

トンネル設計

総 則

第1節 トンネル工（山岳トンネル）

1	トンネルの計画・調査	3-2
1-1	構造規格	3-2
1-2	トンネル位置の選定要素	3-2
1-3	調 査	3-3
2	トンネルの設計	3-5
2-1	設計の手順	3-5
2-2	荷重等	3-6
2-3	線形計画	3-6
2-3-1	平面線形	3-6
2-3-2	縦断線形	3-7
2-4	併設トンネル及び他構造物との間隔	3-7
2-5	トンネルに接続する道路のすり付け	3-8
2-6	非常駐車帯	3-8
2-7	中央帯開口部及び非常用施設	3-9
3	内空断面	3-13
3-1	内空断面設計の一般的事項	3-13
3-2	内空断面決定の諸条件	3-13
3-3	内空断面設定の考え方	3-15
4	地山分類	3-19
4-1	地山分類一般	3-19
4-2	地山分類	3-19
4-3	支保の緩和	3-19
5	掘 削	3-25
5-1	掘削一般	3-25
5-2	掘削方式	3-25
5-3	掘削工法	3-25
5-4	加 背 割	3-27
5-5	坑内ずり運搬方式	3-27
6	支保工の設計	3-28
6-1	支保構造の一般	3-28
6-2	支保パターンの設定	3-28
6-3	吹付コンクリート	3-31

6-4	ロックボルト	3-33
6-5	鋼製支保工	3-36
6-6	余掘、余巻及び余吹	3-38
6-7	覆工	3-40
6-8	地震の影響を考慮した支保構造の留意事項	3-42
7	防・排水工の設計	3-43
7-1	防水工及び排水工一般	3-43
7-2	防水工	3-44
7-3	排水工	3-44
8	トンネル内の舗装	3-47
8-1	舗装	3-47
8-2	路盤	3-48
8-3	歩道部の舗装	3-49
9	坑口部設計	3-50
9-1	坑口部一般	3-50
9-2	坑口部の支保構造	3-51
9-3	坑口部の補強鉄筋	3-52
9-4	坑口部の補助工法	3-53
10	坑門の設計	3-55
10-1	坑門の設計に当たっての留意事項	3-55
10-2	坑門の型式	3-56
10-3	坑門の構造設計	3-57
11	補助工法	3-62
11-1	概説	3-62
11-2	補助工法の選定	3-64
11-3	薬液注入による施工管理	3-64
12	観察・計測	3-63
12-1	観測・計測の目的	3-65
12-2	観測・計測の分類	3-65
12-3	計測A	3-67
12-4	計測B	3-68
13	その他構造物の設計	3-69
13-1	避難連絡坑	3-69
13-2	諸設備のための箱抜き	3-71
14	トンネル照明設計	3-72
15	トンネル非常用設備	3-75
16	換気設備	3-84
16-1	換気設備の設計に用いる示方書等	3-84
16-2	調査・計画	3-84

16-2-1	一 般	3-84
16-2-2	調 査	3-84
16-2-3	設計に用いる交通量	3-85
16-2-4	換気の対象物質および濃度	3-85
16-2-5	換気施設の必要性の検討	3-86
17	内装工	3-87
17-1	概 説	3-87
18	標準的な工程表作成の考え方	3-88

第2節 参考資料

1	掘削機械（自由断面掘削機）	3-89
2	矢板工法	3-91
2-1	総 則	3-91
2-2	トンネルの設計	3-91
2-3	内空断面の設計	3-91
2-3-1	内空断面の決定の諸条件	3-91
2-3-2	設計断面	3-92
2-4	地山分類	3-92
2-4-1	地山分類	3-92
2-5	掘削工法の選定	3-95
2-5-1	掘削工法の選定	3-95
2-5-1-1	上部半断面掘削	3-95
2-5-1-2	底設導坑先進工法	3-95
2-5-1-3	全断面掘削または原爆型掘削	3-96
2-5-1-4	側壁導坑先進掘削	3-96
2-5-2	標準加背割	3-96
2-5-3	導坑断面の設計	3-97
2-6	支保工の設計	3-98
2-6-1	支保工の設計	3-98
2-6-2	支保工の選定	3-98
2-6-3	鋼製支保工	3-99

2-6-3-1	支保工の形状寸法	3-99
2-6-3-2	鋼製支保工の性質	3-99
2-6-3-3	鋼製支保工の断面の建込間隔	3-99
2-7	余掘、余巻厚さについて	3-104
2-8	覆工の設計	3-105
2-8-1	覆工の形状	3-105
2-8-2	覆工の厚さ	3-107
2-8-3	補強方法	3-107
2-8-4	仮巻コンクリートについて	3-108
2-8-5	覆工背面の設計	3-108
2-9	坑門工	3-110
2-10	排水工	3-110
2-10-1	排水工	3-110
2-10-2	漏水処理工	3-110
2-10-3	湧水処理工	3-111
2-11	参考資料	3-113

第3章 トンネル設計

総 則

適用の範囲

- (1) この設計要領は国土交通省九州地方整備局管内の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(H15.11)

表 1-1 関係図書

関 係 図 書	発行年月	発行者
道路トンネル技術基準(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
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	R 1. 9	日本道路協会
トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説	H28. 8	土木学会
道路構造令の解説と運用	R 3. 3	日本道路協会
自転車道等の設計基準解説	S49. 10	日本道路協会
道路照明施設設置基準・同解説	H19. 10	日本道路協会
2012年制定コンクリート標準示方書(施工編)	H25. 3	土木学会
防護柵の設置基準・同解説	H20. 1	日本道路協会
舗装設計施工指針	H18. 2	日本道路協会
舗装設計便覧	H18. 2	日本道路協会
舗装施工便覧	H18. 2	日本道路協会
道路トンネル観察・計測指針(平成21年改訂版)	H21. 2	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(令和2年版)	R 2. 8	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧【付属施設編】	H28. 11	日本道路協会
道路トンネル安全施工技術指針	H 8. 10	日本道路協会
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)	R 3. 4	建設業労働災害防止協会
電気通信施設設計要領・同解説 電気編	H29. 9	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	H30. 1	厚生労働省
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
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	R 2. 2	東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社

(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 トンネル工(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り、決定にあたっては十分な検討を行うことが重要である。

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) 供用後のトンネル坑口における斜面崩壊等といった維持管理面の検討
- (5) 完成後の管理設備の検討
- (6) トンネル付近における他の構造物への影響(鉄道、道路、河川、水路等)
- (7) 気象条件

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。

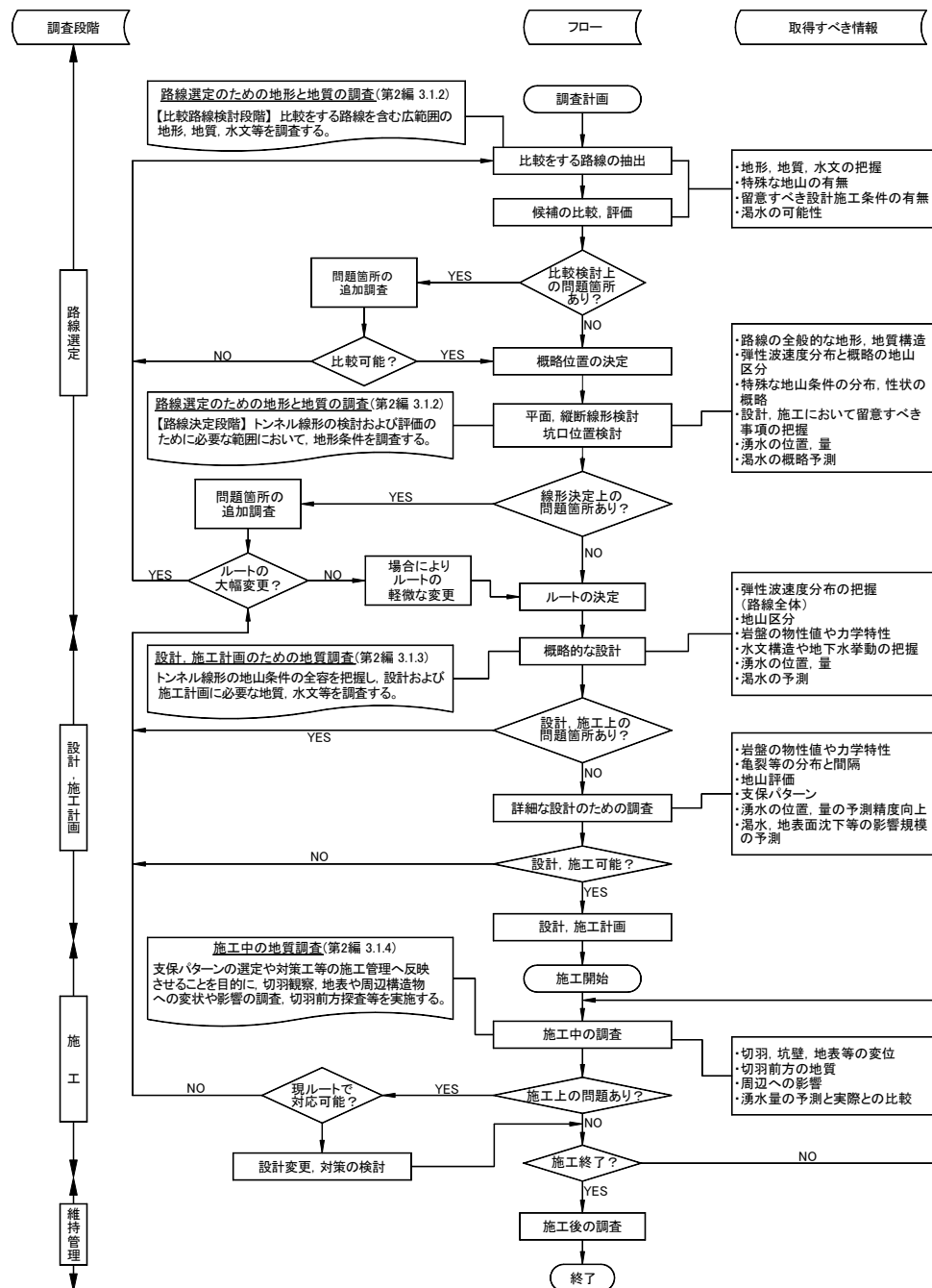


図 1-1 トンネルの計画・調査フロー図

トンネル標準示方書
 [山岳工法編]・同解説(2016年制定) 第2編,
 第3章, 3. 1. 1

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														孔内試験				点 載荷試験	室内土質 岩石試験	坑内弾性波 反射法
		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	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、崖錘堆積物、崩壊堆積物、段丘堆積物等）	◎	◎	◎	○					○												
	構成物質（粒度、粒形等）	○		◎	○					◎	◎							◎				
	分布・厚さ			◎	○	◎	○			◎	○	○										
	固結程度			◎	○	◎	○			◎	◎	○	◎					○				
	含水状態および透水性			◎	○		◎	○		◎		○		◎				○				
岩質	岩石の種類と地質時代	◎	○	○	◎				○	◎												
	岩相（鉱物組成、粒度、組織、空隙状態等）	○		○	◎					◎								◎				
	岩石の物質的力学的性質（吸水率、硬度、圧縮強度、超音波伝播速度等）	○			○					○		○					○	◎				
	岩盤の弾性波速度					◎						○						○				
	岩盤の強度、変形性（膨張性の有無等を含む）				○	○				◎		○	◎					◎				
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）	◎		○	◎					○												
	断層、破砕帯の位置、規模、性状	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	◎		○							◎			
	断理、片理、割れ目等（分布、方向、頻度、狭在物等）	○		○	◎					◎												
湧水 湧水	地表水の状況（トンネル工事の影響が予想される範囲の用水状況）	○		◎																		
	地下水面、帯水層および遮水層				○		◎	○		◎		○		○								
	地下水の湧水圧、湧水量									◎				◎								
地下資源	種類、分布	◎			○		○			◎		◎										
	トンネル計画の関連	○		◎	○					◎												

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
(H15. 11) 第2編2. 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造に適用し、安全で合理的に施工でき、経済性が得られるよう設計しなければならない。
- (2) また施工中、当初の設計が現場の条件に適合しないと認めたときは、遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

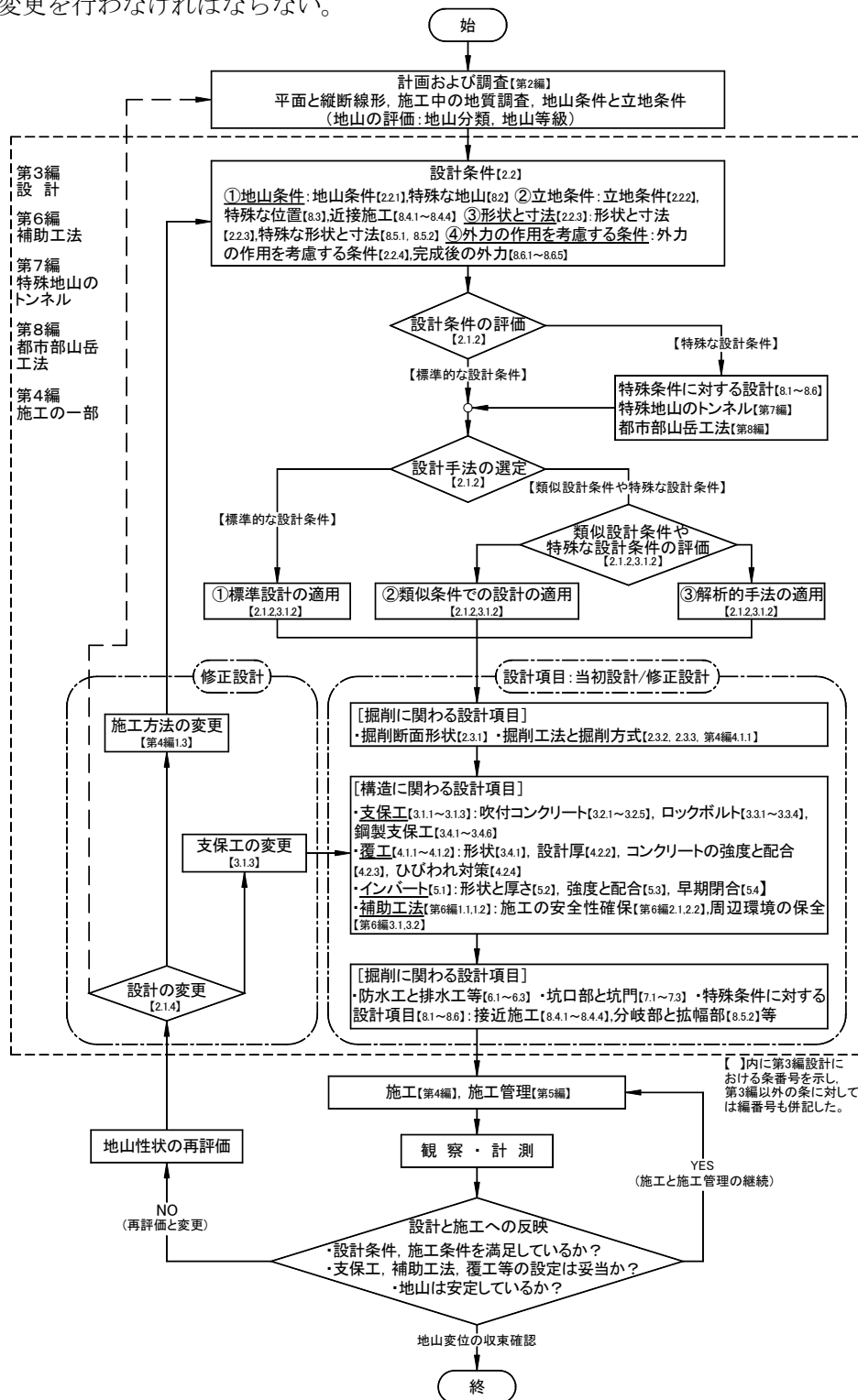


図 2-1 設計の手順

トンネル標準示方書
 [山岳工法編]・同解説
 (2016年制定) 第3編,
 第2章, 2. 1. 3

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、工事用設備の設置等を考慮のうえ、地山条件が良好であり、維持管理が容易で周辺環境への影響が小さい位置にトンネルを設定しなければならない。

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

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

トンネル標準示方書
〔山岳工法編〕・同解説
(2016年制定)第2編、
第2章, 2. 1. 1

表 2-1 トンネル断面の拡幅が不必要な曲線の最小半径の例

(縦断勾配0%の場合)

設計速度 (km/h)	視距 (m)	車線の幅員 (m)	路肩の幅員 (m)	最小半径 (m)	備 考
120	210	3. 50	1. 00	2, 000	1種1級
100	160	3. 50	1. 00	1, 200	1種2級
80	110	3. 50	0. 50	670	3種1級
60	75	3. 25	0. 50	330	3種2級
50	55	3. 00	0. 50	190	3種3級
40	40	2. 75	0. 50	160*	3種4級

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

注2) 雪積寒冷地等で別途視距を確保する場合は本表と異なる。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11) 第3編2. 2-1

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には通常 0.2%以上の勾配があればよいが、施工中の湧水を自然流下させるためには湧水が少ない場合でも 0.3%以上、相当多い場合は 0.5%程度の勾配が必要である。
- (2) 道路トンネルでは登坂能力不足による速度低下がトンネル内の渋滞等の原因になること、火災時の煙の遡上が早くなることに配慮し、一般に最急勾配を 3%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、視距の確保および狭い空間での走行性を考慮して、できるだけ大半径の曲線を採用することが望ましい。
- (5) レール方式の縦断勾配は、急勾配になると車両の逸走や機関車の制動距離が長くなることや作業能率が低下することなどが考えられるため、一般に、2%程度以内が望ましい。

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倍程度とする。
- (2) トンネル中心間隔を縮める必要のある特殊な場合には、類似の既往設計、施工事例を参考に設計手法・施工法を十分に検討するとともに、施工中も必要に応じて計測を行うなどトンネルまたは構造物の挙動を監視しなければならない。

トンネル標準示方書
[山岳工法編]・同解説(2016年制定)第2編,
第2章,2.1.2

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10) 2-1

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第3編2.2-2

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第3編2.2-3

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2-2による。

(1) 直線区間

表 2-2 すりつけ率の標準値

設計速度 (km/h)	すりつけ率の標準値	
	地方部	都市部
120	1/70	—
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

道路構造令の解説と運用 (R3.3) 3-8-3

(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。

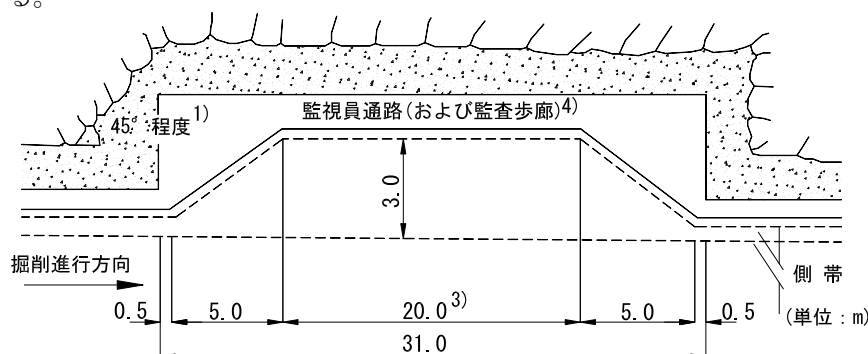
道路構造令の解説と運用 (R3.3) 3-8-3

2-6 非常駐車帯

延長1,000m程度を越えるトンネルには、非常駐車帯を設置することを標準とする。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走行車線側に配置するものとするが、対面通行のトンネルについては左右に50m程度ずらして配置するものとする。

非常駐車帯はできるだけ地山条件の良好な箇所に選定すべきである。

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



- 1) 進入路の取付角度は45°程度とする。
- 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。
- 3) 第3種2級以下の道路においては有効長はL=15mとする。
- 4) 歩道、管理歩道を含む。

図 2-2 非常駐車帯の平面寸法

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第3編7.7-4

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、下記に揚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。

- a. 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。
- b. 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。
- c. 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。
- d. 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。
- e. 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。ことが前提であるが、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。

(3) 自動車専用道路の完成2車線トンネルにおける中央帯関連参考図を図2-1～5に示す。

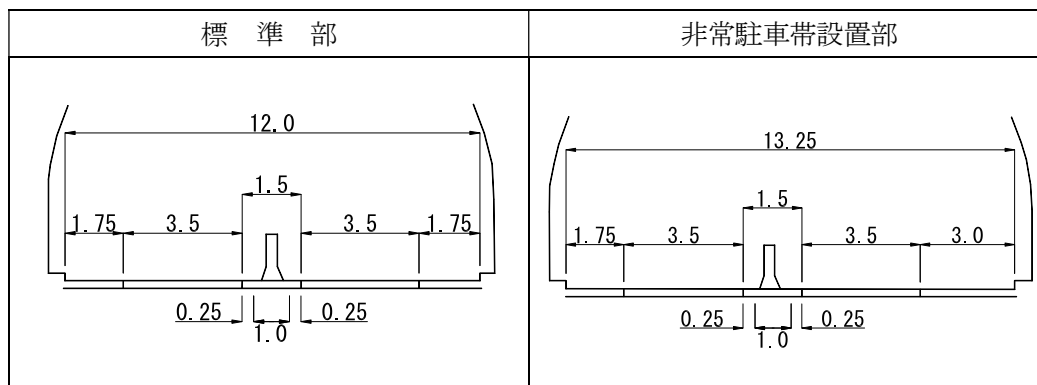


図 2-1 横断図

セミトレーラ連結車の軌跡

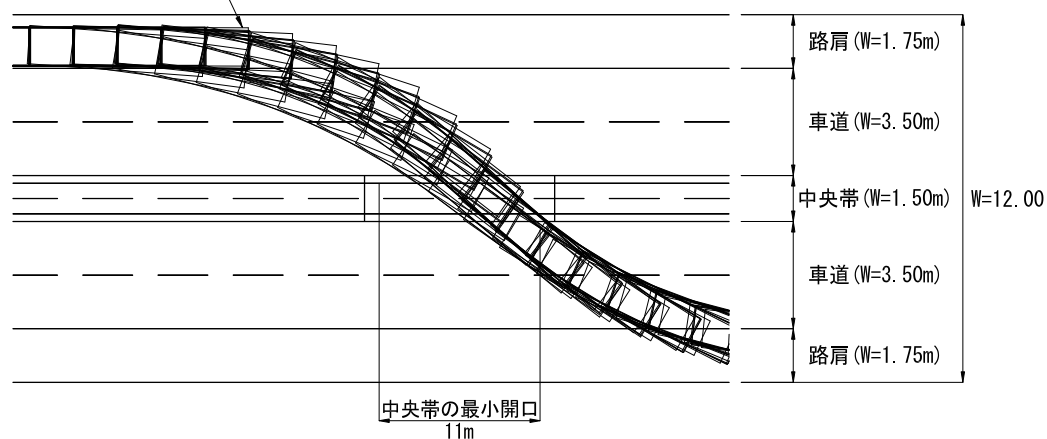
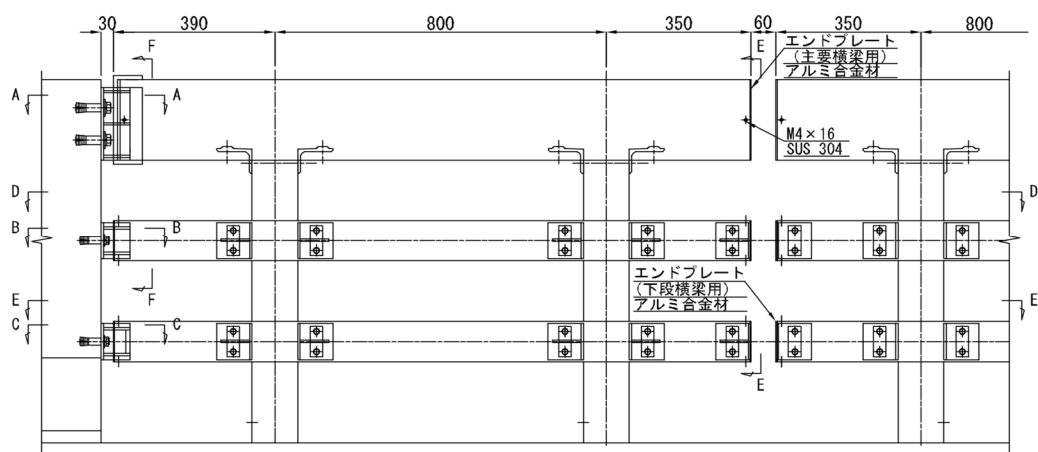
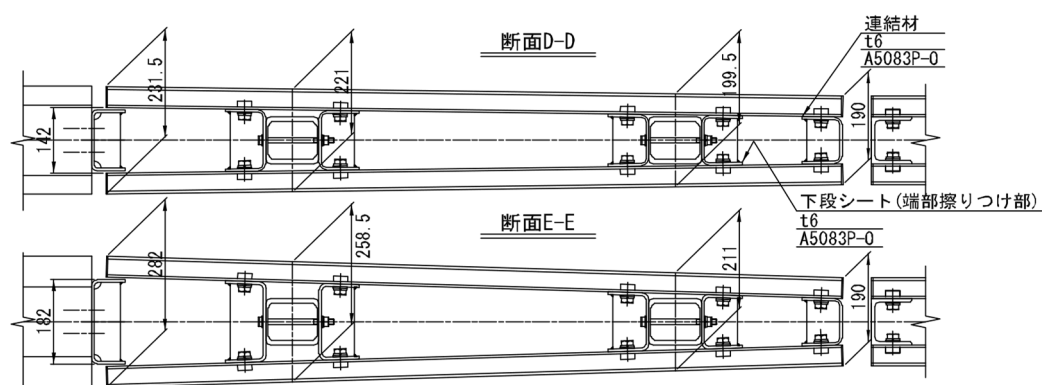


図 2-2 中央帯開口部の幅の算出に用いた軌跡
(幅員1.75mの路肩を両側利用する場合の車線間移行軌跡)



縦断面図 (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)

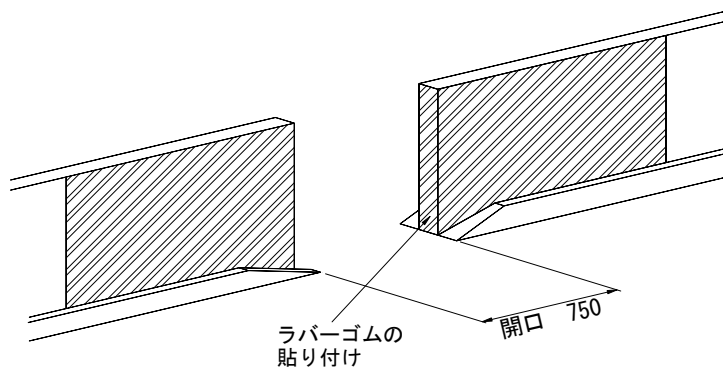


図 2-5 人道用開口部の構造

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、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の断面を包含し、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つては、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、一般にオーバーレイが行われる。したがって、建築限界の内空高の外に余裕を見込んでおく必要がある。この余裕は20cmとする。

- (3) 施工に対する余裕

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

- (4) 管理歩道(監査歩廊)

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

管理歩道(監査歩廊)および監視員通路を設ける場合の設置例を下図に示す。

監視員通路は以下に示す場合に設置することを標準とする。

①トンネル等級AAおよびAのトンネル

②高速自動車国道および自動車専用道路でトンネル等級BおよびCのトンネル

ただし、車線規制等で維持管理時の安全性が確保できる対策を講じることができる場合には、監査歩廊とすることができる。

なお、管理歩道(監査歩廊)、監視員通路下部にトンネル非常用施設の配管やその他埋設物を収納する空間が確保できるか検討すること。

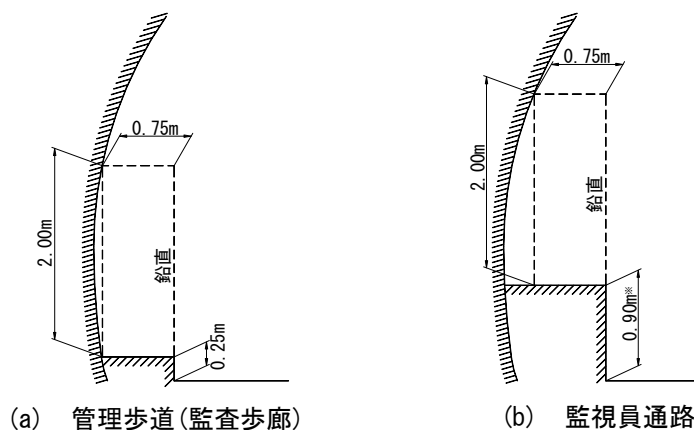


図 3-1 管理歩道(監査歩廊)・監視員通路

※ マウントアップ高は、担当課と協議により決定する。

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11)第3編3. 3-1

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11)第3編3. 3-1

(一部加筆)

(5) 施設帯

施設帯を設ける場合は50cmを確保する。ただし、担当課と協議のもと判断すること。

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

(7) 内装板の設置

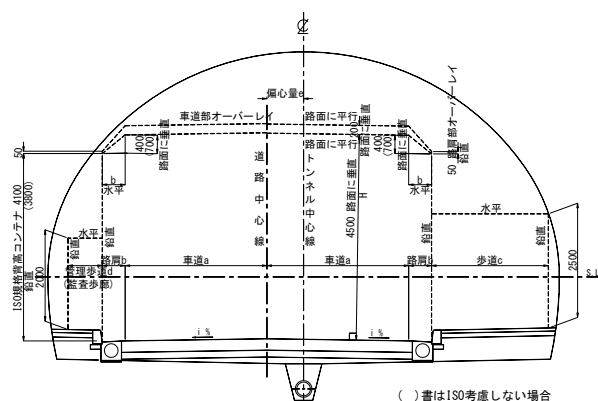
内装板の設置は、「17. 内装工」に示すように必要に応じて設置するものとする。

3-3 内空断面設定の考え方

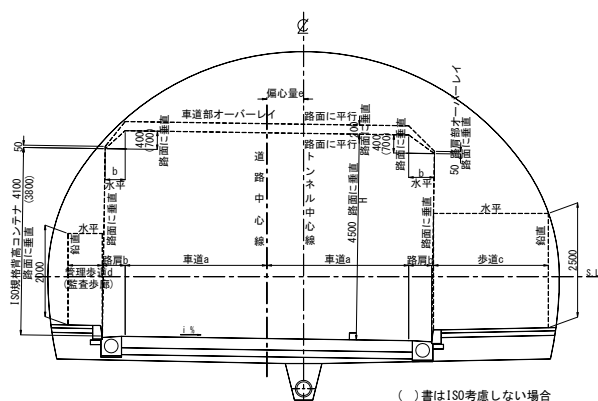
(1) 建築限界の考え方

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3-2に示すとおりとする。

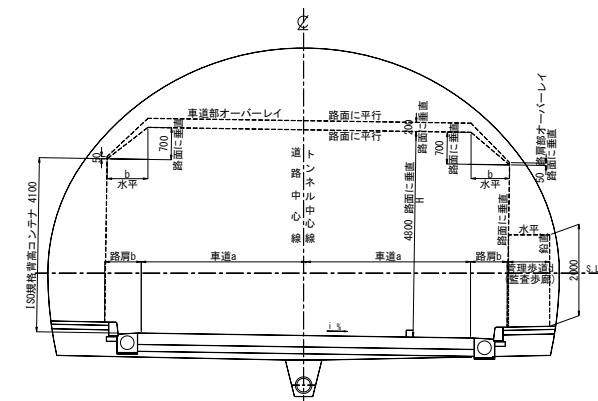
道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11)第3編3. 3-1



