

## 第2章 設計の基本



## 第2章 設計の基本

2.1 計 画	4-2-1
2.1.1 トンネルの線形	4-2-1
2.1.2 トンネルの幅員構成と建築限界	4-2-3
2.1.3 監査歩廊、監視員通路の設置	4-2-5
2.2 トンネルの断面	4-2-6
2.2.1 一般部	4-2-6
2.2.2 非常駐車帯部	4-2-12
2.2.3 トンネル内空断面と換気断面	4-2-13
2.3 調 査	4-2-14
2.3.1 調査の流れ	4-2-14
2.3.2 トンネル地質調査	4-2-16
2.4 トンネルの地山分類	4-2-23
2.5 支保構造の設計	4-2-31
2.5.1 基本的な考え方	4-2-31
2.5.2 道路トンネルの耐震対策に関する留意点	4-2-33
2.6 標準支保パターン	4-2-34
2.7 大断面支保パターン	4-2-36
2.8 小断面支保パターン	4-2-39
2.9 自動車専用道路	4-2-40
2.9.1 道路幅員および建築限界	4-2-40
2.9.2 監査歩廊・監視員通路の設置	4-2-41



## 第2章 設計の基本

### 2.1 計 画

#### 2.1.1 トンネルの線形

- (1) 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とする。
- (2) トンネルの縦断勾配は、最小を0.3%とする。最大縦断勾配は、換気設備を必要とする場合、できる限り小さな値(通常2%以下を目標)とし、止むを得ない場合でも3%程度以下を目標とする。延長が短い等、換気設備を必要としない場合は、3%に拘束されることなく、道路の線形上有利な勾配として差し支えない。
- (3) トンネルを併設する場合、あるいは他の構造物と接近する場合には、原則として相互に有害な影響を与えないような間隔としなければならない。
- (4) トンネル接続する明かり部の線形は、十分な視距と安全な走行を確保できる平面および縦断線形としなければならない。とくに進入坑口については、十分な距離からトンネル坑口を視認できるような配慮をする必要がある。

#### 【解 説】

- (1) トンネルの線形は、使用目的及び施工の面からできるだけ直線とし、曲線を入れる場合は、曲線半径を路線の規格によりできるだけ大きな値とすることが望ましい。

表2.1.1 最小曲線半径の望ましい値と片勾配

		設計速度 (km/hr)					
		120	100	80	60	50	40
最小曲線半径の望ましい値		1,000	700	400	200	150	100
片勾配が2,3%以下となる 曲 線 半 径	2%	2,300	1,700	1,240	800	590	400
	3%	1,660	1,210	870	560	410	280
片勾配を打ち切る最小曲線半径 (直線部の横断勾配2%)		7,500	5,000	3,500	2,000	1,300	800

表2.1.2 拡幅を必要としない曲線半径

道路の種類	曲線半径(m)
第1種、第2種 第3種第1級、第4種第1級	280以上
その他の道路	160以上

「道路構造令の解説と運用」令和3年3月、日本道路協会

また、トンネルの曲線部においては、トンネル側壁による障害を考慮した視距を確保する必要がある。この場合は、「道路構造令(の解説と運用)」を参照する。

- (2) トンネル完成後の湧水を良好なコンクリート造の排水溝等によって自然流下させるには、通常0.1%以上の勾配があればよいが、施工中の湧水を素掘りの側溝等で自然流下させるためには、湧水が少ない場合でも0.3%、相当多い場合では0.5%程度の勾配が必要である。
- 勾配の最大値については、ずり出しや材料運搬時の作業能率に影響を与え、また、完成後通行車輛の排気ガスの発生を極力抑制するためにも短いトンネルを除き、特に上り勾配は、努めて緩くする必要がある。トンネルの掘削は、2年以上に及ぶこともあり、施工時の湧水の排水処理を考えると坑口から上り勾配にて掘削する方が有利である。
- トンネルの線形計画においてトンネルの延長工事工程などの施工計画を配慮した縦断線形を考える必要がある。また、縦断勾配の変化を有するトンネルについては、その縦断曲線はできるだけ大きな値を用いるものとする。
- (3) 2本のトンネルを近接施工する場合には、トンネルの断面形状、寸法、施工法、施工時期等について、十分に検討した上で相互の間隔を定める必要がある。
- 従来の施工実績では、中心間隔を30m程度としている例が多く特殊な事情のない場合には、標準的な中心間隔を30mとして良いものとする。
- また、地山の安定性が十分であると想定される場合、接続する土工区間に長大法面の発生や橋梁との近接が生じる場合等には、工事費や維持管理費の増大を避けることとし、両坑口を近接させることも有利である。この場合において段階建設を行うときは、将来線の施工時における既供用トンネルに与える影響についても十分検討しておく必要があり、必要であれば、坑口付近は先行工事を実施しておく位の配慮が望ましい。また、地山の安定性が十分な場合や用地費が高価な場合にあっては、むしろ中心間隔を小さくした方が有利なこともある。この場合、坑口付近に限り近接させ、それ以奥を次第に離隔させていく方法も考えられる。逆に、地山の安定性が不十分な場合や完全分離ルートが考えられる場合等これ以上離した方がよい場合もある。しかし、長大トンネルでは上下線間の連絡など維持管理上の問題点についても考慮しておく必要がある。
- トンネルを他の構造物と交差させることは、できるだけ避けるように努めなければならない。トンネルがやむを得ず他の構造物と交差または近接する場合には、トンネルの掘削による地表および地中の変化、爆破振動などのその構造物に及ぼす影響について検討し、所要の対策を講じなければならない。一般に、トンネル相互が交差する場合には、できるだけ直交するようにするほか、新設トンネルが上部に位置するようにするのが有利である。
- (4) トンネルおよび明り部の路肩すりつけは、適当な長さのすりつけ区間を設けなければならない。すりつけ率は1/30を標準とする。
- 詳細は「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」（日本道路協会）第3編2-4トンネルに接続する道路の線形等を参照のこと。

## 2.1.2 トンネルの幅員構成と建築限界

### (1) 一般部

車道・歩道及び監査歩廊の建築限界は図2.1.1の通りとする。建築限界高は車道部4.50m、路肩部3.80m、歩道部2.50m、監査歩廊・監視員通路部2.00mを標準とする。

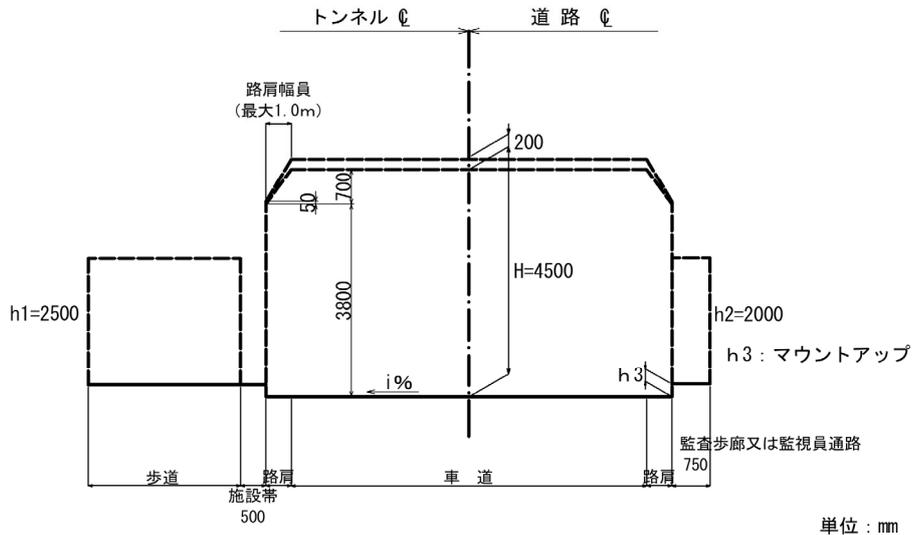


図2.1.1 建築限界と幅員構成

#### 【解説】

トンネル内の舗装は全面的な打替が困難なため、通常オーバーレイを行う。したがって建築限界の高さにこれらの余裕を見込んでおく必要がある。この余裕としては20cm以上となることが望ましい。なお、路肩部の余裕としては5cmとするのが一般的である。また、背高コンテナの低床式トレーラによる輸送を考慮して、縁石前面の垂直高さ4.10mを確保することを原則とする。

トンネル内の歩道は車道より高い構造とする。また歩行者の多いトンネルは、施設帯(50cm)を設け、ガードフェンス等を設置することができる。その場合、ガードフェンスの設置位置は、縁石前面より25cm以上離すものとする。

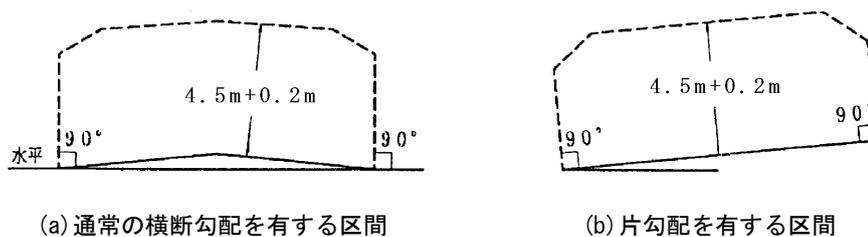
監査歩廊・監視員通路とは、トンネルの保守点検用に設置するものであり、一般歩行者の用に供されない。道路構造令におけるトンネルの歩道幅員の適用をうけない。

この幅員構成と建築限界は、延長50m以上のトンネルに適用する。ただし、50m以上のトンネルにあっても都市計画上の考慮等により必要とされる場合には一般部と同じ幅員とすることができる。

曲線拡幅のある曲線を有する延長100m未満のトンネルにおいては、トンネル内ですりつけを行わず、拡幅断面をそのまま適用し、一定とすることができる。

建築限界線のとり方は、上限線は路面に平行とし、横方向限界線は片勾配が2%を超えるときは路面に垂直、2%以下のときは鉛直とする(図2.1.2)。

また、車道部と歩道部・監査歩廊(監視員通路)の建築限界は、重複しないものとする。  
なお、重要物流道路に指定された区間に建設するトンネルの建築限界は本局と協議を行う。



(a) 通常の横断勾配を有する区間

(b) 片勾配を有する区間

図2.1.2 建築限界線のとり方

(2) 非常駐車帯部

トンネルの非常駐車帯部における幅員構成および建築限界は、図2.1.3に示すとおりとする。

非常駐車帯の路面横断勾配は、路側排水工の排水性を考慮し水平を標準とする。その勾配変化点は、標準部建築限界の左限線の立上がり点とする。

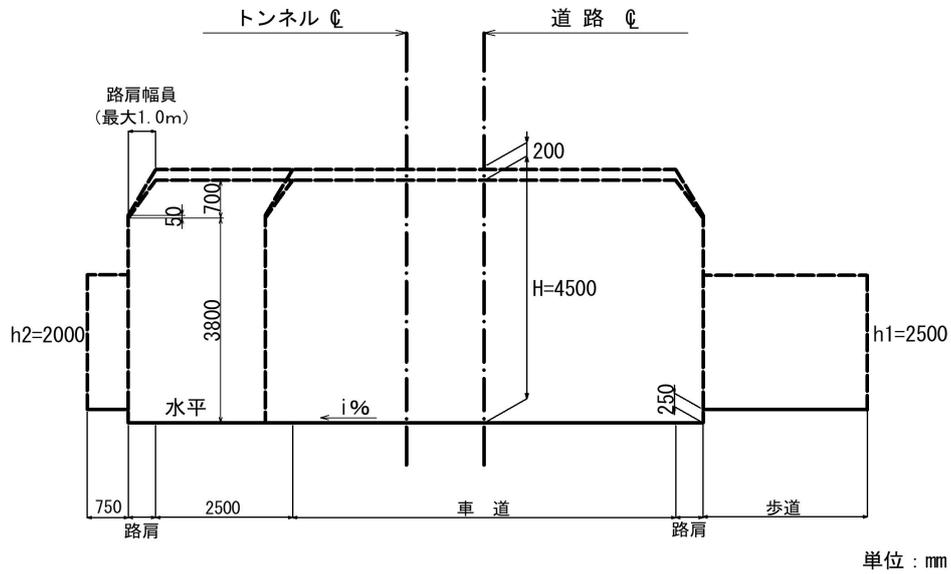


図2.1.3 非常駐車帯の幅員構成および建築限界

### 2.1.3 監査歩廊、監視員通路の設置

トンネル内には、延長、交通量、交通形態、トンネルの連続性、等を総合的に判断し、監査歩廊又は監視員通路を設けるものとする。

監査歩廊及び監視員通路は原則として片側（走行車線側）に設置するものとし、建築限界として幅員0.75m、高さ2.0mを確保する。

#### 【解 説】

延長が長く交通量の多いトンネルでは、非常用施設として火災検知器・監視装置(ITV)、換気施設として煙霧透過率測定装置(VI計)などの保守点検を定期的に行う必要がある。このため、これら機器の維持管理に従事する作業員の安全を確保するとともに、交通規制を行わずに作業ができるよう管理用の通路を設けることがある。これは監査歩廊または監視員通路などと呼ばれるが、内空断面の決定にあたっては、あらかじめその必要性の有無、設定位置、大きさなどを決めておかなければならない。

