水利用：上下水道、工業農業用水	○	◎	○	○	
予測手法	坑内湧水発生の有無、湧水量、湧水位置およびその集水範囲を予測する。予測手法の適用は、各調査、検討段階における情報の質や量、必要とする予測精度、内容に即して実施する。	施工事例による方法	◎	○	△	△	
		地形、水文地質条件による方法	○	◎	△	△	
		水理公式による方法	○	◎	△	△	
		数値解析による方法	△	△	△	△	

◎：重点的に実施 ○：実施する △：概略または必要に応じ実施

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.27 平成19年11月 土木学会

2. 4 立地条件の調査

必要に応じて、次に記す各調査を計画・設計・施工段階で実施しなければならない。

- (1) 気象調査
- (2) 環境調査
- (3) 施工条件調査
- (4) 関係法令等に関する調査

(1) について

- ① 降雨・降雪に関する調査
- ② 気温・湿度・水温・地中温度に関する調査
- ③ 風向・風速に関する調査
- ④ 霜に関する調査
- ⑤ なだれ・吹きだまり・出水に関する調査

(2) について

1) 自然環境調査

- ① 地下水・表流水調査
- ② 温泉・湧水・湖沼・湿原等の調査
- ③ 鉱物資源やガス，重金属汚染などの調査
- ④ 重要な動植物および生態系の調査
- ⑤ 重要な地形および地質の調査

2) 社会環境調査

- ① 土地利用状況（土地・建物・公園・風致地区など）の調査
- ② 既存構造物（家屋・ガス・水道など埋設物，既設の坑道など）の調査
- ③ 文化財・天然記念物・遺跡などの調査
- ④ 景観や人と自然とのふれあいの場の調査

3) 生活環境調査

- ① 濁水に関する調査
- ② 騒音・振動に関する調査
- ③ 地盤沈下に関する調査
- ④ 汚濁排水に関する調査
- ⑤ 大気汚染に関する調査
- ⑥ 交通障害に関する調査
- ⑦ 土壌汚染に関する調査

(3) について

工事用道路，工事用設備，土捨場等の計画に必要な調査

(4) について

- 1) 規制を受ける法令など（表-14.2.6）
- 2) 法令に基づく権利
 - ① 鉱業権（試掘権・採掘権など）
 - ② 水利権
 - ③ 温泉利用権
 - ④ 漁業権
 - ⑤ 地上権
 - ⑥ その他

表-14.2.6 トンネル工事に関連する主な法令など

分類	関係法	主な規制内容
環境保全関係	環境基本法	環境保全に係る施策
	大気汚染防止法	排出ガスに係る許容限度
	水質汚濁防止法	河川、湖沼、海などの公共水域に排出される水質の規制
	土壌汚染対策法	土壌汚染の状況の把握および汚染による人の健康被害の防止
	騒音規制法	特定建設作業および自動車騒音に関する規制
	振動規制法	特定建設作業および道路交通振動に関する規制
	各地方公共団体公害防止条例	各地方公共団体における公害防止施策のための各種基準
	自然環境保全法	原生自然環境保全地域内の行為の制限
	自然公園法	国立公園、国定公園、都道府県立自然公園内の行為の制限
	森林法	保安林指定地域内の作業の制限
	文化財保護法	史跡、名勝、天然記念物・埋蔵文化財包蔵地内の行為の制限
	鳥獣の保護及び狩猟の適正化に関する法律	特別保護地区内の行為の制限
	廃棄物の処理及び清掃に関する法律	廃棄物処理の方法
災害防止関係	砂防法	砂防指定地域内の行為の制限
	地すべり等防止法	地すべり防止区域内の行為の制限
	急傾斜地の崩壊による災害防止に関する法律	急傾斜地崩壊による災害防止区域内の行為の制限
	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	土砂災害警戒区域内の行為の制限
河川関係	海岸法	海岸保全区域の行為の制限
	河川法	河川区域内の行為の制限
	公有水面埋立法	河川湖沼、海など、公共用水流または水面の占有および行為の制限
都市計画関係	都市計画法	都市計画区域内の行為の制限 風致地区内の行為の制限 土地区画整理事業施工区域内の行為の制限
道路関係	道路法	構造基準、占用規制、道路の保全のための規制など
	道路交通法	各種の交通規則、道路の使用の規制
工事関係	火薬類取締法	火薬類の取扱いの制限
	電気事業法	電力設備の取扱い
	労働安全衛生法	作業環境および安全上の規制
	毒物及び劇物取締法	安全上の規制

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.69 平成19年11月 土木学会

第3節 計 画

3. 1 トンネルの線形

トンネルの線形は、前後の道路との接続が良好で、かつ、トンネルを含む相当区間がバランスのとれた線形となるよう計画しなければならない。

道路の線形設計の基本方針および詳細については、「土木工事設計マニュアル道路編Ⅰ(道路) 第2章 道路設計一般 第5節 平面線形、縦断線形」を参照すること。

3. 1. 1 平面線形

トンネルの平面線形は、原則として、直線あるいは大半径の曲線を用いなければならない。

トンネルの平面線形は、前後の道路との接続が良好でかつ、トンネルを含む相当区間がバランスのとれた線形でなければならない。地形・地質などの地山条件、施工性、走行安全性などを考慮して直線とするのが望ましい。曲線を設ける場合は、視距確保の観点からトンネル断面の拡幅を必要としない大半径の曲線を用いるのが望ましい。

トンネルに曲線を用いることは、走行上からは道路構造令の規定を満足していれば問題がないと考えられるが、明かり部と違ってトンネルは運転者にとって閉塞された空間で、心理的な圧迫が強く、またトンネル内での事故も坑口付近に最も多く発生しており、安全走行の点からもトンネルの平面線形は明かり部よりも高い規格を用いるのが望ましい。

トンネルの平面線形に小半径の曲線を用いると、必要な視距を確保しなければならないためにトンネル断面の拡幅をとめない、工費の増大につながるので望ましくない。なお、明かり部の曲線半径が小さいと、トンネル坑口部に視距拡幅が生じることもあるので注意を要する。また、小曲線半径を用いると横断勾配が急になるため建築限界についても注意を要する。制動停止視距を用いて拡幅を必要としない最小半径を「道路構造令の解説と運用」(社)日本道路協会)に示された計算式により求めたものを表-14.3.1に示す。

また、平面線形の計画にあたっては、トンネル坑口付近の地形・地質、前後の取付け部の設計などを総合的に考慮することはもちろん、坑口位置、工事用設備の配置、工事用道路や工事用電力などの施工上の便宜を考慮して決定することが肝要である。

表-14.3.1 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
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

(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とした。

(注2) 積雪寒冷地などで別途視距を確保する場合は本表と異なる。

3. 1. 2 縦断線形

- (1) トンネル前後区間も含め、利用者の安全な走行に配慮した、縦断勾配を設定する。
- (2) 機械換気を必要とするトンネルでは、3%以下のできる限り緩い勾配とすることが望ましい。
- (3) 施工中及び維持管理の湧水処理のため、0.3%以上の勾配を設けることが望ましい。

(1) について

長い下り坂では速度の増加により事故を誘発する恐れがあることから極力緩勾配とすることが望ましい。

また、明り部の縦断線形により、登坂車線の設置が必要となる場合には、トンネル坑口までその影響が及ばないように計画することが望ましい。

(2) について

自動車の排出ガスの煤煙濃度は、縦断勾配がきつくなると急増するため、機械換気を必要とするトンネルでは、できる限り小さな縦断勾配を採用することが望ましい。

(3) について

施工中の湧水を自然流下させる場合には、現場の不陸などのため、最小0.3～0.5%の勾配の確保が必要であることから、最小縦断勾配の望ましい値として0.3%とした。なお、トンネル完成後の排水としては、湧水・漏水およびトンネル維持用の洗浄水などがあるが、排水勾配としては通常0.1～0.2%以上あれば排水機能上の問題はない。

3. 2 トンネル前後の道路線形等

- (1) 運転者ができるだけ早くトンネルの存在を認識できるように、十分な距離からトンネル坑口が見通せる線形としなければならない。
- (2) トンネルの出入口部に近接してやむを得ず交差点や分合流部を設置する場合には、トンネルの特性を考慮して、交通安全に十分注意しなければならない。
- (3) トンネル前後の道路における路肩幅員の差は表-14.3.2 に準じて設計速度に応じたテーパを設け、トンネル前後の道路側ですり付けることが望ましい。

表-14.3.2 すり付け率の標準値

設計速度 (km/h)	すり付け率の標準値	
	地方部標準値	都市部標準値
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

(1) について

自動車のトンネルへの進入をスムーズにするためには、運転者が出来るだけ早くトンネルの存在を知り、十分な距離からトンネルの坑口が見通せるような線形とすることが重要である。トンネル坑口に接近した取付け部に、平面曲線が入ったり縦断勾配の変化点がある場合には、トンネルの存在を早い時点で知ることを妨げたり、トンネルと取付け道路部の線形が極端な不均衡になることが多い。このような場合には、トンネル内にそれらに移した方が好結果を得ることもあるので、透視図などを用いて十分検討する必要がある。

(2) について

トンネル出入口部に近接して交差点や分合流部を設ける場合の必要な離隔等については、

「道路構造令の運用と解説」等で明確に基準化されていない。そのため、計画地の実情（地形および土地利用状況、道路の幾何構造など）を考慮した上で、走行安全性に配慮した計画とする必要がある。

(3) について

トンネルには取付け道路部より路肩幅員が縮小される場合が多く、自動車がトンネルに入る際、なめらかに走行できるよう、トンネル坑口に接続する取付け道路には、設計速度に応じたテーパーを設け、この区間で路肩幅員差をすりつけるものとする。すりつけ区間のテーパーは、「道路構造令の解説と運用」（(社)日本道路協会）に示されている車線数を増減させる場合のすりつけ率の標準値（表-14.3.2）に準じて設定することを標準とした。

なお、積雪寒冷地の坑口で、除雪時の雪を坑内に持ち込まないようにトンネル坑口手前に耐雪スペースを確保する場合の耐雪拡幅量は、トンネル前面まで手前の切土部と同一の幅員を確保することを原則とする。ただし、トンネル内への雪の持ち込みや吹き込んだ雪の処理を考慮し、地形上、経済性上許す範囲で、できるだけ広く確保することが望ましい。

3.3 近接するトンネルおよび他構造物との関係

- (1) 2本以上のトンネルを併設する場合、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、トンネルの断面形状・交差角度・施工法・施工時期などについて十分検討した上で、適切な間隔を取ることが望ましい。
- (2) 既設構造物に近接してトンネルを計画する際に、トンネル掘削に伴う変位、地下水位低下に伴う沈下および発破振動の影響が懸念される場合には、その影響を適切に予測し、必要に応じて対策を講じなければならない。

(1) について

併設トンネルの中心間隔については、地山を完全な弾性体と仮定して計算した場合に掘削幅の2倍、軟弱地質の場合では5倍程度とれば相互の影響はほとんどないといわれている。しかし、実際の地山における相互の影響については解明できない点が多く、適切な中心間隔を明らかにすることができない。また、中心間隔を決める場合は、爆破の影響など施工法についての検討も併せて行う必要がある。

一般的な地山における併設トンネルの中心間隔は、従来の2車線道路トンネル併設の施工実績を考慮し、掘削幅の3倍（3D、D：トンネル掘削幅）程度を標準とする。ただし、地山条件が悪い場合や特殊な事情により適切な間隔がとれず、相互の影響が懸念される場合には、類似の既往設計・施工事例を参考に設計手法・施工法、施工中の計測・監視計画について十分に検討する必要がある。

(2) について

近接施工に際しては、許容値を設定した上で、適切に影響予測を行い、必要に応じて適切な対策を講じなければならない。

①影響予測について

周辺構造物への影響として、掘削に伴う変位および地下水位低下に伴う地表面沈下がある。この場合、既設構造物での影響要因の整理を行い、構造物や地山の挙動などを予測する必要がある。また、生活圏における家屋や施設への影響として発破振動や機械騒音などがある。いずれも、影響要因の整理を行い、許容値と照合することにより適切に影響の程度を予測することが重要である。

②許容値について

近接構造物の施設としての機能、構造的な安全性確保のための許容値は、近接構造物の管理者に提示を求めて設定する必要がある。設計段階で許容値が直接管理者から提示されていない場合などでは、過去の実績、構造検討などを個別に行い、許容値（案）として設定する必要がある。

また、騒音や振動などに対する許容値については、当該地域における環境基準などをもとに適切な許容値（案）を設定するとともに、工事に際しては近接構造物の当該者との協議により許容値を設定する必要がある。

第4節 内空断面

4.1 内空断面設計

- (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) トンネルの内空断面は、1トンネル1内空断面とすることを原則とする。
- (3) 内空断面は、所要の建築限界等に対して、適切な余裕量を確保した上で設定する必要がある。

(1) について

トンネルの内空断面は、道路交通のサービス機能を果たすものであり、道路構造令に定める必要な建築限界のほかに、換気施設・照明施設・非常用施設および内装・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ならびに覆工の施工誤差に対する余裕などをとった断面を包含していなければならない。

トンネルの内空断面形状は安定性や経済性を考慮して、通常三心円（上半単心円）からなる馬てい形や、五心円（上半三心円）などの偏平断面を用いる。ただし、膨張性地山や未固結地山などの地山条件が悪く土圧が大きく作用するような特殊地山や、水圧を考慮した防水型（非排水構造）トンネルなどの場合には、個々の地山条件や覆工に作用する外力などを考慮した断面形状の検討が必要である。

なお、内空断面形状の選定にあたっては、トンネルの安定性を考慮して極端に偏平な断面形状を避けるため、これまでの施工実績から内空縦横比（内空高さとの内空幅の比）を概ね0.57～0.60以上確保することが望ましい。

(2) について

以下に示すように、1トンネルにおいて内空断面を変化させた場合が有利と判断される場合には、その妥当性および経済性について検討した上で、内空断面を変化させてもよい。

- ① 平面線形の都合上、部分的に大きな拡幅が入るために内空断面積が大きく異なるような場合。
- ② ジェットファンが設置されるトンネルで、ジェットファン設置有無により内空断面積が大きく異なるような場合。
- ③ その他の理由により、内空断面積を変化させた場合の方が、経済性の面で有利と判断される場合。

(3) について

内空断面を設定する上で、適切な余裕量を考慮する。（詳細は、「4.2.2 内空断面設定上の要素」に示す。

4. 2 内空断面の設定

4. 2. 1 建築限界

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。
 下図の建築限界は、歩道を設置した例を示す。

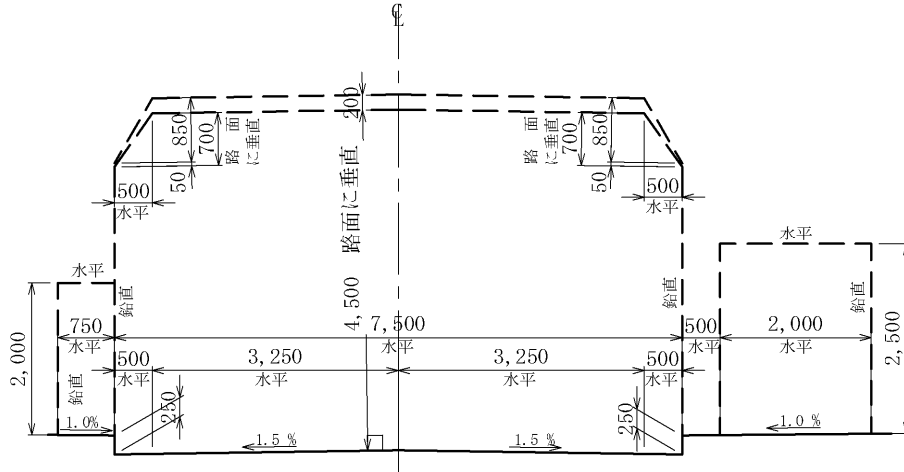


図-14.4.1 (a) 建築限界の設定例 (拌み勾配 1.5%の場合)

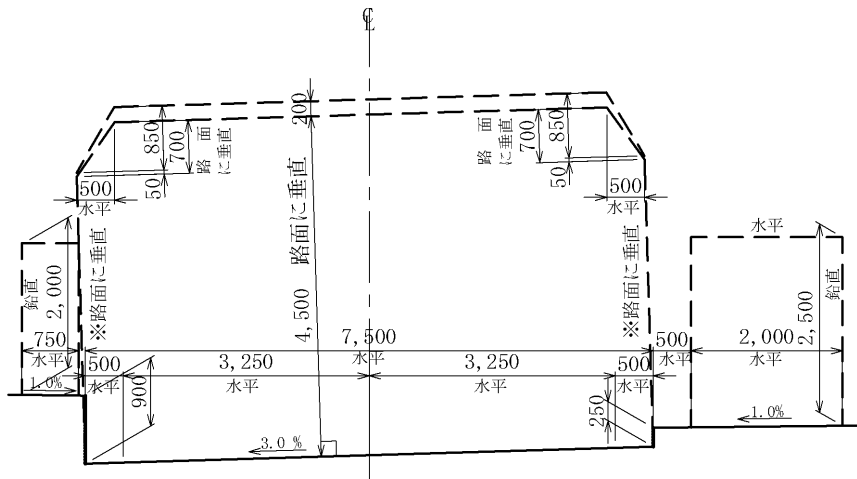


図-14.4.1 (b) 建築限界の設定例 (片勾配 3.0%の場合)

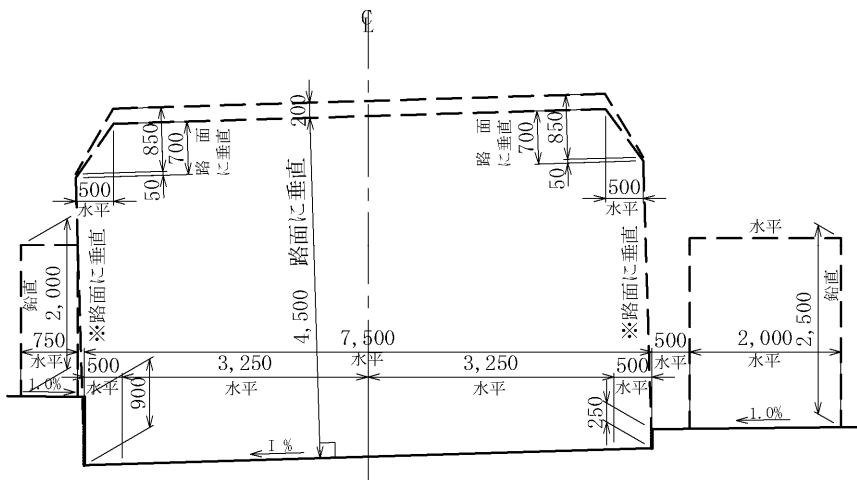


図-14.4.1 (c) 建築限界の設定例 (ISO コンテナ等特殊車両通行を考慮する場合)

(1) 車道および路肩部の建築限界

車道部の建築限界高さは、普通道路にあつては 4.5m、小型道路にあつては 3.0m とする。

路肩端部の建築限界高さは、普通道路にあつては 3.8m、小型道路にあつては 2.8m とする。また、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、路肩端（地覆を設ける道路については地覆前面）の建築限界高さを 4.1m 確保する。

建築限界上面線は、路面に平行に取るものとする。

建築限界の両側線は、

(a) 標準の横断勾配を有する区間では鉛直

(b) 片勾配を有する区間では路面に直角、ただし、標準横断勾配以下の勾配となる区間については鉛直

にとるものとする。

なお、路肩側溝のエプロン、縁石などの固有形状は建築限界に考慮しない。

(2) 歩道、自転車道および自転車歩行者道の建築限界

歩道、自転車歩行者道などを設ける場合は、建築限界高さ 2.5m をトンネル側壁側で鉛直方向に確保し、建築限界幅は水平方向に確保する。

車道面からのマウントアップ高さは 25cm を標準とする。

また、横断勾配は、トンネル内に降雨等による路面水がないことから、舗装の種別にかかわらず、「道路の移動等円滑化整備ガイドライン」を踏まえて、1.0% を標準とする。

なお、歩道および自転車歩行者道などの建築限界と、車道および路肩部の建築限界は、重ならないようにする。

(3) 施設帯

歩道、自転車歩行者道などと車道との間に防護柵などの設置空間として施設帯を設ける場合は、水平方向に 0.5m 確保することを標準とする。

(4) 監査歩廊

監査歩廊の建築限界は、保守点検作業員の歩行空間として、建築限界高さ 2.0m をトンネル側壁側で鉛直方向に確保し、建築限界幅 0.75m を水平方向に確保することを原則とする。

(坑口部に急な平面曲線がある場合や、坑口部数 m 間のみ車線拡幅の影響があるなどで、トンネル全延長に対して部分的に監査歩廊の建築限界高さを侵す区間が発生する場合には、管理通路として通常の歩行が可能であることを確認した上で、部分的に監査歩廊の建築限界を侵すことを認める。)

車道面からのマウントアップ高さは 25cm を標準とする。ただし、防災等級の高いトンネルなどにおいて監視員通路として設置する場合のマウントアップ高さは、管理者協議により決定する。

4. 2. 2 内空断面設定上の要素

内空断面の設定においては、次の要素を考慮するものとする。

(1) 余裕量

(2) 舗装及び排水

(3) 換気設備

(4) 断面区分

(5) その他

(1) 余裕量について

内空断面の決定に際して、以下に示す余裕量を考慮する。

① 建築限界高さに対する余裕量

トンネル内の舗装は全面的な打換が困難なため、オーバーレイ余裕として、建築限界の高さに対して、車道部で 20cm、路肩端で 5cm を見込むものとする。

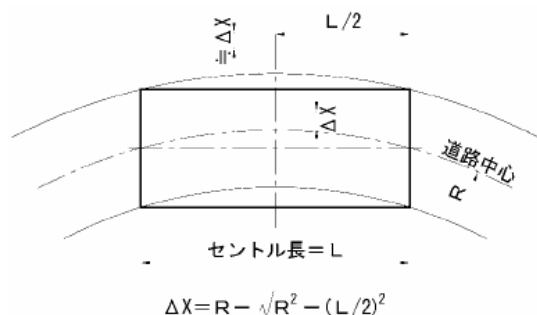
② 施工余裕量

トンネルの覆工仕上がり線は設計断面に対して、施工上ある程度の誤差が生じることはまぬがれない。このため、トンネル断面の所要空間とは別に、施工余裕として 5cm を考慮する。

ただし、監査歩廊の建築限界に対しては、施工誤差程度の覆工の食込み量は管理者通行上支障とならないことから、施工余裕は考慮しないものとする。

③ セントル設置に対する余裕量

平面線形に曲線を有するトンネルにおいては、セントル設置によって生じるライズを余裕量としてアウトカーブ側に見込むものとする。(セントル設置に対する余裕量は、施工余裕量の 5cm には含まないものとする。)



$$d = R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2}$$

d : セントル設置に対する余裕量 (m)

R : 平面曲線半径 (m)

L : セントル長 (m)

④ 内装板の設置余裕量

内装板を設置する場合の内装板設置幅は、通常の直貼り方式(タイル貼りおよびパネル貼り)の場合は 3cm を標準とする。

吸音内装工を設置する場合の内装板接地幅は、10cm を標準とするが、防音対策における内装工は吸音効果により厚さが異なるため、吸音内装板として選定した材料によりこれにより難しい場合は、管理者と協議の上、別途設定する。

⑤ 占有物件を収容するための余裕量

トンネル機能に直接関係しない占有物件をトンネル内に収容する場合は、監査歩廊および歩道・自転車歩行者道の下に埋設することを標準とする。やむを得ずそれ以外に収容する場合には、管理者と協議の上、必要に応じて余裕を見込むものとする。

(2) 舗装および排水について

底盤地山と舗装路盤は、2%程度以上の勾配で中央排水に擦り付けるものとする。片勾配、中央排水などにより、路盤厚が変化する場合、舗装端部における最小厚として 150mm 以上を確保する。

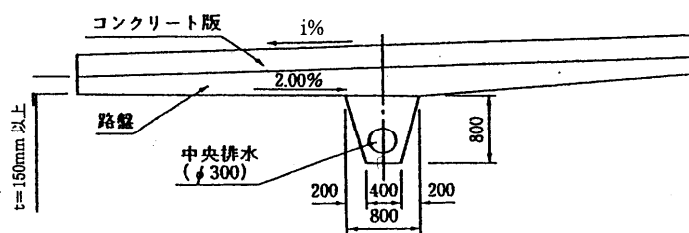


図-14.4.2 舗装及び中央排水工の構造

なお、内空断面を設定する際には、後述「7.3 排水工 (3) 路側排水工」にて標準としている二次製品の円形水路(φ200 グレーチング付 T-25 対応)をもとに、舗装幅および中央排水工高さ、下半足付け高さを設定してよいものとする。

注) 工事発注時において、側溝形状等変更となった場合においても、トンネル内空断面および中央排水工位置は変更せず、舗装工および路盤下面勾配(標準勾配 2%)を調整して対応する。

(3) 換気設備について

換気設備として、ジェットファンを想定する場合は、表-14.4.1 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-14.4.1 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) a 寸法は、建築限界高さに対するオーバーレイ余裕量 (200mm) である。

(注 2) 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 0.5 D (D : J F 口径) より短くなるにつれ、昇圧力が減少するので J F 性能を含めた設計検討の上、寸法を決定するものとする。但し、メンテナンス性を考慮し、250mm を最小値として確保する。なお、250mm は施工誤差余裕量 50mm を含んだ値である。

(注 3) d 寸法については、車線幅員の 1/2 程度とする。但し、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)

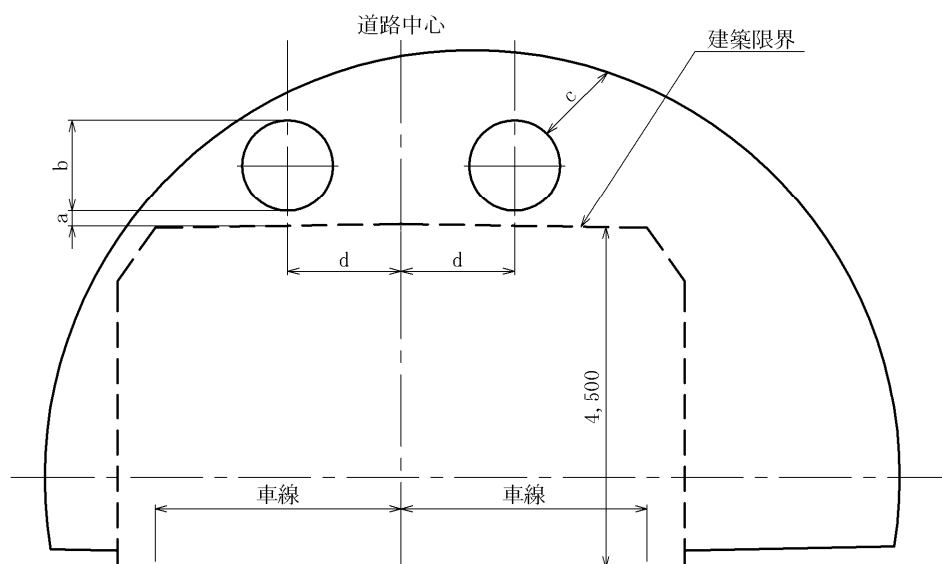


図-14.4.3 ジェットファンの断面取付図

(4) 断面区分について

断面区分は表-14.4.2 に示す，内空形状と内空縦横比の組合せを標準とする。

表-14.4.2 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-14.4.4, 図-14.4.5 の W をさす。)

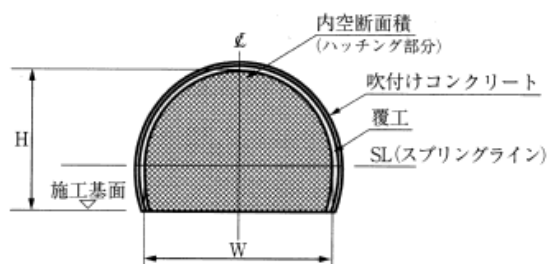


図-14.4.4 インバートなしの場合

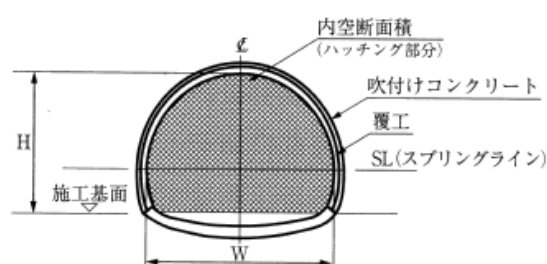


図-14.4.5 インバートのあ
る場合

(注 2) 内空縦横比 (H/W) は図-14.4.4, 図-14.4.5 に示す内空高さ (H) と内空幅 (W) の比で表示した。

(注 3) 内空形状は上半 (SL より上) を形成する円弧の数で図-14.4.6, 図-14.4.7 に示すように上半単心円 (三心円) と上半三心円 (五心円) とした。