(a) 拌み勾配の場合



(b) 片勾配の場合



(c) 自動車専用道路の場合
図 3-2 建築限界等の考え方

- 注1) 路面勾配が片勾配の場合は路面に垂直とする。
- 注2) 路面勾配が片勾配の場合であっても標準横断勾配以下の勾配となる区間の路肩部は鉛直にとるものとする。
- 注3) ISO規格背高コンテナを考慮し、縁石前面の路面から壁面までの垂直高さを4.1m以上確保するものとする。
- 注4) 重要物流道路(代替・補完路を除く)である普通道路にあたっては、高さHについては、車両高さ4.1mに余裕高を加えて4.8mとする。

道路構造令の解説と運用 (R3. 3) 2-13-1

(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すり付けるものとする。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。

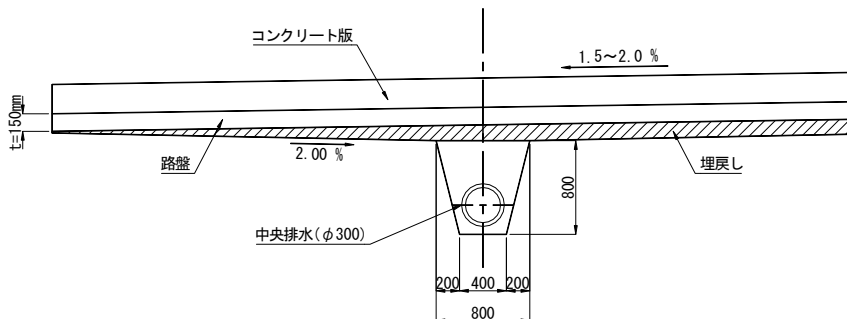


図 3-3 舗装および中央排水工の構造

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3-1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。

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20.10)3-3-(5)を参考

表 3-1 ジェットファンを想定する場合の建築限界

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

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

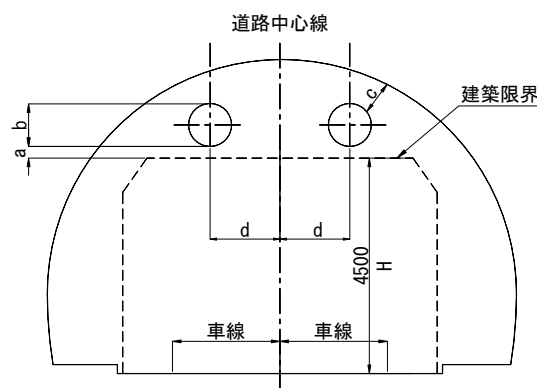


図 3-4 ジェットファンの断面取付図

注4) 重要物流道路(代替・補完路を除く)である普通道路にあたっては、高さHについては、車両高さ4.1mに余裕高を加えて4.8mとする。

道路構造令の解説と運用(R3.3)2-13-1

(3) 断面区分

断面区分は表3-2に示す。内空形状と内空縦横比の組み合わせを標準とする。

表 3-2 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)	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3-5, 6に示すWをいう。)

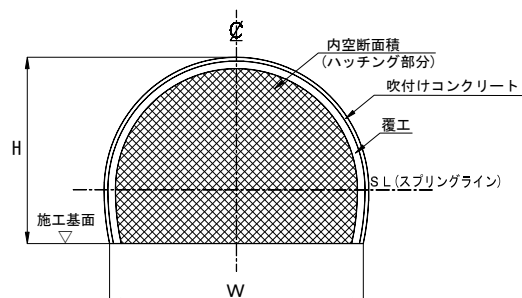


図 3-5 インバートなしの場合

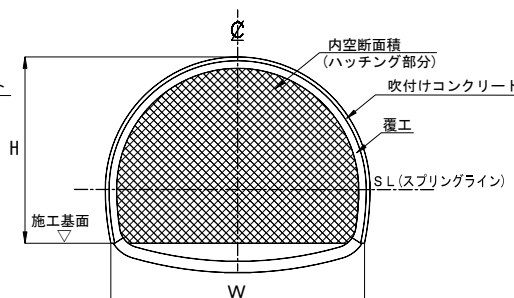


図 3-6 インバートのある場合

注 2) ここでいう内空断面積とは、図3-7, 8に示すようにインバート(盤下げ)を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空(舗装面の上部)とは異なる。

注 3) 内空形状は上半(SLより上)を形成する円弧の数で表示した。

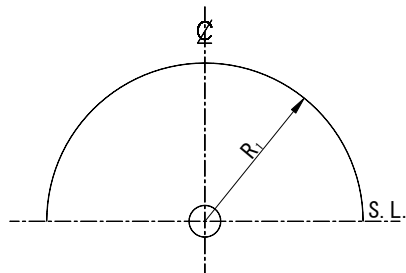


図 3-7 上半単心円

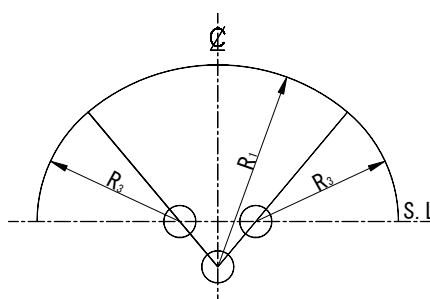


図 3-8 上半3心円

注 4) 内空縦横比は図3-5, 6に示す内空高さ(H)と内空幅(W)の比で表示した。

内空縦横比=H/W

注 5) 内空縦横比が表3-2の値を下回る場合は、別途検討を行うこととする。

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

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

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

注 9) 大断面の設計については、担当課と協議すること。

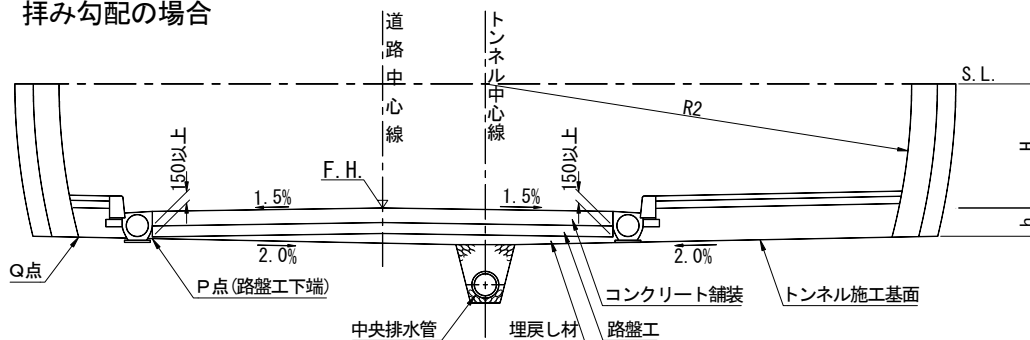
注10) 内空断面積は断面形状や内空縦横比などの影響を受けやすいため、この影響を受けない内空幅により断面を区分する。参考値として各断面のおおよその内空断面積を表に示した。なお、ここでいう内空断面積とは、図3-5, 6に示すようにインバート(盤下げ)を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空(舗装面の上部)とは異なる。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11)第3編3. 3-1

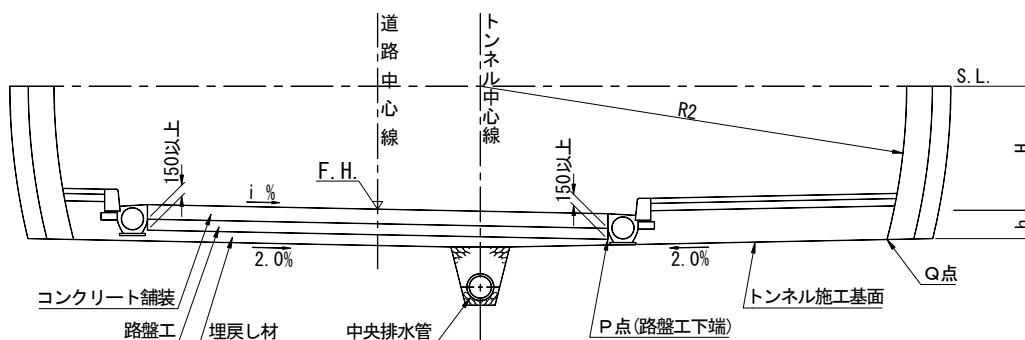
(4) その他

- 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することができる。
- 3) 内空断面の各半径(上半、インバート)は5cm単位で丸めるものとする。ただし、下半半径を上半半径の1.5倍とする場合の下半半径はこの限りではない。
- 4) 側壁部とインバート部との接合部には、応力の集中をさけるために $R=1.0\text{m}$ 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 $R=1.5\text{m}$ とすることもできる。
- 5) 下半盤の最下端位置は次に示す覆工コンクリートの足付け位置とする。

拌み勾配の場合



片勾配の場合



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

図 3-9 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に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4-1によるものとする。

なお、設計段階における地山分類の区間長は、積算時や施工時の煩雑さを考慮し坑口部を除いて20m以上とし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はそれぞれで異なる。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。

設計変更については、施工前に担当課と協議すること。

① 一般部

等級	C I		D I	C I	
設計	C I	緩衝区間 C II	D I	緩衝区間 C II	C I

② 坑口部

等級	D III (坑口部)	C II	
設計	D III	緩衝区間 D I	C II

表4-1 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 V_p (km/s)					地山の状態	コアの状態、RQD (%)	地山 強度比	トンネル掘削の状況と変位の目安
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0				
B	H塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス						・不連続面の状態 ・不連続面の間隔 ・節理の発生は、 ・新鮮で堅硬または、 ・多少の風化変質の ・傾向がある。 ・水による劣化はな ・い。	コアの形状は岩片状 ～短柱状～棒状を示 す。 コアの長さが概ね10 ～20cm であるが 5m 前後のものもみられ る。 RQDは70以上。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて非常に大きい。 不連続面の状態も良好でトンネル掘削によるゆるみはほとんど生じない。掘削断面から部分的に肌落ちする場合もある。 切羽は自立する。 掘削幅10m程度のトンネルでは、掘削にともなう内空変位は15mm程度以下の微小な弾性変位にとどまる。
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
		第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩									
	M塊状	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス						・比較的鮮鋭で堅硬 または、多少の風 化変質の傾向があ る。 ・固結度の比較的良好 ・軟岩。 ・水による劣化は少 ない。	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。 RQDは40～70。	—	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。 不連続面の状態も比較的良好でトンネル掘削による緩みは部分的にとどまる。比較的すべりやすい不連続面に沿って、局部的に掛け落ちする場合もある。 切羽は自立する。 掘削幅10m程度のトンネルでは、掘削にともなう内空変位は15～20mm程度以下の小さな弾性変位にとどまる。
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
C I	H塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・不連続面に鏡肌や ・折れ掛かっている ・部分みられる。 ・不連続面は部分的に ・開口しているが ・開口幅は小さい。		4以上	
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
	M塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・不連続面に鏡肌や ・折れ掛かっている ・部分みられる。 ・不連続面は部分的に ・開口しているが ・開口幅は小さい。			
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
C II	H塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・比較的鮮鋭で堅硬主 ・たは、多少の風化変 ・質の傾向がある。 ・風化・変質作用によ ・り岩質は多少軟化し ・ている。 ・固結度の比較的良好 ・軟岩。 ・水により、劣化や緩 ・みを部分的に生じる。	コアの長さが10cm 以下のものが多く、 5m以下の断片が少量 に散らばっている状態のもの。 RQDは10～40。	—	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べてあまり大きくはないが、概ね弾性変形をとめる程度である。 岩石の強度は大きくても不連続面の状態が悪く、掘削によりすべりやすい不連続面に沿って岩塊が落下しようとして緩みが大きくなる。 切羽はほぼ自立する。 掘削にともなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、掘削幅10m程度のトンネルで弾性変位である30mm程度発生するが切羽が、20層れるまでにほぼ収束する。
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
	M塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・不連続面に鏡肌や ・折れ掛かっている ・部分みられる。 ・不連続面は部分的に ・開口しているが ・開口幅は小さい。 ・軟の太きくなる。 ・幅の狭い小断層を ・挟むもの。		4以上	
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
D I	H塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・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。 ・腐理・片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 ・小規模な断層を挟むもの。 ・断層を多く混じった土砂、堆積など。 ・水により劣化や緩みが著しい。	コアは断片状となる。 時には、角礫混じり 砂状あるいは粘土状 となるもの。 RQDは10程度以下。	4～2	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、弾性変形とともに大きな弾性変形を生じる。 岩石の強度は小さくても掘削ににより多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大する。切羽の自立が悪く、地山条件によってはリングカットや削吹きを必要とする。 掘削にともなう内空変位は、岩石の強度が作用する荷重に比べて小さい場合には、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで30～60mm程度発生し、切羽が20層れでも収束しないことが多い。
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
	M塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・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。 ・腐理・片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 ・小規模な断層を挟むもの。 ・断層を多く混じった土砂、堆積など。 ・水により劣化や緩みが著しい。			岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく、弾性変形とともに大きな弾性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加えて、不連続面の状態も非常に悪く、掘削により多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大し、掘削にともなう内空変位は、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで60～200mm程度発生し、切羽が20層れでも収束しない。
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
D II	H塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・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。 ・腐理・片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 ・小規模な断層を挟むもの。 ・断層を多く混じった土砂、堆積など。 ・水により劣化や緩みが著しい。	コアは断片状となる。 時には、角礫混じり 砂状あるいは粘土状 となるもの。 RQDは10程度以下。	2～1	岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく、弾性変形とともに大きな弾性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加えて、不連続面の状態も非常に悪く、掘削により多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大し、掘削にともなう内空変位は、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで60～200mm程度発生し、切羽が20層れでも収束しない。
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									
		安山岩、玄武岩、流紋岩 石英安山岩									
	M塊状	第三紀層砂岩・礫岩 蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩 粘板岩、中古生層頁岩 黒色片岩、緑色片岩						・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。 ・腐理・片理が非常に顕著なもの。 ・不連続面の間隔は平均的に10cm以下で、その多くは開口している。 ・小規模な断層を挟むもの。 ・断層を多く混じった土砂、堆積など。 ・水により劣化や緩みが著しい。			岩石の強度は、トンネル掘削によって作用する荷重に比べて小さく、弾性変形とともに大きな弾性変形を生じる。 岩石の強度が小さいことに加えて、不連続面の状態も非常に悪く、掘削により多くのすべりやすい不連続面に沿って地山の緩みが拡大し、掘削にともなう内空変位は、インバートで早期に閉合しないならば、掘削幅10m程度のトンネルで60～200mm程度発生し、切羽が20層れでも収束しない。
		花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩 ホルンフェルス									

注1) 本分類表に於ては、地下10m以内の地山が良好なものを地山等級A、劣悪なものを(掘削幅10m程度で内空変位200mm以上)を地山等級Eとする。
注2) H、M、Lの区分：岩石の初期の弾性変形後の強度により、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：腐理面が支配的な不連続面となるもの。
腐理：腐理面があるいは片理面が支配的な不連続面となるもの。

《表4-1を適用する場合の留意事項》

表4-1の地山分類表は、原則として吹付けコンクリート、ロックボルトを主たる支保とする場合の当初設計段階および施工中における地山分類に用いるものとするが、その適用にあたっては、次に示す事項について十分留意しなければならない。

- (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、破碎帯などの土圧が著しい地山状況)で、内空変位が200mm程度以上(掘削幅10m程度のトンネルでの目安)になるものに適用し、支保の設計にあたっては数値解析の結果や類似の地山条件での施工事例などを参考にする。また、本地山分類表に当てはまらないほど良好な地山については地山等級Aとし、工区に占める比率や地山状態により経済的な見地からトンネル毎に設計する。
- (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 4-2 岩石グループ

		岩盤の初生的性質を反映した新鮮な状態での強度の区分		
		H(硬質岩) 80N/mm ² 以上	M(中硬質岩) 20～80N/mm ²	L(軟質岩) 20N/mm ² 以下
劣化の仕方による区分	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 中・古生層砂岩 石灰岩,チャート(珪岩) 片麻岩	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		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-3.3.1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

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第3編1.1-2

山の挙動と変位の実績および、不連続面の状態、不連続面の間隔、地下水の影響などの記録によって地山を分類する。地山分類表の各指標の評価にあたっては、これら指標の持つ特性を理解し総合的に判断しなければならない。以下に各指標の持つ特性について示す。

(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の便利であるが、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)および地山強度化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(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。
- 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・その他の判定基準も参考にして、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ものであれば、その強度は不連続面の強度に支配されることを良く理解しておく必要がある。一方、地山の状態が非常に悪くなれば、無数の不連続面の存在により逆に連続体的な挙動を示すようになり、トンネル掘削による挙動は不連続面を含む地山の強度が支配的となる。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第3編1.1-2

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。

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持った割れ目の平均的な間隔をいい、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 : 地山の一軸圧縮強度(kN/m²)

γ : 地山の単位体積重量(kN/m³)

h : 土被りの高さ(m)

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11) 第3編1. 1-2

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

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

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 : 試料の一軸圧縮強度(kN/m²)

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

(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4-1に示したとおりである。変位量の計測は、支保工施工後できるだけ早い時期に初期値を測定し、初期変位速度や変位量の評価に差が生じないようにする必要がある。なお、施工時の切羽観察による地山評価においては、切羽で観察される不連続面の走向・傾斜とトンネル軸の関係、および地下水の湧水量、地下水による強度低下に対して必要に応じて地山の評価を修正できるものとする。

(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4-1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・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)、黒岩片岩、泥岩、凝灰岩などで膨張性が明確に確かめられたならば、DⅡまたはEに等級を落とす。
- 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。

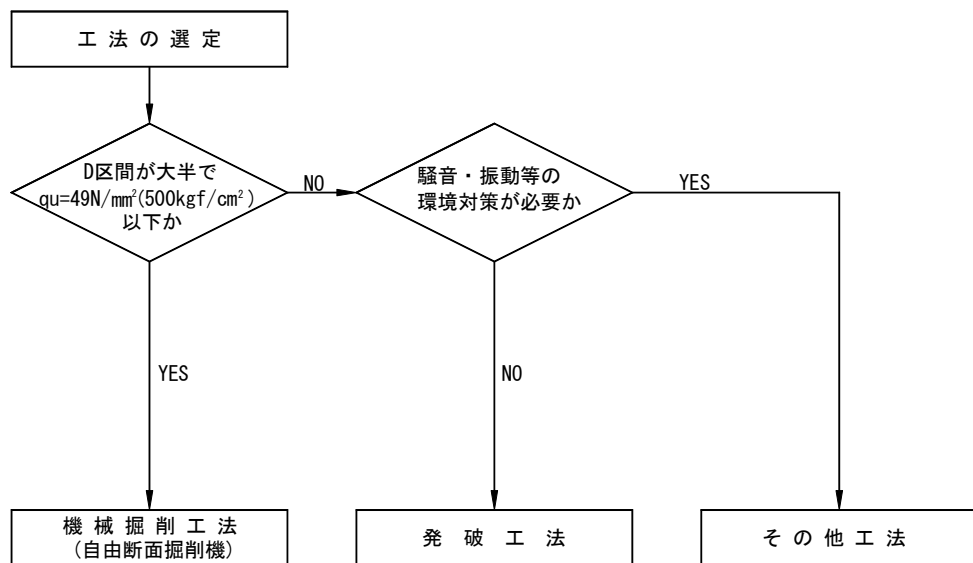
5-2 掘削方式

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、湧水量等)や環境条件等を総合的に判断し、これにより難しい場合は別途選定するものとする。



注) 大半の区分とは90%程度を目安とする。

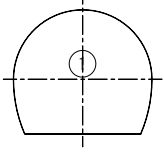
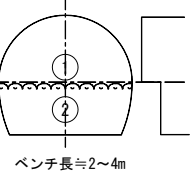
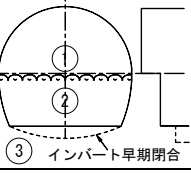
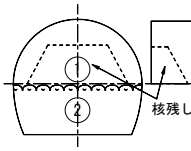
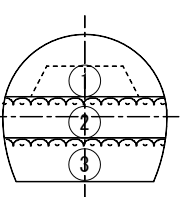
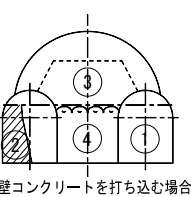
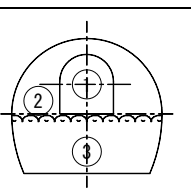
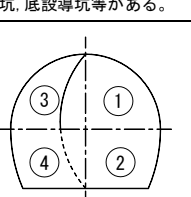
図 5-1 掘削方式選定フロー

5-3 掘削工法

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

表 5-1 に代表的な掘削工法を示す。

表 5-1 掘削方法の工法の分類と特質

掘削工法	加 背 割	主として地山条件 からみた適用条件	長 所	短 所
全断面工法		- 水路等の小断面トンネルでは、ほぼすべての地山 30㎡以上の断面では比較的安定した地山で適用可能だが、60㎡以上ではきわめて安定した地山でなければ適用は困難 - 良好な地山が多くても不良地山が狭在する場合には段取替えが多くなり不適	- 機械化による省力化急速施工に有利 - 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利	- トンネル全長が単一工法で施工可能とは限らないので、補助ベンチ等の施工方法の変更体制が必要 - 天端付近からの肌落ちがある場合には、落下高さ按比例して衝突エネルギーが増大するので注意を要する
補助ベンチ付き全断面工法		- 全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山 - 全断面掘削が困難になった場合 - 良好な地山が多いが部分的に不良地山が狭在する場合	- 上半と下半の同時併進で機械化による省力化急速施工に有利 - 切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利	補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の段取替えが困難
		- 大きな土崩り、膨張地山等で変位が大きい地山 - 地表面沈下を抑制する必要がある場合	- 大型機械を用い、更なる省力化、急速施工が可能 - 急速施工で緩み拡大の抑制に有利	- 鏡や天端部の安定を図る掘削補助工法を併用する必要がある - 早期閉合に補助工法を用いても切羽が自立しなくなった場合、導坑先進や多段ベンチカット工法等への段取り替えが困難
ベンチカット工法		- ロングベンチ(ベンチ長>50)は、全断面では施工困難であるが、比較的安定した地山 - ショートベンチ(0<ベンチ長≤50)は、良好な地山から不良地山まで幅広い変化に対応しやすい - ミニベンチ(ベンチ長≤10)は、膨張性地山等で内空変位を抑制する場合や早期閉合が必要な場合 - 切羽の安定性が悪い場合、核残し等によって対応する	- 上半と下半を交互に掘削する方式の場合は、機械設備と作業員が少なくて済む - ショートベンチは地山の変化に対応しやすい - ミニベンチは、インバートの早期閉合がしやすい	- 交互掘進方式の場合、工期がかかる - ショートベンチやミニベンチでは、同時掘削の場合には上半と下半の作業時間サイクルのバランスが取りにくい - ミニベンチでは、上半盤に掘削機械を乗せる場合、施工機械が限定されやすい
		- 縦長の大型トンネルで比較的良好的な地山に適用されることが多い - 不良な地山で加背を小さくして切羽を安定させる場合に適用されることもある	切羽の安定性を確保しやすい	- 閉合時期が遅れると不良地山では変形が大きくなる - 各ベンチの長さが限定され作業スペースが狭くなる - 各段のずり処理に工夫を要する
導坑先進工法		- 地盤支持力の不足する地山であらかじめ十分な支持力を確保したうえ、上半部の掘削を行う必要がある場合 - 偏土圧、地すべり等の懸念される土崩りの小さい軟岩や未固結地山 - 側壁コンクリートを打ち込まない場合もある	- 導坑断面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、偏土圧に対する抵抗力が高い - 側壁コンクリートを打ち込まない場合、中壁分割工法の中壁の撤去と比較して、側壁部の仮壁撤去が容易	- 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる - 導坑掘削中上方の地山を緩ませることが懸念される
		- 地質確認、水抜き、先行変位や拉幅時発生応力の軽減等を期待する地山 - TBMによって導坑を先進させる場合もある - 排水工法を必要とするような地山には、底設導坑が用いられる	- 導坑を先進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 - 発破工法の場合、芯抜きがいらぬため、騒音振動対策にもなる - 拉幅時の切羽の安定性が向上する - 導坑貫通後の換気効果が期待できる	- TBMを用いる場合、地質が比較的安定していないと掘削に時間がかかる - 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる - 各切羽のサイクルのバランスがとりにくい - 施工機械の種類が増える
中壁分割工法		- 地表面沈下を最小限に防止する必要のある土崩りの小さい未固結地山 - 大断面トンネルで比較的不良な地山	- 断面を分割することによって切羽の安定性を確保しやすい - 地表面沈下を小さくすることが可能 - 側壁導坑先進工法より加背が大きく、施工機械をやや大きくすることが可能	- 中壁撤去時の変形等に留意が必要 - 中壁の撤去工程が加わる - 坑内からの特殊な補助工法の併用が困難

トンネル標準示方書
〔山岳工法編〕・同解説
(2016年制定)第3編,
第2章, 2. 3. 2

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、レール方式とすることもできる。

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

支保構造を構成する部材は下記の通りである。

- ・吹付けコンクリート
- ・ロックボルト工
- ・鋼製支保工
- ・覆工

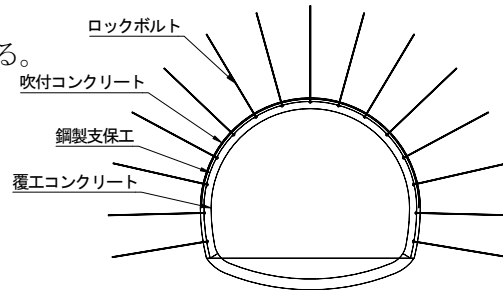


図 6-1 トンネル断面

6-2 支保パターンを設定

(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。
- ・内空縦横比おおむね0.6以上の通常断面トンネル。
- ・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 6-1 標準的な支保構造の組み合わせの目安(通常断面トンネル 内空幅8.5～12.5m程度)

地 山 等 級	支 保 パ タ ー ン	標 準 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)		側 ア ー チ 壁 部 ・ (cm)	イン パ 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
CⅠ	CⅠ	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	—	—	—	10	30	[40]	5 (5)	17 (8)	22 (13)	0	
CⅡ	CⅡ-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上・下半	—	—	—	10	30	[40]	7 (5)	13 (8)	20 (13)	0	
	CⅡ-b						H-125	—	1.2				7 (5)	13 (8)	20 (13)		
DⅠ	DⅠ-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	
	DⅠ-b		4.0										7 (5)	10 (8)	17 (13)		
DⅡ	DⅡ	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	
DⅢ	DⅢ	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、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) インパートについて

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パートを設置する。
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パ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パートはインパ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パート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
3. 地山等級がD I であっても、下半部に堅岩が現れるなどの岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインパートを省略できる。

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

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説

(H15.11)第3編4.4-7

※表6-1は一部加筆修正

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) 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非鋼繊維を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DⅡにおいては、上半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無い
ため上・下半部に変形余裕量として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偏平な断面を採用する場合には、大断
面の支保パターンの適用を検討する。
- 注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。

表 6-2 標準的な支保構造の組み合わせの目安(大断面トンネル内空幅12.5～14.0m程度)

地 山 等 級	支 保 パ タ ー ン	標 準 掘 進 長 (m)	ロ ッ ク ボ ル ト			鋼アーチ支保工			吹 付 け 厚	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)	側 ア ー チ 壁 部 ・ (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 チ付全断 面工法ま たは上部 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

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。
- 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・側壁の履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。

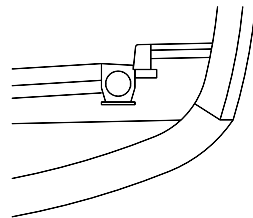


図 6-2 大断面トンネル脚部のインバート形状

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)などを用いる場合は金網を省略できる。

注3) 覆工コンクリートについて

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

注4) 変形余裕量について

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

注5) 掘削工法について

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

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

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15.11)第3編4.4-7

※表6-2は一部加筆修正

3) 参考支保パターン

内空幅3.0～5.0m程度・内空縦横比おおむね0.8以上の小断面トンネルの標準的な支保構造を表6-3に示す。

表 6-3 標準的な支保構造の組合せの目安(小断面トンネル 内空幅3.0～5.0m程度)

地 山 等 級	支 保 パ タ ー ン	標 準 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 (cm)	掘 削 工 法
			長 さ (m)	施工間隔		施 工 範 囲	種 類	建 込 み 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
CⅠ	CⅠ	1.5	2.0	1.2	1.5	上・下半	なし	-	5	20	
CⅡ	CⅡ	1.2			1.2						
DⅠ	DⅠ	1.0	2.0	1.0	1.0	上・下半	H-100	1.0	10	20	
DⅡ	DⅡ	1.0	2.0～ 3.0	1.0 以下	1.0	上・下半	H-100	1.0	10～12	20	

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

注2) レール方式の場合は、標準歩掛りによる。

(2) 支保工の変更

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

表 6-4 設計の変更の考え方

	現象	主な検討事項	修正方法
設計を軽減する必要がある場合	- 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	- 不連続面の間隔、状態 - 湧水の多少 - 地山強度比が小さい	- 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	- 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	- 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	- 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)

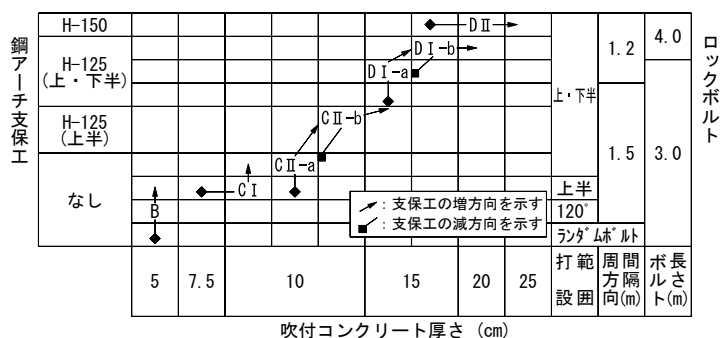


図 6-3 部分的な支保工増減の実施例

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11) 第3編4. 4-7

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11) 第4編1. 1-2

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

表 6-5 湿式の配合例

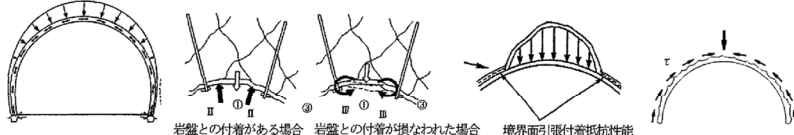
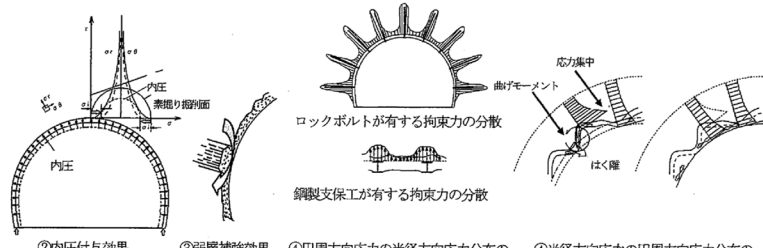
強度	スランプ	W/C	粗骨材 最大寸法	単位 セメント量	砂	砕石	急結剤	摘要
$\sigma_{28}=18\text{N/mm}^2$	10±2cm	(56%)	(15mm)	『普通ポルトランドセメント』 360kg	0.80m ³ (1086kg)	0.47m ³ (675kg)	セメント量の (9.0%程度)	湿式