以下の場合には監視員通路を設置することを検討する。

- ① トンネル等級AAおよびAのトンネル
- ② 高速自動車国道および自動車専用道路でトンネル等級BおよびCのトンネル

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

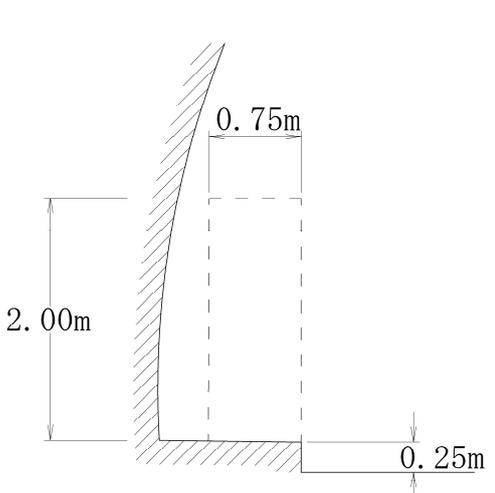
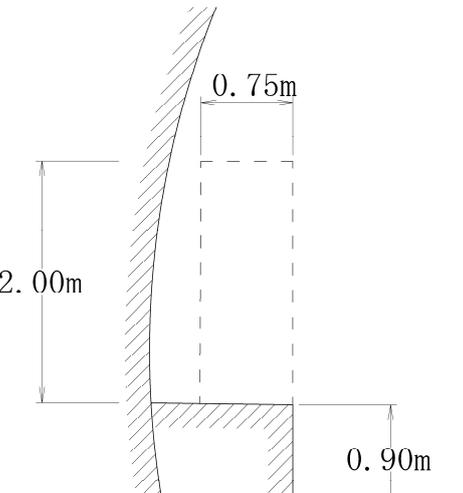
例えば、自動車専用道路で路線の維持管理等による定期的な通行止めが行われるトンネル、一般道で交通量が少なく片側交互通行規制が比較的容易なトンネル等が上記に該当すると考えられる。

また、北海道ではトンネル内への除雪時の持込雪や吹込み雪の影響もあるため、冬期の維持管理等も含め総合的に判断し、監視員通路の採用を決定する必要がある。

監査歩廊・監視員通路を設ける場合の建築限界およびマウントアップの例を表2.1.3に示す。

なお、監査歩廊、監視員通路下部にトンネル非常用施設の配管やその他の埋設物を収納する空間が確保できるか、トンネルごとに検討する。

表2.1.3 監査歩廊・監視員通路の建築限界およびマウントアップの例

監査歩廊	監視員通路
	

## 2.2 トンネルの断面

### 2.2.1 一般部

トンネルの内空断面の形状と寸法は、道路構造令に定める所要の建築限界および換気等に必要な断面を含有し、トンネルの安全性と経済性を考慮して定めなければならない。

#### 【解 説】

##### (1) 標準換気断面設定の基本的条件

ここで対象とするトンネルは、原則として、北海道開発局で建設する道路トンネルのうち、自然換気方式および通常の縦流換気方式を採用するトンネルをいい、横流、半横流換気方式を採用する場合はそれぞれの持つ特殊性を考慮し個別に設計するものとする。

##### (2) 内空断面検討の手順

トンネルの内空断面は、道路交通のサービス機能を果たすものであり、道路構造令に定める必要な建築限界のほかに、換気設備・照明設備・非常用設備および内装・管理用の通路・舗装（オーバーレイを含む）・排水工を設置する空間ならびに覆工の施工誤差に対する余裕などをとった断面を含有していなければならない。

トンネルの内空断面形状は安定性や経済性を考慮して、通常三心円（上半単心円）からなる馬蹄形や、五心円（上半三心円）などの偏平断面を用いるが、地山条件が悪く土圧や水圧が大きいところでは、円形かそれに近い形状とする場合がある。このように内空断面形状は、所要の建築限界などと地山条件から合理的なものを選定する必要がある。

次頁に、内空断面検討フローを示す。

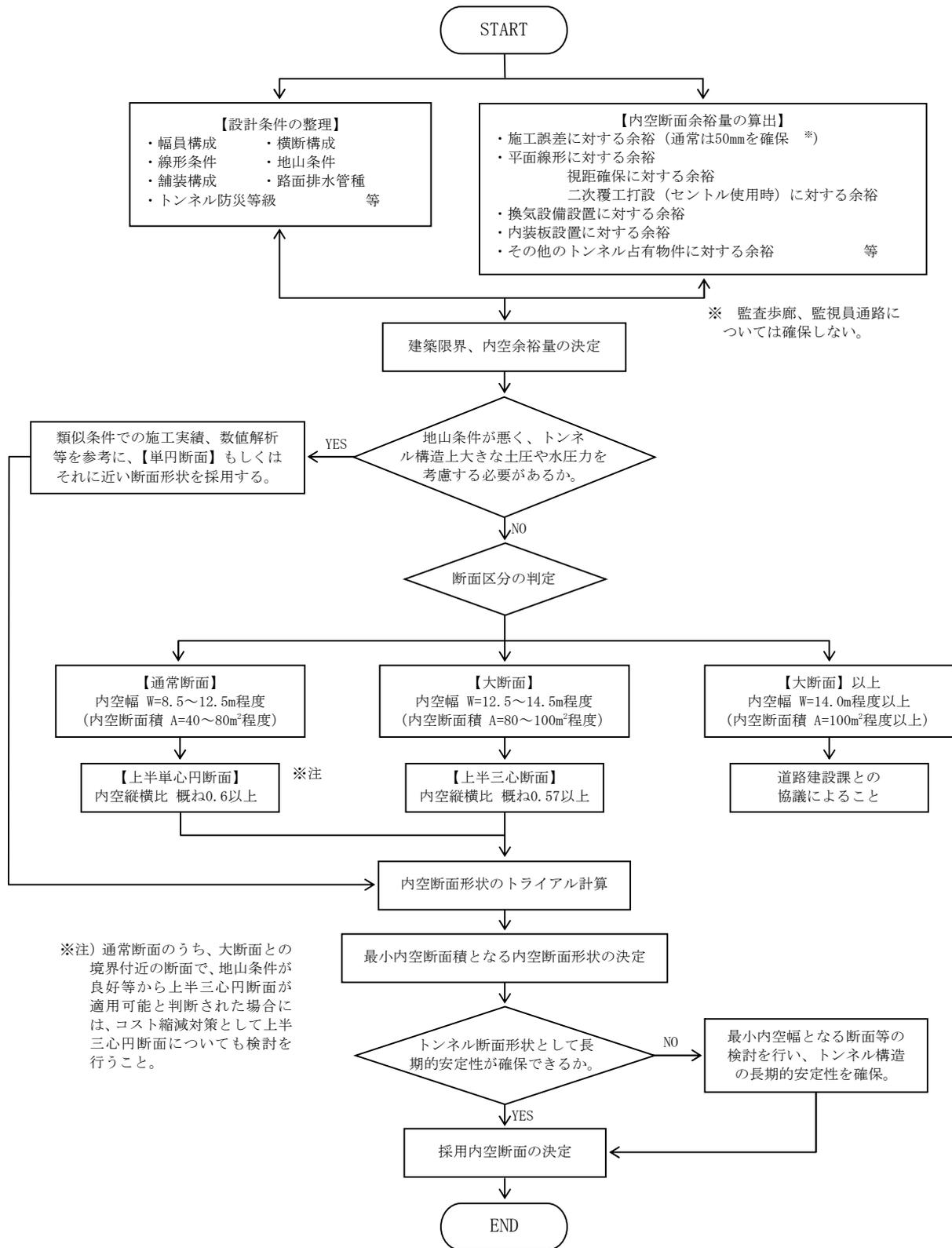


図2.2.1 内空断面検討フロー

(3) 内空縦横比と断面形状について

内空縦横比 ( $H/W$ ) は図2.2.2に示す内空高さ ( $H$ ) と内空幅 ( $W$ ) の比のことである。なお、内空幅とはスプリングライン上での内空幅をいう。なお、施工基面（下半脚部）の位置は、路面排水管（円型水路）基礎底面高さ、もしくはトンネル内最急横断勾配における路盤底面高さのうち、低い方の高さとする（図2.2.3）。

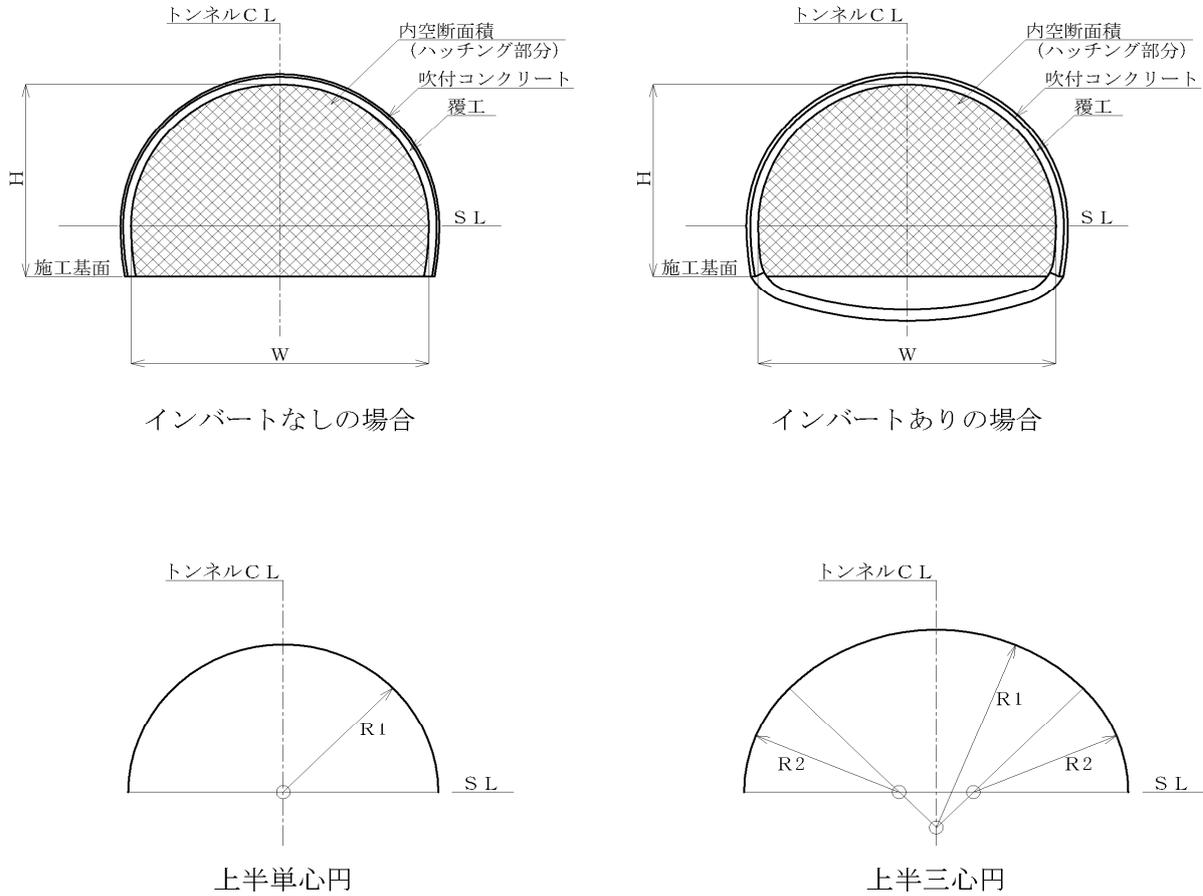


図2.2.2 断面形状

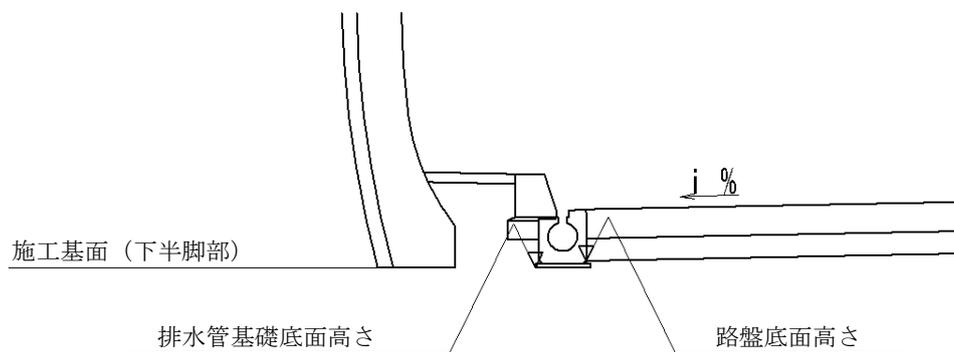


図2.2.3 施工基面（下半脚部）の位置

(4) 内空断面形状のトライアル計算 (計算例)

・設計条件

幅員構成 :  $W=0.75+0.50+3.50+3.50+0.50+0.75=9.50\text{m}$   
横断勾配 : 拝2.00%~片2.00%  
路面排水マス : 円型水路専用マス

・施工余裕量

施工誤差 : 50mm (監査歩廊、監視員通路は0mm)  
平面線形 : なし  
換気設備 : なし  
内装板 : なし  
その他 : なし

・断面区分

上半単心円断面

・内空断面形状のトライアル計算

上半高さ h : 変数 ..... 0.5~2.0m 50mmラウンド  
上半半径 R1 : 変数 ..... 50mmラウンド  
下半半径 R2 :  $1.0\times R1$ 、 $1.5\times R1$ 、 $2.0\times R1$  ..... 3通り  
脚部半径 R3 : 1.5m (標準値)  
インバート半径 R4 :  $2.5\times R1$ 、 $3.0\times R1$  ..... 2通り  
建築限界、余裕量 : 上半部 建築限界+施工誤差50mmを包括  
下半・インバート部 路面排水マス底部を包括

以上の条件で、上半高さ、上半半径をパラメータとして各6ケースについて、最小内空断面積となる内空形状を計算する。表2.2.1より、 $R2=2.0\times R1$ 、 $R4=3.0\times R1$ のケースが最小断面となり、内空縦横比についても $0.727>0.600$ となり問題ない。

