

第7章

トンネル

第7章 トンネル 目次

第1節 総 則	7-1
1. 適用範囲	7-1
第2節 トンネルの計画・設計	7-2
1. 構造規格	7-2
2. トンネル位置の選定要素	7-2
3. 調査	7-2
4. 平面線形	7-4
5. 縦断線形	7-4
6. 併設トンネル及び他構造物との間隔	7-4
7. トンネルに接続する道路の線形等	7-5
8. 非常駐車帯	7-5
9. 避難通路の計画	7-6
10. トンネルの本体設計と施設設計の連携	7-8
第3節 内空断面の設計	7-10
1. 内空断面設計の一般的事項	7-10
2. 内空断面設定の考え方	7-10
3. 内空断面形状の考え方	7-13
4. 道路トンネル標準断面の例	7-16
第4節 地山分類	7-17
1. 地山分類	7-17
2. 地山分類表を適用するにあたっての留意点	7-20
第5節 掘削工法の選定	7-24
1. 掘削一般	7-24
2. 掘削方式	7-24
3. 掘削工法	7-25
4. 導坑断面の設計	7-26
5. ずり出し方式	7-26
6. 加背割	7-27
第6節 支保構造の設計	7-28
1. 支保構造一般	7-28
2. 支保構造の選定	7-28
3. 吹付けコンクリート	7-31
4. ロックボルト	7-33
5. 鋼アーチ支保工	7-36
6. 覆工	7-38
7. 耐震対策	7-39
第7節 余掘、余巻及び余吹	7-40
1. 余掘、余巻及び余吹一般	7-40
2. 設計値と支払線の関係	7-41

第8節 非常駐車帯及び箱抜工	7-42
1. 非常駐車帯部	7-42
2. 箱抜き部	7-43
第9節 防水工及び排水工	7-44
1. 防水工及び排水工一般	7-44
2. 防水工及び排水工の分類	7-44
第10節 坑門工の設計	7-48
1. 坑門工一般	7-48
2. 坑門工設計の留意点	7-48
3. 坑門の型式	7-48
4. 竹割式坑門の設計例（参考）	7-49
第11節 坑口部の設計	7-51
1. 坑口部一般	7-51
2. 坑口部の設計	7-51
3. 坑口部の予想される現象と対策	7-57
4. 坑門工の設計	7-58
第12節 補助工法	7-64
1. 補助工法一般	7-64
2. 補助工法の適用	7-66
3. 薬液注入における施工管理	7-66
4. 補助工法（参考資料）	7-67
第13節 矢板工法	7-75
1. 適用範囲	7-75
第14節 トンネル照明施設	7-76
1. トンネル照明施設に用いる示方書等	7-76
2. 設置計画	7-76
3. 接続道路の照明	7-76
第15節 トンネル非常用設備	7-77
1. トンネル非常用設備に用いる示方書等	7-77
2. 設置計画	7-77
3. 通報設備	7-78
4. 警報設備	7-79
5. 消火設備	7-79
6. 避難誘導設備	7-80
7. その他の設備	7-81
8. 配管・配線	7-83
第16節 電源設備	7-89
1. 高圧受電設備	7-89
2. 低圧受電設備	7-89
3. 予備電源設備	7-89
4. 無停電電源設備	7-90

第 17 節 換気設備	7-91
1. 換気設備の設計に用いる示方書等	7-91
2. 調査・計画	7-91
3. 設計	7-91
第 18 節 内装工	7-95
1. 内装工の設計に使用する示方書等	7-95
2. 概説	7-95
3. 設置基準	7-95
4. 設置範囲	7-96
5. 内装材料	7-97
第 19 節 維持管理への配慮	7-100
1. 接着系ボルトの使用	7-100
2. トンネル覆工打継部のコンクリート片はく落対策.....	7-100

第1節 総 則

1. 適用範囲

- (1) この要領は、山岳トンネル工法（NATMを標準とする）により建設する2車線道路トンネルを対象とする。
- (2) この要領に示していない事項については、次の示方書等による。

示 方 書 ・ 指 針 等	略称	発行年月	発 行 者
道路トンネル技術基準		H元.5	都市局長・道路局長(通達)
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説	トン技・構造	H15.11	日本道路協会
道路トンネル技術基準（換気編）・同解説	トン技・換気	H20.10	日本道路協会
トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説	トン示	H28.8	土木学会
トンネル標準示方書（シールド編）・同解説		H28.8	土木学会
道路構造令の解説と運用	構造令	R3.3	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
道路の標準幅員に関する基準（案）		S50.7	都市計画課長・企画課長(通達)
2022年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕		R4.3	土木学会
2022年制定 コンクリート標準示方書〔維持管理編〕		R4.3	土木学会
2023年制定 コンクリート標準示方書〔施工編〕		R4.9	土木学会
2023年制定 コンクリート標準示方書〔規準編〕		R4.9	土木学会
防護柵設置基準・同解説		R3.3	日本道路協会
舗装の構造に関する技術基準・同解説		H13.9	日本道路協会
舗装設計便覧		H18.2	日本道路協会
道路トンネル観察・計測指針		H21.2	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧【本体工編】（改訂版）		R2.8	日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧【付帯施設編】（改訂版）		H28.11	日本道路協会
NEXCO 設計要領 第三集 トンネル建設編	NEXCO・建設	R6.7	NEXCO
NEXCO 設計要領 第三集 トンネル保全編	NEXCO・保全	R6.7	NEXCO
道路トンネル安全施工技術指針		H8.10	日本道路協会
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	道非施基	R元.9	日本道路協会
LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）		H27.3	国土交通省
道路照明施設設置基準・同解説	道照施基	H19.10	日本道路協会
道路設計要領－設計編－	中部地整	H26.3	国土交通省中部地方整備局
設計便覧	近畿地整	H24.4	国土交通省近畿地方整備局
設計要領（道路編）	北陸地整	R4.4	国土交通省北陸地方整備局
土木工事設計要領	九州地整	R5.4	国土交通省九州地方整備局
ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン		R2.7	厚生労働省

第2節 トンネルの計画・設計

1. 構造規格

トンネルの幅員構成・建築限界・線形等の構造規格については、第1章道路設計一般によるほか、建築限界、線形等の構造規格は道路構造令の規定による。

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。(トン技・構造 p9～13)

- (1) 地形・地質から見た検討（地すべり・軟弱地盤・活断層等）
- (2) 平面、縦断線形の検討
- (3) 他の道路との接続
- (4) 鉄道との関係
- (5) 河川の横断地点
- (6) 自然環境
- (7) 沿道環境（騒音・振動・地下水等）
- (8) 土地利用の現状及び将来計画
- (9) 供用開始後のトンネル坑口付近の崩壊・雪崩等の維持管理面の検討
- (10) 完成後の管理設備の検討
- (11) 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）
- (12) 気象条件

3. 調査

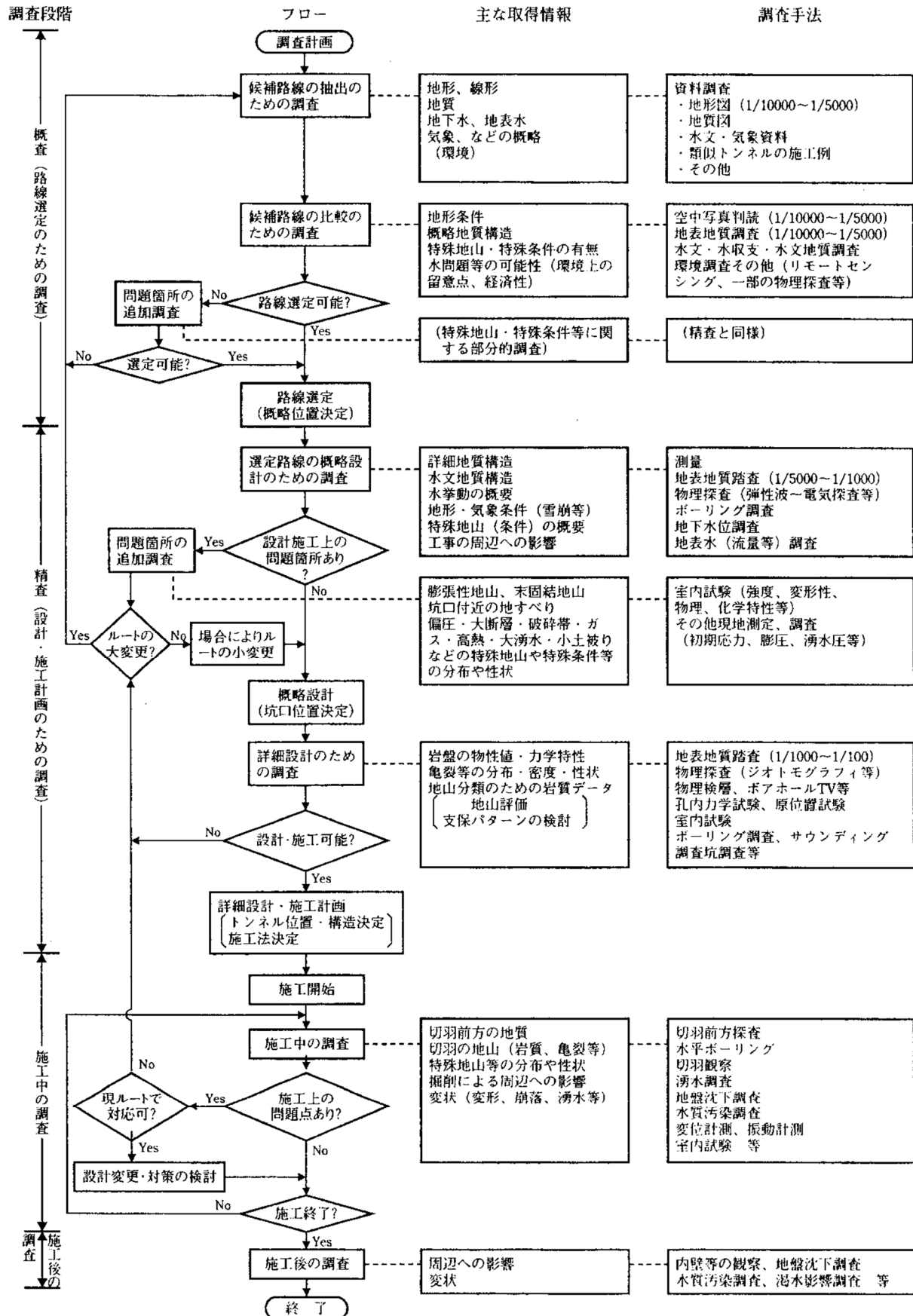
トンネルの建設にあたって、安全で合理的な計画・設計・施工及び維持管理の基礎資料を得るため、トンネルの規模に応じて、建設の段階ごとに、系統的に地形、地質、環境等に関する調査を実施するものとする。(トン技・構造 p14～17、トン示 p21)

- (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

これらの調査を、トンネル計画・設計および施工の段階で必要に応じて実施し、周辺の地形、地山の物理的・力学的性質、地下水の状況、気象、自然環境、社会環境、施工条件などの諸条件について資料を得る必要がある。

また、トンネル建設の段階と必要な調査を、表 7.1 に示す。

表 7.1 トンネル建設の段階と必要な調査



4. 平面線形

トンネルの平面線形は、原則として、直線あるいは大半径の曲線を用いるものとする。(トン技・構造 p86～87)

表 7.2 トンネル断面の拡幅が不必要な曲線の最小半径

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。
2 積雪寒冷地等で別途視距を確保する場合は本表と異なる。
3 ※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。

5. 縦断線形

トンネルの縦断勾配は、湧水等の排水を妨げない範囲で、極力小さくするのを原則とする。縦断勾配の変化点には、極力大半径の縦断曲線を入れるものとする。(トン技・構造 p87～88)

また換気設計上有利な勾配を選定しなければならない。縦断勾配の変化点には、十分な縦断曲線を入れるものとする。

- (1) トンネルの最小勾配は、施工中の湧水、ずり出し方式、完成後の走行性および換気などを総合的に勘案して決定すること。施工中の湧水を自然流下させる場合には、現場の不陸などのため、最小 0.3% の勾配の確保が必要である。なお、トンネル完成後の排水としては、0.1% あれば十分である。
- (2) 換気を必要とする上りトンネルの最急勾配は、3% 以下が望ましい。
- (3) ずり出しがレール方式の場合は、2% 以内が望ましい。

6. 併設トンネル及び他構造物との間隔

トンネルを 2 本以上併設する場合、または他の構造物に接近してトンネルを設置する場合には、相互の影響に配慮して設計を行わなければならない。(トン技・構造 p88～89、トン示 p12)

- (1) 併設トンネルの最小中心間隔は、地山を完全な弾性体と仮定して計算した場合に掘削幅の 2 倍、軟弱地質の場合では 5 倍程度とれば相互の影響はほとんどないといわれている。またトンネル中心間隔を決める場合は、爆破の影響など施工法についての検討も併せて行う必要がある。設計手法は、「既設トンネル近接施工対策マニュアル」(財団法人 鉄道総合技術研究所) が発刊されている。
- (2) 種々の条件により適切な間隔がとれず、相互の影響が懸念される場合には、類似の既往設計・施工事例を参考に設計手法・施工法を十分に検討することともに、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。

7. トンネルに接続する道路の線形等

- (1) トンネルに接続する道路の線形は、安全な走行を確保するとともに、トンネルの特性を考慮した平面および縦断線形としなければならない。特に進入側にあつては、十分な距離からトンネル坑口を識別できるよう配慮するものとする。(トン技・構造 p89～90)
- (2) トンネルとそれに接続する道路との路肩幅員の差は、適切な区間長ですりつけるものとする。普通 1/25～1/50 の範囲のものが用いられているが表 7.3 にその標準値を示す。(構造令 p383)

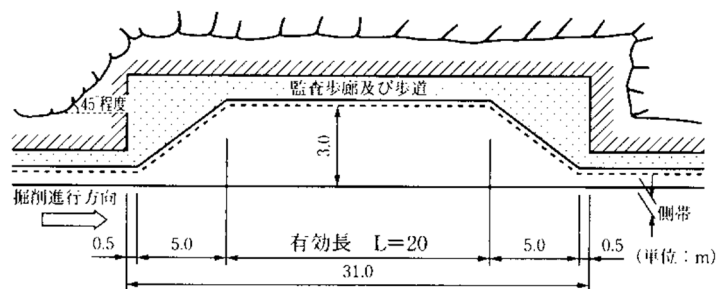
表 7.3 テーパーの標準値

設計速度 Km/h	テーパー	
	地方部標準値	都市部標準値
100	1/60	—
80	1/50	1/40
60	1/40	1/30
50	1/30	1/25
40	1/25	1/20
30	1/20	1/15
20	1/15	1/10

8. 非常駐車帯

(トン技・構造 p157～158)

- (1) 非常駐車帯の配置は、通常 500m～1500m の間隔で設けるのが一般的であるが、概ね、750m ピッチに設けるものとする。また、対向車線側の非常駐車帯との位置関係は、同一断面に集中しないよう、端部間距離として 50m 以上確保する。
- (2) 非常駐車帯を設ける場合は、出来るだけ地山条件の良好な箇所に設定する。
- (3) 非常駐車帯の型式は、図 7.1 を標準とする。



注 1) 進入部の取付角度は 45° 程度とする。

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

注 3) 第 3 種 2 級以下の道路においては有効長は L=15m とする。

図 7.1 非常駐車帯部概要図

9. 避難通路の計画

(中部地整H26 p7-5～6、NEXCO・建設 p2-27～28)

- ア) 避難坑は、対面交通トンネルの場合に、本坑トンネルとは別に設ける避難用のトンネルであり、トンネル等級 AA のうち、一換気区間長（立坑等で区分された長さ）が、2,000m を越える縦流換気方式を採用するトンネルに設置するものとし、避難坑の内空断面は原則として図 7.2 の(b)に示すものとする。
- イ) 避難連絡坑は、一方向トンネルにおいては平行する上下線トンネル間、対面交通トンネルにおいては本坑トンネルと避難坑間の連絡路である。一方向交通トンネルにおいては、非常駐車帯と対に 750m 程度の間隔で連絡坑を設けるものとし、地山条件等により設置場所が限定される場合でも、できる限り 700～800m 間隔で設ける必要がある。また段階建設を含む対面交通トンネル等においては、350m 程度の間隔でその配置を計画するものとし、地山条件等により設置場所が限定される場合でも、できる限り 300～400m 間隔で設ける必要がある。連絡坑の内空断面は図 7.2 の(a)を標準とする。

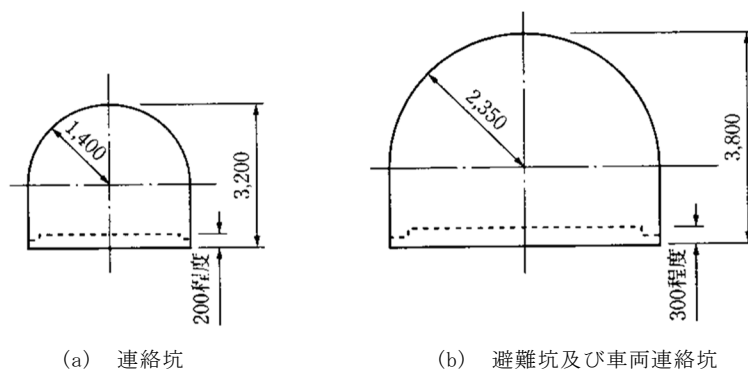
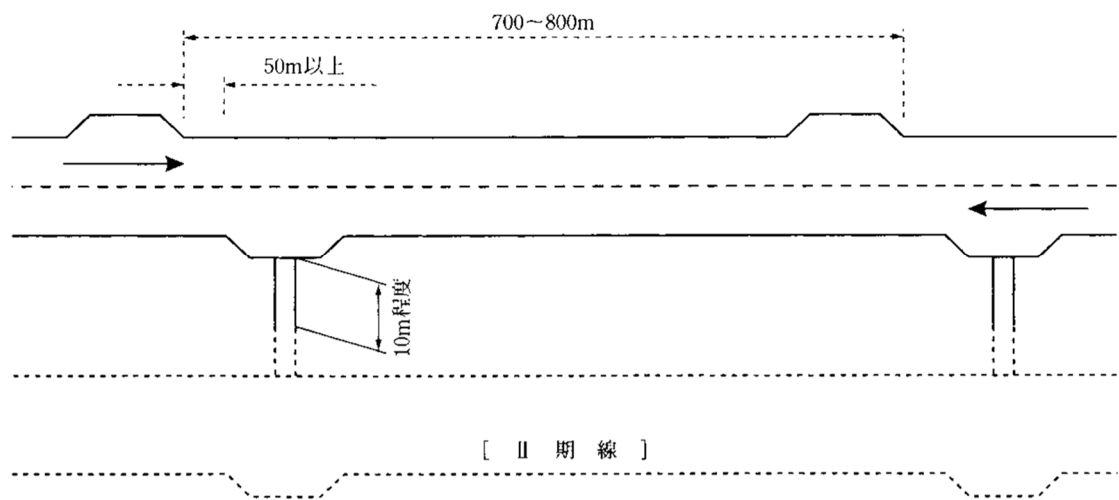
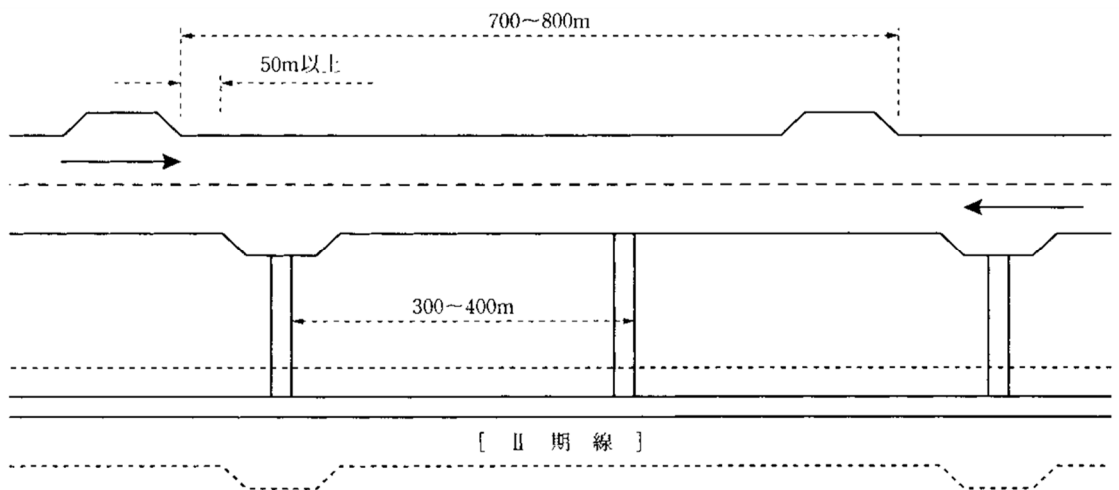


図 7.2 避難通路の内空断面

- ウ) 避難坑は利用頻度が本坑に比較して少ないことから二次覆工を省略し、コスト縮減を図ることも想定し検討を行うことが望ましい。
- エ) 延長 3,000m 以上のトンネルでは車両連絡坑も設置することとし、設置基準は以下の通りとする。また、内空断面は図 7.2 の(b)に示すものとする。
- 車両連絡坑の設置にあたっては、従来の避難連絡坑のうち 1 箇所または数箇所を車両が通過可能な断面とする。
 - 車両連絡坑の間隔は概ね 2,000～3,000m 程度を目安とする。
 - 車両用避難連絡坑は、車両が入り込みやすいように、隅切りを施工するものとする。
 - 避難連絡坑は完全水平に計画する。(路面に対して水平だと、扉が動かない場合がある。)



(a) 暫定2車避難坑がない場合の非常駐車帯と連絡坑配置



(b) 暫定2車避難坑がある場合の非常駐車帯と連絡坑配置

図 7.3 連絡坑・非常駐車帯の配置例

10. トンネルの本体設計と施設設計の連携

(中部地整H26 p7-1)

トンネルには、換気設備、電気設備、排水設備、非常用設備、電気室等の施設がある。

これら施設の設計は、表 7.4 に示す設計フローのとおり、一般的にトンネル本体設計とは別に行われるが、本体設計で決まってくる情報を基に行う必要がある。

しかし、多くのトンネルにおいて本体設計と施設設計で情報共有が図られず、例えば図 7.4 のように内装板が設置できない事例や、各設備用の箱抜きが不整合となっており、修正設計が必要となり、余分な時間や経費が必要となりかねないことがある。

そのため、本体設計と設備設計は同時並行して行い、情報共有・調整を図る必要がある。

以下、設計時において特に注意する項目について列挙するので参考とされたい。

- ・ 配置計画に基づき適切に配置がされているか
- ・ 施設の大きさにあった適切な箱抜き（施設・配管計画）が設計されているか
- ・ 各施設の配管・配線が干渉していないか
- ・ トンネル抗口部については、各種設備が集まるため空間的にみて問題はないか
- ・ トンネルのスパン割（打ち継ぎ部）の箇所に設置はおこなっていないか
- ・ 建築限界をおかしていないか



(内装板の設置ができない事例)



(使われない箱抜きの事例)

図 7.4 本体設計と施設設計の不整合の事例

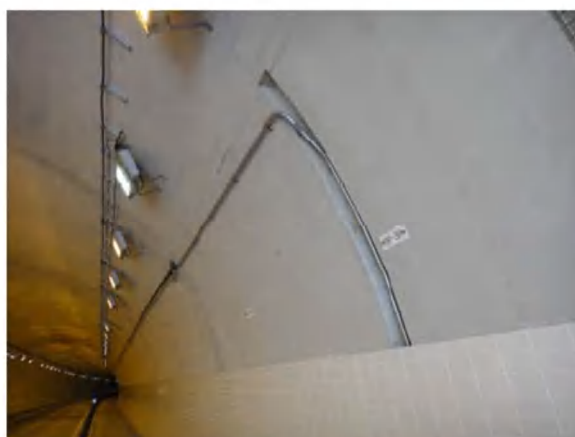
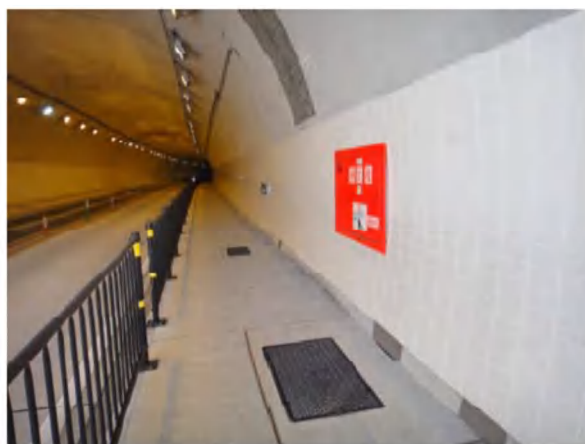
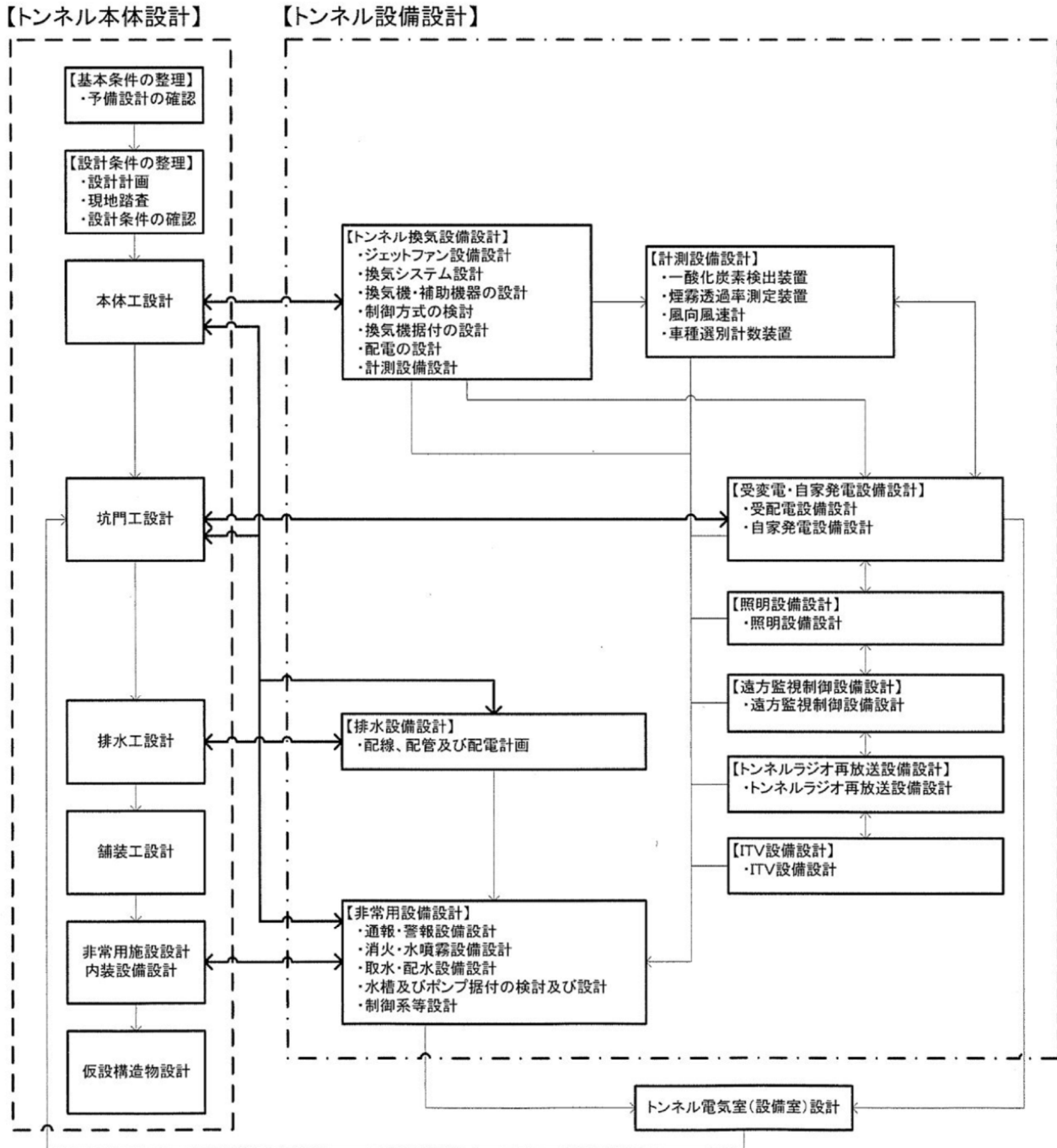


図 7.5 適切に設計された事例

表 7.4 トンネル設計フロー



第3節 内空断面の設計

1. 内空断面設計の一般的事項

(トン技・構造 p91～97、トン示 p13～15、NEXCO・建設 p2-4、中部地整 H26 p7-8)

- (1) 内空断面は、道路構造令に定める所要建築限界を侵すことなく、舗装、排水等の道路付帯構造物、換気、照明、非常用、内装等の諸設備および管理用施設の設置空間を確保し、包含していなければならない。
- (2) 内空断面には、覆工打設による施工誤差等の余裕量を見込むものとする。
- (3) 同一断面内に、自動車と自転車及び歩行者を通行させるトンネルにあつては、特に自転車及び歩行者の安全に留意した構造とする。

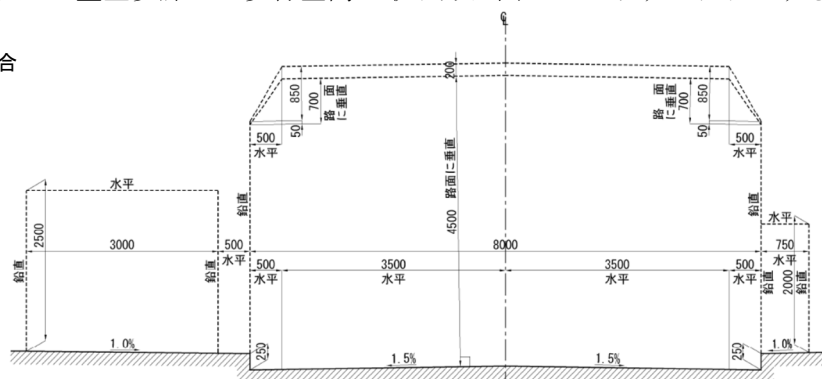
2. 内空断面設定の考え方

(中部地整 H26 p7-8～10)

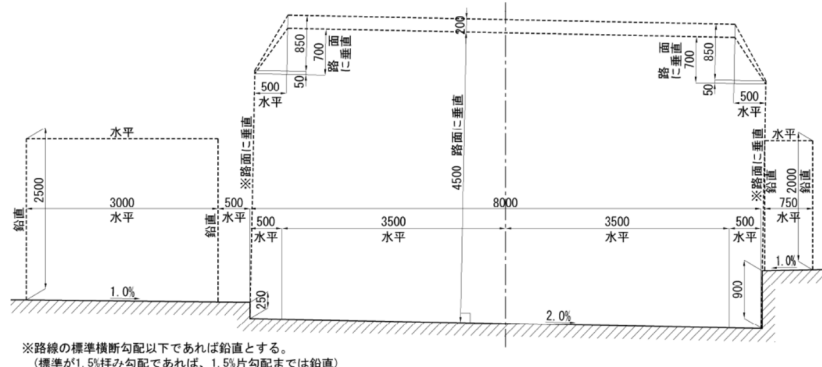
(1) 建築限界の考え方

車道の建築限界および監査歩廊上の歩行空間の取り方は図 7.6 に示すとおりとする。

(a) 拌み勾配の場合



(b) 片勾配の場合



(c) ISO 海上コンテナ運搬指定路線における建築限界(中部地整 H26 p7-15)

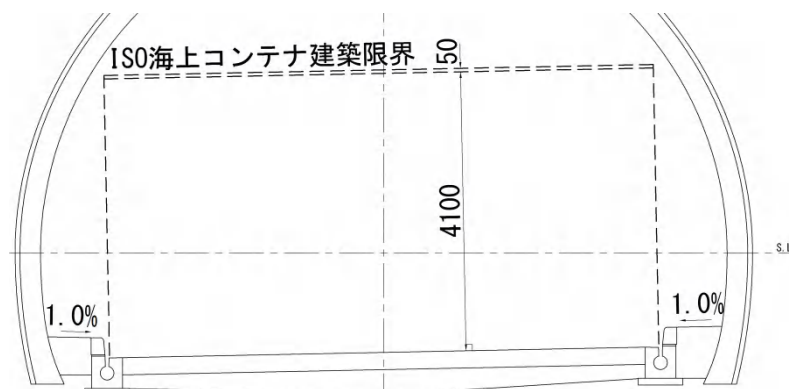


図 7.6 建築限界の考え方

① 車道部

車道部の建築限界高さは 4.5m、路肩部 3.8m とし、路面に垂直方向に確保するものとするが、路肩部の立上りについては、拌み勾配では鉛直方向、片勾配では路面に垂直方向とする。ただし、片勾配であっても路線の標準横断勾配以下であれば、拌み勾配同様鉛直方向とする。

また、路肩側溝のエプロン、縁石等の固有形状は建築限界に考慮しない。

ISO 海上コンテナ運搬指定路線においては、別途建築限界を考慮する。

② 歩道・自転車道等

歩道、自転車道等を設ける場合は、建築限界高さ 2.5m をトンネル側壁側で鉛直方向に確保し、建築限界幅は水平方向に確保するものとする。車道面からのマウントアップ高さは 25cm を標準とする。

また、横断勾配は、トンネル内に降雨等による路面水がないことから 1.0% を標準とする。坑内排水を別途考慮する必要がある場合には、溝等を施工することとする。

ただし、明り部との連続性も十分検討し決定するものとする。

③ 監査歩廊・監視員通路

監査歩廊、監視員通路を設ける場合は、建築限界高さ 2.0m をトンネル側壁側で鉛直方向に確保し、建築限界幅 0.75m を水平方向に確保するものとする。車道面からのマウントアップ高さは監査歩廊で 25cm、監視員通路で 90cm を標準とする。

また、横断勾配は 1.0% を標準とするが、管理上支障がある場合は別途考慮する。

(2) 舗装及び排水

① 舗装(九州地整 R5.4 p 道 3-47)

トンネル内の舗装は、舗装設計便覧 H18.2 によるものとする。

② 路盤

底盤地山と舗装路盤は、2%程度以上の勾配で中央排水に摺付けるものとする。

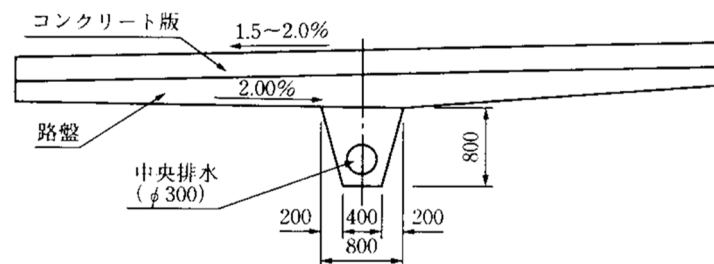


図 7.7 舗装および中央排水工の構造

③ 歩道部の舗装(九州地整 R5.4 p 道 3-49)