注) 1. 乾式の場合は別途考慮すること。

2. () 書きは参考であり、現場条件により考慮する。

3. 急結剤は、劇物指定対応品を使用すること。

表 6-6 吹付けコンクリートの作用効果

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

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11)第3編4. 4-3

トンネル標準示方書

[山岳工法編]・同解

説(2016年制定)第3編,

第3章, 3. 2. 4

トンネル標準示方書

[山岳工法編]・同解

説(2016年制定)第3編,

第3章, 3. 2. 1

(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、原則として吹付コンクリートの補強に金網を使用する。

2) 金網の材料

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

3) 金網の施工

金網は地山または一次吹付けコンクリートにアンカーボルトで固定する。金網のラップ長は150cm程度とする。

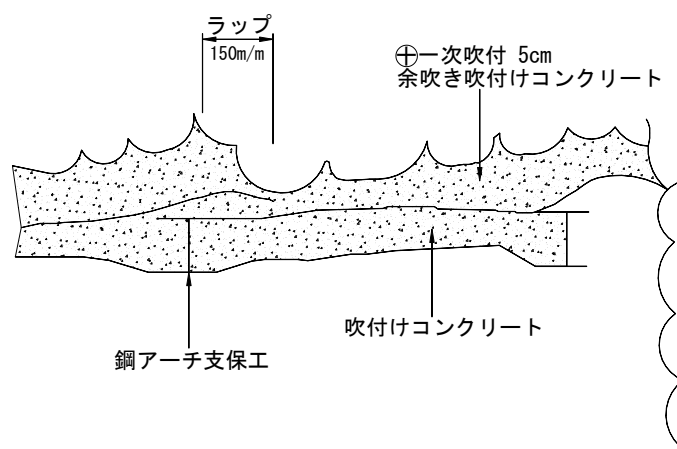


図 6-4 金網の施工要領

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。ロックボルト使用する材質と地山分類は下表による。

表 6-7 ロックボルトの材質(耐力)

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

注1) 耐力はネジ部の降伏点耐力とし、耐力の算定は次式による。

耐力=ロックボルト降伏点強度(σ_y)×ネジ部等の有効断面積(AS)

$$AS = \frac{\pi}{4} (d-0.9382)^2$$

d: ネジの外径(ネジの呼径)

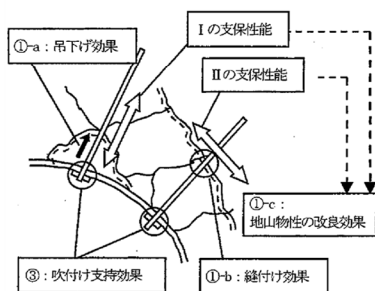
p: ネジのピッチ

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

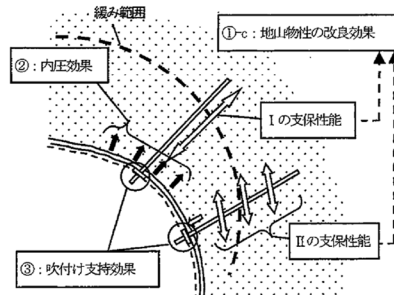
表 6-8 ロックボルトの作用効果の概念

分 類	概 要
性 I	ロックボルトの引張抵抗
能 II	ロックボルトのせん断抵抗
① 地山の補強効果	a: 吊下げ効果 b: 縫付け効果 c: 地山物性の改良効果
② 内圧効果	
③ 吹付け支持効果	

性能と効果の概要



(a) 中硬岩、硬岩地山(不連続体地山)



(b) 軟岩、未固結地山(連続体地山)

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11)第3編4. 4-4

トンネル標準示方書

[山岳工法編]・同解説

(2016年制定)第3編, 第3

章, 3. 3. 1

表 6-9 ロックボルトの機械的性質³⁾

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)	降伏荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
ね じ り 棒 鋼	STD510 ^{※1}	TD21	153.9	207.8	188.2	252.8
		TD24	179.3	242.1	226.4	305.8
異 形 棒 鋼	SD345 ^{※1}	D25	120.5	172.5	173.5	247.9
全ねじ棒鋼	SD295 ^{※2}	D22	113.7	185.2	—	—
鋼管膨張型	SS1232 ^{※3}	37T2	—	—	120	140
		37T3	—	—	180	200

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

(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 6-10 ロックボルトの定着方式

定着方式	定着方法	適用範囲	ボルト概略図
定着材式	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圧水を注入して鋼管を膨張させる鋼管膨張型の2種類の定着方法がある。	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。	

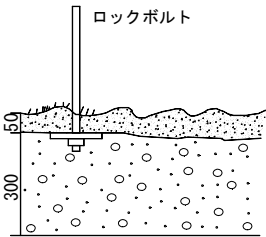
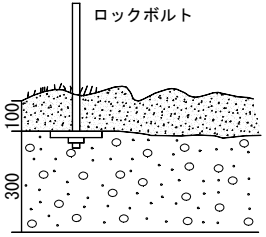
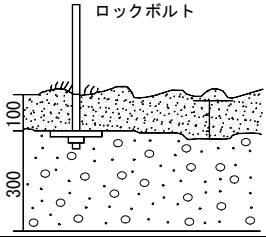
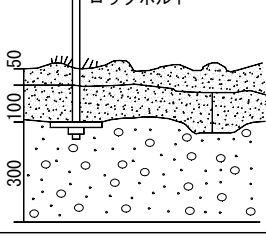
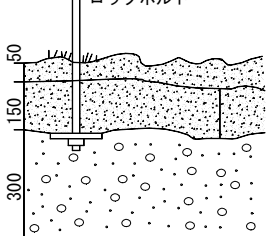
(5) ロックボルトの頭部処理

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

(6) 吹付コンクリートとロックボルトの位置

吹付コンクリートとロックボルトの位置関係は図6-5の通りとする。

図 6-5 吹付けコンクリートと他の支保構造物との関係

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

注) 通常断面トンネルの標準支保パターンの場合を示す。

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。

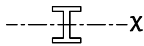
また、作用荷重その他の諸条件に対して有利で、かつ施工上の便宜を備えたものでなければならない。

(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 6-11 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 寸 称 法 (mm)	断面積	単位質量	断面二次 モーメント	断面係数	最 小 曲 率 半 径	使用方向
			A (cm ²)	W (kg/m)	I X (cm ⁴)	ZX (cm ³)	R* (cm)	
H形鋼	SS400	H-100×100×6×8	21.59	16.9	378	75.6	120	
		H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	839	134	150	
		H-150×150×7×10	39.65	31.1	1620	216	200	
		H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	2900	331	340	
		H-200×200×8×12	63.53	49.9	4720	472	420	
		H-250×250×9×14	91.43	71.8	10700	860	550	

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11)第3編4. 4-5

トンネル標準示方書
[山岳工法編]・同解説
(2016年制定)第3編,
第3章, 3. 4. 3, 一部加筆

1) 鋼製支保工の継手

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

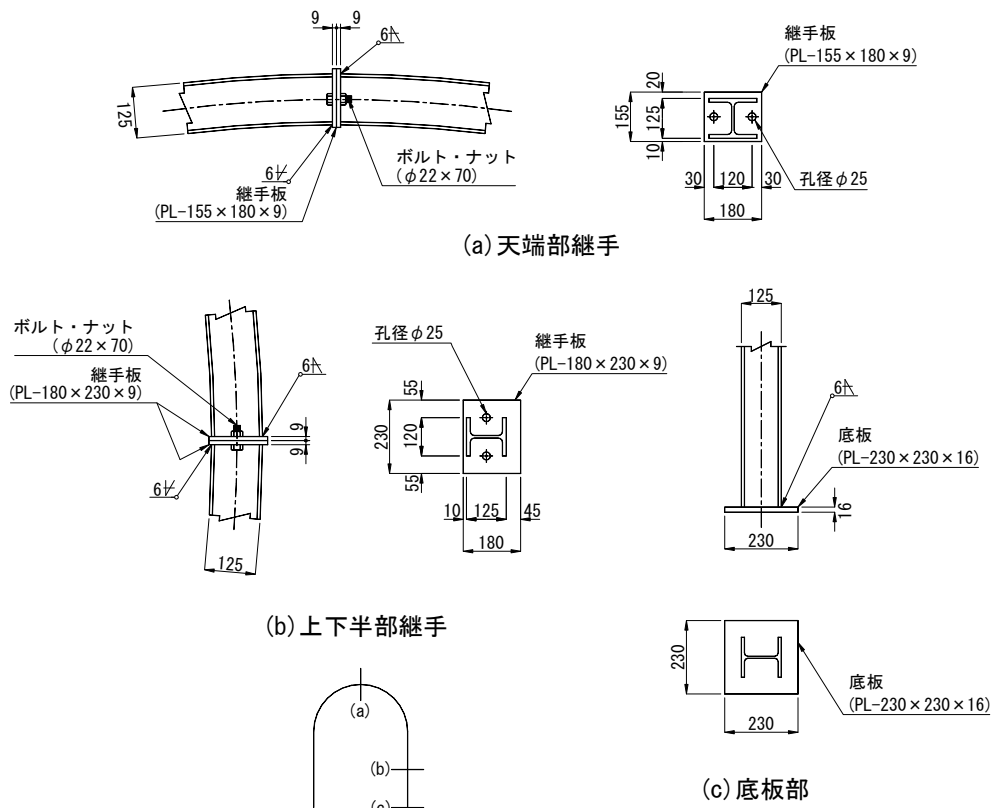


図 6-6 鋼製支保工の継手および底板の例

2) つなぎ

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

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

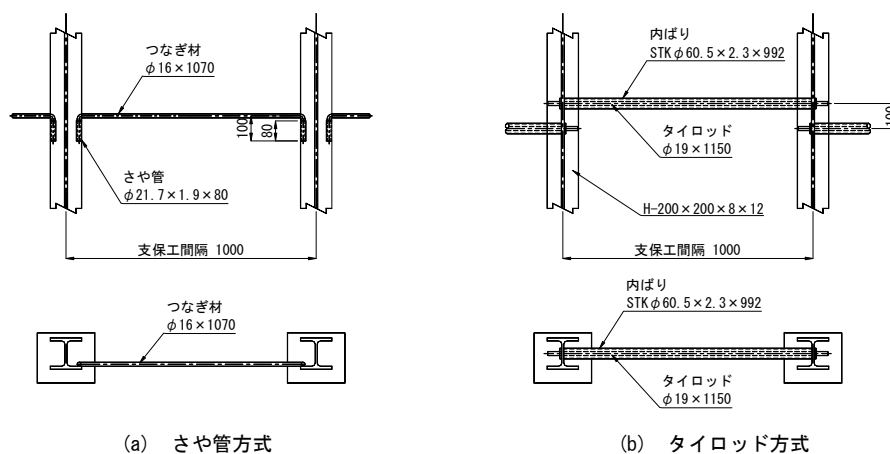


図 6-7 鋼製支保工のつなぎ材の例

表 6-12 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。

この余掘を考慮した断面積の外周を支払線(ペイライン)といい、当初から掘削と覆工及び吹付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 6-13 余掘、余巻及び余吹厚

(cm)

掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚(N _I)
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。ただし、掘削断面積35㎡未満については別途考慮する。
 3. 変形余裕量を見込む場合は、余掘・余巻は上表より5cm減じ、掘削断面に変形余裕量を加えるものとする。
 4. インパートの余掘り及び余巻きは5cmを標準とする。
 5. ()書は、機械掘削を示す。

(2) 変形余裕

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

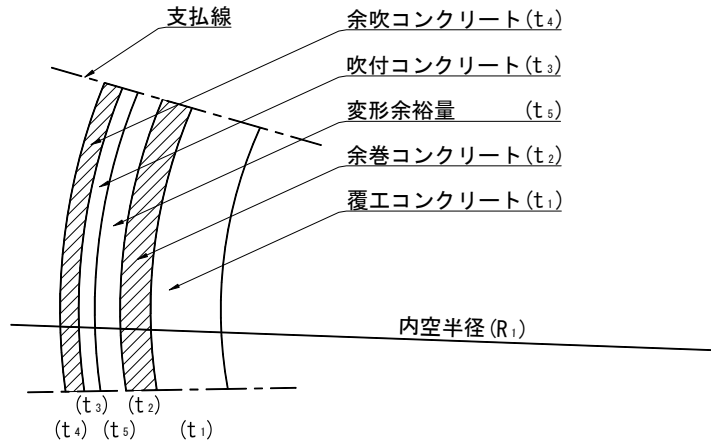


図 6-8 変形余裕を見込まない場合

設計掘削半径 = 内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)

支払掘削半径 = [内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)]

+ 余掘 = 設計掘削半径 + 余掘

※ 余掘 = 余巻コンクリート (t_2) + 余吹コンクリート (t_4)

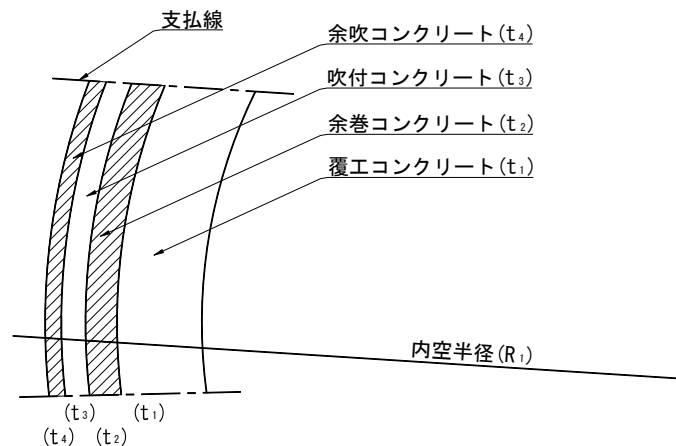


図 6-9 変形余裕を見込む場合

設計掘削半径 = 内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)

+ 変形余裕量 (t_5)

支払掘削半径 = [内空半径 (R_1) + 覆工コンクリート厚 (t_1) + 吹付コンクリート厚 (t_3)

+ 変形余裕量 (t_5)] + 余掘 = 設計掘削半径 + 余掘

※ 余掘 = 余巻コンクリート (t_2) + 余吹コンクリート (t_4)

6-7 覆工

(1) 覆工の一般

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

(2) 覆工の厚さ

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

(3) 覆工コンクリートの配合

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

表 6-14 覆工コンクリートの配合基準

設計基準強度	生コン呼び強度	粗骨材の最大寸法	スランプ	セメント比	水セメント比	セメントの種類	繊維混入率(%/m ³)	適用工種
18 N/mm ²	18 N/mm ²	40mm以下	15 cm ± 2.5	270 kg/%以上	60%以下	高炉(B)以上	—	覆工(CⅠ, CⅡ)
18 N/mm ²	18 N/mm ²	40mm以下	※ 15 cm ± 2.5	340 kg/%以上	60%以下	高炉(B)以上	0.3	覆工(DⅠ, DⅡ, DⅢ)
18 N/mm ²	18 N/mm ²	40mm以下	8 cm ± 2.5	230 kg/%以上	—	高炉(B)以上	—	インバート

※ 非鋼繊維を混入する場合のスランプについては繊維混入後の値であり、混入前のスランプ値については試験練りを実施したうえで監督職員と協議するものとする。

(4) 覆工の施工時期

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

(5) 型枠

型枠はスライドセントルフォーム(L=10.5m)を使用することを標準とする。ただし、トンネル延長が100m未満と短い場合や、平面線形における曲率半径がR=300m未満と小さい場合などでは施工性や経済性が問題となるので、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わく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にのみ接するよう工夫している例が多い。なお、切欠き部の形状は三角形形状を標準とする。打継ぎの例を図6-7に示す。

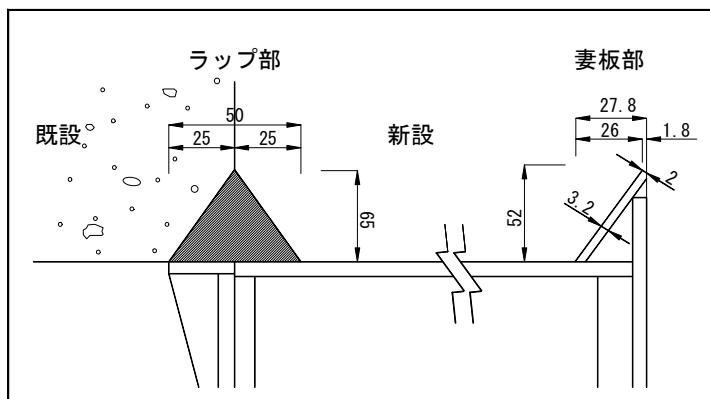


図 6-7 打継ぎ部のオーバーラップフランジと切欠き部の例

(7) 維持管理を考慮した覆工スパン番号の明示

覆工は、供用後の維持管理を考慮し、スパン番号、仕様(部材厚、鉄筋・維持補強の有無)等をスパンごとに明示することを標準とする。

参考として、明示例を以下に示す。

S001 (35-単鉄筋-i)	S050 (30-無筋)
(覆工厚 35 cm-単鉄筋-インポートあり)	(覆工厚 30 cm-無筋-インポートなし)



設置例 (スパンシールの場合)

6-8 地震の影響を考慮した支保構造の留意事項

地震の影響を最小化できるように、設計段階や施工段階において、特殊条件を有する区間は十分な支保構造となるようにすること。

トンネルの設計上、耐震対策に関して、特に留意すべき点は以下の通りである。

- (1) 地震による影響を受けやすいと考えられるトンネルの特殊条件とは、以下のいずれかに該当する箇所である。
 - ①突発的な大量の湧水により施工を長時間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
 - ②切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
 - ③地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
 - ④地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所(ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く)
 - ⑤縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
 - ⑥極端な偏圧を受ける箇所
 - ⑦極端に土被りが小さい箇所
 - ⑧地山等級DⅡおよびそれよりも不良と評価される箇所(断層・破碎帯等を含む)
- (2) 特殊条件を有する区間における支保構造の考え方は、以下の通りである。
 - ①インバートを設置してトンネルをリング構造とし、力学的により安定な構造とする。
 - ②吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工、ロックボルトに代表される支保工を十分な構造とする。
 - ③地震により覆工に破壊が生じたとしても、大規模な覆工コンクリート塊が崩落することのないよう、覆工(インバートを含む)を鉄筋補強とするなどの措置を講じる。

7. 防・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。
- ② 裏面排水工……覆工背面の湧水を集めて路盤排水工または路側排水工へ導くことを目的とした排水工である。
- ③ 路盤排水工……路盤内および覆工背面湧水をトンネル外へ導くことを目的として路面下に設ける中央排水工および横断排水工である。
- ④ 路側排水工……車両によるトンネル内への持込水やトンネル内壁の洗浄清掃水、漏水などの排水を目的として路肩に設ける排水工である。
- ⑤ 湧水処理工……吹付けコンクリートを施工する場合の事前の湧水処理を目的としたものである。

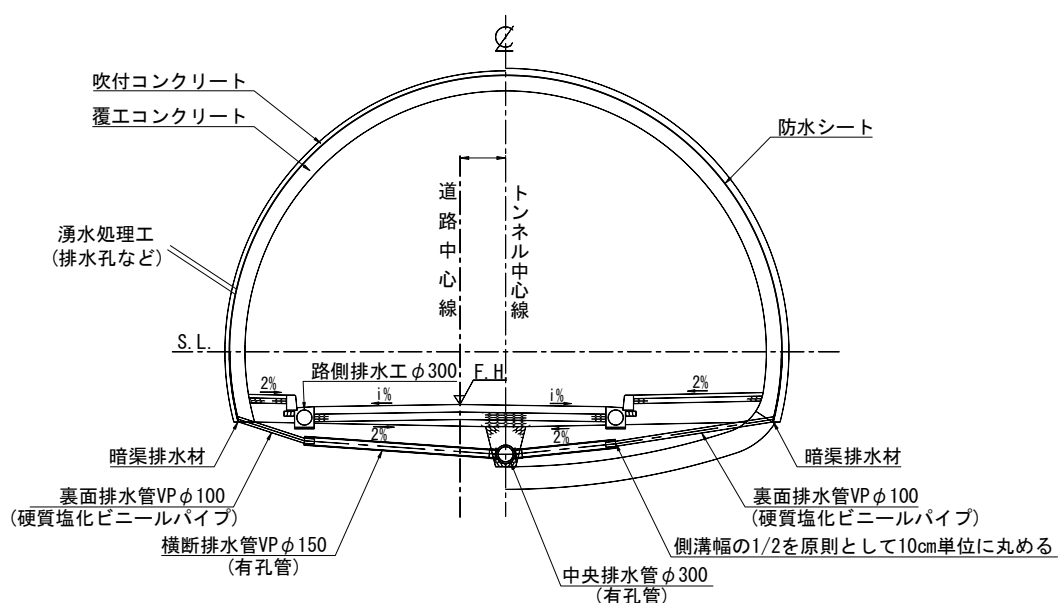


図 7-1 防水工・排水工の名称

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、下表に示す規格を満足するものとする。

表 7-1 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/cm)	JIS K 6252 (20℃)	500以上

(2) 防水工の施工

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

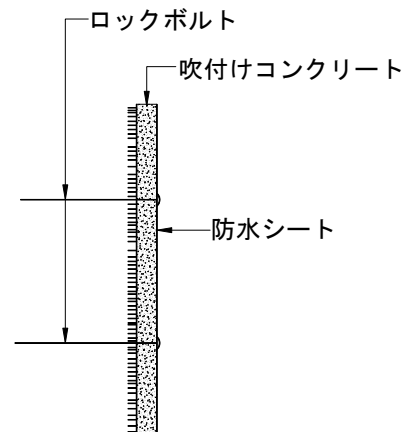


図 7-2 防水シートの施工例

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ない。

(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渠排水材と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。このうち暗渠排水材は、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。

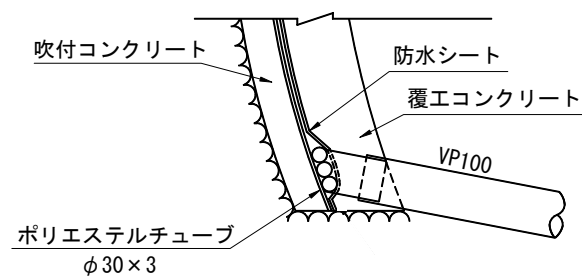


図 7-3 裏面排水工(標準) (ポリエステルチューブ)

(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7-4に示す。

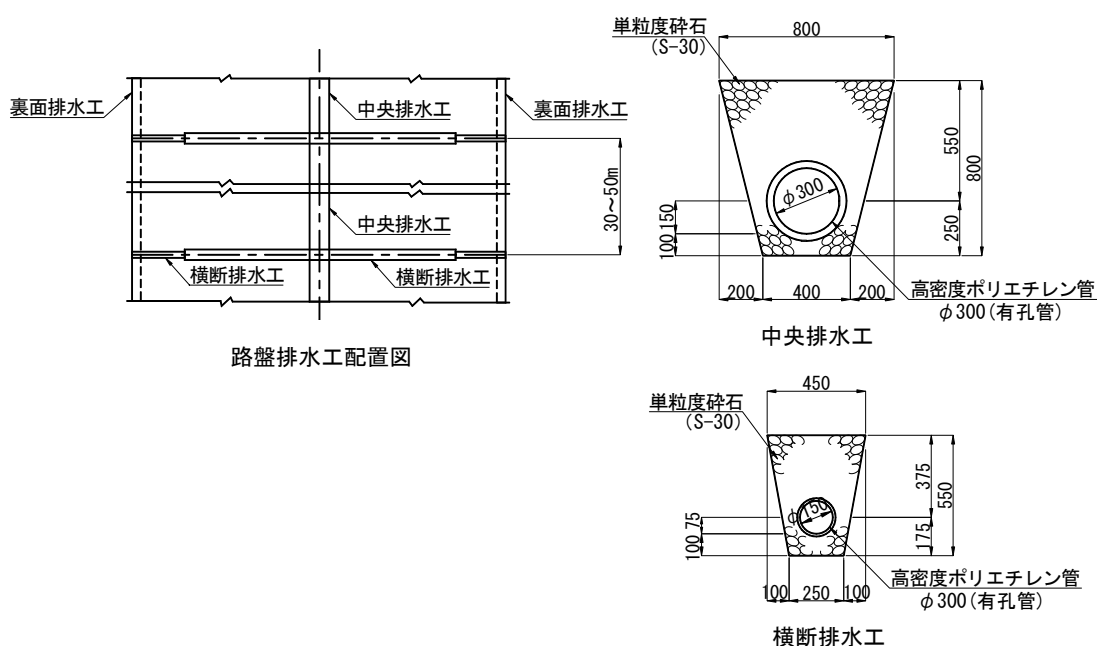


図 7-4 路盤排水工

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

(3) 路側排水工

1) トンネル内の側溝は下記のとおり設置するものとするが、側溝断面は清掃等を考慮した上で決定するものとする。

2) トンネル内の集水枥は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、必要に応じて集水のためのグレーチング蓋付(固定式)側溝を設けるよう検討すること。

(A、B、C側溝図面については図7-5参照)

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型側溝を用いてもよい。

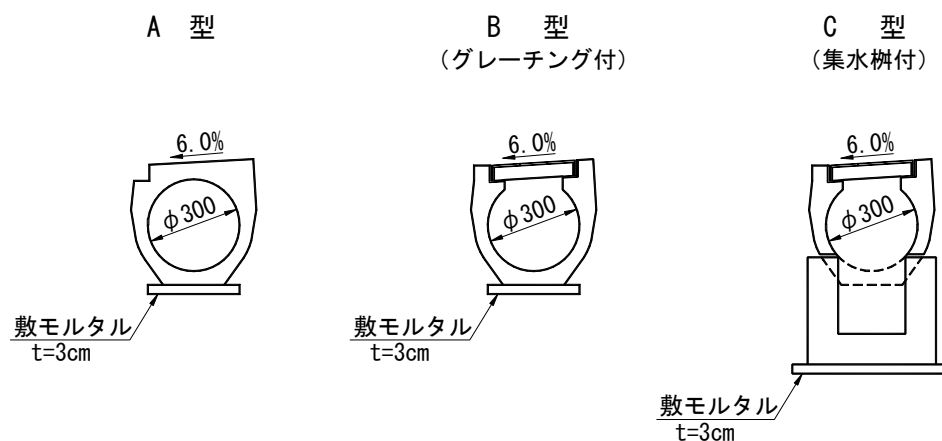


図 7-5 A・B・C側溝図面例

8. トンネル内の舗装

8-1 舗装

- (1) トンネル内の舗装は、連続鉄筋コンクリート舗装を標準とする。
- (2) 連続鉄筋コンクリート舗装の設計は、「舗装設計便覧」(平成18年2月)によるものとする。
- (3) 舗装の設計期間は、トンネル内での舗装工事が交通に及ぼす影響が大きいことから20年を標準とする。
- (4) 舗装設計に用いる交通量は、舗装計画交通量とする。

普通道路における舗装計画交通量とは、舗装の設計期間内の大型自動車の平均的な交通量のことであり、道路の計画期間内の最終年度の自動車交通量として規定される計画交通量とは異なる。

この舗装計画交通量は、一方向2車線以下の道路においては、大型自動車の一方向当たりの日交通量のすべてが1車線を通過するものとして算定する。一方向3車線以上の道路においては、各車線の大型自動車の交通の分布状況を勘案して、大型自動車の方向別の日交通量の70～100%が1車線を通過するものとして算定する。

- (5) コンクリート版の厚さは、舗装計画交通量にもとづき、表8-1による。

表 8-1 コンクリート版の版厚等(連続鉄筋コンクリート舗装)

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て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。

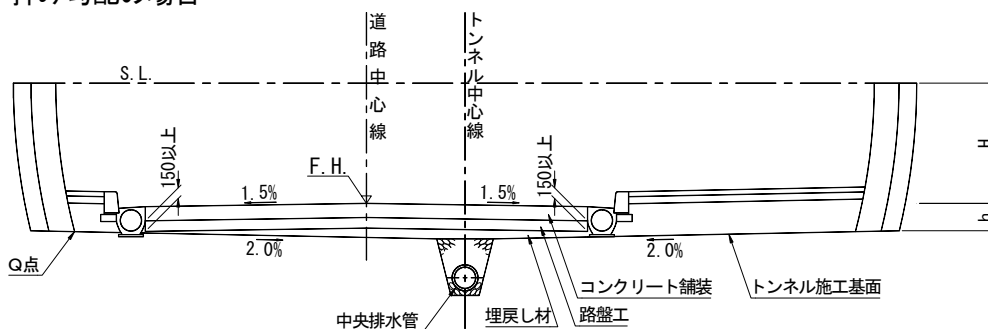
- (6) 施工は1車線舗設を標準とする。
- (7) トンネル内の横断勾配は1. 5～2%のおがみ勾配を標準とする。
- (8) コンクリート舗装のすり付け(版端構造)
一般部がアスファルト舗装となる場合には、その接続部は、鉄筋で補強したコンクリート版およびすりつけ版を設けるものとする。

8-2 路盤

トンネル内の路盤は、水の影響を受けにくいセメント安定処理路盤を標準とするが、現地状況、材料の供給状況を検討し、粒調Fe石灰処理路盤の使用を検討するものとする。なお、路盤が水みちとなっているとの実体を考慮し、トンネル内の路床が岩盤の場合であっても、路盤をするものとする。

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

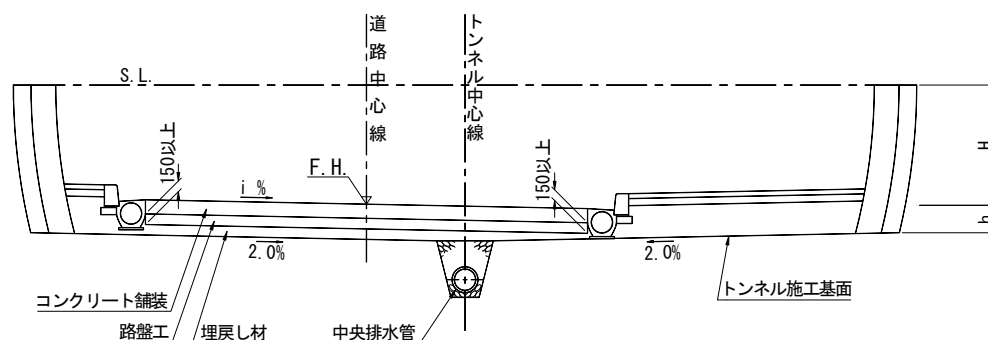


図 8-1 路盤の最小厚の考え方

8-3 アスファルト混合物(コンポジット舗装)

(1) 表層

表層の厚さは、4cmを標準とする。

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

(2) 中間層

中間層の厚さは、4cmを標準とする。

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

8-4 歩道部の舗装

- (1) 歩道部の舗装はセメントコンクリート舗装を標準とする。
- (2) 設計は、「舗装設計便覧(平成18年2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、路盤紙を設置する。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、収縮目地は2.5m程度とし、打込み目地かカット目地とする。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。