表2.2.1 計算結果一覧表

ケース	内空断面積 (m <sup>2</sup> )	内空縦横比
$R2=1.0\times R1$ 、 $R4=2.5\times R1$	65.229	0.727
$R2=1.0\times R1$ 、 $R4=3.0\times R1$	64.753	0.727
$R2=1.5\times R1$ 、 $R4=2.5\times R1$	65.143	0.727
$R2=1.5\times R1$ 、 $R4=3.0\times R1$	64.622	0.727
$R2=2.0\times R1$ 、 $R4=2.5\times R1$	65.134	0.727
$R2=2.0\times R1$ 、 $R4=3.0\times R1$	64.598	0.727

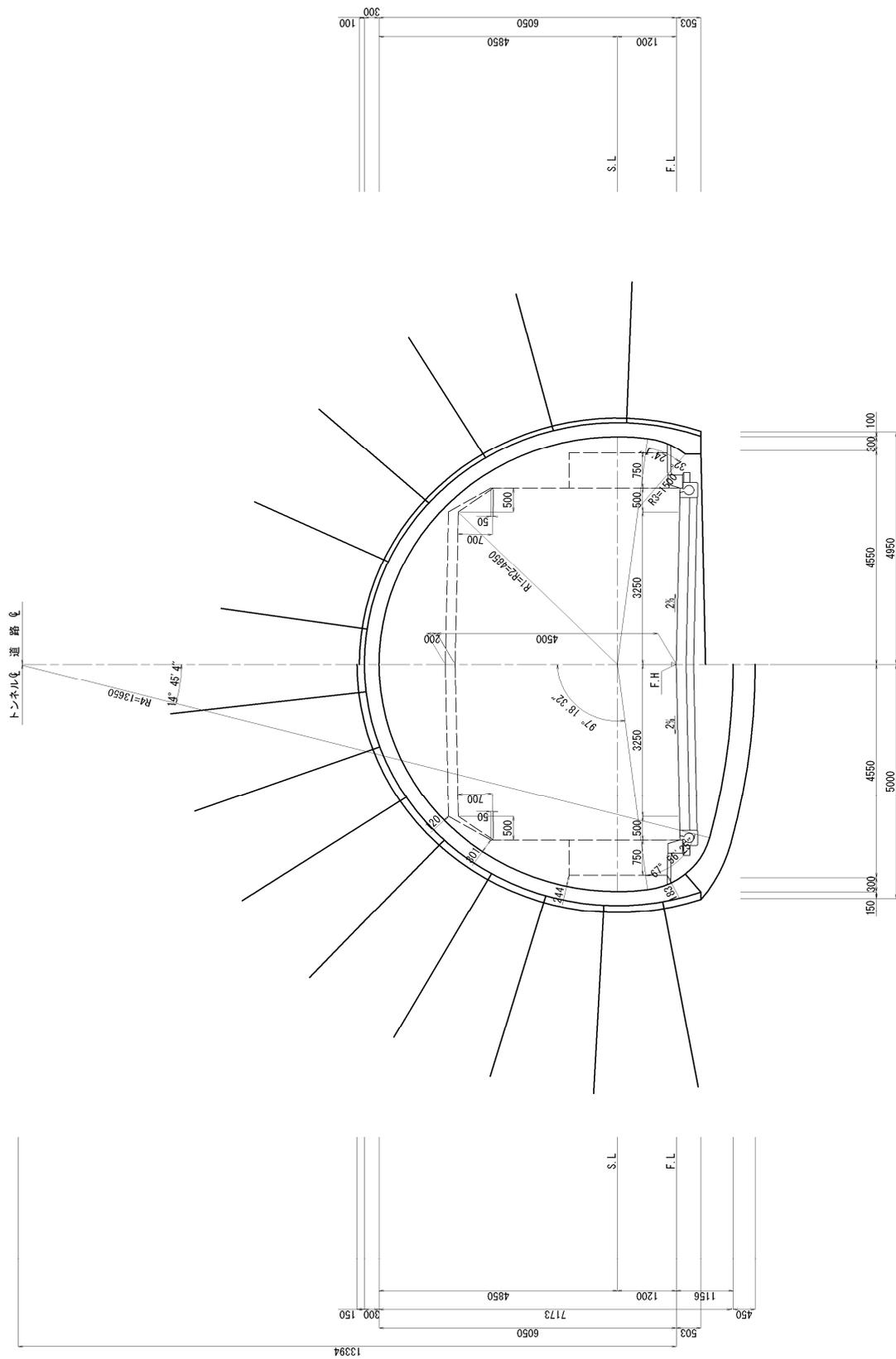


図2.2.4 標準断面図 (参考図、3種2級歩道なし)



## 2.2.2 非常駐車帯部

非常駐車帯部のトンネル幅員は一般部に比べ広いため、地山条件や偏平率を勘案の上、断面形状を決定する必要がある。

### 【解 説】

#### (1) 非常駐車帯部の内空断面の考え方

一般部の内空幅が8.5～12.5m程度の通常断面トンネルの駐車帯断面を検討する場合、一般部のトンネル断面とほぼ相似形の形状寸法とすると、天井部などに不要な大空間を残すことになり、一般的には不経済である。このため図2.2.6に示すように非常駐車帯の断面形状は、一般部の側壁部半径を共有するやや偏平な断面（内空縦横比は概ね0.57以上確保）としている場合が多い。

一方、一般部の内空幅が12.5～14.0m程度の大断面トンネルにおける非常駐車帯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、極端に偏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、地山条件に応じた内空断面の検討が必要である。

#### (2) 非常駐車帯部の内空断面寸法

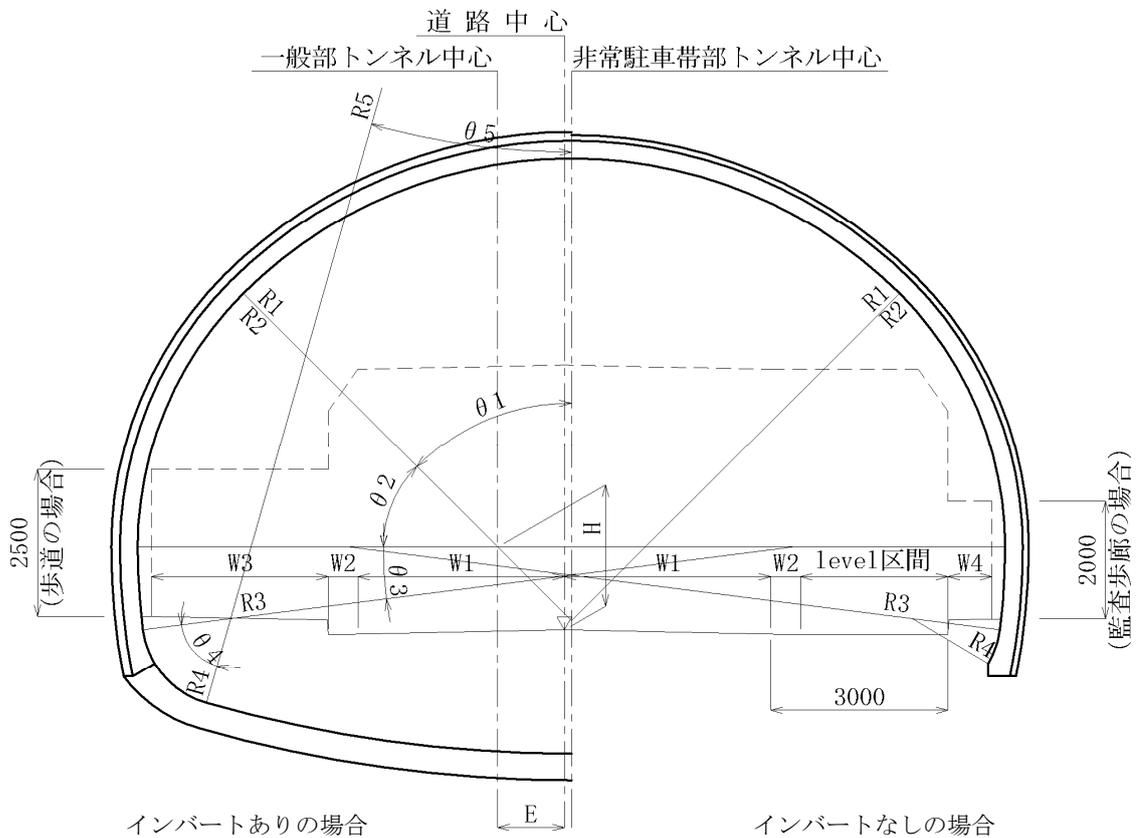


図2.2.6 非常駐車帯断面寸法（一般部断面上半単心円の場合、参考図）

### 2.2.3 トンネル内空断面と換気断面

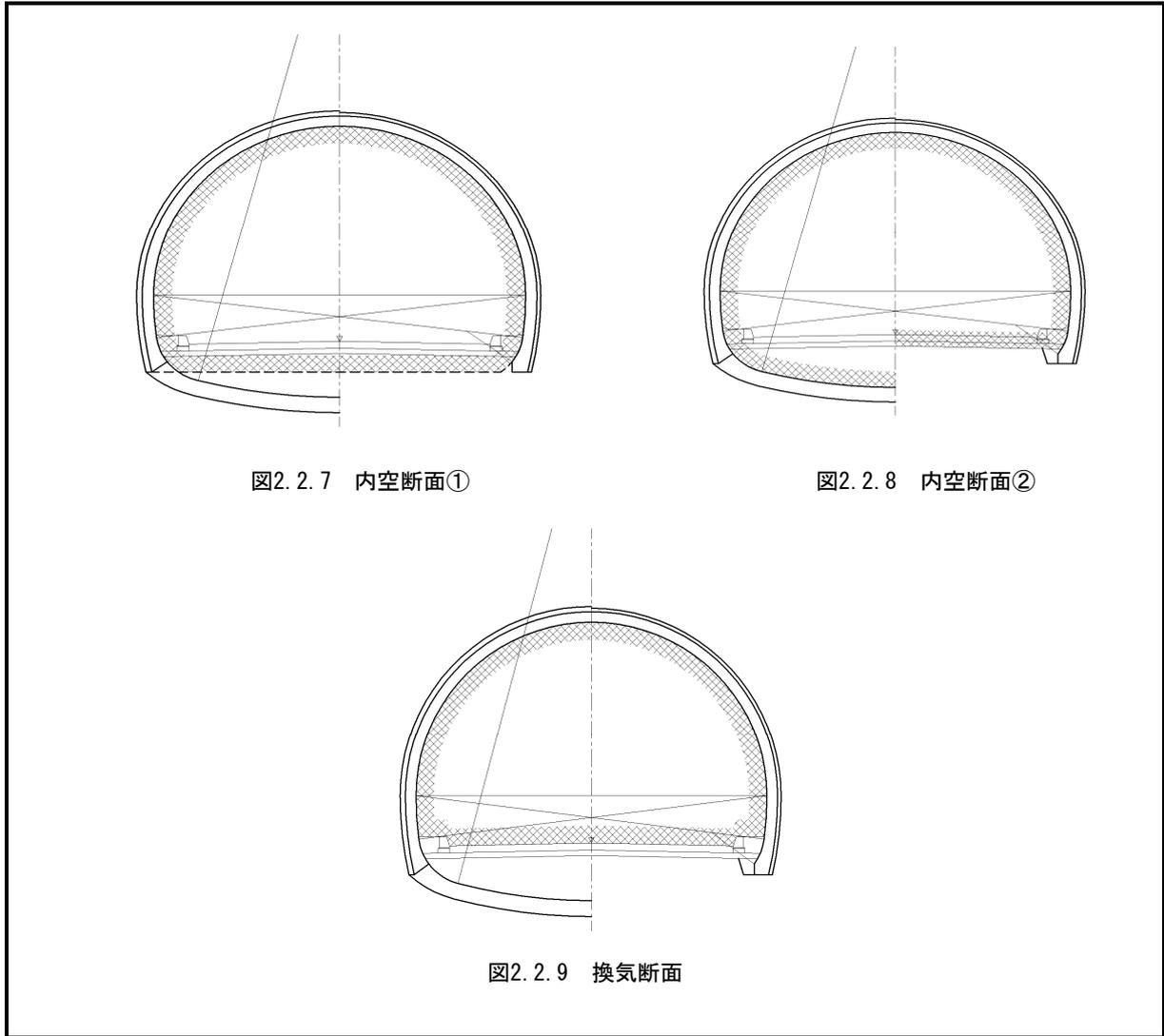


図2.2.7 内空断面①

図2.2.8 内空断面②

図2.2.9 換気断面

#### 【解 説】

- (1) 内空断面の基本的考え方  
道路構造例に定める必要な建築限界のほか換気設備・照明設備・非常用施設および内装・歩道・管理用の通路・舗装工を設置する空間ならびに施工誤差に対する余裕などを包含した断面をいう。
- (2) 換気断面の基本的考え方  
内空断面から歩道・管理用の通路および舗装工を設置する空間を除いた部分をいう。
- (3) 内空断面積および換気断面積の算出  
 内空断面積①：施工基面（下半脚部の水平線）から上の二次覆工内面で囲まれた空間（図2.2.7）  
 内空断面積②：i) インバートがある場合（図2.2.8左側）  
                   インバート表面から上の二次覆工面左で囲まれた空間  
                   ii) インバートがない場合（図2.2.8右側）  
                   路盤工下面から上の二次覆工内面で囲まれた空間  
 換気断面積：路面（歩車道表面）と二次覆工内面で囲まれる空間（図2.2.9）  
 ただし、内空断面積の使用目的は以下のとおりである。  
 内空断面積①：通常断面、大断面の区分に必要（参考値）  
 内空断面積②：契約事務手続き時に必要  
 換気断面積：換気設備設計時に必要

