

第3章 トンネル設計

総 則

適用の範囲

(1)この設計要領は山岳トンネルの設計に適用する。トンネルには、山岳トンネルと市街地等に設置されるシールドトンネルや開削方式トンネルなどがあるが、この要領では、山岳トンネルの2車線道路を対象とする。

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

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

道路トンネル
技術基準(構
造編)・同解説
1-3

表1-1

関係図書	発行年月	発 行 者
道路トンネル技術基準(構造編)・同解説	H15.11	日本道路協会
道路トンネル技術基準(換気編)・同解説	H20.10	日本道路協会
トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説	H18.7	土木学会
道路構造令の解説と運用	H16.2	日本道路協会
自転車道等の設計基準解説	H22.4	日本道路協会
道路照明施設設置基準・同解説	H19.10	日本道路協会
コンクリート標準示方書(施工編)	H20.3	土木学会
防護柵の設置基準・同解説	H23.1	日本道路協会
道路トンネル観察・計測指針	H21.2	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧	H22.1	日本道路協会
道路トンネル安全施工技術指針	H8.10	日本道路協会
新版 ずい道等建設工事における換気技術指針(設計及び粉じん等の測定)	H24.3	建設業労働災害防止協会
日本道路公団設計要領 第3集 トンネル	H21.7	日本道路公団
日本道路公団設計要領 第7集 電気施設・機械施設	H21.7	日本道路公団
電気通信施設設計要領・同解説(電気編)	H20.4	建設電気技術協会
土木構造物設計マニュアル(案) [土木構造物・橋梁編]	H11.11	全日本建設技術協会
土木構造物設計マニュアル(案)に係わる設計・施工の手引き(案) [ボックスカルバート・擁壁編]	H11.11	全日本建設技術協会

関係図書	発行年月	発行者
山岳トンネルの坑口部の設計・施工に関する報告書	S60.2	日本トンネル技術協会
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	H13.10	日本道路協会
「大断面トンネルの標準支保パターンについて」	H8.5	事務連絡
薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定・指針について	S49.7.10	事務次官通達
山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン(案)	H11.4	(財)国土開発技術センター
NATM補助工法の手引き(案)	H11.4	九州地方整備局工事課
LED道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)	H23.9	国土交通省

(注)使用にあたっては最新版を使用するものとする。

第1節 トンネルエ(山岳トンネル)

1 トンネルの計画・調査

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

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

1-1 構造規格

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

1-2 トンネル位置の選定要素

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

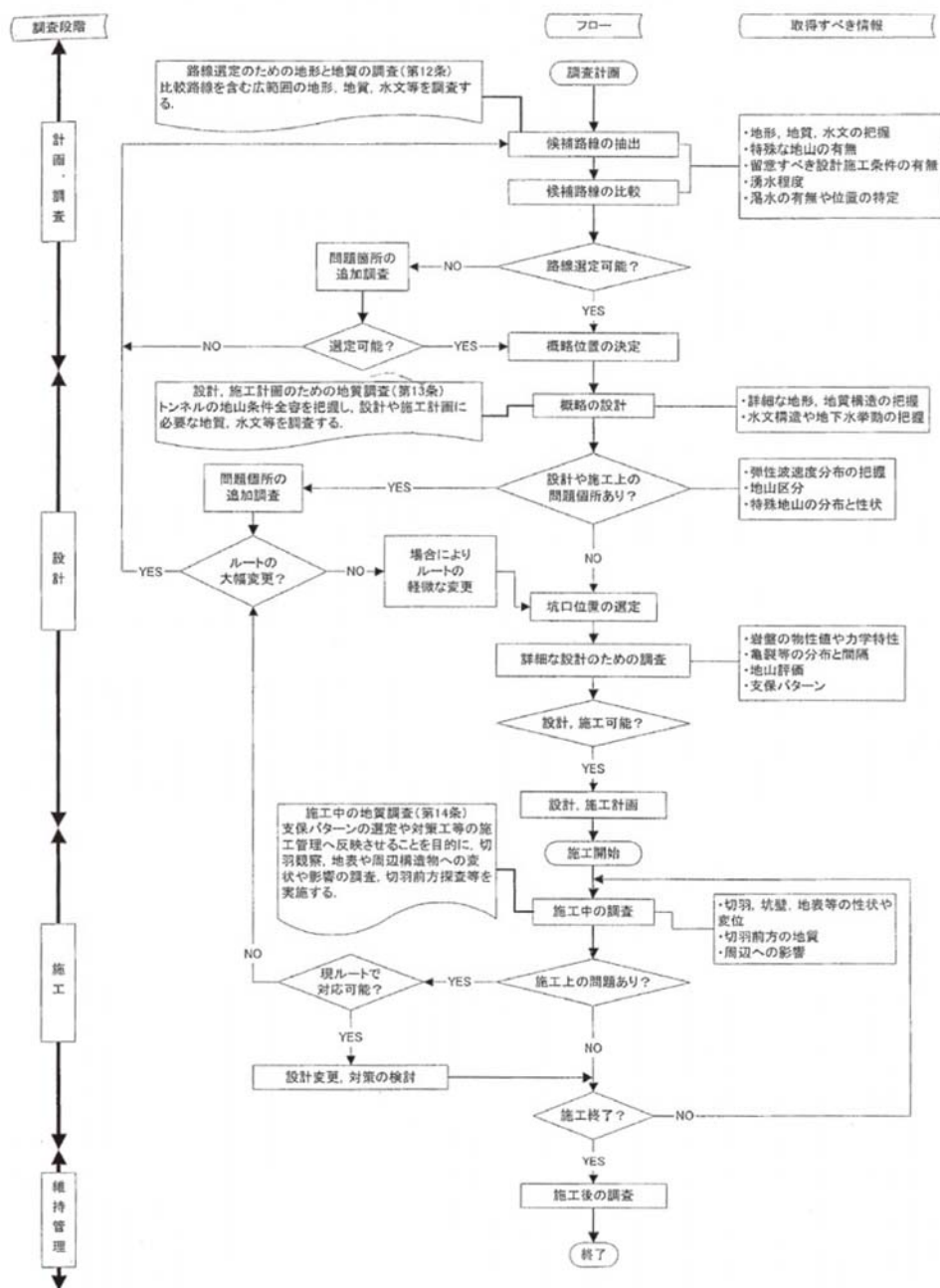
- (1)地形、地質から見た検討
- (2)平面線形の検討
- (3)縦断線形の検討
- (4)供用開始後のトンネル坑口付近の崩壊等の維持管理面の検討
- (5)完成後の管理設備の検討
- (6)トンネル附近における他の構造物への影響(鉄道、道路、河川、水路等)
- (7)気象条件

1-3 調査

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

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

トンネル計画・調査のフローと主な取得情報及び調査手法を図1-1に示す。



トンネル標準
示方書
〔山岳工法編〕
同解説
第10条

図1-1 トンネルの計画・調査フロー図

調査にあたっては、調査目的に適合した調査方法を選定しなければならない。
表1-2にこれらの一般的な目安を示す。

表1-2 地形・地質調査項目と調査方法(その1)

調査項目	調査事項	調査方法															
		資料調査	空中写真判読	現地踏査	地表地質踏査	弾性波探査	電気探査	電磁探査	放射能探査	ボーリング	孔内試験			点荷試験	室内土質岩石試験	坑内弾性波反射法	
											標準貫入試験	物理検層	孔内載荷試験	孔内湧水圧試験			
地形	地すべり・崩壊他	◎	◎	◎	○	○					○	○	○				
	急崖を形成する岩盤斜面	◎	◎	◎	○												
	土石流・なだれ等の発生地およびこれが予想される所	◎	◎	◎	○												
表層堆積物	種類(表土、風化土、崖錐堆積物、崩壊堆積物、段丘堆積物等)	◎	◎	◎	○						○						
	構成物質(粒度、粒形等)	○		◎	○						◎	◎					◎
	分布・厚さ			◎	○	◎	○				◎	○	○				
	固結程度			◎	○	◎	○				◎	◎	○	◎			○
岩質	含水状態および透水性			◎	○		◎	○			◎		○	◎			○
	岩石の種類と地質時代	◎	○	○	◎					○	◎						
	岩相(鉱物組成、粒度、組織、空隙状態等)	○		○	◎						◎						◎
	岩石の物理的力学的性質(吸水率、硬さ、圧縮強度、超音波伝播速度等)	○			○						○		○			○	◎
	岩盤の弾性波速度					◎							○				○
	岩盤の強度、変形性(膨張性の有無等を含む)				○	○					◎		○	◎			◎
地質構造	風化・変質の程度	○		◎	◎	◎	○	○			◎	○	○				◎
	地質の分布	◎			◎						◎						○
	地層の成層状態(走向、傾斜、褶曲の位置・規模等)	◎		○	◎						○						
湧水	断層、破碎帯の位置、規模、性状	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎		○					◎
	断理、片理、割れ目等(分布、方向、傾度、狭在物等)	○		○	◎						◎						
	地表水の状況(トンネル工事の影響が予想される範囲の用水状況)	○		◎													
地下資源	地下水面、帯水層および進水層				○		◎	○			◎		○				
	地下水の湧水圧、湧水量										◎		◎				
	種類、分布	◎			○		○				◎		◎				
	トンネル計画の関連	○		◎	○						◎						

注)◎：特に有効な調査法 ○：有効な調査法

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
第2編
(H15.11)2-4

2 トンネルの設計

2-1 設計の手順

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

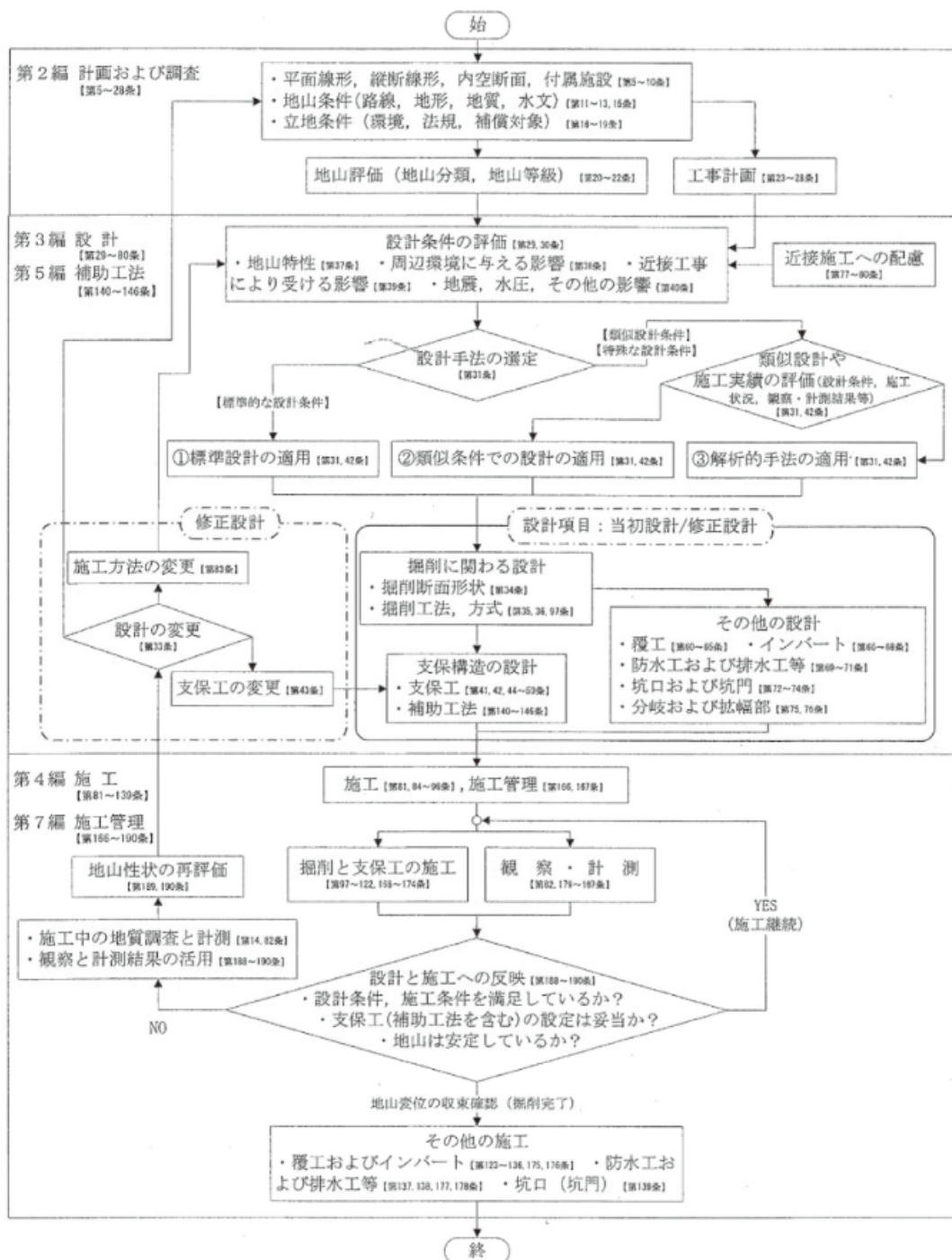


図1-2 設計の手順

トンネル標準
示方書
〔山岳工法編〕
同解説
第32条

2-2 荷重等

(1) 土圧

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

(2) 偏圧

地形・地質、その他からトンネルに対して大きい偏圧が働くおそれのある場合は、偏圧の状態と、これに対する処置について、特に考慮を払わなくてはならない。

(3) 上載荷重の影響

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

(4) 地震の影響

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

2-3 線形計画

2-3-1 平面線形

- (1) トンネルの線形の計画にあたっては、できるだけ直線または大きな半径の曲線を用い、付属施設、工事中設備の設置等を考慮のうえ、地山条件が良好であり、維持管理が容易で周辺環境への影響が小さい位置にトンネルを設定しなければならない。
- (2) トンネルの坑口は、安定した地山で、地形条件の良い位置に選定するように努めなければならない。
- (3) 2本以上のトンネルを隣接して設置する場合、または他の構造物に近接してトンネルを設置する場合には、相互の影響を検討のうえ位置選定しなければならない。

表1-3 トンネル断面の拡幅が不必要な曲線の最小半径の例 (縦断勾配0%の場合)

