

第2章 参考資料

1 掘削機械（自由断面掘削機）

(1) 概要

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

(2) 掘削機の構造と特長

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

(3) 掘削方式の選定

掘削方式の選定は図1を参考にボーリング調査などの事前調査を踏まえ、トンネルの地山条件（一軸圧縮強度、亀裂係数、地質、湧水量等）や環境条件等を総合的に判断し、検討するものとする。

(4) 掘削機の適用条件

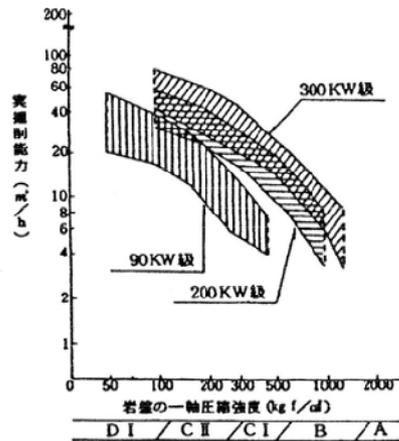
掘削機の選定にあたっては、トンネルの施工法、地質、掘削断面に適合したもので、かつ経済的で能率のよい機種を選定することが必要である。

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

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

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

したがって、それぞれの機種の適用地質、掘削能力の関係を明確にすることは難しいが、参考として図1に岩石の圧縮強度と実掘削能力の関係を示す。



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

図1 掘削の能力と岩石の一軸圧縮強度の関係

(5) 掘削機の種類と選定条件

掘削機は、その構造から表1のように分類される。

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

表1 掘削機械の分類

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

2 矢板工法

2-1 総則

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

2-2 トンネルの設計

NATMに準ずる。

2-3 内空断面の設計

2-3-1 内空断面の決定の諸条件

(1) 換気設備の必要な場合は、その構造を十分検討の上、内空断面に反映させなければならない。また、照明設備、非常用設備は、建築限界の余裕内に設けるものとする。

(2) トンネル断面及び覆工厚は、側圧、かぶり、偏圧、土のゆるみ等、地質や地形を十分検討して設計しなければならないが、トンネルに作用する最大荷重は必ずしも最終時に作用するとは限らず、完成直後、あるいは施工中に作用する場合もあるため、支保工の設計と合わせて十分検討し、設計しなければならない。

また、一般的にある想定された荷重で設計されても、

- ① 設計時に想定した荷重及び分布が実際は異なる。
- ② 覆工、構造及び材質が異なる。
- ③ 応力算出が正確でない。
- ④ 初期応力が施工中に発生する等により応力及び変形は必ずしも実際のトンネルでは作用しない

ことが普通であり設計に当たってはそれらを十分考慮する必要がある。

なお、一般的には設計断面は図2-1を標準とすることとした。

(3) 断面を閉断面（インバート付）での検討は、

- ① 支持力が小さい。
- ② ゆるい地質で鉛直荷重と横荷重を受け変位が考えられる。
- ③ 土被りが浅く、無凝集力の土質及び風化岩盤等で凝集力が小さい。
- ④ 膨張性地圧が発生する。または予測される。
- ⑤ 荷重のアンバランスによる偏圧がある。
- ⑥ 土質が異なり荷重が非対象に作用する場合等

に行い構造及び施工区間については、地質調査による各要素を十分検討して決めなければならない。また、過去の実績等も収集、検討する必要がある。

(4) トンネル内の舗装は全面的な打換えが困難なため普通オーバーレイが行われる。したがって建築限界の空高外に余裕を見込んでおく必要がある。この余裕は20cmとする。

- ② 輝緑岩・角閃岩・橄欖岩・斑れい岩・輝緑凝灰岩・泥岩は、蛇紋岩化作用を受けやすいので同様の注意が必要である。
- ③ 坑口および溪流部の近くではトンネルの上方および側方の「かぶり」が薄い場合が多い，その場合は弾性波速度に対して注意を払い，表 2-1 のランクを下げることも検討する必要がある。
- ④ トンネル基盤より上部に約 15m の同一速度層がない場合は地質図における上層（速度の遅い）の速度を採用する方が望ましい。
- ⑤ 「かぶり」の薄いところでは，地質が比較的悪く，地質区分の変化も著しいことが多いため測量誤差（航空図化図，実測図，弾性波調査測量図）が地質区分の判定に大きな影響を与えるので特に考慮を払う必要がある。更に物理探査の解析誤差も加わる。
- ⑥ 断層，破碎帯については弾性波速度のみでなく，その方向，かぶり，その他の判定基準を参考にして補正を行うものとする。
- (5) 地質状態による判定基準について
設計の段階では弾性波速度の他，現地踏査，ボーリング試掘などの成果をこの基準にあてはめて岩質区分を行うが，施工中には掘削面の状態を精査してこの判定基準と比較し当初設計の岩質区分の確認を行う必要がある。
- (6) ボーリングコアによる判定基準について
ボーリングコアによる判定基準およびコアの状態はボーリングの施工技術にも大きく左右されるので，必ずしも一律で確定的な判定基準とはならないが，大まかな目安として利用できる。
- (7) 観察による判定基準について
岩石の硬さ，亀裂は局所的な観察では誤認しやすいため，大局的な観点に基づき判断する必要がある。表 2-1 の判定基準は大まかな目安を示したものであるため，その様な観点を踏まえた上で利用すること。
- (8) 地質状態による判定基準について
地圧測定あるいは支保工，覆工の応力測定などの実績及び Terzaghi の示した土荷重の表をもとにしてつくった判定基準であるが，地山のゆるみ高さは施工法にも関連するので同一岩質でも大きな差異が生じることもある。
- (9) 地山分類の判定基準には，蛇紋岩，泥岩，頁岩に多くみられる膨張性地山，含水，および湧水の程度，スレーキング，ブロッキング状態は加味されていない。これらは，掘削中に変形，変状，盤ぶくれ等の原因になるので，判定に際しては十分注意が必要である。

2-5 掘削工法の選定

2-5-1 掘削工法の選定

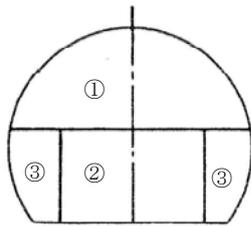
掘削工法の選定は表2-1地山分類表による。

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

(1) 上部半断面掘削

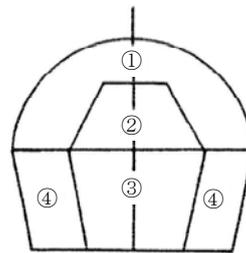
- ① 地質が普通程度の場合に採用する。
- ② この場合の覆工は逆巻工法を標準とする。
- ③ 加背割および掘削順序は図2-2によるものとする。

ア) 掘削分類 (A, B, C)



- ① 上部半断面
- ② 大 背
- ③ 土 平

イ) 掘削分類 (D)



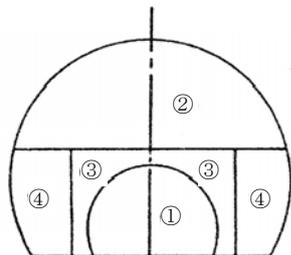
- ① リ ン グ
- ② 中 核
- ③ 大 背
- ④ 土 平

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

図2-2

(2) 底設導坑先進工法

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



- ① 底 設 導 坑
- ② 上 部 半 断 面
- ③ 大 背
- ④ 土 平

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

図2-3

(3) 全断面掘削または原爆型掘削

- ① 長大トンネルで、十分信頼できる地質調査の結果に基づき、地質が極めて良好と判断される場合に採用する。
- ② この場合の覆工は順巻工法を標準とする。
- ③ 加背割および掘削順序は図2-4によるものとする。

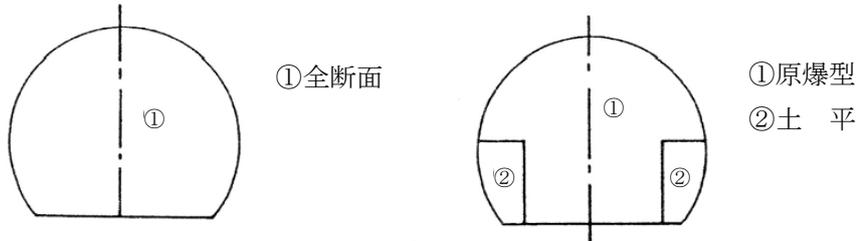
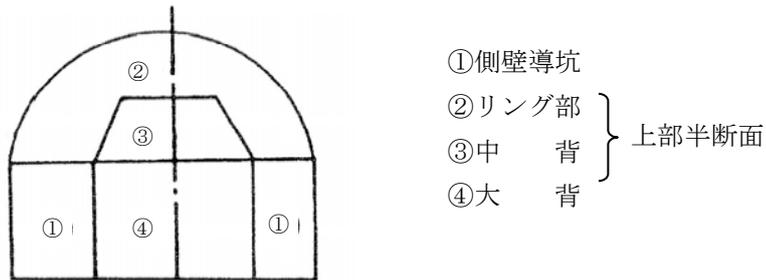


