

第10章 トンネル工

目 次

第10章 トンネル工

10-1	総 則	10-1
10-1-1	適用の範囲	10-1
10-1-2	参考図書	10-1
10-1-3	用語の定義	10-2
10-1-4	主なトンネル工法	10-4
10-2	調査・設計・施工のフロー	10-5
10-3	トンネル建設に伴う権原の取得に関する取扱い基準	10-6
10-4	設計手法	10-7
10-4-1	設計手法の選定	10-7
10-4-2	トンネル内空断面	10-8
10-4-3	支保構造	10-10
10-4-4	トンネル坑口部	10-12
10-5	諸施設・設備	10-13
10-5-1	換気施設	10-13
10-5-2	非常用施設	10-15
10-6	トンネル修繕	10-16
10-6-1	トンネルの特性と留意点	10-16
10-6-2	変状の項目	10-16
10-6-3	覆工の異常原因と補修方法	10-17

第10章 トンネル工

10-1 総 則

10-1-1 適用の範囲

本章は、NATMを標準工法とした内空幅 14m程度までの山岳道路トンネルにおける計画・調査・設計・施工に適用する。

トンネルは、その目的に適合し、安全かつ経済的に建設されなければならない。本章は、道路、鉄道、水路等のトンネルのうち、基本的に山岳道路トンネルに関する技術上の標準を示すものである。トンネル工事は、四囲の条件の多様なことや、現段階では理論的に不明な点も多いこと等から、トンネルの計画、調査、設計、施工を行うに当たっては、十分に参考図書として提案されている要領、基準の真意を理解するとともに、その適用と判断を誤ることのないよう努めなければならない。

10-1-2 参考図書

(調査)

- ア) 山岳トンネル工法の調査・設計から施工まで (平成30年3月) (公社)地盤工学会
- イ) トンネルの地質調査と岩盤計測 (昭和58年11月) (公社)土木学会
- ウ) トンネルにおける調査計測の評価と利用 (昭和62年9月) (公社)土木学会

(設計)

- ア) 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
- イ) 道路トンネル技術基準(換気編)・同解説(平成20年改訂版) (平成20年10月) (公社)日本道路協会
- ウ) 2016年制定トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説(平成28年8月) (公社)土木学会
- エ) 山岳トンネル工法における防水工指針 (平成8年2月) (一社)日本トンネル技術協会
- オ) トンネル照明設計指針 (平成2年3月) 道路照明研究委員会
- カ) トンネルの吹付コンクリート (平成8年2月) (一社)日本トンネル技術協会
- キ) トンネルライブラリー 山岳トンネルの補助工法(平成21年9月) (公社)土木学会
- ク) トンネル坑口部等の岩盤崩落対策の考え方 (平成8年5月) (財)道路保全技術センター
- ケ) 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
- コ) 道路構造令の運用と解説 (平成27年6月) (公社)日本道路協会

(施工)

- ア) 道路トンネル安全施工技術指針 (平成8年10月) (公社)日本道路協会
- イ) 道路トンネル観察・計測指針(平成21年改訂版) (平成21年2月) (公社)日本道路協会
- ウ) トンネル工事における標準的仮設備 (平成6年11月) (一社)日本トンネル技術協会
- エ) 既設トンネル近接施工対策マニュアル (平成8年9月) (公財)鉄道総合技術研究所
- オ) トンネル工事用機械便覧(山岳編) (平成8年2月) (一社)日本トンネル技術協会
- カ) トンネルコンクリート施工指針(案) (平成12年7月) (公社)土木学会

(管理)

- ア) 道路トンネル維持管理便覧【本体工編】 (平成27年6月) (公社)日本道路協会
- イ) 道路トンネル非常用設備標準仕様書・同解説(案) (昭和60年7月) (一社)建設電気技術協会
- ウ) トンネルの変状と保守 (昭和52年4月) (株)土木工学社
- エ) トンネルの変状メカニズム (平成15年9月) (公社)土木学会
- オ) 山岳トンネル覆工の現状と対策 (平成14年9月) (公社)土木学会

10-1-3 用語の定義

(1) 一般

以下は、「2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説」〈1.2 用語の定義〉より抜粋

1) 山岳工法

掘削から支保工の構築完了までの間、切羽付近の地山が自立することを前提として、発破、機械または人力により掘削し、支保工を構築することにより内部空間を保ちながら、トンネルを建設する工法。

2) 都市部山岳工法

都市部の未固結地山に山岳工法を用いてトンネルを建設する工法。

3) 都市部

都市および都市近郊において、住宅等の構造物が周囲にあり、トンネルの掘削が周辺に与える影響に対し、沈下量に対する制限、地下水位低下に対する制限等の一定の制約のある地誠をいう。将来的に都市化され、トンネルへの近接施工が考えられるような地域もこれに含む。

4) 地山

トンネル周辺の地盤の総称で、不連続雨と空隙、改良された地盤等を含む。

5) 地山条件

トンネル周辺地山の地形、地質、水文条件をいう。

6) 地山分類

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をいう。地山評価の一手法で、地山区分とも呼ばれる。また、評価、分類の基準としては一般に地山等級が用いられる。

7) 地山等級

地山分類により、地山をその性状によって何階級かに分けたものをいう。

8) 立地条件

施工現場付近の自然、社会、生活環境条件等の総称。

9) 当初設計

施工が始まる前段階の計画、調査に基づいて設定された設計をいう。

10) 修正設計

施工段階で実権する観察・計測等の結果に基づき、当初設計を見直し、修正された設計をいう。

11) 土被り

トンネル天端より上方の地山をいう。また、トンネル天端から地表面までの距離のことを意味する場合もある。

12) 防水型トンネル

完成後に原則として地下水を遮断し、トンネル抗内に流入させないトンネルをいう。覆工等の設計では水圧の作用を考慮する。

13) 掘削工法

掘削断面の分割方法によって決まる施工法であり、全断面工法主、ベンチカット工法、中壁分割工法等がある。分割掘削の場合の断面分割法を加背割という。

14) 掘削方式

トンネル掘削方法による分類で、発破、機械、人力掘削方式等があり、岩盤の強度等で適用方式が分類される。

15) 切羽

トンネルの掘削および支保作業を行っている最前線近傍をいう。

16) 支保工

トンネル周辺地山の変形を抑制して安定を確保するための手段、処置およびその成果としての構造物をいう。標準的な山岳工法では、吹付けコンクリート、ロックボルト、銅製支保工等を支保部材として

用いる。

17) 覆工

トンネルとしての必要な形状および機能を与え、長期安定性を保持する手段、処置およびその成果としての構造物をいう。

18) インバート

底盤に設置される逆アーチ状の構造物をいう。おもに支保工や覆工と一体となって地山の変形を拘束し、トンネルの長期安定性を保持する機能を有する。

19) 補助工法

トンネル掘削に際し、主として不安定化しやすい切羽面および切羽周辺地山の安定を図るための手段、ならびに周辺環境等の保全を目的とした対策手段の総称。

20) 観察・計測

トンネル構造物の安定性と安全性を確認するとともに、設計、施工の妥当性を評価することを目的とし、トンネル掘削に伴う周辺地山の挙動、支保部材の効果、周辺構造物への影響等を把握するため、これらを注意深く見て変位等を測ることをいう。

21) 管理基準

設計、施工の妥当性を判断することを目的として定めた、観察・計測の結果を評価するための指標をいう。

22) 早期閉合

掘削後早期に吹付けコンクリートあるいは必要に応じて鋼製支保工等を併用したインバートを施工することをいう。

10-1-4 主なトンネル工法

トンネルは掘削ないし内空断面に比べて延長の大きな地下構造物で、縦断勾配が15%以下のものをいうが、表10-2に特殊な工法（ケーソン工法や沈埋トンネル工法等）を除いた主なトンネル工法に関して、適用地質や地下水対策、断面形状、線形、周辺環境への影響等の項目についての特徴を比較したものを示す。