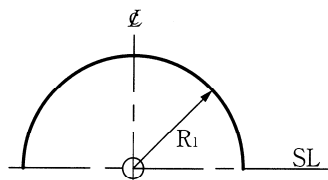


図-14.4.6 上半単心円

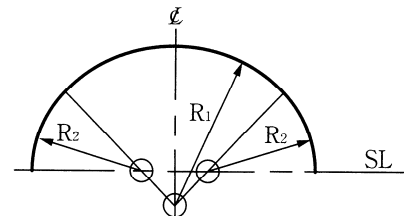


図-14.4.7 上半3心円

(注 4) 内空断面積は断面形状 (内空縦横比など) 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-14.4.4, 図-14.4.5 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 5) 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 6) 内空幅や内空縦横比が表-14.4.2 の値の範囲外となる場合は，別途検討を行うこととする。

(5) その他について

- 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 倍を検討対象とし、経済性やトンネル構造の安定性等を比較のうえ決定する。
- 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、トンネル全線で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してよい。
- 3) 内空断面の各半径（上下半、インバート）は 5cm ラウンド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) 下半の足付け高さ（側壁高さ）は、トンネル全延長に占める割合が最も大きい路面横断勾配によって決定される舗装路盤の最下端位置を、S.L.より 5cm ラウンドで切り捨てた値とし、トンネル全延長に対し一定とする。
- 5) インバート半径は、中央排水工と側壁下端を通る円弧として設定し、5cm 単位で切り捨てた値とする。ただし、内空側壁下端はあくまでもインバート半径算定時の仮想点とし、中央排水工下端を固定とする。なお、上記の手法でインバートを設定した場合、路肩側溝が欠損する場合や、歩道・監査歩廊下の埋設物用のスペースが不足する場合などにおいては、管理者と協議の上、内空側壁下端（仮想点）を移行してインバート半径を決定しても良い。
- 6) インバートと側壁のすり付け部は、最も応力が集中しやすい箇所であり、極力大きなすり付け半径を採用すべきである。そのため、すり付け半径は 1.5m を標準とする。ただし、路側排水工の設置に支障をきたす場合や、監査歩廊下などにトンネル設備配管を埋設するためのスペースが不足する場合には、1.0m まで縮小できるものとする。

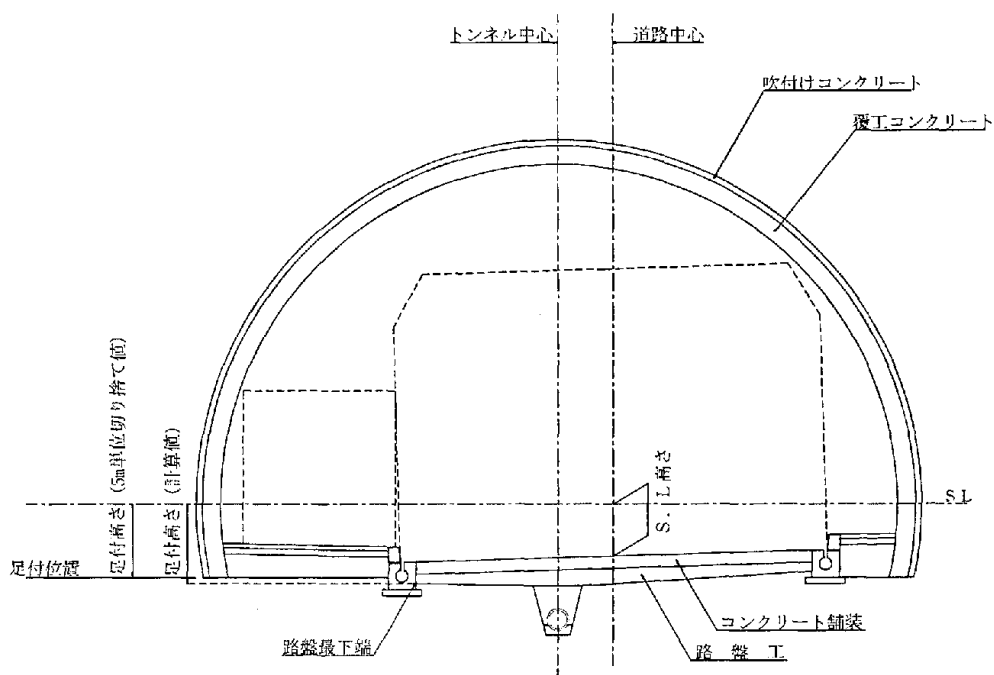


図-14.4.8 覆工コンクリートの足付け位置

第5節 掘削

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。

本節の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説：日本道路協会」を参照する。

5.1 掘削方式

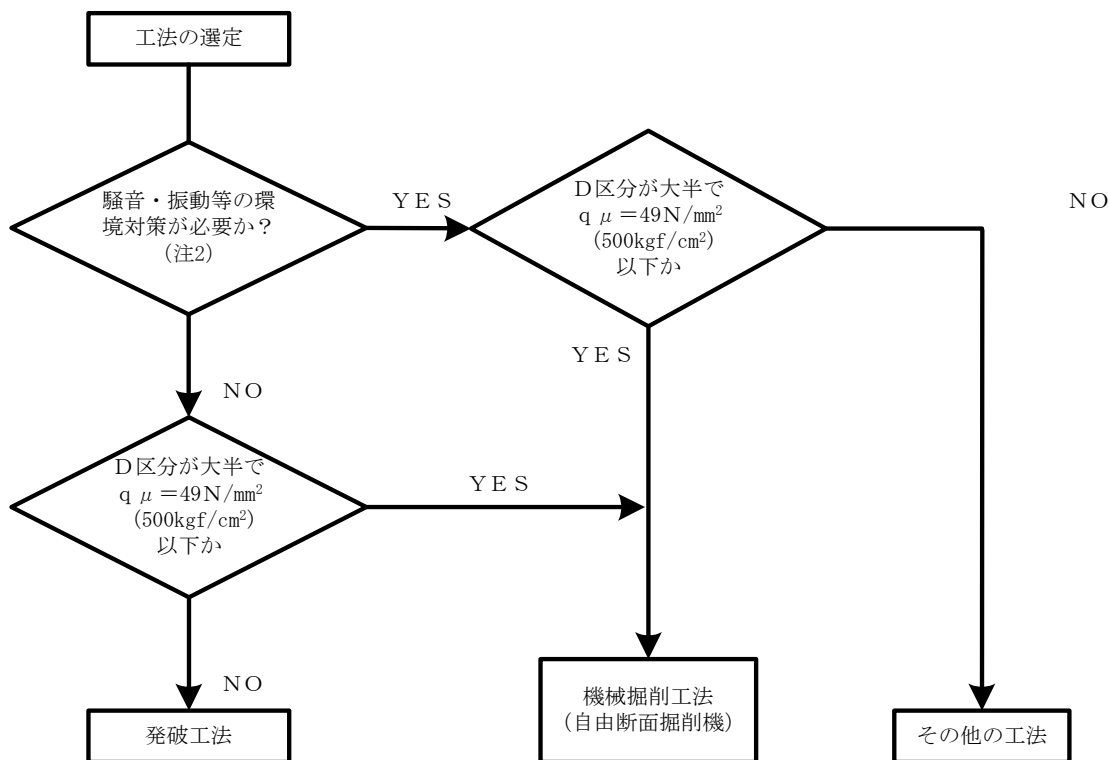
掘削方式の選定にあたっては、地山条件、トンネルの規模、立地条件等を十分考慮しなければならない。

掘削方式には発破掘削、機械掘削、人力掘削等があるが、現状では作業能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に、十分検討のうえ決定しなければならない。

掘削方式の選定は、下図を標準とするが、適用にあたっては、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。

図-14.5.1 に掘削方式の選定フローを示す。



(注1) 大半の区分は90%程度を目安とする。

(注2) 騒音・振動等の環境対策の必要性があり施工性、経済性等を考慮したうえで対策が可能であれば発破工法の選定もある。

図-14.5.1 掘削方式選定フロー

(土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工より)

5. 2 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。

掘削工法は、工事の安全性と経済性に影響するため、選定にあたってはトンネルの規模・断面の大きさと形状・地山条件・工期などを十分に考慮して慎重な検討が必要である。掘削工法の選定を最も左右するのは、掘削断面の大きさと地山の安定度の関係である。一般に、不安定地山に対しても補助工法を活用して切羽の安定を図り、できるだけ大きな加背で掘削する工法を積極的に採用することが重要であり、加背に合わせた施工機械の組合せやずり出し方式などを含めた掘削工法を決定する必要がある。補助ベンチ付全断面工法および上部半断面工法の上半盤の位置は、原則としてスプリングラインの位置とするが、施工機械から加背割が決まる場合もあるので注意が必要となる。

なお、掘削工法の工事途中での変更は、通常、多大な工費と労力を要し、工事工程上の損失も大きいので慎重な対応が必要である。

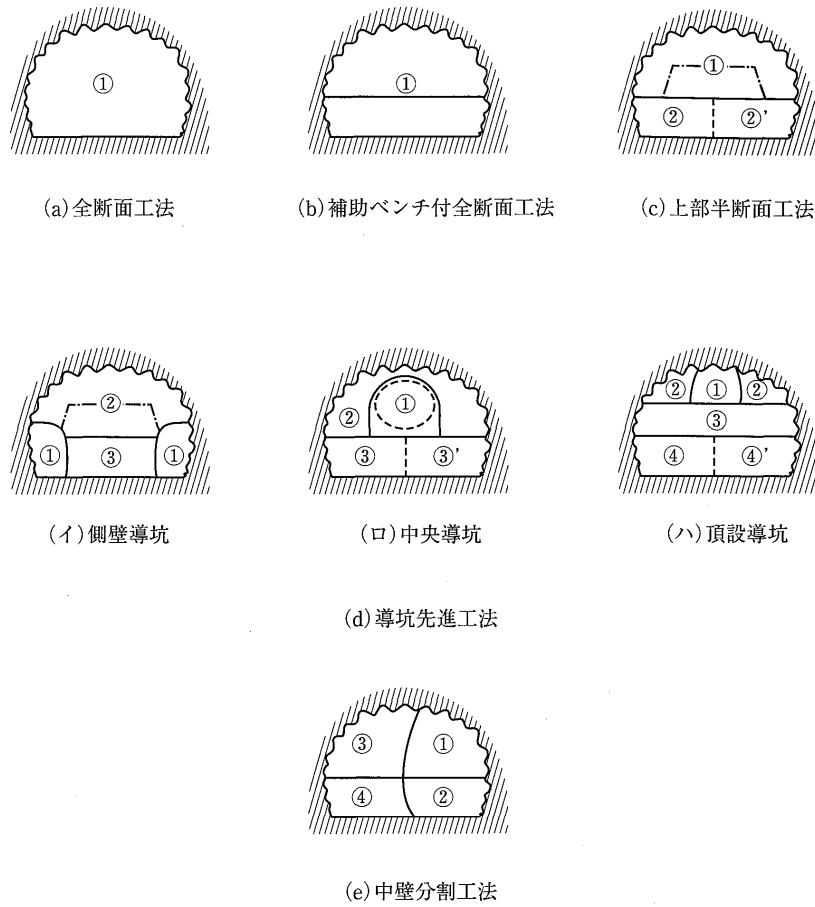
以下に、代表的な掘削工法を示す。

- 1) 全断面工法
- 2) 補助ベンチ付全断面工法
- 3) 上部半断面工法
- 4) 導坑先進工法
- 5) 中壁分割工法

標準的な大きさのトンネルでは、掘削方式および掘削区分に応じて表-14.5.1 に示す工法を標準とし、地山条件等、特殊な場合については 3)~5)の工法の適用についても検討するものとする。

表-14.5.1 掘削区分および掘削方式（標準断面）

掘削方式	掘削区分	掘削工法
発破工法	B, C	補助ベンチ付全断面工法
	D	上半先進ベンチカット工法, 上下半交互併進工法 (ショートベンチカット工法)
機械掘削	C, D	上半先進ベンチカット工法, 上下半同時併進工法 (ショートベンチカット工法)



注1) ①, ②……は掘削順序を示す。
 注2) 切羽の安定が悪い場合は、図中——で示したように掘削断面を細分割することがある。
 上半部ではリングカットまたは核残しという。

図-14.5.2 代表的な掘削工法

5.3 加背割

加背割における上半盤の位置は、スプリングライン (S.L) を標準とする。

機械掘削の場合で上半の加背が掘削機械の最大掘削高 (6.0m) を超える場合は、上半盤の位置を 5cmピッチであげるものとする。

5. 4 余掘・余巻および余吹

余掘、余巻および余吹については、「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照する。

余掘、余巻および余吹量は表-14.5.3を標準とする

表-14.5.3 余掘・余巻および余吹厚 (cm)

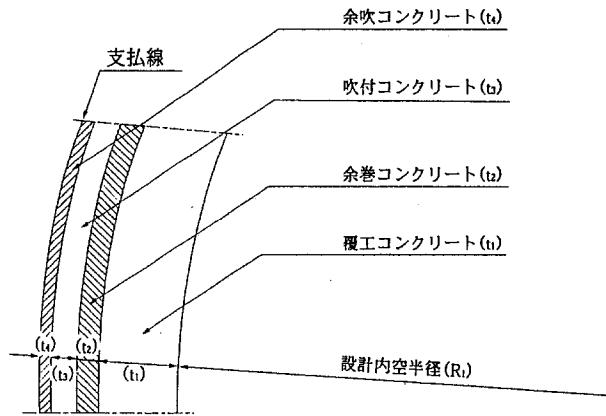
掘削方式	掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚
発破工法	B	27	23	4
	C I	22	17	5
	C II	20	13	7
	D I	17	10	7
	D II	17	10	7
機械掘削	C I	13	8	5
	C II	13	8	5
	D I	13	8	5
	D II	13	8	5

(注1) 設計巻厚、設計吹付コンクリート厚および設計掘削断面に対する割増し厚さである。

(注2) 非常駐車帯・避難連絡坑等についても上表を適用する。

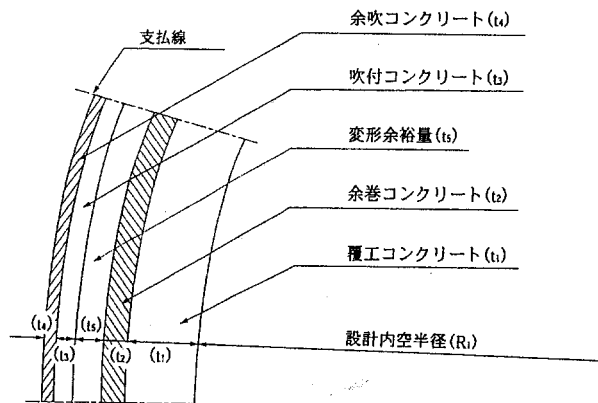
(注3) 変形余裕量を見込む場合は余掘、余巻は上表より5cm減じ掘削断面に変形余裕量を加えるものとする。

設計値との支払線の間係を図-14.5.2および図-14.5.3に示す。



設計掘削半径 = 設計内空半径(R1) + 覆工コンクリート厚(t1) + 設計吹付コンクリート厚(t3)
 支払掘削半径 = [設計内空半径(R1) + 覆工コンクリート厚(t1) + 設計吹付コンクリート厚(t3)] + 余掘
 = 設計掘削半径 + 余掘
 余掘 = 余巻コンクリート(t2) + 余吹コンクリート(t4)

図-14.5.2 変形余裕を見込まない場合



設計掘削半径 = 設計内空半径(R1) + 覆工コンクリート厚(t1) + 設計吹付コンクリート厚(t3) + 変形余裕量(t5)
 支払掘削半径 = [設計内空半径(R1) + 覆工コンクリート厚(t1) + 設計吹付コンクリート厚(t3) + 変形余裕量(t5)]
 + 余掘
 = 設計掘削半径 + 余掘
 余掘 = 余巻コンクリート(t2) + 余吹コンクリート(t4)

図-14.5.3 変形余裕を見込む場合

5.5 ずり処理

ずり処理の計画にあたっては、掘削工法、勾配、延長等を十分考慮して、全体に均衡のとれた積込み機械、運搬機械、土捨設備等を定めなければならない。

1) ずり積作業

ずり積機械は、掘削断面・含浸・一掘削当たりずり量などを考慮し、運搬機械と均衡のとれたものを選ばなければならない。

2) ずり運搬

ずり運搬方式は、掘削工法・掘削断面・勾配・掘削延長などを考慮し、円滑かつ能率的となるよう選定しなければならない。ずり方式にはタイヤ式、レール式、コンテナ式、コンベア式などが使用されているが、坑内のずり出し方式はタイヤ方式を標準とするが、泥濘化が予想される場合にはレール方式、トンネル延長が長い場合には連続ベルコン方式等についても検討するものとする。

3) 土捨設備

トンネルからのずりは、タイヤ方式で流用先が比較的近距離の場合は直接搬出するが、タイヤ方式でも遠距離の場合やレール方式の場合には、坑口付近に積替え設備を設ける必要がある。

ずりの積替え設備については、作業性や緊急の場合に備え、ストック量に余裕のある容量を確保しておくことが必要である。

なお、ずり捨場やずり仮置き場において運搬車両などからずりを捨てる騒音について、周辺地域に及ぼす影響を考慮し、位置や設備を検討することも必要である。

第6節 支保工・覆工

6.1 支保工の設計

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。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計): 日本道路協会」, 「標準示方書(第3章 第1節 第38条 支保工一般)」および、「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照する。

支保構造は、掘削したトンネルを安定に保つために設けられる構造物であり、施工を安全に能率良く行えるものであるとともに、トンネルの長期にわたる供用に対して、十分な信頼性を有するものでなければならない。

支保構造の設計にあたっては、各種支保構造部材の特徴を生かし、トンネルの条件に最も適合したものとする必要がある。しかし、事前の調査では地山の性質や物性値の推定を細部にわたり確実に把握するのは難しいこと、また各種支保構造部材の作用効果が必ずしも明らかになっていないことなどにより、支保構造の当初設計としては、地山等級に応じた標準的な組み合わせを設定しておくことが合理的である。

なお、土被り高さ 20m 未満の小土被りの場合、あるいは 500m 以上の場合の設計は、類似の既往設計を参考にしたり解析手法により個別に行うものとする。

6.2 地山分類

トンネルの設計にあたっては、地質調査結果に技術的判断を加えて地山分類を行わなければならない。

地山分類は、弾性波速度（縦波速度）、地山の状態（岩質・水による影響、不連続面の間隔、不連続面の状態）、ボーリングコア（コアの状態、RQD）、トンネル掘削の状況を地山判定の指標とし、表-14.6.1 の地山分類表により行うものとする。また、第三紀層などの軟岩地山や断層・破碎帯など、地山の強度と作用する荷重の比率が問題になり、トンネル掘削時の変位が大きくなる岩石に対しては、前記に加えて地山強度比を用いる。

(表-14.6.1 地山分類表を適用する場合の留意事項)

- 1) 地山分類表は、原則として、土被り高さが20m以上500m未満の道路トンネルの計画に摘要するものとする。なお、それ以外の土被りの場合の設計は、類似の既往設計を参考にしたり解析手法により個別に行うものとする。
- 2) この表は、一般的な標準を示すものであるから、坑口部で大きな偏圧が作用する場合、地すべりの発生が予想される場合など、特殊な事情がある場合には適用できない次に示す特殊条件下では類似の既往設計を参考にする手法や解析的手法を用いるなど、設計手法を検討する必要がある。また、特殊条件下では切羽の安定性、施工の安全性ならびに周辺環境保全のために補助工法を取り入れた設計を行うことが必要な場合もある。

特殊条件：

①不良地山

- ・塑性土圧あるいは膨張性の大きい地山
- ・高水圧、多量の湧水地山
- ・未固結地山
- ・高い地熱、温泉、有毒ガスなどのある地山
- ・大きな土圧・大土被り（山はね）
- ・地すべり、偏土圧 など

②環境条件

- ・構造物近接施工
- ・地下水位低下抑制
- ・地表面沈下抑制（トンネル上部の支障物への影響抑制など）

③特殊断面（3車線道路トンネル、分岐・合流部などの大断面トンネル、めがねトンネルなど）。

- 3) 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岩質）で、内空変位が200mm程度以上（掘削幅が10m程度のトンネルでの目安）になるもの以外には用いない。
- 4) 当初設計段階における地山分類は、地表地質調査、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調査、ボーリング調査、地山試料試験などの調査結果を活用し、それらを補充する目的で使用するものとする。
- 5) 施工中の地山分類は、工事着手後の観察・計測など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）以下で収まる場合には、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を越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。
- 6) 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と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。

(a) 弾性波速度（k m/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。

(i) 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ゆるみやすい場合には、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。

- (d) 弾性波速度および地山強度比の境界のデータについては、地形的特性、地質状態などにより工学的に判定する。
 - (e) 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。
 - (f) 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。
 - (g) 断層・波破碎帯については、弾性波速度のみでなく、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。
 - (h) 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。
- (b) 地山の状態

トンネル掘削の対象となる地山、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ということを良く理解して置く必要がある。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。

(i) 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、湧水があ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。

(j) 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凸凹を生じさせ、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。

(k) 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挟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(形状及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。

(c) 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指標になる。これらの観察結果は、主に地表地質調査と合わせ、風化変質状況や岩片の強度、不連続面の状態、間隔などの判定に使われる。RQDは、ボーリング外形 66mm のダブルコアチューブで採取されたコアについて評価することを基本とし、主に硬質岩(H)や中硬質岩(M)の亀裂の状況の評価に使用されるが、軟岩(L)でも亀裂状況の参考になる。

(d) 地山強度比

地山強度比は、軟岩地山におけるトンネル掘削時の押し出し性の判定指標として提案されたものである。地山分類表では主に中硬質岩 (M) の層状岩盤、軟質岩 (L) の層状・塊状岩盤、あるいは風化変質した破碎帯や土砂地山における分類指標となる。

地山強度比は、次のように定義する。

$$\text{地山強度比} = q_u / \gamma h$$

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 : 土被り高さ (m)

なお、地山の一軸圧縮強度は、亀裂など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、亀裂など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。

$$q_u' = (V_p / U_p)^2 \times q_u$$

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などの関係で $V_p > U_p$ となる場合は、 $U_p = V_p$ として準岩盤強度を求める。

(e) 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-14.6.1 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するものとする。

(f) 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-14.6.1 に示される地山等級を下げる必要がある。

- ① 蛇紋岩や蛇紋岩化を受けた岩石、泥岩・頁岩、凝灰岩、火山碎屑物などは水による劣化を生じ易いので十分注意を要する。
- ② 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。
- ③ 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
- ④ 蛇紋岩や変朽安山岩 (プロピライト)、黒色片岩、泥岩、凝灰岩などで膨張性が明確に確かめられたならば、D II または E に等級を下げる。
- ⑤ 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、ゆるみ域の拡大、ゆるみ荷重に注意を必要する場合がある。

6.3 標準支保パターン

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計 4-7 標準的な支保構造の組み合わせ)：日本道路協会」を参照する。

支保構造の事前設計は、地山分類に応じて標準的な組み合わせを設定するものとする。また、避難連絡坑、避難坑、その他で小断面の支保工は、現地条件を十分考慮して設計するものとする。

表-14.6.2 に通常の地山条件（土被り高さ 20m 以上 500m 未満程度）における、内空幅 8.5m 程度・内空縦横比概ね 0.6 以上の通常断面トンネルの標準的な支保構造の組み合わせの目安を示す。また、表-14.6.3, 表-14.6.4 に内空幅 12.5m~14.0m 程度・内空縦横比概ね 0.57 以上の大断面トンネル、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の組み合わせの目安をそれぞれ示す。表-14.6.2, 表-14.6.3 および表-14.6.4 で対象としている大きさ以外の断面を有するトンネルの支保構造は、上記表を参考に個別に検討するものとする。

なお、土被り高さ 20m 未満の小土被りの場合、あるいは 500m 以上の場合の設計は類似の既往設計を参考にしたり、解析手法により個別に行うものとする。

表-14.6.2 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		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔 (m)		アーチ・側壁	インバート		
				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	0	補助ベンチ付全断面工法または上部半断面工法
C I	C I	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	-	-	-	10	30	(40)	0	
C II	C II-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下 半	-	-	-	10	30	(40)	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	0	
	D I-b		4.0											
D II	D II	1.0 以下	4.0	1.2	1.0 以下	上・下 半	H-150	H-150	1.0 以下	20	30	50	10	

(注1) 支保パターンの a, b の区分は、地山等級が C II, D I 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) 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に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3) 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4) 変形余裕量について

地山等級がD IIにおいては、上部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10cm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5) 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6) 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。

表-14.6.3 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		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)		
				周方向 (m)	延長方向 (m)									
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	-	-	-	10	40	-	0	補助ベンチ付全断面工法・上部半断面工法・中壁分割工法・中央導坑先進工法
C I	C I	1.5	4.0	1.2	1.5	上・下半	-	-	-	15	40	(45)	0	
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	

(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、温泉余岩などの場合は () の厚さを有するインバートを設置する。
- ② 脚部では図-14.6.1 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。
- 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。

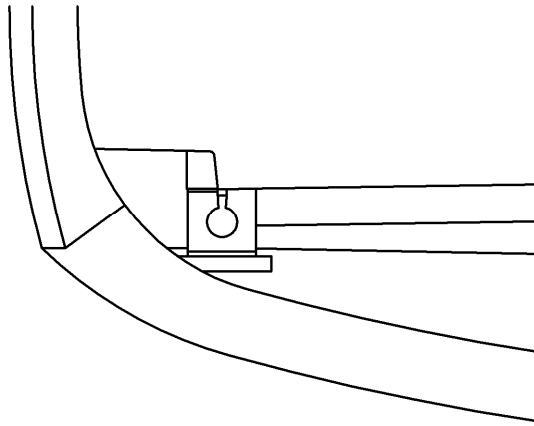


図-14.6.1 大断面トンネル脚部のインバートの形状

(注2) 金網について

- ① 一般に地山等級がCⅡにおいては天端付近に、DⅠ，DⅡ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) 変形余裕量について

地山等級がDⅡにおいては、上部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・下半部に变形余裕量として10cm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4) 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ことから、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、爆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5) 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。

表-14.6.4 標準的な支保構造の組み合わせの目安
(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	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) 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。

6.4 支保パターンの緩衝区間

隣接する地山等級の間に2ランク以上の地山等級差 (B~D I, C I~D II など) がある場合は、支保パターンの緩衝区間を設けるものとする。

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、弾性波低速度帯前後で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ものとする。緩衝区間長は20m程度とする。

なお、C I, C II パターンの設定については掘削方向により決定し、低速度帯に向かう位置ではC I パターン、低速度帯より抜ける位置では後荷を考慮して上半鋼製支保工の施工を行うC II パターンを設定する。

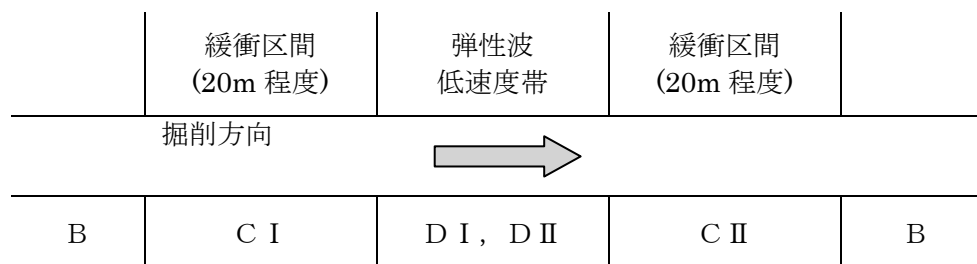


図-14.6.2 地山等級2ランク差の支保工緩和の例

6. 5 吹付けコンクリート

- (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。
- (3) 良質な地山以外では吹付コンクリートに金網を使用するものとする。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計 4-3吹付けコンクリート)：日本道路協会」および「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照する。