図2-4

(4) 側壁導坑先進掘削

- ① 地質が悪く、支保工に沈下のおそれがあるような場合等に採用する。
- ② この場合の覆工は順巻となる。
- ③ 加背割および掘削順序は図2-5によるものとする。



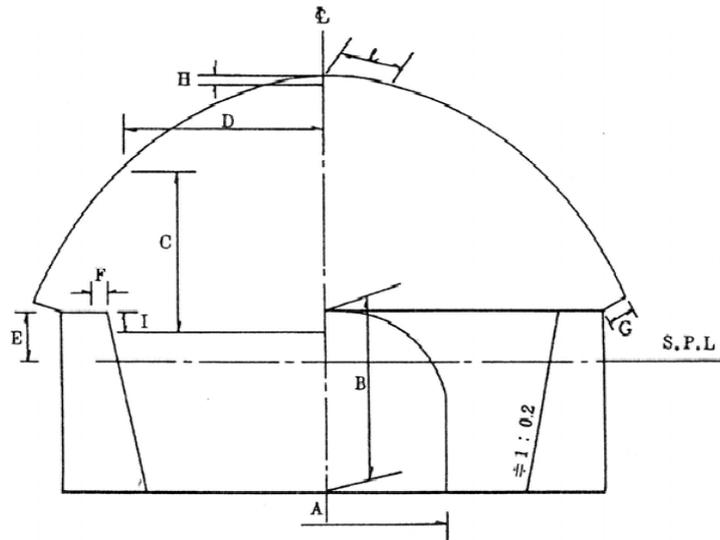
(注) 掘削分類D区間の上部半断面切上げは「リングカット方式」を原則とする。

図2-5

2-5-2 標準加背割

加背割トンネルの内空断面によって異なるが、一般的には下記を参考に決定する。

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



(注) 断面の外側線は巻立支払線より 10 cm 差引いた線を示す。

図 2-6

(5) 上部半断面掘削

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

土平勾配は 1 : 0.2 程度とする。

2-5-3 導坑断面の設計

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

表 2-2 導坑幅および導坑高

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

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

2 側壁導坑には適用しない。

(2) 側壁導坑先進工法

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

- ① 地山が膨張性の岩質で比較的悪いトンネルの導坑幅は掘削途中で側壁コンクリートの打設の必要性を考慮して4.3mを標準とし図2-7を参照すること。
- ② 地山の岩質が比較的良好で安定しており，導坑延長が100m程度以下の導坑幅は掘削後に側壁コンクリートを打設することを考慮して，3.2mを標準とした図2-8を参照すること。

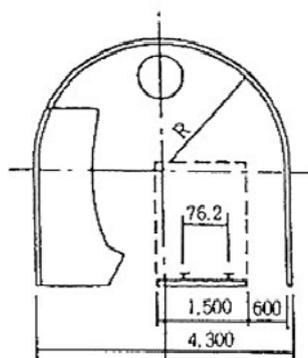


図 2 - 7

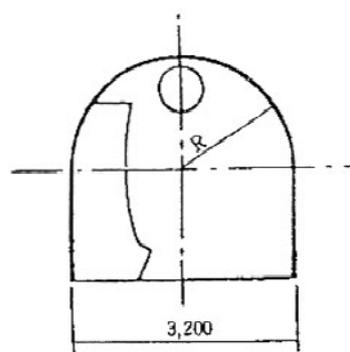


図 2 - 8

2-6 支保工の設計

2-6-1 支保工の設計

トンネルの掘削においては、地山に存在する平衡状態が保てなくなった際、その空間を保護することを目的に支保工を設置する。支保工は、材料と使い方により種々の種別があり、その使いわけは地山の性質によって異なるが、安全性、経済性を十分満足するよう選び設計しなければならない。

2-6-2 支保工の選定

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

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

2-6-3 鋼製支保工

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

- (1) 支保工の寸法形状
支保工部材は原則として2ピース方式で、想定される外力その他条件に対して有利な形を有し、施工上の便宜を備えたものでなければならない。
- (2) 鋼製支保工の性質
鋼製支保工に用いる鋼材は伸び率が大きく、かつ曲げや溶接などの加工性のよいものが望ましく JIS G 3101 に規定する SS400 が適当である。
- (3) 鋼製支保工の断面と建込間隔
鋼製支保工の断面および建込間隔は表 2-4、表 2-5 の値を標準とする。鋼製支保工は原則として H 形鋼を使用する。ただし、施工性、安全性、経済性、その他を比較検討のうえ他の形状の鋼製支保工で設計してもよい。

① 導坑支保

- ア 導坑支保工は、H 形鋼支保工 2 ピース方式を原則とする。
- イ トンネル延長（片押）500m 未満については 1 回使い、500m 以上の場合は 2 回使いとし、スクラップ控除を行うことを原則とする。ただし、コンクリートに埋め込む分については全損とする。
なお、地質状況（偏圧、破碎層等）、作業条件により使用回数を減じてよい。

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

表2-3 支保工形状寸法、間隔、矢板数量等

掘削区分 材料		A 種	B 種	C 種	D 種	E 種
		支保工	H型鋼形状寸法	H-100	H-125	H-125
底板寸法	mm 200×200×13		mm 230×230×16	mm 230×230×16	mm 230×230×16	
頂板寸法	mm 180×180×9		mm 180×180×9	mm 180×180×9	mm 180×180×9	
支保工建込間隔	1.5m		1.5m	1.2m	0.9m	
矢板	材質	雑	雑	雑	松	
	厚さ	3.0 cm	3.0 cm	3.6 cm	3.6 cm	
	施工範囲	50%	60%	80%	100%	
その他	内張材径	9 cm	9 cm	9 cm	9 cm	
	内張材及びタイロッド間隔	支保工長に 対し1.2m	支保工長に 対し1.2m	支保工長に 対し1.2m	支保工長に 対し1.2m	
	タイロッド寸法	φ-16 mm× ℓ-1,650	φ-16 mm× ℓ-1,650	φ-16 mm× ℓ-1,350	φ-16 mm× ℓ-1,050	
	継手ボルト寸法	φ-19 mm× ℓ-50	φ-19 mm× ℓ-50	φ-19 mm× ℓ-50	φ-19 mm× ℓ-50	

- (注) 1) 上表は標準の場合であり、地山の状態等により別途考慮することができる。
- 2) 上表は掛矢板の場合の値である。
- 3) E種については施工実態を考慮して決定する。

表2-4 導坑用支保工の断面と建込間隔

掘削分類	支保工断面	支保工ピッチ (cm)	備考	断面積 (cm ²)	質量 (kg/m)	断面係数		$\frac{w_x}{w_y}$
						w x (cm ²)	w y (cm ²)	
A	H-100	150	H-100×100×6×8	21.59	16.9	75.6	26.7	2.8
B	H-125	150	H-125×125×6.5×9	30.0	23.6	134	46.9	2.9
C	H-125	120	H-125×125×6.5×9	30.0	23.6	134	46.9	2.9
D	H-125	90	H-125×125×6.5×9	30.0	23.6	134	46.9	2.9
E			現場の地形地質を詳細に調査検討のうえ、それぞれ設計する。					

② アーチ支保工

ア アーチ支保工はH型鋼製2ピース方式を標準とする。

イ 矢板は雑および松矢板とし、長さは掛矢板の場合は(支保工間隔)+30 cm, 送り矢板の場合は支保工間隔の1.8倍とする。

ウ パッキン材等の雑材は矢板数量の20~30%見込むものとする。

エ 掘削分類D, E種については必要に応じ皿板またはウォールプレートを設置するものとし全損で計上する。

オ 支保工の形状寸法, 間隔, 矢板数量は表2-5~表2-7を標準とする。

表2-5 本線用鋼製支保工の断面と建込間隔

掘削分類	覆工厚 (cm)	支保工 断面	支保工 ピッチ (m)	備 考	断面積 (cm ²)	質量 (kg/m)	断面係数		$\frac{w x}{w y}$
							w x (cm ²)	w y (cm ²)	
A	45	H-150	150	H-150×150×7×10	39.65	31.1	216	75.1	2.9
		H-175	150	H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	331	112	3.0
B	45	H-175	130	H-175×175×7.5×11	51.42	40.4	331	112	3.0
		H-175	110	〃	51.42	40.4	331	112	3.0
C	60	H-200	120	H-200×200×8×12	63.5	49.9	472	160	3.0
		H-200	100	〃	63.5	49.9	472	160	3.0
D	60	H-200	90	〃	63.5	49.9	472	160	3.0
		H-200	75	〃	63.5	49.9	472	160	3.0
E	現場の地形地質を詳細に調査検討のうえ、それぞれ設計する。								