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

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

注2) 雪積寒冷地等で別途視距を確保する場合は本表と異なる。

2-3-2 縦断線形

- (1) トンネルの縦断勾配は、トンネル完成後の坑内湧水を良好な縦断排水工等によって自然流下させる場合、通常0.1%以上の勾配があればよい。但し、施工中の湧水を自然流下させるためには、湧水が少ない場合で0.3%以上、相当多い場合0.5%程度の勾配が必要である。
- (2) 換気を必要とするトンネルの縦断勾配は、止むを得ない場合でも3%程度以下を目標とするのが望ましい。また、換気量が大きくなる長大トンネルにあつては2%程度以下とすることが望ましい。
- (3) 換気を必要としないトンネルの場合には、道路の線形上有利な勾配として差しつかえない。
- (4) 縦断勾配の変化点には、視線誘導等を考慮し、少なくとも道路構造令の規定長の2倍以上の縦断曲線長をとることが望ましい。

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第6条

道路トンネル
技術基準(換
気編)・同解説
2-1

道路トンネル
技術基準(構
造編)・同解説

2-2

5

〔山岳工
法編〕・同解説
第5条

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
2-1

(5) レール方式の縦断勾配には、急勾配になると車両の逸走や機関車の制動距離が長くなることや作業能率が低下することなどが考えられるため、一般に、2%程度以内が望ましい。

2-4 併設トンネル及び他構造物との間隔

(1) 併設トンネルの中心間隔は、掘削幅の3倍を標準とする。

(道路2車線トンネル(歩道なし)の場合で30m程度)

(2) トンネル中心間隔を縮める必要のある特殊な場合には、設計、施工法を十分に検討しなければならない。

(3) 他の構造物に近接してトンネルを施工する場合、および地表が高度に利用されている地下を小さな土被りでトンネルを設ける場合も同様に相互の影響を検討のうえ、位置選定しなければならない。

2-5 トンネルに接続する道路のすり付け

トンネルに接続する道路部には、適当な長さのすり付け区間を設けなければならない。すり付け区間のテーパ長は表1-4による。

(1) 直線区間

表1-4 テーパの標準値

設計速度 (km/h)	テ ー パ	
	地方部標準値	都市部標準値
100	1/60	-
80	1/50	1/40
60	1/40	1/30
50	1/30	1/25
40	1/25	1/20
30	1/20	1/15
20	1/15	1/10

(2) 曲線区間

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

道路構造令の
解説と運用
3-8-3

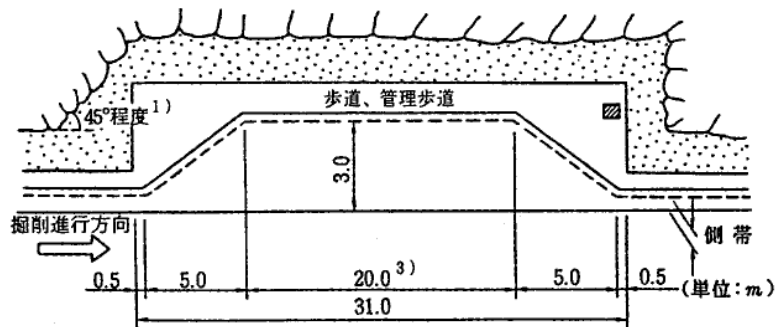
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第5条

2-6 非常駐車帯

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

非常駐車帯はできるだけ地山条件の良好な箇所を選定すべきである。

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



注1) 進入部の取付角度は、45° 程度とする。

注2) 妻壁部の設計は拡大断面部に準ずるものとするが、ロックボルトは必要に応じて設けるものとする。

注3) 第3種2級以下の道路においては有効長をL=15mとする。

図1-3 非常駐車帯の平面寸法

2-7 中央帯開口部及び非常用施設

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

1. 中央帯開口部

1) 車両用

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

(1) 中央帯開口部の配置は、次の各項を考慮して決定する。

1. 開口部は衝突の可能性のより少ない直線区間など線形の良い箇所に設けるものとする。
2. トンネル内で事故や車両火災が発生した場合の通行止めや滞留車の速やかな排除を考慮し、トンネルの前後には設けるものとする。ただし、トンネルが連続している区間あるいは道路の線形の状況等により設定することが困難な区間などの場合は、その限りではない。
3. 事故・災害時等において、速やかに本線外に車両を排出させるため、インターチェンジ前後には設けるものとする。ただし、道路の線形の状況等により設定することが困難な場合は、その限りではない。
4. 非常駐車帯が設置されている区間では、緊急車両の転回等を考慮し、原則として非

常駐車帯の位置にあわせて設けるものとする。ただし、道路の線形の状況等により設定することが困難な場合は、その限りではない。

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

(2) 開口幅

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

(3) 構造

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

2) 人道用

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

なお、車両用開口部の配置などとの関係から避難用連絡坑の位置に合わせて設置することが困難な場合、実際の避難形態等を勘案し、できるだけ避難連絡坑に近接して人道用開口部を設けるものとする。さらに、開口部の付近には、安全対策に配慮した構造や塗装等の工夫を行うことが望ましい。

2. 非常用施設

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

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

3. 新直割区間における具体的な設計事例（図2-1～5）を参照されたい。

事務連絡
平成22年2月22日
道路関係事務所長宛
発九州地方整備局
道路部道路計画
第一課道路工事課長
「往復の方向別に分離された車線の数2である第1種の道路における中央帯開口部及び非常用施設の取扱いについて」

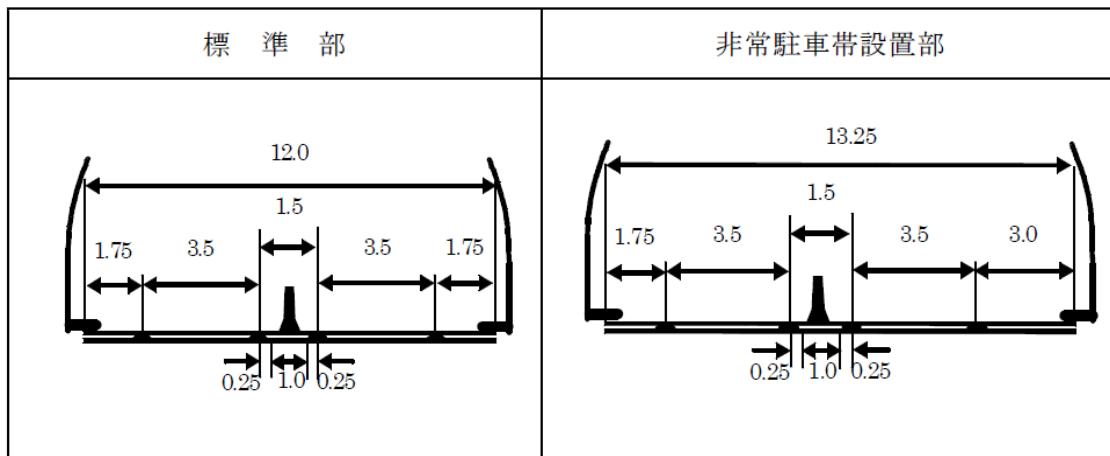


図2-1 横断図

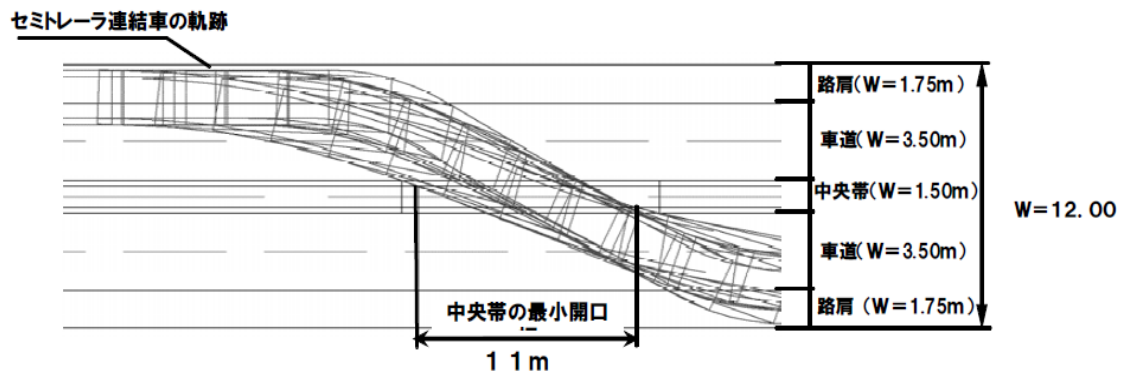
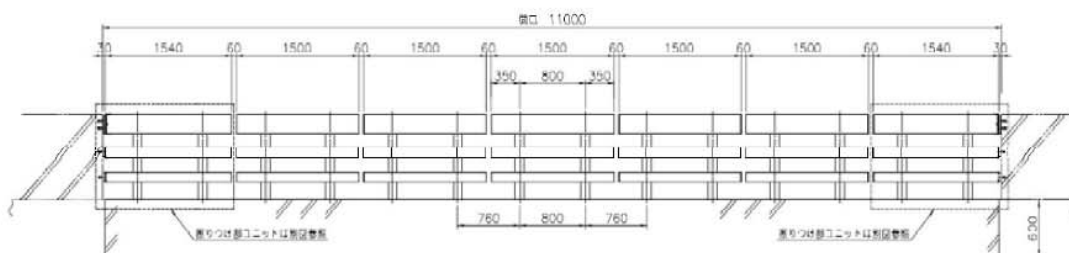
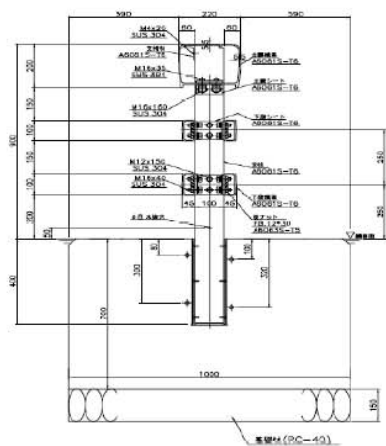


図2-2 中央帯開口部の幅の算出に用いた軌跡

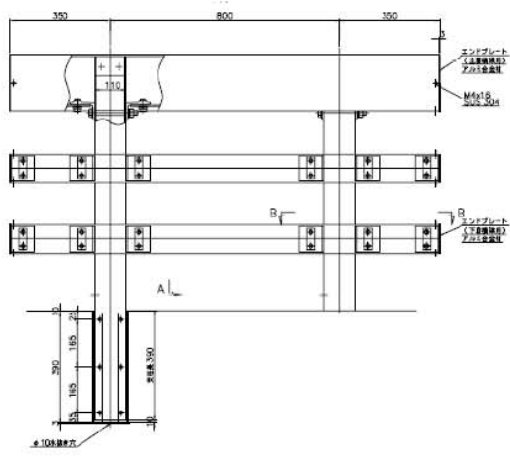
(幅員1.75mの路肩を両側利用する場合の車線間移行軌跡)



縦断面図

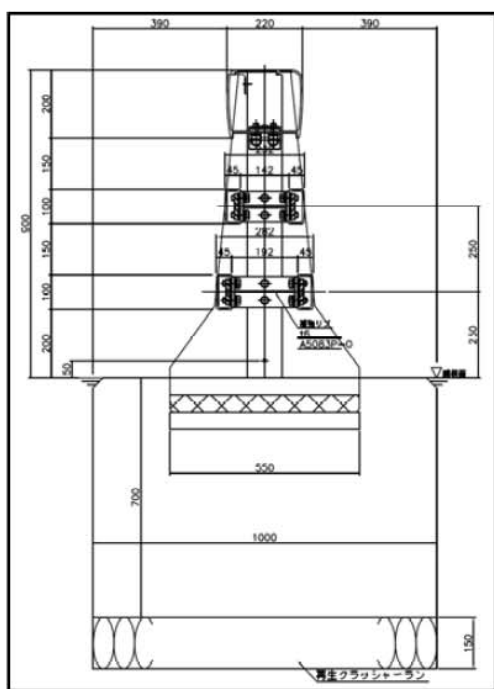


横断面図 (標準)

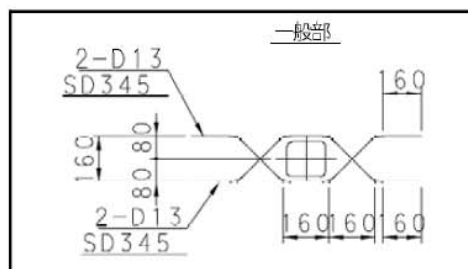


縦断面図 (標準)

図2-3 中央帯開口部の構造(標準部)(例 分離帯用Am)

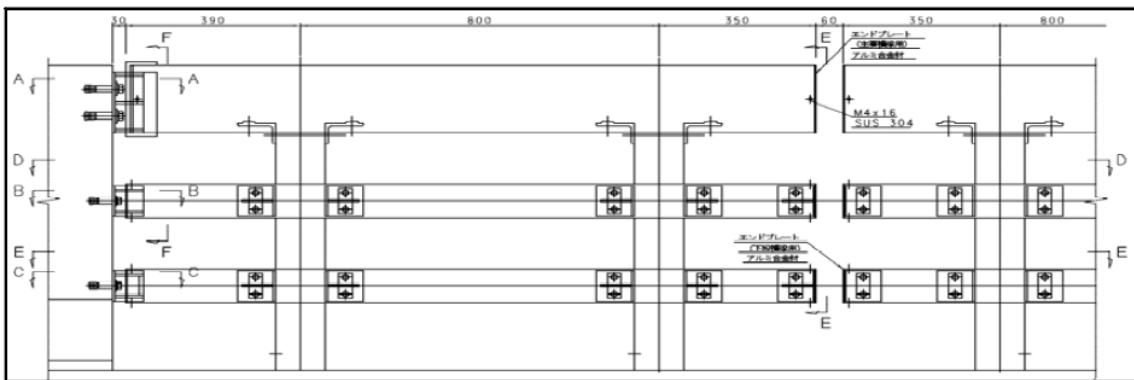


横断面図 (端部)