表 10-1 主なトンネル工法の相互比較

比較項目	山岳工法	シールド工法	開削工法
工法概要	トンネル周辺地山の支保機能を有効に活用し、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等により地山の安定を確保して掘進する工法である。 周辺地山のグラウンドアーチが形成されること、および掘削時の切羽の自立が前提となり、それらが確保されない場合には補助工法が必要となる。	泥土あるいは泥水で切羽の土圧に対抗して切羽の安定を図りながら、シールドを掘進させ、セグメントを組み立てて地山を保持し、トンネルを構築する工法である。	地表面から土留め工を施しながら掘削を行い、所定の位置に構造物を築造して、その上部を埋戻し地表面を復旧する工法である。
適用地質 〔標準的な実績、地山条件等の変化への対応性〕	一般的には、硬岩から新第三紀の軟岩までの地盤に適用される。条件によっては、未固結地山にも適用される。 地質の変化には、支保工、掘削工法、補助工法の変更により対応可能である。	一般的には、超軟弱な沖積層から、洪積層や、新第三紀の軟岩までの地盤に適用される。 地質の変化への対応は比較的容易である。また、硬岩に対する事例もある。	基本的に地質による制限はない。地質の変化への対応は、各種地質に適応した土留め工、補助工法等を選定する。
地下水対策 〔切羽の安定性、掘削面の安定性〕	掘削時の切羽の安定性、地山の安定性に影響するような湧水がある場合には、地盤注入等による止水、ディープウェル、ウェルポイント、水抜きトンネル等による補助工法が必要となる。	密閉型シールドでは、発進部および到達部を除いて一般には補助工法を必要としない。	ボーリングや盤膨れの対策として、土留め壁の根入れを深くしたり、地下水位低下工法や地盤改良等の補助工法が必要となる場合が多い。
トンネル深度 〔最小土被り、最大深度〕	未固結地山では、土被り/トンネル直径比(H/D)が小さい場合(2未満程度)には、天端沈下量を抑制する有効な補助工法が必要となる。 我が国の山岳部では約1,200mの深度で適用した例がある。	最小土被りは、一般には1.0D～1.5D(D:シールド外径)といわれている。これまでの実績では0.5D以下の事例もあるが、地表面沈下やトンネルの浮上りなどの検討が必要となり、地下埋設物についても十分な調査が必要となる。 最大深度は岩盤で約200m(水圧0.69MPa)の実績があるが、砂質土等の未固結地盤では最大水圧1MPa以下の実績が多い。	施工上、最小土被りによる制限はない。 最大掘削深度は、40m程度の実績が多いが、それ以上となる大深度の施工実績も少しずつ増えている。
断面形状	掘削断面天端部にアーチ形状を有することを原則とする。その限りでは、かなりの程度まで自由な断面で施工可能であり、施工途中での断面形状の変更も可能である。	円形が標準である、特殊シールドを用いて複円形、楕円形、短形等も可能。 複数の断面を組み合わせ、大断面のトンネルを構築する施工法もある。 施工途中での断面形状の変更は、一般には困難である。	矩形断面が一般的であるが、複雑な形状にも対応できる。
断面の大きさ 〔最大断面積、変化への対応〕	一般的には150㎡程度までの事例が多く、370㎡程度の実績もある。 支保工や掘削工法の変更により、施工途中での断面積変更が可能である。	トンネル外径の実績は、最大で17m程度である。 施工途中で外径の変更は一般には困難であるが、径を拡大あるいは縮小する工法の実績もある。	断面の大きさおよびその変化に対して、施工上からの制限は特にない。ただし、断面が変化する隅角部は、十分な補強を行う必要がある。
線形 (急曲線への対応)	施工上の制約はほとんどない。	曲線半径とシールド外径の比が3～5程度の急曲線の実績がある。	施工上の制約はない。
周辺環境への影響 〔近接施工、路上交通騒音や振動〕	近接施工の場合は、補助工法が必要である。山岳部では湧水に留意し、都市部では掘削や水位低下に伴う地表面沈下に留意が必要である。 路上交通への影響は、立坑部を除き、一般に少ない。 騒音や振動は、坑口付近に限定され、一般に防音壁、防音ハウス等で対応している。	近接施工の場合は、近接の度合いにより補助工法や既設構造物の補強を必要とすることもある。 路上交通への影響は、立坑部を除き、きわめて少ない。 騒音、振動は、一般には立坑付近に限定され、防音壁、防音ハウス等で対応している。	近接施工の場合は、土留め工の剛性の増大を図るとともに、近接度合いにより補助工法を用いることもある。 施工区間に作業帯を常時設置するため、路上交通への影響は大きい。 騒音や振動は、各施工段階において対策が必要であり、低騒音、低振動の工法や低騒音、低振動建設機械の採用、防音壁等で対応している。

出典：土木学会「2016年制定 トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説(平成28年8月)」P5解説表1.1.2

10-2 調査・設計・施工のフロー

トンネル建設では、その計画から維持管理に至るまで、適時必要な調査を実施していくことになるが、「図 10-1 トンネル調査のフロー」に各段階において取得すべき地山状況等の調査情報を示す。