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

表 2-6 内空幅 9.5m未満の場合

掘削区分 材料		A 種	B 種	C 種	D 種	E 種
支保工	H 型鋼形状寸法	H-150	H-175	H-200	H-200	
	底板寸法	mm 250×250×16	mm 275×275×16	mm 300×300×19	mm 300×300×19	
	頂板寸法	mm 180×180×14	mm 205×205×14	mm 230×230×16	mm 230×230×16	
	支保工建込間隔	1.5m	1.3m	1.2m	0.9m	
矢板	材質	雑	雑	松	松	
	厚さ	3.0 cm	3.0 cm	3.6 cm	3.6 cm	
	施工範囲	60% (掛矢板)	70% (掛矢板)	90% (掛矢板)	100% (送り矢板)	
その他	内張材径 (S T K 鋼管)	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	
	内張材及び タイロッド間隔	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	
	タイロッド寸法	φ-19mm× ℓ-1,650	φ-19mm× ℓ-1,450	φ-19mm× ℓ-1,350	φ-19mm× ℓ-1,050	
	継手ボルト寸法	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	

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

表 2-7 内空幅 9.5m以上の場合

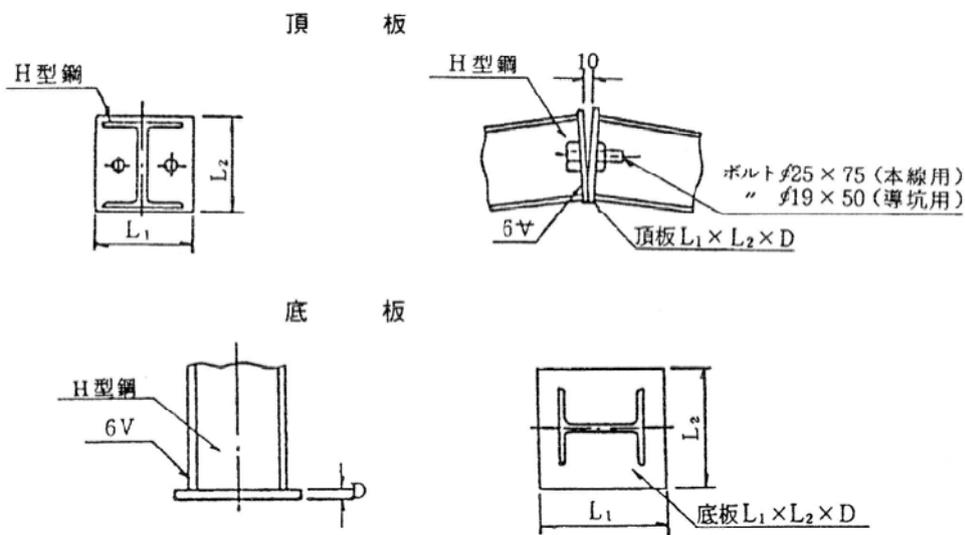
掘削区分 材料		A 種	B 種	C 種	D 種	E 種
支保工	H 型鋼形状寸法	H-175	H-175	H-200	H-200	
	底板寸法	mm 275×275×16	mm 300×300×19	mm 300×300×19	mm 300×300×19	
	頂板寸法	mm 205×205×14	mm 230×230×16	mm 230×230×16	mm 230×230×16	
	支保工建込間隔	1.5m	1.2m	1.0m	0.75m	
矢板	材質	雑	雑	松	松	
	厚さ	3.0 cm	3.0 cm	3.6 cm	3.6 cm	
	施工範囲	60% (掛矢板)	70% (掛矢板)	90% (掛矢板)	100% (送り矢板)	
その他	内張材径 (S T K 鋼管)	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	外径φ60.5 厚さ2.3mm	
	内張材及び タイロッド間隔	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	支保工長に 対して1.2m	
	タイロッド寸法	φ-19mm× ℓ-1,650	φ-19mm× ℓ-1,350	φ-19mm× ℓ-1,150	φ-19mm× ℓ-900	
	継手ボルト寸法	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	φ-25mm× ℓ-75	

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

表 2-8 頂板, 底板の寸法 (mm)

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

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



内ばり, タイロッドの設計

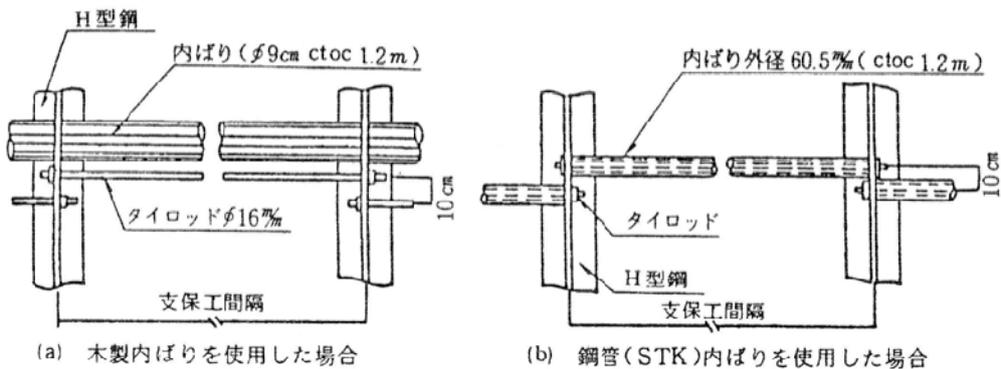


図 2-9

2-7 余掘, 余巻厚さについて

余掘および余巻きの厚さは, 次表の値を標準とする。

表 2-9 余掘余巻厚さ

施工箇所		区 分	余 掘	余 巻
アーチ部	掛 矢 板		20 cm	10 cm
	送 り 矢 板		$H/2+20$ cm	$H/2+10$ cm
	縫 地 矢 板		$H+20$ cm	$H+10$ cm
側 壁 部			15 cm	15 cm
インバート			—	5 cm

