

第3章 設計・施工

第3章 設計・施工

3.1 掘削	4-3-1
3.1.1 掘削方式・工法	4-3-1
3.1.2 施工概要	4-3-2
3.1.3 掘削作業機械配置例	4-3-6
3.1.4 吹付機械配置例	4-3-14
3.2 加背割	4-3-15
3.3 余掘・余巻・余吹厚及び変形余裕量	4-3-17
3.4 坑口部の掘削工法	4-3-19
3.5 坑門工	4-3-23
3.5.1 設計一般	4-3-23
3.5.2 面壁	4-3-25
3.6 押え盛土工	4-3-26
3.6.1 使用区分	4-3-26
3.6.2 エアモルタル工	4-3-26
3.6.3 ソイルセメント工	4-3-26
3.7 掘削の補助工法	4-3-27

第3章 設計・施工

3.1 掘削

3.1.1 掘削方式・工法

掘削工法は、表3.1.1を標準とする。

表3.1.1 掘削方式、掘削区分、掘削工法及び掘進工法

掘削方式	掘削区分	掘削工法	掘進工法
発破掘削	B・C	補助ベンチ付全断面工法	—
	D	上半先進ベンチカット工法 (ショートベンチカット工)法	上下半交互併進工法
機械掘削	C・D	〃	上下半同時併進工法

注) 掘削区分A、Eは別途考慮のこと。

【解説】

(1) 掘削方式、工法は、切羽の自立性、地山の支持力、地表面沈下の許容値等を十分調査のうえ、施工性及び経済性を考慮して定めなければならない。

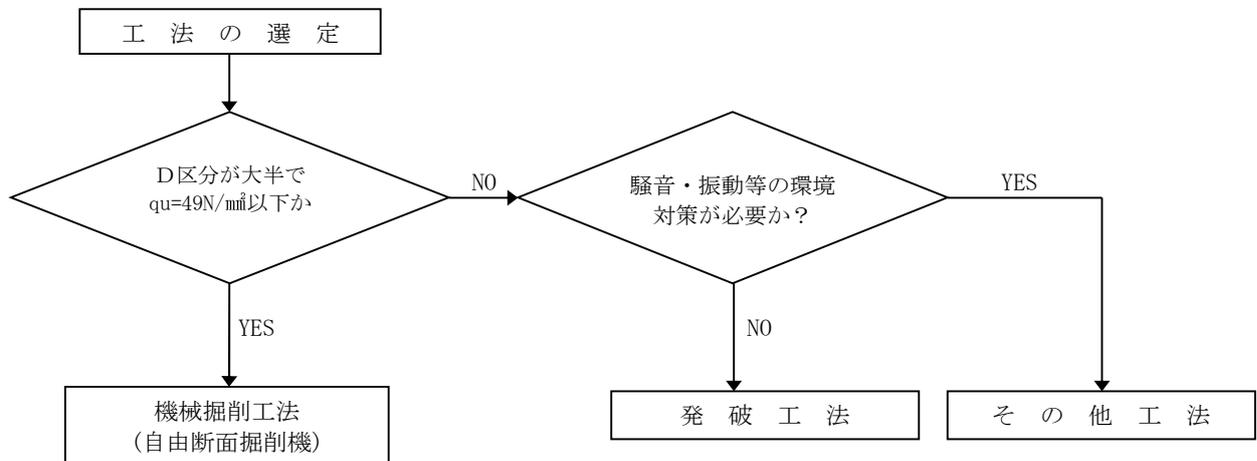
掘削工法には、全断面工法、補助ベンチ付全断面工法、ベンチカット工法、サイロット工法があるが、最も一般的な補助ベンチ付全断面工法とショートベンチカット工法を標準工法とする。

(2) 工事工程

1ヵ月の実作業日数は20.4日とする。なお、1ヵ月は30日とする。

工事工程表の決定に当たっては、トンネル延長、地質、地形及び掘削工法、掘進工法を考慮すること。

(3) 掘削方式の選定



(注) 「大半の区分」とは90%程度を目安とする。

図3.1.1 掘削方式選定フロー

3.1.2 施工概要

(1) 発破掘削方式

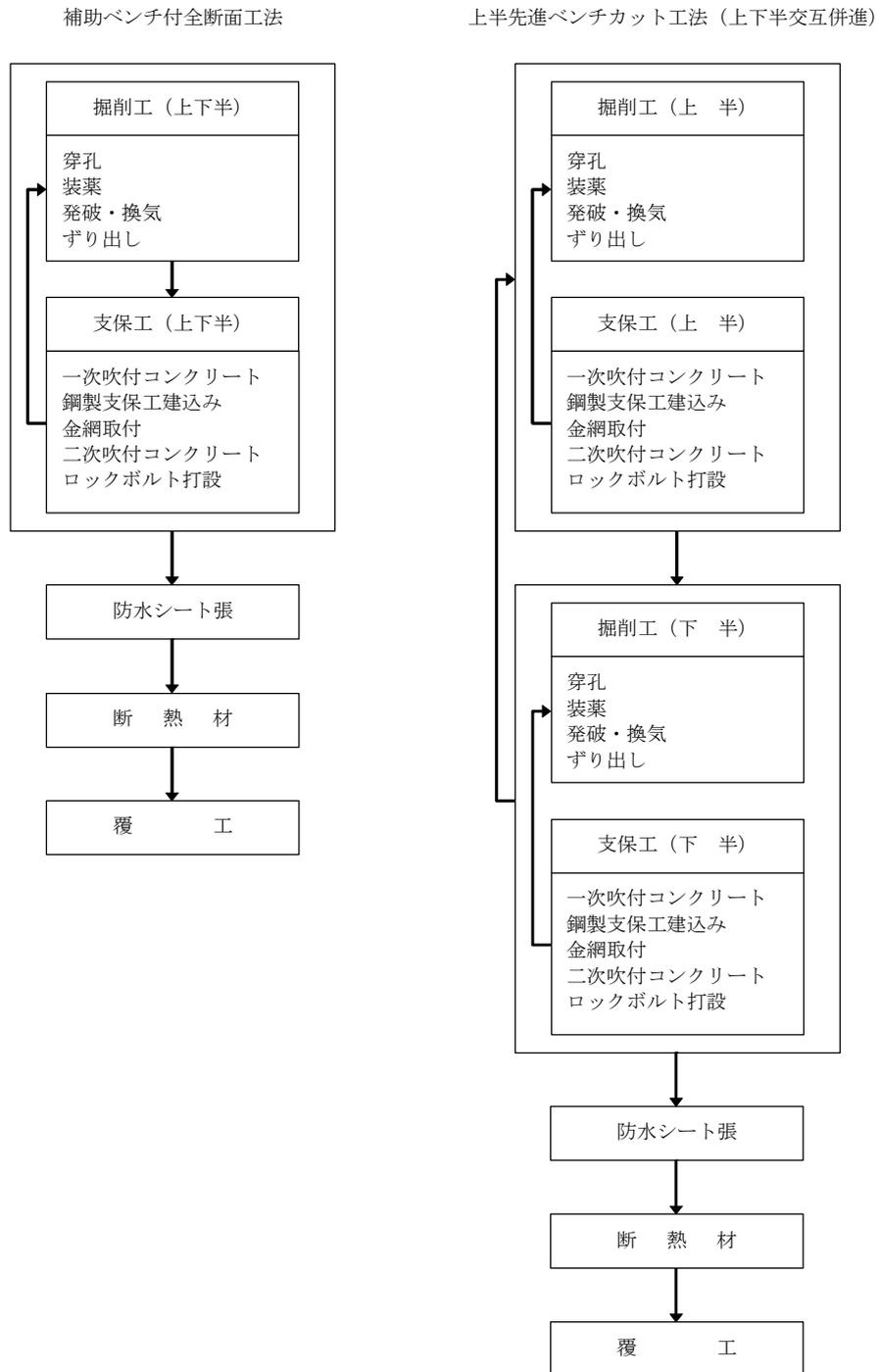


図3.1.2 施工フロー図(発破掘削方式)

(2) 機械掘削方式

上半先進ベンチカット工法（上下半同時併進）

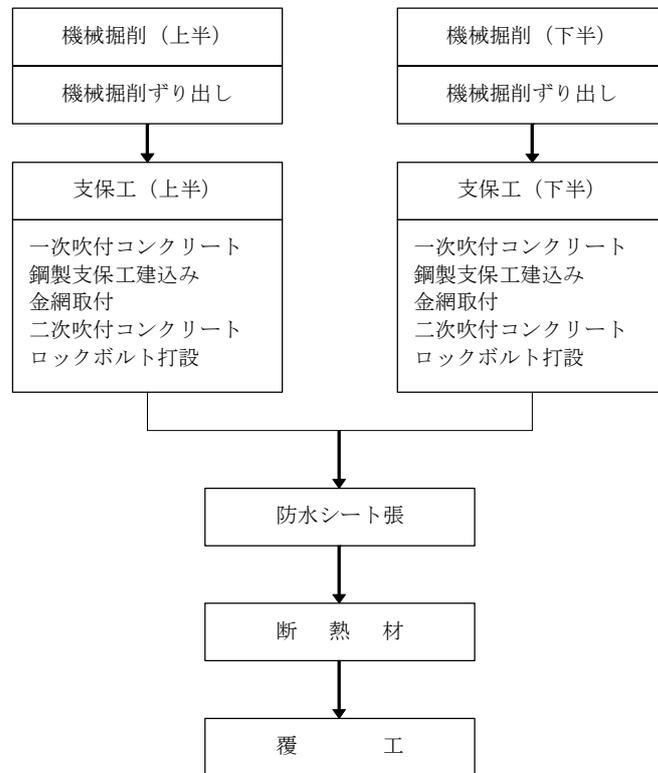


図3.1.3 施工フロー図(機械掘削方式)

表3.1.2 標準的な掘削工法の分類と特質

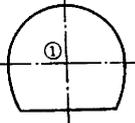
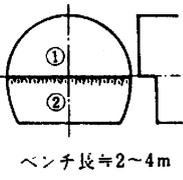
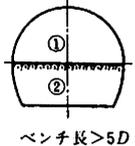
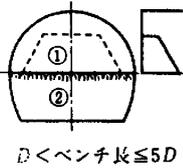
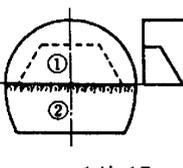
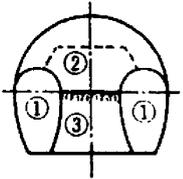
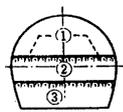
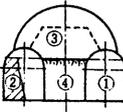
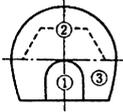
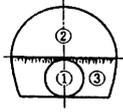
掘削工法	加背割	主として地山条件から見た適用条件	長所	短所
全断面工法		<ul style="list-style-type: none"> ・小断面トンネルにおける一般的な施工法. ・大断面 (60m²以上) ではきわめて安定した地山. ・中断面 (30m²程度) では比較的安定した地山. ・良好な地山が多くても不良地山が挟在する場合には段取替えが多くなり不適. 	<ul style="list-style-type: none"> ・機械化による省力化急速施工に有利. ・切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利. 	<ul style="list-style-type: none"> ・トンネル全長が単一工法で施工可能とは限らないので、補助ベンチ等の施工法の変更体制が必要. ・天端付近からの浮石の崩落がある場合には、落下高さに比例して衝突エネルギーが増大するので注意を要する.
補助ベンチ付全断面工法		<ul style="list-style-type: none"> ・全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山. ・全断面施工中に施工が困難になった場合. ・良好な地山が多いが部分的に不良地山が挟在する場合. 	<ul style="list-style-type: none"> ・機械化による省力化急速施工に有利. ・切羽が単独であるので作業の錯綜がなく安全面等の施工管理に有利. 	<ul style="list-style-type: none"> ・補助ベンチでも切羽が自立しなくなった場合の段取替えが困難.
ベンチカット工法	ロングベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> ・全断面では施工が困難であるが、比較的安定した地山. 	<ul style="list-style-type: none"> ・上半・下半を交互に掘削する交互掘進方式の場合、機械設備・作業員が少なくすむ. ・交互掘進方式の場合工期がかかる.
	ショートベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> ・土砂地山、膨張性地山から中硬岩地山まで適用できる工法で最も基本的かつ一般的な施工法. 	<ul style="list-style-type: none"> ・地山の変化に対応しやすい. ・同時併進の場合には上・下半の作業時間サイクルのバランスがとりにくい.
	ミニベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> ・ショートベンチカット工法の場合よりもさらに内空変位を抑制する必要がある場合. ・膨張性地山等で早期の閉合を必要とする場合. 	<ul style="list-style-type: none"> ・インバートの早期閉合がしやすい. ・上半施工用の架台が必要となる. ・上半部の掘削に用いる施工機械が限定されやすい.
中壁分割工法		<ul style="list-style-type: none"> ・地表面沈下を最小限に防止する必要のある土被りの小さい土砂地山. ・大断面トンネルで比較的不良な地山. 	<ul style="list-style-type: none"> ・断面を分割することによって切羽の安定が確保しやすい. ・地表面沈下を相当程度まで小さくすることが可能. ・側壁導坑先進工法より加背が大きく、施工機械をやや大きくすることが可能. 	<ul style="list-style-type: none"> ・中壁撤去時の変形等に留意が必要である. ・中壁の撤去工程が加わる. ・坑内からの特殊な補助工法の併用が困難である.
側壁導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> ・ベンチカット工法では地盤支持力が不足する場合. ・地表面沈下を抑制する必要のある土被りの小さい土砂地山. 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表面沈下を小さくすることが可能. ・中壁分割工法の中壁撤去に比較して、側壁部の仮壁撤去が容易. 	<ul style="list-style-type: none"> ・導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる.