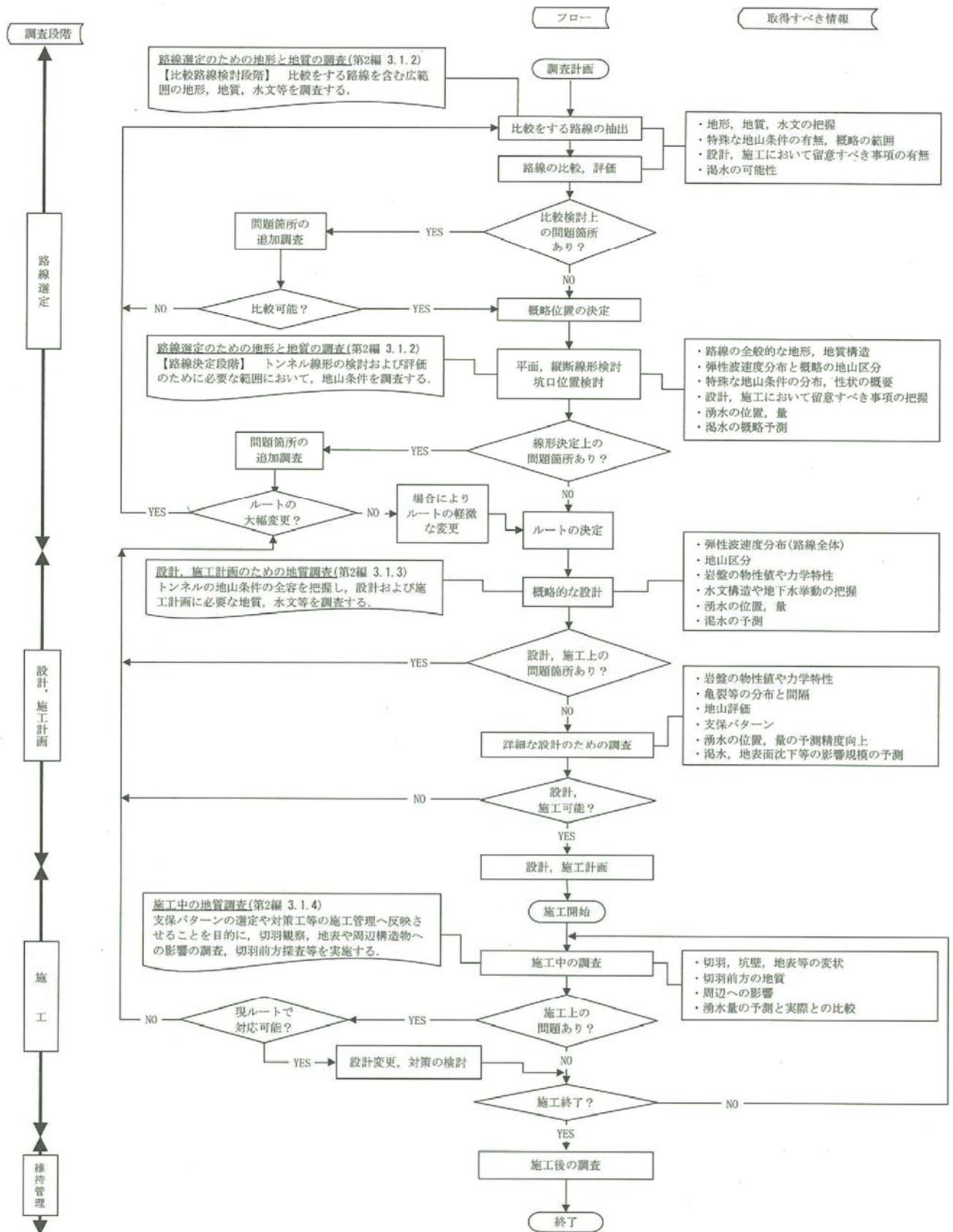


図 10-1 トンネル調査のフロー

出典：土木学会「2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成28年8月)」P22 解説図 2.3.1

10-3 トンネル建設に伴う権原の取得に関する取扱い基準（平成6年4月道路建設課長通知抜粋）

トンネルの存する地理的、地形的条件から、将来宅地化等の土地利用形態の変更により、トンネルの維持管理に支障をきたす場合が想定されるので、道路管理者は、管理上必要と認められるトンネル上部の一定の範囲内について、区分地上権を設定する等、何らかの権原を取得する必要がある。このため、トンネル建設に伴う権原の取得に関する取扱い基準（以下「基準」という。）を定め、適正なトンネル構造物の維持管理に資するものである。

(1) 適用範囲

本基準は、道路事業におけるトンネル構造物を建設する場合に適用するものとする。なお、道路法47条の5に定める、立体道路については、適用しないものとする。

(2) 権原取得の基本的考え方

1) 土地所有権の取得

トンネル頂上部からの土被り10m（ロックボルト長+5mの保護層）以下の区域及び土質、工法等により土地取得が妥当と認められる区域。

2) 区分地上権の設定

建物利用または地下利用が阻害されるものと予想されるトンネル頂上部からの土被り10m以上から土被り40m以下の区域。なお、限界深度は、地下利用の状況、地質、地表面荷重の影響度等を考慮し、40mと設定する。

3) 起工承諾によるもの

前記1)、2)以外の限界深度以上の区域については、原則として起工承諾を得るものとする。

(3) 権原取得の設定幅

トンネル幅に、左右各々ロックボルト長と0.5mの保護幅を加えた幅とする。

l_1 : 所有権取得

l_2 : 地上権設定

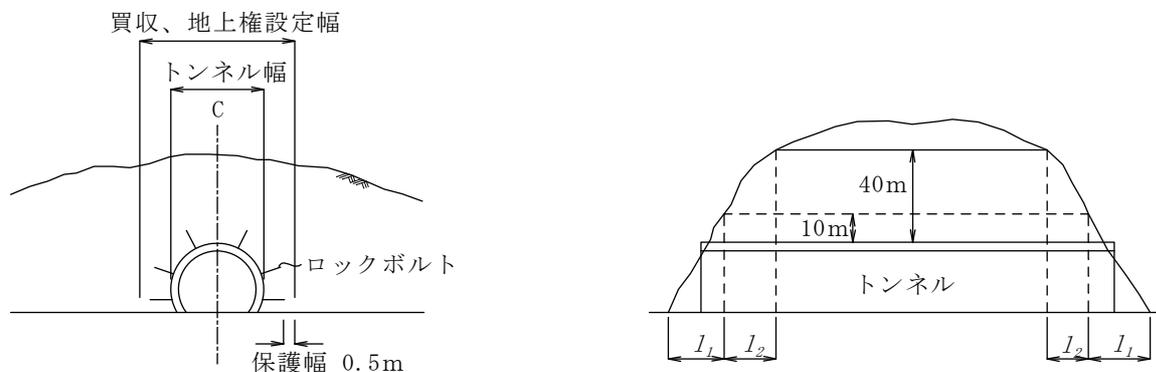


図 10-2 権原取得の設定幅

10-4 設計手法

10-4-1 設計手法の選定

トンネル掘削が計画されている地山は、事前調査における岩種と弾性波速度の組み合わせ、RQD、地山強度比などを指標とし、さらに岩質状態や不連続面の状態をも加味して評価される。そして、地山条件及び設計条件が「一般的」と判定される場合は、当初設計として地山評価区分に応じた標準設計（支保パターン）を適用する。しかしながら、「特殊」な場合は標準設計の適用対象外となる。（下表 10-3 参照）

表 10-2 当初設計における設計手法の選定

設計条件 地山条件	一般的な場合	特殊な場合（断面が著しく大または小、めがねトンネル、他の構造物と近接している場合など）
	一般的な場合	標準設計の適用
特殊な場合 （膨張性地山、土被りが非常に小さい場合など）		類似条件の設計または解析手法による設計の適用

出典：地盤工学会「山岳トンネル工法の調査・設計から施工まで（平成 30 年 3 月）」P47 表-3.1
また、図 10-3 に、当初設計のフローを示す。

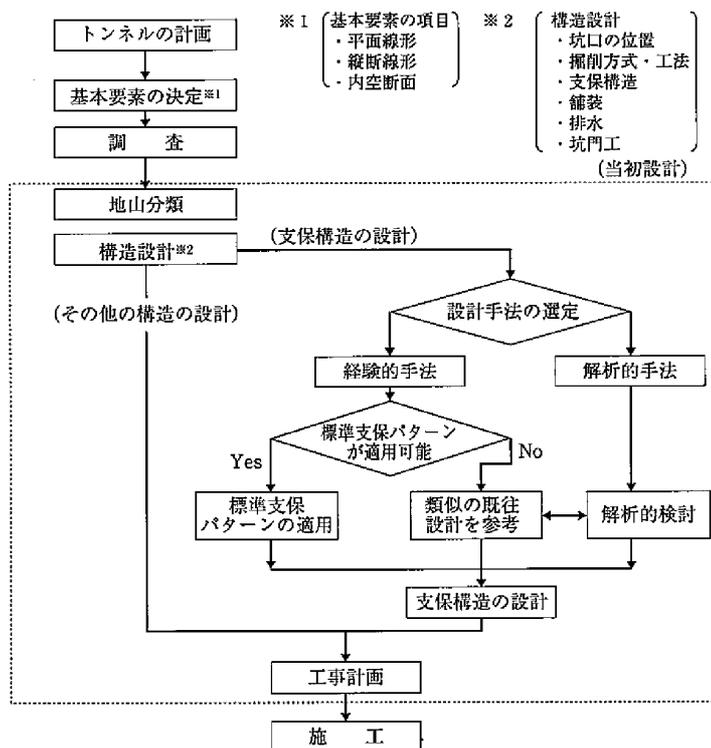


図 10-3 トンネル構造の設計と施工の流れ

出典：日本道路協会「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（平成 15 年 11 月）」P75 図 3.1.1

なお、『2016 年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説』においても、設計手法や設計の手順（フロー）が記載されているので、同図書の〔第 3 編 第 2 章 2.1.2~2.1.4〕を参照のこと。

< 施工中における変更 >

施工中の観察・計測結果によっては、当初設計を見直して、地山状況に適合した支保構造の設計となるよう、必要な場合、修正又は変更することもある。

10-4-2 トンネル内空断面

道路トンネルの内空断面は、道路構造令に定められている所要の建築限界および換気施設、その他の必要な断面を包含したものとする必要がある。

したがって、内空断面は道路規格が決定されれば、主として換気施設の必要性の有無、および非常用施設や諸機器の有無、そして保守点検用の監査通路の有無などにより、各々の必要空間を車道空間に付加して、その大きさと形状を決定する。