## 2.3 調 査

### 2.3.1 調査の流れ

地山条件の調査は路線選定から施工後の維持管理までの各段階で行われる。調査に当たっては、各段階の主な目的を十分に考慮して調査の内容、調査範囲、調査手法を決定しなければならない。

#### 【解 説】

トンネルの調査には、地山条件調査と立地条件調査があるが、ここでは主に工事着手前の地山条件調査について解説する。

調査の詳細部分については「道路トンネル技術基準（構造編）・同解説」および「トンネル標準示方書（山岳工法編）・同解説」を引用する。図2.3.1に地山条件調査の流れを、表2.3.1に調査の目的と精度を示す。

表2.3.1 調査の目的と精度

段階	目的	調査の内容	調査範囲と精度
調査 および 計画	・路線の決定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地山条件の全体的な把握</li> <li>・特殊な地山条件の有無</li> <li>・立地条件の把握</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/25,000～1/5,000</li> <li>・比較路線を含む広範囲</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・線形、坑口部の設定</li> <li>・概略の設計</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地形、地質条件の把握</li> <li>・特殊な地山の分布と性状</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/5,000～1/1,000</li> <li>・路線周辺および関係あると推定される箇所</li> </ul>
設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル断面の設定</li> <li>・設計</li> <li>・施工計画</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・支保工設計に必要な地山条件の把握</li> <li>・施工計画や積算に必要な情報の取得</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・1/1,000～1/100</li> <li>・路線</li> </ul>
施工	<ul style="list-style-type: none"> <li>・施工管理</li> <li>・設計変更</li> <li>・補償</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・切羽観察等の地山状態の観察や支保の挙動計測</li> <li>・切羽前方探査</li> <li>・トンネルの変状</li> <li>・周辺の環境変化</li> <li>・施工実績と地山条件の整理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル内および施工の影響を受ける範囲</li> </ul>
維持管理	<ul style="list-style-type: none"> <li>・補償</li> <li>・維持更新</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネルの変状</li> <li>・周辺の環境変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・トンネル内および施工の影響を受ける範囲</li> </ul>

(トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 表2.1を一部修正)

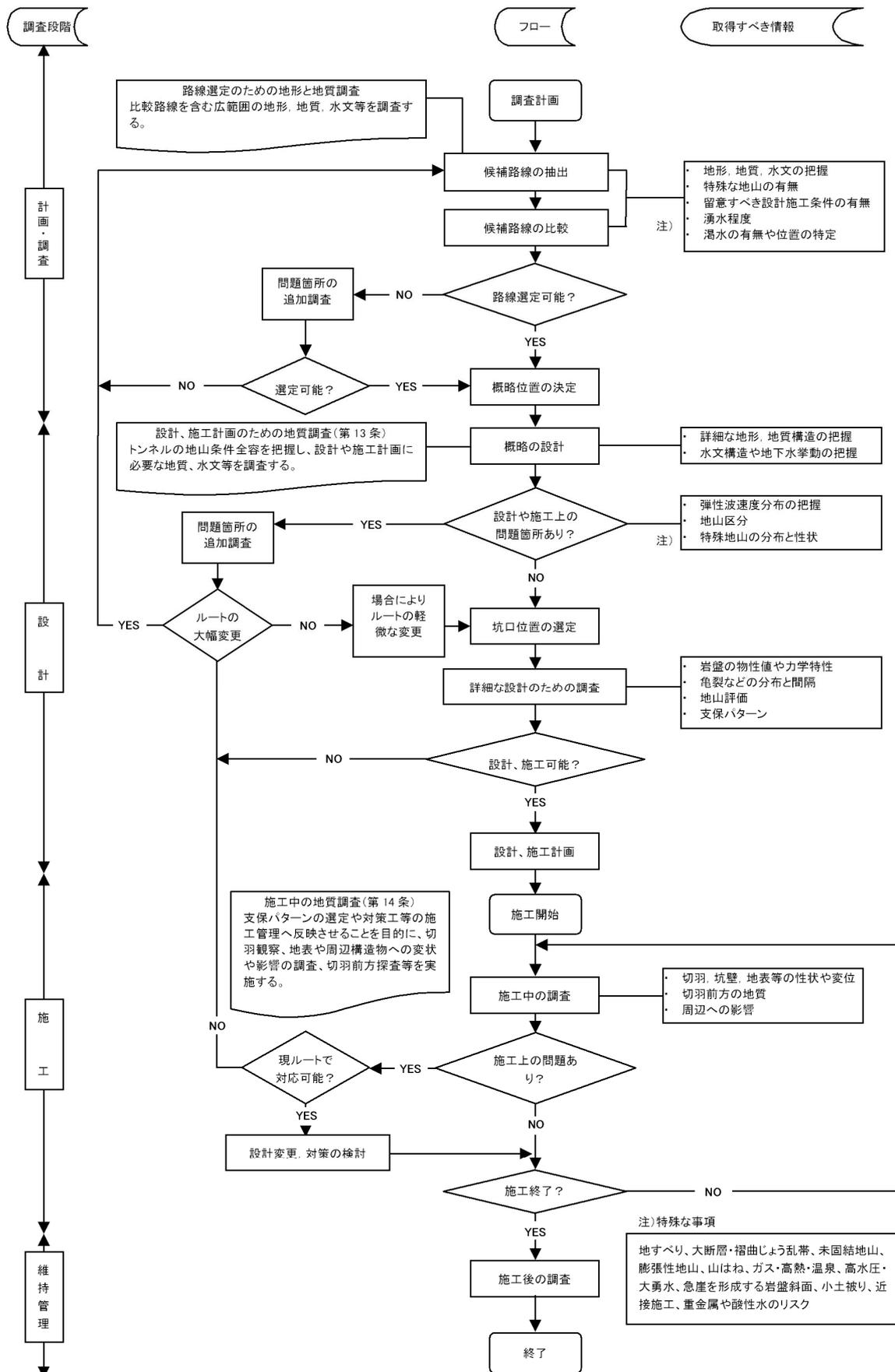


図2.3.1 地山条件調査の流れ

(トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 図2.5を一部修正)

## 2.3.2 トンネル地質調査

トンネル地質調査は、「トンネル設計上必要な項目」を網羅し「地山条件」を考慮した調査手法でなければならない。特に「トンネル周辺や工事に影響を及ぼす条件等」については、対策工に向けてより具体的な地山評価ができるものでなければならない。

### 【解説】

トンネルの地質調査は一般には図2.3.1に示すように、路線選定から施工後の維持管理までの各段階に応じて実施される例が多いが厳密に分けることは難しい。一般的には地質分布等の定性的性状の概略把握から、詳細な地盤構造や各地層の地山物性値等の詳細把握まで段階をおって実施する。

調査の実施にあたっては、表2.3.2を用いて対象とするトンネルの地山条件により調査項目を絞り込み、さらに、その項目に適合した調査法を選択する。

この場合、各調査法の特徴や精度等の問題点を理解し、各調査法を計画的に組み合わせて実施することが必要であり、その調査・試験結果を各段階での地山分類・評価や対策工に適切に反映しなければならない。

以下にトンネル設計上必要な項目とトンネル周辺や工事に影響を及ぼす条件等を列記する。

トンネル地質調査における検討項目としては、地形・地質上の検討項目、水文上(湧水)の検討項目、および発生土に対する検討項目に大別できる。

#### I 地形・地質上の検討項目

##### (1) トンネル設計上必要な5項目

- 1) トンネル区間の全体的な地質構造、地質分布およびその性状の把握
- 2) 調査結果に基づき、これに技術的な判断を加えた地山分類
- 3) 坑口位置の地形・地質条件および問題となる事項とその対策設計に必要な基礎資料
- 4) 切羽の自立性評価、支保工の設計、補助工法の選定、掘削工法、掘削方式の選定のための基礎資料
- 5) 特殊地山の分布・性状および問題となる現象の発生予測と対策工検討のための基礎資料

##### (2) トンネル周辺や工事に影響を及ぼす条件等

- 1) 特殊な地山条件
  - ① 地すべり等の移動性地山および斜面災害が予想される地山
  - ② 断層破砕帯、褶曲じょう乱帯
  - ③ 未固結地山(土砂地山)
  - ④ 膨張性地山
  - ⑤ 山はねが予想される地山
  - ⑥ 高い地熱、温泉、有毒ガス等がある地山
  - ⑦ 高い水圧や大湧水の発生が予想される地山
  - ⑧ 急崖を形成する岩盤斜面

特に、上記⑧において、道路空間に隣接した岩盤斜面の変状は、道路利用者や沿道地域の安全性に直接かわりをもっており、変状が発生すると単に交通が途絶えるだけでなく、生命や財産を脅かし多大な費用を要することもあることから、詳細な調査や検討を必要とする。

そのため、岩盤斜面付近に坑口を設ける場合や、土破りが薄くなる区間が存在する場合には、対象斜面において詳細な調査を実施し、斜面崩壊の危険度評価や道路等への影響評価を行わなければならない。

- 2) 特殊な立地条件
- ① 小さな土被りの場合
  - ② 都市域を通過する場合
  - ③ 水底を通過する場合
  - ④ 斜坑や立坑部
  - ⑤ 坑口部
  - ⑥ 近接施工となる場合
  - ⑦ 大断面となる場合

## II 水文上(湧水)の検討項目

### (1) 湧水による問題

- |               |  |
|---------------|--|
| ① 切羽の安定性      | 特に未固結地山における切羽崩壊、土砂流出   |
| ② 土圧の増大       | 軟岩地山の吸水膨張、クリープ   |
| ③ 支保機能の低下     | 吹付コンクリート、ロックボルトの付着力不良、支保工脚部の沈下   |
| ④ 湧水処理等       | 坑内冠水、湧水処理施設の設置<br>工事中、完成後の排水・揚水設備の増設   |
| ⑤ 施工の安全性      | 泥ねい化等による路盤の劣化  |
| ⑥ 品質低下および維持管理 | 湧水・漏水に伴う充填物、土砂の流出<br>インバート、路盤コンクリート下の地下浸食<br>酸性水・温泉水等によるコンクリートや鋼材の劣化<br>豪雨や揚水規制に起因した異常な水位変動に伴う構造物本体等への影響 |

### (2) 周辺環境への影響

- |            |  |
|------------|--|
| ① 減・渴水現象   | 河川水、地下水、湧水、用水等の減・渴水                        |
| ② 地盤沈下     | 構造物の変状、地表面沈下、陥没                            |
| ③ 水質変化     | 地表水・地下水の汚染（止水工法による汚染、坑内排水による汚染）<br>地下水の塩水化 |
| ④ 冷水       | 冷水による農作物への影響                               |
| ⑤ 地下水流動の遮断 | 地下水流動の遮断による阻害                              |

地山条件毎の把握すべき調査項目、調査項目別に有効な調査法を表2.3.2に、主要な地質調査法を表2.3.3に、水文調査の概要を表2.3.4に示す。

また、図2.3.2には各データの解析・設計への利用について、表2.3.5には、図2.3.2に示した各データが得られる調査、試験とその目的についてまとめた。

## III 発生土に対する検討項目

- ① 酸性水の流出 水質変化、動植物・農作物への影響、重金属の再溶出
- ② 重金属の溶出 表流水・地下水の汚染、地下水経由や食物連鎖による人・動植物への健康被害

自然由来の重金属等を含有する岩石・土壌<sup>1)</sup>あるいは、発生土に関する地質調査・水文調査および、リスク評価については、参考資料2を参照するとともに、表2.3.2～2.3.5に示した。なお、人為由来の汚染土壌に関しては、別途「土壌汚染対策法」等に準拠して検討するものとする。

- 1) 平成22年4月に施行された改正土壌汚染対策法では、自然由来の重金属が含まれる汚染土壌も系外<sup>※</sup>へ搬出される場合は法の対象としている。また、粒径によって発生土は土壌ではないとの判断もあり得るが、念のため、自然由来の重金属を含む発生土については、法の適用について環境部局へ確認する必要がある。

※ 岩石・土壌からの自然由来による重金属等の基準超過は、ある程度の範囲をもって地域形成されるものであり、その地域を外れる場合をいう。

表2.3.2 地山条件、調査項目と調査法の関係

地山条件	調査項目																								
	地形				地質構造				岩質・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	偏圧が作用する崩壊	土崖被り	急崖盤斜面	地質分層	断層褶曲	岩質褶曲	岩相	割れ目等分離	風化変質	固結度	帯水層	地下水位	透水性係数	弾性波速度	物理特性	底縮強さ等の強度特性	変形係数等の変形特性	粘土の特性	吸水膨張率	重金属・酸性水	地温熱	有害ガス	地下資源	
一般的な地山条件	○	○			○	○	○	○	○					○	○	○					△	△	△	△	
軟岩	○	○	○		○	○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△	
土砂	○	○	○		○	△	○							○	○	○					△				
特殊な地山条件等	○	○	○		○		○							○	○	○									
坑口周辺や谷部で地すべりや崩壊の可能性のある地山	○	○	○		○		○							○	○	○									
小さな土被りの地山			○		○		○							○	○	○									
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・温度・有害ガス・地下資源等がある地山			△		○	○	○	○	○	△				○	○	△	△	△	△		△		○	○	
高い水圧や大湧水の発生が予想される地山			○		○	○	○	○	○	△	○	○	○	○											
急崖を形成する岩盤斜面等の不安定地形を有する地山	○	○	○		○	△	○	○	○	○	○	△	○	△	○	○	△	○	△						
概査	資料調査	○	△	○	○	△	△	△	△													○	△	△	
	空中写真判読	○	△		○	△	○		△	△															
	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・検層																								
	標準貫入試験											○						△	△						
	孔内水平載荷試験																		○						
	透水試験											○	○										○		
	速度検層					△	△			○	○	△			○	△									
	電気検層					△		△			△	△	○	△	△		△								
	ボアホールテレビ						△			○															
	室内試験																								
	単位体積重量																	○							
	自然含水比																	○			△	△			
	粒度試験																	○		○					
	土粒子の比重試験																	○		△					
	コンシステンシー試験																	○		△					
	一軸圧縮試験											△	△					○	△			△			
	三軸圧縮試験																	○	○			△			
圧裂試験																	△								
点載荷試験																	○								
針貫入試験																	○								
透水試験														○											
超音波伝播速度試験														○	○	△	○								
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)																		○	△	△	△				
吸水膨張試験																		△	△	○					
X線回折試験																		○			△		○		
岩石・土壌の化学分析																					○				
調査坑試験					○		○	○	○	○	○	○	○	△	△	△	△				△	△	○		