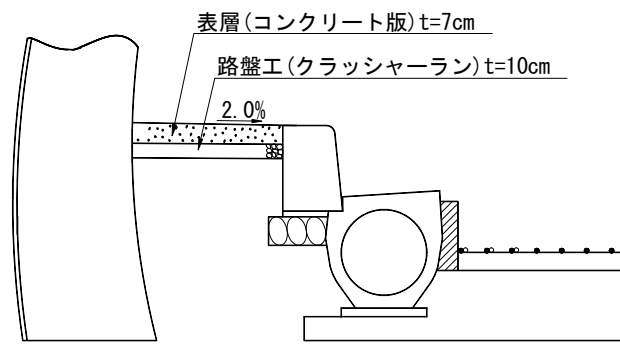


図 8-2 歩道部舗装

表 8-2 歩道・自転車道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	コンクリート舗装	2.5 m	打込み 目 地	30 m	木材等	再生 クラッシャーラン 最大粒径 40mm	設計基準圧縮強度 18N/mm ² 粗骨材の最大寸法 20~40mm スランプ 8cm
10cm	路 盤						

舗装設計便覧(H18. 2)
7-3-9

セメントコンクリート
舗装要綱(S59. 2)
2章2. 9

9-2 坑口部の支保構造

坑口部における支保パターンは、表9-1及び表9-2を標準とする。また、表に示した側壁導坑先進工法による場合の設計例を図9-2に示す。

表 9-1 内空幅が10m程度の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

掘削工法		1掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			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	建込間隔 (m)		アーチ部 側壁部	インバート部
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法		1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	35	50
側壁導坑 先進工法	本坑	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	—	1.0 以下	25	35	50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	—	—

注1) ロックボルトは、側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただしロックボルトの長さは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 9-2 大断面の坑口部の標準的な支保構造の組み合わせ

掘削工法		1掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)		鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆 工 厚		
			長 さ (m)	施 工 間 隔		上半部	下半部		建込間隔 (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
	側壁	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 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。

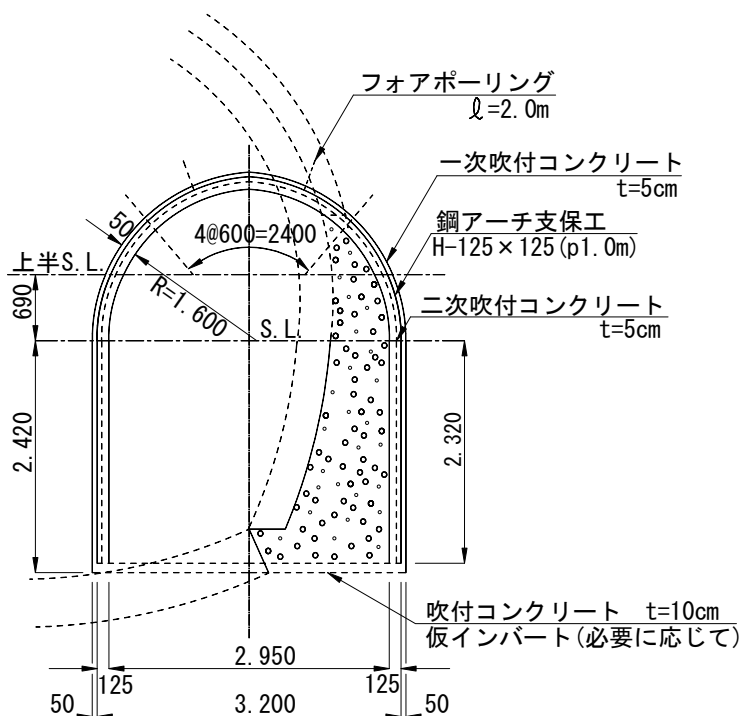


図 9-3 側壁導坑の設計例

9-3 坑口部の補強鉄筋

- (1) 坑口部等で土被りが小さい場合及び著しい土圧を受ける場合の覆工コンクリートは、単鉄筋で補強した構造とする。なお、坑口付部については、引張力の発生が認められるため複鉄筋で施工するものとする。(標準断面 主鉄筋D19mm@20cm、配力筋D16mm@30cm)(大断面 主鉄筋D22mm@20cm、配力筋D19mm@30cm)
- (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(50cmピッチ)を使用するものとする。
- (3) 鉄筋の継ぎ手については千鳥配置とし、鉄筋を軸方向に相互にずらす距離は、継手の長さに鉄筋直径の25倍を加えた長さ以上を標準とする。
- (4) 坑口部覆工コンクリートに補強鉄筋を入れた場合は、インバートにも同等の配筋を考慮する。
- (5) 突出型坑門等で明り巻となる区間は、原則として鉄筋コンクリート構造とする。
- (6) 鉄筋の規格は、補強鉄筋とする場合(坑口部(坑口付け部、DⅢ))および、鉄筋コンクリート構造とする場合はSD345とする。
- (7) 鉄筋の被りは、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9-3に、抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例を図9-4に、また、坑口対策のフローを図9-5に示す。

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(H12. 10)
(一部加筆修正)

表 9-3 坑口部施工時に予想される現象と対策工

予想される現象 対 策	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	◎		○						〃
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 (坑 外 か ら)	○	◎				○		○	〃
薬液注入工 (地表から)	○			○	○	○	○	○	掘削前、掘削中
〃 (坑 内 か ら)					○	○	○	○	掘削中
先 受 工	○					◎	◎		〃
鏡止 (ボルト・吹付け)工						○	○		〃
一時閉合 (仮インバート)				◎	◎		◎		〃
側 壁 導 坑					◎		○		〃

注) ◎：有効な工法 ○：場合により有効な工法

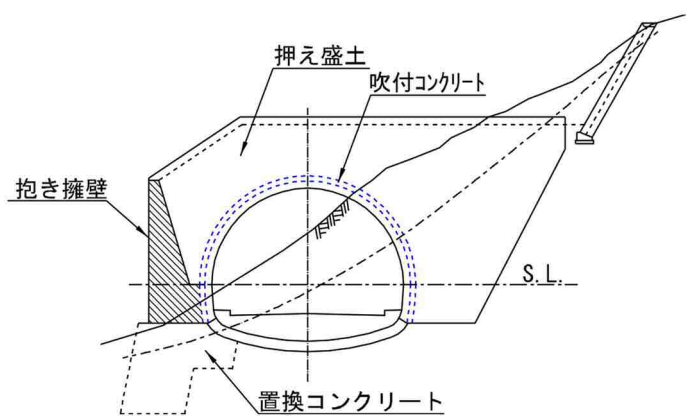


図 9-4 抱き擁壁・押え盛土による安定対策工法の例

擁壁が土圧の作用あるいは地震時に変形した場合の支保工への影響を考慮し、地形条件上、構造的に縁切りを行うことが不可能な場合を除いて、抱き擁壁とトンネル支保工は縁切りを行うものとする。

インバート直下の地山が不良である場合は、良質土に置き換える等の対策を検討すること。

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11) 第3編6. 6-1 2)

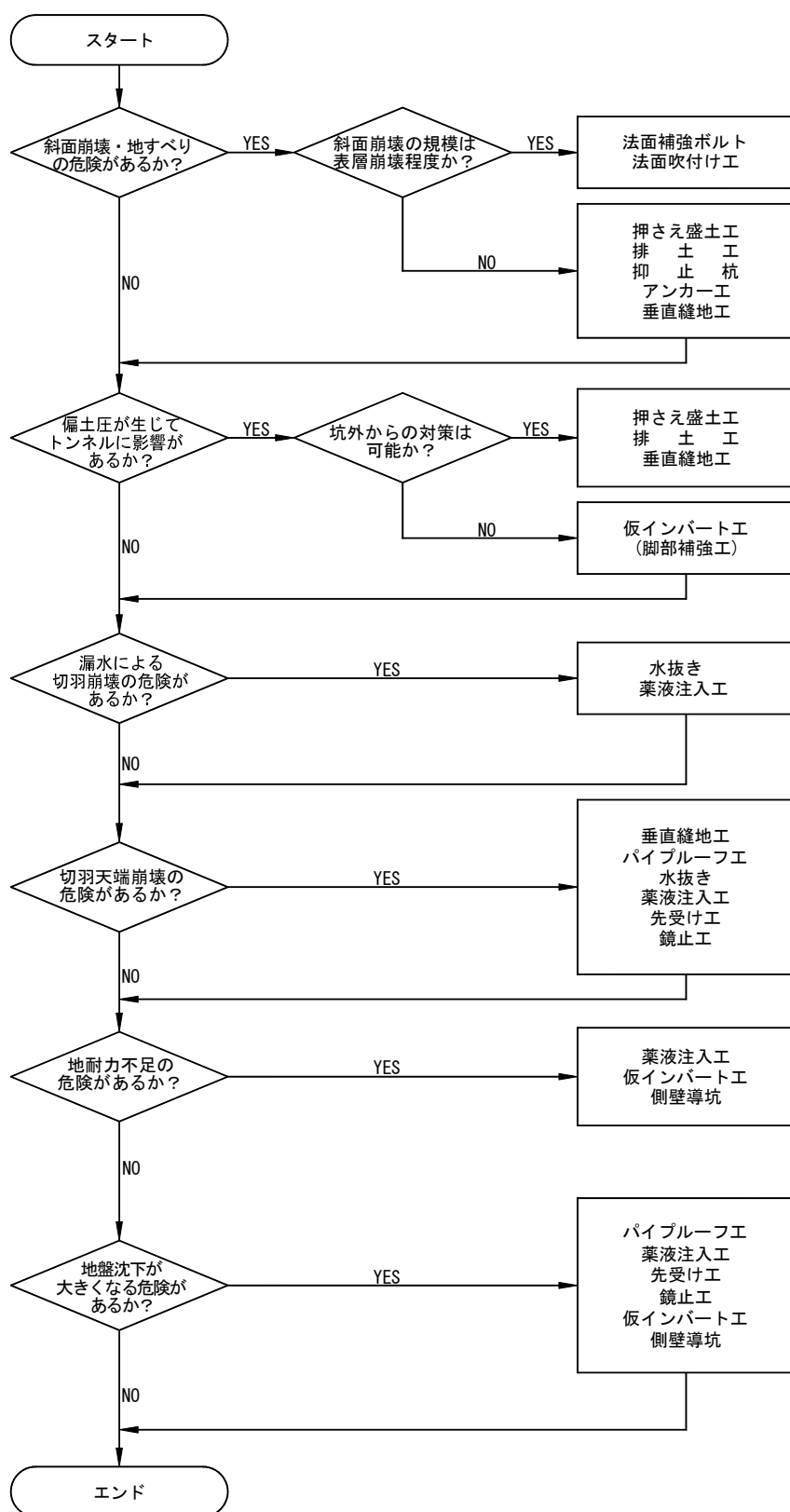


図 9-5 坑口対策工選定フロー

10. 坑門の設計

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15. 11)第3編6. 6-2

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 坑門の設計に当たりの留意事項

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の整合性を考慮した位置・構造とする必要がある。

(3) 景観等

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

(4) 気象条件等

坑門はなだれ・異常出水等気象災害の被害を受けないよう、設計する必要がある。

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

(5) その他機能との調和

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

10-2 坑門の型式

一般的な坑門の型式としては、表10-1のようなものがあり、それぞれ特徴があるので、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。

表 10-1 トンネル坑門の形式と特徴

項目 \ 型式	重力壁	両壁型		半突出型	突出型		
	重力・半重力式	ウィング式	アーチウィング式	ハッパット式	突出型	竹割(逆)式	ベルマウス(逆)式
形 状							
地山条件による適用性	・比較的地形急峻の場合や土留要壁的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	・両切面土工の場合 ・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	・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	・屋根状地形や左右に他の構造物との取合いが少ない場合 ・積雪地でも可能	・押え盛土を施工した場合 ・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等、整形が比較的可能な場合	・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	・地形・地質が比較的良く、坑口周辺の開けた箇所に可能 ・積雪地では吸込み、雪底が生じやすい
施 工 性	・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	・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	・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	・数mの本体工の明り巻きを必要とし、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	・型わく、配筋などに手間がかかる ・両壁型に比べ坑門位置が前に出るため支持力不足に留意する必要がある	同左	同左
景 観 車両走行性	・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリ等)が必要 ・重量感はあるが、走行上の圧迫を感じ易い	・壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリ等)が必要 ・重量感はあるが、走行上の圧迫を感じ易い	・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	・坑門コンクリートの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	・圧迫感が少なく、車両の走行に与える影響は少ない ・周辺地形と良く適合する。	・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。	・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。

10-3 坑門の構造設計

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

(1) 面壁型坑門の設計

面壁型の坑門は、トンネル本体に剛結された版構造物として、設計するものとする。そのウイングの断面力の算定は、原則として、図10-1に示すようにトンネル本体を固定端とする片持版として求めるものとする。しかし、トンネルの場合は、ウイングは本体覆工の円曲線上に固定されるため、2方向版の性状が強く滑らかな応力分布を示すことから、ウイングの設計にあたっては、次のように考えるものとする。

(a) 荷重

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

なお、施工時荷重と他荷重を同時に考慮する必要がある場合には、施工時荷重のみの場合と他荷重を考慮した場合で部材厚の大きくなる方を採用するものとする。また、地震時については一般には考慮しないものとする。

(b) 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10-1に示す面ABCDEFGの仮想ウイング端G～A～Bに対する曲げモーメント $\Sigma M_{G\sim A\sim B}$ 、せん断力 $\Sigma S_{G\sim A\sim B}$ を求める。

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

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

(C) ウイング固定端の断面力

ウイング固定端の断面力は、次式により求めるものとする。

① 水平方向の断面力

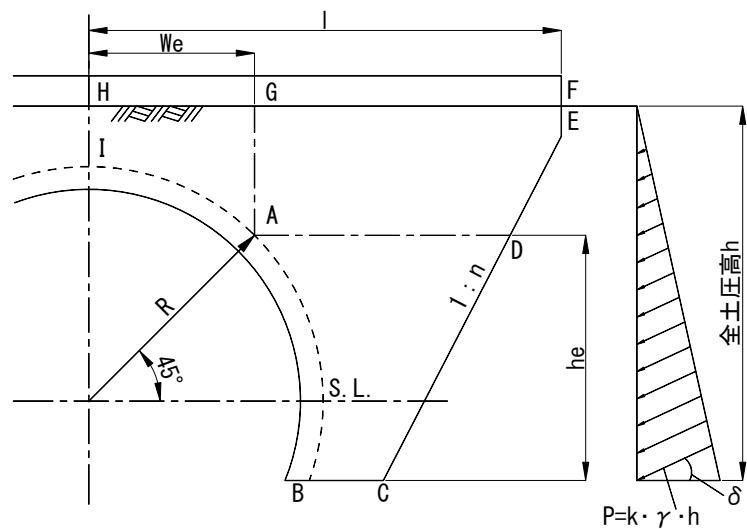
曲げモーメント $M_{A\sim B} = \frac{\sum M_{G\sim A\sim B}}{h_e} \dots\dots\dots (1)$

せん断力 $S_{A\sim B} = \frac{\sum S_{G\sim A\sim B}}{h_e} \dots\dots\dots (2)$

② 鉛直方向の断面力

曲げモーメント $M_{A\sim I} = \frac{\sum M_{I\sim A\sim D}}{W_e} \dots\dots\dots (3)$

せん断力 $S_{A\sim I} = \frac{\sum S_{I\sim A\sim D}}{W_e} \dots\dots\dots (4)$



I : ウイング長 (m)

he : 水平方向の断面力算出時のウイング付根部の有効高さ (m)

We : 鉛直方向の断面力算出時のウイング付根部の有効幅 (m)

k : クーロンの土圧係数

γ : 土砂の単位体積重量 (kN/m³)

δ : 壁面と土の摩擦角 (°) (δ = $\frac{2}{3}$ φ)

φ : 土の内部摩擦角 (°)

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

図 10-1 ウイングの断面力の算定 (片持版)

(d)配筋設計

ウイングの配筋設計は、一般にはウイング固定幅の断面力計算結果により図10-2に示す鉄筋量算定の考え方に基づいて行うものとする。そのなかで、鉛直方向については、一般には水平方向の断面力に比べて非常に小さくなるが、配筋設計にあたっては図10-2により行うものとする。また、坑門に生ずる応力のトンネル本体への影響を考慮して、覆工外側面に主鉄筋同等の鉄筋を先端から5.0m程度配筋するものとする。

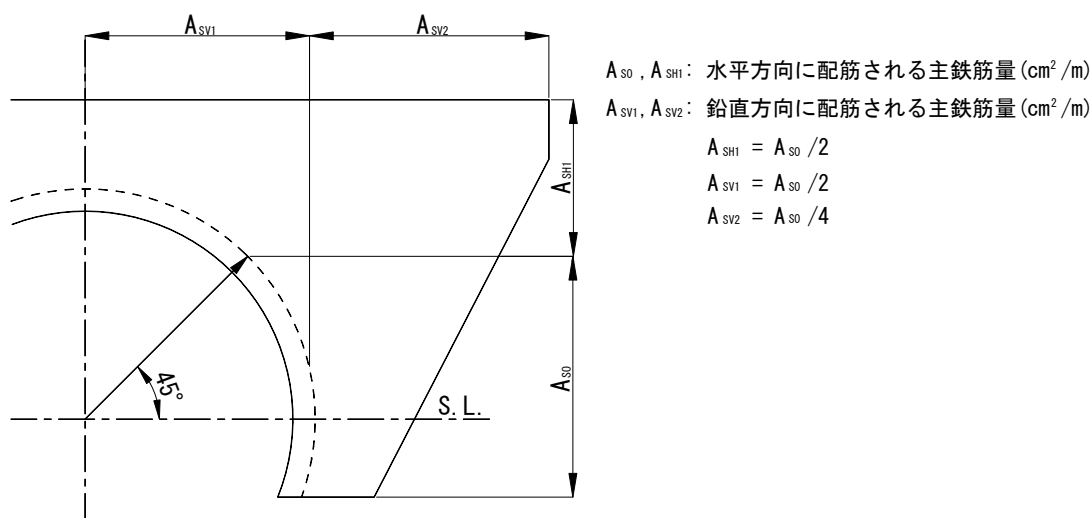


図 10-2 鉄筋量の算定の考え方

(e)材料及び強度

坑門工に使用するコンクリート及び鉄筋の材料及び強度は、以下のとおりとする。

表 10-2 コンクリート・鉄筋の規格(坑門)

材 料	設計基準強度	規 格	備 考
コンクリート	24N/mm ²	24-8-25	
鉄 筋	180N/mm ²	SD345	D16を下限

土木構造物設計マニュアル(案) [土木構造物・橋梁編] (H11. 11) 第1章

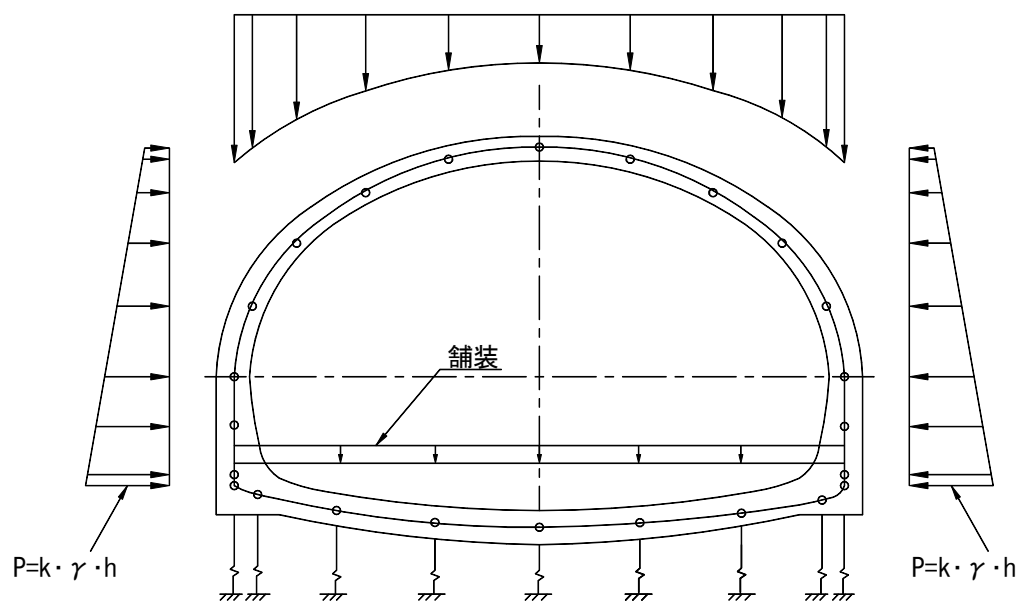
(2) 突出坑門の設計

突出坑門は、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を基本とする。

断面力の算定に当たっては、原則として、図10-3に示すように弾性バネを考慮した変形法により計算を行うものとする。

設計細部については、ボックスカルバートの設計に準ずるものとする。

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



- | | |
|------------|-------------------------|
| ①上載荷重 | 埋戻し土、雪、その他 |
| ②土 圧 | 常 時：静止土圧他
地震等：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：±15℃
乾燥収縮：－20℃ |
| ⑤自 重 | 覆工、舗装 |

図 10-3 断面力の算定

図10-4を参考として、突出型の配筋図例を図10-5に示す。

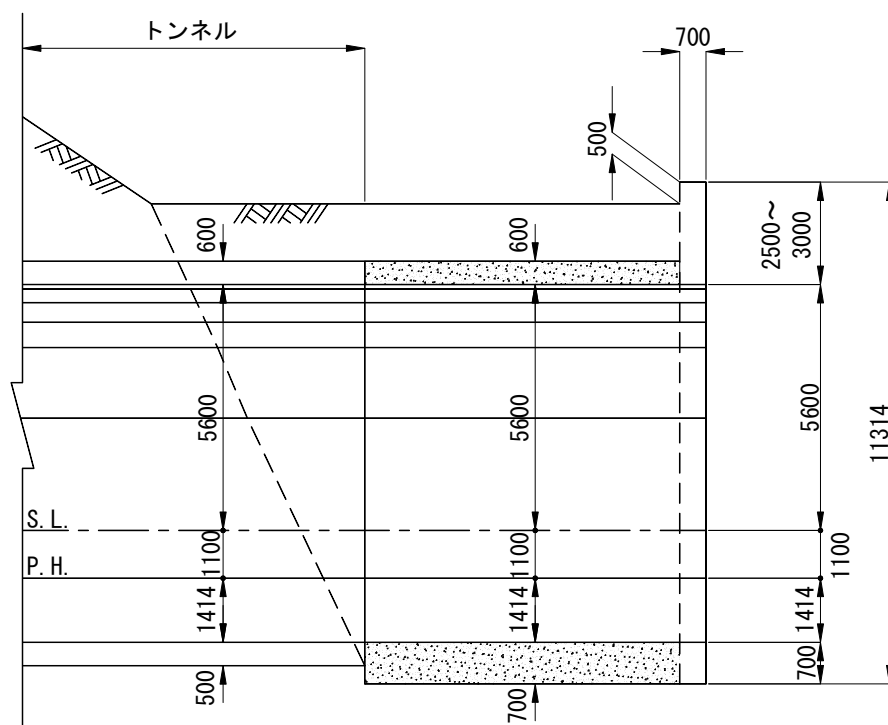


図 10-4 一般図

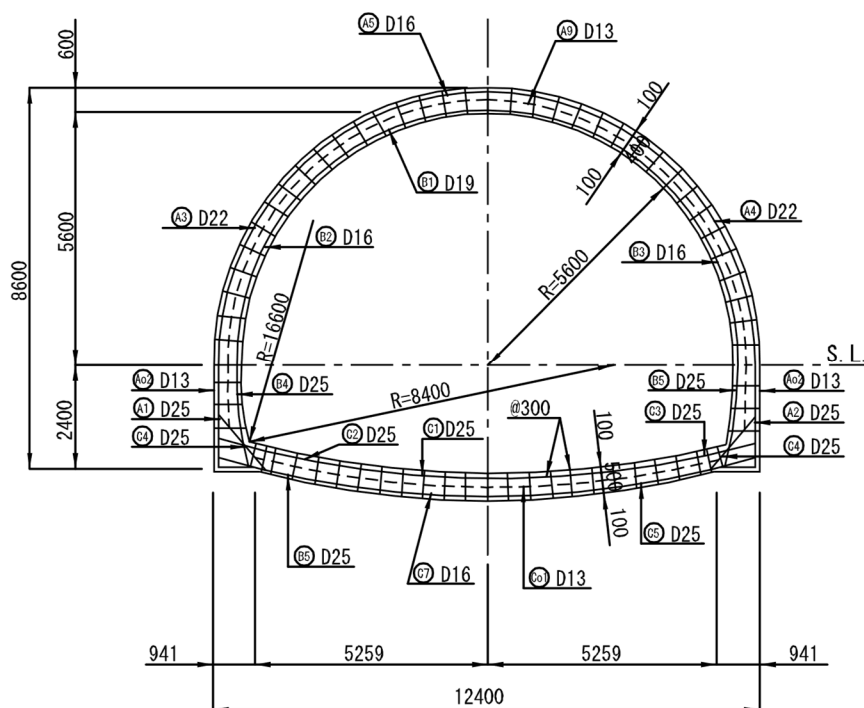


図 10-5 突出型坑門の配筋図例

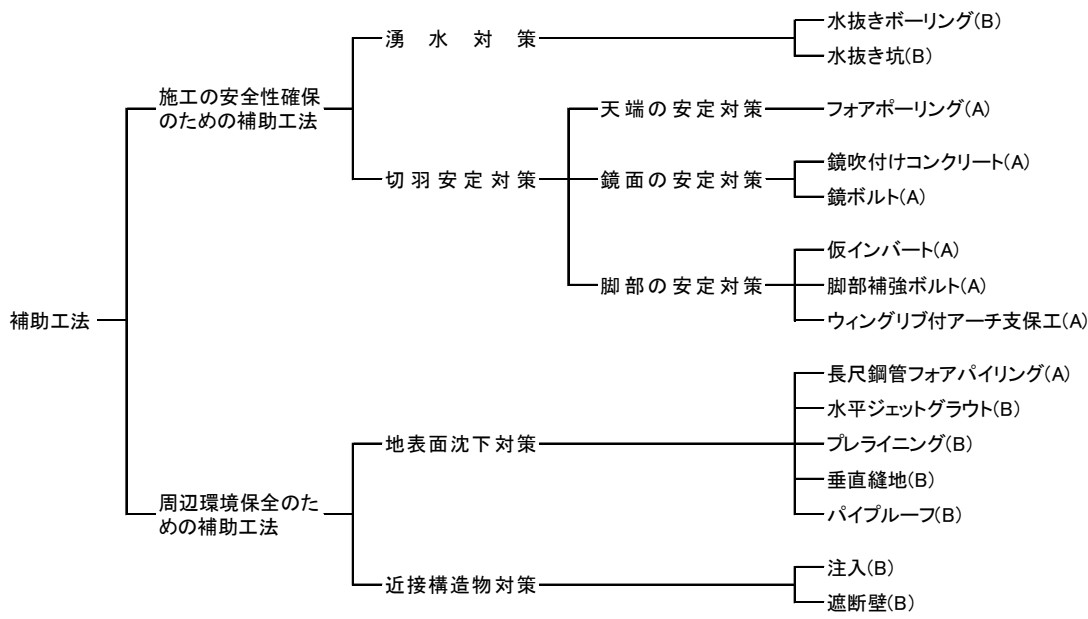
11. 補助工法

11-1 概説

吹付コンクリート、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、対処することが適切でない場合に、切羽の安定、施工の安全性、並びに周辺環境の保全のため、主に地山条件の改善を図る目的で適用される補助的または特殊な工法を補助工法という。

代表的な補助工法とその使用目的による分類を表11-1に示す。

表 11-1 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

(1) 設計時の補助工法適用について

当初設計に補助工法を盛り込むことが合理的と判断される場合には、地山条件、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の施工法についても補助工法に適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。

(2) 施工中の補助工法の適用について

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うえで、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。

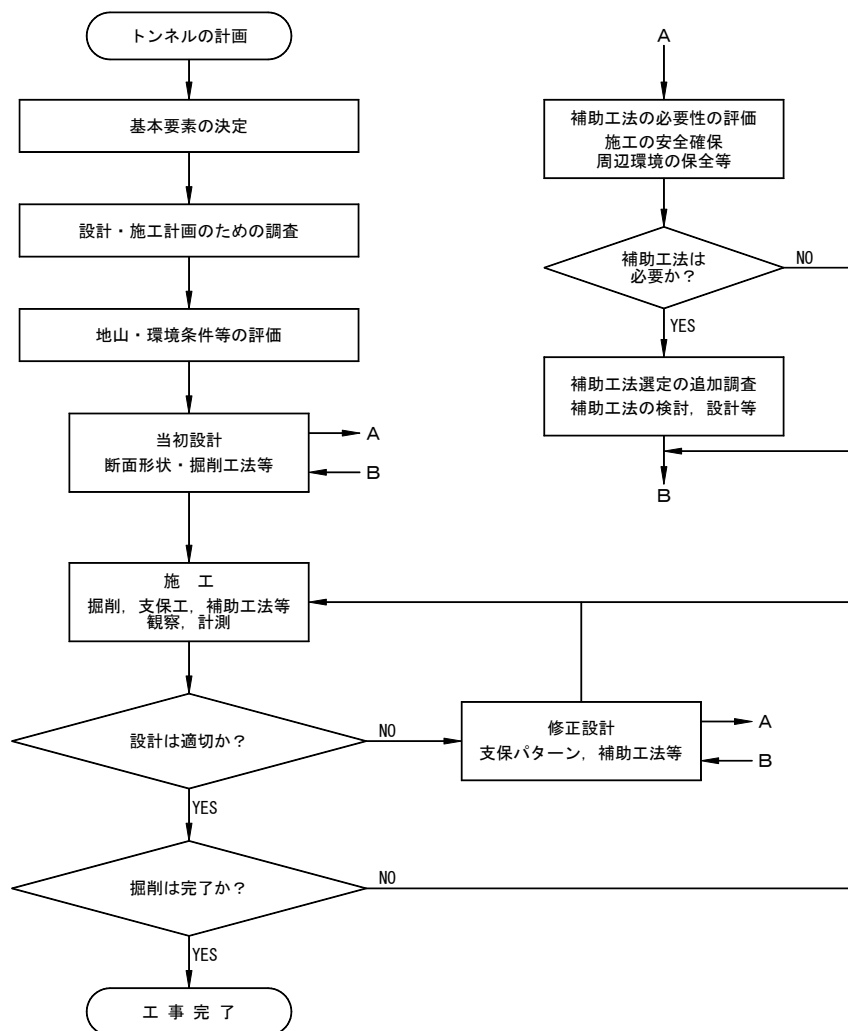


図 11-1 補助工法に着目したトンネルの調査・設計・施工の流れ

トンネル標準示方書
〔山岳工法編〕・同解説
(2016年制定)第6編,
第1章, 1. 1

トンネル標準示方書
〔山岳工法編〕・同解説
(2016年制定)第6編,
第1章, 1. 2

11-2 補助工法の選定

当初設計に補助工法を計画することが合理的であると判断される場合、または、トンネルの施工中に補助工法の必要が認められた場合には、地山条件、施工の安全性、施工サイクルへの影響、周辺環境への影響等を考慮し、目的、効果、安全性、施工性及び経済性について検討を行い、合理的な工法を選定する必要がある。代表的な補助工法についてその使用目的と対象地山に分類したものを表11-2に示す。なお、選定に際しては「NEXCO設計要領第三集トンネル」の6-2～6-4を参考としてもよい。