(注) 1) HはH型鋼の背面高

2) 順巻工法の場合の側壁部余巻は10 cmとする。

2-8 覆工の設計

2-8-1 覆工の形状

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

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

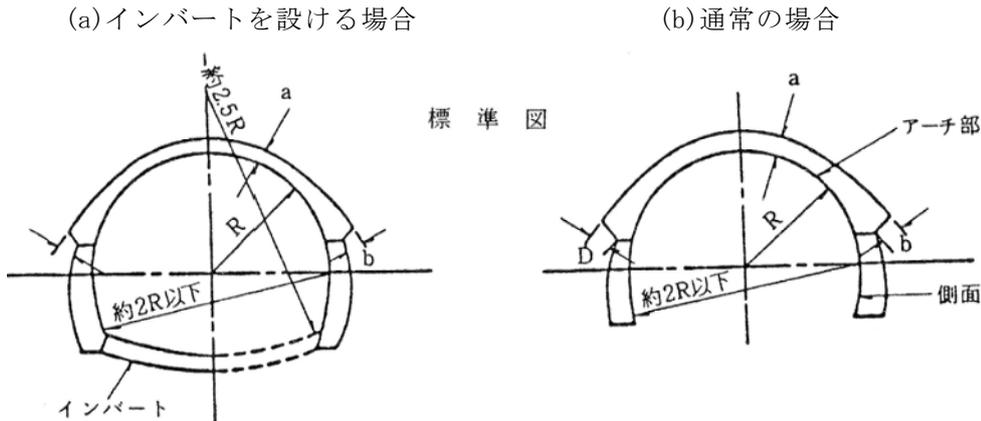


図 2-10

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

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

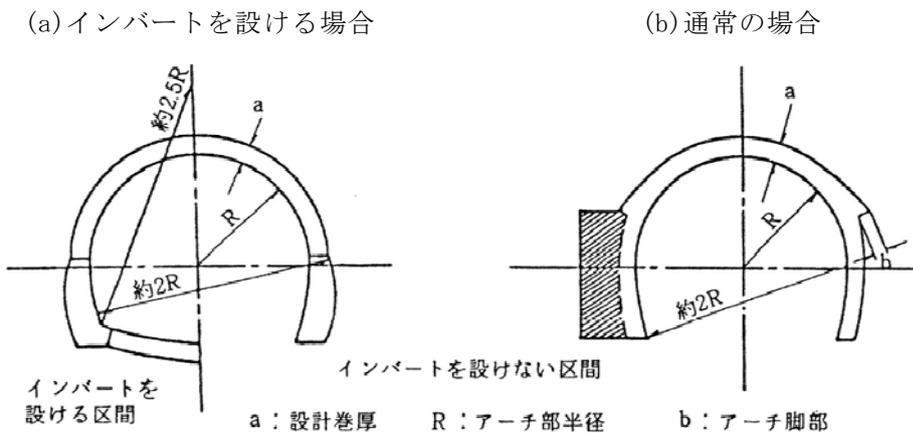


図 2-11

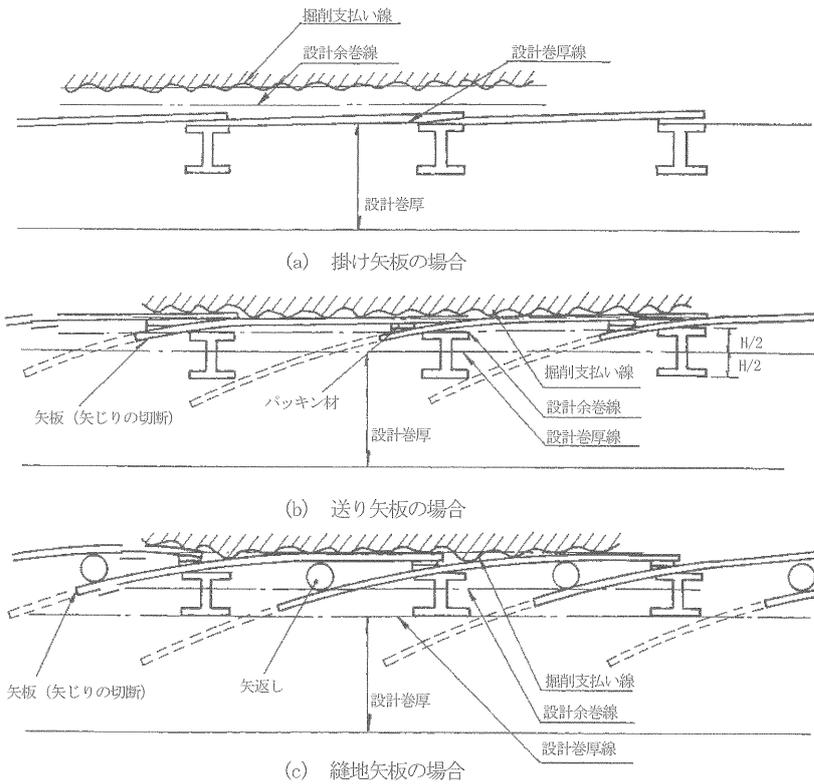


図 2 - 12 設計巻厚の取り方

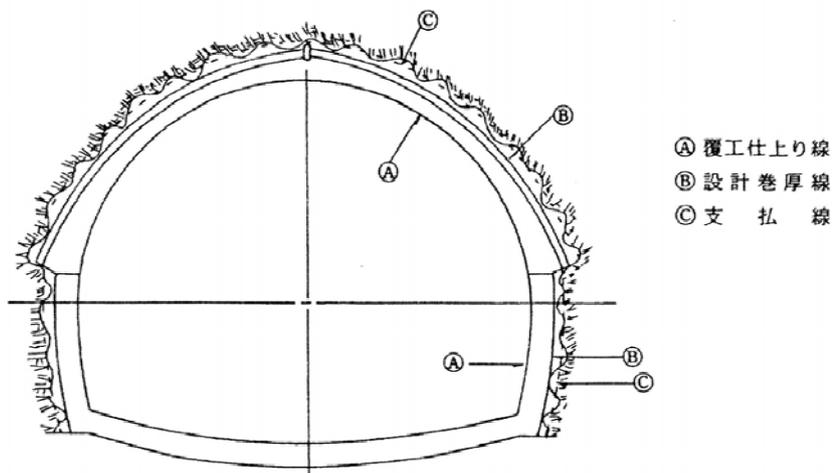


図 2 - 13 支払線

2-8-2 覆工の厚さ

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

表2-10 設計巻厚

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

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

表2-11 覆工コンクリート強度

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

2-8-3 補強方法

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

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

坑口部補強の例
(単鉄筋補強の場合)

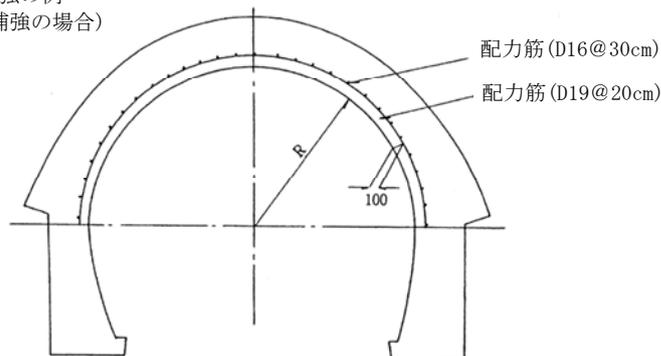


図2-14

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

2-8-4 仮巻コンクリートについて

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

2-8-5 覆工背面の設計

- (1) アーチの背面と地山との間には空隙が生じるので、地質の悪い場合、土かぶりの薄い場合などは、土圧の均等分布を図るためエアーモルタル、その他による材料で注入を行うこと。
注入の設計は、トンネル地山分類のD～Eの範囲を標準とする。
- (2) 注入の設計にあたっては、注入材料が空隙に十分填充されるよう配合、注入孔の構造及び配列などを定めること。
注入材料や配合を決定する場合には下記のことを十分考慮しなければならない。
- ① 覆工背面と地山との空隙が十分に填充できるように流動性に富むこと。
 - ② 施工中に材料の分離が少なく、注入後安定した強度が得られること。
 - ③ 注入後の圧縮強度は $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あり、地山の荷重を分散させる性質があること。
 - ④ 沈降、収縮による体積変化ができるだけ少ないこと。
 - ⑤ 気象条件、流水及び炭酸、硫塩酸などの化学作用に対する耐久性があること。
 - ⑥ 安価であり施工が容易であること。
- (3) 注入材料はエアーモルタルを原則とする。ただし、湧水量が多い場合にはフライアッシュ混合モルタルなどを検討すること。
- (4) 注入管は、覆工コンクリート打設時にあらかじめ埋め込んでおくものとし、 50mm (JIS G 3452) 径を使用する。
注入管の位置及び配置は図2-15を標準とする。注入管はすべて注入孔に使用するものではなく、多くは注入状況の確認用に利用される。また注入管の長さは(設計巻厚+余巻厚+5cm)程度とする。
- (5) 注入時期は地山が軟弱であったり軟弱地質が偏圧する場合、大きな偏圧が早期に作用することとなるので、注入は覆工後なるべく早目に注入することが望ましいが、コンクリート強度が $8\sim 10\text{N}/\text{mm}^2$ 以上となってから注入するものとする。
逆巻の場合は、側壁コンクリートを打設する前に注入を完了しなければならない。
注入は下側の注入孔より始め、最終注入圧力は $0.3\sim 0.4\text{N}/\text{mm}^2$ を標準とする。

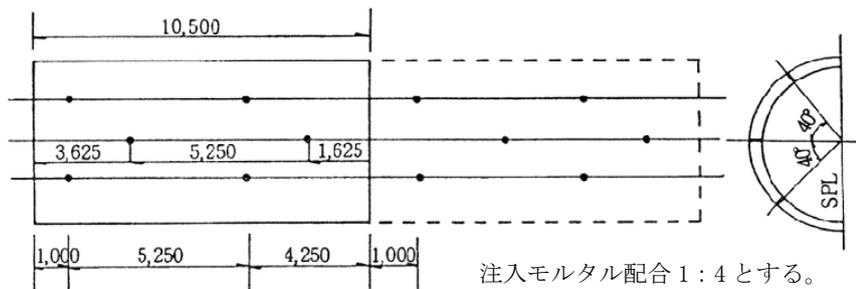


図2-15 注入管の位置および配置の一例

2-9 坑門工

NATMに準ずる。

2-10 排水工

2-10-1 排水工

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

2-10-2 漏水処理工

トンネル内の漏水を防ぐために、適当な漏水処理工、防水工を設計すること。漏水の原因は、①アーチ、側壁部のクラック箇所、②アーチ打継目、③アーチと側壁の打継目などがある。