注) 室内試験の詳細は解説表2.3.5に示す

表中の記号：(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

(トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説 一部修正)

表2.3.3 おもな地質調査法による調査項目、利用法、問題点および適用段階

調査法	調査により得られる情報	調査結果の目的と調査結果の利用	調査の問題点	適用段階			
				路線選定	設計・施工計画	施工	
資料調査	・計画地域の地形・地質・水文・災害履歴、施工性等の概要	① 候補路線の選定段階で回避すべき地形・地質・水文上の問題点および問題区域の概要を把握する ② 地表踏査およびその後の精査で明らかにすべき問題点を抽出 ③ 計画トンネルを含む地域の地形、地質、水文等の概要の検討 ④ 断層破砕帯、地すべり地、崩壊地、未固結堆積物等の表層地質の把握 ⑤ 坑口部の地形、地質状況の把握	① 地域により資料がない場合がある ② 一般に図面類の精度が低い ③ 図面類の表現等が調査目的と必ずしも一致しない ④ 調査が困難な市街地、平地、台地下の場合、ボーリングや井戸の掘削記録、周辺での工事記録等の既存資料が特に重要である	◎	○	△	
空中写真読	① 表層地質、とくにトンネル坑口付近の不安定地形・地質 ② 地質構造、とくに断層・割れ目等の弱線 ③ 人工改変前の表層地質	① 各種調査・試験結果を合わせて地質平面図・断面図等を作成し、線路沿いの構成地質の分布・性状を明らかにする ② 路線沿いの構成地質の安全性・施工性に関する定性的評価 ③ 以後の調査の方法、順序、位置等の検討資料の取得	① 計画地内を均一精度で調査が可能だが、誤判読の可能性があり、地表踏査で確認する必要がある。 ② 各調査段階で再判読を行い、精度を上げていく必要がある ③ 空中写真の縮尺による判読の精度や難易度が異なる ④ 地形改変の進んだ地域の場合、地形改変以前の空中写真、地形図による原地形の復元や埋没している沖積低地等の把握が可能	◎	○	△	
地表地質踏査	① 表層地質の分布、柱状、安定性 ② 基礎地質の分布、柱状 ③ 地質構造（褶曲、断層等）の分布、柱状	① 各種調査・試験結果を合わせて地質平面図・断面図等を作成し、線路沿いの構成地質の分布・性状を明らかにする ② 路線沿いの構成地質の安全性・施工性に関する定性的評価 ③ 以後の調査の方法、順序、位置等の検討資料の取得	① 調査により作成された地質図類は一つの解釈図であり、その後の調査で検証する必要がある ② 使用する地形図の精度に大きく左右される ③ 以後の調査成果を反映させて修正されるものであり、その後の調査段階の要求に合わせて別の角度から踏査を実施することもある ④ 坑口部や活断層等の調査では、範囲を限定した壺堀やトレンチ等による精密な踏査が有効である	◎	◎	○	
物理探査	弾性波探査（屈折波法）	① 地山の弾性波速度 ② 断層・破砕帯等に起因する低速帯の位置・規模・速度値	① 坑口付近・土被りの小さい区間の未固結堆積物・風化層の厚さ・性状の把握 ② 施工基面掘削岩盤の状況（硬さ、風化変質、亀裂状況等）の把握 ③ 軟弱層、断層、破砕帯の位置、規模、状態や連続性の把握 ④ 地山分類の検討	① 線状構造物であるトンネルの地質調査に非常に有効である ② 解析上留意すべき地形条件、解析の困難な地質構造等が存在するため、その適用には注意が必要である ③ 低速帯層が挟在する場合には、解析が不正確になる ④ 結果はあくまでも速度分布であり、詳細な地盤状況等の評価は、他の調査結果と合わせて総合的に評価する必要がある ⑤ 厚層の薄い層の把握等は困難である ⑥ 都市部では振源が限定され、また人工的な振動ノイズが大きい	◎	◎	○
	電気探査	・地盤の比抵抗値および比抵抗値の断面的分布状態	① 軟弱帯層の検出 ② 地下水・水層の分布・性状検討 ③ 崖錐、化層の深度把握	① 探査地点の地形、地質条件で探査精度は大きく変わる ② 地下深部ほど分解能が低下する ③ 比抵抗値を測定するものであり、地盤の力学強度とは直接関係しない ④ 地下水調査や弾性波探査との併用が望ましい ⑤ 都市部ではノイズ源が多く存在する ⑥ 舗装道路等では電極配置に工夫が必要である	○	○	△
ボーリング調査	標準貫入試験	① 地山のN値と硬軟あるいは締めり具合 ② 土の試料採取、構成土の判別・分類	① 都市部における一般的な地山の安定性の検討 ② 岩盤や支持層の深さの把握	① N値50以上の硬い地盤では細かい判定はできない ② 近年、軟岩地盤への適用例が増えてきたが、一般に岩盤や礫層には適用できない	◎	○	△
	孔内水平載荷試験	・地山の变形係数、弾性係数等	・地山の变形解析	① 構成地質、ボーリングの孔径に見合った機種を選定する必要がある ② コア観察により代表的な地質状況の区間を選定する必要がある	○	○	△
孔内試験	透水試験	・地山の透水係数等の水理特性	① 帯水層での突発湧水・恒常湧水の予測、評価 ② 未固結地山での切羽自立性の評価	① 測定値は概略であり、オーダーで評価する必要がある ② 地盤条件により試験方法を選定する必要がある ③ 深度が大きくなると、砂質土ではケーシングの立て込みが困難となる	○	○	△
	速度検層PS検層	・地山の弾性波速度の鉛直分布	① 速度値から、間接的に岩盤・土砂の区分の推定 ② 弾性波探査ではわからない低速帯層の把握	① 地下水がないと測定できない場合がある ② 地下水面下では低速帯層の測定ができない場合がある ③ 都市部では振源に限られる	○	○	△
検層	電気検層	・孔壁に近接する部分の見かけ比抵抗値	① 比抵抗値による地質分布の把握 ② 帯水層の地下賦存状況の評価	① 地下水面下の測定に限られる ② ケーシング挿入区間は測定不能である	○	○	△
	密度検層	・地山の密度	・地山の湿潤密度、乾燥密度、孔隙率の状況とそれらの深度分布の把握	① 比較的強いγ線源を用いる必要がある ② 校正曲線作成のための検定実験が必要である	○	○	△
キャリパー検層	・ボーリング孔の孔径の変化	① 地山の安定性の定性的評価 ② 不安定地層の深度分布の把握	・ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない	○	○	△	
	地下水検層	・地山中の地下水流動層の分布や流動性の把握	① 単一電極、検層方式は測定に時間を要する ② 深度が深くなると電解物質の攪拌が困難となる ③ ケーシングが挿入されたボーリング孔では測定できない	○	○	△	
ボアホールテレビ	① 地層の成層状況 ② 湧水状況	① 切羽の安定性検討 ② 湧水箇所の性状検討	① 孔内洗浄を十分に行う必要がある ② ケーシングが挿入されたボーリング孔では観察不能である	△	△	△	
	初期地圧測定	・地山応力	・地山の応力状態の把握	・測定結果は極めて局所的な応力状態を表しており、測定結果から地山全体の応力状態の推定が難しい	△	△	△
室内試験	① 構成岩石の物理、力学特性（単体重さ、弾性波速度、圧縮強度等） ② 構成岩石の鉱物化学的特性（粘土鉱物含有量、スレーキング特性等） ③ 構成土質の物理・力学特性：粒度組成、含水比、圧縮強度、コンシステンシー等 ④ 岩石・土壌の化学組成、酸性水の流出可能性	① 未固結地山での切羽自立性の検討 ② 地山弾性波速度と合わせて割れ目等による岩盤の劣化程度を把握 ③ 圧縮強度より岩盤の力学特性把握 ④ 膨張性地山の予測評価 ⑤ 掘削土からの酸性水・重金属の流出可能性の判定	① 対象とする地山の問題点に合わせて試験項目を選択する ② 結果は試験体の物性値であるので、地山の評価はこれらの試験結果に割れ目等の評価を考慮する ③ 軟岩資料では含水比により試験結果が大きく異なる場合がある ④ 力学試験では、試料採取時の試料攪乱の影響を受けやすい ⑤ マニュアル等を参考に調査方法を検討する必要がある	○	◎	○	

◎：実施すべき調査 ○：実施した方がよい調査 △：必要により実施した方がよい調査

表2.3.4 水文調査の概要

項目	調査目的	調査内容	調査段階					
			路線選定	施工計画	施工中	施工後		
水文調査の細分	資料	地形、地質、水文、地下水利用に関する資料を収集し、調査地域の水理地質構造、地下水の概要、問題点を把握し調査計画を立案する。	◎	◎	△	△		
	事例	地山条件の類似した地域、近接地域の既往工事を参考に、対象トンネルにおける湧水、減・湧水の規模の評価、調査方法の適用性を検討する。	◎	◎	△	△		
	水文地質調査	《帯水層の構造》地下水の容器としての水理地質構造（帯水層の分布・規模）、地下水性状（地層水、裂か水）等を水理地質図にとりまとめ、湧水地点、集水範囲を予測する。また、有効な水文地質調査計画を立案する。	地表地質踏査 物理探査（電気探査等） ボーリング調査 孔内検層 水質調査（現地、室内）	◎	◎	○	△	
		《帯水層の特性》帯水層の透水係数、貯留係数等の水理定数を評価し、水理学的手法により湧水量と集水範囲を予測する。	単孔式透水試験（ピエゾメーター法等） 湧水圧試験、注水試験 揚水試験、孔間透水試験 トレーサー試験、流向流速試験 減水深調査	△	◎	△	△	
		水収支	調査地周辺の水循環系を把握するため水文気象、表流量、地下水位調査等を実施し、水収支の検討を行い、施工による地下水動態を予測する。	水文気象：降水量、気温 表流量：河川流量、湖沼貯水池、堰・用水量、湧泉量 地下水位：観測井、既設井 蒸発散量 トンネル湧水量、湧水影響	◎	◎	◎	◎
			水文環境	上記調査から考えられる集水範囲および近接地域における水源と水利用の実態を把握し、施工による影響を予測する。	◎	◎	○	○
	水質調査	重金属や酸性水の懸念がある場合は、調査各段階で必要に応じて水文地質、水文環境調査を実施する。	△	△	△	△		
予測手法	坑内湧水発生の有無、湧水量、湧水位置およびその集水範囲を予測する。予測手法の適用は、各調査・検討段階における情報の質・量、必要とする予測精度・内容に則して実施する。	施工事例による方法 地形・水文地質条件による方法 水理公式による方法 数値解析による方法	◎	○	△	△		

◎：実施すべき調査 ○：実施した方がよい △：必要により実施した方がよい調査

(トンネル標準示方書 山岳工法・同解説 表2.9を一部修正)

図2.3.2 調査・試験値の解析・設計への利用

調査・試験	ボーリング調査		弾性波		室内試験						現位置試験	
	コア観察	ボーリング孔内試験 速度検層	探査	速度試験	物理学試験			分析試験		岩盤直接せん断試験		載荷試験
方法	孔内水平 載荷試験	速度検層	探査	速度試験	物理学試験			分析試験		岩盤直接せん断試験		載荷試験
得られる地質・性状	降伏値 $P_y^*$	変形係数 $E^*$	地山のP波速度 $V_p^*$	弾性波速度 $V_p, V_s$	ポアソン比 $\nu$ (静的)	一軸圧縮試験	三軸試験	吸水膨張試験	X線分析	粘着力	内部摩擦角	降伏値
事項	RQD	$E^*$	$V_p^*$	$V_p, V_s$	(静的)	圧縮強度 $\sigma_c$	内部摩擦角 $\phi$	膨張率 $P_w$	粘土鉱物の有無	$C^*$	$\phi^*$	$P_y^*$
(番号)	①	②	④	⑧	⑪	⑤	⑩	⑫	⑬	⑮	⑯	⑰
		③			⑨		⑪		⑬		⑯	⑰
												⑱



岩盤分類	岩盤分類の要因	岩種・岩質・区間延長	準岩盤圧縮強度 $\sigma_c^*$	岩盤の変形係数 $E^*$	ポアソン比 (静的) $\nu^*$	粘着力 $C^*$	内部摩擦角 $\phi^*$	地山強度比
	資料となる調査・試験値 (番号表示)	①, ④, ⑯, ⑬, ⑭	$\left[ \sigma_c^* = \sigma_c \left[ \frac{V_p^*}{V_p} \right] \right]$ ②, ④, ⑤, ⑧, ⑯	$\left[ E^* = E \left[ \frac{V_p^*}{V_p} \right] \right]$ ③, ④, ⑥, ⑧, ⑯	⑦	⑩, ⑮	⑪, ⑯	$\sigma_c^* / (\gamma H)$ ②, ④, ⑤, ⑧, ⑨, ⑯