表 11-2 補助工法の選定(「トンネル標準示方書」を一部加筆修正)

工 法		目 的						対象地山			適用 区分			
		施工の安全確保			周辺環境の保全									
		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	硬 岩	軟 岩	未 固 結				
		天端の 安 定	鏡面の 安 定	脚部の 安 定										
天端 の 補 強	フォアポーリング	○						○	○	○	*1			
	長尺フォアバイリング	○					○	○		○	*3			
	水平ジェットグラウト	○	○	○			○	○			○	*3		
	スリットコンクリート	○					○	○			○	*3		
	パイプルーフ	○					○	○			○	○	*3	
鏡面 の 補 強	鏡吹付コンクリート		○					○	○	○	*1			
	鏡ボルト		○				○		○	○	○	*1		
脚部 の 補 強	ウイングリブ付き鋼製支保工			○			○			○	○	*1		
	脚部吹付コンクリート			○			○			○	○	*1		
	仮インバート			○			○			○	○	*1		
	脚部補強ボルト			○			○			○	○	*1		
	脚部補強パイル			○			○			○	○	*2		
	脚部補強サイドパイル			○			○			○	○	*2		
	脚部補強注入			○			○			○	○	*3		
地下 水位 対 策	排 水	水抜きボーリング	○	○	○	○			○	○	○	*1		
		ウェルポイント	○	○	○	○						○	*3	
		ディープウェル	○	○	○	○						○	*3	
		水抜き坑	○	○	○	○				○	○	○	*3	
	止 水	止水注入工法	○	○	○	○	○			○	○	○	*3	
		凍結工法				○	○						○	*3
		圧気工法					○	○					○	*3
	遮水壁工法				○	○						○	*3	
地山 補 強	垂直縫地工法	○		○			○			○	○	*3		
	注入工法、攪拌工法	○		○			○	○			○	○	*3	
	遮断壁工法							○				○	*3	

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、材料で対処が可能な対策

*2 適用する工法によって通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が可能な工法と困難な工法がある対策

*3 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が困難で、専用の設備等を要する対策

11-3 薬液注入による施工管理

薬液注入材を採用する場合は、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について」(建設省事務次官通達 昭和49年7月10日)によるものとする。

なお、ウレタン注入材については、「山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン(東日本高速道路株式会社・中日本高速道路株式会社・西日本高速道路株式会社(令和2年2月))」を参考にすること。

トンネル標準示方書

〔山岳工法編〕・同解説
(2016年制定)第6編,
第1章, 1.2

道路トンネル技術基準
(構造編)・同解説
(H15.11)第4編6.(1)
(一部加筆修正)

12. 観察・計測

12-1 観察・計測の目的

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

道路トンネル観察・計測指針(H21.2)2-2

12-2 観察・計測の分類

トンネルの施工中に行う観察・計測は計測Aと計測Bに分類する。

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

計測工Aおよび計測工Bの調査項目と内容を表12-1に示す。

表 12-1 調査の項目と内容

計測項目		計測によって求められるおもな事項	計測種別 ^{注1)}
坑内観察調査		①切羽の自立性、素掘面の安定性 ②岩質、断層・破碎帯、褶曲構造、変質帯等の性状把握 ③支保工の変状把握 ④当初の地山区分の再評価	A
1 原位 位置 調査 ・ 試験	坑内弾性波速度測定	①当初の地山区分の再評価 ②緩み領域 ③地層の亀裂、変質の程度 ④岩盤としての強度の把握	B
	ボーリング調査	①岩質、断層・破碎帯、褶曲構造、変質帯、ガス等の性状把握 ②地山試料の採取	
	ボーリング孔を利用した調査	地耐力(標準貫入試験)、水圧、透水試験(湧水圧試験)、変形係数(孔内水平載荷試験)	
	岩盤直接せん断試験	粘着力(c)、内部摩擦角(ϕ)、残留強度(c' 、 ϕ')、変形係数	
	ジャッキ試験(平板載荷試験)	変形係数、地盤反力係数	
	ポイントロード試験(点載荷試験)	点載荷強度	注2)
	シュミットハンマー試験	シュミットハンマー反発値	注2)
	針貫入試験	針貫入勾配	
	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度(σ_c)、静ヤング率(E_s)、静ポアソン比(ν_s)	B ^{注3)}
2 地 山 試 料 試 験	超音波伝播速度測定	P波速度(V_p)、S波速度(V_s)、動ヤング率(E_d)、動ポアソン比(ν_d)	
	単位体積重量試験	単位体積重量(γ)、含水比(w)	
	吸水率試験	吸水率	
	圧裂引張試験	圧裂引張強度(σ_t)	
	クリープ試験	クリープ定数	
	粒度分析試験	土砂地山の場合、切羽の安定性の判断資料とする 泥岩、温泉余土等の場合、膨張性の判断資料とする	
	浸水崩壊度試験(スレーキング試験)	軟岩の場合、水に対する安定性の判断資料とする	
	三軸圧縮試験	粘着力(c)、内部摩擦角(ϕ)、残留強度(c' 、 ϕ')	
	X線分析試験	粘土鉱物の種類(膨張性粘土の有無)	
3 計 測	陽イオン交換容量試験	粘土鉱物の含有量の推定	
	天端・脚部沈下測定	トンネル天端・脚部の絶対沈下量を監視し断面の変形状態を知り、トンネル天端・脚部の安定性を判断する	A
	内空変位測定	変位量、変位速度、変位収束状況、断面の変形状態により、①周辺地山の安定性 ②支保工の設計・施工の妥当性 ③覆工の施工時期等を判断する	A
	地表面沈下測定	坑口部や土被りの小さい区間でトンネル縦断方向に地表面の沈下量を測定し、トンネル掘削の地表面への影響とトンネルの安定性を評価する	A ^{注4)}
	坑内地中変位測定	トンネル周辺の緩み領域、変位量を知り、ロックボルトの長さ、設計、施工の妥当性を判断する	B
	ロックボルト軸力測定	ロックボルトに生じたひずみから、ロックボルト軸力を算出し、効果の確認、ロックボルト長、ロックボルト径の適否を判断する	B
	吹付けコンクリート応力測定	吹付けコンクリート応力から、支保効果の確認、増吹き必要性等を判断する	B ^{注5)}
	地表面・地中の変位測定	トンネル掘削による地表面への影響、沈下防止対策の効果判定、トンネル周辺の緩み範囲を推定する	B
	鋼アーチ支保工応力測定	鋼アーチ支保工応力により支保工の大きさ、ピッチの適否を判断する 鋼アーチ支保工に作用する土圧の大きさ、方向、側圧係数を推定する	B
	覆工応力測定	覆工コンクリートの安定性、双設トンネルの相互干渉の有無を確認する	B
	ロックボルト引抜き試験	ロックボルトの定着効果を確認し、引抜き耐力から適正な定着方式や、ロックボルトの種類の選定を目的として実施する	B ^{注6)}
	A E 測定	山はね現象の発生の危険度を評価する	B
4 前 方 探 査	盤ぶくれ測定	インバートの必要性、効果の判定をする	B
	坑内弾性波探査	切羽前方にある断層・破碎帯等の位置や幅等を把握する	
	削孔検層法	削孔速度や削孔のエネルギーを算定し、地山状況との比較により断層・破碎帯等の位置や幅等を把握する	
	探りノミ	切羽前方の地質状況や地下水状況を簡易に把握する	

道路トンネル観察・計測指針(H21. 2) 2-2

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

注2) 場合によっては計測Aに含まれることがある。

注3) 地山試料試験の試験項目は地山条件に応じて選定する。

注4) 地表面沈下測定にはトンネル中心線上に測点を設置する計測Aのほか、トンネル横断方向にも測点を設置する計測Bがある。

注5) 吹付けコンクリート応力測定のうち、トンネル半径方向の測定を背面土圧測定、接線方向の測定を吹付けコンクリート応力測定とよぶ。

注6) ここでいうロックボルト引抜き試験は、施工前あるいは掘削の初期段階で実施するものであり、日常の施工管理としてのロックボルト引抜き試験は計測Bとしては取り扱わない。

12-3 計測A

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

- 1) 坑内観察調査
 - 2) 天端・脚部沈下測定
 - 3) 内空変位測定
 - 4) 地表沈下測定(坑口部および土被りの浅いトンネル)
- (1) 天端・脚部沈下、内空変位の測定の間隔と頻度

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

道路トンネル観察・計測
指針(H21.2)3-2-2

表 12-2 測定の間隔

条件 地山等級	坑口付近	土被り 2D 以下 (D: トンネル掘削幅)	施工初期 の 段 階	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。

表 12-3 測定の頻度

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

注) Dはトンネル掘削幅

(2) 測定位置

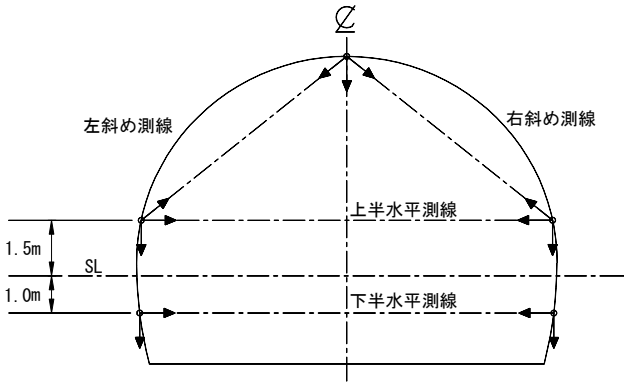


図 12-2 測定位置の例

測点を設置する上で、以下のような点に留意するとよい。

- ①地山がよく、変位が非常に小さい場合や小断面を掘削する場合には、下半盤の水平測線を省略してよい。
- ②変位が大きい場合や偏圧が著しい場合、盤ぶくれ等の特殊地山、あるいは大断面トンネルでは、必要に応じてアーチ肩部の左右等に測点を追加して測定する。
- ③中壁分割工法の場合には、中壁に測点を追加して測定する。ただし、通常の2車線断面トンネルの場合には上半盤の高さがS L付近の位置になるが、大断面トンネルの場合には上半盤の高さがS L付近の位置になるとは限らない。このような場合、測線の位置は上半盤の底盤から1.0～1.5m程度の高さの位置に設定する必要がある。

(3) 地表沈下測定

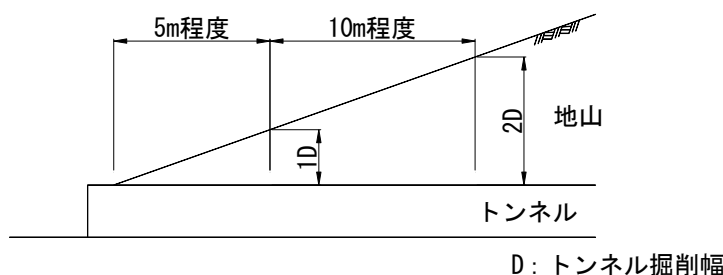


図 12-5 地表沈下の測定間隔

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

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

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

12-4 計測B

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

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

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

道路トンネル観察・計測
指針(H21.2)3-2-3

道路トンネル観察・計測
指針(H21.2)3-3

トンネル標準示方書
[山岳工法編]・同解説
(2016年制定)第5編,
第4章,4.2.2

13. その他構造物の設計

13-1 避難坑、避難連絡坑

避難連絡坑は併設される上下線トンネル相互間を連絡するもので、トンネル内に設置される非常駐車帯の反対側側壁部に設ける。この設計にあたっては、原則とし

て「6. 支保工の設計」等の諸規定に準じて行うものとし、その内空断面は図13-1を標準とするが、長大トンネル等については別途考慮し、担当課と協議するものとする。

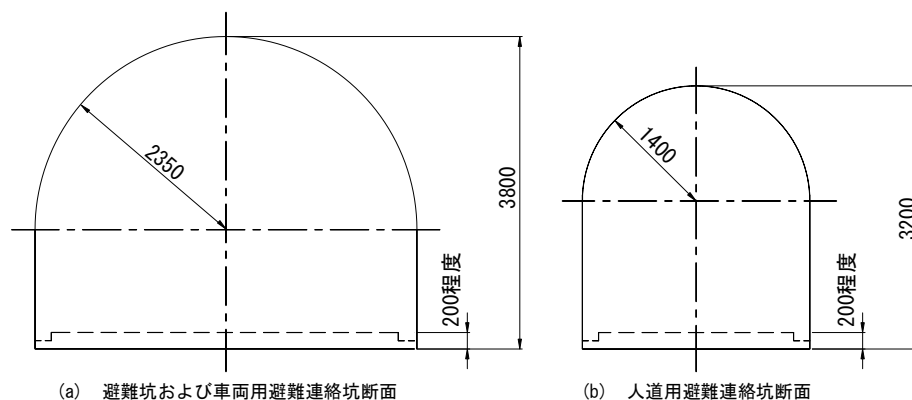


図 13-1 避難坑、避難連絡坑の内空断面

避難連絡坑の計画高は、排水勾配、本坑への取り付け等を検討して決定するものとし、その出入口部は利用者の非常時における進入脱出に支障を来さないように本坑との接続部の段差を小さくするものとする。また、連絡坑内は斜路化に努め、延長が長い場合には途中に踊り場を設けたり、勾配が急な場合は手摺りを設けるなど、避難者の安全に設計上の配慮を行うものとする。(図13-2参照)

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

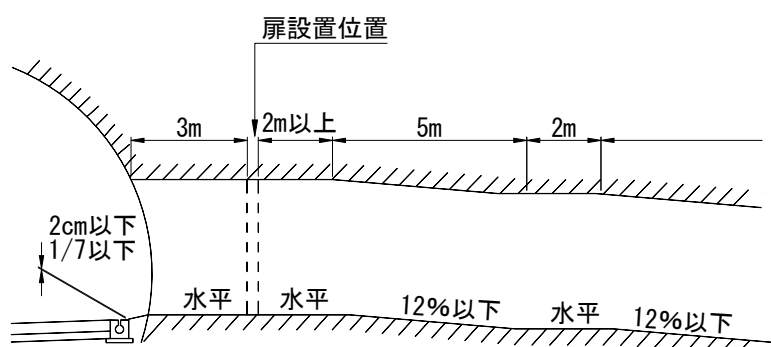
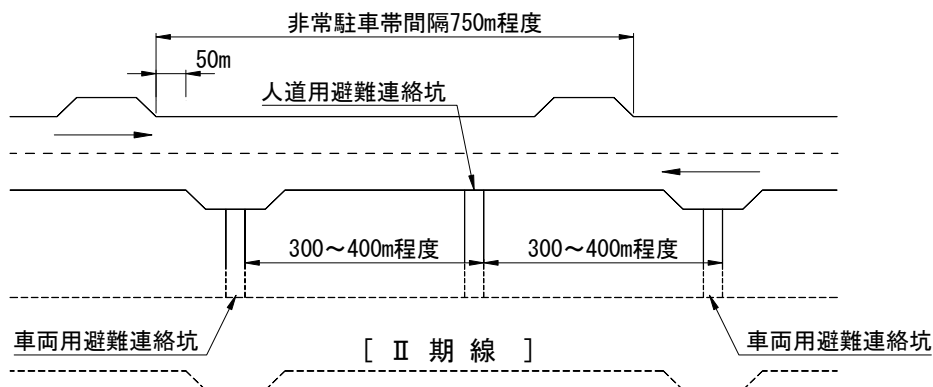


図 13-2 標準的な斜路の例

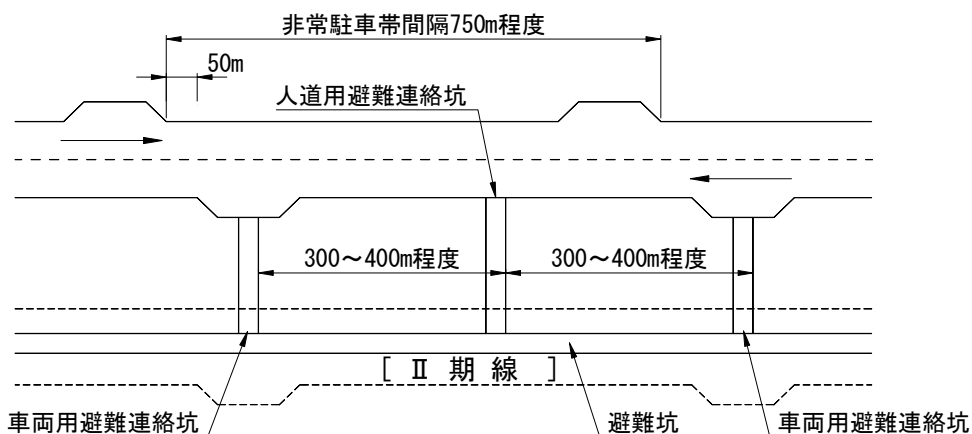
なお、避難連絡坑と本坑との交差は原則として直交とするが、施工上の便宜を図る上で斜交とすることもできる。

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

- ① 避難連絡坑は、300～400m程度の間隔でⅡ期線に向けてⅠ期線施工時にある程度掘削するものとし、原則としてⅠ期線の将来追越車線側の非常駐車帯と対の位置に設置にするものとする。



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



13-2 諸設備のための箱抜き

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

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

箱抜きの形状寸法の小さいものについては、一般に覆工等の補強は必要としないが、形式寸法の大きな箱抜き(例えば、非常電話ボックス)は、覆工等に悪影響を及ぼすこともあるので、必要に応じて覆工等の補強を考慮しておかなければならない。なお、機器立ち上げ部の配管については埋め込み式とすることを標準とする。

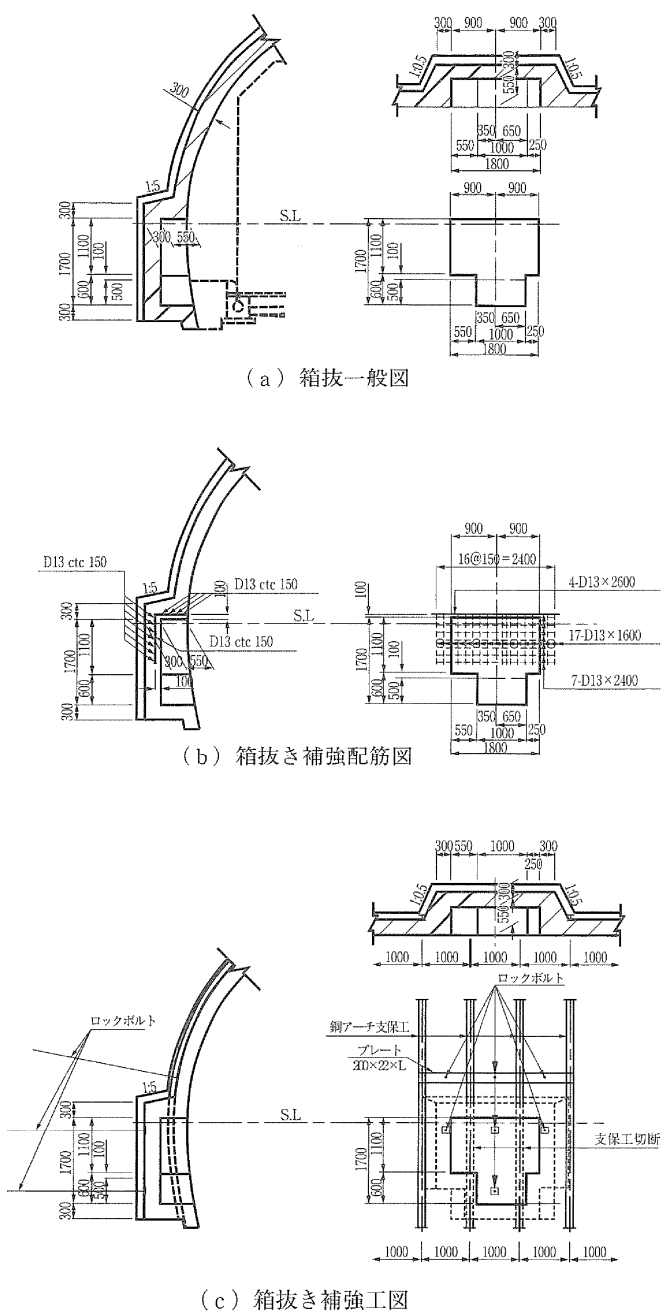


図 13-3 箱抜き補強工の例

道路トンネル技術基準

(構造編)・同解説

(H15. 11) 第3編7. 7-3

14. トンネル照明設計

(1) トンネル照明施設設計に用いる基準書等

トンネル照明施設の設計は、「道路照明施設設置基準・同解説」（平成19年10月）、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）平成29年版（トンネル照明）」、「道路トンネル照明器材仕様書」（平成30年改版）等によるものとする。

電気通信施設設計要
領・同解説（電気編）
（H29年版）10-1

(2) 設置計画

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

(3) 光源の選定

光源は、「道路トンネル照明器材仕様書」（平成30年改版）に規程された性能を満足するものとし、ライフサイクルコスト等を勘案して選定するものとする。
また、光源の種類は単一光源に限らず、これらの光源を組み合わせることもできる。

(4) 器具の選定

照明器具は直付け型または埋め込み型で、「道路トンネル照明器材仕様書」（平成30年改訂）に規程された性能を満足するものとする。

(5) 照明方式、照明器具の配列、取り付け高さ、

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

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

器具は、建築限界外の路面上4～5m程度以上の高さとなる位置に、取り付ける。

(6) 基本照明の性能指標

道路照明施設設置基
準・同解説（H19.10）5-3

1) 平均路面輝度

基本照明における平均路面輝度は表14-1を標準とするが、交通量が10,000台/日未満の場合は1/2に低減させてもよい。ただし0.7cd/m²未満であってはならない。

2) 輝度均斉度

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

3) 視機能低下グレア

視機能低下グレアは、相対閾値増加15%以下を原則とする。

4) 誘導性

適切な誘導性が得られるよう、灯具の高さ、配列及び間隔等を決定すること。

表 14-1 基本照明の平均路面輝度

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

(7) 照明の調光

基本照明の平均路面輝度は夜間等においては、表14-1に示す値よりも低い値(夜間1/2、深夜1/4程度まで)とすることができるが、この値は最低でも0.7cd/m²、総合均斉度0.4を下回らないものとする。

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

(8) 灯具間隔

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

ちらつき防止のために避けるべき灯具間隔

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

(9) 保守率

照明施設は、経年による光源の光束低下や器具の汚れにより路面輝度が設置当初の値よりも減少するため、設計時にあらかじめこれを見込んでおく必要がある。この係数を保守率というが、この値は道路構造、交通状況、ランプの交換間隔やその方法、清掃間隔によって異なり、標準値は0.5～0.75とされている。本要領では「電気通信施設設計要領・同解説(電気編)」の基準に従い表14-2に示す値を標準とする。

道路照明施設設置基準・同解説(H19.10)7-2

表14-2 保守率

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

(10) 停電時照明

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

また、この照明は停電後10分以上持続するものとする。

(11) 接続道路の照明

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

(12) 非常駐車帯の照明

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

(13) 配線・配管設計

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

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

道路照明施設設置基準・同解説(H19.10)5-6

電気通信施設設計要領・同解説(電気編)(H29年版)10-2-9

道路照明施設設置基準・同解説(H19.10)5-7

電気通信施設設計要領・同解説(電気編)(H29年版)10-5-1

15. トンネル非常用設備

(1) トンネル非常用設備設計に用いる基準書等

トンネル非常用設備の設計は、「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説」（令和元年9月）によるものとする。

(2) 施設設置計画

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

- 1) トンネルの非常用施設設置のための等級区分は、その延長及び交通量に応じて図15-1に示すように区分することを標準とする。

ただし、高速自動車国道等設計速度が高い道路のトンネルで延長が長いトンネルまたは平面線形、もしくは縦断線形の特屈曲している等見通しの悪いトンネルにあたっては必要に応じて一階級上位の等級としてよい。

また、交通量が40,000台/日以上 of トンネルにおいては、交通状況、トンネル周辺状況等を考慮し、個別に等級を定める。

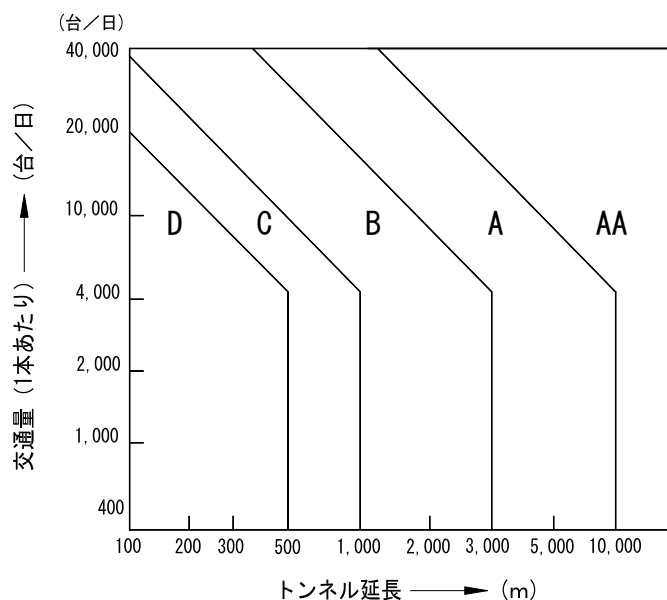


図 15-1 トンネル等級区分

- 2) トンネルには、火災その他の非常の際の連絡や危険防止、事故の拡大防止のため、トンネル等級区分に応じて、表15-1に示す施設を設置するものとする。

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説
(R1.9)3-2

表 15-1 トンネル等級別の非常用施設

トンネル等級		AA	A	B	C	D
非常用施設	通報設備	○	○	○	○	
	警報設備	○	○	○	○	
通報設備	通話型通報設備	○	○	○	○	
	操作型通報設備	○	○	○	○	
警報設備	非常警報設備	○	○	○	○	
	消火設備	○	○	○	○	
消火設備	消火器	○	○	○	○	
	消火栓設備	○	○	○	○	
避難誘導設備	誘導標示設備	○	○	○	○	
	避難情報提供設備	○	△			
	避難通路	○	△			
	排煙設備	○	△			
その他の設備	給水栓設備	○	△			
	線通信補助設備	○	△			
	水噴霧設備	○	△			
	監視設備	○	△			

注) 上表中「○印は設置する」、「△印は必要に応じて設置する」ことを示す。

(3) 各施設の配置計画

1) 通報設備

① 通話型通報設備

通話型通報設備として、従前より採用されているものに非常電話がある。非常電話は電話機と、その位置を明示するための表示灯等により構成される。

配置は、図15-2に示すように200m間隔の片側配置としているのが一般的である。なお、対面通行トンネルにおいては片側200m間隔の千鳥配置としている例もある。また、トンネル内の非常駐車帯に設置される例が多い。

さらに、トンネル内で火災その他の事故等が発生した場合には、トンネル内の利用者の行動としてまず坑口に向かうことが予想されること、また、トンネルに進入することを止めた利用者が坑口付近に滞留すること等があるため、坑口付近にも非常電話を設置する例が多い。なお、案内板は電話機を設置する側に25m間隔で設置する。

電話機の高さは、トンネル内の利用者が容易に操作できるように、路面または監視員通路面より1.2～1.5mに設置している例が多い。なお、近年ではバリアフリーに配慮し、床面より0.8～1.2mに設置している例もある。

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説
(R1.9)4-2

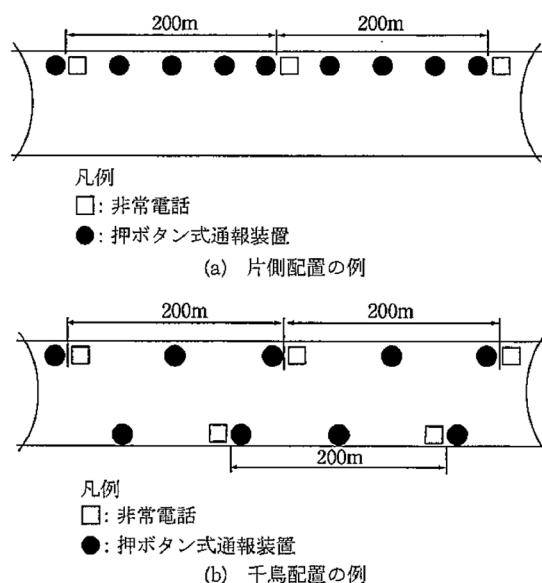


図 15-2 非常電話の配置の例

② 操作型通報設備

操作型通報設備として、従前より採用されているものに押ボタン式通報装置がある。押ボタン式通報装置は、押ボタンスイッチ、赤色表示灯等により構成される。

配置は、図15-3に示すように、50m間隔の片側配置としているのが一般的である。なお、対面通行トンネルにおいては50m間隔の千鳥配置(片側100m間隔の千鳥配置)としている例もある。また、同一箇所に非常電話、押ボタン式通報装置、消火器、消火栓設備が設置される場合には、覆工の箱抜きを一体化して併設し、配管の合理化や維持管理の容易性に配慮している例が多い。

押ボタンスイッチの取付高さは、利用者が容易に操作できるよう、路面または監視員通路面より0.8～1.5mとしているのが一般的である。

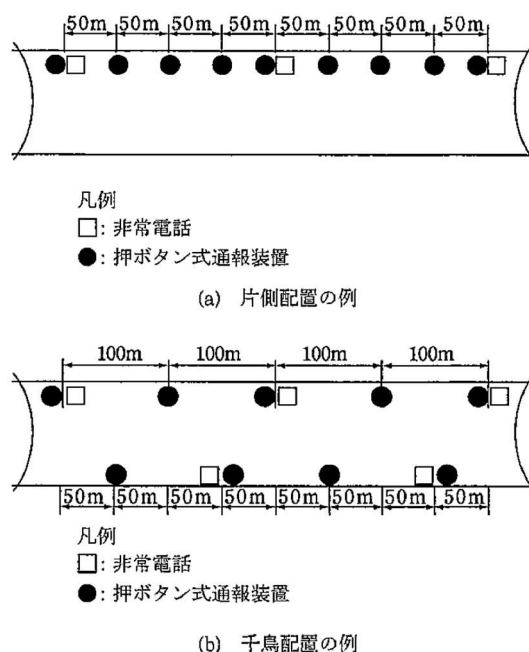


図 15-3 押ボタン式通報装置の配置の例

③自動通報設備

自動通報設備は以下の条件に合致する場合に設置する。

- a) AA等級のトンネル
- b) A等級のトンネルで、水噴霧設備が設置され、火災発生 of 早期検知および箇所
の特定が必要な場合
- c) A等級のトンネルで、排煙設備が設置され、火災初期段階の運用のため、火災
発生 of 早期検知および箇所 of 特定が必要な場合
- d) A等級のトンネルで、この他、トンネル of 管理上、必要と判断される場合

自動通報設備として、従前より採用されているものに火災検知器がある。

検知器は、自動車のヘッドライト、緊急自動車等の回転灯、トンネル内照明の壁面反射等により誤作動しないものとし、作動原理の異なる「二波長式ちらつき型火災検知器」または「CO₂共鳴式ちらつき型火災検知器」の設置が一般的である。

設置間隔は、検知器 of 火災検知能力により決定され、片側25m間隔が一般的であるが、50m間隔で設置されている例も多い。

設置位置は、火源の見通しのよい場所とし、維持管理 of 容易さを考慮して路面または監視員通路面から1.2～1.5mに設置する例が多い。

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(R1.9)3-2

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(R1.9)4-2

2) 警報設備

①非常警報設備

警報表示板 of 設置位置は、トンネル坑口付近で、トンネル利用者などが表示内容を十分視認し、安全に停止できるような位置に設けるものとし、図15-4に走行速度と警報表示板 of 設置位置 of 関係例を示す。



