

地層処分場の建設技術に関する検討

(研究報告)

1999年11月

核燃料サイクル開発機構
東海事業所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1194 茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

核燃料サイクル開発機構 東海事業所

運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Information Section,

Administration Division,

Tokai Works,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194,

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

地層処分場の建設技術に関する検討 (研究報告)

棚井憲治¹⁾, 岩佐健吾²⁾, 長谷川宏²⁾
三浦一彦³⁾, 奥津一夫³⁾, 小林正明⁴⁾

要　旨

アクセス坑道, 連絡坑道, 主要坑道及び処分坑道から構成される地下施設の建設においては, 大深度に総延長百km以上にも及ぶ多数の坑道群を施工することになる。したがって, 大量のずりの搬出, 換気や事故時の避難ルートの確保などに対して通常のトンネル工事以上に留意する必要がある。これに加え, 通常のトンネル工事でもしばしば遭遇する弱層部における切羽の崩壊や膨張など切羽の不安定現象, 湧水やそれに起因する地山の崩壊, ガスの発生, 山はね現象などの事象についてもさらに注意を払う必要がある。

本報告書では, 上記の事柄を念頭に, 既存の建設工法を整理するとともに, 現状で施工可能な工法を選択し, その施工手順や必要な設備類について検討を行った。また, 地下深部で遭遇する種々の事象に対する対策工法を事例調査等をもとに整理し, その適用可能性について検討を行った。

処分孔豎置き方式における処分孔の掘削については, 現状で考えられる掘削技術の調査, 諸外国での事例等をもとに現状で候補としてあげられる掘削技術を抽出し, その施工概要等を示した。

さらに, 品質管理に対する考え方を整理するとともに, 品質管理項目及び品質管理内容の検討を実施した。

これらの検討から, 大深度地下を対象とした処分場の建設技術としては, 基本的に現状のトンネルや地下空洞の掘削技術を適用または準用することが可能である。さらに, 地下深部で遭遇する環境下で安全かつ合理的な施工を行うため, 適正な対策工法の選択あるいは組み合わせによる対応が必要であるとともに, 従来のトンネル工事にも増してより綿密な施工管理や計測結果を適切に判断するためのシステムの構築等が必要となる。

1) 処分研究部 東海事業所 核燃料サイクル開発機構

2) 2000年レポートチーム 本社 核燃料サイクル開発機構

3) 鹿島建設

4) 間組

Study on Construction Technology for Repository

Kenji Tanai¹⁾, Kengo Iwasa²⁾, Hiroshi Hasegawa²⁾
Kazuhiko Miura³⁾, Kazuo Okutsu³⁾, Masaaki Kobayashi⁴⁾

Abstract

For the construction of underground facilities comprising access tunnels, connecting tunnels, main tunnels and disposal tunnels, a large number of tunnels will be excavated in deep rock formations. These excavations will extend hundreds kilometers in total length. Therefore, special attention must be paid, to transporting large volume of debris, ventilation, emergency escape routes in case of accident, and other factors. In addition, special attention must also be paid to potential accidents which might occur in underground excavations, including unstable facing phenomena (such as collapse and swelling of facing at weak layer sections), spring water flow resulting collapse of rock, gas eruption, and rock burst.

While considering these factors to be emphasized during the construction of geological disposal facilities, the investigation reviewed the existing working methods on individual construction technologies of access tunnels, main tunnels, connecting tunnels, disposal tunnels, and disposal pit, based on the recognition that the present state deals with a wide range of geological environments, and conducted investigation about the construction methods for each tunnel on the basis current technologies, and described the outline of these methods. Furthermore, for the items to be particularly emphasized on site characterization and siting data such as ground pressure and spring water, the investigation reviewed the current countermeasure works, and made survey on the phenomena appeared during actual tunnel construction works and their countermeasures, and carried out a study on effectiveness of these countermeasures.

This constructing of disposal site in deep geological formations is basically possible by applying, or confirming, current excavation technologies for tunnels and underground facilities. A systematic construction system combines separate technologies relating to construction, (excavation technology, tunnel support work method, etc.). Such systems can be established and integrated through the construction of an underground research laboratory and of engineering technologies that are currently in the planning stages. Once a site is

selected, an optimized integrated construction system suitable to the detailed geological environment conditions and the specification of each tunnel (shape, dimensions) will be selected.

-
- 1) Tokai Works, Japan Nuclear Cycle Development Institute
 - 2) Head office, Japan Nuclear Cycle Development Institute
 - 3) Kajima Corporation
 - 4) Hazama Corporation

目 次

1.	はじめに	1
2.	地層処分場の建設において留意する事項と基本的考え方	1
3.	アクセス坑道の建設	3
3.1	掘削・支保工法	3
3.1.1	掘削工法	3
3.1.2	標準断面の検討	6
3.1.3	立坑の掘削施工事例	13
3.2	施工概要	16
3.2.1	硬岩系岩盤における立坑の建設	16
3.2.2	軟岩系岩盤における立坑の建設	21
3.2.3	その他	25
3.3	数量及び機械設備	25
4.	主要・連絡坑道	29
4.1	掘削・支保工	29
4.1.1	掘削工法	29
4.1.2	標準断面の検討	31
4.1.3	水平坑道の掘削施工事例	33
4.2	施工概要	35
4.2.1	硬岩系岩盤における主要・連絡坑道の建設	35
4.2.2	軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の建設	44
4.2.3	その他	46
4.3	数量及び機械設備	52
5.	処分坑道	67
5.1	掘削・支保工	67
5.1.1	掘削工法	67
5.1.2	標準断面の検討	68
5.2	施工概要	72
5.2.1	硬岩系岩盤における処分坑道の建設	72
5.2.2	軟岩系岩盤における処分坑道の建設	75
5.2.3	その他	78
6.	建設の工程	80
6.1	サイクルタイム	80
6.2	工程	88

7.	処分孔	99
7.1	掘削工法	99
7.1.1	岩盤掘削方法の調査	99
7.2	海外事例	113
7.3	現行工法の検討	114
7.4	施工概要	118
7.4.1	硬岩系岩盤処分孔掘削機の検討	119
7.4.2	軟岩系岩盤処分孔掘削機の検討	127
7.4.3	周辺仮設備機器の検討	133
8.	プラグ部の拡幅工法	135
9.	対策工	137
9.1	坑道の建設における対策工	137
9.2	処分孔掘削における対策工	163
10.	建設に関する品質管理	163
11.	考察	173

参考文献

1. はじめに

本報告書は、「地層処分場のレイアウトに関する検討」（棚井ほか, 1999）において示された地下施設の仕様に基づき、それらの建設技術について検討し、技術的な実現性の評価を行ったものである。

検討に際しては、まず、既存の掘削工法や湧水、山はね、ガスなどに対する対策工について事例を含めて整理した。また、幅広い地質環境条件を対象にしているという現状を考慮し、既存の工法をもとに定性的な比較検討により、掘削技術、手順などに関する検討を行った。さらに、対策工については、事例調査を参考として地層処分場の建設で想定される事象を考慮し、その対応策の概略的な検討を実施した。

2. 地層処分場の建設において留意する事項と基本的考え方

アクセス坑道、連絡坑道、主要坑道及び処分坑道から構成される地下施設の建設においては、大深度に総延長百 km 以上にも及ぶ多数の坑道群を施工することになる。したがって、大量のずりの搬出、換気や事故時の避難ルートの確保などに対して通常のトンネル工事以上に留意する必要がある。これに加え、通常のトンネル工事でもしばしば遭遇する弱層部における切羽の崩壊や膨張など切羽の不安定現象、湧水やそれに起因する地山の崩壊、ガスの発生、山はね現象などの事象についてもさらに注意を払う必要がある。

上記に示した湧水、山はね及びガスなどの事象については、地上調査やボーリング調査などのサイト特性調査からある程度の情報を得ることが可能であると考えられるが、これらの調査においてすべてが事前に予知できるとは限らない。したがって、サイト特性調査の情報を出発点とし、アクセス坑道の建設、連絡坑道の建設、主要坑道の建設といった各施工段階で得られる地質情報や各段階で行われる計測管理によって現象の予測やあるいは各段階で生じた現象の分析を行いながら適切な対策工の選択あるいは組み合わせによって対応していくことが必要となる。また、施工後についても、操業、埋め戻しなどのための作業の安全を確保するために、通常のトンネルでも行われているような計測管理を適切に実施し、安全性の確保に対する信頼度を向上させることも必要である。

掘削ずりや湧水に対する処理及び換気などにかかる設備については、現状レベルの延長線上で十分対応は可能であると考えられるが、安全性、経済性及び全体的な工程などを考慮し適切な計画が必要である。

また、建設時の坑内で緊急事態が発生した場合を想定すると、作業者の安全を確保するための緊急待避所や緊急避難経路を確保しておくことが重要であり、とくに本施設のような大深度かつ長大トンネルの建設においては、計画段階から十分な検討をしておくことが必要となる。たとえば、立坑建設の場合においては、通常、人員昇降専用のエレベータ設備が仮設されるが、別系統のずり搬出用の巻き上げ設備に非常時人員昇降の機能を付加し、2系統の経路を確保することなども考えられる。

さらに、水平坑道掘削時においては、アクセス坑道までの経路を複数確保することや一定の距離ごとに緊急避難所を設けるといったことも必要である。

なお、建設に先立つ、サイト特性調査の段階までに得られた地質情報などに基づいて、建設段階で行われる先行ボーリングなどの調査手法、掘削工法、支保パターン、対策工、計測システム、避難警報システムや避難方法などについて綿密な計画が立てられることになる。それらを建設中に得られた新たな情報によりさらに高度化しながら施工を行うことにより施工の安全性がより確実なものになるものと考えられる。

3. アクセス坑道の建設

3.1 掘削・支保工法

3.1.1 掘削工法

(1) 既存の掘削工法

アクセス坑道は地上から所定の深度までの廃棄体の搬送だけでなく、作業員の出入り、掘削ずりの搬出、緩衝材の搬入、埋め戻し材の搬入、換気、排水、エネルギーの供給など多様な目的に使用され、基本的には物流手段にエレベータやスキップなどの昇降設備を用いる立坑方式と、車両・鉄道などを用いる斜坑方式に大別される。立坑及び斜坑を対象とした既存の主な掘削工法をそれぞれ表 3.1-1 及び表 3.1-2 に示す（土木学会、1994b）。

表 3.1-1 主な立坑建設工法

名 称		概 要
全断面発 破掘り下 り工法	ロングステップ工 法	地質状況に応じて 20~40m 程度を 1 回の施工単位（1 ロット）とし、1 ロット掘削後に続いてコンクリート覆工を下方から打設する工法。
	ショートステップ 工法	1 ステップ長を 1.0~2.5m 程度で掘進し、削孔、発破、ずり出し、覆工を 1 サイクルごとに行っていく工法。施工中の岩盤の露出面積・時間が少ないため、崩落・落石が少なく、ロングステップ工法に比べて安全性が向上する。
	NATM (New Austrian Tunneling Method)	山岳トンネルの標準工法となっているロックボルト・吹付け工法の考え方を立坑掘削に取り入れた工法。基本的にはシステムロックボルトと吹付けコンクリートを早期に施工し、立坑周辺の地山の安定化を図りながら掘削する工法。
全断面発 破掘り上 り工法	クライマー工法	ガイドレールに沿って上下する作業足場を使用し、上向きに穿孔発破掘削を行う工法。
	ステージカットブ ラスティング工法	立坑上部より下部坑道に向けて複数のボーリング孔を鉛直に平行掘削し、このボーリング孔に上部より爆薬を装填して、下部より 1.5~5.0m のステージで上部に向かって分割発破し掘り上る工法。
	足場組み掘上がり 工法	木製支保工を組上げ、これを足場として上向きに発破孔を穿孔し、爆破掘削していく工法。
機械掘削 工法	レイズボーリング 工法	φ300mm 程度のパイロット孔を下向きに穿孔した後、坑底でリーミング用のビットを取付け、それを回転させながら上向きに引き上げて立坑を掘削する工法。
	全断面立坑掘削機 工法	TBM の考え方を立坑掘削機に導入した工法で、ドリルマシン本体が立坑坑底切羽にあり、その上に支保工作業用プラットホームがあり、掘削と並行して鋼製セグメントなどの支保工を追いかけていく方法である。パイロット孔・リーミングダウン方式、全断面掘削方式があるが、実績はともに少ない。
その他	導坑先進拡大掘削 工法	クライマー工法やレイズボーリング工法により小断面の立坑（導坑）を掘削し、導坑をずり出し坑道として利用しながら上部より下部に向けて拡大して掘り下る工法。

表 3.1-2 主な斜坑建設工法

名 称	概 要	
全断面爆破掘り下り工法	NATM (New Austrian Tunneling Method)	山岳トンネルの標準工法となっており、穿孔、装薬、発破、ずり出し後、早期にシステムロックボルトと吹付けコンクリートを施工し、斜坑周辺の地山の安定化を図りながら掘削する。
全断面爆破掘り上り工法	クライマー工法	ガイドレールに沿って上下する作業足場（クライマー）を使用し、上向きに穿孔発破掘削を行う工法で勾配が急な斜坑に用いられる。掘削ずりは自然落下し、坑底の水平坑道で処理する。
機械掘削工法	TBM (Tunnel Boring Machine；全断面トンネル掘削機)による全断面掘り下り工法	TBM を斜坑掘削に適用する工法。この方式は長距離掘削に有利である。一方、湧水・地山変化への十分な対策が必要となる。
	ロードヘッダーによる全断面掘り下り工法	NATM における発破に代えて掘削にロードヘッダーを用いる工法。軟岩に適用可能である。
	TBM によるパイロットリーミング工法	坑底から小径の TBM で上向きに導坑を掘削後、ボーリングヘッドを所定の断面のものと取り替え、拡張しながら掘り下る工法 掘削ずりは勾配がある程度急傾斜であれば自然落下し、坑底の水平坑道で処理する。
	レイズボーラーによるパイロットリーミング工法	掘削の原理は立坑と同じである。斜坑の場合には勾配に合せてパイロット孔を精度良く施工する必要性から、あまり延長の長い場合は適さない。
そのほか	導坑先進拡大掘削工法	掘削の原理は立坑と同じである。斜坑の場合には、導坑の勾配がずりの自然落下可能な勾配であることが必要とされる。

一方、らせん状の斜坑であるスパイラルトンネルに関しては、現在、国内での施工事例はない。一般論として想定されるスパイラルトンネル特有の施工上の留意点としては、以下のようなものが考えられる。

- ①曲線の連続であり、施工精度が低くなる。
- ②物流をタイヤ方式で計画した場合には、勾配と線形に配慮しながら長くて单调な地下坑道を連続して運転することは、保安上、労働衛生上から多くの課題があると考えられる。
- ③坑道内換気がしにくいため、換気用の立坑が必要になると考えられる。
- ④TBM の最小半径は、現状 50m 程度である。なお、掘削方式を TBM とする場合には、施工性も考慮し半径 100m 程度は必要と考えられる。
- ⑤線形、延長距離からインクライン方式（巻き上げ装置付レール方式）の適用可能性は低い。
- ⑥平面的に狭い範囲であり、断層に遭遇する可能性は低くなると想定される。
- ⑦施工性が悪く工期が長くかかることが考えられる。

立坑の場合のずり搬出方式としては、鋼車をエレベータに積込んで巻上げるケージ方式と、ずり専用の運搬容器を巻上げるスキップ方式とがある。ケージ方式は比較的小規模の工事であって、人の昇降・材料搬入・ずり搬出を兼用するような場合、

あるいは立坑下部にすり処理設備を設ける必要のない場合に用いられる。大深度立坑における大量のすり搬出が必要な場合には、坑底に設けたすりの貯留・供給設備とスキップを組み合わせた専用のすり処理設備を設けるのが一般的である。

一方、斜坑の場合のすり搬出方式としては、タイヤ方式、ベルトコンベヤ方式及びインクライン方式（巻上げ装置付きレール方式）がある。水平坑道の施工に用いられるレール方式については、制限勾配が2%程度であることから、ここでは除外する。表3.1-3にタイヤ方式の長所と短所について定性的に示す。

表3.1-3 斜坑におけるタイヤ方式の長所と短所

制限勾配	長所	短所
10%程度	<ul style="list-style-type: none"> ・すり搬出能力は良好である。ただし、ベルトコンベア方式より劣る。 ・坑底、坑外の設備は、特別に必要としない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・坑道延長が長くなる（深さの約10倍）。 ・排ガスの処理、路面の保守管理が必要となる。
25%程度	<ul style="list-style-type: none"> ・すり処理能力に優れている。 ・作業環境が良好である。 	<ul style="list-style-type: none"> ・発破掘削の場合には、掘削すりを小割りする必要がある。
	<ul style="list-style-type: none"> ・ベルトコンベアの場合より急勾配での対応が可能である。ただし、事例としては、25%程度の勾配までである。 	<ul style="list-style-type: none"> ・すりの搬出は断続的であり、延長が長くなるのに従い搬出能力は低下する。 ・鋼車の逸走の危険性があり、安全性に対して十分な対策が必要となる。

(2) 掘削工法の選定

ここで対象とするアクセス方式は、「地層処分場のレイアウトに関する検討」（棚井ほか、1999）で示された立坑方式とし、かつ、その場合の建設工法としては、複数ある立坑のうち底部坑道がないと考えられる処分サイトで最初に建設する立坑を考慮することとして、硬岩系及び軟岩系岩盤それぞれに対して検討した例を示す。なお、斜坑方式については主要・連絡坑道などの水平坑道と類似した工法になるものと考えられる。この場合該当する工法は、表3.1-1より掘り下り工法となるロングステップ工法、ショートステップ工法、NATM及び全断面立坑掘削機工法の4工法である。このうちロングステップ工法については、安全性、コスト、能率面などから劣るため、現在ほとんど使用されていないことから、残りの3工法から硬岩系及び軟岩系岩盤における施工検討の対象とする工法を選定する。検討にあたっては、地下深部で建設が行われることを念頭において大深度（500m～1,000m程度）に対する技術的信頼性や作業能率、作業の安全性ならびに地質変化への適応性、地山に与える影響及び経済性などに留意する必要がある。これらの留意点に対して、NATM、ショートステップ工法、全断面立坑掘削機工法ごとに比較した結果を表3.1-4に示す（土木学会、1994b）。

以上の結果から、硬岩系岩盤に関しては、地山が本来有する支保能力を最大限に

利用でき、とくに 100m を越す大深度の事例が増えてきた NATM を、軟岩系岩盤に関する実績が多いショートステップ工法をそれぞれ採用し施工方法の検討を実施した。

表 3.1-4 立坑建設工法の比較

項目	NATM	ショートステップ工法	全断面立坑掘削機工法
一次覆工	地山計測に基づきピッチ、覆工仕様を設定し、掘削切羽面で掘削と覆工を交互に行う。	1.0～2.5m ピッチで行う。掘削切羽面で掘削と覆工を交互に行う。	本体の長さ分、覆工が遅れる。一般的にセグメント覆工となる。
作業能率	安定している。断面変化への対応性も高い。	安定している。	地質条件に制約されるが、地質に適応すれば良好。
作業安全性	地山の露出面積・時間が最も少なく安全性の確保は十分可能	同左。	人力作業が少なく比較的優れている。
大深度に対する技術的信頼性	トンネル工事では十分な実績があり、立坑での実績も増加している。	最も実績が有り信頼性は最も高い。	施工実績が少ないため、今後の研究が必要。
地質変化への適応性	最も高く、山はね・膨張性地山への対応可能。	高い。	地質が変化すると掘削不能になりやすく適応性は低い。
地山のゆるみ	吹付けコンクリートの早期施工で地山変位が拘束され、ゆるみが少なくなる。	発破工法なので多少はやむを得ない。	機械掘削の最大の利点であり、最も少ない。
地圧への対応	支保部材の厚み・本数などで対応可能。支保工により地山自体の耐力を生かす利点がある。	覆工厚と覆工強度で対応可能。	覆工強度のみで対応しなければならない（掘削断面を変化させられない）。
湧水への対応	ステップグラウトにより対応。突發的大湧水があったとしてもバルクヘッドにより対応可能。	同左。	ステップグラウトの施工が難しい。突發的大湧水で機械が水没すると施工再開が困難。
経済性	良い。	良い。	設備費が非常に高い

3.1.2 標準断面の検討

(1) 支保工・覆工（土木学会, 1989）

支保工・覆工は、掘削した坑道を安定に保つために設けられる構造物であり、施工を安全に能率良く行えるものであるとともに、坑道の長期にわたる供用に対して十分な信頼性を有するものである必要がある。支保工・覆工を構成する要素として、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工及び覆工がある。これらは、それぞれその効果に特徴を有しており、坑道の条件に適したものを選定する必要がある。力学的な観点から支保構造の適用の考え方を示した例が表 3.1-5 である。

支保工の選定にあたっては、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工などを組み合わせて用いることを標準としている。なお、高圧・多量の湧水があり切羽が自立しない場合などでは、鋼製支保工と矢板類を併用する工法（矢板工法）が有効であることがある（土木学会, 1989）。支保工・覆工の事前設計に際しては、地山特性、施工法などを考慮して、地山区分ごとに吹付けコンクリート、ロックボル

ト、鋼製支保工などの支保部材を適宜選定し、標準的な支保の組み合わせを設定するのが一般的である。また、その設定方法としては、多くの施工実績に基づく方法、類似する地山条件の設計例を参考とする方法のほか、特殊な地山の場合には有限要素法などの解析による方法とがある。したがって、事前に設計された標準支保パターンは、通常、施工中の観察・計測などの結果から、必要によりその地山条件に最も適合するように設計変更される。以下に各要素ごとにその効果や設計で考慮すべき事項ならびに施工概要を示す。

1) 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートは、掘削後直ちに地山に密着するように施工でき、掘削断面形状に左右されず、容易に施工できることから、最も一般的に用いられる支保部材の一つである。吹付けコンクリートの作用効果としては、一般に、①地山との付着力、せん断力による岩塊の支持効果（付着力モデル）、②比較的厚い吹付けコンクリートのアーチによる内圧効果（軸力モデル）、③肌落ち防止やロックボルト、鋼製支保工に荷重を伝達する効果、④地山の劣化などを防止する被覆効果などがあげられている。吹付けコンクリートの設計にあたっては、その使用目的、地山条件、施工性などを考慮し、配合、強度、厚さなどを決定しなければならない。

吹付け方式は、コンクリートの練り混ぜ方式、圧送方式により、乾式と湿式に大別される。乾式は、空練りした材料に急結剤を加え、圧縮空気により圧送し、ノズルで圧力水を加えて吹きつける方式である。材料の圧送は、比較的長距離でも対応可能であるが、コンクリートの品質が作業員の能力に左右されやすい。湿式は、練り混ぜたコンクリートを圧縮空気またはポンプで圧送し、ノズルで急結剤を加えて吹きつける方式である。乾式に比べて、コンクリートの品質管理は容易であるが、長距離の圧送にはあまり適さない。また、両方式の長所を取り入れたセミ湿式がある。いずれの方式にも一長一短があり、トンネルの延長、断面の大きさ、掘削工法、湧水の状況などに応じて選定することが必要である。

2) ロックボルト

ロックボルトは、周辺地山の支保機能を有効に活用するための重要な支保部材であり、地山と一体となってその効果を発揮するため、とくに地山の挙動に対する作用効果を考慮して設計しなければならない。ロックボルトの作用効果としては、①ゆるんだ岩塊を地山に固定する縫付け効果（吊下げ効果）、②トンネル周辺の地山を一体化して耐荷能力の高いグランドアーチを形成する効果、③肌落ち防止工と併用することによりトンネル壁面を拘束して内圧を発生させる効果、④層を形成している地山を締めつけて合成梁を形成する効果などがある。ロックボルトの設計にあたっては、その使用目的、地山条件、作用効果及び施工性などを考慮して、配置、長さ、太さ、定着方式、材質などを決定しなければならない。

ロックボルトの定着方式としては、先端定着方式、全面接着方式及び併用方式に

大別される。このうち、全面接着方式は、ボルト全長にわたり定着剤で地山と固定するため、適用できる地山条件が広く、最近ではほとんどこの方式が採用されている。

3) 鋼製支保工

鋼製支保工は、建込みと同時に支保工としての強度を得ることができる特徴があり、切羽の自立性の小さい地山に対する支保工として有効である。鋼製支保工の形状は、一般には曲げが支配的となるような直線部を避け、力学的に有利な円弧形状を組み合わせて用いる。鋼製支保工の鋼材には、大きな変形が生じても脆的に破壊しないもので、かつ曲げや溶接などの加工が正確・良好に行える材質のものを用いなければならない。鋼製支保工の寸法及び建込み間隔は、切羽の自立性、荷重の大きさ、断面の大きさ、使用目的、掘削工法、掘削方式などを考慮して決定する。

4) 覆工

トンネルの覆工は、トンネルの安定を確保する支保部材であるとともに、トンネルの仕上げとしての内装の役割があることから、その使用目的、使用条件などに適合し、長く安全な使用に耐えるようなものとしなければならない。覆工の材料としては、一般に場所打ちの無筋コンクリートが用いられている。ただし、膨張性地山などにおいて作用荷重が著しく大きい場合、坑口部や土被りの小さいトンネルなどにおいて偏圧や将来の荷重の変化に対処する必要がある場合には、覆工コンクリートの曲げ強度や韌性の向上を図るために鉄筋や鋼纖維による補強を行うことがある。

以上、支保工・覆工に関する特徴等について述べたが、以降に示す主要・連絡坑道などについても、ここで示した内容と同様となる。

表 3.1-5 支保構造の適用の考え方

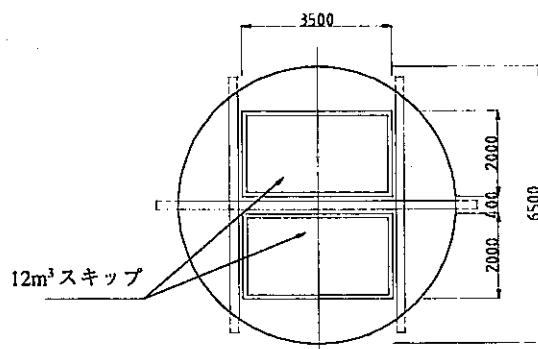
再配分応力と地山強度との関係 及び地質		支保構造の設計に考慮すべき項目	鋼製支保工	ロックボルト	吹付けコンクリート	覆工
地山強度 ▽ 再配分応力	節理の発達が少なくマッシュブなもの	施工にともなう部分的な岩塊のゆるみ(浮き石)	—	ランダムボルティング	肌落ち防止程度の簡易な吹付け	力学的意味では不要
	節理の発達しているもの	ゆるみ荷重	適	パターンボルティング (先端定着型または全面接着型)	断面が大きい場合は、ロックボルトの併用が必要	適
地山強度 △ 再配分応力	初期地山応力の小さい場合 (土被りの小さい場合)	φの比較的大きい場合 ゆるみ荷重(土圧)	適	自立性があればパターンボルティング(全面接着型)	自立性があれば適断面が大きい場合は、ロックボルトとの併用	土圧に耐える構造として設計可能
	φの小さい場合	ゆるみ荷重+変位条件	変位1%程度以下の場合 適(剛な構造で良い)	パターンボルティング (全面接着型)	ロックボルトの併用または軸力モデル	同上
	初期地山応力の大きい場合	φの比較的大きい場合 ゆるみ荷重+変位条件	同上	同上	変位が大きい場合、収縮スリット構造、付着モデルなどが必要となる場合もある	変形が収束した段階で施工することが必要
	φの小さい場合	ゆるみ荷重+変位条件	変位が大きいのが一般的なので追随性が不足し、不適であるが、全体の耐荷力を大きくするために、大型の用いる場合もある。	同上 ただし、ロックボルトの効果は小さい。	同上または耐荷力の大きな剛な構造とする	変位が適当に生じた段階で覆工を施工し、変位を拘束することが必要

(2) 標準断面の設定

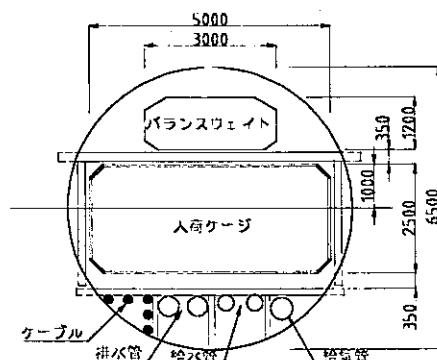
ここでは、「地下空洞の力学的安定性評価」(黒木ほか, 1999)において示された坑道断面に基づき、建設技術における標準断面を設定する。設定に際しては、資機材の搬入や立坑の施工性の観点から、必要断面の妥当性について検討し、土木学会(1996), 日本鉄道建設公団(1996), 日本道路公団(1997)などの基準・指針、建設省土木工事積算基準(1998)などから最終的な標準断面を設定する。

1) 必要断面の検討

建設用立坑は、ずり搬出用と人荷用の2本で、その内空断面は直径6.5mで計画している(棚井ほか, 1999)。これらの立坑の内空寸法は、アクセス本数が1本の場合には、主に資機材の搬入の観点から設定されるが、本検討では、2本の立坑を用いる計画であることから、2本目の立坑の断面については、資機材の搬入に関わる点を考慮せず、さらに小さくできる可能性がある。このため、立坑そのものの施工性に関する観点についても検討を実施した。なお、図3.1-1に各立坑の断面を示す。



(a) ずり搬出用立坑断面図



(b) 人荷用立坑断面図

図3.1-1 立坑断面図

(a) 資機材搬入の観点から要求される必要断面

立坑を作業坑として使用する場合、その内空断面は底部坑道の建設に必要となるずり出し設備、給・排気管、搬入資機材の寸法を考慮して決定される。とくに、建設用重機の分解可能な最大外径寸法が大きな要因となる。これに関する土木学会(1994b)によると、機器搬入を勘案した最小内径として6m程度は必要としている。

表3.1-6に鉄道トンネルにおける作業坑としての立坑の事例を示す(土木学会、1994b)。長大トンネルの施工では、立坑を設け工区を複数にすることで工期の短縮を図っている。これらの事例においても立坑の最小内径は6mである。なお、小倉山立坑では、底部本坑の全断面掘削用3ブームジャンボの搬入出及び本坑坑口に建設する鋼橋梁の部材の搬入計画から立坑断面が計画されており、多少状況が異なるものと考えられる。なお、表3.1-6の事例では、TBMを搬入した事例はない。本検討で計画している外径のTBMの場合、TBM本体の長さが約8m、重量は70~80t程度となるが、これを前胴部と後胴部に分解することで6.5mの立坑で搬入可能となる。また、重量に関しては、本体前胴部が50t程度あるが、15t以下に分割可能であると考えられる。

表3.1-6 鉄道トンネルにおける立坑の事例(深度100m以上)

線名	トンネル名称 延長(m)	完成年	用途	名称	寸法(m)		岩種
					内空直径	深さ	
北陸本線	北陸 13,870	1958	作業坑	板取立坑	6.0	230.2	輝緑凝灰岩
山陽新幹線	福岡 8,488	1973	作業坑	犬鳴立坑	6.0	118.0	緑色片岩
上越新幹線	中山 14,857	1976	作業坑	四方木立坑	6.0	317.6	凝灰角れき岩
		1976	作業坑	高山立坑	6.0	295.0	石英安山岩
		1973	作業坑	中山立坑	6.0	312.9	石英安山岩質凝灰岩
津軽海峡線	青函 53,850	1973	作業坑	竜飛方立坑	6.5	194.5	凝灰岩・安山岩の互層
		1973	作業坑	吉岡方立坑	6.5	188.5	凝灰岩・泥岩の互層
山陰本線	小倉山 1,450	1986	作業坑	小倉山立坑	8.0	219.1	粘板岩

(b) 立坑の施工性の観点から要求される必要断面

立坑の施工性を考慮した最小断面を考える場合には、内空断面を小さくすると、汎用的な工事用設備に制約を受けるため、工事の施工性は勿論、工事費の面からもあまりに小さい断面とすることは得策ではない。最小断面の事例を、比較的小な断面で建設されている鉱山の事例で見ると、表3.1-7に示すように4m程度が最小と考えられる(土木学会、1994b)。

表 3.1-7 鉱山における立坑の事例（完成年 1969 年以降、発破掘り下り工法）

立坑名称	完成年	寸法 (m)	
		内空直径	深さ
ラサ工業・田老第五立坑	1969	4.0	150
同和鉱業・小坂上向立坑	1969	4.5	342
同和鉱業・大見谷立坑	1970	4.0	425
三菱鉱業・松本鉱山運搬立坑	1971	5.0	380
三菱鉱業・松本鉱山排気立坑	1972	4.0	260
同和鉱業・小坂鉱山内の岱排気立坑	1975	4.0	162
大阪セメント・伊吹鉱山上部第1立坑	1976	5.3	140
大阪セメント・伊吹鉱山上部第2立坑	1976	5.3	162

以上の検討から、作業坑として用いる立坑の最小内径は、底部坑道の建設に用いる資機材の搬送荷姿から 6m 以上必要と考えられ、現在設定の 6.5m はこの観点から妥当な寸法であると考えられる。ただ、これまでの事例は作業坑が 1 本の場合であり、本検討の場合には、深度、搬送物量を勘案して内径 6.5m×2 本としている。したがって、仮に主たる要因である重機搬入を 1 本の立坑のみで行った場合に、残る 1 本の立坑をさらに小さくできる可能性が十分ある。本検討の場合には、図 3.1-1 に示したずり搬出用スキップ（高さ 2m 程度）の平面寸法を小さくし高さを大きくすることで対応は図れると考えられる。立坑の施工に関し、この断面で所要の工期を満足できる設備配置ができるかについては、詳細な検討が必要である。

2) 立坑標準断面の設定

標準支保パターンの設定に際しては、地下空洞の力学的安定性評価において検討された結果（黒木ほか, 1999）をもとに、土木学会（1996）、日本鉄道建設公団（1996）、日本道路公団（1997）などの基準・指針、建設省土木工事積算基準（1998）などから総合的に判断し決定した。建設省土木工事積算基準の適用にあたっては、硬岩系岩盤を掘削区分 B 程度、軟岩系岩盤を掘削区分 D 程度とした。また 1 堀進長は、地下空洞の力学的安定性評価と同様の 1.5m を基本とした。なお、これらの条件については、以降に記述する主要・連絡坑道、処分坑道における断面設定の前提条件となるものである。

硬岩系及び軟岩系岩盤とともに、地表から地下 50m までは風化した弱層と仮定し、地震時の空洞の力学的安定性の確保を考慮して、巻き厚 1.5m（吹付け 10cm を含む）の RC（鉄筋コンクリート）構造とした。また、深さ 50m 以深については、硬岩系岩盤では解析上、支保工は不要であるものの（黒木ほか, 1999），地山の力学的安定性の向上も含め施工や安全上の観点から、岩盤の剥離・崩落防止のため金網及び吹付け（10cm）を用いることとした。軟岩系岩盤については空洞の力学的安定性上必要となる支保として覆工 50cm とし、二次覆工は行わないこととした。また、アクセ

ス坑道の最深部付近では岩盤のゆるみが大きくなることが考えられ、この場合はロックボルトの増し打ちなどの補強工を適宜施すこととする。これらの標準断面を図3.1-2に示す。なお、ここで示す標準断面は健岩部におけるものであり、実際の施工では湧水や割れ目など地質状況の変化に合わせて支保パターンの変更などが必要となる。

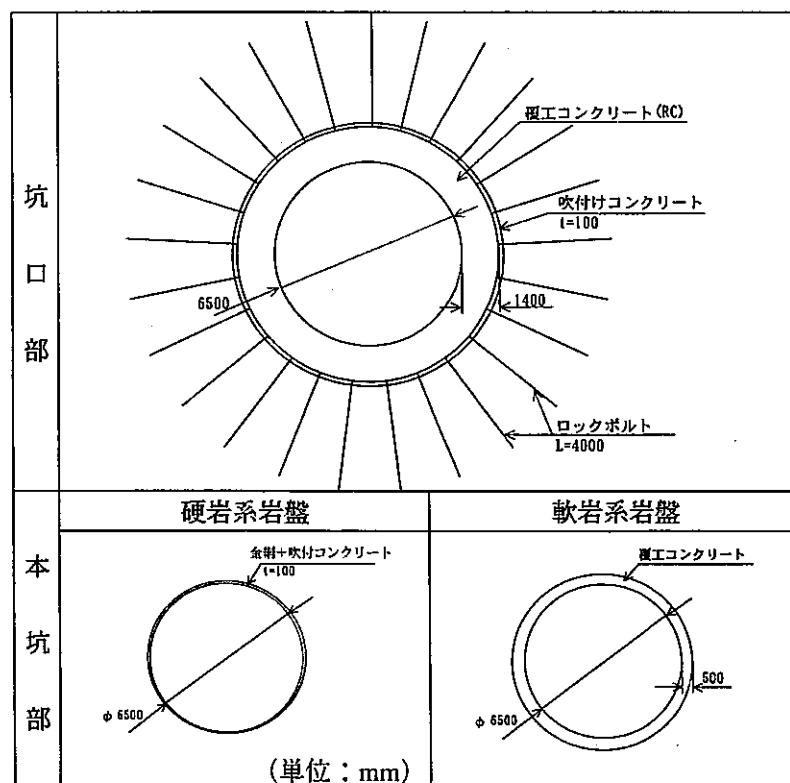


図 3.1-2 アクセス坑道における標準断面

3.1.3 立坑の掘削施工事例

ここでは、立坑の掘削工法や掘進速度について概観するために、立坑の掘削施工事例を表3.1-8に示す（高山・尾登, 1974; (財)日本海洋開発産業協会, 1994; 丹野ほか, 1998）。ここに示した事例は、掘進速度に関する情報が得られたもののみである。表より、平均掘削日進が2.0mを越えるのは仮設構造物として立坑を構築する炭坑、鉱山のものであり、土木構造物の場合にはおおむね1.0~1.5m/日である。この理由として、炭坑、鉱山の場合には、資源の早期回収が目的であり、大規模な掘削設備が投入されること、資源探査のために広範なボーリング調査を行い、この結果から立坑建設位置は湧水の影響の少ない場所が選定されることなどが考えられる。たとえば、上越新幹線中山トンネル四方木立坑では、大量の突発湧水があり平均掘削日進は低いものとなっている。

掘削工法に関して表中では、約40年前に掘削された北陸本線板取立坑のロングス

テップを除くと、すべてショートステップで建設されており、最近の立坑ではショートステップ工法が主流であることを示している。NATM に関しては表中に示していないが、1982 年に完成した中国自動車道牛頭トンネル換気立坑（160m）で最初に採用され、この後、赤石発電所鉄管路立坑（146m）、境川発電所サージタンク（134m）などで用いられている。これら 100m を越す NATM の事例はすべて硬岩系岩盤でのものである。

