

第10編 トンネル

第10編 トンネル 目次

1. 適用	10-1
2. 計画・調査	10-3
2.1 トンネルの計画	10-3
2.1.1 地山分類と地山等級の違い	10-3
2.1.2 構造規格	10-3
2.1.3 トンネル位置の選定要素	10-3
2.2 調査	10-3
3. 設計	10-6
3.1 線形設計	10-6
3.1.1 平面線形	10-6
3.1.2 縦断線形	10-6
3.1.3 併設トンネル及び他構造物との間隔	10-7
3.1.4 トンネルに近接する道路の線形等	10-7
3.1.5 非常駐車帯	10-8
3.2 内空断面の設計	10-9
3.2.1 内空断面設計の一般的事項	10-9
3.2.2 内空断面決定の諸条件	10-9
3.2.3 内空断面設定の考え方	10-12
3.2.4 道路トンネル内空断面の例	10-15
3.3 地山分類	10-16
3.3.1 地山分類	10-16
3.4 掘削工法の選定	10-17
3.4.1 掘削一般	10-17
3.4.2 掘削方式	10-17
3.4.3 掘削工法	10-18
3.5 支保構造の設計	10-20
3.5.1 支保構造一般	10-20
3.5.2 支保構造の選定	10-20
3.5.3 その他	10-23
3.6 防水工及び排水工	10-24
3.6.1 防水工及び排水工一般	10-24
3.6.2 防水工及び排水工の分類	10-24
3.7 坑口部の設計	10-27
3.7.1 坑口部一般	10-27
3.7.2 坑口部覆工の設計	10-27
3.7.3 坑口部の支保パターン例	10-27
3.7.4 坑口部の予想される現象と対策	10-28
3.8 坑門工の設計	10-29
3.8.1 坑門工一般	10-29
3.8.2 坑門工設計の留意点	10-29

3.8.3 坑門の形式	10-30
3.8.4 坑門の設計	10-30
3.9 補助工法	10-32
3.9.1 補助工法一般	10-32
3.10 トンネルの本体設計と施設設計の連携	10-34
3.11 その他の構造物の設計	10-34
3.11.1 内装工	10-34
3.11.2 換気設備	10-36
3.11.3 トンネル照明施設	10-40
3.11.4 交通安全施設	10-42
3.12 トンネル非常用設備	10-43
3.12.1 非常用施設設置のためのトンネル等級区分	10-43
3.12.2 等級区分別の施設設計計画	10-44
3.12.3 各施設の配置計画	10-45
3.12.4 配管・配線設計	10-47
3.13 トンネル維持管理	10-47
4. 施工計画	10-48
4.1 施工計画の注意点	10-48
5. トンネル実績	10-49

第10編 トンネル

1. 適用

- (1) この手引きは、NATM を標準とした山岳トンネル工法により建設する、内空幅 14.0m 程度までの道路トンネルの設計に適用する。
- (2) 本手引きに記載していない事項については、下表の適用要領によるものとするが、特殊条件等により本手引きの適用が困難な場合は、個々の実情を考慮した検討に基づき、適切な設計を行うものとする。

表 1.1 適用要領

基準・指針類	発刊期	発刊者
道路トンネル技術基準（構造編）・同解説	H15.11	（公社）日本道路協会
道路トンネル技術基準（換気編）・同解説	H20.10	（公社）日本道路協会
道路トンネル非常用施設設置基準・同解説	R1.9	（公社）日本道路協会
道路構造令の解説と運用	R3.3	（公社）日本道路協会
舗装設計施工指針	H18.2	（公社）日本道路協会
舗装設計便覧	H18.2	（公社）日本道路協会
舗装施工便覧	H18.2	（公社）日本道路協会
道路・トンネル照明器材仕様書	H31.1	（一社）建設電気技術協会
道路トンネル観察・計測指針	H21.2	（公社）日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧	R2.9	（公社）日本道路協会
道路トンネル安全施工技術指針	H8.10	（公社）日本道路協会
道路照明施設設置基準・同解説	H19.10	（公社）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	（公社）土木学会
コンクリート標準示方書	R5.9	（公社）土木学会
道路設計要領 設計編	H26.3	国土交通省中部地方整備局
電気通信施設要領・同解説 電気編	H20.9	（一社）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	（一社）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	（一社）全日本建設技術協会
設計要領 第三集 トンネル編	R6.7	中日本高速道路株式会社
設計便覧（案） 第3編 道路編	H24.4	国土交通省近畿地方整備局

(3) トンネルの調査・計画・設計・施工・管理のフローチャート

設計の手順
 設計は、設計条件を考慮し適切な手順で行われなくてはならない。また、施工率の観察や計測から設計が適切でないと判断された場合には、遅滞なく設計変更を行わなくてはならない。

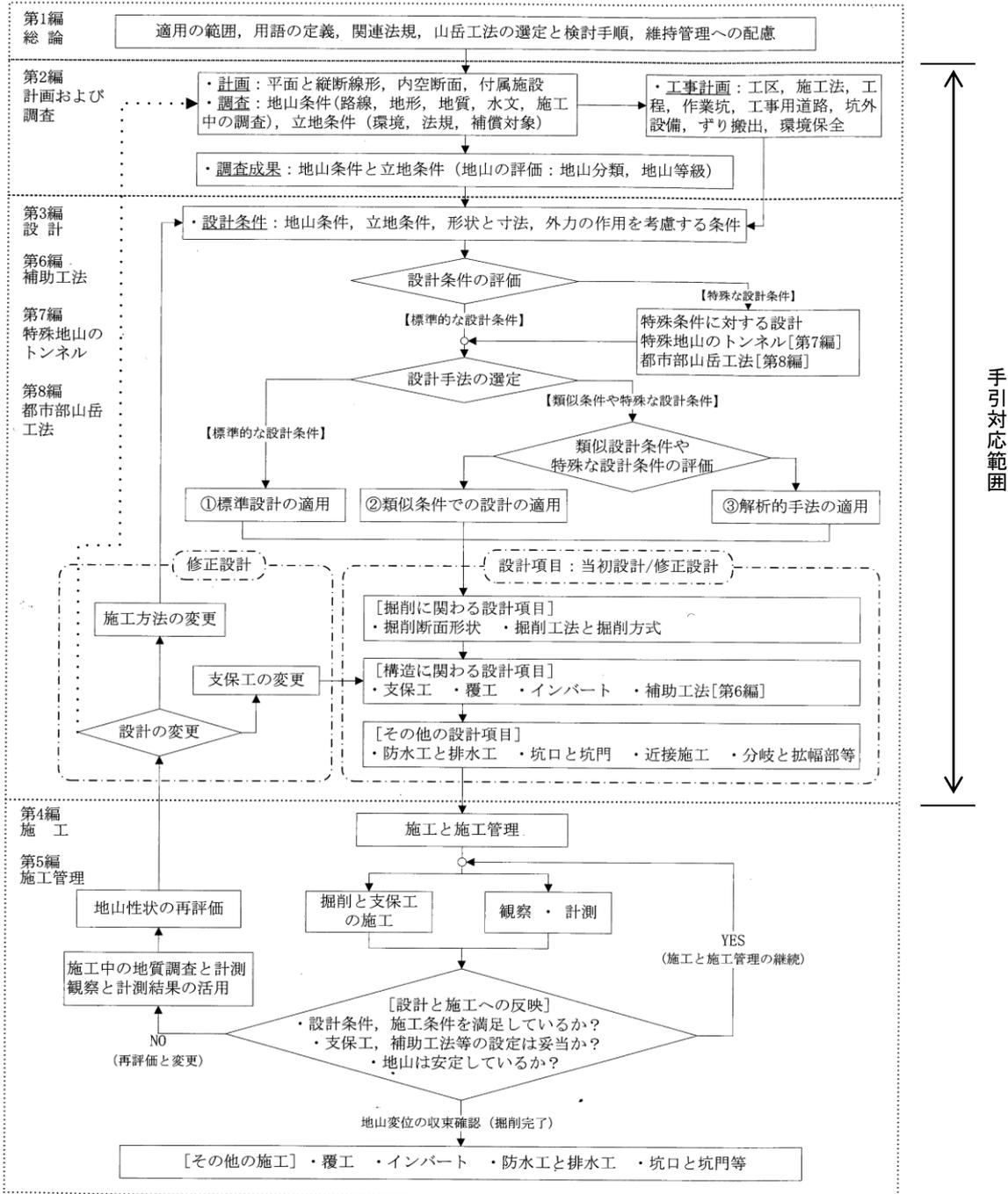


図 1.2 設計の手順

【適用】トンネル標準示方書（山岳工法）同解説, P. 6, 平成 28 年 8 月, (公社) 土木学会

2. 計画・調査

2.1 トンネルの計画

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。

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

2.1.1 地山分類と地山等級の違い

(1) 地山分類

地山分類とは定量的な因子と経験的な指標に基づいて地山を総合的に評価し分類すること。

(2) 地山等級

地山等級とは地山分類により、地山を性状によって階級を分けたもの。

2.1.2 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、道路構造令及び第2編等の規定によるものとする。

2.1.3 トンネル位置の選定要素

設定された予定路線について地形図を作成し、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（地すべり・軟弱地盤・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（電気室用地・情報表示版・その他機材）
- (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
- (13) 施工ヤード

2.2 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設計資料を得るために、必要に応じて下記の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・本文調査・落石調査
- (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・設計フローチャートを図 2.1 に示す。