(2) について

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。また、吹付けコンクリートは湿式を原則とし、「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」における配合を参照する。湿式の配合の一例を表-14.6.6 に示す。

表-14.6.6 湿式の配合

強度	W/C	スランプ	単位セメント量	粗骨材最大寸法	急結剤	単位(S)細骨材料	単位(C)細骨材料
$\sigma_{28} = 18 \text{ N/mm}^2$	(56%)	10±2cm	「普通ポルトランドセメント」 360kgf	(15mm)	セメント量の (5.5%)	0.80m ³ (1,086kgf)	0.47m ³ (675kgf)

(注1) 乾式の場合は別途考慮すること。

(注2) () 書は参考であり、現場条件により考慮する。

(3) について

1) 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。

2) 金網の施工

金網の端部は相互に1目(150mm)以上ラップさせる。

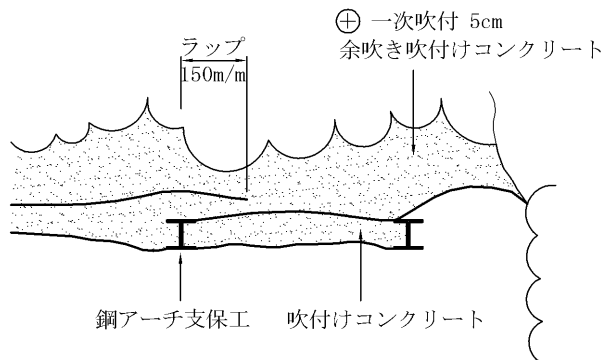


図-14.6.3 金網の施工要領

6. 6 ロックボルト

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。また，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。

本項の詳細については，「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計 4-4 ロックボルト)：日本道路協会」および「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照する。

6. 6. 1 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。

ロックボルトに使用する材質および強度は「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照とする。ロックボルトの材質（耐力）を表-14.6.8 に示す。

表-14.6.8 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

6. 6. 2 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標準支保パターンに従う。ただし，特殊な場合は別途検討を行うこととする。

ロックボルトの配置検討にあたっては，施工時のガイドセル設置余裕高を考慮するものとする。

6. 6. 3 ロックボルトの定着

ロックボルトには各種の種類，型式のものがあり，定着方式で大別すると表-14.6.5 に示すような定着材式と摩擦式があるが，一般的には定着材式が用いられる。ロックボルトの定着は全面定着方式を原則とする。

表-14.6.5 ロックボルトの定着方式

定着方式	定着方法	適用範囲	ボルト概要図
定着材式	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）。 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）。	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。	
摩擦式	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水圧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。	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など、独自の柔軟性を持っているため、適用範囲が広い。	

6. 6. 4 ロックボルトの頭部処理

- (1) ロックボルトの頭部は、防水シートの損傷を防止するため、ナットより突出した部分は切断、保護マット、ヘッドキャップを設置するなど適切な処理を行うものとする。
ロックボルトの頭部処理の例を図-14.6.4(1)に示す。
- (2) ロックボルトの頭部は、吹付けコンクリートの外側になるように配置し、吹付けコンクリートから受ける力を岩盤へ伝達できるような構造とする必要がある。

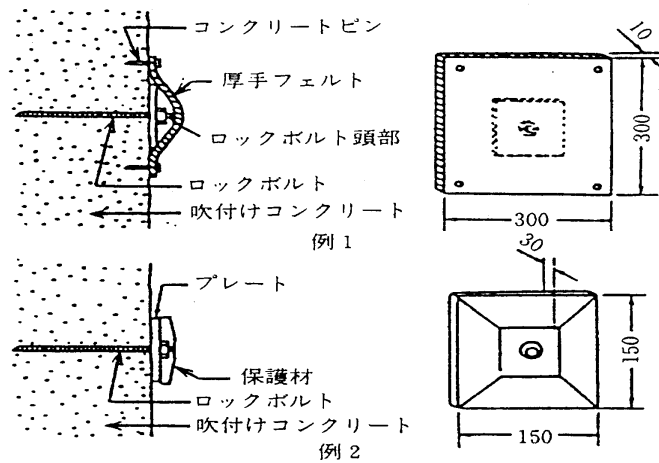


図-14.6.4(1) ロックボルトの頭部処理の例
(出典：山岳トンネル覆工の現状と対策 土木学会)

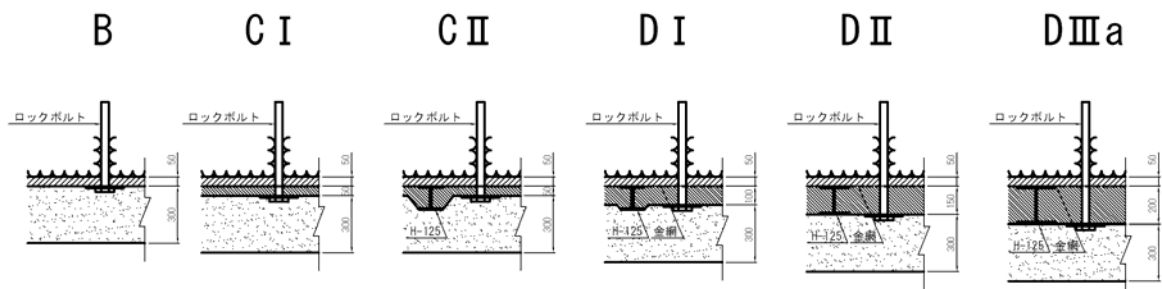


図-14.6.4(2) 吹付けコンクリートとロックボルトの位置 (標準断面の場合)

6. 7 鋼アーチ支保工

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。また、鋼アーチ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。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計 4-5 鋼アーチ支保工)：日本道路協会」を参照する。

一般的に鋼アーチ支保工は、次に記すような効果を持っている。

- ① 吹付けコンクリート・ロックボルトの支保機能発現までの支保
- ② 先受けボルトの反力受け
- ③ 落盤および崩壊性地山の早期、剛性骨組構造体としての安定効果
- ④ ロックボルトおよび吹付けコンクリートとの協調支保

6. 7. 1 鋼アーチ支保工の形状

鋼アーチ支保工は、鋼アーチ支保工掘削断面を考慮し、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。

6. 7. 2 鋼アーチ支保工の断面・材質

- (1) 鋼アーチ支保工は、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) 鋼アーチ支保工の鋼材には、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。

- (1) について 鋼アーチ支保工の断面形状・寸法は標準支保パターンに従うこととする。
 (2) について 鋼アーチ支保工に使用される諸元例を表-14.6.5 に示す。

表-14.6.5 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	寸法(mm)	断面積 (mm ²)	単位質量 (kg/m)	断面二次 モーメント I _x (cm ⁴)	断面 係数 Z _x (cm ³)	冷間加工最 小曲げ半径 の目安(m)
H 形 鋼	100×100×6×8	21.59	16.9	378	75.6	1.2
	125×125×6.5×9	30.00	23.6	839	134	1.5
	150×150×7×10	39.65	31.1	1,620	216	2.0
	175×175×7.5×11	51.42	40.4	2,900	331	3.4
	200×200×8×12	63.53	49.9	4,720	472	4.2
	250×250×9×14	91.43	71.8	10,700	860	5.5
鋼 管	φ101.6×5.0	15.17	11.9	117	34.9	1.0
	φ139.8×6.0	25.22	19.8	566	80.2	1.4
	φ216.3×8.2	53.61	42.1	2,190	269	2.5
U 形 鋼	(U21)113×102	26.80	21.0	296	56.6	1.35
	(U29)133×120	37.00	29.0	581	97.4	1.5

注) 鋼アーチ支保工の材質は、H型鋼がSS400、鋼管がSTK400、U型鋼がSM490相当となる。
 (出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説：日本道路協会)

6. 7. 3 鋼アーチ支保工の建込み間隔と継手及びつなぎ

- (1) 鋼アーチ支保工の建込み間隔は、地山条件、使用目的、施工法等を考慮して決定しなければならない。
- (2) 鋼アーチ支保工の継手の位置および構造は掘削断面形状、施工法および断面力の大きさと分布等を考慮して決定しなければならない。
- (3) 鋼アーチ支保工には、つなぎ材を設けなければならない。

(1) について

鋼アーチ支保工の建込み間隔は、標準支保パターンに従うこととする。

(2) について

鋼アーチ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。

鋼アーチ支保工の継手および底板の例を図-14.6.5 に示す。

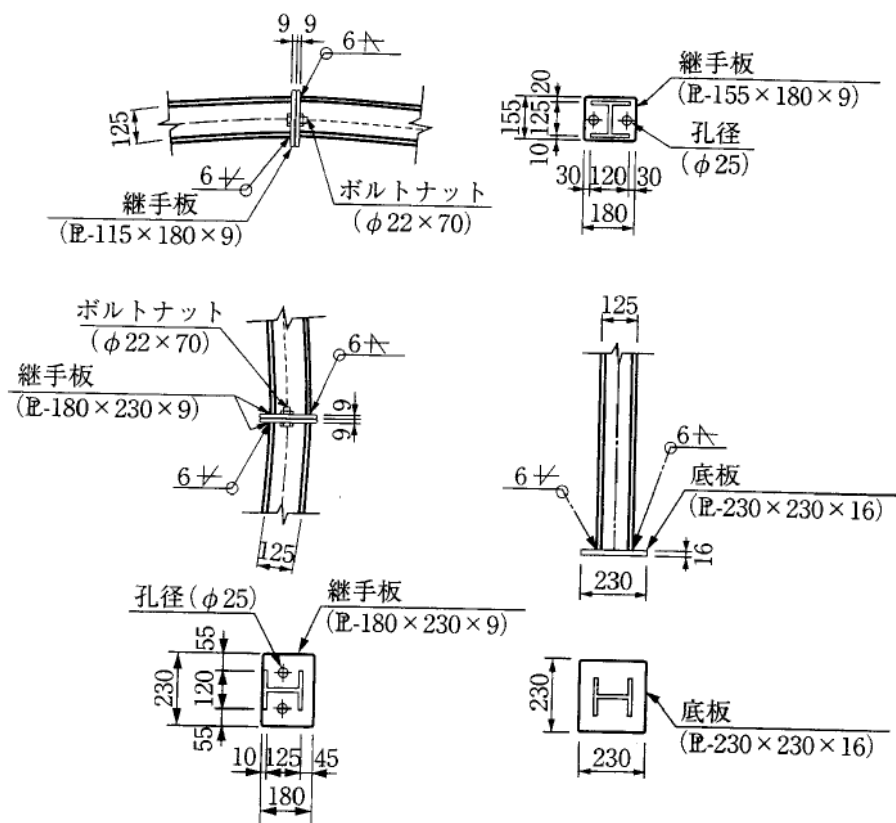


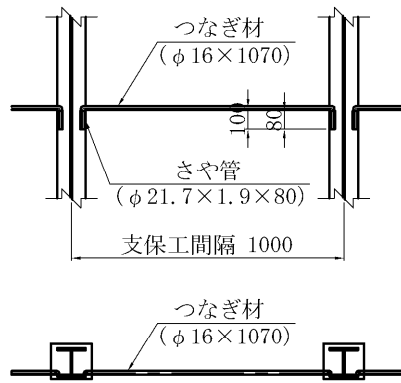
図-14.6.5 鋼製支保工の継手および底板の例

(出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 日本道路協会)

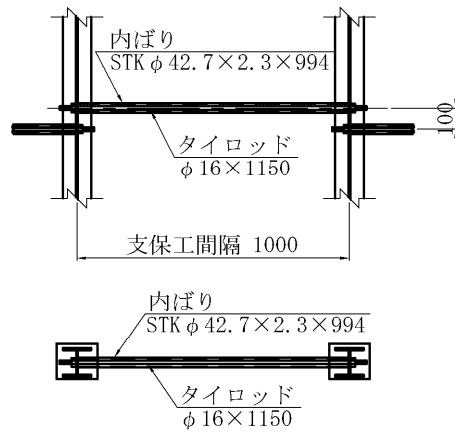
(3) について

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、さや菅方式の設計を標準とする。なお、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。



(a) さや管方式



(a) タイロッド方式

図-14.6.6 鋼製支保工のつなぎ材の例

(出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 日本道路協会)

6.8 覆工コンクリート

- (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検討するものとする。
- (4) 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ものとする。
- (5) 型枠はスライドセントルを使用することを標準とする。
- (6) 土被りが小さい場合、あるいは力学的な解析によって作用荷重がある程度想定できる場合は、一般の配合によらず、鉄筋コンクリートとしての配合あるいは特殊な配合とすることがある。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 4. 支保構造の設計 4-6 覆工)：日本道路協会」を参照する。

(3) について

ひび割れの防止対策としては、吹付けコンクリートと覆工の間にシート等を入れ縁を切る方法を用いるのが一般的である。これ以外にひび割れ誘発目地による方法、鋼繊維を混入する方法およびコンクリートの品質を改良する方法があるが、最も効果的と考えられているのは、シートなどを用いて縁を切る方法であり、これまでのトンネルの施工によりひび割れを完全に抑えられるものではないが、その効果が確認されている。

既設コンクリートに型枠を据付ける場合には、若材齢の既設コンクリートに部分的な押し上げ力が発生し、ひび割れの原因となりやすいため、覆工コンクリートの打継ぎ目には、打継ぎ目溝型枠を設置する。打継ぎ目溝型枠の形状・寸法は脱型する時に周辺コンクリートを傷めないこと、組立・取外しの作業性がよいことを考慮して選定する必要がある。一般的には台形、三角形、将棋の駒形などの形状が使用されている。

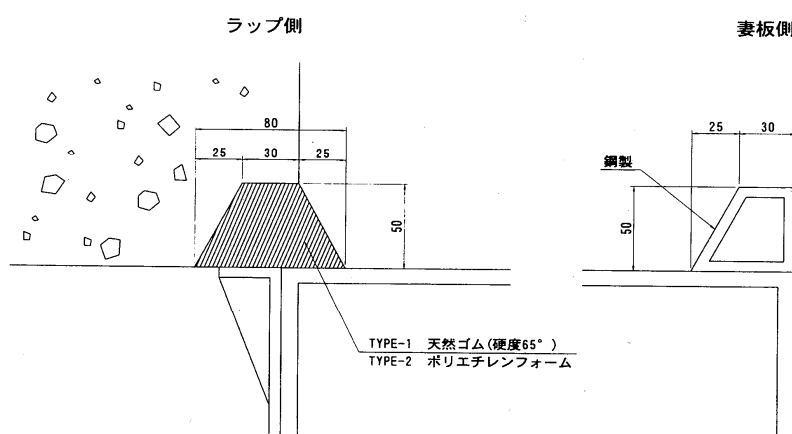


図-14.6.7 打継ぎ目溝型枠の例
(出典：山岳トンネル覆工の現状と対策 土木学会)

(4) について

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必要がある。

(5) について

セントル長は 10.5m を標準とするが、トンネル延長が短い場合や非常駐車帯部等の大断面である場合は、平面線形における曲率半径が小さい場合などでは施工性や経済性が問題となるのでセントル長を短くするか、組立式型枠を用いるかを施工性・経済性を含め総合的に検討する必要がある。

また、インバート工の型枠には、覆工コンクリートとのすりつけ部（すりつけ円の部分）の型枠を含めるものとする。

(6) について

覆工には、一般的に無筋コンクリートを用いるが、土被りの小さい土砂トンネル、坑口部などでは、将来の荷重の変化や状況の変化に備えるため、あるいは偏土圧に対処するために鉄筋等で補強することが多い。

また、土圧・水圧が作用すると考えられる場合や、膨張性地山のように地山変形の収束前に覆工を打設せざるを得ない場合、双設トンネルや近接施工が計画されている場合、都市部などで未固結地山を対象とする場合、防水型（非排水構造）とし水圧を考慮する場合など作用荷重が想定できる場合は、鉄筋コンクリートとしての配合あるいは特殊な配合とする必要がある。

鉄筋コンクリートの設計基準強度等は、「第 8 章カルバート工」に準拠するものとする。

6. 8. 1 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、標準支保パターンによるものとする。但し、坑口部の設計巻厚は、坑口部の標準支保パターンによるものとする。
- (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。

(3) について

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が、標準的な厚さは標準支保パターンによるものとする。

6. 8. 2 覆工コンクリートの配合

- (1) 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。

表-14.6.6 に覆工コンクリートの配合例を示す。なお、覆工コンクリートの配合は、現場で試験施工を行って現場配合を決定する。

表-14.6.6 覆工コンクリートの配合例

設計基準強度	生コン呼び強度	粗骨材最大寸法	スランプ	セメント量	水セメント比	セメントの種類	適用工種
18N/mm ²	18N/mm ²	40mm以下	15cm程度	270kg/m ³ 以上	60%以下	高炉(B)普通ポルトランドセメント	覆工
18N/mm ²	18N/mm ²	40mm以下	8cm程度	230kg/m ³ 以上	60%以下	高炉(B)普通ポルトランドセメント	インバート

第7節 防水工・排水工

7.1 防水工・排水工の設計

- (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。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 5. 防水工・排水工)：日本道路協会」を参照する。

(1)について

覆工により止水された湧水は覆工背面に外圧として加わり、覆工のひび割れ発生原因となるなどトンネル本体へ悪影響を及ぼすこともある。特にひび割れを通しての漏水は、覆工コンクリートの耐久性の低下、トンネル内の付属施設や内装などの腐蝕の促進、冬季の氷柱発生および路面の凍結による利用者への不安感を与える原因となる。したがって、トンネル内への水の浸入を防ぐ必要があるが、湧水を止めようとする地下水位が上昇し、大きな水圧が外力として加わるので、都市部などで防水型（非排水構造）とする場合を除いて、湧水は停滞を生ずることなくすみやかに排出させるのが原則である。

(2)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。

(a) 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。

(b) 裏面排水工

覆工背面の湧水を集めて路盤排水工へ導くことを目的とした排水工である。また、裏面縦断排水工は防水工の下部端末として縦断方向へ設ける排水工である。

(c) 路盤排水工

路盤内及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及び横断排水工である。

(d) 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。

(e) 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。

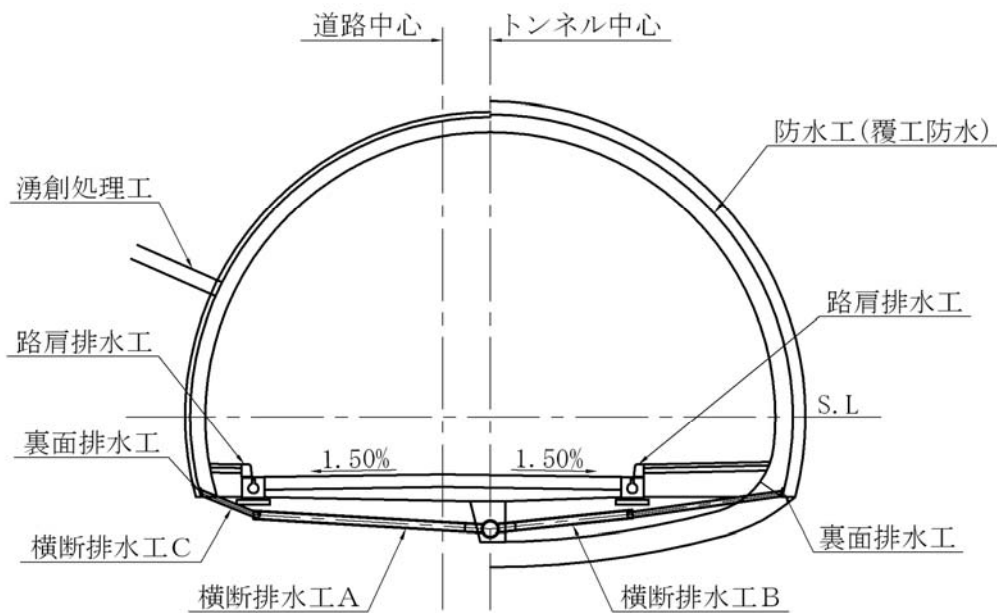


図-14.7.1 防・排水工の名称

7.2 防水工

- (1) 覆工内面への漏水を防止するため全区間に防水工を設けるものとし、材料は耐久性・施工性を確保し、施工時に破損しないものでなければならない。
- (2) 防水工はシート工法を標準とする。

本項の詳細については、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第3編 5. 防水工・排水工 5-2 防水工)：日本道路協会」を参照する。

(1) について

防水工は、トンネル掘削時あるいは吹付けコンクリート施工後に、湧水がある箇所に設けるが、湧水が見られない箇所であっても、地山状況により将来湧水が予想される箇所には設けることが望ましい。特に、トンネル坑口部付近は、土被りが小さく雨水の浸透が考えられるため、湧水の有無に関係なく防水工を設ける必要がある。

(2) について

防水工の方法としては、合成樹脂の防水シートを張り付けるシート系工法と、ゴムやアスファルトなどを吹付ける吹付け系工法との二つに大別される。一般的には工場製品であり、品質のバラツキが少なく、施工が簡単であるなどを理由に、シート系の方が多用されている。

防水工に使用する防水シートは、厚さ0.8～2.0mm程度のものが一般的には使用される。

上記の防水シートと、ひび割れ防止対策として使用される透水性緩衝材(3mm)防水シート(0.8mm以上)とを組合せた材料を上下半の全周に設置することを原則とする。なお、高熱トンネルや特に湧水の多いトンネル等においては、別途考慮する。また、都市部などにおいてトンネルを防水型(非排水構造)とする場合は、トンネル全周を防水シートで巻立て、トンネル完成後に地下水を抜かないで、地盤沈下など周辺環境条件への影響抑止を行う。このような、トンネル坑内に水を入れない場合は、厚さが2.0mm程度の防水シートを用いるなど、コンクリート打設などによる損傷を受けにくくする必要がある。

7.3 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
しなければならぬ。また、設置する排水工は以下のとおりとする。

- (1) 裏面排水工
- (2) 路盤排水工（中央排水工，横断排水工）
- (3) 路側排水工

(1) について

地山からの湧水は、覆工コンクリート打設前に坑外へ排出できるよう、完全に処置しておか
ねばならぬ。覆工防水工あるいは湧水処理工によって集水された湧水を路盤排水工に導
水するため、覆工背面および覆工脚部に設ける排水工を裏面排水工という。

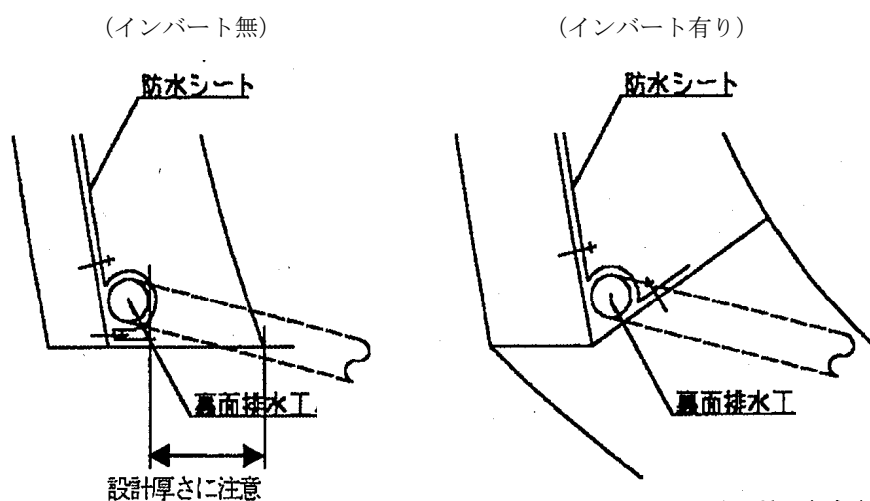
裏面排水工は、湧水量に応じて適宜材料・断面を設計し、有効に導水処理が行えるよう
に配置しなければならない。

裏面排水工は、覆工背面の湧水を円滑に路盤排水工へ導く機構を有するものでなければな
らぬ。このため裏面排水工の材料等は、コンクリートの打設により潰されないもので、遊
離石灰や土砂等による目詰まりしにくいものを選定しなければならない。このようなことか
ら裏面排水工の材質は、覆工コンクリート打設時の側圧約 50kN/m^2 を考慮して、耐圧強度
が 75kN/m^2 以上を有するものを選定しなければならない。また排水能力としては、土砂や
遊離石灰による目詰まり、集中的な降雨による異常出水および補修の困難を考慮し、十分余
裕のある断面とする必要がある。このため、湧水が少ないと思われる場合でも、最小管径（内
径） $\phi 75\text{mm}$ 程度の有孔管を標準とする。一般に、硬質塩化ビニール管や高密度ポリエチ
レン管等が用いられる。

裏面排水工の設置位置・設置方法については、集水機能を阻害したりトンネルの安定性に
影響を及ぼさないように設置しなければならない。（図）

なお、湧水量の多いトンネル区間にあつては、その排水能力に限界があるため、横断排水
工の設置間隔も合わせて考える必要がある。

中央排水工接続部詳細図



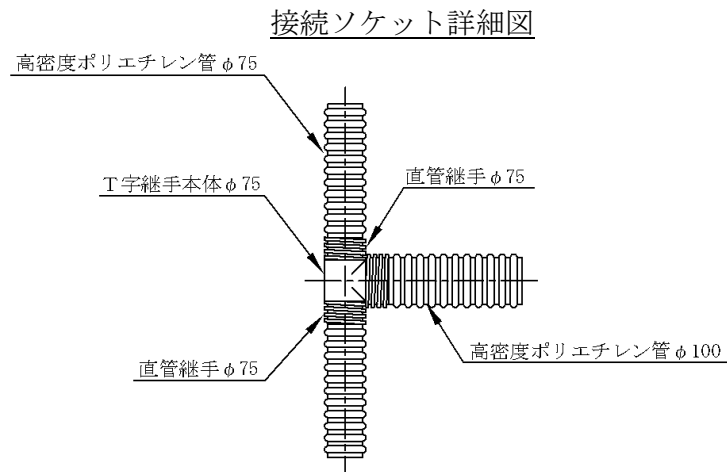


図-14.7.2 裏面排水工と横断排水工の接続部 (標準)

なお、裏面排水が設置される覆工脚部は、応力が集中する箇所であるため、断面欠損を考慮し、別添図のとおりインバートがない場合の覆工脚部内側半径の変更を行うものとする。ただし、インバート設置区間においては変更はしないものとする。

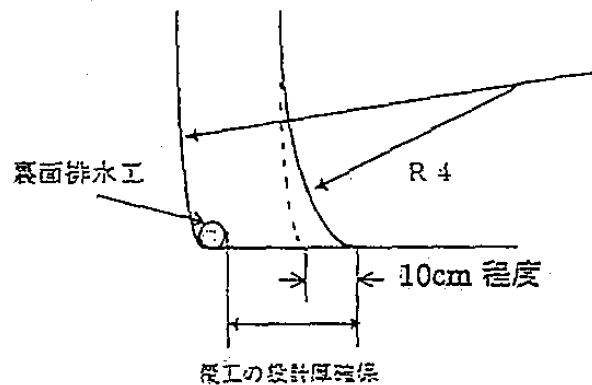


図-14.7.3 覆工脚部の形状 (標準)

(2) について

1) 中央排水工

中央排水工は、地質調査結果や工事中の湧水状況などから完成後の湧水量を推定し断面を決定することになるが、路面下に布設するため将来の清掃や点検が困難であることから、十分余裕のある断面とすることが望ましく、材料は最小径として 30cm 程度の有孔高密度ポリエチレン管 (内面平滑タイプ) もしくはそれと同等以上の性能を有する管とする。

インバートがある場合の中央排水工の位置については、インバートの下部に設置すると、地山をいためる範囲が大きいこと、地山の膨圧により破損の可能性があることなどのため、インバートの上部に設置することを標準とする。なお、インバート施工時に湧水が多い場合には、インバートの下に仮排水工を併設することが望ましい。