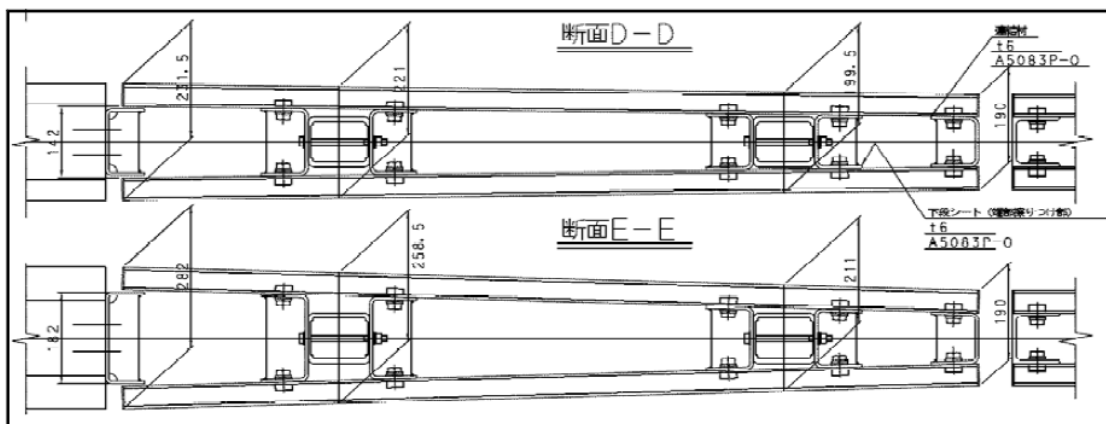


基礎コンクリートの補強鉄筋配筋図(平面図)

図2-4-1 中央帯開口部の構造(端部、基礎)(例 分離帯用Am)



縦断面図 (端部)



縦断面図 (端部)

図 2-4-2 中央帯開口部の構造 (端部、基礎) (例 分離帯用 Am)

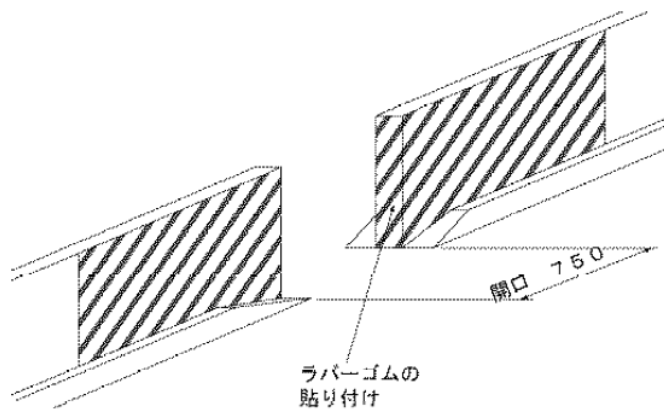


図 2-5 人道用開口部の構造

人道用開口部は、避難連絡坑の位置に合わせて75cmの幅で設ける。その構造は、安全対策のため、図2-5のとおり衝撃緩衝用のゴムを設置し、容易に開口部の位置が確認できるように、塗装を行う。

なお、車両用開口部の配置などとの関係から避難用連絡坑の位置に合わせて設置することが困難な場合には、避難連絡坑にできるだけ近接した位置に人道用開口部を設けるものとする。

3 内空断面

3-1 内空断面設計の一般的事項

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

3-2 内空断面決定の諸条件

- (1) 決定する内空断面は1トンネル1内空断面とすることを原則とするが、平面線形で部分的に大きな拡幅が入り断面積が大きく異なるような場合には別途検討を行うものとする。

(2) 内空高の余裕

トンネル内の舗装は、全面的な打換えが困難なため普通オーバーレイが行われる。従って建築限界の内空高の外に余裕を見込んでおく必要がある。(図1-4参照)この余裕は20cmとする。

(3) 施工に対する余裕

トンネル内空断面には施工に対する余裕として片側5cmとるものとする。但し、管理歩道は見込まない。

(4) 管理歩道(管理歩廊)

管理歩道(管理歩廊)の幅員は75cmとする。管理歩道(管理歩廊)の建築限界高は2.0mとする。

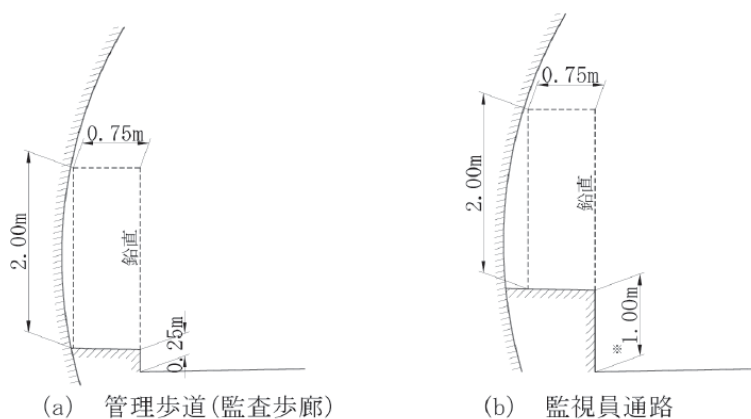


図1-4 管理歩道(管理歩廊)・監視員通路

※マウントアップ高は、担当課と協議により決定する。

(5) 施設帯

施設帯を設ける場合は50cmを確保する。

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

(7) 内装板の設置

内装板の設置は、「17-2 設置基準」によるものとする。内装余裕は3cmを標準とし、吸音内装工を設置する場合には10cmとすることができる。

3-3 内空断面設定の考え方

(1) 建築限界の考え方

車道の建築限界および管理歩道上の歩行空間の取り方は図1-5に示すとおりとする。

道路トンネル
技術基準(構造
編)・同解説
3-1

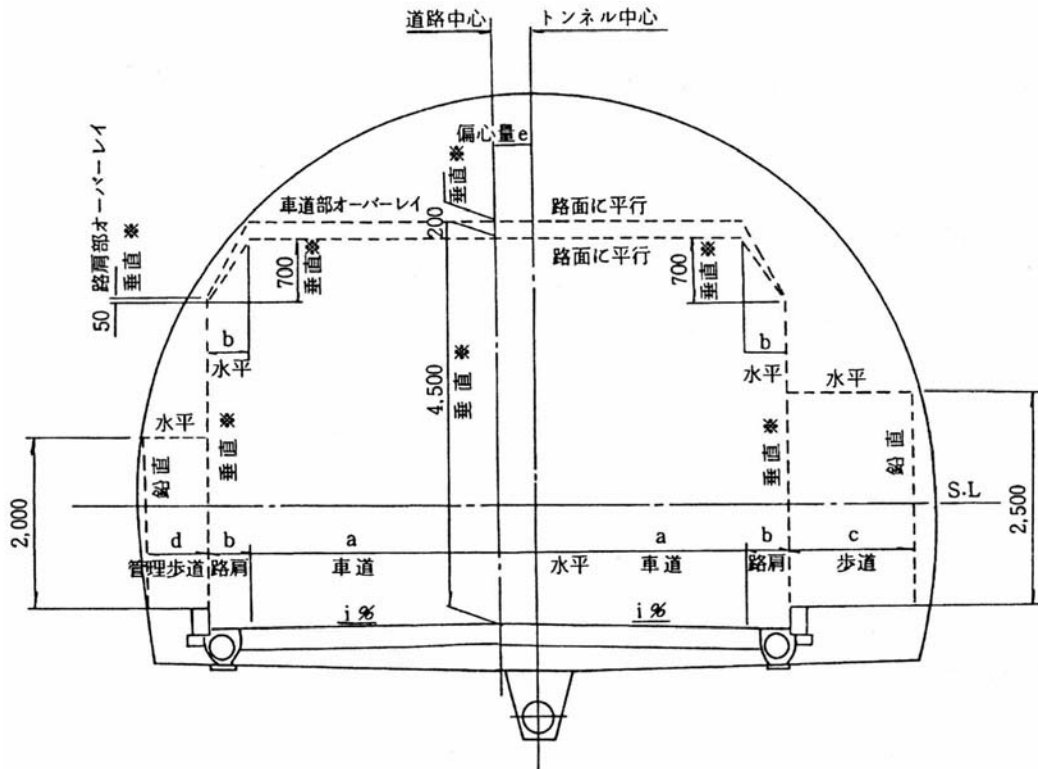


図1-5 建築限界等の考え方

注1)※：路面勾配が片勾配の場合は路面に垂直とする。

(2) 内空断面設定上の施設

① 舗装及び排水

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

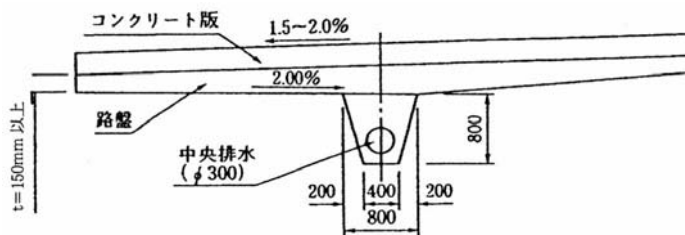


図1-6 舗装および中央排水工の構造

②換気設備

換気設備として、ジェットファンを想定する場合は、表1-5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1-5 ジェットファンを想定する場合の建築限界

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

(注1) c寸法については、離間距離(トンネル壁面とジェットファンとの距離)が標準0.5D(D: JF口径)より短くなるにつれ、昇圧力が減少するのでJF性能を含めた設計検討の上、寸法を決定するものとする。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。

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

(参考: J F600 ・ J F1000 は1225mm以上、J F1250 ・ J F1500 は1525mm以上)

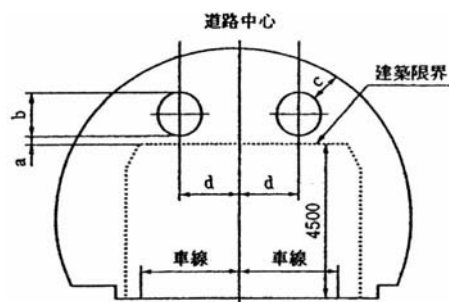


図1-7 ジェットファンの断面取付図

(3) 断面区分

断面区分は表1-6に示す。内空形状と内空縦横比の組み合わせを標準とする。

表1-6 断面区分

	標準断面	大断面 I	大断面 II
内空幅 (m)	8.5~12.5 程度	12.5~14.0 程度	14.0~16.0 程度
内空形状	一般的に 上半単芯円断面	一般的に 上半3芯円断面	一般的に 上半3芯円断面
内空縦横比	概ね 0.6 以上	概ね 0.57 以上	概ね 0.57 以上
内空断面積 (m ²)	40~80 程度	80~95 程度	95~120 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1-8、9に示すWをいう。)

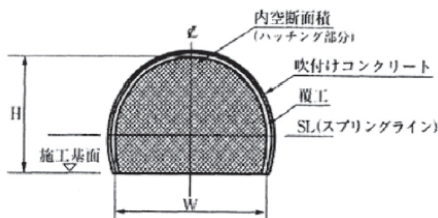


図1-8 インバートなしの場合

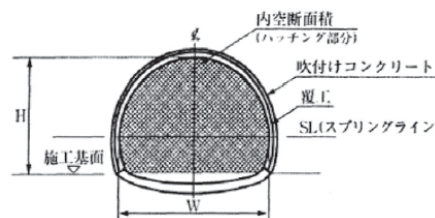
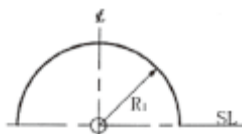


図1-9 インバートのある場合

注2) ここでいう内空断面積とは図1-8、9に示すようにインバート(盤下げ)を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空(舗装面の上部)とは異なる。

注3) 内空形状は上半(SLより上)を形成する円弧の数で表示した。



1-10 上半単芯円

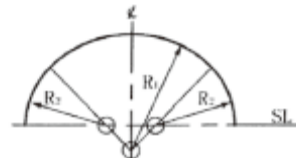


図1-11 上半3芯円

注4) 内空縦横比は図1-8、9に示す内空高さ(H)と内空幅(W)の比で表示した。

$$\text{内空縦横比} = H/W$$

注5) 内空縦横比が表1-6の値を下回る場合は、別途検討を行うこととする。

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

注7) 標準断面の適用範囲であっても、大断面Iとの境界領域付近で上半3芯円などの扁平な断面を採用する場合には、大断面Iの支保パターンの適用を検討する。

注8) 大断面Iおよび大断面IIにおける非常駐車帯の内空断面の設定にあたっては、従来同様に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。

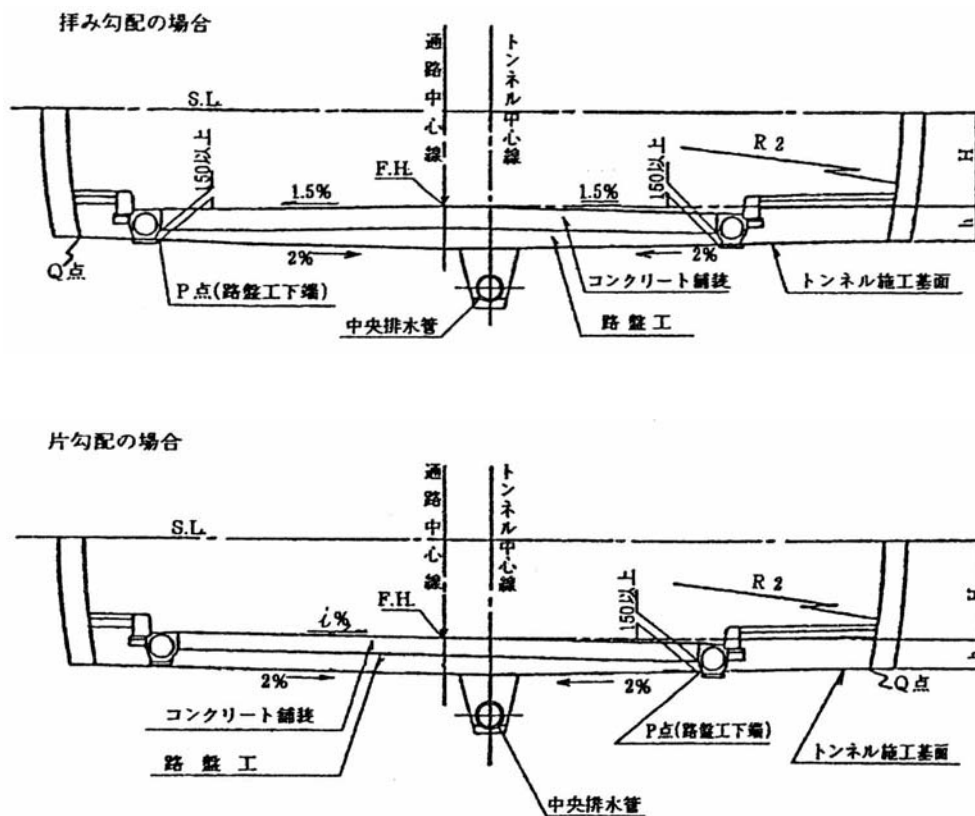
注9) 大断面I及び大断面IIの設計については、担当課と協議すること。

注10) 内空断面は断面形状や内空縦横比などの影響を受けやすいため、この影響を受けない内空幅により断面を区分する。参考値として各断面のおおよその内空断面積を表に示した。なお、ここでいう内空断面積とは、図-8、9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。