また、地形・地質調査項目と調査方法を表 2.1 に示す。

・トンネル調査フローチャート

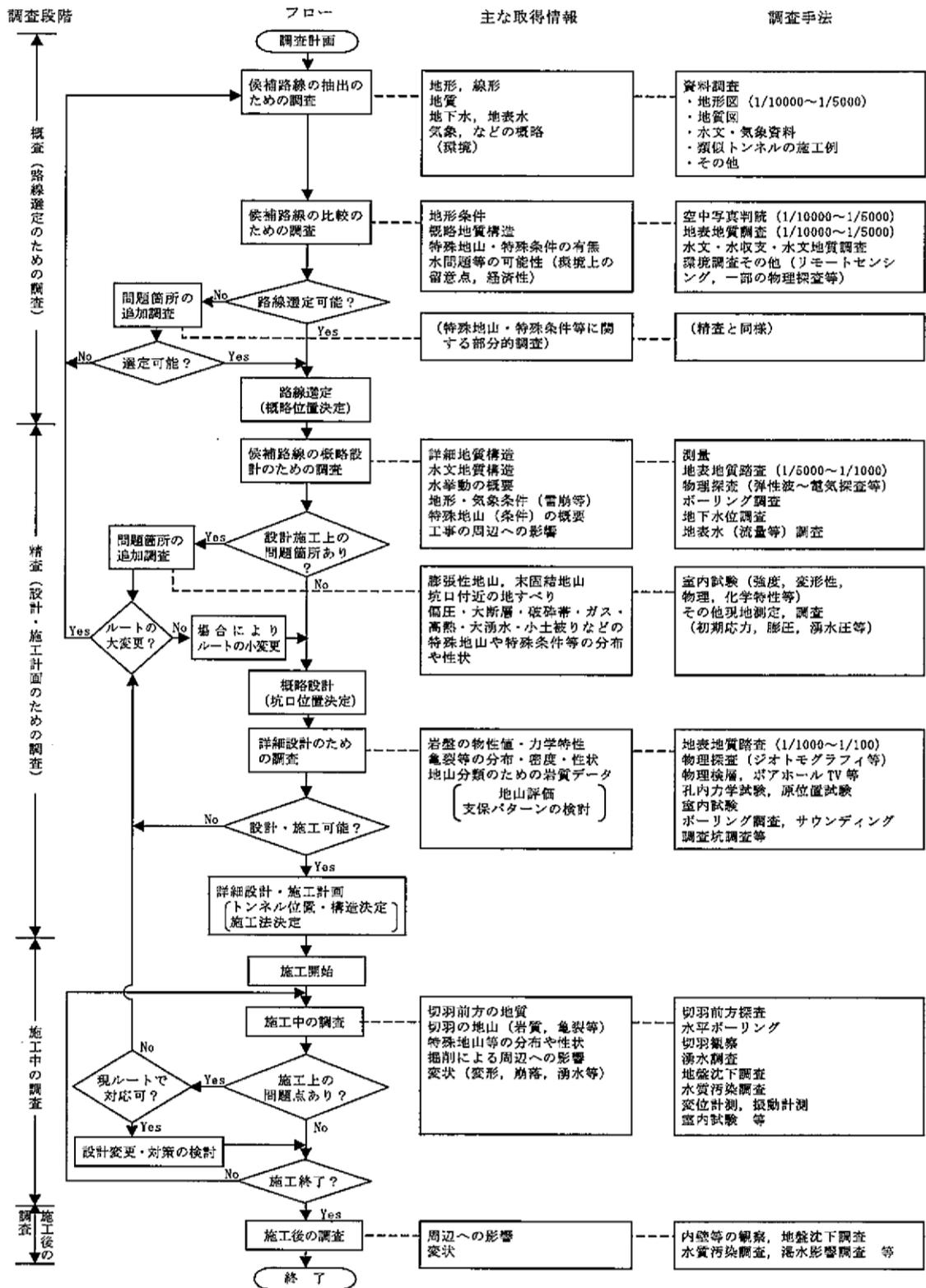


図 2.1 トンネル建設の段階と必要な調査

・地形・地質調査項目

表 2.1 地形・地質調査項目と調査方法

地山条件	調査項目																										
	地形			地質構造		岩質および土質				地下水		物理的性質		力学的性質		鉱物化学的性質		その他									
調査法	地すべり、崩壊地形	偏土圧が作用する地形	土被り	地質分布	断層、褶曲	岩質、土質名	岩相	割れ目等分離面	風化、変質	固結度	帯水層	地下水位	透水係数	地下水流動	弾性波速度	物理特性	圧縮強さ等の強度特性	変形係数等の変形特性	粘土鉱物	スレーキング特性	吸水、膨張率	地熱	温泉	有害ガス	地下資源		
一般的な地山条件	硬岩および中硬岩	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							△	△	△	
	軟岩	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	△
	土砂	○	○	○	△	○					○	○	○	○	○	○	○	○									
特殊な地山条件	地すべりや斜面災害の可能性がある地山	○	○	○	○						○	○	○	○	○	○	○	○	○	○							
	断層破砕帯、褶曲じょう乱帯	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○				△	△	
	未固結地山				○	○					○	○	○	○	○	○	○	○									
	膨張性地山	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○					△	
	山はねが予想される地山				○			○	○	○					○	○	○										
	高い地熱、温泉、有害ガス、地下資源等がある地山				△	○	○	○	○	△		○	○	○	△	○	△	△	△			△	○	○	○	△	
	高圧、多量の湧水がある地山				○	○	○	○	△	○	○	○	○	○	○												
路線選定	資料調査	○	△	○	△	△	△	△										△	△					△	△	△	△
	地形判読(空中写真, 地形図等)	○	△		△	○		△	△																		
	地表地質踏査	○	○	○	○	○	○	△	○	○	○													△	△	△	△
	弾性波探査	△			△	○			○	○	△				○											△	
	電気探査	△			△			△	△	△	○	○				△								△	△		
	ボーリング調査	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○											△	△	△	△
設計、施工計画段階 （施工段階）	孔内試験および検層										○						△	△									
	標準貫入試験										○						△	△									
	孔内水平載荷試験																	○									
	透水試験											○	○												○		
	湧水圧試験											○	○	○													
	速度検層				△	△			○	○	△					○	△										
	電気検層				△		△			△	△	○	△	△		△											
	地下水検層											○	○	○													
	ポアホールスキャナ						△			○																	
	室内試験																○										
	密度試験																○										
	含水比試験																○				△	△					
	粒度試験																○	○									
	土粒子の比重試験																○	△									
	液性限界、塑性限界試験																○	△					△				
	一軸圧縮試験									△	△						○	△								△	
	三軸圧縮試験																○	○								△	
	引張り強さ試験																	△									
	点荷試験																	○									
	針貫入試験																	○									
透水試験												○															
超音波速度測定															○	○	△										
スレーキング試験 (浸水崩壊度試験)	△																		△	○	△						
陽イオン交換容量試験 (CEC)	△																		○	△	△						
吸水膨脹試験																			△	△	○						
顕微鏡観察							○		○										○						○		
X線回折分析																			○						○		
調査坑調査				○		○	○	○	○	○	○	○	○		△	△	△	△			△	○	○	○	○		

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

【適用】トンネル標準示方書 山岳工法・同解説, P.27, 平成28年8月, (公社)土木学会

3. 設計

3.1 線形設計

3.1.1 平面線形

トンネル平面線形は、走行上の安全性を考慮して十分な視距を得られるものとし、原則として、直線あるいは拡幅を必要としない曲線半径を用いるものとする。

- (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) トンネル坑口は、安定した地山で地形条件のよ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で位置を選定するとともに施工方法等の検討を行わなければならない。

【適用】トンネル標準示方書 山岳工法・同解説, P. 12, 平成 28 年 8 月, (公社) 土木学会

表 3.1 トンネル断面の拡幅が不必要な曲線の最小半径の例

区分	設計速度 (km/h)	視距 (m)	車線の幅員 (m)	最小半径 (m)
3種1級	80	110	3.50	670
3種2級	60	75	3.25	330
3種3級	50	55	3.00	190
3種4級	40	40	2.75	160*

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

注2) 積雪寒冷地などで別途視距を確保する場合は本表と異なる。

注3) 本表における路肩の幅は全て 0.5m で算出

3.1.2 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し、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。

表 3.2 縦断線形

項目	内容
自然流下させる場合	<ul style="list-style-type: none"> ・現場の不陸などのため、最小 0.3～0.5%の勾配の確保が必要 ・トンネル完成後の排水としては、漏水及びトンネル維持用の洗浄水などがあるが、排水勾配としては通常 0.1～0.2%以上あれば十分
レール方式の勾配	<ul style="list-style-type: none"> ・勾配は、2%程度以内が望ましい
械換気を必要とするトンネル	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネルではできる限り小さな縦断勾配を採用 ・やむを得ない場合でもトンネルの縦断勾配は3%程度以下を目標とするのが望ましい

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 87～88, 平成 15 年 11 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

3.1.3 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については、地山を完全な弾性体と仮定して計算した場合に掘削幅の2倍、軟弱地質の場合では5倍程度とれば相互の影響はほぼないとされている。
- (2) 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行う必要がある。
- (3) 既設構造物の下方にトンネルを設置する場合は、トンネル掘削による基礎などの沈下及び地下水の変化などの影響についても検討する必要がある。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 88～89, 平成15年11月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.1.4 トンネルに近接する道路の線形等

- (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。
- (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。すりつけ率については道路構造令の解説と運用, P. 412, 令和3年3月,（公社）日本道路協会を参考とするものとする。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 89, 平成15年11月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.1.5 非常駐車帯

(1) 非常駐車帯の計画

延長 750m を越えるトンネルにおいては、非常駐車帯の設置を標準とし、計画される道路の利用条件や設計事例などを調査の上、事業課と協議を行い設置の有無を決定する。

(2) 非常駐車帯の配置

非常駐車帯の配置は、片側車線につき通常 500～1500m 程度に設けるのが一般的である。

したがって、配置は片側 750m 程度を標準とし、大断面となることから出来るだけ地山の良好な箇所に設けるものとする。

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。

なお、完成 4 車線道路において、暫定 2 車線供用期間が長くなると想定される場合については、両側車線に配置することとする。又、トンネル区間が連続する場合は、明り区間の非常駐車帯位置を考慮して配慮するものとする。

(3) 非常駐車帯の寸法

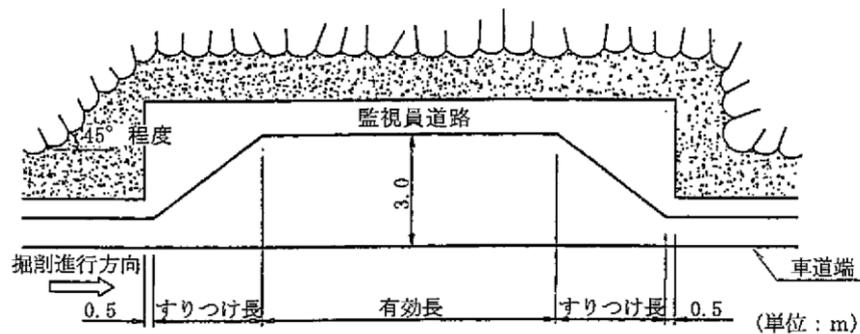


図 3.1 非常駐車帯平面図

表 3.3 非常駐車帯のすりつけ長と有効長（標準）

道路区分		非常駐車帯幅員 (m)	すりつけ長 (m)	有効長 (m)
第 3 種	1 級	3	5	20
	2, 3, 4 級		5	15

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P. 157～158、平成 15 年 11 月、（公社）日本道路協会及び道路構造令の解説と運用、P. 688～691、令和 3 年 3 月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.2 内空断面の設計

3.2.1 内空断面設計の一般的事項

- (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、自転車及び歩行者を通行させるトンネルにあつては、「**第2編道路幅員 3.5 構成要素幅員**」「**第2編道路幅員 3.6 歩道等の幅員**」を参照し、特に自転車及び歩行者の安全に留意した構造とする。

3.2.2 内空断面決定の諸条件

(1) 建築限界

(a) 車道部

車道部の建築限界高さは、重要物流道路は4.8m（路肩部4.1m）、その他の道路は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。

建築限界幅は水平方向に確保する。

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。

(b) 歩道・自転車等

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、明り部歩道の横断勾配との整合を考慮して設定すること。（1.0%～2.0%）

(c) 施設帯

歩道、自転車道等と車道との間に防護柵等の設置空間として施設帯を設ける場合は、水平方向に0.5mを確保するものとする。

(d) 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2.0%を標準とするが、管理上支障がある場合は別途考慮する。

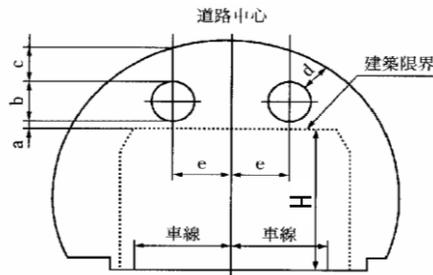
(2) 余裕量

(a) 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、「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説, P53～178, 平成 20 年 10 月, (公社) 日本道路協会」によるものとするが、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 3.4 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。



H: 重要物流道路 H=4800
その他の道路 H=4500

図 3.2 ジェットファン断面取付図

表 3.4 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	〃	1200mm	〃	〃	
JF1250	〃	1450mm	〃	〃	
JF1500	〃	1750mm	〃	〃	

注) c, d 寸法は、離隔距離（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。

【適用】道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル, P. 7-8～10, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局

(b) 内装設置幅に対する余裕量

内装材料は設置するトンネルの諸条件、施工性、経済性、耐久性、耐火性及び維持管理などから選定するものとする。内装の施工は、直張方式、パネル方式等があり、内装材料、施工法を含め、総合的に判断するものとする。

(c) 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。

(d) 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、監査歩廊及び監視員通路に対する余裕量は必要に応じて検討する。

(e) 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、セントル設置に対する余裕量は必要に応じて検討する。

(f) 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。トンネル等級については、「3.12.1 非常用施設設置のためのトンネル等級区分」を参照する。

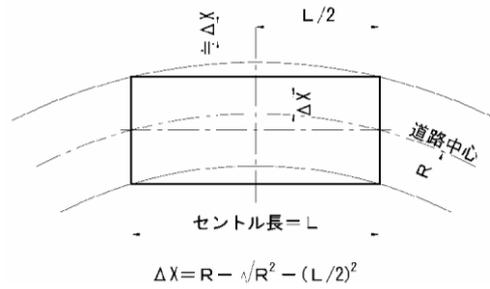


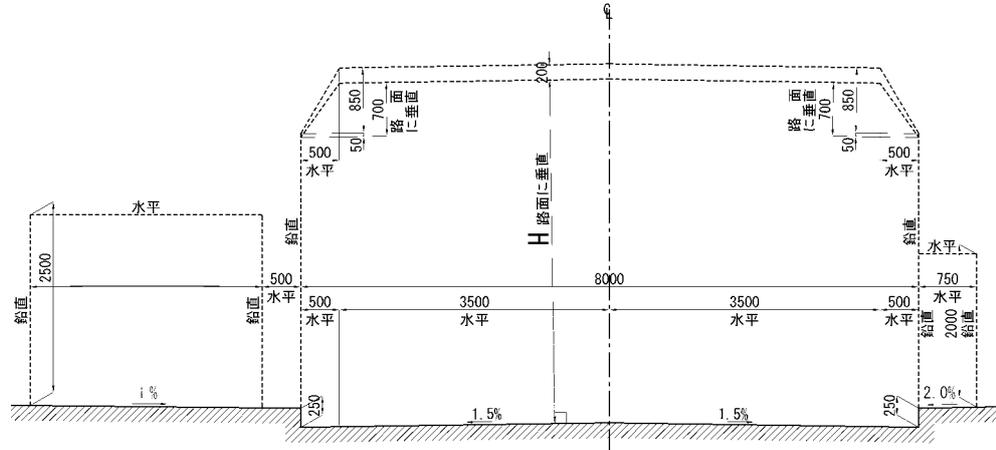
図 3.3 セントル設置に対する余裕量

【参考】道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル, P. 7-10, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局

3.2.3 内空断面設定の考え方

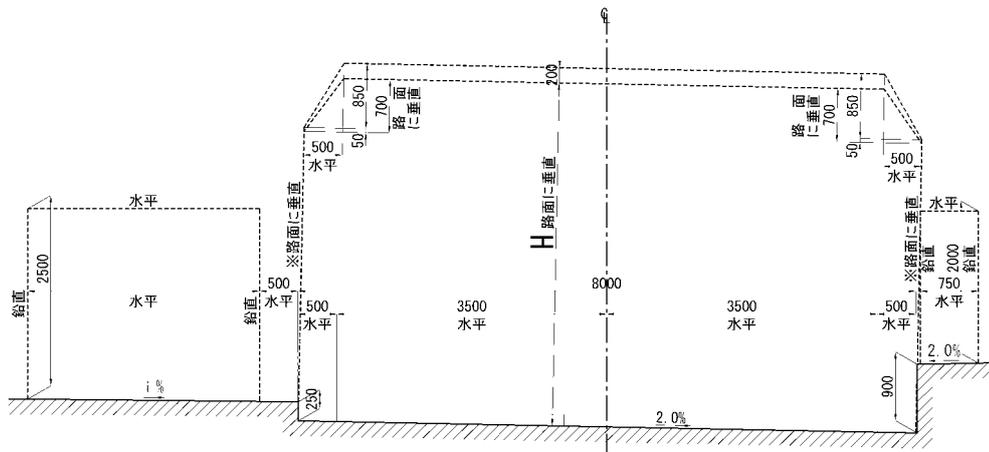
(1) 建築限界の考え方

車道の建築限界および監視員通路上の歩行空間の取り方は図 3.4 に示すとおりとする。



※H: 重要物流道路 H=4800, その他の道路 H=4500

(a) 拌み勾配の場合



※H: 重要物流道路 H=4800, その他の道路 H=4500

※ $i\% = 1.0\% \sim 2.0\%$

※路線の標準横断勾配以下であれば鉛直とする。

(標準が 1.5% 拌み勾配であれば, 1.5% 片勾配までは鉛直)

(b) 片勾配の場合

図 3.4 建築限界の設定例

(2) 内空断面設定上の施設

(a) 舗装及び排水

底盤地山と舗装路盤は、2%程度以上の勾配で中央排水に摺付けるものとする。

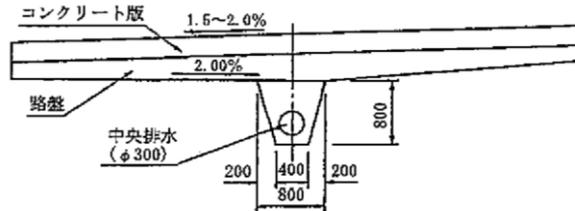


図 3.5 舗装および中央排水工の構造

(b) 内空形状の目安

下記表 3.5 に標準的な断面区分を示すが、トンネルの断面形状は個々のトンネルの地山条件や規模等に応じて安定性、経済性を考慮した断面形状とすることが望ましい。

表 3.5 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	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 (m ²) (参考値)	40~80 程度	80~100 程度	8~16 程度