防水型のトンネルとする場合、不測の事態に備え、最小限の中央排水管を布設するものとする。

また、中央排水工は、湧水の有無に関わらず全区間に設置するものとし、図-14.7-4を標準とする。

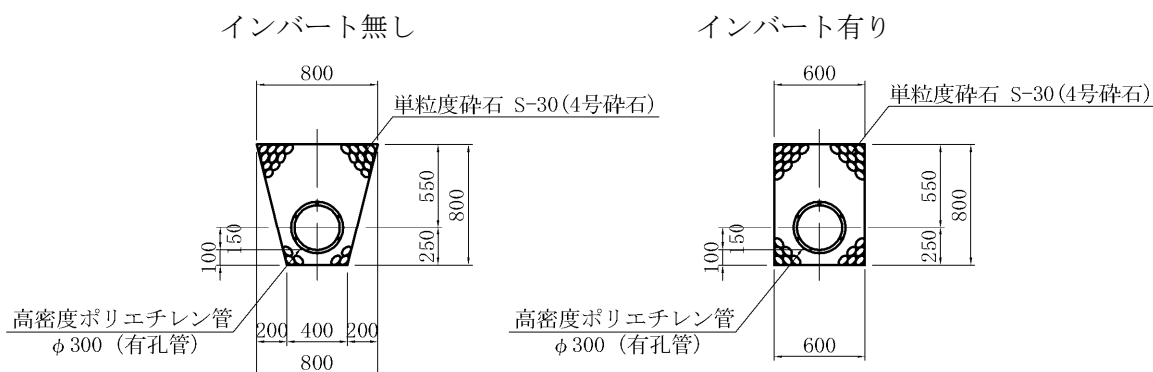


図-14.7.4 中央排水工 (標準)

2) 横断排水工

横断排水工の設計は、一般には 30m~50m の間隔で設けるが、降雨強度、降雪量、土被りなどに支配される現地の湧水量が多い場合には設置間隔を短くする。また、湧水量が少なく、目詰まりが生じる恐れがある場合などで、設置間隔を短くした例もある。材料は有孔高密度ポリエチレン管 (内面平滑タイプ) もしくはそれと同等以上の性能を有する管とする。横断排水管径は、インバートが無い区間では路盤内の湧水を処理することを考慮し管径 $\phi 150\text{mm}$ の有孔管とし、インバート設置区間では裏面排水工からの排水のみを考慮して無孔管径 $\phi 100\text{mm}$ とする。

中央排水工に接続する横断排水工の標準図を図-14.7.5 に示し、横断排水工の選定フローを図-14.7.6 に示す。

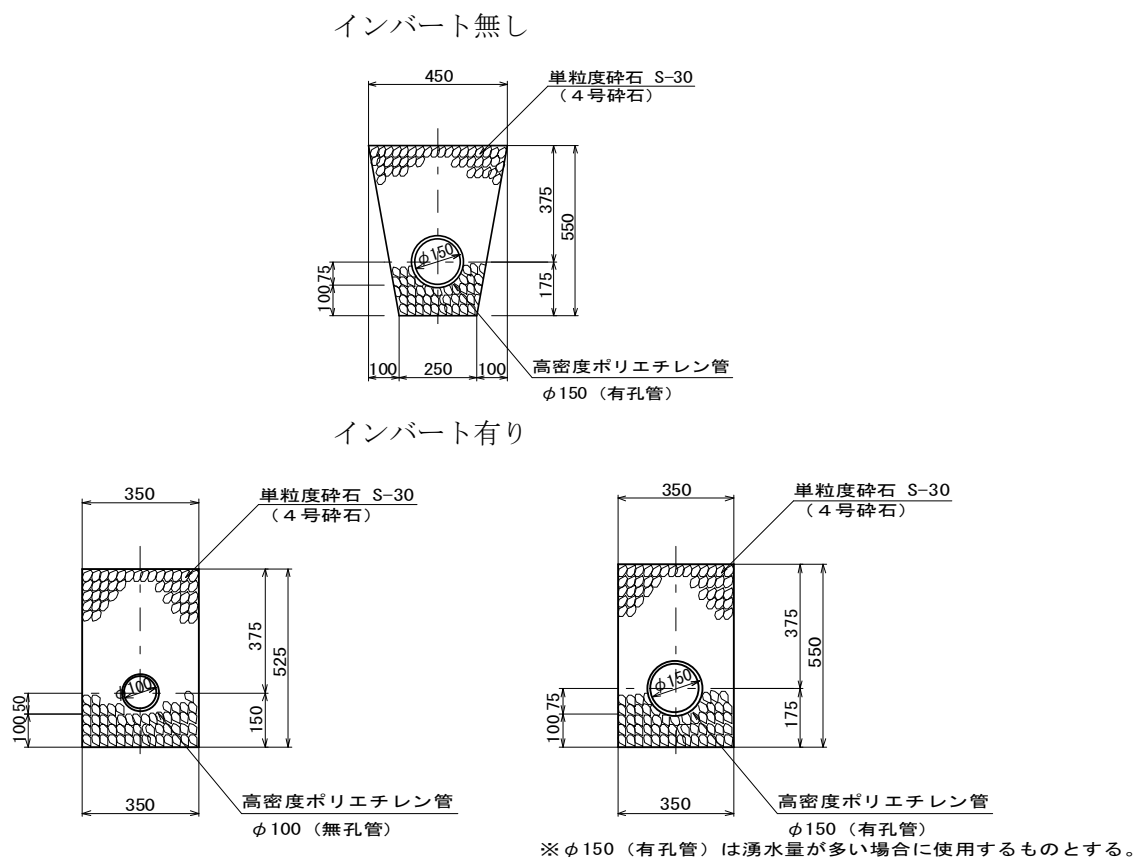


図-14.7.5 横断排水工 (標準)

出典：道路トンネル技術基準 (構造編)・同解説 P.135 平成 15 年 11 月 日本道路協会

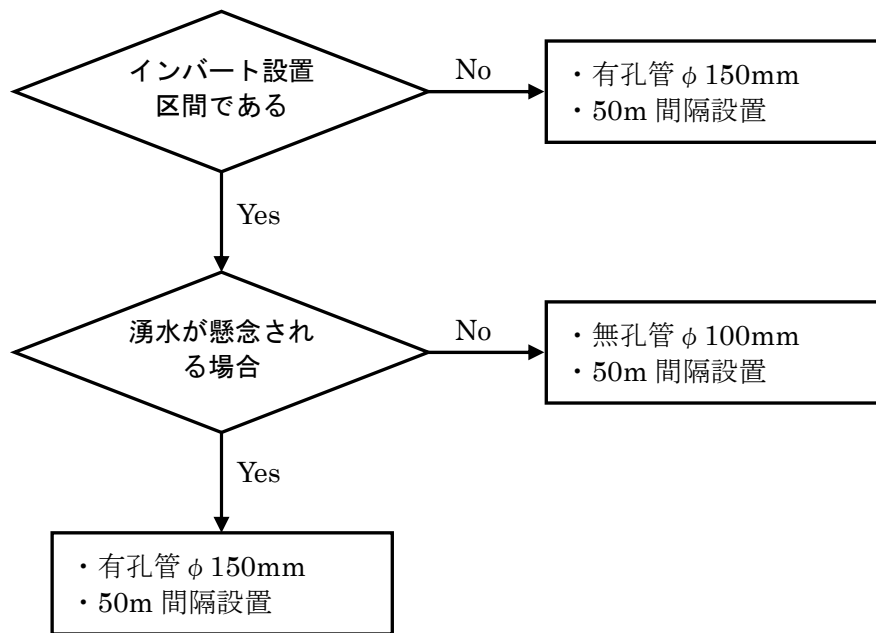


図-14.7.6 横断排水工の選定フロー

3) 中央排水工と横断排水工の接続

中央排水工と横断排水工の接続は施工中の横断排水管端部の潰れや目詰まりなどを考慮し、図-14.7.7に示す通り、異形接続管により直接接続するものとする。

中央排水工接続部詳細図

接続ソケット詳細図

(インバート無し) (インバート有り)

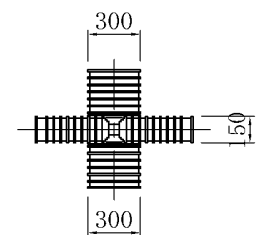
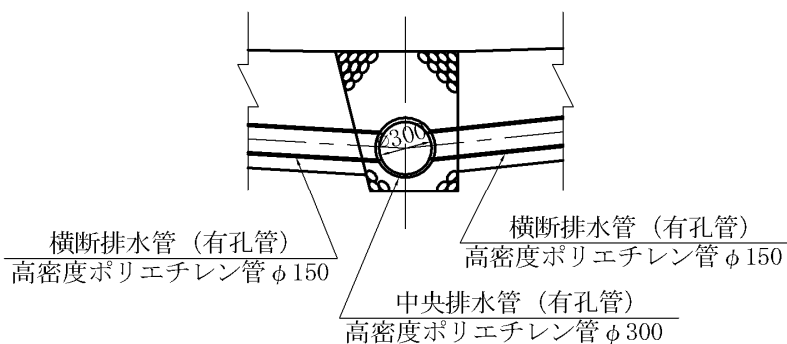


図-14.7.7 中央排水工と横断排水工の接続部

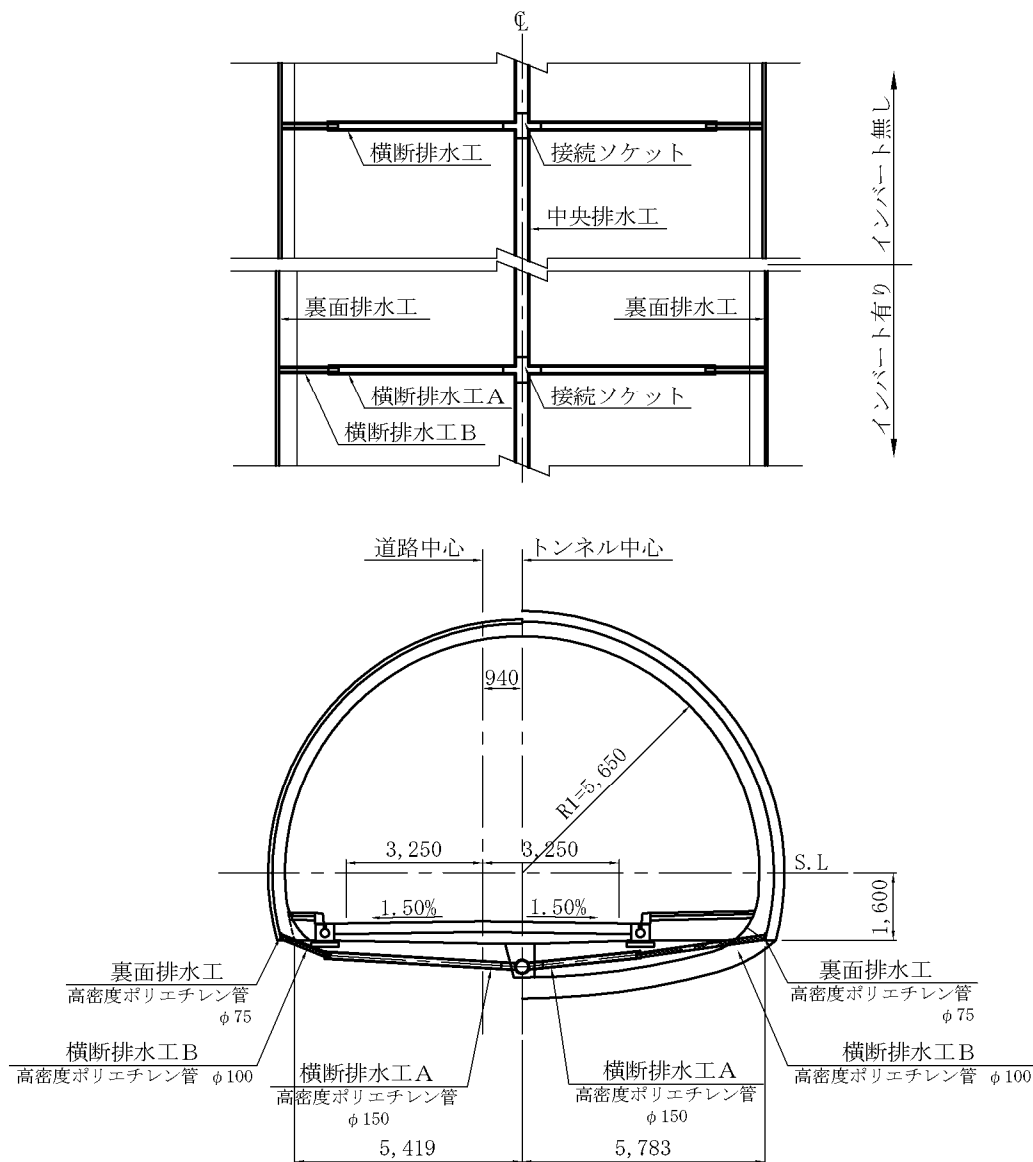


図-14.7.8 横断排水工・裏面排水工 (例)

4) 路盤排水工材料

路盤排水工は「JISK6748 (ポリエチレン成型材料)」を標準とする。また、施工にあたっては、埋め戻し材の転圧を十分行うことが必要である。

(3) について

1) 路側排水工は、円形水路 (φ200) を標準とし、原則としてトンネル両側に設置するものとする。側溝形状は、施工性・経済性の他、監査歩廊下の埋設管設置スペースの確保可否等を踏まえた比較検討を行い、決定するものとする。なお、比較検討に際しては、側溝形状の違いが舗装幅にも影響を与える場合には、舗装工費を含めた経済性比較を行う必要がある。

施工性・経済性を踏まえて、薄型円形水路等についても比較検討し、選定するものとする。

2) 内空断面検討時は、標準のプレキャスト円形水路 (φ200 グレーチング付 T-25 対応) を設定し、検討を行うものとする。

3) 明り部からの路面排水がトンネル内に流入しないように、トンネル出入口部には排水工を設けることを原則とする。

4) 明り部の縦断排水を兼用する場合は、明り部の排水量をも満たす規格とする。

側溝

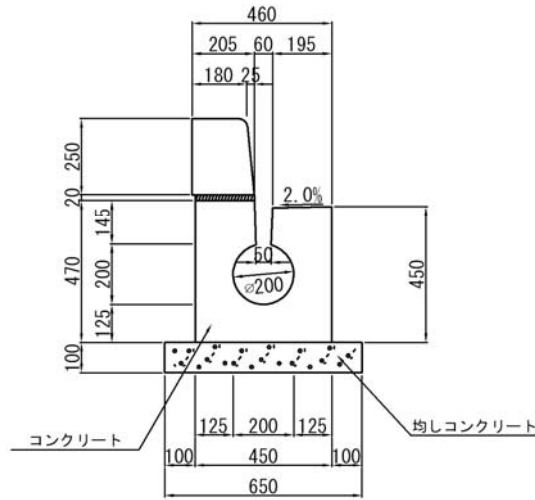


図-14.7.9 円形水路（二次製品 φ200 グレーチング付）（標準）

5) 集水桝

路側排水工の集水桝は、二次製品を標準とする。また、集水桝の設置間隔は 50mを標準とする。

側溝集水桝

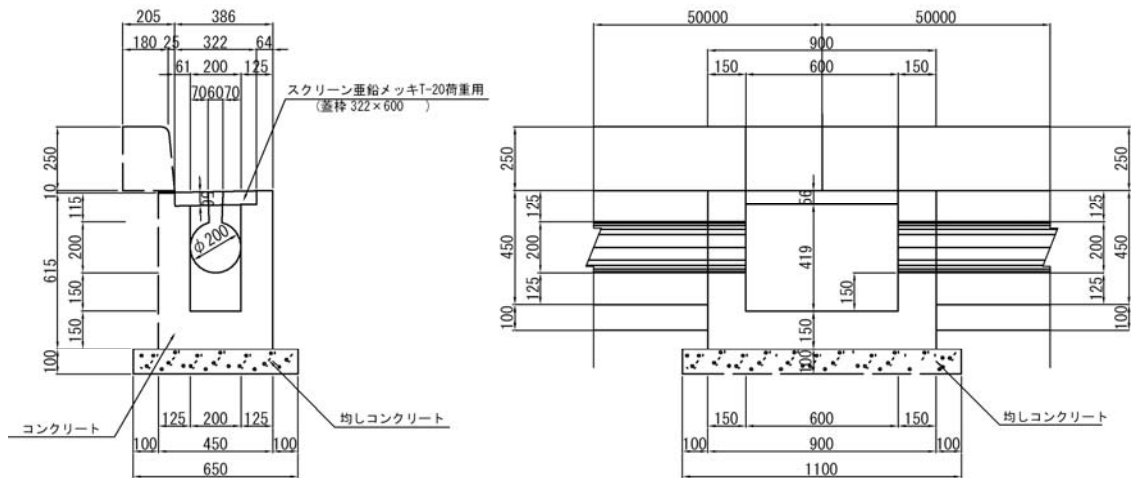


図-14.7.10 集水桝（二次製品）（参考）

第8節 坑口部の設計

坑口部および坑門の設計にあたっては、坑口付近の地形、地質、地下水、気象などの自然条件および人家、構造物の有無などの社会的制約条件を十分把握するとともに、斜面安定、気象災害の可能性、周辺環境との調和、車両の走行に与える影響などを考慮して、坑口部の施工方法、坑門形式、坑門形状、坑門構造などを適切に選定しなければならない。

トンネルの坑口部は一般に土被りが小さく、地山がアーチ作用によって保持できない部分であり、今までの実績によると、通常、図-14.8.1に示すように、土被りが $1\sim 2D$ (D は掘削幅)の範囲である。ただし、坑口部の範囲を限定することは、地形・地質・周辺環境により異なるため難しく、地山条件が良好な堅岩の場合、洪積層台地のように地形勾配がなだらかな場合などにおいては、個々のトンネルの地山条件を考慮してその範囲を定めるものとする。

なお、斜面平行型坑口ではトンネル直上土被りより肩部の土被りが不足する場合があるため、斜面とトンネル位置関係に注意すること。

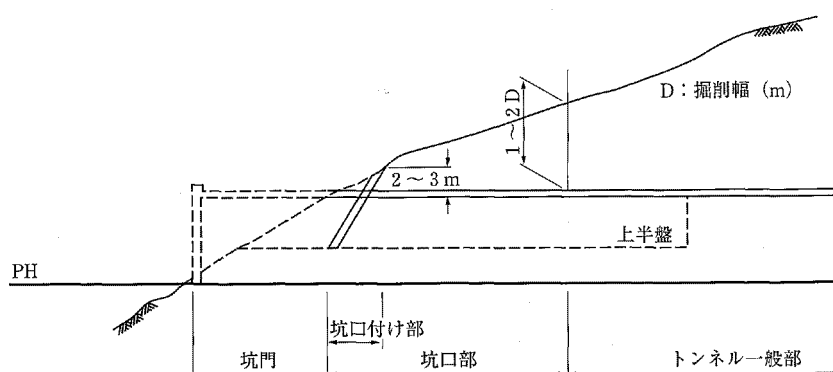


図-14.8.1 標準的な坑口部の範囲

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 P.140 平成15年11月 日本道路協会

8. 1 坑口付け部

坑口付け部の設計にあたっては、以下のことに配慮しなければならない。

- (1) 坑口付け部の設計にあたっては、トンネルの建設に伴って予想される諸問題に対し、適切な対策工法を選定し、設計しなければならない。
- (2) 坑口付け部における掘削工法を選定にあたっては、断面の大きさ、形状、地山条件、立地条件などを十分考慮して、適切な掘削工法を選定しなければならない。
- (3) 坑口部の支保工および覆工は、坑口部特有の地山条件を考慮して設計しなければならない。
- (4) 坑口の位置は、接続する道路に無理な構造が生じないように計画するものとする。地形の制約上トンネル前後に交差点がある場合には、所定の距離を確保するものとする。また、坑門と橋台が接近しすぎる構造は避けるものとする。
- (5) 受電室を必要とするトンネルにおいては必要なスペースを確保するものとする。

(1) について

坑口部は地表面に接することから、斜面崩壊・地すべり・岩盤崩壊・偏土圧・地耐力不足・切羽崩壊・地表面沈下などが問題となる場合がある。このため、地形・地質・気象条件などについて詳しく調査を行い、問題がある場合には、トンネルに不都合が起きないように、適切な対策を検討する必要がある。

表-14.8.1 に坑口部施工時に予想される現象と対策工法を示す。

表-14.8.1 坑口部施工時に予想される現象と対策工

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 ボ ル ト ・ 鏡 吹 付 け コ ン ク リ ー ト						○	○		〃
一 時 閉 合 (仮 イ ン パ ー ト)				◎	◎		◎		〃
側 壁 導 坑					◎		○		〃

注) ◎：有効な工法，○：場合により有効な工法

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 P.142 平成15年11月 日本道路協会

(a) 斜面崩壊・地すべり・岩盤崩壊

斜面崩壊・地すべりを誘発する要因として、トンネル掘削による緩み・地すべり面脚部の切り取り・地すべり面脚部のトンネル掘削などがある。

トンネル施工の影響を考慮して、斜面の安定に対して所要の安全率が確保できない場合には、必要な対策工を設計しなければならない。その場合、トンネル設計では、地山の強度を低下させないように考慮するものとするが、トンネル構造物を抵抗力としては見込まないのが一般的である。

また、坑口部が急崖を形成する岩盤斜面に位置する場合には、坑口部に影響を及ぼすと予想される範囲について岩盤崩壊に関する調査を行い、必要な場合には対策事例を参考に適切な対策を施さなければならない。岩盤崩壊の対策工としては、崩壊が予測される箇所の岩盤を取り除く方法、斜面に固定する方法、崩壊物を安全な方向へ逃がす方法、待ち受け防護工を設置する方法などがあり、地形・地質や自然環境などの条件を考慮した慎重な対応が必要である。

(b) 偏土圧

トンネル横断面に偏土圧が作用して、トンネルが安定しない場合には、保護切り取りや押え盛土によって土圧のバランスをとる必要がある。また、急斜面部では、抱き擁壁と押え盛土などによる対策をとる例が多い。

図-14.8.2 に抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例を示す。

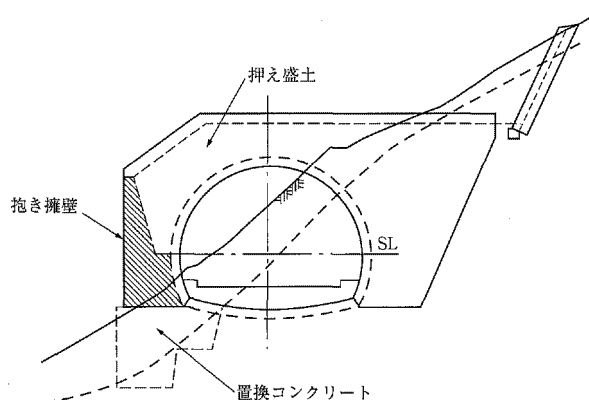


図-14.8.2 抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例

出典：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説 P.142 平成15年11月 日本道路協会

(c) 地耐力不足

斜面安定のためにはトンネル坑口を切りこむことは不利であり、トンネル坑口を手前に出すことが多いが、この場合にはトンネルの基盤が表土や強風化層にはいり地耐力不足による沈下や変状をおこすことが考えられるため、必要な地耐力が得られるように施工法も含めた設計を行う必要がある。

(d) 切羽崩壊

坑口付け部では、一般に地山の強度と固結度が低く、また、グランドアーチによる保持が行われないことが多く、切羽崩壊をおこす例がある。十分な強度を有する支保構造を設計するとともに、安定度が悪い場合には先受け工、鏡ボルト・鏡吹付けコンクリートなどの適切な対策工を採用する必要がある。

(e) 地表面沈下

坑口部の地表面に沈下の制限が必要な物件がある場合には、上記各項目の問題をおこさないように十分な対策を計画するとともに、必要に応じて垂直縫土工、パイプルーフ工、

先受け工などの適切な対策工を採用する必要がある。

(f) 気象災害

坑口部は、土石流、異常出水、なだれ等を受けない位置に設計することが重要である。やむを得ず、このような位置に坑口を設ける場合には、災害時の影響を考慮して十分な対策を実施しておく必要がある。

(2) について

一般的には上部半断面工法を用いるが、地山が良好な場合には補助ベンチ付全断面工法を用いることもあり、反対に支持地盤の地耐力が小さい場合などには側壁導坑先進工法、切羽の自立性や地表面沈下などが問題となる場合には中壁分割工法などを用いる場合もある。坑口部では、個々のトンネルの地山条件や坑奥の一般部の施工法などを考慮した合理的な施工法を選定する必要がある。特に不良地山の場合には坑奥の掘進に先立ちインバートまで施工し断面を閉合することによってトンネル断面の安定化を図ることが重要である。

(3) について

1) 支保工構造

坑口部は、崖錐や未固結地山等が多く、土破りが小さいため、グランドアーチが形成されにくいことから、上載する全荷重が作用することもあるので作用する荷重に耐えるように耐力の高い支保工の設計が必要である。

表-14.8.2～表-14.8.4に坑口部における標準的な支保構造の組み合わせの目安を示す。

(a) 標準的な支保構造の組み合わせ

内空幅 8.5～14.0m程度の上半先進工法，補助ベンチ付き全断面工法，中壁分割工法の場合における標準支保パターンを第4節で定めた断面区分に応じ，表-14.8.2～表-14.8.3に示す。

表-14.8.2 坑口部の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)

掘削工法	掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚 (cm)	
		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)						
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	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	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	-	-

() : フォアポーリングを示す

(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4m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，その材質およ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。

(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・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。

出典：道路トンネル技術基準 (構造編)・同解説 P.145 平成 15 年 11 月 日本道路協会

表-14.8.3 坑口部の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)

掘削工法	掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			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	建込間隔 (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	-	-

(): フォアポーリングを示す

- (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6mを標準とする。
- (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、中央導坑先進工法での導坑施工時に設置するロックボルトは、後進坑、本坑の掘削を考慮して、ファイバー補強プラスチック棒(FRP)のロックボルトなど撤去・切断しやすいものも使用できる。
- (注3) 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、その材質およ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。
- (注4) 一次支保状態での断面閉合効果が期待出来るように、吹付けコンクリートの脚部はインバートで受けるものとする。
- (注5) 金網は、上部半断面工法、上半中壁分割工法、中央導坑先進工法の場合は上・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。
- (注6) 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7) 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。

表-14.8.4 坑口部の標準的な支保構造の組み合わせの目安
(小断面トンネル 内空幅 3.0~5.0m程度)

掘削工法	1掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工		吹付け厚 (cm)	覆工厚 (cm)	
		長さ (m)	周方向 (m)	延長方向 (m)	種類	建込間隔 (m)		アーチ部	インバート部
全断面工法	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125	1.0	10	20	20

注) () : フォアポーリングを示す

- (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。
- (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、その材質およ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。
- (注3) 金網は、天端および側壁部に設置することを標準とする。

(b) フォアポーリング

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、その材質などの選定にあたっては、「土木工事標準積算基準 第IV編 道路 第5章トンネル工」を参照するものとする。

フォアポーリングの材料は下記を標準とする。

表-14.8.5 フォアポーリングの材料 (標準)

ボルトの種類	材質	ボルト呼び径	公称径 (mm)	ねじ部				素材部			単位重量 (kg/m)
				径 (mm)	断面積 (mm ²)	降伏耐力 (KN)	破断耐力 (KN)	断面積 (mm ²)	降伏耐力 (KN)	破断耐力 (KN)	
異型棒鋼	SD 345	D25	25.4	M24	353	120.5	172.5	506.7	173.5	247.9	3.98

3) 覆工

坑口部の覆工は以下の理由により鉄筋による補強を行い、インバートを設置するものとする。

- ① 土被りが作用すると考えられ、荷重が大きくかつ地盤反力も不均衡となる恐れがある。
- ② 温度変化、乾燥収縮の影響が大きい。
- ③ 地震の影響を受ける恐れがある。

一般的には、単鉄筋で補強した構造とし、小断面トンネルおよび通常断面トンネルの場合には主筋として直径 19mm 以上 (ctc20cm 程度)、配力筋として直径 16mm 以上 (ctc30cm 程度) を考慮するものとする。また、大断面トンネルの場合には主筋として直径 22mm 以上 (ctc20cm 程度)、配力筋として直径 19mm 以上 (ctc30cm 程度) を考慮するものとする。

なお、土砂地山の区間が長い場合や長期にわたり偏土圧の影響を受けることが予想される場合、また地表に他の構造物が近接する場合などの特殊な条件で構造計算が必要と判断される場合には、構造設計を行う。