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

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

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

2-10-3 湧水処理工

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

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

(2) 排水管の勾配はトンネル縦断勾配に合わせて設計するものとする。

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

中央排水工については、NATMに準じる。

(4) 特に湧水が多い箇所は横断排水パイプ等により、中央排水管へ導くものとする。

(5) アーチ覆工背面には、必要に応じて排水パイプ、止水シート、連結防止シートなどを設けること。

(6) アーチと側壁の打継目構造

水平方向の継手としては、アーチ下端底面の構造は次のものがある。

① 覆工背面からトンネル内への漏水防水処理はアーチ部の施工継目およびアーチ部と側壁部との継目に図 2-16(a)～(c)を標準に止水工を設置する。

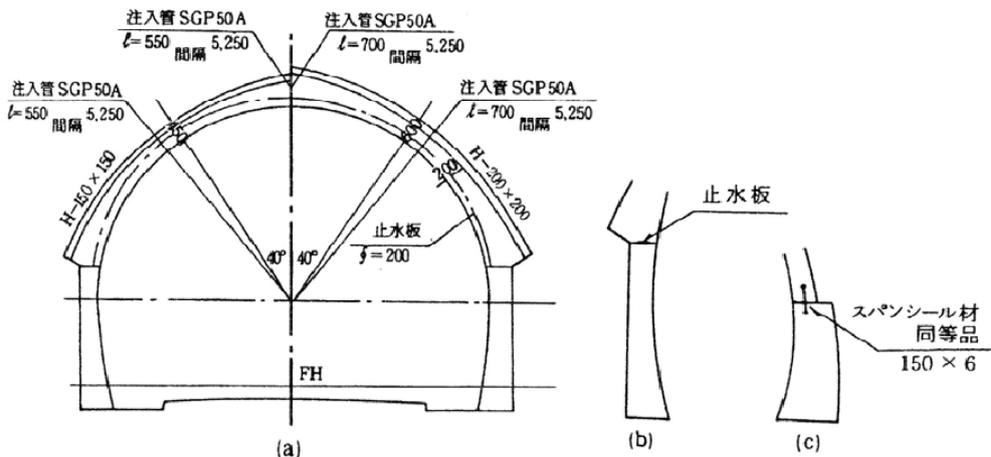


図 2-16

- ② 掘削中に湧水が多い箇所の覆工背面には止水シートを設けるとよい。止水シートの設置は図2-17を標準とする。

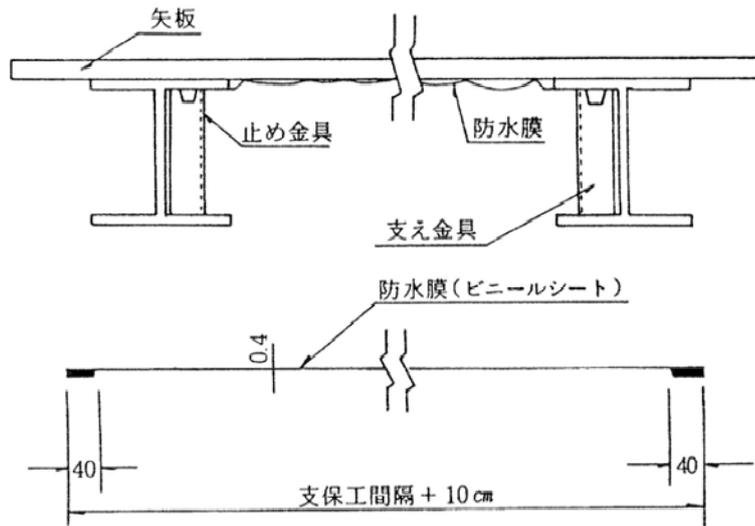


図2-17 防水膜取付図

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

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

- ④ 側面排水工

側面排水の水抜構造は図2-18を標準とする。

縦フィルターマットは、側壁の継目に設置することを標準とする。

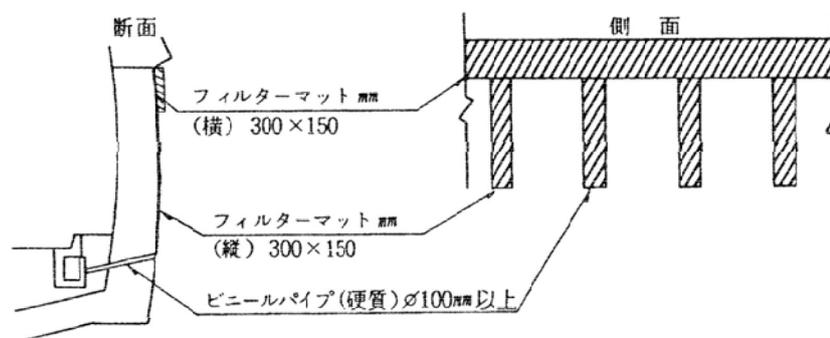


図2-18 路面排水の水抜構造

2-11 参考資料

〇〇〇トンネル断面積集計表

		地山区分	A 種	B 種	C 種	D 種	摘 要
掘 削 工	設計 断面積	上部半断面					
		大 背					
		土 平					
		導 坑					
		計					
	支 払 断 面 積	上部半断面					
		大 背					
		土 平					
		導 坑					
		計					
覆 工	設計巻厚						
	設計 断面積	ア ー チ 部					
		側 壁 部					
		計					
	支 払 断 面 積	ア ー チ 部					
		側 壁 部					
		計					
	妻型枠面積	ア ー チ 部					
		側 壁 部					
スライディング フォーム周長	ア ー チ 部						
	側 壁 部						

〇〇〇トンネル掘削集計表

地山 区分	加背割	設 計 掘 削 量			支 払 掘 削 量			摘 要
		断面積	延 長	掘削量	断面積	延 長	掘削量	
	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
B種	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
C種	上部半断面							
	大 背							
	土 平							
	計							
D種	上部半断面							
	大 背							
	導 坑							
	インパート							
	計							
合 計								

〇〇〇トンネル掘削及び支保工

	単位	〇種				〇種				〇種				摘要	
		上部半断面	大	背	土	平	上部半断面	大	背	土	平	上部半断面	大		背
1 爆破進行表	m														
掘削	穿孔数	孔/m ²													
	火薬使用量	kg/m ³													
	ビット消耗量	π/m ³													
	ロット消耗量	本/m ³													
	支保工規格														
	矢板の種類														
	矢板施工範囲	%													
	矢板厚	cm													
	矢板長	m													
	矢板幅	cm													
	矢板数量	m ³													
	パッキン材	%													
	パッキン材料	m ³													
	支保工														

〇〇〇 トンネルサイクルタイム表

種 類		単 位	上 半	大 背	土 平	盤 下 げ	摘 要
緒 元	①純断面積	m ²					()書は側壁高×4.5m
	②支払断面積	m ²					
	③1 爆破進行表	m					
	④1 爆破掘削量(純)	m ³					①×③
	⑤ " (支払)	m ³					②×③
	⑥穿孔長	cm					③+10 cm ※但し土平の場合は平均厚(片側)とする。
	⑦穿孔速度	cm/分					
	⑧1 孔当り穿孔時間	分					③÷⑦
	⑨1 m ² 当り穿孔数	孔					
	⑩1 加背当り穿孔数	"					②×⑨ ※但し土平の場合は②は①の()書とする。
	⑪削岩機台数	台					純断面で計上
	⑫ " (ピック)	"					
	⑬1 台当り受持孔数(レッグ)	孔					⑩÷⑪
	⑭1 m ³ 当り火薬使用量	kg					
	⑮1 加背当り火薬使用量	"					②×③×⑭
	⑯ビット削耗量	個/m ³					
	⑰ロット消耗量	本/m ³					
	⑱シャンクスリューロッド	"					
	⑲ジョイントスリーブ	"					
	⑳積込機械能力	m ³ /h					
削 岩	㉑削岩準備	分					
	㉒穿孔(T 1)	"					⑧×⑬
	㉓装薬, 発破, 換気等	"					
	㉔浮石落し	"					㉑+㉒+㉓+㉔
	㉕小計	"					
ず り 出 し	㉖ざり出し準備	"					
	㉗ざり出し(T 2)	"					(⑤÷㉑)×60
	㉘跡片付	"					
	㉙路線延長	"					
	㉚測量	"					
㉛小計	"					㉖+㉗+㉘+㉙+㉚	
支 保 工	㉜支保工準備	"					
	㉝支保工建込	"					
	㉞小計	"					㉜+㉝
㉟その他損失等	"						
㊱合計	"					㉕+㉛+㉞+㉟	
㊲1 台当りのサイクル数	回					1200÷㊱	
㊳1 日当り進行長	m					㊲×3	
㊴1 月当り進行長	"					㊳×25 日	
㊵1 方当りサイクル数	回					600÷㊲	
	"						

〇〇〇トンネルサイクルタイム表 (資料)

地山区分	種			種					
	上部判断面	大	背	土	平	上部半断面	大	背	坑
加背割名									
断面積	m ²								
穿孔数	孔								
穿孔長	cm								
平均穿孔速度	cm/分								
削岩機台数 (レッグ)	台								
" (ピック)	"								
穿孔時間 (T ₁)	分								
1 爆破掘削量 (Q _o)	m ³								
1 爆破積込時間 T ₂ (T s)	分								
"	時間								
ダンプトラック運転時間 T s	分								
"	時間								