注 1) 内空幅とは、スプリングライン上での内空幅をいう。(図 3.6, 図 3.7 に示す W をいう。)

注 2) 内空縦横比 (H/W) は図 3.6, 図 3.7 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 3.8, 図 3.9 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、ここでいう内空断面積 (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。

【適用】 道路設計要領 (設計編) 第 7 章 トンネル, P. 7-11, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局
詳細は、道路トンネル技術基準 (構造編)・同解説, 平成 15 年 11 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

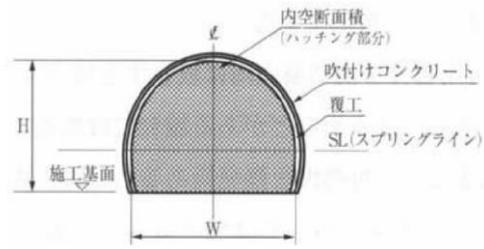


図 3.6 インバートなしの場合

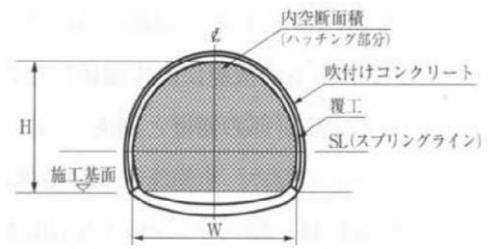


図 3.7 インバートのある場合

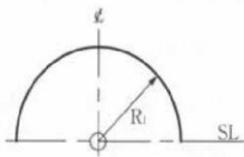


図 3.8 上半単心円

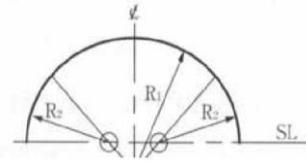
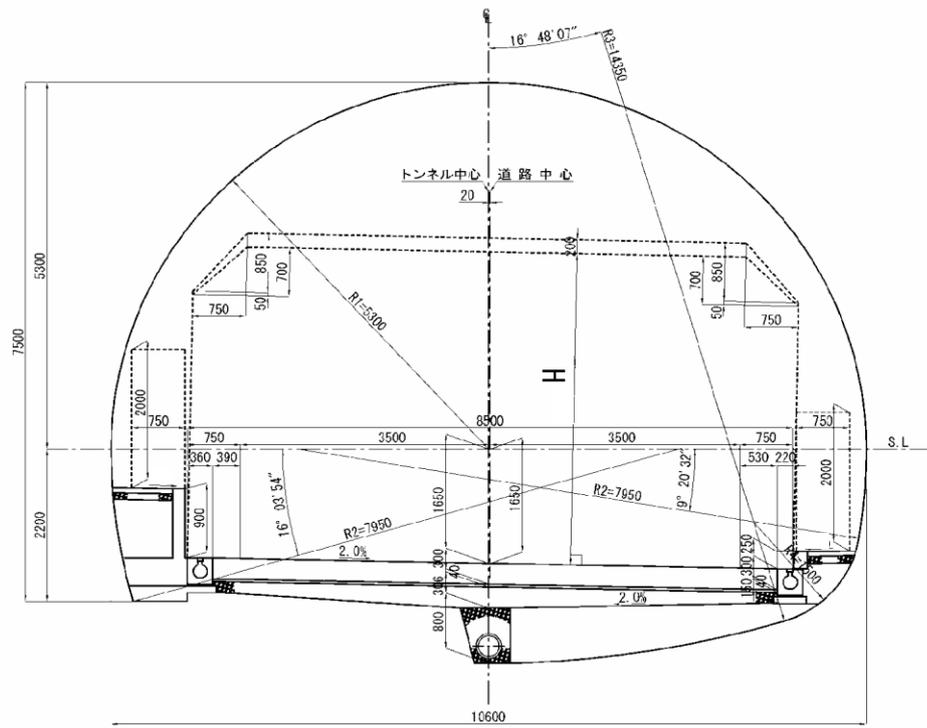


図 3.9 上半3心円

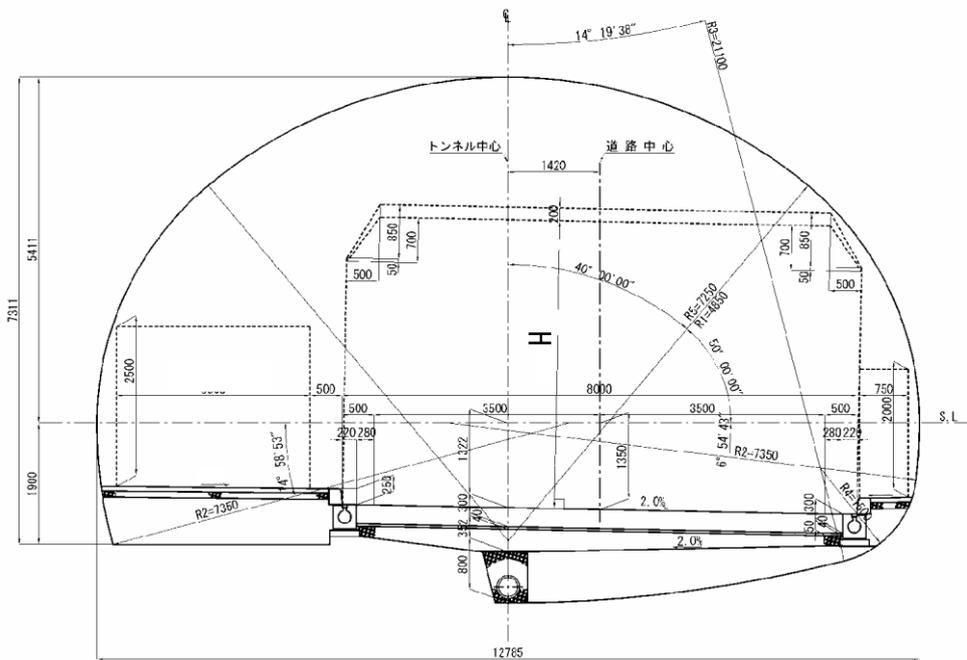
【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P. 7-11, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局
 詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 94~95, 平成 15 年 11 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

3.2.4 道路トンネル内空断面の例



H: 重要物流道路 H=4800, その他の道路 H=4500

図 3.10 内空断面の例 (その1): 通常断面 (内空幅 8.5m~12.5m 程度)



H: 重要物流道路 H=4800, その他の道路 H=4500

図 3.11 内空断面の例 (その2): 大断面 (内空幅 12.55m~14.0m 程度)

3.3 地山分類

3.3.1 地山分類

トンネル設計・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うものとし、地山分類は表3.6によるものとする。

表 3.6 地山分類表

地山等級	注2) 岩石グループ	注3) 塊状、層状の区分	弾性波速度 Vp (km/s)	代表岩石名	地山の状態		コアの状態、ROD	地山強度比	トンネル掘削の状態と部位の目安	
					注4) 岩石の状態	注5) 掘削の状態				
B	H塊状	塊状	1.0	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス	・弾性波の速度は、平均的に500m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	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5cm前後のものもみられる。 ROD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。掘削直前から掘削直後の間に発生する弾性変位は19mm程度以下の微小な弾性変位にとどまる。 切羽は自立する。	
			2.0	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩	・弾性波の速度は、平均的に300m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。			
	M層状	層状	3.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。	
			4.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。			
	L層状	層状	5.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。	
			6.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。			
	C I	H塊状	塊状	7.0	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス	・弾性波の速度は、平均的に500m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。
				8.0	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩	・弾性波の速度は、平均的に300m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。		
	C II	M層状	層状	9.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。
				10.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。		
D I	H塊状	塊状	11.0	花崗岩、花崗閃緑岩、石英斑岩、ホルンフェルス	・弾性波の速度は、平均的に500m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。	
			12.0	安山岩、玄武岩、流紋岩、石英安山岩	・弾性波の速度は、平均的に300m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。			
D II	M層状	層状	13.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 ROD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く、弾性変位は、概ね弾性変位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、不連続面にすべりや岩塊が落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。30mm程度発生するが切羽が自立する。	
			14.0	砂岩、凝灰岩、凝灰角礫岩、第三紀層状砂岩・礫岩	・弾性波の速度は、平均的に200m/s程度。 ・層理、片理の影響が認められ、トンネル掘削に対する影響は小さい。	・不連続面に沿って、弾性波の伝播がほとんど認められない。	コアの長さが概ね10～20cmであるが5cm以下のものもみられる。 RODは40～70。			

注-1) 本分類表にあてはまらない地山が良好なものを地山等級A、劣悪なものを(内空高さ200mm以上)を地山等級Eとす。
 注-2) H、M、Lの区分：岩石の初生的な新鮮な状態での強度により、一軸圧縮強度で次のように区分する。
 $H: \sigma_{cu} \geq 80N/mm^2$ 、 $M: 20N/mm^2 \leq \sigma_{cu} < 80N/mm^2$ 、 $L: \sigma_{cu} < 20N/mm^2$
 注-3) 塊状、層状の区分
 塊状：節理面が支配的な不連続面となるもの。
 層状：節理面あるいは片理面が支配的な不連続面となるもの。
 注-4) 内空高さとは、トンネル掘削中に実際に計測される、トンネル掘削間隔の長さ、トンネル掘削により応力が解放することによって開口し、それによって岩塊が重力により落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。
 注-5) ゆるみとは、土圧によって閉鎖された岩層中の不連続面が、トンネル掘削により応力を解放することによって開口し、それによって岩塊が重力により落下し、よって作用する荷重に比べて小さい場合には、弾性変位は、弾性変位をとめる程度である。
 注-6) 岩石の強度とは、割れ目の影響を及ぼさない岩片の強度のことをいう。

3.4 掘削工法の選定

3.4.1 掘削一般

トンネル掘削にあたっては、できるだけ地山を緩めないようにすること、また余掘りを少なくすることが基本的理念である。

しかし、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法、掘削工法等を選定しなければならない。

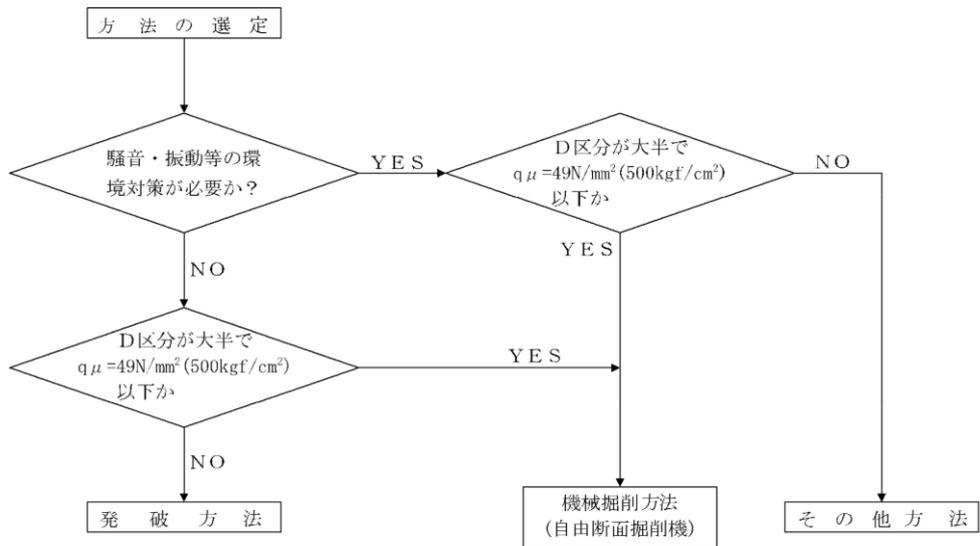
3.4.2 掘削方式

掘削方式については、以下の表のとおりである。削方法の選定は図 3.12 によるものとするが、適用にあたっては地質調査等の事前調査により、地山条件（地質、一軸圧縮強度、亀裂係数、湧水量等）や環境条件等を総合的に判断し決定するものとする。

表 3.7 掘削方式

掘削方式	内容
爆破掘削	<ul style="list-style-type: none"> ・爆破掘削は、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 ・爆薬を用いるため保安に細心の注意が必要であること、余掘りが多くなることや地山を緩め易いなどの弱点がある ・爆破による騒音・振動をとまなうため、防音扉などの環境保全対策が必要になる場合もある
機械掘削	<ul style="list-style-type: none"> ・機械掘削は、地山を機械的に圧砕または切削して掘削する方式で、地山を緩ませず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、地山条件によっては経済性に優れるなどの利点がある ・機械は自由断面掘削機械と、全断面掘削機械（トンネルボーリングマシン（TBM））に大別できる ・機械掘削は土砂～中硬岩に多用されているが、後者は、通常、円形断面に限られることや地山条件から我が国の道路トンネルでの施工例は少なかったものの、TBMの性能向上などにより各種地山への適用性が拡大され、近年大断面トンネルの導坑や避難坑への適用事例が増えてきている
人力掘削	<ul style="list-style-type: none"> ・人力掘削は、ピックハンマー・つるはしなどの簡単で軽易な機械や道具を用いて、人力を主体に掘削する方法である ・地山の安定が極めて悪い場合や断面が極端に小さい導坑などを掘削する場合には、やむを得ず人力掘削に頼ることがある

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.187～188、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。



注) 大半の区分は90%程度を目安とする。

その他の工法：割岩工法（SD・SRS工法，硬岩用自由断面掘削機等），制御突破工法等

図 3.12 掘削方法の選定フロー

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P. 7-16, 平成26年3月, 国土交通省中部地方整備局