また、舗装のオーバーレイや覆工の施工誤差などの余裕幅も考慮しておかなければならない。

以下に、『2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説』の〔第2編 第2章 2.1.3〕に記述されている内空断面を決める際の留意点を引用する。

“トンネルの内空断面は、トンネルの安定性および施工性を十分考慮して効率的な断面形状とする必要がある。

一般には、アーチおよび側壁部は三心円または五心円として覆工の曲率が急激に変化しないようにするとともに、極端に偏平な断面形状とならないように配慮する必要がある。

また、インバートを設置する場合は、これが側壁と滑らかに連結されるよう設計する必要がある。”

<トンネル断面の大きさと形状>

表 10-3 断面区分

項目 \ 区分	通常断面	大断面	小断面
内空幅 (m)	8.5~12.5程度	12.5~14.0程度	3.0~5.0程度
内空形状	一般的に 上半単心円断面	一般的に 上半三心円断面	一般的に 上半単心円 側壁部鉛直断面
内空縦横比	概ね0.6以上	概ね0.57以上	概ね0.8以上
内空断面積 (m ²) (参考値)	40~80程度	80~100程度	8~16程度

出典：日本道路協会「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（平成15年11月）」P94表-3.3.1

次に、「歩道無し道路トンネル断面」と「歩道付き道路トンネル断面」の例を示す。

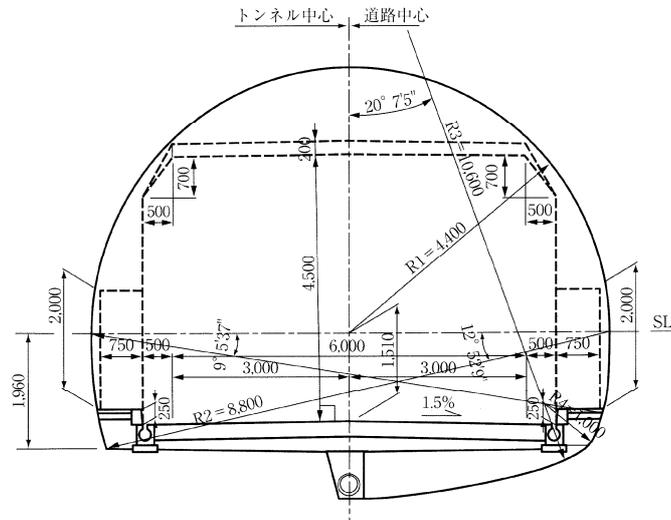


図 10-4 歩道無し道路トンネル断面の例

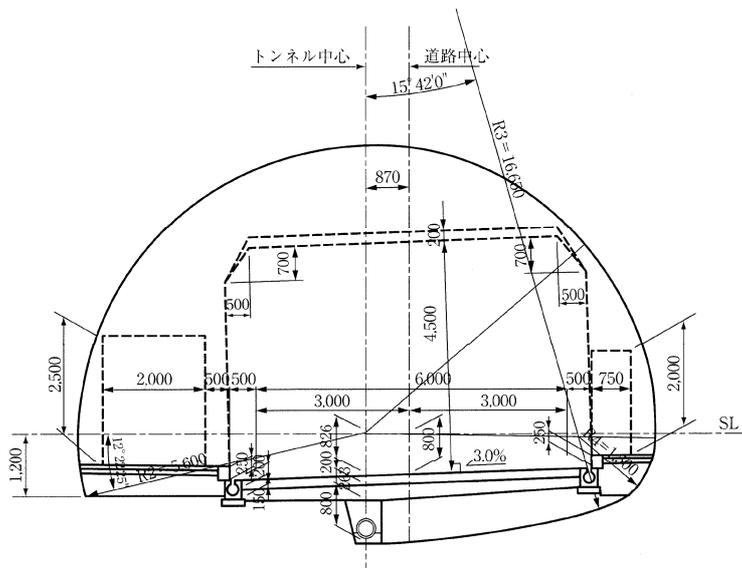


図 10-5 歩道付道路トンネル断面の例

出典：日本道路協会「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（平成 15 年 11 月）」P93 図 3.3.2

10-4-3 支保構造

1) 地山等級と支保パターン

トンネル標準示方書〔山岳工法編〕の〔第 2 編 付表 3〕では高速道路トンネルで用いられている地山等級が示されている。また、一般の道路トンネルにおいて用いられているほぼ同様な地山分類表が『道路トンネル技術基準(構造編)・同解説』の〔第 3 編 1-2〕に記載されている。したがって、これらを参考に地山等級区分を行い、地山状況に応じた支保パターンを設定する。

2) 標準的な支保パターン

表 10-4 道路トンネル(中断面)の標準的な支保パターンの例

(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	標準一掘進長 (m)	ロックボルト				鋼製支保工			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 部半断 面工法
C I	C I	1.5	3.0	1.5	1.5	上半	—	—	—	10	30	(40)	0	
C II	C II-a	1.2	3.0	1.5	1.2	上、下 半	—	—	—	10	30	(40)	0	
	C II-b						H-125	—	1.2					
D I	D I-a	1.0	3.0	1.2	1.0	上、下 半	H-125	H-125	1.0	15	30	45	0	
	D I-b		4.0											
D II	D II	1.0以下	4.0	1.2	1.0以下	上、下 半	H-150	H-150	1.0 以下	20	30	50	10	

注1) 支保パターンのa, bの区分は、地山等級がC II, D I の場合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、第三紀の泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の粘土化しやすい岩、および風化した結晶片岩、温泉余土等の場合は()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、下半部の吹付け厚を参考に個々に決定するものとする。また、吹付けコンクリートによるインバートはインバート厚さに含めることができるが、現場打ちコンクリートによるインバート部分の厚さがアーチ、側壁の覆工コンクリート厚さを下回ってはならない。
 ③ 地山等級がD I であっても、下半部に堅岩が現れるなど岩の長期的支持力が十分であり、側圧による押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
 ① 地山等級がD I においては、一般に上半部に設置する。なお、D II においては、上、下半部に設置するのが通例である。
 ② 鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)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
 地山等級がD II においては、上部半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差がないため上、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) 地山等級A, E については、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。

注6) 通常断面の適用範囲であっても、大断面との境界付近で上半三心円等の扁平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

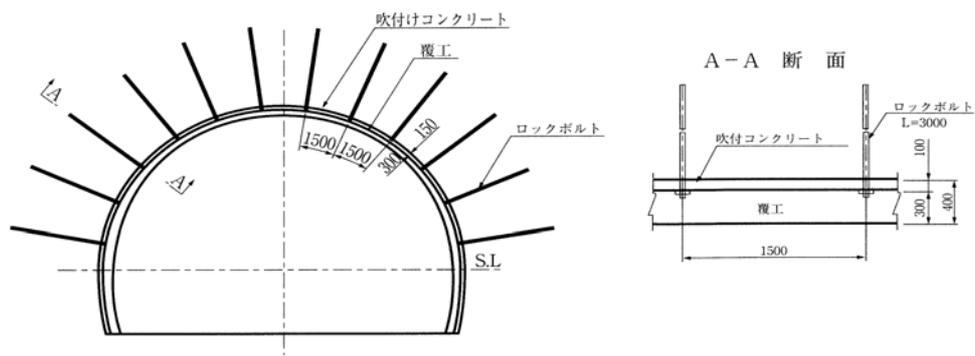
出典：土木学会「2016年制定 トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説(平成28年8月)」P76 解説表 3.3.4

上表の例は“通常断面トンネル(中断面) 内空幅 8.5~12.5m程度”のものであるが、
 大断面トンネル(大断面) 内空幅 12.5~14.0m程度
 小断面トンネル(小断面) 内空幅 3.0~5.0m程度