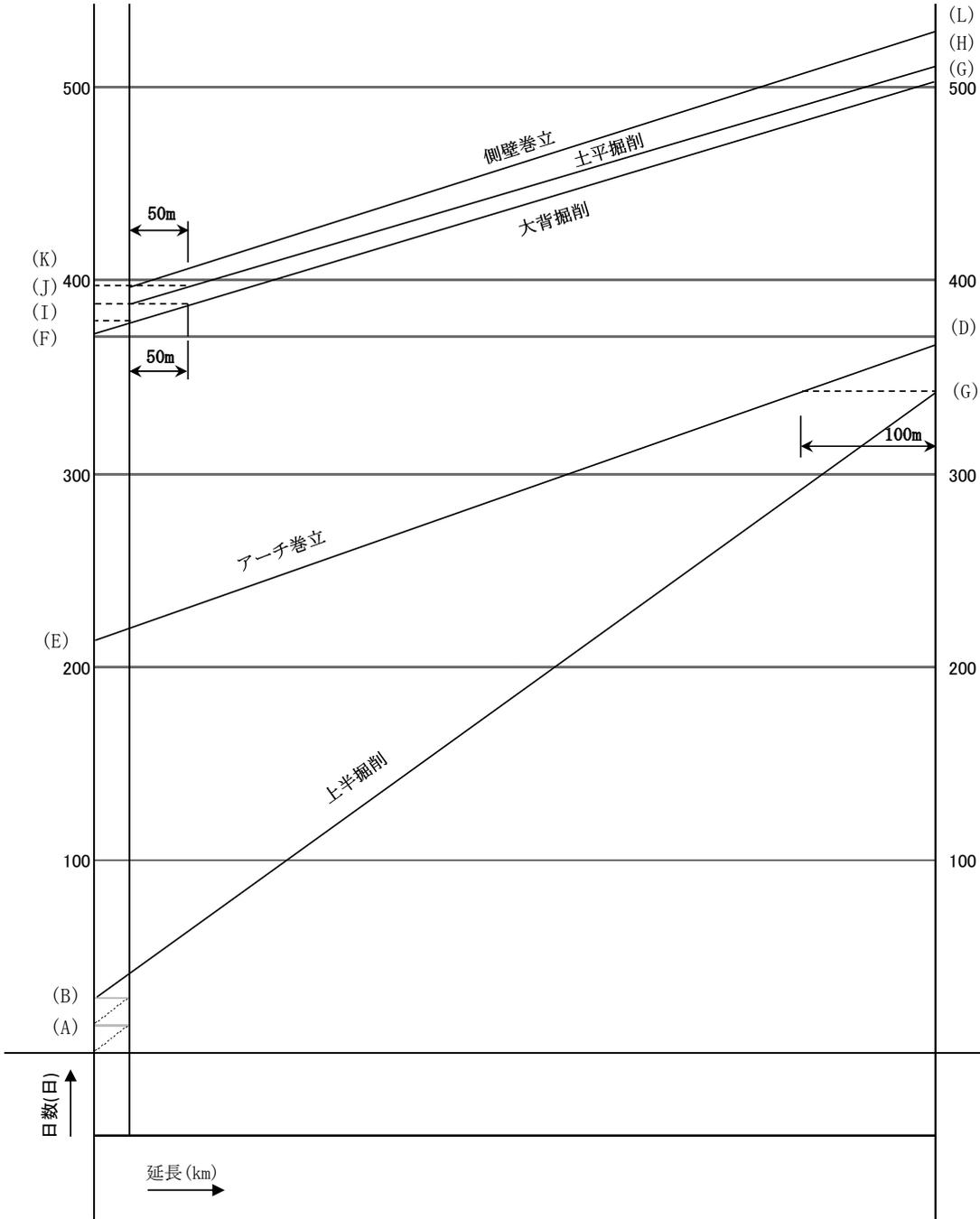
工 程 計 算

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

工程表作成の考え方（上部半断面先進工法の場合）

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

工 程 表



掘削所要日数

地 山 区 分		○ 種	○ 種	○ 種		
掘 削 延 長		m	m	m		
1日当り進行長 (土平は片側)	上部半断面					
	大 背					
	土 平				計	
	導 坑				実働日数	供用日数
地 山 別 ・ 加 背 所 要 日 数	上部半断面					
	大 背					
	土 平					
	導 坑					

巻立所要日数

	ア ー チ	側 壁
①巻 立 延 長		
②1 ス パ ン 延 長		
③ス パ ン 数 ① ÷ ②		
④1スパン所要日数		
⑤巻立所要日数 ③ × ④		

3 留意事項

3-1 トンネル工事における粉じん対策

トンネル工事における粉じん対策については、「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」に基づき、必要な対策を講じるとともに「トンネル工事の粉じん発生作業に関する衛生管理マニュアル」に基づき、粉じん防止対策の重要性について施工者等関係者を指導すること。

3-2 トンネル工事における騒音・振動対策

3-2-1 騒音・振動規制法による規制について

(1) 概要

騒音・振動規制法により、規制地域内において特定の施設を設置する工場・事業場からの騒音・振動、特定の建設機械を用いる建設作業からの騒音・振動及び自動車騒音・道路交通振動が規制されている。

法に基づく届出の審査、立入検査、勧告及び命令等の措置は、市町村が行う。

(2) 法に基づく規制地域

①騒音

県知事（市、大崎町、中種子町及び南種子町の区域については、各市町長）が規制地域の指定及び規制基準等の設定を行う。

現在、県内全市町村のほぼ全域を規制地域として指定している。

②振動

県知事（市、中種子町の区域については、市長、中種子町長）が規制地域の指定及び規制基準等の設定を行う。

現在、県内 19 市 8 町の一部を規制地域として指定している。

(3) 特定工場等の規制について

特定地域内において法施行令で定められた特定施設を設置する場合は、その特定施設の設置工事の開始 30 日前までに、市町村長に届け出なければならない。

表 3-1 県知事が指定した規制地域内における特定工場等の規制基準

区域区分	騒音規制基準		
	昼間（午前 8 時～午後 7 時）	朝（午前 6 時～午前 8 時） 夕（午後 7 時～午後 10 時）	夜間（午後 10 時～翌午前 6 時）
第 1 種区域	50 デシベル以下	45 デシベル以下	40 デシベル以下
第 2 種区域	60 デシベル以下	50 デシベル以下	45 デシベル以下
第 3 種区域	65 デシベル以下	60 デシベル以下	50 デシベル以下
第 4 種区域	70 デシベル以下	65 デシベル以下	55 デシベル以下
区域区分	振動規制基準		
	昼間（午前 8 時～午後 7 時）	—	夜間（午後 7 時～翌午前 8 時）
第 1 種区域	60 デシベル以下	—	55 デシベル以下
第 2 種区域	65 デシベル以下	—	60 デシベル以下

※規制基準とは、特定施設を設置する工場等の敷地境界における騒音・振動の大きさの許容限度

(4) 特定建設作業の規制について

特定地域内において法施行令で定められた特定建設作業を伴う建設工事を施工しようとする場合は、特定建設作業の開始7日前までに、市町村長に届け出なければならない。

表3-2 政令で定める特定建設作業（法施行令別表第二）

騒音規制	
種類	規模要件等
くい打ち機、くい抜き機又はくい打ちくい抜き機を使用する作業	もんけんを除く 圧入式くい打ちくい抜き機を除く くい打ち機をアースオーガーと併用する作業を除く
びょう打ち機を使用する作業	すべての作業
さく岩機を使用する作業	作業地点が連続的に移動する作業にあつては、1日における当該作業に係る二地点間の最大距離が50メートルを超えない作業に限る
空気圧縮機を使用する作業	電動機以外の原動機を用いるものであつて、その原動機の定格出力が15キロワット以上のものに限る さく岩機の動力として使用する作業を除く
コンクリートプラント又はアスファルトプラントを設けて行う作業	コンクリートプラントは混練機の混練容量が0.45立方メートル以上のものに限る アスファルトプラントは混練機の混練重量が200キログラム以上のものに限る モルタルを製造するためにコンクリートプラントを設けて行う作業を除く
バックホウを使用する作業	一定の限度を超える大きさの騒音を発生しないものとして環境大臣が指定するものを除き、原動機の定格出力が80キロワット以上のものに限る
トラクターショベルを使用する作業	一定の限度を超える大きさの騒音を発生しないものとして環境大臣が指定するものを除き、原動機の定格出力が70キロワット以上のものに限る
ブルドーザーを使用する作業	一定の限度を超える大きさの騒音を発生しないものとして環境大臣が指定するものを除き、原動機の定格出力が40キロワット以上のものに限る
振動規制	
種類	規模要件等
くい打ち機、くい抜き機又はくい打ちくい抜き機を使用する作業	もんけん、圧入式くい打ち機を除く 油圧式くい抜き機を除く 圧入式くい打ちくい抜き機を除く
鋼球を使用して建築物その他の工作物を破壊する作業	すべての作業
舗装版破砕機を使用する作業	作業地点が連続的に移動する作業にあつては、1日における当該作業に係る二地点間の最大距離が50メートルを超えない作業に限る

※当該作業がその作業を開始した日に終わる場合は、届出不要

3-3 自然由来重金属等含有岩石・土壌への対応

3-3-1 自然由来重金属等含有土の土壌汚染対策法上の位置づけ

自然由来重金属等含有土のうち、土壌汚染対策法上の「基準不適合土壌」となりうる土とは、「カドミウム、六価クロム、水銀、セレン、鉛、砒素、ふっ素、ほう素（土壌汚染対策法の特定有害物質のうち自然由来で土に含まれる可能性のある物質）を自然的に含有しており、土壌汚染対策法で定められた方法で分析した結果、土壌溶出量基準あるいは土壌含有量基準を超過する土壌」である。