表 3.1-8 立坑の建設施工事例

名 称	場所	用途	完成年	掘削寸法 (m)	仕上り寸法 (m)	延長 (m)	地 質	工 法	所要工期 (月)	平均掘削日進 (m/日)	最大掘削日進 (m/日)
三井砂川南部排気立坑	北海道	換気(排気)坑	1977	φ 6.3	φ 5.5	891.0	砂岩, 砂質頁岩, 頁岩	ショートステップ [°]	29.0 (掘削 22)	1.4	2.3
三井砂川中央立坑	北海道	石炭搬出	1966	φ 5.4	φ 4.8	766.0	頁岩, 一部砂岩, 炭層	ショートステップ [°]	19.0 (掘削 13)	2.1	2.8
松島ひき島排気立坑	長崎県	換気(排気)坑	1979	φ 6.8	φ 6.0	670.0	砂岩, 頁岩, 石灰岩	ショートステップ [°]	24.5 (掘削 19)	1.4	2.4
第2阪奈有料道路	大阪府	換気坑	1995	φ 11.0	φ 9.3	481.0	閃綠岩	ショートステップ [°]	36.0	1.1	1.5
中部縦貫自動車道安房トンネル 換気立坑	岐阜県	換気(排気)坑	1996	φ 8.9-9.1	φ 7.5	450.7	チャート, 石灰岩, 砂岩, 粘板岩	ショートステップ [°]	—	1.5	—
中部電力奥矢作第一, 第二発電所	愛知県	水圧鉄管路	1981	φ 7.7 - 8.4	—	390.0	花崗岩	ショートステップ [°]	—	1.6	—
日鉱・駿河内第3立坑	秋田県	黒鉱採掘	1967	φ 4.8	φ 4.0	380.0	凝灰岩	ショートステップ [°]	—	2.5	—
上越新幹線中山トンネル四方木立坑	群馬県	作業坑	1976	φ 6.8-7.6	φ 6.0	371.6	凝灰角礫岩	ショートステップ [°]	30.0	0.3-0.7	—
上越新幹線中山トンネル中山立坑	群馬県	換気坑	1973	φ 6.8	φ 6.0	318.0	石英安山岩, 凝灰角礫岩	ショートステップ [°]	15.0	—	1.7
第2阪奈有料道路阪奈トンネル 奈良側立坑	奈良県	換気坑	1995	φ 7.3	φ 6.0	265.0	斑れい岩	ショートステップ [°]	21.0	1.5	1.8
北陸本線板取立坑	福井県	作業坑	1958	φ 6.8	φ 6.0	230.0	輝緑凝灰岩	ロング [°] ステップ [°]	10.0	1.5	—
山陰本線小倉山トンネル	京都府	作業坑	1986	φ 8.6-8.8	φ 8.0	220.0	粘板岩	ショートステップ [°]	19.0	1.0	—
朝日小川第一発電所第1, 第2立坑)	富山県	水圧鉄管路	1986	φ 3.86	φ 1.8, 1.9	190.5, 176.7	流紋岩, 矶岩, 砂岩	ショートステップ [°]	7.0	1.0	2.4
知人立坑	北海道	換気(排気)坑	1983	φ 7.2	φ 6.0	170.0	頁岩, 砂岩, 矶岩	ショートステップ [°]	8.6	1.4	1.7
山陽新幹線福岡トンネル犬鳴立坑	福岡県	作業坑	1973	—	φ 6.0	118.0	緑色片岩	ショートステップ [°]	—	0.85	—

3.2 施工概要

ここでは、前項までの検討結果をもとに、硬岩系及び軟岩系岩盤それぞれを対象として、具体的な施工フロー及び施工概要について示す。

3.2.1 硬岩系岩盤における立坑の建設

NATM による立坑の全体施工フローを図 3.2-1 に示すとともに、全体施工フローに示す各工事の概要を以下に述べる。また、立坑の構造を図 3.2-2 に、施工及び設備の概要を図 3.2-3 (土木学会, 1994b) に示す。立坑の構造に示した GL-500m 位置の立坑ポンプ座は、排水量の変動にともなうポンプのオン／オフ操作によるウォーターハンマー（流体が管内を流れるとき、下流側に取り付けた弁などで急激に流れを遮断すると、管内に大きな圧力上昇が生じる現象；水撃作用）の衝撃を考慮して計画した。なお、サンプ部の深さは、水平坑道掘削時のずり運搬量を約 3,000m³／日とし、このための仮設備の必要性から約 55m とした。

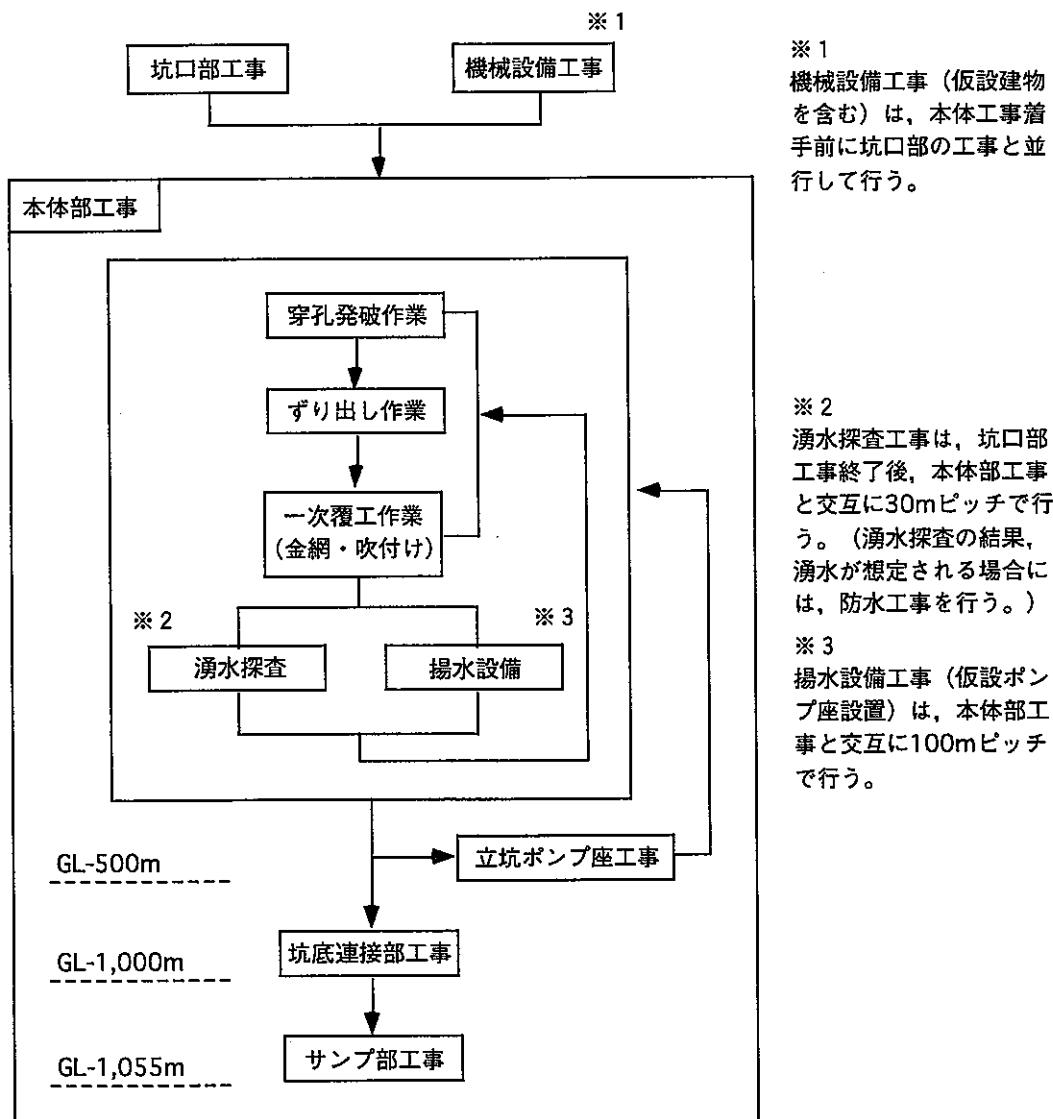


図 3.2-1 硬岩系岩盤における立坑の全体施工フロー

(1) 坑口部工事

坑口に開削工法でガイドウォール（地中連続壁の施工精度を高める溝壁）を設置した後、NATM で耐震壁区間を掘削する。穿孔はクローラドリル（自走式で上下左右に動くブームを装備した穿孔機械）を用いて行い、1掘進長は 1.0m とする。発破後、ミニバックフォー（バケットを下向きに取り付け、手前に引きながら主として地表面以下を掘削する小型のショベル系掘削機）を投入してずりを 2.0m^3 ずりキブル（ずり出し用の鉄板製のバケット）に積み込み、トラッククレーン（ 360° 旋回可能なクレーン装置をトラックシャーシ上に架装したもの）にて搬出し、吹付けコンクリート及びロックボルトの打設を行う。

坑口部 50m の掘削が完了した後、底部より鉄筋組立・型枠設置・コンクリート打設を繰り返し、RC 耐震壁を築造する。

櫓基礎は RC 耐震壁で兼用することとし、耐震壁の築造が完了した後に、本坑掘進の準備工として地表面部に坑口座張・櫓設備等の坑口部仮設工事を行う。

(2) 本体部工事

1) 穿孔発破

穿孔は 5 連装シャフトジャンボで行い、1掘進長は 1.5m とする。地山の損傷と余掘りを極力抑えるために、外周孔はスムースプラスティングを行う。スムースプラスティングとは、外周孔付近の穿孔間隔を広くし装薬量を減らして、岩盤への衝撃力を制御する工法である。

2) ずり出し

シャフトジャンボを地上に引き上げ、ずりキブルに取り替える。次ぎにスカフォード下部に取り付けたシャフトローダー (0.6m^3) を使用してずりをずりキブル (4.0m^3) に積み込み、一杯になったらキブル巻上げ機で坑外に搬出する。また、ずり搬出に際して待ち時間が生じないよう、ずりキブルは 2 個使用し、ずりの積み込みと搬出を並行して行う。なお、坑外に搬出されたずりはズリストックヤードに一時仮置きした後、ダンプトラックに積み込んで所定の場所に運搬し処分する。

3) 金網設置及び吹付けコンクリート

ずり出し作業終了後、金網設置と吹付けコンクリートを施工する。金網は吹付けコンクリートの剥離・落下防止を目的に設置する。なお、吹付け作業はスカフォード上に設置した吹付け機を使用して人力による手吹で行い、コンクリートは地上からコンクリートキブル (2.0m^3) で運搬して吹付け機に供給する。

4) 立坑ポンプ座工事

立坑本体部の掘削がポンプ座位置レベル (GL-500m) まで達した時点で、本体部工事を中断して立坑ポンプ座の水平坑道掘削を開始する。穿孔はレッグドリルを使

用し、ずり出しはドーザーショベルでずりを一旦立坑部まで搬出した後、シャフトローダーでずりキブルに積み込んで坑外へ搬出する。ずり出し後、吹付けコンクリートを施工する。立坑本体部とポンプ座との交差部はロックボルトで補強する。

5) 坑底連接部工事

立坑ポンプ座工事と同様な方法で施工を行う。

6) サンプ部工事

立坑本体部と同様に NATM で施工し、最後にベースコンクリート（厚さ 50cm）を打設する。

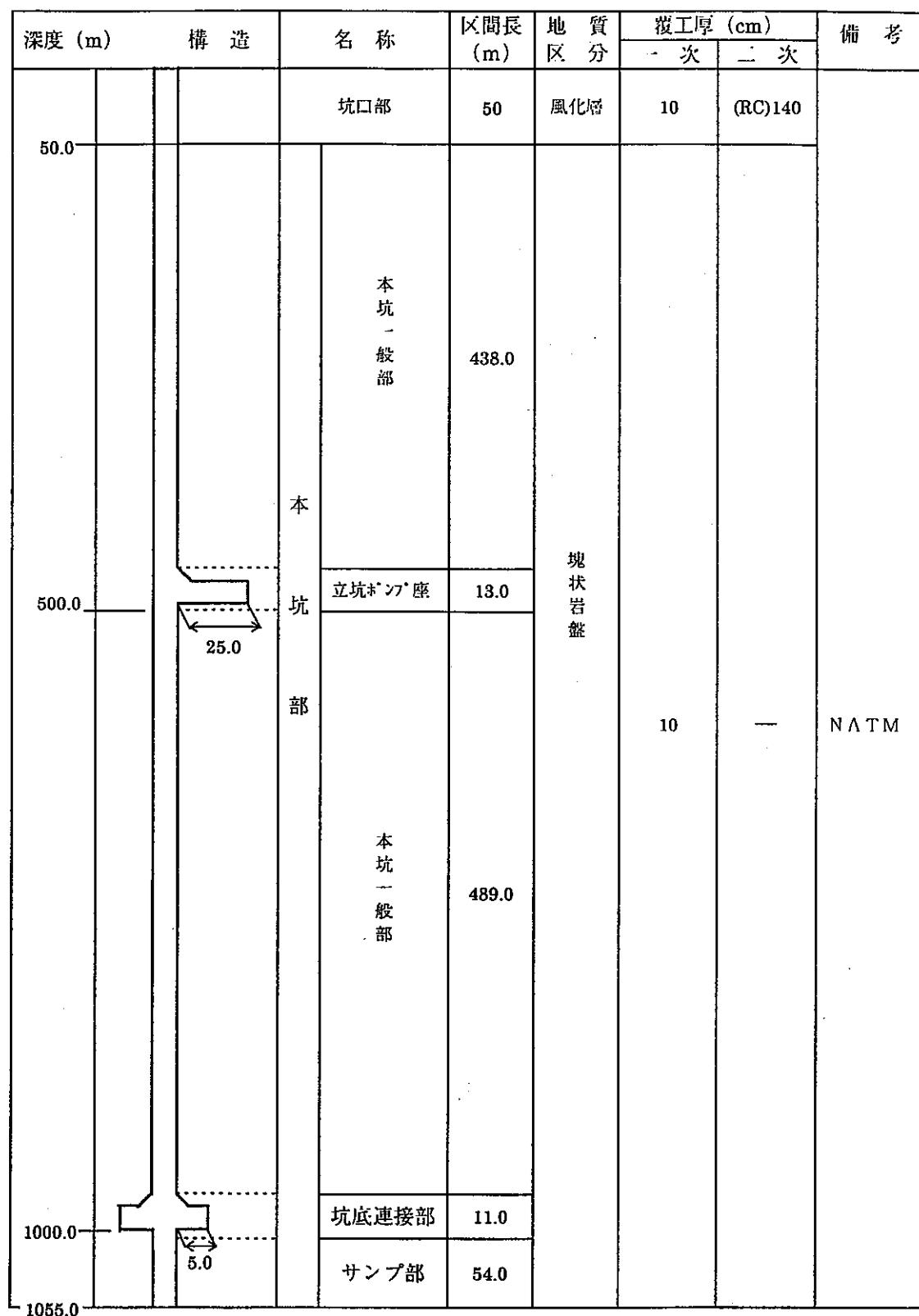


図 3.2-2 硬岩系岩盤における立坑の構造

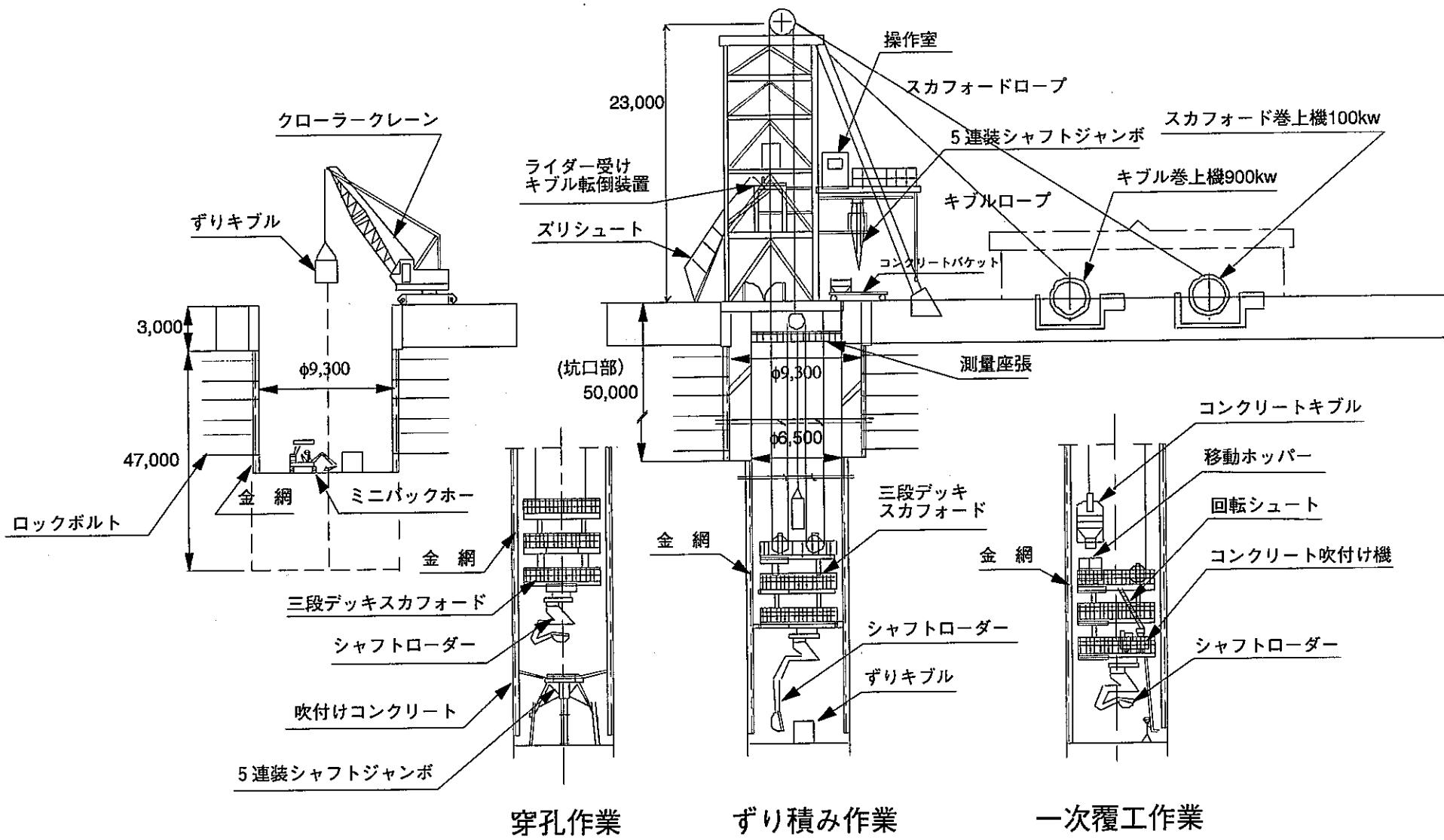


図3.2-3 硬岩系岩盤における立坑の施工・設備の概要

3.2.2 軟岩系岩盤における立坑の建設

ショートステップ工法による立坑の全体施工フローを図 3.2-4 に示す。また、本体部工事にかかる施工概要を以下に示す。坑口部工事については、前項の硬岩系岩盤で述べた施工方法と同様であることから、ここでの記述は省略する。立坑の構造を図 3.2-5 に示す。なお、軟岩系岩盤における立坑の施工・設備の概要については、硬岩の場合とそれほど大きな違いがないことからここでの例示は省略する。

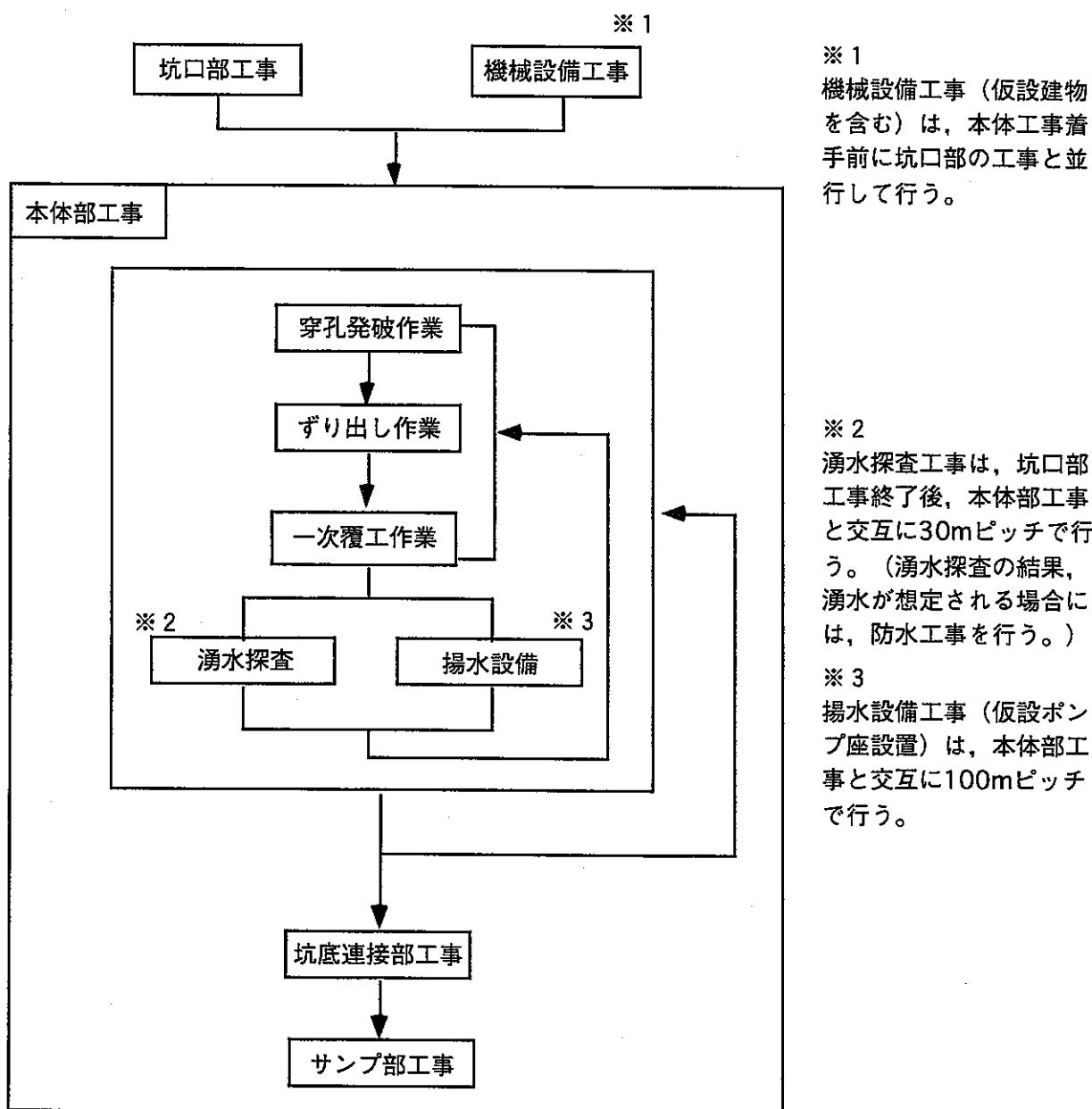


図 3.2-4 軟岩系岩盤における立坑の全体施工フロー

(1) 本体部工事

1) 穿孔発破

穿孔には5連装シャフトジャンボを使用し、1掘進長は1.5mとする。発破はスム

ースプラスティング工法にて行う。

2) ずり出し

ずり出しは、 $0.6m^3$ シャフトローダーで $4.0m^3$ キブルに積み込む替えキブル方式で行い、ずりを積載した実キブルは、キブル巻上機で坑外に搬出する。

坑内から搬出されたずりは転倒ドアで強制転倒し、ダンプトラックに積み所定の場所へ運搬する。なお、コンクリート養生のため、ずり出し作業中もコンクリート型枠は組み立てたままとする。

3) 一次覆工

覆工サイクル長は $1.5m$ とする。ずり積みが進行し、覆工高さ ($1.5m$) のずりを取り去った後、整地を行い、前段型枠よりレベル出しを行って型枠のための敷板を正確に設置する。

整地、敷板設置終了後、前回打設したコンクリート型枠を脱型整備し、敷板の上に組み立てる。次に、コンクリート打設のために、スカフォードに移動ホッパーを、坑底に打設足場などをそれぞれ準備し、坑口の全自動バッチャープラントで練ったコンクリートを $2.0m^3$ キブルで運搬し、コンクリート打設を開始する。

なお、ショートステップ工法は、掘削と覆工が交互に短いサイクルで行われる工法であり、コンクリート打設後短時間に発破や型枠脱型が行われることになるので、コンクリートには短期強度が要求される。このため、一次覆工には早強コンクリートを使用する。

4) 坑底連接部工事

穿孔発破による掘削作業後、コンクリート吹付け及びロックボルト打設による山留めを行う。

5) サンプ部工事

本体部と同様にショートステップ工法にて施工し、最後に立坑ベースコンクリート（厚さ $80cm$ ）を打設する。

以上、立坑方式を一例として硬岩系及び軟岩系岩盤それぞれにおける施工方法について示したが、これらは均質な地盤を対象に基本パターンとして検討したものであり、実際には湧水や山はねなどの現象に応じた施工計画への変更などが必要となる。

深度 (m)	構 造	名 称	区間長 (m)	地 質 区 分	覆工厚 (cm)		備 考
					一 次	二 次	
50.0		坑口部	50	風化層	10	(RC)140	
500.0		本坑一般部	451.0		50	—	ショートステップ工法
536.0		坑底連接部					
		サンプ部	35.0				

図 3.2-5 軟岩系岩盤における立坑の構造

3.2.3 その他

(1) 換気・排水設備

立坑施工時の換気については、坑外に扇風機を設置し、風管を坑底切羽まで延長して新鮮な空気を吹き込む方式が一般的に採用されている。この扇風機には通常コントラファンが使用され、風管にはスパイラル風管やビニール風管を用いている（建設業労働災害防止協会、1992）。

一方、排水設備に関しては、立坑施工時は比較的低揚程の水中ポンプを掘削に応じて順次設置しながら掘進し、水平坑道建設時には坑底に大揚程のポンプを設置することとなる。後者に関して本検討では、現状のポンプの最大揚程から、深度 1,000m の硬岩系岩盤では立坑中間位置に中継用のポンプ座 1 箇所を設けることとし、深度 500m の軟岩系岩盤では直接地上に排水する計画とした。これらの排水設備は予備も含め 2 系列とする。また、地上には濁水処理装置を設け、排水の濁水処理と pH 調整を行い放流する。

(2) 避難経路

立坑の建設では、通常、人員昇降専用のエレベータ設備が仮設されており、階段などの特別の避難経路が計画されることはない。地層処分場の地下施設のように大深度の場合は、別系統の巻き上げ設備であるずり搬出用のものに非常時人員昇降の機能を付加し、2 系統の経路を確保する必要がある。

3.3 数量及び機械設備

硬岩系及び軟岩系岩盤の立坑の施工数量を表 3.3-1、表 3.3-2 に示すとともに、これらの立坑建設に用いる主要な機械及び設備を表 3.3-3、表 3.3-4 に示す。

表 3.3-1 硬岩系岩盤における立坑数量

区分	工事長 (m)	掘削 (m ³)	吹付けコンクリート (m ³)	ロックボルト (本)	覆工コンクリート (m ³)
立坑 1 本当りの設計数量					
計		38,977	2,190	1,275	1,774
立坑 1 本当りの施工数量					
坑 上部	3	213			141
口 下部	47	3,574	288	1,175	1,772
本坑一般部	951	39,153	4,661	100	
サンプ部	54	2,223	265		
計	1,055.0	45,163	5,214	1,275	1,913
立坑 7 本当りの施工数量					
設計数量		272,839	15,330	8,925	12,418
施工数量		316,139	36,496	8,925	13,389

注 1) 掘削量には本坑部 27cm、坑口部 17cm の余掘りを含む。余掘りは本坑部が吹付けコンクリート 27cm

坑口部は吹付けコンクリート 7cm + 覆工コンクリート 10cm で負担する。

注 2) 吹付けコンクリートの材料準備量は一般部と坑口部の補正係数を各々 K=2.4, K=2.1 として算出する。

注 3) 坑底連接部の交差部補強ロックボルトは概算数量として 100 本を計上している。

注 4) 立坑ポンプ座、坑底連接部の横坑掘削数量は含んでいない。

表 3.3-2 軟岩系岩盤における立坑施工数量

区分	工事長 (m)	掘削 (m ³)	吹付けコンクリート (m ³)	ロックボルト (本)	覆工コンクリート (m ³)
立坑 1 本当りの設計数量					
計		25,043	140	2,775	7,118
立坑 1 本当りの施工数量					
坑 上部	3	213			141
口 下部	47	3,574	288	1,175	1,772
本坑一般部	451	21,772		1,600	6,806
サンプ部	35.0	1,690			528
計	536.0	27,248	288	2,775	9,247
立坑 7 本当りの施工数量					
設計数量		175,301	982	19,425	49,826
施工数量		190,739	2,019	19,425	64,731

注 1) 掘削量には余掘り 17cm を含む。余掘りは吹付けコンクリート 7cm + 覆工コンクリート 10cm(坑口部), 覆工コンクリート 17cm(本坑部) で負担する。

注 2) 吹付けコンクリートの材料準備量は補正係数 K=2.1 として算出する。

注 3) 坑底連接部の交差部補強ロックボルトは概算数量として 100 本を計上している。

注 4) 本坑一般部の深部での追加ロックボルトは概算数量として 1500 本を計上している。

注 5) 坑底連接部の横坑掘削数量は含んでいない。

表 3.3-3 硬岩系岩盤での立坑建設に用いる主要な機械及び設備

施工部位	機械、設備名称	単位	数量	仕様
坑口部	(1) 揚重設備	台	1	クローラークレーン 60t 級
	(2) 掘削設備 穿孔機 ずり積み機器	台式	1 1	クローラーシャンボ (小型) 小旋回 0.45m^3 パックフォー × 1, 4.0m^3 ずりキブル × 1
	(3) 覆工設備 吹付け設備 型枠 コンクリートプラント	台式	1 1 1	アリバ 280 型 $5\text{m} \phi \times 4.5\text{m}$ H 5m^3 全自動ハッチャーフラント, 30t サイロ (本坑部と共に)
本坑部	(1) 開削槽設備	式	1	高さ 25m, ヘッドシープ × 4, 避雷針設備一式
	(2) キブル巻上設備 キブル巻上機 キブル類	台式	1 1	900kw, 単胴, V=300m/mim, $36\text{mm} \phi$ シンキングロープ 4.0m^3 ズリ用 × 2, 2.0m^3 コンクリート用 × 1
	(3) スカフォート巻上設備 スカフォート巻上機 スカフォード	台基	1 1	100kw, 複胴, V=8m/mim, $38\text{mm} \phi$ サンロープ $6.1\text{m} \phi \times$ 三段デッキ, キブル通過孔 $2.3\text{m} \phi$
	(4) 人専エレベーター設備	台	1	150kw, 単胴, V=180m/mim, 6 人乗り
	(5) 坑口設備 坑口座張 坑口運搬設備	式式	1 1	坑口ドア, 坑口座張り, 測量座張り, エレベーター乗場 10t テレハクレーン, 軌条台車, 3t 門型クレーン
	(6) ずり捨て設備 ずり転倒設備 ずり運搬設備	式式	1 1	ライダー受け, ズリシート, キブル転倒装置 D60 級ドーザーショベル, 11t タンブトラック
	(7) コンプレッサー設備	式	1	150kw × 2, $150\text{mm} \phi$ 銅管
	(8) 換気設備	式	1	37kw × 2 連コントラファン, $1.0\text{m} \phi$ スパイラル風管
	(9) 掘削設備 穿孔機 ずり積機	台台	1 1	5 連装油圧シャフトシャンボ 0.6m^3 シャフトローダ
	(10) 覆工設備 吹付け設備 コンクリートプラント 坑口設備	式基基	1 1 1	アリバ 280 型, 乾湿両用, コンクリートホッパー × 1 5m^3 全自動ハッチャーフラント, 30t サイロ 2.0m^3 コンクリートバケット (台車搭載)
	(11) 給排水設備 給水ポンプ 坑内排水ポンプ 排水処理設備	式台式	1 14 1	$50\text{mm} \phi$ ケビンポンプ × 1, 10m^3 水槽 × 1 120kw 水中ポンプ $2.0\text{m}^3/\text{min}$ (予備 7 台) 処理能力 $120\text{m}^3/\text{hr}$
	(12) 電気設備 受電設備 照明設備 通信設備 非常用電源設備	式式式式	1 1 1 1	500kVA × 3, 200kVA × 3, 50kVA × 3, 300kVA × 4 坑外: 15kVA, 坑内: 15kVA 防水呼鈴, 無電池式電話機・ケーブル類 ディーゼル発電機 1000kw × 1 台
	(13) 湧水探査用設備	式	1	ロータリーハーカッショングボーリングマシン × 2
	(14) ポンプ座掘削設備 穿孔機 ずり積機	台台	4 1	40kg 級レッグドリル 0.4m^3 級トラクターショベル

備考: 坑口部工事での電気・給排水等の仮設備は本坑部記載のものを適宜使用する。

表 3.3-4 軟岩系岩盤での立坑建設に用いる主要な機械及び設備

施工部位	機械、設備名称	単位	数量	仕様
坑口部	(1) 揚重設備	台	1	クローラークレーン 60t 級
(2) 堀削設備	穿孔機	台式	1	クローラージャンボ（小型）
	ずり積み機器	台式	1	小旋回 $0.45m^3$ バッカフォーブーム × 1, $4.0m^3$ ずりキボル × 1
(3) 覆工設備	吹付け設備	台式	1	アリバ 280 型
	型枠	台式	1	$5m \phi \times 4.5m H$
	コンクリートプラント	台式	1	$5m^3$ 全自動バッチヤープラント, 30t サイロ（本坑部と共通）
本坑部	(1) 開削櫓設備	式	1	高さ 25m, ヘッドシーブ × 3, 避雷針設備一式
(2) キブル巻上設備	キブル巻上機	台式	1	450kw, 単胴, V=200m/min, $36mm \phi$ シンキングローブ
	キブル類	台式	1	$4.0m^3$ ズリ用 × 2, $2.0m^3$ コンクリート用 × 1
(3) スカフォード巻上設備	スカフォード巻上機	台基	1	60kw, 複胴, V=8m/min, $38mm \phi$ サンローブ
	スカフォード	台基	1	$6.1m \phi \times$ 二段デッキ, キブル通過孔 $2.3m \phi$
(4) 人専エレベーター設備	台	1	150kw, 単胴, V=180m/min, 6 人乗り	
	坑口設備	式	1	坑口ドア, 坑口座張り, 測量座張り, エレベーター乗場
(5) 坑口座張り	坑口座張り	式	1	10t テルハクレーン, 軌条台車, 3t 門型クレーン
	坑口運搬設備	式	1	
(6) ずり捨て設備	ずり転倒設備	式	1	ライダー受け, ズリシート, キブル転倒装置
	ずり運搬設備	式	1	D60 級ドーザーショベル, 11t グンプトラック
(7) コンプレッサ設備	式	1	150kw × 1, 125kw × 1	
	換気設備	式	1	30kw コントラファン × 1, $0.6m \phi$ スパイラル風管
(9) 堀削設備	穿孔機	台	1	5 連装油圧シャフトジャンボ
	ずり積機	台	1	$0.6m^3$ シャフトローダ
(10) 覆工設備	移動型枠装置	式	1	$6.5m \phi \times 1.5m H$, 型枠吊り下げ装置
	コンクリートプラント	基	1	$0.5 m^3$ 全自動バッチヤープラント, 30t サイロ
	坑口設備	基	1	コンクリートホッパー, シート, コンクリートタワー
(11) 給排水設備	給水ポンプ	式	1	$50mm \phi$ ターピングポンプ × 1, $10m^3$ 水槽 × 1
	坑内排水ポンプ	台	12	22kw 水中ポンプ $1.0m^3/min$ (予備 6 台)
	排水処理設備	式	1	処理能力 $60m^3/hr$
(12) 電気設備	受電設備	式	1	250kVA × 2, 200kVA × 2, 300kVA × 1, 150kVA × 1
	照明設備	式	1	坑外: 15kVA, 坑内: 10kVA
	通信設備	式	1	防水呼印, 無電池式電話機・ケーブル類
	非常用電源設備	式	1	ポータブル発電機 100kw × 3 台
(13) 湧水探査用設備	式	1	ロータリーパーカッション型ボーリングマシン × 2	
	連接部吹付設備	式	1	アリバ 280 型吹付機, プースターポンプ

備考：坑口部工事での電気・給排水等の仮設備は本坑部記載のものを適宜使用する。

4. 主要・連絡坑道

4.1 挖削・支保工

4.1.1 挖削工法

(1) 既存の掘削工法

主要・連絡坑道は物流や避難のメインルートとなるものである。主要・連絡坑道などの水平坑道の掘削工法として代表的なものには、発破工法、自由断面掘削機工法及びTBM工法（Tunnel Boring Machine；全断面トンネル掘削機工法）がある。これらの工法の選定にあたっては、地質対応性、坑道の用途と仕様、工期・経済性、地山に与える影響などを考慮する必要がある。表4.1-1にそれぞれの工法の比較を示す（土木学会、1996）。

表4.1-1 水平坑道の代表的な掘削工法の比較

項目	発破工法	自由断面掘削機工法	TBM工法
概要図			
地質対応性	ほとんどの地質・地山に対応が可能であるが、地山に与える影響が大きい。	地山に与える影響が小さい。地山強度が一軸圧縮強度で30~50MPaをこえると急激に施工能力が低下する。	均質な地質、地山に対しては優れた掘削能力を発揮するが、変化が激しい地山では能力の低下が見られる。地山に与える影響は小さい。
坑道仕様 (断面形状)	ほとんどの断面形状に対応可能。地山状況に応じて加背割を変更できる。	同左。	現在のところ円形断面に限られる。
工期・経済性	地山の状況に応じて掘進長を変更するなど、経済的な施工が可能。	硬岩では掘削速度が落ちる。	イニシャルコストは高いが、掘進速度は早く、施工延長が長くなるほどコストパフォーマンスは高い。
地山に与える影響	最も衝撃が大きいが、スムースプラスティングなどである程度は抑えることが可能。	機械掘削のため、地山に与える衝撃は小さい。	同左。

(2) 挖削工法の選定

上記で整理された掘削工法のうち、硬岩系及び軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の施工方法について以下のように選定した。

1) 硬岩系岩盤における掘削工法

表4.1-1に示すように、自由断面掘削機工法は地山に与える影響も少なく、ほとん

どの断面形状に対応可能であるが、本検討で対象としている硬岩系岩盤のような硬岩帶においては掘削能力が十分ではない。また、TBM工法は均質な地山において優れた掘削能力を発揮するが、現在のところ掘削形状が円形に限られるため、本検討で設定されている断面での主要・連絡坑道の掘削にはあまり適さない。一方、発破工法はあらゆる形状の掘削断面に対応可能であり、地質対応性にも優れ、経済的な工法であるといえる。一般的に地山に与える衝撃は大きいが、スムースプラスティングなどの制御発破により、ある程度抑制することが可能である。