表3.1.3 その他の掘削工法の例と特質

掘削工法	加背割	主として地山条件から見た適用条件	長所	短所	
多段ベンチカット工法		<ul style="list-style-type: none"> 縦長の断面トンネルで比較的良好な地山に適用されることが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 切羽の安定が確保しやすい。 	<ul style="list-style-type: none"> 閉合時期が遅れると不良地山では変形が大きくなる。 各ベンチの長さが限定され作業スペースが狭くなる。 各段のずり処理に工夫を要する。 	
導坑 先進 工法	側壁導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地盤支持力の不足する地山であらかじめ十分な支持力を確保したうえ、上半部の掘削を行う必要がある場合。 偏圧、地すべり等の懸念される土被りの小さい軟岩や土砂地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑断面の一部を比較的マッシブな側壁コンクリートとして先行施工するため支持力が期待できるとともに、偏圧に対する抵抗力も高い。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑掘削に用いる施工機械が小さくなる。 導坑掘削時に上方の地山を緩ませることが懸念されるため、坑口切り付け部に採用する場合には、緩み防止対策について十分検討する必要がある。
	底設導坑先進工法		<ul style="list-style-type: none"> 地下水位低下工法を必要とするような地山。 	<ul style="list-style-type: none"> 導坑を先行することにより地質の確認ができる。 切上りを行うことにより切羽を増やし、工期の短縮が可能。 	<ul style="list-style-type: none"> 各切羽のサイクルのバランスがとりにくい。 施工機械が多種多様になる。
	TBM先進工法	 上半に導坑を設ける場合もある	<ul style="list-style-type: none"> 地質確認や水抜き効果を期待してTBMによる導坑を先進する場合。 	<ul style="list-style-type: none"> 発破工法の場合心抜きがいらぬため、振動・騒音対策にもなる。 導坑位置によってはあらかじめ地下水位低下を図ることが可能。 導坑を先行することにより地質の確認ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> 地質が比較的安定していないと、TBM掘削に時間がかかる。

3.1.3 掘削作業機械配置例

(1) 発破掘削(補助ベンチ付全断面工法)

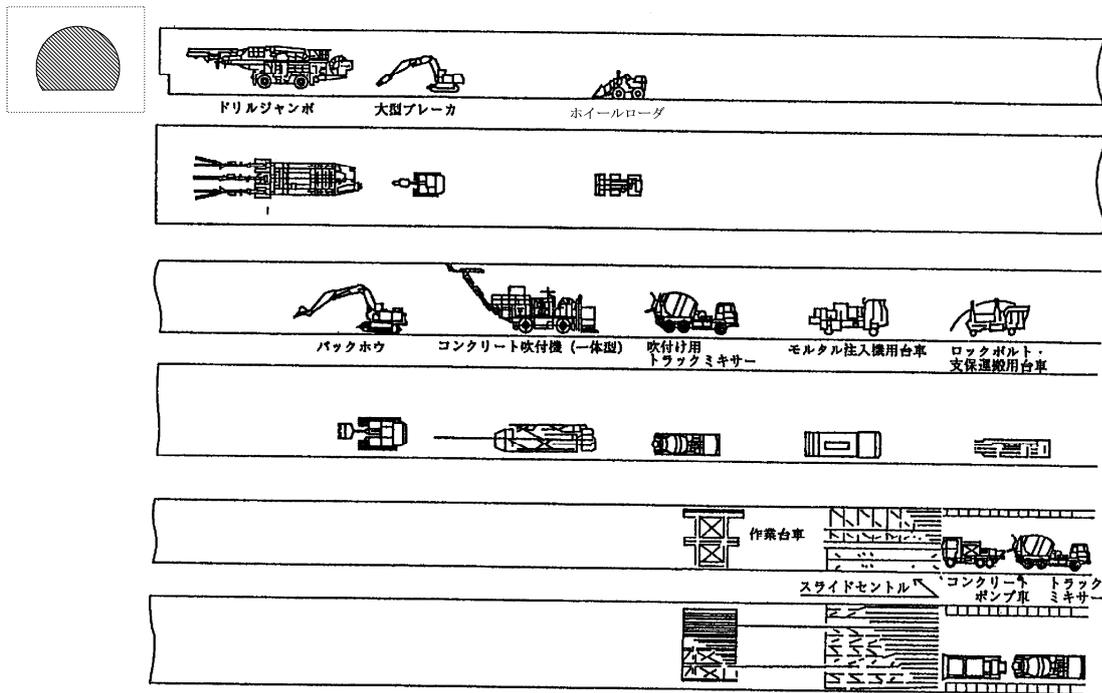


図3.1.4 補助ベンチ付全断面工法
掘削機械配置例(1) (上下半削岩作業時)

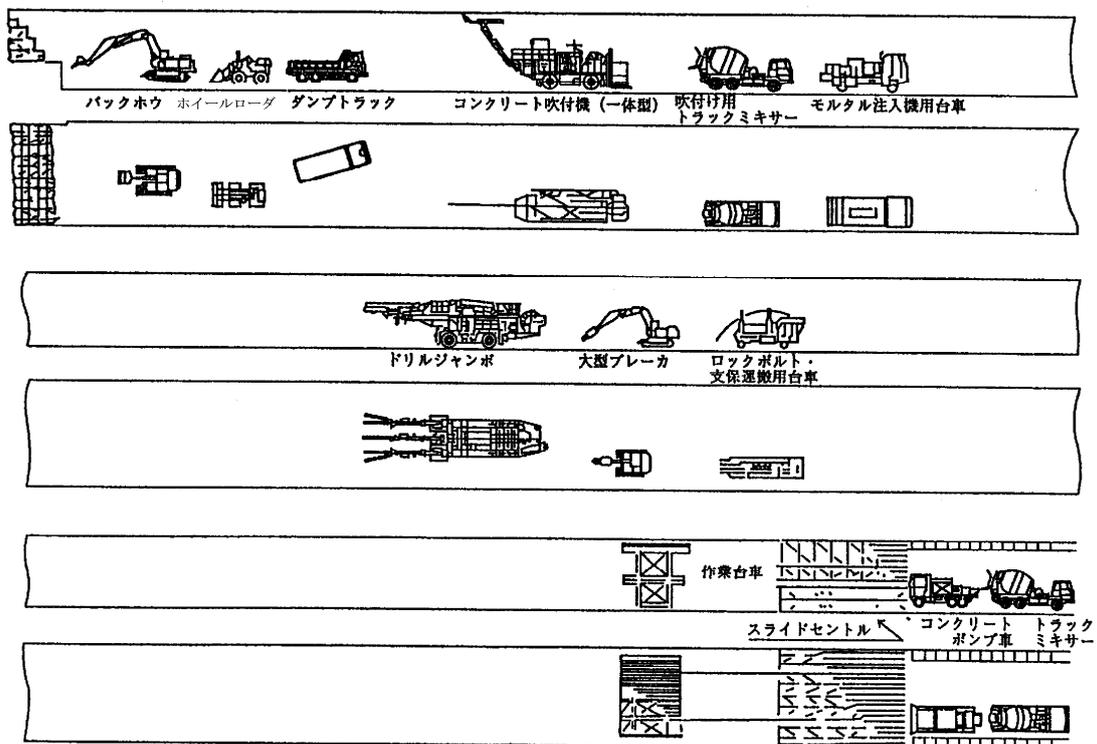


図3.1.5 補助ベンチ付全断面工法
掘削機械配置例(2) (上下半ずり出し作業時)

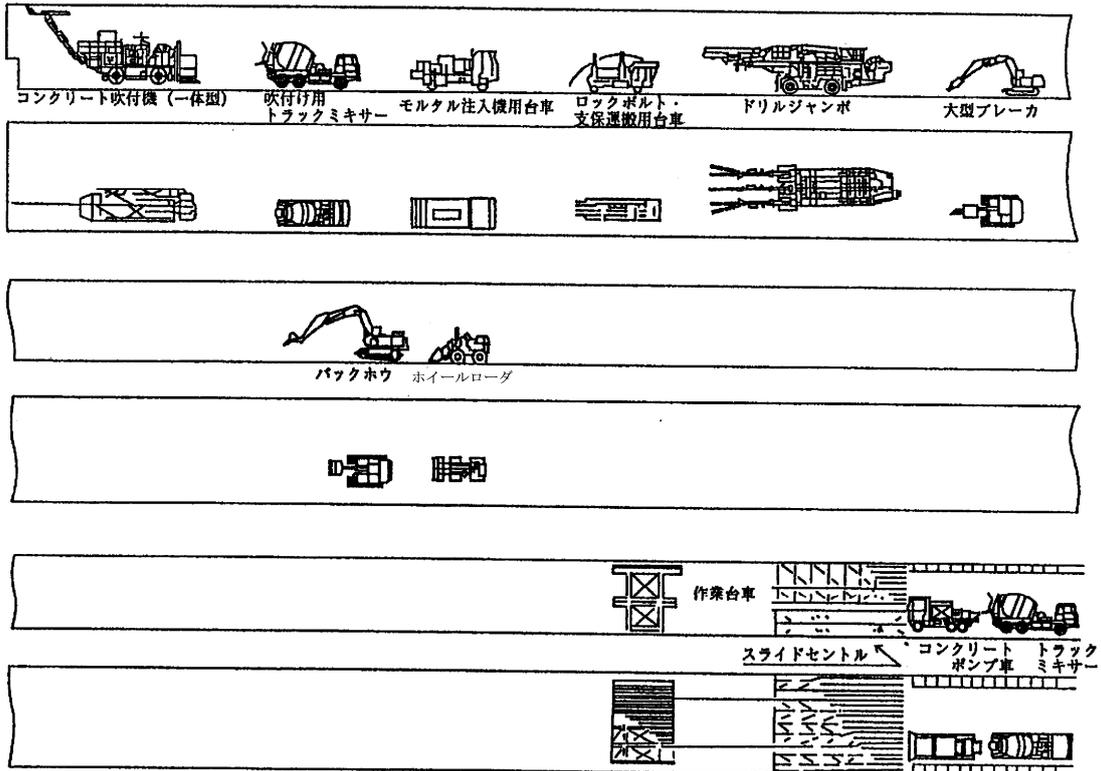


図3.1.6 補助ベンチ付全断面工法
掘削機械配置例(3) (上下半吹付コンクリート作業時)