8. 2 坑門

- (1) 坑口部を防護する坑門は、地山条件、気象条件、トンネル規模および機能を考慮し、トンネルの使用目的に応じて、周辺環境との調和に配慮した設計をしなければならない。
- (2) 坑門の位置ならびに形式の選定にあたっては、背後の地形・地質、地耐力、斜面の安定、近接構造物、施工方法、明かり部の構造等の関係を考慮しなければならない。
- (3) 坑門の設計にあたっては、坑門形式に応じて作用する荷重を検討したうえで、寸法と形状、配筋を決定しなければならない。

(1)および(2) について

1) 位置

坑門工の位置は、地形・地質条件、周辺環境条件により決定されるが、地形や横断面がトンネル軸線に対して、できるだけ対称となる位置とし、偏土圧を受けないようにすることが望ましい。

また、坑門背面と坑口付けとの離間距離は、坑門工が面壁型の場合は、その施工を考慮し、下半盤で0.5m程度確保することを標準とする。

2) 形式

坑門の一般的な形式には、表-14.8.7のようなものがあり、それぞれの特質があるので地形地質、施工性、景観等を考慮し、これらの条件に適合するものを選択する。

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とし、コンクリート面が大きいと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の面の小さい形状とする。

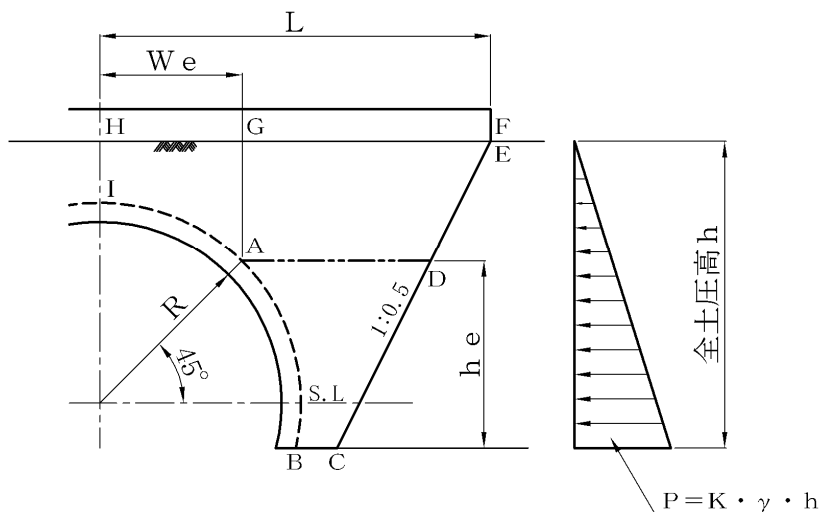
形式 項目	面		壁		半突出型		突出型		突出型		重力型	
	ウイング式	アーチウイング式	パラペット式	突出式	竹割(逆竹割)式	ベルマウス(逆)式	重力・半重力式					
形状												
地山条件による適用性	<ul style="list-style-type: none"> 両切土工の場合 背面土圧を全面的に受ける場合 積雪量の多い場合には防雪工を併用。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的地形がなだらかな場合 左右の切土工が比較的少ない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 屋根上地形や左右に他の構造物との取り合いが少ない場合 積雪地でも可能 	<ul style="list-style-type: none"> 押え盛土を施工した場所 坑口周辺の地質が良くない場合 積雪地でも可能 坑口周辺地形の切り取りなど、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、坑口周辺の開けた個所に可能。 積雪地では吹き込み、雪庇が生じ易い。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的地形急峻の場合や土留擁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 					
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。 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。 保護盛土を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 数mの本体工の明り巻を必要とし、かつ盛りこぼしに對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と。 面壁型に比べ坑門位置が前に出たため支持力不足に留意する必要がある。 	同左	同左	<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。 					
景観 車両走行性	<ul style="list-style-type: none"> 壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリなど)が必要。 重量感はあるが、走行上の圧迫感を感じ易い。 	<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小さいため、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。 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリなど)が必要。 重量感はあるが、走行上の圧迫感を感じ易い。 						

(3) について

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。

(a) 面壁型坑門

面壁型坑門は、トンネル本体(覆工)に剛結された片持版として設計するものとする。



- L : 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力高さ (m)
- We : 鉛直方向の断面力算出時の
ウイング付根部の有力幅 (m)
- K : 静止土圧係数 (0.5)
- γ : 土砂の単位体積重量 (KN/m³)

裏込め土の種類	γ (KN/m ³)
レキ・レキ質土	20
砂・砂質土	19
シルト・粘性土	18

図-14.8.3 ウイングの断面力の算定 (片持版)

(i) 材料及び強度

面壁型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、以下の通りとする。

材 料	設計基準強度	規 格	備 考
コンクリート	24N/mm ²	24-8-25	
鉄 筋	180N/mm ²	S D345	D16 を下限, D32 を上限

(ii) 荷重

土圧は背面埋戻し土による影響を考慮した静止土圧とする。その他の荷重としては、必要に応じて施工荷重 (仮設荷重として計算時には、許容応力の割増を行う)、及び雪荷重、輪荷重等を見込むものとする。

地震時の検討は一般には考慮しないものとする。

(a) 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-14.8.3 に示す 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。

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 は吹付けコンクリートの内面 (覆工コンクリートの外面) を示す。

(b) ウイング固定端の断面力

次式により求めるものとする。

① 水平方向の断面力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_{A\sim B} = \frac{M_{G\sim A\sim B}}{h e}$$

$$\text{せん断力} \quad S_{A\sim B} = \frac{M_{G\sim A\sim B}}{h e}$$

② 垂直方向の断面力

$$\text{曲げモーメント} \quad M_{A\sim I} = \frac{M_{I\sim A\sim B}}{W e}$$

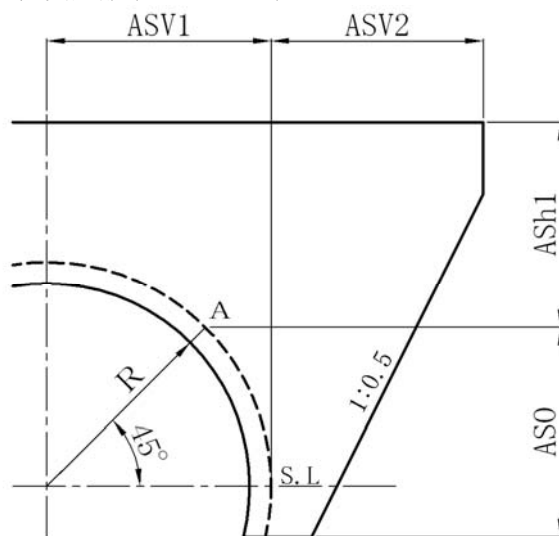
$$\text{せん断力} \quad S_{A\sim I} = \frac{M_{I\sim A\sim B}}{W e}$$

(ホ) 配筋設計

一般にはウイング固定端の断面計算結果より、図-14.8.4 に示す鉄筋量算定の考え方に基づいて行うものとする。

鉛直方向については、水平方向の断面力に比べて非常に小さくなるが、鉄筋設計にあたっては、図-14.8.4 により行うものとする。

坑門に生じる応力のトンネル本体への影響を考慮して、覆工外面に主鉄筋同様の鉄筋を、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(cm^2/m)

A_{SV1}, A_{SV2} : 水平方向に配筋される主鉄筋量(cm^2/m)

$$A_{Sh1} \geq A_{SO} / 2$$

$$A_{SV1} \geq A_{SO} / 2$$

$$A_{SV2} \geq A_{SO} / 4$$

図-14.8.4 鉄筋量の算定の考え方

(出典：設計要領 第三集 トンネル編 P152 平成 21 年 7 月 NEXCO)

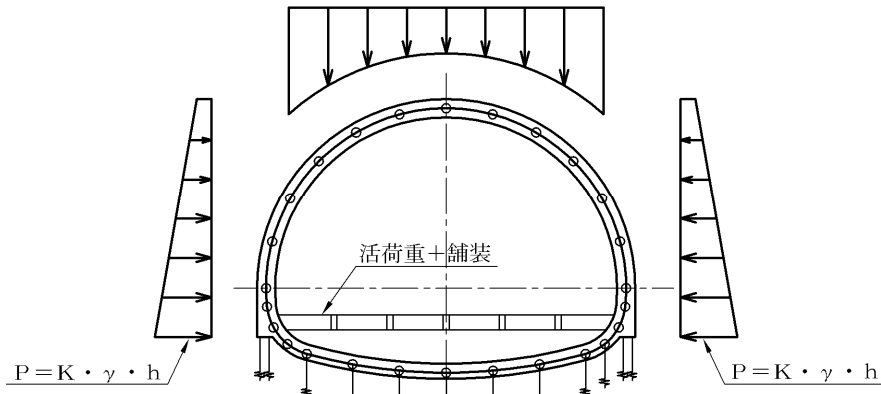
(b) 突出型坑門の設計

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-14.8.5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、本マニュアル『第8章 カルバート工』に順ずるものとする。

- (イ) 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。
- (ロ) 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。
- (ハ) 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。
- (ニ) 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を必要に応じて考慮する。
- (ホ) 地震の影響については、「道路土工 カルバート工指針 日本道路協会」を参考に検討するものとする。



- ①上載荷重-----埋戻し，雪，その他
- ②土圧 -----常 時：静止土圧他
地震時：クーロン土圧
- ③地盤定数-----弾性バネ
- ④温度変化，乾燥収縮-----温度変化：±15° C
乾燥収縮：-20° C

図-14.8.5 断面力の算定

(出典：設計要領 第三集 トンネル編 P154 平成21年7月 NEXCO)

第9節 非常駐車帯

延長 1,000m以上のトンネルにおいては、非常駐車帯を設けることが望ましい。

- 1) 非常駐車帯は計画される道路の利用条件を勘案し設置の有無を検討するものとする。
- 2) 非常駐車帯の配置は、片側車線につき通常 500～1500m程度に設けるのが一般的である。したがって、配置は片側 750m程度を標準とし、大断面となることから出来るだけ地山の良好な箇所にて設けるものとする。また、対向車線側の非常駐車帯との位置関係は、同一断面に集中しないよう、端部間距離として 50m以上確保する。さらに、トンネル区間が連続する場合は、明かり区間の非常駐車帯位置を考慮して配置するものとする。
- 3) 非常駐車帯の寸法は図-14.9.1 および表-14.9.1 を標準とする。なお、断面形状の参考例を図-14.9.2 に記す。

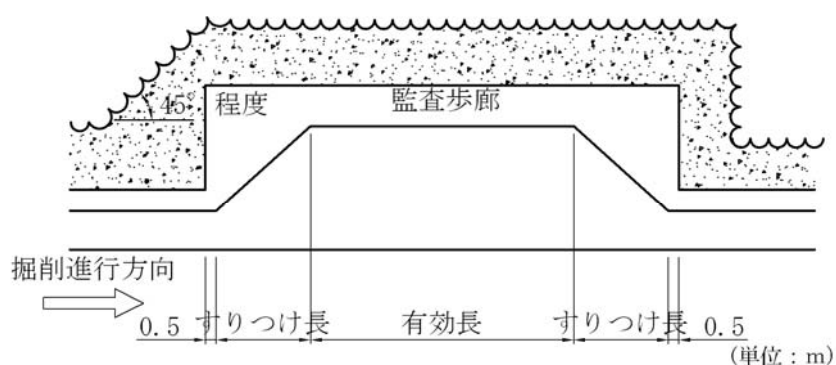


図-14.9.1 非常駐車帯平面図

(出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 P157 平成15年11月 日本道路協会)

表-14.9.1 非常駐車帯のすりつけ長と有効長（第3種の道路）

道路区分	非常駐車帯幅員(m)	すりつけ長(m)	有効長(m)
第3種	1級	3	5
	2,3,4級		5

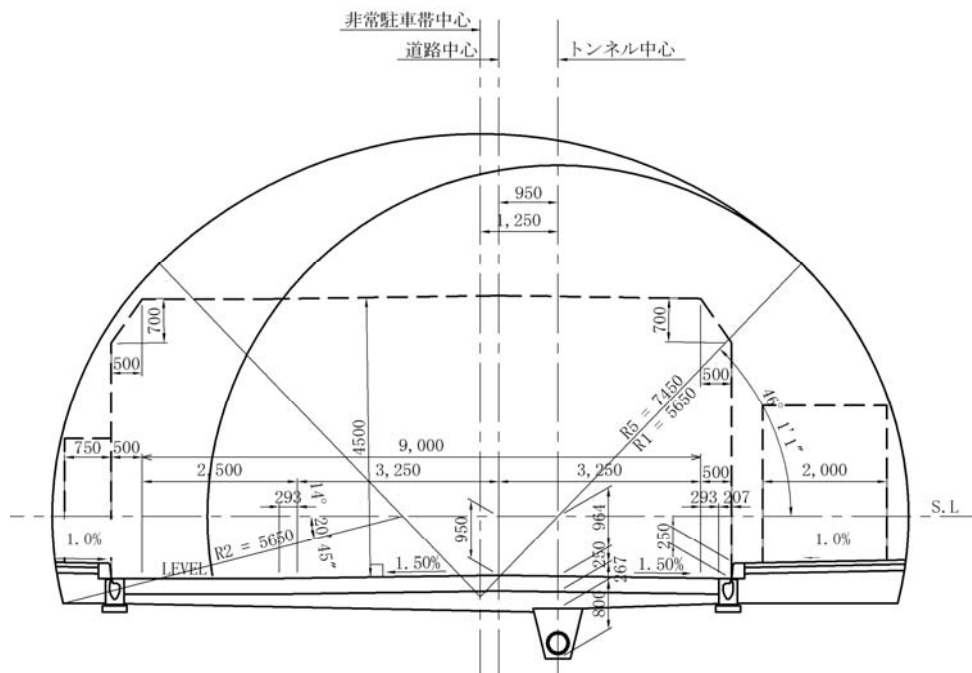


図-14.9.2 非常駐車帯の断面形状の例

(出典：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 P158 平成15年11月 日本道路協会)

- 4) 非常駐車帯の支保構造は「第6節 支保工・覆工」による。なお、断面区分が大断面に属するトンネル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、地山条件等に応じた検討が必要である。

第10節 補助工法

補助工法の適用にあたっては、その目的および効果を十分検討した上で、その採用について判定しなければならない。

1) 補助工法の種類

吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ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、切羽の安定性、トンネルの安全性確保、ならびに周辺環境の保全のため、おも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-14.10.1 に示す。

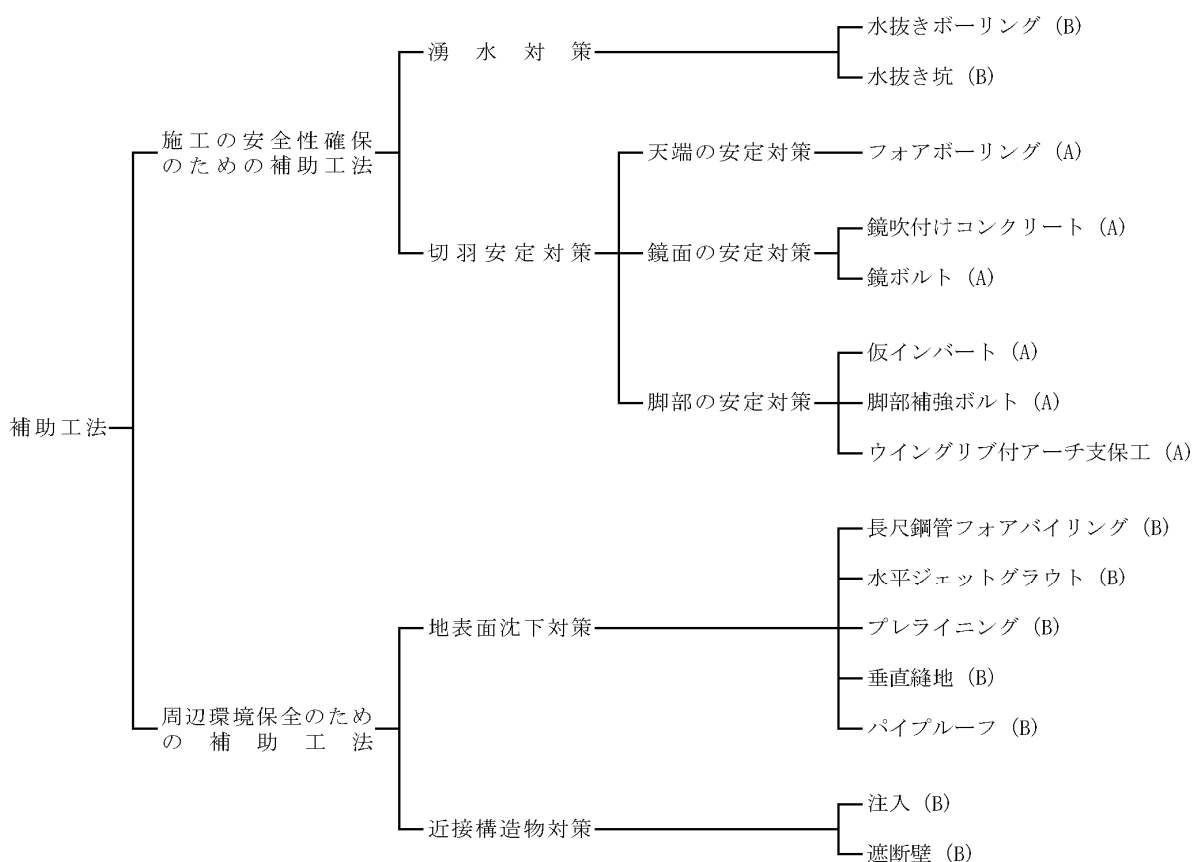


図-14.10.1 補助工法の分類

(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

(出典 : 土木工事設計 第Ⅲ編 道路編 : 九州地方整備局)

2) 当初設計時の補助工法

当初設計に補助工法を盛り込む必要がある場合、またはその可能性が十分大きい場合には、地山条件、環境条件、掘削断面、地表面沈下の制限等の基本条件を総合的に検討し、施工性のみならず安全性と経済性が得られるよう合理的な補助工法としなければならない。また、補助工法の施工性やその効果を高めるため、トンネル施工法についても補助工法に適合したものとする必要があり、種々の設計条件を総合的に考慮し、現地の状況に適合したトンネル設計、施工法としなければならない。

3) 施工中の補助工法

トンネル施工中に適宜補助工法の採用について検討を行う場合には、施工状況・計測結果等を把握した上で、掘削工法や支保パターンとの適合性についても十分に検討し、効果、経済性、工期等を勘案して決定しなければならない。また、トンネル掘削作業や施工サイクルへの影響についても留意する必要がある。

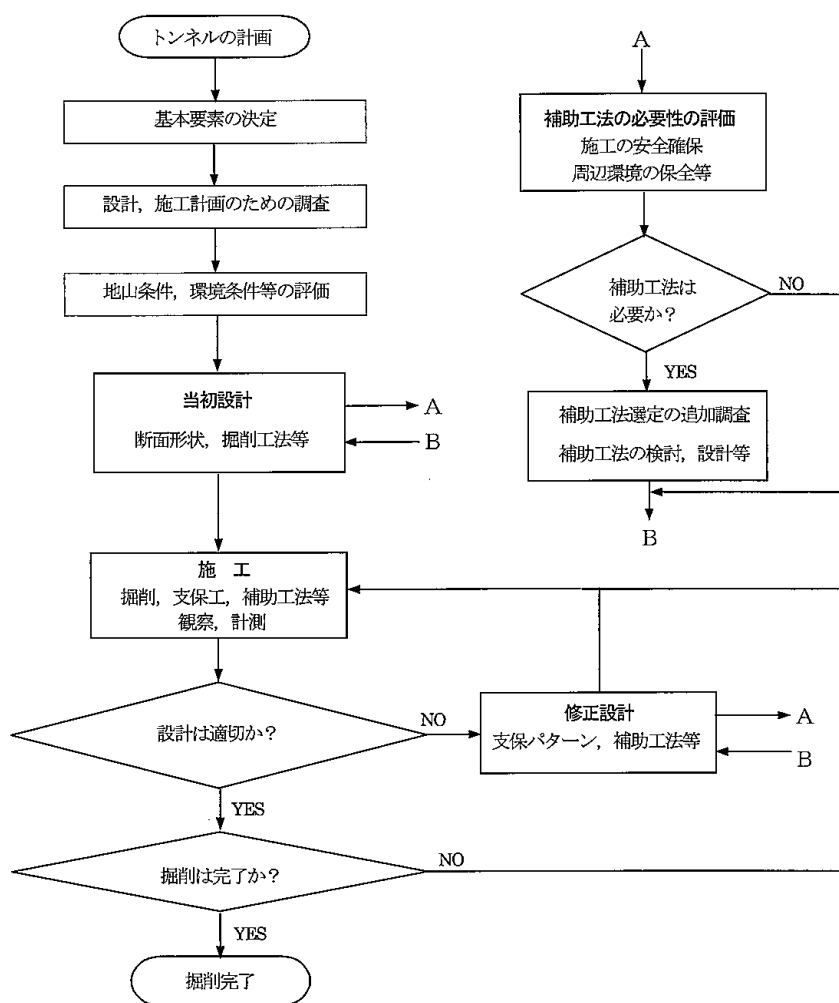


図-14.10.2 補助工法の調査、設計、施工の流れ

(出典：トンネル標準施工方書 山岳工法・同解説 P.186 平成 19 年 11 月 土木学会)

4) 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-14.10.1 に示す。

表-14.10.1 補助工法の分類表

工 法	目 的							対象地山			摘 要	
	施工の安全確保			周辺環境の保全				硬岩	軟岩	土砂		
	切羽安定対策			地下水対策	地表面沈下対策	近接構造物対策						
	天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定									
先受け工	フォアボーリング (充填式、注入式)	○						○	○	○		
	長尺フォアパイリング	○					○	○		○	*2	
	パイプラーフ	○					○	○		○	*1	
	水平ジェットグラウト (噴射攪拌)	○	○	○			○	○		○	*1	
	スリットコンクリート	○					○	○		○	*1	
鏡面の補強	鏡吹付けコンクリート		○					○	○	○		
	鏡ボルト		○					○	○	○		
	長尺鏡ボルト		○				○	○	○	○		
脚部の補強	脚部補強ボルト			○			○		○	○		
	脚部補強パイル			○			○		○	○	*2	
	仮インバート			○			○		○	○		
地下水水位対策	排	水抜きボーリング	○	○	○	○			○	○	○	*2
		ウェルポイント	○	○	○	○					○	*1
		ディープウェル	○	○	○	○					○	*1
		水抜き坑	○	○	○	○			○	○	○	*1
	止	注入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	*1
		遮断壁				○	○	○	○		○	*1
地山補強	注入	○	○				○	○		○	*1	
	垂直縫地	○	○				○			○	*1	

注) ○: 比較的良好採用される工法

*1: 通常のトンネル施工機械設備, 材料で対処が困難な対策

*2: 適用工法によって, トンネル施工機械設備, 材料で対処が異なる工法

(出典: トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 P.187 平成 19 年 11 月 土木学会)

5) 補助工法における薬液注入

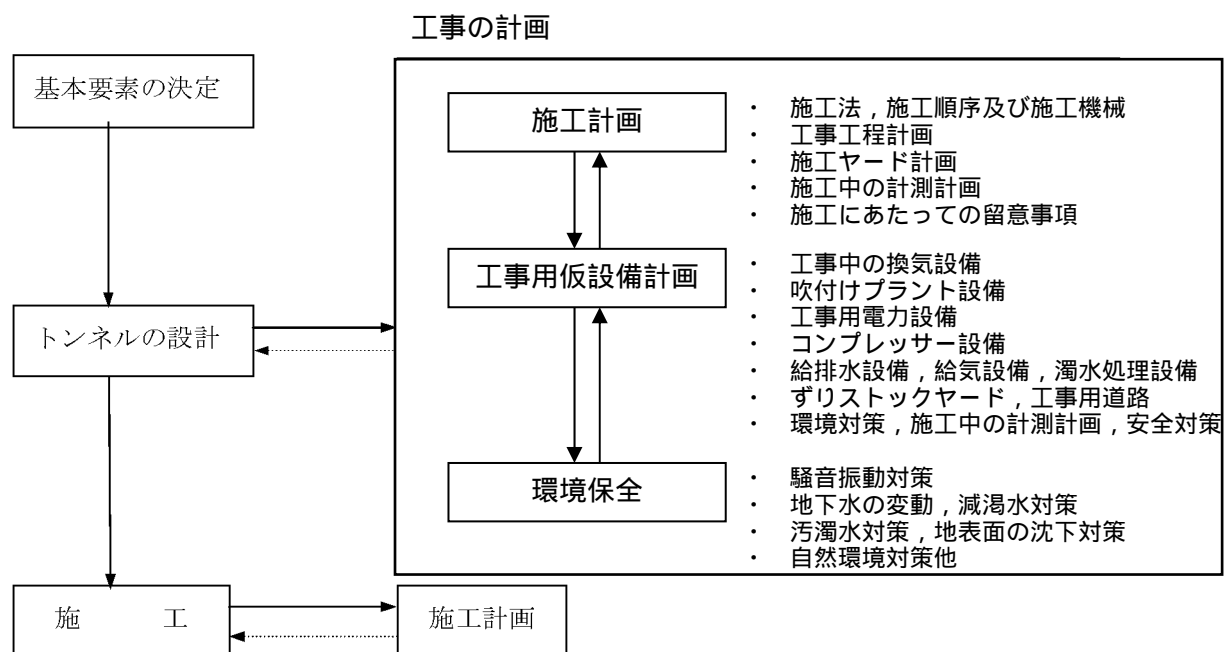
補助工法の採用において薬液注入材を採用した場合は, 注入率なども含め, 効果の確認について試験施工を行う必要がある。

なお, 薬液注入材は周辺環境に影響を与えることもあるので, 「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 昭和 49 年 7 月 10 日) によらなければならない。また, ウレタン注入材を用いる場合はこの暫定指針の中では緊急かつやむを得ない場合の応急措置と位置付けられているため, 使用には十分な注意が必要であり, やむを得ず使用する場合は, 「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)」(財) 国土開発技術研究センター, 平成 4 年 10 月) などを参考にして, 安全管理に留意することが必要である。

第 11 節 工事の計画

設計にあたっては、トンネルの規模，地山条件，立地条件，環境条件及び工期等の条件に基づき， 施工計画， 工事中設備計画等について検討し，立案しなければならない。

本節の詳細については、「設計業務共通仕様書：山梨県県土整備部」を基本とし、「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説(第 4 編 2．施工計画)：日本道路協会」，「土木工事標準積算基準 第 編 道路 第 5 章トンネル工」を参照とする。



工事における施工計画について

施工業者は、施工着手時に立地条件、現地条件等を再確認したうえで、作業手順、安全管理方針等、工事の施工に関する施工計画を立案する。

図 - 14.11.1 工事計画立案の手順

また、厚生労働省労働基準局では、山岳トンネル掘削工事の切羽における肌落ち防止対策を適切に実施することを目的として「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン（平成 30 年 1 月）」が策定されているため、本ガイドラインに準じた施工計画を立案するものとする。

なお、本道路設計マニュアルにはトンネル工の計画・設計に関連する「ガイドラインの 第 6 具体的な肌落ち防止対策」のみ掲載（第 18 節 参考資料，参照）するが、その他のトンネル工事一般に関する事項については 本ガイドラインを参照して切羽における肌落ち防止対策に努めるものとする。

11. 1 施工計画

施工計画にあたっては、下記に示す事項に関する検討を、取りまとめて記載した施工計画書を作成するとともに、必要に応じて参考図を作成する。

- 1) トンネルの施工法，施工順序及び施工機械
- 2) 工事工程計画

工事工程計画は，地山条件，掘削方法，掘削工法，使用機械等の他，現地条件を考慮して作成する。

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。

- 3) 施工ヤード計画
- 4) 施工中の計測計画
- 5) 施工にあたっての留意事項

なお，施工方法，施工ヤード計画・立案は設計図書に規定する条件で行うものとする。

11. 2 工事中仮設備計画

トンネル坑内・外について，トンネル規模，地山条件，施工条件，立地条件等を考慮して工事中設備計画をたてなければならない。

- 1) 工事中の換気設備（換気容量の算定及び設備計画）

①換気設備の設置

坑内の換気は，掘削断面，長さ，自然条件等を考慮して，自然換気に期待し得る場合でもこれに依存することなく換気設備を設置することを標準とする。工事中換気設備は，切羽が坑口より 30m掘進した時よりトンネル掘削が貫通するまでの期間，設置するものとする。