以上のような観点から、主要・連絡坑道の掘削工法としては、発破工法を採用することとした。

なお、発破工法採用時のずり出し方式には、一般的にタイヤ方式、レール方式、連続ベルトコンベア方式がある。タイヤ方式と比較してレール方式と連続ベルトコンベア方式は、走行による路盤の損傷や排気ガス及び粉塵などの発生がなく、地下深部に長距離の空洞を建設する本検討のような場合には、換気等の面から極めて有効である。また、長距離の大量ずり運搬にも適している。しかし、連続ベルトコンベア方式は、切羽で大きなずりが発生した場合に、ベルト幅に応じた運搬が可能な大きさまで破碎しなければならないため、発破工法においてはやや不向きである。これらのことから、本検討ではずりだし方式として、レール方式を採用することとした。

2) 軟岩系岩盤における掘削工法

軟岩系岩盤の掘削方式としては、地山への損傷を小さくするために、TBM工法もしくは自由断面掘削機工法が考えられるが、TBM工法は掘削形状が円形に限られるため、主要・連絡坑道の掘削には適さない。したがって、軟岩系岩盤の強度に対して十分対応可能であり、地山の損傷も最小限に抑えることができる自由断面掘削機工法を選定する。なお、ずり出し工法については、硬岩系岩盤の場合と同様、レール方式とする。

以上のような検討結果から、主要・連絡坑道の掘削に採用した工法をまとめて表4.1-2に示す。

表 4.1-2 主要・連絡坑道の工法選定

項目	工 法		選 定 理 由
掘削方式	硬岩系岩盤	発破方式（スムース プラスティング）	<ul style="list-style-type: none"> ・掘削能力が最も高く経済的である。 ・断面形状、掘進長などに対して施工の自由度が高い。
	軟岩系岩盤	自由断面掘削機	<ul style="list-style-type: none"> ・軟岩系岩盤の強度に対して十分対応可能であり施工能力も高い。 ・部分掘削が可能であり、地質の変化に対応した切羽の分割施工にも問題がない。また、安全性が高い。
ずり出し 方式	レール方式		<ul style="list-style-type: none"> ・走行による坑内粉塵、排気ガスなどの発生がない。 ・長距離の大量ずりの運搬に適する。
支保工	硬岩系岩盤	吹付けコンクリート	・地山の劣化を防ぎ、施工時の安全性確保
	軟岩系岩盤		・NATM の考え方による地山の早期閉合
インバート	コンクリート打設		・強度、施工性に優れる。

4.1.2 標準断面の検討

ここでは、アクセス坑道と同様、必要断面の妥当性について検討するとともに、主要・連絡坑道の建設技術の検討で考慮する標準断面を設定する。

(1) 必要断面の検討

図 4.1-1 に「地下空洞の力学的安定性評価」(黒木ほか, 1999) で示された坑道断面に運搬設備を配置したものを示す。主要・連絡坑道建設時には、

- ①運搬車両の往復、駐車帯
- ②切羽での重機による掘削、支保作業
- ③二次覆工を打設する場合のセントル下の車両の往復
- ④排水、換気設備

等のスペースを確保する必要がある。

①の要因に関しては、ずり運搬、資機材運搬車両の出入りや電力設備車両、ポンプ車両の仮置き、退避等には複線軌条が必要である。とくに複数の処分坑道を同時に建設することから、ずりの搬出量及び資材の搬入量を考慮すると、主要・連絡坑道の運搬線路は複線とする必要である。また、複線を確保できる断面であれば、上記に示す②～④の要因に必要なスペースは確保されることになる。

したがって、建設において必要な主要・連絡坑道の断面は、運搬設備より決定され、現在設定されている内空幅 5m は複線軌条とするのに必要な寸法を確保しているものと考える。

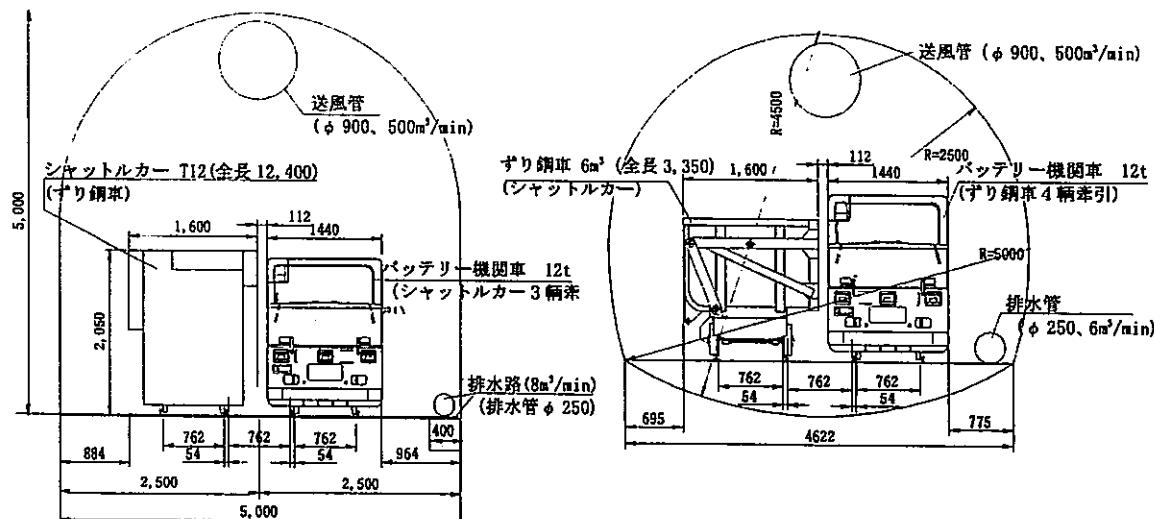


図 4.1-1 主要・連絡坑道における運搬設備配置図

また、複線での施工を考えた場合の必要最小スペースを図 4.1-2 に示す。

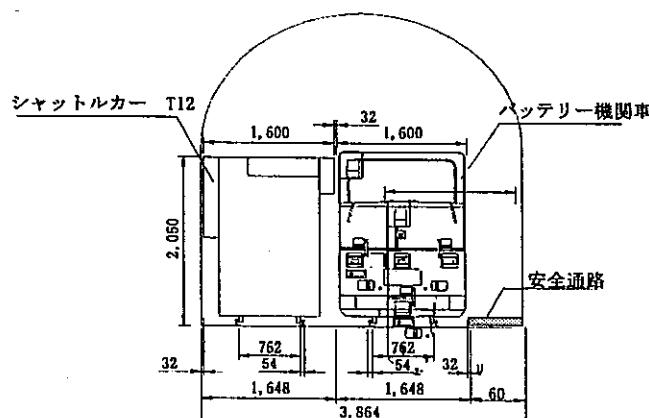


図 4.1-2 主要・連絡坑道の最小必要断面

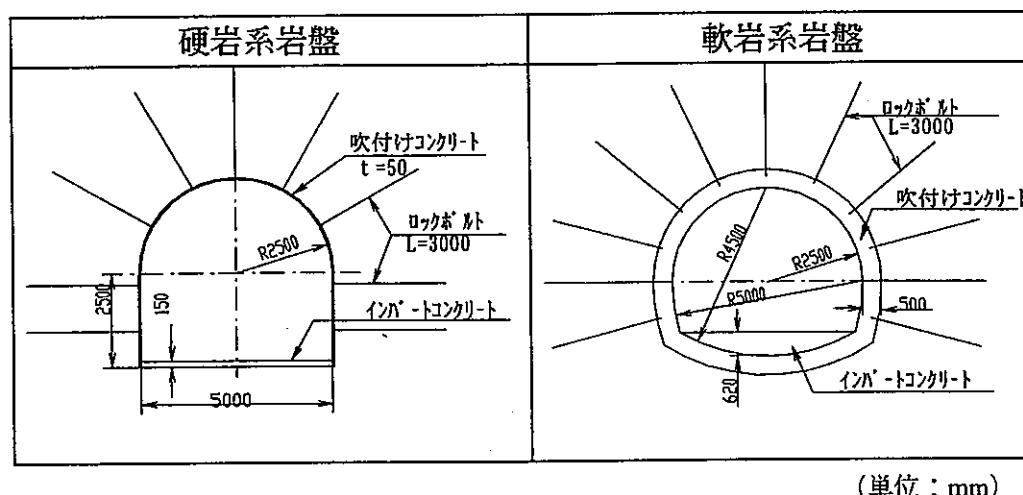
図 4.1-2 に示す内空が確保されれば施工が可能であり、所要の工期を満足できると考えられる。主要な要因である運搬線路を単線とすれば、さらに必要断面は小さくなるが、その場合、車両の入れ替えや退避線を設けるための拡幅断面が必要であり、その必要延長については詳細な検討が必要である。

(2) 標準断面の設定

空洞安定解析上、必要な覆工を吹付けにより行うこととし、ゆるみ域を考慮してロックボルトを用いることとした。ロックボルトの長さは、解析で得られたゆるみ域の深さが硬岩及び軟岩ともに同じ程度であることから、3m で共通とし、ゆるみ域の周方向の広がり及び実績などを考慮し、周方向のピッチは軟岩の方を密な配置とした。硬岩への吹付けについては、剥離・崩落防止を目的とした最小限の値として

50mm とし、インパートコンクリートは 150mm とした。図 4.1-3 に設定した標準断面を示す。

なお、ここで示した標準断面は健岩部におけるものであり、実際の施工では湧水や割れ目など地質状況の変化に合わせて支保パターンの変更などが必要となる。また、交差部については、実績などを踏まえて 4m の補強用ロックボルトを用いることとした。補強範囲は、主要坑道については処分坑道離間距離が非常に狭いため全範囲を対象とした。



(単位 : mm)

図 4.1-3 主要・連絡坑道における標準断面

4.1.3 水平坑道の掘削施工事例

NATM 工法により掘削された土被りが深いトンネルの施工事例を表 4.1-3 に示す（前田ほか, 1996; 劍持ほか, 1996; 内田ほか, 1981; 稲見・佐藤, 1985; 経堂ほか, 1981; 加納ほか, 1983; 関戸・遠藤, 1992; 田名瀬ほか, 1997; 須々木ほか, 1981; 大貫, 1982; 二唐ほか, 1991）。

表 4.1-3 水平坑道掘削施工事例

名 称	場所	用途	完成年	掘削工法	加背割	仕上り寸法 横×縦 (m)	延長 (m)	地質	土被り (m)	所要工期 (月)	平均掘削日進 (m/日)	最大掘削日進 (m/日)
北陸新幹線八重原トンネル東工区	長野県	新幹線	1995	機械掘	あり	9.5×8.2	438.0	砂岩, 泥岩, 凝灰角礫岩	200	36.0	(月進 90.0)	—
北陸新幹線五里ヶ峯トンネル上田工区	長野県	新幹線	—	発破	なし	10.1×8.0	3,010.0	石英安山岩	500	—	(月進 128.0)	(月進 260.0)
北陸新幹線五里ヶ峯トンネル戸倉工区	長野県	新幹線	—	発破	なし	10.1×8.0	5,270.0	黒色頁岩, 凝灰岩	600	—	(月進 166.0)	(月進 281.0)
国道289号線駒止トンネル	福島県	道路	1983	発破	あり	8.5×7.4	2,000.0	凝灰岩, 凝灰角礫岩, 砂岩	300	—	(月進 32.0)	—
関越自動車道関越トンネル水上側工区	群馬県, 新潟県	道路	1985	発破	なし	11.0×7.5	5,243.0	変質安山岩, 石英閃綠岩	1200	—	(月進 109.5)	(月進 171.0)
関越自動車道関越トンネル湯沢側工区	群馬県, 新潟県	道路	1985	発破	なし	11.0×7.5	5,642.0	石英閃綠岩	1000	—	(月進 125.3)	(月進 196.0)
上越新幹線大清水トンネル万太郎谷工区	新潟県	新幹線	1978	発破	なし	10.6_8.8	4,800.0	石英閃綠岩	1500	76.0	(月進 110.2)	(月進 160.5)
今市発電所導水トンネル	栃木県	導水路	—	発破	あり	14.6_14.6	924.0	輝石安山岩	350	—	9.38	10.8
テツケーントンネル	香港	道路	1991	発破	あり	10.7_8.6	7,860.0	花崗岩	385	37.0	(月進 180.0)	—
北陸自動車道山王トンネル	新潟県	道路	—	機械掘	なし	10.4_8.7	2,216.0	泥岩	140	18.0	(月進約 140.0)	—
東京電力玉原発電所導水路トンネル作業坑	群馬県	作業坑	1978	発破	なし	4.6×3.7	109.0	礫岩		2.5	2.48	4.5
東京電力玉原発電所導水路トンネル	群馬県	導水路	1981	発破	なし	6.6×6.35	3,532.0	礫岩	180	46.0	4.14-4.61	7.5
福知川線第1名塩トンネル西工区	兵庫県	鉄道	1982	発破	なし	8.5×6.8	795.0	結晶質流紋岩		31.0	3.47	5.0
上越新幹線中山トンネル小野上南工区	群馬県	新幹線	1982	機械掘	あり	9.6×8.5	4,720.0	凝灰角礫岩, 凝灰岩, 泥岩	350	—	(月進 60.0)	—
山形自動車道盃川トンネル	山形県	道路	1990	機械掘	あり	10.0×7.6	320.0	熱水変質岩	200	—	(月進 25.0)	—

4.2 施工概要

ここでは、前項までの検討結果をもとに、硬岩系及び軟岩系岩盤それぞれを対象として、具体的な施工フロー及び施工概要について示す。

4.2.1 硬岩系岩盤における主要・連絡坑道の建設

建設工事全体の施工フローを図 4.2-1 に、掘削、支保工工事の施行順序を図 4.2-2 に示すとともに、以下に各工事の概要を述べる。

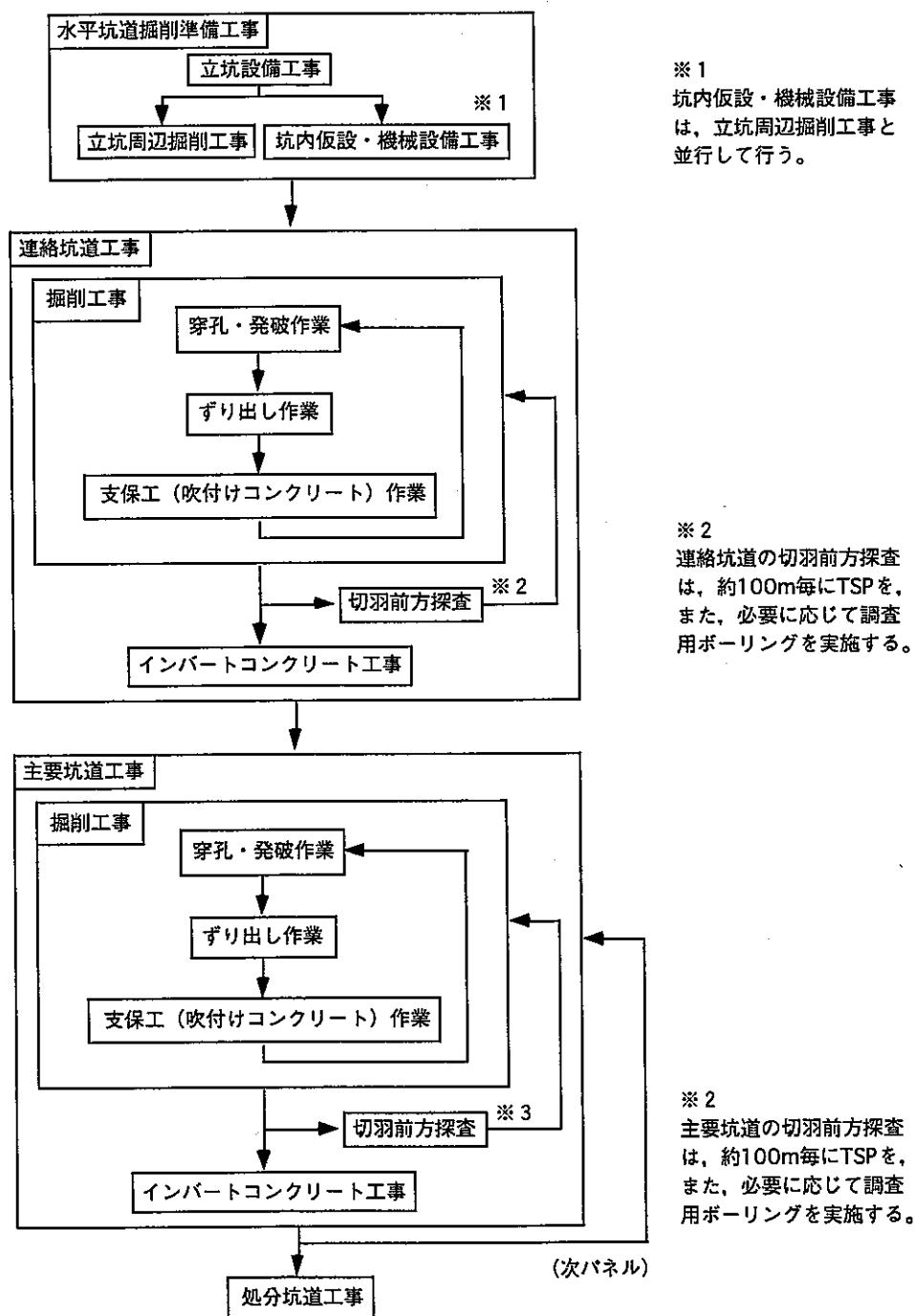


図 4.2-1 硬岩系岩盤における主要・連絡坑道施工フロー

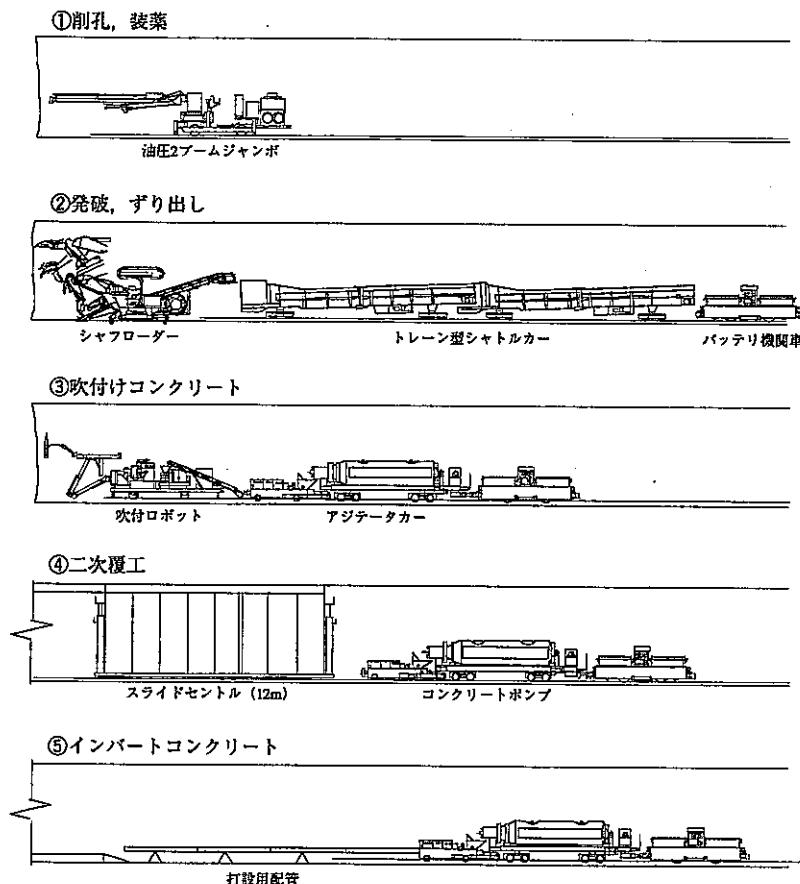


図 4.2-2 硬岩系岩盤における主要・連絡坑道の施工順序

(1) 水平坑道掘削準備工事

主要・連絡坑道の掘削工事に先立って資材の搬入・搬出、人員の入出坑、ずり出しを含めた水平坑道の掘削設備等の水平坑道掘削準備工事が必要となる。この準備工事は、①立坑設備工事、②立坑周辺掘削工事、③坑内仮設・機械設備工事に大別される。これら各工事の概要を以下に示す。

1) 立坑設備工事

ずり搬出設備は安全のため「連絡坑道掘削」と「処分坑道掘削」が同時に行われた場合を想定して計画する。

建設用立坑はその目的や用途に応じて、ずり搬出立坑、資材搬入・搬出及び人員の入出坑用の人荷用立坑とする。

図 4.2-3 にずり搬出用立坑の設備図を示す（建設産業調査会、1993）。ずり搬出は 12m^3 のずりスキップ 2 台を使用し、ずり運搬量約 $3,500\text{m}^3/\text{日}$ の能力をもつものとする。なお、この立坑は水平坑道施工時の排気立坑としても利用する。

図 4.2-4 に人荷用立坑の設備図を示す（建設産業調査会、1993）。人荷用立坑は 5m (長さ) $\times 2.5\text{m}$ (幅) $\times 14\text{m}$ (高さ) の人荷用ゲージを昇降させ、資材・人員の搬送を行う。この立坑のサンプル部は約 25m となる。また、この立坑は水平坑道施工時

の入気用立坑として利用することとし、立坑坑口部には換気設備及び気密性を保持するための気密デッキを設けることとする。換気設備容量は約 $10,000\text{m}^3/\text{min}$ クラスの送風機を設置する。

なお、排水管、給水管、送電ケーブル等の、水平坑道の施工に必要な配管、ケーブル類は、この人荷用立坑内に設置するものとする。

2) 坑外設備

図 4.2-5 に、水平坑道建設時に必要となる坑外設備の平面図を示す。

3) 立坑周辺掘削工事・坑内仮設機器設備工事

立坑坑底の連絡坑道との連接部付近は、水平坑道掘削の主要基地として利用する。この連接部周辺には、ずり転倒室、バッテリー充電場、揚水設備（ポンプ室）、修理工場等の坑内仮設設備が設置されるため、これに伴なう空洞掘削が必要となる。

図 4.2-6 に連接部周辺の主要設備例を示す。ずり転倒室は連絡坑道を経て運搬されたずりをずりストックびんに落とし込むもので、サンプ部にストックされたずりは、エプロンフィーダー、秤量ホッパを通り可動シートを経て 12m^3 スキップに積み込まれ坑外に搬出される。2台のずりスキップに対し、立坑を挟む形で同じ設備を2セット設ける。バッテリー充電場は、使用するバッテリー機関車の数量及び作業性を考慮して2箇所に設け、全体で 12 トンのバッテリー機関車約 50 台分の充電容量を持つ設備とする。修理工場は、7m（幅）×50m（長さ）×5m（高さ）程度のスペースを坑奥部に確保し機械の修理にあたるものとする。揚水設備は、坑内使用水、湧水を坑外に排出するためのもので、図 4.2-7 に設備例を示す。

水平坑道の施工に必要な給気、給水設備は坑外に設け、立坑内を経由して配管する。また受変電設備は上記の修理工場内にスペースを確保する。

(2) 主要・連絡坑道工事

4.1 で述べたとおり、基本となる施工方法は表 4.2-1 のとおりである。なお、主要・連絡坑道の本掘削は、立坑連接部周辺掘削工事と坑底の仮設、機械設備工事が完了した後に行う。以下に掘削工事の概要を示す。

表 4.2-1 主要・連絡坑道の採用工法

掘削	加背割	支保・覆工	ずり運搬
発破工法 (スムースプラスティング)	全断面工法	吹付けコンクリート	レール方式

1) 掘削工事

(a) 穿孔

油圧 2 ブームジャンボにより装薬孔の穿孔を行う。1 発破進行長は 1.5m を基本とし、地山状況に応じて変更する。周辺地山の損傷を最小限に抑えるためスムースブ

ラスティング工法を採用することとし、周辺孔の穿孔は慎重に行う。

(b) 装薬・発破

ジャンボのケージなどを利用して装薬を行う。装薬が完了し結線した後、ジャンボなどの退避を行い発破する。

(c) ずり出し

発破後十分な換気を行い、ずり出しを行う。ずりの積み込みはシャフローダーを使用し、運搬は容量 12m³ のトレーン型シャトルカーを 2 重または 3 重連結したもの用いる。なお、シャトルカーは車輪がボギーになっており曲率半径 40m の路線も通行可能である。

(d) 吹付けコンクリート

吹付けコンクリートには乾式と湿式があるが、作業の安全と換気の観点から発生する粉塵量が一般的に少ない湿式を選定する。

混練されたコンクリートをアジテータカーによって切羽に搬入し、吹付け機により吹付けコンクリートを施工する。

(e) インバートコンクリート工事

インバートコンクリート工事は掘削工事終了後に施工する。施工の手順は、軌道設備撤去、盤ならし、型枠組、コンクリート打設、養生、軌道再敷設のサイクルで行う。コンクリートはアジテータカーで運搬しポンプで打設する。

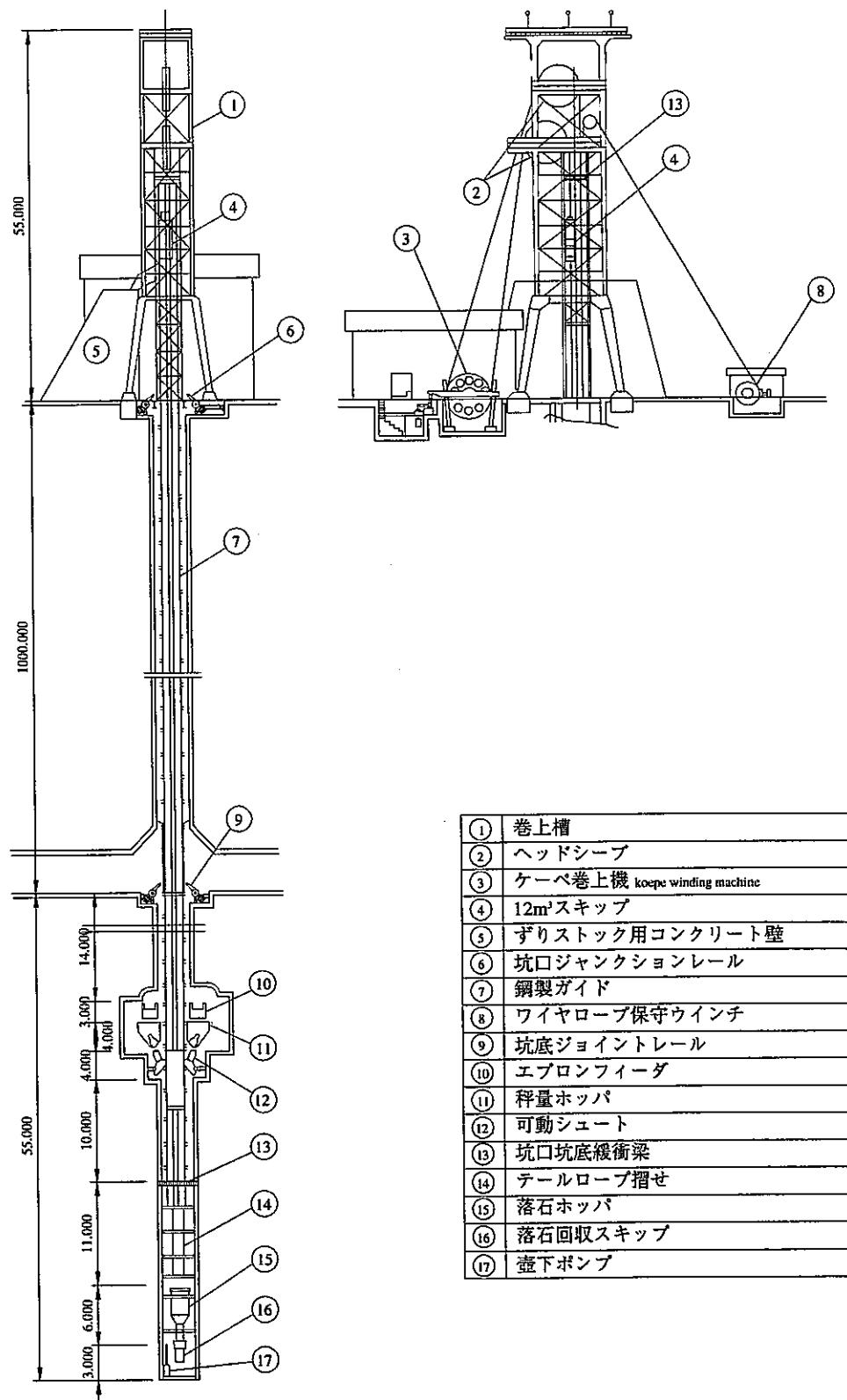


図4.2-3 硬岩系岩盤におけるずり搬出用立坑設備

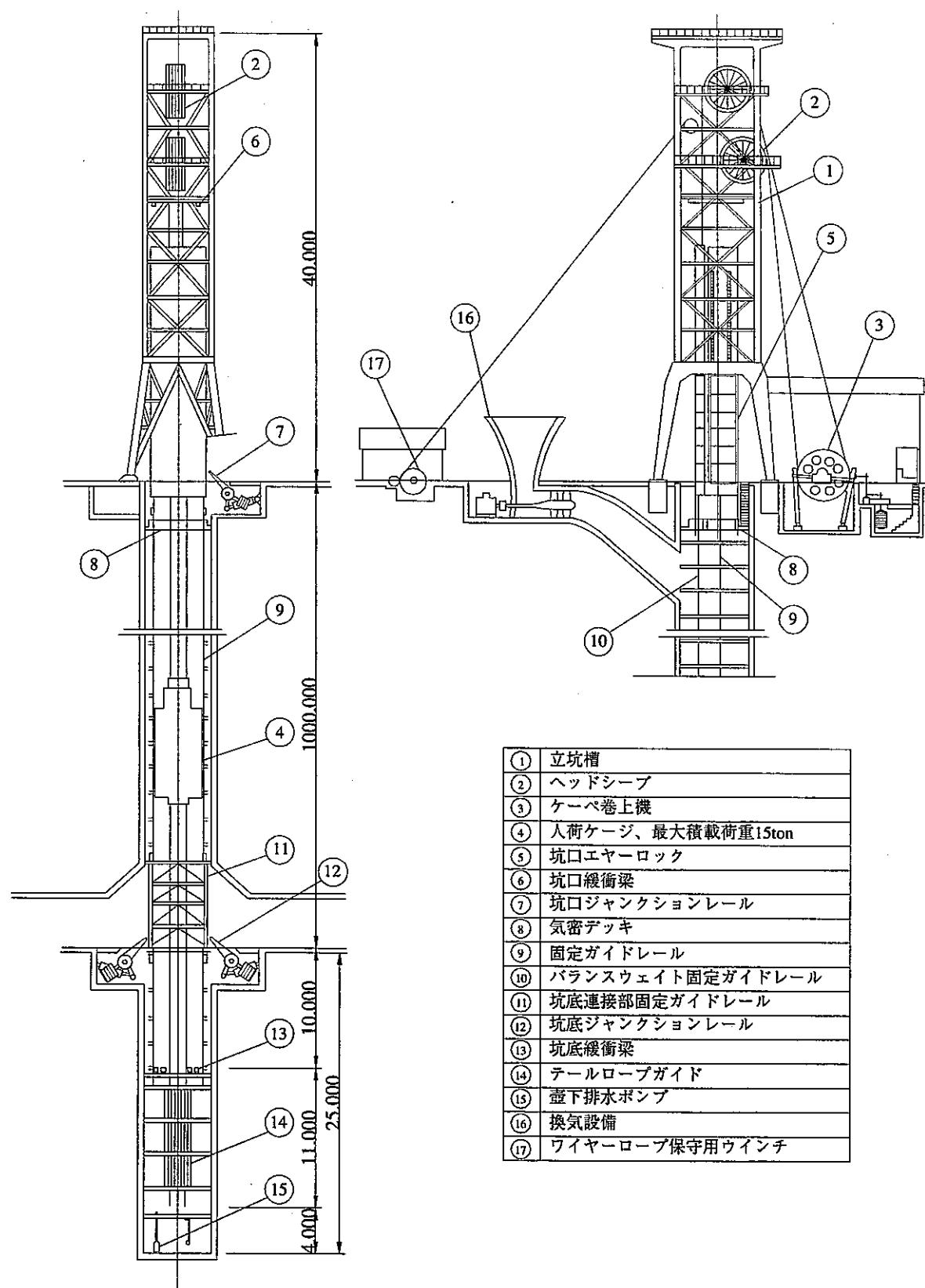


図4.2-4 硬岩系岩盤における人荷用立坑設備

- 40 -

番号	名 称	番号	名 称
1	ずり搬出用立坑	18	骨材ストックピン
2	人荷用立坑	19	骨材ストックピン
3	ケーベ巻上室	20	ストックコンベア
4	ロープ保守ワインチ	21	供給コンベア
5	給気ファン	22	グラウトプラント（セメント系）
6	圧縮機室	23	グラウトプラント（パ・けけ系）
7	クーリングタワー	24	原水槽
8	ジブクレーン（6t×30m）	25	PH処理槽
9	資材倉庫	26	シックナー
10	修理工場	27	フィルタープレス室
11	油脂類庫	28	特別高圧変電所
12	部品庫	29	変電所管理室
13	火工所	30	非常用電気設備
14	火薬取扱所	31	クーリングタワー
15	コンクリートプラント	32	屋外燃料タンク
16	セメントサイロ	33	ずりストックヤード（約5000m ² ）
17	骨材ストックピン		