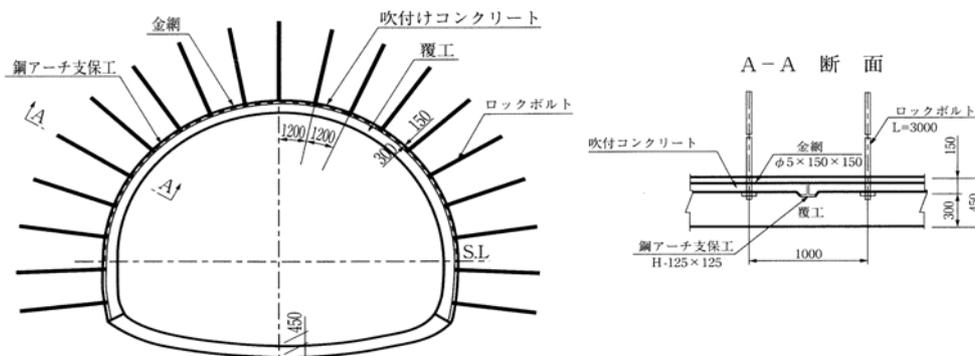
についても、各々の標準的な支保パターンの例が示されている。(上記のトンネル標準示方書〔第 3 編 解説表 3.3.3~3.3.5〕参照)

また、トンネル坑口部の標準的な支保パターンの例として、通常断面トンネル(中断面)内空幅 8.5~12.5m程度のもものが〔第 3 編 解説表 3.3.8〕に、大断面トンネル(大断面)内空幅 12.5~14.0m程度のもものが〔同 3.3.9〕に示されている。(内空幅 3.0~5.0m程度の小断面トンネルのものは道路トンネル技術基準(構造編)の〔第 3 編 6-1〕参照)

次に、通常断面トンネルの支保構造の例を示す。



(a) 支保パターンC I の支保構造例



(b) 支保パターンD I-aの支保構造例

図 10-6 通常断面トンネルの支保構造例

出典：日本道路協会「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説（平成 15 年 11 月）」P128 図-3.4.10

10-4-4 トンネル坑口部

(1) トンネル坑口部の範囲

坑口部とは、土被りが小さく、グラウンドアーチが形成されにくい範囲を目安にするが、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ものとする。

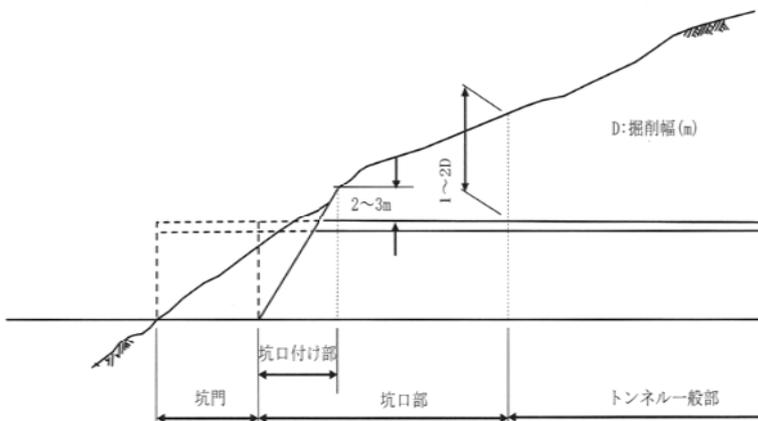


図 10-7 標準的な坑口部の範囲

出典：土木学会「2016年制定 トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成28年8月)」P122 解説 図 3.7.1

(2) 坑口部における問題点と対策

表 10-5 坑口部の設計において予想される問題点と対策

問題点	問題点						記 事
	斜面崩壊	地すべり	偏 圧	地耐力不足	切羽崩壊	地表面沈下	
主な対策							
のり面防護工	○	○	—	—	—	—	
擁壁	○	○	○	○	—	—	抱き擁壁
切土・押え盛土	○	○	○	—	—	—	ソイルセメント
垂直縫地	○	○	○	—	○	○	
抑止工	○	○	—	—	—	—	抑止杭, グラウンドアンカー
水抜き工	○	○	—	—	○	—	ウェルポイント, 水抜きボーリング, ディープウェル
地山注入	○	○	—	○	○	○	
先受け工	—	—	—	—	○	○	パイプルーフ, フォアボーリング, 長尺フォアバイリング, 水平ジェットグラウト, スリットコンクリート
鏡面の補強	—	—	—	—	○	○	鏡吹付けコンクリート, 鏡ボルト, 長尺鏡ボルト
脚部の補強	—	—	—	○	○	○	ウイングリップ付き鋼製支保工, 脚部補強ボルト, 脚部補強パイル, 仮インバート

○：一般に用いられる工法

出典：土木学会「山岳トンネル補助工法-2009年版(平成21年9月)」P35 表-2.3.9

10-5 諸施設・設備

10-5-1 換気施設

トンネル内の換気は、周辺の地形や気象条件によってトンネル内を吹き抜ける自然風、ならびにトンネル内を走行する自動車によって発生する交通風に伴う、坑口からの新鮮な空気によって行われる。

したがって、トンネル延長や交通量が増えると、滞留する排気ガスに対する所要換気量が多くなる。しかしながら、自然換気量は時間や季節によって変化する気象条件、さらに交通形態等による影響も大きく、自然換気の効果を定量的に求めることは困難である。よって、一般には機械換気の効果の必要性の有無はトンネル延長と交通量から経験的に判断している。

参考例として『道路トンネル技術基準（換気編）・同解説（平成20年10月）日本道路協会』に記載されているものを後の「(2)項」に示す。

なお、詳細については同図書の「3. 設計」を参照のこと。

(1) 時間交通量

年平均日交通量と時間交通量の関係は、下図に準拠する場合、時間交通量の順位（番目）を設定し、年平均日交通量に対する時間交通量の比率（%）を読み取る。

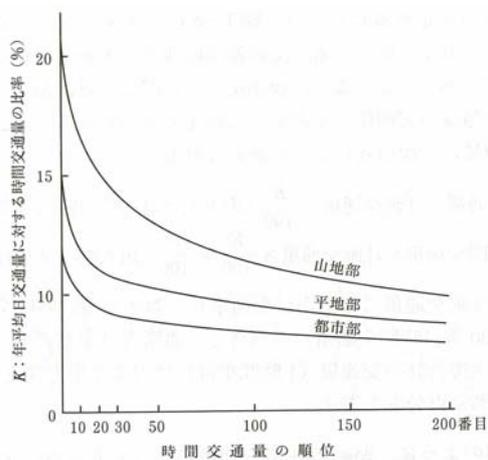


図 10-8 年平均日交通量と時間交通量との関係

出典：日本道路協会「道路構造令の解説と運用」（平成27年6月）P145 図1-5

(2) 換気施設の必要性

1) 対面通行トンネルの例

対面通行トンネルにおける交通喚起力は交通量および方向別の交通量の変動により時々刻々変化する。このため、期待する自然換気の効果を定量的に求めることは非常に難しい。

図 10-9 は、これまでの主な対面通行の道路トンネルについて機械換気の実態を調べ、トンネル延長と交通量との関係で示したものである。

この図によれば、機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度以上となっている。

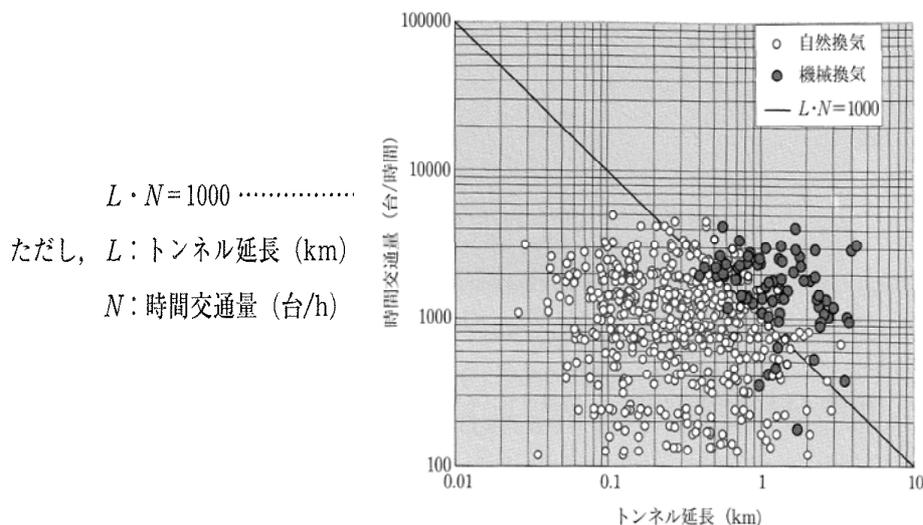


図 10-9 自然換気を目安 (対面通行トンネル)