②送風機

換気に使用する送風機は，反転軸流式ファンを標準とする。

送風機の運転方式（1 段運転，2 段運転）の選定にあたり，経済性，効率性，効果性等について検討する。

③換気方式

掘削断面，掘削延長，現場条件等を考慮し，必要な換気方式及び換気装置を計上するものとする。

④所要換気量

所要換気量は，発破後ガス，ディーゼル機関から排出される有害ガス，作業者の呼気による炭酸ガス等を考慮し，適切に定めるものとする。

⑤風管

風管は，不燃性ビニル風管を標準とする。

風管径については，送風機との組合せ，換気等を考慮し，選定する。

⑥集塵機

集塵機の選定にあたり，集塵装置（ろ過式，電気式等）や粉塵発生量低減対策について比較検討し，経済性等で適切に判断する。

2) 吹付プラント設備

吹付プラント設備の機種，規格は，次表を標準とする。

表 機種を選定

機種	規格	単位	数量
セメントサイロ	30 t	基	1
骨材ホッパ	15m ³ ×3	〃	1
コンクリートプラント	バッチ型定置式 25m ³ /h	〃	1

注) 1.吹付プラント設備は，坑外に設置する。

2.現場条件等により適合しない場合は，現場条件に見合った機種，規格を使用する。

3) 工事中電力設備（容量算定及び設備計画）

①施工に必要な負荷設備に対応出来る必要電力を決定する。

②電力会社の供給設備を調査し，負荷設備容量に応じて受電設備を設ける。

③受電設備，変電設備を経て負荷設備までの線路を決める。

④フリッカ対策は，電力会社との設計協議により対応が必要と認められた場合には，検討結果を仮設電力設備計画に反映することとする。なお，設計段階で電力会社とのフリッカ対策協議を行わない場合には，トンネル掘削着手前までに電力会社との協議を行う旨，施工計画に記載することとする。

4) 照明設備

坑内照明は，40W の蛍光灯を片側 5m 間隔に設置することを標準とし，切羽照明は 500W 投光器を切羽に 6 ヶ(上半 4 ヶ，下半 2 ヶ)，覆工に 4 ヶ設置することを標準とする。

また，坑外照明については，500W 投光器 4 ヶ(坑口 2 ヶ，プラント 2 ヶ)を標準とする。

5) 給気設備(コンプレッサー設備)

コンプレッサーは，作業場まで結ぶ配管の漏洩や摩擦抵抗など経済性や作業性の見地から坑口近くに配置するのが有利であり，また，受・変電所からの高圧配電となるため，その近傍に設置することが望ましい。

コンプレッサー容量については，掘削，吹付けコンクリート，覆工作业等について，同時作業となる場合を考慮して，その重複時における最大所要空気量を求めてそれを満足する機種を選定する。

6) 給排水設備

①給排水設備は，水槽，釜場等の設置・解体及びポンプの運転経費を計上する。

ただし，ポンプの運転労務は計上しない。

②給水設備の機種，規格は次表を標準とし，設置期間は掘削期間とする。

表 機種を選定

機種	規格	単位	数量
小型多段遠心ポンプ	65mm×45m	台	1
水 槽	鋼板製 20m ³	〃	1

③排水設備の機種，規格は次表を標準とし，縦断勾配が 0.3%以下，又は逆勾配の場合等で，ポンプ排水を必要とする場合に設置する。

表 機種を選定

機種	規格	単位	数量
工事中水中ポンプ	50mm×20m×2.2kw	台	4

7) 濁水処理設備（計画立案）

坑内及び坑外設備により発生する濁水は、必要に応じ濁水処理を行う。

トンネルの汚濁水は、地質・湧水量・水質・施工方法によって大きく異なる。また、地形や周囲の環境条件によって制約を受ける場合が多く、標準的な処理方法は決めがたいため、採用にあたっては湧水量・濁水濃度・成分等を考慮し適切な方式を選定しなければならない。設計にあたっては、「建設工事に伴う濁水対策ハンドブック」（日本建設機械化協会）が参考となる。

設置の際には、次の点に注意しなければならない。

- ①湧水量の予想が難しいため、実際の湧水量が設備規模を上回っても、これを拡張できるスペースがあること。
- ②坑内－処理設備－放流河川の順番の排水経路が短距離で、なるべく自然流下できるような配置とすること。

8) ずりストックヤード

ずり出しがタイヤ方式で坑口からずり捨場まで遠距離の場合等、必要に応じてストックヤードを設ける。

9) 工事用道路計画（1/2,500 程度の地形図による概略検討）

10) 環境対策（工事中の騒音，振動対策の計画立案）

11) 施工中の計測計画（計測工配置図，計測工計器配置図）

計測は、計測 A を標準とし共通仮設費率に含まれる。ただし、現地条件によって計測 B が必要な場合は、別途考慮する。なお、計測 B は、共通仮設費の技術管理費に計上する。

12) 安全対策（計画立案）

有効な呼吸用保護具（電動ファン付粉塵用呼吸用保護具等）費用を共通仮設費[安全費]に別途計上する。

11.3 環境保全

施工にあたっては、周辺の環境への影響を考慮し、必要に応じて騒音、振動、水質汚濁等に関する適切な措置をとらなければならない。

トンネル工事が、周辺の環境に影響を与える要因としては、騒音・振動、地下水位の変動、減・湧水、汚濁水、地表面の沈下などがある。工事に先だちこれらの現象が予測される場合は、事前に調査を行い、対応策を検討しておく必要がある。また、工事中に予期せぬ事態が発生した場合は、速やかに適切な措置をとらなければならない。特に、近年都市部におけるトンネル施工例が増えてきており、上述の周辺環境に対する十分な配慮が必要である。

1) 騒音・振動対策

主として民家付近でのトンネルの爆破掘削や人家に近接した坑外設備、市街地内のずりなどの運搬などが問題となる。爆破掘削については、発破時間の規制、防音扉の設置など、坑外設備については周辺の環境を考慮した諸設備の配置や騒音の多く発生する機械の防音覆い、遮音壁などの配慮が必要である。

2) 地下水の変動、減・湧水対策

トンネル掘削により周辺の環境に影響を及ぼす恐れのある場合は、事前に水道、井戸、貯水池などの代替え水源の計画策定などの検討が必要である。

3) 汚濁水対策

坑内湧水やバッチャープラントなどの設備などからの汚濁水対策として、通常、沈殿槽による沈殿、薬品の添加などによる浄化および中和処理などが行われている。これらの設置などにあたっては、定められた環境基準を満足するようにあらかじめ適切な設備と規模を検討する必要がある。

4) 地表面の沈下対策

主として土被りの小さいトンネル周辺に民家や構造物などが存在する場合に問題となることがあり、必要な補助工法の採用、構造物とトンネルの間の地山への対策、対象構造物の補強、移転などの対策が考えられる。

5) 自然環境対策他

山岳トンネルでは一般に山間部での工事が多く、その際地域によっては貴重な動植物が生育している場合があるため工事実施にあたっては事前調査に基づき十分な検討と対策が必要である。また、文化財や天然記念物などの社会環境に対しても十分な配慮が必要である。

第12節 観察・計測

観察・計測は、掘削に伴い変化する切羽状態および周辺地山の挙動と各支保部材の効果を把握し設計の妥当性を検討するとともに、工事の安全性および経済性を確保するために実施しなければならない。

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 土木学会

本節の詳細については、「道路トンネル観察・計測指針」および「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（第4編 11. 施工管理 11-4 観察・計測）：日本道路協会」を参照する。

観測・計測による施工管理の主な目的は、トンネル工事の安全性の確保と経済性の追求である。これは観察・計測により得られる実際の地山の状況やトンネルの挙動に対応して、支保構造の設計や施工方法を、より適したものに変更することにより、実現される。

具体的には次の通りである。

- ① 周辺地山の挙動を把握する。
- ② 各支保部材の効果を知る。
- ③ トンネル工事の安全性を確保する。
- ④ 工事の経済性の追求を図る。
- ⑤ 管理基準の妥当性を随時検討する。
- ⑥ 周辺構造物などへの影響を把握する。
- ⑦ 計測結果を将来の工事計画のための資料とする。

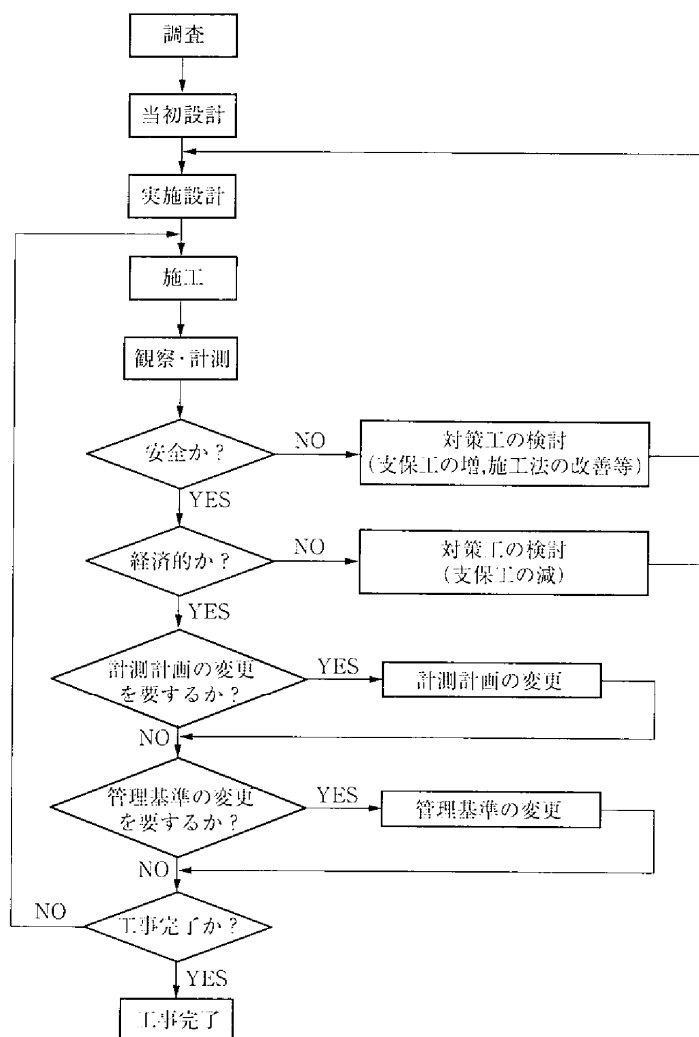


図-14.12.1 観察・計測の位置づけの概念

出典：道路トンネル観察・計測指針 日本道路協会

12. 1 観察・計測計画

観察・計測計画は、トンネルの規模、地山条件、立地条件、設計・施工法等を考慮して観察・計測すべき項目、計測機器および配置・測定頻度等を定めなければならない。

観察・計測計画の基本的な考え方は、以下に示すとおりである。

① 基本方針

- ・ トンネル施工上、もっとも問題となる現象を的確に予測し、計測の目的を明確にすること。
- ・ 計測目的に対し、どのような方法で計測し、設計・施工法に反映させるかをあらかじめ検討して、観察・計測結果の利用法を明確にしておくこと。
- ・ あらかじめ定める管理基準に関し、計測値が基準値を超えると予想される場合、および超えてしまった場合の対策方法も、可能な限り具体的に検討し、あわせて迅速な連絡体制も確立しておくこと。

② 一般計画

- ・ 観察・計測項目の選定（12.2 参照）
- ・ 観察・計測位置（12.3 参照）
- ・ 測定頻度（12.4 参照）

③ 詳細計画

- ・ 連絡体制
- ・ 機器選定
- ・ 記録様式

このようにして策定された観察・計測計画は、施工の進捗にともなって得られる観察・計測の実績にもとづき、実態に合うように見直す必要がある。さらに、支保パターンや施工法の変更にもあわせて内容を変更しなければならない。

12. 2 観察・計測項目の選定

設定した目的に応じ、地山条件により予測される現象、支保部材の機能、立地条件を配慮して必要な計測項目を選定する。さらに、個々の計測の役割と結果の利用法を十分配慮しなければならない。

1) 計測A

日常の施工管理のための必要な観察・計測項目として、基本的に下記項目を実施するものとする。

- 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

2) 計測B

地山条件に応じて行う観察・計測項目として、基本的に下記項目を実施するものとするが、計測計画・実施設計へのフィードバックに必要な計測と位置づけ、その必要性により、実施項目や頻度は適宜、選定するものとする。

- ⑤ 現位置調査・試験
- ⑥ 地山試料試験
- ⑦ 坑内地中変位測定
- ⑧ ロックボルト軸力測定
- ⑨ 吹付けコンクリート応力測定
- ⑩ 鋼アーチ支保工応力測定
- ⑪ 覆工応力測定
- ⑫ 地表面・地中の沈下測定
- ⑬ ロックボルト引抜き試験
- ⑭ AE 測定
- ⑮ 盤ぶくれ測定

3) 前方探査

施工時に坑内から切羽前方の地山状況を事前に把握し、不良地山区間の事前把握や事前調査の精度向上・補完を行い、設計・施工に反映するために行われる項目として、基本的に下記項目を実施するものとするが、計測計画・実施設計へのフィードバックに必要な計測と位置づけ、その必要性により、実施項目や頻度は適宜、選定するものとする。

- ⑯ 探りノミ
- ⑰ 削孔検層法
- ⑱ 坑内弾性波探査

4) その他

近接構造物の状態によっては、下記の項目などを実施する。

- ⑲ 坑外からの地表面変位測定、地中変位測定

なお、都市トンネルについては、土被りが小さく、周辺構造物への安全性確保や地下水対策が重要となることから、計測項目など十分に検討し計画する必要がある。

12.3 観察・計測位置

観察・計測位置は、観察結果や計測項目相互の関連性が把握できるように設定しなければならない。

出典：トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 土木学会

本章の詳細については、「道路トンネル観察・計測指針」および「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（第4編 11. 施工管理 11-4 観察・計測）：日本道路協会」を参照する。

以下に、日常の施工管理のために必要な観察・計測である計測Aの配置（標準）を示す。

1) 天端沈下，内空変位

(a) 測定間隔（標準）

表-14.11.1 天端沈下，内空変位の測定間隔（標準）

条件 地山等級	坑口付近	土被り2D以下 (Dはトンネル掘削幅)	施工の初期 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) 施工の初期の段階とは、200m程度の施工が進むまでの段階をいう。

出典：道路トンネル観察・計測指針 日本道路協会

(b) 測点位置（標準）

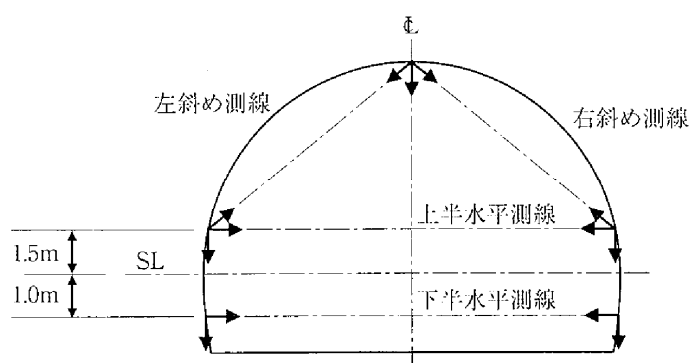


図-14.12.2 測点位置の例

出典：道路トンネル観察・計測指針 日本道路協会

(c) 測点頻度 (標準)

表-14.11.2 天端沈下, 内空変位の測定頻度 (標準)

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、頻度の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

出典：道路トンネル観察・計測指針 日本道路協会

(c) 地表沈下測定の測定間隔 (標準)

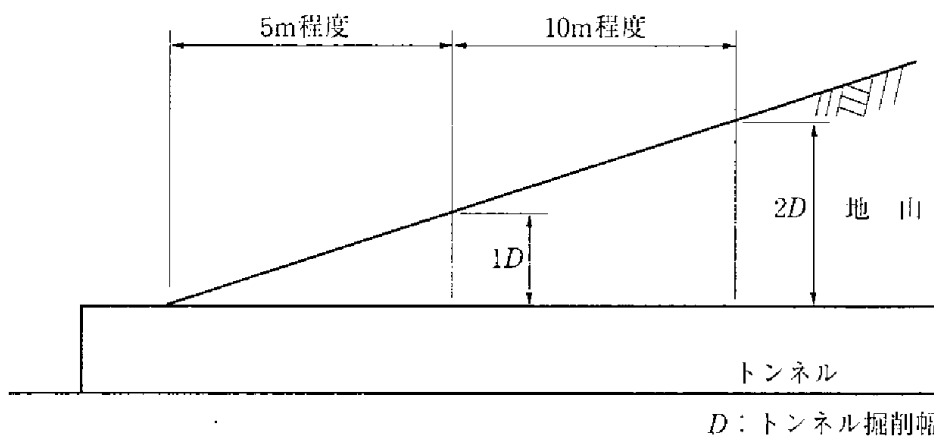


図-14.11.3 地表沈下測定の測定間隔

出典：道路トンネル観察・計測指針 日本道路協会

表-14.11.3 地表沈下の測点間隔

土被り	測点間隔
1D未満	5m程度
1D以上~2D未満	10m程度

第13節 非常用施設

道路トンネルには、火災その他、非常の際の連絡や危険防止、事故拡大防止のためトンネル等級区分に応じて表-14.13.1に示す施設を設けるものとする。

非常用施設の設計にあたっては、「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説（平成13年10月）：日本道路協会」に準拠して行うものとし、本マニュアルではトンネル工の設計に含まれる範囲（箱抜き工まで）について定める。

なお、本節については、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）平成20年版：建設電気技術協会」を参照する。

(1) トンネル等級区分

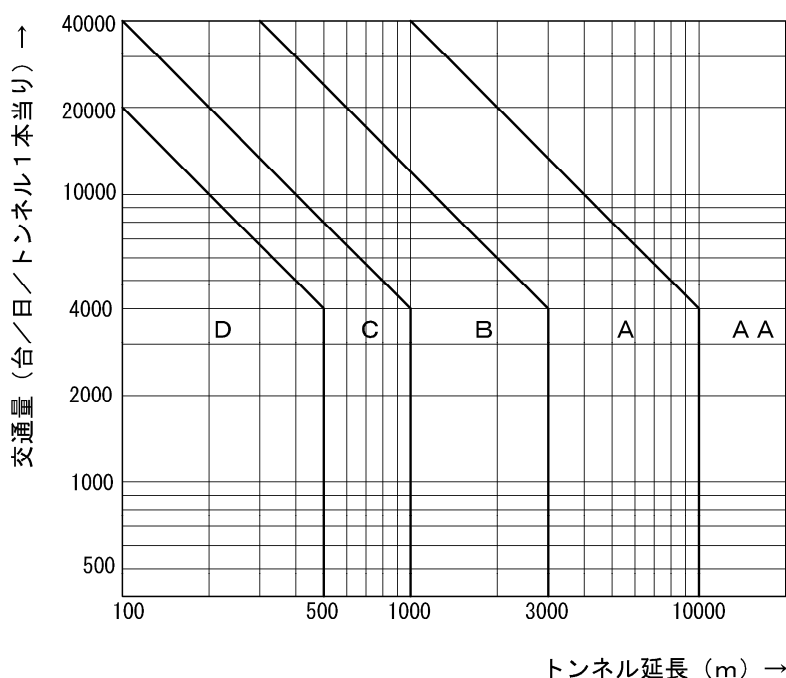


図-14.13.1 トンネル等級区分

(出典：道路トンネル非常用施設設置基準)

※一階級上位の等級とすることが望ましいトンネル

当該トンネルが有する特殊性にも十分留意し、適正な区分となるように検討しなければならない。なかでも、以下に示すトンネルについては、図-14.13.1より定まる等級よりも一階級上位の等級とすることが望ましい。

- ・高速自動車国道等など設計速度の高い（80km/h以上）道路のトンネルで延長が長い（3,000m以上）対面通行のトンネルで、交通量が4,000台/日以上の場合
- ・地形の状況その他の特別な理由により曲線半径もしくは縦断勾配の値として道路構造令に定められた規定値を越えた値（道路構造令参照）を用いているために見通しが悪くなるトンネル（事故率が高くなることが予想される）

(2) 非常用施設の設置基準

1) 非常用施設の概要

非常用施設の概要は下記の通りである。

- (イ) 通報設備 : 通報設備（非常電話、押しボタン式通報装置、火災検知器）はトンネル内における火災その他の事故の発生を管理所等へ通報し、非常警報装置の制御、消火、救急活動等に役立たせるための設備である。
- (ロ) 警報設備 : 警報設備（非常警報装置）はトンネル内における火災その他の事故の発生を運転者等に知らせ、二次的災害の軽減を図るための設備である。
- (ハ) 消火設備 : 消火設備（消火器、消火栓）は火災の初期消火に用いるものである。
- (ニ) 避難誘導設備 : 避難誘導設備（誘導表示板、排煙設備または避難通路）はトンネル内で火災その他の事故に遭遇した運転者等をトンネル外へ安全に誘導、避難させるための設備である。
- (ホ) その他設備 : その他設備（給水栓、無線通信補助設備、ラジオ再放送設備、拡声放送設備、水噴霧設備、監視装置）は通報・警報設備、消火設備及び避難誘導設備を補完し、消火活動等を容易にするための設備である。

2) 非常用施設の種類及び施設設置計画

表-14.13.1 トンネル等級別の非常用施設

非常用施設		トンネル等級					概要
		AA	A	B	C	D	
通報・警報設備	非常電話	○	○	○	○		注2
	押しボタン式通報装置	○	○	○	○		注2
	火災検知器	○	△				
	非常警報装置	○	○	○	○		
消火設備	消火器	○	○	○	○	△	注2 注3 注4
	消火栓	○	○				
避難誘導設備	誘導表示板	○	○	○			
	排煙設備または避難通路	○	△				
その他の設備	給水栓	○	△				注4
	無線通信補助設備	○	△				
	ラジオ再放送設備または 拡声放送設備	○	△				
	水噴霧設備	○	△				
	監視装置	○	△				

(注1) 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。

(注2) 非常電話、押しボタン式通報装置、消火器等は同一箇所に設置する。

(注3) トンネル等級Cには消火器を設置する。

(注4) トンネル等級Dの消火器は、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。

(注5) 複数のトンネルが隣接する場合の非常警報装置は、相互に警報表示を連動するものとし、隣接区間距離は200m未満のものについて配慮するものとする。

(イ) L3が200m未満の場合、非常警報装置は、相互のトンネルの非常警報を警報表示版で表示するものとする。

(ロ) L3が20m以下の場合、(L1+L2+L3)mをトンネル延長として相当するランクの設備を設置するものとする。

(ハ) L3が200m以上の場合、各トンネルは単独設備として取り扱うものとする。

(ニ) トンネル数が3以上連続する場合も上記を準用するものとする。

表-14.13.1の△印は、以下に留意し当該設備を必要に応じて設置する。

設備	設置の有無
火災検知器	<p>①火災検知器は水噴霧設備のあるトンネルに設置することが望ましい。</p> <p>②火災の発生をできるだけ早く検知し、火災箇所を特定し、その後の対応を迅速にするために排煙設備のあるトンネルについては設置することが望ましい。</p> <p>③この他、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。</p>
消火器	<p>①路線の重要性、路線の整備計画等を踏まえ設置要否を判断する。</p>
排煙設備・避難通路	<p>①縦流換気方式を採用する延長3,000m以上で交通量の多い対面通行トンネルは、避難通路を設置することが望ましい。ただし、暫定的に対面方式で供用するトンネルにおいて、その期間が短い場合は、省略することができる。</p> <p>②その他のトンネルについては、トンネル延長、交通量、換気施設の有無、換気方式、交通方式などを考慮して決定するものとする。</p> <p>③歩行者専用トンネル、点検用通路、作業坑および換気用坑道については、避難通路として活用するとよい。換気施設が設置されている場合には、換気能力の範囲で排煙にも利用できるようにするとよい。</p>
給水栓	<p>①消火栓のあるトンネルに設置することが望ましい。</p> <p>②この他、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。</p>
無線通信補助設備	<p>①延長3,000m以上のトンネルにおいては、無線通信補助設備を設置することが望ましい。</p> <p>②この他、警察機関や消火活動にあたる消防機関の活動や交通量等を考慮して、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。</p>
ラジオ再放送設備 ・拡声放送設備	<p>①延長3,000m以上のトンネルにおいては、ラジオ再放送設備（割込み機能付き）を原則設置する。</p> <p>②避難通路を設置するトンネル、歩道を有するトンネルおよびトンネルの分岐部・合流部においては、拡声放送設備を設置することができる。</p> <p>③その他のトンネルについては、トンネル延長、交通量などを考慮して決定するものとする。</p>
水噴霧設備	<p>①延長3,000m以上で交通量の多いトンネルにおいて、状況（交通方式、避難通路の有無、天井板の有無など）および管理体制（監視装置などによる24時間管理が必要）などを考慮して設置することができる。</p> <p>②この他、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することを検討するものとする。</p>
監視装置	<p>①水噴霧設備のあるトンネルに設置することが望ましい。</p> <p>②この他、通報設備から受けた情報の確認などに管理所等から当該トンネルまで時間がかかるといった場合など、トンネルの管理上必要と判断されるトンネルに設置することができる。</p>

3) 非常用施設の設置間隔

トンネル延長，交通量，管理体制の状況により設置する。

- (イ) 非常電話
対面通行の場合，片側 200m 間隔の千鳥配置とする。
一方通行の場合，片側（走行車線側）に 200m 間隔で配置する。なお，非常駐車帯にも設置することが望ましい。

- (ロ) 押しボタン式通報装置
対面通行の場合，片側 100m 間隔の千鳥配置とする。一方通行の場合，片側（走行車線側）に 50m 間隔で配置する。なお，非常駐車帯にも設置することが望ましい。

- (ハ) 火災検知器
片側 25m 間隔で設置する。なお，トンネル内のいずれかの部分で火災が発生しても的確に検知するよう，また，水噴霧設備の放水区画にも留意すること。

- (ニ) 非常警報装置
一般の道路ではトンネル坑口手前約 105m 以上，高速道路ではトンネル坑口手前約 220m 以上離れた場所に設置する。
なお，表示板の必要距離が確保できない場合，適切な位置で表示板とトンネル坑口の一部を同時に視認出来ない場合は，坑口付近に補助表示板の設置を検討する。

- (ホ) 消火器
対面通行の場合，片側 100m 間隔の千鳥配置とする。一方通行の場合，片側（走行車線側）に 50m 間隔で配置する。

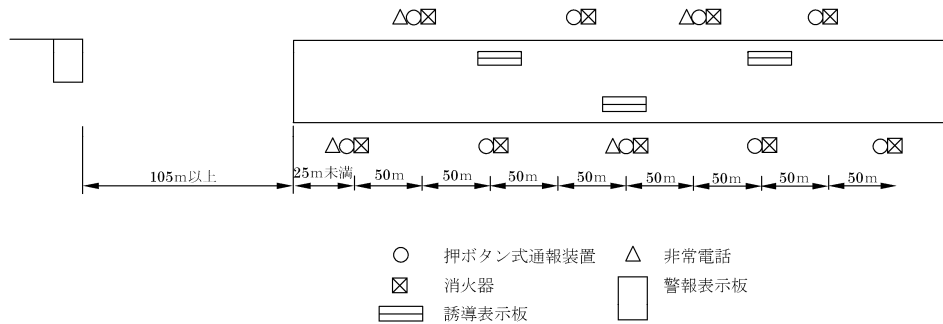
- (ヘ) 消火栓
片側 50m 間隔で設置する。

- (ト) 誘導表示板
対面通行の場合，トンネル中央を境に 100m 間隔で千鳥配置とし，坑口から 200m 程度までとする。一方通行の場合，両側 200m 間隔とする。
なお，500m 以下のトンネルで両坑口が確認できるトンネルについては，設置しなくてもよい。

- (チ) 給水栓
トンネル両坑口付近に設置することを標準とし，必要に応じて，トンネル内非常駐車帯または避難連絡坑口付近の消火栓に内蔵し設置する。
なお，消火栓を設置しているトンネルでは，200m 間隔の消火栓に給水栓を内蔵している例が多い。