N A T M等級の決定

掘削および支保パターンの決定

設計

注) 岩盤の定数には「\*」を付した。

表2.3.5 トンネル地質調査の調査・試験項目

調査・試験項目		調査・試験によって 得られる物性値	地 山 条 件			目 的	
			硬岩・ 中硬岩	軟 岩	土 砂		
現 位 置 調 査	弾性波探査	地山の弾性波速度	○	○	△	坑口部の未固結堆積物の 厚さ・性状と掘削岩盤状 態の把握 地山分類の検討	
	ボーリング調査	①土砂・岩盤の成層状態と 分布②断層・軟弱層などの 位置・規模・性状・連続性③ 岩石の種類・風化・割れ目・ RQD等④地下水の有無、湧 水圧・量	○	○	○	構成地質の分布・性状の 詳細把握 岩石の硬さ、風化・変質状 況・亀裂状況・RQD等より 地山分類・掘削工法など を検討	
	孔内試験・ 検層	孔内水平載荷試験	地山の変形係数等	○	○	○	地山の変形解析や地山分 類の検討
		速度検層	地山の弾性波速度	○	○	△	間接的に岩盤・土砂区分 や岩盤の風化・変質・割れ 目の多少の推定 弾性波探査ではわからな い低速度層の把握 地山分類の検討
	岩盤直接せん断試験	岩盤の粘着力、内部摩擦角	△	△		地山分類の検討	
	載荷試験	地山の変形係数、降伏圧等		△	△	地山の変形解析や地山分 類の検討	
室 内 試 験	単位体積重量試験	単位体積重量	△	○	○	地山強度比の算出	
	一軸圧縮試験	一軸圧縮強度、静弾性係 数、静ポアソン比	○	○	○	地山強度比、数値解析の 参考資料	
	三軸圧縮試験	粘着力、内部摩擦角		△	△	数値解析の参考資料	
	超音波伝播速度試験	P波・S波速度、動弾性係 数、動ポアソン比等	○	△		亀裂係数などの分類指標	
	スレーキング試験 (浸水崩壊度試験)	浸水崩壊度		○		膨張性の判定指標	
	X線分析	粘土鉱物の種類		△	△ (粘土質)		
	吸水膨張試験	吸水膨張率・膨張圧		△	△		
岩石・土壌の化学分析	重金属の含有量、溶出量、 pHなど	○	○	○	掘削土からの酸性水、重 金属の流出可能性の判定		

○：よく実施されるもの △：場合によって実施されるもの

(トンネル標準の方書(山岳工法編)・同解説の解説 表2.2、2.3、2.4を参考として作成)

## 2.4 トンネルの地山分類

トンネルの地質調査結果を用いて、地山の性状を工学的に評価しなければならない。

トンネルの地山分類表として、北海道開発局および日本道路協会の地山分類をそれぞれ表2.4.4、表2.4.5に示す。

地山等級の判定に当たっては、これらの地山分類表を基として図2.4.1に示す流れに沿って総合的に評価するものとする。

また、各地山分類表の適用に当たっては、以下の事項に十分留意しなければならない。

### 【解 説】

トンネルでは、工事計画、設計、施工の検討を地山分類基準で示される地山等級を標準として適用することが一般的に行われている。

- (1) これらの分類表は、一般的な標準を示すものであり、現場の状況に即しない場合には、適宜変更して使用することができる。
- (2) また、坑口部で大きな土圧が作用する場合、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) 日本道路協会による地山等級の内、地山分類表にあてはまらないほど地山が良好なものを地山等級A、劣悪なもの（掘削幅10m程度で内空変位200mm以上）を地山等級Eとする。
- (4) 地山等級の評価に当たっては、トンネルの地質調査結果を用いて、日本道路協会分類表に従って地山等級を判定した後、得られた地山定数とその地山等級に対応するかを北海道開発局分類表で確認して最終的に決定するものとする（図2.4.1参照）。
- (5) 既に建設されたトンネルが隣接するトンネルの設計においては、既設トンネルの実績地山等級や支保パターンだけでなく、掘削時の変位や不連続面の状態、不連続面の間隔、地下水の影響等を考慮して地山を評価するものとする。
- (6) 地山等級の評価に先立ち、切羽の自立性、突発的湧水、偏圧の作用が懸念される地形、坑口付近での斜面の崩壊・地すべりおよび近接施工への影響、地山の膨張性などをもとにトンネル施工の難易度の評価を行うことが重要である。

参考として地山の膨張性の指標および流動化の指標をそれぞれ表2.4.1と表2.4.2に示す。

表2.4.1 地山の膨張性を示す指標の例

	仲野 (1975)	日本鉄道建設公団 (1977)	大塚ほか (1980)	佐藤ほか (1980)	吉川ほか (1988)
膨張性を示す指標	<p>地山強度比 (Gn) = <math>\sigma c / \gamma H</math>  <math>\sigma c</math>: 一軸圧縮強度  <math>\gamma</math>: 単位体積重量  H: 土被り厚</p> <p>① <math>Gn \leq 2</math>  押しし性～膨張性</p> <p>② <math>2 &lt; Gn \leq 4</math>  強度の押しし性～地圧が大きいと推定される</p> <p>③ <math>4 &lt; Gn \leq 6</math>  地圧が大きいと推定可</p> <p>④ <math>6 &lt; Gn \leq 10</math>  地圧があると推定可</p> <p>⑤ <math>10 &lt; Gn</math>  地圧がほとんどないと推定可</p>	<p>地圧発生の可能性が非常に大きいもの</p> <p>① 岩石中の主要粘土鉱物がモンモリロナイト</p> <p>② 2 <math>\mu</math> m以下粒子含有率 <math>\geq 30\%</math></p> <p>③ 塑性指数 <math>\geq 70\%</math></p> <p>④ 陽イオン交換容量 <math>\geq 35</math> meq/100 g</p> <p>⑤ 浸水崩壊度D</p> <p>⑥ ボーリングサンプル中破砕部多い</p> <p>膨張発生の可能性あり</p> <p>① 岩石中の主要粘土鉱物がモンモリロナイト</p> <p>② 2 <math>\mu</math> m以下粒子含有率 <math>\geq 20\%</math></p> <p>③ 塑性指数 <math>\geq 25\%</math>  陽イオン交換容量 <math>\geq 20</math> meq/100 g</p>	<p>① 変形係数 <math>\leq 8000</math> kgf/cm<sup>2</sup></p> <p>② 一軸圧縮強度 <math>\leq 40</math> kgf/cm<sup>2</sup></p> <p>③ 単位体積重量 <math>\leq 2.05</math> gf/cm<sup>3</sup></p> <p>④ 自然含水比 <math>\geq 20\%</math></p> <p>⑤ 液性限界 <math>\geq 100\%</math></p> <p>⑥ 塑性指数 <math>\geq 70\%</math></p> <p>⑦ 液性指数 <math>\geq 20\%</math></p> <p>⑧ 2 <math>\mu</math> m以下粒子含有率 <math>\geq 30\%</math></p> <p>⑨ 陽イオン交換容量 <math>\geq 35</math> meq/100 g</p> <p>⑩ 膨張率 <math>\geq 20\%</math></p>	<p>① 自然含水比 <math>\geq 20\%</math></p> <p>② 単位体積重量 (乾燥) <math>\leq 1.8</math> gf/cm<sup>3</sup></p> <p>③ (第1回吸水量/自然含水比) <math>\leq 2.0</math></p> <p>④ 浸水崩壊度C～D</p> <p>⑤ モンモリロナイト含有量 <math>\geq 30\%</math></p> <p>⑥ R Q D <math>\leq 30\%</math></p>	<p>著しい膨張性を呈する地山</p> <p>① ボーリング時  ・ 無水掘りが必要  ・ コア膨張が顕著</p> <p>② <math>Gn \leq 1.5</math> (&lt;0.5で顕著)</p> <p>③ モンモリロナイト含有量 <math>\geq 20\%</math>かつ自然含水比 <math>\geq 20\%</math></p> <p>④ 浸水崩壊度D</p> <p>膨張性を呈する地山</p> <p>① ボーリング時  ・ コア採取率低い  ・ コアディスクングが顕著 (&lt;0.5で顕著)</p> <p>② <math>1.5 \leq Gn &lt; 2.0</math></p> <p>③ モンモリロナイト含有量 <math>\geq 20\%</math>または自然含水比 <math>\geq 20\%</math></p>
備考	新第三紀泥岩	赤倉トンネル 新第三紀中新世 椎谷層 第四紀洪積世 灰爪層	鍋立山トンネル 新第三紀中新世 椎谷層定性的に上記②～ ⑤、⑩は膨張性との相関あり ⑧、⑨等は相関性低い	青函トンネル算用師工区 新第三紀中新世泥岩	新第三紀泥岩

注) 1 kgf/cm<sup>2</sup>  $\approx$  0.1MN/m<sup>2</sup>  
モンモリロナイト含有量 = スメクタイト含有量、膨張性を持つ粘土鉱物には、モンモリロナイト、パイデライト、ノントロン石、サボナイト、ヘクトライト、ソーコナイト、スティープンサイトなどがあり、これらの粘土鉱物を一括してスメクタイトと呼んでいる。一般的に利用されているX線回折では、スメクタイトであることは同定できるが、モンモリロナイト等の鉱物までは同定できない。

(トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説)

表2.4.2 地山の流動性を示す指標の例

	矢田ほか (1969)	森 藤 (1973)	日本国有鉄道構造物設計事務所 (1977)	土木学会 (1977)	奥園ほか (1982)	木谷ほか (1993)
指標	<p>単位体積重量 <math>\leq 2.65</math> gf/cm<sup>3</sup></p> <p>土粒子の比重 <math>\leq 1.70</math></p> <p>均等係数 <math>\leq 4</math></p> <p>50%粒径 <math>\leq 1.50</math> mm</p> <p>10%粒径 <math>\leq 0.15</math> mm</p>	<p>細粒分含有率 <math>\leq 10\%</math></p>	<p>① 均等粒径の砂  ・ 細粒分含有率 <math>\leq 10\%</math>  ・ 均等係数 <math>\leq 5</math>  ・ 飽和砂</p> <p>② 地下水位の高い砂および砂礫層</p> <p>③ 不透水層中に介在する帯水砂層</p>	<p>細粒分含有率 <math>\leq 10\%</math></p> <p>均等係数 <math>\leq 4</math></p>	<p>細粒分含有率 <math>\leq 8\%</math></p> <p>均等係数 <math>\leq 6</math></p> <p>透水係数 <math>\geq 10^{-3}</math> cm/s</p>	<p>① 自立が困難  ・ 相対密度 &lt; 80%  ・ 切羽近傍の動水勾配が大</p> <p>② 流出の可能性がある状態  細粒分含有率 &lt; 10%</p>
備考	加木トンネル	生田トンネル				信濃川水路トンネルほか 詳細検討には試料試験が必要

(トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説)

(7) 地山判定基準について

当初設計段階の地山分類は、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。また、施工中には観察・計測や先進ボーリング調査等の結果とこの判定基準とを比較して事前設計の地山等級の確認を行い、また、必要があれば変更を行う資料とする。

1) 岩種区分

北海道開発局の地山分類表

古生層～深成岩(剥離性に富むものと富まないもの)、火山岩、新第三紀堆積岩類の4岩種とする。

日本道路協会の地山分類表

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、表2.4.3の4つの岩石グループに区分する。

表2.4.3 岩石グループ

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

注) ----- は、主に弾性波速度の違いによる分類を示し、分類されたグループは、表2.4.5の代表岩種名欄のグループに対応する。

(道路トンネル技術基準(構造編)・同解説)

- ・ 北海道開発局の地山分類表の使用に際し、次の場合は別途検討する。
  - ① 蛇紋岩および片岩類で蛇紋岩化作用をうけており、吸水膨張性を有するもの。
  - ② 火山岩のうち、温泉変質・熱水変質等により変質したもの。
  - ③ 上記の外、第三紀層泥岩・頁岩・凝灰岩などは、水による劣化を生じやすいので十分な検討が必要である。
  - ④ 蛇紋岩・変朽安山岩・頁岩・泥岩・凝灰岩等で、膨張性が明確であればDIIまたはEに地山等級を落とす必要がある。
- ・ 日本道路協会地山分類表の使用に際し、以下の岩石については注意が必要であり、場合によっては表2.4.5に表示される地山等級を下げる必要がある。
  - ① 蛇紋岩や蛇紋岩化を受けた岩石、泥岩・頁岩・凝灰岩、火山砕屑物などは水による劣化を生じ易いので十分注意を要する。
  - ② 蛇紋岩は変質が極めて不規則であるので、物理探査やボーリング調査の結果だけでは地質の実態を把握できないことが多いので、施工段階に十分注意を要する。
  - ③ 輝緑岩、角閃岩、かんらん岩・はんれい岩、輝緑凝灰岩は、蛇紋岩化作用を受け易いので、蛇紋岩と同様の注意が必要である。
  - ④ 蛇紋岩や変朽安山岩(プロピライト)、黒色片岩、泥岩、凝灰岩などで膨張性が明確に確かめられたならば、DIIまたはEに等級を下げる。
  - ⑤ 比較的岩片の硬い頁岩、粘板岩、片岩類は、薄板状にはく離する性質があり、切羽の自立性、ゆるみ域の拡大、ゆるみ荷重に注意を必要とする場合がある。