事務連絡「大断面トンネル標準文保パターンについて」(H8. 8. 5)を参考

(4) その他

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



hの決め方

- (1) トンネル施工基面は、Q点から2%で中央排水工にすりつける。
- (2) Q点は、P点を通る(1)の勾配(2%)と R_2 の交点から求める。
- (3) $h = F \cdot H - Q$ で、hの高さは5cm単位に丸める。
(数値を丸める場合は、最小路盤厚 $t = 15cm$ 以上となるようにする。)

図1-12 覆工コンクリートの足付け位置

4 地山分類

4-1 地山分類一般

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

4-2 地山分類

地山分類は表1-6(2)によるものとする。

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

4-3 支保の緩和

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

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

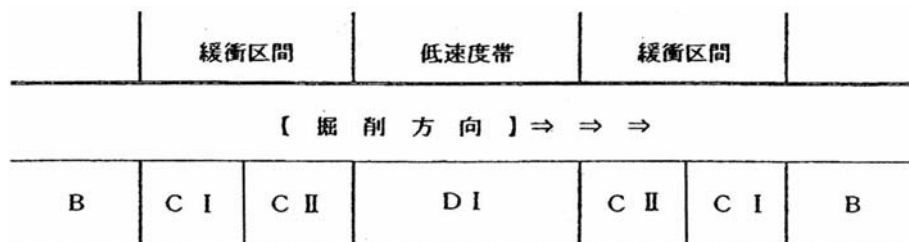


図1-13 地山等級2ランク差の支保緩和の例

表1-6 (2) 地山分類表

地山等級	岩石グループ	代表岩石名	弾性波速度Vp (km/s)	地質、水による影響	山不連続面の面理	状態	コアの状態、RQD	地山速度比	トンネル掘削の状況と変位の目安	
B	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0	新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。	不連続面は平均的に50cm程度。	不連続面に線肌や塊状粘土がほとんどみられない。	コアの形状は片状～短柱状～棒状を示す。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて非常に大きい。	
		ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	不連続面は、トンネル掘削によるゆるみはほとんど生じない。掘削面から部分的に肌落ちする場合もあるが、掘削にとりもなう内空変位は15mm程度以下の微小な弾性変位にとどまる。切羽は自立する。	
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	
		石英安山岩	—	—	—	—	—	—	—	
	L塊状	第三紀層砂岩・礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
		粘板岩、中古生層頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—
C I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩	—	比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。	不連続面は平均的に30cm程度。	不連続面に線肌や薄いつばが一部みられる。	コアの長さが概ね5～20cmであるが5cm以下のものもみられる。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きい。	
		ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	不連続面は、トンネル掘削によるゆるみは部分的なものとす。比較的よくすりやすすい不連続面に、掘削により部分的に肌落ちする場合もあるが、掘削にとりもなう内空変位は15～20mm程度以下の微小な弾性変位にとどまる。切羽は自立する。	
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	
		石英安山岩	—	—	—	—	—	—	—	
	L塊状	第三紀層砂岩・礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
		粘板岩、中古生層頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—
C II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩	—	比較的新鮮で堅硬または、多少の風化変質の傾向がある。	不連続面は平均的に20cm程度。	不連続面に線肌や薄いつばが部分的にみられる。	コアの長さが10cm以下のものが多く、5cm以下の細片が多量に取れる状態のもの。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。	
		ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。掘削により、不連続面の状態が非常に速く、掘削により多くのすりやすすい不連続面に、掘削によって地山のゆるみが増大する。掘削にとりもなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、インパートで早期に閉合しないならば30～60mm程度発生し、切羽が2D離れても収束しないことが多い。	
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	
		石英安山岩	—	—	—	—	—	—	—	
	L塊状	第三紀層砂岩・礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
		粘板岩、中古生層頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—
D I	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩	—	岩質は多少硬い部分もあるが、全体的に強い風化・変質を受けたもの。	不連続面は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。	不連続面に線肌や塊状粘土がほとんどみられない。	コアは細片状となる。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。	
		ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。掘削により、不連続面の状態が非常に速く、掘削により多くのすりやすすい不連続面に、掘削によって地山のゆるみが増大する。掘削にとりもなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、インパートで早期に閉合しないならば30～60mm程度発生し、切羽が2D離れても収束しないことが多い。	
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	
		石英安山岩	—	—	—	—	—	—	—	
	L塊状	第三紀層砂岩・礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
		粘板岩、中古生層頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—
D II	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩	—	岩質は多少硬い部分もあるが、全体的に強い風化・変質を受けたもの。	不連続面は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。	不連続面に線肌や塊状粘土がほとんどみられない。	コアは細片状となる。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。	
		ホルンフェルス	—	—	—	—	—	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて大きくなく、弾性変形とともに一部弾性変形を生じる。掘削により、不連続面の状態が非常に速く、掘削により多くのすりやすすい不連続面に、掘削によって地山のゆるみが増大する。掘削にとりもなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、インパートで早期に閉合しないならば30～60mm程度発生し、切羽が2D離れても収束しないことが多い。	
	M塊状	安山岩、玄武岩、流紋岩	—	—	—	—	—	—	—	
		石英安山岩	—	—	—	—	—	—	—	
	L塊状	第三紀層砂岩・礫岩	—	—	—	—	—	—	—	—
		粘板岩、中古生層頁岩	—	—	—	—	—	—	—	—

注-1) 本分類表にあっては、まはらないほど地山が良好なものや、劣悪なもの(内空変位200mm以上)を、地山等級Eとする。
注-2) H, M, Lの区分: 岩石の初生状態での強度により、一軸圧縮強度で次のように区分する。
H: $qu \geq 80N/mm^2$ M: $20N/mm^2 \leq qu < 80N/mm^2$ L: $qu < 20N/mm^2$
注-3) 塊状、層状の区分
塊状: 節理面が支配的な不連続面となるもの。
層状: 層理面が支配的な不連続面となるもの。

道路トンネル
技術基準
(構造編)
同解説
第3編 1.1-2

《表1-6(2)を適用する場合の留意事項》

表1-6(2)の地山分類表は、原則として吹付けコンクリート、ロックボルトを主たる支保とする場合の当初設計段階および施工中における地山分類に用いるものとするが、その適用にあたっては、次に示す事項について十分留意しなければならない。

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

表1-7 岩石グループ

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

注) —————は、主に地山の弾性波速度の違いによる分類を示し、分類されたグループは表-3.1.1の代表岩種名欄のグループに対応する。

- (iii) 施工中の地山分類は、工事着手後の観察・計測等によって直接的に掘削地山を評価することができる。この場合、まず、トンネル掘削による地山の挙動と変位の目安により地山を分類し、内空変位が30mm程度(掘削幅が10m程度のトンネルでの目安)以下でおさまる場合には、切羽観察による岩質、水による影響、不連続面の状態、不連続面の間隔によって分類するものとする。また、内空変位量が30mmを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。
- (iv) 上下線を段階的に建設する場合で、既に建設されたトンネルが隣接するトンネルの設計においては、既設トンネルの施工時の観察・計測データを十分に活用する。すなわち、既設トンネルの地山等級や支保パターンだけでなく、掘削時の地山の挙動と変位の実績および、不連続面の状態、不連続面の間隔、地下水の影響等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(km/s)

トンネルの調査においては、対象物が線上で長く、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為便利であるが、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。

- ① 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。
- ② 弾性波速度(縦波速度)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、地質状態等により工学的に判定する。
- ③ トンネル計画高より上部約1.5D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。
- ④ 土被りの薄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。
- ⑤ 断層・破碎帯については、弾性波速度のみではなく、その方向・土被り・その他の判断基準も参考にして、補正を行う。
- ⑥ 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

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

イ) 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、地表地質調査、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。

地下水にあ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。

ロ) 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(形状および表面のすべりやすさ)、粘土などの充填物を主とし、長さ(連続性)、幅(開き)、風化の状態を総合的に検討して、トンネル掘削の岩盤の挙動の観点から評価する。事前調査においては、地表地質調査、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。

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

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

(d) 地山強度比

地山強度比は、次のように定義する。

$$\text{地山強度比} = \frac{q_u}{\gamma h}$$

q_u : 地山の軸圧縮強度(kN/m²)

γ : 地山の単位体積重量(kN/m³)

h : 土被りの高さ(m)

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

$$q_u' = \left(\frac{V_p}{U_p} \right)^2 \times q_u$$

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 : 試料の軸圧縮強度(kN/m²)

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

(e) トンネル掘削の状況と変位の目安

変位の計測は、ずり処理後できるだけ早い時期(遅くとも3時間以内)に初期値を計測する必要がある。なお、施工時においては、切羽で観察される不連続面の走向・傾斜とトンネル軸の関係、および地下水の湧水量、地下水による強度低下に対して必要に応じて地山の評価を修正できるものとする。

(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、場合によっては等級を落とす必要がある。

- ① 蛇紋岩や蛇紋岩化を受けた岩石等、泥岩・頁岩、凝灰岩等、火山砕屑物等は水による劣化を生じ易いので十分注意を要する。
- 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・斑れい岩、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)、黒岩片岩、泥岩、凝灰岩等で膨張性が明確に確かめられたならば、DⅡまたはEに等級を落とす。
- 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とする場合がある。

5 掘削

5-1 掘削一般

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

5-2 掘削方式

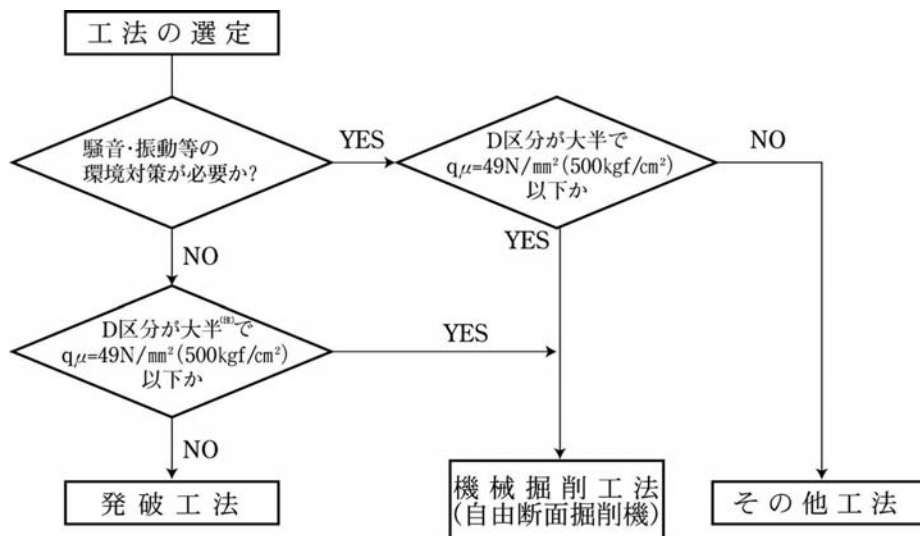
掘削方式の選定にあたっては、地山条件、トンネルの規模、立地条件等を十分考慮しなければならない。

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

掘削方法の選定は、下図を標準とするが、摘要に当たっては、ボーリング調査等の事前調査により、トンネルの地山条件（一軸圧縮強度、亀裂係数、地質、涌水量等）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1-14に掘削方式の選定フローを示す



(注)大半の区分は90%程度を目安とする。

図1-14 掘削方式選定フロー

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
3-1

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
3-2

沖縄総合事務
局土木工事標
準積算基準書
(H15年度版)
5-2-1

5-3 掘削工法

掘削方法の選定にあたっては、断面の大きさ、形状、地山条件、立地条件、工期等を十分考慮しなければならない。表1-8に標準的な掘削工法の分類と特質を示す。

掘削工法	加背制	主として地山条件からみた適用条件	長所	短所
全断面工法		<ul style="list-style-type: none"> 小断面トンネルでは、ほぼすべての地山。 大断面(30m以上)ではきわめて安定した地山。 中断面(30m以下)では比較的安定した地山。 良好な地山が多くても不良地山が存在する場合には取替えが多くなり不慮。 	<ul style="list-style-type: none"> 機械化による省力化迅速施工も有利。 切羽が単面であるので作業の複雑さがなく安全面等の施工管理に有利。 	<ul style="list-style-type: none"> トンネル全長が単一工法で施工可能な距離に達しないので、補助ベンチ等の施工方法の変更体制が必要。 大断面からの掘削量がある場合には、落下高さに対して掘削ベンチの幅が拡大するので注意を要する。
補助ベンチ付き全断面工法		<ul style="list-style-type: none"> 全断面掘削では施工が困難であるが、比較的安定した地山。 全断面掘削が困難になった場合。 良好な地山が多いが部分的に不良地山が点在する場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 上半と下半の同時併進で機械化による省力化迅速施工に有利。 切羽が単面であるので作業の複雑さがなく安全面等の施工管理に有利。 	<ul style="list-style-type: none"> 補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の取替えが困難。
ロングベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> 全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山。 切羽の安定性が悪い場合、核残しなどによって対応する。 	<ul style="list-style-type: none"> 上半と下半を交互に掘削する方式の場合、機械設備と作業員が少なくて済む。 	<ul style="list-style-type: none"> 交互掘進方式の場合、工期が伸びる。
ショートベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> 切羽の安定性が悪い場合、核残しなどによって対応する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地山の変化に対応しやすい。 上半と下半を交互に掘削するため、機械設備と作業員が少なくて済む。 	<ul style="list-style-type: none"> 同時掘削の場合には上半と下半の作業同時サイクルのバランスが取りにくい。 交互掘進方式の場合、工期が伸びる。
ミニベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> ショートベンチカット工法の場合よりもさらに内空変位を抑制する必要がある場合。 膨張性土壌等で早期閉合を必要とする場合。 切羽の安定性が悪い場合、核残しなどによって対応する。 	<ul style="list-style-type: none"> インナーの早期閉合がしやすい。 上半と下半を交互に掘削するため、機械設備と作業員が少なくて済む。 	<ul style="list-style-type: none"> 上半部に掘削機械を乗せる場合、施工機械が安定させやすい。
多段ベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> 縦長の大断面トンネルで比較的良好的な地山に適用されること多い。 不良な地山で加背を小さくして切羽を安定させる場合に適用されることもある。 	<ul style="list-style-type: none"> 切羽の安定性を確保しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 閉合時期が遅れると不良地山で変位が大きくなる。 各ベンチの長さが増えれば作業スペースが狭くなる。 各段のずり処理に工夫を要す。
中壁分割工法		<ul style="list-style-type: none"> 地表直下を最小掘削防止する必要のある土質の小さい土砂地山。 大断面トンネルで比較的良質な地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 断面を分割することによって切羽の安定性を確保しやすい。 地表直下を小さくすることが可能。 標準導坑先進工法より加背が大きくなり、施工機械をやや大きくすることが可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 中壁撤去時の変位等に留意が必要。 中壁の撤去工費が増える。 坑口からの特殊な補助工法の併用が困難。
掘削工法	加背制	主として地山条件からみた適用条件	長所	短所
側壁導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地盤支持力の不足する地山であらかじめ十分な支持力を確保したうえで、上半部の掘削を行う必要がある場合。 傾正、地すべり等の懸念される土質の小さい軟弱や土砂地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削の一部を比較的マシな側壁コンクリートとして先行施工するため支持力が期待できるとともに、掘削に対する抵抗力も高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 導坑掘削時上方の地山を露ませることが懸念される。
側壁導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> ベンチカット工法では地盤支持力が不足する場合。 地表直下を封鎖する必要のある土質の小さい土砂地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 地表直下を小さくすることが可能。 中壁分割工法の中壁の撤去に比較して、側壁部の仮壁撤去が容易。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。
頂部導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地質確認、水抜き、先行変位や収縮時発生応力の軽減等を期待する地山。 TBMによって導坑を先遣させる場合もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑を先遣させることで地質確認、水抜き、いなし効果などが期待できる。 築坑工法の場合、心抜きがいらぬため、振動・騒音対策にもなる。 掘削時の切羽の安定性が向上する。 導坑掘削後の換気効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> TBMを用いる場合、地質が比較的安定していないと掘削に時間がかかる。 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。
中央導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地質確認、水抜き、先行変位や収縮時発生応力の軽減等を期待する地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑を先遣させることで地質確認、水抜き、いなし効果などが期待できる。 築坑工法の場合、心抜きがいらぬため、振動・騒音対策にもなる。 掘削時の切羽の安定性が向上する。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。
底設導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下工法を必要とするような地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑を先行することにより地質の確認ができる。 切上りを行うことにより切羽を増やし、工期の短縮が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 各切羽のサイクルのバランスがとりにくい。 施工機械が多様多岐になる。