2) 一方通行トンネルの例

一方通行トンネルの場合は、交通喚起の効果が一方向に作用するため、自然換気の限界は対面通行トンネルに比べて飛躍的に拡大される。図 10-10 はわが国の主な一方向トンネルにおける機械換気の実態を調べたものである。

この図によれば機械換気を行っているトンネルは次式で示される程度以上となっている。

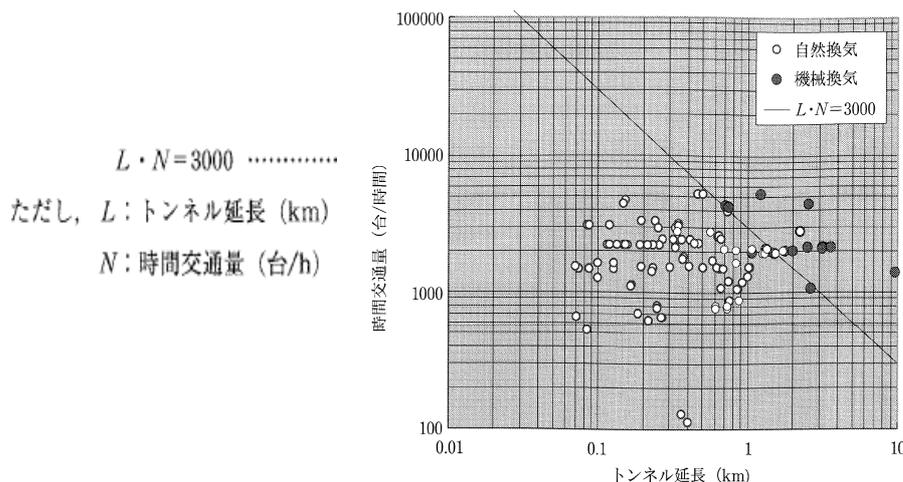


図 10-10 自然換気を目安 (一方通行トンネル)

出典：日本道路協会「道路トンネル技術基準 (換気編)・同解説 (平成 20 年 10 月)」P9 図-3.1

10-5-2 非常用施設

(1) トンネル等級

トンネル内の非常用施設は、トンネル延長と交通量によって定める。

すなわち、図10-11をもとにトンネルの等級区分を行い、トンネル等級に応じて、表10-6に示す施設を設置することを標準とする。

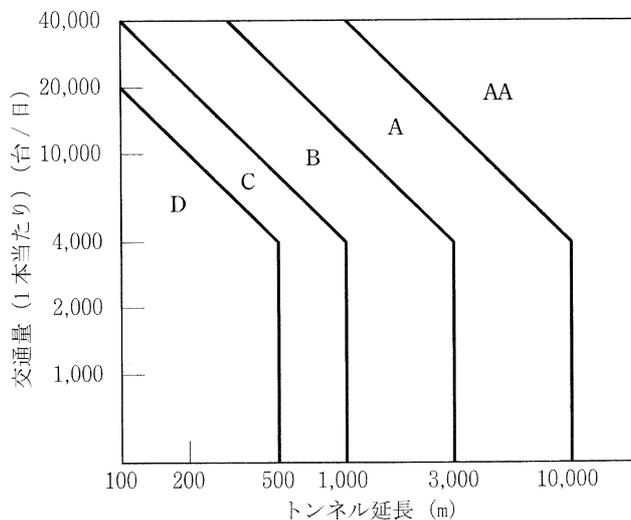


図 10-11 トンネルの等級区分

(2) 標準設置設備

トンネル等級別の非常用施設の標準は下表(10-7)の通り。

表 10-6 トンネルの等級別の非常用施設

非常用施設		等級				
		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「設置する」、△印は「必要に応じて設置する」ことを示す。

出典：日本道路協会「道路トンネル非常用施設設置基準・同解説(令和元年9月)」P16 表3.1

10-6 トンネル修繕

10-6-1 トンネルの特性と留意点

道路トンネルは、一般に地形の急峻な箇所にある場合が多く、通行が困難になった場合に適当な迂回路がなく、交通に与える影響が非常に大きい。このためトンネルの維持管理は、他の一般部以上にきめ細かい配慮が必要である。

また、換気、照明、非常用施設等の各種附属施設が設けられているが、より安全で快適な道路交通を確保し、道路サービスの安定的な提供を図るため、これらの施設を常に良好な状態に保つよう、定期的に点検する必要がある。

点検実施にあたっては、「埼玉県道路トンネル定期点検要領」（平成23年3月）、ならびに「道路トンネル定期点検要領（国土交通省 平成31年2月）」を参照のこと。

10-6-2 変状の項目

建設後のトンネルに発生する変状は、下記に示すような項目がある。これらの変状項目は、複数の項目が重複して発生している場合が多く、表面的な変状現象だけで原因を特定することは困難であるが、修繕計画に先だって、次項目を参考にされたい。

点検箇所	変状の種類
覆工	ひび割れ、段差
	うき、はく離、はく落
	傾き、沈下、変形
	打継目の目地切れ、段差
	漏水、つらら、側氷
	豆板やコールドジョイント部のうき、はく離、はく落
	補修材のうき、はく離、はく落
坑門	ひび割れ、段差
	うき、はく離、はく落
	傾き、沈下
	鉄筋の露出
	豆板やコールドジョイント部のうき、はく離、はく落
	補修材のうき、はく離、はく落
内装板	変形、破損
天井板	変形、破損
	ひび割れ、段差
	うき、はく離、はく落
	漏水、つらら
路面、路肩および排水施設	滞水、氷盤、沈砂
	ひび割れ、段差、変形

※埼玉県道路トンネル定期点検要領 表-解8.1.1

10-6-3 覆工の異常原因と補修方法

(1) 異常対策原因

- 1) 老朽によるもの
- 2) 偏圧によるもの
- 3) 膨張性地質あるいは支持力不足によるもの
- 4) 覆工背面の空隙によるもの
- 5) 漏水または凍害によるもの
- 6) 酸性水によるコンクリートの劣化
- 7) 近接工事の影響によるもの
- 8) 巻厚不足によるもの

以上のような原因に対して、対策工法としては、次項「(2) 補修方法」に示すようなものがある。また、変状の原因と区分および対策についての流れを「図10-12」に示す。