ア) トンネル内の舗装は、舗装設計便覧 H18.2 によるものとする。

イ) 版厚は 7cm 程度とし、路盤上にはアスファルト乳剤を散布するか、路盤紙を敷く。路盤材料には、クラッシャーラン(RC40)を用い、路盤厚は 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、目地部で反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き合わせ目地構造とする。

(3) 視距の確保

平面線形に曲線を有するトンネルにおいては「道路構造令の解説と運用(社)日本道路協会(H27.6)」により視距の照査を行い、確保できない場合は車線幅員の拡幅を行うものとする。

(4) 余裕量

① 換気設備設置に対する余裕量

機械換気を必要とするトンネル、あるいは必要としないトンネルであっても将来的に必要と予想されるトンネルにあつては、その設置空間を見込むものとするが、換気設備の設置に伴い内空断面の拡大が必要とされる場合は、トンネル本体施工費、換気設備費等の総合的な検討を十分行うものとする。

換気設計にあたっては、換気設備の検討時期とトンネル供用開始時期に大幅な開きが生じる場合は、排ガス規制等による発生源の低減を考慮することが望ましい。

換気方式としてジェットファン方式を採用する場合は、表 7.5 に示すジェットファン設置諸元により、余裕量を見込むものとする。

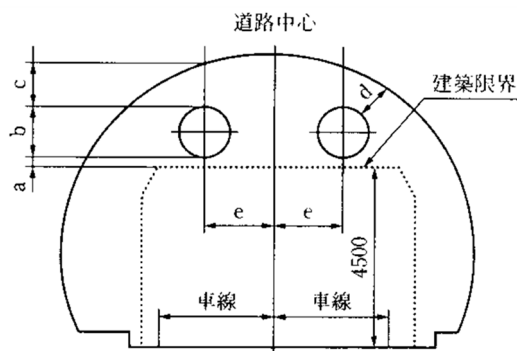


図 7.8 ジェットファンの断面取付図

表 7.5 ジェットファン設置諸元

型 式	a	b	c	d	e
JF 600	200mm	800mm	250mm 以上	250mm 以上	1525mm 以上
JF1000	200mm	1200mm	250mm 以上	250mm 以上	
JF1250	200mm	1450mm	250mm 以上	250mm 以上	
JF1500	200mm	1750mm	250mm 以上	250mm 以上	

注) c、d 寸法は、離間距離(トンネル壁面とジェットファンとの距離) 200mm に施工誤差 50mm を考慮した数値である。上表の適用にあたっては、ジェットファン諸元等最新機種との整合を確認すること。高風速タイプの開発が進んでおり、各タイプの寸法と同等に評価する。

② 内装設置幅に対する余裕量

内装を施す場合は、タイル張り、パネル張りとも設置幅として 3cm を見込むものとする。
ただし、選定した材料によりこれによりがたい場合は別途考慮する。

③ 舗装オーバーレイに対する余裕量

トンネル内の舗装は全面的な打替えが困難なため、オーバーレイの余裕を建築限界高さに見込んでおく必要があり、車道部で 20cm、路肩端部で 5cm を見込むものとする。

④ 施工誤差に対する余裕量

覆工コンクリート打設時の施工誤差余裕として 5cm を見込むものとする。
ただし、監査歩廊に対しては見込まないものとする。

⑤ セントル設置に対する余裕量

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

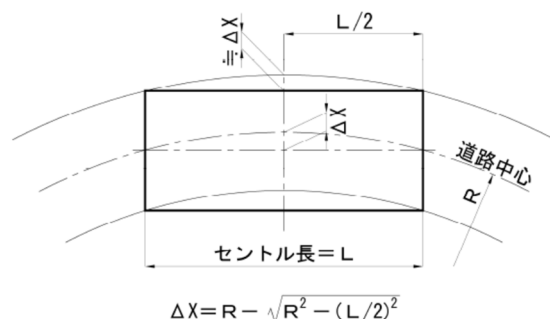


図 7.9 セントル設置に対する余裕量

⑥ 水路に対する余裕量

AA 級トンネル等水噴霧設備が計画される場合、側溝断面について考慮すること。

3. 内空断面形状の考え方

(1) 断面区分

断面決定にあたっては、トンネルの高さと幅の比で表わす偏平率を指標とし、最も経済的で安全な断面を比較し決定する。**(トン技・構造 p94、中部地整 H26 p7-10~12、※県仕様)**

表 7.6 断面区分

		区 分		
		通常断面	大断面	小断面
項 目	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	上半単芯円または 上半3芯円断面※	一般的に 上半3芯円断面	上半単心円 側壁部鉛直断面
	内空縦横比	0.6 以上※	概ね 0.57 以上	概ね 0.8 以上
	内空断面(m²) (参考値)	40~80 程度	80~100 程度	8~16 程度

注1) 内空幅とは、スプリングライン上での内空幅をいう。(図 7.10、図 7.11 に示すWをいう。)

注2) 内空縦横比(H/W)は、図 7.10、図 7.11 に示す内空高さ(H)と内空幅(W)の比で表示した。

注3) 内空形状は、上半(SL より上)を形成する円弧の数で、図 7.12、図 7.13 に示すように上半単心円(3心円)と上半3心円(5心円)とした。

注4) 内空幅が、通常断面と大断面の境界付近に位置する場合は、それぞれの内空形状について検討し、適切な形状を決定する。

注5) 上半3心円断面の上半半径比率は、応力伝播を考慮し、クラウン 1.5 : サイド 1.0 以下とする。

注6) 内空断面積は断面形状（内空縦横比等）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。参考として各断面のおおよその内空断面積を表示した。なお、ここでの内空断面積とは、インバート（盤下）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面積（舗装面の上部）とは異なる。

注7) 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、地山条件等に応じた検討が必要である。

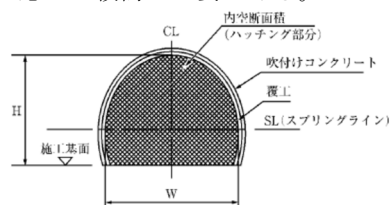


図 7.10 インバートなしの場合

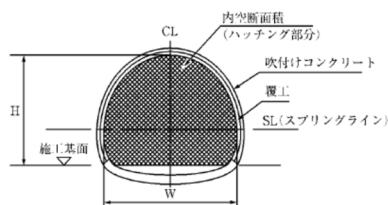


図 7.11 インバートのある場合

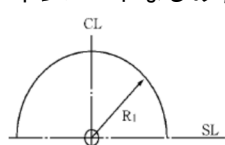


図 7.12 上半単芯円

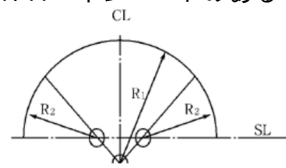


図 7.13 上半3芯円

(2) 内空諸元寸法

SL 高さ、トンネル中心偏心量、内空半径等の諸元寸法は、原則トンネル全延長に対し一定とする。

ただし、内空諸元寸法を変化させることで大幅に経済性が向上すると考えられる場合は、施工性等を総合的に検討し決定する。

非常駐車帯部等建築限界が異なる場合はこれによらない。

(3) 下半半径

下半半径は、上半半径（上半 3 心円断面においてはアーチサイド半径）の 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍を比較検討し、最適な形状とする。

(4) 下半足付け高さ

下半の足付け高さ（側壁高さ）は、トンネル全延長に占める割合が最も大きい路面横断勾配によって決定される舗装路盤の最下端位置を、SL より 5cm ラウンドで切り捨てた値とし、トンネル全延長に対し一定とする。

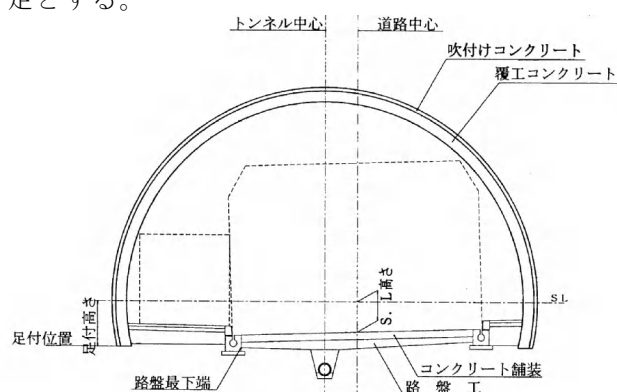


図 7.14 覆工コンクリートの足付位置

(5) インバート

① インバート半径

インバート半径は、中央排水工下端を基準に内空側壁下端を通る円弧とする。

ただし、内空側壁下端はあくまでインバート半径算定の仮想点とし、中央排水工下端を固定とする。

中央排水工の高さは、下半の足付け高さ同様の路面横断勾配により決定する。

また、上記の手法では路肩側溝が欠損する場合、あるいは歩道、監査歩廊下の埋設物用のスペースが不足する場合等においては、適宜、内空側壁下端を移行してインバート半径を決定する。

② 側壁・インバートすり付け半径

側壁とインバートは円弧によりすり付けるものとし、半径 1.5m を標準とするが、路肩側溝が欠損する場合、埋設物用のスペースが不足する場合等においては半径 1.0m とすることができる。インバート半径と併せて検討し最適な形状とする。

また、1 車線トンネル、歩行者専用トンネル等内空幅が小さいトンネルにおいては、全体のバランスを考慮して半径 1.5m あるいは 1.0m を決定する。

(6) 諸元寸法のラウンド値

SL 高さ、トンネル中心偏心量、内空半径等の諸元寸法は、表 7.7 を標準とする。

(近畿地整 H24 p8-14)

表 7.7 内空諸元のラウンド値

項 目	丸め値
上下半半径	1cm
インバート半径	1cm
S L 高さ	1cm
道路中心とトンネル中心の偏心量	1mm

4. 道路トンネル標準断面の例

(中部地整 H26 p7-13~14)

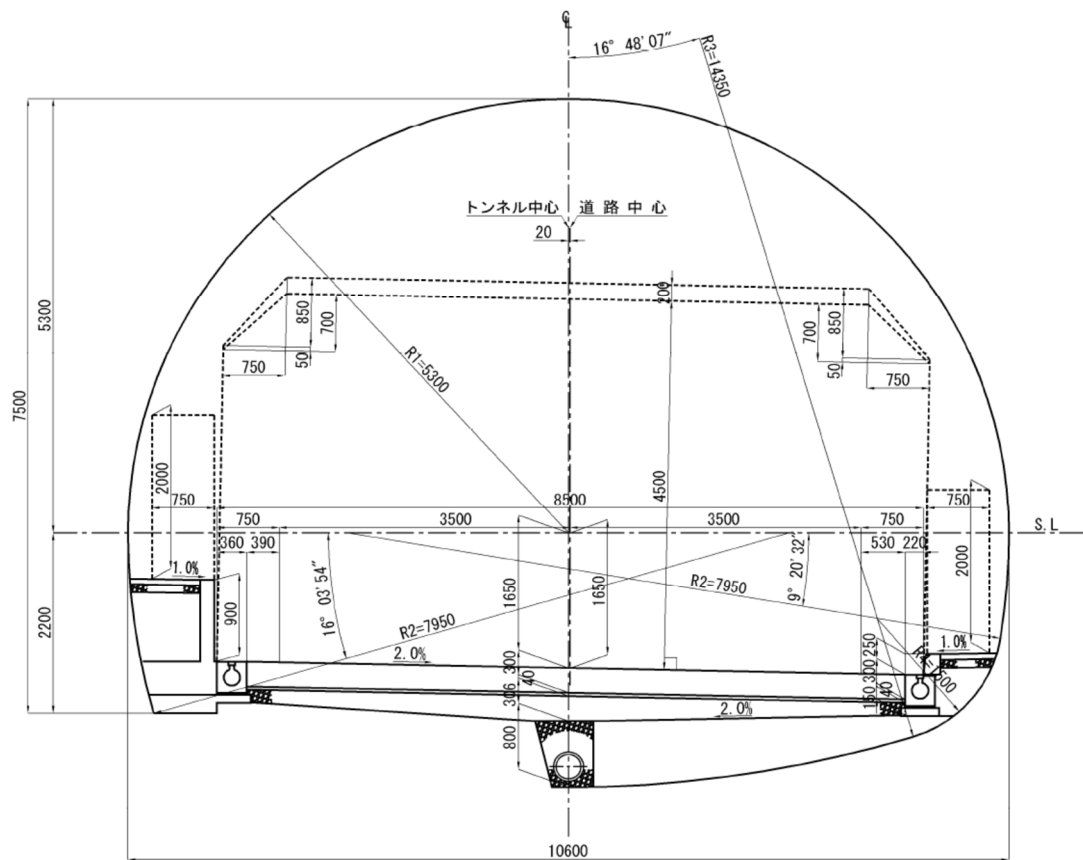


図 7.15 標準断面の例（上半単芯円）

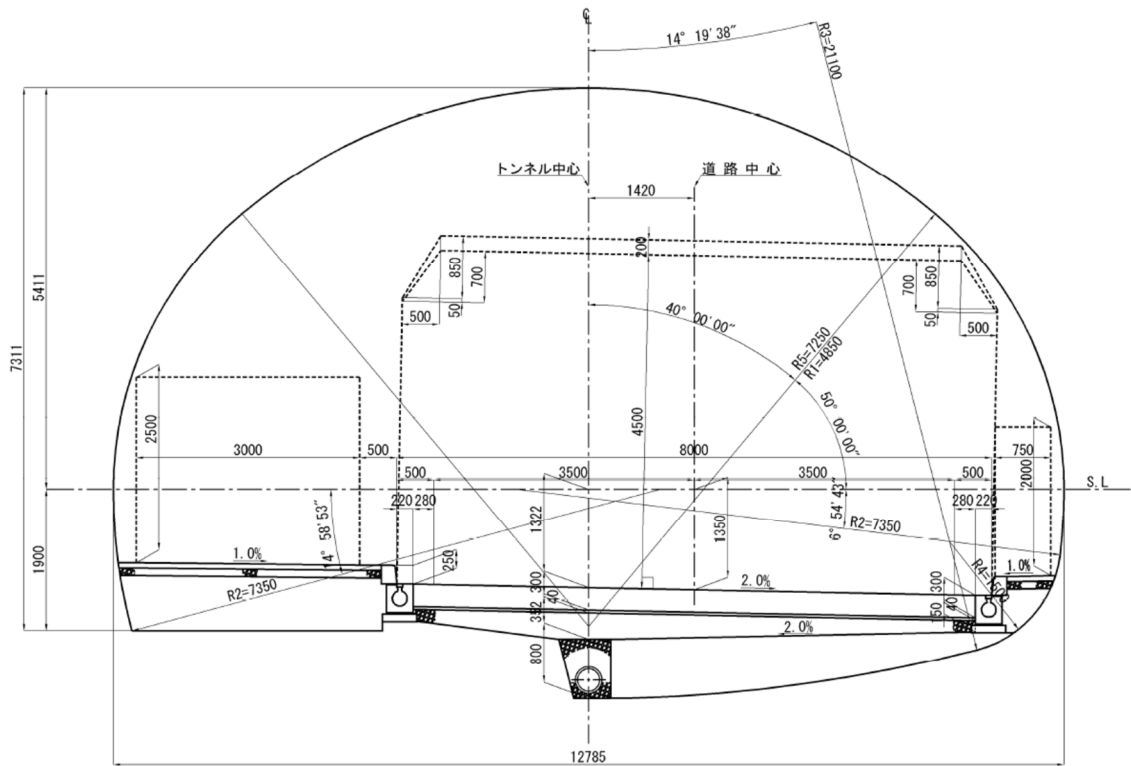


図 7.16 標準断面の例（上半3芯円）

第4節 地山分類

1. 地山分類

トンネルの設計・施工にあたっては、地質調査等の結果に技術的判断を加え地山分類を行わなければならない。(トン技・構造 p76～85)

トンネルの設計・施工にあたっては、地山の工学的諸性質が最も重要な要素であることから、これを十分に把握するように努めなければならない。地山の工学的諸性質は、生成時代、地質構造、風化・変質状況、不連続面の状態、地下水の影響等によって異なり、地山の諸性質を工学的に評価することは極めて難しいが、トンネルの設計・施工を効率よくかつ合理的に行うためには、この地山物性を類型化して評価する必要がある。そのため、設計・施工と対応した地山評価基準すなわち地山分類基準が必要となる。表 7.9 に最近の施工実績の分析結果から得られた設計・施工に適用する地山分類表を示す。

この地山分類の考え方は以下に示すとおりである。

岩盤の現時点での力学的性状は、地質体が生成された時点の、ごく新鮮な状態における初生的性質を出発点とし、その後の風化作用や断層、節理の形成などによって初生的性質が、劣化してゆく過程のなかで決まる。

初生的性質とは、地質体の種類とその構造、初生的節理・層理や片理などの岩盤固有のでき方を反映した要素である。劣化の過程とは、各地質時代に生じた地殻変動による岩体の上昇や沈降、種々の方向からの応力によるひずみや、せん断、陸化による侵食や風化、新しい岩体の貫入による熱変成など、地質体が生成後、現在の岩盤に至るまでに経た経歴を反映した要素である。

したがって、地山分類にあたっては、岩盤を初生的性質を反映した新鮮な状態での強度と、その後の劣化の過程を表す劣化のしかたをもとに、4 つの岩石グループに区分する。すなわち新鮮な状態での強度により、一軸圧縮強度が 80N/mm^2 以上の硬質岩 (H)、 $20\sim 80\text{N/mm}^2$ の中硬質岩 (M)、 20 N/mm^2 未満の軟質岩 (L) に区分し、劣化のしかたは、節理面が支配的な不連続面となるようなものを塊状、層理面あるいは片理面が支配的な不連続面となるようなものを層状に区分する。そしてこれらを、トンネル建設時の挙動の特徴をもとに表 7.8 のように、硬質塊状岩盤、中硬質軟質塊状岩盤、中硬質層状岩盤、軟質層状岩盤の 4 つのグループに区分した。ただし、これら岩の強度や劣化のしかたは、岩種により特徴づけられることから、実務的には岩種により区分を行っている。

表 7.8 岩石グループ(※県仕様)

	H (硬質岩)	M (中硬質岩)	L (軟質岩)
塊状岩盤	流紋岩、溶結凝灰岩(濃飛流岩類・奥美濃酸性岩類)※ 斑れい岩、かんらん岩 花崗岩、花崗斑岩 ホルンフェルス 角閃石岩 石英紋岩 中・古生層砂岩 石灰岩 片麻岩	流紋岩(第三紀層)※ ひん岩 石英安山岩 玄武岩、輝緑凝灰岩 第三紀層砂岩、礫岩	蛇紋岩 凝灰岩 凝灰角礫岩
層状岩盤		チャート(珪岩)※ 砂岩、泥岩互層 中・古生層頁岩	千枚岩 黒色片岩、緑色片岩 第三紀層泥岩

注 1) は、弾性波速度による区分を示す。

注 2) 流紋岩及び熔結凝灰岩（濃飛流紋岩類・奥美濃酸性岩類）については、岐阜県では塊状硬質岩とする。第三紀層の流紋岩についてのみ塊状中硬質岩とする。チャートについては、層状中硬質岩とする。

トンネルの掘削の難易や土圧等の地山の挙動に関係する地山条件には、

- ① 岩石そのものの硬軟および固結度
- ② 風化・変質の程度
- ③ 節理、層理、片理等の不連続面の間隔、幅、形状、充填物の状態
- ④ しゅう曲、断層、破碎帯等の地質構造およびそれに起因する地山の応力状態
- ⑤ 土被り
- ⑥ 地下水の影響

等がある。これらに対する地山判定の指標は、「調査」および「観測・計測」の成果から得ることを原則とし、弾性波速度（縦波速度）、地山の状態（岩質・水による影響、不連続面の間隔、不連続面の状況）、ボーリングコア（コアの状態、RQD）、トンネル掘削の状況とする。また、第三紀層等の軟岩地山や断層・破碎帯など、地山の強度と作用する荷重の比率が問題になり、トンネル掘削時の変位が大きくなる岩石に対しては、前記に加えて地山強度比を用いる。表 7.9 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に留意しなければならない。

表 7.9 NATM 工法(トン示 p

地山 等級	岩石 グループ	代 表 岩 石 名	弾性波速度 VP (km/s)					岩質、水に
			1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	
B	H 塊状	流紋岩、溶結凝灰岩、花崗岩、ホルンフェルス、石英斑岩						・新鮮で堅硬 ・少の風化 ・がある。 ・水による劣
		中生層の砂岩						
	M 塊状	第三紀層の流紋岩、石英安山岩、玄武岩、輝緑凝灰岩						
		第三紀層の砂岩・礫岩						
	L 塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩						
	M 層状	チャート、砂岩・泥岩互層、中・古生層頁岩						
	L 層状	黒色片岩、緑色片岩						
		第三紀層泥岩						
C I	H 塊状	流紋岩、溶結凝灰岩、花崗岩、ホルンフェルス、石英斑岩						・比較的新鮮 ・は、多少 ・の傾向があ ・固結度の比 ・岩。 ・水による劣 ・い。
		中生層の砂岩						
	M 塊状	第三紀層の流紋岩、石英安山岩、玄武岩、輝緑凝灰岩						
		第三紀層の砂岩・礫岩						
	L 塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩						
	M 層状	チャート、砂岩・泥岩互層、中・古生層頁岩						
	L 層状	黒色片岩、緑色片岩						
		第三紀層泥岩						
C II	H 塊状	流紋岩、溶結凝灰岩、花崗岩、ホルンフェルス、石英斑岩						・比較的新鮮 ・は、多少 ・の傾向があ ・風化・変質 ・岩質は多 ・いる。 ・固結度の比 ・岩。 ・水により劣 ・を部分的に
		中生層の砂岩						
	M 塊状	第三紀層の流紋岩、石英安山岩、玄武岩、輝緑凝灰岩						
		第三紀層の砂岩・礫岩						
	L 塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩						
	M 層状	チャート、砂岩・泥岩互層、中・古生層頁岩						
	L 層状	黒色片岩、緑色片岩						
		第三紀層泥岩						
D I	H 塊状	流紋岩、溶結凝灰岩、花崗岩、ホルンフェルス、石英斑岩						・岩質は多少 ・の。 ・層理・片理 ・不連続面の ・る。 ・不連続面の ・小規模な断 ・転石を多く ・水により劣
		中生層の砂岩						
	M 塊状	第三紀層の流紋岩、石英安山岩、玄武岩、輝緑凝灰岩						
		第三紀層の砂岩・礫岩						
	L 塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩						
	M 層状	チャート、砂岩・泥岩互層、中・古生層頁岩						
	L 層状	黒色片岩、緑色片岩						
		第三紀層泥岩						
D II	H 塊状	流紋岩、溶結凝灰岩、花崗岩、ホルンフェルス、石英斑岩						
		中生層の砂岩						
	M 塊状	第三紀層の流紋岩、石英安山岩、玄武岩、輝緑凝灰岩						
		第三紀層の砂岩・礫岩						
	L 塊状	蛇紋岩、凝灰岩、凝灰角礫岩						
	M 層状	チャート、砂岩・泥岩互層、中・古生層頁岩						
	L 層状	黒色片岩、緑色片岩						
		第三紀層泥岩						

2. 地山分類表を適用するにあたっての留意点

(トン技・構造 p80～85、トン示 p49～50)

- (1) NATM 工法の地山分類表は、原則として、土被り高さが 20m 以上 500m 未満の 2 車線トンネルの計画に適用するものとするが、3 車線トンネルもこれに準ずることができる。
- (2) この表は、一般的な標準を示すものであり、坑口部で大きな偏圧が作用する場合、地すべりの発生が予想される場合、地表面沈下を抑制する必要がある場合等、特殊な事情がある場合には適用できない。
- (3) 地山等級 E は、特殊な岩質(大きな岩錐、大きな断層・破碎帯等の土圧が著しい岩質)で内空変位が 200 mm 程度以上になるもの以外には用いない。
- (4) 地山判定基準

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、地山試料試験等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、地山試料試験等の調査結果を活用し、それらを補完する目的で使用する。

ア) 弾性波速度 (km/sec)

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

- ① 弾性波探査の有効探査深さは、測線が探査深度の 5～6 倍必要であることから実用的には 100m 程度が限界であり、かつ地表面から深部の層へ順番に硬くなる(弾性波速度が早くなる)ことを仮定した方法であるので、途中で硬い層が有るなどの逆転が生じる場合には適用できない。
- ② 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。
- ③ 弾性波速度(縦波速度)および地山強度比の値が各地山等級間の境界となるデータについては、地形的特性、地質状態等により工学的に判定する。
- ④ 坑口部および谷直下付近は、トンネルの上方および側方の土被りが薄い場合が多い。その場合は、弾性波速度に対し注意を払い、この表の等級を下げることも考える。
- ⑤ トンネル基盤(道路計画高)より上部約 15m または、約 1.5D(D は SL 部トンネル掘削幅とする。)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基盤の速度層より上層(速度の遅い層)の速度を採用する方が望ましい。
- ⑥ 土被りの小さい所では地質が比較的悪く、地質区分の変化も著しいことが多いため、測量誤差(航測図化図、実測図、弾性波探査測量図)や物理探査の解析誤差が地質区分の判定に大きな影響を与えるので、特に注意を払う必要がある。
- ⑦ 断層・破碎帯については、弾性波速度のみでなく、その方向・土被り・その他の判定基準も参考にして、補正を行う。
- ⑧ 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。

イ) 一般的な地山の状態

トンネル掘削の対象となる地山、すなわち岩盤を評価するためには、岩盤が岩塊、岩片という要素が重なり合った不連続物体であり、岩片がある一定以上の強度を持つものであれば、その強度は不連続面の強度に支配されるということを良く理解しておく必要がある。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岩片の強度が支配的になる。

①岩質

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試験強度などにより、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、点載荷引張強度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。

②水による影響

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。

ウ) 不連続面の状態

不連続面の状態は、不連続面がトンネルの挙動を支配する場合には、最も重要な地山判定項目となる。すなわち、岩盤のせん断強度は、不連続面の形状と不連続面に狭在する物質の種類によって決まる。したがって、不連続面の粗さ（形状および表面のすべりやすさ）、粘土などの充填物を主とし、長さ（連続性）、幅（開き）、風化の状態を総合的に検討して、トンネル掘削の岩盤の挙動の観点から評価する。事前調査においては、地表地質調査、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。

エ) 不連続面の間隔

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

オ) 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、ボーリング外径 66mm のダブルコアチューブで採取されたコアについて適用する。

カ) 地山強度比

地山強度比は、次のように定義する。

q_u : 地山の一軸圧縮強度 (kN/m²) (1kN/m²=1/1000N/mm²)

地山強度比: $\frac{q_u}{rh}$ r : 地山の単位体積重量 (kN/m³)

h : 土被り高さ (m)

なお、地山の一軸圧縮強度は、亀裂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) を用いることができる。

V_p : 地山の弾性波速度 (縦波、km/s)

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

U_p : 試料の超音波伝播速度 (縦波、km/s)

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。

キ) 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 7.9 に示したとおりである。変位の計測は、ずり処理後できるだけ早い時期 (遅くとも 3 時間以内) に初期値を測定する必要がある。なお、施工時の切羽観察による地山評価においては、切羽で観察される不連続面の走向・傾斜とトンネル軸の関係、および地下水の湧水量、地下水による強度低下に対して必要に応じて地山の評価を修正するものとする。

ク) 注意すべき岩石

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

- ① 蛇紋岩や蛇紋岩化を受けた岩石等、泥岩・頁岩・凝灰岩等、火山碎屑物等は水による劣化を生じ易いので十分注意を要する。
- 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の調査の結果だけでは地質の実体を把握できないことが多いので、施工段階に十分注意を要する。
- ③ 輝緑岩、角閃岩、かんらん岩、斑れい岩、輝緑凝灰岩は、蛇紋岩化作用を受け易いので、蛇紋岩と同様の注意が必要である。
- ④ 蛇紋岩や変朽安山岩、黒色片岩、泥岩、凝灰岩等で膨張性が明確に確かめられたならば、DⅡまたはEに等級を下げる。

(5) NATM 工法における地山判定基準について

ア) 一般的な地山の状態

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という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岩片の強度が支配的となる。

① 岩質

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、転載荷引張強度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。

② 水による影響

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

イ) 不連続面の状態

不連続面の状態は、不連続面がトンネルの挙動を支配する場合には、最も重要な地山判定項目となる。すなわち、岩盤のせん断強度は、不連続面の形状と不連続面に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)、粘度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。

ウ) 不連続面の間隔

不連続面の間隔とは、層理、片理、節理による規則性を持った割れ目の平均間隔をいい、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って判断する。施工中は、切羽の詳細な観察により判定できる。

エ) トンネル掘削の状況と変位の目安

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

(6) 矢板工法における地山判定基準について

ア) 設計の段階では弾性波速度の他、現地踏査、ボーリング、試掘等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。

イ) 観察(ハンマー打撃による割れ方・亀裂間隔)について

① 岩石の硬さ、亀裂は局部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。

岩種 $abcd_1$ に適用する。

ウ) 掘削後の状態(切羽の自立性・変形特性)について

① 切羽の自立性は、施工実績をもとに示したものである。

② 内空変位置は、トンネル掘削径(掘削径 11m~12m 程度)に対するもので施工実績から得られたものであり、管理基準の一応の目安とすることができる。

第5節 掘削工法の選定

1. 掘削一般

(トン技・構造 p187)

トンネルの安定性・耐久性・経済性を考えれば、できるだけ地山を緩ませず余掘りを少なくすることがトンネル掘削にあたっての基本的理念である。しかしながら、地山条件、作業能率等を考慮した場合、ある程度の地山の緩みや余掘りは避けられない。このため、掘削にあたっては、総合的に安全で経済的となる掘削方式、掘削工法等を選定しなければならない。

2. 掘削方式

(トン技・構造 p187～188)

(1) 爆破掘削

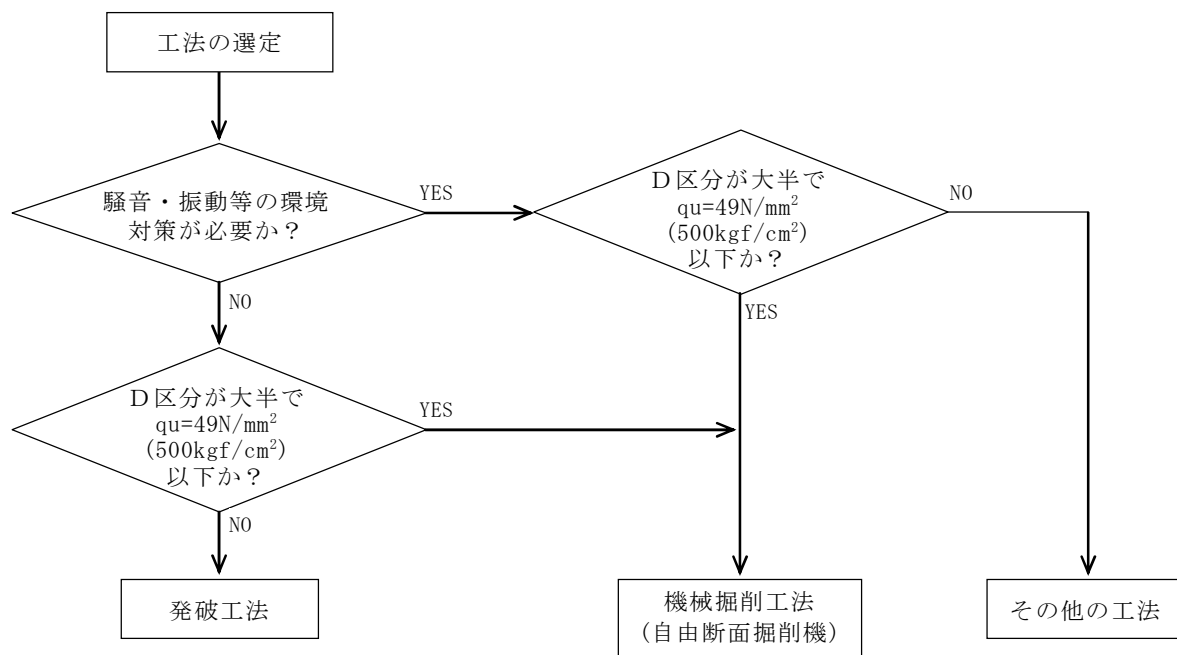
爆薬で地山を破碎掘削するもので、硬岩地山から軟岩地山まで幅広い地山に適用でき、柔軟性に富んでいるので、我が国のように地質の変化の激しいところでは経済的な掘削方式となり多用されている。（*発破とは、爆破の中の特定産業分野に限定された一行為である。）

(2) 機械掘削

地山を機械的に圧砕または切削して掘削する方法で、余掘りも少ないこと、騒音や振動が少ないこと、保安上の制約が少ないことや、地山条件によって経済性に優れるなどの利点がある。

(3) 掘削方法の選定フロー

掘削方法の選定は、図 7.17 を標準とするが、適用に当たっては、ボーリング調査等の事前調査により、トンネルの地山条件(一軸圧縮強度、亀裂係数、地質、湧水量等)や環境条件等を総合的に判断し、これにより難しい場合は、別途選定するものとする。



注) 大半の区分は90%程度を目安とする。

図 7.17 掘削方法の選定フロー

3. 掘削工法

(トン技・構造 p188～191、トン示 p69～72)