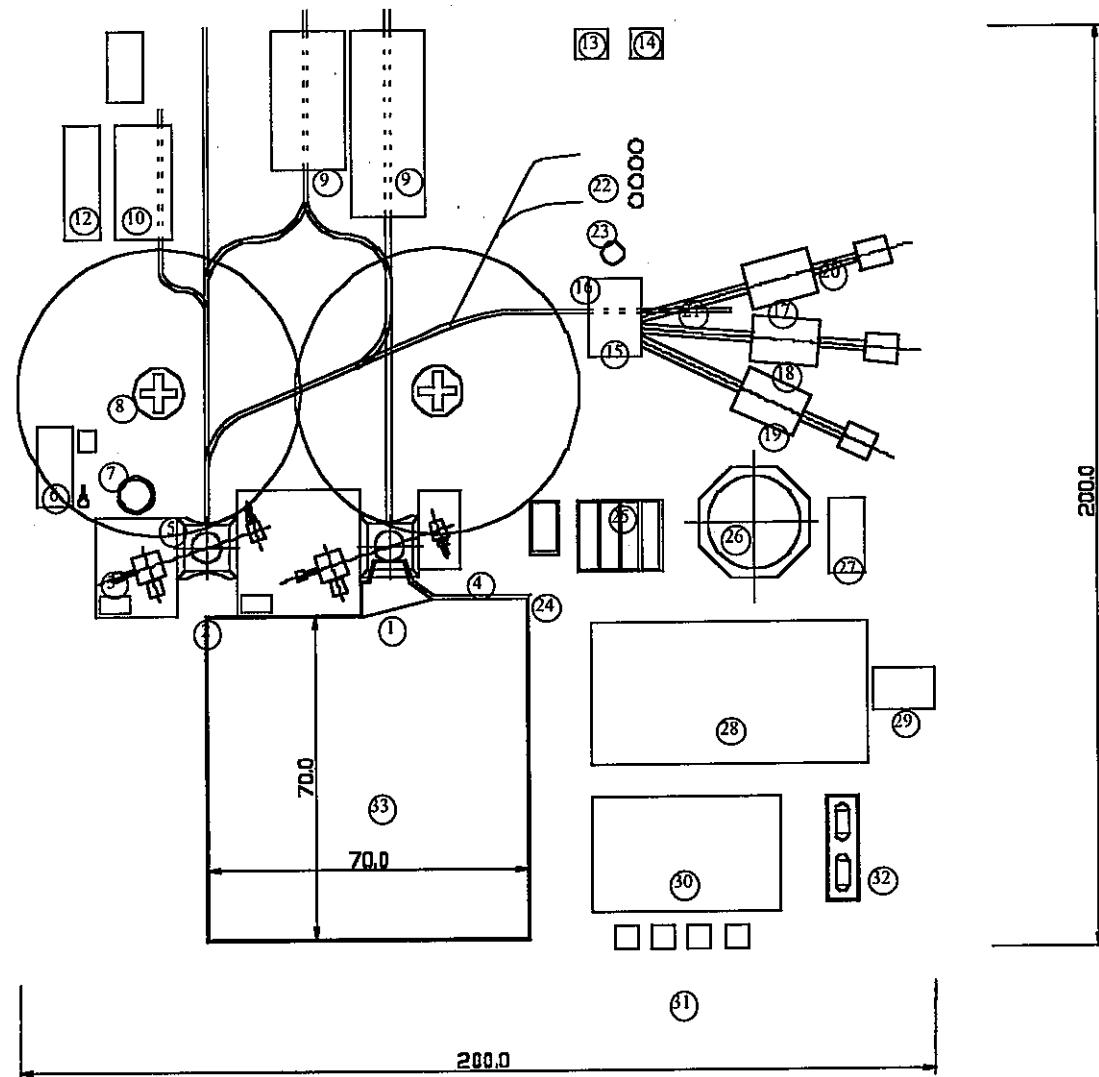


図 4.2-5 硬岩系岩盤における坑外設備の平面図

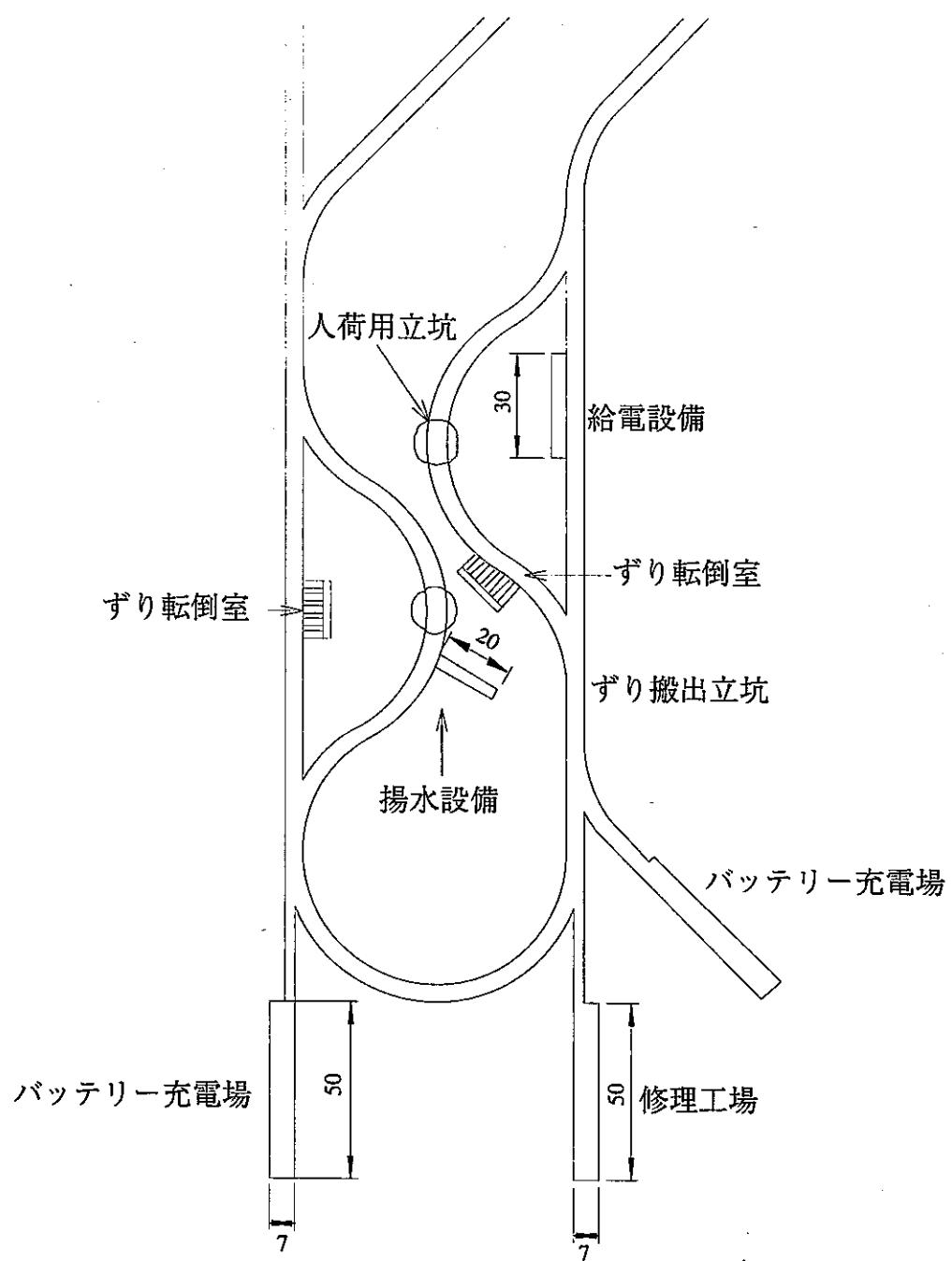


図4.2-6 建設用立坑連接部周辺所要設備例

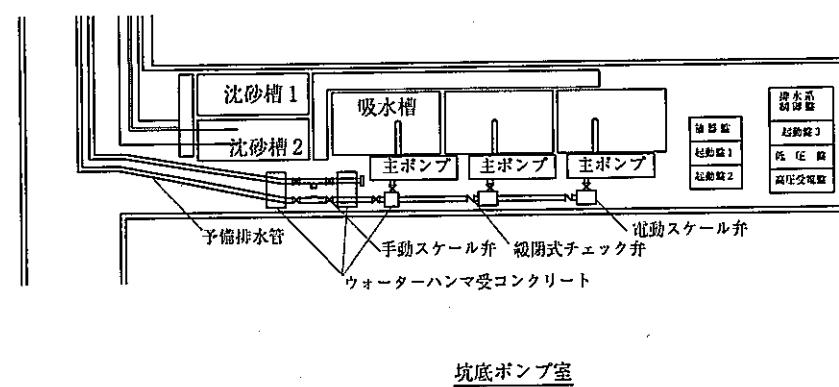
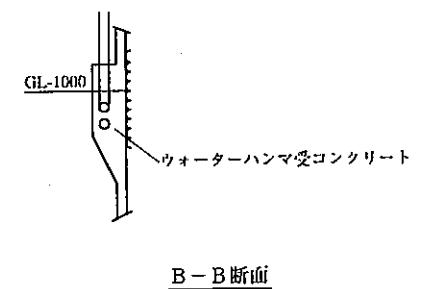
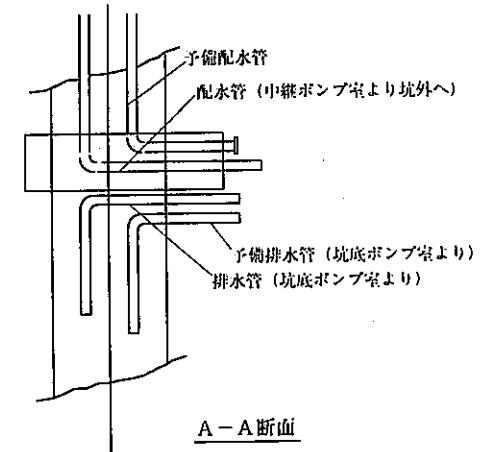
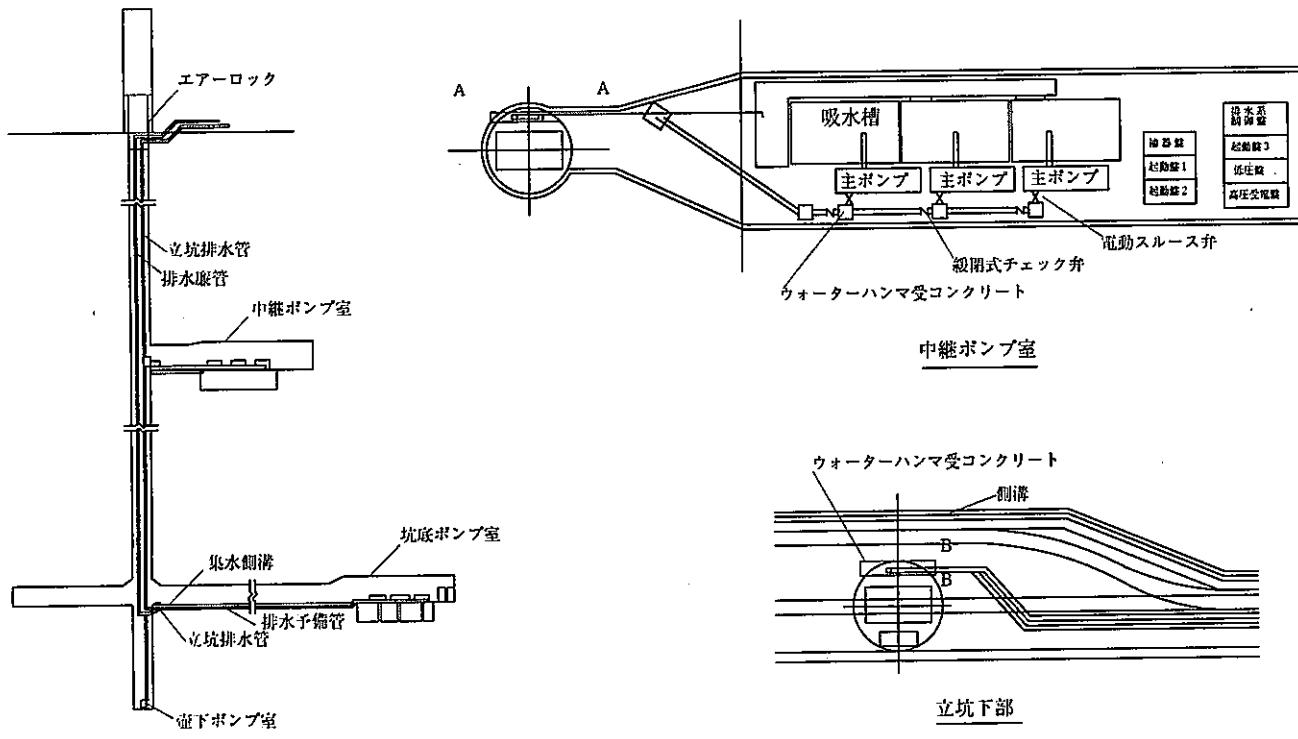


図4.2-7 揚水設備例 (硬岩系岩盤)

4.2.2 軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の建設

軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の施工フローを図 4.2-8 に示す。本施工フローにおいて、水平坑道掘削準備工事に関しては、硬岩系岩盤の場合と同様となることから、以下には、本工事に関する概要のみを示す。

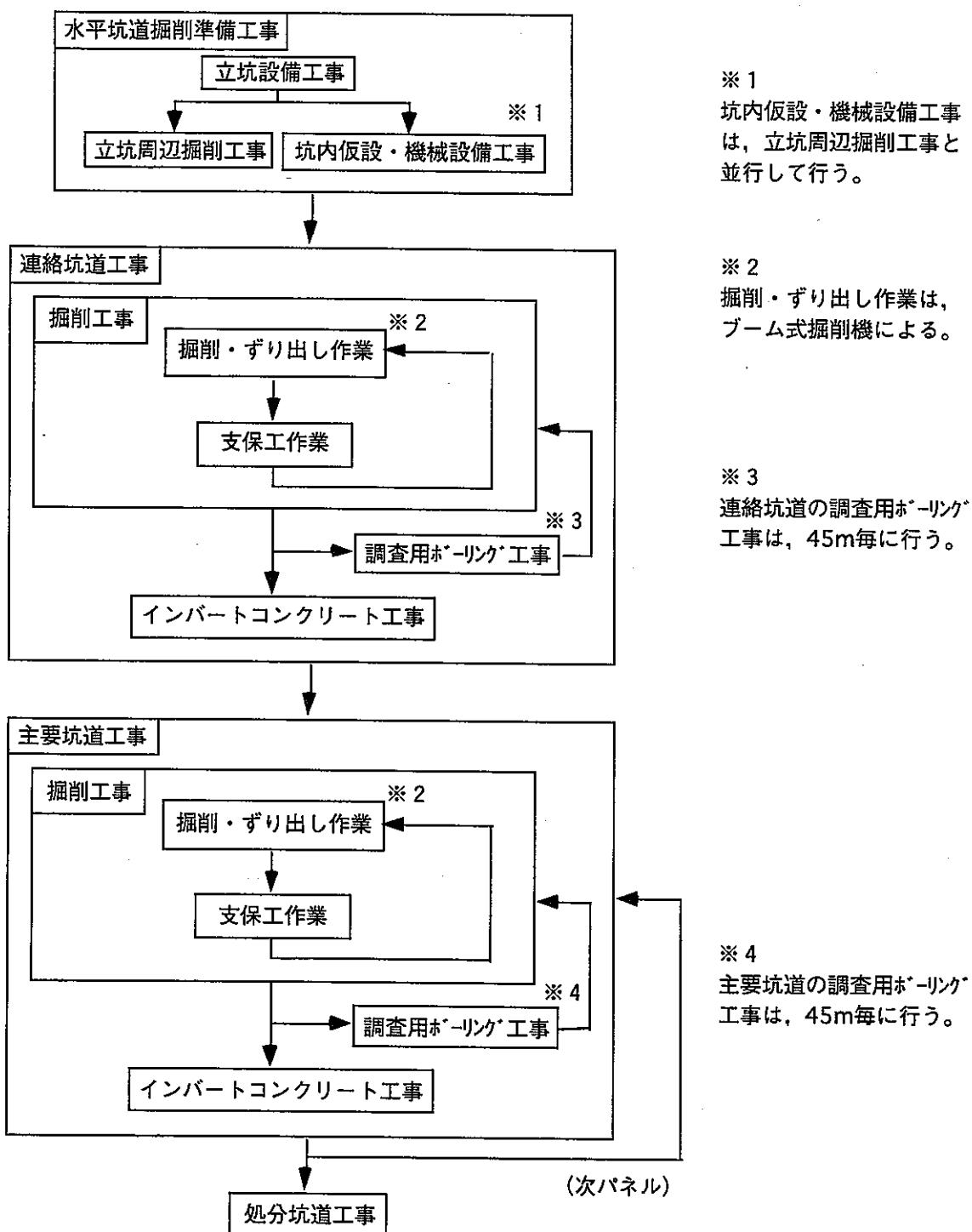


図 4.2-8 軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の施工フロー

(1) 主要・連絡坑道工事

4.1 で述べたとおり、基本施工法は表 4.2-2 のとおりである。

表 4.2-2 主要・連絡坑道の採用工法

掘削	加背割	支保・覆工	ずり運搬
自由断面掘削機工法	全断面工法	吹付けコンクリート	レール方式

1) 掘削工事

(a) 掘削、ずり積み込み

掘削は、クローラ式のブーム型機械掘削機により行う。1掘進長は 1.5m を標準とし、地山状況に応じ変更する。掘削されたずりの積込みは、掘削機に付属のずりかき寄せ装置及びベルトコンベアによって行う。

(b) ずり出し

ずりの運搬は 12m^3 のトレーン型シャトルカーを 2重または 3重連結したものを用いる。

2) 支保工工事

(a) 吹付コンクリート

吹付けコンクリートの施工は厚さ 50cm となるため、3回に分けて行う。

掘削、ずり出し後、直ちに一次吹付コンクリートの施工を行う。吹付コンクリートは作業の安全性、発生する粉塵等を考慮して、吹付ロボットによる湿式吹付方式とする。吹付ロボットはガントリージャンボに組み込み、レール移動式の吹付機によりコンクリートを切羽に圧送する。混練りされた吹付材料はアジテータカーにより吹付機まで運搬される。なお、断面の早期閉合を目的として、吹付コンクリートはインパート部にも施工される。

(b) 金網取付

一次吹付コンクリート完了後、金網の設置をガントリージャンボの上段フロア、可動式の中段フロアを足場として行う。この後、二次、三次吹付を行う。

(c) ロックボルト打設

油圧 2ブームガントリージャンボによりロックボルトの削孔を行う。削孔完了後、孔にモルタルを注入し、ロックボルトを打ち込む。

(d) 軌道設備敷設

支保工工事終了後、インパート吹き付けコンクリート上にずりを埋め戻し、盤を平坦にした上で軌道設備の敷設を行う。

3) インパートコンクリート工事

インパートコンクリート工事は掘削工事終了後に施工する。施工の手順は、軌道設備撤去、ずりさらい、盤ならし、型枠組、コンクリート打設、養生、軌道再敷設のサイクルである。コンクリートはアジテーラーカーで運搬しポンプで打設する。

図 4.2-9 に掘削、支保工事の施工順序図を示す。

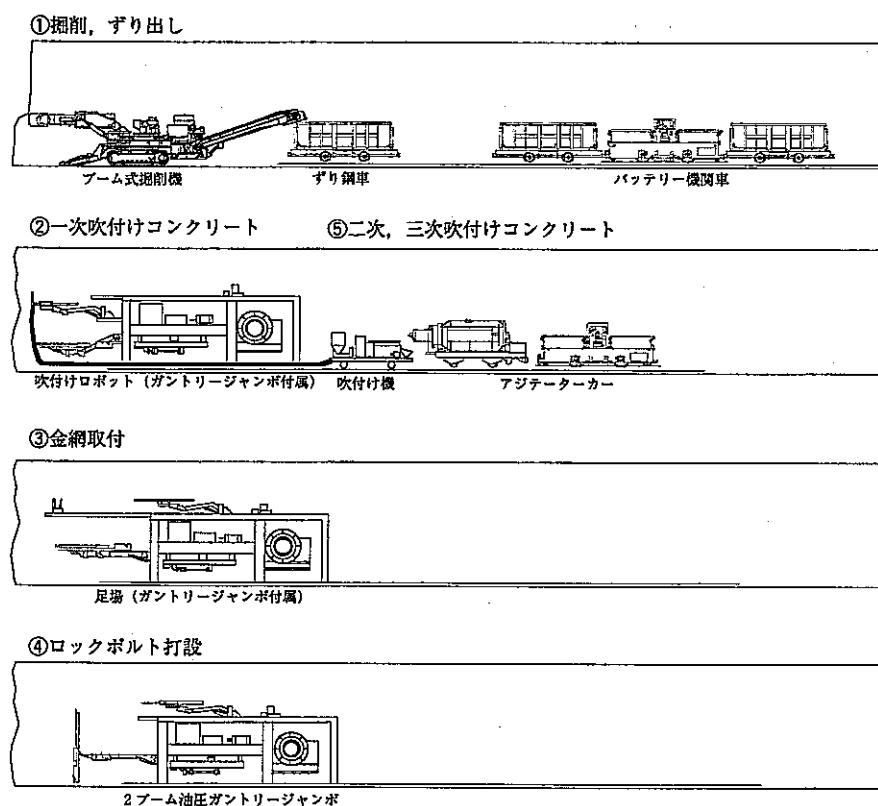


図 4.2-9 軟岩系岩盤における主要・連絡坑道の施工順序

4.2.3 その他

(1) 換気・排水設備

坑道掘削時においては、冷房、ガスの希釈、吹付け作業時の粉塵対策など、作業環境の保全のためには換気設備が必要となる（土木学会、1996）。これらの換気方式の選定、計画には、処分坑道の建設も考慮した全体系統的な検討が必要である。

坑道の換気・冷却対象として最大となる時点は、最終パネルを掘削している時点の最終段階である。したがって、その時点を対象に岩盤の放熱量を概算し、換気と冷房による対策について検討した。

以下に本検討で使用する記号と条件を示す。

①初期岩盤温度 (θ_s) ; 45°C

※地表付近の温度を 15°C とし、地熱の上昇は深さ方向に 3°C/100m とした場合の深さ 1,000m の地熱として設定

②坑内管理温度 (θ_t) ; 28°C

※労働安全衛生規則における、坑内作業温度に関する記述より設定

③岩盤から空気の熱伝導率 (α) ; 5kcal/m² h °C

④トンネル断面周長

・主要・連絡坑道 (U1) ; 17.85m

・処分坑道 (U2) ; 6.97m

⑤空気単位体積重量 (γ) ; 1.2kg/m³

⑥空気比熱 (Cp) ; 0.24kcal/kg °C

⑦内通気 1 年未満 (L₁) ; 4.315m (処分坑道 × 5 切羽)

⑧内通気 1 年以上 (L₂) ; 32,613m (建設用連絡坑道、主要坑道)

⑨換気量 (Q) ; 10,000m³/min = 6 × 10⁵m³/h

⑩送気温度 (θ_o) ; 15°C

※地表付近の温度を 15°C とし、地熱の上昇は深さ方向に 3°C/100m とした場合の深さ 1,000m の地熱として設定。

※労働安全衛生規則における、坑内作業温度に関する記述より設定。

坑道を掘削し通気開始後、坑内温度は時間とともに変化するが、一定期間経過後には、この変化は極めて小さいものとなる。すなわち、通気開始後 1~3 ヶ月で急激に変化し、1 年経過時点ではほぼ定常となる。ここで、掘削直後の岩盤からの放熱量 (q₁) は一般に次式で求められる。

$$q_1 = \alpha \cdot (\theta_s - \theta_t) \cdot u_2 \cdot L_1 \quad (4.2.3-1)$$

ここで、掘削後 1 年未満の岩盤からの放熱量を、(4.2.3-1)式により算出すると以下のようになる。

$$q_1 = 5 \cdot (45 - 28) \cdot 6.97 \cdot 4,315 = 2.56 \times 10^6 \text{ kcal/h} \quad (4.2.3-2)$$

また、掘削後 1 年以上経過した岩盤からの放熱量 (q₂) は、次式で求められる。

$$q_2 = 2.4 \cdot \alpha \cdot (\theta_s - \theta_t) \cdot L_2 \quad (4.2.3-3)$$

ここで、 θ_s は、初期岩盤温度 45°C よりも低下していると考えられるが、正確な

値が不明なことから、そのまま 45°C を採用して計算すると以下のようになる。

$$q_2 = 2.4 \cdot 5 \cdot (45 - 28) \cdot 32,613 = 6.65 \times 10^6 \text{ kcal/h} \quad (4.2.3-4)$$

したがって、岩盤からの総放熱量 (q_3) は

$$q_3 = q_1 + q_2 = (2.56 + 6.65) \times 10^6 = 9.21 \times 10^6 \text{ kcal/h} \quad (4.2.3-5)$$

となる。この地山の放熱量を換気と冷却により冷却するとして以下に検討する。

1) 換気による冷却効果

換気による冷却効果 (q_4) は次式で求められる。

$$q_4 = Q \cdot C_p \cdot (\theta_t - \theta_0) \cdot \gamma \quad (4.2.3-6)$$

$$q_4 = 6 \times 10^5 \cdot 0.24 \cdot (28 - 15) \cdot 1.2 = 2.25 \times 10^6 \text{ kcal/h} \quad (4.2.3-7)$$

この結果から、不足する冷却熱 (q_5) は、

$$q_5 = q_3 - q_4 = (9.21 - 2.25) \times 10^6 = 6.96 \times 10^6 \text{ kcal/h} \quad (4.2.3-8)$$

となる。

2) 冷房による対策

上記の計算による不足分 (q_5) を冷凍機によって補うものとする。冷凍機の一般使用である冷凍トン (RT) に換算すると (1RT=3024kcal/h),

$$6.96 \times 10^6 / 3024 = 2301 \text{ RT} \quad (4.2.3-9)$$

となることから、本能力をもつ冷凍機が必要となる。さらに、夏季の外気温が 30°C 程度になることを考慮すれば、これに加えて次式の冷却量 (q_6) が必要となる。

$$q_6 = 6 \times 10^5 \cdot 0.24 \cdot (30 - 15) \cdot 1.2 = 2.59 \times 10^6 \text{ kcal/h} = 856 \text{ RT} \quad (4.2.3-10)$$

図 4.2-10 に冷凍機による冷房システムの系統図を示す。なお、冷凍設備は基本的に坑外に設置することとする。

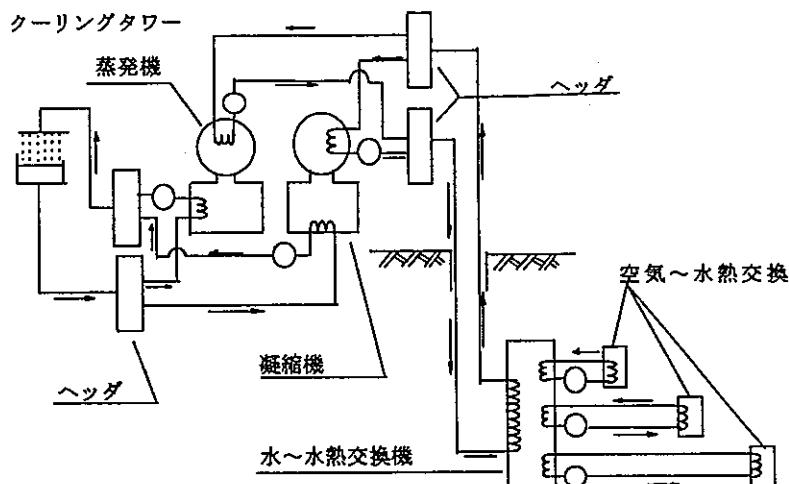


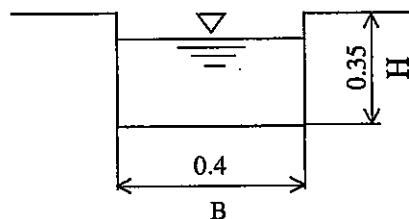
図 4.2-10 冷凍機による冷房システムの系統図概念

一方、坑内からの湧水、工事用水処理のためには排水設備が必要であり、坑道の勾配を利用した排水溝もしくは強制排水のための排水管を設ける必要がある（土木学会、1996；建設業労働災害防止協会、1992）。なお、主要・連絡坑道における排水設備の計画にあたっては、処分坑道からの排水量を考慮した計画が必要となる。

坑内の排水方式は、原則として湧水が坑道内を自然流下して立坑近辺の揚水ピットに流入する方式とする。排水のためには、坑道勾配は大きいほど良いが、レール方式による施工を考慮すると、勾配は 0.5~1.0%程度が望ましいと考えられる。ここでは、0.5%勾配を基本として、8m³/min 程度を流す排水溝の検討を行った。検討に際しては、下記に示す条件により、Manning の公式により流速を求め、排水溝の寸法を検討する。

(条件)

- ・排水量(Q) ; 8m³/min
- ・排水溝 ; U型コンクリートトラフ
- ・排水勾配 ; 0.5% (5/1000)



$$Q = V \cdot A \quad (4.2.3-11)$$

ここで、V は流速 [m/sec]、A は流路面積 [m²] である。

$$V = \left(\frac{1}{n} \right)^{\frac{2}{3}} \times m^{\frac{2}{3}} \times (i)^{-\frac{1}{2}} \quad (4.2.3-12)$$

ここで、

n : 壁面粗度係数 (=0.018)

$$m = \frac{B \cdot H}{B + 2H}$$

であるから、

$$V = \frac{1}{0.018} + \left(\frac{0.4 \times 0.35}{0.4 + 2 \times 0.35} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{5}{1000} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.9282 \text{ m/sec} = 55.692 \text{ m/min}$$
(4.2.3-13)

したがって、流量 Q は、

$$Q = B \times H \times V = 0.4 \times 0.35 \times 55.692 = 8 \text{ m}^3/\text{min}$$
(4.2.3-14)

となる。

したがって、排水が集中する連絡坑道立坑周辺部では、 $0.4\text{m} \times 0.4\text{m}$ コンクリートトラフによる排水溝とし、その他の主要・連絡坑道については、1 ランク下の $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ コンクリートトラフによる排水溝とする。なお、 $0.3\text{m} \times 0.3\text{m}$ の排水溝でも約 $3.5\text{m}^3/\text{min}$ の流量を処理できるため、能力的には十分である。

また、立坑及び水平坑道からの湧水は、全て立坑近辺の揚水ピットに集水し、揚水設備によって坑外に排水する。揚水設備の例は図 4.2-7 に示したとおりである。硬岩系岩盤における湧水条件は、立坑湧水を合計 $2\text{t}/\text{min}$ 、連絡坑道及び 1 パネル当たりからの湧水を $4\text{t}/\text{min}$ （設備は $8\text{t}/\text{min}$ ）とすると、揚水設備は合計 $10\text{t}/\text{min}$ のピット容量があれば可能である。ここでは、 $20\text{t} \times 3$ 槽程度を設置する計画とした。なお、硬岩系岩盤の場合、揚程が $1,000\text{m}$ となり、排水量の変動によるポンプの操作によるウォーターハンマーの衝撃を考慮すると、中継ポンプ設備を設置するのが妥当と考えられることから、深度 500m の位置に中継ポンプ室を設置する計画とした。

軟岩系岩盤の場合、立坑底部のピット容量及びピットの揚水能力は、 $8\text{t}/\text{m}^3$ 程度で設備すれば良いが、沈泥の量も多いため、余裕のあるピット容量が必要であり、一般的な工事実績等から判断して $25\text{t} \times 2$ 槽程度を設置する計画とした。

建設段階のパネルの換気、排水系統の例を図 4.2-11 に示す。換気系統としては、2 本の建設用立坑を排気用、入気用の立坑として用い、必要に応じて局所排気ファンや、連絡坑道に風門を設置することにより、一方向の循環換気（坑道換気法）が可能となる。また、排水については、坑道の勾配を利用して立坑坑底部への導水が可能となる。

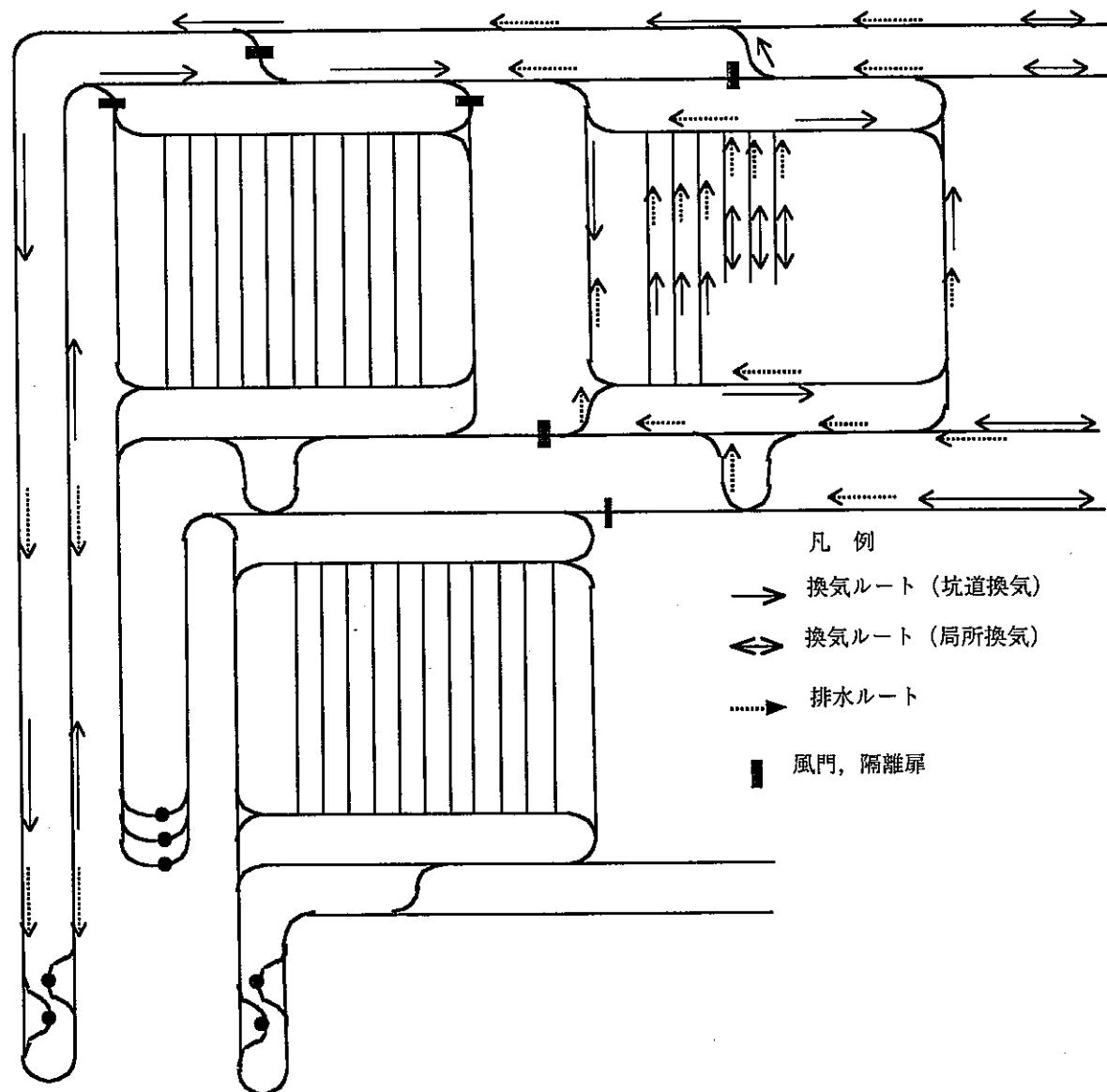


図 4.2-11 換気・排水系統の例

(2) 避難経路

坑内での緊急時に備えた避難経路の確保については、日本道路公団設計要領（日本道路公団、1997）によると 750m 以上の方交通の道路トンネルの計画では原則として、750m 間隔で避難坑への避難連絡坑を設けることとされている。また、日本トンネル技術協会 NATM における安全対策に関する報告書（日本トンネル技術協会、1985）によると、建設中の長大トンネルにおいては、坑内の大型マンホール、連絡坑、機材坑などを利用して緊急待避所をたとえば 1km 間隔に設けることが望ましいとされている。したがって、連絡坑道建設時は、2 本以上の坑道を併行して掘削し、アクセス坑道までの経路を複数確保する。また、主要坑道建設時において工程上、避難連絡坑の確保が困難な場合でも、緊急待避所を設けることが可能である。

4.3 数量及び機械設備

(1) 施工数量

主要・連絡坑道及び処分坑道を含めた水平坑道の施工数量を硬岩系及び軟岩系岩盤ごとに以下に示す。

1) 硬岩系岩盤

豎置き方式及び横置き方式の場合の掘削数量及び支保工数量を表 4.3-1～表 4.3-4 に示す。

表 4.3-1 水平坑道の掘削数量（硬岩系岩盤、豎置き方式）

	単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道	合計
設計掘削断面積	m ²	22.96	22.96	22.96	—
掘削断面積（含余掘）	m ²	25.62	25.62	25.62	—
単位延長当たりずり体積	m ³	46.116	46.116	46.116	—
1 パネル当たり数量					
施工延長	m		3,684	31,161	34,845
設計地山掘削量	m ³	—	84,585	715,457	800,041
地山掘削量（含余掘）	m ³	—	94,384	798,345	892,729
ずり体積	m ³	—	169,891	1,437,021	1,606,912
処分場総数量					
施工延長	m	52,669	22,102	186,966	261,737
設計地山掘削量	m ³	1,209,280	507,462	4,292,739	6,009,482
地山掘削量（含余掘）	m ³	1,349,380	566,253	4,790,069	6,705,702
ずり体積	m ³	2,428,884	1,019,256	8,622,124	12,070,263

注1) 余掘は、発破工法で20cmとする。

注2) ずりの体積変化率は発破で1.8とする。

表 4.3-2 水平坑道の掘削数量（硬岩系岩盤、横置き方式）

	単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道		合計
				すりつけ部	本坑道	
設計掘削断面積	m ²	22.96	22.96	22.96	3.870	—
掘削断面積（含余掘）	m ²	25.62	25.62	25.62	4.011	—
単位延長当たりずり体積	m ³	46.116	46.116	46.116	6.819	—
1 パネル当たり数量						
施工延長	m	-	2,933	1,360	21,565	25,858
設計地山掘削量	m ³	—	67,342	31,226	83,457	182,024
地山掘削量（含余掘）	m ³	—	75,143	34,843	86,497	196,484
ずり体積	m ³	—	135,258	62,718	147,045	345,021
処分場総数量						
施工延長	m	47,621	17,598	8,160	129,390	155,148
設計地山掘削量	m ³	1,093,378	404,050	187,354	500,739	2,185,521
地山掘削量（含余掘）	m ³	1,220,050	450,861	209,059	518,983	2,398,953
ずり体積	m ³	2,196,090	811,549	376,307	882,272	4,266,218

注 1) 吹付けコンクリートの材料準備量は、補正係数 K=2.6 として算出する。

表 4.3-3 水平坑道の支保工数量（硬岩系岩盤、豎置き方式）

支保工区分		単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道	合計
単位 延長 当り 数量	吹付け コンクリート	設計 (t=5cm)	m ²	12.853	12.853	12.853
		材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	1.671	1.671	1.671
	インパート	設計(t=15cm)	m ³	0.750	0.750	0.750
		施工予定量(t=20cm)	m ³	1.000	1.000	1.000
		ロックボルト(L=3.0m)	本	6.000	6.000	6.000
一 パ ネ ル 当 り 数 量	施工延長		m	—	3,684	31,161
	吹付け コンクリート	設計 (t=5cm)	m ²	—	47,350	400,512
		材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	—	6,156	52,067
	インパート	設計(t=15cm)	m ³	—	2,763	23,371
		施工予定量(t=20cm)	m ³	—	3,684	31,161
		ロックボルト(L=3.0m)	本	22,104	186,966	209,070
処 分 場 総 数	施工延長		m	52,669	22,104	186,966
	吹付け コンクリート	設計 (t=5cm)	m ²	676,955	284,103	2,403,074
		材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	88,004	36,933	312,400
	インパート	設計(t=15cm)	m ³	39,502	16,578	140,225
		施工予定量(t=20cm)	m ³	52,669	22,104	186,966
		ロックボルト(L=3.0m)	本	316,014	132,624	1,121,796
交差部補強ボルト						
単数	主要ー処分坑道交点補強	本/m	—	6.000	6.000	—
位量	連絡坑道交点補強	本/箇所	292	—	—	—
1 ル パ当 ネリ	施工延長	m	—	1,083	1,131	—
	主要ー処分坑道交点補強	本	—	6,498	6,786	13,284
	連絡坑道交点補強	—	—	—	—	—
処 分 場	施工延長	m	118(箇所)	6,498	6,786	—
	主要ー処分坑道交点補強	本	—	38,988	40,716	79,704
	連絡坑道交点補強	本	34,456	—	—	34,456

注) 吹付けコンクリートの材料準備量は補正係数 K=2.6 として算出する。

表 4.3-4 水平坑道の支保工数量（硬岩系岩盤、横置き方式）

支保工区分			単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道		合計
						すりつけ部	本坑道	
単当 位り 延数 長量	吹付	設計(t=5cm)	m ²	12.853	12.853	12.853	—	—
	けコンクリート	材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	1.671	1.671	1.671	—	—
	インバート	設計(t=15cm)	m ³	0.750	0.750	0.750	—	—
	トコンクリート	施工予定量 (t=20cm)	m ³	1.000	1.000	1.000	—	—
	ロックボルト(L=3.0m)	本	6.000	6.000	6.000	—	—	—
1 当 バリ ネ数 ル量	施工延長			m	—	2,933	1,360	21,565
	吹付	設計(t=5cm)	m ²	—	37,698	17,480	—	55,178
	けコンクリート	材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	—	4,901	2,273	—	7,174
	インバート	設計(t=15cm)	m ³	—	2,200	1,020	—	3,220
	トコンクリート	施工予定量 (t=20cm)	m ³	—	2,933	1,360	—	4,293
	ロックボルト(L=3.0m)	本	—	17,598	8,160	—	25,758	—
処分場 総量	施工延長			m	47,621	17,598	8,160	129,390
	吹付	設計(t=5cm)	m ²	—	226,187	104,880	—	331,068
	けコンクリート	材料準備量 (t=9cm, K=2.6)	m ³	79,575	29,406	13,635	—	122,616
	インバート	設計(t=15cm)	m ³	35,716	13,199	6,120	—	55,034
	トコンクリート	施工予定量 (t=20cm)	m ³	47,621	17,598	8,160	—	73,379
	ロックボルト(L=3.0m)	本	285,726	105,588	48,960	—	440,274	—
交差部補強ボルト								
単数 位量	主要-処分坑道交点補強		本/m	—	6.000	6.000	-	-
	連絡坑道交点補強		本/箇所	292	—	—	-	-
1 ル バ当 ネり	施工延長		m	—	904	860	-	-
	主要-処分坑道交点補強		本	—	5,424	5,160	-	10,584
	連絡坑道交点補強		—	—	—	—	-	-
処 分 場	施工延長		m	110(箇所)	5,424	5,160	-	-
	主要-処分坑道交点補強		本	—	32,544	30,960	-	63,504
	連絡坑道交点補強		本	32,120	—	—	-	32,120

注) 吹付けコンクリートの材料準備量は補正係数 K=2.6 として算出する。

2) 軟岩系岩盤

豎置き方式及び横置き方式の場合の掘削数量及び支保工数量を表 4.3-5～表 4.3-8 に示す。

表 4.3-5 水平坑道の掘削数量（軟岩系岩盤、豎置き方式）

	単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道	合計
設計掘削断面積	m ²	26.98	26.98	26.98	-
掘削断面積（含余堀）	m ²	29.40	29.40	29.40	-
単位延長当たりずり体積	m ³	49.980	49.980	49.980	-
1パネル当たり数量					
施工延長	m		4,030	47,000	51,030
設計地山掘削量	m ³	-	108,716	1,268,060	1,376,776
地山掘削量（含余堀）	m ³	-	118,467	1,381,800	1,500,267
ずり体積	m ³	-	201,394	2,349,060	2,550,454
処分場総数量					
施工延長	m	48,679	24,177	282,000	306,177
設計地山掘削量	m ³	1,313,351	652,295	7,608,360	9,574,007
地山掘削量（含余堀）	m ³	1,431,154	710,804	8,290,800	10,432,758
ずり体積	m ³	2,432,961	1,208,366	14,094,360	17,735,688