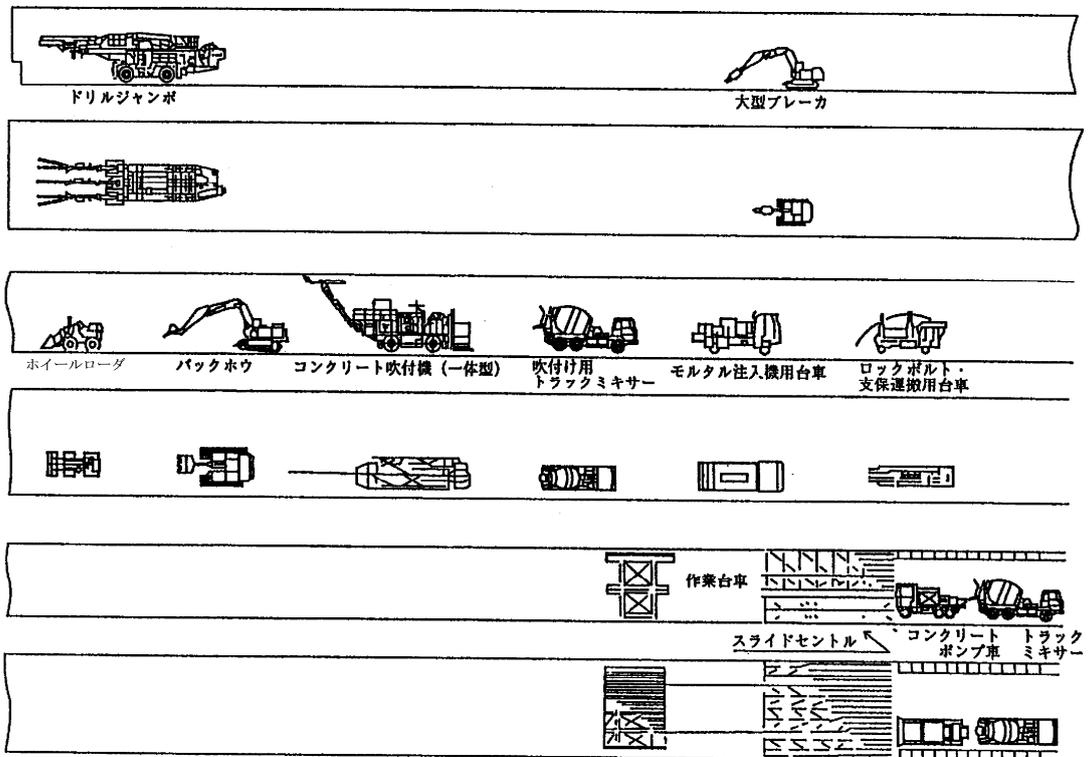


図3.1.7 補助ベンチ付全断面工法
掘削機械配置例(4) (上下半ロックボルト作業時)

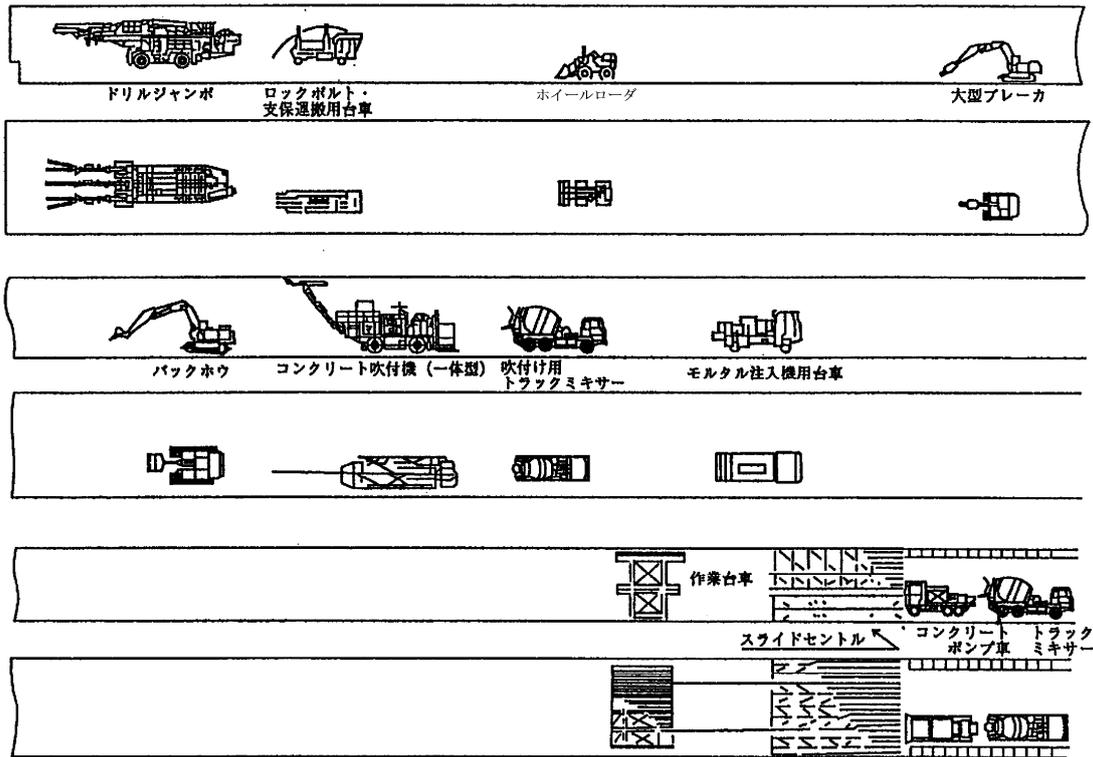


図3.1.8 補助ベンチ付全断面工法
掘削機械配置例(5) (上下半鋼製支保工建込時)

(2) 発破掘削(上半先進ショートベンチカット工法、上下半交互併進工法)

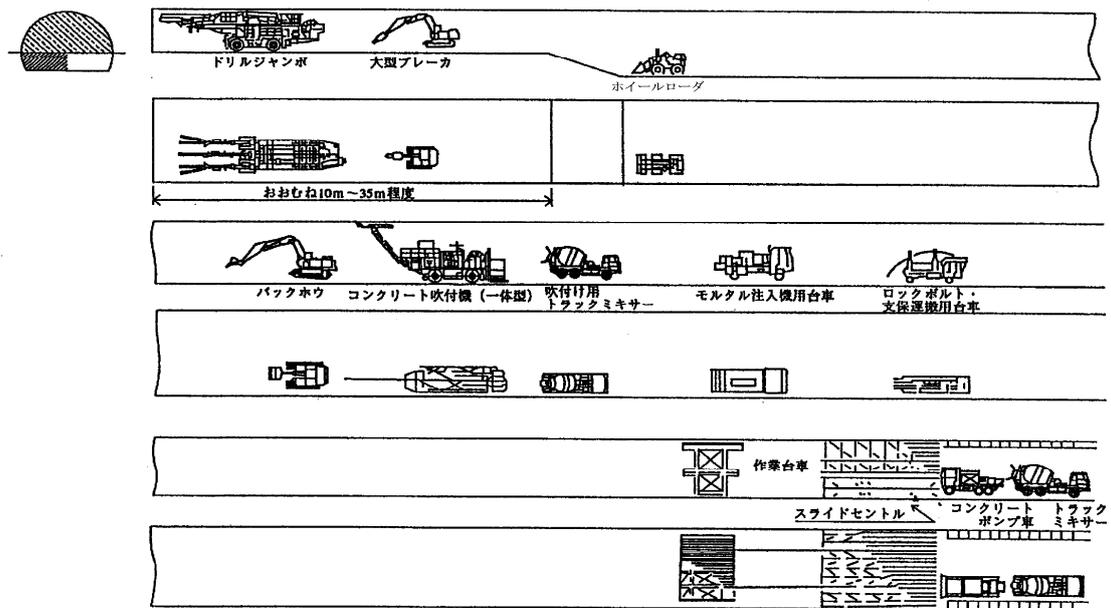


図3.1.9 ショートベンチカット工法(上下半交互併進工法)
掘削機械配置例(1) (上半削岩作業時)

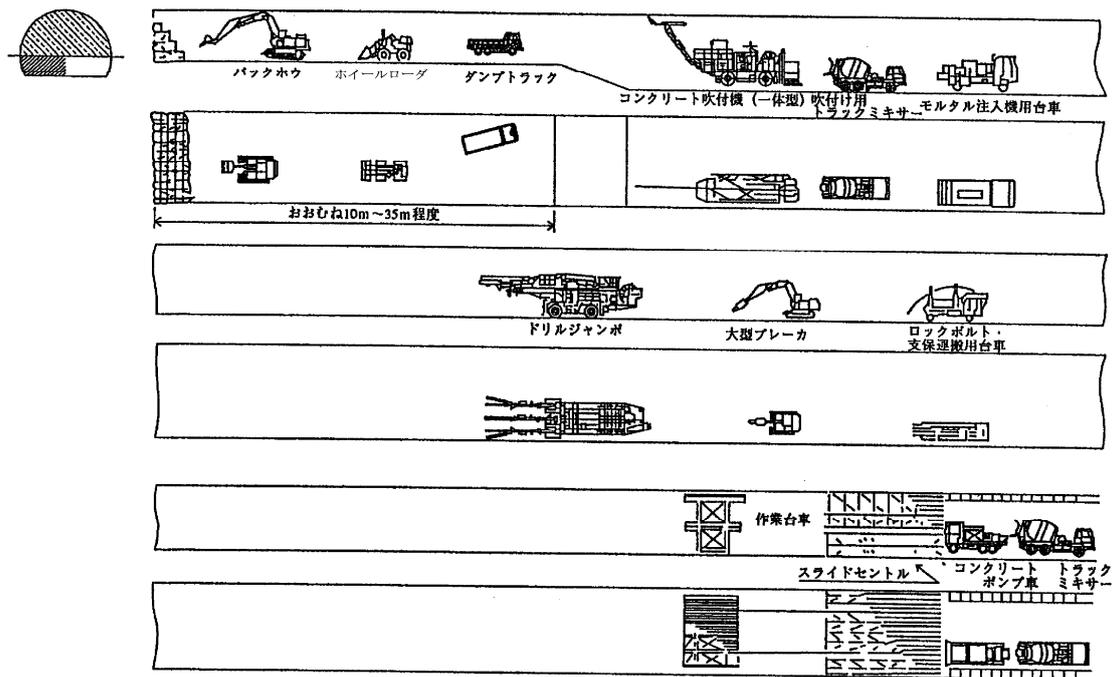


図3.1.10 ショートベンチカット工法(上下半交互併進工法)
掘削機械配置例(2)(上半ずり出し作業時)

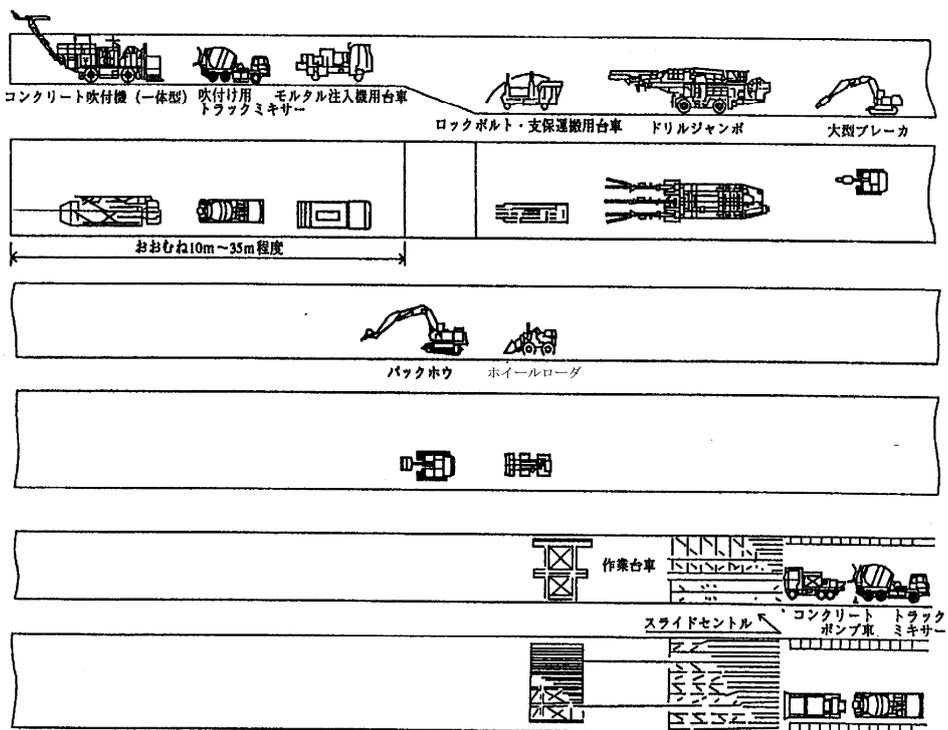


図3.1.11 ショートベンチカット工法(上下半交互併進工法)
掘削機械配置例(3)(上半吹付コンクリート作業時)