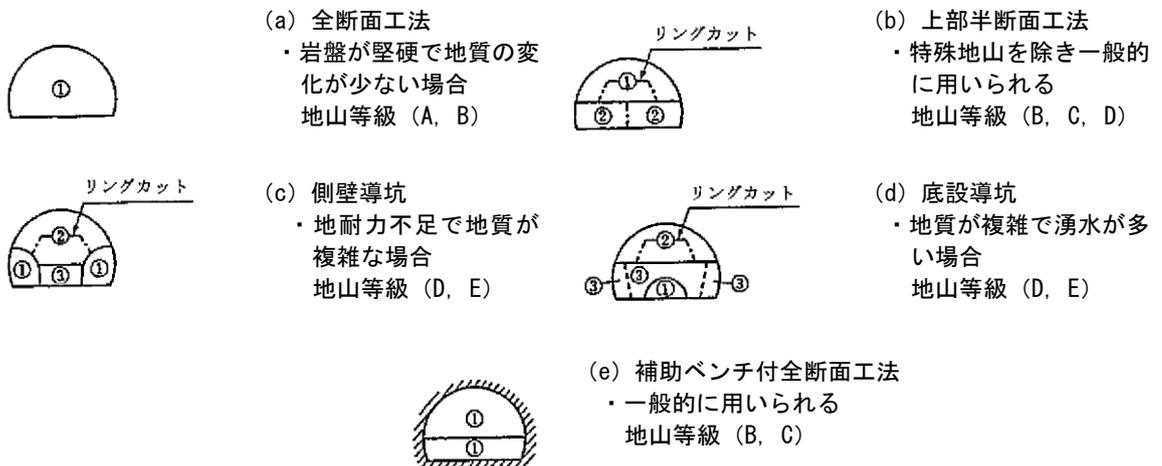
3.4.3 掘削工法

掘削工法は、表 3.8 を標準とするが、これによりがたい場合は、別途検討するものとする。

表 3.8 掘削方法と掘削工法

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

注) 地山条件により、切羽安定性の確保、地山の崩落防止のため、必要に応じて適切な補助工法を採用するものとする。



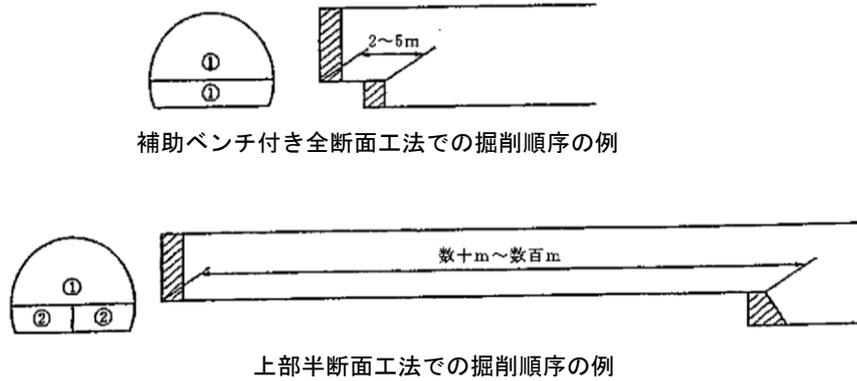


図 3.13 掘削工法図

- 注 1) ①②③は掘削順序を示す。
 注 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。
 注 3) 標準的な加背割図を図 3.14 に示す。一般的に SL が上半下半線となるが、機械の施工高等の理由から上半下半線を若干上げる場合もある。

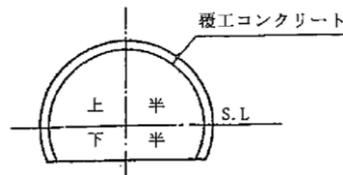


図 3.14 加背割図

【適用】道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル, P. 7-16, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局
 詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 191, 平成 15 年 11 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

3.5 支保構造の設計

3.5.1 支保構造一般

支保構造の設計においては、トンネルの掘削に伴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。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.99、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.5.2 支保構造の選定

(1) 通常断面トンネル

通常断面トンネルの標準的な支保構造の組合せを、表3.9に示す。

適用条件は、通常の地山条件（土被り高さ20m以上500m未満程度）における、内空幅8.5～12.5m程度・内空縦横比概ね0.60以上の通常断面トンネルである。

表 3.9 標準的な支保構造の組み合わせの目安（通常断面トンネル 内空幅8.5～12.5m程度）

地山等級	支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工			吹付け厚(cm)	覆工厚		変形余裕量(cm)	掘削工法
			長さ(m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類	建込間隔(m)		アーチ・側壁(cm)	インバート(cm)		
				周方向(m)	延長方向(m)									
B	B	2.0	3.0	1.5	2.0	上半120°	—	—	—	5	30	0	0	補助ベンチ付全断面工法または上半断面工法
CI	CI	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						H-125	—	1.2					
DI	DI-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上・下半	H-125	H-125	1.0	15	30	45	0	
	DI-b		4.0											
DII	DII	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上・下半	H-150	H-150	1.0以下	20	30	50	10	

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

注2) インバートについて

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

注3) 金網について

- ① 地山等級がDIにおいては、一般に上半部に設置する。なお、DIIにおいては、上・下半部に設置するのが通例である。
- ② 鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合は、金網を省略できる。

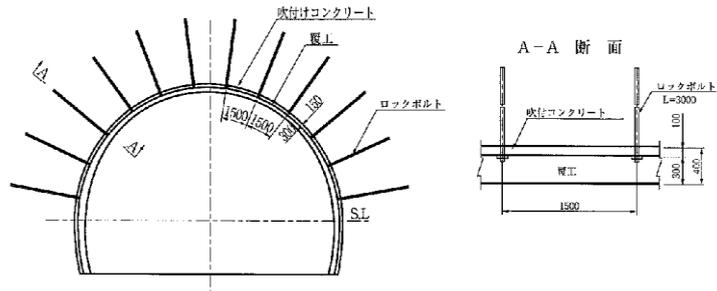
注4) 地山等級は3.3.1地山分類より判定する。

注 5) 変形余裕量について

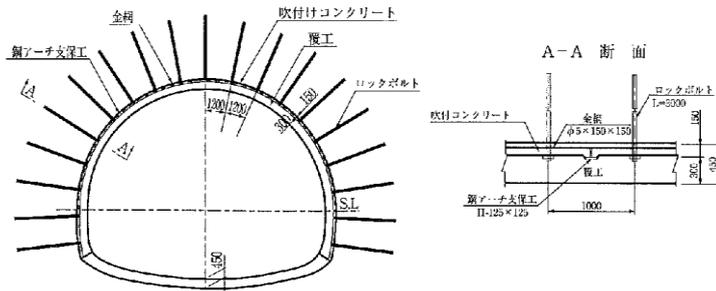
地山等級が DII においては、上部半断面工法の場合は、上半部に補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として 10cm 程度見込んで設計するのが通例である。なお、変形余裕量は実際の施工中の計測により適宜変更していく必要がある。

注 6) 地山等級 A, E については、**3.3.1 地山分類**より、分類表に当てはまらない等級で、A はより良好なもの、E はより劣悪なものを言い、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。



(a) 支保パターン CI の支保構造例



(b) 支保パターン DI-a の支保構造例

図 3.15 通常断面トンネルの支保構造例

【適用】道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル, P. 7-19~21, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局
 詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 125~128, 平成 15 年 11 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

(2) 大断面トンネル

大断面トンネルの標準的な支保構造の組合せを表 3.10 に示す。

適用条件としては、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 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である。

表 3.10 標準的な支保構造の組み合わせの目安（大断面トンネル 内空幅 12.5～14.0m 程度）

地山等級	支保パターン	標準 1 掘進長 (m)	ロックボルト			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚		変形余裕量 (cm)	掘削工法	
			長さ (m)	施工間隔		施工範囲	上半部種類	下半部種類		建込間隔 (m)	アーチ・側壁 (cm)			インバート (cm)
				周方向 (m)	延長方向 (m)									
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	—	—	—	10	40	—	0	補助ベンチ付全断面工法・中壁分割工法・中央導坑先進工法
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	

注 1) インバートについて

- ① () 内に示した地山等級範囲において、第三紀層泥岩、凝灰岩、蛇紋岩などの粘性土岩や風化結晶岩、温泉余土などの場合は () の厚さを有するインバートを設置する。
- ② 脚部では、図 3.16 に示すよう吹付けコンクリートと覆工の厚さの合計がインバート厚さになるようにインバート厚さのすり付けを行う。
- ③ 早期の断面閉合が必要な場合は、吹付けコンクリートにてインバート閉合を行うものとするが、その厚さについては上・下半部の吹付け厚さを参考にして個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ・側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
- ④ 地山等級が DI であっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

【適用】 道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル, P.7-22, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局

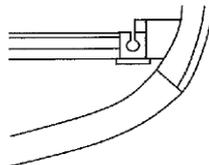


図 3.16 大断面トンネル脚部のインバートの形状

注2) 金網について

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

注3) 変形余裕量について

地山等級がDⅡにおいては、上部半断面工法の場合は、上半部に補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・下半部に変形余裕量として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4) 掘削工法について

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

注5) 地山等級A、Eについては、**3.3.1 地山分類**より、分類表に当てはまらない等級で、Aはより良好なもの、Eはより劣悪なものを言い、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル、P. 7-22～23、平成26年3月、国土交通省中部地方整備局詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P. 126～128、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.5.3 その他

標準支保パターンを用いた標準的な設計や類似の既往設計を参考にする以外に、土砂地山を主体とする都市部のトンネル、めがねや双設の近接トンネル、他構造物との近接施工などの特殊条件下の設計では、有限要素法（FEM）や骨組構造解析などの数値解析を用いた解析的手法が用いられている。これらは、複雑な地形や地盤条件を理想化した条件ではあるが、設計上の問題の本質を捉えるという点で有効な手法である。

しかしながら、数値解析においては、地山や支保部材のモデル化・物性値の評価、地山と支保部材との相互作用、地山挙動の時間依存性など実際の地山の挙動などを再現するには課題があり、その結果の適用には限界があるため、設計手法として解析手法を使用する場合には、その基礎的な考え方、前提条件および結果の限界に関して十分に認識し、評価にあたっては、解析結果のみを過信することなく、類似の既往設計などを参考にすることも重要である。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P. 74、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.6 防水工及び排水工

3.6.1 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。

3.6.2 防水工及び排水工の分類

(1) 防水工，排水工の名称

防水工，排水工の名称は，**図 3.17** とする。

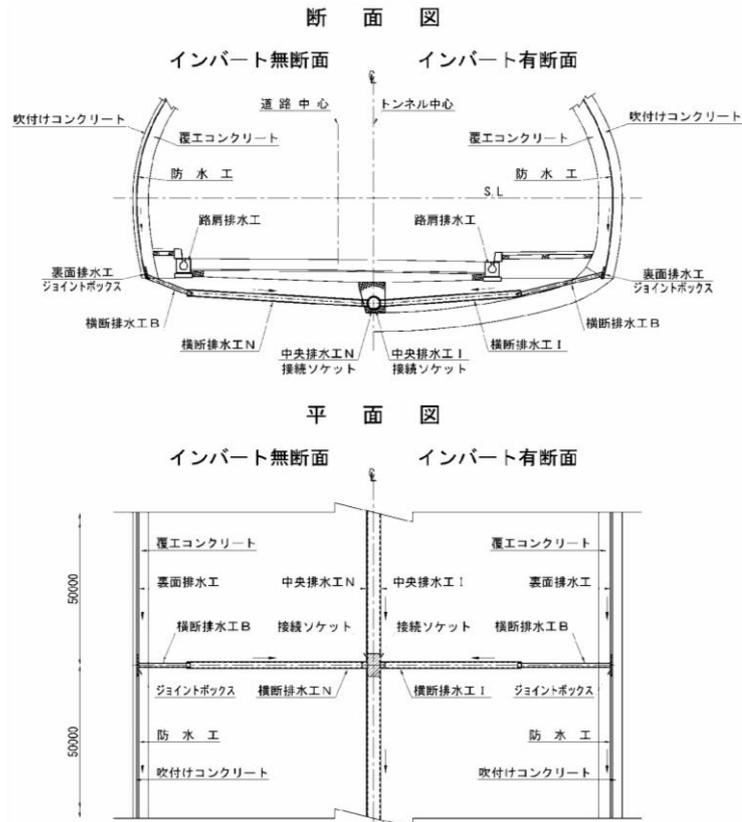


図 3.17 防水工，排水工の名称

【適用】 道路設計要領（設計編）第7章 トンネル，P.7-32～33，平成26年3月，国土交通省中部地方整備局

(2) 防水工

漏水対策および覆工コンクリートのクラック防止を目的に、坑門工を除くトンネル全延長にわたり、吹付けコンクリート，覆工コンクリート間に防水工を設置する。

防水工に使用する防水シートは、シートと透水性緩衝材が一体となった複合積層シートが広く用いられている。シートは厚さ 0.8mm 以上のビニールシート等を標準とし、以下の表の規格に適合するものとする。透水性緩衝材は、厚さ 3mm 以上 (300g/m²) を標準とする。

表 3.11 防水シートの規格

項目	試験法	規格
比重	JIS K 6773 (20° C)	0.90～0.95
引張強さ (N/mm ²)	〃	15 以上
伸び (%)	〃	600 以上
引裂張強さ (N/mm ²)	JIS K 6301 (20° C)	5 以上

【適用】 道路設計要領（設計編）第7章 トンネル，P.7-33，平成26年3月，国土交通省中部地方整備局

(3) 裏面排水工

裏面排水工の規格は以下の図を標準とし、坑門工を除くトンネル全延長にわたり設置する。

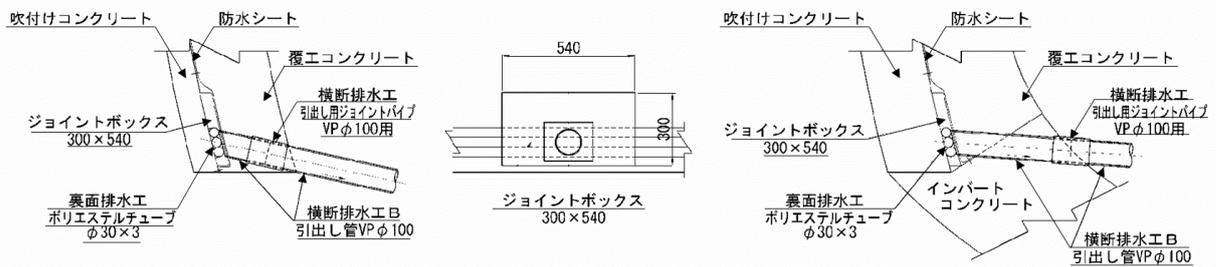


図 3.18 裏面排水工の標準図

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P. 7-33~34, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局