(1) 一般的な工法図を図 7.18 に示す。

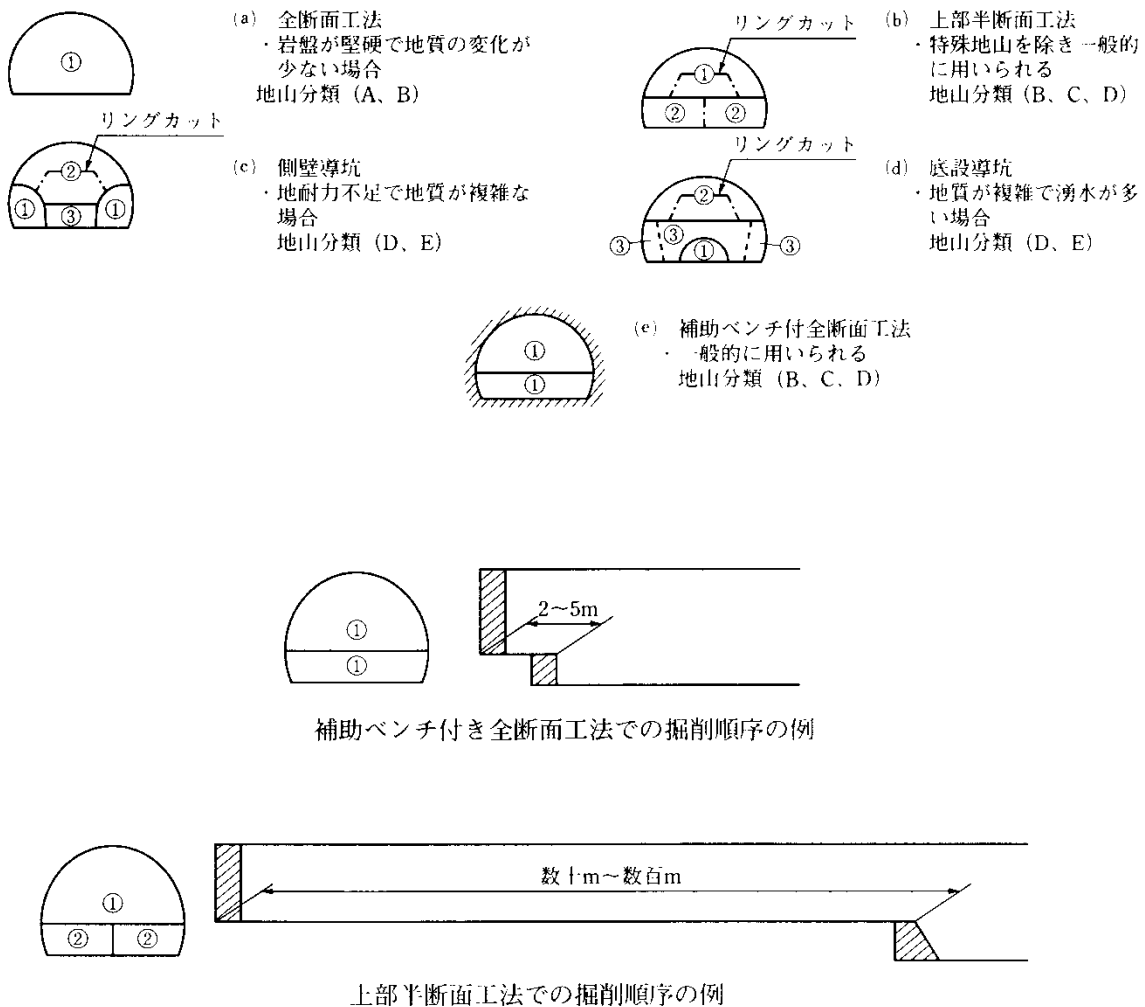


図 7.18 掘削工法図

注) 1 ①②③は掘削順序を示す。

2 切羽の安定が悪い場合は図中にて示したように、リングカットを行う。

4. 導坑断面の設計

(中部地整 H26 p7-50~51)

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、工程等の条件を考慮して設計する。

(1) 側壁導坑先進工法

- ① 掘削途中で側壁コンクリートの打設の必要性があるトンネルの導坑幅は 4.4m を標準とするが、作業員通路、車両幅員を確保出来るよう断面を決定すること。

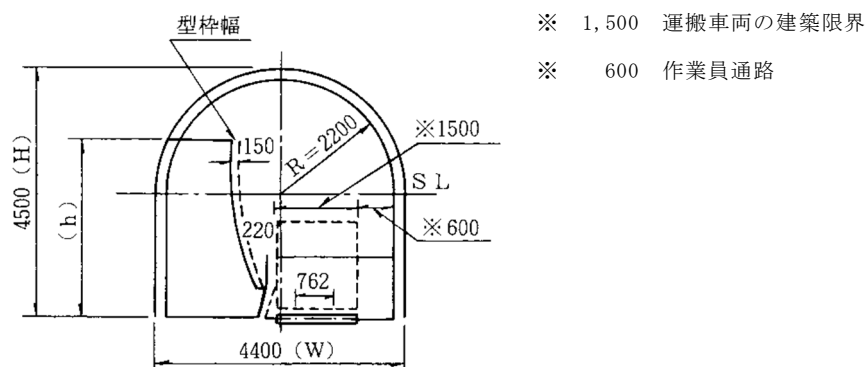
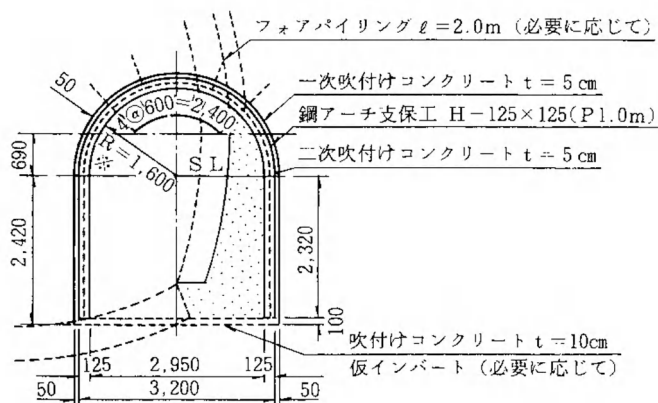


図 7.19 側壁導坑の例 (A)

- ② 導坑延長 100m 程度以下の導坑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すること。



※ RはH鋼の曲げ加工が可能な半径である。

図 7.20 側壁導坑の例 (B)

(2) 底設導坑先進工法

ア) タイヤ方式

導坑幅は 4t ダンプトラック、支保工、パイプ及び待避幅を考慮して 3.5m を標準とする。

イ) レール方式単線

導坑幅は6m³ ずり鋼車、支保工、パイプ及び待避幅を考慮して3.2mを標準とする。導坑高はレール式ローダ、支保工、換気用風管を考慮して3.0m程度を標準とする。

ウ) レール方式複線

導坑幅は6m³ずり鋼車、支保工、パイプ及び待避幅を考慮して5.0mを標準とする。導坑高はレール式ローダ、支保工、換気用風管を考慮して3.4m程度を標準とする。

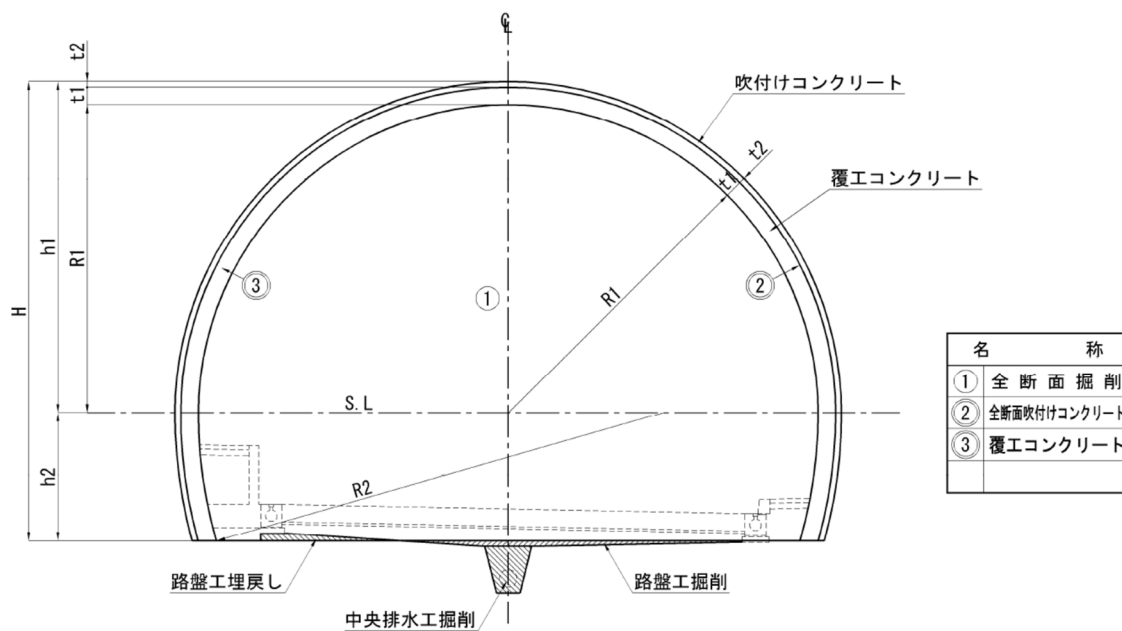
5. ずり出し方式

ずり出し方式は、タイヤ方式を標準とする。ただし湧水が多く、施工基面が泥化しタイヤ方式では施工困難な場合等においては、レール方式も検討する。

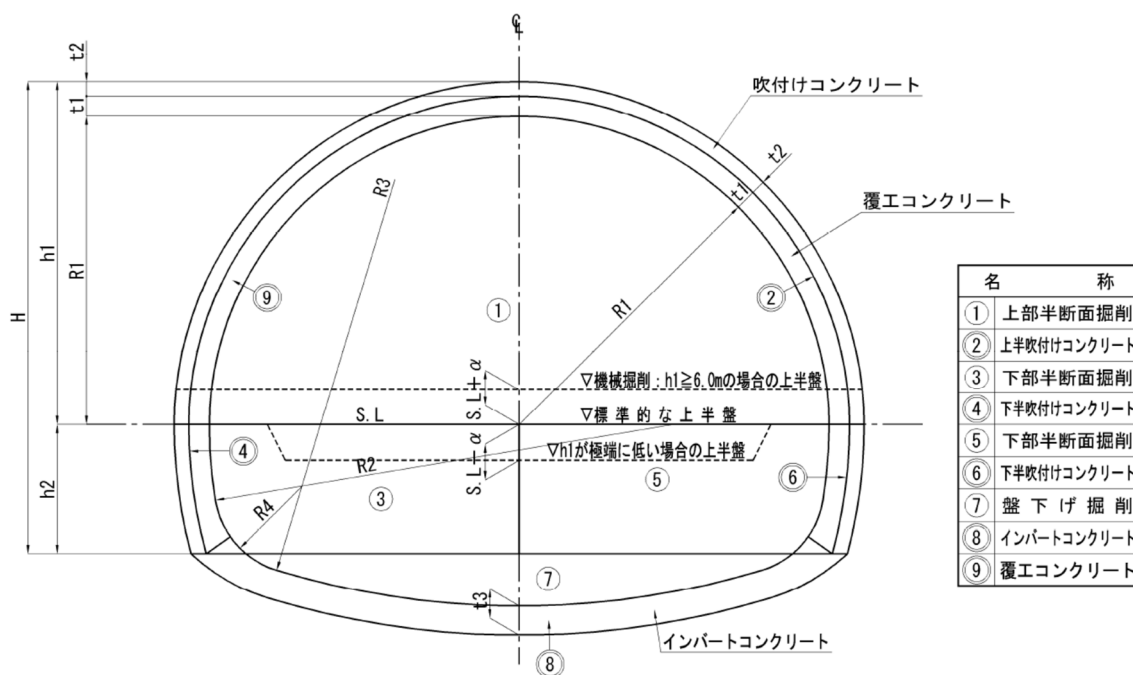
6. 加背割

(中部地整 H26 p7-17~18)

- (1) インバート無断面の下半盤は、側壁高さ(h_2)でフラットとする。
- (2) 機械掘削方式で上半高さ(h_1)が 6.0m を超える場合は、10cm ラウンド(α)で上半盤を上げるものとする。
- (3) 発破掘削方式で上半掘削高さ(h_1)が極端に低く、作業性が著しく悪いと考えられる場合は、施工機械、施工方法を検討し、10cm ラウンド(α)で上半盤を下げることができる。
- (4) (2)、(3)で上半盤を変更する場合、同一トンネルでその高さは一定とする。
- (5) 一次支保状態での断面閉合効果が期待できるように、吹付けコンクリートの脚部はインバートで受けるものとすることが望ましいが、下半盤の施工性を考慮し決定する。



(a) 補助ベンチ付全断面工法



(b) 上半先進ベンチカット工法

図 7.21 加背割図

第6節 支保構造の設計

1. 支保構造一般

支保構造は、トンネルを安全に掘削できるようにするとともに、完成後の内空断面を保持し、安定を確保するものである。よって吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工及び覆工等を地山の持つ応力と一体として目的を達成されるべく支保構造を適切に組み合わせ、地山条件に最も適した構造としなければならない。(トン技・構造 p99、トン示 p73、NEXCO・建設 p4-20)

2. 支保構造の選定

(1) 支保構造の標準パターン

ア) 一般部の支保パターン

(トン技・構造 p126、トン示 p76、中部地整 H26 p7-19)

表 7.10 通常断面トンネルの標準的な支保構造の組合せ(内空幅 8.5～12.5m 程度)

地山 等級	支保 ハターン	標準 1掘 進長 (m)	ロックボルト				吹付け コンクリート	鋼アーチ支保工		覆工厚 (cm)		変形 余裕 量 (cm)	掘削工法
			長さ (m)	施工間隔 (m)		施工 範囲	厚さ (cm)	上半 サイズ	下半 サイズ	アーチ 側壁	インバ ート		
				周 方向	延長 方向								
B	B-a	2.0	3.0	1.5	2.0	上半 120°	5	—	—	30	0	0	補助ベンチ付き 全断面工法※ または上半工 法
CⅠ	CⅠ-a	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	10	—	—	30	(40)	0	
CⅡ	CⅡ-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上下 半	10	—	—	30	(40)	0	
	CⅡ-b							H125	—				
DⅠ	DⅠ-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上下 半	15	H125	H125	30	45	0	
	DⅠ-b		4.0										
DⅡ	DⅡ-a	1.0 以下	4.0	1.2	1.0 以下	上下 半	20	H150	H150	30	50	10	

注1) 支保パターンの a, b の区分は、地山等級が C II、D I の場合は b を基本とする。

注2) インバートについて(中部地整 H26 p7-19)

- ① 地山等級が C I、C II においても第三紀泥岩、凝灰岩等*の粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土等の場合はインバートを設置する。
- ② 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることが出来るが、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、岩の長期支持力が十分であり、側圧による押し出し等もないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注3) 金網について(中部地整 H26 p7-19)

- 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、上半・下半に設置するのが通例である。
- ② 鋼繊維吹付けコンクリート(SFRC)等を用いる場合は、金網を省略できる。

注4) 変形余裕量について(中部地整 H26 p7-19)

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

注5) 爆破掘削方式における掘削工法について(県仕様)

爆破掘削方式の場合、地山等級 C I、C II、D I、D II の掘削工法は補助ベンチ付全断面工法とする。

イ) 大断面の支保パターン

(トン技・構造 p129、トン示 p77、中部地整 H26 p7-22)

表 7.11 大断面トンネルの標準的な支保構造の組合せ(内空幅 12.5～14.0m 程度)

地山等級	支保パターン	標準 1 掘 進長 (m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形 余裕 量 (cm)	掘削 工法
			長さ (m)	施工間隔		施工 範囲	上半 部種 類	建込間 隔(m)	アーチ 側壁 (cm)		イン バート (cm)			
				周方 向(m)	延長 方向 (m)									
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	-	-	10	40	-	0	補助ベン チ付全断 面工法・ 上部半断 面工法・ 中壁分割 工法・中 央導坑先 進工法	
C I	C I	1.5	4.0	1.2	1.5	上・ 下半	-	-	15	40	(45)	0		
C II	C II	1.2	4.0	1.2	1.2	上・ 下半	H-150	1.2	15	40	(45)	0		
D I	D I	1.0	6.0	1.0	1.0	上・ 下半	H-150	1.0	20	40	50	0		
D II	D II	1.0 以下	6.0	1.0	1.0 以下	上・ 下半	H-200	1.0 以下	25	40	50	10		

注 1) インバートについて(中部地整 H26 p7-22)

- ① 欄内に示した厚さのインバートを設けることを標準とするが、D I 等級地山においては、支保の長期的な安定性、および岩の長期的安定性が確認される場合はインバートを省略することが出来る。
- ② () 内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合はインバートを設置する。
- ③ 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さ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覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ④ 地山等級が D I であっても、岩の長期支持力が十分であり、側圧による押し出し等もないと考えられる場合はインバートを省略できる。

注 2) 金網について(中部地整 H26 p7-22)

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

注 3) 変形余裕量について(中部地整 H26 p7-22)

地山等級が D II においては、上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 4) 掘削工法について(中部地整 H26 p7-22)

- ① 中盤分割工法を採用する場合、本坑には上記の支保の組み合わせを適用することとするが、中盤の支保構造の組み合わせは、現地条件を考慮し決定するものとする。また、中盤分割工法は後追トンネル掘削時に頂部での先進トンネルとの支保工の接合部が弱点になることがあるから、接合部の処理に関して慎重に検討を行う必要がある。さらに、発破方式では発破の衝撃により中壁が掘削と同時に破損し、本来の中壁の果たすべき役割が発揮できないことから、発破との併用は好ましくない。
- ② 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。

ウ) 小断面の支保パターン

(中部地整 H26 p7-26、トン技・構造 p131、トン示 p76…内空幅 3.0～5.0m)

表 7.12 小断面トンネルの標準的な支保構造の組合せ(内空幅 3.0～5.0m 程度)

地山等級	標準 1 掘進 長 (m)	小断面(内空断面 8～16㎡ 程度)							
		ロックボルト				鋼製支保工		吹付け 厚 (cm)	覆工 厚 (cm)
		長 さ (m)	施工間隔		施工 範囲	部材 寸法	建込 間隔 (m)		
			周 方 向 (m)	延長 方向 (m)					
B	2.0	なし	—	—		なし	—	5	20
CⅠ	1.5	2	1.2	1.2～ 1.5	上下半	なし	—	5	20
CⅡ	1.2								
DⅠ	1.0	2	1.0	1.0	上下半	H-100	1.0	10	20
DⅡ	1.0	2～3	1.0 以下	1.0	上下半	H-100	1.0	10～12	20

注1) 金網について

- ・地山等級 D I、D II では、地山状況に応じて上半部に設置する。

注2) 覆工の施工について

- ・避難坑は利用頻度が低いことから安全性、維持管理性を考慮し、覆工省略の可否を検討するものとする。
- ・暫定対面交通トンネルにおいて、将来線断面内に避難坑を設ける場合でも、坑口部あるいは地山条件の不良区間、多量湧水箇所等については、覆工の施工を検討するものとする。また、この場合の避難連絡坑は、将来施工を考慮し、取壊しが生じない範囲で覆工を施工する。

エ) 導坑の支保パターン(坑口部等小断面の導坑に適用)

(トン技・構造 p147)

表 7.13 導坑の支保パターンの例

掘進長 (m)	鋼製支保工		吹付厚 (cm)	フォアパイル工		
	部材寸法	建込間隔		長 さ (m)	間隔(m)	
					周方向	延長方向
1.0	H-125	1.0	10	2.0	0.6	1.0

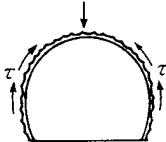
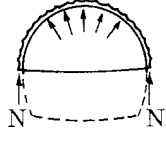
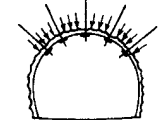
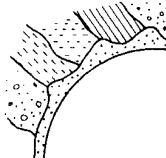
注1) フォアパイリングの設置について

- ・フォアパイリングは、必要に応じて設置するものとし、材質、工法の選定は、地山条件による。
- ・また、設置範囲は、天端から左右 45° 程度とし、打込角度は、10° ～30° 程度とする。

3. 吹付けコンクリート

(トン技・構造 p108～109、トン示 p81～87)

(1) 吹付けコンクリートの効果

吹付けコンクリートの作用効果	概 念 図
① 岩盤との付着力、せん断力による抵抗 吹付けコンクリートと岩盤との付着力により、吹付けコンクリートに作用する外力を地山に分散させ、またトンネル周辺の割れ目や亀裂にせん断抵抗を与え、落ちやすいキーストンを保持し、グラウトアーチをトンネル壁面近くに形成させる。割れ目の多い硬岩等に作用効果が大きい。	
② 曲げ圧縮または軸力による抵抗 比較的厚い吹付けコンクリートが 1 個の部材として地山を支持するため、できるだけ早くリングに閉合することが望ましい。周辺地山に内圧を与えることにより、地山を三軸応力状態に保持し、地山の強度劣化を防止する。軟岩や土砂地山等に作用効果が大きい。	
③ 外力の配分効果 鋼製支保工、あるいはロックボルトに土圧を伝達する版として挙動する。	
④ 弱層の補強 地山の凹みを埋め、弱層を跨いで接着することにより、応力集中を防ぎ弱層を補強する効果	
⑤ 被覆効果 風化防止、止水、微粒子流出防止などの被覆効果。	

(2) 設計厚

設計吹付厚は表 7.14 を標準とする。

表 7.14 設計吹き付け厚 (cm)

地 山 分 類	設計吹付け厚
B	5
C I、C II	10
D I	15
D II	20

(3) 配合

吹付けコンクリートの配合は、表 7.15 を標準とする。

表 7.15 吹付けコンクリートの配合例（1 m³当り）

1 m³ 当り

強 度	W/C	単位セメント量	粗骨材最大寸法
$\delta 28=18\text{N/mm}^2$	56%	(普通ポルトランドセメント) 360kg	15mm
急 結 材	砂	砕 石	スランブ
※	0.80m ³ (1,086kg)	0.47m ³ (675kg)	10±2cm

※ 急結材の種類に応じて添加量を決定する。

(4) 金網

(中部地整 H26 p7-27)

ア) 地山条件の悪い場合、靱性の向上、施工時の剥落防止、施工時の落石防止、施工後の亀裂、剥落防止等の目的で金網を使用する。

イ) 金網の設置範囲

- ・ 金網の設置範囲は表 7.16 による。また、一般的施工例を図 7.22 に示す。
- ・ 材質は構造用溶接金網 150×150× ϕ 5(JISG3551)を標準とするが特殊な場合は別途考慮する。
- ・ 金網の設置にあたっては、1 目(150mm)以上ラップする。

表 7.16 金網の設置範囲

地 山 分 類	設 置 範 囲
B	設置しない
C I、C II	設置しない
D I	上半部
D II	上・下半部

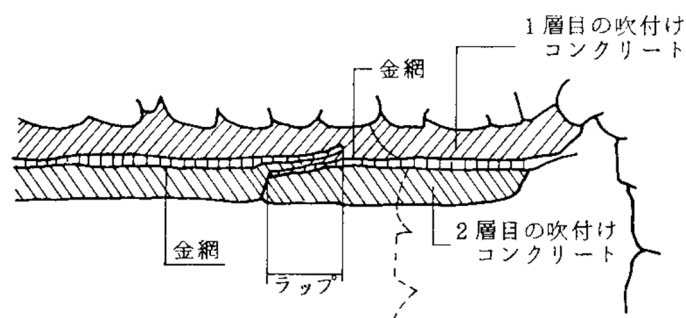
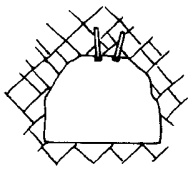
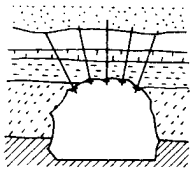
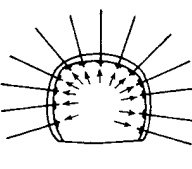
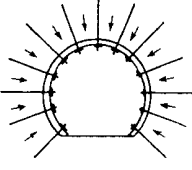
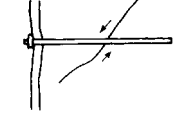


図 7.22 金網の施工例

4. ロックボルト

(トン技・構造 p112～118、トン示 p88～96)

(1) ロックボルトの効果

ロックボルトの作用効果	概念図
① 継付け効果(吊り下げ効果) 発破などで緩んだ岩塊を緩んでない地山に固定し、落下を防止しようとするもので、最も単純な効果である。亀裂、節理の発達する地山において、吹付けコンクリートと併せて比較的小さな目に対しても効果がある。一次覆工を地山に縫い付けるのもこれにあたる	
② はり形成効果 トンネル周辺の層を成している地山は層理面で分離して重ねばりとして挙動するが、ロックボルトによる層間の締付けにより層理面でのせん断応力の伝達を可能とし、合成ばりとして挙動させる効果がある。	
③ 内圧効果 ロックボルト引張力に相当する力が内圧としてトンネル壁面に作用すると考え、これによって、二軸応力状態のトンネル近傍の地山を三軸応力状態に保つ効果である。これは圧縮試験時の拘束力(側圧)の増大と同じような意味をもち、地山の強度あるいは耐荷能力の低下を防ぐ作用をする。	
④ アーチ形成効果 システムロックボルトによる内圧効果のため、一体化して耐荷能力の高まったトンネル周辺の地山は、内空側に一様に変位することによってグランドアーチを形成する。	
⑤ 地山改良効果 地中内にロックボルトが挿入されていると、地山のせん断抵抗力が増大し、地山の耐荷力が大きくなるばかりでなく、地山の降伏後も残留強度が増す。こうした現象は、ロックボルトにより地山全体の物性が改善されたということになる。	

(2) ロックボルトの使用区分

ロックボルトの使用区分は、表 7.17 による。(中部地整 H26 p7-27)

表 7.17 ロックボルトの使用区分

地 山 分 類	ロックボルト材質
B、C I	異形棒鋼同等品以上(耐力 117.7KN 以上)
C II、D I、D II、D III	ねじり棒鋼同等品以上(耐力 176.5KN 以上)

注) 耐力はネジ部降伏点応力とする。

(内空幅 8.5～12.5m 程度)

(3) ロックボルトの材質及び強度(トン技・構造 p115、トン示 p93)

ロックボルトの材質及び強度は、表 7.18 を標準とする。

表 7.18 ロックボルトの機械的性質

ロックボルト の種類	種類の記号	ボルト 呼び径	ねじ部の機械的性質		素材部の機械的性質	
			降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
ねじり棒鋼	STD510*1	TD21	153.9	207.8	188.2	252.8
		TD24	179.3	242.1	226.4	305.8
異形棒鋼	SD345*1	D25	120.5	172.5	173.5	247.9
ネジ節異形 棒鋼	SD295*2	D22	113.7	185.2	—	—
	SD345	D25	174.9	248.4	—	—
鋼管膨脹型	SS1232*3	37T2	—	—	120.0	140.0
		37T3	—	—	180.0	200.0

注) *1 JIS M2506-1992 による。

*2 JIS M2506-1992 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。

(4) ロックボルトの定着

(中部地整 H26 p7-27~28)

ロックボルトの定着は、ドライモルタルによる全面接着方式を標準とする。

湧水等で定着力が低下する場合は、注入急結剤を考慮する。

(5) ロックボルトの設置

(中部地整 H26 p7-28)

ロックボルトの配置は、以下を標準とし、パターン別に適切に配置するものとする。

表 7.19 ロックボルトの配置表

地 山 分 類	支 保 パ タ ー ン	長 さ (m)	施工間隔(m)		施 工 範 囲
			周方向	延長方向	
B	B-a	3.0	1.5	2.0	上半 120°
C I	C I-a	3.0	1.5	1.5	上半
C II	C II-a	3.0	1.5	1.2	上下半
	C II-b	3.0	1.5	1.2	上下半
D I	D I-a	3.0	1.2	1.0	上下半
	D I-b	4.0	1.2	1.0	上下半
D II	D II-a	4.0	1.2	1.0	上下半

(内空幅 8.5~12.5m 程度)

- ・奇数本配置、偶数本配置のいずれかで左右対称配置とする。
- ・施工基面(上・下半盤)直近のロックボルトは、断面の規模、打設機械等を考慮し、打設可能な位置に配置する。
- ・最下端のロックボルトと下半盤との離隔は、周方向間隔の 1/2 以下とする。
- ・核残しのため、ロックボルトが壁面に直角に打設出来ない場合は、斜めに打ち込むことが出来る。
- ・上記を踏まえ、周方向間隔は、原則、上・下半一定とするが、これによりがたい場合は、別途考慮するものとする。

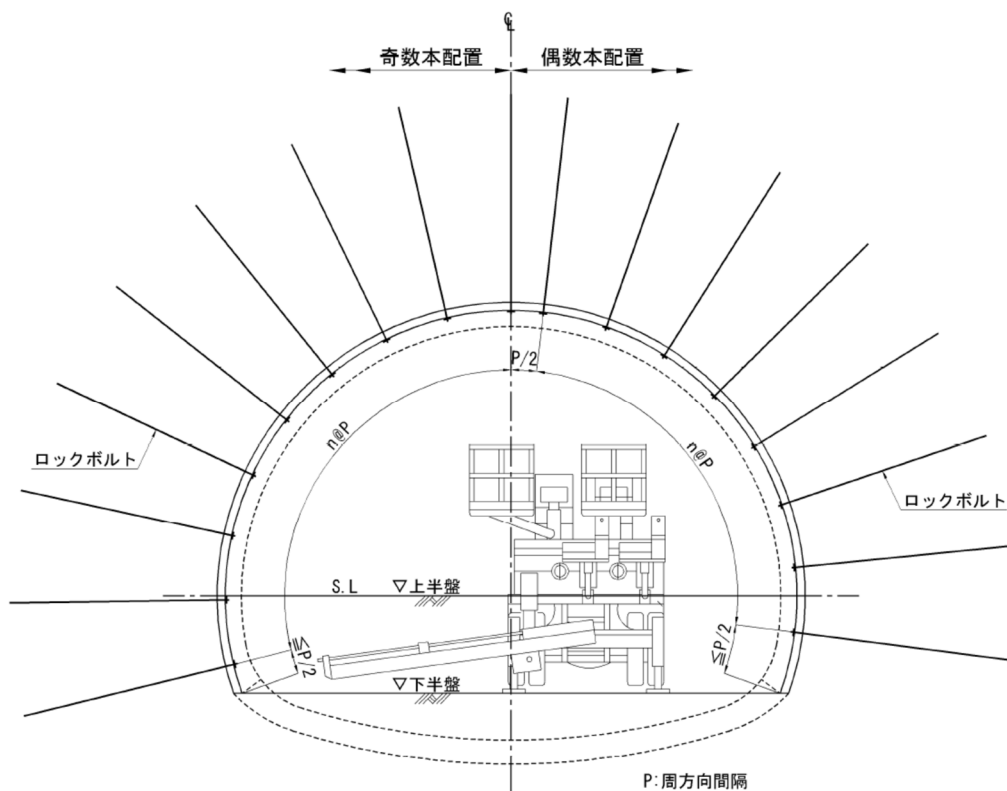


図 7.23 ロックボルトの配置概念図

- ・吹付けコンクリートとロックボルトの位置は、表 7.20 による。

表 7.20 設計吹き付け厚 (cm)

パター B-a	パター C I-a、C II-a	パター C II-b	パター D I-a、D I-b	パター D II-a
吹付け厚 5cm	吹付け厚 10cm	吹付け厚 10cm	吹付け厚 15cm	吹付け厚 20cm

- ・防水シートの損傷を防ぐため、ナット等吹付コンクリートからの突出物は、保護材により処理するものとする。

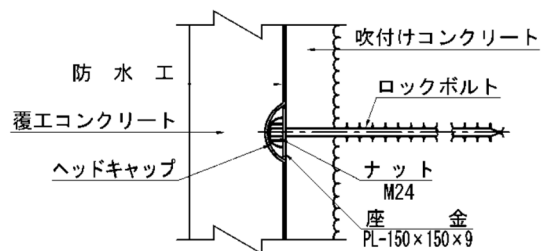


図 7.24 ロックボルトの頭部処理(参考)

5. 鋼アーチ支保工

(トン技・構造 p118～121、トン示 p96～102)

(1) 鋼アーチ支保工の効果

- ア) 吹付けコンクリートが固まるまでの支保
- イ) 縫地ロックボルトの反力受け
- ウ) 落盤及び崩壊性地山の安全対策
- エ) ロックボルト、吹付けコンクリート覆工との協調支保

(2) 鋼アーチ支保工の材質、形状

材質、形状の諸元を表 7.21 に示す。

表 7.21 鋼製支保工の諸元(トン技・構造 p120、トン示 p100)

種別	呼 称 法 (mm)	断面積 A (cm ²)	単位重量 W (kgf/m)	断面二次 モーメント I _x (cm ⁴)	断面係数 Z _x (cm ³)	断面係数 Z _y (cm ³)	最 小 曲率半径 R (cm)	材料規格
H 形 鋼	H-100×100×6 × 8	21.59	16.9	378	75.6	26.7	120	SS400
	H-125×125×6.5× 9	30.00	23.6	839	134	46.9	150	
	H-150×150×7 ×10	39.65	31.1	1620	216	75.1	200	
	H-200×200×8 ×12	63.53	49.9	4720	472	160	420	
	H-250×250×9 ×14	91.43	71.8	10700	860	292	550	

注) 最小曲線半径は、冷間加工による標準を示す。

(3) 鋼アーチ支保工の断面及び建込み間隔

断面及び建込間隔は表 7.22 を標準とする。

表 7.22 支保工断面及び建込み間隔(内空幅 8.5m～12.5m 程度)

地山分類	呼び寸法	間隔
C II	H-125×125	1.2m
D I	H-125×125	1.0m
D II	H-150×150	1.0m 以下

注) 坑口付近や断層帯等特殊な地山では別途考慮すること。

(4) 鋼アーチ支保工の使用材料の標準

使用材料は表 7.23 による。

表 7.23 鋼製支保工の使用材料

掘削区分 形状寸法	C II -b@1.2m	D I -a@1.0m D I -b@1.0m	D II -a@1.0m 以下
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
〃 (下半)		H-125×125×6.5×9 n=2	H-150×150×7×10 n=2
継手板	PL-155×180×9 n=2	PL-155×180×9 n=6	PL-180×180×9 n=6
ボルト・ナット	φ 20×70 n=2	φ 22×70 n=6	φ 22×70 n=6
底 板	PL-230×180×16 n=2	PL-230×230×16 n=2	PL-250×250×16 n=2
継ぎ材	φ 16×1.35 n=6	φ 16×1.15 n=10	φ 16×1.15 n=10

- (5) 鋼アーチ支保工の継ぎ材、継手等の例を図 7.25、図 7.26、図 7.27、図 7.28 に示す。

継ぎ材については、基本的にはさや管方式とするが、地滑り、偏土圧のある場合は内梁方式の使用を検討すること。(トン技・構造 p119～120、トン示 p101～102)

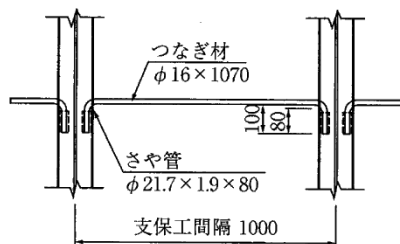


図 7.25 継ぎ材詳細図

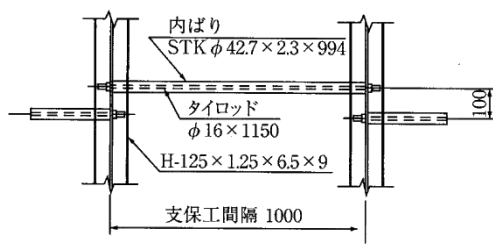


図 7.26 継ぎ材詳細図

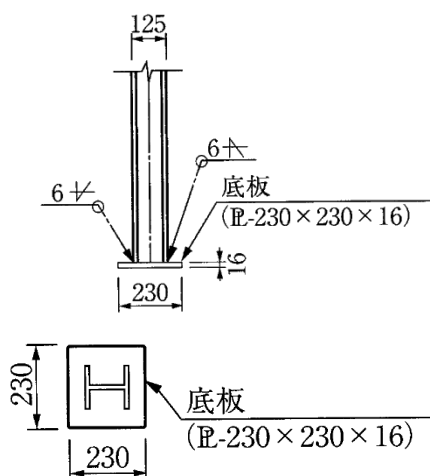


図 7.27 底板詳細図

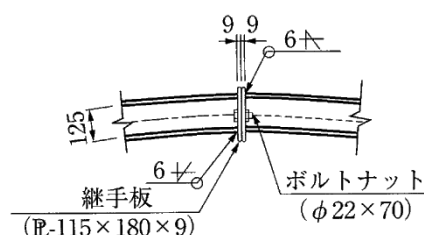


図 7.28 継手板詳細図

- (6) 鋼アーチ支保工のクラウン部におけるキックアップ処理

(中部地整 H26 p7-29)