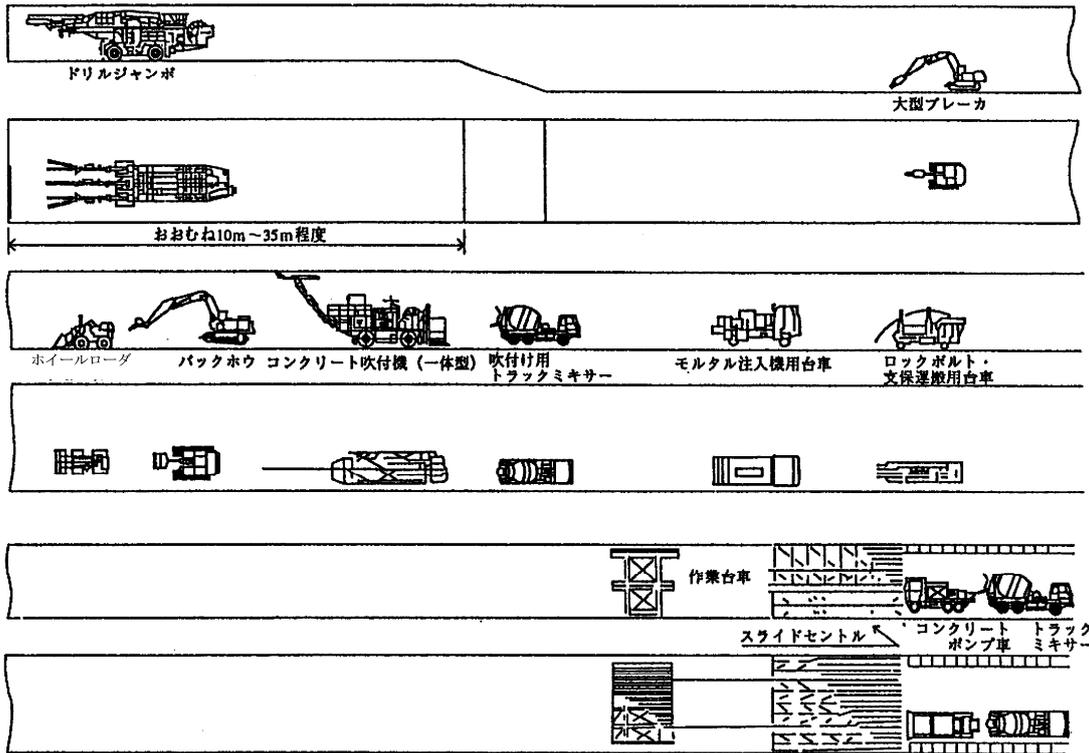


図3.1.12 ショートベンチカット工法(上下半交互併進工法)
掘削機械配置例(4)(上半ロックボルト作業時)

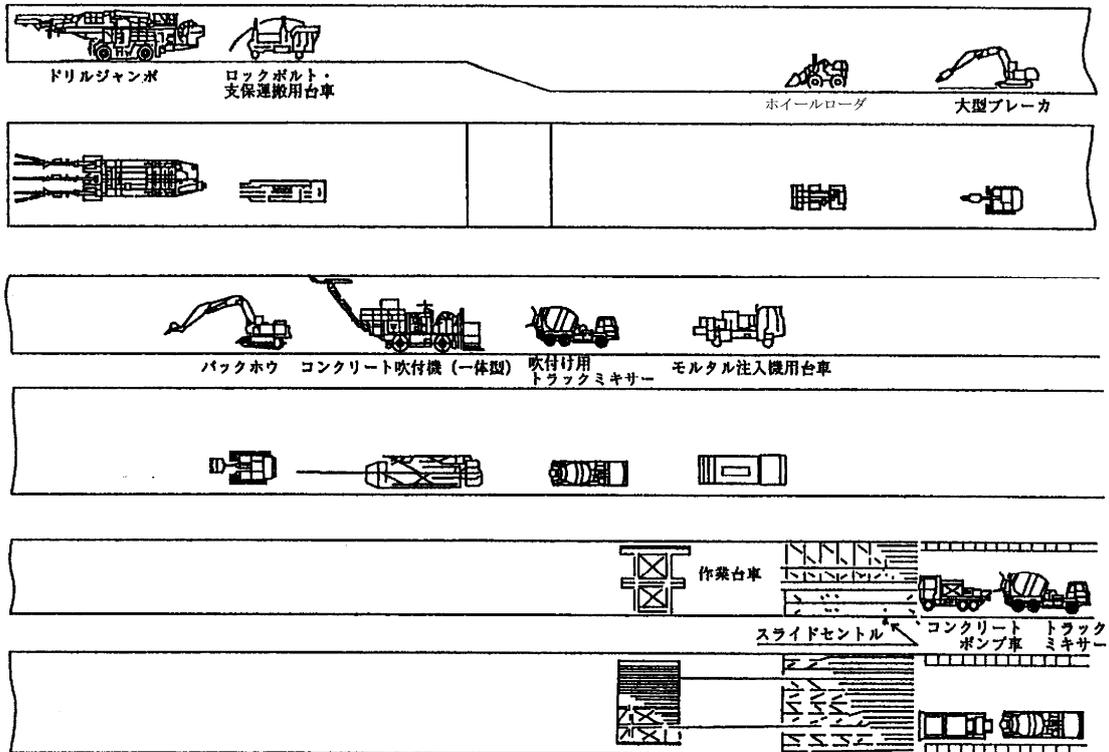


図3.1.13 ショートベンチカット工法(上下半交互併進工法)
掘削機械配置例(5)(上半鋼製支保工建込時)

(3) 機械掘削(上半先進ショートベンチカット工法、上下半同時併進工法)

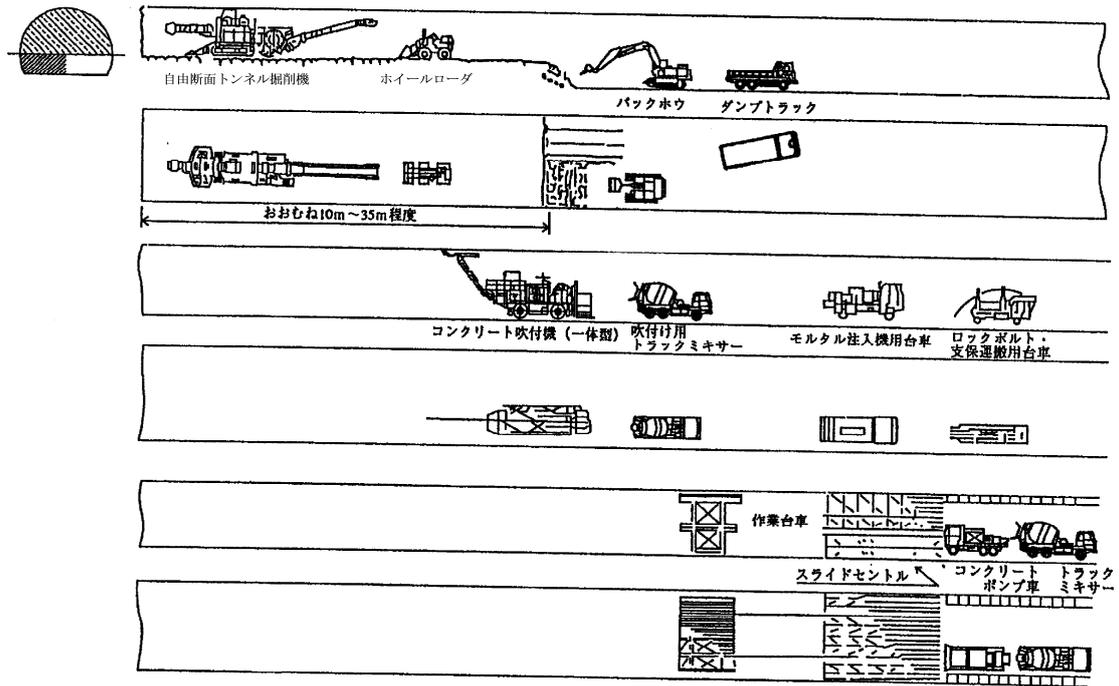


図3.1.14 ショートベンチカット工法(上下半同時併進工法)
掘削機械配置例(1)(上半削岩作業時)

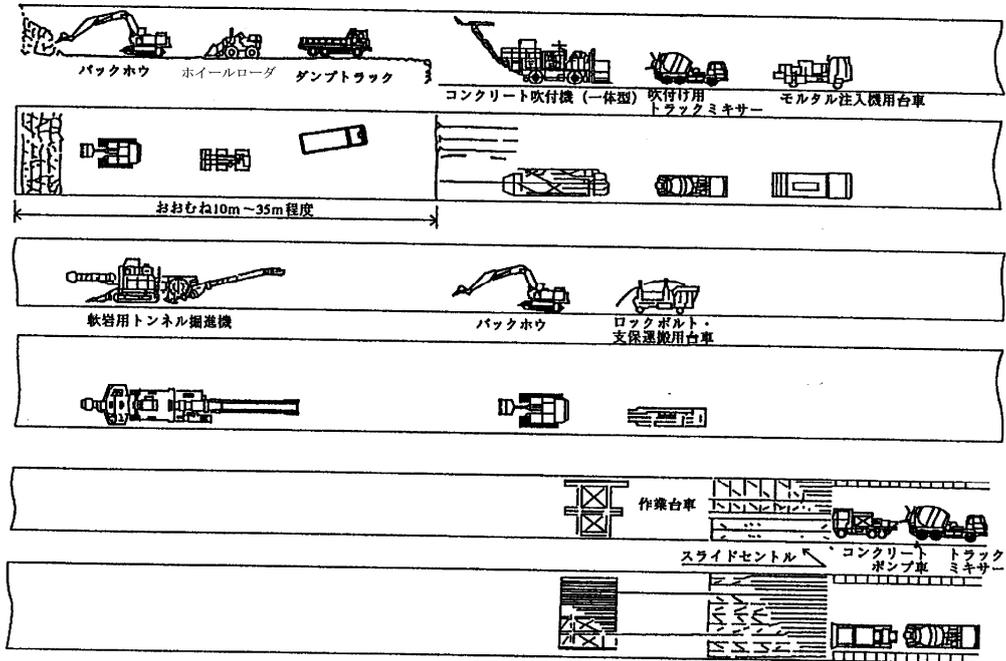


図3.1.15 ショートベンチカット工法(上下半同時併進工法)
掘削機械配置例(2)(上半ずり出し作業時)

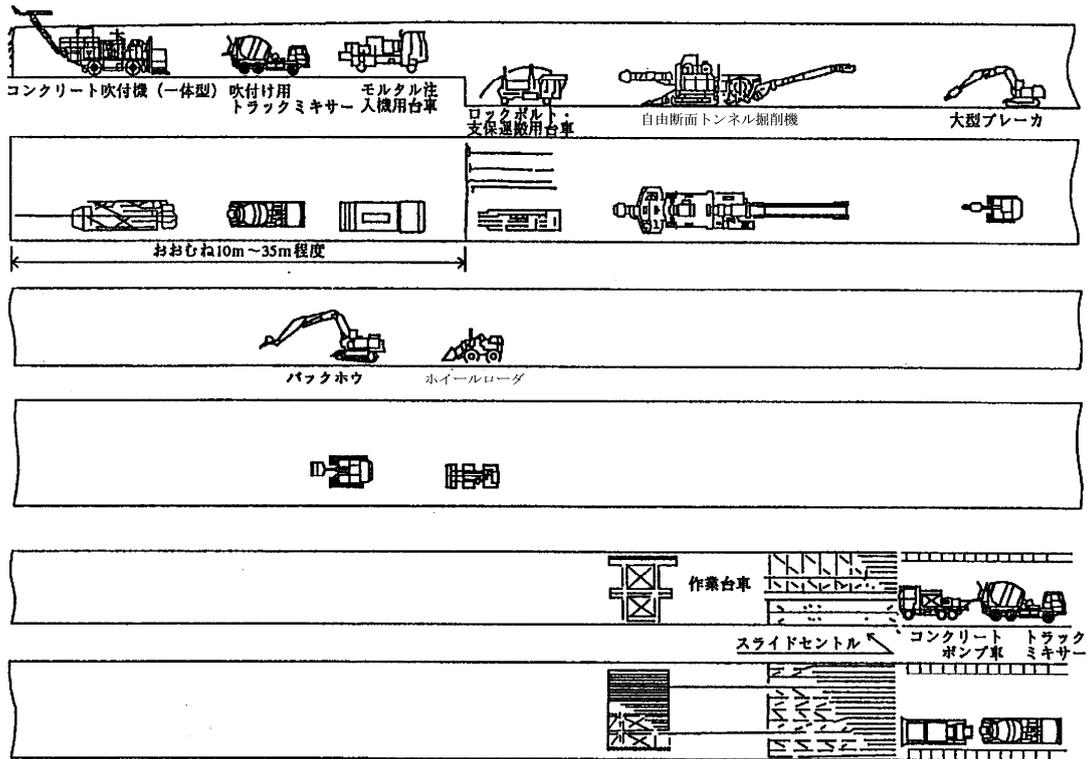


図3.1.16 ショートベンチカット工法(上下半同時併進工法)
掘削機械配置例(3)(上半吹付コンクリート作業時)