(ハ) 非常電話案内板 電話を設ける側のトンネル壁面に 25m 間隔で設置する。

<対面交通の場合の配置例>



<一方通行の場合の配置例>

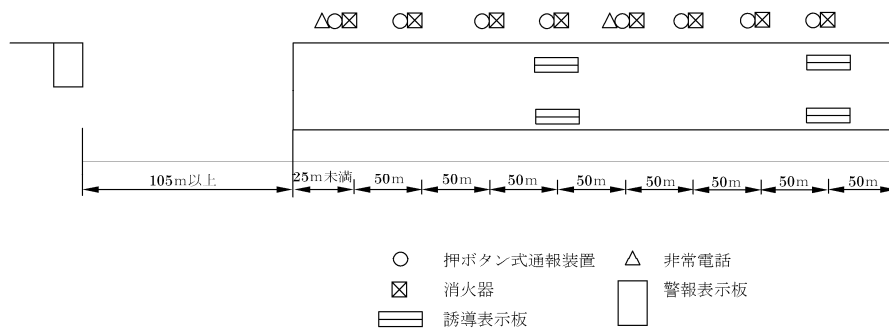


図-14.13.2 非常用施設の配置例

(3) その他関連施設

(イ) 受変電設備

: 受変電設備はトンネル管理用設備に安定した電源を供給することを目的に設置するものである。

一般的に、供給設備負荷容量が 50 キロワット以下のものを低圧（電灯需要または電力需要）といい、坑口分電盤等簡易な受電方法を用いることが出来る。また、50 キロワット以上 2,000 キロワット未満のものは高圧とし電気室（屋内仕様配電盤）や屋外仕様配電盤等の施設が必要となる。

受電引込位置や受電容量については、設計段階で予め電力会社との協議により確認するものとする。

(ロ) 予備発電設備

: 予備発電設備（自家発電設備）は、火災および自然災害など不慮の事故で商用電源が停電した場合にトンネル照明施設および非常用施設などの機能の一部を維持するために必要な電源を供給するものである。

計画、設計にあたってはトンネルに近い場所に設置し、消防法および経済産業省令など関連法令を遵守しなければならない。

燃料槽容量は、トンネルの地理的条件等による給電信頼度と燃料補給の時間的制約にもよるが、非常用施設の重要度を考慮して連続運転 24 時間相当であることが望ましい。

(ハ) 無停電電源設備

: 無停電電源装置は、停電時直後から予備発電設備が安定状態に入るまで（通常時は 10 分程度）の間におけるトンネル照明施設や非常用施設などの機能の一部を維持するためのもので、蓄電池、充電器およびインバーターから構成される。

無停電電源装置には、照明器具などに組み込まれている内蔵形と電気室などに設置されている別置形がある。

(4) 箱抜き

トンネル側壁部等には、非常用施設及び換気設備関係機器、照明設備関係機器等の設置のための空間（箱抜き）を設けるものとする。

図-14.13.3～図-14.13.7に非常用施設のための箱抜き

図-14.13.8～図-14.13.10換気設備のための箱抜き

の参考例を示す。

(a) 箱抜きの形状・寸法が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、形状・寸法の大きな箱抜きについては、必要に応じて覆工等の補強を考慮しなければならない。

(b) 補強は原則として下記の考え方で行う。

(i) 箱抜きは吹付けコンクリート施工後に行う。

(ii) ロックボルト、鋼製支保工は、箱抜き位置をはずして設置することが望ましい。

(iii) 箱抜きにより、ロックボルト、鋼製支保工の効果が損なわれる場合はそれに変わる対策を考慮する。

(iv) 覆工厚Tは覆工コンクリートと同じとする。

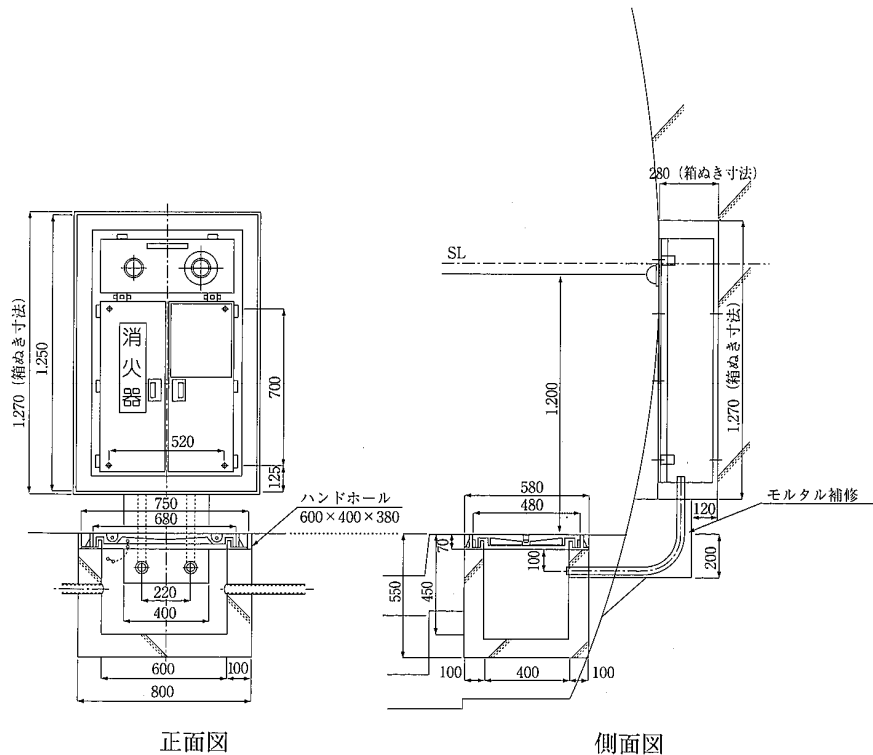


図-14.13.3 (押しボタン式通報装置) + (消火器)

出典：道路トンネル非常用施設設置基準・同解説

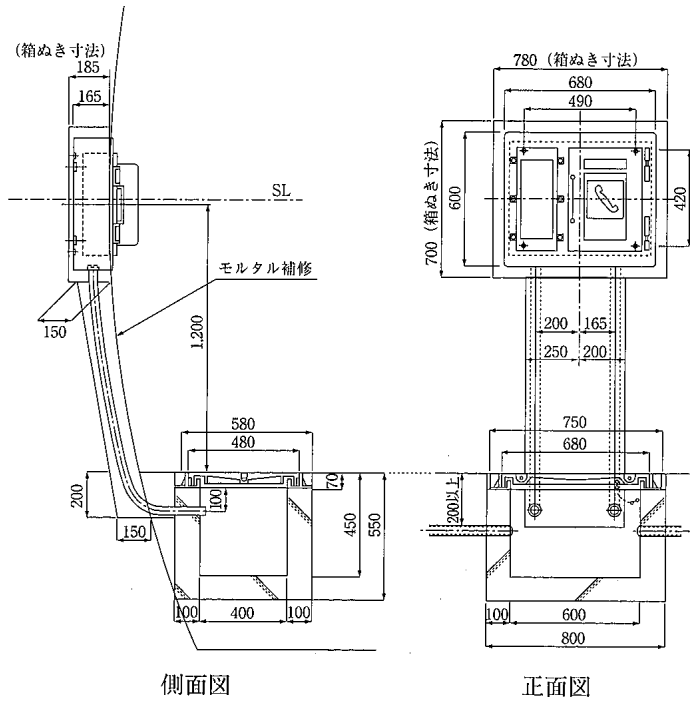


図-14.13.4 (非常電話)

出典：道路トンネル非常用施設設置基準・同解説

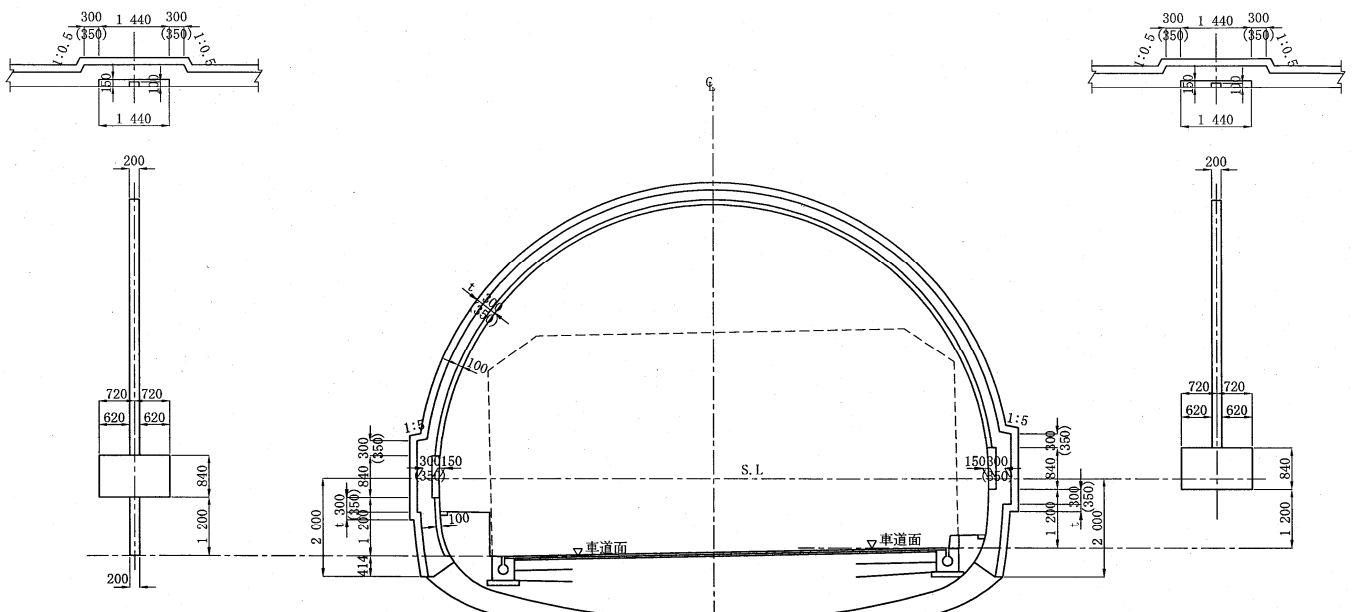


図-14.13.5 誘導表示板

出典：トンネル標準図集 NEXCO

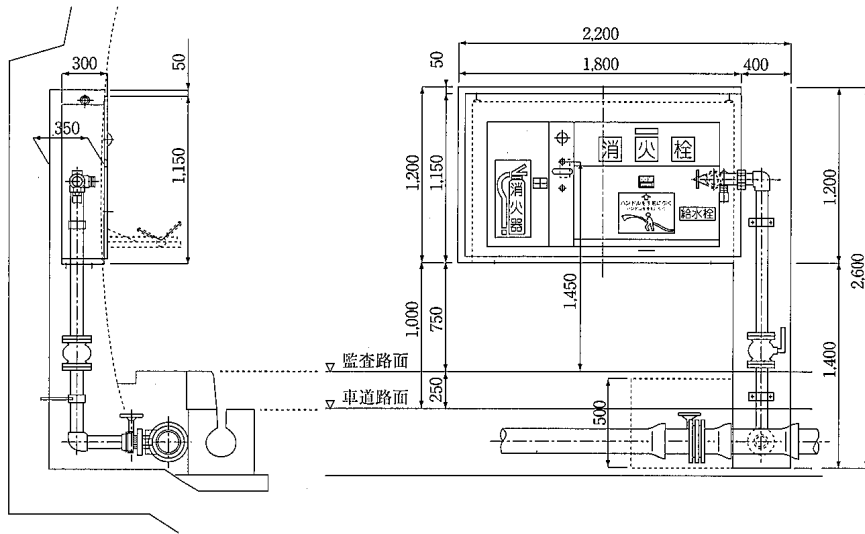


図-14.13.6 (消火栓)

出典：道路トンネル非常用施設設置基準・同解説

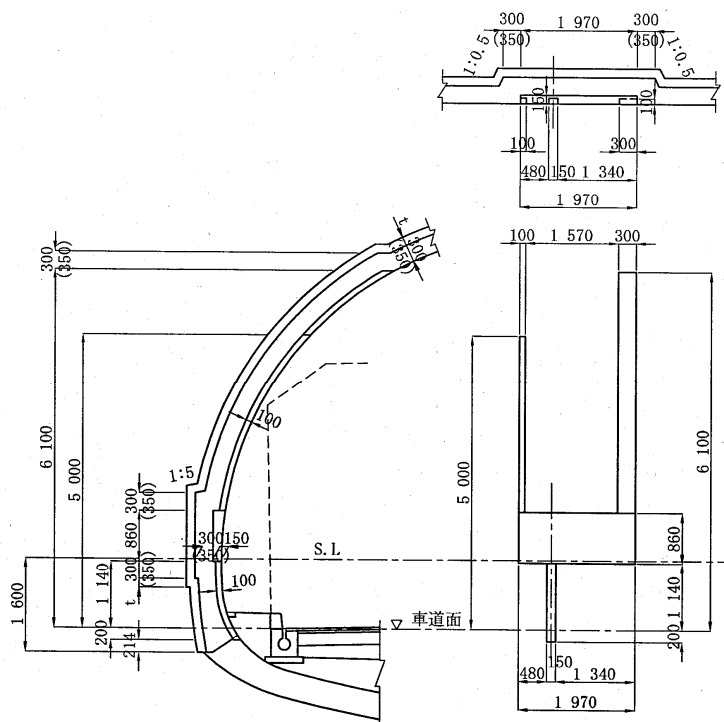


図-14.13.7 煙霧透過率測定装置 (V I 計 受光部)

出典：トンネル標準図集 NEXCO

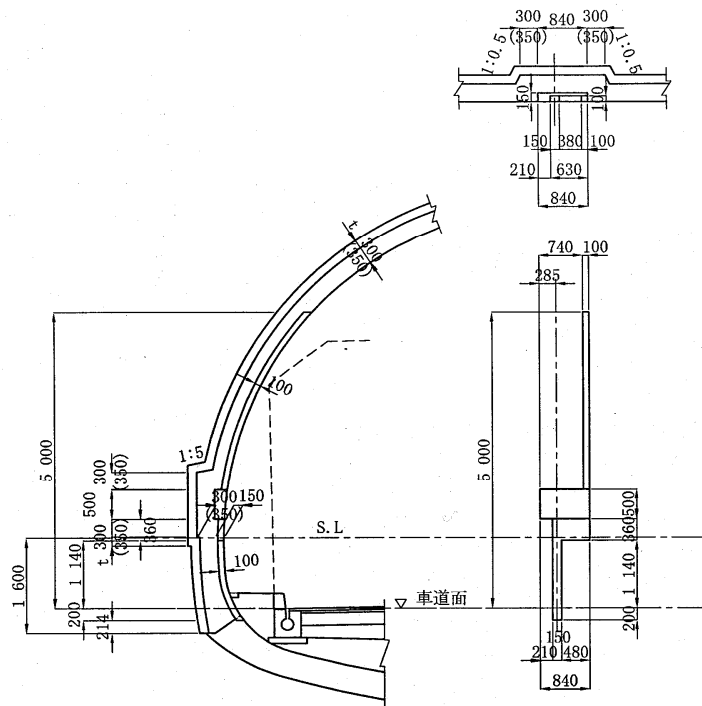


図-14.13.8 煙霧透過率測定装置 (VI計 投光部)

出典：トンネル標準図集 NEXCO

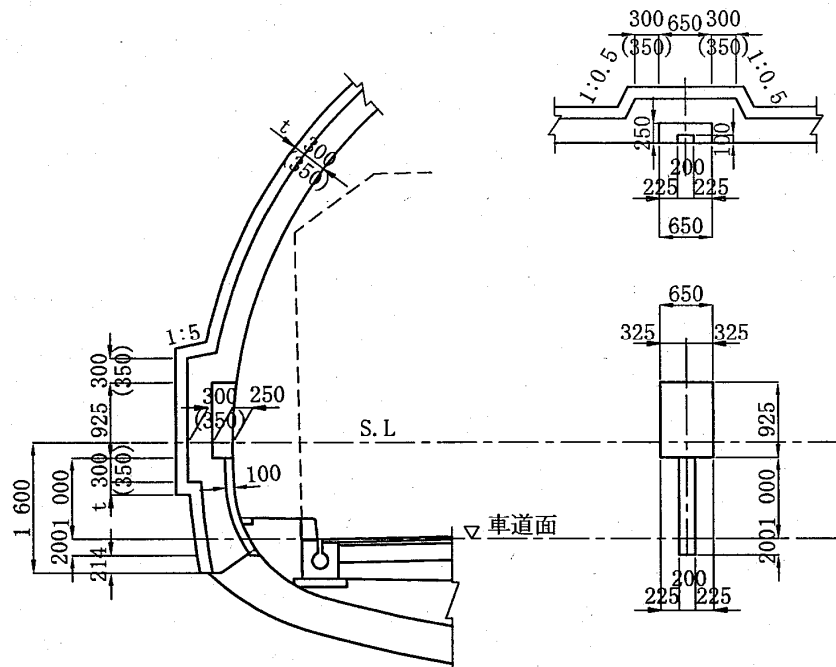


図-14.13.9 一酸化炭素検出装置 (CO計)

出典：トンネル標準図集 NEXCO

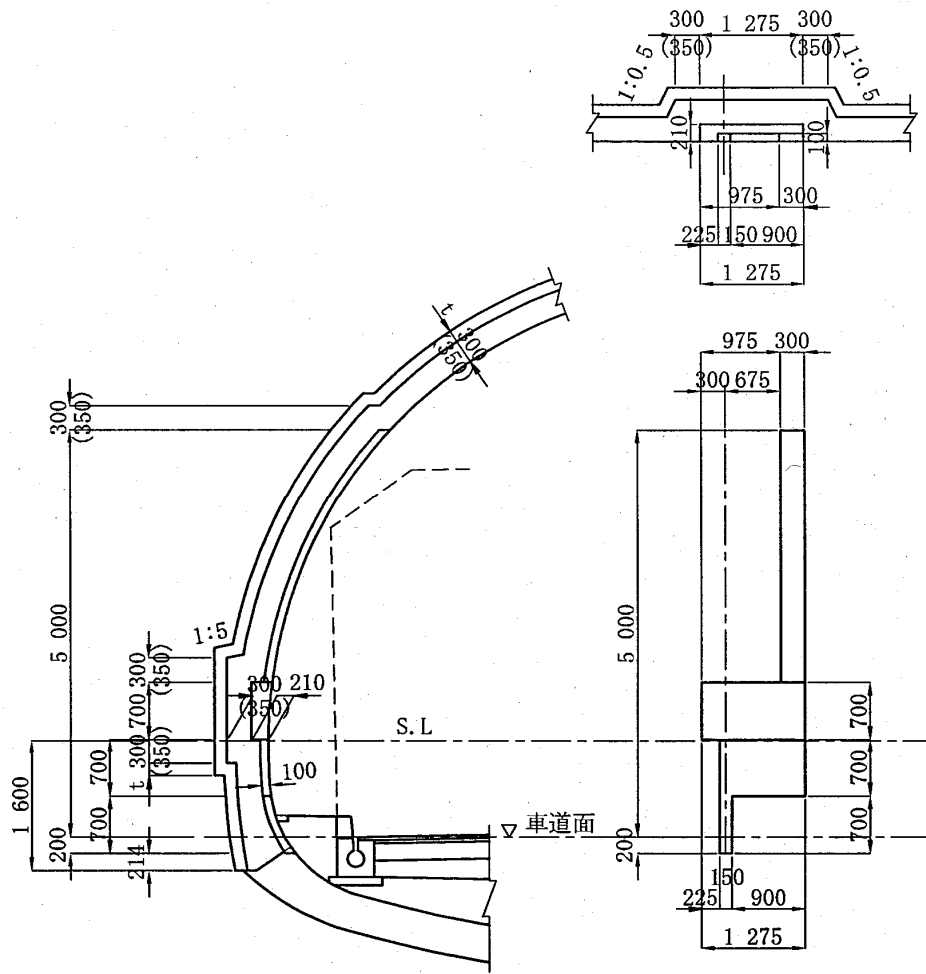


図-14.13.10 風向風速測定装置 (WD計)

(出典：トンネル標準図集 NEXCO)

第14節 換気施設

本節の詳細については、下記基準を参照する。

①「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説 平成20年改訂版（H20.10）（社）日本道路協会」

なお、上記基準及び本節では、山岳トンネルを主対象としており、路線の性格、規模、交通条件、立地条件が著しく異なる場合は、個々のトンネルの実情に応じた検討が必要である。

14.1 計画

道路トンネルの換気計画は、トンネル建設の全体計画の一環として綿密に行われなければならない。

1) 計画手順

① トンネルのルート選定

・換気概略検討による選定上の重要項目の抽出：換気方式・規模、周辺環境への影響

響

⇒ルート計画の決定

② 換気設計上必要な資料の収集

・必要資料：交通、気象、環境、地形・地物、法規

③ 換気量及び換気方式の概略検討

・換気施設の必要性（自然換気）検討の実施

・必要に応じて周辺環境への影響、防災を考慮した換気方式の概略検討

・経済性、施工性、維持管理の観点から要求される諸条件を満足する換気方式の検討

討

（見直し・フィードバックを行う。）

⇒トンネル土木計画の決定

④ 換気量・圧力計算、換気方式の決定及び換気機的设计

・概略検討、トンネル諸条件の決定を踏まえ、所要換気量、自然換気力・交通換気力などの算定を

行い、要求される諸条件を満足する換気方式を決定し、詳細な換気施設の設計を行う。

・ジェットファン等の換気機・制御設備（制御方式、運転・監視）・付帯設備等の仕様及び配置の決定

⇒トンネル換気設備計画の決定

⑤ 換気機の製作・施工

⑥ 運用開始

2) 留意事項

① 本體工関連

・縦断勾配、断面形状および覆工、歩行者トンネルについては、土木計画時に十分協議・調整・連携を図ることが重要である。

② 周辺環境への影響

・坑口からの排気の拡散、換気機からの騒音・振動、景観については、保全上の配慮が必要な場合に十分な検討を行う。

③ 換気施設の見直し

・供用後の交通条件に応じて、当初施設の換気量の過不足による見直しなどを適宜行う必要がある。

④ 防災上の配慮

・近年、自動車からの排出ガス量の低減に伴い、延長の長いトンネルでも換気施設が設置されないことがある。このようなトンネルにあつては、火災時対策として排煙設備（ジェットファンなど）の設置を検討することが望ましい。

2) 調査

換気計画にあたっては、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 : 将来の交通量および車種構成の調査
- ②気象・環境調査 : 自然状況（風速・風向，気温・雪・霧），排気・騒音
- ③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

14. 2 設計に用いる交通量

換気設備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、設計時間交通量を用いてよい。

トンネルは、完成の後に断面や線形などを変更することはほとんど不可能である。換気施設の計画においてはこの点を考慮し、計画目標年次の予測交通量である設計時間交通量のみならず、そのトンネルの通常の姿での利用限界である設計交通容量に対応できるよう配慮することが必要である。ただし、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、計画上、設計交通容量を用いることが必ずしも妥当ではないため、設計時間交通量を用いてよい。

また、次図に示すように、換気量は設計交通容量を最終段階とする各種の交通状態に対する換気量のうち最も大きなものを採用することになる。

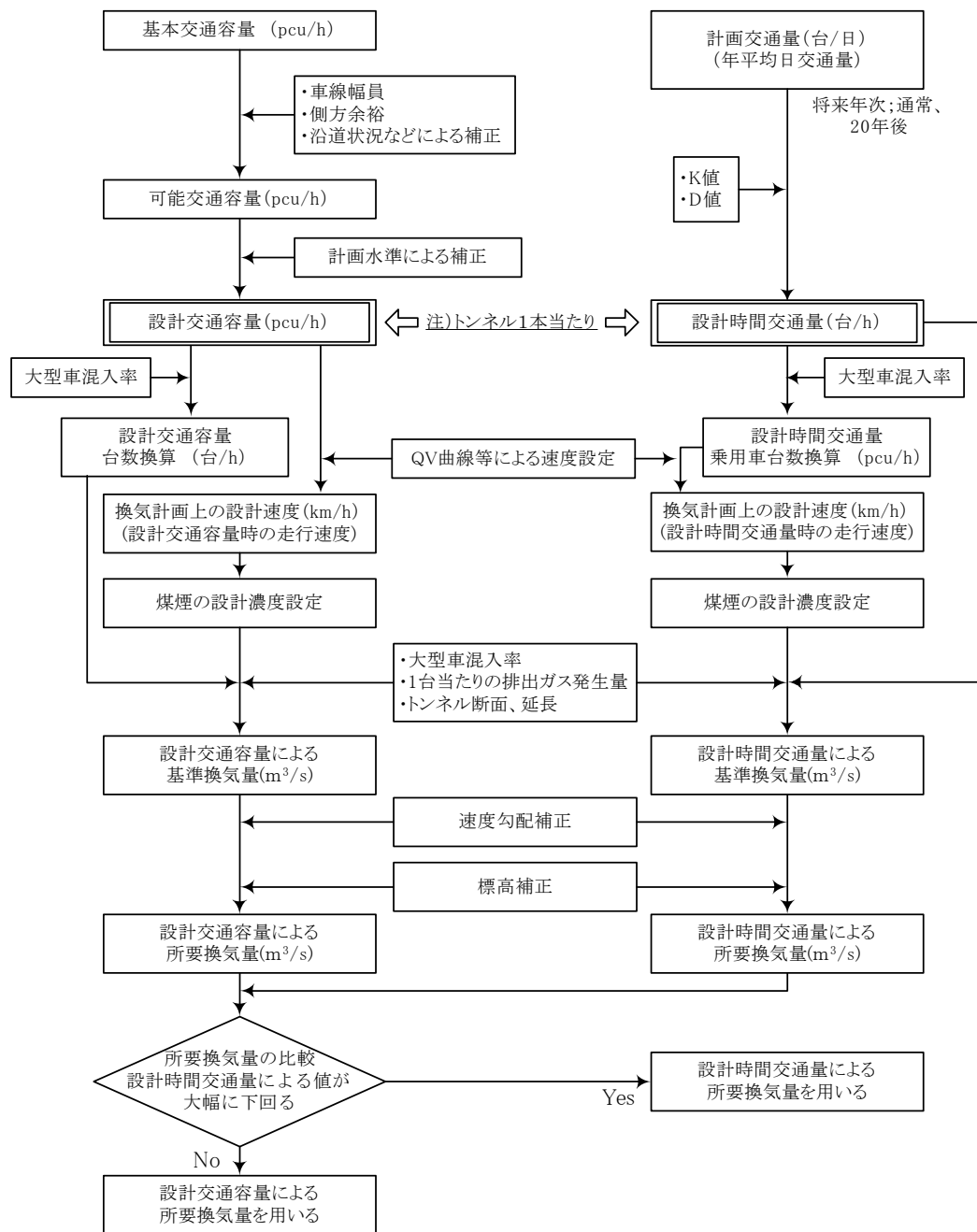


図-14.14.1 煤煙を例とした交通量から所要換気量を求める課程

14. 3 換気の対象物質及び濃度

- (1) 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。
- ① 生理的な影響を及ぼす物質……一酸化炭素(CO)
 - ② 視野環境に影響を及ぼす物質…煤煙
- (2) 換気施設の設計に用いる煤煙及び一酸化炭素の設計濃度は、トンネル内の交通の安全性及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、当該道路の設計速度に応じ、次の表に示す値を標準とする。

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
80km/h 以上	50%	100ppm
60km/h 以下	40%	

1) 換気計画上の走行速度の設定

トンネル内の視環境に直接かかわる煤煙濃度は、走行速度に応じて要求される値が異なる。そのため、煤煙に対する換気の設計濃度は、走行速度によって定まる。走行速度は、交通量・交通容量非 ($Q \cdot C$) より、 $Q \cdot V$ 図を用いて、 V_s / V_D を設計速度に乗じて算定するものとする。

2) 渋滞時の扱い

一般的には渋滞を考慮した換気設計は行わないが、突発的事象による渋滞状況を考慮しなければならない場合もある。このような状況に対しては視認性を対象とするよりも生理的影響を与える一酸化炭素を対象とすべきであり、この場合暴露時間を考慮して設置された換気機を 100 パーセントで運転した時の濃度を確認し、必要に応じ流入規制などの方法を考える必要がある。