鋼アーチ支保工のクラウン部における鋼アーチ形状については、「NATM トンネルにおける鋼製支保工の形状について」(平成 13 年 4 月 20 日付道路工事課長事務連絡)に従い、以下の理由からクラウン部の形状はアーチ形状とし、キックアップ処理は行わないものとする。

- ① 道路トンネル技術基準(構造編)・同解説 4-5 鋼アーチ支保工に記載されているようにアーチとして荷重を支持するものである。(曲げが支配的となるような直線部を避け、荷重が作用した状態で最も効果的な形状となるよう配慮する。)
- ② トンネル支保構造として有効なアーチ形状の確保がトンネル構造に対して重要な課題である。

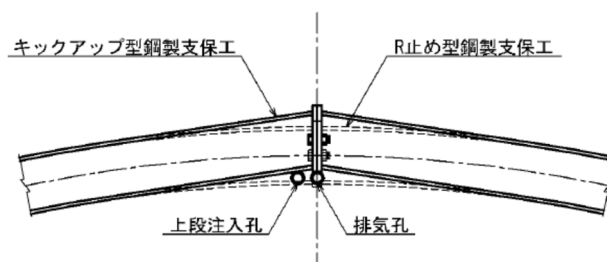


図 7.29 鋼アーチ支保工のキックアップ

6. 覆工

(1) 覆工一般

(トン技・構造 p121～125、トン示 p103～104)

吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保等他の支保構造部材とともにトンネルの安定を確保する支保構造の一部を構成するもので、内装としての役目や、漏水などによる劣化防止等の目的で行う。

(2) 覆工コンクリートの配合及び強度

(岐阜県建設工事共通仕様書第1編共通編 R6 p73)

表 7.24 を標準とする。

表 7.24 覆工コンクリートの配合

区分 種別	粗骨材の 最大寸法	スラッフ°	単 位 セメント量	設計基準 強 度
トンネル覆工 (機械打設)	40mm	15cm	270kg/m ³ 以上	18N/mm ²
インバート (入力打設)	40mm	8cm	240kg/m ³ 以上	18N/mm ²

注) セメントの種別は高炉セメントB種とする。

(3) 型枠

(中部地整 H26 p7-30)

覆工コンクリートの型枠は、スライドセントル：L=10.5m を標準とするが、セントル長を変更することで施工性、経済性に貢献できると考えられる場合は、検討の上その長さを決定するものとする。

特に、平面線形に曲線を有するトンネルのセントル長は、設置余裕による断面拡大量に影響を及ぼすことから、十分な検討を行うものとする。また、非常駐車帯区間は、スライドセントル：L=6.0m を標準とする。。

(4) インバートコンクリート

(中部地整 H26 p7-30)

インバートコンクリートの 1 打設長は、覆工コンクリート 1 打設長に合わせるものとし、坑内運搬路を確保しながら、片側ずつ施工をおこなうものとする。ただし、早期の断面閉合が必要な場合は、別途考慮する。

7. 耐震対策

トンネルの設計・施工上、耐震対策に関して、特に留意すべき点は以下の通りである。

(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区間を示す。

- ① 突発的な大量の湧水により施工を長期間中断した箇所、またはこれに準ずる箇所
- ② 切羽の著しい崩落により施工を長期間中断した箇所
- ③ 地山の不安定性に起因して大規模な補助工法を使用した箇所
- ④ 地質が急変して2パターン以上の支保パターンの変更を伴った箇所（ただし、坑口部支保パターンとの接続部を除く）
- ⑤ 縦断的・横断的に地質の剛性が大きく変化する箇所
- ⑥ 極端な偏圧を受ける箇所
- ⑦ 極端に土被りが小さい箇所
- ⑧ 地山等級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、覆工に単鉄筋補強するなどの措置を講じる

(3) 対策について

- ・ (1)①～⑦に示す特殊条件が、地山等級 B～DⅠにおいて見られた場合は、(2)に示す事項の実施について、必要に応じて検討を行うものとする。
- ・ (1)⑧に示す特殊条件の箇所には、覆工に単鉄筋補強を行うこととする。その際は、坑口部(支保パターン DⅢa)の覆工で用いられている配筋が参考となる。

第7節 余掘、余巻及び余吹

(中部地整 H26 p7-16～17、トン示 p165)

1. 余掘、余巻及び余吹一般

トンネル工事では、設計断面通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てんする。これをそれぞれ余巻・余吹という。この余掘を考慮した断面の外周を支払線といい、当初から各々設計数量に見込むものとする。また、変形余裕を設計図面に明示した場合の設計掘削断面積は変形余裕厚さを加算した面積とする。なお、余掘、余巻及び余吹厚は表 7.25 を標準とする。

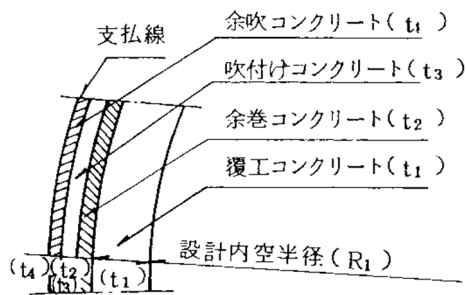
表 7.25 余掘、余巻及び余吹厚 (cm)

掘削方法	掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚 (N_1)
発破工法	B	27	23	4
	C I	22	17	5
	C II	20	13	7
	D I	17	10	7
	D II	17	10	7
	D III	17	10	7
機械掘削	C I	13	8	5
	C II	13	8	5
	D I	13	8	5
	D II	13	8	5
	D III	13	8	5

- 注) 1. 設計巻厚、設計吹付コンクリート厚及び設計掘削断面に対する割増し厚さである。
2. 非常駐車帯、避難連絡坑等についても上表を適用する。
3. 変形余裕量を (10cm) 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. 設計値と支払線の関係は、図 7.30 を標準とする。
5. インバート施工において設計厚に対する余掘、余巻コンクリート厚は 5cm を標準とする。

2. 設計値と支払線の関係

(1) 変形余裕を見込まない場合

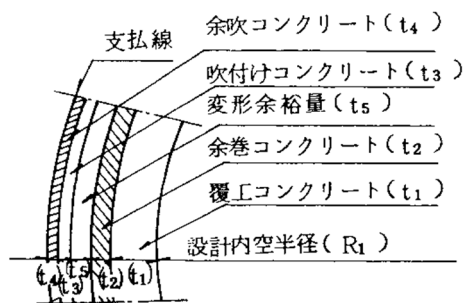


$$\text{設計掘削半径} = (R_1) + (t_1) + (t_3)$$

$$\text{支払掘削半径} = (R_1) + (t_1) + (t_3) + \text{余掘}$$

$$\text{注) 余掘} = (t_2) + (t_4)$$

(2) 変形余裕を見込む場合



$$\text{設計掘削半径} = (R_1) + (t_1) + (t_3) + (t_5)$$

$$\text{支払掘削半径} = (R_1) + (t_1) + (t_3) + (t_5) + \text{余掘}$$

$$\text{注) 余掘} = (t_2) + (t_4)$$

図 7.30 設計値と支払線の関係

(中部地整 H26 p7-30~32)

- ① 標準部から拡幅部への切上げ角度は、 45° 程度とする。
- ② 棲壁部は拡大断面相当の吹付けコンクリート、ロックボルトおよび必要に応じて金網により補強するものとする。ただし、ロックボルトは、拡大断面における「周方向間隔×延長方向間隔」相当の間隔を確保し、施工性を考慮して配置するものとする。
- ③ 避難連絡坑の取付け等で鋼アーチ支保工を切断する場合は、プレート、ロックボルトによる補強を行う。

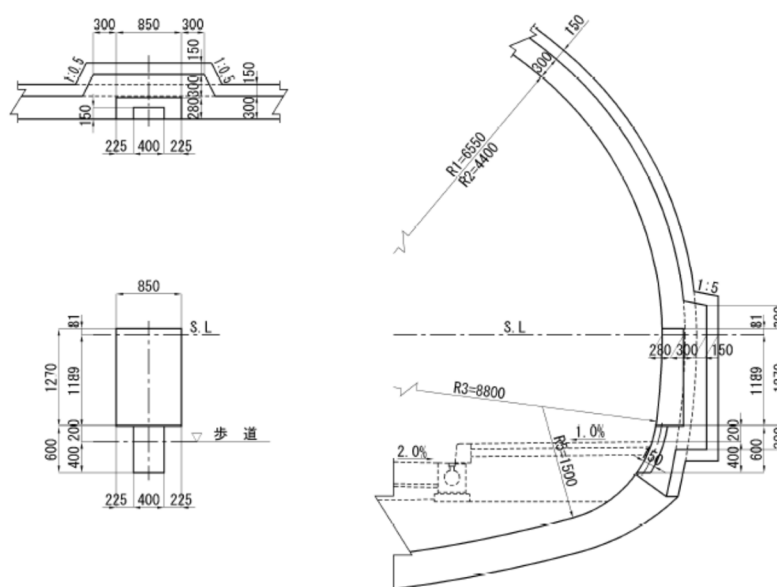
7-42

2. 箱抜き部

箱抜きの施工は、吹付けコンクリート施工後に行うことを標準とする。

- ① トンネル断面に対する箱抜きの位置関係は、施工性を考慮し、SL を基準とする寸法表記を行う。
- ② 箱抜きに合わせセットバックする形状で掘削を行い、吹付けコンクリート、覆工コンクリートの所要設計厚さを確保するものとする。ただし、箱抜き深さおよび幅が小さく、覆工コンクリート欠損が僅かな場合は、別途考慮する。
- ③ 箱抜き掘削により、切断される鋼アーチ支保工は、プレート、ロックボルトによる補強を行うものとする。また、地山等級 D 区間においては、箱抜き掘削により、切断されるパターンボルトの再打設を行う。
- ④ 箱抜きは、機器が完全に水平となるようにする。(路面に対して水平ではない。)

箱 抜 図



補 強 工 図

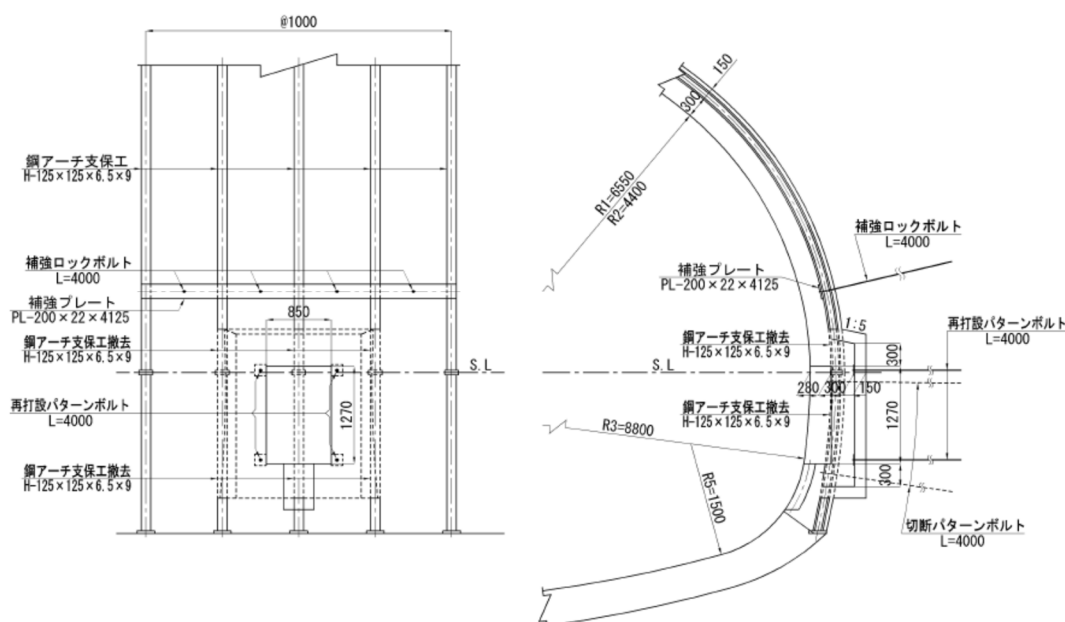


図 7.32 非常用設備箱抜計画 (参考)

第9節 防水工及び排水工

(中部地整 H26 p7-32～36、トン技・構造 p132～139、トン示 p117～120)

1. 防水工及び排水工一般

トンネル覆工の漏水防止は、トンネル内の環境を良好に保ち通行者の安全性を計るとともに覆工コンクリートの劣化防止、寒冷地における結氷及び各種設備の耐久性の向上等、トンネルを維持するために実施するものとする。

2. 防水工及び排水工の分類

(1) 防・排水工の模式図(中部地整 H26 p7-33)

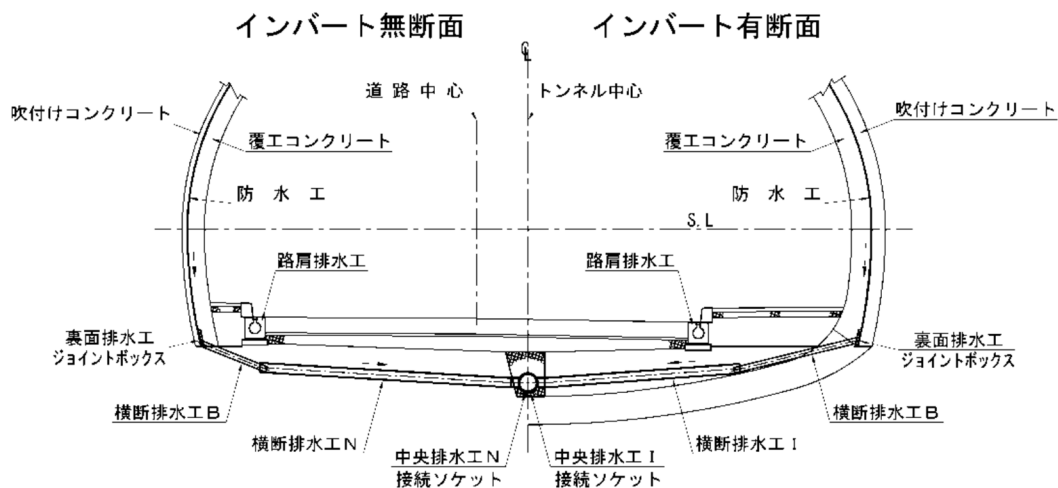


図 7.33 防・排水工の模式図

(2) 防水工(トン技・構造 p134～135、トン示 p118～119)

ア) 吹付けコンクリートと覆工の間に施し、トンネル内部への漏水を防止する。また、覆工コンクリートのひび割れ対策として透水緩衝材と防水シートを設計するものとする。

表 7.26 は防水シートの規格を示す。

表 7.26 防水シートの規格

項 目	試 験 法	規 格 値
比 重	JISK6773 (20℃)	0.90～0.95
引張強さ N/mm ² (kg/cm ²)	〃	16 (160) 以上
伸 び (%)	〃	600 以上
引裂強さ N/mm ² (kg/cm ²)	JISK6301 (20℃)	5 (50) 以上

注) 1 防水シートの厚さは、 $t=0.8\text{mm}$ 以上のビニールシート等とし、透水緩衝材は $t=3\text{mm}$ 以上とする。

2 高熱トンネルや湧水の特に多いトンネル等においては、別途考慮する。

(3) 裏面排水工

ア) 裏面排水工 A

トンネル背面の湧水を集め中央排水工に流すためトンネル最下部に縦断方向に設置する。
(導水材)

イ) 裏面排水工 B

特に湧水の多い箇所で、裏面排水工Aに導水する。(例;半透水シート)

ウ) 裏面排水工 C

水道的な湧水を塩ビ管等で集水する。特に吹付コンクリート時における湧水処理で裏面排水工Bで集水する。

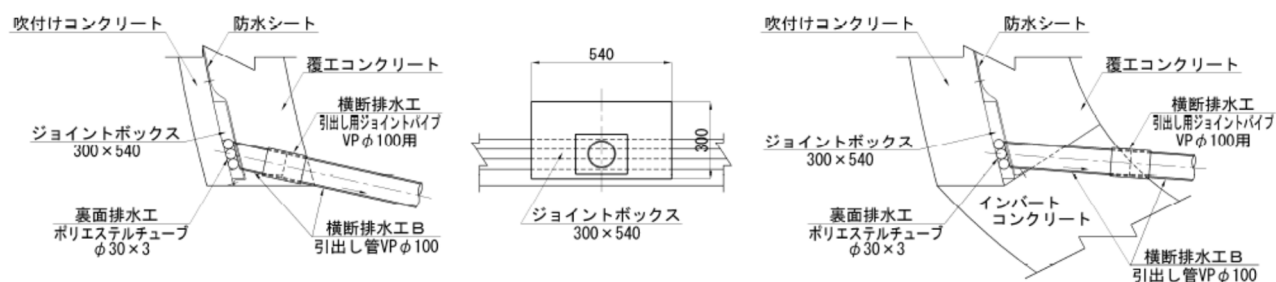


図 7.34 裏面排水工の標準図(中部地整 H26 p7-34)

(4) 中央排水工

ア) 路面下部には、トンネル全長にわたって中央排水工を設けるものとする。配水管の径は30cm 以上とし有孔ポリエチレン管を標準とする。なお、排水勾配は、トンネル縦断勾配とする。

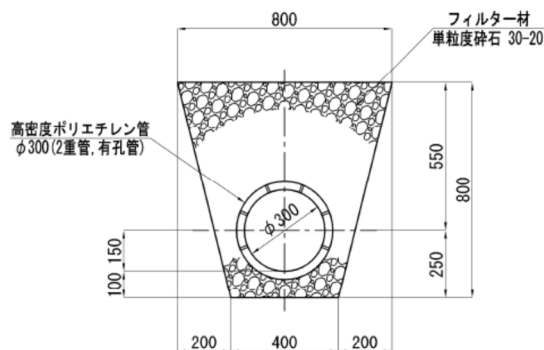
イ) 施工位置は、インバートを設けるトンネルにあつては、インバート上部に施工するのが一般的である。

特に湧水が多い場合はインバート下部にも排水工を設ける事を検討する。

ウ) 標準構造を図 7.35 に示す。

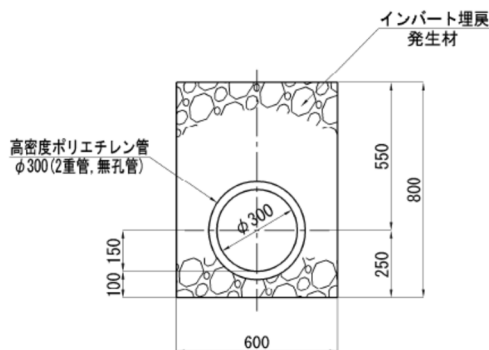
中央排水工 N

(インバート無)



中央排水工 I

(インバート有)



※ 機械掘削の場合は、インバート有りの掘削断面を適用する。

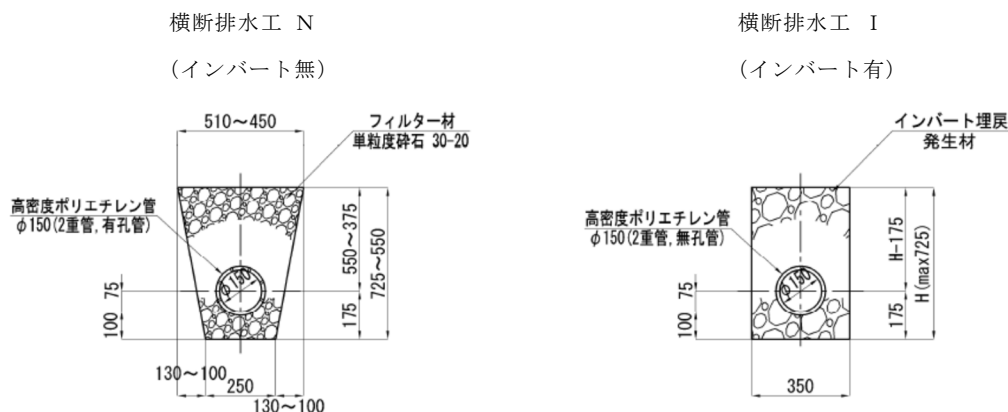
※ 管径については湧水が多い場合は別途検討すること

※ 湧水が多い場合は、有孔管を使用し、埋戻しにフィルター材を用いるものとする。

図 7.35 中央排水工標準図(中部地整 H26 p7-36)

(5) 横断排水工 N・I

- ア) 湧水の多い場合は、中央排水工の支線としてφ150の配水管を設け中央排水工に導水する。
標準構造を図7.36に示す。

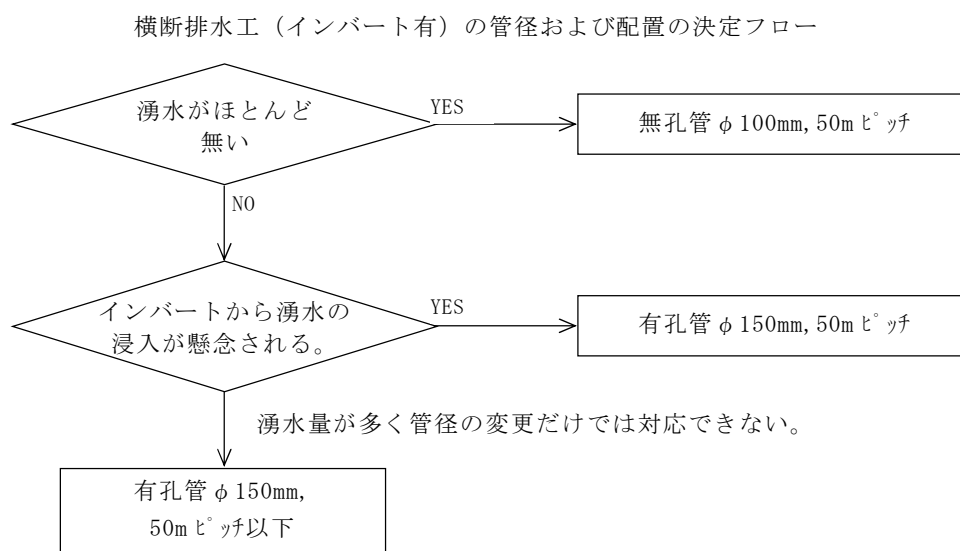


※ 機械掘削の場合は、インバート有りの掘削断面を適用する。

※ フィルター材には単粒度碎石を用いるものとする。

図 7.36 横断排水工 N・I の標準図(中部地整 H26 p7-36)

インバート設置区間の横断排水工については、下記フローの通りとする。



(6) 横断排水工 B

裏面排水工 N・I で集水した湧水を中央排水工へ導水するもので硬質塩化ビニル管のφ100～φ150程度を使用する。

(7) 路側排水工

- ア) トンネルの路側には、排水工を両側に設置する事を原則とする。また、集水桝は50m程度の間隔で設置する。
- イ) 排水工の型式は、プレキャスト製円形側溝を標準とする。製品の選定については経済性、排水能力、維持管理等を総合的に判断し、最適な構造を決定する。設計例を図7.37に示す。

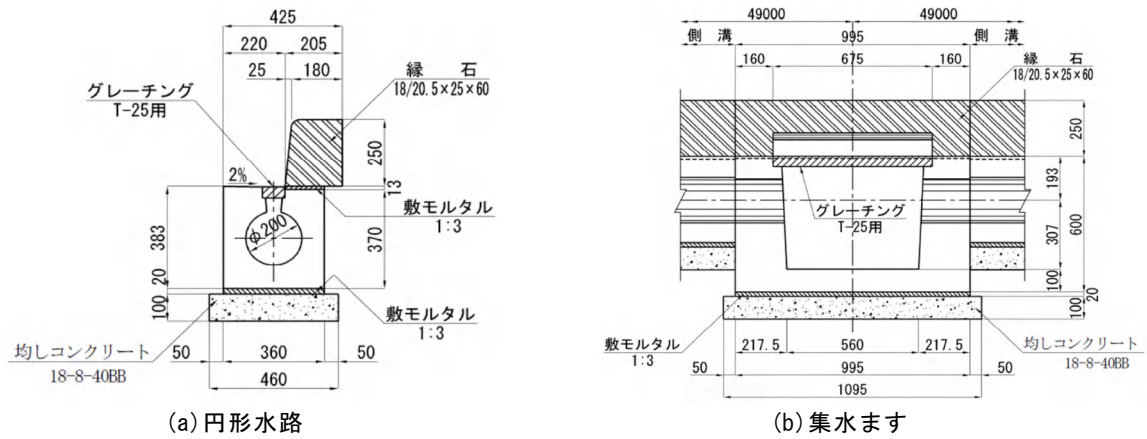


図 7.37 路肩排水工の設計例(中部地整 H26 p7-34)

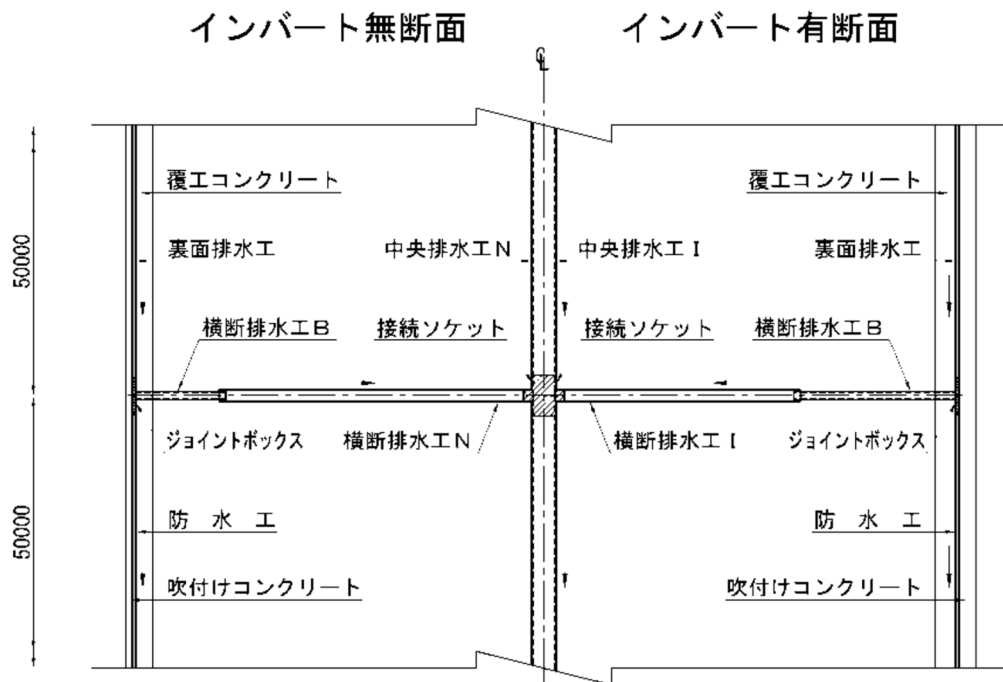


図 7.38 排水工配置図(中部地整 H26 p7-33)

第10節 坑門工の設計

(トン技・構造 p147～150、トン示 p121～125)

1. 坑門工一般

坑門の設計にあたっては、地山条件、周辺の景観との調和、車両の走行に与える影響、維持管理上の便宜などを考慮して、坑門の位置、型式、構造等を定めるものとする。

2. 坑門工設計の留意点

- (1) 坑門工の位置は、地形の横断面がトンネル軸線に対し、できるだけ対象となるような位置とし、偏圧を受けないようにする。
- (2) 坑門の位置は、沢や谷川と交差しないように選定するものとする。やむをえない場合においては、十分な排水設備を設けて沢水などを処理し、トンネルに悪影響を及ぼさないようにしなければならない。
- (3) 橋梁等構造物と近接する場合の坑門の位置は、地山条件を考慮し、坑門基礎の地盤反力の分布域と橋台の掘削線との関連を十分検討し、各々に悪影響を及ぼさないようにしなければならない。
- (4) 坑門の位置決定にあたっては、坑口付近に計画される将来の維持管理施設等の配置についても考慮する。
- (5) トンネル延長の短縮を図り、坑口を山腹深く切込むと、法面の安定をおかし、崩壊、地すべりなどをひきおこす恐れがある。特に地山が崖堆層などの不安定なものであるときは、この危険性が大きいので安全性を十分検討しなければならない。
- (6) 土かぶりの浅い場合などでは、明り巻工法を検討する。
- (7) トンネルを2本以上併設して掘削する場合には、坑門位置の決定には特に注意し、双方の切取面の影響範囲、又それに伴う偏土圧等十分検討を行う。
- (8) 坑口付近の道路等を考慮して位置を選定するものとするが、やむをえず土かぶりが少ない箇所に道路を跨道させる場合は、トンネル構造を十分検討する。
- (9) 面壁型などコンクリート面の大きな形式を採用する場合には、壁面に化粧型枠を用いるなど、できるだけ野外輝度を低減することが望ましい。
- (10) トンネル名称板の設置方法については、必要に応じて地元地域や関係機関等の意見を聞き決定するものとする。なお、設置の際には、アンカーと接着剤を併用する等盗難防止対策を施すこと。

3. 坑門の型式

坑門は、原則として土留擁壁に準じて設計するが、場合によっては、土留擁壁のない構造としてもよい。

坑門に作用する外力は、主としてトンネル軸方向の土圧であり、土留擁壁として設計するのが一般的である。自立構造又はアーチ覆工鉄筋と十分結合させるものとし、坑門と覆工とを一体化して坑門背後の土圧に抵抗させるようにする。

4. 竹割式坑門の設計例（参考）

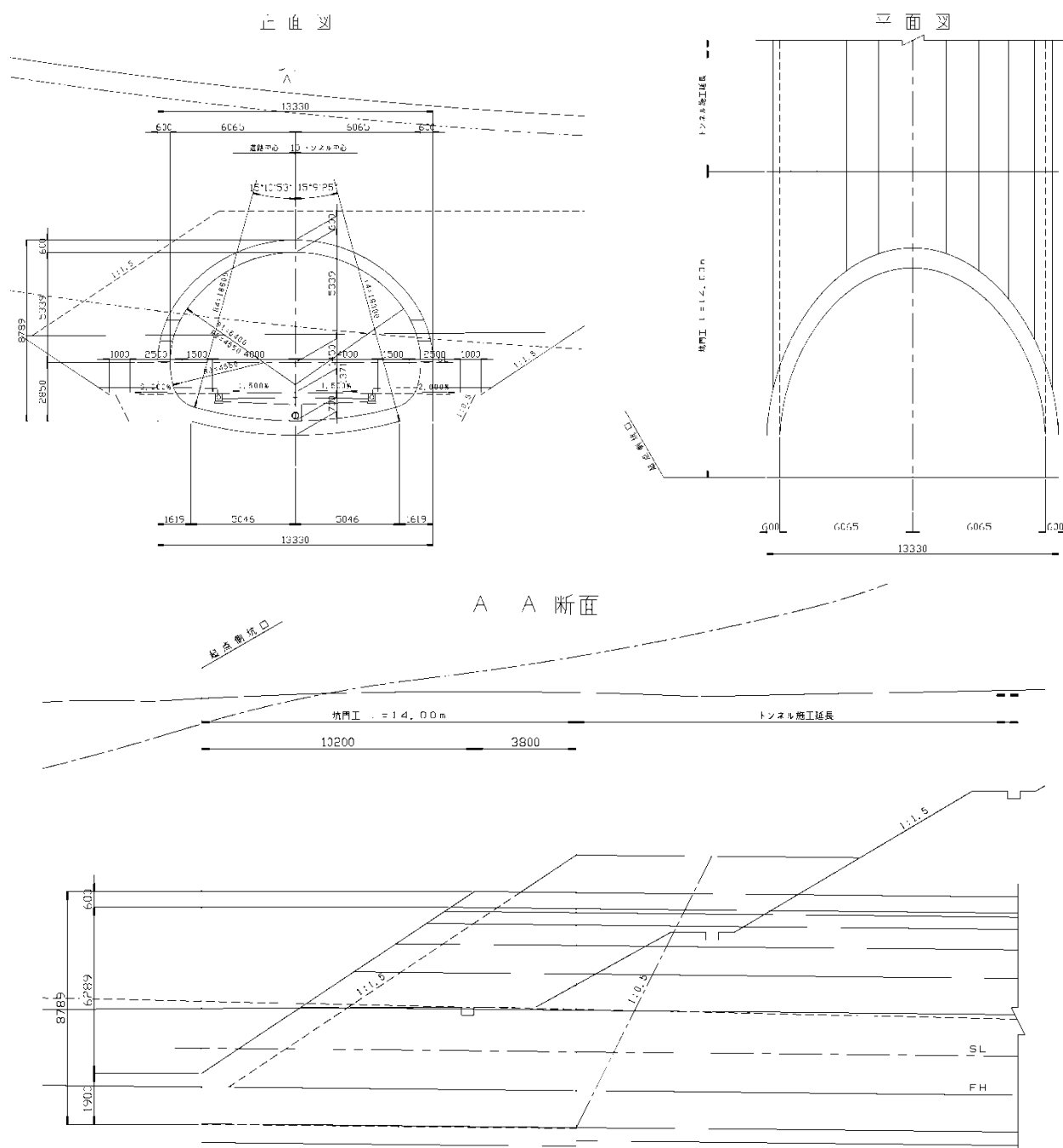
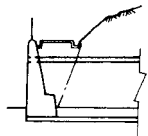
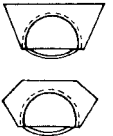
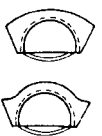
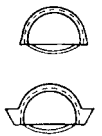
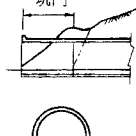
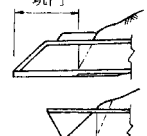
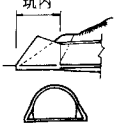


図 7.39 竹割式坑門の設計例(参考)

表 7.27 トンネル坑門の形式と特徴(トン技・構造 p150、トン示 p126)