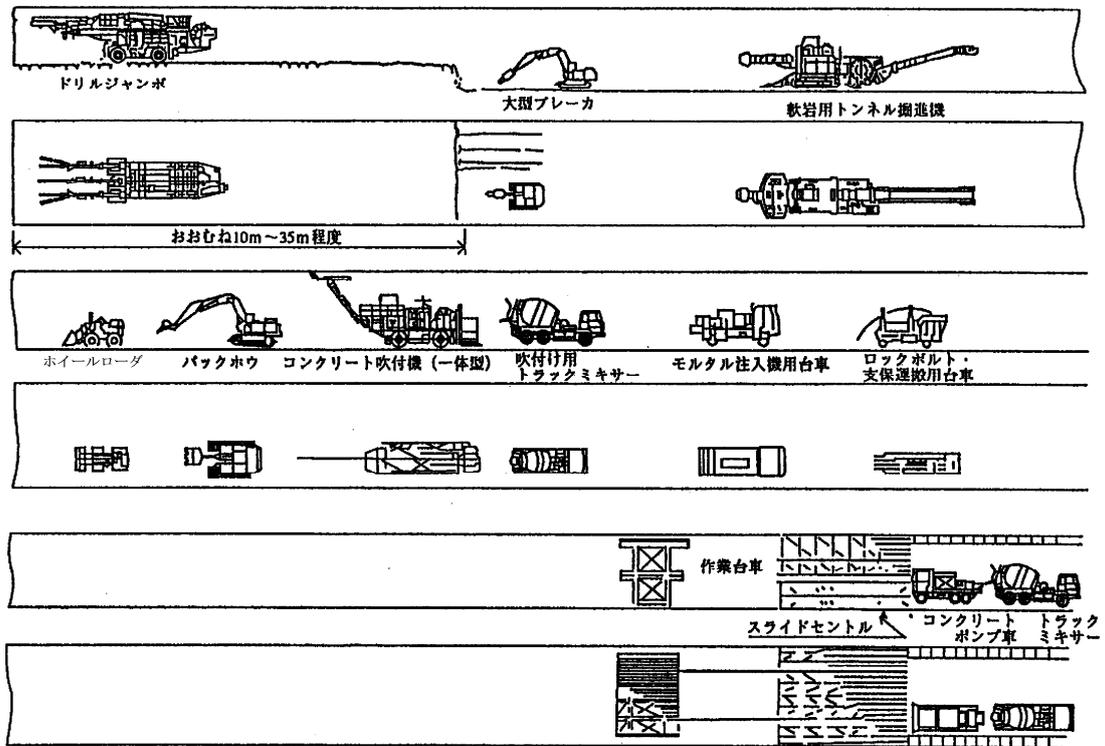


図3.1.17 ショートベンチカット工法(上下半同時併進工法)
掘削機械配置例(4)(上半ロックボルト作業時)

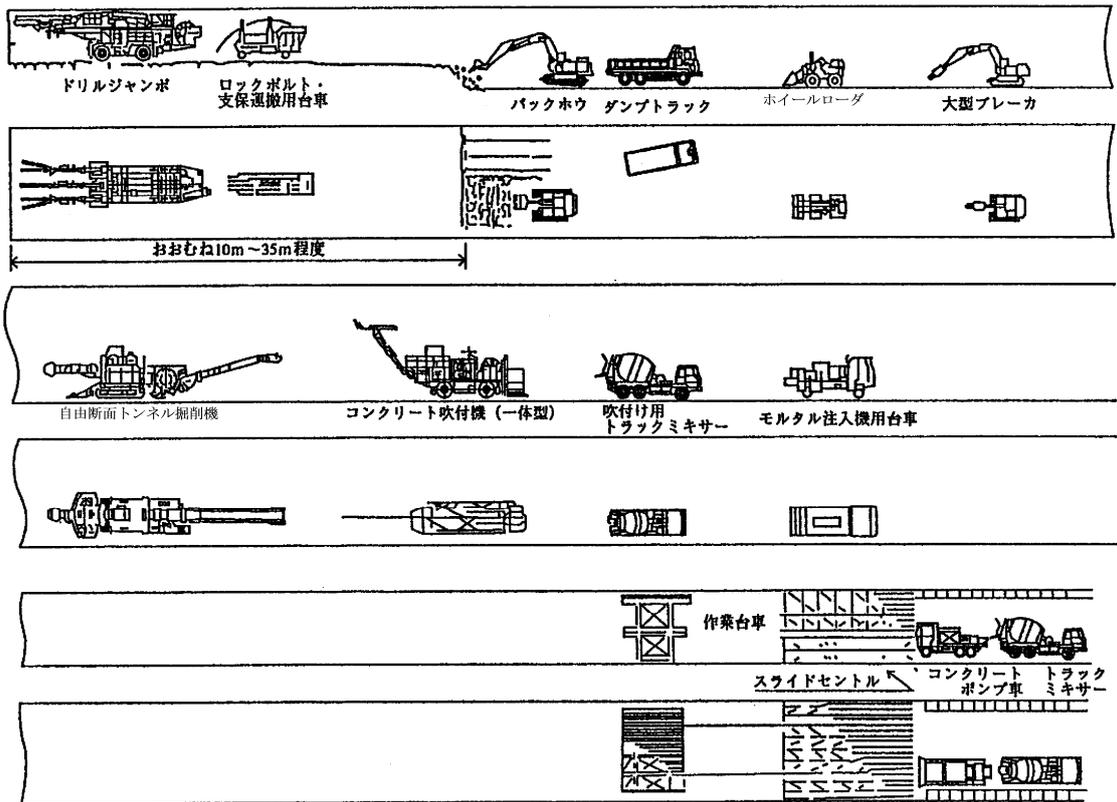


図3.1.18 ショートベンチカット工法(上下半同時併進工法)
掘削機械配置例(5)(上半鋼製支保工建込時)

3.1.4 吹付機械配置例

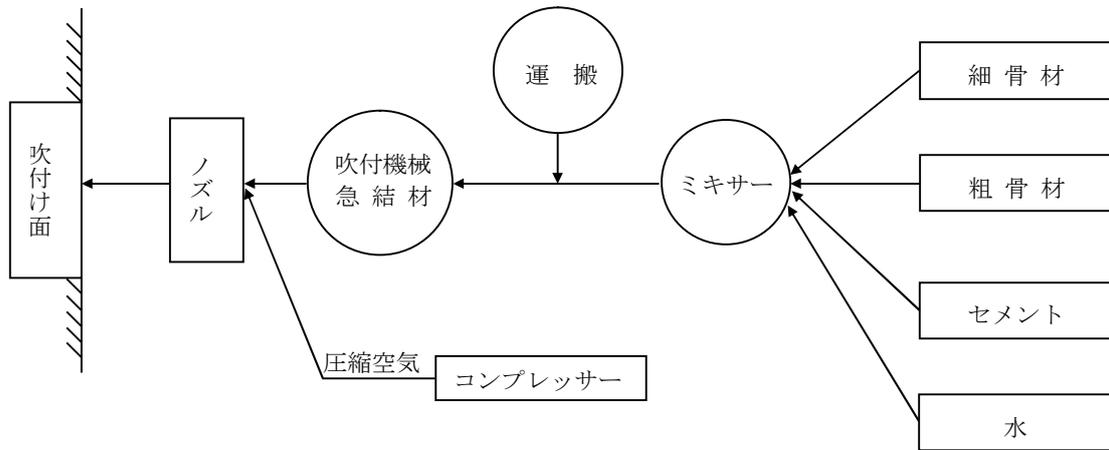


図3.1.19 吹付方式の系統図(湿式方式系統図)

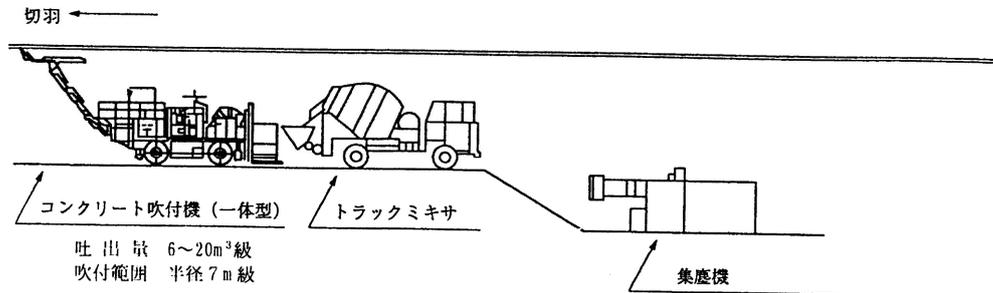


図3.1.20 吹付コンクリート施工機械の配置例(参考)

3.2 加背割

- (1) 補助ベンチ付全断面工法の場合は、上半と下半を同時掘削することとし、離れは5.0mを標準とする。
- (2) ショートベンチカット工法の場合は、上半切羽と下半切羽の離れは30mを標準とし、下半は断面の半分を交互に掘削する。
- (3) 上半盤の位置は、スプリングライン(上半掘削半径の中心)とする。

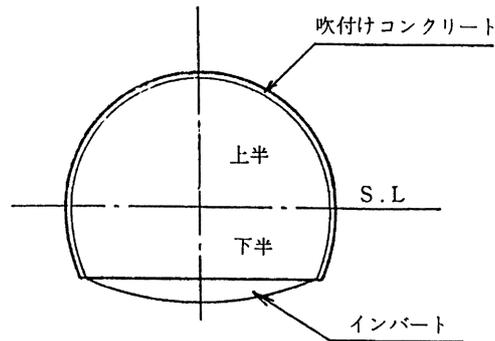


図3.2.1 上半の施工高

- (4) インバートを設ける場合のインバート掘削は、標準施工の場合は下半部サイクルタイムに含めないものとし、インバート工により積算するが、早期閉合の場合は下半サイクルタイムに含める。

【解説】

- (1) 補助ベンチ付全断面工法の場合は、良好地質である地山分類B、Cに切羽の安定性を目的として切羽に2～4m程度のベンチを設け、下半盤にトンネル全断面に対応した施工機械を配置し、上半と下半を同時あるいは交互に施工する工法である。設計積算上、北海道開発局においては、切羽の離れの標準を5mとし、上半と下半を同時に掘削することとした。
- (2) ショートベンチカット工法の場合は、比較的早期な閉合が目的となるため上半と下半の離れは極力短くする必要があるが、施工上から15m～35mとした。設計積算上、切羽の離れの標準を、北海道開発局においては、30mとする。上半に使用する機械は、上半盤に全部上げられないため、下半においておこななければならない、上半盤に上がる斜路が必要となるので、下半断面は半分ずつ掘削することになる。
- (3) 上半の加背割を決める要素として次のようなものがある。
 - 1) 切羽(面)の自立が得られること。
 - 2) 切羽の自立時間内に必要な作業が終了すること。
 - 3) 上記の範囲内でできる限り大型の機械が投入できること。
 - 4) ロックボルト用穿孔が出来れば継ロッドなしでできること。
 - 5) 削岩機で穿孔する場合にはガイドセルが断面内に入ること。
 - 6) 上半用機械の退避進入を考えると、上半盤は低いほど作業効率はやい。
- (4) インバート掘削の考え方
標準施工におけるインバート掘削は、一般に、下半部が50～60m程度先行した時点で施工されるため、下半部サイクルに含めず、別途積算することとした。積算方法は、インバート工による。