注1) 余堀は17cmとする。また、ずりの体積変化率は1.7とする。

注2) パネルは2タイプがある。表中の主要坑道は1パネル当たり数量はその平均値で示す。

表 4.3-6 水平坑道の掘削数量（軟岩系岩盤、横置き方式）

	単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道		合計
				すりつけ部	本坑道	
設計掘削断面積	m ²	26.98	26.98	26.98	4.600	-
掘削断面積（含余堀）	m ²	29.40	29.40	29.40	4.600	-
単位延長当たりずり体積	m ³	49.980	49.980	49.980	7.820	-
1パネル当たり数量						
施工延長	m	-	2,908	1,890	21,865	26,663
設計地山掘削量	m ³	-	78,458	50,992	100,579	230,029
地山掘削量（含余堀）	m ³	-	85,495	55,566	100,579	241,640
ずり体積	m ³	-	145,342	94,462	170,984	410,788
処分場総数量						
施工延長	m	32,346	17,448	11,340	131,190	159,978
設計地山掘削量	m ³	872,695	470,747	305,953	603,474	2,252,869
地山掘削量（含余堀）	m ³	950,972	512,971	333,396	603,474	2,400,814
ずり体積	m ³	1,616,653	872,051	566,773	1,025,906	4,081,383

注1) 余堀は17cmとする。また、ずりの体積変化率は1.7とする。

注2) パネルは2タイプがある。表中の主要坑道は1パネル当たり数量はその平均値で示す。

表 4.3-7 水平坑道の支保工数量（軟岩系岩盤、豎置き方式）

支保工区分			単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道	合計	
単位延長当り数量	吹付け コンクリート	設計 (t=50cm)	m ²	15.465	15.465	15.465	—	
		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	16.238	16.238	16.238	—	
	インバート コンクリート	設計	m ³	1.990	1.990	1.990	—	
		施工予定量	m ³	2.120	2.120	2.120	—	
ロックボルト (L=3.0m)			本	7.333	7.333	7.333	—	
一パネル当り数量	施工延長		m	—	4,030	47,000	51,030	
	吹付け コンクリート	設計 (t=50cm)	m ²	—	62,324	726,855	789,179	
		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	—	65,440	763,198	828,638	
	インバート コンクリート	設計	m ³	—	8,020	93,530	101,550	
		施工予定量	m ³	—	8,544	99,640	108,184	
ロックボルト (L=3.0m)			本		29,552	344,651	374,203	
処分場総量	施工延長		m	48,679	24,177	282,000	354,856	
	吹付け コンクリート	設計 (t=50cm)	m ²	752,821	373,897	4,361,130	5,487,848	
		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	790,462	392,592	4,579,187	5,762,240	
	インバート コンクリート	設計	m ³	96,871	48,112	561,180	706,163	
		施工予定量	m ³	103,199	51,525	597,840	752,295	
ロックボルト (L=3.0m)			本	356,963	177,312	2,067,906	2,602,181	
交差部補強ボルト								
単位 数量	主要一処分坑道交点補強		本/m	—	7.333	7.333		
	連絡坑道交点補強		本/箇所	357	—	—		
1 パ ネ ル 当 り	施工延長		m	—	1,914	1,700		
	主要一処分坑道交点補強		本	—	14,035	12,466	26,501	
	連絡坑道交点補強		—	—	—	—		
処 分 場 総 量	施工延長		m	87(箇所)	11,484	10,200		
	主要一処分坑道交点補強		本	—	84,210	74,796	159,006	
	連絡坑道交点補強		本	31,059	—	—	31,059	

注1) 吹付けコンクリートの材料準備量は、補正係数 K=2.1 として算出する。

注2) パネルは2タイプがある。表中の主要坑道1パネル当り数量はその平均値で示す。

表 4.3-8 水平坑道の支保工数量（軟岩系岩盤、横置き方式）

支保工区分		単位	連絡坑道	主要坑道	処分坑道		合計
					すりつけ部	本坑道	
単位延長当り数量	吹付けコンクリート	設計 (t=50cm)	m ²	15.465	15.465	15.465	-
		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	16.238	16.238	16.238	-
	インバート	設計	m ³	1.990	1.990	1.990	-
	コンクリート	施工予定量	m ³	2.120	2.120	2.120	-
	ロックボルト (L=3.0m)	本		7.333	7.333	7.333	-
	コンクリートセグメント	リンク		-	-	-	1.333
	施工延長	m		-	2,908	1,890	21,865
	吹付けコンクリート	設計 (t=50cm)	m ²	-	44,972	29,229	-
		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	-	47,221	30,690	-
	インバート	設計	m ³	-	5,787	3,761	-
1パネル当り数量	コンクリート	施工予定量	m ³	-	6,165	4,007	-
	ロックボルト (L=3.0m)	本		-	21,324	13,859	-
	コンクリートセグメント	リンク		-	-	-	29,153
	施工延長	m		32,346	17,448	11,340	131,190
	吹付けコンクリート	設計 (t=5cm)	m ²	500,231	269,833	175,373	-
処分場総量		材料準備量 (t=55cm, K=2.1)	m ³	525,242	283,325	184,142	-
	インバート	設計	m ³	64,369	34,722	22,567	-
	コンクリート	施工予定量	m ³	68,574	36,990	24,041	-
	ロックボルト (L=3.0m)	本		237,193	127,944	83,154	-
	コンクリートセグメント	リンク		-	-	-	174,916
	施工延長	m		32,346	17,448	11,340	131,190
交差部補強ボルト	主要—処分坑道交点補強	本/m	-	7.333	7.333	-	-
	連絡坑道交点補強	本/箇所	357	-	-	-	-
	施工延長	m	-	1,431	1,190	-	-
1パネル当り	主要—処分坑道交点補強	本	-	10,494	8,726	-	19,220
	連絡坑道交点補強	-	-	-	-	-	-
処分場総量	施工延長	m	83(箇所)	8,586	7,140	-	-
	主要—処分坑道交点補強	本	-	62,964	52,356	-	115,320
	連絡坑道交点補強	本	26,931	-	-	-	26,931

注1) 余堀は17cmとする。また、すりの体積変化率は1.7とする。

注2) パネルはタイプがある。表中の主要坑道1パネル当り数量はその平均値で示す。

(2) 使用機械・設備

主要・連絡坑道及び処分坑道を含めた水平坑道建設に用いる主要な機械及び設備を硬岩系及び軟岩系岩盤ごとに以下に示す。

1) 硬岩系岩盤

水平坑道建設に必要な坑外設備及び立坑設備を表 4.3-9 に示す。また、水平坑道工事に関わる主要機械及び設備を豎置きケースについて表 4.3-10 に、横置きケースについて表 4.3-11 に示す。

表 4.3-9 坑外及び立坑設備 (硬岩系岩盤)

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
坑外設備	<u>電気設備</u> 特別高圧受変電 非常用電気設備 <u>給気設備</u> コンプレッサー <u>荷役設備</u> ジブクレーン <u>給水設備</u> 給水ポンプ <u>換気設備</u> 給気ファン <u>濁水処理設備</u> 原水槽 pH処理槽 シックナー フィルタープレス <u>コンクリート設備</u> 全自動バッチャープラント セメントサイロ 骨材ピン	式 式 台 台 台 台 台 基 基 基 台 基 台 基	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3	予備発電機 6t×30m 10000m ³ /min 50m ³ /h 50t 300m ³ ×3
立坑設備 (ずり出し立坑)	立坑櫓本体 スキップ ケーベ巻上機 ガイドレール ワイヤロープ保守ウインチ 坑口・坑底ジャンクションレール エプロンフィーダ 秤量ホッパ 可動シート 落石ホッパ 落石回収スキップ 壺下ポンプ	式 台 台 式 台 式 台 台 台 台 台 台 台 台 台	1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1	高さ 55m, ヘッドシープ×4 12m ³ 2400kw, v=720m/min
立坑設備 (人荷用立坑)	立坑櫓本体 人荷ケージ 坑口エアロック ケーベ巻上機 ワイヤロープ保守ウインチ 固定ガイドレール バランスウェイト 気密デッキ 壺下ポンプ	式 台 式 台 台 式 台 式 台 式 台 台 台 台	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	高さ 40m, ヘッドシープ×6 最大積載荷重 15t, 2.5×5×14m 300kw, v=900m/min
坑内設備	<u>揚水設備</u> 揚水ポンプ <u>ずりはね設備</u> ずり転倒設備 <u>充電設備</u> バッテリー充電場 <u>坑内電気設備</u> 受変電設備	台 式 式 式 式	6 1 1 1	-500m 地点での中継ポンプ含む

表 4.3-10 水平坑道工事主要機械及び設備（硬岩系岩盤、豎置き方式）

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
連絡坑道工事	<u>掘削設備</u> レール油圧式2ブーム	台	5	トリフク重量 150kg 級
	<u>ずり出し設備</u> シャフローダー	台	5	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	5	0.35m ³ (コック, 盤整形)
	ずり運搬設備	セット	10	12m ³ シャトルカー×3台+12tハッタリー機関車×1台
	<u>吹付け設備</u> 吹付け機	台	5	吹付けボット一体型
	材料運搬設備	セット	5	6m ³ アシテーカー+12tハッタリー機関車
	<u>インバートコンクリート</u> コンクリートポンプ	台	5	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	10	6m ³ アシテーカー+12tハッタリー機関車
	<u>切羽前方探査</u> ロータリーホーリングマシン	台	2	
	TSP	セット	1	
主要坑道工事	<u>掘削設備</u> レール油圧式2ブーム	台	2	トリフク重量 150kg 級
	<u>ずり出し設備</u> シャフローダー	台	2	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	2	0.35m ³ (コック, 盤整形)
	ずり運搬設備	セット	4	12m ³ シャトルカー×3台+12tハッタリー機関車×1台
	<u>吹付け設備</u> 吹付け機	台	2	吹付けボット一体型
	材料運搬設備	セット	2	6m ³ アシテーカー+12tハッタリー機関車
	<u>インバートコンクリート</u> コンクリートポンプ	台	2	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	4	6m ³ アシテーカー+12tハッタリー機関車
	<u>切羽前方探査</u> ロータリーホーリングマシン	台	1	
	TSP	セット	1	
処分坑道工事	<u>掘削設備</u> レール油圧式2ブーム	台	10	トリフク重量 150kg 級
	<u>ずり出し設備</u> シャフローダー	台	10	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	10	0.35m ³ (コック, 盤整形)
	ずり運搬設備	セット	20	12m ³ シャトルカー×3台+12tハッタリー機関車×1台
	<u>インバートコンクリート</u> コンクリートポンプ	台	10	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	20	6m ³ アシテーカー+12tハッタリー機関車

表 4.3-11 水平坑道工事主要機械及び設備（硬岩系岩盤、横置き方式）

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
連絡坑道工事	<u>掘削設備</u>			
	レール油圧式 2 ブーム	台	5	トリフタ重量 150kg 級
	<u>すり出し設備</u>			
	シャフローダー	台	5	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	5	0.35m ³ (コク, 盤整形)
	すり運搬設備	セット	10	12m ³ シャトルカー×3 台+12tハッテリー機関車×1 台
	<u>吹付け設備</u>			
	吹付け機	台	5	吹付け吹付一体型
	材料運搬設備	セット	5	6m ³ アシテータカー+12tハッテリー機関車
	<u>インパートコンクリート</u>			
主要坑道工事	コンクリートポンプ	台	5	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	10	6m ³ アシテータカー+12tハッテリー機関車
	<u>切羽前方探査</u>			
	ローカリーホーリングマシン	台	2	
	TSP	セット	1	
	<u>掘削設備</u>			
	レール油圧式 2 ブーム	台	2	トリフタ重量 150kg 級
	<u>すり出し設備</u>			
	シャフローダー	台	2	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	2	0.35m ³ (コク, 盤整形)
処分坑道工事 (本体部)	すり運搬設備	セット	4	12m ³ シャトルカー×3 台+12tハッテリー機関車×1 台
	<u>吹付け設備</u>			
	吹付け機	台	2	吹付け吹付一体型
	材料運搬設備	セット	2	6m ³ アシテータカー+12tハッテリー機関車
	<u>インパートコンクリート</u>			
	コンクリートポンプ	台	2	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	4	6m ³ アシテータカー+12tハッテリー機関車
	<u>切羽前方探査</u>			
	ローカリーホーリングマシン	台	1	
	TSP	セット	1	
処分坑道工事 (すりつけ)	<u>TBM</u>			
	掘削機	台	5	φ 2.220
	後方台車設備	セット	5	油圧, 電気設備, 運転席等
	<u>すり出し設備</u>			
	すり運搬設備	セット	10	12m ³ シャトルカー×3 台+12tハッテリー機関車
	すり仮置設備	台	5	12m ³ シャトルカー×2 台
	<u>掘削設備</u>			
	レール油圧式 2 ブーム	台	5	トリフタ重量 150kg 級
	<u>すり出し設備</u>			
	シャフローダー	台	5	KL-20 クラス
	油圧ショベル	台	5	0.35m ³ (コク, 盤整形)
	すり運搬設備	セット	10	12m ³ シャトルカー×3 台+12tハッテリー機関車×1 台
	<u>インパートコンクリート</u>			
	コンクリートポンプ	台	5	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	10	6m ³ アシテータカー+12tハッテリー機関車

(2) 軟岩系岩盤

水平坑道建設に必要な坑外設備及び立坑設備を表 4.3-12 に示す。また、水平坑道工事に関わる主要機械及び設備を堅置き方式について表 4.3-13 に、横置き方式について表 4.3-14 に示す。

表 4.3-12 坑外設備及び立坑設備（軟岩系岩盤）

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
坑外設備	電気設備 特別高圧受変電 非常用電気設備 <u>給気設備</u> コンプレッサー <u>荷役設備</u> ジブクレーン <u>給水設備</u> 給水ポンプ <u>換気設備</u> 給気ファン <u>濁水処理設備</u> 原水槽 pH処理槽 シックナー フィルタープレス <u>コンクリート設備</u> 全自動バッチャープラント セメントサイロ 骨材ビン	式 式 台 台 台 台 台 基 基 基 基 台 基 台 基	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 3	予備発電機 6t×30m 10000m ³ /min 50m ³ /h 50t 300m ³ ×3
立坑設備 (ずり出し立坑)	立坑櫓本体 スキップ ケーベ巻上機 ガイドレール ワイヤープロテクションレール 坑口・坑底ジヤングショーンレール エプロンフィーダ 秤量ホッパ 可動シート 落石ホッパ 落石回収スキップ 壺下ポンプ	式 台 台 式 台 式 台 台 台 台 台 台 台 台 台	1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1	高さ 55m, ヘッドシープ×4 12m ³ 2400kw, v=720m/min
立坑設備 (人荷用立坑)	立坑櫓本体 人荷ケージ 坑口エアロック ケーベ巻上機 ワイヤープロテクションレール 固定ガイドレール バランスウェイト 気密デッキ 壺下ポンプ	式 台 式 台 式 台 式 台 式 台 台	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	高さ 40m, ヘッドシープ×6 最大積載荷重 15t, 2.5×5×14m 300kw, v=900m/min
坑内設備	揚水設備 揚水ポンプ <u>ずりはね設備</u> ズリ転倒設備 <u>充電設備</u> バッテリー充電場 坑内電気設備 受変電設備	台 式 式 式 式	3 1 1 1	

表 4.3-13 水平坑道工事主要機械及び設備（軟岩系岩盤、豎置き方式）

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
連絡坑道工事	<u>掘削設備</u>			
	ブーム式機械掘削機	台	4	S-90 クラス
	油圧ショベル	台	4	0.35m ³ (コソク, 盤整形)
	<u>ずり出し設備</u>			
	ずり運搬設備	セット	8	12m ³ シャトルカーアリ × 3 台 + 12t ハッテリー機関車 × 1 台
	<u>吹付設備</u>			
	吹付機	台	4	アリバ 280
	吹付ロボット	台	4	(シヤンボ備付)
	材料運搬設備	セット	4	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車
	<u>ロックボルト打設</u>			
	2ブーム油圧ガントリージャンボ	台	4	HD-135 × 2
	<u>インパートコンクリート</u>			
	コンクリートポンプ	台	4	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	8	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車
	<u>先進ボーリング</u>			
	ローラーポーリングマシン	台	2	
主要坑道工事	<u>掘削設備</u>			
	ブーム式機械掘削機	台	2	S-90 クラス
	油圧ショベル	台	2	0.35m ³ (コソク, 盤整形)
	<u>ずり出し設備</u>			
	ずり運搬設備	セット	4	12m ³ シャトルカーアリ × 3 台 + 12t ハッテリー機関車 × 1 台
	<u>吹付設備</u>			
	吹付機	台	2	アリバ 280
	吹付ロボット	台	2	(シヤンボ備付)
	材料運搬設備	セット	2	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車
	<u>ロックボルト打設</u>			
	2ブーム油圧ガントリージャンボ	台	2	HD-135 × 2
	<u>インパートコンクリート</u>			
	コンクリートポンプ	台	2	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	4	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車
	<u>先進ボーリング</u>			
	ローラーポーリングマシン	台	2	
処分坑道工事	<u>掘削設備</u>			
	ブーム式機械掘削機	台	13	S-90 クラス
	油圧ショベル	台	13	0.35m ³ (コソク, 盤整形)
	<u>ずり出し設備</u>			
	ずり運搬設備	セット	26	12m ³ シャトルカーアリ × 3 台 + 12t ハッテリー機関車 × 1 台
	<u>吹付設備</u>			
	吹付機	台	13	アリバ 280
	吹付ロボット	台	13	(シヤンボ備付)
	材料運搬設備	セット	13	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車
	<u>ロックボルト打設</u>			
	2ブーム油圧ガントリージャンボ	台	13	HD-135 × 2
	<u>インパートコンクリート</u>			
	コンクリートポンプ	台	13	60m ³ /h
	コンクリート運搬設備	セット	26	6m ³ アシテーターカー + 12t ハッテリー機関車

表 4.3-14 水平坑道工事主要機械及び設備（軟岩系岩盤、横置き方式）

工種	機械設備名称	単位	数量	仕様
連絡坑道工事	<u>掘削設備</u> ブーム式機械掘削機 油圧ショベル <u>ずり出し設備</u> ずり運搬設備 <u>吹付設備</u> 吹付機 吹付ロボット 材料運搬設備 <u>ロックボルト打設</u> 2ブーム油圧ガントリージャンボ インバートコンクリート コンクリートポンプ コンクリート運搬設備 <u>先進ボーリング</u> ローテリーボーリングマシン	台 台 セット 台 台 セット 台	4 4 8 4 4 4 4 4 4 4 8 2	S-90 クラス 0.35m ³ (コソク, 盤整形) 12m ³ シャトルカーコンベア×3台+12tハッテリ機関車×1台 アリバ 280 (ジャパンボルト備付) 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車 HD-135×2 60m ³ /h 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車
主要坑道工事	<u>掘削設備</u> ブーム式機械掘削機 油圧ショベル <u>ずり出し設備</u> ずり運搬設備 <u>吹付設備</u> 吹付機 吹付ロボット 材料運搬設備 <u>ロックボルト打設</u> 2ブーム油圧ガントリージャンボ インバートコンクリート コンクリートポンプ コンクリート運搬設備 <u>先進ボーリング</u> ローテリーボーリングマシン	台 台 セット 台 台 セット 台	2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 4 2	S-90 クラス 0.35m ³ (コソク, 盤整形) 12m ³ シャトルカーコンベア×3台+12tハッテリ機関車×1台 アリバ 280 (ジャパンボルト備付) 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車 HD-135×2 60m ³ /h 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車
処分坑道工事 (本体部)	<u>TBM</u> 掘削機 後方台車設備 <u>ずり出し設備</u> ずり運搬設備 ずり仮置設備 <u>セグメント組立</u> エレクター	台 セット セット セット セット 台	5 5 10 5 5 5	φ 2,420 油圧装置, 電気設備, 運転席等 12m ³ シャトルカーコンベア×3台+12tハッテリ機関車×1台 12m ³ シャトルカーコンベア×2台
処分坑道工事 (すりつけ)	<u>掘削設備</u> ブーム式機械掘削機 油圧ショベル <u>ずり出し設備</u> ずり運搬設備 <u>吹付設備</u> 吹付機 吹付ロボット 材料運搬設備 <u>ロックボルト打設</u> 2ブーム油圧ガントリージャンボ インバートコンクリート コンクリートポンプ コンクリート運搬設備	台 台 セット 台 台 セット 台 台	2 2 4 2 2 2 2 2 2 2 4	S-90 クラス 0.35m ³ (コソク, 盤整形) 12m ³ シャトルカーコンベア×3台+12tハッテリ機関車×1台 アリバ 280 (ジャパンボルト備付) 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車 HD-135×2 60m ³ /h 6m ³ アシテータカーコンベア+12tハッテリ機関車

5. 処分坑道

5.1 掘削・支保工

5.1.1 掘削工法

処分坑道の既存の掘削工法については、主要・連絡坑道の場合と同様の工法があげられるので、ここでの記述は省略する。

(1) 掘削工法の選定

横置き方式の場合は、断面形状が円形であることから、表 4.1-1 の比較表より TBM 工法が最も効率の良い安全かつ経済的な掘削工法であると判断される。TBM 工法は施工能力的には、硬岩系及び軟岩系岩盤ともに対応可能であり、地山の損傷を最小限に抑えることができるという観点からも、最も適した工法であると考えられる。

小口径 TBM 工法のずり出し方式としては、レール方式、流体輸送方式が考えられる。このうち、流体輸送方式は、排泥管を利用して掘削ずりを泥水と一緒にポンプ圧送する方式であり、ずり鋼車が不要で小断面トンネルにおいてよく採用される方式である。しかし輸送された泥水とずりは土砂分離設備によって分離する必要があり、坑内の限られたスペースで大量の処理能力を持つ分離設備を設けることには問題がある。また、排泥管の径によっては、取り込むずりを再破碎する必要がある。これに対してレール方式は、ずりの小割りの必要性は少なく大規模な設備を必要としない。以上のことから、レール方式によるずり運搬を採用するものとした。

一方、豎置き方式の場合における処分坑道は、断面形状が主要・連絡坑道と同じであり、基本的に主要・連絡坑道と同様な掘削工法となる。ただし、処分坑道はとくに周辺地山の健全性を保持することが要求されるため、硬岩系岩盤における発破工法では、主要・連絡坑道と同様、スムースプラスティングなどで地山に与える影響を極力小さくすることが必要であると考えられる。

処分坑道掘削に採用する掘削工法を表 5.1-1 にまとめて示す。

表 5.1-1 処分坑道の掘削工法の選定のまとめ

項目	提案工法		選定理由
横置き方式	掘削方式	全断面 TBM	<ul style="list-style-type: none"> ・円形坑道に対して最もロス（余掘り）のない掘削方式である。 ・発破による地山損傷もなく、地山のゆるみ領域を最小限に制御できる。 ・安全性が高く、施工能力も高い。
	ずり出し方式	レール方式	<ul style="list-style-type: none"> ・走行による坑内粉塵、排気ガス等の発生がない。 ・長距離の大量ずり運搬に適する。
	支保工	硬岩系	原則としてなし
		軟岩系	コンクリートセメント
豎置き方式	掘削方式	硬岩系	<p>発破方式 (スムースプラスティング)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・破碎能力が最も高く、経済的である ・断面形状、掘進長等に対して、施工の自由度が高い。(ただし、発破による地山損傷を極力抑制するためにスムースプラスティングを採用する)
	軟岩系	<p>自由断面掘削機</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軟岩系岩盤の強度に対して、十分対応可能であり、施工能力も高い。 ・発破による地山損傷もなく、地山のゆるみ領域も最小限に制御できる。 ・部分掘削が可能であり、地質の変化に対応した切羽の分割施工にも問題がない。 ・安全性が高い。 	
	ずり出し方式	レール方式	<ul style="list-style-type: none"> ・走行による坑内粉塵、排気ガス等の発生（換気問題）がない。 ・長距離の大量ずり運搬に適する。
	支保工	硬岩系	吹付けコンクリート
		軟岩系	<ul style="list-style-type: none"> ・地山の劣化を防ぎ、施工時の安全確保 ・NATM の考え方による地山の早期併合
	インバート	コンクリート打設	・一般的な工法である。

5.1.2 標準断面の検討

(1) 必要断面の検討

処分坑道豎置き方式の場合の必要断面は、主要・連絡坑道と同様であることから、以下には豎置き方式の場合の必要断面について検討する。

処分坑道建設時には、

- ①運搬車両の通行及び安全通路（安全通路が確保できない場合は、適当な間隔で回避所が必要）
- ②TBM の施工
- ③排水、換気設備

等のスペースを確保する必要がある。

①については、運搬軌条を単線として計画している（運搬車両の入れ替え、退避は主要・連絡坑道にて行うことが可能）。また、②については技術的進歩からわが国

の地盤に対する適用性が拡大し、とくに 1982 年以降、施工件数が増加しているため、実績をもとに検討した。

国内の TBM 施工実績では、掘削径が 1m 未満の例はみられないが、掘削径 2m～3m のものは施工例が多く、掘削径 2m のものは 32 件ある。この中には、内径はさらに小さくなるものもあるが、TBM により施工可能な最小径は掘削径で 2.0m 程度と考えられる。その場合、単線の運搬線路、排水及び換気設備も確保される。表 5.1-2 に実績の一例を示す（ジェオフロンテ研究会、1996）。

表 5.1-2 国内 TBM 施工実績（掘削径 2.0m）

名称	企業者	完成年	用途	岩石名
赤蔵川発電所取水路トンネル	中国電力	1984	発電	花崗岩
白川北汚水幹線	神戸市下水道局	1986	下水道	花崗岩
庄内導水路	山形県企業局	1988	発電	安山岩
温度品地区下水道	広島市	1995	下水道	花崗岩
加古川流域下水道	兵庫県土木事務所	1991	下水道	砂岩、泥岩

上記の表より施工可能な処分坑道の内径は、TBM による掘削径により決まり、現時点においては、実績から外径 2m（内径で 1.7m 程度）までは施工可能であると考えられる。

(2) 標準断面の設定

豎置き方式及び横置き方式のすりつけ部（曲線部及び TBM の組立・解体部・発進部）の施工については、主要・連絡坑道と同様な方式とする。横置き方式の TBM 掘削部については硬岩を無支保、軟岩をコンクリートセグメントとした。また、交差部については、実績などを踏まえて 4m の補強用ロックボルトを用いることとした。なお、補強範囲は全曲線部（約 20m／箇所）とした。処分坑道における標準断面を図 5.1-1 に示す。ここで示した標準断面は健岩部におけるものであり、実際の施工では湧水や割れ目など地質状況の変化に合わせて支保パターンの変更などが必要となる。

	硬岩系岩盤	軟岩系岩盤
豎置き方式		
横置き方式		

図 5.1-1 処分坑道の標準断面

(3) 施工実績

豎置き方式で採用する発破方式、自由断面掘削方式による施工実績例は、主要・連絡坑道の項に示したので、ここでは、横置き方式で採用する TBM 工法による施工実績を表 5.1-3 に示す（川村ほか, 1997；田中, 1997；戸花・安尾, 1996；糸川ほか, 1996；近藤, 1995；割出ほか, 1989；外山, 1990；伊藤・長田, 1989；渡辺ほか, 1990；江川ほか, 1991；蟹沢ほか, 1992；奥田・向下, 1983；杉木ほか, 1984；荒木・浅田, 1985）。

表 5.1-3 TBM 工法による施工実績例

名称	場所	用途	完成年	掘削寸法 (m)	仕上り寸法 (m)	延長 (m)	地質	土被り (m)	所要工期 (月)	平均掘削日進 (m／日)	最大掘削日進 (m／日)
滝里発電所導水路	北海道	導水路	—	ø 8.3	ø 6.9	2,650.0	砂岩, 頁岩	250			21.0
清水第三ハ°イロットトンネル	静岡県	導坑	1997	ø 5.0	—	1,700.0	砂岩, 頁岩			11.7	24.4
日高発電所（第2工区）	北海道	放水路	—	ø 3.4	ø 2.9	6,191.5	泥岩, 砂岩	190		12.1	(月進 280.0)
仁淀川系導水路	高知県	導水路	1997	ø 2.3	ø 1.65	3,807.3	砂岩, 粘板岩	120			27.0
平谷発電所導水路	長野県	導水路	1995	ø 2.6	—	1,611.0	花崗岩	200			27.8
新内川第2発電所導水路	石川県	導水路	1989	ø 2.3	ø 2.1-2.3	3,524.0	凝灰角れき岩	300		(月進 380.0)	30.2
北又渡水力発電所2号導水路	長野県	導水路	1990	ø 2.6	ø 2.2-2.4	2,711.0	砂岩, 粘板岩	700		12.8	46.3
讃岐トンネル	岡山県	送電線	1987	ø 3.3	—	2,761.0	花崗岩	150	(掘進 18.0)	(月進 151.7)	(月進 302.8)
秋葉第三発電所放水路ハ°イロットトンネル	静岡県	放水路 ハ°イロット	1989	ø 3.3	—	3,330.0	黒色片岩	450		(月進 553.5)	44.0
水殿川導水路	長野県	導水路	1990	ø 2.6	—	3,016.0	粘板岩, チャート	750	(掘進 20.0)	(月進 249.0)	31.4
舞子トンネル導坑（No.1）	兵庫県	導坑	1991	ø 5.0	—	600.0	花崗岩	50		(月進 183.0)	13.8
舞子トンネル導坑（No.2）	兵庫県	導坑	1991	ø 5.0	—	600.0	花崗岩	50		(月進 172.0)	14.1
太田川流域下水道	広島県	下水道	1983	ø 2.8	ø 1.8-2.1	1,172.0	花崗岩	30	(掘進 8.0)	8.2	19.1
新愛本水力発電所導水路ハ°イロットトンネル	富山県	放水路 ハ°イロット	1984	ø 3.6	—	3,380.0	閃綠岩		(掘進 15.0)	9.9	37.6
神戸市山田汚水幹線（その1工区）	兵庫県	下水道	1984	ø 2.0	ø 1.7	1,745.0	礫岩	27	(掘進 6.4)		30.8
神戸市山田汚水幹線（その3工区）	兵庫県	下水道	1984	ø 2.6	ø 2.4	1,374.0	砂岩, 粘板岩	27			25.4

5.2 施工概要

硬岩系岩盤及び軟岩系岩盤における処分孔堅置き方式の場合の施工方法については、基本的に「4. 主要・連絡坑道」において示した施工方法と同様であることから、以下には坑道横置き方式の施工手順の概要のみを述べる。なお、以下に示す工事の概要は均質な地盤を対象に基本パターンとして検討したものであり、実際には湧水や山はねなどの現象に遭遇することが予測される場合には、それに応じた施工計画の変更などが必要となる。

5.2.1 硬岩系岩盤における処分坑道の建設

(1) 横置き方式における処分坑道の建設

硬岩系岩盤、横置き方式における処分坑道の施工フローを図 5.2-1 に示す。掘削工法については、表 5.2-1 に示すとおりである。

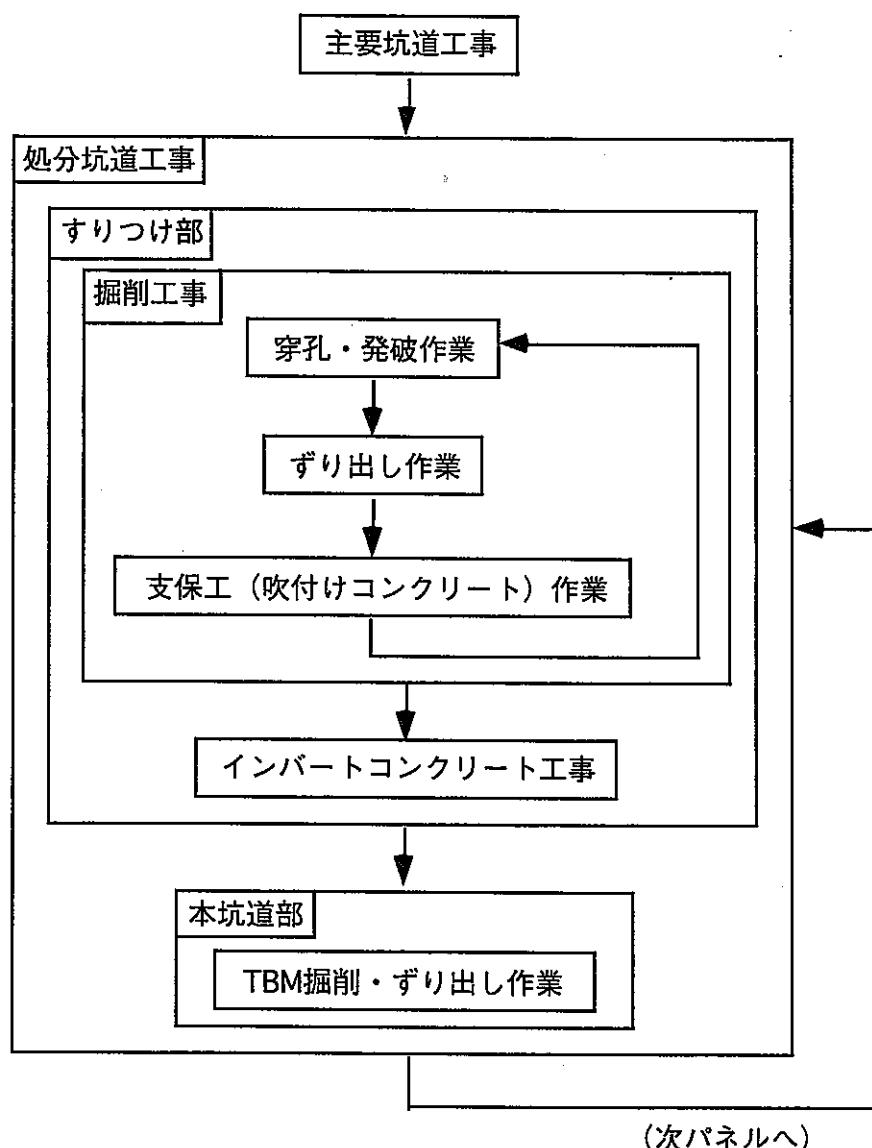


図 5.2-1 硬岩系岩盤、横置き方式における処分坑道施工フロー

表 5.2-1 硬岩系岩盤、横置き方式における処分坑道の掘削工法

掘削工法	加背割	支保・覆工	すり運搬
TBM 工法	全断面工法	原則的なし	レール方式

処分坑道の掘削は、主要坑道の施工が完了した時点で開始する。また、処分坑道の両端部は TBM の組み立て及び解体に必要な発進・到達基地とするため、主要坑道と同断面のすりつけ部を設けることとする。このすりつけ部は、曲率半径 40m の曲線部に 10m の直線部を加えた部分とし、この部分は、発破工法で施工するため、処分坑道廃棄体定置部への影響を考慮して、端部の廃棄体までの距離を 10m 確保することとした。なお、すりつけ部の施工は、主要・連絡坑道と同様な方式で行うためここでの記述は省略する。

1) 掘削

TBM は一般に図 5.2-2 のような機構をもつ全断面トンネル掘削機である（「トンネルボーリングマシン入門」連載講座小委員会、1995）。掘削の原理は硬岩系岩盤掘削の場合、図 5.2-3 に示すように、グリッパを坑壁に張り出して推進反力をとり、推進ジャッキでカッタのついた面板を切羽に押し付けて岩盤を圧碎し掘削する。掘削されたすりはベルトコンベアによって後続台車後部まで輸送される。

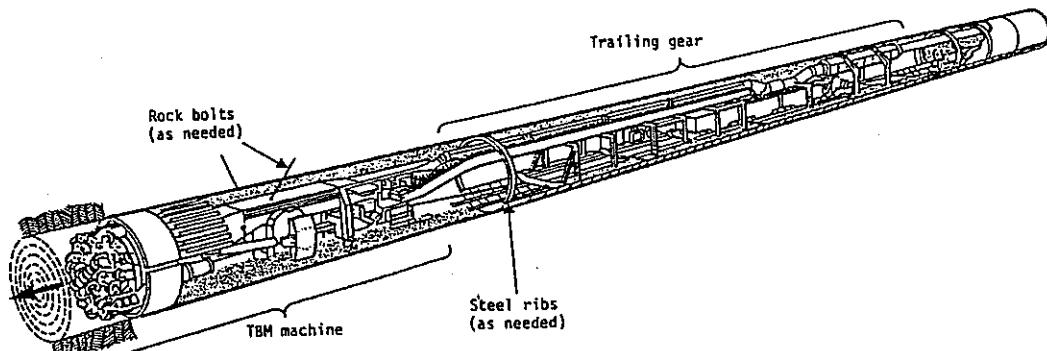


図 5.2-2 TBM の一般的な構成

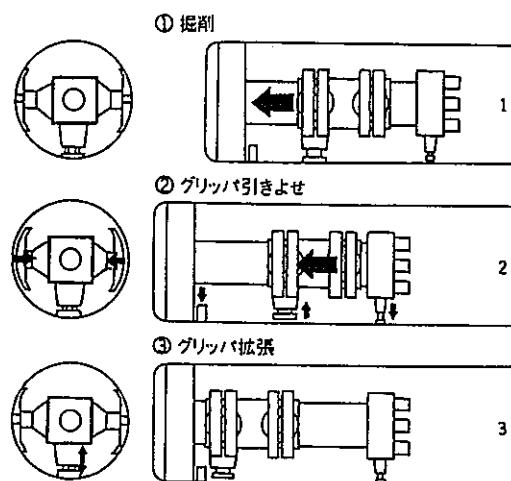


図 5.2-3 TBM の掘削原理

2) ずり搬出

TBM のベルトコンベアによって後方に搬出されたずりは、ずり運搬車両に積み込まれ、レール方式により立坑下部まで搬送される。処分坑道の掘削断面は、直径が 2.2m と小さく単線軌道となること、さらに、その性格上、車両離合のための拡幅部を設けることができないことを考慮して、運搬車両にはシャトルカーを 3 両連結して用いる。また、ずり運搬車両の待ち時間による TBM の稼働効率低下を防ぐために、図 5.2-4 のようなずり仮置き車両を TBM 後方に常備する。

なお、シャトルカー 3 両連結で、機関車も含めて約 55m となり、一方、処分坑道へのアプローチ部は約 41m であるため、車両が主要坑道にはみだすことがあり得る。その場合は、初期掘進時は、掘削速度が遅いため、シャトルカーを 1 両減らすか、もしくは主要坑道の複線軌道をうまく利用することで、車両の交錯を避けることができる。