項目 \ 形式	重 力 型	面 壁 式		突 出 壁			
	重力・半重力式	ウイング式	アーチウイング式	半突出(パラペット)式	突 出 式	竹割(逆)式	ベルマウス(逆)式
形 状							
地 山 条 件 による適 用性	・比較的地形急峻の場合や土留擁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小さい場合	・尾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 ・積雪地では吹込み、雪庇が生じ易い	・地形、地質が比較的良く、坑口周辺の開けた箇所に可能 ・積雪地では吹込み、雪庇が生じ易い
施 工 性	・不良地山では切土量が多くなるので背面切土面の安定化対策としての防護を十分に行う必要がある	同 左 ・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 ・多少の保護盛土を必要とする	・数 m の本体の明り巻きを必要とし、かつ盛りこぼしに対し多少の土留壁が生ずるが坑門としては合理的な構造	・地形、地質が安定している場合は最も経済的であるが、地質が悪く押え盛土を必要とする場合は先に明り巻き	・型枠、配筋に手間がかかり、経費も多くなる	同 左
景 観	・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	同 左	・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面壁面積が少なくなるため視覚的には違和感を感じさせない ・坑口周辺地形と良く適合する	同 左	・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

第 11 節 坑口部の設計

(中部地整 H26 p7-37～45)

1. 坑口部一般

トンネルの坑口部は、一般に土被りが小さく地山がアーチ作用によって保持できにくい部分であり、斜面崩壊、偏土圧、地耐力不足、切羽崩壊、地表面沈下等のような問題に遭遇することが多い。岩質、地質構造、地下水などの地山内部の条件の他、地形、気象などの外的条件によっても支配される。したがって坑口部は、一般部とは別に特殊な構造と施工法を必要とする所であり、トンネルの施工が斜面や地表に影響を及ぼす可能性のある範囲を、坑口部と呼ぶこととし、これまでの実績により坑口部を設定する。

坑口部の範囲は、図 7.40 に示すように土被り $1 \sim 2D$ の範囲で地形、地質条件等を考慮し設定するものとし、以下を標準とする。(県仕様)

- | | |
|------------------------------------|--------------|
| ① 掘削断面が硬岩の場合 | : 土被り $1.0D$ |
| ② 掘削断面が軟岩かつパターンボルトが軟岩以上の地質に打設できる場合 | : 土被り $1.5D$ |
| ③ 上記以外もしくは、掘削断面が土砂の場合 | : 土被り $2.0D$ |

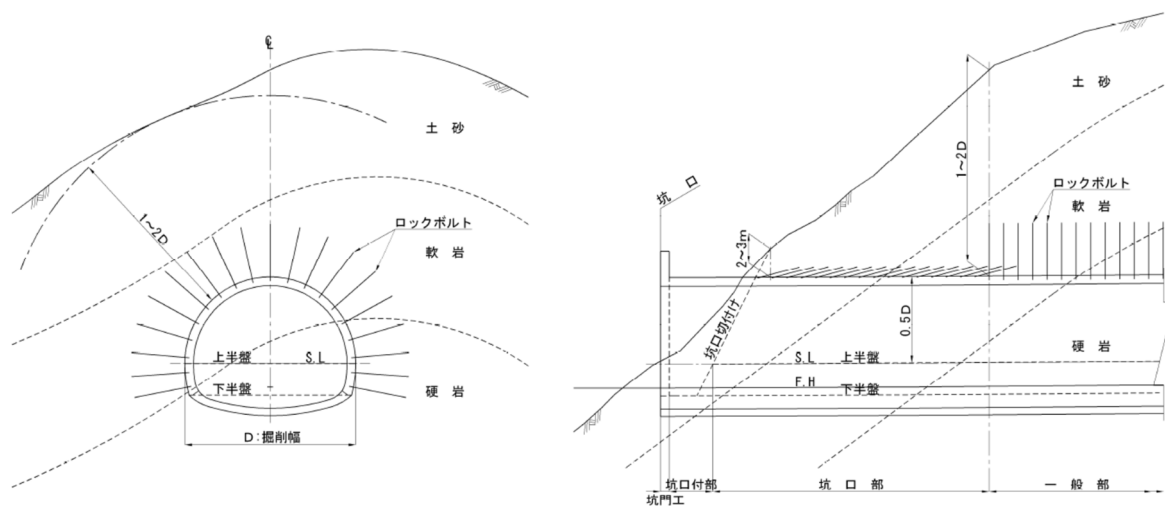


図 7.40 標準的な坑口部の範囲

2. 坑口部の設計

(1) 坑口部の支保構造

以下の標準的な支保構造の組合せを適用する。

① 通常断面トンネル

通常断面トンネル坑口部の標準的な支保構造の組合せを、表 7.28 に示す。

表 7.28 標準断面の坑口部の標準的な支保構造(中部地盤 H26 p7-37)

掘削工法		1 掘 進長 (m)	ロックボルト (フォアボーリング)		鋼アーチ支保工			吹付け 厚 (cm)	覆工厚 (cm)		
			長さ (m)	施工間隔		上半 部種 類	下半 部種 類		建込 間隔 (m)	アーチ・ 側壁 (cm)	インバート (cm)
				周方 向(m)	延長方向 (m)						
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法		1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	35	50
側壁 導坑 先進 工法	本坑	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) ()内はフォアポーリングを示す。

注2) 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部へ打設範囲を拡大するものとする。
ロックボルトの長さは 4m を標準とする。

注3) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定のため必要に応じて設置するものとし、
その材質は、異形棒鋼 SD345 D25 を標準とするが、現地条件等でこれにより難しい場合は、別途検討するものとする。

注4) 金網は、上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付コンクリート(SFRC)などを用いる場合はこの限りではない。

② 大断面トンネル

大断面トンネル坑口部の標準的な支保構造の組合せを、表 7.29 に示す。

表 7.29 標準断面の坑口部の標準的な支保構造(中部地盤 H26 p7-40)

掘削工法		1 掘 進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)		鋼アーチ支保工			吹付 け厚 (cm)	覆工厚 (cm)	
			長さ (m)	施工間隔		上半 部種 類	下半 部種 類	建込 間隔 (m)	アーチ・ 側壁 (cm)	インバ ート (cm)
				周方 向(m)	延長方向 (m)					
上半断面工法		1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	45 50
上半部 分割工 法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	45 50
	中壁	1.0	3.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-150	－	1.0	15	－ －
側壁導 坑先進 工法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 以下 (1.0 以下)	H-200	－	1.0 以下	25	45 50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	－ －
中央導 坑先進 工法	本坑	1.0	6.0 (3.0)	1.0 (0.5)	1.0 以下 (1.0 以下)	H-200	H-200	1.0 以下	25	45 50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-125	1.0	10	－ －

注1) ()内はフォアポーリングを示す。

注2) 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部へ打設範囲を拡大するものとする。
ロックボルトの長さは 6m を標準とする。

注3) 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及び中央導坑先進工法での導坑施工時に設置するロックボルトは、後進坑、本坑の掘削を考慮して、ファイバー補強プラスチック棒 (FRP) ロックボルト等撤去・切断し易いものも使用できるものとする。

注4) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定のため必要に応じて設置するものとし、その材質は、異形棒鋼 SD345 D25 を標準とするが、現地条件等で、これにより難しい場合は、別途検討するものとする。

注5) 金網は、上半断面工法、上半中壁分割工法、中央導坑先進工法の場合は上・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合はこの限りではない。

注6) 面の大型化に伴って、坑口部においては入念に偏圧対策を検討する必要がある。

注7) 面壁型坑門を用いる場合、面壁の厚さとトンネル覆工の厚さの差を十分考慮して、面壁との接合箇所の覆工厚さを決定しなければならない。

③ 小断面トンネル

小断面トンネル坑口部の標準的な支保構造の組合せを、表 7.30 に示す。

表 7.30 標準断面の坑口部の標準的な支保構造(中部地整 H26 p7-37)

掘削工法	1 掘 進長 (m)	ロックボルト (フォアボーリング)			鋼アーチ支保工		吹付け 厚 (cm)	覆工厚 (cm)	
		長さ (m)	施工間隔		種類	建込 間隔 (m)		アーチ部 (cm)	インバート 部 (cm)
			周方 向(m)	延長方向 (m)					
全断面工法	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-250	1.0	10	20	20

注1) ()内はフォアポーリングを示す。

注2) ロックボルトは、側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。

注3) フォアポーリングは、天端 120° の範囲に切羽天端の安定のため必要に応じて設置するものとし、その材質は、異形棒鋼 SD345 D25 を標準とするが、現地条件等で、これにより難しい場合は、別途検討するものとする。

注4) 金網は天端および側壁部に設置することを標準とする。

(2) ロックボルト及びフォアポーリングの配置(中部地整 H26 p7-43)

ロックボルトおよびフォアポーリングは、以下の手順で配置計画を行うものとする。

- ① アーチ天端より、所定の周方向間隔の 1/2 でロックボルトを配置し、天端 60° 範囲のロックボルトは除く。施工基面での打設余裕離隔、最下端ロックボルトと下半盤との離隔（周方向間隔の 1/2 以下）が確保出来る配置を選択する。周方向間隔は、原則として、上・下半一定とするが、これにより難しい場合は、別途考慮するものとする。
- ② SL からの距離 : L を 5cm ラウンドで定義し配置を決定する。一次吹付けコンクリート面の天端 60° 範囲に、所定の周方向間隔でフォアポーリングを千鳥配置する。

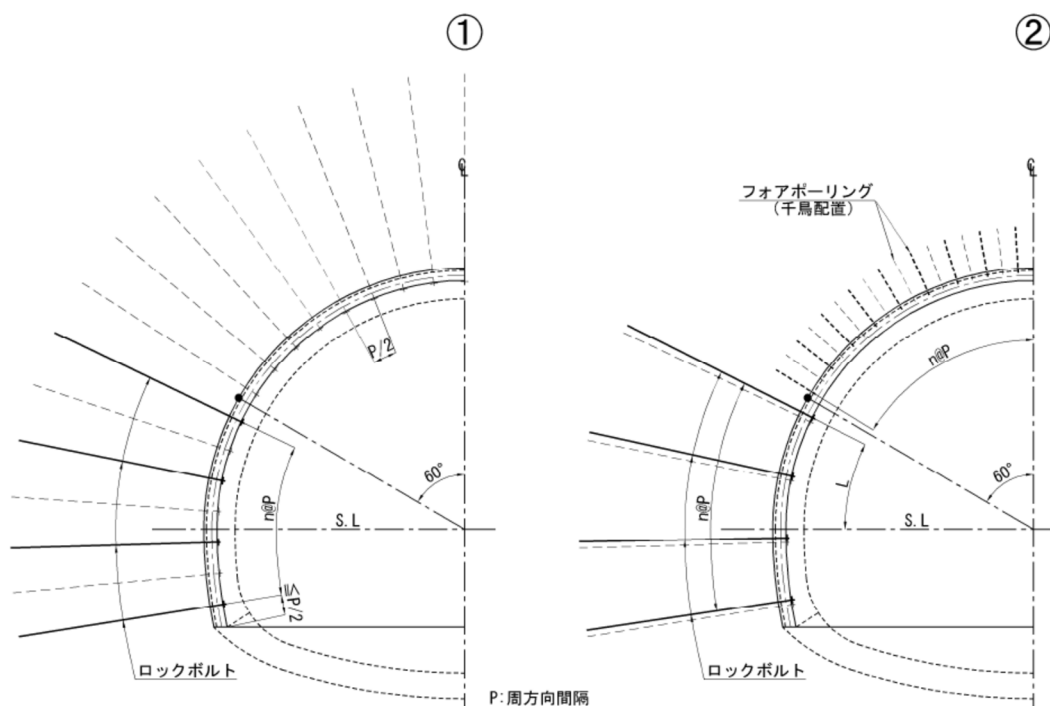


図 7.41 ロックボルト、フォアポーリングの配置概念図

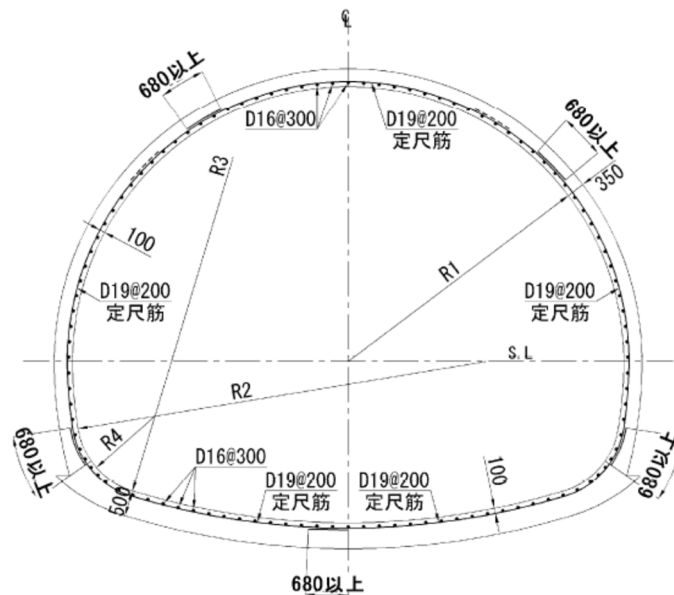
(3) 覆工の補強(中部地整 H26 p7-43)

坑口部の覆工コンクリートは、図 7.42 の要領で鉄筋による補強を行うものとする。

ただし、上・下線の近接施工、トンネル上部の車両通行等の特殊条件があるトンネルの場合は、別途、検討を行うものとする。

- ① 通常断面および小断面トンネルにおいては、主筋 D19@200、配力筋 D16@300 とし、大断面トンネルにおいては主筋 D22@200、配力筋 D19@300 を標準とする。いずれも鉄筋規格は SD345 を標準とし、覆工コンクリートの許容付着応力度は、 $\tau_{0a}=1.4\text{N/mm}^2$ とする。
- ② 主鉄筋の加工、組合せは、施工性を考慮して、インバート部 2 ピース、アーチ部 3 ピースの定尺鉄筋を標準とする。
- ③ 継手位置は、インバート部はトンネルセンター部、アーチ部は 1 組ごとに継手位置を左右入れ替えるものとする。この場合、アーチ部は継手相互の離隔を考慮して加工長を決定するものとする。
- ④ 配力筋は、1 打設長が標準の $L=10.5\text{m}$ 以下であれば、原則、継ぎは行わないものとするが、現場条件を確認の上、決定するものとする。

(a) 通常断面



(b) 大断面

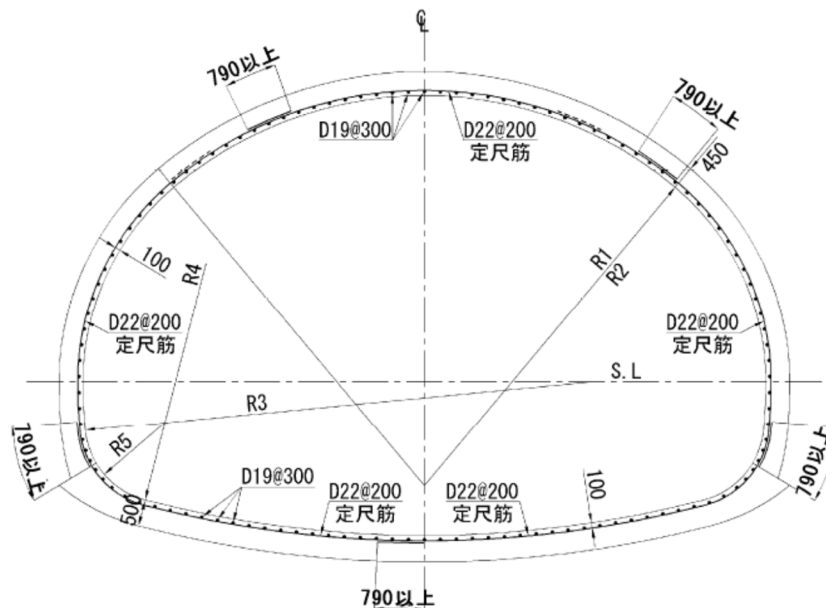


図 7.42 覆工補強要領図

(4) 坑口付け(中部地整 H26 p7-44～45)

トンネル掘削を行うには、その準備工として自然斜面の切付けを行う必要がある。

これは、地山の緩みを誘発し、縦断方向からの押し出しとなるため、「明り支保工」により反力を確保することが必要となる。安全で確実な施工を行うため、「明り支保工」は縦断方向の剛性を高めることが望ましく、上半盤において、坑門工背面から 3m 程度確保し、「明り支保工」を 4 基以上建て込むことを標準とする。(図 7.43 参考)

ただし、坑口前面が橋梁あるいは盛土区間等で、かつ、背面斜面に地形的な制約がある場合は、別途、考慮するものとする。

また、到達側坑口における斜面切り付け面は、坑門工背面との余裕幅を、下半盤において 50cm 程度確保できる位置とする。

鋼アーチ支保工の構造は、個々のトンネルの坑口部断面に準拠するが、坑口部断面にウイングリブ付鋼アーチ支保工使用している場合は、ウイングリブは設けないものとする。

土のうは、着手側坑口のみ考慮するものとするが、その積載方法は、現場条件により異なるため、数量としては、外型枠(キーストンプレート)周長に対し、巻き立て厚 50cm 相当で計上するものとする。

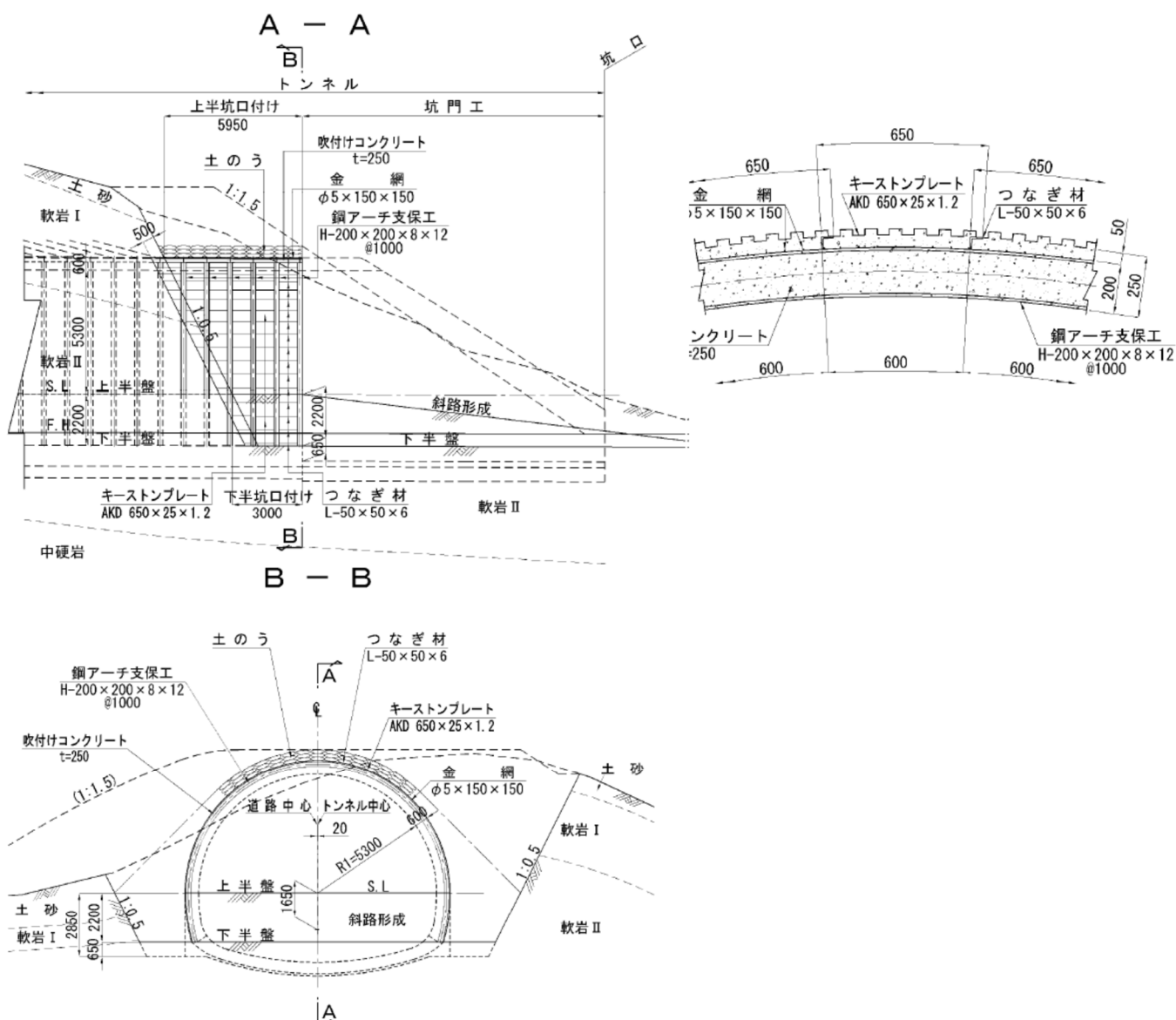


図 7.43 坑口付け計画 (参考)

3. 坑口部の予想される現象と対策

(1) 坑口部の施工時に予想される現象に対応する対策を表 7.31 に示す。

(トン技・構造 p140～142)

表 7.31 坑口部施工時に予想される現象と対策工法

予想される現象 対 策	斜面 崩壊	地 す べ り	急崖を 形成す る岩盤 斜面	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 ホ ー ル ト	◎		○						〃
抑 え 盛 土	○	◎		◎					〃
抱 き 擁 壁	○	◎	○	◎					〃
抑 止 抗		◎		○					〃
ア ン カ ー 工	○	◎	○	○					〃
ハ ー フ フ ー 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 (ホルト・吹付け) 工						○	○		〃
一 時 閉 合 (仮イバート)				◎	◎		◎		〃

◎ 有効な工法

○ 場合により有効な工法

4. 坑門工の設計

(中部地整 H26 p7-46～50)

(1) 面壁式（ウイング）坑門工の設計

面壁型坑門工設計の考え方は、「道路土工 カルバート工指針（社）日本道路協会（H22.3）」および「山岳トンネルの坑口部の設計・施工に関する研究報告書（社）日本トンネル技術協会（S60.2）」を参考とする。

① 使用材料および許容応力度

- a) コンクリート：設計基準強度 $\sigma_{ck} = 24\text{N/mm}^2$
 - ：許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca} = 8\text{N/mm}^2$
 - ：許容せん断応力度 $\tau_a = 0.23\text{N/mm}^2$
 - ：許容付着応力度 $\tau_{0a} = 1.6\text{N/mm}^2$
- b) 鉄筋：材質 SD345
 - ：許容引張応力度 $\sigma_{sa} = 180\text{N/mm}^2$
 - ：許容引張応力度 $\sigma_{sa} = 200\text{N/mm}^2$ （継ぎ手長算出用）

② 裏込め材

表 7.32 裏込め材の種類と土質定数

裏込め材の種類	単位体積重量： γ (KN/m ³)	せん断抵抗角： ϕ (°)
れき質土	20	35
砂質土	19	30
粘性土	18	25

③ 荷重

- a) 土圧：静止土圧係数 $k_0=0.5$

ただし、ウイング高に対し裏込め土の盛りこぼし高が極端に高い場合は、試行くさび法により土圧係数の照査を行う。

- b) 施工時荷重： $q=10\text{kN/m}^2$
- c) 雪荷重： $q=3.5\text{kN/m}^2$
- d) 地震の影響は考慮しない
- e) その他必要とされるもの

④ 許容応力度の割増し率

- a) 施工時に対して：1.25

⑤ 設計手法

ウイングに作用する外力は、主としてトンネル軸線方向の土圧であり、ボックスカルバートに取付くウイング設計と同様と考えられるが、トンネル坑門工のウイングは、本体覆工コンクリートに円曲線状に支持されるため、S.L より 45° 付近を境に水平方向、鉛直方向の2方向版の応力分布を示す傾向にある。しかし、2方向版での設計は煩雑となることから、トンネル本体で支持される片持版として断面力を算定し、配筋において2方向版の性状に配慮した設計とする。

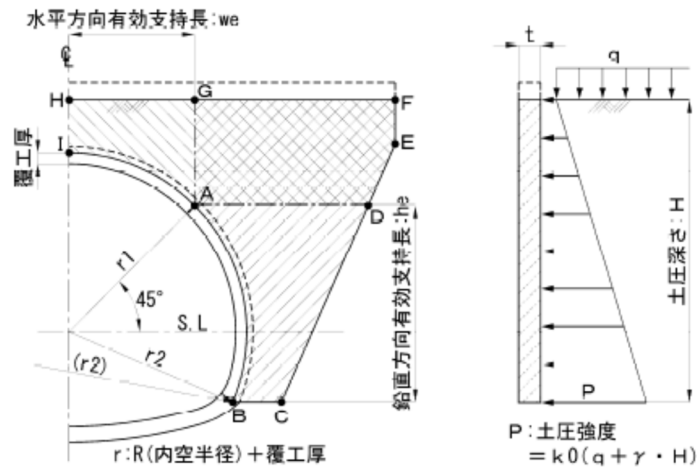


図 7.44 断面力算定外面概念図

a) ウイングに作用する断面力

水平方向の断面力は、面 GABCDEF に作用する土圧を鉛直方向有効支持長： h_e で支持させるものとし、せん断力および曲げモーメントを算定する。

鉛直方向の断面力は、面 HIADEFG に作用する土圧を水平方向有効支持長： w_e で支持させるものとし、せん断力および曲げモーメントを算定する。

水平方向の断面力

$$\text{せん断力：} \quad S = \frac{\sum s_{G \sim A \sim B}}{h_e} \quad (\text{KN})$$

$$\text{曲げモーメント：} \quad M = \frac{\sum m_{G \sim A \sim B}}{h_e} \quad (\text{KN})$$

鉛直方向の断面力

$$\text{せん断力：} \quad S = \frac{\sum s_{I \sim A \sim D}}{w_e} \quad (\text{KN})$$

$$\text{曲げモーメント：} \quad M = \frac{\sum m_{I \sim A \sim D}}{w_e} \quad (\text{KN})$$

b) サイドウイングからの作用断面力

ウイング背面に横方向土留め(サイドウイング)が付設される場合は、サイドウイング単体で断面力(通常の片持版)を算定し、曲げモーメントのみを正面ウイングの水平方向曲げモーメントに加算し、有効支持長： h_e で除するものとする。

c) 部材厚

ウイングの部材厚は 10cm 間隔で設定するものとし、最小部材厚は 40cm とする。また、トンネル本体に支持させることから、本体覆工とのバランスも考慮することが望ましい。サイドウイングが付設される場合は、その接合部にサイドウイング同等厚のハンチを考慮するものとする。

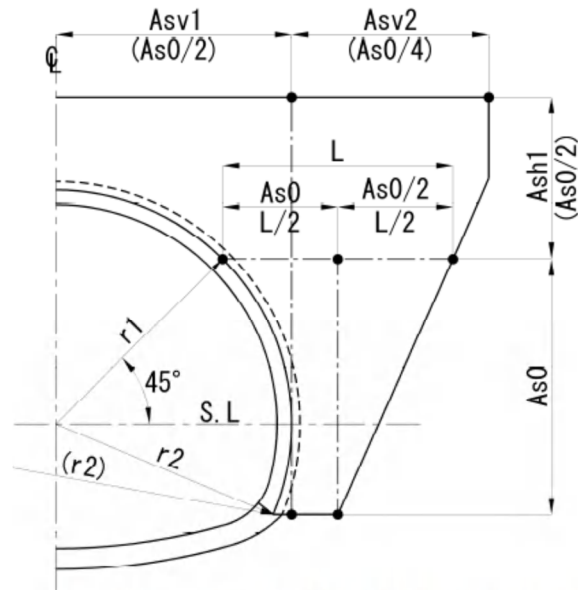
d) 配筋要領

ウイング各部位の配筋は、算定した水平方向断面力より最適な部材厚および鉄筋量(A_{s0})を決定し、これを基準に図 7.45 の要領で配筋を行う。

鉛直方向の必要鉄筋量は、水平方向に比べ非常に小さくなる傾向にあるが、2 方向版の性状に配慮した下図の要領で配筋するものとする。

圧縮側(ウイング前面)鉄筋量は、引張側(ウイング背面)鉄筋量の 1/6 以上とする。

使用鉄筋は D16～D32 とし、可能な限り定尺鉄筋を使用するものとする。



注：Lは、As 0が@125 で決定される場合に考慮する。

図 7.45 鉄筋要領概念図

(2) 突出型（明り巻き）坑門工の設計

突出型坑門工設計の考え方は、「道路土工カルバート工指針（社）日本道路協会（H22.3）」を参考とする。

① 使用材料および許容応力度

(1) コンクリート 設計基準強度 $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$	許容曲げ圧縮応力度 $\sigma_{ca}=8\text{N/mm}^2$		許容付着応力度 $\tau_{0a}=1.6\text{N/mm}^2$
	許容せん断応力度	$\tau_a=0.23\text{N/mm}^2$ (コンクリートのみで負担)	
		$\tau_a=1.7\text{N/mm}^2$ (斜引張り鉄筋共同で負担)	
(2) 鉄筋 SD345	許容引張応力度 $\sigma_{aa}=200\text{N/mm}^2$ 基本値		許容引張応力度 $\tau_{0a}=180\text{N/mm}^2$

コンクリートのみでせん断力を負担する場合の許容せん断応力度は、部材断面の有効高の影響、軸方向引張鉄筋比の影響、軸圧縮力等を考慮して補正を行う。

② 盛土材

表 7.33 盛土材の種類と土質定数

裏込め材の種類	単位体積重量： γ (KN/m ³)	せん断抵抗角： ϕ (°)
れき質土	20	35
砂質土	19	30
粘性土	18	25

③ 荷重

- a) トンネル内活荷重 : q = 路線により決定
- b) トンネル内死荷重 : q = 舗装、路盤、インバート埋戻し材等
- c) 土 圧 : 静止土圧係数 $k_0 = 0.5$ or 0.3
- d) 温度変化（露出部） $\pm 15^\circ\text{C}$ 相当
- e) 乾燥収縮 -20°C 相当
- f) 地震の影響 = 水平震度
- g) 施工時荷重 : $q = 10\text{kN/m}^2$
- h) 雪 荷 重 : $q = 3.5\text{kN/m}^2$
- i) その他必要とされるもの

④ 許容応力度の割増し率

- a) 常時 : 1.00
- b) 温度変化時 : 1.15
- c) 地震時 : 1.50
- d) 施工時 : 下表に示す

完成後の応力度が著しく低くなる場合	1.50
完成後の応力度が許容応力度と同じ程度となる場合	1.25

⑤ 断面形状および部材厚

明り巻き断面の内空は、トンネル本体に合わせるものとし、側壁外周は鉛直を標準とする。

- a) 図 7.46 (a) における側壁高さは、 R_2 および R_3 の交点①を通る鉛直線と、 r_3 の交点②を 5cm ラウンドで切り上げた値とする。
- b) 図 7.46 (b) の場合は、杭の押拔せん断力等を考慮したインバート厚 t_i により決定する。部材厚は 10cm 間隔で設定するものとし、最小部材厚は 60cm とする。

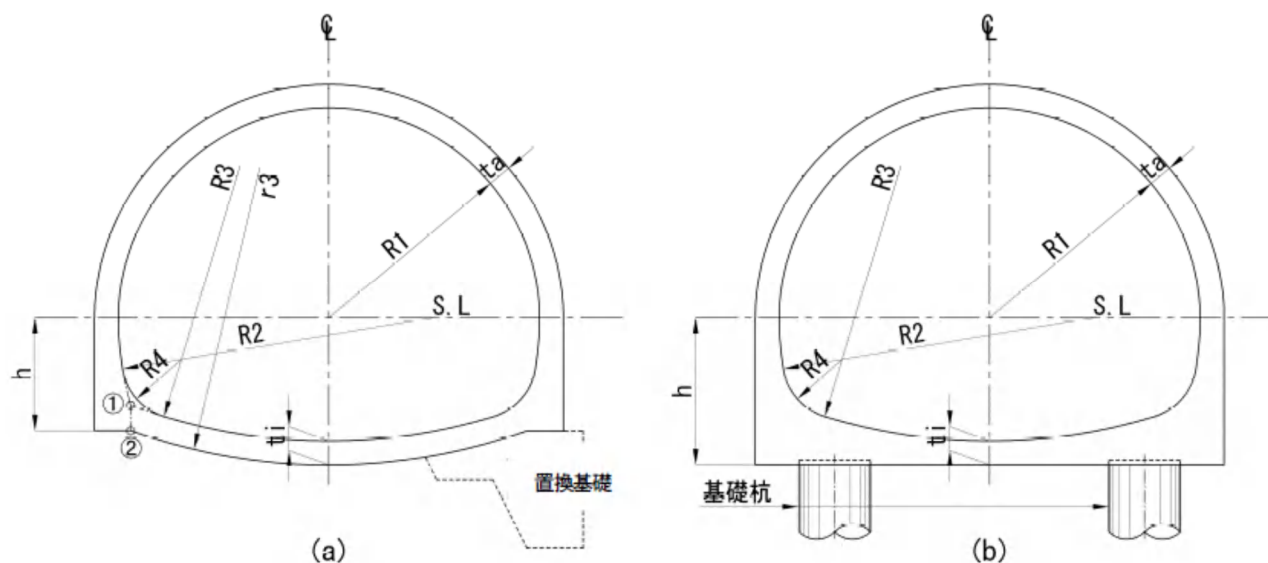


図 7.46 明り巻断面（参考）

⑥ 配筋要領

明り巻きの配筋要領は、図 7.47 を標準とし、可能な限り定尺鉄筋を使用する配筋方法とする。

使用鉄筋は D16～D32 を標準とする。

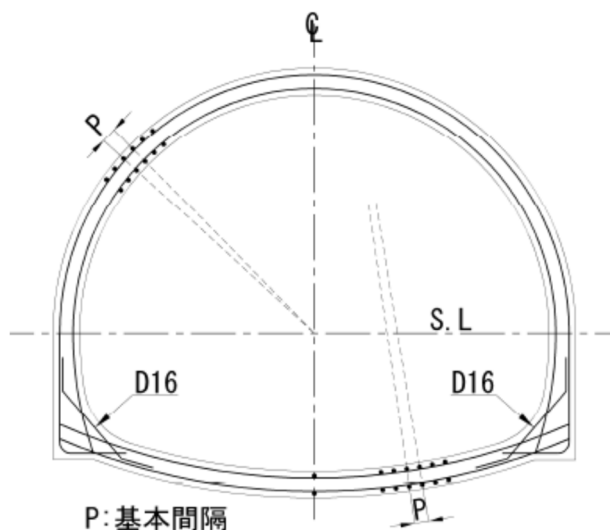


図 7.47 明り巻配筋要領概念図

⑦ 継目工

明り巻きとトンネル本体間、あるいは明り巻き相互間には継目工を設置するものとする。

また、明り巻きとトンネル本体間の継目部分には、トンネル本体が露出しないよう 50cm 以上の上載土を考慮するものとする。

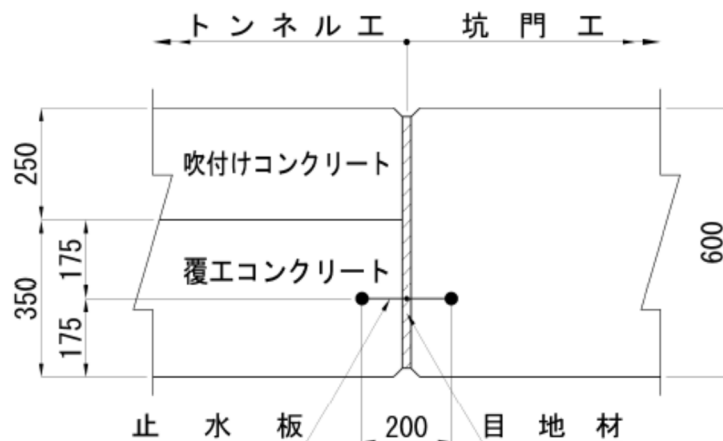


図 7.48 継ぎ目工の計画（参考）

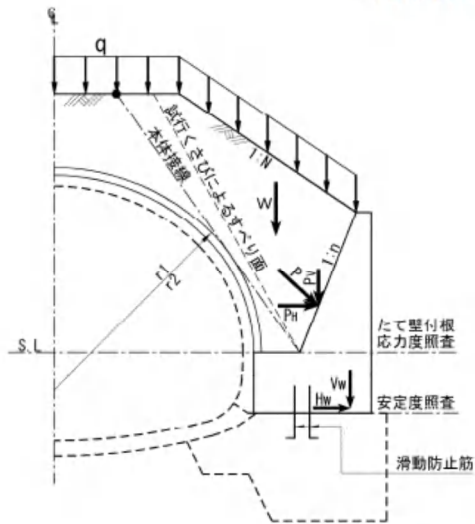
(3) 抱き擁壁および置換基礎の設計

抱き擁壁および置換基礎の形状寸法は、安定計算、応力度計算により決定するものとする。

抱き擁壁はたて壁付根で応力度照査を行い、クラック防止筋 D13@250 以上の配筋を行うものとし、置換基礎との間には、水平力相当の滑動防止筋を配置するものとする。