ただし、ここで分析の対象となる土壌は、自然状態で2mm目のふるいを通過するものと規定されており、岩盤については、重金属等を含んでいたとしても、土壌汚染対策法の対象からは除外されている。

自然由来重金属等含有土が、土壌汚染対策法の対象となるかどうかについては、3,000㎡以上の土地の形質の変更を行うかどうか、汚染のおそれがあるかどうか等の判断の条件が同法に示されている。

土壌汚染対策法では、建設工事を行うにあたり掘削あるいは盛土により形質変更する部分の土地の面積が3,000㎡以上の場合には、都道府県等の環境部局へその旨の届出を行うことが義務付けられている。そこで、“汚染のおそれがある”と都道府県等の環境部局が判断すれば法的に調査を行う義務が生ずることとなる。

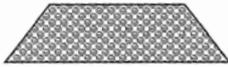
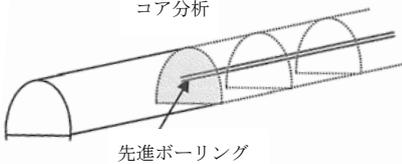
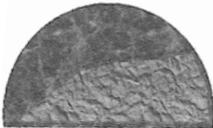
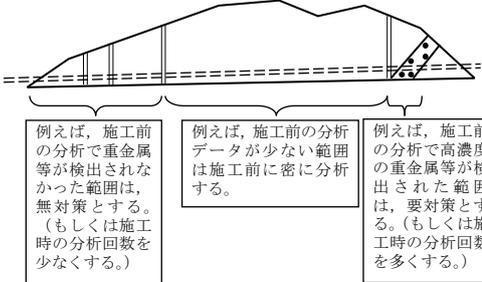
一方、法的な対応が必要でない場合届出の義務はないが、建設工事をより円滑に遂行するためには、自然由来重金属等含有土や酸性土が発生土に含まれるかどうか、環境リスクの観点から要対策であるかどうかを事前に調査して建設計画に反映させ、必要に応じて都道府県等の環境部局とその処理方法について事前に相談することが望ましい。

建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック
(H27.3) P2

3-3-2 山岳トンネルにおける留意事項

山岳トンネルにおける調査方法の例を表3-3に示す。

表3-3 山岳トンネルにおける調査方法の例

施工時の調査方法の例	概要	
発生土の分析	仮置きした発生土を分析・判定	 <p>仮置きした発生土の分析</p>
施工段階の先進ボーリング	先進ボーリングコアを分析・判定	 <p>コア分析 先進ボーリング</p>
切羽観察	切羽観察による判断 (ボーリングコアと切羽全体の整合性確認など) 必要に応じ切羽から試料を採取し分析	 <p>切羽観察による判断</p>
上記の方法の組合せ	施工前に得られた情報などをもとに、地層ごとに調査方法や調査頻度を変えて設定 【施工前の情報の例】 <ul style="list-style-type: none"> ・ 鉱床分布図や地球化学図などの既往資料 ・ 近隣における既往調査結果 ・ 調査時のボーリングコアや露頭試料の分析結果 	 <p>例えば、施工前の分析で重金属等が検出されなかった範囲は、無対策とする。(もしくは施工時の分析回数を少なくする。)</p> <p>例えば、施工前の分析データが少ない範囲は施工前に密に分析する。</p> <p>例えば、施工前の分析で高濃度の重金属等が検出された範囲は、要対策とする。(もしくは施工時の分析回数を多くする。)</p>

建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック (H27.3) P44

(1) 発生土の分析

坑外などの敷地に余裕がある場合には、分析・評価に要する日数分の発生土を評価単位ごとに区画を分けて仮置きする。評価対象の発生土量の単位は、トンネル工事・切土工事の場合、掘削 1 日分の土量あるいは 5,000m³ ごととする場合が多く、事業ごとの地山条件・立地条件や、分析行程に適合したものとすることが望ましい。基準値を満足しない可能性がある発生土が仮置きされる場合には、周辺環境へ影響を及ぼす可能性があることから、仮置き場は雨水の浸透を防止する構造とするか、遮水・排水処理施設を整備する必要がある。周辺環境への影響については、地下水等のモニタリングを実施して確認する。

(2) 先進ボーリング

先進ボーリングは通常、土被りが大きいトンネルで事前にトンネルレベルまでのボーリングが困難な場合や、大量の湧水が予想される場合に、地質確認および地下水の状況を確認する目的で実施される。自然由来重金属等の基準値超過の可能性がある場合には、上記加えて、発生土に対して重金属等の対策の要否を判定する目的で、ボーリング試料の観察や試料を用いた試験・分析を実施しておくことが望ましく、その結果に基づいて施工時調査を行うとスムーズに進みやすい。

(3) 切羽・のり面観察と試料採取

通常切羽・のり面観察は、切土面の安定性を考慮した安全管理を主たる目的として実施する。自然由来重金属等含有土が出現する可能性がある場合、切羽・のり面観察者は、重金属等が分布する地質的な特性を理解し、これに関係する岩種・岩質に着目した観察を行うことのできる地質専門家であることが望ましい。

切羽観察結果は、事前調査等で判明している岩種・岩質と重金属等の含有量の関係などから、切土面を代表する分析試料を採取するための基本的資料としても使用することができる。切羽観察で鉱脈が広く観察される場合や、事前地質調査結果に基づいて発生土に含まれる重金属等が土壤汚染対策法の土壤溶出量基準等を超過することが明らかな場合には、分析を行わずに観察のみで対策が必要な発生土と評価することもできる。

切羽における試料採取は、切土面に出現する岩種・岩質の代表箇所から採取し、採取試料は、評価対象の発生土を代表させるために切土面に占める比率（面積比）に基づいて多地点均等混合するなど、現地の地質状況を考慮して行う。

3-3-3 自然由来重金属等含有土への対応

自然由来重金属等含有土に対しては、発生土の性状によってその対策の考え方が異なる。発生土の性状に関わる区分と、盛土や埋土などによる自主的な対応方法の概要を表3-4に示す。

表3-4 自然由来重金属等含有土の盛土・埋土等による自主的な対応方法一覧

発生土の区分	対応方法の概要
土 ⁱ⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・必要に応じて土壌汚染対策法の措置に準じた対策または地盤汚染マニュアル・自然由来マニュアルに基づく影響予測とモニタリングを伴ったリスク低減対策を実施
建設汚泥 ⁱⁱ⁾	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土・埋土利用の場合は建設汚泥再生利用マニュアルの再生利用の方策に基づき処理し、必要に応じ土壌汚染対策法の措置に準じた対策または地盤汚染マニュアル・自然由来マニュアルに基づく影響予測とモニタリングを伴ったリスク低減対策を実施 ・ただし、土質改良された建設汚泥処理土は土壌環境基準に適合させる（環境省通知）
岩	<ul style="list-style-type: none"> ・土壌汚染対策法適用対象外であるが、必要に応じて土壌汚染対策法の措置に準じた対策または地盤汚染マニュアル・自然由来マニュアルに基づく影響予測とモニタリングを伴ったリスク低減対策を実施

建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック (H27.3) P61

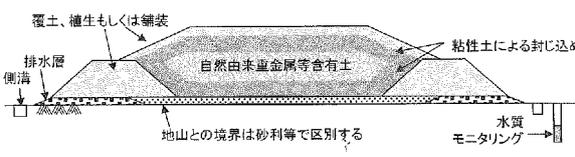
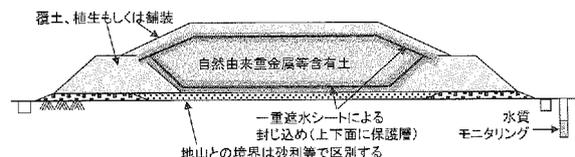
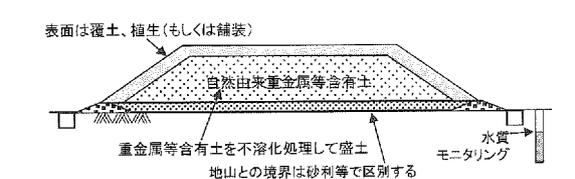
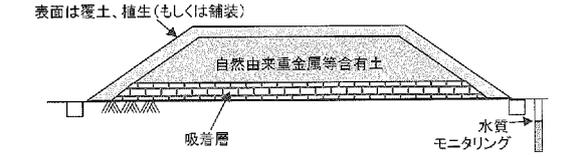
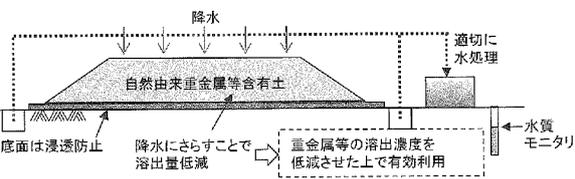
- i) 土壌汚染対策法において測定の対象となる土壌は、破砕することなく、自然状態において2mm目のふるいを通過させて得た土壌とされている。
- ii) 地下鉄工事等の建設工事に係る掘削工事に伴って排出されるもののうち、含水率が高く粒子が微細な泥状のもの。また、粒子が直径74μmを超える粒子をおおむね95%以上含む掘削物にあつては、容易に水分を除去できるので、ずり分離などを行って泥状の状態ではなく流動性を呈さなくなったものであつて、かつ、生活環境の保全上支障のないものは土砂として扱うことができる。なお、地山の掘削により生じる掘削物は土砂であり、土砂は廃棄物処理法の対象外である。