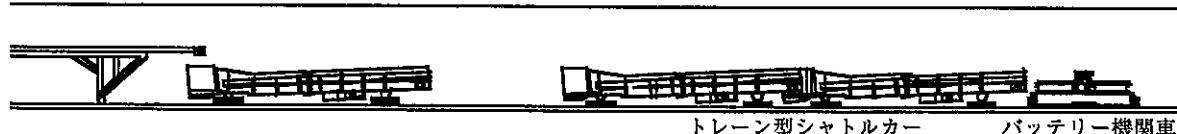


図 5.2-4 TBM におけるずり搬出

(2) 壴置き方式における処分坑道の建設

掘削工法については、主要・連絡坑道と同様となるので、ここでは、施工フローのみを図 5.2-5 に示す。

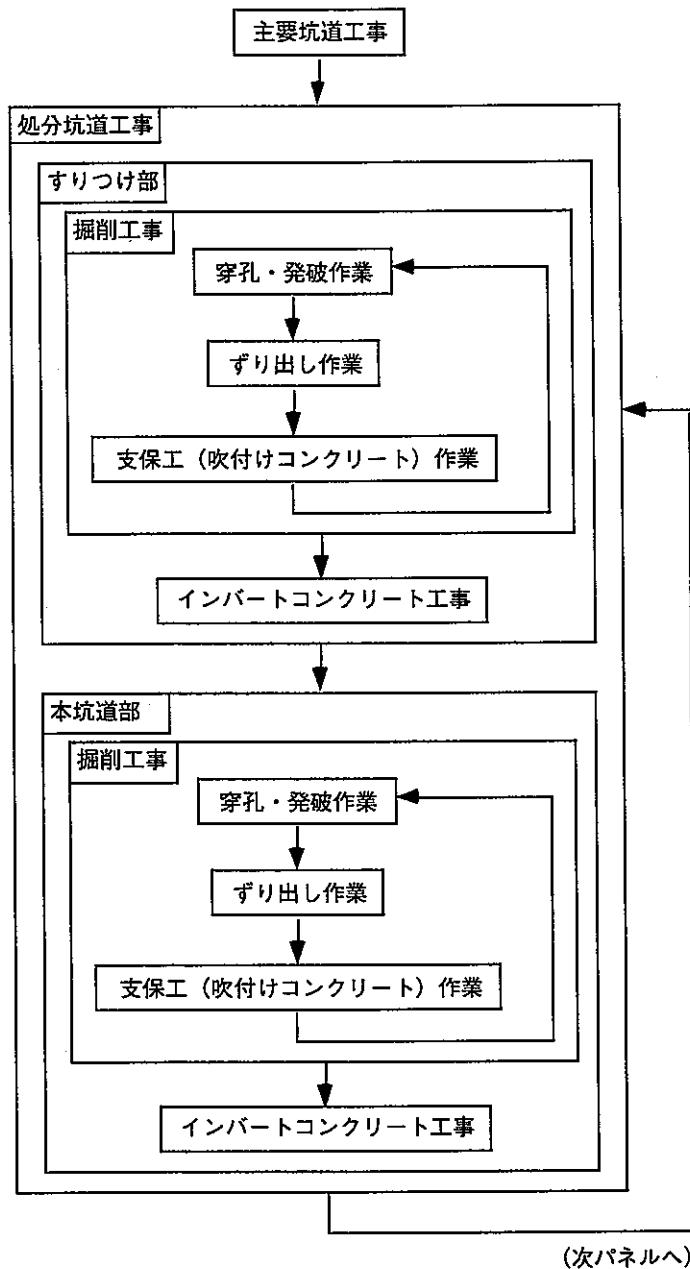


図 5.2-5 硬岩系岩盤、豎置き方式における処分坑道施工フロー

5.2.2 軟岩系岩盤における処分坑道の建設

(1) 横置き方式における処分坑道の建設

軟岩系岩盤、横置き方式における処分坑道の施工フローを図 5.2-6 に、掘削工法を表 5.2-2 にそれぞれ示す。

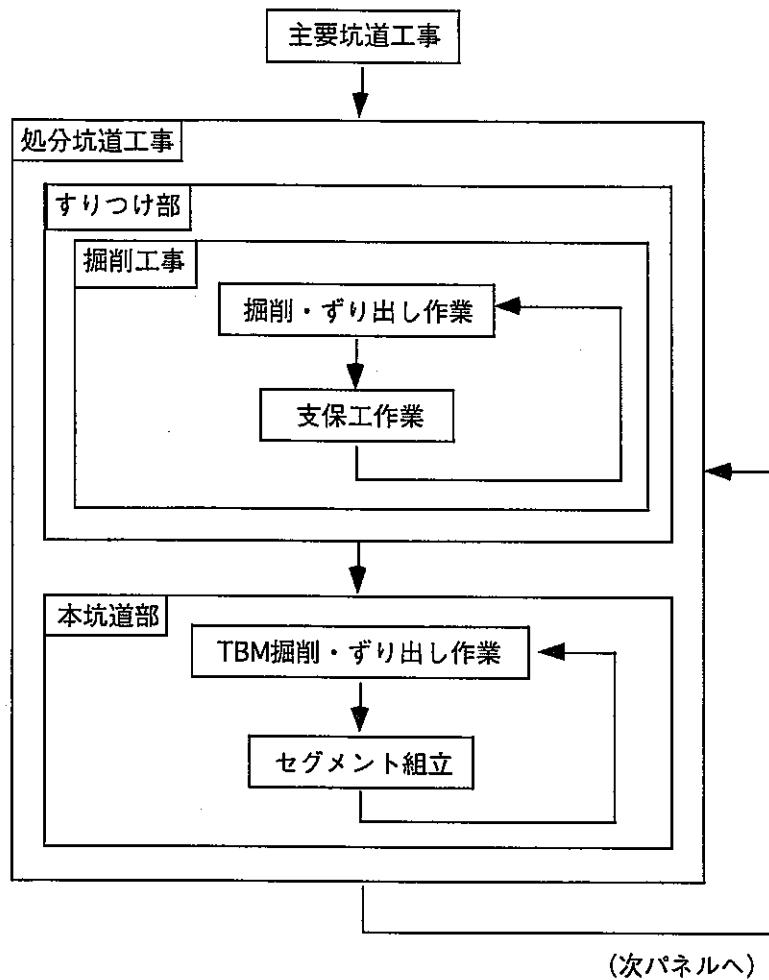


図 5.2-6 軟岩系岩盤、横置き方式における処分坑道施工フロー

表 5.2-2 軟岩系岩盤、横置き方式における掘削工法

掘削工法	加背割	支保・覆工	すり運搬
TBM 工法	全断面工法	コンクリートセグメント	レール方式

軟岩系岩盤、横置き方式における処分坑道の建設方法は、支保にセグメントを使用することを除けば、硬岩系岩盤における横置き方式の場合とほぼ同様な方法となる。したがって、以下にはその相違点のみについて述べる。

軟岩系岩盤の場合、強度が低いことからバイトカッタの使用頻度が多くなるものと考えられる。また、掘削 0.75m 毎にエレクターによりセグメントを組み上げ、これを反力受けとして掘進を行う。図 5.2-7 に軟岩系岩盤の場合の TBM 推進方式を示す。また、セグメント組み上げ後、地山との空隙を充填するため、早期に裏込注入を行う。

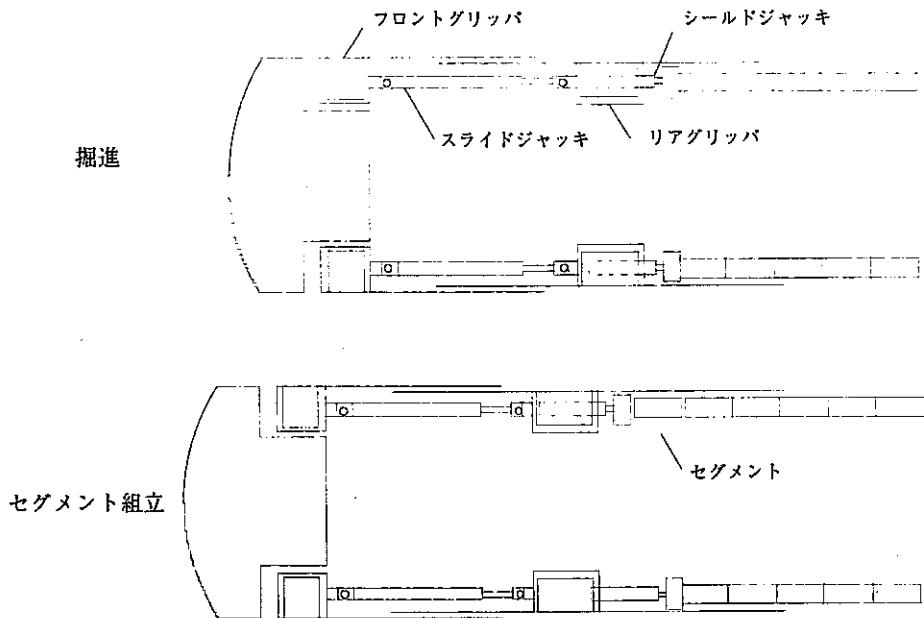


図 5.2-7 軟岩系岩盤の場合の TBM 推進方式

TBM 工法でセグメントを用いた事例としては、神奈川県における道志導水路トンネル工事（早戸工区）の例がある（日本トンネル技術協会、1996）。本導水路は、内径が 3.0m であり、工区のほぼ中央に 1,000m を越える尾根が存在している。工事では、掘削直後にプレキャスト製の RC セグメントをセットし、軌条レールを敷いて、さらに掘削する方法を採用している。セグメントは幅 100cm、全周を 5 ピースに分割して HT ボルト（高張力ボルト）で接続し、セグメント背面と岩盤との隙間にはセメントグラウトを注入し固定している。なお、岩盤は比較的堅硬で 40MPa～100MPa で B～D 級の岩級区分である。

(2) 軟岩系岩盤、豎置き方式における処分坑道の建設

施工フロー及び建設工法をそれぞれ図 5.2-8、表 5.2-3 に示す

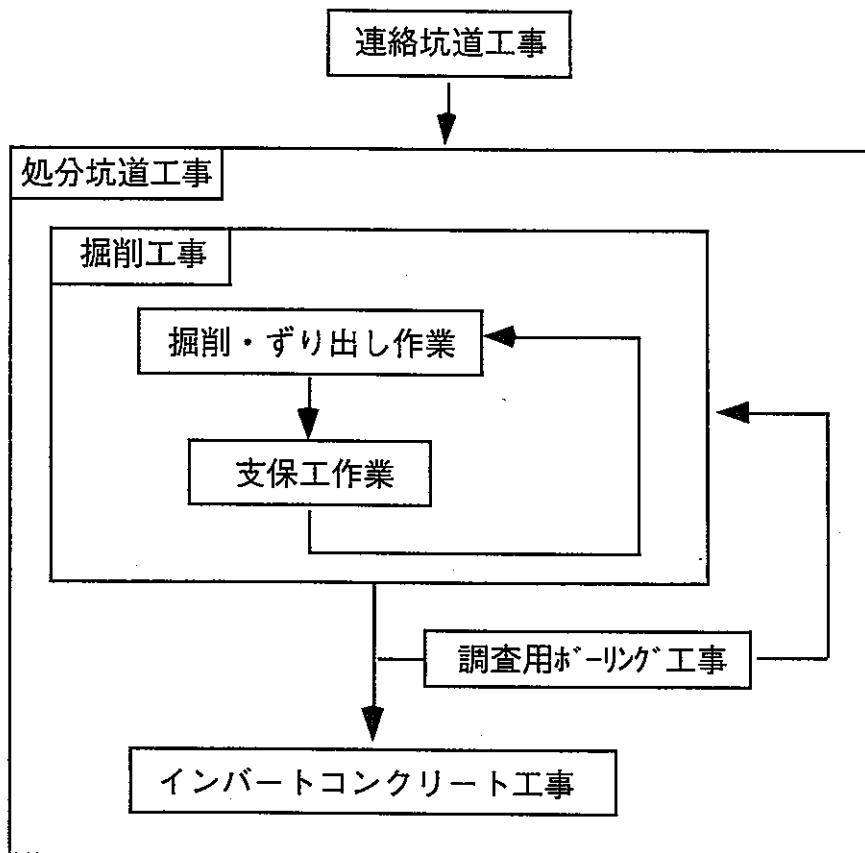


図 5.2-8 軟岩系岩盤、豎置き方式における処分坑道施工フロー

表 5.2-3 軟岩系岩盤、豎置き方式における建設工法

掘削	加背割	支保・覆工	すり運搬
自由断面掘削機工法	全断面工法	吹付けコンクリート	レール方式

5.2.3 その他

(1) 換気・排水・避難経路の確保

処分坑道掘削時には、熱、粉塵対策など、切羽における作業環境保全のために換気が必要となる。建設中の処分坑道は、風管換気法による局所的な換気を行い、坑道が主要坑道に貫通した地点で坑道換気とする。使用する風管は、実績から直径300mm（横置き方式）、900mm（豎置き方式）程度が適切と考えられる。また、風管換気法には排気式、送気式とがあり、一般的には小断面トンネルで発じん範囲が切羽部に集中する場合の換気方式は、送気式よりも排気式とする方が望ましいとされている（建設業労働災害防止協会、1992）。

処分坑道からの湧水、工事用水は主要坑道を通じて連絡坑道へ排水させる。処分坑道内の排水設備としては、坑道の勾配を利用した排水溝もしくはポンプによる強制排水のための配水管を設ける（土木学会、1996）。坑道の掘削方向を上り勾配とすれば、自然流下方式により排水はすべて主要坑道の排水ルートへ導水することが可能である。処分坑道の換気、排水系統の例を図 5.2-9 に示す。

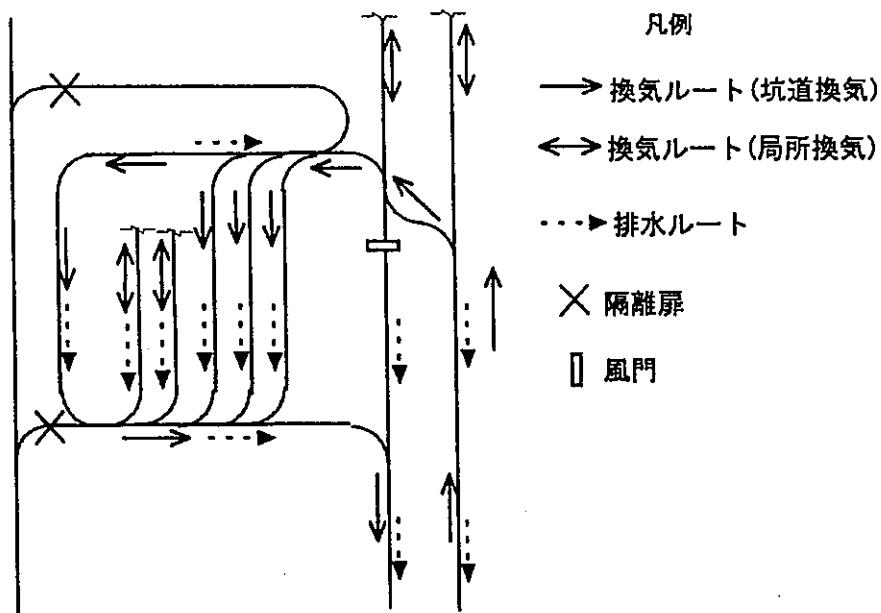


図 5.2-9 処分坑道における換気、排水系統の例

(2) 避難経路

坑内において緊急事態が発生した場合を想定し、避難用通路を確保する必要がある。トンネル建設時の避難経路に関する規準等は特に設けられていないが、たとえば、日本道路公団設計要領によると 750m 以上の道路トンネルの計画では、原則として一方向交通トンネルでは、750m 間隔で避難坑への避難連絡坑を計画している。また、日本トンネル技術協会、「NATM における安全対策に関する報告書」によると、建設中の長大トンネルにおいては、坑内の大型マンホール、連絡坑、機材坑等を利用して緊急待避所をたとえれば 1km 間隔に設けることが望ましいとされている。建設中の処分坑道においては、非常事態が発生した場合には、主要坑道までの経路は一方向のみとなるため、坑道の延長が 500m を越える時点で緊急待避所を設けることが望ましい。

6. 建設の工程

立坑、主要・連絡坑道及び処分坑道の建設工程の検討にあたり、ここでは、
 ・アクセス坑道建設着手から、第1パネル建設完了を10年以内に建設を終了
 ・第2パネル以降を順次5年以内に建設を終了
 を一つの目安として仮定し、最短工程を検討した。

6.1 サイクルタイム

サイクルタイムは、主要・連絡坑道及び豎置き方式の処分坑道については、平成10年度建設省土木工事積算規準に示されているトンネル工の基準にしたがい、硬岩系岩盤ケースは掘削区分B、軟岩系岩盤ケースは掘削区分DIとして算出した。また、アクセス坑道及び横置き方式の処分坑道については、トンネル工の積算基準及び現状の実績を参考に算出した。なお、条件として1日3交代の24時間稼働及び実稼働日数を23日／月とした。さらに、湧水、山はね、ガス突出等の特別な対策工に必要な時間は考慮せず、標準的な岩盤を想定した。算出したそれぞれのサイクルタイムによる坑道進行長をまとめて表6.1-1に示す。

表6.1-1 各坑道の進行長一覧

	硬岩系岩盤	軟岩系岩盤
アクセス坑道（坑口部）	1.48 (34.0)	
アクセス坑道（本坑部）	2.64 (60.7)	2.94 (67.7)
主要・連絡坑道		
処分坑道（豎置き方式）	4.30 (98.9)	4.00 (92.0)
処分坑道（横置き方式）	26.13 (601.0)	14.60 (335.7)

アクセス坑道本坑部、主要・連絡坑道及び処分坑道（豎置き方式）については、軟岩系ケースは硬岩系ケースに比べて掘削速度は早いが、吹付けコンクリート量が多い。そのため、両ケースは同程度のサイクルタイムとなる。処分坑道（横置き方式）については、TBMによる掘削となるが、軟岩ケースではセグメントの組立時間が大きなウェイトを占めるため、無支保掘削の硬岩ケースに比べ進行が遅くなる。なお、アクセス坑道坑口部については、硬岩系及び軟岩系とも風化等による弱層であることを想定して、両者同じ施工法としているため、サイクルタイムは同じとなる。以下に各ケースごとのサイクルタイムを表6.1-2～表6.1-8に示す。

表 6.1-2 アクセス坑道坑口部サイクルタイム（硬岩系、軟岩系）

項目	単位	坑口部	摘要
設計掘削断面積(余堀含まず)	m ²	70.88	R=(6.5+3.0)/2
掘削断面積(余堀含む)	ヶ	76.05	R=(6.5+3.0+0.34)/2
1サイクル当たり掘進長	m	1.0	
1m ² 当たり穿孔時間	min/m ²	3	
1サイクル当たり吹付面積	m ²	29.2	
吹付設計厚さ	m	0.10	
1サイクル当たりボルト本数	本	25	
掘削工	削岩準備	分	15
	穿孔	ヶ	213 クローラジャンボ
	装薬・爆破・換気等	ヶ	90
	小計	ヶ	318
	ずり出し準備	ヶ	30
支保工	ずり出し	ヶ	260 0.45m ³ ずり積機, 4.0m ³ ずりキブル
	跡片付け	ヶ	10
	測量	ヶ	10
	小計	ヶ	310
	吹付け準備	ヶ	30
支保工	吹付	ヶ	92 4m ³ /hr
	跡片付け	ヶ	30
	小計	ヶ	152
	ロックボルト準備	ヶ	10
	穿孔	ヶ	150 打込, 取付, モルタル注入を含む
支保工	跡片付け	ヶ	15
	小計	ヶ	175
	金網設置	ヶ	15
	支保工準備	ヶ	0
	支保工建込	ヶ	0
その他損失	小計	ヶ	0
	計	ヶ	970
1日当たり進行長	m/日	1.48	8時間×3方
1月当たり進行長	m/月	34.0	23日/月
鉄筋コンクリート工事	m/日	2.25	12回打設

実稼働日数 23日/月, 実稼働時間 8時間×3方とする。

表 6.1-3 アクセス坑道本坑部サイクルタイム（硬岩系）

項目	単位	立坑一般部	摘要
設計掘削断面積(余堀含まず)	m ²	35.27	R=(6.5+0.2)/2
掘削断面積(余堀含む)	ヶ	39.59	R=(6.5+0.2+0.4)/2
1サイクル当たり掘進長	m	1.5	
1m ² 当り穿孔時間	min/m ²	1.9	
1サイクル当り吹付面積	m ²	30.63	
吹付設計厚さ	m	0.10	
1サイクル当りボルト本数	本	0	
掘削工	削岩準備	分	15
	穿孔	ヶ	67 5連装シャフトジャンボ
	装薬・爆破・換気等	ヶ	90
	小計	ヶ	172
削工	すり出し準備	ヶ	30
	すり出し	ヶ	297 0.6m ³ すり積機, 4.0m ³ すりスキップ
	跡片付け	ヶ	10
	測量	ヶ	10
	小計	ヶ	347
吹付け	吹付け準備	ヶ	30
	吹付	ヶ	119 2m ³ コンクリートキブル, 4m ³ /hr
	跡片付け	ヶ	30
	小計	ヶ	179
支保工	ロックボルト準備	ヶ	0
	穿孔	ヶ	0 打込, 取付, モルタル注入を含む
	跡片付け	ヶ	0
	小計	ヶ	0
金網設置			
支保工	支保工準備	ヶ	0
	支保工建込	ヶ	0
	小計	ヶ	0
その他損失			揚水設備, 湧水探査, 機械入替等
計		ヶ	818
1日当り進行長	m/日	2.64	8時間×3方
1月当り進行長	m/月	60.7	23日/月

注 1)その他損失には機械等の入替とともに、揚水設備(50m/箇所)や湧水探査(30m/回)に要する時間を含む。

注 2)実稼働日数23日/月、実稼働時間8時間×3方とする。

表 6.1-4 主要連絡坑道、処分坑道サイクルタイム（硬岩系、豎置き）

項目		単位	主要・連絡坑道	摘要
設計掘削断面積(余堀含まず)		m ²	23.0	
掘削断面積(余堀含む)		ヶ	25.6	
1サイクル当たり掘進長		m	1.5	
1m ² 当り穿孔時間		min/m ²	3.1	
1サイクル当り吹付面積		m ²	12.9	
吹付設計厚さ		m	0.1	
1サイクル当りボルト本数		本	9	
掘削工	削岩準備	分	15	
	穿孔	ヶ	71	
	装薬・爆破・換気等	ヶ	50	
	小計	ヶ	136	
掘削工	ずり出し準備	ヶ	10	
	ずり出し	ヶ	105	
	跡片付け	ヶ	10	
	測量	ヶ	10	
	小計	ヶ	135	
吹付け	吹付け準備	ヶ	15	
	吹付	ヶ	50	
	跡片付け	ヶ	15	
	小計	ヶ	80	
支保工	ロックボルト準備	ヶ	10	
	穿孔	ヶ	54	打込、取付、モルタル注入を含む
	跡片付け	ヶ	15	
	小計	ヶ	79	
支保工	金網設置	ヶ	0	
	支保工準備	ヶ	0	
	支保工建込	ヶ	0	
	小計	ヶ	0	
その他損失		ヶ	70	機械入替、線路延長、切羽前方探査等
計		ヶ	500	
1日当り進行長		m/日	4.30	8時間×3方
1月当り進行長		m/月	98.9	23日／月
インバートコンクリート工事		m/日	15.0	1打設 30m/2日

注 1) 実稼働日数 23 日/月、実稼働時間 8 時間×3 方とする。

表 6.1-5 処分坑道サイクルタイム（硬岩系、横置き）

項目	単位	処分坑道 (TBM)	備 考
掘削断面積	m ²	3.87	
1ストローク長	m	1.5	
純掘進速度	m/hr	2.5	
支保工間隔	m		
支保工建込み時間	分／基		
吹付け周長	m		
吹付け厚さ	m		
1ストローク当りケーブル盛替時間	分／ST	3.6	
カッタ装着数	個	17	
カッタ消費量	m ³ ／個	105	
1ストローク当りカッタ交換時間	分／ST	5.56	
1ストローク当り測量時間	分／ST	1.8	
1ストローク当り地質調査時間	分／ST		
純掘削	分／ST	36	
位置修正、TBM 盛替	分／ST	15	
支保工設置	分／ST		
モルタル吹付け	分／ST		
ケーブル盛替、カッタ交換、測量他	分／ST	11	
小計	分／ST	62	
その他時間	分／日	360	点検・整備、トラブル、切羽前方探査等
<hr/>			
1日当たりストローク回数	ST／日	17.42	
1日当たり進行	m／日	26.13	8時間×3方
1月当たり進行	m／月	601	23日/月
TBM 積働率	%	61.7	

注 1) 実稼働日数 23 日/月、実稼働時間 8 時間×3 方とする。

表 6.1-6 アクセス坑道本坑部サイクルタイム（軟岩系）

項目	単位	立坑 一般部	摘要
設計掘削断面積(余掘含まず)	m ²	44.17	R=(6.5+1.0)/2
掘削断面積(余掘含む)	〃	48.27	R=(6.5+1.0+0.34)/2
1サイクル当たり掘進長	m	1.50	
1ステップ°当たりの掘削量	m ³	72.40	
覆工コンクリート厚さ	m	0.50	
1サイクル当たりコンクリート量	m ³	16.49	
掘削工	削岩準備	分	15
	穿孔	〃	59.67 5連装シャフトジャンボ
	装薬・爆破・換気等	〃	100
	小計	〃	174.67
掘削工	すり出し準備	〃	30
	すり出し	〃	203 0.6m ³ すり積機, 4.0m ³ すりキブル×2
	跡片付け	〃	10
	小計	〃	243
支保工	覆工準備	〃	180 坑底均し, 型枠脱型セット,
	コンクリート打設	〃	30.85 3.5m ³ コンクリートキブル
	跡片付け	〃	15
	計	〃	225.9
	その他損失	〃	90 揚水設備, 湧水探査, 機械入替等
計		〃	733.57
1日当たり進行長	m/日	2.94	8時間×3方
1月当たり進行長	m/月	67.7	23日/月

注 1) 他損失には機械等の入替とともに、揚水設備 (50m/箇所) や湧水探査 (30m/回) に要する時間を含む。

注 2) 実稼働日数 23 日/月、実稼働時間 8 時間×3 方とする。

表 6.1-7 主要連絡坑道、処分坑道サイクルタイム（軟岩系、豎置き）

項目	単位	主要・連絡坑道	摘要
設計掘削断面積	m ²	27.0	
掘削断面積（余掘含）	〃	29.4	
1サイクル当り進行長	m	1.5	
掘削機械作業能力	m ³ /h	28	
1サイクル当り吹付周長	m	15.465	
1サイクル当り吹付面積	m ²	23.2	
吹付設計厚さ	m	0.5	
1サイクル当りボルト本数	本	11	
掘削 すり	準備	分	10
	掘削・すり出し	〃	95
	跡片づけ	〃	10
	測量	〃	10
	小計	〃	125
吹付け	吹付準備	〃	10
	吹付	〃	220 6m ³ /h
	跡片づけ	〃	10
	小計	〃	240
支保工 ツ ボ ル ト	ロックボルト準備	〃	10
	穿孔	〃	55 打込、取付、モルタル注入を含む
	跡片づけ	〃	10
	小計	〃	75
金網設置		〃	30
支保工	支保工準備	〃	0
	支保工建込	〃	0
	小計	〃	0
その他損失		〃	70 機械入替、線路延長、調査ボーリング等
計		〃	540
一日当り進行長	m/日	4.00	
一月当り進行長	m/月	92.0	
インバートコンクリート工事	m/日	15	1打設 30m/2日

実稼働日数 23 日/月、実稼働時間 8 時間×3 方とする。

表 6.1-8 処分坑道サイクルタイム（軟岩系、横置き）

項目	単位	処分坑道 (TBM)	備 考
掘削断面積	m ²	4.60	
1ストローク長	m	1.5	
純掘進速度	m/hr	3.6	
セグメント間隔	m	0.75	
セグメント組立時間	分／リンク*	30	
吹付け周長	m		
吹付け厚さ	m		
1ストローク当りケーブル盛替時間	分／ST	3.6	
カッタ装着数	個	17	
カッタ消費量	m ³ ／個	114	
1ストローク当りカッタ交換時間	分／ST	6.09	
1ストローク当り測量時間	分／ST	1.8	
1ストローク当り地質調査時間	分／ST		
純掘削	分／ST	25	
位置修正、TBM 盛替	分／ST	15	
セグメント組立	分／ST	60	
モルタル吹付け	分／ST		
ケーブル盛替、カッタ交換、測量他	分／ST	11	
小計	分／ST	111	
その他時間	分／日	360	点検・整備、トラブル、切羽前方探査等
1日当たりストローク回数	ST／日	9.73	
1日当たり進行	m／日	14.60	8時間×3方
1月当たり進行	m／月	335.7	23日/月
TBM稼働率	%	27.0	

注1) 実稼働日数23日/月、実稼働時間8時間×3方とする。

6.2 工程

立坑、主要・連絡坑道、処分坑道を含めた処分場全体の建設工程を示す。検討においては以下の条件を仮定し、建設上の最短工程を検討した。

- ①アクセス坑道はすべて同時に施工するとした。
- ②連絡坑道の交点部補強工に関しては、切り羽から後方に十分離れた位置において、分岐掘削開始前に大半を施工できるため、工程には考慮していない。
- ③主要坑道と処分坑道との交点部は、主要坑道部で連続しているため、補強工を要する工期として主要坑道掘削後に1パネル当たり3ヶ月を考慮した。
- ④インバートコンクリートは各坑道掘削完了後、2ヶ月を考慮した。ただし、主要坑道については処分坑道掘削と同時施工を行うとした。
- ⑤処分坑道の切り羽数は立坑からの掘削ずりの搬出可能量を考慮した上で目標工程を勘案して表 6.2-1 のとおりとした。

表 6.2-1 処分坑道切り羽数

ケース	掘削方法	坑道数	切羽数	備考
硬岩堅置き	発破工法	27 本@1,112m	10	3回繰り返し
硬岩横置き	TBM工法	25 本@863m	5	5回繰り返し
軟岩堅置き	自由断面掘削機工法	50 本@906m	13	4回繰り返し
軟岩横置き	TBM工法	35 本@625m	5	7回繰り返し

以上の条件に基づき検討した工程の要点をまとめて表 6.2-2 に示す。

表 6.2-2 建設工程まとめ

ケース	第1パネル建設完了までに要する工期(月)	1パネル当たりの処分坑道建設期間(月)	備考
硬岩系堅置き	111	32	処分坑道 10 切羽
硬岩系横置き	98	24	処分坑道 5 切羽
軟岩系堅置き	113	45	処分坑道 13 切羽
軟岩系横置き	100	35	処分坑道 5 切羽

今回の検討では、表 6.2-2 に示す通り、いづれのケースにおいても、第1パネルはアクセス坑道建設着手から目標の 10 年以内の建設が可能であることが示された。また、第2パネル以降、第6パネル建設完了までの最短工程は、処分坑道建設に要する工期により決定され、その1パネル当たりの工期は表 6.2-2 に示す通りである。したがって2パネル目以降を目標の順次 5 年以内に建設することは可能であることが示された。

ここでは、最短の建設工程を示しているが、操業・閉鎖作業を含めた処分計画から要求される各パネルの建設時期に応じて、経済的な施工を行うためには、主に処分坑道の切羽数により調整が可能である。

ただし、ここでは1日24時間の連続稼働がスムーズに行われるとして、さらに山はね、湧水等特別な対策工に必要な時間は考慮されていない。特に対策工に要する時間はその頻度及び規模により大幅に変化するため、工程に影響を与えることに注意が必要である。

建設工期概算及び工程表を表6.2-3～表6.2-12以下に示す。

表6.2-3 アクセス坑道工期概算（硬岩系）

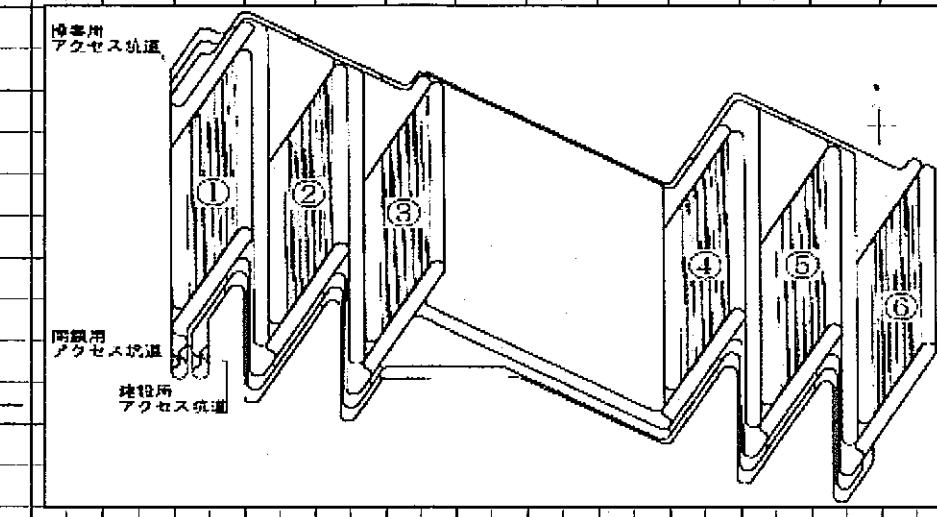
工事区分	工事長(m)	工期(月)	備考
仮設工事		6.0	
立坑本体	坑口上部工事	3.0	(1.0) 仮設工事と並行作業
	坑口下部工事	47.0	(2.3) 同上
	本坑一般部工事	951.0	サイクルタイムより算出
	サンプ部工事	54.6	同上
立坑ポンプ座工事		2.0	横坑部に関する工期
坑底連結部工事		1.0	同上
設備撤去工事		2.0	
合 計		27.6	

表 6.2-4 主要坑道、処分坑道工期概算（硬岩系豎置き）

工事区分	工事長(m)	工期(月)				備考
		操業用	建設用	主要坑道	処分坑道	
立坑周辺坑道	立坑設備工事	一式	12.0	12.0		パントン工事他
	立坑周辺掘削工事	一式	6.0	6.0		
	坑内仮設工事	一式	4.0	4.0		
	連絡坑道(操業用)	1,808	9.1			2切羽並進(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	2,489		6.3		4切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	4,297	2.0	2.0		インバート工は本体掘削完了後、2ヶ月後に完了させる。
	撤去工事	一式	1.0	1.0		
	計		30.1	27.3		
1パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	1,366	6.9			2切羽並進(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	5,038		17.0		3切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	10切羽並進(98.9m/月)
	計		9.9	20.0	21.6	31.5
処分坑道 1坑当たり	準備工事	一式			0.3	
	本体部工事	1,154			11.7	直線部1,112m,曲線部42m
	撤去工事	一式			1.0	
	計				13.0	
2パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	2,920	14.8			2切羽並進(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	6,501		21.9		3切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	
	計		17.8	24.9	21.6	31.5
3パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	1,259	6.4			2切羽並進(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	2,063		7.0		3切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	
	計		9.4	10.0	21.6	31.5
連絡通路	連絡坑道(操業用)	2,837	14.3			2切羽並進(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	6,413		21.6		3切羽並進(98.9m/月)
	計		14.3	21.6		
4パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	1,970	19.9			1切羽(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	5,924		20.0		3切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	
	計		22.9	23.0	21.6	31.5
5パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	2,640	26.7			1切羽(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	6,582		22.2		3切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	
	計		29.7	25.2	21.6	31.5
6パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	942	9.5			1切羽(98.9m/月)
	連絡坑道(建設用)	1,915		19.4		1切羽(98.9m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	3,684		18.6		2切羽並進(98.9m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1,103m(主要坑道)+1,129m(すり付け部)=2,232m
	処分坑道	31,161			31.5	
	計		12.5	22.4	21.6	31.5

表 6.2-5 硬岩系岩盤、豎置き方式における建設工程表

項目	工種	種別	単位	数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	備考	
立坑	①立坑 周辺坑道含む	操業用(3本)	m/本	1,055.6																									操業用1,808.1m 建設用2,489.2m		
		建設用(4本)	〃	1,055.6																											
1パネル	①連絡坑道	操業用	m	1,365.6																											
		建設用	〃	5,038.4																											
	②主要坑道		〃	3,683.7																											
2パネル	③処分坑道		〃	31,161.4																											
		①連絡坑道	操業用	m	2,920.3																										
		建設用	〃	6,500.8																											
3パネル	②主要坑道		〃	3,683.7																											
		③処分坑道		〃	31,161.4																										
	①連絡坑道	操業用	m	1,259.4																											
連絡通路	②主要坑道	建設用	〃	2,062.9																											
		③処分坑道		〃	31,161.4																										
	①連絡坑道	操業用	m	2,837.3																											
4パネル	建設用	〃	6,412.7																												
		②連絡坑道	操業用	m	1,969.8																										
		建設用	〃	5,924.3																											
5パネル	②主要坑道		〃	3,683.7																											
		③処分坑道		〃	31,161.4																										
	①連絡坑道	操業用	m	2,639.8																											
6パネル	建設用	〃	6,582.3																												
		②主要坑道		〃	3,683.7																										
		③処分坑道		〃	31,161.4																										
連絡坑道総計		操業用	m	15,742.8																											
主要坑道総計		建設用	〃	36,925.7																											
処分坑道総計			〃	22,102.2																											
			〃	186,968.4																											



操業用1,808.1m
建設用2,489.2m

表 6.2-6 主要坑道、処分坑道工期概算（硬岩系横置き）

工事区分	工事長 (m)	工期 (月)				備考
		操業用	建設用	主要坑道	処分坑道	
立坑周辺坑道	立坑設備工事	一式	12.0	12.0		バントン工事他
	立坑周辺掘削工事	一式	6.0	6.0		
	坑内仮設工事	一式	4.0	4.0		
	連絡坑道（操業用）	1,476	7.5			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	2,207		5.6		4切羽並進(98.9m/月)
	インバート工事	3,683	2.0	2.0		インバート工は本体掘削完了後、2ヶ月後に完了させる。
	撤去工事	一式	1.0	1.0		
	計		28.5	26.6		
1 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	2,702	13.7			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	3,984		13.4		3切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		16.7	16.4	17.9	24.0
処分坑道1坑当たり	すり付部	準備工事	一式			2箇所の合計
	本体部工事	27				0.3
	インバート工事	27				0.1
	撤去工事	一式				0.5
	本坑道	準備工事	一式			1.0
	本体部工事	863				1.4
	撤去工事	一式				1.0
	計					4.8
2 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	3,254	16.5			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	5,929		20.0		3切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		19.5	23.0	17.9	24.0
3 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	1,358	6.9			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	1,967		6.6		3切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		9.9	9.6	17.9	24.0
連絡通路	連絡坑道（操業用）	2,797	14.2			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	5,852		19.7		3切羽並進
	計					
4 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	2,640	13.3			2切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	4,277		14.4		3切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		16.3	17.4	17.9	24.0
5 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	2,394	24.2			1切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	4,209		21.3		2切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		27.2	24.3	17.9	24.0
6 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	1,321	13.4			1切羽並進 (98.9m/月)
	連絡坑道（建設用）	1,255		12.7		1切羽並進
	インバート工事	一式	2.0	2.0		インバート工は、本体掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,933			14.9	2切羽並進
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	944m（主要坑道）+1,360m（すり付け部）=2,304
	処分坑道	22,924			24.0	すり付け部含む（TBM5台）
	計		16.4	15.7	17.9	24.0