置換基礎は、地表より露出する部分大きい場合にクラック防止筋を配筋するものとする。

抱き擁壁安定計算



置換基礎安定計算

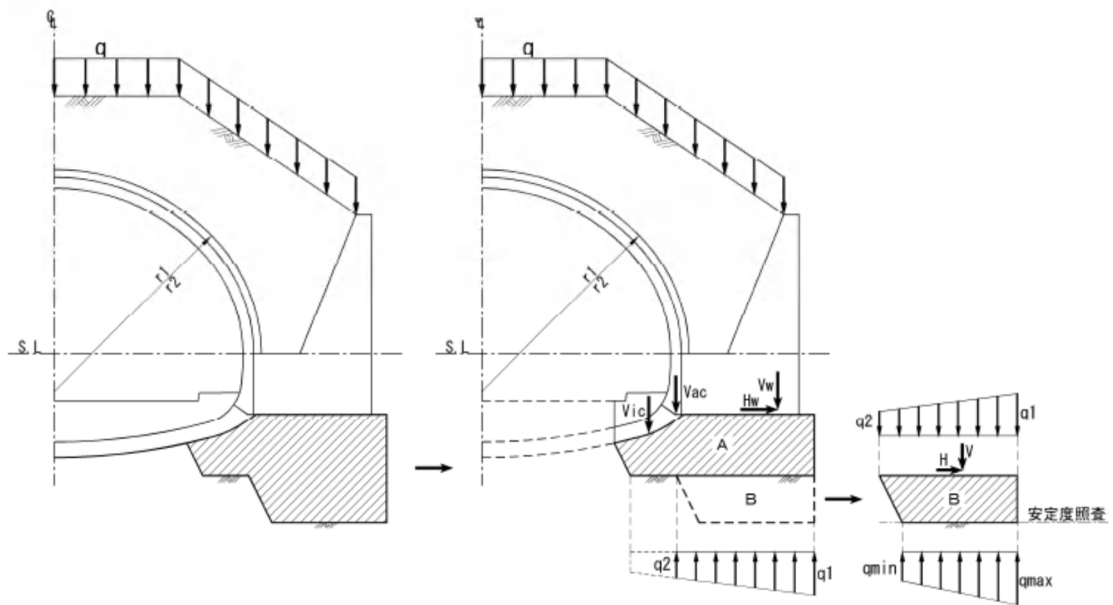


図 7.49 抱き擁壁、置換基礎の安定計算（参考）

第12節 補助工法

(トン技・構造 p222～234、トン示 p285～301、中部地整 H26 p7-51～52)

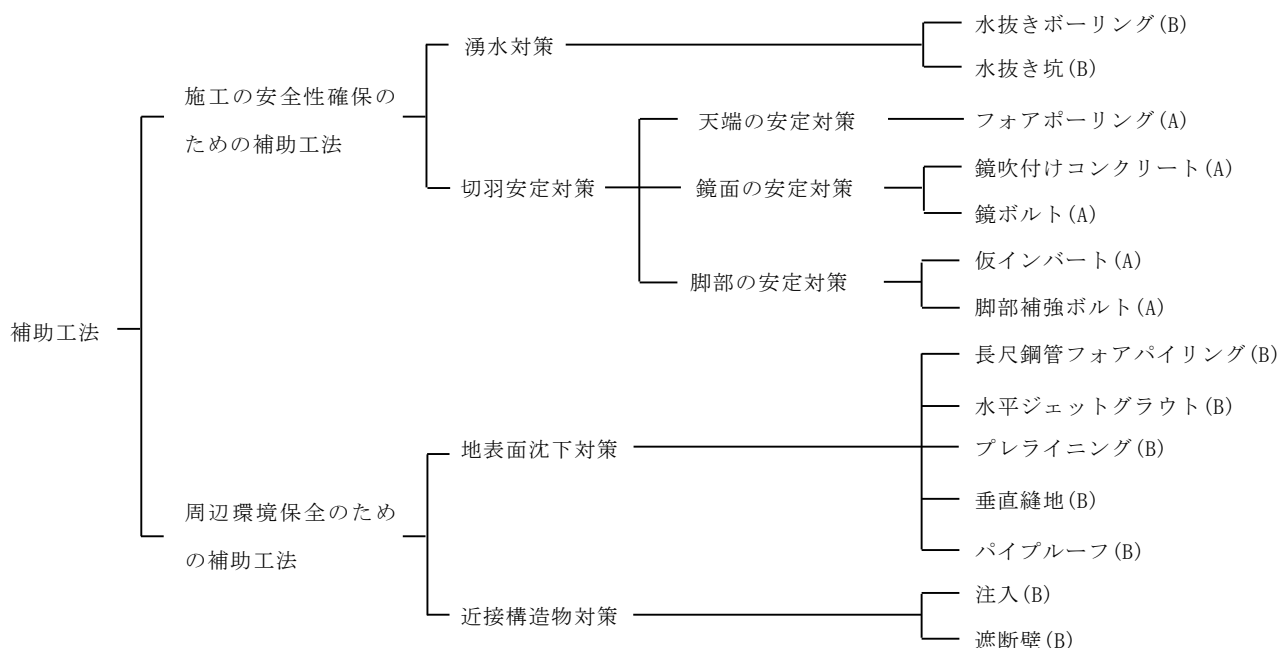
1. 補助工法一般

補助工法とは、ロックボルト、吹付けコンクリート、鋼アーチ支保工等の通常の支保パターンでは対処できないか、対処することが得策でない場合に、切羽の安定性・施工の安全性確保ならびに周辺環境の保全のため、主に地山条件の改善を計る目的で適用される補助的または特殊な工法をいう。

補助工法及び特殊工法については、新技術情報提供システム(NETIS)を有効に活用し、最新技術動向を踏まえた選定を行うものとする。

代表的な補助工法と使用目的による分類を下表に示す。

表 7.34 補助工法の分類



注) 各工法末尾の(A)、(B)は補助工法の区分を表す。

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

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

(1) 設計時の補助工法の適用

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。

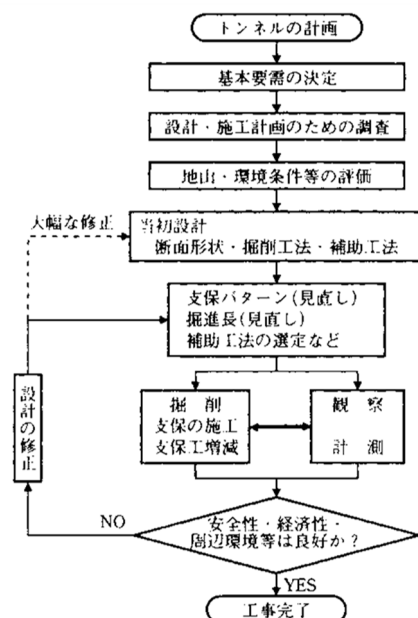


図 7.50 補助工法に着目したトンネルの調査・設計・施工の流れ(中部地整 H26 p7-52)

(2) 施工中の補助工法の適用

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。

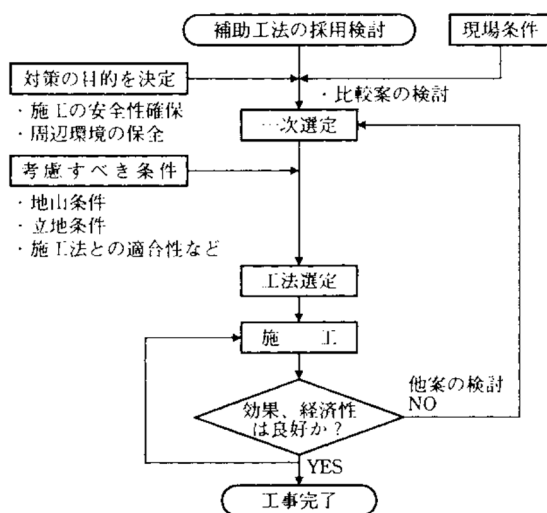


図 7.51 施工中における補助工法検討の流れ(中部地整 H26 p7-52)

2. 補助工法の適用

補助工法は、その目的に応じて、湧水対策、切羽安定対策、地表沈下対策、近接構造物対策に分類される。補助工法の採用にあたっては、安全性・効果・経済性に優れた工法を選定しなければならない。

補助工法の効果は、主目的とする効果と、それに付随した二次的効果を併せ持つことが多い。また、複数の補助工法を組み合わせる用いることも多く、トンネルの施工性、地山条件ならず周辺環境条件を総合的に考慮して、効果的で経済的な工法を選定しなければならない。

表 7.35 補助工法の選定(トン示 p287)

工 法			目 的						対 象 地 山			略号	摘要	
			施工の安全性確保			周辺環境の保全								
			切羽安定対策			地下 対 策	地表面 沈 下 対 策	近 接 構 造 物 対 策	硬 岩	軟 岩	土 砂			
			天端の 安 定	鏡面の 安 定	脚部の 安 定									
先 受 工	・ 充填式フォアボーリング		○						○	○	○	f		
	・ 注入式フォアボーリング											Cf		
	・ 長尺鋼管フォアパイリング		○					○	○	○	A	※2		
	・ トレヴィチューブ工法		○					○	○	○	T	※2		
	・ パイプルーフ		○					○	○	○	P	※1		
	・ 水平ジェットグラウト （噴射攪拌）		○	○	○			○	○	○	jg	※1		
	・ スリットコンクリート		○					○	○	○	sc	※1		
鏡面の補強	・ 鏡吹付けコンクリート			○					○	○	○	Fc		
	・ 鏡ボルト			○					○	○	○	Fb		
	・ 長尺鏡ボルト			○				○	○	○	FF			
脚部の補強	・ 脚部補強ボルト				○			○		○	○	Rb		
	・ 脚部補強パイル				○			○		○	○	Rp	※2	
	・ ウイングリブ付支保工				○			○		○	○	Rw		
	・ 仮インパート				○			○		○	○	Ri		
地下水位対策	排 水	・ 水抜きボーリング	○	○	○	○				○	○	○	Wb	※2
		・ ウェルポイント	○	○	○	○						○	Wp	※1
		・ ディープウェル	○	○	○	○						○	Wd	※1
		・ 水抜き坑	○	○	○	○				○	○	○	—	※1
	止 水	・ 注入	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Wc	※1
		・ 遮断壁				○	○	○	○			○	Ws	※1
補地山	・ 注入		○	○				○	○			○	Gc	※1
	・ 垂直継地		○	○				○				○	Gb	※1

注) ○ : 比較的良好に採用される工法

※1: 通常のトンネル施工機械設備、材料で対処が困難な対策

※2: 適用工法によって、トンネル施工機械設備、材料で対処が異なる工法

※3: 補助工法を採用する場合には、支保パターン後ろに略称を付与すること。例) DIII a - A、DI - b - c f

3. 薬液注入における施工管理(中部地整 H26 p7-52)

補助工法の採用において、薬液注入材を採用した場合は、注入率なども含め効果の確認を行う必要がある。薬液注入材は周辺に影響を与えることもあるので、「薬液注入工法による建設工事の施工に関する暫定指針について」(昭和 49 年 7 月 10 日 建設省事務次官通達)によらなければならない。このとき、ウレタン系注入材を用いる場合はこの暫定指針の中では緊急かつやむを得ない場合の応急措置と位置付けられているため、使用には十分な注意が必要であり、やむを得ず使用する場合は、「山岳トンネル工法におけるウレタン注入の安全管理に関するガイドライン」(高速道路株式会社 令和 2 年 2 月)などを参考にし、安全管理に留意することが必要である。

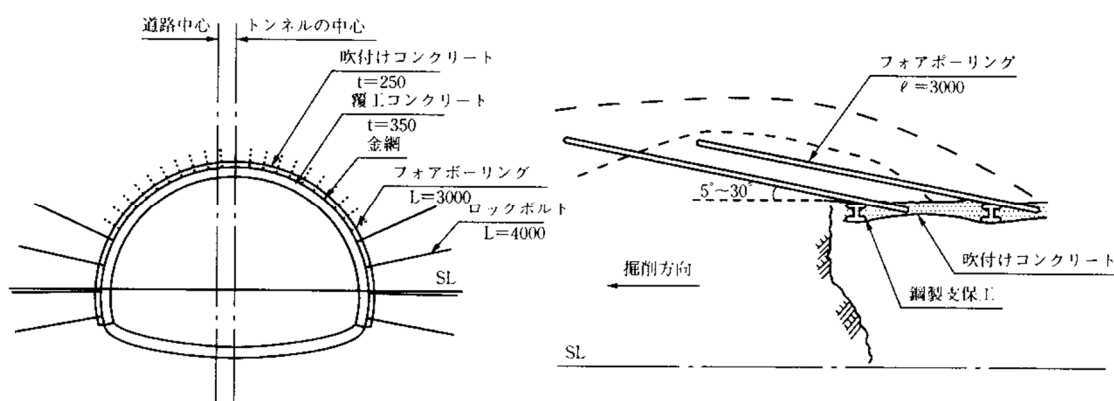
4. 補助工法（参考資料）

4.1 先受工

(1) 充填式フォアポーリング(トン技・構造 p224～225、トン示 p289)

本工法は、切羽面から上半アーチ外周に 5m 程度以下の長さのロックボルト、鉄筋、パイプ等を低角度(30 度まで)で打設し、セメントミルクやモルタル等を充填することにより、前方地山の変形に対する拘束力を高める工法である。切羽状況により非充填式を用いる場合もある。

なお、フォアポーリングはボルト等の長さが 5m 以下のものを言い、5m 以上はフォアパイリングと呼ぶ。



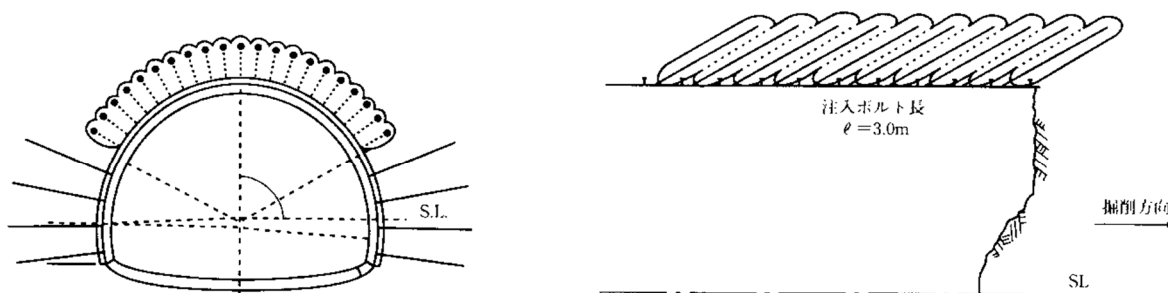
充填式フォアポーリングの施工例

(2) 注入式フォアポーリング(トン技・構造 p224～225、トン示 p289～290)

本工法は、切羽面から斜め前方地山に 5m 程度以下の長さのロックボルト、パイプ等を打設し、セメントミルク、ウレタン、シリカレジン等の薬液を圧力注入することにより、前方地山の変形に対する拘束力及び天端安定を高める工法である。

特に、亀裂の発達した岩盤やルーズな砂質地盤に適し、湧水が多い場合にも適用可能である。

なお、フォアポーリングはボルト等の長さが 5m 以下のものを言い、5m 以上はフォアパイリングと呼ぶ。

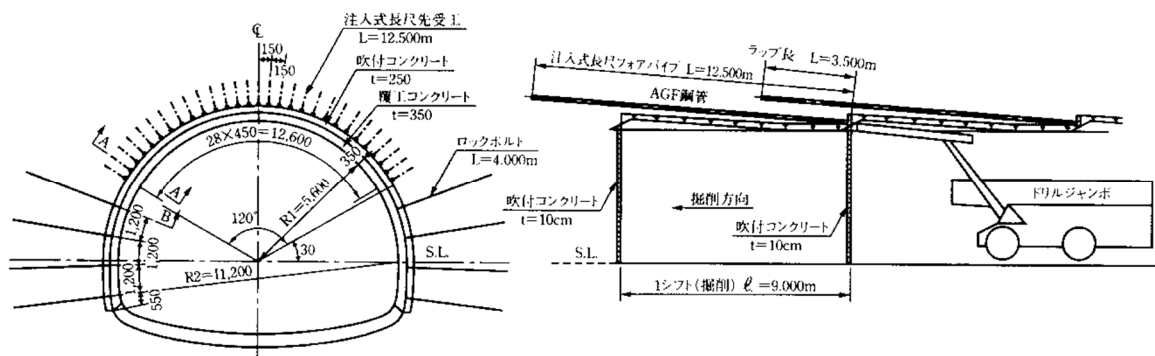


注入式フォアポーリングの施工例

(3) 長尺鋼管フォアパイリング AGF 工法 (トン技・構造 p226、トン示 p290～291)

本工法は、汎用機械(ドリルジャンボ)を用いて 10～20m 程度の鋼管を打設し、ウレタン、シリカレジン等の薬液やセメント系注入材を注入して切羽前方のトンネル掘削部外周地山に補強領域をアンブレラ状に構築し、掘削に伴う地山の緩みを抑止する工法である。

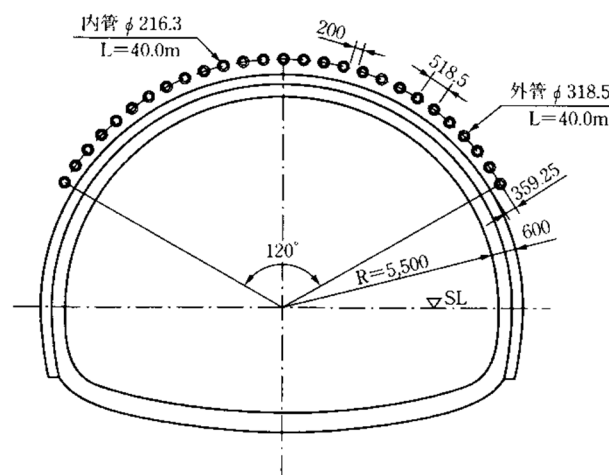
パイプルーフと注入式フォアパイリングの機能を兼ね備えており、岩錐、断層破碎帯、未固結地山等に幅広く対応できる。



長尺鋼管フォアパイリングの施工例

(4) パイプルーフ (トン技・構造 p226～227)

本工法は、トンネル外周に沿って鋼管を打設し、鋼管内部や鋼管との孔壁間をモルタルやセメントミルク等で充填することで剛性を高め、掘削に伴う地山の緩みを抑止する工法である。主に坑口部に用いられ、掘削に先立ち坑外から施工されることが多い。先受長は 10m～40m 程度であり、削孔方式を変更することにより、全ての地盤に対応可能である。



パイプルーフの施工例

(5) トレヴィチューブ工法

本工法は、長尺先受工法の一つで、専用機械を用いて切羽前方のトンネル掘削部外周に鋼管と注入材でアンブレラ状に補強した領域を構築し、掘削に伴う地山の緩みを抑止する工法である。先受長は、10～50m 程度である。

(6) プレイニング(トン技・構造 p228～229)

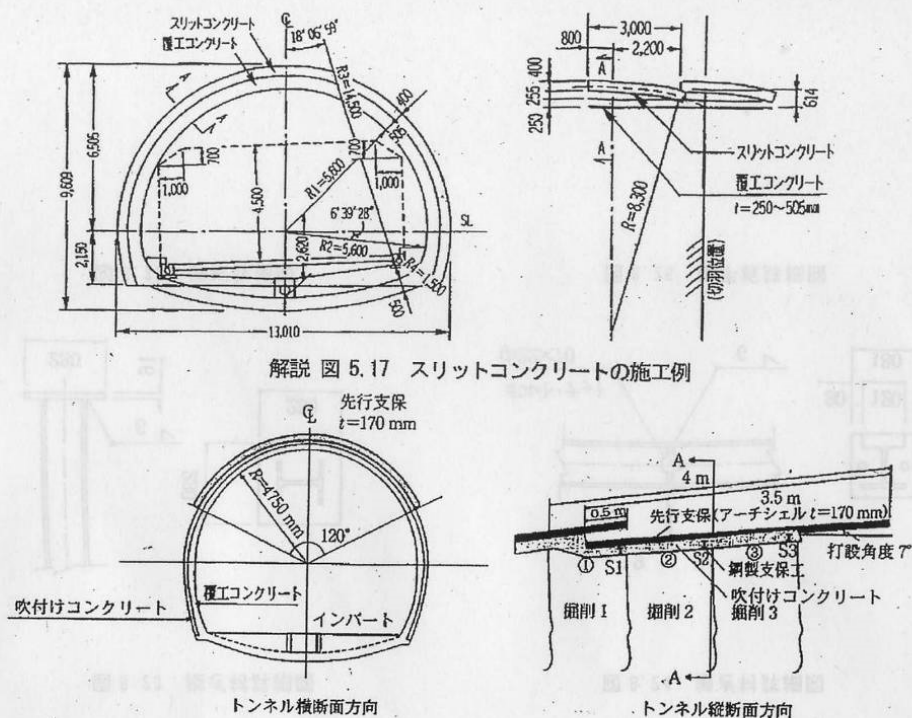
プレイニングは、掘削に伴う地山の緩みを抑止する目的で、トンネル掘削に先行して切羽外周部の地山を切削し、切削部にコンクリートを充填して厚さ 15～50cm 程度のアーチシェル状の薄肉覆工を構築する工法である。工法としては、New PLS 工法、PASS 工法、モノベック工法等がある。

(7) スリットコンクリート(トン示 p299～300)

この工法は専用機を用いて切羽前方トンネル外周部を前方に 3～5m 程度 15～50 cm の厚さでアーチ状に掘削し、掘削後ただちにコンクリート等を充填することでアーチシェルを造成するものである。トンネル横断方向に連続した剛性の高い構造体を形成するので先行変位に対する抑制効果が期待でき、地表面の許容沈下量が小さな都市部のトンネルや重要構造物に近接している場合等に適した工法である

ただし、切羽前方地山を拘束することによる荷重の増加が考えられるため、スリットコンクリートや支保工の脚部の支持力確保に留意する必要がある。アーチシェルの掘削方式としては、チェーンカッターを用いるものと多軸オーガーを用いるものがある。

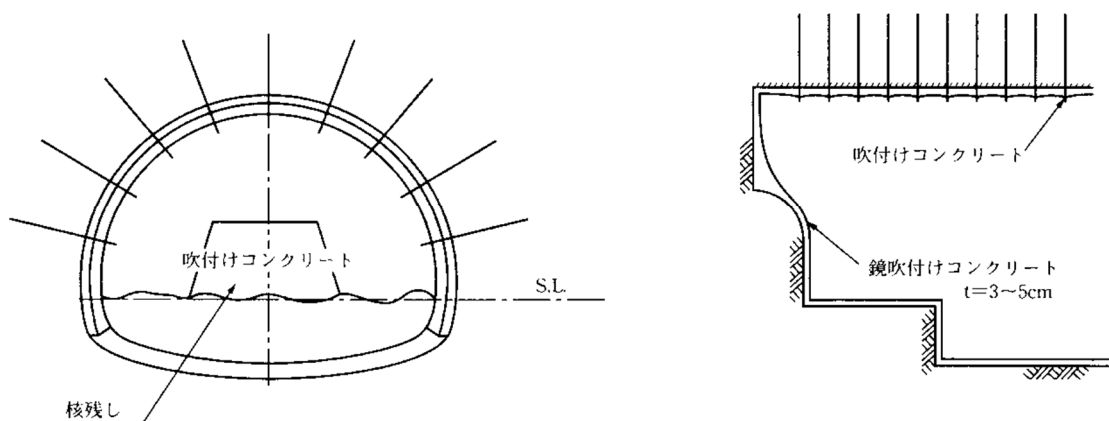
解説 図 5.17 に既設トンネルの拡幅に用いた施工例を、解説 図 5.18 に地表面沈下の抑制に用いた例を示す。



4.2 鏡面の安定対策

(1) 鏡吹付コンクリート(トン技・構造 p229、トン示 p290～291)

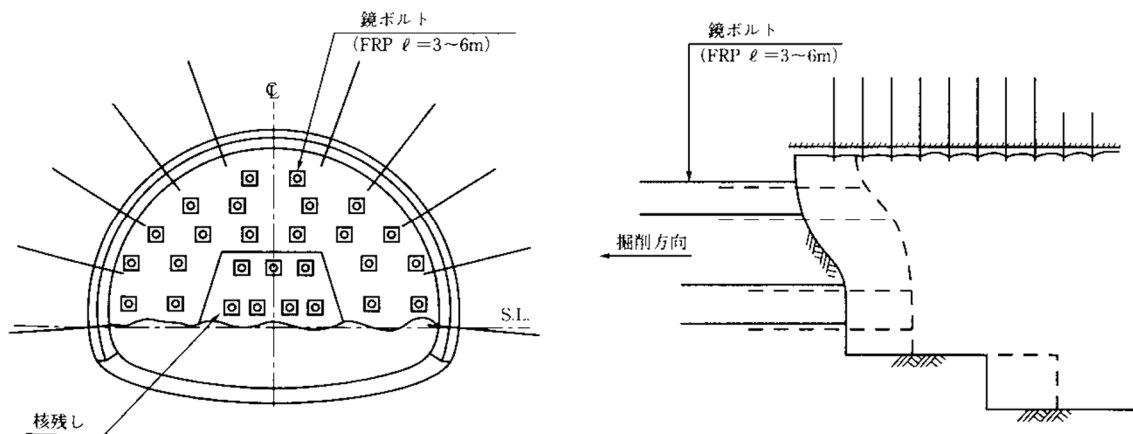
本工法は、掘削直後の切羽面に 3～5cm のコンクリート吹付を行い、掘削初期の崩落防止と、鏡面の安定性を向上させる工法である。また施工により、切羽小崩落の兆候を把握しやすくなる。



鏡吹付コンクリートの施工例

(2) 鏡止めボルト(鏡ボルト)(トン技・構造 p229、トン示 p290～292)

本工法は、鏡面の一部又は全部にロックボルトを打設して切羽の安定を図る工法であり、切羽補強効果を高めるため薬液を注入する場合もある。ロックボルトには、次回掘削時の切断しやすさを考慮し、グラスファイバーボルト(FRP)が採用されることが多い。

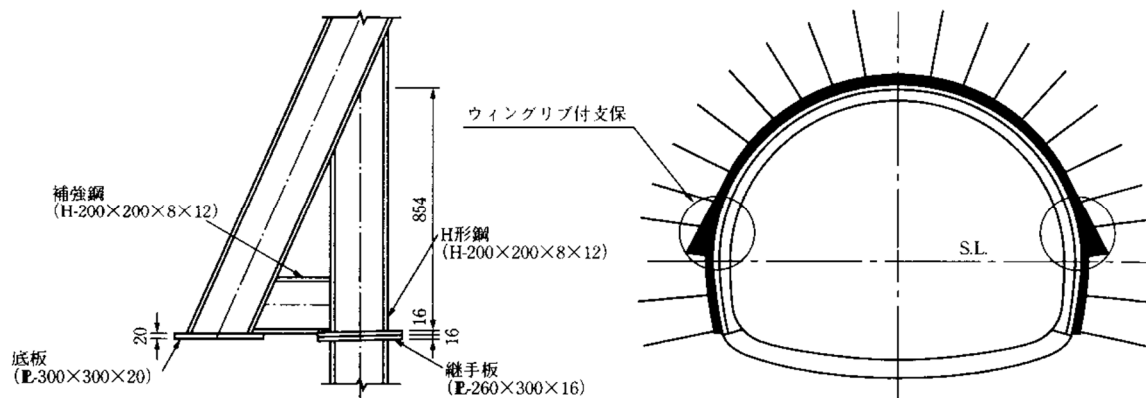


鏡ボルトの施工例

4.3 脚部の安定対策

(1) ウィングリブ付支保工(トン技・構造 p230、トン示 p293)

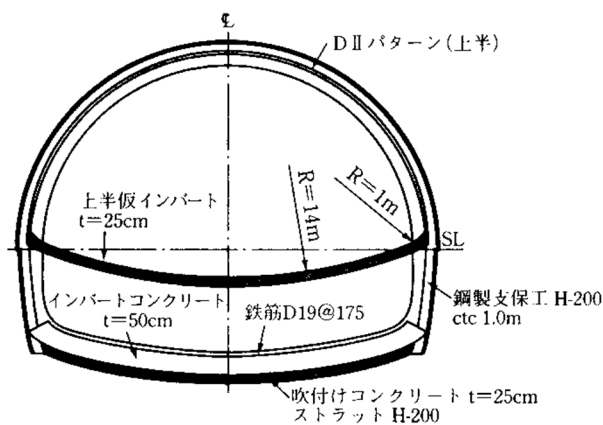
上半部の鋼製支保にウィングリブを付け、支保脚部の支持面積を広げるものである。



ウィングリブ付き鋼製支保工の施工例

(2) 上半仮インバート(トン技・構造 p230、トン示 p292～293)

本工法は、膨張性地山、偏土圧、地耐力不足により異常な変位や変状の恐れがある場合や切羽での支持力を増すために上半部にコンクリートを打設し、上半を閉合する工法である。



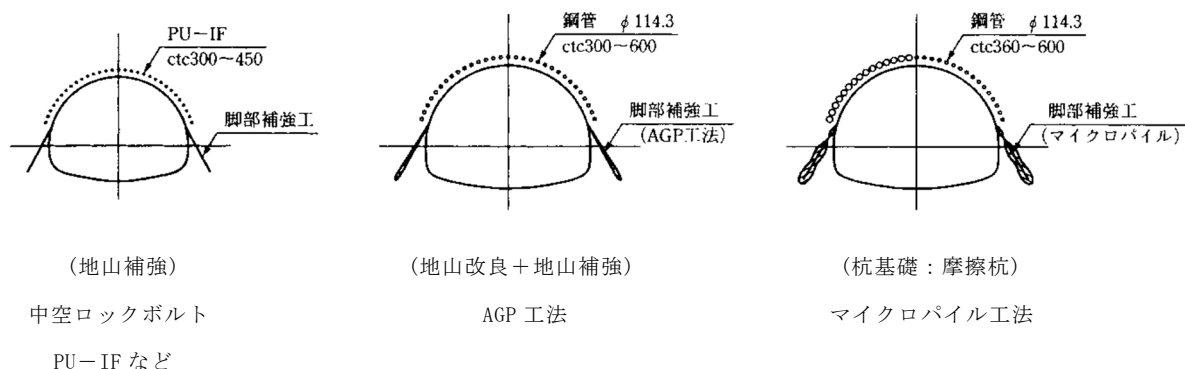
上半仮インバートの施工例

(3) 脚部補強ボルト、脚部補強パイル(レッグパイル) (トン技・構造 p230～231、トン示 p292)

本工法は、下半掘削に先立ち、支保工の支持地盤にロックボルトを打設し、支保工の沈下を抑制する工法である。地盤の状況により鋼管を打設し、ウレタン、シリカレジン等の薬液やセメント系注入材を注入するレッグパイルも用いられる。主に現場での機械を使用して施工され、ウィングリブ支保と組み合わせて使用されることが多い。

レッグパイルには、主にセメントミルク系やウレタン系の注入材を圧入して地山の支持力を増加させる AGP 工法とセメントミルク系注入材を圧入して摩擦杭を構築するマイクロパイル工法がある。

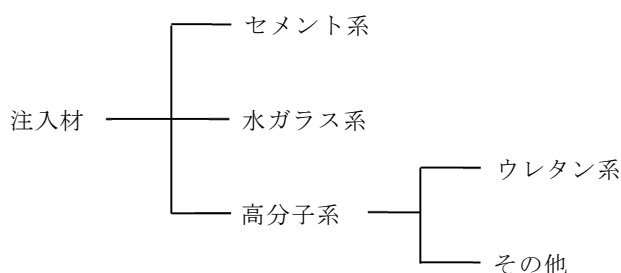
また、RJFP などの高圧噴射式注入工法を脚部補強に用いる高圧噴射レッグパイルもある。



4.4 地山補強工法

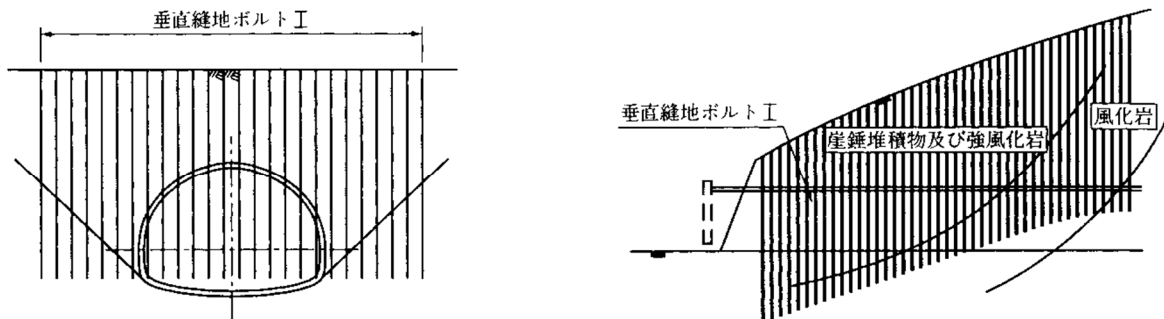
(1) 注入工法(トン示 p292)