(4) 路面排水工

路面排水工は、路肩側溝および集水枡を設置し、プレキャスト円形水路を標準とする。

集水枡の設置間隔は 50m 程度を標準とし、円形水路 1 本当たりの長さを考慮した配置とすることが望ましい。

また、全区間一方の片勾配で明り部からの持込み水がない場合は、L 型側溝の採用も検討する。(3.2.2 内 空断面決定の諸条件を参照)

側溝集水枡

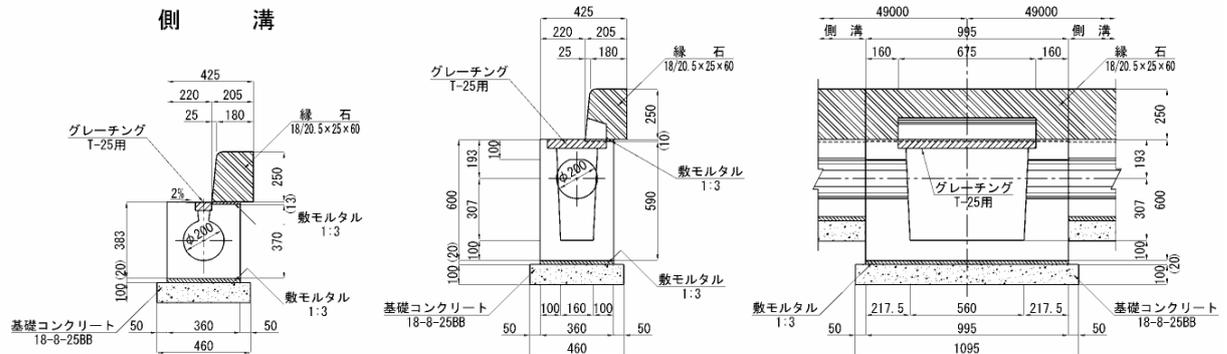


図 3.19 路面排水工の標準図

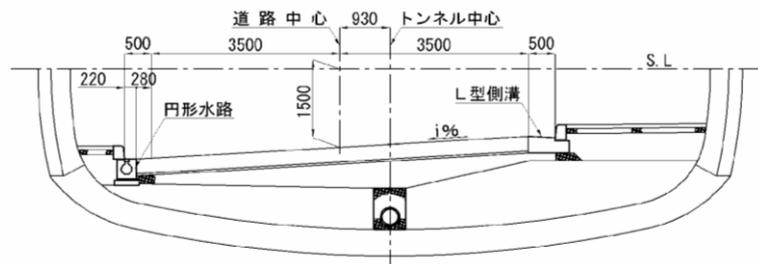


図 3.20 L型側溝の設置例

【参考】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P. 7-34~35, 平成 26 年 3 月, 国土交通省中部地方整備局

(5) 地下排水工

地下排水工の規格は以下の図を標準とする。

- (a) 中央排水工は、トンネル全延長にわたり設置し、インバートの有・無で使い分けるものとする。

インバート有区間で、湧水が多いと考えられる場合、インバート無区間からの流入があると考えられる場合は有孔管、フィルター材を使用するものとする。

- (b) 横断排水工も中央排水工同様、インバートの有・無で使い分けられるものとする。

設置間隔は50mを基本とするが、湧水の多と考えられる場合は、30m以下で配置し、インバート有区間は、有孔管、フィルター材を使用するものとする。

配置計画にあたっては、路肩集水柵と干渉しないように配慮する。

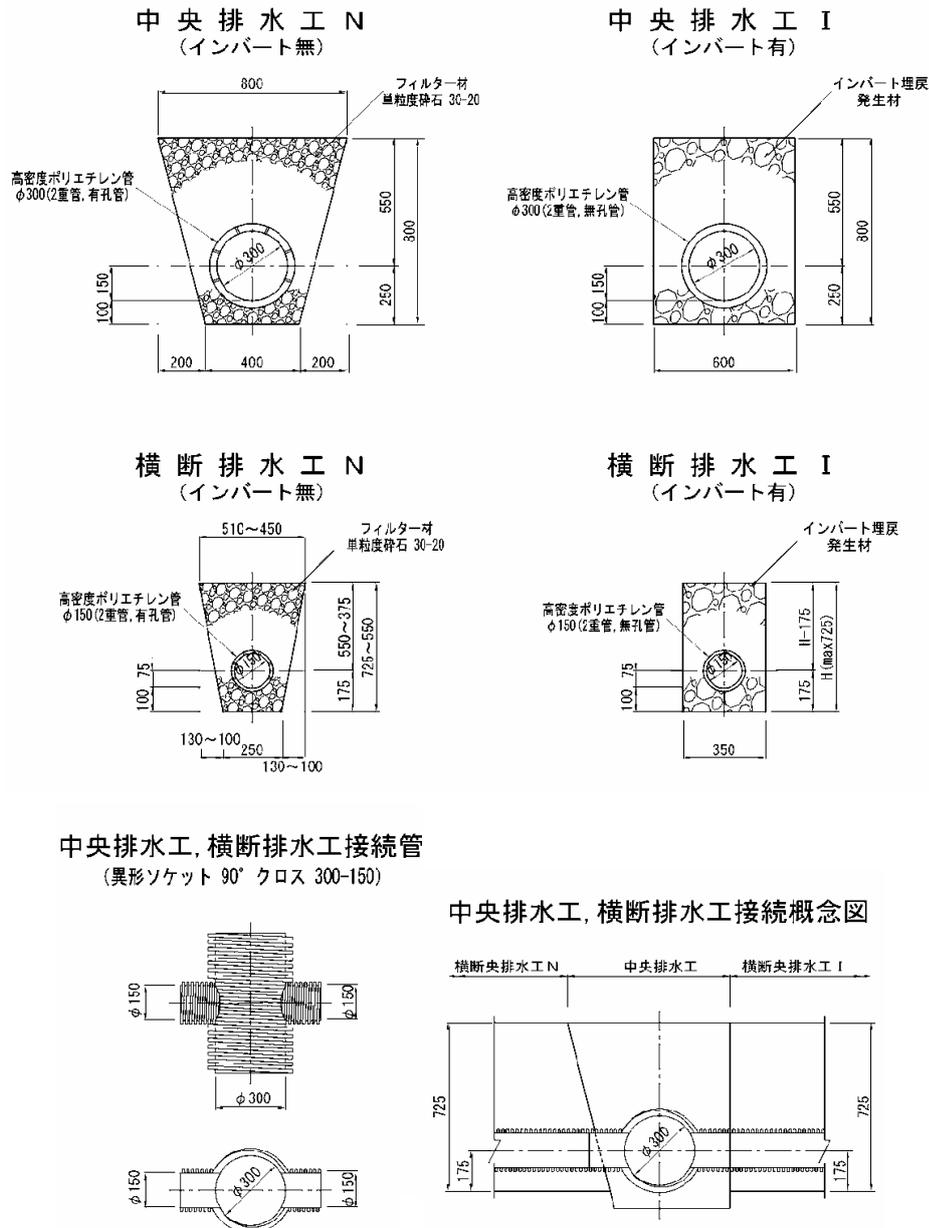


図 3.21 地下排水工の標準図

【適用】 道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P.7-35~36, 平成26年3月, 国土交通省中部地方整備局

3.7 坑口部の設計

3.7.1 坑口部一般

トンネル坑口部は、トンネル出入り口付近で、一般的に土被りが小さく、グラウンドアーチが形成されにくい土被り1~2D (Dは掘削幅) の範囲である。ただし、個々のトンネルの地山条件を考慮し、地山条件の良好な硬岩の場合や台地等の地表面の勾配がなだらかな場合は、個別にその範囲を定めることが必要である。

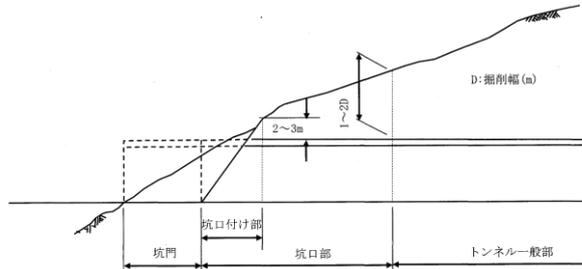


図 3.22 標準的な坑口部の範囲

【適用】トンネル標準示方書（山岳工法）同解説, P. 121~122, 平成 28 年 8 月, (公社)土木学会

3.7.2 坑口部覆工の設計

坑口部の覆工は、全土被り荷重が作用すると考えられ、荷重が大きく、かつ地盤反力も不均衡となるおそれがある場合、温度変化、乾燥収縮などの影響が大きい場合や地震の影響を受けるおそれがある場合は、鉄筋による補強を行い、インバートを設置するものとする。

一般的には、単鉄筋で補強した構造とし、以下の①を考慮するものとし、大断面トンネルにおいては、②を考慮するものとする。

- ① 小断面トンネルおよび通常断面トンネルの場合には主筋として直径 19mm 以上 (ctc20cm 程度)、配力筋として直径 16mm 以上 (ctc30cm 程度)
- ② 主筋として直径 22mm 以上 (ctc20cm 程度)、配力筋として直径 19mm 以上 (ctc30cm 程度)

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 145, 平成 15 年 11 月, (公社)日本道路協会を参照のこと。

3.7.3 坑口部の支保パターンの例

表 3.12 坑口部の標準的な支保構造の組み合わせの目安（通常断面トンネル 内空幅 8.5~12.5m 程度）

掘削工法	掘進長 (m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚 (cm)	覆工厚 (cm)		
		長さ (m)	施工間隔		上半部種類	下半部種類	建込間隔 (m)		アーチ・側壁 (cm)	インバート (cm)	
			周方向 (m)	延長方向 (m)							
上部半断面工法 補助ベンチ付全断面	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	木坑	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※1は、天端120°の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質および工法などの選定にあたっては、現時条件を考慮し決定するものとする。

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

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル、P.7-37～38、平成26年3月、国土交通省中部地方整備局詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.145、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

※1 フォアポーリングとは、掘削前にボルト・鉄筋・単管パイプなどを切羽天端前面に向けて挿入し地山を拘束する工法

3.7.4 坑口部の予想される現象と対策

坑口部は、地表面に接することから、斜面崩壊、地すべり、岩盤崩壊、偏土圧、地耐力不足、切羽崩壊、地表面沈下などが問題となる場合がある。

坑口部の予想される現象と対策については、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.142、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参考するものとする。

3.8 坑門工の設計

3.8.1 坑門工一般

坑門は、上方の斜面からの崩落土砂、落石、雪崩等から坑口部を防護するものである。坑門の設計にあたっては、詳細測量（平面・縦断・横断等）を実施の上、地山条件、周辺の景観との調和、車両の走行に与える影響、維持管理上の便宜等を考慮して、坑門の位置、型式、構造等を決めるものとする。

【参考】トンネル標準示方書（山岳工法）同解説、P.124、平成28年8月、（公社）土木学会

3.8.2 坑門工設計の留意点

坑門は土石流・落石・崩壊・なだれ・異常出水などから坑口部を守るものであり、設計に当っては下表を考慮しなければならない。

表 3.13 坑門工設計の留意点

項目	内容
安定性	<ul style="list-style-type: none"> 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・落石などに対して安定な構造物としなければならない。
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 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。 近接する橋台など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。
景観など	<ul style="list-style-type: none"> 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 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 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
気象条件など	<ul style="list-style-type: none"> 坑門はなだれ・異常出水など気象災害の被害を受けまいよう、設計する必要がある。 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などの条件を考慮する必要がある。
その他機能との調和	<ul style="list-style-type: none"> 坑門は、その他にルーバー・換気所など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 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。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.148、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.8.3 坑門の形式

一般的な坑門の型式としては、表 3.14 のようなものがあり、それぞれ特徴があるので、坑門の位置・型式は、表 3.13 の安定性に留意のうえ、坑門工ならびに坑口付けのための切土斜面の安定性と支持力のバランスを考慮して、地形・地質などの条件に適合したものを選択するものとする。

坑口付けの切土に際しては、坑口斜面への影響、周辺景観との調和、坑口部の施工法などを考慮し、適切な土被りを確保するものとし、切取り勾配は、坑口付け部の施工性を考慮すると地山条件にもよるが極力急勾配とすることが望ましく、必要に応じて法面にコンクリート吹付けやロックボルトなどによる法面補強を考慮し、積極的に斜面の安定化を図る必要がある。

また、トンネル軸線が坑口斜面に斜交し、また不安定な地山状態にある場合には、保護切取りや押さえ盛土を先行施工し、斜面の安定を図ったうえでトンネル掘削を行う必要がある。

(1) 坑口付けの切土の留意点

- ・ 一般には、これまでの実績を踏まえて最小2~3m程度を確保する
- ・ トンネル延長を短くしようとして坑口を山腹深く切り込むと、斜面の安定を損ない斜面崩壊・地すべりなどを引き起こす恐れがあり、周辺景観との調和が図り難いなどが問題となるため、必要以上に坑口を追い込むことは避けるべき

(2) 切取り勾配の留意点

- ・ 一般的には、トンネル掘削の施工性から要求される勾配は、1:0.3~0.5
- ・ 坑口部斜面が堅岩で適当な斜面勾配を有している場合には、その斜面で直接坑口を付けることができる

(3) トンネル軸線が坑口斜面に斜交し、不安定な地山状態の留意点

- ・ トンネル掘削が容易でかつ切羽の安定が得やすい盛土材を選定する必要がある

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 148~149, 平成 15 年 11 月,
（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.8.4 坑門の設計

坑門は、完成後に加わる埋め戻し土、雪荷重等の死荷重、埋め戻しの際の締め荷重、道路が上部を横断する場合の輪荷重、あるいは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、坑門の形式に応じて適宜組み合わせる必要がある。

坑門の設計には、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説, P. 149, 平成 15 年 11 月,（公社）日本道路協会やトンネル標準示方書（山岳工法）同解説, P. 124~128, 平成 28 年 8 月,（公社）土木学会を参考にするものとする。