項 目	設計速度		
	60km/h	80km/h	100km/h
A : 停止余裕距離 (料金所なしの場合)	50m	50m	50m
B : 車の制限距離 (反応距離+ブレーキを踏んで停止するまでの距離) ¹⁾	85m	140m	200m
C : 表示が運転者の視野外となる距離 ²⁾	30～40m		
D : A+B-C : トンネル坑口と表示装置の距離	95m～105m	150～160m	210～220m
E : 判読所要距離 (4文字の場合) ²⁾	50m	67m	83m
F : C+E : 最小限 of 視認距離	80～90m	97～107m	113～123m

図 15-4 警報表示装置 of 設置位置 of 例

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(R1.9)4-3

3) 消火設備

①消火器

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

消火器箱の材質はステンレス鋼製を標準とする。

消火器の配置位置は、一方通行および対面通行トンネルにおいて片側50m間隔としているのが一般的である。また、対面通行トンネルにおいて片側100m間隔の千鳥配置としている例もある。

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

②消火栓設備

消火栓は、口径40mm、放水量130L/min、放水圧力0.29MPaを標準とし、ホース長さは最低30mであること。

消火栓箱の材質はステンレス鋼製を標準とする。

消火栓の設置位置は、片側50m間隔を標準とする。

消火栓箱は、材質及び塗装を前項の消火器箱と同様とする。

4) 避難誘導設備

①誘導表示設備

設置間隔は両側200m以下を標準とするが、配置は対向および千鳥の例がある。

設置高さは一般的には1.5m程度の高さに設置している例が多い。

誘導表示板には、内照式と反射式があり、内照式を採用する場合はLEDを光源とし、停電時対策として無停電電源装置や予備発電設備により30分以上の機能を維持できるものとする。

②避難情報提供設備

トンネル内で発生した火災その他の事故に対し、道路管理者等からトンネル内の利用者に避難を促す情報等を提供するための設備である。

a) 車内の利用者に対する情報提供機能

道路管理者等から車内に滞在している利用者に対し、聴覚あるいは視覚等を通じ、避難を促す情報等を提供できるようにするため、一般に、ラジオ再放送設備(割込み機能付き)が用いられている。ラジオ再放送設備は、平常時はラジオ放送波を受信増幅し、誘導線等によりトンネル内でも明かり部と同様なラジオ放送の受信を可能とする設備である。

b) 車外の利用者に対する情報提供機能

道路管理者等から車外へ出て避難をしようとしている利用者に対し、聴覚あるいは視覚を通じ、避難を促す情報等を提供できるようにするため、一般に、拡声放送設備が用いられている。拡声放送設備は、非常時に道路管理者から車外の利用者に情報を伝えるものである。同設備はトンネル内にスピーカーを設置し、拡声アンプからの増幅された電気信号を音声に変えて放送を行うものである。

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(R1.9)4-4

道路トンネル非常用施設
設置基準・同解説
(R1.9)4-5

③避難通路

避難通路は以下の条件に合致する場合に設置する。

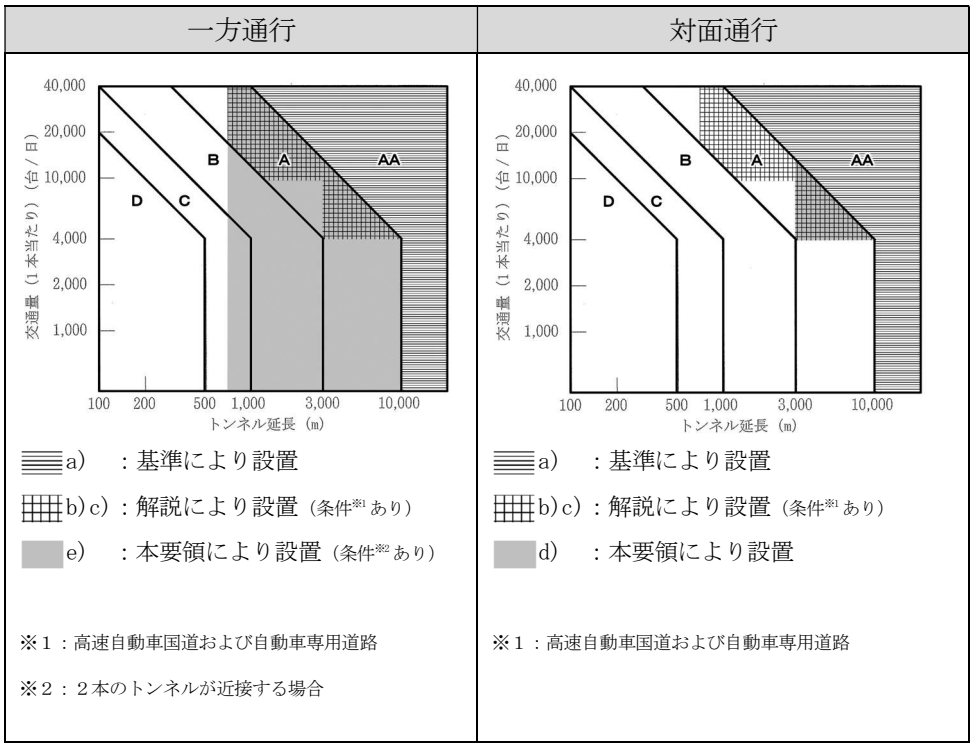
- a) AA等級のトンネル
- b) A等級の高速自動車国道および自動車専用道路で、一定程度以上(750m以上)の延長を有し、トンネル1本当たりの交通量が特に多い(10,000台/日以上)トンネル
- c) A等級の高速自動車国道および自動車専用道路で、延長が長く(3,000m以上)、トンネル1本当たりの交通量が多い(4,000台/日以上)トンネル

また、上記 a)～c)に該当しないトンネルにおいても、以下の条件のいずれかに該当するトンネルには避難通路を設置することが望ましい。

- d) 延長3,000m以上、計画交通量4,000台/日以上 of 対面通行のトンネル
- e) 方向別に分離された2本のトンネルが近接する場合で、延長750m以上の一方通行のトンネル

避難通路の設置間隔は、上記 a)～c)および e)に該当するトンネルは 300m～400m 程度を標準とし、上記 d)のみに該当するトンネルは 750m 程度を標準とする。

なお、上記 d)のみに該当するトンネルであっても、排煙設備が設置されないトンネル、渋滞等により火災地点より進行方向前方に車両の滞留が予想されるトンネル、歩道付きのトンネルなどで、火災初期段階における排煙設備の運転が困難である場合は、必要に応じて 300m～400m 程度の間隔での設置を検討する。

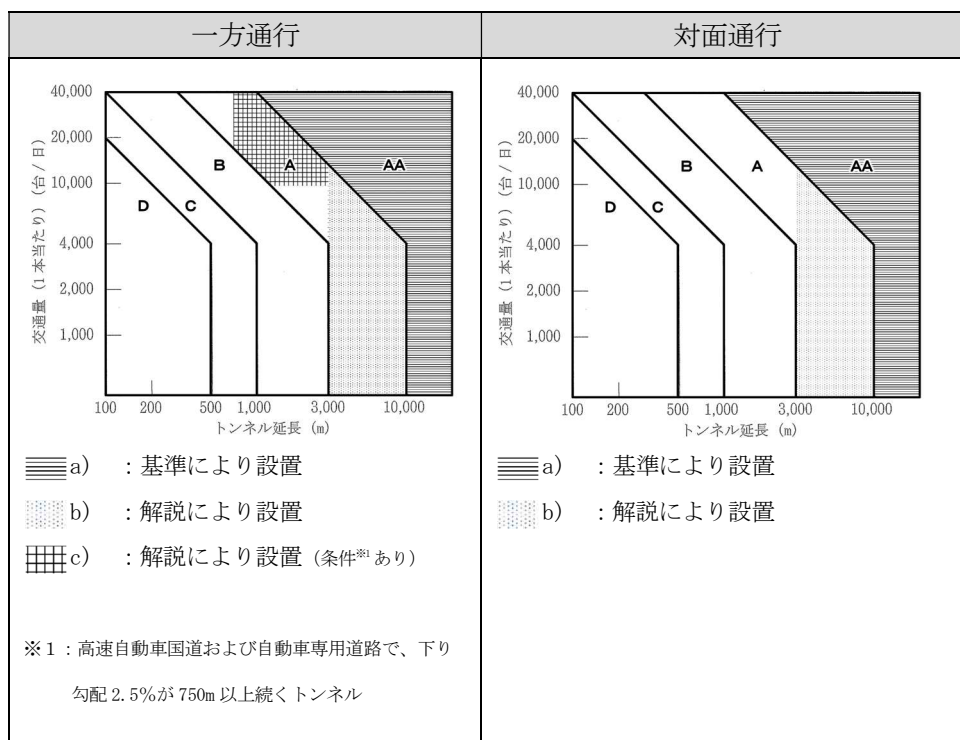


③排煙設備

トンネル排煙設備は以下の条件に合致する場合に設置する。

- AA等級のトンネル
- A等級で延長3,000m以上のトンネル
- A等級の高速自動車国道および自動車専用道路で、2.5%以上の下り縦断勾配が750m以上続き、トンネル1本当たりの交通量が10,000台/日以上的一方通行のトンネル

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説
(R1.9)3-2



4) その他の設備

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

なお、設置に当たっては、前記の基準書によるものとする。

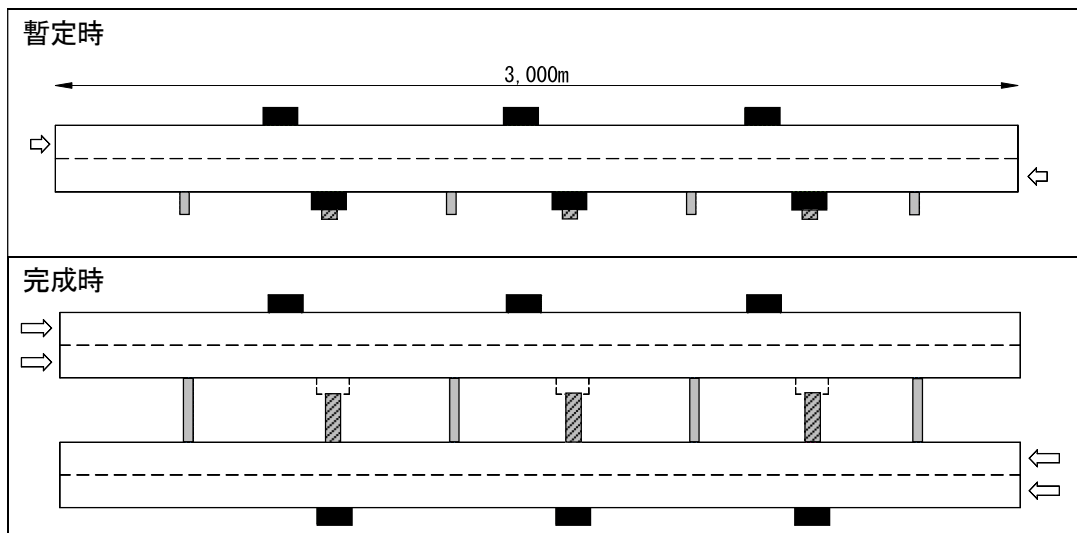
(4) 非常駐車帯と避難連絡坑の設置例

避難連絡坑は、避難以外に常時の維持管理にも利用されることや、緊急車両の通行などを考慮し、非常駐車帯の設置箇所では非常駐車帯と対に設置することを標準とする。

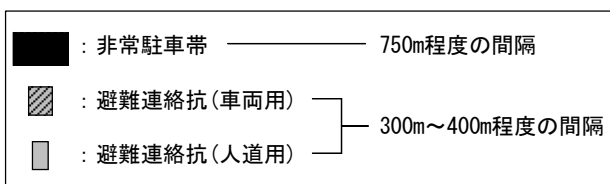
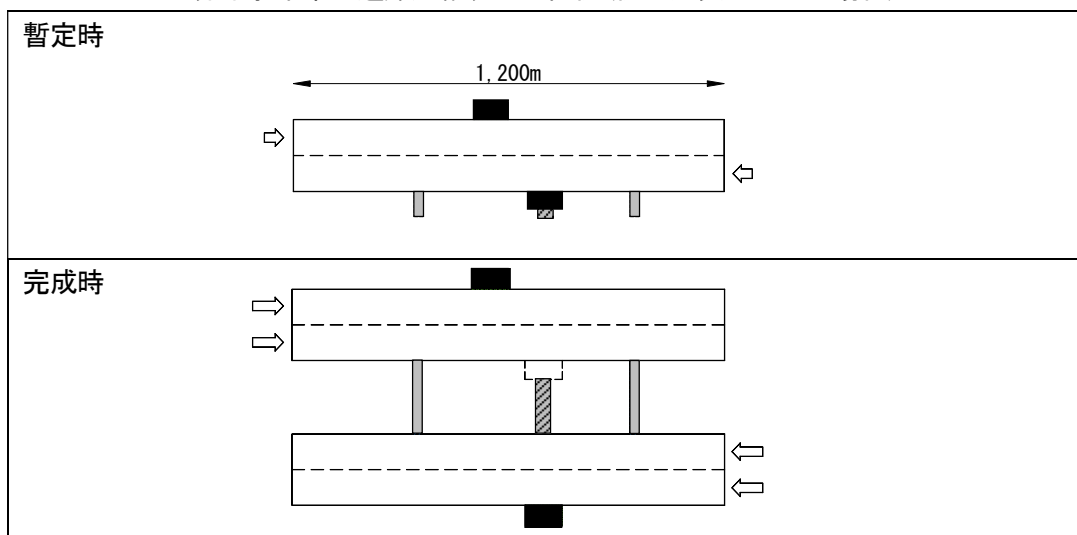
また、避難連絡坑の断面は、非常駐車帯と対に設置する箇所は車両用断面、それ以外は人道用断面を用いることを標準とする

道路トンネル非常用施設設置基準・同解説
(R1.9)3-2, 4-5

非常駐車帯と避難連絡坑の配置例(例：延長 3000m の場合)



非常駐車帯と避難連絡坑の配置例(例：延長 1200m の場合)



注 1) 避難連絡坑(車両用)の配置にあたっては緊急車両等の通行にも配慮すること。

注 2) 配置は標準的な例を示したものであり、個別条件に応じて検討すること。

(5) 配管・配線

1) 配管

- ①縦断部は歩道又は監査廊部の地中とする。
- ②機器への立上がり、立下り部は埋込を原則とする。
- ③コンクリート内埋設配管とする場合は、耐衝撃性硬質ビニール電線管(HI)とする。

2) 配線

- ①電源線はCVを原則とする。
- ②信号線はCPEV、CVVを原則とする。

(参考)
電気通信施設設計要
領・同解説(電気編)
(H29年版)10-5-1

16. 換気設備

16-1 換気設備の設計に用いる示方書等

換気設備の設計にあたっては、次の関係図書等に準拠して行うものとする。

関 係 図 書	発行年月	発 行 者
道路トンネル技術基準	H15. 11	日本道路協会
道路トンネル技術基準(換気編) 以下「換気基準」・同解説	H20. 10	日本道路協会
道路構造令の解説と運用	R 3. 3	日本道路協会
道路の交通容量	S59. 9	日本道路協会

16-2 調査・計画

16-2-1 一般

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

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

16-2-2 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

交通量および大型車混入率、交通特性等の調査

(2) 気象調査

自然換気力の算定のための坑口間差圧、風速、風向の調査

ただし、現実には難しい場合は、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説による一般値を用いても良い。

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20. 10) 2-1

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20. 10) 2-2

(3) トンネル内現況調査

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

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

(4) トンネル外環境地用

換気により生ずる排気ガス、騒音等の影響が及ぶと思われる範囲の環境調査

(5) 地形・地物・地質調査

換気所および立坑、斜坑等の換気用、構造物の位置選定のための調査

16-2-3 設計に用いる交通量

設計に用いる交通量は、次のとおりとする。

換気施設の設計に用いる交通量は、当該トンネルの設計交通容量を用いることを原則とする。ただし、当該道路の設計時間交通量が設計交通容量を大幅に下回る場合には、交通量として設計時間交通量を用いることができる。

なお、交通の集中性等により渋滞走行が予想される場合には、これらの状況においても最低限の換気状態が確保されるかどうか等について、検討することが望ましい。

16-2-4 換気の対象物質および濃度

(1) 換気対象物質

トンネル換気施設設計の対象とする有害物質は、次のとおりとする。

生理的な影響を及ぼす物質 …………… 一酸化炭素 (CO)

視野環境に影響を及ぼす物質 …………… 煤煙

(2) 設計濃度

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

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

走行速度	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%	

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

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

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20. 10) 2-3

道路トンネル技術基準
(換気編)・同解説
(H20. 10) 2-4

16-2-5 換気施設の必要性の検討

(1) 対面通行トンネル

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

$$L \cdot N = 1000$$

但し、L：トンネル延長(km)

N：時間交通量(台/h)

(2) 一方通行トンネル

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

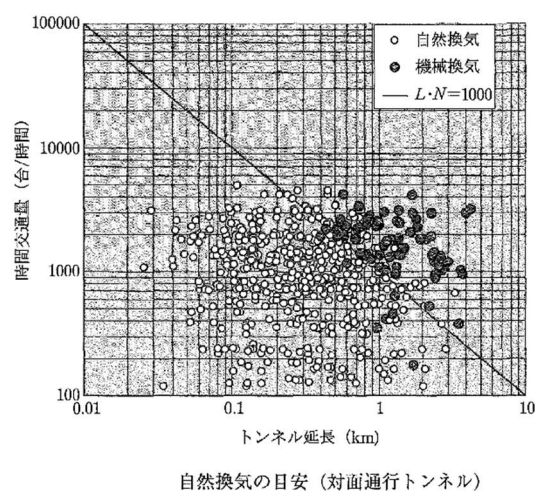
既往の実績によると、一方通行トンネルにおいて機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度となっている。

$$L \cdot N = 3000$$

但し、L：トンネル延長(km)

N：時間交通量(台/h)

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



道路トンネル技術基準

(換気編)・同解説

(H20.10)2-5

17. 内装工

17-1 概説

トンネル内装工には運転者が安全に走行できるための視環境の改善及び、視線誘導を目的とする一般内装と坑口付近の騒音低減を図ることを目的とする吸音内装とがある。

内装工の可否については担当課と協議すること。

18. 標準的な工程表作成の考え方

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

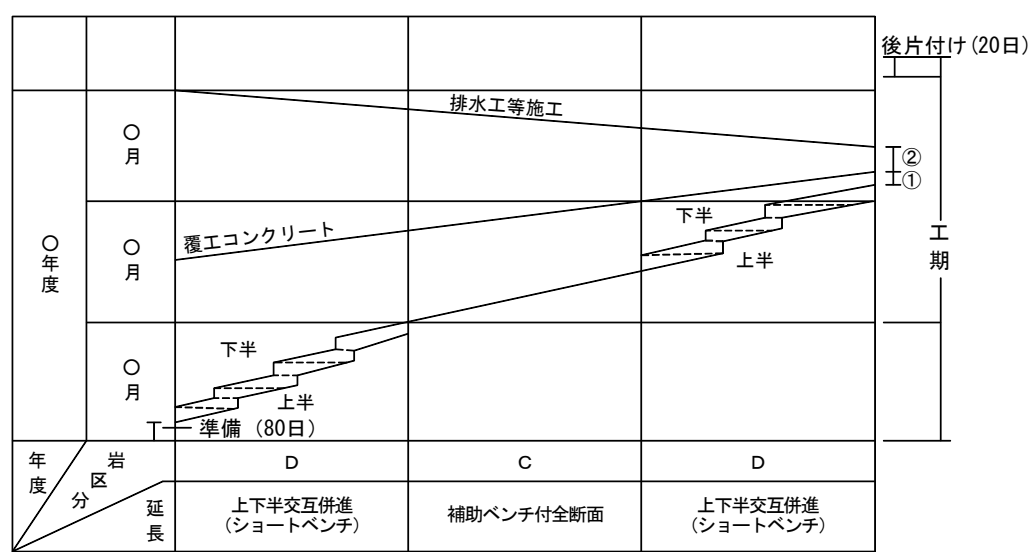
(1) 発破工法

必要工期 = 補助ベンチ付全断面掘削期間 + 上下半交互併進時の上半掘削期間 + 上下半交互併進時の下半掘削期間 + ① + ② + 排水工等雑工期間+準備及び後片付け + 土曜・日曜, 祝祭日, 夏・冬休み

土木工事標準積算基準書(道路編)トンネル工

直轄土木工事における適正な工期設定指針

標準的な工程表作成の考え方(参考)

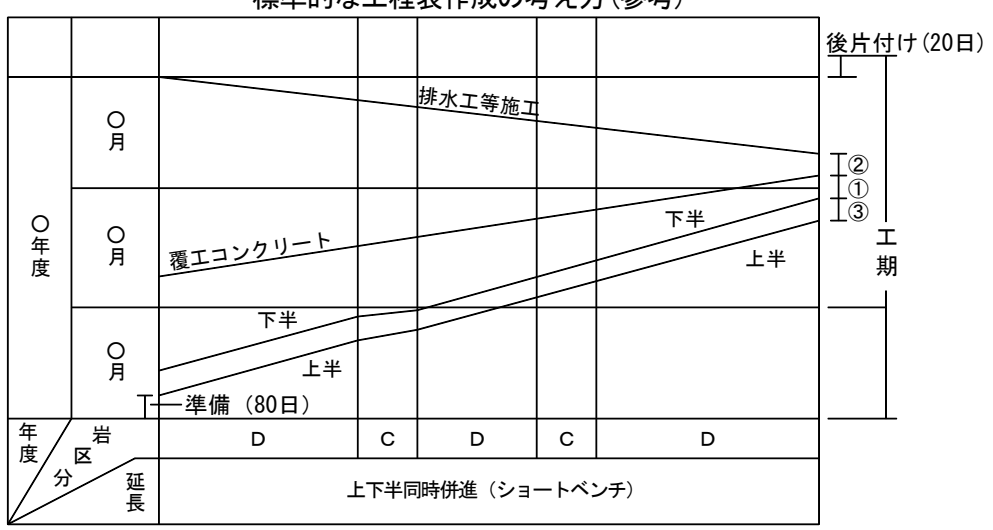


※①は30日、②は15日を標準とする。(特別な場合は別)

(2) 機械掘削工法

必要工期 = 上半掘削期間 + ① + ② + ③ + 排水工等雑工期間 + 準備及び後片付け + 土曜・日曜, 祝祭日, 夏・冬休み

標準的な工程表作成の考え方(参考)



※①は30日、②③は15日を標準とする。(特別な場合は別)

第2節 参考資料

1. 掘削機械(自由断面掘削機)

(1) 概要

岩石トンネル掘進機(自由断面掘削機)は元来、採鉱機械として発達し、その後、省力化あるいは急速施工等を目的として、軟岩用一般トンネルに使用されるようになった。また、最近では市街地近辺でのトンネル工事において発破の際に発生する種々の公害を避けるため、中硬岩および硬岩をも機械掘削で施工するケースが増えつつある。これはトンネルボーリングマシン(T・B・M)に比較して、小型軽量で機動性に富み、自由断面の切さくが可能、比較的低価格等の利点が考えられるためと思われる。

(2) 掘削機の構造と特長

自由断面掘削機の呼称は、ロードヘッダ、カッターローダ、ブームヘッダ、アルピネマイナなどと各社異なるが、構造は、クローラ式または、車輪式の走行台車と、それに搭載されたカッタードラム付ブームに分れ、掘削は、カッタードラムを上下左右に旋回しながら行い、ずりは、かき寄せ装置(ギャザリング装置)または、ずりはね上げ式によりコンベアーに乗せ後方へ運搬するものである。

(3) 掘削方式の選定

掘削方式の選定は下図にあたってはボーリング調査など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、検討するものとする。

(4) 掘削機の適用条件

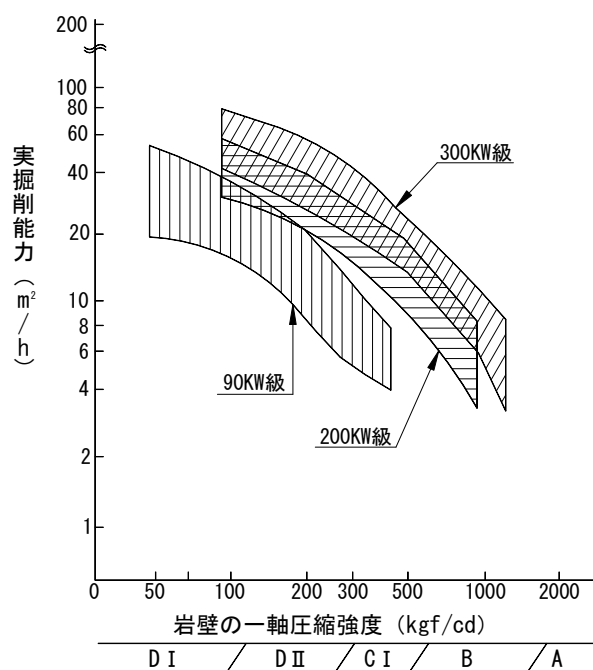
掘削機の選定にあたっては、トンネルの施工法、地質、掘削断面に適合したもので、かつ経済的で能率のよい機種を選定することが必要である。

低強度の岩質、未固結の地山で圧縮強度が $15,000\sim 20,000\text{kN/m}^2$ ($150\sim 200\text{kgf/cm}^2$)程度の軟岩質の地山であれば掘削は容易に可能であるが、石英を多く含む地質や礫層が介在する地質では、カッター(ビット)の損傷が激しく掘削コストが増大する。中硬岩用機種を使用すれば、圧縮強度が $50,000\sim 60,000\text{kN/m}^2$ ($500\sim 600\text{kgf/cm}^2$)程度の岩にも適用が可能であり、機種によっては $100,000\text{kN/m}^2$ ($1,000\text{kgf/cm}^2$)以上の硬岩の掘削実績もある。この場合、ビットの選択、掘削時の粉塵除去対策ならびに可能限度以上の硬岩に対する補助工法などについて、十分な検討を要する。

機械掘削を適用するにあたっては、経済的な掘削かどうか、掘削能力はどの程度か等を判断しなければならない。

掘削機による岩盤の掘削性については主に一軸圧縮強度、または、弾性波速度が判断の基準とされてきたが、岩質、亀裂の状態、含水状態にも大いに影響を受けるので、一概に決めることはできない。

したがって、それぞれの機種の適用地質、掘削能力を明らかにすることは極めて困難であるが、何らかの目安も必要と考えられるので、図1-1に岩石の圧縮強度と実掘削能力の関係の概略図を示す。



(注) 本表は、あくまでも1つの目安であり、岩質により大きく異なることがあるので注意すること。

図 1-1 掘削の能力と岩石の一軸圧縮強度の関係

(5) 掘削機の種類と選定条件

掘削機は、その構造から表1-1のように分類される。

自由断面掘削機の選定にあたって特に地質の要因は工事の成否をにぎる鍵である。メーカーの発表している公称能力は切さく可能という数字であり、経済掘進できる数値ではない。

表 1-1 掘削機械の分類

分類方式	機 械	特 長	機 種
掘削方式	カッタドラムがブーム軸回りに回転	ブーム伸縮、駆動機構が簡単で強固な構造にできる。	ロードヘッダ、ミニロードヘッダ、ブームヘッダ
	カッタドラムがブーム軸に対して直角に回転	掘削時の反力が上下方向に限定されるため、機体は軽量化できる。	アルピネマイナ、ミニヘッダ、カッタローダ、フライスローダ、モービルマイナ
ずり積込み方式	かき寄せ方式	掘削と積込装置が別個に構成されるため、個々の構造は強固にできるが、構造は複雑。	ロードヘッダ、ミニヘッダ、ブームヘッダ、アルピネマイナ、モービルマイナ
	かき上げ方式	構造が簡単で切さくと積込みが同時作業できる。 リングカット工法に適している。	カッタローダ、フライスローダ
	ブームスクリュウ方式	構造が簡単で、ズリ積込み時のトラブルが少ない。	ミニロードヘッダ、ミゼットマイナ
走行方式	クローラ方式	狭い坑内においても機動性がよく、不整地箇所でも自由に走行できる。	ロードヘッダ、アルピネマイナ、ブームヘッダ、カッタローダ、ミニヘッダ、フライスローダ、モービルマイナ
	レール方式	軟弱地盤に適するが、軟条布設作業が必要。	カッタローダ、フライスローダ、ミニロードヘッダ

2. 矢板工法

2-1 総 則

NATMに準ずる。なお、矢板工法の検討に当って本資料を用いる場合には、担当課と協議するものとする。

2-2 トンネルの設計

NATM準ずる。

2-3 内空断面の設計

2-3-1 内空断面の決定の諸条件

- (1) 換気設備の必要な場合は、その構造を十分検討のうえ内空断面に反映させなければならない。また、照明設備、非常用設備は、建築限界の余裕内に設けるものとする。
- (2) トンネル断面及び覆工厚は、側圧、かぶり、偏圧、土のゆるみ等地質、地形を十分検討して設計しなければならないが、トンネルの場合に最大荷重は最終時に作用することは必ずしもかぎらず完成直後、あるいは施工中に作用する場合もあり支保工の設計と合わせて十分検討して設計しなければならない。

また、一般的にある想定された荷重で設計されても、(イ)設計時に想定した荷重及び分布が実際は異なる。(ロ)覆工、構造及び材質が異なる。(ハ)応力算出が正確でない。(ニ)初期応力が施工中に発生する等により応力及び変形は必ずしも実際のトンネルでは作用しないのが普通であり設計に当たってはそれらを十分考慮する必要がある。

なお、一般的には設計断面は図2-3を標準とすることとした。

- (3) 断面を閉断面(インバート付)での検討は、㊦ 支持力が小さい。㊧ ゆるい地質で鉛直荷重と横荷重を受け変位が考えられる。㊨ 土被りが浅く、無凝集力の土質及び風化岩盤等で凝集力が小さい。㊩ 膨張性地圧が発生する。または予測される。㊪ 荷重のアンバランスによる偏圧がある。㊫ 土質が異なり荷重が非対象に作用する場合等に行い構造及び施工区間については、地質調査による各要素を十分検討して決めなければならない。また、過去の実績等も収集、検討する必要がある。
- (4) 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。したがって建築限界の空高外に余裕を見込んでおく必要がある。この余裕は20cmとする。
- (5) 半横流式等天井部とダクトをもつ断面として約10m²程度(片口換気で1,000m程度)から約16m²(両坑口換気で約3,000m程度)程度までとし、1ダクト断面の変化は、トンネルアーチ部の内径を変えることなく、スプリングライン高さの調節によって行うことを原則とする。
- (6) 天井板
天井板の占有厚さは150mm程度とする。天井板として確保しなければならない。計画占有厚さは、天井版自体の厚さと撓み等を考慮して決定するものとする。

2-3-2 設計断面

標準幅員については昭和50年7月15日付建設省都計発40号建設省道企発51号道路幅員に関する基準(案)をもとに決定するが、運用にあたっては担当課と打合わせのうえ決定する。