この他、常時トンネル内に滞留する状況が考えられる場合には、暴露時間を考慮して設計濃度を決め、その設計濃度内となるような換気施設を設置する必要がある。

3) 歩道を有するトンネル

歩道を有する場合についても一酸化炭素を対象として曝露時間を考慮した設計濃度を設定し、市街地などで歩行者が著しく多い場合は快適性にも配慮し、煤煙の設計濃度を設定すればよいものと考えられる。

14. 4 換気方式の選定

換気方式は、その特長を十分生かし、トンネルの延長、地形・地物・地質、交通条件、気象条件、環境条件等に応じ、有効かつ経済的な方式を選定するものとする。

1) 換気方式の種類・特徴

トンネルの換気は、車の走行により生ずる交通換気力あるいは自然現象により生ずる自然換気力などによって換気を行う自然換気と、自然換気では所定の換気量を確保できない場合に強制的に換気を行う機械換気に大別される。

換気方式の特長は交通条件、特に交通方式により大きく異なる。また、トンネルの各種条件によっては各方式を組合せて設計し、より合理的な方式とする試みも行われてきた。なお、最近では縦流換気方式において昇圧力を補う手段としてジェットファンを設置する例が多くみられる。

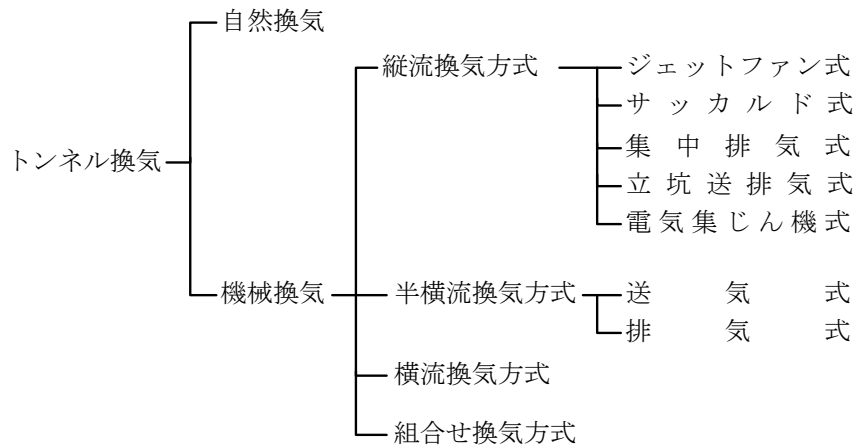


図-14.14.2 換気方式の種類

2) 換気方式の選定

換気方式の選定にあたってはトンネルの延長，概略換気量，周辺環境条件などの基本的な条件を基に，まず検討対象となり得る換気方式を選定する必要がある。

対象となる換気方式を選定した後，下記について留意した上で総合的な検討を行い，最も適切な方式を決定することが必要である。

- ①交通条件
- ②地形・地物・地質
- ③歩道の有無
- ④車道内風速
- ⑤周辺環境への影響
- ⑥火災時の換気機の運用
- ⑦維持管理
- ⑧経済性
- ⑨段階建設
- ⑩その他の条件（歩道，渋滞）

14. 5 換気施設設計（換気量・風量風圧）

- (1) 換気施設の設計は，その各段階に応じ，必要かつ十分な精度で行わなければならない。
- (2) 所要換気量は，換気の対象物質及び濃度に示す値を確保するよう算定するものとする。
- (3) 換気機の所要風圧は対象とする換気系において所要換気量を満足するよう定めるものとする。

1) 換気設計の概要

換気設計は，換気の基本計画の段階，トンネル断面やダクト断面を決定する段階，および換気施設諸元の設計段階などの各検討段階毎に下記の項目について検討が行われる。

- ①換気量の計算
- ②自然換気力の計算
- ③機械換気的设计
- ④換気方式による換気区分，換気ダクトなどの換気系に関する設計

⑤換気機，関連の制御装置および換気所などの設計

⑥換気運用，その他の検討

しかし，各検討項目の内容および精度は，各検討段階における検討の目的によって異なるので，それに応じて必要かつ十分なものとしなければならない。

2) 所要換気量の算定

所要換気量は，換気の対象物質及び濃度に示す値を確保するよう算定するものとする。なお，煤煙および一酸化炭素に必要な換気量を求め，大きい方の値を採用する。

3) 自然換気の検討

自然換気の限界は，過去の実態による目安（「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説 平成20年改訂版 P35,36）より概略把握することが可能であるが，計算による確認方法として，自然換気風量（持込み風量）と所要換気量を比較する方法がある。

① 一方通行

車のピストン作用による換気が行われ，自然風は抵抗として2.5m/s見込む場合の持込み風量を計算する。

② 換気設計上必要な資料の収集

交通量比率5:5の状況において，自然風が2.5m/sある場合の持込み風量を計算する。

4) ジェットファン式

ジェットファン式の特徴は，トンネル縦方向に作用する交通換気力および自然換気力を補足するようにジェットファンの噴流効果による圧力上昇を発生させ，これにより所要換気量を満足しようとするにある。

① 算定条件

- ・一方通行：自然風2.5m/s（逆風）
- ・対面通行：自然風2.5m/s（逆風），重方向率50%

② ジェットファン最小台数

維持管理時のオーバーホールを考慮し，2台とする。

③ ジェットファンの種類と取付け間隔

型式	口径D (mm)	$A_j(m^2)$	$U_j(m/s)$	坑口からの距離(m)	ジェットファン間の距離(m)
630	630 mm	0.27/0.31	30/35	80	80
1000	1030 mm	0.83	30/35	140	140
1250	1250 mm	1.23	30/35	160	160
1500	1530 mm	1.84	30/35	180	180

④ ジェットファンの取付け位置

2台並列配置を標準とし，オーバーレイも考慮した建築限界上方の取り付けを原則

第15節 照明施設

15.1 適用の範囲

トンネル照明は、当該トンネルの交通形態、地形条件、環境条件等を考慮し、利用者に安心感を与えるとともに自動車運転上の安全性が確保されるよう計画しなければならない。

本節の詳細については、「道路照明施設設置基準・同解説（平成19年10月）：日本道路協会」、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）（平成20年版）：建設電気技術協会」、「道路・トンネル照明器材仕様書（平成20年改定）：建設電気技術協会」を参照する。

15.2 設置計画

延長50m以上のトンネル及びアンダーパスには入口部照明を含む照明施設を設置する。延長50m未満の場合には、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。

通常、入口から約10m、出口から約40mの区間には自然光の差し込みによりトンネル内の路面の明るさが確保されるため、入口部照明は原則として50m以上のトンネルに設置するものとした。

15.3 照明設計

トンネル照明の構成は下記の通りとする。

- ①基本照明
- ②入口部照明
- ③出口部照明
- ④特殊構造部照明
- ⑤停電時照明
- ⑥接続道路の照明

トンネル照明設備（光源）は日々進歩しており、新しい光源の普及に伴い低コスト化が進んでいく。そのため、トンネル照明設備詳細設計は、工事着手に間に合う範囲で出来るだけ遅い時期に行うのが望ましい。

15.3.1 全体事項

(1) 光源の選定

トンネル照明の光源は、高圧ナトリウムランプ、高周波点灯専用形蛍光ランプ、メタルハライドランプ（セラミックメタルハライドランプ）、無電極蛍光ランプ、LEDの中から選定するが、新しい光源についても積極的に導入検討を行うものとする。

選定にあたってはランプの特性、トンネル内の環境条件、経済性等について検討するものとする。

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ることも出来る。

(2) 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」（平成20年改訂）に適合するものとする。

(3) 灯具の配置

①灯具の取付高さ

路面の輝度分布の均一性、灯具のグレアによる影響を考慮し原則として4~5m程度以上とする。

②灯具の配列

トンネル断面形状、設計速度、設計交通量、運用のほか維持管理等を考慮し、向合せ配列または千鳥配列を原則とする。なお、幅員が狭い場合などの状況に応じて片側配列、中央配列とすることが出来る。

③灯具の中心軸

灯具の中心軸は原則として対向車線の外側線の位置に指向し、アスファルト舗装で内装を有する場合は対向車線の中央に指向する。なお、歩道がある場合は、対向車線の外側線の位置に指向する。

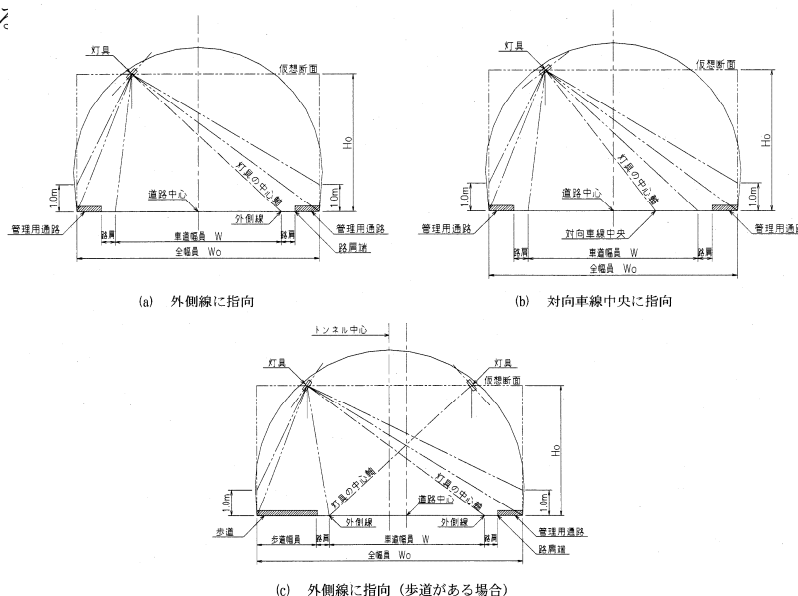


図-14.15.1 光軸（中心軸）の位置

(出典：電気通信施設設計要領・同解説（電気編）)

(4) 保守率

照明施設は、光源の光速低下や灯具の汚れ等により路面輝度が設置当初の値よりも減少するため、この減少の程度を設計時点で見込む係数が保守率という。

この値は交通量、車種構成、道路周辺状況及び維持管理等によって異なるが「道路照明施設設置基準・同解説」では0.5~0.75とされている。

本マニュアルでは日交通量により区分されている「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）」に従い表-14.15.2に示す値を標準とする。

なお、保守率は、下表に示す値を標準値として、道路構造や交通の状況に応じて±0.05の範囲で選択できるものとする。

表-14.15.2 保守率の標準値

日交通量	保守率
20,000 台/日以上	0.55
10,000 台以上 20,000 台/日未満	0.60
5,000 台以上 10,000 台/日未満	0.65
5,000 台/日未満	0.70

15.3.2 基本照明

基本照明は、トンネルを走行する運転者が前方の障害物を安全な距離から視認するために、必要な明るさを確保するための照明である。

(1)性能指標

基本照明の性能指標は下記の平均路面輝度、輝度均斉度、視機能低下グレア、誘導性とする。

1)平均路面輝度

基本照明における平均路面輝度は、表-14.15.2を標準とする。ただし、トンネル1本当りの交通量が10,000台/日未満の場合は、基本照明の平均路面輝度を1/2まで低下させてもよい。ただし、この場合においても0.7cd/m²未満であってはならない。

表-14.15.2 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

2)輝度均斉度

輝度均斉度は、総合均斉度0.4以上を原則とする。

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、間隔等を決定するものとする。

(2)基本照明の調光

交通量が減少する夜間においては、表-14.15.2に示す値を夜間は昼間時の1/2、深夜は1/4程度まで低減することができる。ただし、この場合でも平均路面輝度は0.7cd/m²、総合均斉度は0.4以上とする。

(3)灯具の配置間隔

灯具の配置間隔は、平均路面輝度、輝度均斉度（総合均斉度0.4以上）、視機能低下グレア（相対閾値グレア15%以下）、誘導性を満足するように選定する。

また、車線軸均斉度は推奨値とし0.6以上とする。ただし、一般国道等で設計速度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についての車線軸均斉度はこの限りではない。

15.3.3 入口部照明

入口部照明は昼間、運転者がトンネルに接近する際に生じる急激な輝度の変化と、進入直後から起きる眼の順応の遅れを緩和するための照明である。

(1)入口部照明の設置

全長50m以上のトンネルにおいては境界部、移行部及び緩和部からなる入口部照明をトンネル入口部に設けることを原則とする。

入口部照明はトンネルの設計速度、野外輝度、接続道路及びトンネル入口部の線形を考慮して設計するものとする。

(2)入口部照明各部の路面輝度と長さ

入口部照明各部の路面輝度および長さは、野外輝度が3,300cd/m²の場合、設計速度に応じて下表を標準とする。なお、路面輝度は、交通量、照明方式あるいは連続するトンネルの坑口間距離に応じて下表より低い値とすることができる。

(3) 入口部照明の灯具配置

入口部照明の灯具配置は基本照明に準ずるものとする。

設計速度 (km/h)	路面輝度 (cd/m ²)			長さ (m)			
	L ₁	L ₂	L ₃	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	ℓ ₄
100	95	47	9.0	55	150	135	340
80	83	46	4.5	40	100	150	290
70	70	40	3.2	30	80	140	250
60	58	35	2.3	25	65	130	220
50	41	26	1.9	20	50	105	175
40	29	20	1.5	15	30	85	130

- (注) 1) L₁は境界部, L₂は移行部終点, L₃は緩和部終点 (基本照明) の路面輝度, ℓ₁は境界部, ℓ₂は移行部, ℓ₃は緩和部, ℓ₄は入口部照明の長さ (ℓ₁+ℓ₂+ℓ₃)
 2) 野外輝度が本表と異なる場合の路面輝度L₁, L₂は野外輝度に比例して設定するものとする。緩和部の長さℓ₃は次式により算出する。

$$\ell_3 = (\log_{10}L_2 - \log_{10}L_3) \cdot \frac{V}{0.55} \quad (\text{m})$$

ただし, Vは設計速度 (km/h)

- 3) 通常のトンネルでは, 自然光の入射を考慮してトンネル入口より概ね10 mの地点より人工照明を開始する。
 4) 対面交通の場合は, 両入口それぞれについて本表を適用する。短いトンネルで両入口の入口部照明区間が重なる場合は, 路面輝度の高い方の値を採用するものとする。

15. 3. 4 出口部照明

出口部には設計速度, トンネル延長, 出口付近の野外輝度を考慮して必要に応じて照明施設を設けるのがよい。

- (1) 昼間, 運転者がトンネル内を走行して, トンネル出口に近づくと出口開口部が非常に明るく見え, 入口とは逆に“白い穴”に見えるような現象が生ずる。交通量が多くなり, 車間距離が短くなると, 大きな自動車の背後に追従する自動車や障害物の見え方が低下するので, これを補うために先行車の背面を明るくするための照明を必要に応じてトンネル出口部に設けるのがよい。

- (2) 次の条件が重なるようなとき, またはその他特に必要と考えられる場合は出口部照明を設けるのがよい。

- ① トンネルの設計速度が 80 km/h 以上
- ② トンネル出口付近の野外輝度が 5,000cd/m²以上
- ③ トンネル延長が 400m以上

15. 3. 5 特殊構造部照明

特殊構造部の照明は, それぞれの目的を考慮し下記のとおり設けるものとする。

(1) 分合流部の照明

分合流部には, その位置と道路線形を視認するため, 照明施設を設けるものとする。

(2) 非常駐車帯の照明

非常駐車帯には, その位置が視認でき, かつ一時的に待避している車両の存在を走行中の車両から確認するため, 照明施設を設けるものとする。

非常駐車帯は, トンネル内で故障等を起こした車両が一時的に待避する場所であることから, その位置の視認ができ, かつ一時的に待避している車両の存在を走行中の車両から確認するため, 演色性の良い光源を選定し, 平均路面照度は 50Lx 以上を保つように照明

施設を設置する。

(3)歩道部の照明

歩道を有するトンネルの歩道部には、歩行者等の安全を確保するため、夜間減灯時においても平均路面照度 5Lx 以上の明るさを確保するよう、必要に応じて照明施設を設けるのがよい。

(4)避難通路の照明

避難通路には、非常時の避難や安全などを確保するために照明施設を設けるものとする。

15.3.6 停電時照明

停電時照明は停電時における危険防止のため必要に応じて設置する。一般に、延長 200m 未満の直線に近いトンネルでは、出口が見通せ停電の場合でも比較的容易に通過できることから、停電時照明を設置しなくてもよい。

停電時照明には、無停電電源装置と予備発電設備によって電源を供給する方式がある。無停電電源装置（器具内蔵電源装置、電気室等に設置した蓄電池）による照明レベルは基本照明の概ね 1/8 以上の明るさを停電後 10 分以上確保する。予備発電設備による照明レベルは基本照明の概ね 1/4 以上の明るさを確保し、予備発電機の電圧が確立するまでの間 1～2 分を保障する無停電電源装置を設ける。

なお、採用に当たっては照明施設以外の付帯設備との関係もあるため、非常時の運用および経済性や保守性を考慮して選定するものとする。

15.3.7 接続道路の照明

接続道路の照明は、夜間においてトンネル出入口付近の幅員構成や道路線形の変化などを明示するため、トンネルに続く道路には、少なくともトンネル両坑口付近に各 1 灯ずつ設置することを標準とする。

15.3.8 配線・配管設計

(1)配線設計は、電源供給方式及び灯具の負荷等を考慮して「内線規定 表-14.15.3」等に従って電圧降下を検討する。なお、使用ケーブルの最小断面積は 2.0cm² とする。

表-14.15.3 電圧降下

供給変圧器の二次側端子又は引込線取付点から最遠端の負荷に至る間の電線こう長 (m)	電圧降下 (%)	
	使用場所内に設けた変圧器から供給する場合	電気事業者から低圧で電気の供給を受けている場合
120 以下	5 以下	4 以下
200 以下	6 以下	5 以下
200 超過	7 以下	6 以下

※低圧配線中の電圧降下は、幹線及び分岐回路においてそれぞれ標準電圧の 2% 以下とすること。

ただし、電気使用場所内の変圧器により供給される場合の幹線の電圧降下は、3% 以下とすることができる。負荷末端までの電線こう長が 60m を超える場合は、表-14.15.3 を用いる。

(2)配管設計は、電線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（異なる太さの電線を同一管内に収める場合）もしくは 48% 以下（管の屈曲が少なく、容易に電線を引き入れ及び引き替えることが出来、電線が同一太さで断面積 8mm² 以下の場合）になるように選定する。

また、地中電線路の管路材は硬質ビニル管あるいは波付硬質合成樹脂管を標準とする。

第16節 内装工

トンネル内装工は、その機能・役割を充分認識のうえ適切な計画を行わなければならない。

本節の詳細については、「設計要領第三集(3)トンネル内装工：NEXCO 設計要領 (H21.7)」および「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説：日本道路協会 (H15.11)」を参照する。

トンネル内装はトンネル内の環境を改善することを目的として設けられる。環境を改善するための要素としては見え方と騒音がある。内装の設計にあたっては、次に示す各項をどの程度考慮するかが設計の基本方針となる。

- ① 視認性の確保・視線誘導効果・照明効果の向上
- ② 覆工壁面の美観整備による快適性向上
- ③ 視認性向上による歩行者の安全性向上
- ④ トンネル内・坑口付近の道路騒音の吸収

1) 設置基準

設置基準については、図-14.16.1 に示す、NEXCO 設計要領の内装等級（区分Ⅰ，区分Ⅱは原則として設置としている）を参考とする。

内装工の設置については、担当課との協議により決定する。

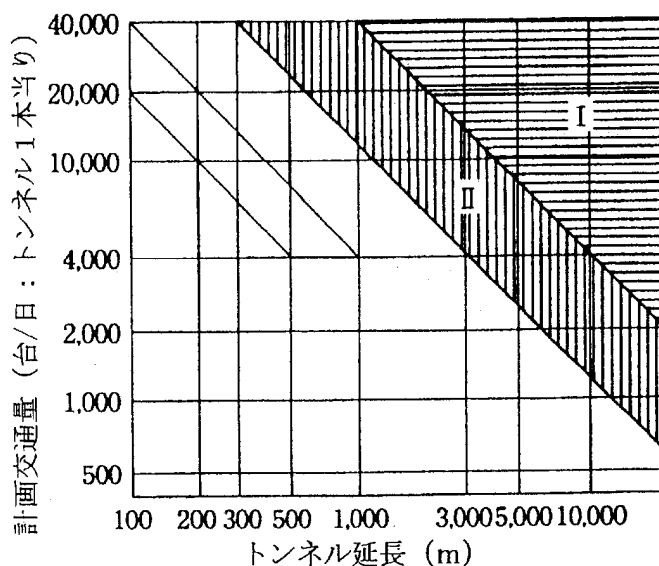


図-14.16.1 内装工の適用範囲と内装等級区分
(出典：設計要領第三集(3)トンネル内装工：NEXCO 設計要領 (H21.7))

2) 内装の種類別

内装はその目的によっていろいろな種類があるが、現在使用している一般的なものを設置方法と材料の種類について分類すると下記のとおりである。設計にあたっては、設置の対象となるトンネルの諸条件や施工性、経済性、長期的な耐久性などを総合的に判断して選択するものとする。

- ① パネル浮かし張り
- ② タイル直張り
- ③ パネル直張り
- ④ 塗装

第 17 節 トンネル内舗装

トンネル内舗装の設計は、以下の点を十分に考慮して行わなければならない。

- (1) 湧水の影響.
- (2) 照明効果.
- (3) 維持管理の困難さ.

本節の詳細については、「舗装設計施工指針（第 3 章 設計）：日本道路協会」、 「舗装設計便覧（第 7 章 各種の舗装の構造設計 7-3-2 トンネル内舗装）：日本道路協会」および「土木工事設計マニュアル道路編 I」(道路) 第 4 章 舗装工：山梨県県土整備部」を参照する。

(1)について

トンネル内では地山からの湧水は避けることができず、かつ湧水の圧力ヘッドが大きいことも多いので、路盤が浸水し繰り返し作用する交通過重によって劣化することのないよう十分な排水設備を設けなければならない。

(2)について

トンネル内舗装は、一般に側方の余裕が少なく、照明や換気設備の付属設備が付加されているため、運転手の視野が一般部より狭くなる。したがって、トンネル内舗装には明色性の高い舗装を採用するなど、出来るだけ明るい路面とすることが必要である。このことから、セメントコンクリート舗装が一般的である。

(3)について

供用中のトンネル内で維持・補修を行うことは、明かり部に比べて困難であり、舗装には十分な耐久性が要求される。迂回路がなく補修が困難なトンネル区間は設計期間 20 年とする。

第 18 節 参考資料

本章に関する参考資料は、本道路設計要領の記述内容を補足するために収録した。参考資料の収録内容は、以下のとおりである。

資料 - 01 山岳トンネル工事の切羽における
肌落ち災害防止対策に係るガイドライン（抜粋）
厚生労働省労働基準局 平成30年1月18日

(別添)

平成 28 年 12 月 26 日

改正 平成 30 年 1 月 18 日

山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン

第 1 目的

本ガイドラインは、労働安全衛生関係法令と相まって、切羽における肌落ち防止対策を適切に実施することにより、山岳トンネル工事の切羽における労働災害の防止を図ることを目的とする。

第 2 適用対象

本ガイドラインは、山岳トンネル工事の切羽における作業に適用する。

(中略)

第 6 具体的な肌落ち防止対策

1 肌落ち防止対策の種類

肌落ち防止対策は、切羽での肌落ちのリスクを低減させるためのものであるところ、様々な対策が存在し、現在も新たな対策の考案、既存の対策の改良が行われているが、現時点で比較的多く採用されており、肌落ち防止対策として有効であると考えられる対策を具体的に挙げると、次のとおりである。

(1) 鏡吹付け

鏡吹付けは、鏡に対し吹付けコンクリートを吹き付けることである。掘削により露出した地山を早期に吹付けコンクリートで覆うことにより、トンネル横断方向だけでなく、縦断方向の緩みも抑えることができる。

また、鏡吹付けにより、鏡がコンクリートで覆われるため、切羽の変形に伴い新たに発生した亀裂や切羽の変状が視認しやすくなる。

さらには、地山を坑内の空気又は水分に触れさせることを防ぐことができるため、膨張性地山に対しても有効である。

なお、肌落ちは鏡のみならず切羽全体で発生するものであり、鏡吹付けを行う場合は、アーチ側壁部に対しても併せて行うことが必要である。

(2) 鏡ボルト

鏡ボルトは、鏡にボルトを打設し、鏡の安定性を高めるものである。

(3) 浮石落とし

浮石落としは、比較的小さな岩石を予め落とす作業である。これにより、引き続き実施される作業における肌落ちによる労働災害を防止することを目的とする。

(4) 水抜き・さぐり^{せん}穿孔

地山前方に地下水脈又は帯水層がある場合は、切羽に係る圧力を低下させて地山の崩壊のおそれを低減させるとともに、切羽への水の浸透を防止することで吹付けコンクリートが十分付着するようにするため、地下水を減少させることが必要である。

水抜き・さぐり^{せん}穿孔は、地山の中から水を導き、水が切羽に浸透する前に、穿孔^{せん}した孔に水を導くものである。

(5) 切羽変位計測

切羽変位計測とは、補助的な肌落ち防止対策であり、鏡の変位を計測機器により測定することである。目視では確認できない微小な変位を捉えることで、切羽監視責任者による監視を補助することができる。

切羽変位計測の結果、一定以上の加速度、変位速度等になると警報を鳴らすといった肌落ち防止対策も可能になる。

(6) 設備的防護対策

設備的防護対策とは、補助的な肌落ち防止対策であり、切羽で作業する労働者の上部に器具を設置して、人体を守るものである。設置する器具としては、ネット、マット、マンケージガード等がある。ネットは、労働者の上部にネットを設置し、労働者の上部からの落石をネットで受けようとするものである。マットは、労働者の上部にマットを設置し、落石の衝撃をマットで吸収しようというものである。マンケージガードは、マンケージの前面及び天井部に柵を設置し、マンケージに搭乗した労働者を肌落ちから防護するものである。また、マンケージ下部に柵を設置し、マンケージの下部で作業中の労働者を肌落ちから防護する器具もある。

(7) フォアポーリング

フォアポーリングとは、切羽前方に概ね5メートル以下のボルト又はパイプを打設することにより切羽前方の天端補強を行う補助工法である。中空のものを使用して、薬液又は充填剤を注入することで安定度を高めることがある。

(8) 長尺フォアパイリング

長尺フォアパイリングとは、切羽前方に概ね5メートル以上の鋼管等を打設することにより切羽前方の天端補強を行う補助工法である。安定度を高めるため、薬液又は充填剤を注入する。

(9) その他の工法

トンネルを掘削する経路上に遮水層、帯水層等が存在する場合は、水抜きボーリング、薬液注入工法（地上からの注入を含む。）等の実施を検討すること。

2 肌落ち防止対策の選定

肌落ち防止対策の選定に当たっては、次の条件等を勘案し、下表を参考に選定すること。なお、肌落ちによって落下する岩石の大きさ等によっては単一の肌落ち防止対策では十分でない場合があるため、必要に応じ複数の肌落ち防止対策を組み合わせることを検討すべきであること。

(1) 地山等級等による肌落ち防止対策の適否

岩種、地山の状態、ボーリングコアの状態、弾性波速度、地山強度比等

(2) 湧水対策としての効果

(3) 施工性（施工の容易さ）

(4) その他

切羽の変状観察を行う場合における相性、対策の人体防護性の高さ

表 肌落ち防止対策の選定

肌落ち防止対策	地山等級等による肌落ち防止対策の適否				湧水対策としての効果	施工性(施工の容易さ)	その他	
	IV、B	III、C	II、D	I、E			変状観察を行う場合の相性	人体防護性の高さ
鏡吹付け	△	○	◎	◎	○*	◎	◎	△
鏡ボルト	△	△	○	◎	○	△	×	△
浮石落とし	◎	◎	◎	△	◎	◎	△	△
水抜き・さぐり穿孔	○	○	◎	◎	◎	○	×	×
切羽変位計測	×	△	◎	◎	×	○	◎	×
設備的防護対策	△	△	△	△	△	△	△	○

注：◎：最良、○：良、△：可能、×：不適

○*：水抜き対策を併用することで良。

(以下、省略)