表1-8 標準的な掘削工法の分類と特質

トンネル標準
示方書
〔山岳工法編〕
同解説
第35条

5-4 加背割

上半盤の位置は、スプリングライン(S. L)とする。

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

5-5 坑内ずり運搬方式

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

6 支保工の設計

6-1 支保構造の一般

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

支保構造を構成する部材は下記の通りである。

- ・吹付けコンクリート
- ・ロックボルト工
- ・鋼製支保工
- ・覆工(インバート含む)

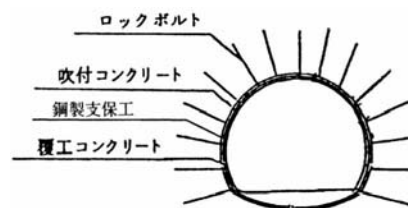


図1-15 トンネル断面

6-2 支保パターンの設定

(1) 支保構造の標準パターン

1) 支保構造の適用範囲

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

2) 標準支保パターン

表 1-9 標準断面（内空幅 8.5～12.5m 程度）における支保パターン
通常断面トンネル 内空幅 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	覆工厚		余吹き(cm)	余巻き(cm)	余掘り(cm)	変形余裕量(cm)	掘削工法
			長さ(m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔(m)		アーチ・側壁(cm)	インバート(m)					
				周方向(m)	延長方向(m)												
B	B	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	-	-	-	5	30	0	4	23	27	0	補助ベンチ付全断面工法または上部半断面工法
C I	C I	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	-	-	-	10	30	(40)	5 (5)	17 (8)	22 (13)	0	
C II	C II-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	-	-	-	10	30	(40)	7 (5)	13 (8)	20 (13)	0	
	C II-b						H-125	-	1.2								
D I	D I-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上・下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45	7 (5)	10 (8)	17 (13)	0	
	D I-b		4.0														
D II	D II	1.0	4.0	1.2	1.0以下	上・下半	H-150	H-150	1.0以下	20	30	50	7 (5)	10 (8)	17 (13)	10	
D III	D III	1.0	4.0	1.2	1.0以下	上・下半	H-200	H-200	1.0以下	25	35	50	7 (5)	10 (8)	17 (13)	0	

注1) 支保パターンの a、b の区分は、地山等級が C II 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

- （ ）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。
- 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側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- 地山等級が D I であっても、下半部に堅岩が現れるなどの岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し等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

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

注4) 覆工コンクリートについて

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

注5) 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場合上・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6) 地山等級 A・E については、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注7) 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扁平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

注8) [] 内は機械掘削の値を示す

注9) 余吹き、余巻き、余掘りの値は参考値とし、担当課と協議のもと決定すること。

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
第3編 4.4-7

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
第4編 1.1-2

表1-10 大断面の支保パターン
大断面Ⅰ(内空幅12.5~14.0m程度) 大断面Ⅱ(内空幅14.0~16.0m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(m)		
				周方向(m)	延長方向(m)									
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	-	-	-	10	40	-	0	補助ベンチ付き全断面工法または上部半断面工法
CⅠ	CⅠ	1.5	4.0	1.2	1.5	上・下半	-	-	-	15	40	(45)	0	
CⅡ	CⅡ	1.2	4.0	1.2	1.2	上・下半	H-150	-	1.2	15	40	(45)	0	
DⅠ	DⅠ	1.0	6.0	1.0	1.0	上・下半	H-150	H-150	1.0	20	40	50	0	
DⅡ	DⅡ	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	
DⅢ	DⅢ	1.0以下	6.0	1.0	1.0以下	上・下半	H-200	H-200	1.0以下	25	45	50	0	

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
第4編 1.1-2

注1) インバートについて

- ()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土結晶岩、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。
- 脚部では、図6-2に示すように吹付けコンクリートと覆工の厚さの合計がインバート厚さになるようにインバート厚さのすり付けを行う。
- 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出来るが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- 地山等級がDⅠであっても、下半部に堅岩が現れるなどの長期的支持力が十分であり、側圧による押し出し等もないと考えられる場合はインバートを省略できる。

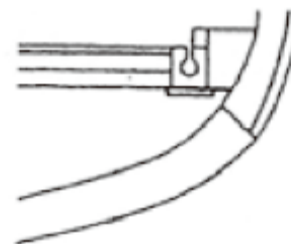


図1-16 大断面トンネル脚部のインバートの形状

注2) 金網について

- 一般に地山等級がCⅡにおいては天端90°範囲に、DⅠ、DⅡでは上・下半部に設置する。
- 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)を用いる場合は金網を省略できる。

注3) 覆工コンクリートについて

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

注4) 変形余裕量について

地山等級がDⅡにおいては、上部半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付き全断面工法は掘削に時間差が無い場合上・下半部に変形余裕量として、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) 掘削工法について

- 中盤分割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、中盤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、中盤分割工法は後進トンネル掘削時に頂部での先進トンネルとの支保工の接合部が弱点になることがあるから、接合部の処理に関して慎重に検討を行う必要がある。さらに、発破方式では発破の衝撃により中壁が掘削と同時に破損し、本来の中壁の果たすべき役割が発揮できないことから、発破との併用は好ましくない。
- 中壁分割工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合せは、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 加背の高さを決定するにあたっては、支保の規模、大きさを十分勘案したうえで、安全で効率的な施工が行える高さを決定しなければならない。

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

3) 参考支保パターン

内空幅 3.0~5.0m 程度・内空縦横比概ね 0.8 以上の小断面トンネルの標準的な支保構造を表 1-11 に示す。

道路トンネル
技術基準
(構造編)・
同解説
第3編 4.4-7

表 1-11 標準的な支保構造の組合せの目安 (小断面トンネル 内空幅 3.0~5.0m 程度)

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

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

注2) レール方式の場合は、標準歩掛りによる。

(2) 支保工の変更

観察、計測の結果、支保工が現場の状況に適合しないと認められた場合には速やかに変更しなければならない。

表 1-12 設計の変更の考え方

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

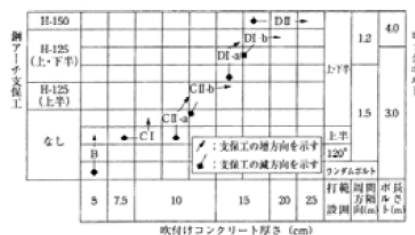


図 1-17 部分的な支保工増減の実施例

6-3 吹付けコンクリート

- (1) 吹付けコンクリート一般
- 1) 吹付けコンクリートの設計は、地山条件および使用目的に適合したものとしなければならない。
 - 2) 吹付けコンクリートの配合は、付着性が良く、必要な強度特性が得られるようにしなければならない。
- (2) 吹付けコンクリートの配合
- 1) 吹付けコンクリートは湿式を原則とするが、地山状況その他の条件から他の工法を用いる場合は十分に検討する。又、湿式の配合は下記を標準とする。

道路トンネル
技術基準（構造
編）・同解説
(H15. 11) 4-3

表 1-13 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) 細骨材量	単位(C) 粗骨材量
N/mm ² σ ₂₈₌₁₈	(56%)	10 ± 2 cm	「普通ポルトランドセメント」 360kg	(15mm)	セメント量の (5.5%程度)	0.80m ³ (1,086kg)	0.47m ³ (675 kg)

土木工事積
算基準書

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

表1-14 吹付けコンクリートの作用効果

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

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第44条

(3) 金網工

1) 金網工一般

- ・良質な地山以外では、基本的に吹付けコンクリートに金網を使用する。
- ・地山条件が悪い場合には、原則として吹付けコンクリートの補強に金網を使用する。

2) 金網の材料

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

3) 金網の施工

金網の端部は相互に 1 目(150mm) 以上ラップさせる。

金網は地山または一次吹付けコンクリートにアンカーボルトで固定する。

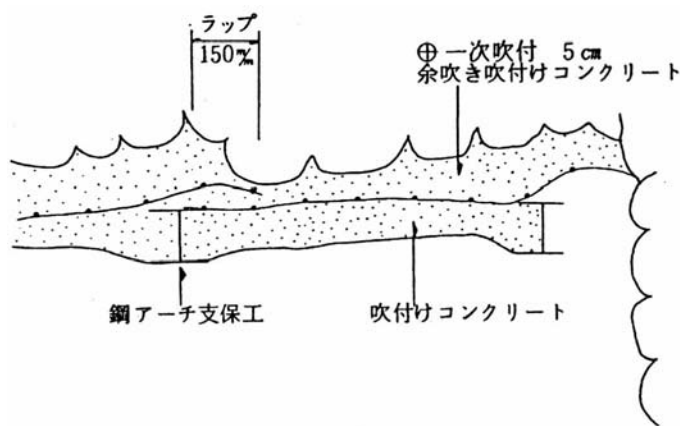


図 1-18 金網の施工要領

6-4 ロックボルト

(1) ロックボルト一般

- 1) ロックボルトの型式、配置および長さは、地山条件と使用目的に合わせて設計しなければならない。
- 2) ロックボルトには、適切な肌落ちの防止対策を検討しなければならない。

(2) ロックボルトの材質及び強度

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

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

表 1-15 ロックボルトの材質(耐力)

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

注) 耐力はネジ部の降状点耐力とし、耐力の算定は次式による。

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

$$A S = \frac{\pi}{4} (d - 0.9382p)^2$$

d : ねじの外径(ねじの呼径)

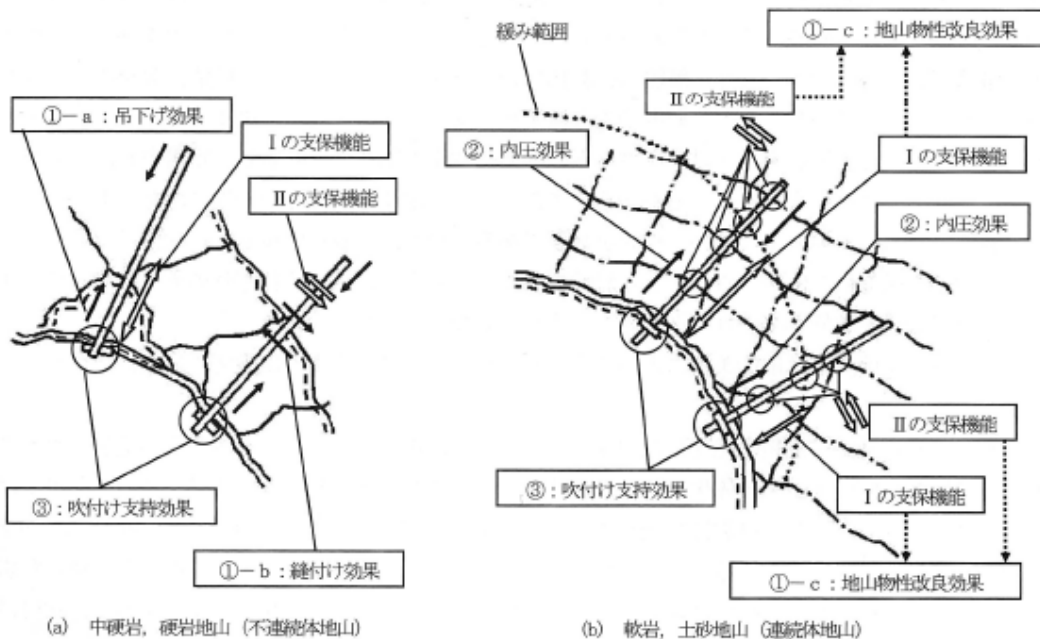
p : ネジのピッチ

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

表1-16 ロックボルトの作用効果の概念

機能, 効果の分類		機能および期待される効果の概要
機能	I	ロックボルトの引張抵抗 ロックボルト軸方向の引張抵抗によってその方向の地山との相対変位を抑制する機能
	II	ロックボルトのせん断抵抗 ロックボルト軸直角方向のせん断抵抗によってその方向の地山との相対変位を抑制する機能
効果	① 地山の補強効果	a: 吊下げ効果 b: 縫付け効果 c: 地山物性改良効果 亀裂の発達した中硬岩, 硬岩地山の場合には, 亀裂によって区切られた不安定な岩塊を深部の地山と一体化し, そのほく落や抜落ちを抑制する。 中硬岩, 硬岩地山の場合に, 亀裂に交差してロックボルトを打設すると, 亀裂面のせん断強度が向上し, 見かけの物性改良効果を期待できる。一方, 強度の小さい軟岩地山や土砂地山の場合においても, ロックボルトの打設によって地山のせん断抵抗が向上して降伏後の残留強度も向上し, 見かけの物性改良効果を期待できる。
	② 内圧効果	軟岩地山や土砂地山の場合, ロックボルトに発生する軸力が吹付けコンクリートを介して坑壁に作用することで見かけの内圧効果が発揮され, トンネルの周辺地山の塑性化とその拡大の抑制を期待できる。
	③ 吹付け支持効果	ロックボルト打設間隔よりも小さく, 地山から分離した岩片は吹付けコンクリートで支持される。吹付けコンクリートは地山との付着によって荷重を支持するが, 吹付けコンクリートと地山の付着が損なわれた場合には, ロックボルトが吹付けコンクリートを地山に縫付けることによって, このような荷重を支持することを期待できる。