表 6.2-7 硬岩系岩盤、横置き方式における建設工程表

項目	工種	種別	単位	数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	備考
立坑	①立坑 周辺坑道含む	操業用(3本)	m/本	1,055.6																								操業用1,476m 建設用2,207.1m		
		建設用(4本)	〃	1,055.6																										
1パネル	①連絡坑道	操業用	m	2,701.6																										
		建設用	〃	3,984.3																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
2パネル	③処分坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	3,253.5																										
		建設用	〃	5,929.0																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
3パネル	③処分坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	1,357.8																										
		建設用	〃	1,967.1																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
連絡通路	①連絡坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	2,797.0																										
		建設用	〃	5,851.9																										
4パネル	①連絡坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	2,639.7																										
		建設用	〃	4,276.7																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
5パネル	③処分坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	2,393.5																										
		建設用	〃	4,209.0																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
6パネル	③処分坑道	TBM	〃	22,924.4																										
		操業用	m	1,321.4																										
		建設用	〃	1,255.2																										
	②主要坑道	〃	2,933.3																											
	③処分坑道	TBM	〃	22,924.4																										
	連絡坑道総計	操業用	m	17,940.5																										
		建設用	〃	29,680.3																										
	主要坑道総計	〃	〃	17,599.8																										
	処分坑道総計	TBM	〃	137,546.4																										

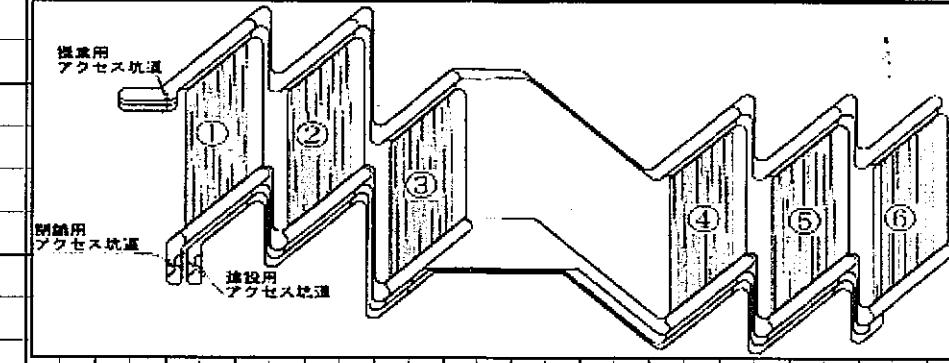


表 6.2-8 アクセス坑道工期概算（軟岩系）

工事区分		工事長 (m)	工期 (月)	備 考
仮設工事			6.0	
立坑本体	坑口上部工事	3.0	(1.0)	仮設工事と並行作業
	坑口下部工事	47.0	(2.3)	サイクルタイムより算出
	本坑一般部工事	451.0	6.7	同上
	サンプル部工事	35.0	0.5	同上
坑底連接部工事			1.0	同上
設備撤去工事			2.0	
合 計			16.2	

表 6.2-9 主要坑道、処分坑道工期概算（軟岩系豎置き）

工事区分	工事長(m)	工期(月)				備考
		操業用	建設用	主要坑道	処分坑道	
立坑周辺坑道	立坑設備工事	一式	12.0	12.0		バントン工事他
	立坑周辺掘削工事	一式	6.0	6.0		
	坑内仮設工事	一式	4.0	4.0		
	連絡坑道(操業用)	1,257	6.8			2切羽並進(92.0m/月)
	連絡坑道(建設用)	2,024		5.5		4切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	3,281	2.0	2.0		インバート工は本体掘削完了後、2ヶ月後に完了させる
	撤去工事	一式	1.0	1.0		
計			27.8	26.5		
1パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	6185	33.6			2切羽並進(92.0m/月)
	連絡坑道(建設用)	3858		21.0		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0	2.0	掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	4053		22.0		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			36.6	24.0	25.0	44.4
処分坑道道当り	準備工事	一式				
	本体部工事	940			10.2	直線部906m、曲線部34m
	撤去工事	一式			0.1	
	計				10.6	
連絡路	連絡坑道(建設用)	5087		27.6		2切羽並進(92.0m/月)
	計	5087		27.6		
2パネル	準備工事	一式	1.0			
	連絡坑道(操業用)		0.0			
	連絡坑道(建設用)	3873		21.0		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式		2.0	2.0	
	主要坑道	4006		21.8		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			0.0	24.0	24.8	44.4
3パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	5018	27.3			2切羽並進(92.0m/月)
	連絡坑道(建設用)	2654		14.4		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0	2.0	
	主要坑道	4006		21.8		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			30.3	17.4	24.8	44.4
4パネル	準備工事	一式	1.0			
	連絡坑道(操業用)					
	連絡坑道(建設用)	3017		16.4		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式		2.0	2.0	
	主要坑道	4053		22.0		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			0.0	19.4	25.0	44.4
連絡通路	連絡坑道(操業用)	2959	16.1			2切羽並進(92.0m/月)
	連絡坑道(建設用)	6096		16.6		4切羽並進(92.0m/月)
	計		16.1	16.6		
5パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道(操業用)	4057	22.0			2切羽並進(92.0m/月)
	連絡坑道(建設用)	1213		6.6		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式	2.0	2.0	2.0	
	主要坑道	4053		22.0		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			25.0	9.6	25.0	44.4
6パネル	準備工事	一式	1.0			
	連絡坑道(操業用)					
	連絡坑道(建設用)	1382		7.5		2切羽並進(92.0m/月)
	インバート工事	一式		2.0	2.0	
	主要坑道	4006		21.8		2切羽並進(92.0m/月)
	主要坑道(交点部補強)	一式		3.0		1828m(主要坑道) + 1700m(すりつけ部)
	処分坑道	47000			42.4	13切羽並進(92.0m/月)
計			0.0	10.5	24.8	44.4

表 6.2-10 軟岩系岩盤、豎置き方式における建設工程表

項目	工種	種別	単位	数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	備考
立坑	①立坑	操業用(3本)	m/本	536.0																											操業用1,257m		
		周辺坑道含	建設用(4本)	〃	536.0																										建設用2,024m		
1パネル	①連絡坑道	操業用	m	6,185.0																													
		建設用	〃	3,858.0																													
	②主要坑道	〃	4,052.9																														
連絡通路	③処分坑道	〃	47,000.0																														
	①連絡坑道	建設用	m	5,086.7																													
2パネル	①連絡坑道	操業用	m																														
		建設用	〃	3,872.3																													
	②主要坑道	〃	4,006.0																														
3パネル	③処分坑道	〃	47,000.0																														
	①連絡坑道	操業用	m	5,017.7																													
	建設用	〃	2,654.4																														
4パネル	②主要坑道	〃	4,006.0																														
		③処分坑道	〃	47,000.0																													
	①連絡坑道	操業用	m																														
5パネル	建設用	〃	3,017.3																														
	②主要坑道	〃	4,052.9																														
	③処分坑道	〃	47,000.0																														
6パネル	①連絡坑道	操業用	m																														
		建設用	〃	1,382.2																													
	②主要坑道	〃	4,006.0																														
	③処分坑道	〃	47,000.0																														
連絡坑道総計				操業用	m	19,475.3	注) ②, ④および⑥パネル操業用連絡坑道はそれぞれ①, ③および⑤パネル操業用連絡坑道に共通部分として含まれる																										
主要坑道総計				建設用	〃	29,203.4																											
処分坑道総計					〃	24,176.7																											
					〃	282,000.0																											

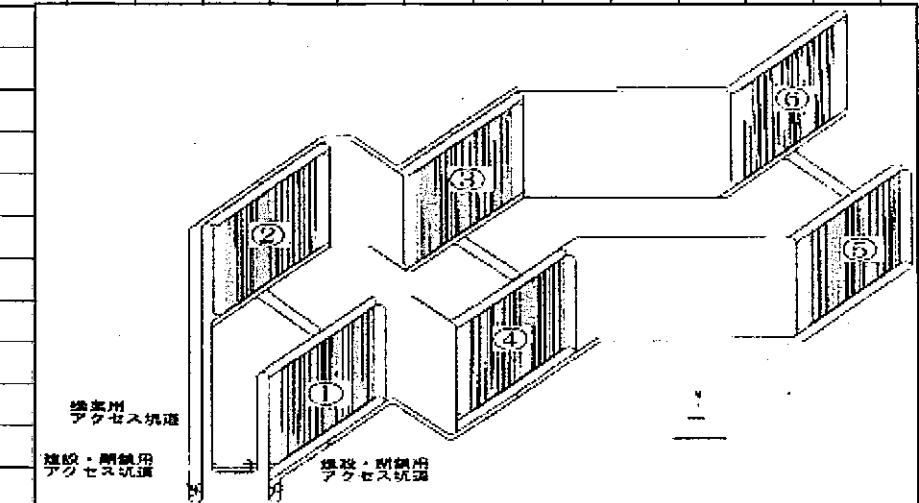
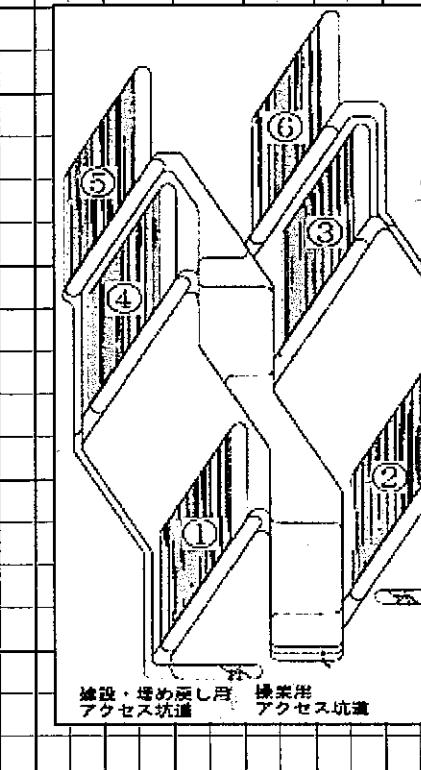


表 6.2-11 主要坑道、処分坑道工期概算（軟岩系横置き）

工事区分	工事長 (m)	工期 (月)				備考
		操業用	建設用	主要坑道	処分坑道	
立坑周辺坑道	立坑設備工事	一式	12.0	12.0		バントン工事他
	立坑周辺掘削工事	一式	6.0	6.0		
	坑内仮設工事	一式	4.0	4.0		
	連絡坑道（操業用）	1,377	7.5			2切羽並進 (92.0m/月)
	連絡坑道（建設用）	3,125		8.5		4切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	4,502	2.0	2.0		インパート工は本体掘削完了後、2ヶ月後に完了させる
	撤去工事	一式	1.0	1.0		
計			28.5	29.5		
1 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	2,207	12.0			2切羽並進 (92.0m/月)
	連絡坑道（建設用）	4,852		26.4		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式	2.0	2.0		掘削完了後2ヶ月後に完了
	主要坑道	2,908			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			15.0	29.4	18.8	35.0
処分坑道 1 坑当たり	準備工事	一式			0.5	2箇所の合計
	本体部工事	27			0.4	
	インパート工事	27			0.1	
	撤去工事	一式			0.1	2箇所の合計
	本坑道	準備工事	一式		1.0	TBM の搬入、組立含む
	本坑道	本体部工事	624.7		1.9	
	本坑道	撤去工事	一式		1.0	TBM の解体含む
計					5.0	
連通絡路	連絡坑道（建設用）	1,235		6.7		2切羽並進 (92.0m/月)
	計	1,235		6.7		
2 パネル	準備工事	一式		1.0		
	連絡坑道（操業用）		0.0			
	連絡坑道（建設用）	4,739		25.8		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式		2.0		
	主要坑道	2,909			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			0.0	28.8	18.8	35.0
3 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	3,721	20.2			2切羽並進 (92.0m/月)
	連絡坑道（建設用）	3,195		17.4		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式	2.0	2.0		
	主要坑道	2,909			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			23.2	20.4	18.8	35.0
4 パネル	準備工事	一式		1.0		
	連絡坑道（操業用）					
	連絡坑道（建設用）	3,295		17.9		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式		2.0		
	主要坑道	2,909			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			0.0	20.9	18.8	35.0
5 パネル	準備工事	一式	1.0	1.0		
	連絡坑道（操業用）	2,095	11.4			2切羽並進 (92.0m/月)
	連絡坑道（建設用）	1,074		5.8		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式	2.0	2.0		
	主要坑道	2,909			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			14.4	8.8	18.8	35.0
6 パネル	準備工事	一式		1.0		
	連絡坑道（操業用）					
	連絡坑道（建設用）	1,340		7.3		2切羽並進 (92.0m/月)
	インパート工事	一式		2.0		
	主要坑道	2,909			15.8	2切羽並進 (92.0m/月)
	主要坑道（交点部補強）	一式			3.0	
	処分坑道	23,769			35.0	5切羽並進 (336.0m/月)
計			0.0	10.3	18.8	35.0

表 6.2-12 軟岩系岩盤、横置き方式における建設工程表

項目	工種	種別	単位	数量	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	備考
1 パネル	①立坑 周辺坑道含む	操業用(3本)	m/本	536.0																									操業用1,377m	
		建設用(4本)	〃	536.0																								建設用3,125m		
	①連絡坑道	操業用	m	2,207.4																										
		建設用	〃	4,852.4																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
連絡通路	①連絡坑道	建設用	m	1,325.0																										
2 パネル	①連絡坑道	操業用	m																											
		建設用	〃	4,739.4																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
3 パネル	①連絡坑道	操業用	m	3,721.3																										
		建設用	〃	3,195.2																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
4 パネル	①連絡坑道	操業用	m																											
		建設用	〃	3,294.6																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
5 パネル	①連絡坑道	操業用	m	2,094.5																										
		建設用	〃	1,073.8																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
6 パネル	①連絡坑道	操業用	m																											
		建設用	〃	1,340.3																										
	②主要坑道		〃	2,907.8																										
	③処分坑道	TBM	〃	23,769.0																										
連絡坑道総計				操業用	m	9,400.2	注) ②, ④および⑥パネル操業用連絡坑道はそれぞれ①, ③および⑤パネル操業用連絡坑道に共通部分として含まれる																							
主要坑道総計				建設用	〃	22,945.7																								
処分坑道総計				TBM	〃	17,446.8																								
						142,614.0																								



7. 処分孔

7.1 掘削工法

処分孔堅置き方式における処分孔の構築においては、①すでに応力集中が生じている処分坑道の底盤をさらに掘削する、②限定された狭い作業空間内で、掘削長の短い大口径の硬岩盤掘削（最大高さ 5m、幅 5m の処分坑道内で直径 2.22m、深さ 5m の処分孔の掘削）を行うという特殊な条件のため、周辺岩盤の損傷に留意し施工効率の良い掘削機を用いた掘削工法の開発が必要となる。

そのためここでは、現状における大口径ボーリング掘削などの岩盤掘削方法の内容・特長を調査し、掘削方法の絞り込み後、処分孔掘削工法及び掘削機の検討を行った。

7.1.1 岩盤掘削方法の調査

(1) 破碎作用の原理

岩盤などの破碎は、溶融・気化、温度差による剥離、機械的応力、化学的作用といった基本原理を応用している。その基本原理を以下に示す。

1) 溶融作用

岩石を加熱し溶解または気化させて穿孔するものであり、およそ 1,000~2,200°C 以上の溶解熱を必要とし、岩石の種類によって要求されるエネルギーは 430~520kg/cm³ と大きな幅がある。たとえば、石灰岩は他の岩石よりも非常に高い溶解熱を必要とするが、花崗岩や玄武岩のような火成岩は、沈殿岩よりも低い融解エネルギーで溶解する。溶解作用による岩石の掘進率は概して低く、応用には限界がある。

因みに花崗岩の溶融点は 1,250°C、溶融に必要な総エネルギーは 4,320J/cm³ である。

2) 温度差による剥離作用

岩石の表面を 380~600°C に急速に熱すると鱗片状に剥離する。これは岩石成分中の結晶水が加熱により液状またはガス状に変化し、また鉱物粒子の膨張係数が異なるために、ここに熱力学的歪力が発生し、岩石は表面から剥離するもので、この経過を熱による岩石の剥離作用と呼んでいる。

しかし、加熱のみでは岩石の表面が溶融するだけで剥離は起こらず、これには表面と深部の間に高い熱勾配を必要とする。ある研究によれば、花崗岩の表面を 480°C に熱した場合、岩石の表面から深さ 0.15cm の内部に至ると温度は急速に減退し、岩石の表面と深部との温度差により岩石粒子の膨張率が変わるために、岩石は表面から剥離を始める。

加熱によって発生する熱力学的歪力が、剥離作用を発生させるに不十分であるときには、ただ岩石の表面に溶融が行われるだけである。もし十分な熱歪力を粒子結晶の弱点に作用させると、これによって岩石強度を 50~75% まで低下させることができると言われているが、作業面が高温にさらされるので密閉された空間での作業

には適さない。

3) 機械的応力（作用）

機械的に岩石中に歪みを発生させて岩石を破碎する方法は、人類が最初に大地に孔を穿つときから行われたものであり、現在まで坑井掘削には広く用いられてきた方法である。ロータリービット、パーカッションビットなどはこれに属し、種々の加熱ドリル（ドリル先端に装着した電極などにより、高熱を岩石に与えることによって岩石を溶融しながら穿孔を行うドリル）などよりも岩石に対してエネルギーを伝達するときの、時間的経過が非常に速いことを特長としている。

岩石に対して機械的に歪みを発生させるには、岩石の圧縮強度以上の加圧または衝撃を与える必要がある。ここで、ロータリービットの出力は 600~1,200kg m の範囲であるのに、たとえばタコナイト 16cm³を掘進するには 2,400kg m のエネルギーを必要とし、ロータリービットでは機械的歪力の限界を超えることになる。このためビット刃の楔の原理に基づく機械的歪力によらず、より強力な物理的衝撃を与える種々の試みが新しく行われている。

たとえばスパークドリル（液体で満たされている電極間において高圧放電を行うことにより、放電通路内でエネルギーが開放される結果、液体内で衝撃波が発生するいわゆる電気水圧現象で、爆発と類似の機械的効果を周囲の岩石に及ぼして岩石を破碎するドリル）は、圧力換算で 100,000psi 以上の圧力波を発生できるので、これを直接岩石に伝達すると、その時の出力は 131HP となり、ロータリービットの 20~50HP に比べて非常に高い馬力である。またこの他、①小鋼球を 22m/s 以上の速度で岩石に打ち付け、衝撃により破碎する、②火薬包を泥水によって坑底に送り込み、爆発により岩石を破碎する、③30~70kV 電圧により、970kg m 以上の大さなエネルギーのスパークを発生させ、電気的水圧作用により破碎する、④20~30kHz の超音波を電気磁気的に発信して振動を水に伝え、ドリルの尖端に局部的にキャビテーションを発生させると、岩石の表面は石跳ねからクラックを生じて剥離する、⑤液体圧 1,000atm、ノズル速度 400~500m/s 以上の水ジェットを岩石の表面に噴射して浸食作用により岩石を穿孔するなどの機械的応力を応用したドリルが研究されている。

4) 化学的作用

フッ素などの高化学反応剤を大量に使用して、砂岩、石灰岩、花崗岩などに強烈に作用させ、岩石を化学的反応により溶解するものであるが、使用に際し危険が伴い、かつ高価であるため岩石掘削への適用は難しく、油田では採油井の挿入管の穿孔部から泥水の侵害を受けた鉱床を溶解するなどの特殊な場合にのみ応用されている。

(2) 破碎に必要なエネルギー

前述の各作用における岩石破碎に要する比エネルギーは表 7.1-1 の通りである。

表 7.1-1 破碎に要する比エネルギー

作用名	エネルギー (J cm ⁻³)
溶融作用	5,000
温度差による剥離作用	1,500
機械的応力	200~500
化学作用	—
(参考) 水ジェット	2,000~4,000

表 7.1-1 からもわかるように、小さいエネルギー (≒低コスト) で岩石を破碎 (掘削) する方法は、機械的応力を利用するのが最適であると言える。

また、水ジェットは通常の機械的掘削方法と比較すると、約 10 倍のエネルギーを要するとされている。したがって水ジェットは、溝掘削やコンクリートのはりなどに用いられる事は多いが、岩盤掘削などに用いられることはほとんどない。

以下に、適用性が一番高いと思われる機械的応力による掘削について述べる。

(3) 機械的応力による掘削

機械的応力による掘削は一般的に安価な方法であり、現実に工事に多用されている。掘削機の先端にはビットという岩盤と接する部分があり、このビットが岩盤を破碎していることになる。ビットには大きく分けて、メタルチップ (超硬合金) を植え込んだメタルビットと、小粒のダイヤモンドを表面に植え込んだダイヤモンドビットの 2 種類があり、通常軟岩・中硬岩にはメタルビットを、硬岩にはダイヤモンドビットを使用する (図 7.1-1)。

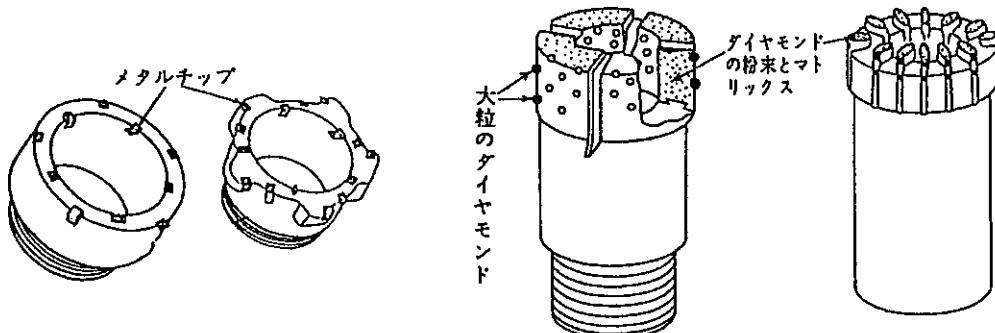


図 7.1-1 メタルビット (左) とダイヤモンドビット (右)

一般に機械的応力による掘削は、刃先を掘削対象地盤に押し当てて食い込ませ、地盤を破壊して行うが、刃先の違いによる掘削方法には、切削型ビット、ローラビット及び衝撃式ビットの 3 種類がある。処分孔は円形であるので、回転ビットを使用することが一般的である。以下に 3 種類の掘削方法の概略を述べる。

1) 切削型ビット

刃先を刃先荷重により地盤に食い込ませ、刃先を進めて地盤を掻き取る形式のビットである（図 7.1-2）。刃先が摩耗するまで使用に耐えるが、中硬岩には刃先摩耗の問題があり全断面にはあまり使用されない。壁面は比較的精度良く仕上げられる。ダイヤモンドビットなどによるボーリング方法はこの種類である。

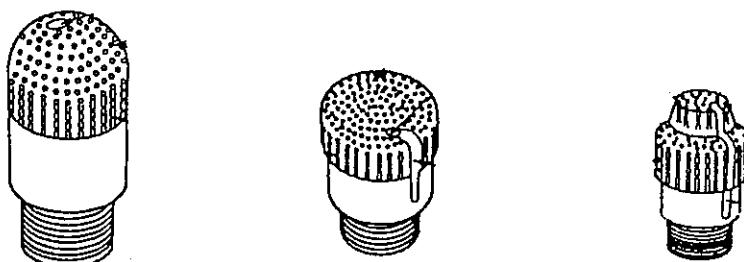


図 7.1-2 切削型ビット

2) ローラビット

刃先の軸の周りで回転する刃先を刃先荷重により地盤に食い込ませ、地盤を圧壊による破碎で掘削するもので、油井、温泉、地下水などの掘削などに広く使われている（図 7.1-3）。また、軟岩から硬岩まで掘削地質も広く、全断面掘削にはこの方法がよく用いられる。

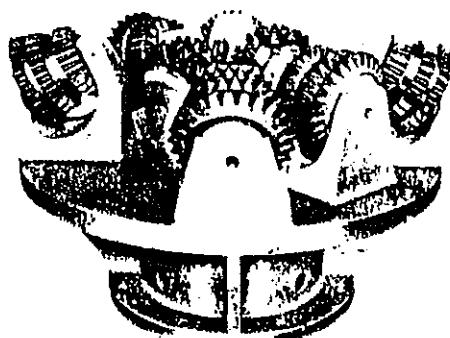


図 7.1-3 ローラビット

3) 衝撃式ビット

刃先を地盤に押し当てて、その後部より衝撃を加えるもので、特に硬岩を能率良く掘削することで知られている。刃先には超硬チップ植え付け型が一般に使用される。直径 200mm 程度までは地上部で衝撃を発生する削岩機のような機構のマシンがあるが、それ以上の径にはダウンザホールハンマーが使用される。ダウンザホールハンマーの概略図を図 7.1-4 に示す。

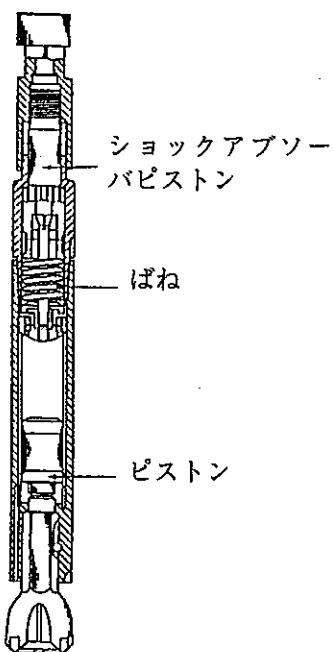


図 7.1-4 ダウンザホールハンマ概略図

(4) 大口径岩盤削孔工法

岩盤削孔技術協会によると、岩盤に対する大口径（直径 600mm 以上）掘削の方法として、4 種類の工法が挙げられている。いずれも回転ビットによる穿孔により孔壁を形成するが、岩心（コア）部分の掘削と除去については種々の方法が採用されている。以下に 4 種類の工法について、その概要を示す。

1) オーガ掘削工法

切削型のオーガビットを回転させる掘削工法であり、アースオーガ機を使用して掘削を行う。図 7.1-5 のようにモータにより回転力を与える駆動装置、オーガリーダ、これを懸垂するクローラクレーン、スクリューオーガ及びヘッドなどから構成されている。

一般的にはコア部分を同時掘削する全断面掘削法が採用されており、掘削ずりはスクリューオーガの羽根に乗せて、回転と同時に孔外に送り出される。また、一軸圧縮強度 100MPa 程度の節理の多い硬岩掘削には、ヘッドの先端に超硬チップが取り付けてある硬岩掘削用オーガヘッドを使用し、亀裂部を破碎して小塊とすることにより掘削可能にしている（図 7.1-6）。

比較的硬い地盤を楽に掘削する方法として、掘進速度を極端に遅くするか、2~3m/min の速度でオーガ先端より注水または空気圧などをかけて削土に界面活性を与えると、スクリューによる送土を楽にする効果がある。本工法の特長は以下に示すとおりである。

- ①掘削に泥水を必要としない。
- ②経済的な高速施工が可能である。

- ③高い鉛直精度が得られる。
- ④低騒音・低振動工法である。

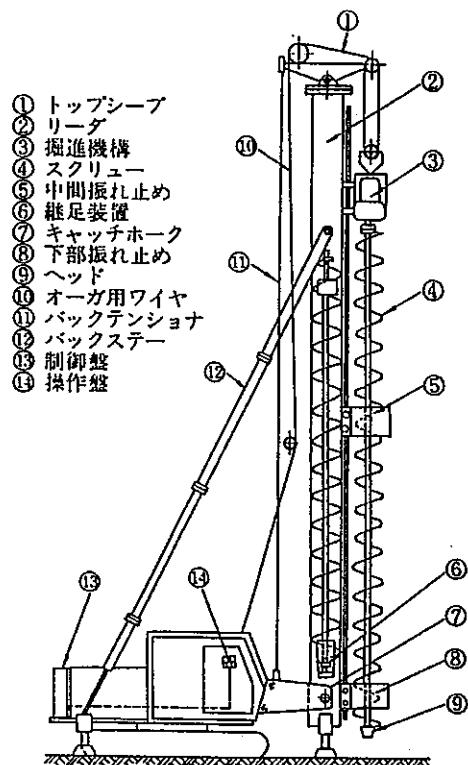


図 7.1-5 オーガ掘削工法概要図

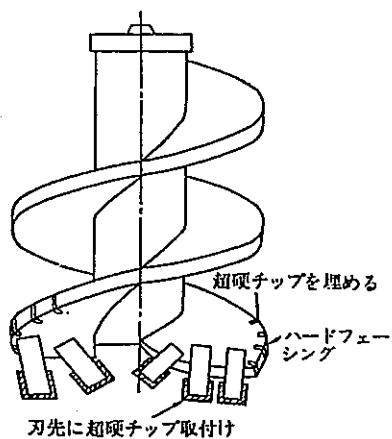


図 7.1-6 硬岩掘削用オーガヘッド

2) ロータリー掘削工法

ドリルパイプ先端に取り付けたローラビットにドリルカラーで荷重をかけ、ロータリーテーブルまたはパワースイベルでドリルストリングスを回転させ岩盤を掘削する工法である。掘削ずりは、ポンプサクション方式またはエアリフト方式により連続的に地上に搬出する。

本工法に使用される掘削機（図 7.1-7）には、回転機構及びポンプユニットを地上に設置するタイプ（A タイプ）と、掘削機本体を掘削孔に直接降下するタイプ（B タイプ）に大別することができる。現状では動力ユニット、サクションポンプ、油圧装置をスキッド式フレームに取り付け、ロータリーテーブルと分離した形式のものが多く用いられている。

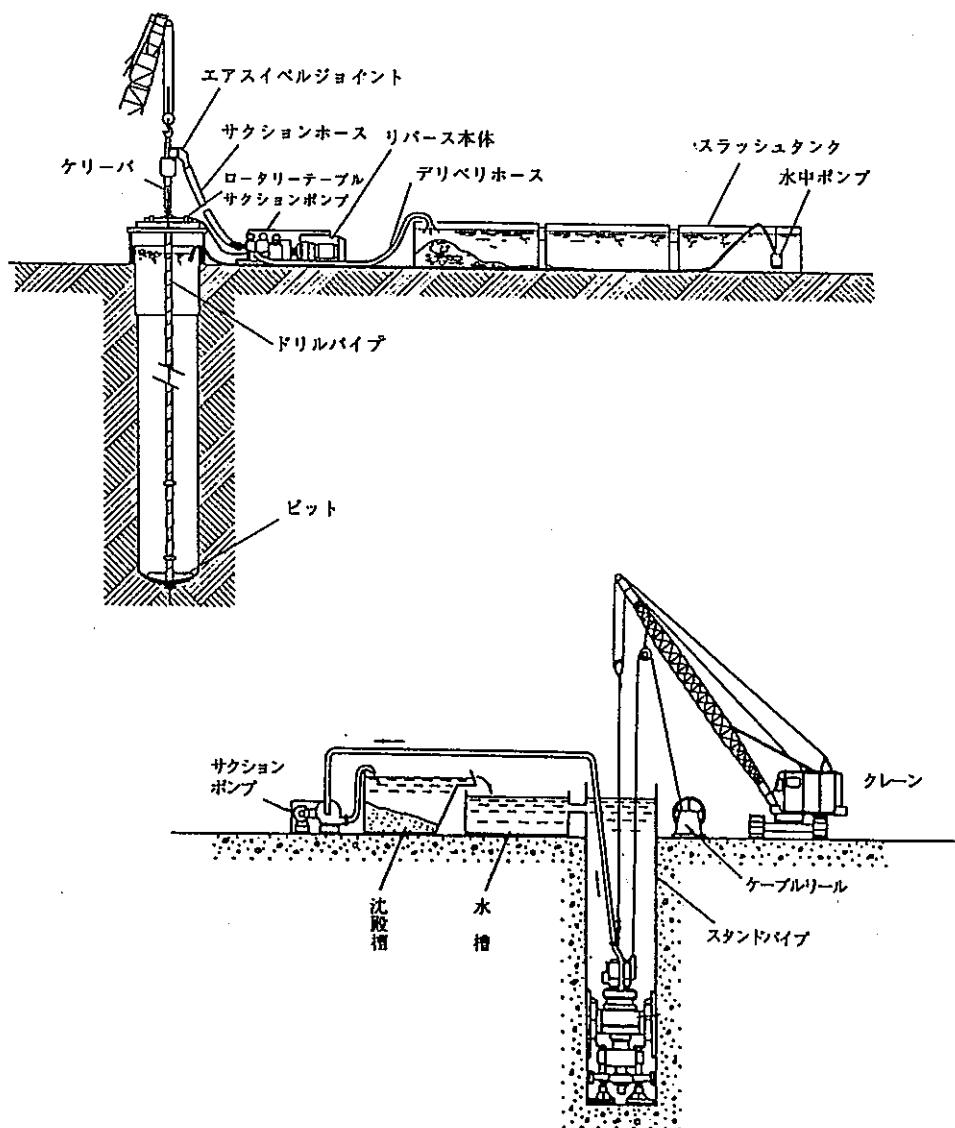


図 7.1-7 ロータリー掘削工法概要図（A タイプ：上、B タイプ：下）

ロータリーテーブルは、本体ユニットより送られてくる油圧で油圧モータを駆動し、減速歯車を経てリングギヤを回転させ、その中央にある角形の孔にケリーバを挿入させてドリルパイプを回転させる。ケリーバの上方にスイベルジョイントがあり、ドリルパイプ内を通過してきた土砂を含んだ水をポンプに導入し、デリバリーホースを経て孔外に放出させる（リバースサーチュレーション方式）。ドリルパイプ

の先端には、各用途に応じたビットを取り付けるが、岩盤掘削には図 7.1-8 に示すビットまたは両者を併用したビットが使用される。本工法の特長は以下に示すとおりである。

- ①掘削径が自由に選べ、岩掘削では最大径 4.4m の実績を有する。
- ②水を利用する工法のため水上施工に適し、大深度掘削も可能である。
- ③低騒音・低振動工法である。

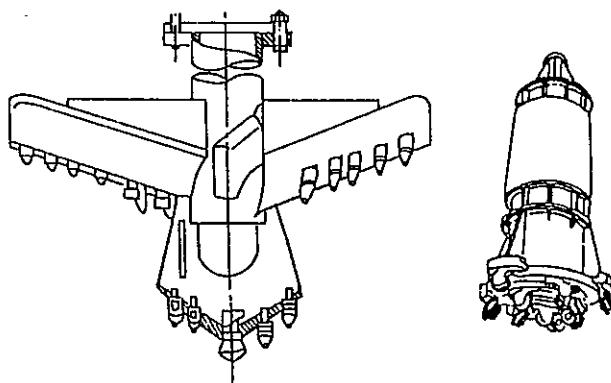


図 7.1-8 ロータリー掘削工法用掘削ビット

3) パーカッション掘削工法

本工法は重錘またはハンマによる衝撃力を利用して岩盤を掘削する工法で、掘削方式により以下の 2 種類に分類される。

(a) 重錘式

V 型の 10 数本の切削刃を持った 4~6 t の 2 重筒状の重錘を、ずり搬出管をガイドとして油圧駆動ウインチにより 10m 以下の任意の高さに巻き上げた後、クラッチの切断による自由落下を繰り返すことにより、岩に衝撃を加えて掘削する方式である。掘削は、ウェットの場合には、ポンプサクションまたはエアリフトによる逆循環方式で行い、ドライ掘削の場合にはクレーンにハンマーグラブを装着して搬出する。

図 7.1-9 に重錘式掘削機の全体図を示す。

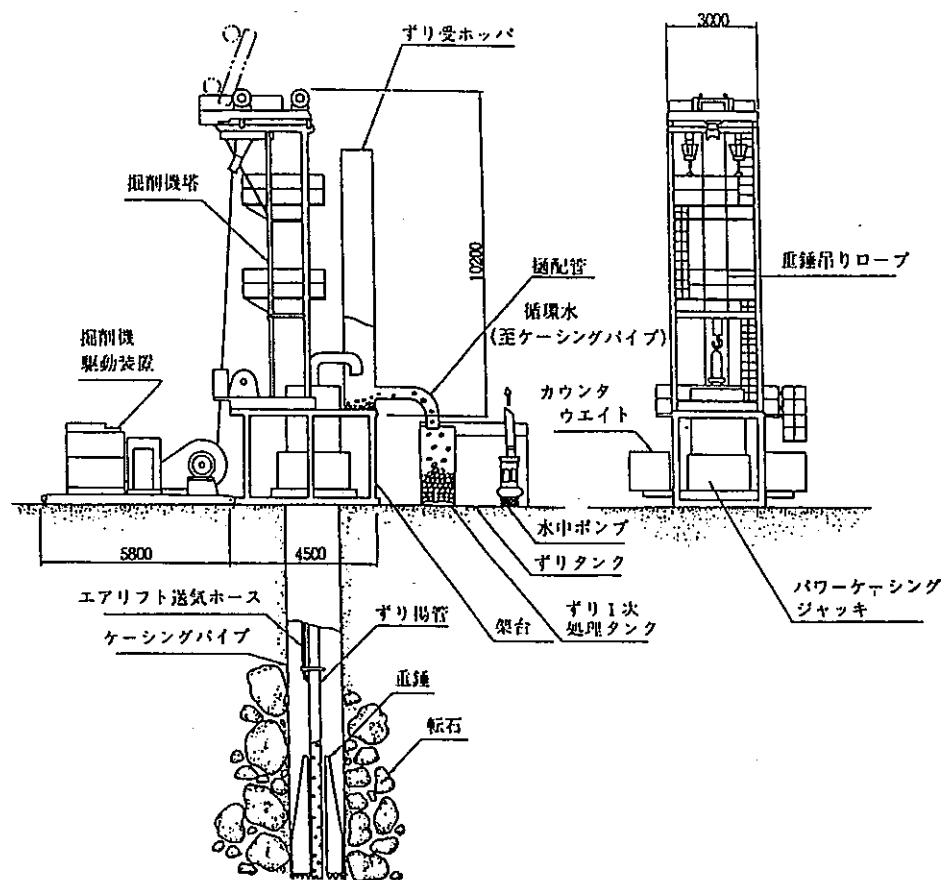


図 7.1-9 重錘式掘削機の全体図

本式の特長は以下に示すとおりである。

- ①衝撃力を利用し岩を破碎するので、ずりを塊状として回収でき、ずり処理能力が良い。
- ②構造・機構がシンプルであり故障・消耗部品が少ない。
- ③重錘の巻き上げ・落下・エアリフトの循環水水位は自動制御されており、自動運転が可能である。

(b) ダウンザホールハンマ方式

ドリルロッドの先端にエアハンマを接続して、削孔深度に応じて上部にロッドを継ぎ足す方法で、削孔と同時にエアハンマが削孔内を下がって行く方式である。

ハンマの動作は、コンプレッサーからのエアをロッドを通して供給すると、シリンダ内のピストンが往復運動をし打撃を行う。さらにこのビットの先端チップが岩を破碎して、細かく破碎されたずりは、ブロー用エアにより地上に吹き上げられ、地上の集塵装置によって一方向に集積される。本方式を用いれば地球上のあらゆる岩盤も掘削可能であるとされている。図 7.1-10 に全体図を示す。