【参考】トンネル標準示方書（山岳工法）同解説, P. 124~128, 平成 28 年 8 月,（公社）土木学会

表 3.14 トンネル坑門の形式と特徴

項目	面壁型		突出型				
	重力式、半重力式	ウイング式	アーチウイング式	半突出式 パラペット式	突出式	竹脚式 ベルマウス式	逆竹脚式 逆ベルマウス式
概念図							
概要	坑口付け位置より10m程度前方に重力式壁を設ける。最近ではウイング式で代用され、ほとんど採用されていない。	地山を切り込み、土留め壁として計画する。トンネル延長を短くできる経路である。鉄道トンネルの大部分で採用される。	ウイング式に対してトンネル延長を長くし、丸みをもたせることにより圧迫感を軽減する形式である。	アーチ部分を突出式とし、盛りこぼしに対して土留め壁を設ける。坑門としては合理的な構造である。	おもに景観を向上するため、トンネル本体と同一の内空断面を突出させて明かり巻を設ける形式である。	突出式のコンクリート露出部分をなくした形式であり、ラッパ状に開いたものがベルマウス式である。	左記とは逆に頂部のコンクリート露出を多くした形式であり、坑門を大きく見せることができる。
地形条件による適用性	<ul style="list-style-type: none"> 比較的急峻な地形の場合や土留め擁壁構造を必要とする場合。 落石が懸念される場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的急峻な地形で切り込みで坑口を設ける場合。 斜面と斜交する場合は脚方に土留め壁や抱き擁壁を設ける。 斜脚門とする場合もある。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的地形がなだらかな場合。 左右の切土工が比較的少ない場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 尾段状地形や左右に他の構造物との取合いが少ない場合。 斜面と斜交する場合は適応しにくい。 斜面対策の押し盛り土を施工する場合。 落石が懸念される場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 周辺の地形がなだらかで、坑口周辺が開けた場合。 斜面と斜交する場合は適応しにくい。 坑門周辺の造成を伴う場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 急斜面で地山の切込みができない場合。 落石が多い場合。 	
気象条件による適用性	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。	積雪地でも問題が少ない。雪庇の防止効果が期待できる。
設計、施工上の留意点	地質条件によっては杭や大規模な置換え基礎が必要になる。	トンネル本体との一体化が必要になる。	地形によっては、一部明かり巻とくにアーチ部分が必要である。	数本の木土工の明かり巻を必要とし、かつ盛りこぼしに多少の土留め壁が生じる。	トンネル延長が長くなる。一般に保護盛土が必要となる。保護盛土を補強盛土とし、延長を短くすることもある。	型枠、配筋等ことや手間がかかる。一般に保護盛土が必要となる。保護盛土を補強盛土とし、延長を短くすることもある。	重心位置の関係から基礎の支持力の十分は検討を要する。型枠、配筋等に手間がかかる。
景観	壁面が大きく輝度を下げる工夫(壁面のつり等)が必要となる。	壁面が大きく輝度を下げる工夫(壁面のつり等)が必要となる。	アーチ部分の曲線により圧迫感を緩和できる。	壁面が比較的小さい。圧迫感が少ない。	壁面が小さくなるため、圧迫感が少ない。	入口を広げたベルマウス式は進入しやす。	車道の沿道に与える影響を少なくする。

【適用】 トンネル標準示方書（山岳工法）同解説、P.126、平成28年8月、（公社）土木学会

3.9 補助工法

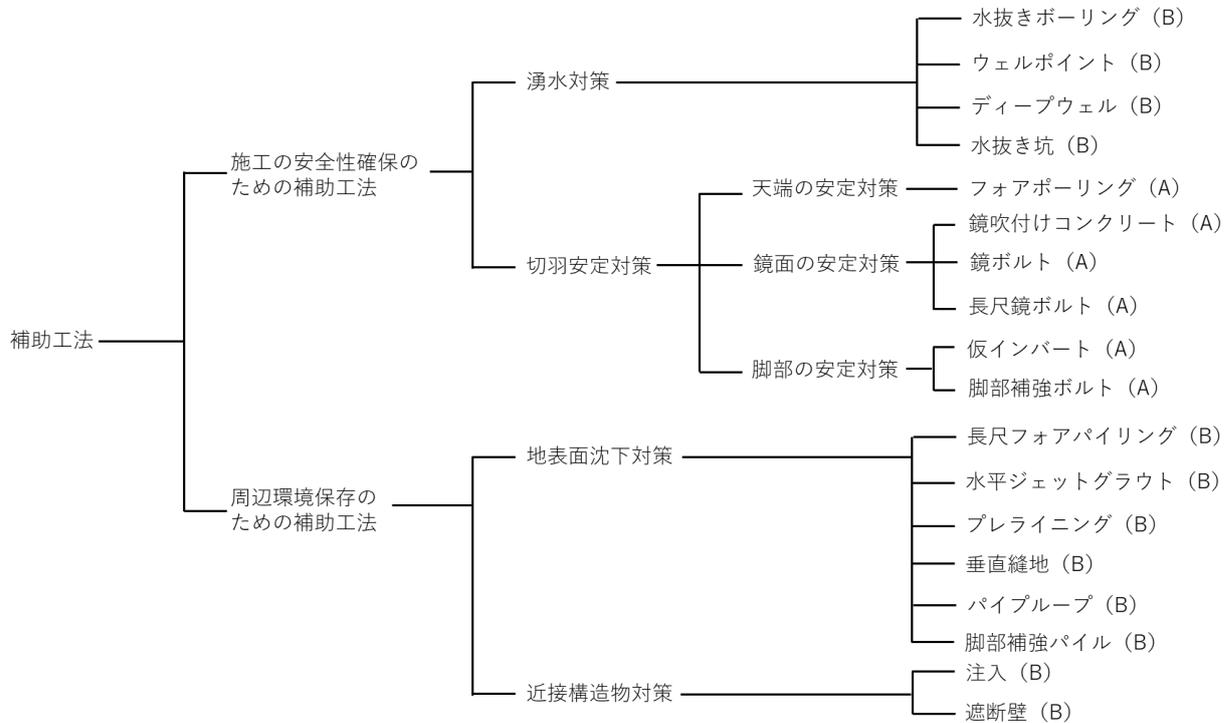
3.9.1 補助工法一般

補助工法については、現在定義が明確ではないが、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はない場合に、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。

また、補助工法は、以下のとおり A または B に分類できる。

- ・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が大きい対策工法
代表的な工法として、「フォアポーリング（掘削前にボルト・鉄筋・単管パイプなどを切羽天端前面に向けて挿入し地山を拘束する工法）」や「長尺フォアパイリング（アーチ作用が期待できない不安定な地山において、鋼管や注入材を一般的に切羽外周に沿って挿入し、地山を補強して切羽の安定化を図る工法）」等がある。

補助工法と使用目的による分類を下表に示す。



注) 各工法末尾の(A), (B)は補助工法の区分を表す。

図 3.23 補助工法の分類

【適用】 設計要領 第三集 トンネル建設編, P.6-1, 令和6年7月, 中日本高速道路株式会社

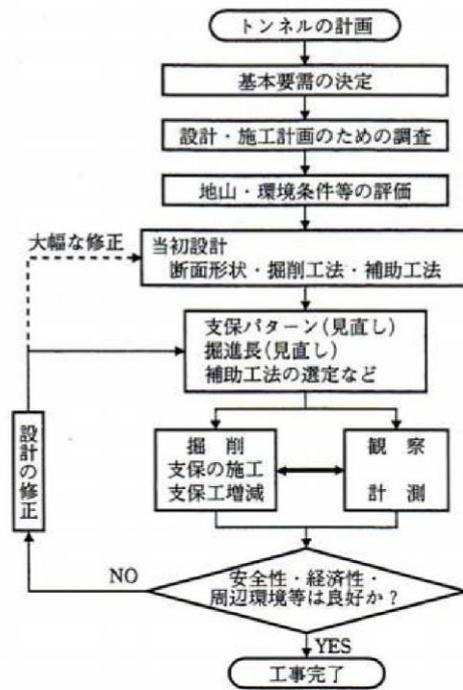


図 3.24 補助工法に着目したトンネルの調査, 設計, 施工の流れ

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P.7-52, 平成26年3月, 国土交通省中部地方整備局

(1) 施工中の補助工法の適用

トンネル施工に補助工法の採用について検討を行う場合には、施工状況、計測結果等に基づき、採用する補助工法と支保パターン、掘削工法との適合性を検討し、効果、経済性および工期等を勘案して決定する。

【適用】トンネル標準示方書 山岳工法・同解説, P.285, 平成28年8月, (公社)土木学会

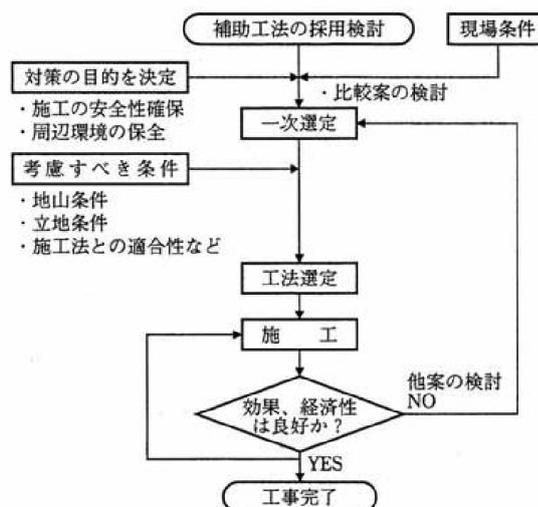


図 3.25 施工中における補助工法検討の流れ

【適用】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P.7-52, 平成26年3月, 国土交通省中部地方整備局

3.10 トンネルの本体設計と施設設計の連携

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、修正設計が必要となり、余分な時間や経費が必要となりがねないことがある。

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
- ・トンネル坑口部については、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

施設設計については、「3.11 その他の構造物の設計」、「3.12 トンネル非常用設備」を参照すること。

【参考】道路設計要領（設計編）第7章トンネル,P7-1,平成26年3月,国土交通省中部地方整備局

3.11 その他の構造物の設計

3.11.1 内装工

内装を行う場合は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説,P.151～152,平成15年11月,(公社)日本道路協会を参考に、その目的等を十分考慮し、設計するものとする。

(1) 設置基準

トンネル内装工は、参考として設置を含めて検討するものとする。

図3.26に示す内装等級区分Ⅰ、及びⅡのトンネルに設置するものとする。

ただし、この範囲外にあっても

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

等の路線にあつて、その必要性が高い場合は内装工を設置できるものとする。

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

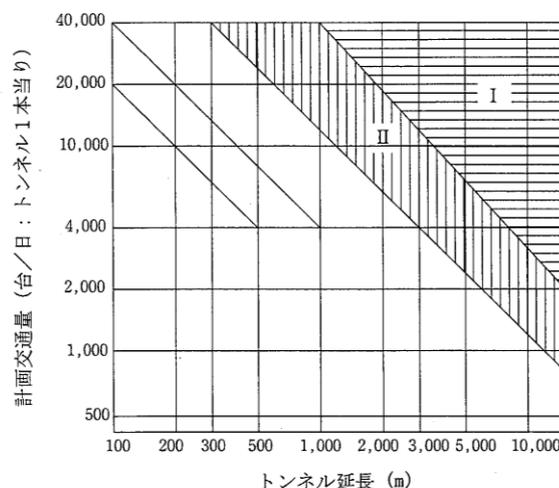


図 3.26 内装等級区分

表 3.15 内装等級の定義

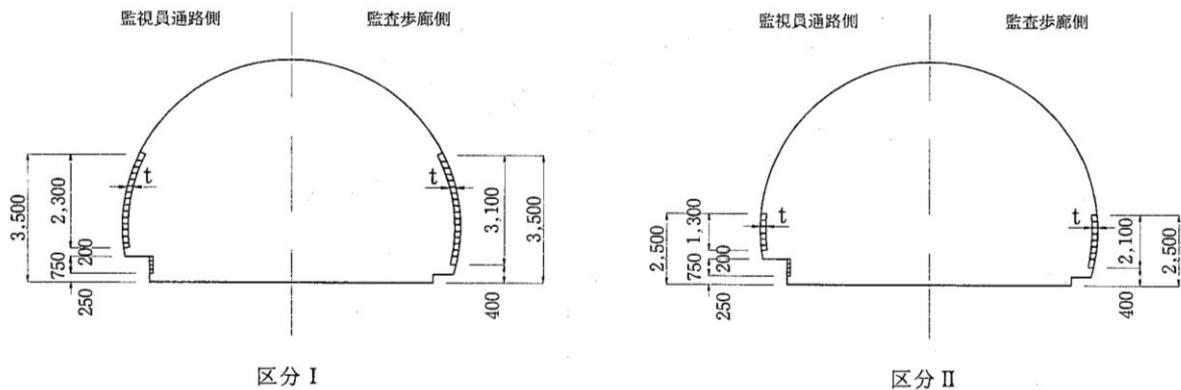
内装等級	適用範囲
区分 I	図 3. に示す I に属する範囲のトンネル
区分 II	図 3. に示す II に属する範囲のトンネル

(2) 設置範囲

トンネル内装工の設置範囲は、当該トンネルの諸条件を考慮し、表 3.16 に示す区分に従って設置するものとする。

表 3.16 内装等級と設置幅

内装等級	路面からの高さ (m)	内装工の割付 (mm)	
		監視員通路側	監査歩廊側
区分 I	3.5	750+2,300	3,100
区分 II	2.5	750+1,300	2,100



※ 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 3.27 内装工標準割り付け図

3.11.2 換気設備

(1) トンネル換気施設設計に用いる示方書等

トンネル換気検討については、「道路トンネル技術基準（換気編）・同解説,平成20年10月（公社）日本道路協会）に準拠する。

(2) 換気設計に用いる交通量

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まわる場合には、交通量として設計時間交通量を用いることが可能。詳細は、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説, P. 14, 平成20年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(3) 所要換気量

(a) 換気の対象物質及び濃度

- ・ 換気施設の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、当該道路の設計速度に応じて値を決める。設計速度 80km/h 以上の場合は煤煙の設計濃度(100m 透過率)を 50%とし、設計速度 60km/h 以下の場合は煤煙の設計濃度(100m 透過率)を 40%とし、一酸化炭素の設計濃度はそれぞれ 100ppm とする。

詳細は、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説, P. 19, 平成20年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(b) 換気計画上の走行速度および設計濃度の設定