本工法は、坑外又は坑内からトンネル周辺地山にセメント系、水ガラス系、高分子系の薬液を注入し地山の補強や止水を行うものである。ただし、施工に当たっては、公害防止に万全の配慮を行う必要がある。



(2) 垂直縫地工法(トン示 p300)

本工法は、トンネルの掘削に先立ち、あらかじめ地表からほぼ垂直にボルトを挿入し、鉄筋モルタル杭で地山を補強し、先行沈下防止や切羽の安定を図る工法である。



垂直縫地の施工例

4.5 地下水対策

(1) 水抜きボーリング(トン技・構造 p232、トン示 p294)

本工法は、坑内又は坑外からボーリングを行い、ボーリング孔を利用して地山の地下水を排水し、水位、水圧を下げる工法である。

(2) ウェルポイント工法(トン技・構造 p232、トン示 p294～295)

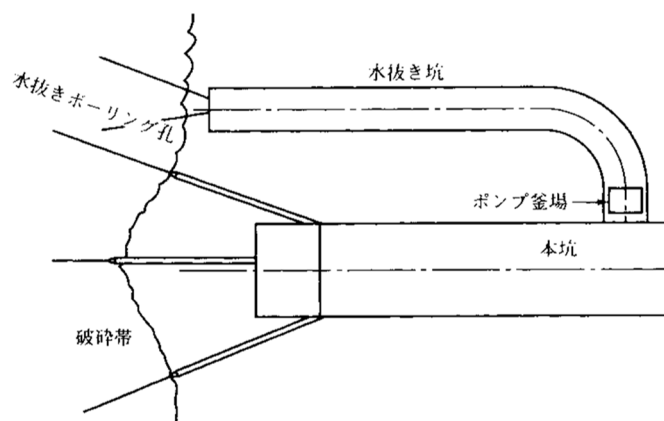
本工法は、ウェルポイントと称する集水管を地盤に設置し地盤に負圧をかけて地下水を吸引する工法である。

(3) ディープウェル工法(トン技・構造 p232、トン示 p294～295)

本工法は、一般に外径 300mm 程度の深井戸を掘り、水中ポンプにより地下水位を排水する工法である。

(4) 水抜き坑(トン技・構造 p246、トン示 p294)

本工法は、特に湧水が多い場合に切羽面あるいは迂回等により小断面導坑を先進させて水を排水する工法である。湧水量が多く、水抜きボーリングでは効果が得られない場合や急速排水が必要な場合、水抜きボーリングと併用して用いられることが多い。



水抜き坑と水抜きボーリングを併用した例

(5) 止水工法(**トン技・構造 p246、トン示 p294～296**)

止水工法には、注入工法、圧気工法、遮水壁工法があり、一般的には注入工法が用いられる。排水工法に比べて工費が高く、環境対策の配慮が必要である。

第 13 節 矢板工法

(中部地整 H26 p7-52、トン技・構造 p281～286、トン示 p381～393)

1. 適用範囲

本工法は、吹付コンクリートや、ロックボルトの施工が困難な高圧、多量の湧水をともなう地山、あるいは、崩落個所の応急対策等に限定して適用するものとする。

第 14 節 トンネル照明施設

1. トンネル照明施設に用いる示方書等

トンネル照明施設の設計に用いる示方書・基準等は、「道路照明施設設置基準・同解説」((社)日本道路協会 H19.10)、「電気通信施設設計要領・同解説」((社)建設電気技術協会 R5 年版)、「LED 道路・トンネル照明導入ガイドライン(案)」(国土交通省 H27.3)によるものとする。**(中部地整 H26 p7-53)**

設計する際に必要となる標準的な器材の仕様については、「道路・トンネル照明器材仕様書・同解説」((一社)建設電気技術協会 H30 年版)」を参考にするとよい。

2. 設置計画

(中部地整 H26 p7-53)

トンネル照明は 50m 以上のトンネルに設置することを原則とする。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。

トンネル照明に使用する光源は、LED を原則とする。

3. 接続道路の照明

(中部地整 H26 p7-53)

トンネルに続く取付け道路には坑口より 10m 付近に照明灯を 1 基設置するものとする。

第 15 節 トンネル非常用設備

(中部地整 H26 p7-53～62)

1. トンネル非常用設備に用いる示方書等

トンネル非常用設備の設計に用いる示方書等は、下記事項にも準拠するものとする。

トンネル非常用設備機器の構造、性能、付加機能については「道路トンネル非常用設備機器仕様書」「トンネル内ラジオ再放送設備機器仕様書」に準拠するものとする。

基準指針等	発行年月	発 行 者
道路トンネルにおける非常用設備（警報装置）の標準仕様	S43.12.7	建設省道企発第 106 号
一般国道等の通信施設に関する覚書	S45.4.17	建設省道路局長
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	R 元.9	日本道路協会
道路トンネル非常用設備機器仕様書	R3.3	国土交通省
トンネル内ラジオ再放送設備機器仕様書	R3.3	国土交通省

2. 設置計画

- (1) 「道路トンネル非常用施設設置基準」3-1(2)「交通量」とは計画交通量(交通量/日)をいう。
- (2) トンネルの等級区分及びトンネル等級別の非常用施設は次のとおりである。

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 7.52 に示すように区分する。

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

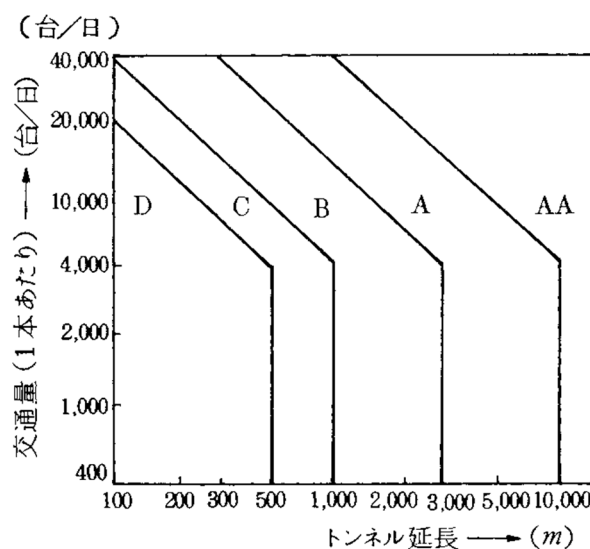


図 7.52 トンネル等級区分

- 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 7.36 に示す施設を設置するものとする。
- 竹割式坑門工の防災上のトンネル延長は、トンネル全周が閉合されている区間を対象とする。

表 7.36 トンネル等級別の非常用施設

トンネル等級 非常用施設		AA	A	B	C	D
通報設備	通話型通報設備	○	○	○	○	
	操作型通報設備	○	○	○	○	
	自動通報設備	○	△			
警報設備	非常警報設備	○	○	○	○	
消火設備	消火器	○	○	○		
	消火栓設備	○	○			
避難誘導設備	誘導表示設備	○	○	○		
	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	○	△			
	無線通信補助設備	○	△			
	水噴霧設備	○	△			
	監視設備	○	△			

注) 上表中「○印は原則として設置する」、「△は必要に応じて設置する」ことを示す。(道非施基 p16)

高規格幹線道路については別途検討すること。

3. 通報設備

(中部地整 H26 p7-53~54)

(1) 通話型通報設備

通話型通報装置として非常電話を設置する場合は、下記のとおりとする。

- ア) 非常電話は両側に設置することを原則とする。ただし、対面通行トンネルでは千鳥配列、一方通行トンネルでは左側に設置する。(非常電話の設置間隔は片側 200m 以下) (図 7.58 参照)
- イ) 送受話器の高さは、トンネル利用者などが容易に操作できるように、路面又は監視員通路面より 1.20m の高さを標準とする。
- ウ) 非常電話案内板
- 設置間隔は 25m を標準とする。
 - 非常電話案内板は、図 7.53 を標準とする。

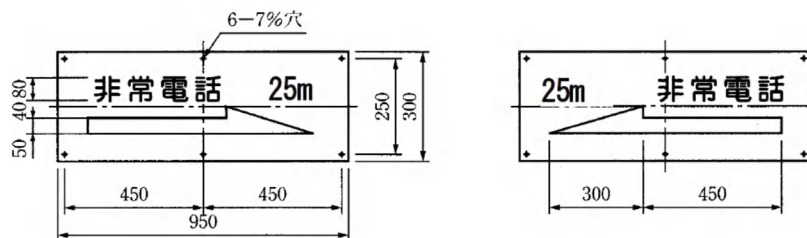


図 7.53 非常電話案内板

(2) 操作型通報設備

操作型通報装置として押しボタン式通報装置を設置する場合は、下記のとおりとする。

- ア) 配列は千鳥を標準とする。ただし一方通行トンネルでは左側に設置する。
- イ) 設置間隔は 50m を標準とする。
- ウ) 通報装置説明板を設けるものとし、レイアウトは図 7.54 を標準とする。

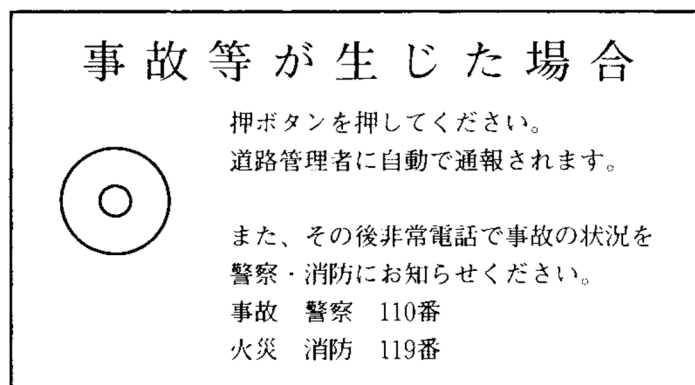


図 7.54 通報装置説明板レイアウト

(3) 自動通報設備

自動通報設備として火災検知器を設置する場合は、下記のとおりとする。

- ア) 光式火災検知器とし二波長式ちらつき型火災検知器または CO₂ 共鳴式ちらつき型火災検知器とする。
- イ) 取付間隔は 25m、取付高は路面又は監視員通路面より 1.3m で片側配列を標準とする。
ただし、同等のエリアの確保ができる場合は、間隔を広げてもよいものとする。

4. 警報設備

(中部地整 H26 p7-54)

(1) 非常警報設備

警報表示板の設置位置は、設置速度 60km/h の場合、トンネル入口の 100m (トンネル坑口と表示版の距離：95m から 105m) 手前の見やすい位置を標準とする。

5. 消火設備

(中部地整 H26 p7-54~55)

(1) 消火器

- ア) 消火器は、手さげ式粉末 ABC 型消火器 6kg とし、消火器箱には押しボタン式通報装置を設け、消火器 2 本を 1 組として消火器は箱内に収納するものとする。
- イ) 消火器は 50m 間隔千鳥に配置を標準とする。ただし一方通行トンネルでは左側に設置する。

(2) 消火栓設備

- ア) 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。
- イ) 消火栓設備は 50m 間隔片側に配置を標準とする。

(3) 消火ポンプ

ア) 消火ポンプ

消火ポンプは、電動機直結駆動の渦巻きポンプを標準とし、点検運転のためのバイパス配管も設けておくこととする。

イ) 容量

消火ポンプは送水対象となる、消火栓、給水栓、水噴霧設備等に対して十分な容量と揚程を有するものとなるよう計画するものとする。

(4) 貯水槽

ア) 水源

給水源は、公共用上水道、トンネル湧水、河川水等から年間を通じて必要量の確保が確実にできるよう検討計画すること。

イ) 貯水槽

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

ウ) 給水

消火ポンプ能力や水源等から長大トンネル等については、二系統の給水も検討すること。

(5) 送水配管

ア) 配管材料

配管材料は、水道用 T 型遠心ダクタイル鋳鉄管、水道用 T 型ダクタイル鋳鉄異径管、水道用亜鉛メッキ鋼管を標準とする。

イ) 配管計画

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

6. 避難誘導設備

(中部地整 H26 p7-55~57)

(1) 誘導表示設備

ア) トンネル中央を境に 100m ピッチで千鳥配置とし、坑口から 200m 程度までとする。ただし、曲線トンネルの場合は坑口が確認できる位置までとする。また 500m 以下のトンネルで両坑口が確認できる場合は、表示しなくてもよい。

イ) 誘導表示設備は非常電話の近くに設置するものとする。

ウ) 等級区分 A 級以上のトンネルの誘導表示設備は内照式とする。光源は LED 式とし、停電時対策として内蔵型の無停電電源装置により 30 分以上の機能を維持できるものとする。ただし、発電機がある場合は 10 分とし、非常照明と同一無停電装置からの供給でもよい。また、この場合は耐火ケーブルを使用する。

(2) 避難情報提供設備

避難情報提供設備としてラジオ再放送設備、拡声放送設備を設置する場合は、下記のとおりとする。

1) ラジオ再放送設備(割込機能あり)

ア) 設置は道路トンネル非常用施設設置標準によるものとする。

サービスエリアはトンネル内本線及び非常駐車帯とする。

- イ) 対象放送局はトンネル坑口及びその周辺において放送局のサービスエリアであり電界強度が $50\text{db}\mu\text{V/m}$ 以上の局とする。(なお、ラジオ放送設備は割込み機能を具備するものとする。)
 - ウ) AM ラジオの誘導線路の方式は、平行 2 線片側布設方式を標準とする。
 - エ) FM ラジオについては、トンネル前後で安定した受信が可能な地域のトンネル(都市近郊)を対象とする。なお、この場合無線通信補助設備の LCX 整備を同時に行う。
- 2) 拡声放送設備
- 拡声放送設備を実装する場合のサービスエリアは部分エリア(非常駐車帯、避難連絡坑、分岐部・合流部及び坑口等)とする。

7. その他の設備

(中部地整 H26 p7-55~57)

(1) 給水栓設備

給水栓設備は、トンネル両坑口、非常駐車帯付近に設置することを標準とする。必要に応じてトンネル内非常駐車帯又は避難連絡坑付近に設置する。A 級又は AA 級の場合、トンネル内は 200m 程度に設置する。消火栓箱の給水栓は必要に応じて設けるものとし、給水栓への送水用として送水口を設けるものとする。

(2) 無線通信補助設備

当該路線の運用方針を確認し、設備を設置する場合は下記のとおり設計を行うこと。

ア) 管理用無線補助設備

トンネル内無線電送方式は、表 7.37 のとおりとする。

a) 単信無線

- ① 500m 以上のトンネルは、当初から管理用無線通信補助設備(岐阜県)を設置することを標準とする。
- ② 空中線系は耐熱 LCX とし、消防用及び警察用と共用を標準とする。

b) 移動通信サービス

移動通信基盤整備協会等の電気通信事業者が参入してくる、又は、参入予定のトンネルについては、原則として移動通信サービスに必要な通信ケーブル等を兼用工作物として取り扱う。

イ) 消防用無線補助設備

- a) 1000m 以上のトンネル又は、要望があるトンネルについては空中線共用装置に消防用共用器実装するものとし、事前に消防署と調整を行い周波数の決定を行うものとする。空中線系は岐阜県と共用し、無線設備は利用者設置とする。また、接続箱は岐阜県が設置する。1000m 以下のトンネルで、要望がない場合はスペースの確保を行っておく。

- b) 空中線は、耐熱 LCX を標準とする。

ウ) 警察用無線補助設備

- a) 1000m 以上のトンネル又は、要望があるトンネルについては空中線共用装置に消防用共用器実装するものとし、事前に消防署と調整を行い周波数の決定を行うものとする。空中線系は岐阜県と共用し、無線設備は利用者設置とする。1000m 以下のトンネルで、要望がない場合はスペースの確保を行っておく。

- b) 空中線は、耐熱 LCX を標準とする。

表 7.37 トンネル内無線伝達方式

区分		無線方式システム構成		誘導線方式	LCX 方式	光＋ アンテナ方式
				OE平行 2線方式	LCX 基地局方式	光 プースタ方式
トンネル延長 200m～ 500m迄	通信事業者 施設計画有り	①	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎	
			移動通信サービス			◎注 2
トンネル延長 500m～ 1 km迄	通信事業者 施設計画無し	②	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎	
			無線通信補助			
トンネル延長 1 km 以上	通信事業者 施設計画有り	③	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎注 1	
			無線通信補助		◎	
トンネル延長 1 km 以上	通信事業者 施設計画無し	④	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎注 1	
			無線通信補助		◎	
トンネル延長 1 km 以上	通信事業者 施設計画有り	⑤	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎注 1	
			無線通信補助		◎	
トンネル延長 1 km 以上	通信事業者 施設計画無し	⑥	AM ラジオ再放送	◎		
			FM ラジオ再放送		◎注 1	
			無線通信補助		◎	

注 1：当面、FM 再放送設備の計画が無くても、VHF 単信無線採用に広域帯 LCX を布設。（消防署との協議結果による）

注 2：トンネルの構造によるが、アンテナで坑口から放射する方法があるため、移動通信基盤整備協会等の通信事業者と調整を行うこと。

(3) 水噴霧設備

- ア) たて坑方式で換気を行う場合は、ダクト部に冷却用の水噴霧設備を設けるものとする。
- イ) A 級のトンネルで、将来水噴霧設備を計画する場合は、水噴霧設備が設置できるよう配慮しておくものとする。

(4) 監視設備

- ア) 設置は道路トンネル非常用施設設置基準によるものとする。
- イ) 監視対象場所はトンネル(本坑)内車道、トンネル(本坑)内非常駐車帯、坑外(トンネル本坑付近)を標準とする。
- ウ) カメラ形式は配置計画を行い、固定式・旋回ズーム式を選定すること。

(5) ハンドホール

(GI デザインシステムマニュアル H3 岐阜県広報課 アプリケーションデザイン22 マンホール)

電気設備及び排水施設等で使用するハンドホール蓋のデザインについては、図 7.55 を標準とする。

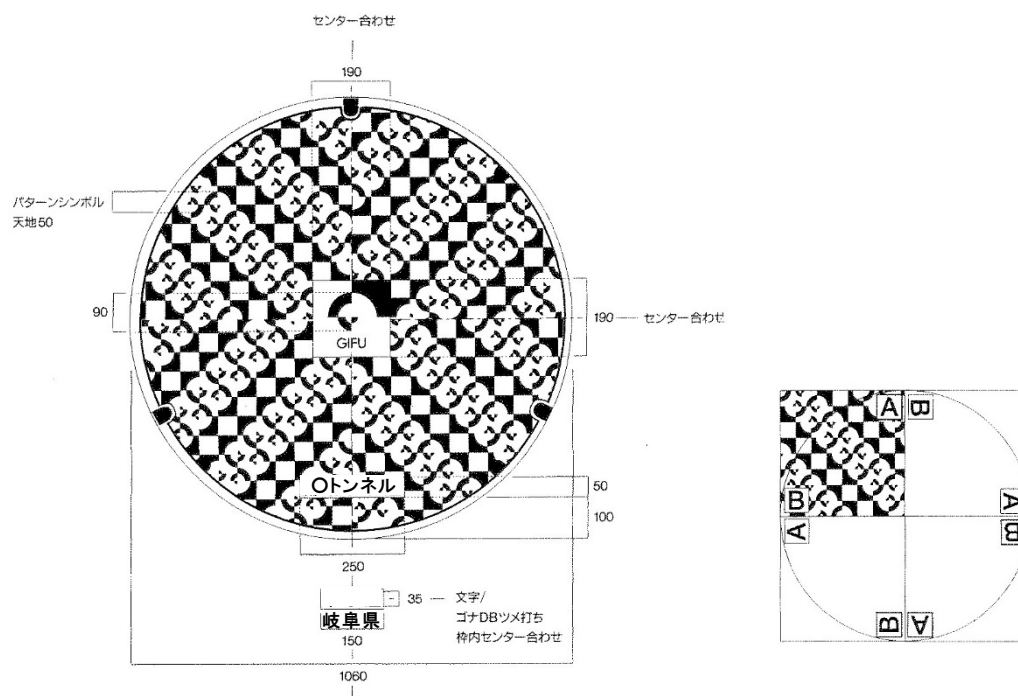


図 7.55 ハンドホール蓋のデザイン

8. 配管・配線

(中部地整 H26 p7-57)

(1) 配管

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

(2) 配線

- ア) 電源線は CV を原則とする。
- イ) 信号線は CPEV、CVV を原則とする。

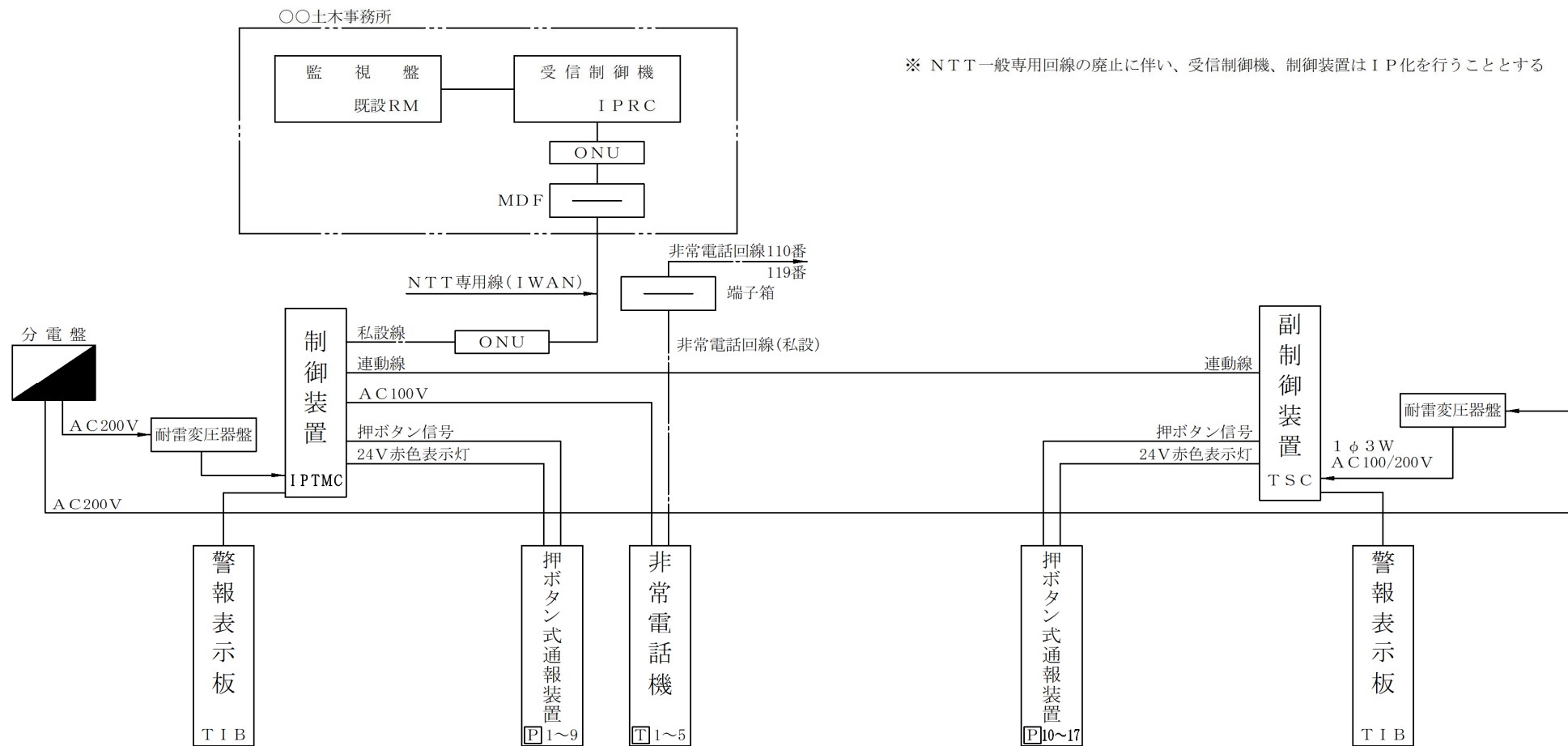
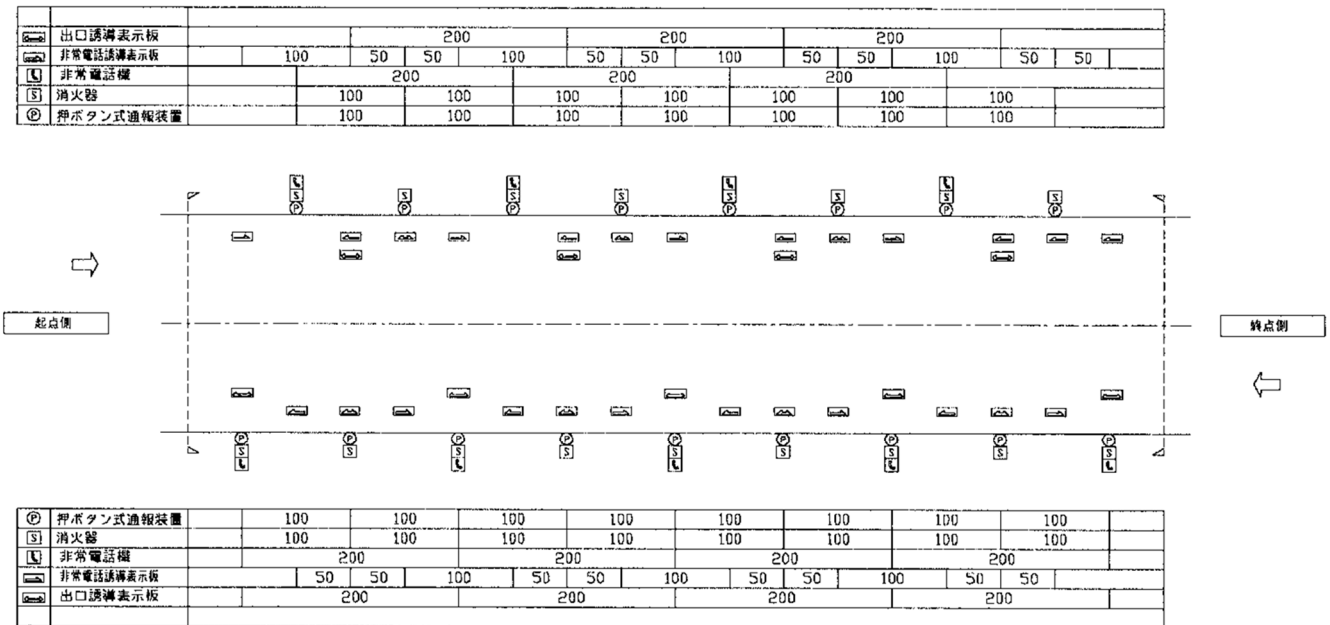


図 7.56 非常用設備系統図の例

対面通行の場合の配置例



一方通行の場合の配置例

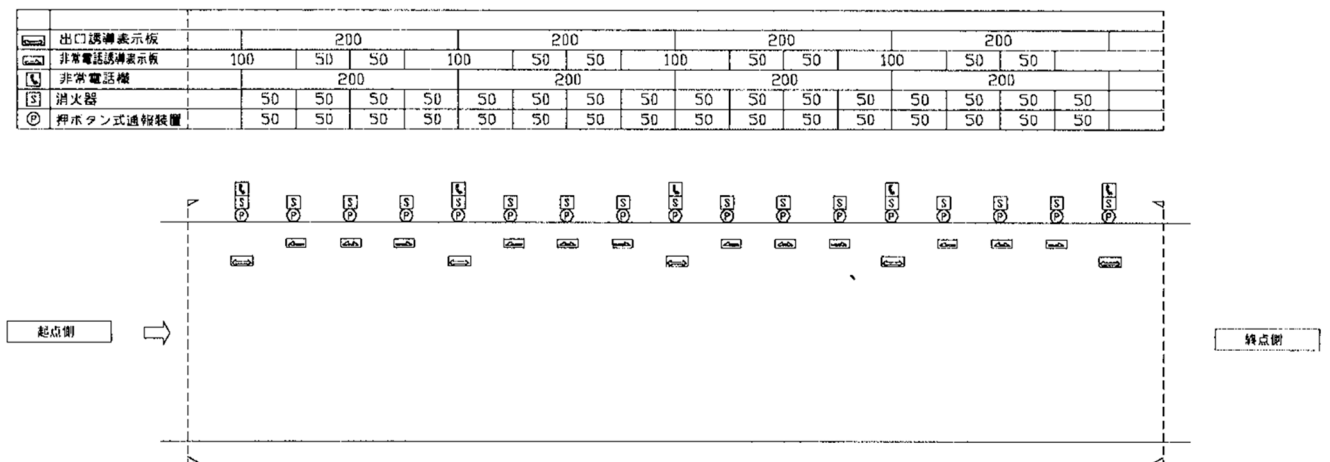


図 7.57 非常用設備割付図の例

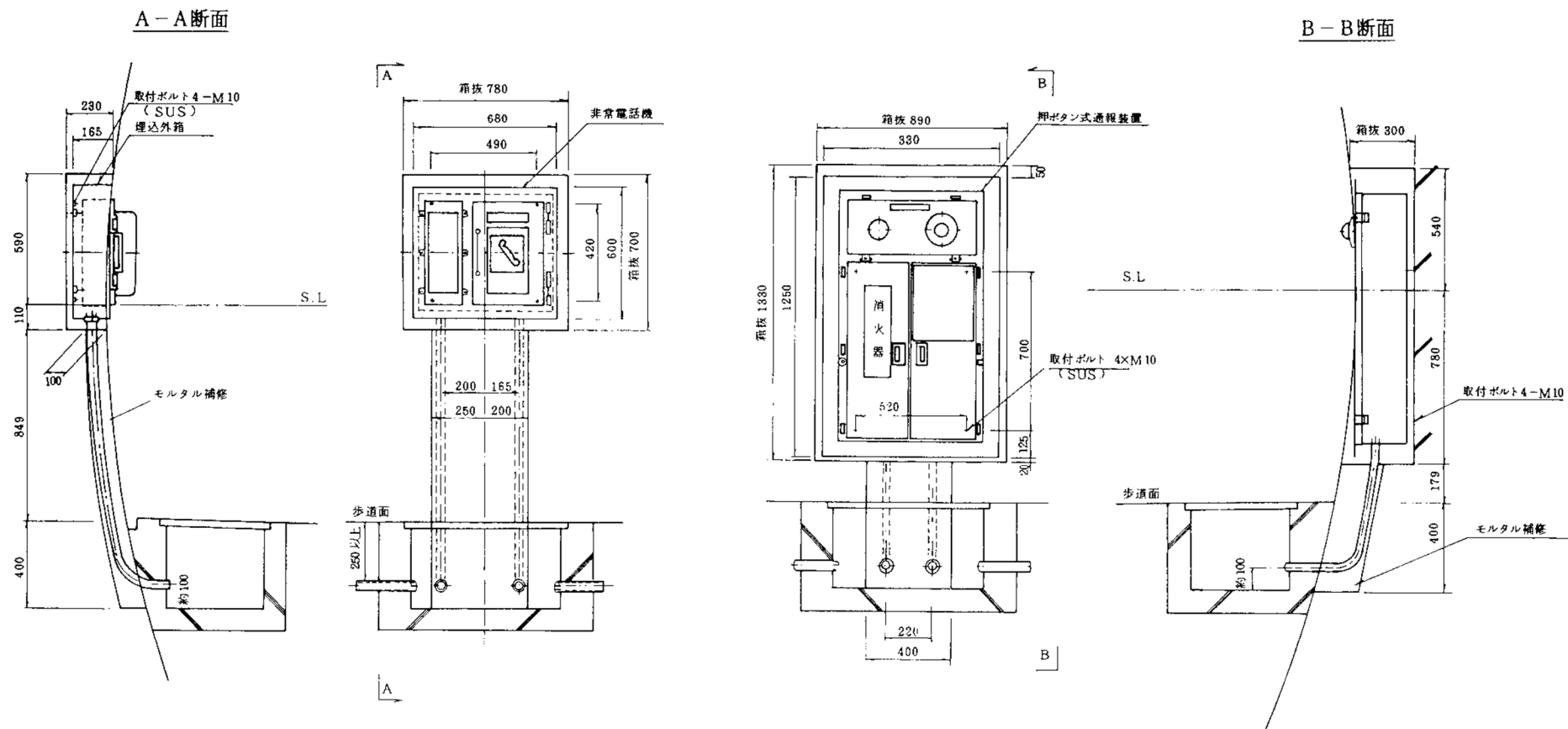
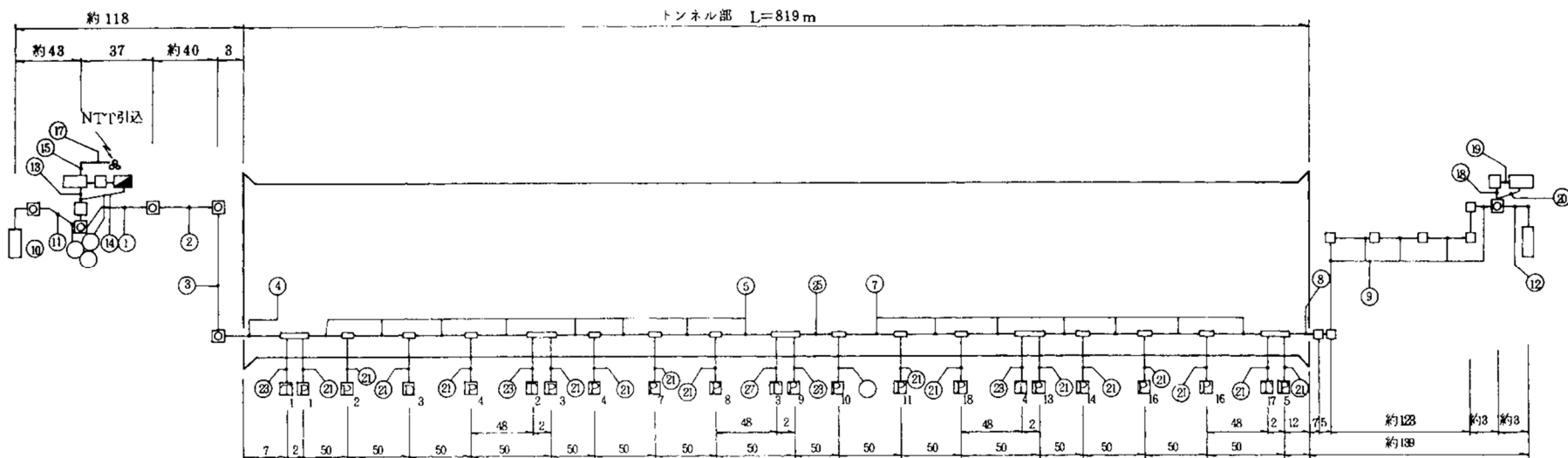