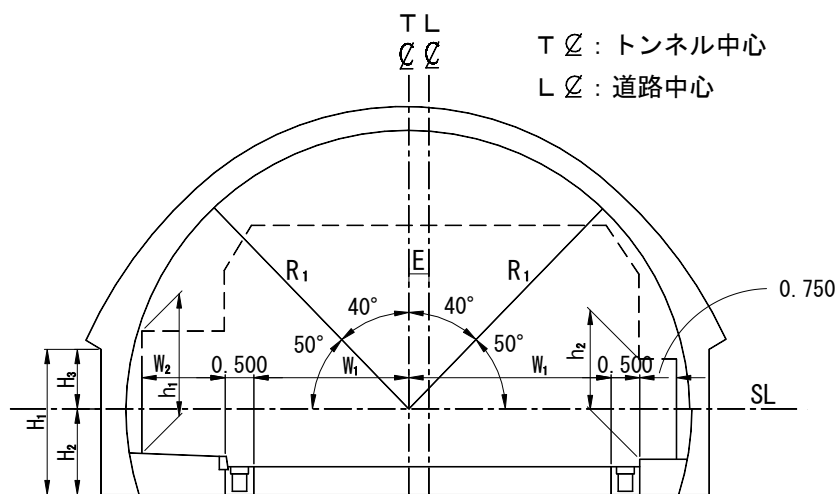


図 2-1

2-4 地山分類

2-4-1 地山分類

トンネルの設計にあたっては地質調査資料をもとに、地山分類を行うものとし地山分類は表2-1によるものとする。

地山分類を適用するにあたっては、次の項目に留意したうえで用いなければならない。

- (1) 表2-1は一般的な標準を示すもので、実状に即応しない場合には変更することができる。
- (2) 岩質区分ABCDEは掘削支保工覆工の設計等に用いる。
- (3) 岩質区分のうちEは特殊な岩質(大きな崖錐、大きな断層、破碎帯などの土圧の著しい)以外には用いない。
- (4) 弾性波速度による判定基準について
 - (a) 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く表2-1は調査を相当に行った場合であるので、表2-1よりランクを下げた方がよい場合もある。
 - (b) 輝緑岩・角閃岩・橄欖岩・斑れい岩・輝緑凝灰岩・泥岩は、蛇紋岩作用を受けやすいので同様の注意が必要である。
 - (c) 坑口および溪流部の近くではトンネルの上方および側方の「かぶり」が薄い場合が多い、その場合は弾性波速度に対して注意を払い、表2-1のランクを下げることも検討する必要がある。
 - (d) トンネル基盤より上部に約15mの同一速度層がない場合は地質図における上層(速度の遅い)の速度を採用する方が望ましい。

- (e) 「かぶり」の薄いところでは、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(航空図化図、実測図、弾性波調査測量図)が地質区分の判定に大きな影響を与えるので特に考慮を払う必要がある。更に物理探査の解析誤差も加わる。
- (f) 断層、破碎帯については弾性波速度のみでなく、その方向、かぶり、その他の判定基準を参考にして補正を行うものとする。
- (5) 地質状態による判定基準について
設計の段階では弾性波速度の他、現地踏査、ボーリング試掘などの成果をこの基準にあてはめて岩質区分を行うが、施工中には掘削面の状態を精査してこの判定基準と比較し当初設計の岩質区分の確認を行う必要がある。
- (6) ボーリングコアによる判定基準について
ボーリングコアによる判定基準およびコアの状態はボーリングの施工技術にも大きく左右されるので、必ずしも一律な確定的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。
- (7) 観察による判定基準について
岩石の硬さ、亀裂は局所的な観察では誤認しやすいものである。大局的な判断を行うべきであり、ここに示した判定基準は大まかな目安である。
- (8) 地質状態による判定基準について
地圧測定あるいは支保工、覆行の応力測定などの実績及びTerzaghiの示した土荷重の表をもとにしてつくった判定基準であるが、地山のゆるみ高さは施工法にも関連するので同一岩質でも大きな差異が生じることもある。
- (9) 地山分類の判定基準には、蛇紋岩、泥岩、頁岩に多くみられる膨張性地山、含水、および湧水の程度、スレーキング、ブロッキング状態は加味されてなく掘削中に変形、変状、盤ぶくれ等の原因になるもので判定に際しては十分注意が必要である。

表2-1 地山分類表

掘削区分		岩石区分 (注)	弾性波速度						地質状態	判定基礎	ハンマーの打撃による岩の割れ方	キレツの間隔および状態
			1	2	3	4	5	6		ボーリングコアの状態		
A	a								(1) 岩質は非常に堅硬かつ新鮮なもので大塊状を呈し、層相変化が少なく、割れ目がほとんどないもの。	コア採取率は概ね90%以上で完全な柱状を呈し、細片はほとんど含まない状態のもの。	ハンマーがはね返る。強くたたかろうじて新鮮な面で割れる。	50cm 以上少ない。 あっても密着。
	b											
	c											
	d											
B	a								(1) 岩質はかなり堅硬なものであっても風化作用のため変質した傾向がみられるもの。 キレツには粘性土をはさまない。	コア採取率は概ね70%以上で完全な柱状を示さないものを有し、多少の細片を含む。 コアの大半がほぼ50cm以上のものが取れる状態のもの。	ハンマーで強くたたけば割れるが、ほとんどがキレツあるいは節理などに沿って比較的大きく割れる。	10～50cm 開口のことも あるがキレツ 面に粘土をは さまない。
	b											
	c								(2) 岩質は堅硬であるが厚い層状をなす岩で層理あるいは片理が認められ、その面に沿って割れ易いもの。			
	d											
C	a								(1) 風化作用を受けて岩石に変質をおこしているもの。	コア採取率は概ね40～70%で、キレツが多く、またくだけ易いために小さくなり、50cm以下の細片が多量にとれる状態のもの。 岩石区分c・dのものではコア採取率100%の柱状コアがとれる。	ハンマーで容易に割れる。 比較的小塊状などに沿って小片に割れ、むしろキレツ以外の面で割れることが困難である。	2～10cmキレ ツ面に粘土を はさむことが 多い。
	b								(2) 岩質は比較的堅硬であってもキレツが多く小塊状を呈しているもの。キレツは薄い粘性土をはさむ。			
	c								(3) 層理や片理の顕著な岩で、非常に薄く割れ易い性質のもの。			
	d											
D	a								(1) 著しい風化変質作用を受け、中には多少硬い部分が残っているが、一部はすでに土壌化した部分がみられるもの。割れ目が極めて多いものでキレツ以外の部分からでも容易に割ることができ程度のもの。	コア採取率は低下し、概ね40%以下となるが多く、コアは細片となるが、時には角礫混り砂状あるいは粘性土となるもの。	ハンマーで容易に崩れる。 岩はもろく、指先で容易に割れる。キレツ面以外でも容易に割ることができる。	キレツの存在 がはつきりし なくなる。
	b								(2) 粘土化のあまり進んでいない粉砕帯で、粘性土と細片状の岩片の混合した状態になっている時にはいくぶん硬いところも含まれているもの。			
	c								(3) 土砂、崖錐地帯など。			
	d											
E	a								(1) 著しい偏圧を受けるようかなり幅を有する断層破砕帯や大きな崖錐地帯など。	粘性土でなければコアの採取は困難である。		

(注) 掘削分類Eは施工の結果、必要に生じた場合のみ採取する。
a：変成岩（千枚岩・片岩・片麻岩・ホルンフェルス等）深成岩（はんれい岩・かんらん岩等）中古生層（粘板岩・砂岩・礫岩・硬砂岩・石灰岩・珪岩・輝綠凝灰岩等）
b：火山岩（流紋岩・石英粗面岩・安山岩・玄武岩等）脈岩（斑岩・ひん岩・輝綠岩等）深成岩（花崗岩・閃綠岩等）
c：第三紀層（頁岩・砂岩・礫岩・石灰岩・角礫凝灰岩・集塊岩等）
d：第四紀層（粘土・シルト・砂礫・火山灰・崖錐層等）

(注) 掘削分類Eは施工の結果、必要に生じた場合のみ採取する。

- a : 変成岩 (千枚岩・片岩・片麻岩・ホルンフェルス等) 深成岩 (はんれい岩・かんらん岩等) 中生層 (粘板岩・砂岩・礫岩・硬砂岩・石灰岩・珪岩・輝緑凝灰岩等)
b : 火山岩 (流紋岩・石英粗面岩・安山岩・玄武岩等) 脈岩 (斑岩・ひん岩・輝緑岩等) 深成岩 (花崗岩・閃緑岩等)
c : 第三紀層 (頁岩・砂岩・礫岩・凝灰岩・角礫凝灰岩・集塊岩等)
d : 第四紀層 (粘土・シルト・砂礫・火山灰・崖錐層等)

2-5 掘削工法の選定

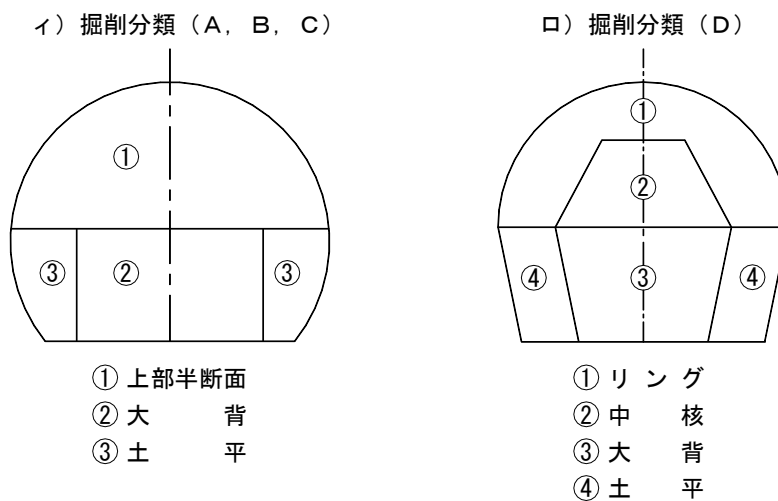
2-5-1 掘削工法の選定

掘削工法の選定は表2-1地山分類表による。

工事積算に用いる掘削工法は、加背割より分類して次の4種を標準とする。なお、これらによるのが不適当な場合は別途に考慮するものとする。

2-5-1-1 上部半断面掘削

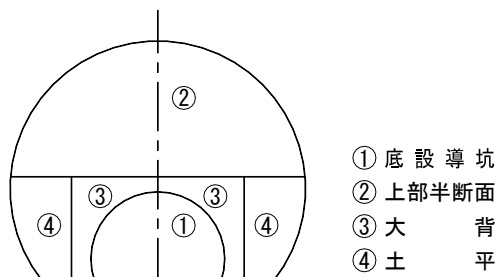
- (1) 地質が普通程度の場合に採用する。
- (2) この場合の覆工は逆巻工法を標準とする。
- (3) 加背割および掘削順序は下図によるものとする。



(注) 掘削分類D区間の上部半断面切上げは「リングカット方式」を原則とする。

2-5-1-2 底設導坑先進工法

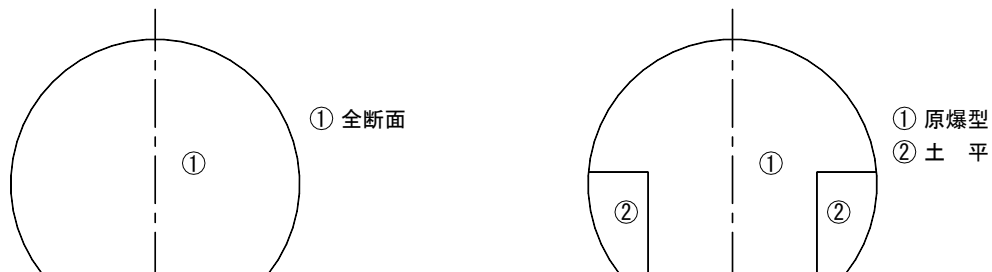
- (1) 長大トンネルまたは地質がやや不良で地質が複雑で変化のある場合等に採用する。
- (2) この場合の覆工は逆巻工法を標準とする。
- (3) 加背割および掘削順序は下図によるものとする。



(注) 掘削分類D区間の上部半断面切上げは「リングカット方式」を原則とする。

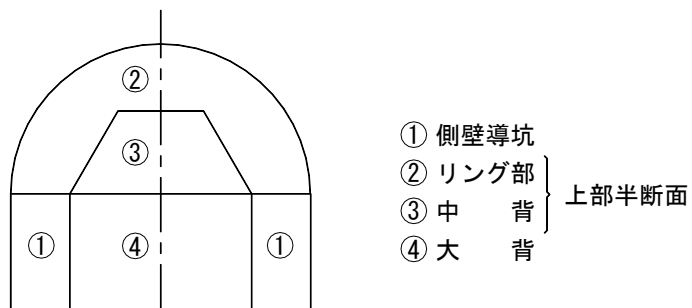
2-5-1-3 全断面掘削または原爆型掘削

- (1) 長大トンネルで、十分信頼できる地質調査の結果にもとづき、地質が極めて良好と判断される場合に採用する。
- (2) この場合の覆工は順巻工法を標準とする。
- (3) 加背割および掘削順序は下図によるものとする。



2-5-1-4 側壁導坑先進掘削

- (1) 地質が悪く、支保工に沈下のおそれがあるような場合等に採用する。
- (2) この場合の覆工は順巻となる。
- (3) 加背割および掘削順序は下図によるものとする。

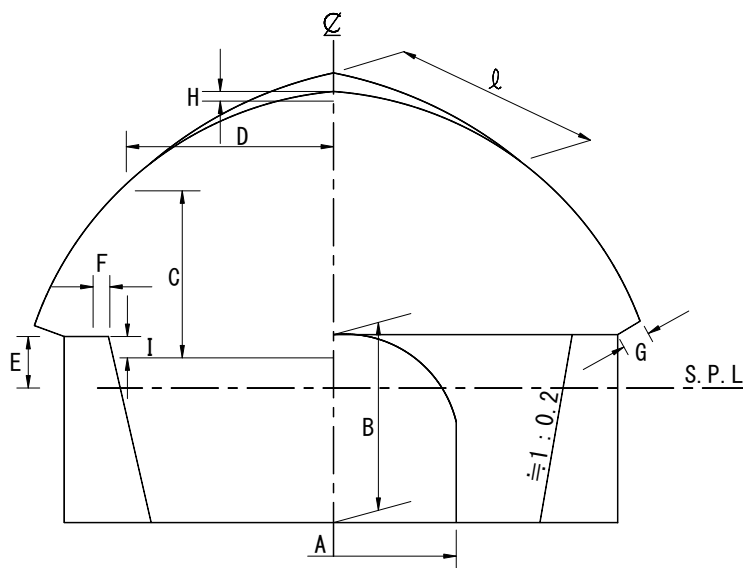


(注) 掘削分類D区間の上部半断面切払げは「リングカット方式」を原則とする。

2-5-2 標準加背割

加背割トンネルの内空断面によって異なるが、一般的には下記を参考に決定する。

- (1) 逆巻工法のアーチ部支承巾(G)は45cm巻厚区間で40cm、60cm巻厚区間で50cmを標準とする。
- (2) キックアップ(H)は10cmを標準とする。
- (3) 支保工天端の直線長(ℓ)は1m以下を標準とする。
- (4) アーチ部支承とS.P.Lの高さ(E)は80cmを標準とする。



(注) 断面の外側線は巻立支払線より10cm差引いた線を示す。

(5) 上部半断面掘削

45cm巻厚区間を基準にして $D \approx 3.5\text{m}$ 、 $C \approx 3.0\text{m}$ 確保できる断面とする。この場合(I)が50cmより大きくなる場合はアーチ支保工の脚部を下げる等の検討を行うものとする。また土平天端巾決定の(F)は45cm巻厚区間で60cm、60cm巻厚区間では80cm程度とする。

土平勾配は1 : 0.2程度とする。

2-5-3 導坑断面の設計

- (1) 導坑断面は、その導坑の目的により決定しなければならない。ただし、そのトンネルの地質、地形、トンネル規模、使用機械、工程等の条件も考慮して設計するものとする。

導坑巾および導坑高

寸法		導坑巾(m)	導坑高(m)	備 考
ずり出し方式				
タイヤ式	—	3.5	3.1	2tダンプトラック
レール方式	単線	3.2	3.0	3～4.5m ³ ズリ鋼車
	複線	5.0	3.4	3～6m ³ ズリ鋼車

注)1. 上表によりがたい場合は、使用する機種及び支保工、換気用風管並びに退避幅を考慮してきめる。

2. 側壁導坑には適用しない。

(2) 側壁導坑先進工法

導坑巾は側壁コンクリート巾(全断面覆工、仮巻形式)導坑支保工形状、掘削ずり処理と側壁コンクリートの平行作業の可否およびズリ鋼車、コンクリート運搬方法、退避巾等を考慮のうえ決定するものとする。

- (a) 地山が膨張性の岩質で比較的悪いトンネルの導坑巾は掘削途中で側壁コンクリートの打設の必要性を考慮して4.3mを標準とし図2-2を参照すること。
- (b) 地山の岩質が比較的良好で安定しており、導坑延長が100m程度以下の導坑巾は掘削後において側壁コンクリートを打設することを考慮して、3.2mを標準として図2-3を参照すること。

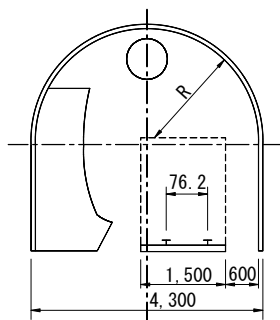


図 2-2

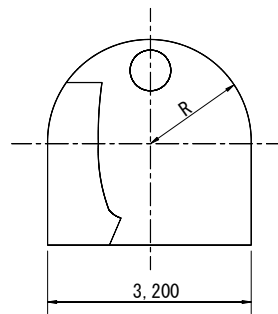


図 2-3

2-6 支保工の設計

2-6-1 支保工の設計

トンネルの掘削は地山に存在する平衡状態が破れた時、その空間を保護する必要性を生じる。この役割を果たすのが支保工である。支保工は材料と使い方により種々の種別があり、その使いわけは地山の性質によって異なるが、安全性、経済性を十分満足するよう選び設計しなければならない。

2-6-2 支保工の選定

- (1) 支保工は原則として鋼製支保工を使用するものとする。
- (2) 特に地質が良好な場合、あるいは特別に他の支保工を考慮する必要が認められるような地質の場合には、作業の安全性、施工性、経済性を検討のうえ、他の支保工を設計してもよい。
- (3) 導坑支保工は上記の(1)(2)の項に準じて設計する。
- (4) つなぎ材 頂板・底板

鋼製支保工相互間は、タイロット、内梁などのつなぎ材によって強固に連結し、支保工が単体で荷重を受けることを避け、連続した形で土荷重も支保する構造とする必要がある。これはトンネル軸方向に外力が働いた場合には支保工が転倒するおそれがあり、特に必要である。また、内梁材は原則として導坑用を木製とし、埋殺部及び本線用は鋼管とする。

2-6-3 鋼製支保工

鋼製支保工は掘削作業に伴ない、あるいは掘削後になるべく早く建て込みができ、覆工完了までの間、荷重を安全に支えるものでなければならない。また鋼製支保工はコンクリートの中に埋込むものとする。

2-6-3-1 支保工の形状寸法

支保工部材は原則として2ピース方式としてかつ想定される外力その他条件に対して有利な形を有し、施工上の便宜を備えたものでなければならない。

2-6-3-2 鋼製支保工の性質

鋼製支保工に用いる鋼材は伸び率が大きく、かつ曲げや溶接などの加工法のよいものが望ましくJIS G 3101に規定するSS41が適当である。

2-6-3-3 鋼製支保工の断面と建込間隔

鋼製支保工の断面および建込間隔は表2-3・表2-4の値を標準とする。鋼製支保工は原則としてH形鋼を使用する。ただし、施工法、安全性、経済性、その他を比較検討のうえ他の形状の鋼製支保工で設計してもよい。

(1) 導坑支保工

- 1) 導坑支保工は、H形鋼支保工2ピース方式を原則とする。
- 2) トンネル延長(片押)500m未満については1回使い、500m以上の場合は2回使いとし、スクラップ控除を行うことを原則とする。ただし、コンクリートに埋め込む分については全損とする。

なお、地質状況(偏圧、破碎層等)、作業条件により使用回数を減じてよい。

- 3) 矢板の長さは掛矢板の場合(支保工間隔)+30cmとする。
- 4) 矢板は雑木及び松矢板とし、転用は原則として行わないものとし、損率は100%を標準とする。
- 5) パッキン材等の雑材は矢板数量の20%を標準とする。
- 6) 支保工の形状寸法、間隔、矢板数量等は、次表を標準とする。

表 2-2 支保工形状寸法、間隔、矢板数量等

掘削区分 材料		A種	B種	C種	D種	E種
支保工	H型鋼形状寸法	H-100	H-125	H-125	H-125	
	底板寸法	mm 200×200×13	230×230×16	230×230×16	230×230×16	
	頂板寸法	mm 180×180×9	180×180×9	180×180×9	180×180×9	
	支保工建込間隔	1.5m	1.5m	1.2m	0.9m	
矢板	材質	雑	雑	雑	松	
	厚さ	3.0cm	3.0cm	3.6cm	3.6cm	
	施工範囲	50%	60%	80%	100%	
その他	内張材径	9cm	9cm	9cm	9cm	
	内張材及び タイロッド間隔	支保工長 に対し1.2m	支保工長 に対し1.2m	支保工長 に対し1.2m	支保工長 に対し1.2m	
	タイロッド寸法	φ=16mm×ℓ=1650	16×1650	16×1350	16×1050	
	継手ボルト寸法	φ=19mm×ℓ=50	19×50	19×50	19×50	

(注) 1) 上表は標準の場合であり、地山の状態等により別途考慮することができる。

2) 上表は掛矢板の場合の値である。

3) E種については施工実態を考慮して決定する。

表 2-3 導坑用支保工の断面と建込間隔

掘削 分類	支保工 断面	支保工 ピッチ cm	備 考	断面積 cm ³	質量 kg/m	断面係数		wx/wy
						wxc ³	wyc ³	
A	H-100	150	H-100×100×6×8	21.59	16.9	75.6	26.7	2.8
B	H-125	150	H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	134	46.9	2.9
C	H-125	120	H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	134	46.9	2.9
D	H-125	90	H-125×125×6.5×9	30.00	23.6	134	46.9	2.9
E			現場の地形地質を詳細に調査検討のうえ、それぞれ設計する。					

(2) アーチ支保工

- 1) アーチ支保工はH型鋼製2ピース方式を標準とする。
- 2) 矢板は雑および松矢板とし、長さは掛矢板の場合は(支保工間隔)+30cm、送り矢板の場合は支保工間隔の1.8倍とする。
- 3) パッキン材等の雑材は矢板数量の20～30%見込むものとする。
- 4) 掘削分類D、E種については必要に応じ皿板またはウォールプレートを設置するものとし全損で計上する。
- 5) 支保工の形状寸法、間隔、矢板数量は次表を標準とする。

表 2-4 本線用鋼製支保工の断面と建込間隔

掘削 分類	覆工厚 (cm)	支保工 断 面	支保工 ピッチ cm	備 考	断面積 cm ³	質量 kg/m	断面係数		wx/wy
							wxc ³	wyc ³	
A	45	H-150	150	H-150×150×7.0×10	39.65	31.1	216	75.1	2.9
		H-175	150	H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	331	112	3.0
B	45	H-175	130	H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	331	112	3.0
		H-175	110	〃	51.42	40.4	331	112	3.0
C	60	H-200	120	H-200×200×8.0×12	63.50	49.9	472	160	3.0
		H-200	100	〃	63.50	49.9	472	160	3.0
D	60	H-200	90	〃	63.50	49.9	472	160	3.0
		H-200	75	〃	63.50	49.9	472	160	3.0
E	現場の地形地質を詳細に調査検討のうえ、それぞれ設計する。								

(注) 支保工断面、ピッチの欄で上段は内空巾8.5m程度、下段は10m程度の場合である。

表 2-5 内空幅9.5m未満の場合

掘削区分 材料		A種	B種	C種	D種	E種
支保工	H型鋼形状寸法	H-150	H-175	H-200	H-200	
	底板寸法	mm 250×250×16	275×275×16	300×300×19	300×300×19	
	頂板寸法	mm 180×180×14	205×205×14	230×230×16	230×230×16	
	支保工建込間隔	1.5m	1.3m	1.2m	0.9m	
矢板	材質	雑	雑	松	松	
	厚さ	3.0cm	3.0cm	3.6cm	3.6cm	
	施工範囲	60% (掛矢板)	70% (掛矢板)	90% (掛矢板)	100% (送り矢板)	
その他	内張材径 (STK鋼管)	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	
	内張材及び タイロッド間隔	支保工長 に対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	
	タイロッド寸法	φ=19mm×ℓ=1650	19×1450	19×1350	19×1050	
	継手ボルト寸法	φ=25mm×ℓ=75	25×75	25×75	25×75	

- (注) 1. 上表は標準の場合であり、地山の状態等により別途考慮することができる。
 2. 縫地矢板による場合の施工範囲については別途考慮することができる。
 3. E種については、施工実態を考慮して決定する。

表 2-6 内空幅9.5m以上の場合

掘削区分 材料		A種	B種	C種	D種	E種
支保工	H型鋼形状寸法	H-175	H-175	H-200	H-200	
	底板寸法	mm 275×275×16	300×300×19	300×300×19	300×300×19	
	頂板寸法	mm 205×205×14	230×230×16	230×230×16	230×230×16	
	支保工建込間隔	1.5m	1.2m	1.0m	0.75m	
矢板	材質	雑	雑	松	松	
	厚さ	3.0cm	3.0cm	3.6cm	3.6cm	
	施工範囲	60% (掛矢板)	70% (掛矢板)	90% (掛矢板)	100% (送り矢板)	
その他	内張材径 (STK鋼管)	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	
	内張材及び タイロッド間隔	支保工長 に対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	
	タイロッド寸法	φ=19mm×ℓ=1650	19×1350	19×1150	19×900	
	継手ボルト寸法	φ=25mm×ℓ=75	25×75	25×75	25×75	

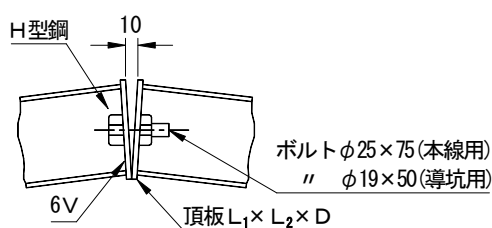
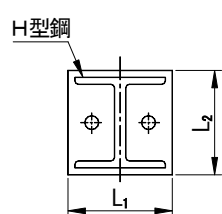
- (注) 1. 上表は標準の場合であり、地山の状態等により別途考慮することができる。
 2. 縫地矢板による場合の施工範囲については別途考慮することができる。
 3. E種については、施工実態を考慮して決定する。

表 2-7 頂板、底板の寸法 (mm)

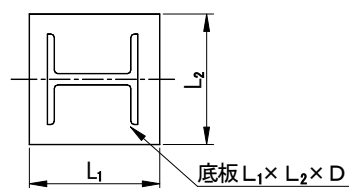
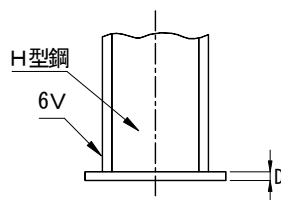
支保工断面 寸法	頂 板			底 板			備 考
	L ₁	L ₂	D	L ₁	L ₂	D	
H-100×100	180	180	9	200	200	13	導坑用
H-125×125	180	180	9	230	230	16	〃
H-150×150	180	180	14	250	250	16	本線用
H-175×175	205	205	14	275	275	16	〃
H-200×200	230	230	16	300	300	19	〃

バックリング、ねじれなどに対する抵抗性もなるべく大きいのが望ましく、フランジの薄いものは局部的荷重による変形を起こしやすいので注意を要する。

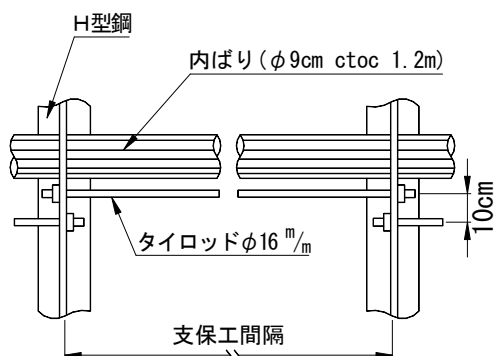
頂 板



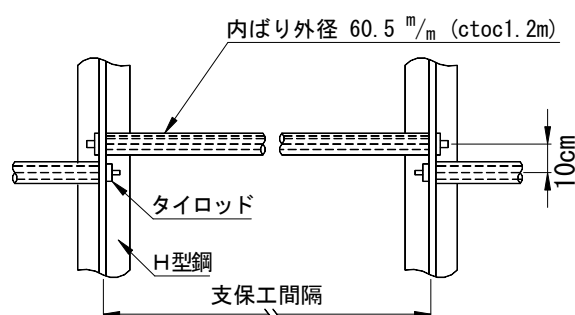
底 板



内ばり、タイロッドの設計



(a) 木製内ばりを使用した場合



(b) 鋼管 (STK) 内ばりを使用した場合

2-7 余掘、余巻厚さについて

余掘および余巻きの厚さは、次表の値を標準とする。

表 2-8 余掘余巻厚さ

施工箇所 \ 区分		余 掘	余 巻
アーチ部	掛矢板	20cm	10cm
	送り矢板	$H/2 + 20\text{cm}$	$H/2 + 10\text{cm}$
	縫地矢板	$H + 20\text{cm}$	$H + 10\text{cm}$
側壁部		15cm	15cm
インバート		—	5cm

(注) 1) HはH型鋼の背面高

2) 順巻工法の場合の側壁部余巻は10cmとする。

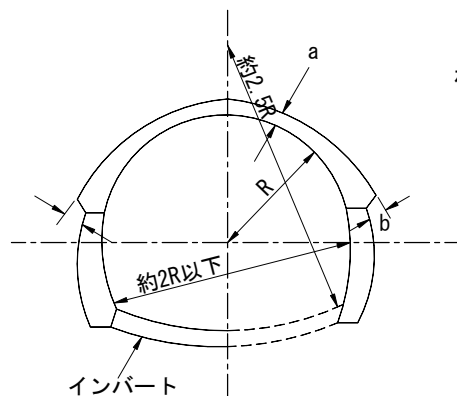
2-8 覆工の設計

2-8-1 覆工の形状

覆工の形状は所要の断面を包含し、土圧などの荷重に有効に耐え得るようアーチ型とし、一般として単円、3心円とする。地質区分D、Eにあつては特に側圧が大きいと判断される場合は原則としてインバートを設置するものとする。

また特に偏圧が著しいところには、これに対抗するために抱きコンクリート、その他、特殊な考慮を払わなければならない。

(a) インバートを設ける場合



(b) 通常の場合

標準図

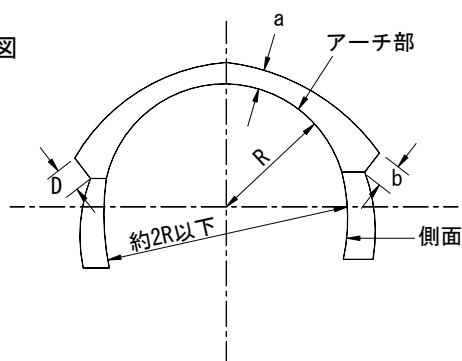
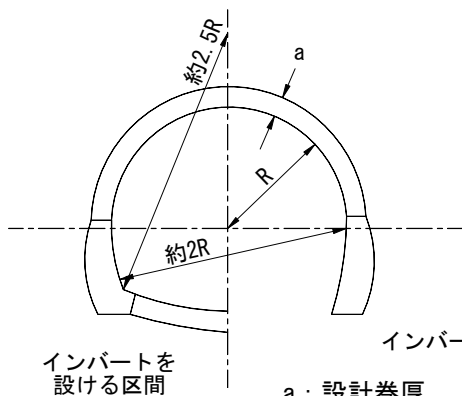