土壌汚染対策法において、岩盤は同法の適用外とされているが、岩ずりを盛土や埋土などに利用する場合は、必要に応じて同法に示される措置に準じた対策や影響予測に基づくモニタリングを伴ったリスク低減対策を実施することが望ましい。

なお、岩ずりの対策において、粘性土や遮水シートを用いる場合は、粘性土層やシートを傷つけることにより封じ込め性能を損なわないように十分な保護層を設ける必要がある。

表3-5 影響予測とモニタリングを伴った自然由来金属等含有土のリスク低減対策

建設工事で発生する自然由来重金属等含有土対応ハンドブック (H27.3) P63

対策の概要	対策のイメージ図
<p>①粘性土による封じ込め 自然由来重金属含有土の盛土の表面(場合によっては盛土下部も)粘性土を敷設し、雨水・地下水の浸透の防止、滲出水の発生防止、および溶出した重金属等の拡散を防止する対策である。厚さ50cm以上の覆土は直接摂取によるリスクを防止できる。</p>	
<p>②一重遮水シートによる封じ込め 自然由来重金属等含有土からの重金属等の溶出を防止するため、一重遮水シートで封じ込めを行う対策である。遮水シートを敷設する際にはあらかじめ地盤の整地などを行い、シート工は専門の施工業者が対応することが望ましい。上面シートの施工前には下面シートへの滲出水の処理を適切に行う。</p>	
<p>③転圧による雨水浸透の低減 自然由来重金属等含有土の盛立の際に必要なに応じて粘性土を混合して転圧し、盛土の透水係数を低減させる対策である。盛土内部への水や空気の浸入を防止し、重金属等の溶出低減を期待するものである。詳細予測方法による影響予測では透水係数などの評価が必要となり、その評価方法が課題となる。</p>	
<p>④不溶化処理による溶出低減 自然由来重金属等含有土に重金属等の溶出を低減させるための材料を添加混合する対策である。不溶化などの処理を用いる代表的材料としては、各種不溶化材、セメント等が挙げられる。詳細予測方法による影響予測では不溶化による溶出量などの低減効果の評価が必要となり、その評価方法が課題となる。</p>	
<p>⑤吸着層の敷設による重金属等の捕捉 自然由来重金属等含有土の盛土基礎に重金属等吸着層を敷設することにより、重金属等が地下に浸透することを防止する対策である。詳細予測方法による影響予測では吸着による溶出量などの低減効果の評価が必要となり、その評価方法が課題となる。</p>	
<p>⑥滲出水処理による重金属の回収 掘削した発生土を降水にさらした状態で盛土して、滲出水中に溶出した重金属を適切に水処理することにより回収する対策である。滲出水処理により、発生土の重金属等に関する土壌溶出量基準を満足した場合、通常の建設発生土として取り扱うことができる。詳細予測方法による影響予測では、滲出水中の重金属等の濃度低減の傾向と水処理の期間等の予測が課題となる。</p>	
<p>上記対策の共通の留意点として、以下の項目が挙げられる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 施工中は降雨などによる自然由来重金属等含有土の流出防止対策が必要である。 ・ 自然由来重金属等含有土の盛立施工中は釜場排水などの処理を行い、施工後は雨水が浸入しないような措置を図る。 ・ 植生工を施工する場合は根が封じ込め層を損傷しないように留意する。 ・ 被覆構体内の遮水性については、井戸で確認する方法や構体外への排水ドレーンからの排水の有無により確認する方法などがある。 	

3-4 工事用設備計画

トンネル坑内・外について、トンネル規模、地山条件、施工条件、立地条件等を考慮して工事用設備計画をたてなければならない。

一般的にはトンネルが計画されるような箇所は、急峻で狭い地形の場合が多いため、慎重な計画と合理的な配置が要求される。これらの設備は周辺の環境条件・掘削工法及び方式・ずりの搬出方式・覆工方式等により規模や設備の内容が異なるが、

- ① 周辺の地形、地質、気象条件等を考慮して土石流や崩壊、雪崩等の災害に合わないような位置を選定する。
- ② 隣接、近接する工事の工程や作業に支障のないような位置を選定する。
- ③ 作業規模を考慮してバランスのとれた設備及び能率的な機器の配置を行う。

留意が必要である。

(1) 電力設備

施工に必要な負荷設備に対応できる必要電力量を決定し、電力会社の供給設備を調査の上、負荷設備容量に応じた受電設備及び変電設備を経て、負荷設備までの経路を決定しなければならない。設置にあたっては、安全性を考慮し、不必要に人や物が近よらない場所を選び、金網等で防護した設備を設けなければならない。

また、コンプレッサーなど大容量の電力を使用する設備の近傍に設置し、経済性に注意を払い、使いやすさ、配電のしやすい経路とする必要がある。

フリッカ対策は、周囲の施設等を調査した上で、電力会社との協議により対応が必要と認められた場合には、検討結果を仮設電力設備計画に反映することとする。なお、設計段階で電力会社と協議を行わない場合には、トンネル掘削着手前までに協議を行う旨、施工計画に記載することとする。

(2) コンプレッサー設備

コンプレッサーは、作業場まで結ぶ配管の漏洩や摩擦抵抗など経済性や作業性の見地から坑口近くに配置するのが有利であり、また、受・変電所からの高圧配電となるため、その近傍に設置することが望ましい。

(3) ずり積み換え設備（ストックヤード）

遠方までずりの運搬が必要な場合に設ける。坑内から搬出されたずりを一次ストックして、ダンプ等に積み換えて運搬する。

(4) 火薬類取扱所

法令により、「通路、通路となる坑道、動力線、火薬庫、火気を取り扱う場所、人の出入りする建物等に対して安全でかつ、湿気の少ない場所に設ける」等、定められているので、これに使用上の利便を考慮して配置する。

(5) 火工所

法令を守るほか、「取扱所との相互距離は 20m以上離す」などの規定により、安全な設備配置をする。これによりがたい場合は相互の間に安全な隔壁（コンクリートブロック等）を設ける。

(6) 吹付けプラント

骨材・セメントなどの材料搬入が便利なように搬入路の近傍で、さらに坑内への持込にも有利な配置とする。

(7) 給水設備

沢等からの自然流下を利用したものやポンプ送水によるものもあるが、一般的には、高い位置に 20.0m³ 程度の貯水槽を設けてポンプアップして貯留し、必要に応じてヘッド差を利用して給水するものが多い。

(8) 濁水処理設備

トンネルの汚濁水は、地質・湧水量・水質・施工方法によって大きく異なる。また、地形や周囲の環境条件によって制約を受ける場合が多く、標準的な処理方式は決めがたいため、採用にあたっては湧水量・濃度・成分等を考慮し適切な方式を選定しなければならない。設計にあたっては、「建設工事に伴う濁水対策ハンドブック」（日本建設機械化協会）参照により行うものとする。

設置の際には、次の点に注意しなければならない。

- ① 湧水量の予想が難しいため、実際の湧水量が設備規模を上回っても、これを拡張できるスペースがあること。
- ② 坑内－処理設備－放流河川の順番の排水経路が短距離で、なるべく自然流下できるような配置とすること。

(9) 換気設備

坑内の換気は自然換気に期待出来る場合でも換気設備を設置することを原則とする。

換気計画にあたっては、「ずい道等建設工事における換気技術指針〔設計及び粉じん等の測定〕（H24.3）」参照により行うものとする。

なお、坑内空気中の粉じん目標レベルは 3mg/m³ 以下とする。ただし、中小断面トンネルにおいて 3mg/m³ 以下を達成することが困難と考えられるものについては、できるだけ低い値を粉じん濃度目標レベルとする。

(10) 照明設備

坑内照明は、40Wの蛍光灯を片側 5 m 間隔に設置することを標準とし、切羽照明は 500W 投光器を切羽 6 個（上半 4 個，下半 2 個），覆工 4 個に設置することを標準とする。

また、坑外照明については、500W 投光器 4 個（坑口 2 個，プラント 2 個）を標準とする。

(11) 排水設備

縦断勾配が 0.3% 以下、又は逆勾配の場合等でポンプ排水を必要とする場合に設置する。

(12) 修理工場

資材置場，倉庫などの近傍で坑内への出入りに便利な位置を選ぶ。

(13) 資材倉庫

搬入材料の種類によって必要となる倉庫および部品等を保管するための倉庫をいい、管理のしやすいところに設置する。