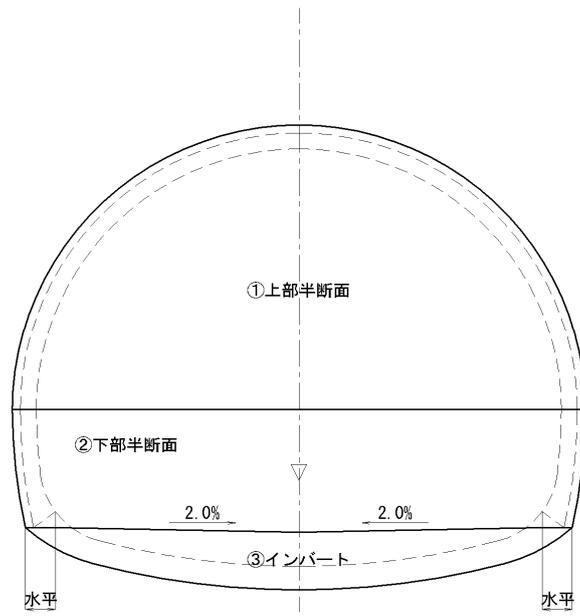


図3.2.2 インバートがある場合の掘削断面

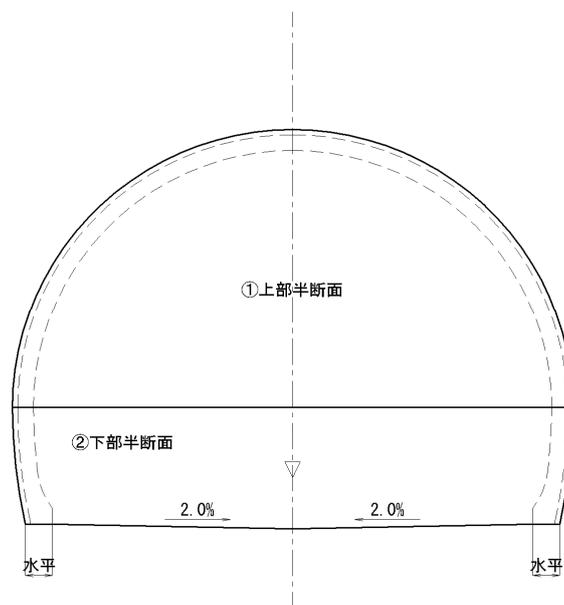


図3.2.3 インバートがない場合の掘削断面

3.3 余掘、余巻、余吹厚及び変形余裕量

- (1) 余掘、余巻コンクリート厚は、表3.3.1を標準とする。

表3.3.1 余掘、余巻及び余吹厚 (cm)

掘削方式	掘削区分	余掘厚	余巻厚	余吹厚
発破掘削	B	27	23	4
	C I	22	17	5
	C II	20	13	7
	D I	17	10	7
	D II	17	10	7
機械掘削	C I	13	8	5
	C II	13	8	5
	D I	13	8	5
	D II	13	8	5

- 注1) 設計巻厚・設計吹付コンクリート厚及び設計掘削断面に対する割増し厚さである。
 注2) 非常駐車帯、避難連絡坑等についても上表を適用する。
 注3) 変形余裕量を見込む場合は余掘・余巻は上表より-5cmとし、掘削断面に変形余裕量を加えるものとする。

- (2) 変形余裕量は、表3.3.2を標準とする。

表3.3.2 変形余裕量 (cm)

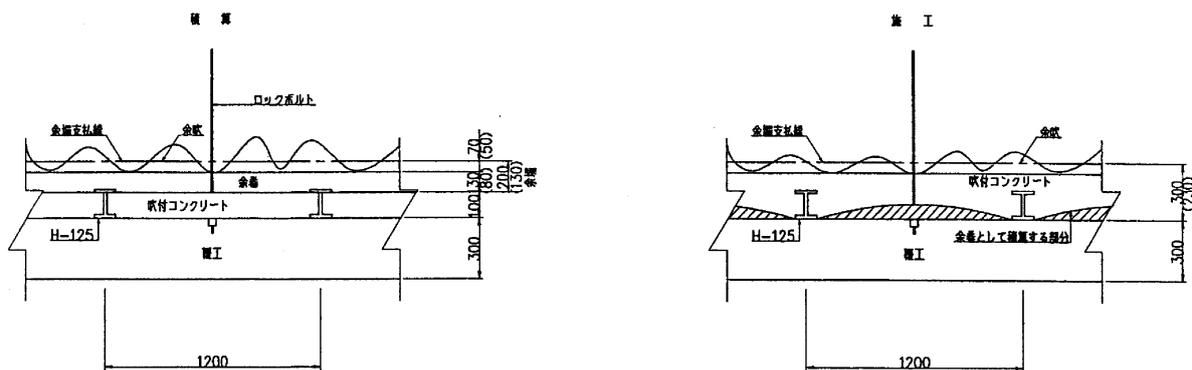
掘削区分	上半部	下半部	インバート
B	0	0	0
C I	0	0	0
C II	0	0	0
D I	0	0	0
D II	10	0	0

【解説】

トンネル工事では、設計断面どおり掘削することは困難であり、設計巻厚を確保するには、設計断面積より大きく掘削しなければならない。これを余掘といい、覆工及び吹付コンクリートで充てんする。

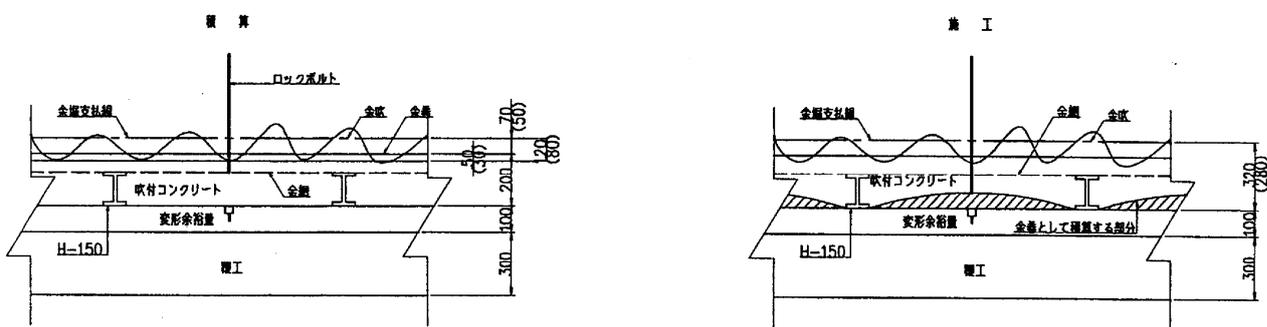
これをそれぞれ余巻及び余吹という。この余掘を考慮した断面積の外周を支払線(ペイライン)と言い、当初から掘削と覆工及び吹付コンクリートの設計数量に見込むものとする。

また、変形余裕を設計図書に明示した場合の設計掘削断面積は変形余裕厚さを加算した面積とする。



()内の数値は機械掘削方式の場合である。

図3.3.1 CIIの場合の掘削断面の例



()内の数値は機械掘削方式の場合である。

図3.3.2 DIIの場合の掘削断面の例

設計掘削半径、支払掘削半径の算式はそれぞれ式(3.1)、式(3.2)とする。

$$\begin{aligned} \text{設計掘削半径} &= \text{設計内空半径} + \text{覆工コンクリート厚} + \text{吹付コンクリート厚} \\ &\quad + (\text{断熱材厚}) + (\text{変形余裕量}) \quad \dots\dots\dots \text{(式3.1)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{支払掘削半径} &= \text{設計内空半径} + \text{覆工コンクリート厚} + \text{吹付コンクリート厚} \\ &\quad + (\text{断熱材厚}) + (\text{変形余裕量}) + \text{余掘} \\ &= \text{設計掘削半径} + \text{余掘} \quad \dots\dots\dots \text{(式3.2)} \end{aligned}$$

ただし、余掘=余巻コンクリート厚+余吹コンクリート厚

ここで、規定している変形余裕量とは、設計積算上、見込むことの出来る余裕量であり、施工時に管理する量とは異なる。

3.4 坑口部の掘削工法

- (1) 坑口部の標準的な支保構造は次表によることを標準とする。

表3.4.1 坑口部の標準的な支保構造の組み合わせの目安
(通常断面トンネル 内空幅8.5~12.5m程度)

掘削工法	1掘進長(m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工			吹付け厚(cm)	覆工厚(cm)		
		長さ(m)	施工間隔		上半部種類	下半部種類	建込間隔(m)		アーチ・側壁	インバート	
			周方向(m)	延長方向(m)							
上部半断面工法 補助ベンチ付 全断面工法	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	H-200	1.0	25	35	50	
側壁導坑 先進工法	本坑	1.0	4.0 (3.0)	1.2 (0.6)	1.0 (1.0)	H-200	—	1.0 以下	25	35	50 以上
	導坑	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125		1.0	10	—	—

() : フォアポーリングを示す

- 注1) ロックボルトは、側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは4mを標準とする。
- 注2) フォアポーリングは、天端120°の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材質及び工法などの選定に当たっては、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 注3) 金網は、上部半断面工法、補助ベンチ付全断面工法の場合は上・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート(SFRC)などを用いる場合はこの限りではない。
- 注4) 覆工は単鉄筋補強とし、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) 坑口部は土被りが1~2D(Dは掘削幅)の範囲とする。
- (3) 坑口部の掘削工法は特殊な場合を除き、ベンチカット工法を標準とし、側壁導坑先進工法を採用の場合は別途考慮。
- (4) 建設予定地が海岸線の場合、周辺状況等を勘案の上、必要に応じて「道路橋示方書・同解説」に準拠して、塩害対策の検討を行う。
- (5) 余掘、余巻、余吹厚及び変形余裕量は下表による。

表3.4.2 坑口パターンの余掘厚、余巻厚、余吹厚および変形余裕量

単位:cm

掘削方式	加背	余掘厚	余巻厚	余吹厚	変形余裕量
発破掘削	上半	17	10	7	0
	下半	17	10	7	0
機械掘削	上半	13	8	5	0
	下半	13	8	5	0

【解 説】

(1) トンネル坑口部は、下記の理由により、できるだけ剛な支保構造とすることが望ましいと考え、「道路トンネル技術基準(構造編)」(日本道路協会)に準拠するものとした。

- 1) 土被りが小さく、適当なグラウンドアーチが形成され難い。
- 2) 地山強度を期待することができない。
- 3) 直接気象の影響を受けやすく、設計通りの荷重が作用しにくい。
- 4) 地震の影響を受けることがある。

以上のことから、トンネル一般部とは別の考え方とした。

(2) 坑口部の範囲を明確に示すことは、個々の坑口条件(地形・地質等)が異なるため難しいが、トンネル掘削によって、斜面や地表に影響を及ぼす可能性のある範囲を坑口部とすることとした。

標準的な坑口部の範囲は図3.4.1とし、補助工法と組合せて設計することとする。

ただし、大断面(内空幅12.5~14.0m程度)の支保構造については、表3.4.3によるものとする。

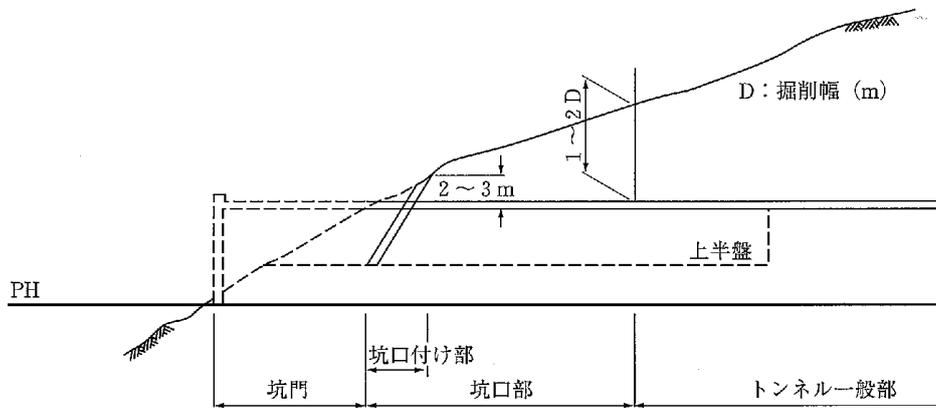


図3.4.1 標準的な坑口部の範囲(D:掘削幅)