機能と効果の概要



トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第49条

表1-17 ロックボルトの機械的性質

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

(注) ※1 JIS M 2506-1992による

※2 JIS M 2506-1992 でねじふし棒鋼として異形棒鋼を含む

※3 スウェーデン工業規格による

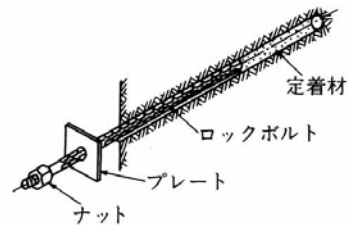
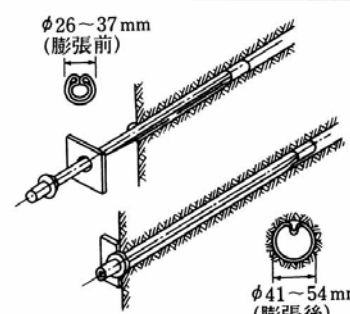
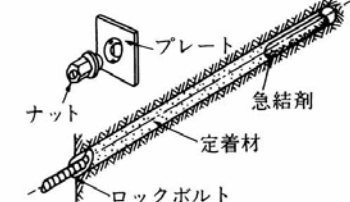
(3) ロックボルトの配置及び長さ

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

(4) ロックボルトの定着

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

表 1-18 ロックボルトの定着方式

定着方式	定着方法	特 徴	適用範囲	概 略 図
全面定着方式	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と、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がある。①の定着材には、セメントモルタルが、②の定着材には、セメントミルクや樹脂が用いられている。	定着材を用いてロックボルト全長を地山に定着させるため、ロックボルト全長で地山を拘束する。地山条件（亀裂・湧水の状態など）や孔壁の自立性などに応じ、各種のものがある。	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。	
摩擦定着方式	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される。スリットばね型と鋼管膨張型の2種類がある。	スリットばね型の場合は、穿孔した孔より大きめのボルトを強制的に挿入することにより、鋼管膨張型の場合は、穿孔した孔の中で高圧水を注入して鋼管を膨張させることにより瞬時に支保機能が得られる。	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独自の柔軟性を持っているため、適用範囲が広い。	
併用方式	①全面定着方式の定着材の充填時に、先端部分に急結用のカプセルを用いるものと、②ロックボルトの先端を機械的に定着させた後、セメントミルクを注入するものがある。	先端を機械的に定着し、セメントミルクを注入する②の方式は施工上二度手間となる。①の方式は施工によっては先端の急結性が得られない場合もある。	膨張性地山、あるいはロックボルトに緊張力を導入する場合に①の方式が有効である。	

(5) ロックボルトの頭部処理

ロックボルトの頭部について、防水工に止水シートを使用する場合には、止水シートが破れないように、ロックボルト等の突起物にモルタルや保護マット等で防護対策を行わなければならない。なお防水工に止水シートを使用する場合の固定は、ピン等により固定させなければならない。また、シート接合面は、漏水のないように接合させるものとする。

(6) 吹付けコンクリートとロックボルトの位置

吹付けコンクリートとロックボルトの位置関係は図1-19の通りとする。

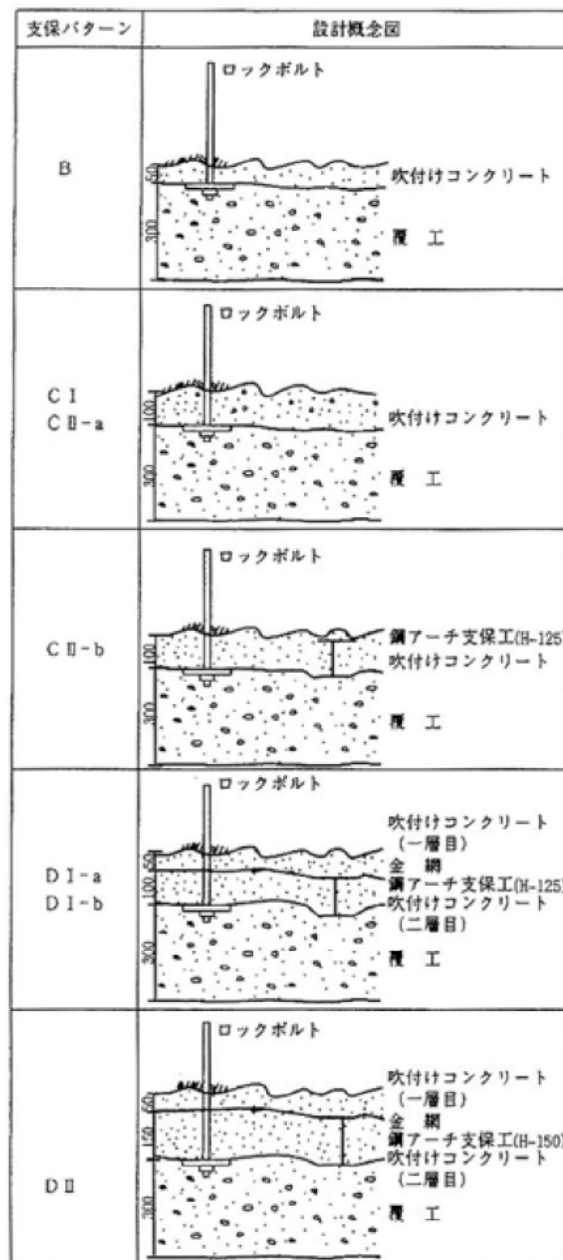


図1-19 吹付けコンクリートとロックボルトの位置(標準断面の場合)

6-5 鋼製支保工

(1) 鋼製支保工一般

- 1) 鋼アーチ支保工は、その使用目的を明確にし、使用目的に適合した設計としなければならない。
- 2) 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。

(2) 鋼製支保工の形状

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

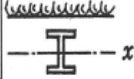
また、作用荷重その他の諸条件に対して有利で、かつ施工上の便宜を備えたものでなければならない。

(3) 鋼製支保工の断面、材質

- 1) 鋼製支保工は、作用荷重のほか、吹付けコンクリートの厚さ、施工法等を考慮して適切な断面形状・寸法を有するものとしなければならない。
- 2) 鋼製支保工の鋼材には、延性が大きく、かつ曲げや溶接等の加工が正確・良好に行える材質のものをを用いなければならない。

支保工の材質はSS-400とし、寸法諸元は下表のとおりとする。

表1-19 鋼製支保工に使用される鋼材の諸元例
(最小曲率半径は、冷間加工による標準を示す)

種別	材質	呼称寸法 (mm)	断面積 A (cm ²)	単位質量 W (kg/m)	断面二次モーメント Ix (cm ⁴)	断面係数 Zx (cm ³)	最小曲率半径 R (cm)	使用方向
H形鋼	SS400	H-100×100×6×8	21.59	16.9	378	75.6	120	
		H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	839	134	150	
		H-150×150×7×10	39.65	31.1	1 620	216	200	
		H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	2 900	331	340	
		H-200×200×8×12	63.53	49.9	4 720	472	420	
		H-250×250×9×14	91.43	71.8	10 700	860	550	
H形鋼	HT590/ SS540	H-154×151×8×12	47.19	37.0	2 000	260	400	
		H-200×201×9×12	65.53	51.4	4 782	478	450	

(4) 鋼製支保工の建込み間隔と継手及びつなぎ

1) 鋼製支保工の継手

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

道路トンネル
技術基準(構造
編)・同解説
4-5

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第56条

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第56条

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第58条

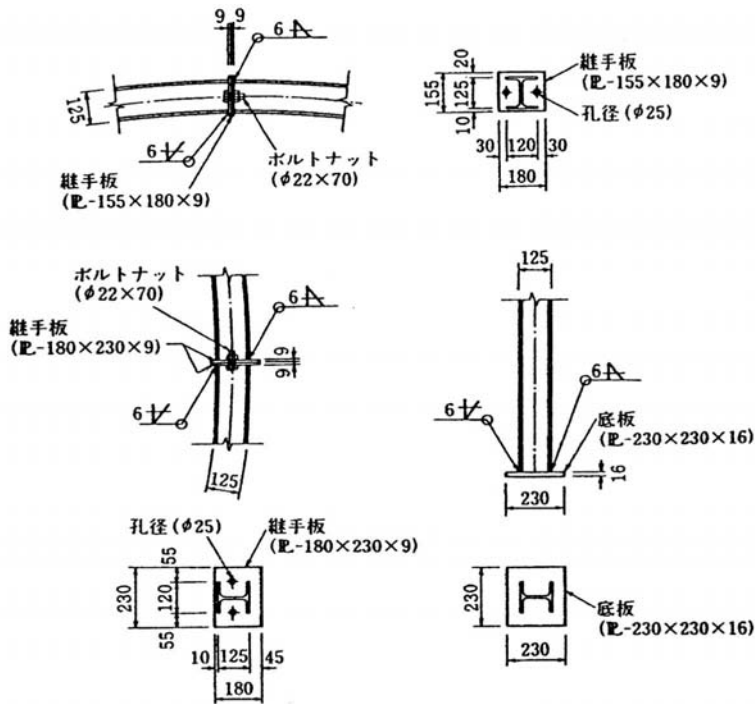


図1-20 鋼製支保工の継手および底板の例

2) つなぎ

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

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

トンネル標準
示方書〔山岳工
法編〕・同解説
第59条

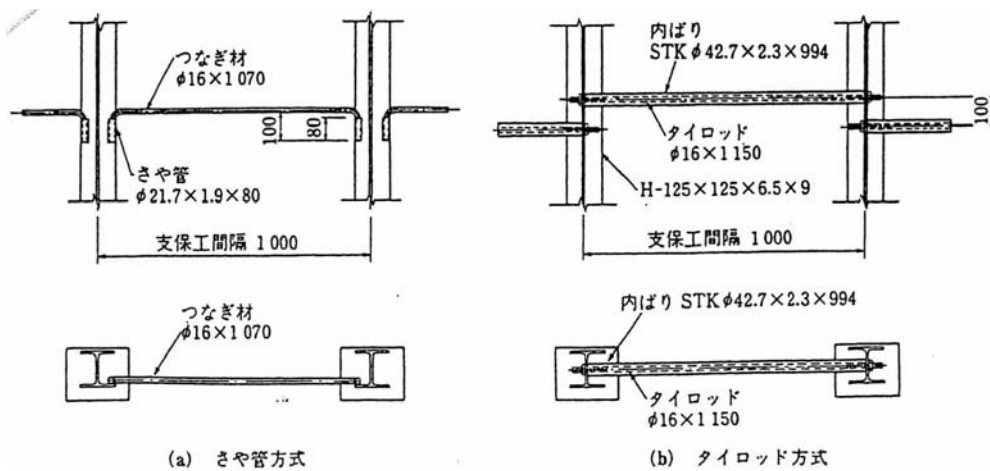


図1-21 鋼製支保工のつなぎ材の例

表 1-20 鋼製支保工の使用材料

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

6-6 余掘、余巻及び余吹

(1) 余掘、余巻及び余吹と掘削の考え方

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

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

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

表 1-21 余掘、余巻及び余吹厚 (cm)

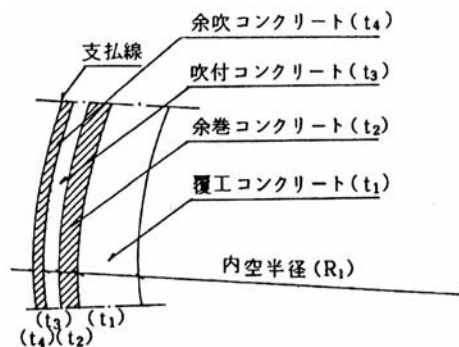
掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚(N ₁)
B	27	23	4
CⅠ	22 (13)	17 (8)	5 (5)
CⅡ	20 (13)	13 (8)	7 (5)
DⅠ	17 (13)	10 (8)	7 (5)
DⅡ	17 (13)	10 (8)	7 (5)
DⅢ	17 (13)	10 (8)	7 (5)

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

土木工事
標準積算基準
書

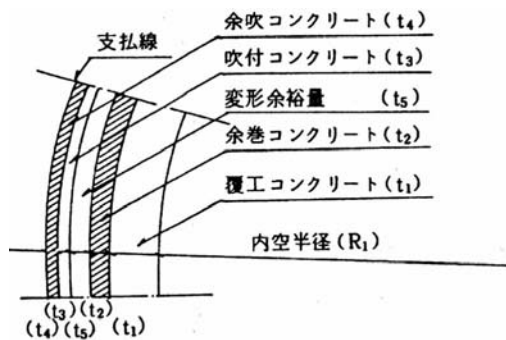
(2) 変形余裕

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



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

図1-22 変形余裕を見込まない場合



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

図1-23 変形余裕を見込む場合

土木工事
標準積算基準
書

土木工事
標準積算基準
書

6-7 覆工

(1) 覆工一般

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

(2) 覆工の厚さ

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

(3) 覆工コンクリートの配合

覆工に用いるコンクリート配合は、所要の強度、十分な耐久性及び良好な施工性が得られるように定めなければならない。

表 1-22 覆工コンクリートの配合基準

設計基準強度	生コン呼び強度	粗骨材の最大寸法	スランブ	セメント量	水セメント比	セメントの種類	繊維混入率(%/m ³)	適用工種
18N/mm ²	21N/mm ²	40mm以下	15cm±2.5	270kg/m ³ 以上	60%以下	普通ポルトランドセメント	—	覆工(CⅠ、CⅡ)
18N/mm ²	21N/mm ²	40mm以下	15cm±2.5	310kg/m ³ 以上	60%以下	普通ポルトランドセメント	0.3	覆工(DⅠ、DⅢ)
18N/mm ²	21N/mm ²	40mm以下	8cm±2.5	230kg/m ³ 以上	60%以下	普通ポルトランドセメント	—	インバート