トンネル内の視環境に直接かかわる煤煙濃度は、走行速度に応じて要求される値が異なり、煤煙に対する換気の設計濃度は、走行速度によって決まる。

詳細は、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説, P. 30, 平成20年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(c) 排出量および排出量の補正

排出量は標高 400m 以下で縦断勾配がないトンネルにおいて、平均的な自動車の走行状態（円滑な走行速度 40～80km/h）に対する自動車からの排出ガス量である。

① 煤煙の排出量および排出量の補正

(ア) 煤煙排出量

煤煙の排出量の平均値、標準偏差および微粒子率は、実態調査および自動車排出ガス規制の動向をもとに表 3.17 の値を用いる。

なお、平成 24 年以前にトンネルが供用するなど換気施設の不足が生じるおそれがある場合には、表 3.18 に示す当該年の排出量が参考となる。

表 3.17 煤煙の1台当りの排出量【平成25年以降対象】

平均値 (m ² /km)		標準偏差 (m ² /km)		微粒子率 (%)	
小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
0.3	1.5	0.3	0.5	55	50

表 3.18 煤煙の1台当りの排出量【平成20～24年対象】

年	平均値 (m ² /km)		標準偏差 (m ² /km)		微粒子率 (%)	
	小型車	大型車	小型車	大型車	小型車	大型車
平成20年	0.4	2.0	0.4	0.7	70	65
平成21年	0.4	1.8	0.4	0.6	65	60
平成22年	0.4	1.7	0.4	0.6	65	60
平成23年	0.4	1.6	0.4	0.6	60	55
平成24年	0.3	1.6	0.3	0.6	60	55

(イ) 煤煙排出量の補正

煤煙の排出量の平均値 μ および標準偏差 σ を求めるための補正は、表 3.17・表 3.18 の排出量に走行速度による補正係数 (k_v)、縦断勾配による補正係数 (k_L , k_S)、標高による補正係数 (k_h) を用いる。

(2) CO の排出量および排出量の補正

CO の排出量は、実態調査および自動車排出ガス規制の動向をもとに余裕を見込み、大型車及び小型車ともに平均排出量を 0.005m³/km とし、標準偏差は考慮しない。

詳細は、道路トンネル技術基準 (換気編)・同解説, P.63~64, 平成20年10月, (公社)日本道路協会を参照のこと。

(4) 換気風圧計算

換気機の所要風圧は対象とする換気系において所要換気量を満足するよう定めるものとする。

詳細は、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，P. 76，平成 20 年 10 月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(5) 換気計算例

(a) 自然換気の検討

トンネルの自然換気の限界は延長と交通量と，これまでのトンネルの換気施設の有無の実績から概略把握すること方法もあるが，計算による自然換気の確認方法として，車の走行や自然風により，トンネル内に持込まれる風量と所要換気量を比較する方法がある。

① 対面通行

対面通行においては交通量比率 5 : 5 の状況において自然風が 2.5m/s ある場合に持込まれる風量が所要換気量を上回る場合には，自然換気となる。

② 一方通行

一方通行のトンネルにおいては，車のピストン作用により換気が行われる。この車の走行によって持込まれる風量が所要換気量を上回る場合には，自然換気となる。

詳細は、道路トンネル技術基準(換気編)・同解説，P. 235, 260，平成 20 年 10 月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(b) ジェットファン式

ジェットファンのジェットファン式の換気圧力モデルについては道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，P. 88～89，平成 20 年 10 月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(ウ) 一方通行トンネル

交通換気力を利用するように台数を計算する。自然換気力 ΔPMT は自然風-2.5m/s（逆風）に対して計算する。

(エ) 対面通行トンネル

対面通行トンネルでは重交通量比 50%で自然風-2.5m/s（逆風）という条件で，ジェットファン台数を求める。

(オ) ジェットファン最小台数

ジェットファン台数については計算により求め，端数の切り上げ処理を原則とする。最小台数は，維持管理時のオーバーホールなどを考慮し，2 台とする。

(カ) ジェットファンの種類と取付け間隔

ジェットファンの取付け間隔については、上流側のファンの噴流が拡散して風速が一樣になる場所に次のファンを設置するようにする。噴流拡散距離を考慮したジェットファンの取付間隔については、道路トンネル技術基準（換気編）・同解説，P.90，平成20年10月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(c) 排煙設備

トンネルには、トンネル非常用施設の一つとして排煙設備を設置する場合がある。排煙設備は基本的に換気施設を利用することとしており、計画にあたっては「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説（令和元年9月（公社）日本道路協会）」によるものとする。

① 計画

換気施設を設置するトンネルについては、換気能力の範囲で排煙設備として活用することが合理的である。

② 設計

火災時の排煙は、常時の換気との関連を考慮して換気能力の範囲で検討することとし、排煙設備の設計は、換気方式などに留意して行う。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説，P.19，66～68，令和元年9月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.11.3 トンネル照明施設

(1) トンネル照明施設設計に用いる示方書等

トンネル照明施設の設計に用いる示方書・基準等は、「LED道路・トンネル照明導入ガイドライン（案）（平成27年3月）国土交通省」,「道路照明施設設置基準・同解説」第5章トンネル照明(平成19年10月),「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）,平成20年9月,（トンネル照明）」,「道路・トンネル照明器材仕様書」（平成30年改訂）等による。

(2) 用語の定義

トンネル照明施設の設計に用いる用語の定義は、「道路照明施設設置基準・同解説」（平成19年10月）1-3用語の定義による。

詳細は、道路照明施設設置基準・同解説, P.2~5, 平成19年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(3) 設置計画

延長50m以上のトンネルには入口部照明等を含む照明施設を設置する。また、延長50m未満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こと。

【参考】道路設計要領（設計編）第7章 トンネル, P.7-53, 平成26年3月, 国土交通省中部地方整備局

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編）, 平成20年9月, P.4-77, P.4-81,（一社）建設電気技術協会

詳細は、道路照明施設設置基準・同解説, P.75, 平成19年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(4) 光源の選定

トンネル照明施設に使用される光源には、LED（発光ダイオード）とする。

ただし、これにより難しい場合は、高圧ナトリウムランプ、蛍光ランプ、メタルハライドランプ、セラミックメタルハライドランプ、低圧ナトリウムランプ等の光源を平均寿命、総合効率、光色・演色性、周囲温度特性、減光の可否等の特性に応じて適宜選択する。

詳細は、道路照明施設設置基準・同解説, P.96, 平成19年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

(5) 照明機材の選定

照明機材は、「道路・トンネル照明器材仕様書」（平成30年改訂）を標準とする。ただし、これによらない器材は、所定の性能を満足されていれば採用してもよい。

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編）, 平成20年9月, P.4-88~89,（一社）建設電気技術協会

(6) 照明方式、灯具の配列、取付高さ、照射方向

照明方式は原則として対称照明方式とし、向合せ又は千鳥配列を標準とする。灯具の取付高さは、建築限界外の路面上5m程度の位置とし、照射方向は器具形式毎に、壁面輝度比に配慮し設定する。

【参考】道路照明施設設置基準・同解説, P.72~74, 平成19年10月,（公社）日本道路協会

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編）, 平成20年9月, P.4-102~104,（一社）建設電気技術協会

(7) 平均路面輝度、輝度均斉度、視機能低下グレア

基本照明における平均路面輝度は次表を標準とする。なお、全ての条件において総合均斉度 $U_0 \geq 0.4$ 及び相対閾値増加15%以下を満足する灯具間隔を設定する。

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編）, 平成20年9月, P.4-77,（一社）建設電気技術協会
詳細は、道路照明施設設置基準・同解説, P.67~69, P.92, 平成19年10月,（公社）日本道路協会を参照のこと。

表 3.19 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)	
	交通量 10,000 台/日以上 の昼間時	①交通量 10,000 台/日以上 の夜間時 ②交通量 10,000 台/日未満 の常時 ③延長 50m 以下のトンネル の常時
100	9.0	4.50
80	4.5	2.25
70	3.2	1.60
60	2.3	1.15
50	1.9	0.95
40 以下	1.52	0.75

設計速度は、愛知県公安委員会が定める最高速度の制限を考慮し決定すること。

設計速度が 60km/h を超える場合には、本要領の他、国土交通省及び各高速道路会社の設計基準等を参考に設計を行うこと。

(8) 保守率

保守率は次表を標準とし、道路構造や交通の状況に応じて±0.05 の範囲で選択する。

表 3.20 保守率

日交通量	保守率
20,000 台以上	0.55
10,000 台以上 20,000 台未満	0.60
5,000 台以上 10,000 台未満	0.65
5,000 台未満	0.70

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編），平成 20 年 9 月，P. 4-100，（一社）建設電気技術協会

(9) 停電時照明

停電時照明は、基本照明の一部（1/8 以上）を 10 分間以上停電補償するもので、電池内蔵形照明器具を標準とする。なお、トンネル規模が大きく電気室が設置される場合には、無停電電源装置による停電補償について、経済性および保守性の検討を行うこと。

【参考】道路設計要領（設計編）第 7 章 トンネル，P. 7-63，平成 26 年 3 月，国土交通省中部地方整備局

【参考】電気通信施設設計要領・同解説（電気編），平成 20 年 9 月，P. 4-85～86，（一社）建設電気技術協会

(10) 入口部照明

入口部照明は、交通量及び天候により次表の低減を行う。また、自動調光装置は照度計式を標準とする。なお、設計速度が70 km/h 以上の場合には、輝度計式と比較し選定すること。

表 3.21 入口部照明の調光段階

日交通量	10,000 台以上		10,000 台未満	
天候	晴天	曇天	晴天	曇天
低減率	100	50	50	25

「道路照明施設設置基準・同解説, (公社) 日本道路協会」P-76 表 5-2 に対する低減率とする。
なお、野外輝度の設定は同 P-80~87 に従い設定すること。

(11) 特殊構造部の照明

非常駐車帯、歩道部、避難通路の照度は、「道路照明施設設置基準・同解説, P. 88~90, (公社) 日本道路協会」、「電気通信施設設計要領・同解説 (電気編), 平成 20 年 9 月, P. 4-84~85, (一社) 建設電気技術協会」を参考に設定すること。

(12) 接続道路の照明

接続道路の照明は、坑口から 10m 付近の進入車線側に照明灯を 1 基設置することを標準とする。

【参考】電気通信施設設計要領・同解説 (電気編), 平成 20 年 9 月, P. 4-86, (一社) 建設電気技術協会
詳細は、道路照明施設設置基準・同解説, P. 91, 平成 19 年 10 月, (公社) 日本道路協会を参照のこと。

(13) 配管・配線設計

配管・配線設計は、「電気通信施設設計要領・同解説 (電気編), 平成 20 年 9 月 P. 4-107, (一社) 建設電気技術協会」を参考に設計すること。

3.11.4 交通安全施設

トンネル内の転落防止柵及び視線誘導標については、交通安全上設置の検討を行い、必要に応じて設置するものとする。

3.12 トンネル非常用設備

トンネル非常用設備の設計に用いる示方書・基準等は、「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説,平成13年10月,(公社)日本道路協会」,「電気通信施設設計要領・同解説(電気編),平成20年9月,(一社)建設電気技術協会」等による。

3.12.1 非常用施設設置のためのトンネル等級区分

トンネルの非常用施設設置のための等級区分は,その延長およびトンネル1本当たりの交通量に応じて区分する。ただし,高速自動車国道等設計速度が高い道路のトンネルで延長が長いトンネルまたは平面線形,もしくは縦断線形の特に屈曲している等見通しの悪いトンネルにあっては一階級上位の等級とすることが望ましい。

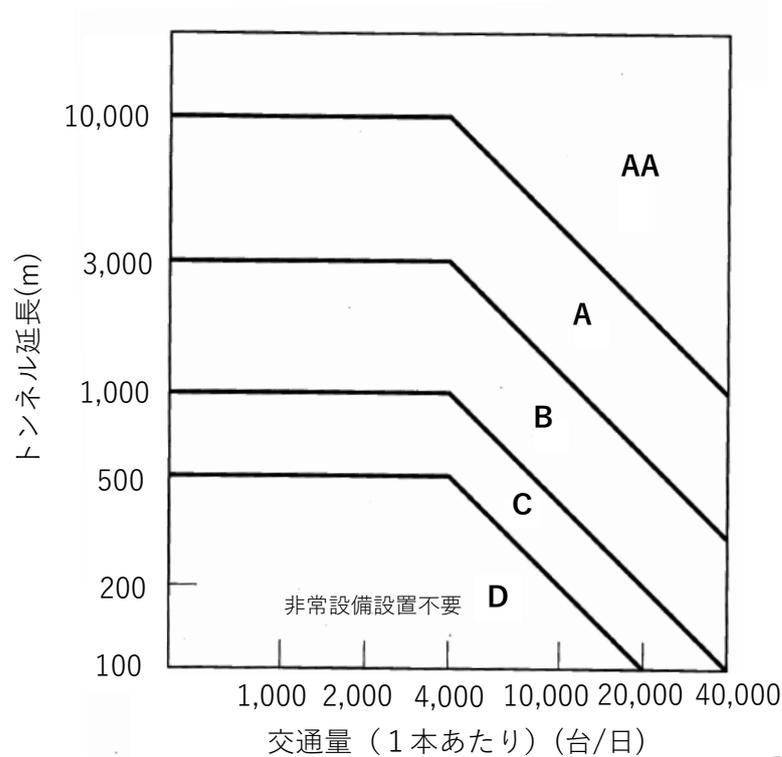


図 3.28 トンネルの等級区分

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説, P.9, 令和元年9月,(公社)日本道路協会を参照のこと。

3.12.2 等級区別の施設設計計画

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 3.22 に示す施設を設置するものとする。

表 3.22 トンネル等級別の非常用施設

非常用施設		トンネル等級			
		AA	A	B	C
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	◎	◎	—	—
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	◎	○*	—	—
	無線通信補助設備	◎	○*	—	—
	水噴霧設備	◎	○*	—	—
	監視装置	◎	○*	—	—

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

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説、P.16、令和元年9月、(公社)日本道路協会を参照のこと。

3.12.3 各施設の配置計画

(1) 通報設備

通報設備は、トンネル内における火災その他の事故の発生を道路管理者や関係機関の管理所等へ通報し、警報設備の制御、救助活動、消火活動等に役立たせるための設備であり、利用者が同時通話により通報する通話型通報設備、利用者が手動操作により通報する操作型通報設備と、センサ等で火災を検知する自動通報設備がある。