図 7.58 配管、配線系統図の例

配 管 図



配 線 系 統 図

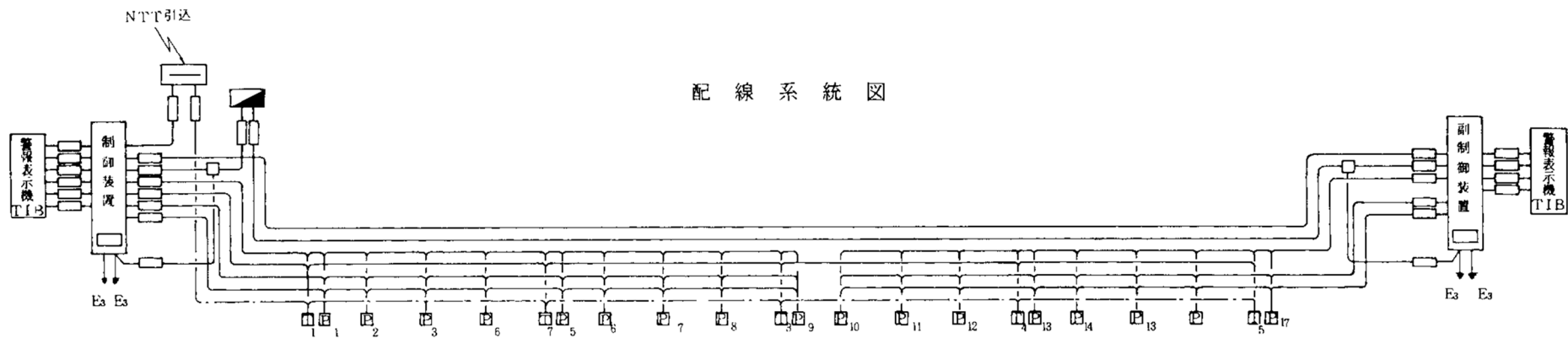
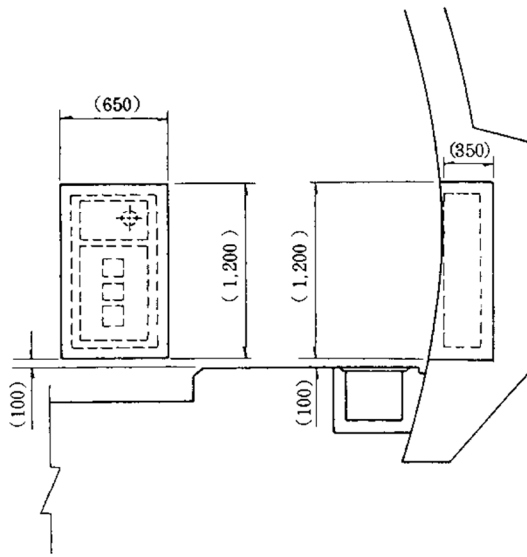
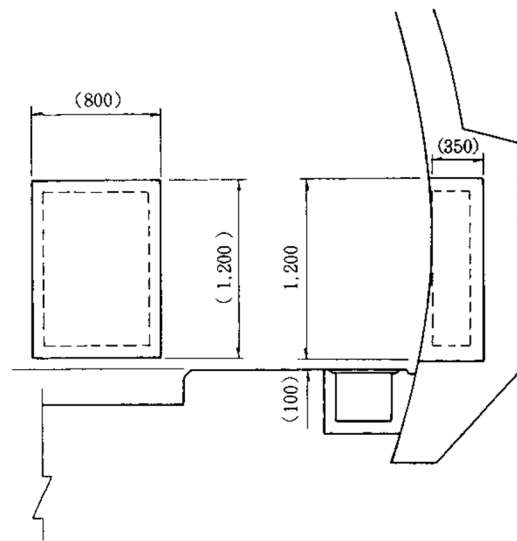


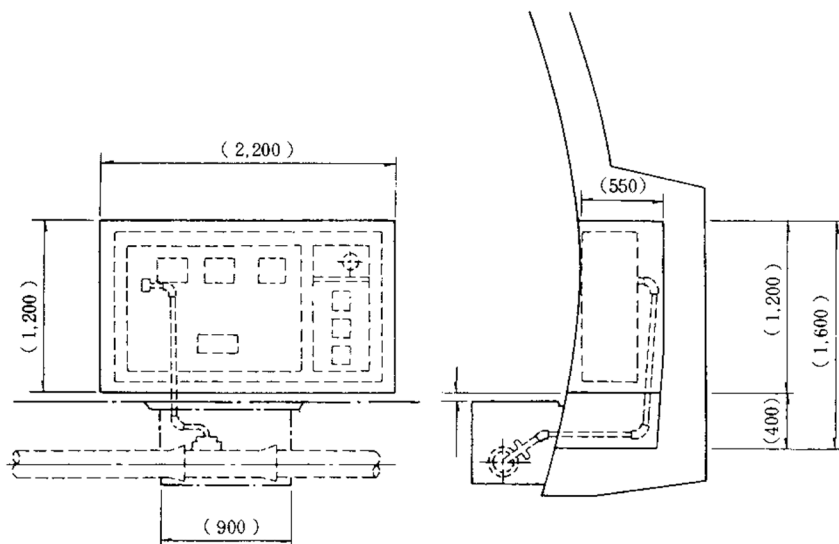
図 7.59 機器取付詳細図の例



消火器箱抜図（参考）



CO計箱抜図（参考）



消火栓箱抜図（参考）

図 7.60 箱抜図の例

※ 箱抜は、明り巻き坑門区間を極力避けて配置することが望ましい。

第 16 節 電源設備

(中部地整 H26 p7-62～63)

トンネル用電源設備は、受変電設備、予備電源設備、無停電電源装置等で構成されるが、電源設備は、各システムの基となるものであり、全システムの本来の機能を発揮させるため、その仕様の決定にあたっては十分検討を行うものとする。(中部地整 H26 p7-62～63、道非施基 p110)

1. 高圧受電設備

(1) 負荷の設定

照明設備、防災設備(警報設備、消火設備、無線通信補助設備、ラジオ再放送設備、監視装置等)換気設備等の負荷を検討のうえ設計を行うものとする。

(2) 形式

屋内式キュービクル方式(JEM1425CW 形)を標準とする。(屋外に設置の場合は屋外式)

ただし、防災等級 B 級以下のトンネルで高圧受電となる場合は、JIS 規格の屋外および屋内型キュービクル方式とすることができる。

2. 低圧受電設備

形式：屋外式 JEM(1265)C 級とする。

ただし、電気室等の屋内に設置の場合は、屋内式とする。

3. 予備電源設備

(1) 予備電源設備の設置は、換気、照明、非常用施設について設備費、運用面、保守性等を検討のうえ決定するものとする。ジェットファン・ポンプなどの大負荷がかかる設備がある場合は、停電復帰後に容量を超える恐れがあるので注意すること。

(2) 予備電源設備の対象負荷は次のとおりとする。

ア) 換気

防災上必要な時は、検討のうえ負荷の対象とする。

イ) 照明

予備電源設備を設置するトンネル照明は、基本照明の 1/4 を対象とする。

ウ) 非常用設備

通報警報設備、消火設備、避難誘導設備、その他の設備(無線通信補助設備、ラジオ再放送設備、水噴霧設備、監視装置等)を対象とする。

(3) 電気方式は、受変電設備の単線結線図をよく検討のうえ決定するものとし、運転及び保守面から、極力簡潔な回路となるよう考慮した方式とする。

(4) 期間及び発電機等は屋内式とする。

(5) 連続運転時間は 24 時間以上とする。

4. 無停電電源設備

- (1) 無停電電源設備の設置は、照明、非常用設備等について、設備費、運用面、保守性等を検討のうえ決定するものとする。
- (2) 無停電電源設備の対象負荷は次のとおりとする。
 - ア) 照明
無停電電源設備を設置するトンネル照明は、基本照明 1/8 を対象とする。
 - イ) 非常用設備
避難誘導設備、無線通信補助設備、ラジオ再放送設備、監視設備、通報警報設備とし消火設備、換気設備は、原則として対象としない。
- (3) 停電時補償時間
 - ① 予備電源設備を設置する場合の補償時間は 10 分とする。
 - ② 予備電源設備を設置しない場合の補償時間は 30 分とする。

第17節 換気設備

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、次の示方書等に準拠して行うものとする。

示方書・指針等	発行年月	発 行 者
道路トンネル技術基準	H 元. 5	都市局長・道路局長（通達）
道路トンネル技術基準（換気編）・同解説	H20. 10	日本道路協会
道路構造令の解説と運用	R3. 3	〃
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	R 元. 9	〃

2. 調査・計画

（トン技・換気 p4～52）

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次のとおりとなる。

- 1) 調査資料収集（トン技・換気 p6）
- 2) 計画条件の設定および確認（トン技・換気 p14～18）
- 3) 換気量の計算（トン技・換気 p34～36）
- 4) 換気方式の比較検討（トン技・換気 p37～45）
- 5) 概略計画と比較検討（トン技・換気 p44）
- 6) 非常用施設計画（トン技・換気 p48）
- 7) 環境への影響予測（トン技・換気 p48）
- 8) 換気方式および概略計画決定（トン技・換気 p50）
- 9) 細部計画の検討（トン技・換気 p53）
- 10) 維持管理計画の検討（トン技・換気 p215～216）

3. 設計

(1) 換気の対象物質及び濃度

換気施設設計の対象とする有害物質は、煤煙及び一酸化炭素とする。換気施設の設計に用いる煤煙及び一酸化炭素の設計濃度は、トンネル内の交通の安全性及び快適性並びに維持管理作業の安全性を確保するために必要な値とするものとし、設計速度に応じ、次の表 7.38 に示す値を標準とする。（トン技・換気 p19）

表 7.38 換気の対象物質及び設計濃度

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

(2) 換気施設の必要性の検討

換気施設の必要性はトンネルの延長、勾配、交通条件、気象条件等を考慮して検討するものとする。なお、これまでの主なトンネルの実績（図 7.61、7.62 参照）から、機械換気を行っているトンネルは次式で示す値を超える程度となっており、これらの値に近づいたトンネルに対して機械換気を検討するものとする。（トン技・換気 p34）

対面通行トンネル $L \cdot N = 1000$

一方通行トンネル $L \cdot N = 3000$

L : トンネル延長 (km)

N : 時間交通量 (台/h)

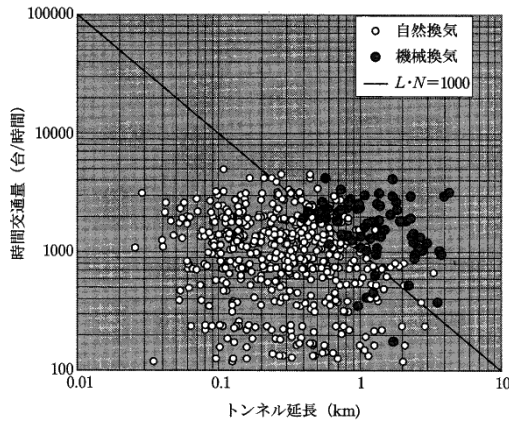


図 7.61 自然換気の目安 (対面通行トンネル)

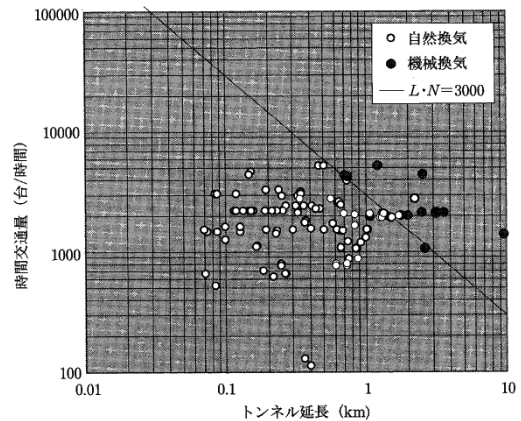


図 7.62 自然換気の目安 (一方通行トンネル)

(3) 換気量

所要換気量は、「換気の対象物質および濃度」に示す値を確保するよう算定するものとする。その算定は、「道路トンネル技術基準(換気編)・同解説」に準拠して行うものとし、煤煙および一酸化炭素のそれぞれに対する換気量の比較を行って所要換気量を定めるものとする。煤煙の場合の所要換気量の検討過程の例を図 7.63 に示す。(トン技・換気 p57)

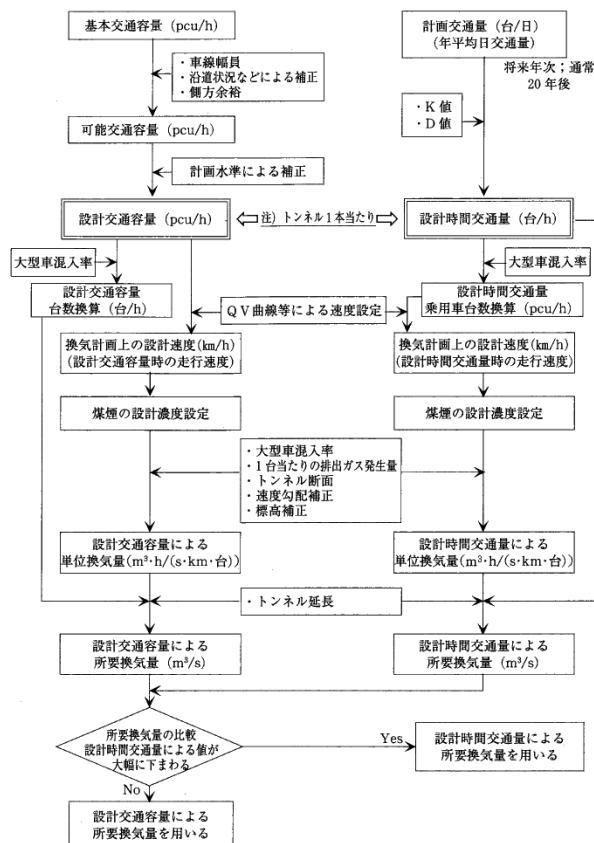


図 7.63 所要換気量の検討手順の例 (煤煙)

(4) 換気計算

換気計算は、対象とする換気系において所要換気量を満足するような送・排風機の所要風圧、ジェットファンの所要昇圧力等の算定を行うものであり、検討及び設計の各段階に応じて必要かつ十分な精度で行わなければならない。(トン技・換気 p76)

(5) 換気機

換気とは、送・排風機、ジェットファン及び電気集塵機・付属装置等を総称し、換気機は、使用上の条件に合致し、経済的かつ合理的となるよう、設計しなければならない。

ア) 送・排風機

① 送・排風機の形式(トン技・換気 p117)

送・排風機(以下「送風機」という。)には遠心式と軸流式があるが、トンネル換気用としては、軸流式の採用を標準とする。

送・排風機の構造には、立型と横型があるが、換気所内の風路及び設置スペース等を考慮し決定することとする。

送風機の種類と特性については、「道路トンネル技術基準(換気編)」に準拠する。

② 送風機の台数(トン技・換気 p118)

送風機の台数は並列運転時のサージング運転防止及び送風機の故障等に対する危険分散を考慮して決定するが、1換気系に対し送風機は2～3台程度の並列運転を標準とする。

③ 風量制御(トン技・換気 p126)

風量制御は、制御が容易で比較的効率が良く、設備費も比較的高価でないことから、電動機の極数変更によるスピードコントロール法と、台数コントロール法との組合せを標準とする。

イ) ジェットファン

① ジェットファンの型式(トン技・換気 p134)

ジェットファンは、電動機により直接駆動する可逆横型軸流送風機とし、防音構造を有する高効率型とする。

ただし、周辺環境において騒音問題等をより考慮しなければならない場合は、サイレンサ部分がより長い低騒音型を採用するなど検討を要する。

② ジェットファンの設置方法(トン技・換気 p136)

ジェットファンの設置位置については、トンネル内空断面設定上の換気設備の考え方(第3節 2. (3))によるものとし、取付方法は、自由吊り下げ方式とし、打ち込み式の基礎ボルトによる支持方法を標準とする。

③ 風量制御(トン技・換気 p136)

風量の制御は3～4段階に分けた台数による段階制御を行うことを標準とし、回転数制御は行わないものとする。

自然風圧が過大時の逆転制御も考慮する必要がある。しかしファンは短時間に逆転してもトンネル内の空気は、その慣性のため逆転に数分かかりその間汚染空気が堆積して好ましくないため、逆転は頻繁に行わないこと。

ウ) 電気集塵機・付属装置(トン技・換気 p138)

トンネル用電気集塵機は、低濃度の煤煙の微粒子を含んだ大容量の空気を処理することを要求されるため、使用上の条件に適合するよう検討し設計しなければならない。

電気集塵機は、一段または二段の負荷電力式が一般に使われている。集塵性能は、処理風速9m/s、集塵率80%以上が実用化されている。

電気集塵機用の再生装置は、水洗浄、排水処理システムで構成された湿式が一般的であるが、給水及び排水処理が困難な場合は、空気洗浄方式による乾式の再生処理方式を検討する。

(6) 換気制御(トン技・換気 p188～214)

換気機の制御はトンネル内の汚染状態に応じた必要換気量で効果的かつ経済的に行わなければならない。

また火災等非常時には被害の拡大を最小限とするような適切な制御方式を考慮しなければならない。なお煙霧透過率計、一酸化炭素濃度計等計測器の設置については保守点検を考慮して壁面に取付けるのを標準とするが、清掃車等による損傷を受けることのないように強固な構造とする。

ア) システム制御

制御方式は、トンネル内に設置した煙霧透過率測定装置、一酸化炭素濃度測定装置、風向風速測定装置および車種別交通量計数装置等からの信号による自動風量制御を標準とする。ただし、手動制御も行えるものとする。

自動風量制御方式には、

- ・フィードバック制御(トン技・換気 p191)
- ・フィードフォワード制御(トン技・換気 p192)
- ・プログラム制御(トン技・換気 p190)
- ・AI・ファジィ制御(トン技・換気 p194)

等があり、対象とする換気系に適合した制御方式を選定するものとする。

イ) 計測装置

トンネル内の換気状態を監視する計測装置には、次の中より選択して設置するものとする。(トン技・換気 p201)

- ① 煙霧透過率測定装置(V1 計)
- ② 一酸化炭素濃度測定装置(CO 計)
- ③ 風向風速測定装置(AV 計)
- ④ 車種別交通量計数装置(TC)

ウ) 換気用電動機

換気用電動機は、次を標準とするが、総合的に判断の上、決定するものとする。

① 電動機の種類と電圧(トン技・換気 p133)

種類:かご形 3 相誘導電動機

電圧(50Hz):400V、3kV、6kV

(60Hz):440V、3.3kV、6.6kV

② 電動機の起動方式

送風機 :スターデルタ起動、その他低電圧起動

ジェットファン:直入起動(30kW 程度まで)、スターデルタ起動

③ 電動機の群起動方式(トン技・換気 p196)

順次起動方式とする。

(7) 排煙対策(道非施基 p66)

排煙設備は、火災時におけるトンネル利用者の避難環境の向上ならびに消防による消火活動や救助・救急活動の機敏性の向上を図るための設備であり、換気設備を利用することを基本とする。

なお、その場合の換気設備の制御方法は、換気方式、交通方式、避難通路の有無、火災検知器の有無等を十分考慮の上、決定するものとする。

第 18 節 内装工

1. 内装工の設計に使用する示方書等

内装工の設計にあたっては、次の示方書等に準拠して行うものとする。

示方書・指針等	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
NEXCO 設計要領 第三集 トンネル保全編	R6. 7	NEXCO
設計便覧 第 3 編 道路編	H24. 4	近畿地整

2. 概説

内装工の設計を行う場合は、その目的を十分考慮し、耐久性、耐蝕性、耐火性、施工性および維持管理の難易を考慮して設計するものとする。（トン技・構造 p151）

3. 設置基準

トンネル内装工は、原則として図 7.64 に示す適用範囲に該当するトンネルに設置するものとする。ただし、この範囲外にあっても

- ① 幾何構造が厳しい。
- ② 大型車混入率が高いことが予想される。
- ③ トンネル区間が連続する。
- ④ 歩行者の安全性、快適性を確保する。

等の路線にあつて、その必要性が高い場合は内装工を設置できるものとする。

（NEXCO・保全(4)p5-1）

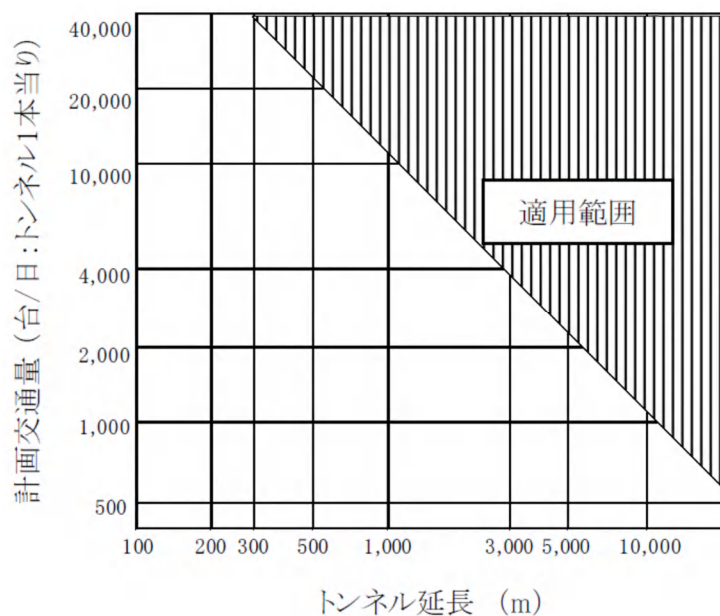
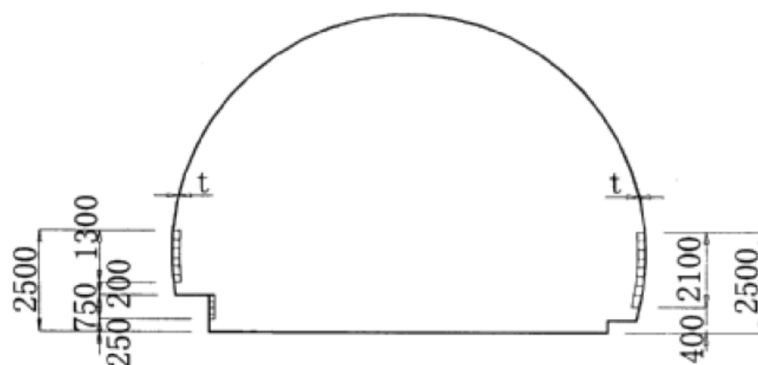


図 7.64 内装等級区分

4. 設置範囲

トンネル内装工の設置範囲は当該トンネルの諸条件を考慮し、路面からの内装高さを 2.5m とする。(NEXCO・保全(4)p6-1)



※ t は内装工の浮かし幅を表わし、設置する内装材料及び取り付け方法によって異なる。

図 7.65 内装工標準割り付け図

5. 内装材料

(1) 内装材料

内装材料は道路条件、設置個所、施工性、経済性、長期的な耐久性を総合的に判断して選択するものとする。(近畿地整 H24 p8-68)

表 7.39 トンネル内装工検討対象材料

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

(2) 内装取り付け方法

内装の取り付け方法はタイル、パネル系とも直張り方式を標準とする。

(近畿地整 H24 p8-68)

表 7.40 内装等級と設置幅

番組	名 称	設置方法(施工法)	内装板の材種	設置幅
①	タイル直張り	(a)接着剤張り	タイル	30mm 以下
		(b)モルタル張り	タイル	
②	パネル直張り	(a)接着張りとアンカーボルトの併用 (b)上下部を押さえ金具とアンカーボルトで 覆面工に固定	繊維強化セメント板	
			ホーロー板	
			ステンレス板	
			セラミック板	
			その他	

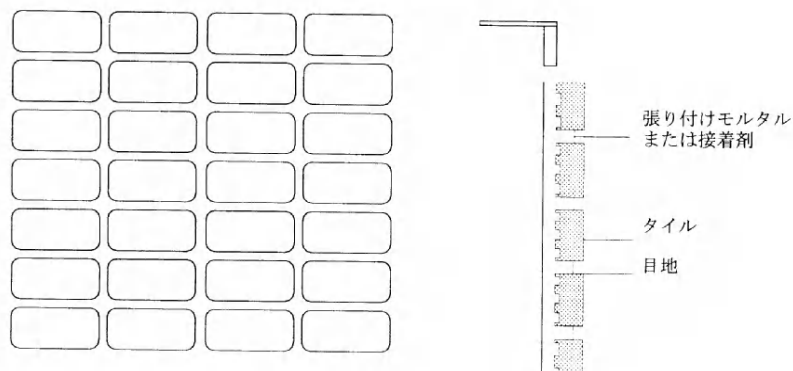


図 7.66 タイル直張り

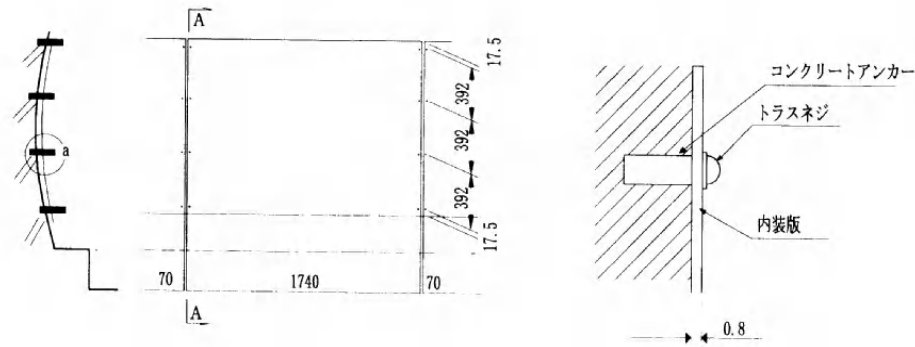


図 7.67 パネル直張り(ホーロー板の例)

(3) 材料規格(近畿地整 H24 p8-69)

ア) タイル直張り

タイル直張りする場合の構造及び材料規格は次のりである。

① タイル規格

タイル直張りに使用するタイルは、磁器質、施ゆう、外装タイル(JIS A5209)の磁器質タイルを標準とする。タイルの足裏の高さは表 7.41 による。

表 7.41 タイル裏面の裏足の高さ

施工法	足裏の高さ
モルタル張り用	1.5mm 以上
接着剤張り用	1.0mm 以下

② タイルの表面反射率

タイルの表面反射率の測定は、JISA5400 の 45° 0° 法による試験法とし、初期値は 65% 以上とする。

③ 寸法・色調

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

④ タイル接着強度

接着方法は前面接着とし、引張り接着強度は 0.40N/mm²とする。

⑤ タイルの目地

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

⑥ シーリング

タイルの上端部と横断部はシーリング(JISA5758)を施工するものとする。

⑦ 安全衛生管理

施工中の安全衛生管理は、関連法規などに従って適切に行う。

イ) パネル系内装板

パネル系内装板の構造および材料規格は次のとおりとする。

① 耐火性

表 7.42 耐火性に関する事項

項 目	基 準 値	備 考
耐火性	建設大臣が指定する「不燃材」であること。 または「認定不燃材」であること。	建築基準法 建設省告示(昭和 45 年 12 月 28 日) の「不燃材料をしている件」より 不燃剤申請による認定。

② 内装材料に作用する荷重およびその他の物性値

下地構造と一体となって通常作用する外力に耐え得る強度を有する材料を採用するものとし、その物性値は基本的に JISA5430 に規定されるスレートボードのフレキシブル板等で板圧 4mm を標準とし、かつ表 7.43 に示す物性値を満足するものとする。

表 7.43 内装材料の強度および物性値

項 目		基 準 値	備 考
内装板に関する こと	曲げ破壊荷重	450N 以上	JISA1408 3.1 および JISA5430 の 試験方法による。(3 号供試体)
	たわみ(mm)	10 以上	JISA1408 3.1 の試験方法
	含水率(%)	22 以上	JISA5430
	耐衝撃性試験	亀裂、剥離貫通孔、および割れ のいずれもないこと	JISA5430 参考 1 の試験方法
表面塗膜に 関するもの	色	白色系を標準とする	
	初期反射率	60%以上	JISA5400 7.5 視感反射率 測定方法 JIS Z 8722
	塗膜厚(μm)	30 以上	
	塗膜硬度	無機塗膜 3~4 以上	モース強度
	耐薬品性	著しい変化のないこと	5%硝酸。5%硫酸の滴下試験、24 時間放置後の目視観察(JISA5707 6.8 の試験方法)
	耐候性	異常なし	ウエザオメーター試験 1,000 時 間

第19節 維持管理への配慮

1. 接着系ボルトの使用

(中部地整 H26 p7-63)

接着系ボルトの使用については、「接着系ボルトの使用にあつたての留意事項について」(平成25年5月29日付 国技電第20号 国総公第27号 国道利第2号 国道保第8号 国道高第64号 国土交通省大臣官房技術調査課長 総合政策局公共事業企画調査課長 道路局路政課長 国道・防災課長 高速道路課長 通達)によるものとし、長期耐久性について一定の知見が蓄積がなされるまでの措置として、トンネル天井板、ジェットファン、道路標識等を固定する吊り構造等の常時引張り力を受ける箇所へは原則として接着系ボルトを使用しない。なお、常時引張り力を受ける接着系ボルトで固定された既設の吊り重量構造物については、第三者被害を防止するための措置として、バックアップ構造・部材の設置を進める。

2. トンネル覆工打継部のコンクリート片はく落対策

近年のトンネルにおいては、覆工打継部構造の改良や、覆工型枠セット時において過度な圧力をかけないように留意して施工されているため、三日月状の大きなはく落塊の発生は少ないものと考えられる。しかし、セメントペースト、ノロの完全な除去は非常に困難であること、建設後の乾燥収縮は免れないこと、定期点検の省力化が図れることから、これら小規模のコンクリート片はく落対策として、新設トンネルにおいて覆工打継部のコンクリート片はく落対策を実施するものとする。

(1) トンネル横断方向の対策範囲

横断方向の対策範囲は、図 7.68 に示すとおりスプリングラインから上部を包括する範囲とする。なお、トンネル内装工を設置する場合は、内装工設置範囲を除くものとする。

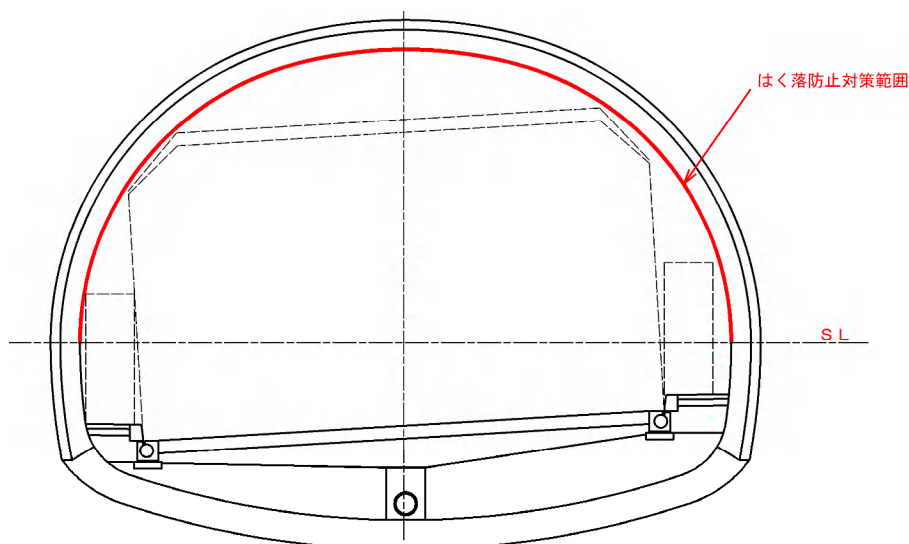


図 7.68 トンネル横断方向はく落防止対策範囲

(2) トンネル縦断方向の対策範囲

縦断方向の対策範囲は、図 7.69 に示すとおりはく落想定範囲（打継部の幅 W+前後 5cm+伸縮
余裕 2cm）に定着長 15cm 以上を加えた範囲とする。

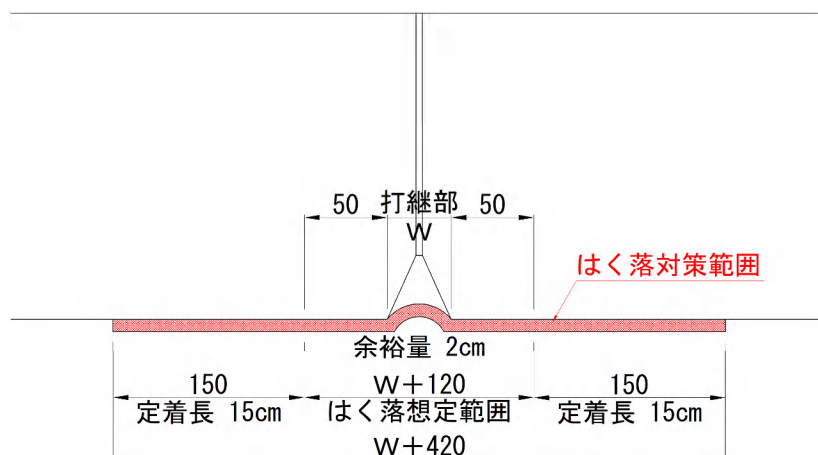


図 7.69 トンネル縦断方向はく落防止対策範囲

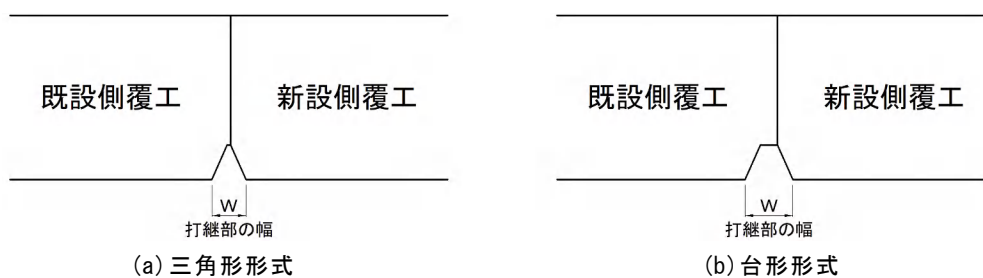


図 7.70 覆エコンクリート打継目の切欠き構造例

(3) はく落防止対策の材料

はく落防止対策工に用いる材料は、想定されるはく落塊の荷重が 0.5 k N 以下の小片はく落に適用可能な繊維シート（炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維、特殊ビニロン、特殊ナイロン等）とする。

繊維シートは、以下の基準を満たすもので、使用される環境条件下で十分な耐久性を持つものを選定する。

- ① 「トンネルはく落防止用繊維シート接着工の湿潤接着強さ試験方法(NEXCO 試験法 735-2011)」にて、平均付着強度 1.5N/mm^2 以上
- ② 「トンネルはく落防止用繊維シート接着工の温冷繰返し接着強さ試験方法(NEXCO 試験法 736-2011)」にて、平均付着強度 1.5N/mm^2 以上
- ③ 「トンネルはく落防止用繊維シート接着工の押し抜き試験方法(NEXCO 試験法 734-2011)」にて、荷重-変位曲線より 3 供試体における荷重 0.8kN 時の変位の平均値が 23mm 以下