坑口部の積算延長については、図3.4.2のとおりとする。

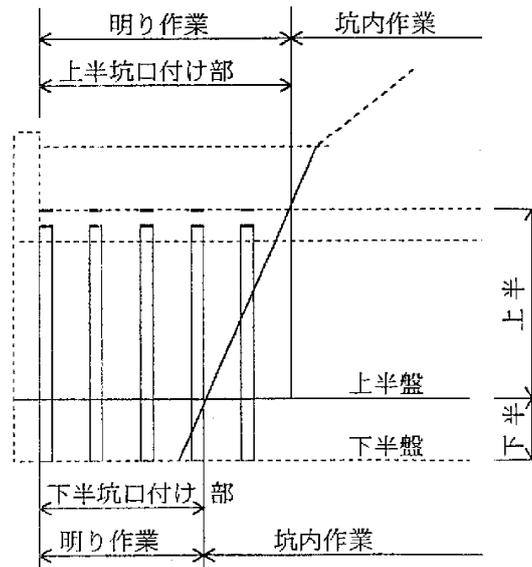


図3.4.2 坑口部の積算延長の考え

表3.4.3 坑口部の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)

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

() : フォアポーリングを示す

- 注1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。ただし、ロックボルトの長さは6mを標準とする。
- 注2) 中壁分割工法での先進坑施工時に中壁に設置するロックボルト、中央導坑先進工法での導坑施工時に設置するロックボルトは、後進坑、本坑の掘削を考慮して、ファイバー補強プラスチック棒 (FRP) のロックボルトなど撤去・切断しやすいものも使用できる。
- 注3) フォアポーリングは、天端120° の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材料および工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 注4) 一次支保状態での断面閉合効果が期待できるように、吹付けコンクリートの脚部はインバートで受けるものとする。(図2.7.1参照)
- 注5) 金網は、上部半断面工法、上半中壁分割工法、中央導坑先進工法の場合は上・下半部に、側壁導坑先進工法の場合は上半部に設置するのを標準とする。なお、鋼繊維補強吹付けコンクリート (SFRC) などを用いる場合はこの限りではない。
- 注6) 断面の大型化に伴って、坑口部においては入念に偏圧対策を検討する必要がある。
- 注7) 面壁型坑門を用いる場合、面壁の厚さとトンネル覆工の厚さの差を十分考慮して、面壁との接合箇所の覆工厚さを決定しなければならない。
- 注8) 覆工は単鉄筋補強とし、主筋として直径22mm 以上 (ctc20cm 程度)、配力筋として直径19mm 以上 (ctc30cm 程度) を考慮する。

表3.4.4 坑口部の標準的な支保構造の組み合わせの目安

(小断面トンネル 内空幅3.0~5.0m程度)

掘削工法	1掘進長(m)	ロックボルト (フォアポーリング)			鋼アーチ支保工		吹付け厚(cm)	覆工厚(cm)	
		長さ(m)	周方向(m)	延長方向(m)	種類	建込間隔(m)		アーチ部	インバート部
全断面工法	1.0	2.0 (2.0)	1.0 (0.6)	1.0 (1.0)	H-125	1.0	10	20	20

() : フォアポーリングを示す

- 注1) ロックボルトは側壁部付近に設置し、状況に応じてアーチへ打設範囲を拡大する。
- 注2) フォアポーリングは、天端120° の範囲に切羽天端の安定化のため必要に応じて設置するものとし、その材料および工法などの選定にあたっては、現地条件を考慮し決定するものとする。
- 注3) 金網は、天端および側壁部に設置することを標準とする。
- 注4) 覆工は単鉄筋補強とし、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。

表3.4.5 坑口部で予想される問題点と設計上の留意点

問題点	留意点
斜面崩壊、地すべり	坑口部の施工が地すべり、斜面崩壊を誘発することがある。トンネル掘削に伴う緩み、坑口付けに伴う斜面の切取り等が原因と考えられる。トンネル掘削により地すべり、斜面崩壊が発生するおそれがある場合は、トンネル掘削に先行して斜面对策を実施する必要がある。
偏 圧	斜面とトンネルの位置関係によって、トンネル断面に偏圧が作用し、トンネルに大きな応力が生じる可能性がある。トンネルが安定しない場合は、押え盛土や保護切土等によって、土圧のバランスをとるよう対策する必要がある。
地耐力不足	坑口部は、土被りが小さいため、トンネル上の全荷重が作用することがある。また坑口部の地山は未固結堆積物や風化帯であることが多いので、基礎が地耐力不足による沈下や変状を起こすことがある。必要な地耐力が得られるように施工法も含めた設計を行う必要がある。
切羽崩壊	坑口部では、一般に地山の強度、固結度が低い場合が多く、また硬岩であっても断層・破碎帯の影響で亀裂が発達している場合があり、切羽の自立性が悪いケースが多い。切羽の自立が十分に期待できない場合、切羽崩壊防止のための掘削工法、補助工法の検討が必要である。
地表面沈下	坑口部は、土被りが小さいうえ、地耐力不足、切羽の自立性の問題から地表部まで沈下の影響が生じやすい。地表部に沈下の制限が必要な物件がある場合、問題を起こさないように十分な対策を検討するとともに、必要に応じて、補助工法を採用する必要がある。
落石、土石流、雪崩	坑口部は、落石、土石流、雪崩等を受けない位置に設計することが重要である。やむを得ずこのような位置に坑口を設ける場合には、災害の影響を考慮して十分な対策を実施しておく必要がある。
近接構造物	人家、鉄塔、道路、鉄道などの既設構造物と近接する場合には、工事によるこれらへの影響や供用後の騒音、排気ガス等による影響についても検討が必要である。

3.5 坑門工

3.5.1 設計一般

坑門工は、地山条件、気象条件、周辺環境、周辺景観、車両の走行性等を考慮して位置、形式等を選定し、設計を行わなければならない。

【解 説】

- (1) 一般的に坑門工の形式は、表 3.5.2 に示すようなものがあり、それぞれ特徴があるので現地条件等に適合したものを選定するものとする。坑門型式にベルマウス式を採用した場合には、延長 $L=15\text{m}$ を標準とする。
- (2) 坑口部には、凍結防止や本体工保護のために覆土を設けることを基本とする。(覆土厚は1m程度)
- (3) 坑門工設計には、覆土・積雪等の所要荷重以外に必要な応じて地震、温度変化、コンクリートの乾燥収縮等の影響を考慮しなければならない。また、海岸部においては、周辺状況等を勘案の上、必要に応じて「道路橋示方書・同解説」を基本に、コンクリート標準示方書等の関連文献を参考にし、適切な塩害対策の検討を行うこと。
- (4) 一般的に坑門工を設計する場合の荷重ケースとして土圧、積雪荷重、地震の影響を考慮する機会が多いことから、坑門工の設計に関しては、第1集第8章カルバートの設計に準拠することを基本とする(地震時の照査は水平震度法を基本とする)。ただし、設計荷重に落石荷重を見込む場合については、「道路防災工調査設計要領(案)落石対策編 H13.3」 第Ⅱ編 R Cロックシェッドの設計に準拠し、設計を行う必要がある。なお、落石荷重の考え方については、同要領はR Cロックシェッドに対する独自のものであり、坑門工設計にそのまま適用することはできない。したがって、落石荷重の考え方は「落石対策便覧：(社)日本道路協会」に準拠するものとする。

なお、合理的な設計及びコスト縮減に関する配慮を踏まえ、設計及び構造細目に関しては必要に応じて関連する技術基準等を参考とするものとする。

設計に用いる裏込土の種類と土質定数を以下に示す。

表3.5.1 裏込土の種類と土質定数

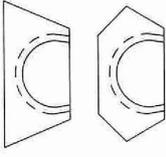
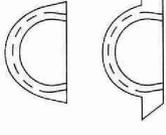
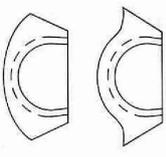
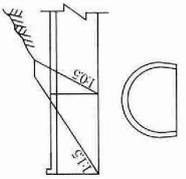
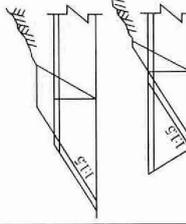
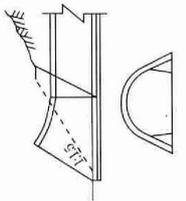
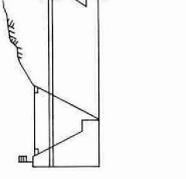
裏込土の種類	単位体積重量 (kN/m ³)	内部摩擦角	粘着力 ^{注2)}
礫質土 ^{注1)}	20	35°	—
砂質土	19	30°	—
シルト, 粘性土 (ただし $W_L = 50\%$)	18	25°	—

注1) きれいな砂は礫質土の値を用いてよい。

注2) 計算上は、粘着力Cを無視している。しかし、実際には粘着力Cが存在するので内部摩擦角 ϕ より急勾配の面も存在する。

- (5) 坑門工に門型形状を用いる場合には、本体工との断面の違いによる換気効率の低下を回避する工夫が必要となる。
- (6) トンネル内持ち込み雪の対策として、積雪及び除雪形態等を考慮し、必要に応じて堆雪スペースの設置を検討する。なお、同対策として、坑門工の拡幅は基本的に行わないものとする。
- (7) トンネル坑門およびその周辺は運転者が最も注視する箇所であり、安全面への配慮と良好な景観形成を両立させる必要があるため、周辺の地形改変を最小化して周囲の山と同化することを目指しながら、突出型の坑門形式を検討するなど、その形状に配慮する。(北海道の道路デザインブック(案)P8-16より抜粋)

表3.5.2 トンネル坑門の形式と特徴

形式 項目	壁 型		半突出型		突出型		突 出 型		重 力 型	
	ウイング式	アーチウイング式	パラベット式	突 出 式	竹割(逆竹割)式	ベルマウス(逆)式	重 力・半重力式			
形 状										
地山条件による適用性	<ul style="list-style-type: none"> 両切面土工の場合 背面土圧を全面的に受ける場合 積雪量の多い場合には防雪工を併用。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的地形がなだらかな場合 左右の切土工が比較的少ない場合 	<ul style="list-style-type: none"> 屋根上地形や左右に他の構造物との取り合いが少ない場合 積雪地でも可能 	<ul style="list-style-type: none"> 押え盛土を施工した場 坑口周辺の地質が良くない場合 積雪地でも可能な取りなど、整形が比較的可能な場合 	<ul style="list-style-type: none"> 坑門周辺の地形がなだらかな場合 逆竹割式の場合重心位置の関係から基礎の支持力の十分な検討を要する。 	<ul style="list-style-type: none"> 地形、地質が比較的良く、坑口周辺の開けた個所に可能。 積雪地では吹き込み、雪庇が生じ易い。 	<ul style="list-style-type: none"> 比較的地形急峻の場合や土留擁壁的構造を必要とする場合 落石が多いと予想される場合 背面の排水処理が容易 			
施工性	<ul style="list-style-type: none"> 不良地山では切土量が多くなるので、背面切土法面の安定化対策としての防護を十分に行う必要がある。 トンネル本体との一体化が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 地形によっては、一部、明り巻き(特にアーチ部)が必要である。 保護盛土を必要とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 数mの本体工の明り巻を必要とし、かつ盛りこぼしに對し多少の土留壁が生ずるが、坑門としては合理的な構造である。 	<ul style="list-style-type: none"> 型わく、配筋などに手間がかかる。 面壁型に比べ坑門位置が前に出たため支持力不足に留意する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 同左 	<ul style="list-style-type: none"> 不良地山では切土量が多くなるので、背面切土法面の安定化対策としての防護を十分に行う必要がある。 			
景観・車両走行性	<ul style="list-style-type: none"> 壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリなど)が必要。 重量感はあるが、走行上の圧迫感を感じ易い。 	<ul style="list-style-type: none"> アーチ部の曲線が、周辺地形とあまり違和感を感じさせないような配慮が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> 坑門コンクリートの面壁面積が小さいため、視覚的には違和感を感じさせない。 坑口周辺地形と良く適合する。 	<ul style="list-style-type: none"> 圧迫感が少なく、車両の走行に与える影響は少ない。 周辺地形と良く適合する。 	<ul style="list-style-type: none"> 圧迫感が少なく、車両の走行に与える影響は少ない。 周辺地形を修景することにより坑門との調和が図れる。 	<ul style="list-style-type: none"> 車両の走行に与える影響は少ない。 坑口周辺地形と良く適合する。 	<ul style="list-style-type: none"> 壁面積が大きく輝度を下げる工夫(壁面のハツリなど)が必要。 重量感はあるが、走行上の圧迫感を感じ易い。 			

(道路トンネル技術基準(構造編)・同解説)