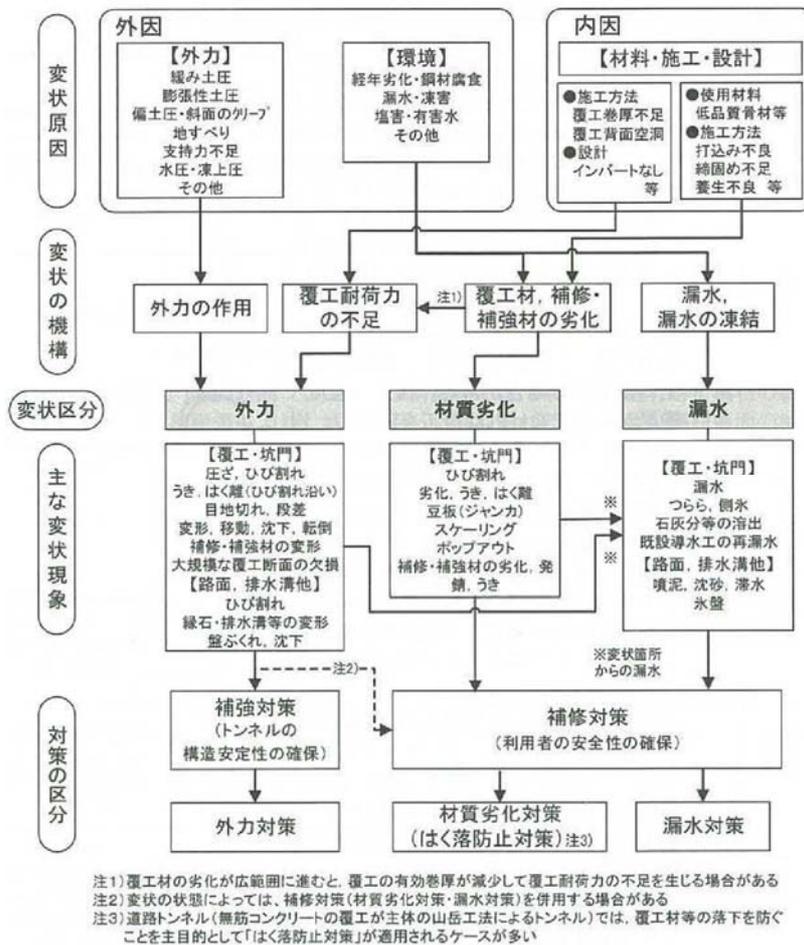


図 10-12 変状原因と変状区分および対策の区分との関係

出典：日本道路協会「道路トンネル維持管理便覧【本体工編】(平成27年6月)」P37 図-1.3.1

(2) 補修方法

1) 支保工による補強

これは覆工を支保工によって支持して補強するもので、覆工の老朽化が著しい場合、あるいはひび割れの程度が著しい場合等に応急的に用いられる方法であって、本格的な対策を行うまでの一時的な対策として用いられる。また、近接工事等に対する安全策としても用いられる。(図10-13)

2) 内巻きによる補強

覆工の内側にさらに覆工を設ける方法があって、内空断面に余裕のある場合に採用される。内巻きは

必要に応じて鉄筋コンクリートとしたり、吹付けコンクリートを用いたりすることがある。内巻きの効果は覆工の強度を増加させるのみであるので、材料の老朽化による場合以外は原因を除去する対策を併用する必要がある。(図10-14)

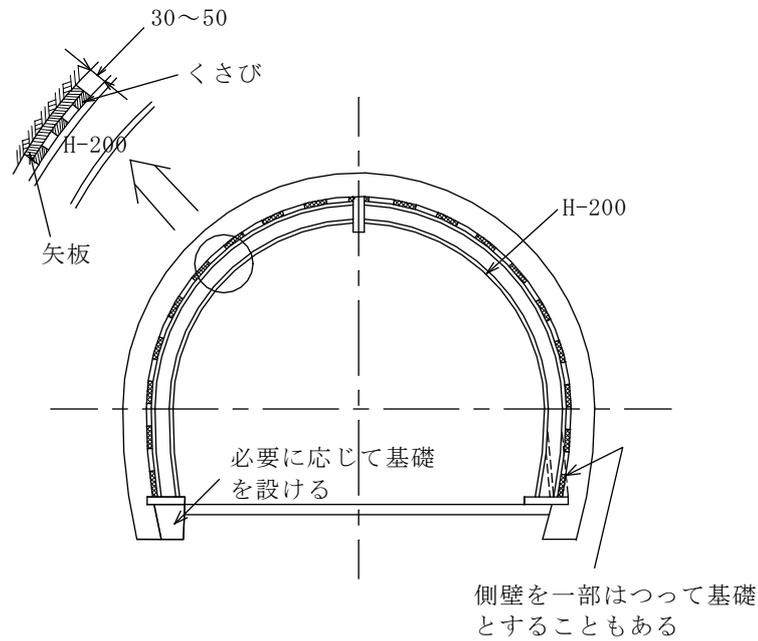


図 10-13 鋼アーチ支保工による補強

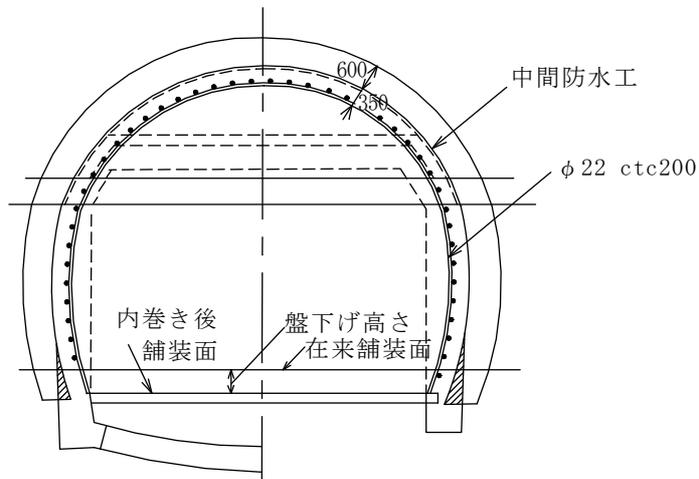


図 10-14 打巻きによる補強の例

3) 裏込め注入

覆工背面の空隙があり、これが原因で異常をきたした場合の対策であるが、裏込め注入は荷重を均等化させ、覆工の強度を有効に利用することができるようになるので、異常対策としてまず検討されるべき工法である。

4) インバートの設置

膨張性地山や地耐力が不足する場合に、側圧に有効に対処するため、あるいは支持力を分散させ、盤ぶくれを防止するためにインバートを設置する。インバートの設置は、これらの場合の最も根本的な解決策である。

5) 保護盛土、保護切取り

地形的な原因あるいは地滑り等地表の動きが原因でトンネルに影響を与える場合は、これらの原因を除去する必要がある。

この対策として保護盛土、保護切取り等が通常用いられる。(図 10-15、図 10-16)