2) 地山弾性波速度  $V_p^*$

弾性波探査は、ボーリング調査等の詳細調査が実施できない区間を補う間接的手法であり、誤差が大きいことも認識しておく必要がある。

- ① 弾性波探査の有効探査深度は、測線長が探査深度の5~6倍以上であることから実用的には100m程度が限界である。

また、地表面から深部へ順に硬くなる(速度が早くなる)ことを仮定した解析方法であるから、途中で硬い層があるなどの逆転が生じる場合には適用できない。このような場合には、比抵抗二次元探査等の物理的探査の採用を検討する。

- ② 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。
- ③ トンネル施工基面より上部約1.5D（Dはトンネル掘削幅）の範囲が複数の速度層からなる場合や明確な速度層境界が確認された場合は、計画高の基盤速度層より上層の速度を採用する方が望ましい。また、坑口部および谷直下付近では、トンネルの上方に比べ側方の土被りが薄い場合が多いため、十分な検討が必要である。
- ④ 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。
- ⑤ 頁岩、粘板岩、片岩等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が良好に検出されることがあるため、十分な検討が必要である。
- ⑥ 施工中に坑内弾性波速度が得られた場合は、地山等級の確認を行い、必要があれば当初設計の変更を行う資料とする。

### 3) RQD

地山分類に用いるRQDについては、RQD(5)は北海道開発局分類表で、RQD(10)は日本道路協会分類表で使用する。RQD(5)は、1片5cm以上のコアの総長÷掘進長×100(%)で算出し、RQD(10)は1片10cm以上のコアの総長から算出する。

RQDにより地山の割れ目の程度を評価するが、一般にボーリングコアの状態およびRQDは、ボーリングの施工技術や掘削径によって大きく左右されるため、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。

なお、この基準はボーリング径66mmのダブルコアチューブで採取されたコアについて評価することを基本とし、主に硬質岩(H)や中硬質岩(M)の亀裂の状況の評価に使用されるが、軟岩(L)でも亀裂状況の参考になる。

### 4) 地山強度比

地山強度比は、軟岩地山におけるトンネル掘削時の押し出し性の判定指標として提案されたものである。表2.4.5の地山分類表では主に中硬質岩(M)の層状岩盤、軟質岩(L)の層状・塊状岩盤、あるいは風化変質した破碎帯や土砂地山における分類指標となる。

地山強度比は、次のように定義する。地山強度比は、支保工設計のため、膨圧の有無・程度を判断する目安として用いられる。

$$\text{地山強度比} = \sigma c^* / (\gamma H)$$

$\sigma c^*$  : 地山の一軸圧縮強度(kN/m<sup>2</sup>)

$\gamma$  : 地山の単位体積重量(kN/m<sup>3</sup>)

H : 土被り高さ(m)

### 5) 北海道開発局(表2.4.4)の地山定数と主な地質状況

#### ① 亀裂係数 K

亀裂がない岩石の弾性波速度との低減比率による割れ目状態の判定指標である。

亀裂係数は次式による。

$$\text{亀裂係数 } K = \{1 - (V_p^* / V_p)\}^2 \times 100\%$$

$V_p^*$  : 地山の弾性波速度(縦波、km/sec)

$V_p$  : 試料の超音波伝播速度(縦波、km/sec)

#### ② 準岩盤圧縮強度 $\sigma_c^*$

地山の一軸圧縮強度は、亀裂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、亀裂の影響が大きい地山には準岩盤圧縮強度を用いる。

$$\sigma_c^* = \sigma_c \times (V_p^* / V_p)^2$$

$V_p^*$  : 地山の弾性波速度(縦波、km/sec)

$V_p$  : 試料の超音波伝播速度(縦波、km/sec)

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

③ 地山定数

粘着力 $c^*$ 、内部摩擦角 $\phi^*$ 、ポアソン比 $\nu^*$ については、数値解析を行う場合、入力物性値の目安として使用することができる。また、準岩盤圧縮強度・変形係数は、孔内試験などの現位置試験で入手可能な物性値であり、有効な分類指標と考えられる。

④ 主な地質状況

大まかな目安を示す。

6) 日本道路協会(表2.4.5)の地山の状態とトンネル掘削の状況

① 地山の状態

岩盤は岩塊や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てば、その強度は不連続面の強度に支配される。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し、トンネル掘削による挙動は不連続面を含む地山の強度が支配的となる。

・ 岩質、水による影響

風化・変質程度による現時点の強度評価と施工時における水による強度劣化やゆるみに対して評価を行う。

・ 不連続面の間隔

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。

・ 不連続面の状態

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。

② トンネル掘削の状況

施工時の切羽観察による地山評価においては、切羽で観察される不連続面の走向・傾斜とトンネル軸の関係、および地下水の湧水量、地下水による強度低下に対して必要に応じて地山の評価を修正できるものとする。

表2.4.4 地山分類表

地山区分	剥離性に富む 古生層～深成岩		剥離性に富まない 古生層～ 深成岩, 火山岩		第三紀堆積岩類		亀裂係数 K (%)	主な地質状況	地山定数					地山強度比 $\frac{\sigma_c^*}{\gamma H}$
	Vp* (km/s)	RQD(5) (%)	Vp* (km/s)	RQD(5) (%)	Vp* (km/s)	RQD(5) (%)			準岩盤圧縮 強度 $\sigma_c^*$ (MPa)	粘着力 $C^*$ (MPa)	内部摩擦角 $\phi^*$ (°)	変形係数 $E_s^*$ (MPa)	ポアソン比 $\nu^*$	
A	4.8以上	60以上	4.5以上	60以上					140以上	6以上	55以上	5,000以上	0.25以下	
B	4.5～4.8	50～60	4.0～4.5	50～80		60以上	25以下	1.新鮮にて亀裂ほとんどない 2.肌落ちほとんどない	140～35	6以上	55～50	5,000以上	0.25以下	
CI	4.0～4.5	30～50	3.5～4.0	30～70		40～60	25～50	1.新鮮にて亀裂少ない 2.肌落ち少ない	35～15	6～3	55～45	5,000～2,000	0.25～0.30	
CII	3.5～4.0	20～30	3.0～3.5	20～50		30～40	50～70	1.わずかに風化, 亀裂やや多い 2.肌落ち多い	15～7	3～1.5	45～40	2,000～1,000	0.25～0.30	$\geq 4$
DI	3.0～3.5	20以下	2.5～3.0	40以下		20～30	70～80	1.風化受け亀裂多い 2.一部変質破砕帯あり	7～3.5	1.5～1	40～35	1,000～500	0.30～0.35	4～2
DII				30以下		20以下	80以上	1.風化強く受け亀裂多い 2.一部に変質破砕帯	3.5～1.5	1～0.5	35～30	500～150	0.30～0.35	2～1
E								1.強風化及び破砕帯 2.変質を伴う破砕帯	1.5～0.5	0.5～0.1	30～15	150～30	0.35～0.40	1以下

注1) 古生層～深成岩のうち、吸水膨張性を有する蛇紋岩、片岩類は別途考慮

注2) MPa=N/mm<sup>2</sup>



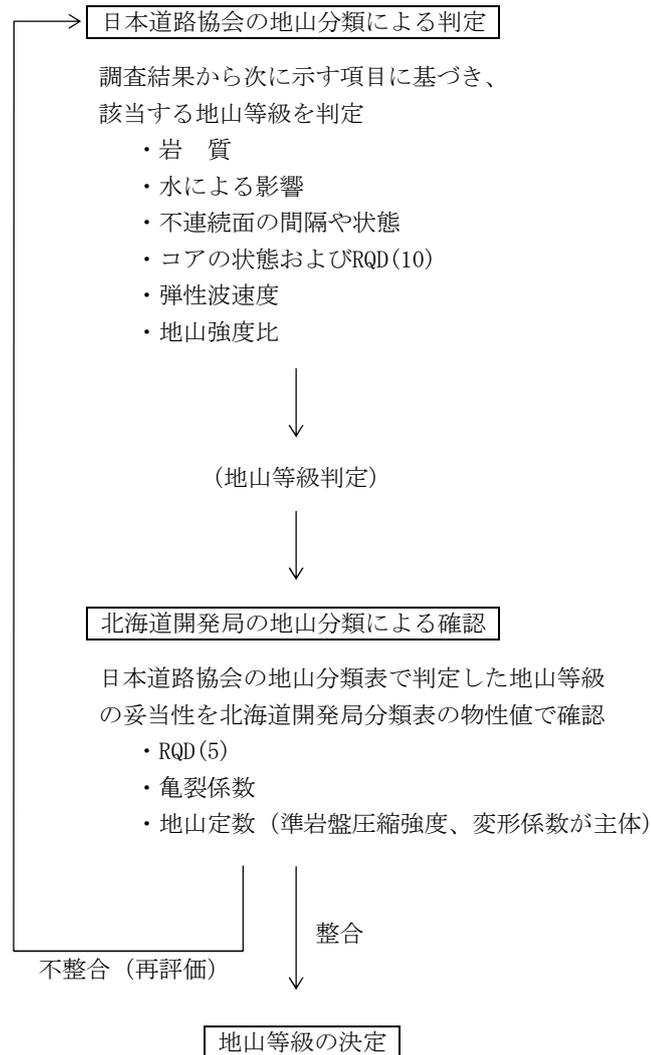


図2.4.1 地山等級評価の流れ

## 2.5 支保構造の設計

### 2.5.1 基本的な考え方

設計は、地山条件、環境条件、トンネル断面等を十分に考慮して、適切な設計手法を選定し、手戻りがないように行わなくてはならない。また、施工中の地山観察および計測結果から当初の設計が現地の条件に適合しない場合には、遅滞なく設計の変更を行わなければならない。

#### 【解 説】

- (1) 山岳トンネルの支保・覆工の設計手法には、以下のようなものがある。
  - 1) 標準設計の適用 …………… 地山条件(地形、地質、土被り等)、断面積・形状、周辺への影響の制約等の条件が標準的である場合。
  - 2) 類似条件での設計の適用 …… 地形・地質・断面形状が非常に似かよった事例がある場合。
  - 3) 解析的手法の適用 …………… 設定条件が標準的でなく、類似の条件下での施工事例もない場合や、周辺地山の挙動も併せて評価する必要のある場合。

特に、都市域等で、地表面沈下が問題となるような場合には、トンネル周辺地山の挙動が重要な判断要素となるため、有限要素法(FEM)等の解析的手法により設計されることが多い。また、覆工の設計については、覆工をばねで、地盤をばねでモデル化する骨組解析により行われることが多い。これらの解析的手法による場合には、解析モデルや境界条件、地盤の入力物性値等が、解析結果に大きく影響するため、入力値や解析結果の評価に十分な注意が必要である。

- (2) 設計手順の概略を図2.5.1に示す。設計は当初設計と修正設計の2つに大別される。当初設計では計画、調査に基づく諸条件と地山分類結果を用いてトンネルの断面形状、支保工、覆工、掘削工法、補助工法等についてまず概略設計を行う。

- (3) 概略設計に引き続き、実際に施工に即した詳細設計が行われる。詳細設計では、支保パターン、加背割、掘進長、変形余裕量、覆工、インパートコンクリート、路盤コンクリート、排水工、防水工、ひび割れ防止工、断熱工、補助工法等を検討し決定する。

修正設計は、当初設計に基づいて施工されるトンネルの観察、計測結果の分析から、当初設計段階で決定した地山評価、掘削工法、支保パターン、覆工、補助工法等を再検討して、必要に応じて合理的かつ経済的な設計に修正するものである。修正規模が小さく、基本的な設計・施工法の変更に至らない場合は、詳細設計の内容を変更し、修正規模が大きくなる場合には、地山評価の見直しにさかのぼり設計を再検討することになる。

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

よって、低速度帯前後等で2パターン以上の支保構造差が生じる場合には、緩衝区間を1D程度設けることを標準とする。

ただし、坑口(DⅢ)と隣接するパターンでは緩衝帯は不要とする。

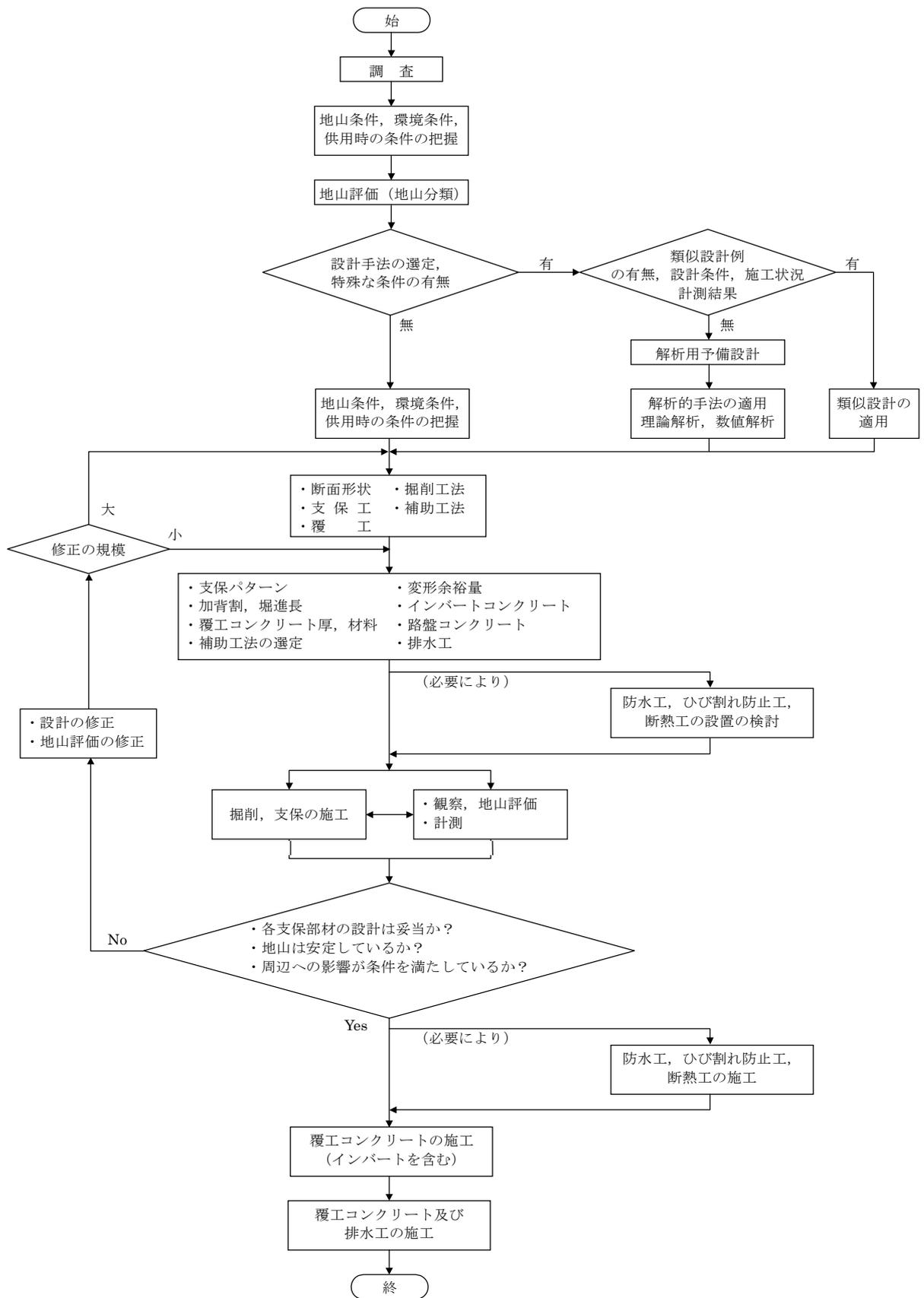


図2.5.1 設計の手順  
 ((財)鉄道総合技術研究所、NATM設計施工指針 一部加筆修正)