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

(4) 覆工の施工時期

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

(5) 型枠

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

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

(6) 打継ぎ部の処理

型わく据付けにおいて、既設側のコンクリートが若材齢の段階で新設鈎の覆工を打設するため、重ね合せ部分に過度の荷重をかけるとひび割れなどを発生させることがある。このようなひび割れによる角落ちなどの危険性を防止するため、打継ぎ部にゴムや発泡スチロールなどの打継ぎ目溝型枠を設置することにより切欠き部を設けることとし、重ね合せ部の型わくがこの打継ぎ目溝型わくのみ接するよう工夫している例が多い。打継ぎの例を図1-24に示す。



図 1-24 打継ぎ部のオーバーラップフランジと切欠き部

道路トンネル
技術基準(構造
編)・同解説
4-6

道路トンネル
技術基準(構造
編)・同解 5-1

7 防水工・排水工の設計

7-1 防水工及び排水工一般

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

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

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

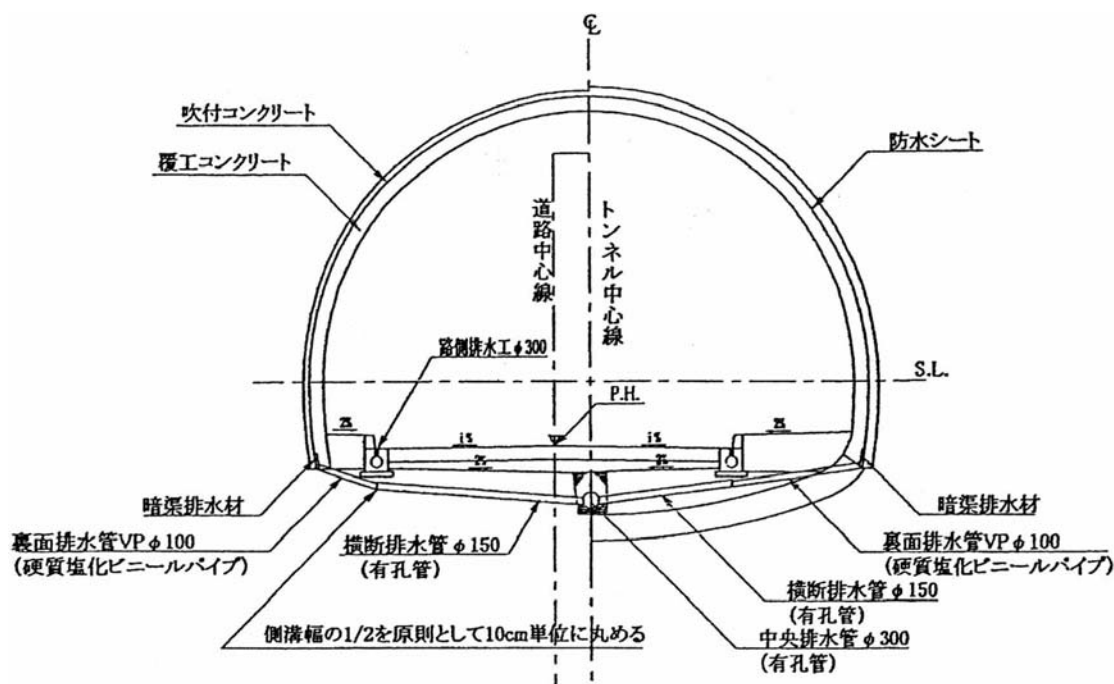


図1-25 防・排水工の名称

7-2 防水工

湧水が予測される場合には、原則として防水工を設計するものとする。

なお、防水工は覆工のひび割れ防止に対する効果もかねて設置する。

(1) 防水工の材質

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

表1-23 防水シートの規格等

項目	試験法	規格値
比重	JIS K 6773 (20℃)	0.90~0.95
引張強さ (N/mm ²)	〃	16.0以上
伸び (%)	〃	600以上
引裂強さ (N/mm)	JIS K 6301 (20℃)	5.0以上

(2) 防水工の施工

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

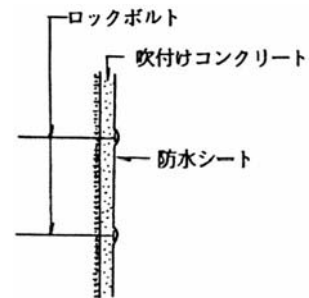


図1-26 防水シートの施工例

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。

1) 裏面排水工

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

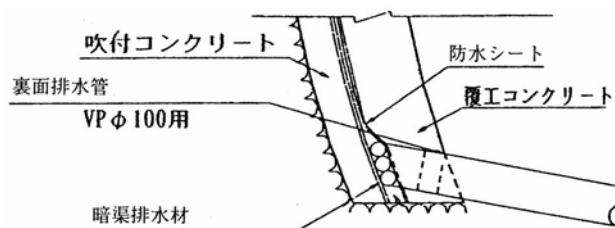
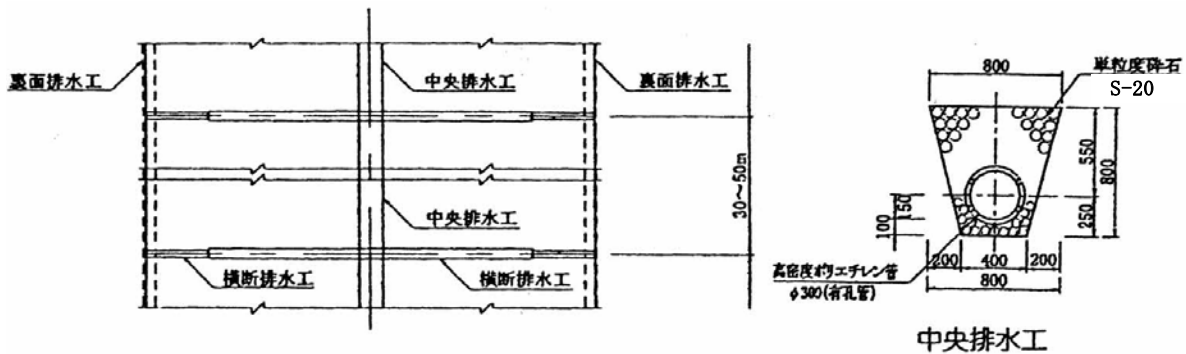


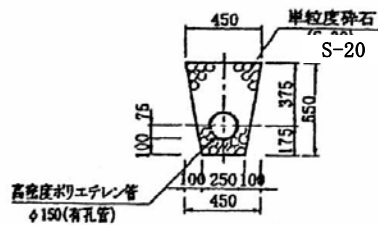
図1-27 裏面排水工

2) 路盤排水工

路盤内および覆工背面の湧水をトンネル外へ導くために、路面下に設ける中央排水工と横断排水工を路盤排水工という。その詳細な形状等については図1-28に示す。



路盤排水工配置図



横断排水工

図1-28

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

3) 路側排水工

- 1) トンネル内の側溝は下記のとおり設置するものとするが、側溝断面は清掃等を充分検討のうえ決定するものとする。
- 2) トンネル内の集水柵は50m間隔とし、蓋はグレーチング(固定式)とする。(C型側溝)
- 3) 清掃を考慮し中間部(25m)にグレーチング蓋(固定式)を設ける。(B型側溝)
- 4) 縦断勾配の関係でトンネル内へ雨水の流入が考えられる坑口部では、坑口部よりL=50m程度に10m間隔で集水のためのグレーチング蓋付(固定式)側溝を設けるよう検討すること。(A、B、C側溝図面について図1-29参照)
- 5) 側溝は管(函)渠型側溝等の2次製品側溝を標準とするが、施工性、管理、経済性を検討すること。
- 6) トンネル延長が短い場合はL側溝を用いてもよい。

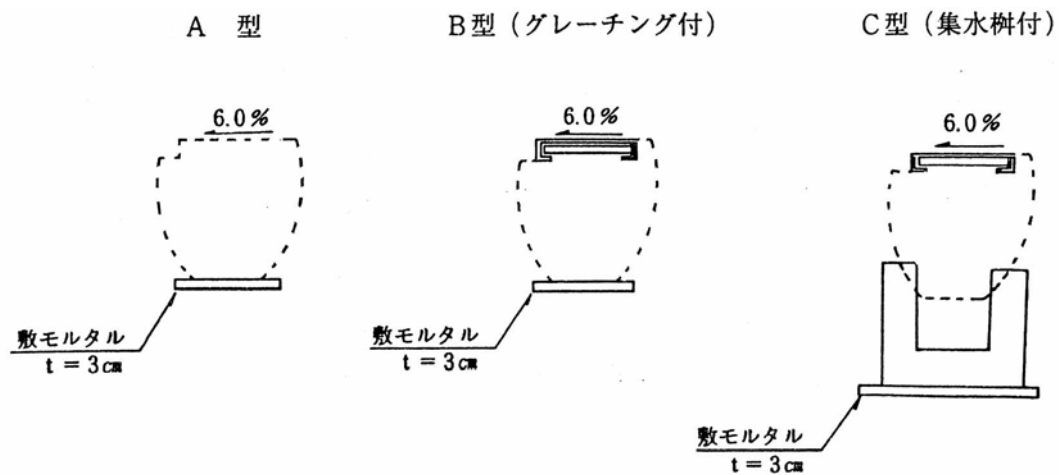


図1-29 A・B・C側溝図面

8 トンネル内の舗装

8-1 舗装

- (1) トンネル内の舗装は、原則としてセメントコンクリート舗装とする。
- (2) セメントコンクリート舗装の設計は、「第1章 道路設計 第3節 3 コンクリート舗装」に準じて行うものとする。
- (3) 舗装幅については2車線同時舗設を標準とするが、片車線を工事用道路とする場合等現地状況により片車線舗設とすることができる。
- (4) トンネル内の横断勾配は1.5~2%の拌み勾配を標準とする。
- (5) コンクリート舗装のすり付け
一般部がアスファルト舗装となる場合には、その接続部は、すりつけ版を設けるものとする。
- (6) コンクリート版の厚さは、舗装計画交通量に基づき下表による。

表1-24 計画交通量とコンクリート版厚

舗装計画交通量 (台/日・方向)	コンクリート 版の設計		鉄筋			
			縦方向		横方向	
	設計基準 曲げ強度	版厚	径	間隔 (cm)	径	間隔 (cm)
T < 1,000	4.4MPa	20cm	D16	15	D13	60
			D13	10	D10	30
1,000 ≤ T	4.4MPa	25cm	D16	12.5	D13	60
			D13	8	D10	30

[注]

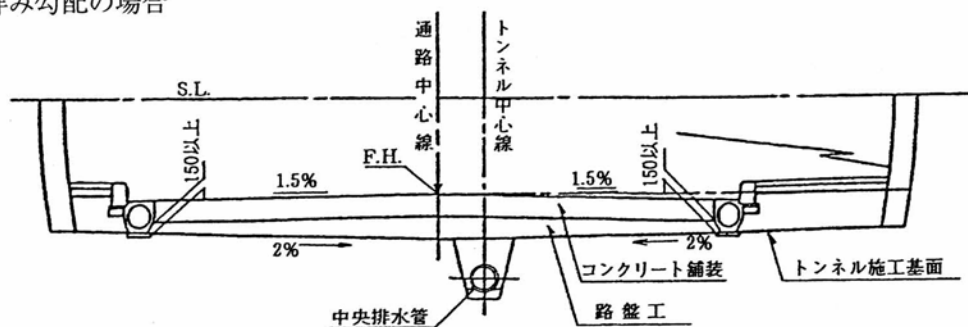
1. 縦方向鉄筋および横方向鉄筋の寸法と間隔は、一般に表中に示す組合わせで版厚に応じて用いる。
2. 縦目地を突合わせ目地とする場合は、ネジ付きタイバーを用いる。

8-2 路盤

トンネル内の路床が岩盤の場合でもCBR12以上としコンクリート舗装要綱による舗装厚とする。

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

拌み勾配の場合



片勾配の場合

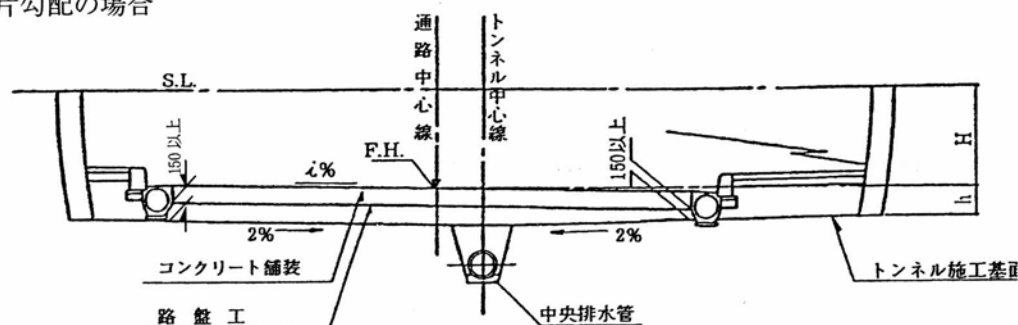


図1-30 路盤の最小厚の考え方

8-3 歩道部の舗装

- (1) 歩道部の舗装はセメントコンクリート舗装を標準とする。
- (2) 設計は、「舗装設計施工指針」(平成13年12月)によるものとする。
- (3) 版厚は7cm程度とし、路盤上にはアスファルト乳剤を散布するか、路盤紙を敷く。路盤材料には一般に粒状材料(再生クラッシャーラン RC-40)を用い、路盤厚さは10cmとする。