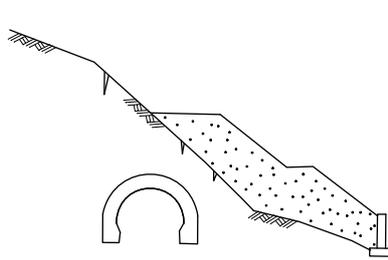


図 10-15 保護盛土

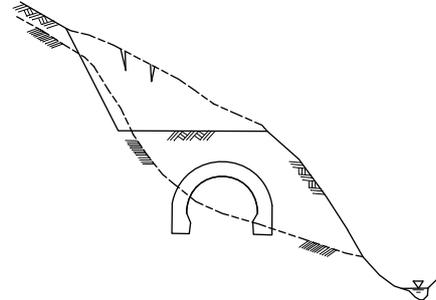
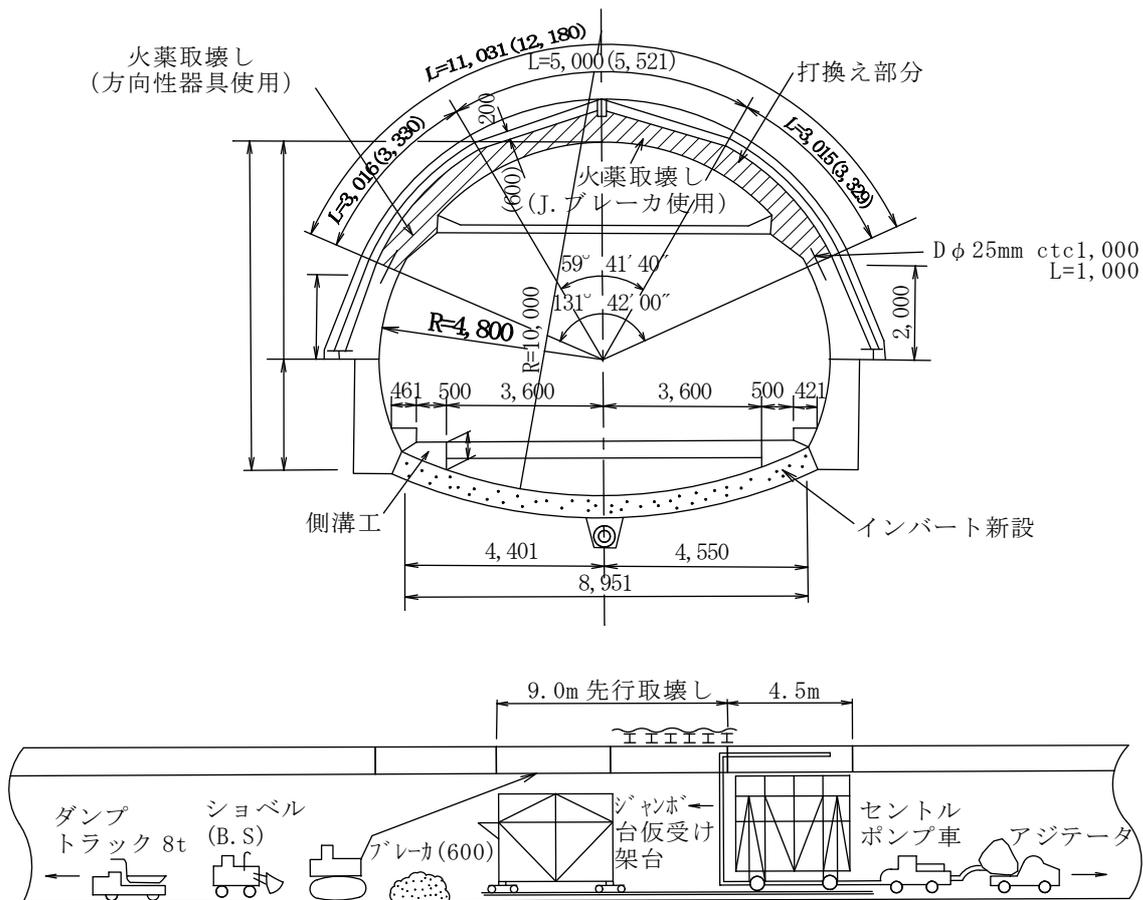


図 10-16 保護切取り

6) 覆工の打換え

老朽化が著しい場合、あるいはひび割れの発生が著しく覆工としての機能が失われている場合で、かつ内巻きを行う余裕がない場合は覆工を取壊して、部分的あるいは全面的に覆工を打換える必要がある。

(図 10-17)



施工順序図

図 10-17 覆工の打換えの例

7) 漏水対策工

漏水は覆工の耐久性を低下させるのみでなく、路面の局部的なぬれは交通安全の確保のうえからも望ましくなく、漏水は極力防止しなければならない。山岳トンネルにおける漏水防止対策の基本は、地山から出てくる水について停滞を生じることなくできるだけ速やかに排出することである。

排水工法として次のようなものがある。

ア) 覆工背面排水

覆工コンクリートの一部をトンネル背面まで溝状に取壊し、さらに地山の一部を掘削して地下排水溝を設けて水を集め、これを側溝あるいは中央排水管に導く工法である。(図 10-18)

イ) 覆工表面排水工

これは覆工の表面に集中的に漏水がある場合、覆工表面にV字形の溝を掘り、ホースを埋込むかあるいは覆工表面にチャンネル状のといを取付けて漏水を側溝等に導くものである。(図 10-19)

8) 集水ボーリング等

湧水量が多量である場合は、地山中にボーリングを行い、積極的に排水することがある。

トンネル完成後の防水工法としては、覆工表面に防水層を設ける方法がとられており、防水材としては、セメント系、樹脂系の各種のものが用いられる。表面防水材を用いるときは、水圧がかからないように、適当な排水工と併用することが大切である。また、より完全な工法としては、防水シートを覆工表面に張り、吹付けコンクリートで保護する工法もある。場合によっては内装で漏水を処理することも行われている。(図 10-20)

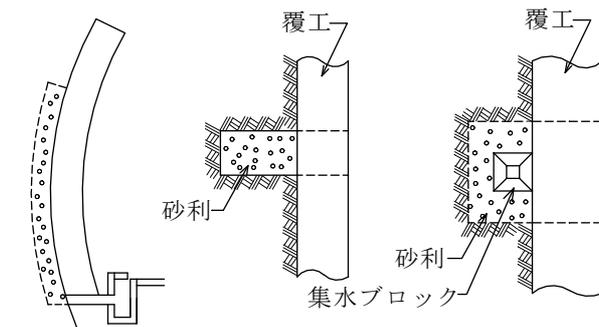


図 10-18 覆工背面排水工

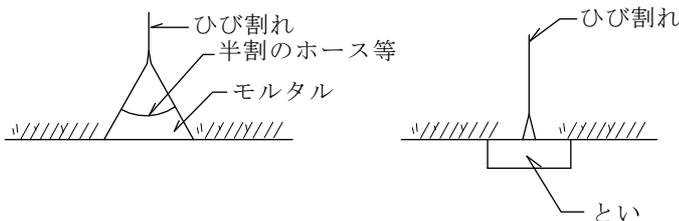


図 10-19 覆工表面排水工

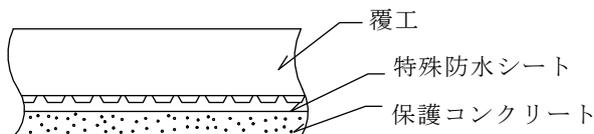


図 10-20 防水シートによる表面防水

9) 剥落対策工

覆工材料の劣化において、劣化範囲・程度が小規模な場合には覆工の剥落などにとどまるが、大規模な場合には覆工の剥落とともにトンネル構造物としての耐荷力、耐久性の低下が問題となる。下図に、主に覆工の劣化が原因となる覆工の剥落に対する対策工の種類を示す。



○：新材料・工法の適用が図られつつあるもの。

(耐久性・施工性に対する検討が必要であるが、今後適用が期待される工法が含まれる)

☆：地圧対策としても適用可能なもの。

※1：「はつり落とし」には、打音検査時に行う「叩落し」も含まれる。

図 10-21 剥落対策工の種類と分類

出典：土木学会「山岳トンネル覆工の現状と対策（平成14年9月）」P122

代表的な工法は以下のとおりである。

ア) ひび割れ注入

ひび割れ注入は、一般的に、ひび割れにグラウト材料を注入し、ひび割れの発生によって低下した剛性のある程度回復するものである。注入工法には手動式注入工法、自動式注入工法、機械式注入工法等があり、クラックの幅、長さに応じて選択する。

イ) 当て板

当て板は、比較的狭い範囲の覆工面に形鋼（山形鋼、溝形鋼などが含まれる）、帯鋼、鋼板、FRP板等をアンカーボルト等で定着することにより剥落を防止する工法である。既設覆工との一体化により、覆工耐力をある程度強化させることも可能であるが、一般的には応急的な補強、または補修として用いられている。

ウ) 金網・ネット

金網やネットは、覆工表面にアンカーボルト等を使用して金網やネットを固定し、落下防止工を施

工するものである。この対策工は、対策後においても変状箇所の追跡調査が行えるという利点がある。

エ) 内面補強工

内面補強工は、覆工の内面からコンクリートの弱点である引張応力に対して引張補強材を接着して補強する工法である。ひび割れや叩き落とした後も不安定な状態が残るジャンカ（豆板）、あるいは部分的な材料劣化により、比較的狭い範囲で覆工材が落下するおそれのある場合に適用する。