① 通話型通報設備

通話型通報設備として非常電話を設置する場合、設置間隔は200m以下を標準とし、扱いが簡単な方式とする。

② 操作型通報設備

操作型通報設備として押しボタン式通報装置を設置する場合、設置間隔は50mを標準とし、扱いが簡単な方式とする。

③ 自動通報設備

火災の初期段階を排気ガスや換気流等に影響されず的確に検知できる方式とし、設置間隔は、火災検知能力や水噴霧設備の放水区画との関連等を考慮して定める。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説，P.27～39，令和元年9月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(2) 警報設備

① 非常警報装置

警報表示板の設置位置は、トンネル坑口付近で、トンネル利用者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、走行速度と警報装置の設置位置の関係から坑口手前95m以上220m以下を標準とする。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説，P.40～49，令和元年9月，（公社）日本道路協会を参照のこと。

(3) 消火設備

① 消火器

扱いが簡単でかつ有害なガス等が発生しないものを選定し、設置間隔は50mを標準とする。

② 消火栓設備

口径は40mm、放水量は130L/min、放水圧力は0.29MPaを標準とし、水源は消火栓3個同時に40分程度放水できる容量を確保することを標準とする。また、設置間隔は50mを標準とし、扱いが簡単な構造とする。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説、P.50～56、令和元年9月、(公社)日本道路協会を参照のこと。

(4) 避難誘導設備

① 誘導表示板設備

出口又は避難通路までの距離や方向、位置等の情報を表示することを標準として、適切な視認性を確保するものとし、設置間隔は、トンネル延長、避難通路の有無等を考慮して定める。

② 避難情報提供設備

道路管理者等からトンネル内の利用者に任意の情報提供が可能な方式でかつ車内及び車外への情報提供を考慮する。

③ 避難通路

道路トンネルに接続し、トンネル延長、交通方式、排煙設備の有無、利用者の安全性等を考慮して設置され、当該トンネルの外へ直接通じている構造とする。

④ 排煙設備

常時の換気方式、交通方式、縦断線形等を考慮し、トンネル内の煙をトンネル外へ排出又は煙の拡散を抑制させる十分な排煙能力を有するものとする。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説、P.57～68、令和元年9月、(公社)日本道路協会を参照のこと。

(5) その他の設備

トンネル等級が「AA」または「A」の場合には、国土交通省（中部地方整備局 道路設計要領等）及び各高速道路会社の設計基準等を参考に設計を行うこと。

① 給水栓設備（給水栓）

口径は65mm、放水量は400L/min、放水圧力は0.29MPaを標準とし、水源は消火栓2個同時に40分程度放水できる容量を確保することを標準とする。また、トンネル両坑口付近に設置することを標準として必要に応じてトンネル内非常停車帯又は避難通路の入り口付近にも設置する。

② 給水栓設備（送水口）

道路管理者等からトンネル内の利用者に任意の情報提供が可能な方式でかつ車内及び車外への情報提供を考慮する。

③ 無線通信補助設備

漏洩同軸ケーブル等及びこれに付帯する装置で構成する。

④ 水噴霧設備

放水制御方式は、トンネル延長、トンネル構造、換気方式等を考慮して定め、放水区間は50m以上、放水量は6L/min・m²を標準とし、水源は40分程度放水できる容量を確保することを標準とする。

⑤ 監視装置

トンネル内全線及び坑口付近を監視できるものとする。

詳細は、道路トンネル非常用施設設置基準・同解説、P.69～76、令和元年9月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

3.12.4 配管・配線設計

配管・配線設計は、「電気通信施設設計要領・同解説（電気編）、平成20年9月、P.5-23～24」を参考に設計すること。

3.13 トンネル維持管理

トンネル維持管理については、「道路トンネル維持管理便覧、R2.9、（公社）日本道路協会」を参考にを行うものとする。

4. 施工計画

4.1 施工計画の注意点

施工にあたっては、設計図書、工事規模、工期、地山条件、立地条件等に適合した施工計画を立てなければならない。

トンネルの施工計画に際しては、下表の主な注意点に対する十分な配慮が必要である。

詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.179、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

表 4.1 施工計画の注意点

項目	内容
トンネル内の換気	<ul style="list-style-type: none"> ・爆破の後ガス・内燃機関の排出ガス・粉じんなどによる坑内空気の汚れに対し、作業環境および作業員の安全衛生を確保するために換気設備を設けなければならない ・新鮮空気を供給あるいは汚染空気を排出して、有害ガスなどの濃度を希釈させる方式を採用する ・粉じんの対策にあたっては、「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」（平成12年12月26日 労働省労働基準局長通達）（以下「粉じんガイドライン」と称する）に従い実施する
騒音・振動対策	<ul style="list-style-type: none"> ・主として民家付近でのトンネルの爆破掘削や人家に近接した坑外設備、市街地内のずりなどの運搬などが問題となる ・爆破掘削については、発破時間の規制、防音扉の設置など、坑外設備については周辺の環境を考慮した諸設備の配置や騒音の多く発生する機械の防音覆い、遮音壁の設置などの配慮が必要
汚濁対策	<ul style="list-style-type: none"> ・坑内湧水やバッチャープラントなどの設備などからの汚濁水対策として、通常、沈殿槽による沈殿、薬品の添加などによる浄化および中和処理などが行われている ・汚濁対策の設置などにあたっては、定められた環境基準を満足するようにあらかじめ適切な設備と規模を検討することが必要
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・接着系ボルトの使用にあたっての留意事項については、「接着系ボルトの使用にあたっ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）を基に以下のとおり取りまとめたので、これによるものとする。

【適用】道路設計要領（設計編）P.7-63 平成26年3月、国土交通省中部地方整備局
 詳細は、道路トンネル技術基準（構造編）・同解説、P.182～185、平成15年11月、（公社）日本道路協会を参照のこと。

5. トンネル実績

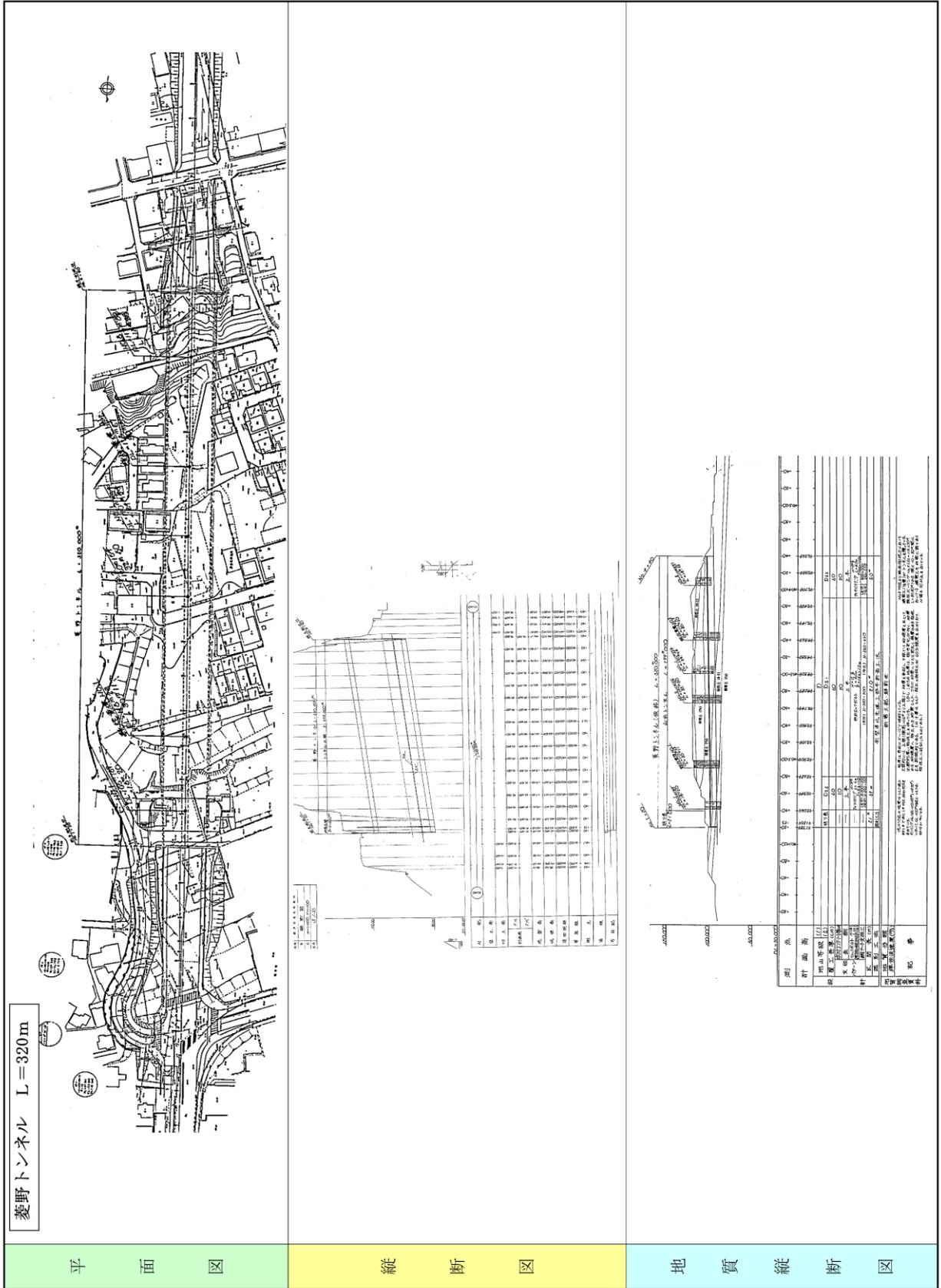
菱野トンネル トンネル調査

トンネル調査

路線名	3・4・25 菱野線	
位置	愛知県瀬戸市見付町及び水無瀬町地内	
トンネル名	菱野トンネル L=320m	
道路規格	第4種第1級	設計速度 V=60km/h
交通運用形態	1方向2車線交通	
計画交通量	台/日 (H 推定交通量) 大型車混入率 %	
幅員構成		
曲線半径	R=∞	
横断勾配	下り線・左下がり: 1.5%, 上り線・左上がり 1.5%	
縦断勾配	下り線: 1.4% 上り線: 1.4%	
地山等級区分	Ds-1	合計
及び延び	210.0m	320.0m
土被り	最大: 約20m (No. 3+60付近)	
内空断面積	<ul style="list-style-type: none"> 内空断面積 = ㎡ 内空形状 (R₁=5,500m, R₂=11,000m) 三心円、上下線共通 	
掘削工法	掘削区分 D ———— 側壁溝坑先達上部半断面工法	
掘削方式	機械工法(新第三紀蘇新世瀬戸層群のシルト層、砂層及び砂礫層)	
舗装の種類	連続鉄筋コンクリート舗装	コンクリート舗装 路盤
非常駐車帯の設置	なし	
監査廊の設置	走行側は赤道(H=250mm)とし幅2.00mを確保、追越側は藍道(幅(W)0.75m)を確保。	
内装の設置	なし	
換気	自然換気(上り線・下り線とも)	
補足	工事工程計画: 35.41ヶ月 導坑: 中央、上り線、下り線 支保工: Ds-1断面のロックボルトは約30°の斜め打設 補助工法等: 山岳トンネル区間は上下線の各トンネル中心間の間に薬液注入工、No.1+60~No.3+000間の中央導坑は下向きロックボルト打設 計測工B: 鋼アーチ支保工応力測定、地表沈下測定	

断面図	(1)標高部	
	(2)明り巻部	

非常用施設 (トンネル等級B)	非常電話 ・押しボタンの通報装置 ・非常電話案内板	
	始点側坑口 (No.1+20m) (坑口背面切土無し)	終点側坑口 (No.4+40m) (坑口背面切土1段(上り線側にL1.0土羽))
坑門工	突出型 (突出+ウイング式) (No.1+30mの位置に土留めウイングあり)	面壁型 (ウイング式)
	縦断勾配: 起点側へ-1.4%	始点側からの施工 (片押し施工)



岩谷トンネル トンネル調査

トンネル調査

路線名	一般国道 473号線 設楽バイパス	
位置	愛知県北設楽郡設楽町和市、荒尾、平山地区内	
トンネル名	岩谷トンネル L=1,287m	
道路規格	第3種第3級	設計速度 V=50km/h
交通運用形態	対面交通2車線	
計画交通量	2,068台/日 (H18投資効果調査業務委託より) 大型車混入率 14.7%(304台/日)(H15年度環境調査委託業務より)	
幅員構成		
曲線半径	R=∞~R=1000~R=∞~R=600~A=600 (起点側より) 半径分配1.5%~左土がり2.0% 3.0%	
縦断勾配	3.0%	
地山等級区分及び延長	C I	D I
土被り	502.0m	131.0m
内空断面積	576.0m	78.0m
掘削工法	最大：約20m (No.3+60付近) ・ 内空断面積=63.368m ² ・ 内空形状 (R ₁ =6,250m, R ₂ =4,400m) 上半三心円 発破方式補助ベンチ付全断面工法	
掘削方式	終点側C II-b, D I-B(E), D IIIa (K)-機械方式上半先連ベンチカット工法	
舗装の種類	普通コンクリート舗装	コンクリート舗装 路盤
非常駐車帯の設置	あり	t=20cm t=15cm
監査庫の設置	トンネル左側は歩道 (H=250mmドッグ) とし幅2,000mmを確保、右側は監査路 (幅(W)0.75m) を確保。	
内装の設置	なし	
換気	自然換気	
補足	工事工程計画：31.16ヶ月 補助工法等：特になし 非常駐車帯：2箇所 (No.57+0, No.67+13)	

断面図	(1) 標準部		
	(2) 非常駐車帯部		
非常用施設 (トンネル等級B)	非常電話	誘導表示板	
	押しボタン通報装置	非常電話案内板	
坑門工式	位置	起点側坑口 (No.30+30m) (坑口背面切土1:1.0)	終点側坑口 (No.94+10m) (坑口背面切土1:1.0)
	型式	面壁型 (ウイング式)	面壁型 (ウイング式)
施工方向	施工	終点側からの施工 (片押し施工)	
	向	縦断勾配：起点側→3.0%	