3.5.2 面 壁

面壁の設計に関しては、「設計要領第三集(トンネル保全編・トンネル建設編) 東日本・中日本・西日本高速道路株式会社 R.6.7」に準拠するものとする。

【解 説】

- (1) 面壁に作用する土圧は、試行くさび法により算出した主働土圧を用いるものとする。ただし、背面の盛土形状が一様で粘着力がない場合は、クーロンの土圧公式を用いて算出してよい。
- (2) 面壁の配筋方法に関しては、第1集 第8章 カルバートの設計 に準拠するものとする。
- (3) 坑口部に直接面壁を設ける場合、面壁の厚さとトンネル覆工の厚さの差を十分考慮して、面壁との接合断面の覆工厚さを決定しなければならない。(参考：「設計便覧(案) 第3編 道路編：近畿地方整備局」)

3.6 押え盛土工

3.6.1 使用区分

坑口などの押え盛土については、エアモルタル、ソイルセメントなどが考えられるが、その使用区分は現地条件等を勘察し、その目的に応じて使い分けるものとする。

3.6.2 エアモルタル工

エアモルタル工は坑口などの押え盛土用として使用する場合に適用する。

【解 説】

- (1) 施工に先立ち、試験練りを行い所要の品質を確認すること。
- (2) 施工量確認のため電磁流量計を必ず設置し、そのデータを整理しておくこと。
- (3) 1打設高さは1m程度以下を原則とする。
- (4) セメント、発泡剤の品質管理はメーカーの試験成績表によることができる。
- (5) 圧縮強度試験用の供試体の大きさは、直径10cm・高さ20cmとする。
- (6) 品質管理試験のうち圧縮強度試験は、1日の注入量100m³又はその端数ごとに1回行うものとし、1回につき3本の供試体を作成すること。また、他の品質管理試験は、午前、午後の各1回行うこと。
- (7) グラウトの標準配合は、下記のとおりとする。
- (8) 裏込め注入に使用する材料はエアモルタルを標準とするが、湧水等の現場条件によっては可塑性モルタル等の検討を行うものとする。

表3.6.1 エアモルタルの標準配合

種類	単位 セメント量	砂	発 泡 液		空気量	設計基準強度	備 考
			種 類	単位使用量			
エ ア モ ル タ ル	278kg	278kg	発泡剤 A	0.95kg	54.5%	1.0N/mm ²	
	250kg	250kg	発泡剤 B	3.40kg	63.0%	1.0N/mm ²	
	298kg	298kg	発泡剤 C	0.24kg	57.8%	1.0N/mm ²	

3.6.3 ソイルセメント工

ソイルセメント工を坑口などの押え盛土用として使用する場合、配合する現地発生土（又は購入土）の品質、施工方法等により改良体の品質が変わるため、試験施工により配合等を確認する必要がある。

【解 説】

- (1) 施工に先立ち、試験施工を行い所要の品質を確認すること。
- (2) 坑口などの押え盛土として使用する場合の改良体目標強度は1.0N/mm²とする。
- (3) 施工に際しては、通常の盛土と同様に転圧を行う必要がある。

3.7 掘削の補助工法

補助工法の適用にあたっては、その目的及び効果を検討し、各工法の特徴を十分把握したうえで、地山条件、環境条件等の調査を行い、トンネルの工程、施工法等を十分考慮しなければならない。

【解 説】

- (1) 補助工法は、図3.7.1に示すように、その施工性や効果をもとめるため、トンネル施工法についても補助工法に適合したものとする必要があり、種々の設計条件を総合的に考慮し現地の状況に適合したトンネル設計・施工法としなければならない。
- (2) 補助工法の選定にあたっては、図3.7.1に示すように、地山条件、立地条件、施工法等を考慮し、その使用目的、効果、経済性および施工法等について十分に検討を行わなければならない。
 なお、補助工法の分類表は、表3.7.1に示す。
 特に、自立性の悪い切羽に用いられる補助工法の主なものを表3.7.2にまとめる。
- (3) 施工時の安全性確保の観点から原則D Iパターン以下では鏡吹付けコンクリートを計画し、詳細は「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン」に準じる。

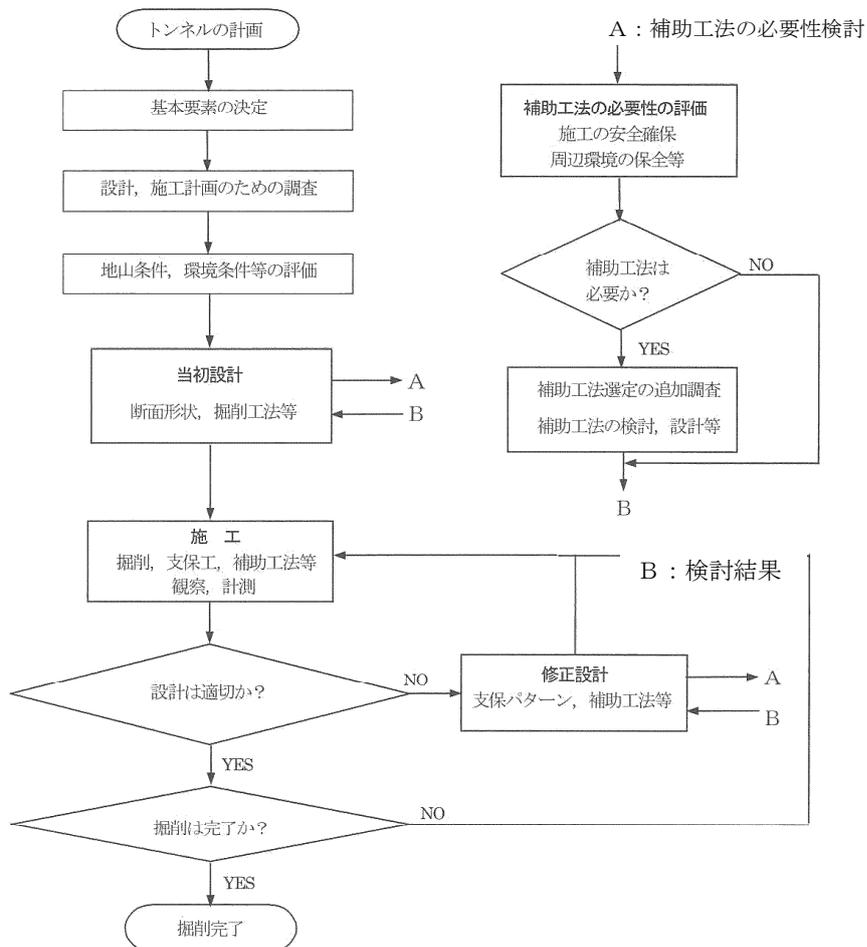


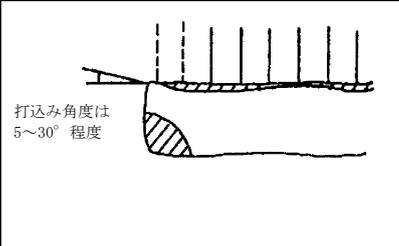
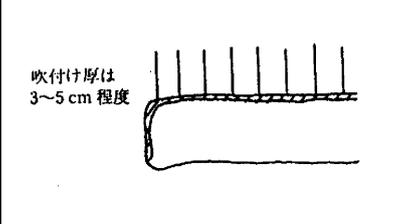
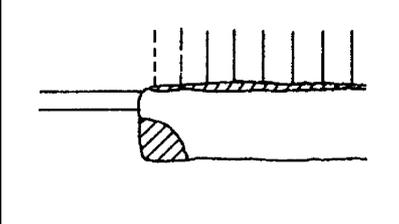
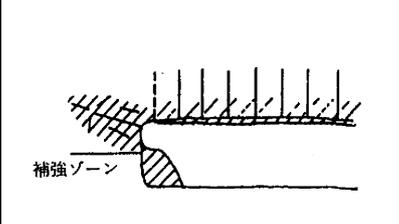
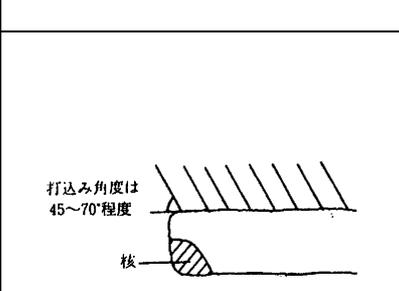
図3.7.1 補助工法に着目したトンネルの調査・設計・施工の流れ

表3.7.1 補助工法の分類表

目的と適用地山 工 法		補助工法の目的						適用地山条件		
		天端の 安 定 対 策	鏡面の 安 定 対 策	脚部の 安 定 対 策	湧 水 対 策	地表面 沈 下 対 策	近 接 構造物 対 策	硬岩	軟岩	土砂
先受工	フォアポーリング	◎	○				○	○	◎	◎
	注入式フォアポーリング	◎	○			○	○	○	◎	◎
	長尺鋼管フォアパイリング	○	○			○	○		○	◎
	パイプルーフ	○	○			◎	○		○	○
	水平ジェットグラウド	○	○	○		○	○			○
	プレライニング	○	○			○	○		○	○
鏡面の 補 強	鏡吹付けコンクリート		◎					○	◎	◎
	鏡ボルト		◎					○	○	○
脚部の 補 強	支保工脚部の拡幅			◎		◎			○	◎
	仮インバート			○		○			○	○
	脚部補強ボルト・パイル			○		○			○	○
	脚部改良			○		○				○
湧 水 対 策	水抜ポーリング	○	○		◎			◎	◎	◎
	ウェルポイント	○	○		○					○
	ディープウェル	○	○		○					○
地 山 補 強	垂直縫地工法	○	○			○		○	○	○
	注入	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○
	遮断壁				○	○	◎			○

注) ◎：比較的好く用いられる工法、○：場合によって用いられる工法

表3.7.2 自立性の悪い切羽の補助工法

補助工法	目的	概念図	摘要性	問題点
1. フォアボーリング工 縫地ボルトや単管パイプ等によって前方の地山拘束を高める方法	天端の安定		<ul style="list-style-type: none"> 最も適用性が広く事例も多いが、場合により注入工と併用することが望ましい。 原則として、全面接着型とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 縫地ボルト等の施工が、サイクルに影響する。 施工角度が大きくなると、余掘が増大する。このため、H型鋼のウェブに穴をあけ打込み角度を小さくするなどの工夫を必要とする。
2. 鏡吹付工 切羽(鏡)に吹付コンクリートを施工する方法	鏡の安定		<ul style="list-style-type: none"> 1, 5の方法では困難な場合に用いられる。他の方法と併用されることが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 吹付が、サイクルに影響する。
3. 鏡ボルト工 切羽(鏡)にロックボルトを打設してせん断強度を補強する方法	鏡の安定		<ul style="list-style-type: none"> 1, 5の方法では困難な場合に用いられる。膨張性、地山等の押し出し現象を生ずる地山に効果的である。 施工性からファイバーボルトが用いられることが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> ボルトの施工がサイクルに影響することと、掘削を考慮した材質および長さとする必要がある。
4. 薬液注入工 切羽面に薬注することにより地山の強度・固結度を高める方法	天端・鏡の安定		<ul style="list-style-type: none"> 他の方法では困難な場合に用いられる。崩落の著しい地山の切羽の安定、止水、周辺構造物の沈下防止等を目的として使用されることが多い。 	<ul style="list-style-type: none"> 補強ゾーン外へのリークが生ずることがある。 経済性に難がある。 注入工法によっては、サイクルに及ぼす影響が大きい。補強効果の判断が難しいなどの問題点がある。
5. 斜めボルト工 核残しとの併用によって切羽の安定を高める方法	鏡の安定		<ul style="list-style-type: none"> 地山の挙動が、地山の強度に支配されるために核残しを必要とする場合に、ロックボルトを早く作用させる必要があるときに有効である。 土被りが小さく、トンネルの安定が吹付と鋼製支保工だけで得られる場合には核残しのみとする場合がある。 	<ul style="list-style-type: none"> 斜めボルトの支保部材としての併用効果が未だ解明されていない。

注) 斜めボルト工を採用する場合には長期的なパターンボルトとしての機能が維持できるような適切なボルト長を計画する必要がある。

なお、湧水がある場合、土砂地山で切羽の自立が難しい、または、切羽は自立するが吹付コンクリート、ロックボルトの施工が困難となる場合があるが、こうした区間が部分的である場合には補助工法を使って状況を改善し、他の良好な区間と同じ工法を用いることがある。その場合の補助工法として次のようなものがある。

- ① 水抜き坑、水抜きボーリング
- ② ウェルポイント、ディープウェル
- ③ 注 入