図 2-4

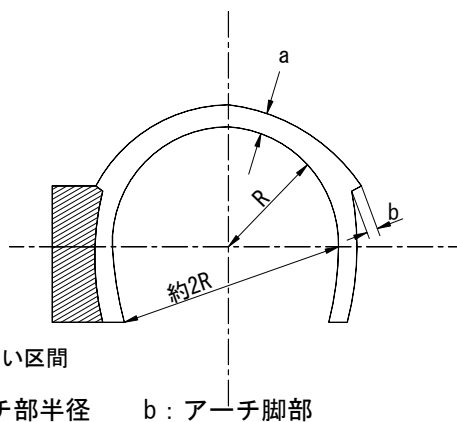
- (1) 覆工の形状は土圧に経済的に対抗するもので、アーチとして軸力が無理なく伝達され、曲げモーメントが極力少なくなるように急激なわん曲や隅角、凹凸をさけた形状にしなければならない。

円弧と円弧との接続点はたがいに共通な切線を持つようにし、側面の円弧の半径は一般にアーチ部の半径の約2倍程度以下とする。なお側面の背面は内面の半径と平行とし、地質、施工法等を考慮し鉛直とすることもできる。

(a) インバートを設ける場合



(b) 通常の場合



インバートを設けない区間

a : 設計巻厚

R : アーチ部半径

b : アーチ脚部

図 2-5

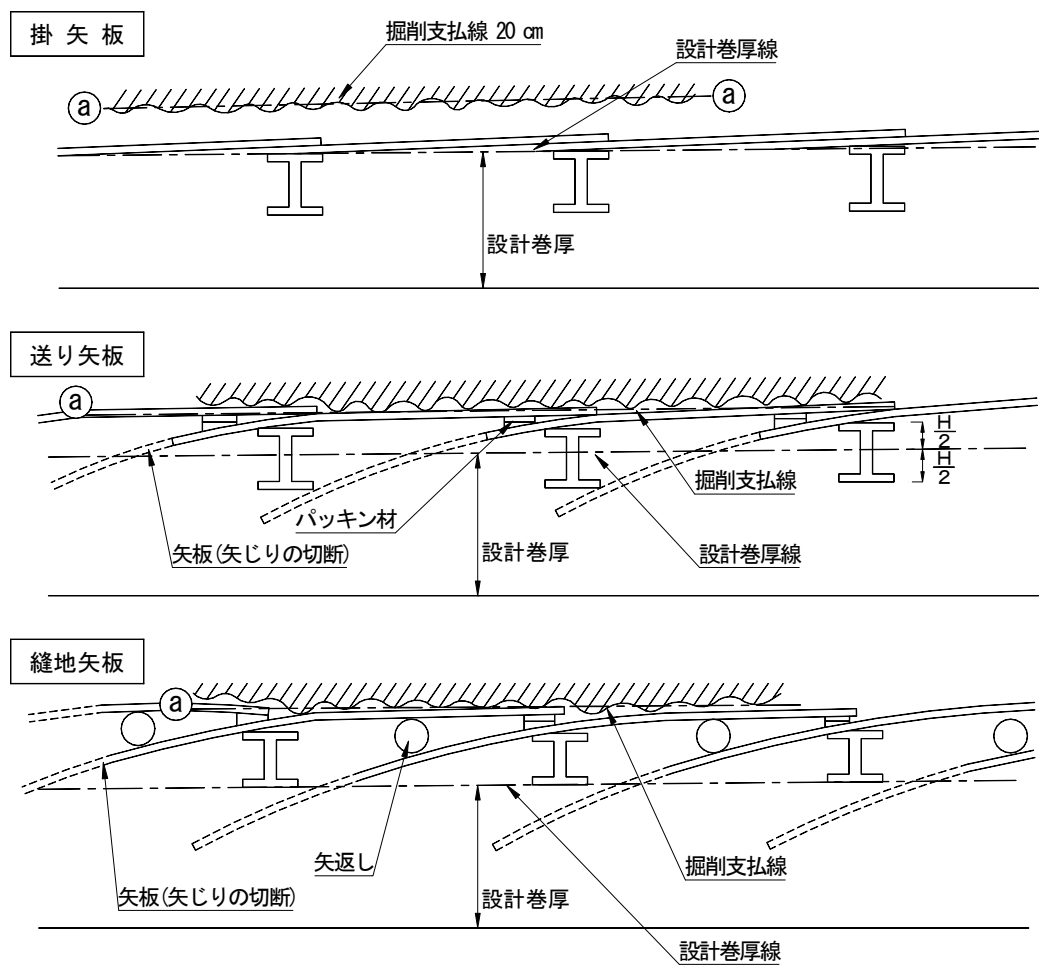


図 2-6 設計巻厚の取り方

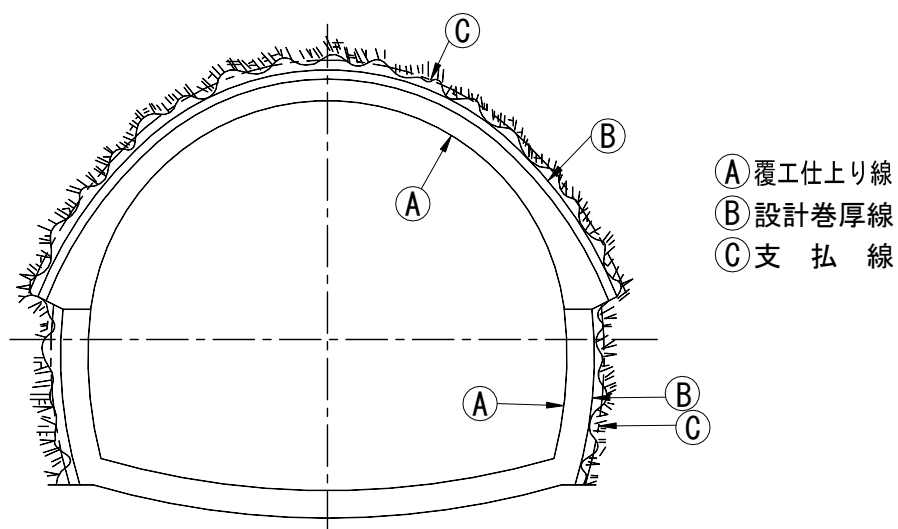


図 2-7 支払線

2-8-2 覆工の厚さ

覆工の設計の厚さは原則として表2-10による。また覆工コンクリートの強度は表2-11による。

表 2-9 設計巻厚

地質区分	覆工設計巻厚 (cm)	インバート (cm)
A	45	—
B	45	—
C	60	—
D	60 (70~80)	50 (60)
E	70 (80)	50 (60)

※ () の数字は坑口部付近で偏圧荷重等が予想される箇所または膨張性地山、著しい膨張性土圧の作用する箇所に適用する。

表 2-10 覆工コンクリート強度

設計基準強度	生コン呼称強度	粗骨材の最大寸法	スランプ	セメントの種類	工 種
18N/mm ²	18N/mm ²	40 mm	12cm ± 2.5	高炉B以上	アーチ側壁
18N/mm ²	18N/mm ²	40 mm	8cm ± 2.5	〃	インバート

2-8-3 補強方法

坑口部等で土かぶり小さい場合および著しい土圧を受ける場合の覆工コンクリートの補強について。

- (1) 坑口部の覆工コンクリートには、圧縮応力のみでなく、曲げモーメントによる曲げ引張応力も働くので鉄筋により補強するものとする。

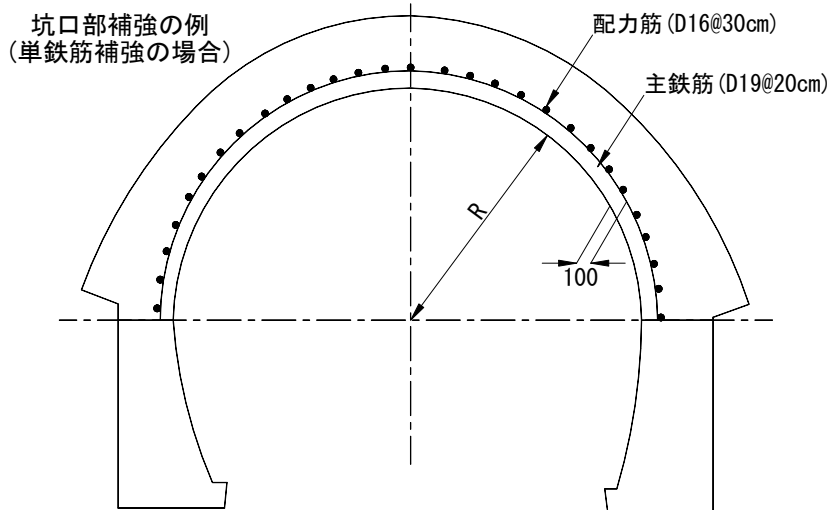


図 2-8

- (2) 著しい偏圧を受けるところでは覆工のみの強化でなく押え盛土、保護切取り、抱きコンクリート等の併用も検討するのが望ましい。

2-8-4 仮巻コンクリートについて

仮巻コンクリートは土圧が著しく大きく鋼製支保工のみでは荷重を押えきれない場合には仮巻コンクリートを設計することがある。この場合仮巻の厚さは20～40cmとする。

2-8-5 覆工背面の設計

- (1) アーチの背面と地山との間には空隙が生ずるので、地質の悪い場合、土かぶりの薄い場合などで、土圧の均等分布をはかるためエアーモルタル、その他による材料で注入を行うこと。

注入の設計はトンネル地山分類のD～Eの範囲を標準とする。

- (2) 注入の設計にあたっては注入材料が空隙に十分填充されるよう配合、注入孔の構造及び配列などを定めること。

注入材料や配合を決定する場合には下記のことを十分考慮しておかなければならない。

- (a) 覆工背面と地山との空隙が十分に填充できるように流動性に富むこと。
- (b) 施工中に材料の分離が少なく、注入後安定した強度が得られること。
- (c) 注入後の圧縮強度は1.0N/mm²以上あり地山の荷重を分散させる性質があること。
- (d) 沈降、収縮による体積変化ができるだけ少ないこと。
- (e) 気象条件、流水及び炭酸、硫塩酸などの化学作用に対する耐久性があること。
- (f) 安価であり施工が容易であること。

(3) 注入材料はエアーモルタルを原則とする。ただし、湧水量が多い場合にはフライアッシュ混合モルタルなどを検討すること。

(4) 注入管は、覆工コンクリート打設時にあらかじめ埋め込んでおくものとし、 50mm (JIS G 3452)径を使用する。

注入管の位置及び配置は図2-9を標準とする。注入管はすべて注入孔に使用するものではなく、多くは注入状況の確認用に利用される。また注入管の長さは(設計巻厚+余巻厚+5cm)程度とする。

(5) 注入時期は地山が軟弱であったり軟弱地質が偏圧する場合、大きな偏圧が早期に作用することとなるので、注入は覆工後なるべく早目に注入する必要があるが、コンクリート強度が $8\sim 10\text{N/mm}^2$ 以上となって注入する。

逆巻の場合は側壁コンクリートを打設する前に注入を完了しなければならない。

注入は下側の注入孔より始め最終注入圧力は $0.3\sim 0.4\text{N/mm}^2$ を標準とする。

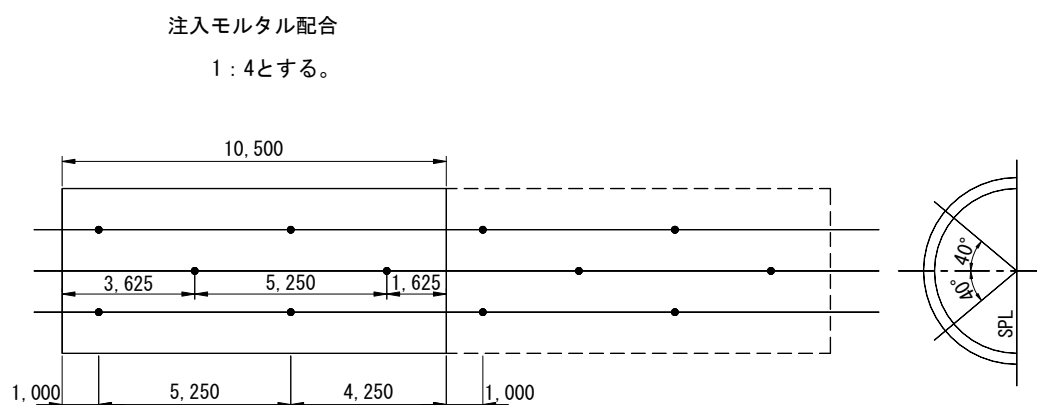


図 2-9 注入管の位置および配置の一例

2-9 坑門工

NATM に準ずる。

2-10 排水工

2-10-1 排水工

- (1) トンネルの左右両側帯の下部または歩道、監査路の下部には路面排水溝を設けるものとする。特に水量の多いトンネルについては別途歩道、監査路下部に地下暗渠を考慮してもよい。
- (2) トンネル延長及び湧水量により現場打側溝を考慮してもよい。
- (3) 設置間隔については NATM の排水工に準じる。
- (4) 歩道端部の排水溝(50×50)は 20m 間隔で路面排水溝へ流末処理する事を標準とする。

2-10-2 漏水処理工

トンネル内の漏水を防ぐために、適当な漏水処理工、防水工を設計すること。

漏水の原因は、①アーチ、側壁部のクラック箇所、②アーチ打継目、③アーチと側壁の打継目などがある。

対策処置方法としては従来から各種の方法が採用されてきたが一般には、漏水箇所の覆工をはつり、そこに鉄板、ポリエチレン管、また、アーチ表面に漏水受樋などの方法がある。

この工法で注意を要するのは、水抜き孔の断面が小さすぎると、遊離石灰などによって、水抜き孔が閉塞するおそれがあるため、少なくとも15cm程度のものを使用すること。

- (1) 掘削中に湧水が多く覆工後に背面にある湧水を削岩機、またボーリング機械により穿孔し背面水を排水する方法も検討する。
- (2) アーチ打継目には止水板を設けるものとする。規格は 200×6(スパンシール材同等品)とする。
- (3) 掘削中に湧水が多い箇所は、アーチ打継目には漏水処理工が可能な切欠部などを設計するとよい。

2-10-3 湧水処理工

- (1) 覆工背面の水をすみやかに排水できるよう、路面下部にはトンネル全長にわたって中央排水管(有孔管)を布設すること。なお中央排水管の径は30cmを標準とする。

排水管は、将来の清掃、点検は不可能であるので、余裕のある断面とすることが望ましい。

- (2) 排水管の勾配はトンネル縦断勾配に合わせて設計するものとする。
- (3) トンネル覆工にインバートを設ける場合には、排水管をインバート下部に設けることを原則とする。しかし、インバートをトンネル中央部附近に設ける場合には、インバート下部に排水管を布設すると、勾配によってはその影響がトンネル全長に及び、排水管布設に要する掘削量が膨大となり、坑口部では掘削深さが問題になることがある。この場合は、その附近の湧水量が少ないと判断されるときには、排水管をインバート上面に布設してもよい。特に湧水が多い場合はインバート上面、下面とも設計することが望ましい。

中央排水工についてはNATMに準じる。

- (4) 特に湧水が多い箇所は横断排水パイプ、地下排水構造を設置し、中央排水管に導くものとする。
- (5) アーチ覆工背面には、必要に応じて排水パイプ、止水シート、連結防止シートなどを設けること。
- (6) アーチと側壁の打継目構造

水平方向の継手としては、アーチ下端底面の構造は次のものがある。

- 1) 覆工背面からトンネル内への漏水防水処理はアーチ部の施工継目およびアーチ部と側壁部との継目に図2-10(a)～(c)を標準に止水工を設置する。

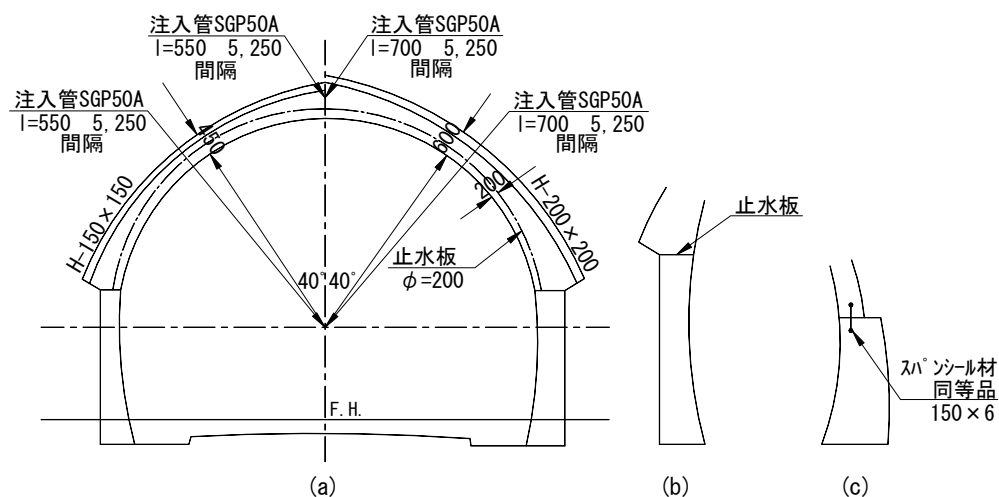


図 2-10

- 2) 掘削中に湧水が多い箇所の覆工背面には止水シートを設けるとよい。止水シートの設置は図2-11を標準とする。

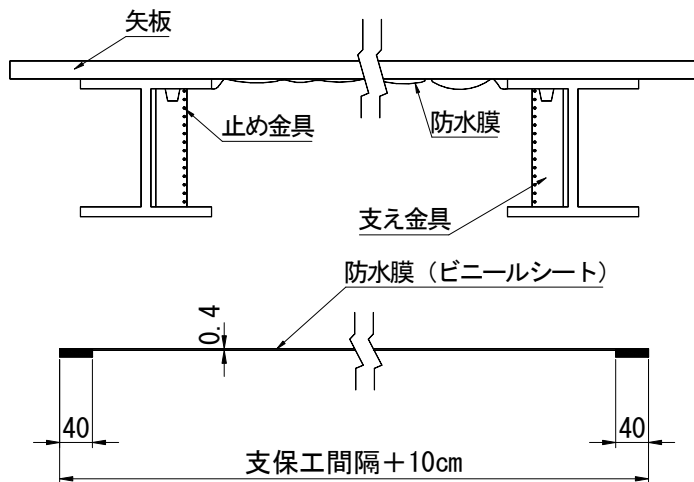


図 2-11 防水膜取付図

- 3) 覆工の打継目、アーチ、側壁部のクラック等による漏水が発生した場合
漏水防止工は、トンネルの覆工コンクリートをはつり、導水断面（内空断面）を50cm²以上確保するものとし、防水目地は、スポンジ、ゴム等を用い、漏水、連結防止のために用いる急結接着剤、急結充填材等の厚さを含めて5cm以上（ゴム等で2重になる場合は3cm以上）の厚さを確保するものとする。

側壁底部からトンネル側溝への導水部は、内径100mm以上の塩化ビニール（VP-100）等、さびない材質のものを用い導水しなければならない。

- 4) 側面排水工

- ・側面排水の水抜構造は図2-12を標準とする。
- ・縦フィルターマットは、側壁の継目に設置することを標準とする。

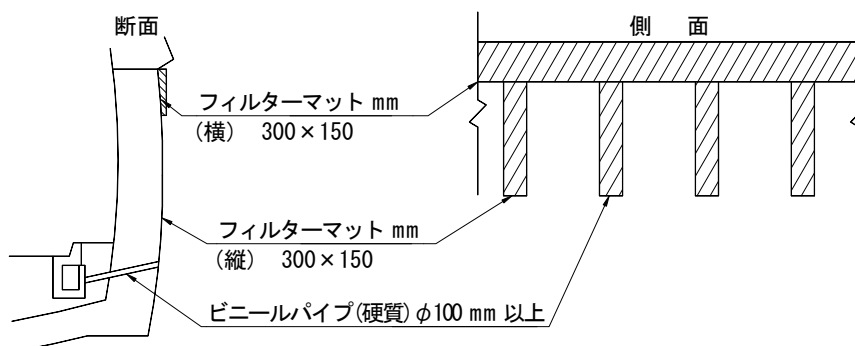


図 2-12

2-11 参考資料

〇〇〇トンネル断面積集計表

地山区分			A種	B種	C種	D種	摘要
掘削工	設計断面積	上部半断面					
		大 背					
		土 平					
		導 坑					
		計					
	支払断面積	上部半断面					
		大 背					
		土 平					
		導 坑					
		計					
覆工	設計巻厚						
	設計断面積	ア ー チ 部					
		側 壁 部					
		計					
	支払断面積	ア ー チ 部					
		側 壁 部					
		計					
妻型枠面積		ア ー チ 部					
		側 壁 部					
スライディングフォーム周長	ア ー チ 部						
	側 壁 部						

〇〇〇トンネル掘削集計表

地山 区分	加背割	設計掘削量			支払掘削量			摘要
		断面積	延 長	掘削量	断面積	延 長	掘削量	
A種	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
B種	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
C種	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
D種	上部半断面							
	大 背							
	導 坑							
	インバート							
	計							

〇〇〇トンネル掘削及び支保工

	単位	〇 種				〇 種				〇 種				摘 要
		上部判断面	大	背	土 平	上部判断面	大	背	土 平	導 坑	上部判断面	大	背	
掘 削	1 爆破進行長	m												
	穿 孔 数	孔/m ²												
	火 薬 使 用 量	kg/m ²												
	ビ ッ ト 消 耗 量	π/m ²												
	ロ ッ ド 消 耗 量	本/m ³												
支 保 工	支 保 工 規 格													
	矢 板 の 種 類													
	矢 板 施 工 範 囲	%												
	矢 板 厚	cm												
	矢 板 長	m												
	矢 板 巾	cm												
	矢 板 数 量	m ³												
	パ ッ キ ン 材	%												
	パ ッ キ ン 材 料	m ³												

〇〇〇トンネルサイクルタイム表

種 類		単位	上半	大背	土平	盤下げ	摘 要
諸 元	① 純 断 面 積	m ²					()書は側壁高×4.5m
	② 支 払 断 面 積	m ²					
	③ 1 爆 破 進 行 長	m					
	④ 1 爆 破 掘 削 量 (純)	m ²					①×③
	⑤ 1 爆 破 掘 削 量 (支 払)	m ²					②×③
	⑥ 穿 孔 長	cm					③+10cm ※但し土平の場合は 平均厚(片側)とする。
	⑦ 穿 孔 速 度	cm/分					
	⑧ 1 孔 当 り 穿 孔 時 間	分					③÷7
	⑨ 1m ² 当 り 穿 孔 数	孔					
	⑩ 1 加 背 当 り 穿 孔 数	〃					②×⑨ ※但し土平の場合は ②は①の()書とする。
	⑪ 削 岩 機 台 数	台					純断面で計上
	⑫ 〃 (ピ ッ ク)	〃					
	⑬ 1台当り受持孔数(レッグ)	孔					⑩÷⑪
	⑭ 1m ³ 当 り 火 薬 使 用 量	kg					
	⑮ 1加背当り火薬使用量	〃					②×③×⑭
	⑯ ビ ッ ト 消 耗 量	個/m ³					
	⑰ ロ ッ ト 消 耗 量	本/m ³					
	⑱ シャンクスリューロッド	〃					
	⑲ ジョイントスリーブ	〃					
	⑳ 積 込 機 械 能 力	m ³ /h					
削 岩	㉑ 削 岩 準 備	分					
	㉒ 穿 孔 (T ₁)	〃					⑧×⑬
	㉓ 装 薬、発 破、換 気 等	〃					
	㉔ 浮 石 落 し	〃					
	㉕ 小 計	〃					㉑+㉒+㉓+㉔
ず り 出 し	㉖ ら り 出 し 準 備	〃					
	㉗ ら り 出 し (T ₂)	〃					(⑤÷㉔)×60
	㉘ 跡 片 付	〃					
	㉙ 路 線 延 長	〃					
	㉚ 測 量	〃					
	㉛ 小 計	〃					㉖+㉗+㉘+㉙+㉚
支 保 工	㉜ 支 保 工 準 備	〃					
	㉝ 支 保 工 建 込	〃					
	㉞ 小 計	〃					㉜+㉝
㉟ そ の 他 損 失 等		〃					
㊱ 合 計		〃					㉕+㉛+㉞+㉟
㊲ 1台当りのサイクル数		回					1,200÷㊱
㊳ 1 日 当 り 進 行 長		m					㊲×3
㊴ 1 日 当 り 進 行 長		〃					㊳×25日
㊵ 1 方 当 り サ イ ク ル 数		回					600÷㊴

〇〇〇トンネルサイクルタイム表(資料)

地 山 区 分		〇 種			〇 種		
加背割		上部半断面	大 背	土 平	上部半断面	大 背	導 坑
断 面	積	m ²					
孔 数		孔					
穿 孔 長		cm					
平 均 穿 孔 速 度		cm/分					
削 岩 機 台 数 (レ ッ グ)		台					
" (ピ ッ ク)		"					
穿 孔 時 間 (T ₁)		分					
1 爆 破 掘 削 量 (Q _o)		m ³					
1 爆 破 積 込 時 間 T ₂ (T _s)		分					
"		時間					
ダンプトラック運転時間 T _s		分					
"		時間					

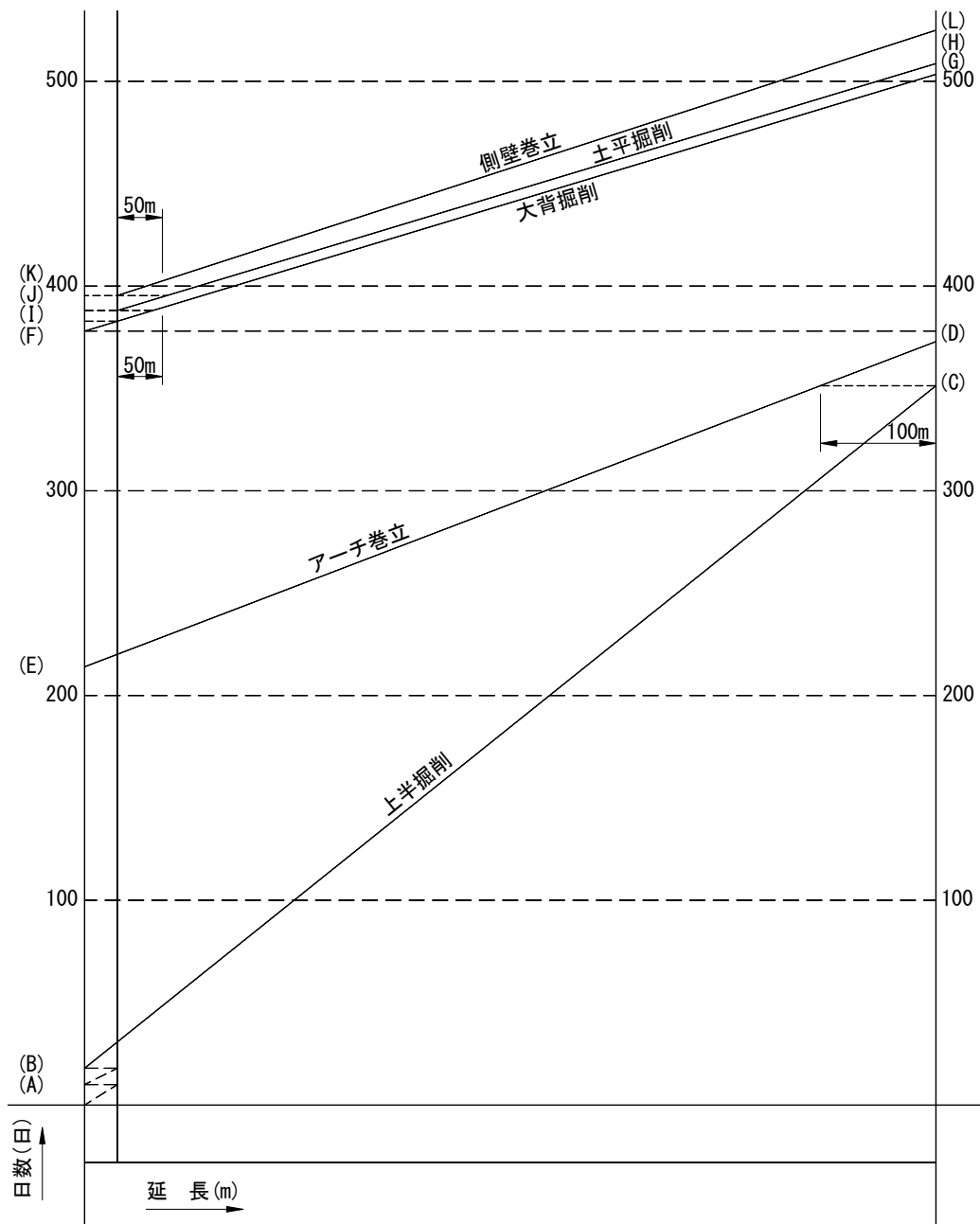
工程計算

- (A) 導抗掘削完了日
- (B) 導抗巻立完了日
- (C) 上半掘削完了日
- (D) アーチ巻立完了日
- (E) アーチ巻立開始日
- (F) 大背掘削開始日
- (G) 大背掘削完了日
- (H) 土平掘削完了日
- (I) DD' 区間大背掘削完了日
- (J) 土平掘削開始日
- (K) 側壁巻立開始日
- (L) 側壁巻立完了日

工程表作成の考え方(上部半断面先進工法の場合)

- (イ) 上部半断面最終切羽とアーチ巻立の間隔 100m
- (ロ) 大背掘削はアーチ巻立完了してから開始
- (ハ) 大背切羽と土平掘削切羽の間隔 50m
- (ニ) 土平掘削切羽と側壁巻立の間隔 50m
- (ホ) $L \leq 150\text{m}$ のトンネルは各加背とも単独施工を原則とし、また土平は両側の工程とする。

工 程 表



掘削所要日数

地 山 区 分		○種	○種	○種		
掘 削 延 長		m	m	m		
1日当り進行長 (土平は片側)	上部半断面				計	
	大 背					
	土 平				実働日数	供用日数
	導 坑					
地山別・加背割 所要日数	上部半断面					
	大 背					
	土 平					
	導 坑					

巻立所要日数

	アーチ	側壁
① 巻 立 延 長		
② 1 ス パ ン 延 長		
③ ス パ ン 数 ① ÷ ②		
④ 1 ス パ ン 所 要 日 数		
⑤ 巻立所要日数③×④		

コンプレッサー使用工程表

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
導坑掘削	10																		
導坑巻立	10 17																		
上半掘削	17											365							
アーチ巻立								212					378						
大背掘削													378				506		
土平掘削													390				509		
側壁巻立													397					529	
注 入 工																			
36m ³ /mm																			
24m ³ /mm																			
12m ³ /mm																			