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

舗装設計施工
指針

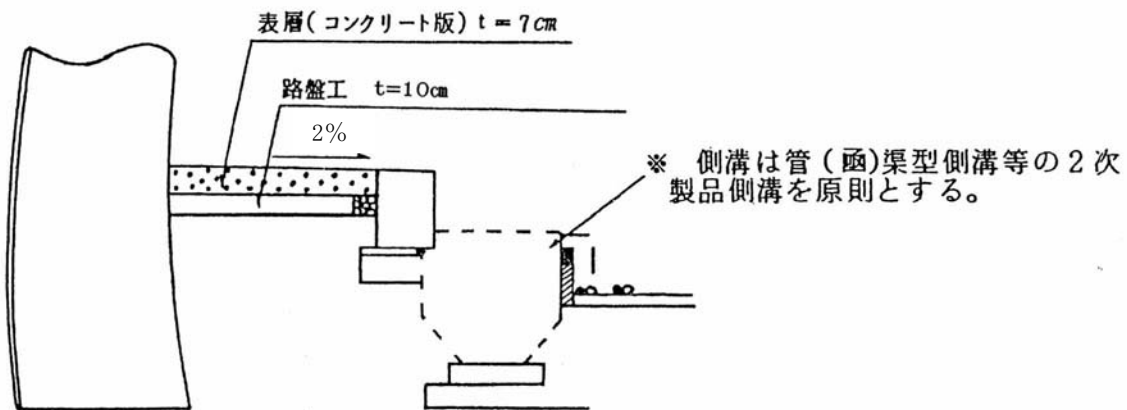


図1-31 歩道部

表1-25 歩道・自転車道等のコンクリート舗装の標準

断面 cm	目地		路盤材料	コンクリートの品質
	収縮目地	膨張目地		
7cm 10cm	5m	30m	再生クラッシュ シャーラン 最大粒径 40mm	設計基準圧縮強度 $18\text{N}/\text{mm}^2$ 粗骨材の最大寸法 $20\sim 40\text{mm}$ スランプ 8cm
	打込み目地	木材等		

[注1] コンクリートの舗装幅が1m未満となる場合には、収縮目地間隔は3mとする。

[注2] 膨張目地は木材等を用いた突合せ目地とする。

9 坑口部設計

9-1 坑口部一般

坑口部の設計にあたっては、下記に示す項目を検討しなければならない。

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

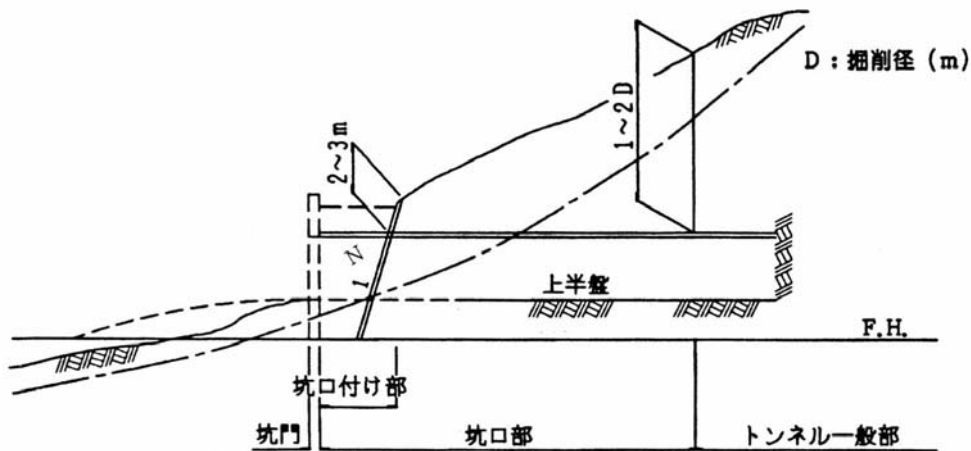


図1-32 標準的トンネル坑口部の範囲

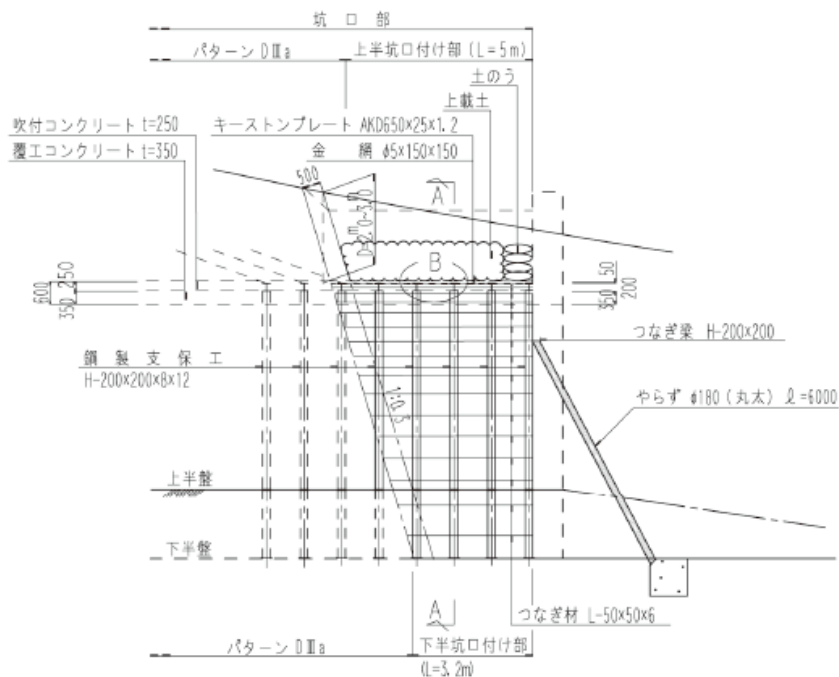


図1-33 トンネル施工口側の坑口付け部の考え方

9-2 坑口部の支保構造

坑口部における支保パターンは、「6 支保工の設計」の表1-9、10中のDⅢによる他、表1-26を標準とする。

また、表に示した側壁坑先進工法による場合の設計例を図1-34に示す。

表1-26 内空幅が10m程度の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

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

注1) ロックボルトは、側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打接範囲を拡大する。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及び工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。なお、フォアポーリングの規格は異形棒鋼(SD345)を標準とする。

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

表1-27 大断面の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

掘削工法	1掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚(cm)		
		長さ (m)	施工間隔		上半部	下半部	建込間隙 (m)		アーチ ・側壁 (cm)	インバ ート厚 (cm)	
			周方向 (m)	延長方向 (m)							
上部判断面 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
	中壁	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0 以下	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	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 以下	10	—	—

注1) ロックボルトは必要に応じて側壁部に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。

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

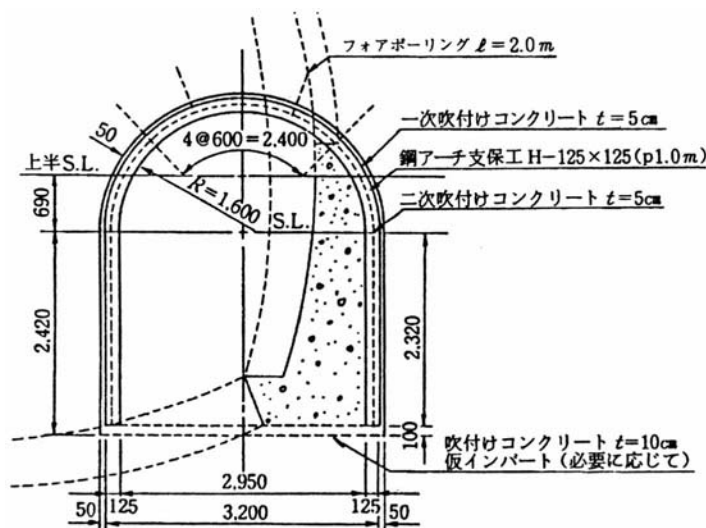


図1-34 側壁導坑の設計例

道路トンネル
技術基準（構
造編）・同解説

9-3 坑口部の補強鉄筋

- (1) 坑口部等がかぶりが小さい場合及び著しい土圧を受ける場合の覆工コンクリートは、単鉄筋で補強した構造とする。なお、坑口付部については、引張力の発生が認められるため複鉄筋で施工するものとする。（標準断面 主鉄筋 D19m/m@20 cm、配力筋 D16m/m@30 cm）（大断面 主鉄筋 D22m/m@20 cm、配力筋 D19m/m@30 cm）
- (2) 重ね継ぎ手長や定着長で調整できる鉄筋は原則として定尺鉄筋（50 cm ピッチ）を使用するものとする。
- (3) 鉄筋の継ぎ手については千鳥配置とし、この場合の継ぎ手は端部同士を鉄筋直径の25倍分以上ずらして設けるものとする。
- (4) 坑口部覆工コンクリートに補強鉄筋を入れた場合は、インバートにも同等の配筋を考慮する。
- (5) 突出型坑門等で明り巻となる区間は、原則として鉄筋コンクリート構造とする。
- (6) 鉄筋の規格は、補強鉄筋とする場合（坑口部、坑口付け部）はSD295A、鉄筋コンクリート構造とする場合はSD345 とする。
- (7) 鉄筋の被りは、100mm を標準とする。

9-4 坑口部の補助工法

坑口部において予想される問題点とその対策工法を表1-27に、抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例を図1-35にまた、坑口対策のフローを図1-36に示す。

表1-28 坑口部施工時に予想される現象と対策工

予想される現象 対 策	斜 面 崩 壊	地 す べ り	岩 盤 崩 壊	編 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	◎		○						〃
抑 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 (抗 外 か ら)	○	◎				○		○	〃
薬 液 注 入 工 (地 表 か ら)	○			○	○	○	○	○	掘削前、掘削中
〃 (抗 内 か ら)					○	○	○	○	掘削中
先 受 工	○					◎	◎		〃
鏡 止 (ボ ル ト ・ 吹 付 け) 工						○	○		〃
一 時 閉 合 (仮 イ ン バ ー ト)				◎	◎		◎		〃
側 壁 導 抗					◎		○		〃

注) ◎：有効な工法 ○：場合により有効な工法

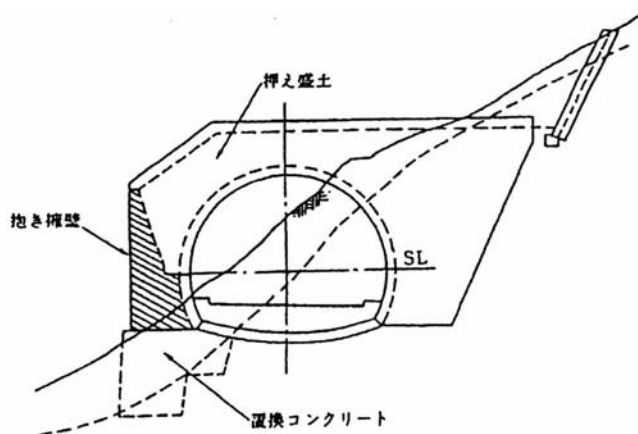


図1-35 抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例

補助工法の効率的な設計施工法に関する調査検討報告書
(一部加筆修正)

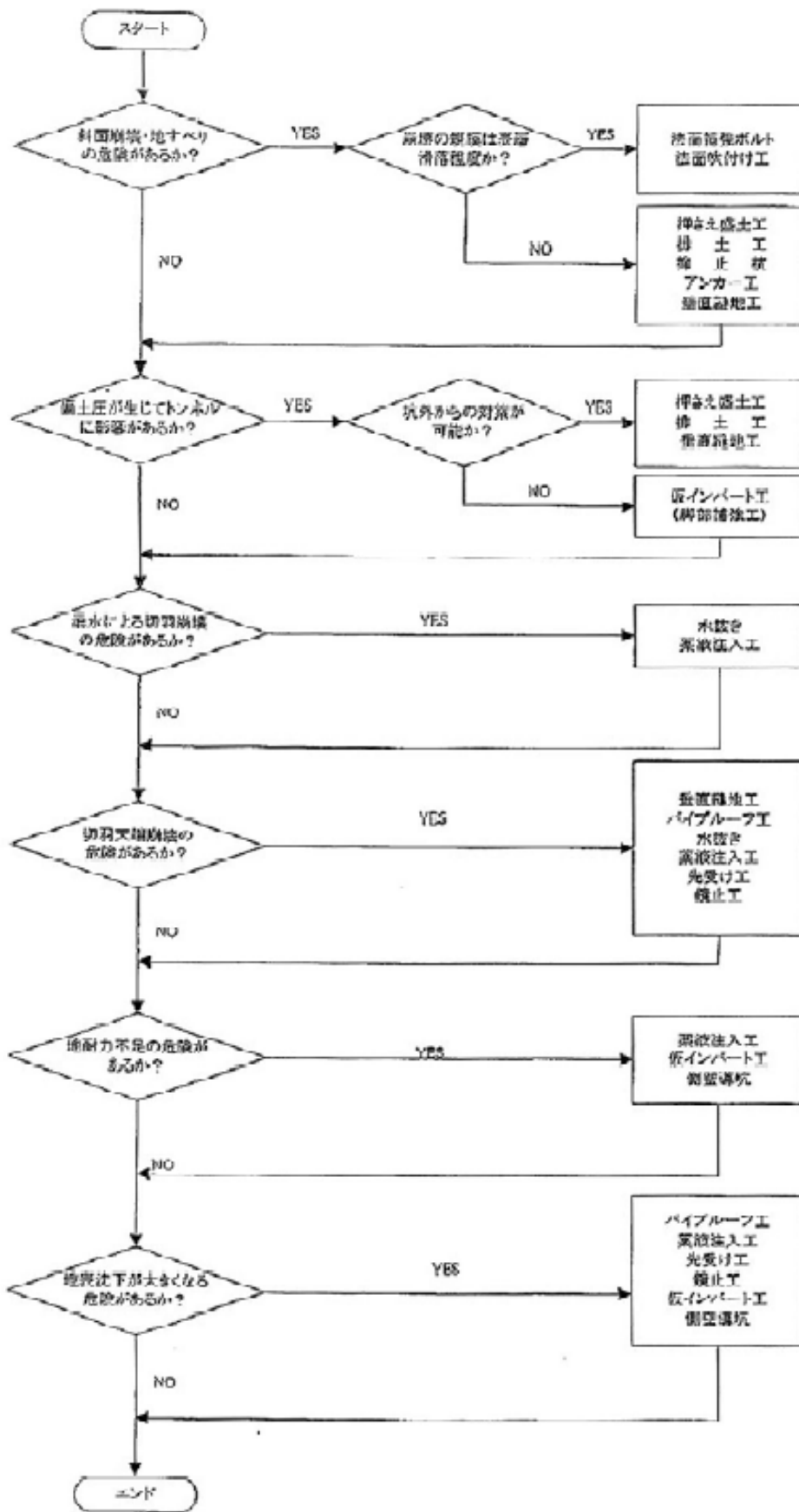


図1-36 坑口対策工選定フロー図

10 坑門の設計

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

10-1 坑門の設計に当たっての留意事項

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

(1) 安定性

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

(2) 施工性

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

また、近接する橋台等構造物の設計と矛盾しない位置・構造とする必要がある。

(3) 景観等

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

(4) 気象条件等

坑門は異常出水等気象災害の被害を受けないよう、設計する必要がある。

(5) その他機能との調和

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

10-2 坑門の型式

一般的な坑門の型式としては、表1-28のようなものがあり、それぞれ得失があるので、前記10-1に留意のうえ、地形・地質等の条件に適合したものを選択するものとする。

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