## 2.5.2 道路トンネルの耐震対策に関する留意点

地震の影響を最小化できるように、設計段階や施工段階において特殊条件を有する区間は十分な支保構造となるよう設計を行うことを標準とする

### 【解説】

トンネルの設計上、耐震対策に関して、特に留意すべき点は以下の通りである。

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

## 2.6 標準支保パターン

標準支保パターンは

- (1) 地山分類B～DⅡの範囲にあること。
- (2) 地山強度比が1.0以上であること。
- (3) 土被りが1～2D(Dは掘削幅)以上であること。
- (4) 内空幅が8.5～12.5m程度であること。(表2.7.1参照)

の条件において適用するものとする。

### 【解説】

支保工の設計にあたっては、地山条件、施工法等を考慮し、地山分類ごとに支保部材を適宜選定し、支保パターンを設定しなければならない。支保工は、トンネル周辺の地山が保有する支保機能を有効に活用できるものでなければならない。したがって、その設計にあたっては、地形・地質、地山の力学的特性、土被りの大小、湧水の有無、掘削断面の大きさ、地表面沈下の制限、施工法等の種々の設計条件を総合的に考慮し、合理的な支保工を設定することが必要である。

一般にわが国の地山状況は、複雑で変化に富んでいるため、トンネル掘削前に地山条件を正確に把握し、地山状況に適応した支保工を事前に設計することは困難である。したがって、施工前に地山条件を適切な指標により分類した地山分類ごとに、吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等の支保部材を適宜選定した支保パターンを設定して当初設計とし、掘削時の観察・計測結果をもとに検証し、必要に応じて修正設計を行い、現地の状況に適合した合理的な支保工としなければならない。支保部材には、吹付コンクリート、ロックボルト、鋼製支保工等のほか、地山条件によっては覆工が挙げられるが、各々の有する支保機能を十分考慮して選定しなければならない。

支保構造の当初設計は、地山等級に応じて原則として表2.6.1に示す標準支保パターンによるものとする。

表2.6.1 標準的な支保構造の組み合わせの目安(通常断面トンネル 内空幅8.5～12.5m程度)

地山等級	支保パターン	標準掘進長(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)	補強		
				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先進ベンチカット工法
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	単鉄筋補強	10	
E	E*	0.9	4.0(上半) 6.0(下半)	0.9	0.9	上・下半	H-200	H-150	0.9	25	30	30	別途検討	20(上半) 10(下半)	

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、切羽が安定し、かつ、湧水がないか、あるいはあっても少なく供用時に問題にならない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) などを用いる場合は、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5) 通常断面の適用範囲であっても、大断面との境界付近で上半三心円などの扁平な断面を採用する場合には、大断面の支保パターンの適用を検討する。

注6) 地山分類A、Eについては、地山条件を考慮して別途、支保パターンを設計するものとする。

注7) トンネル内の交差部の設計については、別途考慮する。

注8) ※印は参考

注9) 2.5.2 道路トンネルの耐震対策に関する留意点(1)①～⑧に示す特殊条件が、地山等級B～D I において見られた場合は、道路トンネルの耐震対策に関する留意点(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。

注10) 覆工に単鉄筋補強する場合は、坑口部の覆工で用いられている配筋を参考とし、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) を考慮する。

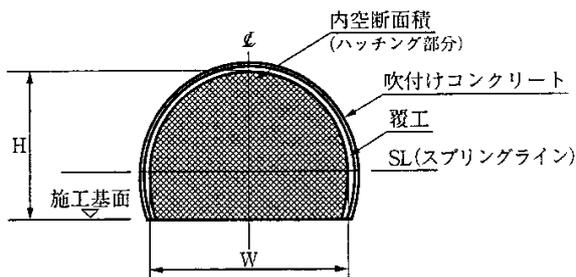
## 2.7 大断面支保パターン

内空幅が12.5m～14.0m程度の大断面トンネルについては、表2.7.1より大断面に分類し、それぞれ表2.7.2を適用する。

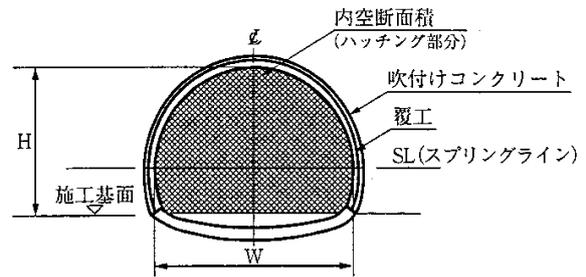
表2.7.1 断面区分検討

項目	区分	
	標準断面	大断面
内空幅 (m)	8.5～12.5程度	12.5～14.0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
内空縦横比	概ね0.6以上	概ね0.57以上
内空断面積(m <sup>2</sup> ) (参考値)	40～80程度	80～100程度

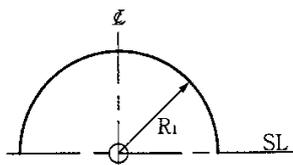
- 注1) 内空幅とは、スプリングライン上での内空幅をいう。(付図-1、2に示すWをさす。)
- 注2) 内空縦横比 (H/W) は付図-1、2に示す内空高さ(H)と内空幅(W)の比で表示した。
- 注3) 内空形状は上半 (SLより上) を形成する円弧に数で付図-3、4に示すように上半単心円 (三心円) と上半三心円 (五心円) とした。
- 注4) 内空断面積は断面形状(内空縦横比など)の影響を受けやすいため、この影響を受けない内空幅により断面を区分する。参考値として各断面のおおよその内空断面積を表に示した。なお、ここでいう内空断面積とは、付図-1、2に示すようにインバート (盤下げ) を含まない覆工内側の全内空断面積をいい、換気計算に用いる車道内空 (舗装面の上部) とは異なる。
- 注5) 大断面における非常駐車帯の内空断面の設定にあたっては、側壁部の形状を共有する形で拡大すると、極度に扁平になることも考えられるため、一般部の内空形状を相似拡大する案も含め、地山条件などに応じた検討が必要である。
- 注6) 内空幅14.0m以上は別途考慮とする。



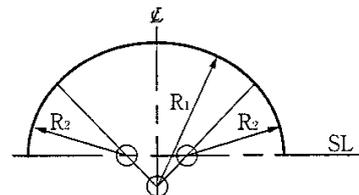
付図-1 インバートなしの場合



付図-2 インバートありの場合



付図-3 上半単心円



付図-4 上半三心円

表2.7.2 標準的な支保構造の組み合わせの目安(大断面トンネル 内空幅12.5~14.0m程度)

地山等級	支保パターン	標準1掘進長(m)	ロックボルト				鋼アーチ支保工				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)	吹付け厚(cm)	アーチ・側壁(cm)	インバート(cm)	補強		
				周方向(m)	延長方向(m)										
B	B	2.0	4.0	1.5	2.0	上半	-	-	-	10	40	0	-	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	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	H-200	1.0以下	25	40	50	単鉄筋	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2.7.1に示すように吹付けコンクリートと覆工の厚さの合計がインバート厚さになるようにインバート厚さのすり付けを行う。
- 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、側圧による押し出しなどもないと考えられる場合はインバートを省略できる。

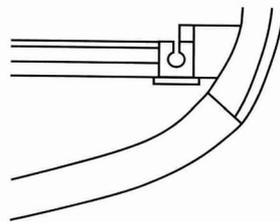


図2.7.1 大断面トンネル脚部のインバートの形状

注2) 金網について

- ① 一般に地山等級がC IIにおいては天端付近に、D I、D II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D IIにおいては、上部半断面工法の場合は上半部に、補助ベンチ付全断面工法は掘削に時間差が無いため上・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み合わせを適用することとするが、中央導坑の支保構造の組み合わせは、現地条件を考慮し決定するものとする。
  - 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、地山条件にあわせて、それぞれ検討するものとする。
- 注6) 2.5.2 道路トンネルの耐震対策に関する留意点(1)①～⑧に示す特殊条件が、地山等級B～D Iにおいて見られた場合は、道路トンネルの耐震対策に関する留意点(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。
- 注7) 覆工に単鉄筋補強する場合は、坑口部の覆工で用いられている配筋を参考とし、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）を考慮する。

## 2.8 小断面支保パターン

小断面トンネルについては、表2.8.1および表2.8.2を参考とする。

表2.8.1 内空断面積40m<sup>2</sup>未満の支保パターン

地山等級	ロックボルト			吹付け コンクリート	鋼アーチ支保工		二次覆工 (cm)
	長さ(m)	施工間隔(m)			部材寸法	建込間隔 (m)	
		周方向	延長方向	厚さ(cm)			
B	3.0	1.5	2.0	5	なし	—	30
C I	3.0	1.5	1.5	10	なし	—	30
C II	3.0	1.5	1.2	10	なし	—	30
D I	4.0	1.2	1.0	15	H-125	1.0	30
D II	4.0	1.2	1.0以下	20	H-150	1.0	30

注1) 地山等級A、Eについては、地山条件を考慮して、別途個別に検討するものとする。

注2) 金網工は、D I、D IIに設置する。

注3) 二次覆工は、必要に応じ設置する。

表2.8.2 内空幅3.0~5.0m程度の支保パターン

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

注1) 地山等級A・Eについては、地山条件を考慮して、別途個別に検討するものとする。

注2) 当該トンネルの利用状況および地山状況等を考慮し、覆工の省略を検討する必要がある。

注3) 2.5.2 道路トンネルの耐震対策に関する留意点 (1) ①~⑧に示す特殊条件が、地山等級B~D Iにおいて見られた場合は、道路トンネルの耐震対策に関する留意点 (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。

注4) 覆工に単鉄筋補強する場合は、坑口部の覆工で用いられている配筋を参考とし、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) を考慮する。

注5) 避難坑の一般部は覆工を省略することを標準とする。また、避難坑および避難連絡坑は、覆工を設置する場合においても単鉄筋補強は行わないことを標準とする。

注6) 避難坑の一般部において、覆工を省略する場合、将来的な補修・補強工の設置余裕として、覆工巻厚20cm相当の断面の余裕を見込むことを標準とする。



## 2.9.2 監査歩廊・監視員通路の設置

自動車専用道路のトンネル内には、延長、交通量、交通形態、トンネルの連続性、等を総合的に判断し、監査歩廊又は監視員通路を設けるものとする。

監査歩廊及び監視員通路は原則として片側（走行車線側）に設置するものとし、建築限界として幅員0.75m、高さ2.0mを確保する。

### 【解 説】

自動車専用道路における監査歩廊・監視員通路の設置は、「2.1.3 監査歩廊・監視員通路の設置」を参照し、路線の特性等を総合的に判断して検討する。

監査歩廊・監視員通路は、原則として、片側（走行車線側）に設置するものとする。監査歩廊・監視員通路設置の目的は、トンネル内設備機器の巡回点検や保守作業の安全性を確保するためであるから、トンネルの両側に設置するのが万全であることは論をまたない。しかし、トンネル断面拡大による建設費の増加は大きなものがあること、また諸機器のなかでトンネルの両側共に設置されるものは灯具を別とすれば誘導表示板のみであることなどを総合的に判断した結果、監査歩廊・監視員通路は、原則として、片側（走行車線側）に設置するものとした。

一方、監査歩廊・監視員通路の両側設置が考えられるトンネルとしては、交通量が特に多いトンネルや重要度の高いトンネルで、防災設備機器の配置が片側だけでは不十分な場合、側壁清掃など維持管理作業を監査歩廊・監視員通路上から実施する場合、完成2車線の場合等であろう。これらの場合において、監査歩廊・監視員通路をトンネルの両側に設置するかあるいは片側に設置するかはそのトンネルの構造、交通形態、維持管理体制を考慮し決定しなければならない。