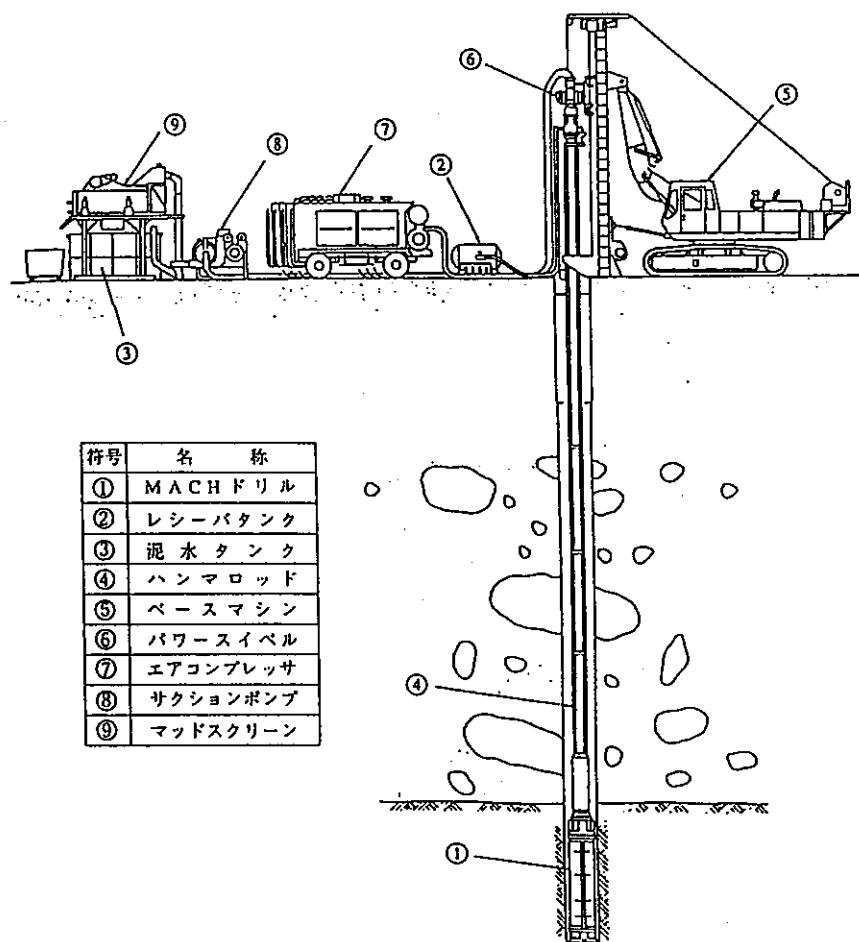


図 7.1-10 ダウンザホールハンマ方式の全体図

本方式の特長は以下に示すとおりである。

- ①エア掘削工法は、掘削時の循環流体として水の代わりに空気を使用するので、給水設備に関係なく何処でも作業できる。
- ②シンプルな構造のため消耗部品が極めて少なく、分解・組立が容易である。
- ③ピット荷重が少なくて良いため鉛直精度が良い。

4) ケーシング回転掘削工法

ケーシングチューブを掘削孔全長にわたり回転・圧入しながらハンマーグラブなどでケーシング内の土砂を掘削・排土する工法である。

さらに同工法は、従来のベノト工法（オールケーシングにより地盤を削孔する工法）では転石・岩盤などが掘削困難であったため、ケーシング先端のカッティングエッジに超硬チップを取り付けたカッターピットを装着し、これを一方的に回転させ、転石・岩盤などの掘削を行えるように強化したものである。

掘削機を構造上より大きく分類すると、掘削機本体にクローラが装備された自走式と、掘削機自体で移動できない据置式の2方式がある。

ケーシングチューブの中掘り方法は、クレーンによるハンマーグラブ掘削が一般的であるが、自走式では掘削機本体によるハンマーグラブ掘削が可能な機械もある。自走式は移動性に優れ、据置式は運搬性に優れている。図 7.1-11 及び図 7.1-12 に自走式、据置式掘削機の全体図を示す。

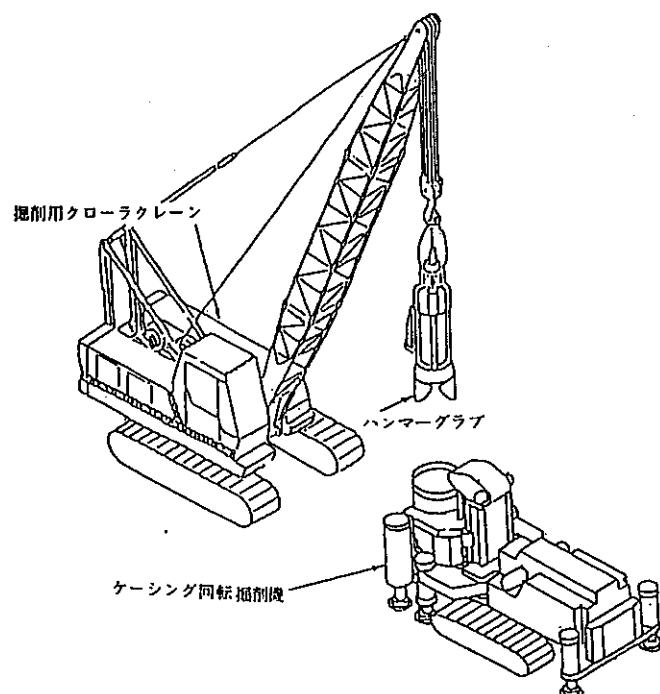


図 7.1-11 自走式掘削機の全体図

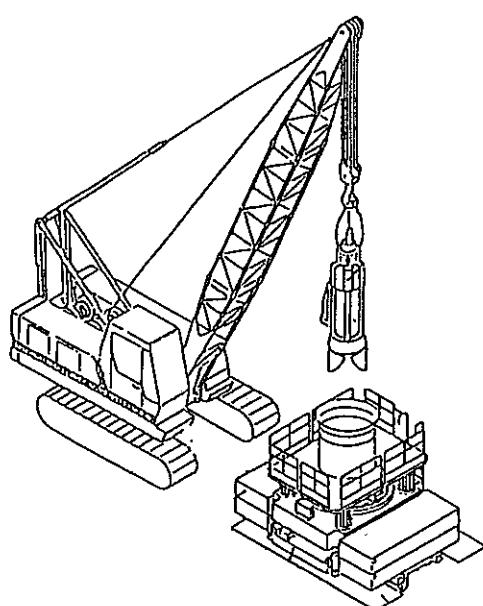


図 7.1-12 据置式掘削機の全体図

本式の特長は以下に示すとおりである。

- ①強力な回転力を与えることにより、転石・岩盤の掘削が可能である。
- ②ケーシングが360°回転するので、高い鉛直性が得られる。
- ③掘削孔全長にわたりケーシングチューブを使用するため、杭形状が確保しやすく、孔壁の崩壊や近接構造物への影響が少ない。

5) 大口径岩盤掘削工法のまとめ

大口径岩盤掘削工法の4工法について同一条件で施工した場合の施工コストは、一般的にパーカッション掘削工法が一番高く、ロータリー掘削工法、オーガ削孔工法、ケーシング回転掘削工法の順で安くなる。また、その他のまとめとして掘削工法の選定資料を表7.1-2に、適用範囲と施工上の留意点を表7.1-3にそれぞれ示す（日本建設機械化協会編、1996）。

表 7.1-2 掘削工法の選定資料

選定条件		オーガ削孔		ロータリー掘削		パッカッショングリット式		ケーシング回転掘削	
主要用途		・鋼矢板・鋼管矢板等の先行削孔工事 ・土留工事 ・橋台・橋脚の基礎杭工事 ・建築の基礎杭工事 ・地中障害物削孔除去工事等		・橋台・橋脚の基礎杭工事 ・海上構造物の基礎杭工事 ・建築の基礎杭工事 ・地下鉄基礎杭工事 ・抑止杭・土留め杭工事 ・鋼管矢板等の先行削孔工事等		・橋台・橋脚の基礎杭工事 ・海上構造物の基礎杭工事 ・さく井工事等 ・建築の基礎杭工事 ・止水・土留め等の柱列壁工事 ・鋼管矢板等の先行削孔工事等		・橋台・橋脚の基礎杭工事 ・建築の基礎杭工事 ・抑止杭工事 ・止水・土留め等の柱列壁工事 ・鋼管矢板等の先行削孔工事等	
掘削種別		オーガ式		ロータリー式		重錐式		ケーブルホールハシマ式	
地盤条件	軟岩(I)	推定一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	50	○	○	○	○	○	○
	軟岩(II)		100	○	○	○	○	○	○
	中硬岩		200	○	○	○	○	○	○
			300						
			400						
			500						
	硬岩(I)		600	○	○	○	○	○	○
			700						
			800						
	硬岩(II)		900						
			1000						
岩塊・玉石		○		△		○		○	
転石		○		△		△		○	
無筋コンクリート		○		○		○		○	
鉄筋コンクリート		○						○	
施工条件	掘削深度(m)	5未満	○	○	△	○	○	○	○
		5~15	○	○	○	○	○	○	○
		15~25	○	○	○	○	○	○	○
		25~40	○	○	○	○	○	○	○
		40~50	○	○	○	△	△	○	○
		50~60	△	△	○				△
		60~80	△	△	○				△
		80~100			△				
施工条件	掘削径(m)	0.6~0.8	○	○	△	○	○	△	
		0.8~1.0	○	○	○	○	○	○	
		1.0~1.2	○	○	○	○	○	○	
		1.2~1.5	○	○	○	○	○	○	
		1.5~2.0	○	△	○	○	○	○	
		2.0~4.0	△		○	○			△
		4.0~6.0			△				
	水上施工	水深5m未満			○	○	○		△
環境条件		水深5m以上			△	○			
	作業空間が狭い		△	△	○	△	○	△	
	斜坑の施工		△	△		○	△	△	
	低振動、低騒音		○	○	○	○	△	○	
隣接構造物に対する影響			○		○	△	○		○
有害ガスの影響		○	○	○	○	○	○		○

凡例：○施工実績が多い。 ○施工実績がある。 △施工実績が少ない。

表 7.1-3 適用範囲と施工上の留意点

	オーガ削孔	ローテー掘削	ハーカッショントルク掘削	ケーシング掘削
地盤条件	地盤は岩塊、玉石、転石、軟岩から硬岩に適する。 ただし、硬岩(II)の場合、ハーカッションの併用もあり得る。	岩質に応じて互換性のあるカッター形式の選定ができるため、地盤は軟岩から硬岩までの掘削に適する。	地盤は岩塊、玉石、軟岩から硬岩までの掘削に適する。	地盤は岩塊、玉石、転石、軟岩から硬岩に適する。 ただし、硬岩(II)の場合、ハーカッションの併用もあり得る。
掘削性、掘削深度	掘削径； ϕ 700mm～1,500mm 掘削深度；50m	掘削径； ϕ 800mm～3,800mm 掘削深度；70m	掘削径； ϕ 600mm～2,000mm 掘削深度；50m	掘削径； ϕ 1,000mm～3,000mm 掘削深度；50m
施工条件、施工精度	斜坑の施工が困難で最大施工角度は陸上で 15°、海上で 20° である。施工鉛直精度は、オーガ式で 1/200、オーガ+リンク+カット式で 1/300 程度である。	水上施工が加納で施工鉛直精度は、1/200～1/300 程度である。	水上施工が可能で施工鉛直精度は、1/200 程度である。	斜坑の施工が可能で施工角度は陸上で 12°、施工鉛直精度は 1/300～1/400 である。
適用性	特殊歯先により掘削すりはスクリューで排出する。崩壊性の地盤はオーガが適し、崩壊性の地盤はオーガ+リンク+カット式が適する。硬岩掘削で鉛直精度を重視する場合及び障害物除去にはオーガ+リンク+カット方式が適している。	全断面掘削方式で大口径、大深度の掘削が可能で、適用地質も一般土質から岩盤掘削まで幅広く対応できる。水上施工も可能で作業時の騒音、振動発生が少ない。	重錐、ダウンザホールハンマとも全断面掘削方式であるため、重錐は中硬岩、ダウンザホールハンマは硬岩まで確実に掘削できる。ダウンザホールハンマは小口径、重錐は大口径の施工に適し、重錐は水上施工の実績が多い。	リングカット方式で、内部掘削はハンマグラブのため、特に岩塊、玉石、転石の掘削に適している。ハンマグラブでつかめない硬岩掘削では、チゼルまたはダウンザホールハンマの併用が必要。障害物除去に適している。
施工上の留意点	岩塊、玉石については、特殊形状の専用ピットで破碎、削孔ができる。	ドリルパイプ径より大きい岩塊、玉石唐が存在する地質の掘削能力は低下する。	巨大で高強度の転石が存在する地盤では、ケーシングの圧入が困難となる。	節理の少ない岩盤掘削には、掘削岩の搬出方法の検討が必要である。

7.2 海外事例

(1) スウェーデンの例

スウェーデンにおいては、レイズボーラー工法を応用した工法（以下、逆レイズボーラー工法と記す）を用いてピットの掘削実験を行ったとの報告がある。

レイズボーラー工法とは、立坑掘削や立坑導坑の施工に用いられる工法で、大口径ボーリング機を使用し、まず径 250mm 程度のパイロット孔を掘削し、次に下部から上部へ向かってリーミングヘッドを回転させながらリーミングアップして立坑を掘削する工法のことである。掘削ずりは、パイロット孔内を通り抜け、下部のバケットに集積される。

これに対し逆レイズボーラー工法は、先に削孔したパイロット孔をガイドとしてリーミングヘッドを上部より下部へ降ろす（＝リーミングダウン）ことにより掘削を行い、掘削ずりはバキュームポンプで地上へ吸い上げるという工法である。逆レイズボーラ工法の概要を図 7.2-1 に示す。

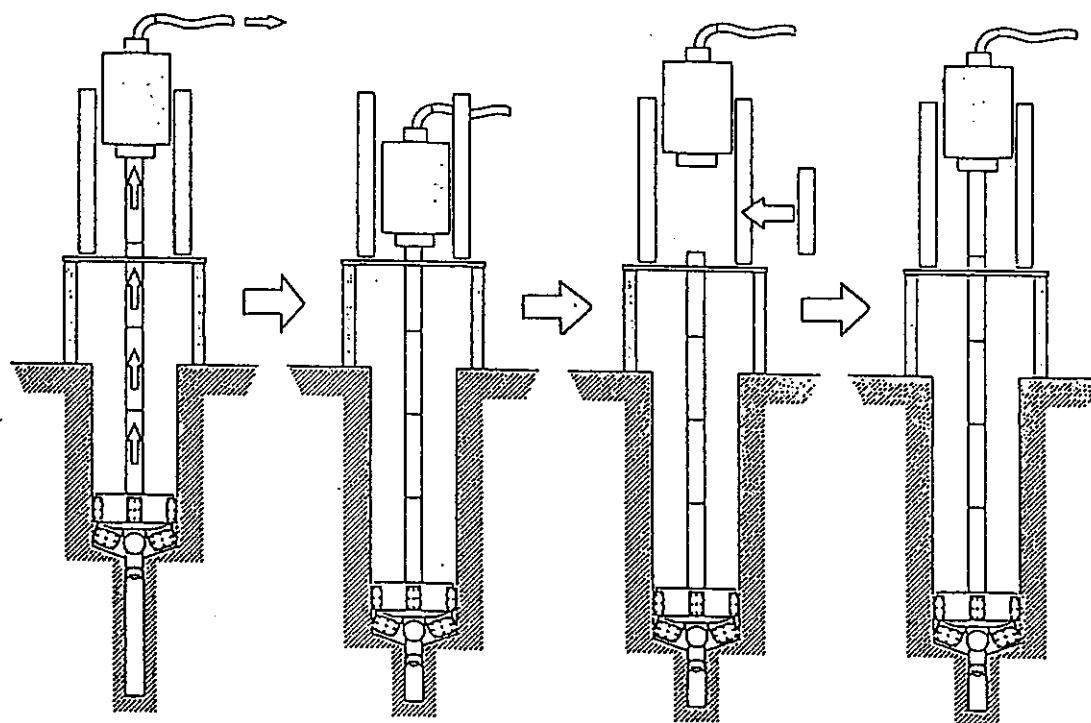


図 7.2-1 逆レイズボーラ工法の概要

スウェーデンでは、重量約 8,900kg、最大高さ 3.6m の掘削機を用いて、地下 60m に位置する試験坑道において、石英・斜長石・黒雲母を 8 割以上含む火成岩に、直 径 1.5m、深さ 7.5m の円筒状のピットを 3 本掘削している。掘削機の修理やメンテナンスに多大な時間や労力を費やされたが、同工法によるピット掘削の考え方に関する問題はなかったと報告されている。また、1 本のピット掘削（準備は除く）に要した実際の日数は約 4~9 日間（総作業時間の 6~14%）であるのに対し、修理やメンテナ

ンスに要した日数は約9~12日間（総作業時間の14~18%）であった。

(2) カナダの例

カナダにおいては、水ジェットを利用しピット掘削実験を行ったとの報告がある。花崗岩（一軸圧縮強度：134~248MPa）に直径1,240mm、深さ5,000mmの円筒状のピットを、吐水圧135MPa、吐水量50l/minでノズルが回転するロータリージェット及び水と研磨剤を吐出するアブレッシブジェットを併用したものを使用し、まず鉛直方向にピット直径に沿って溝状に掘削し、次に円の中心に向かって水平方向に掘削するというものである。幅約40mmを溝切りしたところ、掘進率は190~240mm/hであり、施工精度については掘削深度が深くなるにつれて、ピットの径が大きくなる（掘削深度500mmの箇所でピット径は1,258mmになっている）と報告されている。

7.3 現行工法の検討

(1) 処分孔の設計条件

処分孔設計仕様に対する現行工法の評価を行うために、処分孔の設計条件を表7.3-1にまとめて示す。

表7.3-1 処分孔設計条件

項目	数値その他		備考
処分坑道	形状	幌型	
	幅	5m	
	高さ	5m	
処分孔	直径	2.2m	
	標準深さ	3.85m	
	最大深さ	5m	
岩盤	岩質	硬岩系岩盤	均一とする
	一軸圧縮強度	80MPa	
施工速度	1孔/日		
1日当たり稼働時間	16h	1日2方	
仕上がり面	最小半径と円筒形状を確保		

表7.3-1に示す条件は硬岩についてのものであるが、実際の対象岩盤として軟岩が選定される場合も想定し、対象岩盤が軟岩の場合の処分孔設計条件のうちで硬岩と異なる項目のみを以下に記載し、以降において硬岩及び軟岩のそれぞれについて適切な処分孔掘削工法の検討を行う。軟岩の場合の処分孔設計条件としては、硬岩と異なる項目のみをあげると以下のようになる。

- ・処分坑道；形状（馬蹄型）
高さ（4.5m）
- ・岩盤；岩質（堆積岩）
一軸圧縮強度（30MPa）

本検討においては、掘削対象岩盤が均一で処分孔が大口径であり、さらに掘削機械の設置位置（処分坑道）が限られ、壁面の粗度条件が厳しいことなどが工法の選択において大きな要因となる。

なお、結晶質岩の一軸圧縮強度は 80MPa としているが、ここでは実際の施工を考慮し、一軸圧縮強度 100MPa 以上の超硬岩盤も含めた検討を行う。

これから岩種別に適切な工法の検討を行うにあたって、まず、岩石に係る荷重方向の違いによる破壊形式を示し、次に現行の大口径岩盤削孔工法を中心に機材面・実績面からの検討などを加えることとする。

(2) ビット形式の検討

岩石を機械的に破壊するとき、その破壊機構は Maurer が示したようにくさび状の刃先にかかる荷重とその作用方向によって、図 7.3-1 に示すように主に 3 種類の基本形式に分けられる。

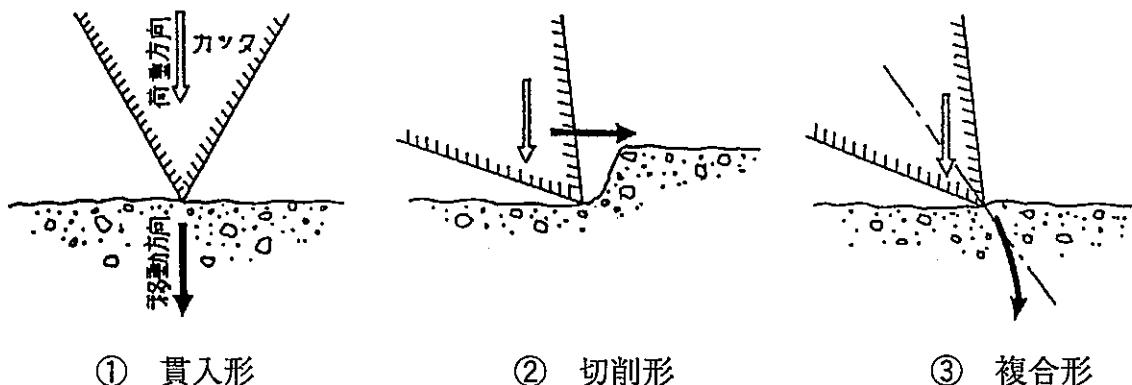


図 7.3-1 岩石のくさび荷重による破壊形式

貫入型の破壊機構を利用した削岩機械には、チゼルまたはモイルポイントを有するドロップハンマ及びスチームハンマ（または気動ハンマ）、ブレーカ、チャーンドリルなどがある。

切削型の破壊機構をもつものに、鉱山または建設機械の大部分の掘削装置がある。大口径削孔機械では、一般土質または軟岩掘削を対象にした翼型ビットすなわち切削型ビットがこれに属する。

複合型の機構を有するものには小口径のロータリパーカッションドリルやローラ

カッタビットがある。

脆性材料である岩石はもろく、衝撃エネルギーに弱いことから、貫入型や複合型衝撃削孔が有利であるといえる。その複合型削孔に該当するのが、ローラービット及びダウンザホールハンマーである。

ここで大口径削孔機械についての参考事例と考え方をあげる。

1969～1970 年にニューメキシコの鉱山で用いた口径 5m の削孔機械は、ビットドリルカラー、ドリルパイプを含めた（ドリルストリンスと呼ぶ）重量が 167t になっている。削孔径が大きくなるにつれて、削孔原理上ビットを押しつける大きな荷重（ビット荷重またはビット推力と呼ぶ）を必要とするため、重量が大きくなる。

図 7.3-2 に米国で用いられている代表的なドリルストリングスを示す。

より大口径の削孔を行うためには、多くの例がある比較的小さいビット推力で削孔可能なマルチパス方式にするか、油圧シリンダ等で推力を発生させるダウンザホール型掘削方式にするかが主たる検討対象になる。

ちなみに、ローラビット工法では孔径 1 インチあたり 1t の推力荷重を与えることにより、能率良く掘削できるとされている。処分孔掘削に本工法を適用すると、90t の荷重が必要となる。

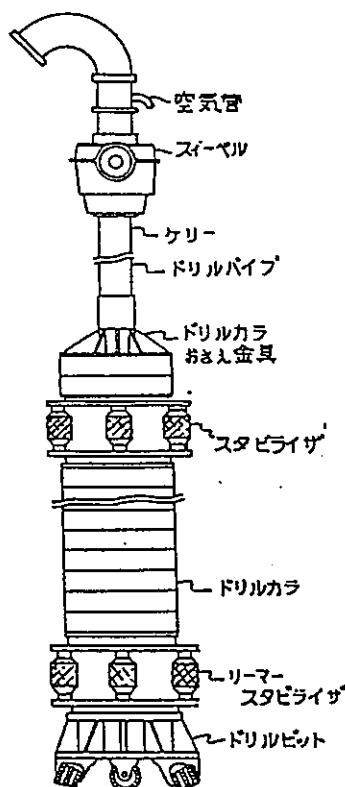


図 7.3-2 米国で用いられている代表的なドリルストリングス

(3) 大口径岩盤掘削工法の検討

1) オーガ掘削工法

切削型のオーガビットは、均質な硬岩を掘削するには刃先の摩耗が早いため、処分孔掘削適用には難しいと思われる。しかも、掘削深さと同長以上のスクリューオーガが必要であるため機械が大型（＝処分坑道内に収まらない）となり、さらに直径2m前後の掘削実績が少ないため、処分孔掘削への適用は難しいと思われる。

2) ロータリー掘削工法

一般的にはローラビットを使用する全断面掘削工法である。掘削ずりはリバースサーキュレーション方式（掘削ずりをロッド内を上方に流れる循環水とともに地上に排出する。循環水はサクションポンプなどで吸い上げる）で孔底から除去する方法が採用される。掘削径2m前後の掘削や狭い作業空間での実績は多く、処分孔掘削への適用候補の一つであると考えられる。ただし、超硬岩盤掘削の実績は少ない。

3) パーカッション掘削工法

ダウンザホールハンマ方式では硬岩を確実に掘削でき（超硬岩盤掘削の実績例が多いのはダウンザホールハンマ方式だけであり、一軸圧縮強度が300MPaクラスの超々硬岩掘削も掘削可能である）、大口径掘削には数本のダウンザホールハンマを使用し対応することができる。掘削径2m以上の実績は少ないが、掘削径2m未満の掘削や狭い作業空間での実績があり、超硬岩盤を確実に掘削できるという点では、ロータリー掘削工法よりも処分孔掘削への適用性は断然高いものと思われる。

4) ケーシング回転掘削工法

大口径のケーシング鋼管をドライブするには大きなトルクが必要であるため、機械も大型になり、狭い作業空間での施工は不可能である。また同工法は場所打杭工法（地盤を削孔した後にコンクリートを打設する工法）でもあるので、処分孔掘削へ適用するのは難しいと思われる。

(4) その他の工法の検討

大口径岩盤削孔工法以外に、ビット形式の違いに着目した工法及び水ジェット工法の検討を行う。

1) 切削工法

(a) ダイヤモンドビット掘削法

ロータリー掘削工法の機械を使用して、刃先を環状のダイヤモンドビットとし環状の溝切りを行う。壁面は良好な仕上がりを期待できるが、ダイヤモンドは非常に硬いがそれと同じくらい脆いため、硬岩掘削に必要な強力なトルクによる衝撃に耐えられず欠損する。また掘削ずりの搬出は別作業となり、施工性に課題が残る。

(b) ショット掘削法

硬くて脆い鋼球（ショット）を地盤と鋼管の間ですりつぶして、これを刃先材として地盤を掘削するものである。掘削径 1m の花崗岩を掘削した例では、周辺岩盤の損傷を最小限にする工法と考えられているが、鋼球がもたらす経済性や、掘削と掘削ずり搬出作業が全くの別工程になるための施工性に問題が残る。

2) 衝撃掘削法

(a) ブレーカー工法

孔壁面溝切り後地上のブレーカー搭載建機により破碎を行う。破碎されたコアの除去はバックホウなどを利用し地上に積み出す。掘削・ずり搬出作業が別工程になるため施工性に問題がある。

(b) くさび破壊法

小径のボーリング孔を複数形成し、孔中に油圧式くさびあるいは体積膨張剤（膨張セメントなど）を注入して、ボーリング孔間に亀裂を生じさせる方法である。破碎されたコアの除去は、ブレーカー工法と同じく掘削作業とは別工程になる。

(c) 水ジェット

水ジェットによる掘削は、機械を用いて掘削する場合の 10 倍以上のエネルギーが必要で、さらに施工速度（水ジェットによる掘削は時間がかかる）・経済性（超高水圧に耐えることのできるホースなどが必要）・施工性（掘削とズリ搬出が全くの別工程）・施工精度・壁面仕上がりなどに問題が残り、処分孔掘削への適用は最も難しい工法の一つである。

(4) 現行工法の検討結果

以上の検討結果から、硬岩に対しては確実に掘削できるという観点からパーカッション掘削工法のダウンザホールハンマー方式が適用可能性の高い工法と考えられ、また軟岩については同上工法及びロータリー掘削工法があげられる。

以下では 2 つの工法について、施工精度や掘削時間、現状機械の適用性などを中心に検討を進める。

7.4 施工概要

今回検討対象とした岩盤条件及び処分坑道・処分孔の仕様に適用する工法を検討するにあたり、硬岩系岩盤については、硬岩系岩盤を確実に掘削できるという点でダウンザホールハンマー方式の 3 工法を比較する。

軟岩系岩盤への適用工法については、まず、硬岩系岩盤の妥当工法であるダウンザホールハンマー方式の適用可否を検討し、次にロータリー掘削工法を検討する。

7.4.1 硬岩系岩盤処分孔掘削機の検討

ここでは、現在最も処分孔掘削に適用性の高いダウンザホールハンマ方式を応用した3種類の工法について検討する。

(1) コア抜き工法

1) 掘削方法

- ①クローラ搭載パワースイベルタイプのボーリングマシンに、ダウンザホールハンマ及びロッドをセットし、コア吊り用パイロット孔を掘削する。
- ②次にダウンザホールハンマがリング状に6本配置されたリングマルチハンマと専用ロッドをセットし、5.5mまで掘削する。この時、エアリバース方式にてスライムを除去する。
- ③根切り用ワイヤソー装置、特殊治具及びコア吊り用特殊治具をセットし、2.5mづつ2回に分けてコアを回収する。

図7.4-1にコア抜き工法の概要を示す。

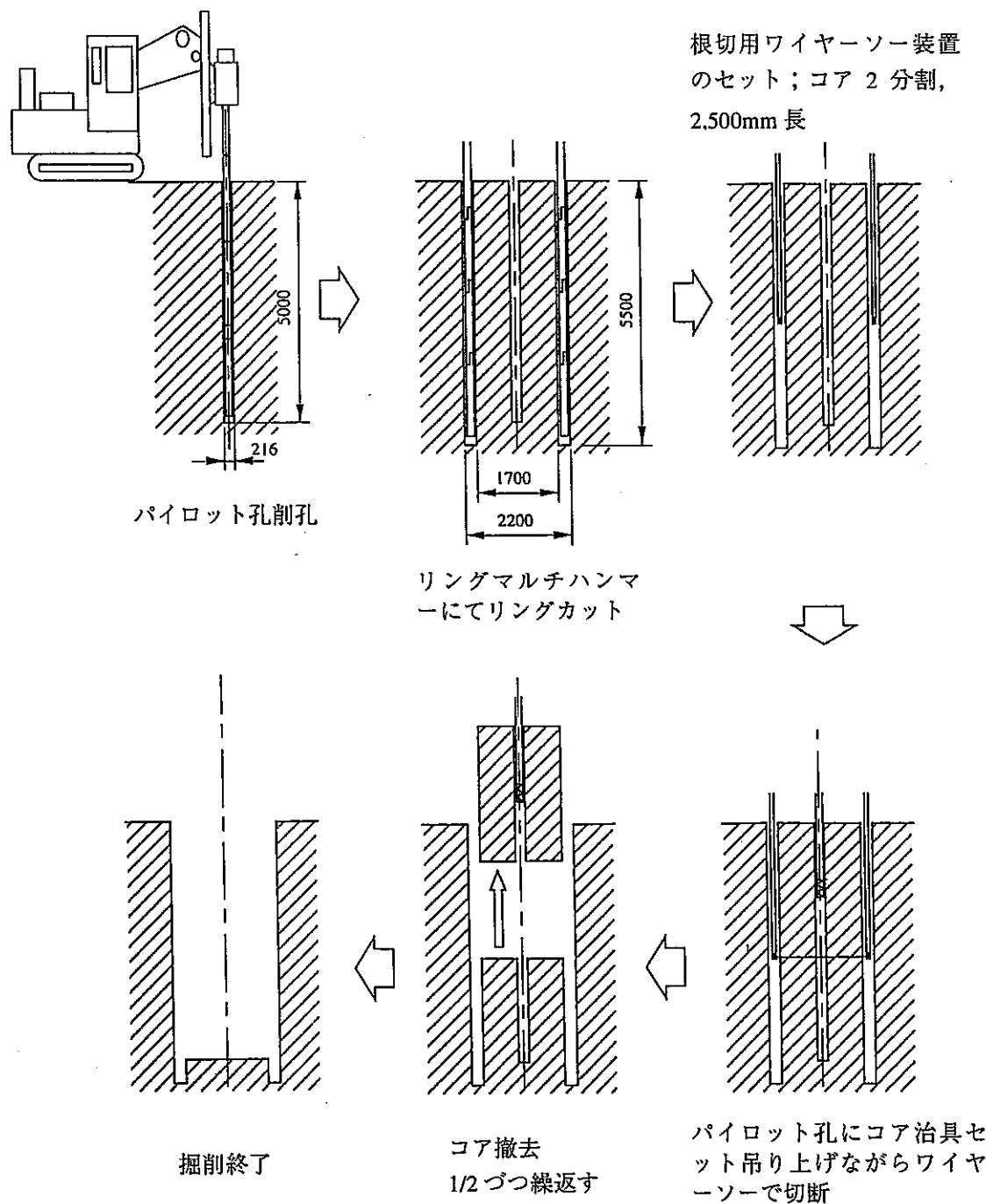


図 7.4-1 コア抜き工法の概要

2) 施工精度

- ①壁面仕上がり：通常のダウンザホールハンマ施工程度。
- ②鉛直精度：機械セット時に鉛直度が決定され、また掘削長（深さ）が短いため、掘削時に鉛直性が悪くなることはない。

3) 必要作業員数

世話役 1 名、作業員 3 名、オペレータ 1 名の合計 5 名が最低限必要である。

4) 1 孔当たりの掘削時間

予想される 1 孔当たりの掘削時間は、表 7.4-1 に示す通りである。ただし、数値は実績を参考にした仮定値であり、また機械の組立・搬入時間などは除く。

表 7.4-1 掘削時間内訳表

項 目	時間 (h)
機械セット、準備	1.0
パイロット掘削	1.0
セット換え	1.0
リングカット	2.5
セット換え	1.0
ワイヤソー、コア切り、コア吊り出し	6.0
移動	1.5
合 計	14.0

5) 掘削機及び掘削ツールの開発

クローラ搭載パワースイベルタイプのボーリングマシンは、既存するものを改造することにより早期適用可能である。ただし、リングマルチハンマ、根切り用ワイヤ装置、特殊治具、コア吊り用特殊治具などについては、今後新たに開発する必要がある。

6) 消耗品のメンテナンス

ダウンザホールハンマのビットについては、10 孔サイクルで交換が必要となる。よってリングマルチハンマについても、10 孔サイクル以内での交換が必要であると考えられる。その他開発要素のある機械及びツールについては、現時点での判断は不可能である。

7) その他

本工法にて処分孔掘削を行うとすると、孔の深さは 10m まで可能となり、また処分孔ピッチは最小 5m (孔芯一芯で 7.22m) で掘削が可能であると予想される。また掘削ずり (引き抜かれたコア) については、搬送台車などを利用し所定の位置まで搬送する。

(2) オープナー拡孔工法

1) 挖削方法

6本のダウンザホールハンマを用いて先行孔掘削（ $\phi 1,370\text{mm}$ ）を行い、次に拡孔掘削（ $\phi 2,200\text{mm}$ ）を行う。掘削ずりの回収はリバースサーキュレーション方式とする。図7.4-2にオープナー拡孔工法の概要を示す。

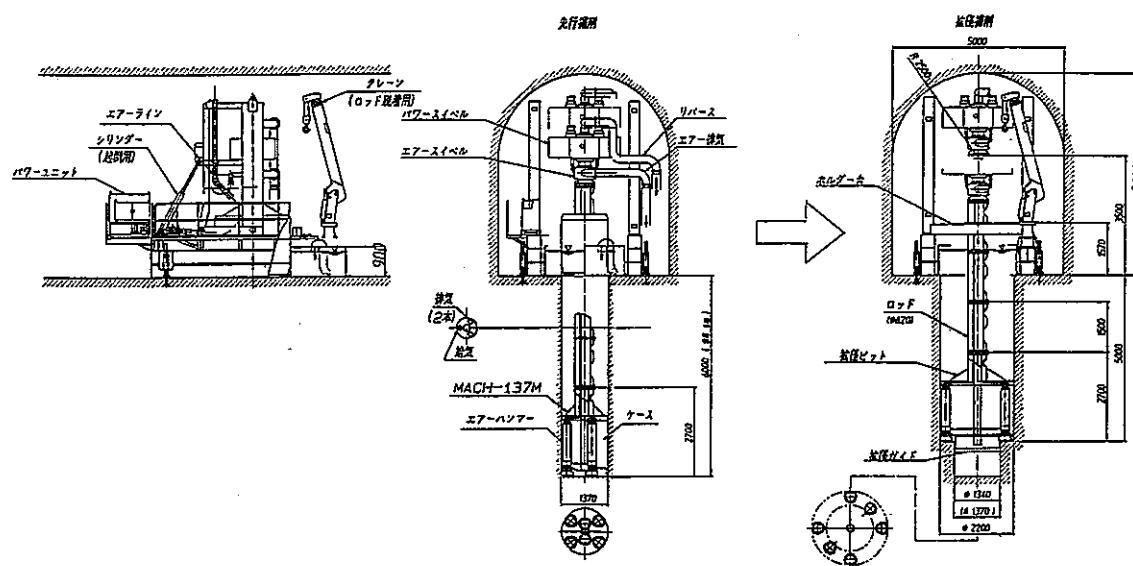


図7.4-2 オープナー拡孔工法

2) 施工精度

- ①壁面仕上がり：通常のダウンザホールハンマ施工程度。
- ②鉛直精度：1/200以上。ただし、掘削速度を遅くすることにより、1/500以上も可能である。

3) 必要作業員数

世話役1名、作業員3名、オペレータ1名の合計5名が最低限必要である。

4) 1孔当たりの掘削時間

予想される1孔当たりの掘削時間は、表7.4-2に示す通りである。ただし、数値は実績を参考にした仮定値であり、また機械の組立・搬入時間などは除く。

表 7.4-2 掘削時間内訳

項目	時間 (h)
先行孔掘削機械セット, 準備	2.0
先行孔掘削	10.0
先行孔掘削機械移動	1.0
拡孔掘削機セット, 準備	2.0
拡孔掘削	10.0
拡孔掘削機移動	1.0
合 計	26.0

5) 掘削機及び掘削ツールの開発

すでに掘削径 ϕ 1,830mm までの掘削機及び掘削ツールは開発済み（施工済み）である。ただし、 ϕ 2,200mm のリング形状のダウンザホールハンマについては、開発する必要があるが、現存のものを応用するだけであり、早期適用は可能である。

6) 消耗品のメンテナンス

ダウンザホールハンマのビットについては、10 孔サイクルで交換が必要となると思われる。

7) その他

処分孔ピッチについては、隣接する処分孔への影響を考慮しても、50cm（処分孔芯々で 2.7m）まで小さくすることが可能であると思われるが、実証実験により確認する必要がある。

(3) 全断面掘削工法

1) 掘削方法

ビット径 ϕ 445mm のダウンザホールハンマを 9 本装着したので、中心のビットがやや先行するが、回転しながら一気に掘削を行う。掘削機本体は吊り下げ機構を有しているので、ロッドの継ぎ足しは行わない。また、掘削ずりはリバースサーチュレーション方式で排出する。図 7.4-3 に全断面掘削工法の概要を示す。

2) 施工精度

①壁面仕上がり：凹凸は 10mm 以内と思われる。

②鉛直精度：センタービット先行方式を採用しているため、孔芯のズレは 10mm 以内と思われる。

3) 必要作業員数、掘削時間

掘削機の移動・据え付け・掘削で、1 班 8 名 2 チーム編成で 16 時間／日として、

2日（実働32時間）程度と思われる。

4) 挖削機及び掘削ツールの開発

①上部排気型ハンマの開発

通常のハンマは刃先排気型であり、このまま使用すると粉塵が排気に混入して作業環境を著しく悪化させる。上部排気型ハンマは排気を上部に出し、掘削すりは孔底に停滞するのでリバースサーキュレーション方式で排出される。今後この形式の開発を要する。

②反転式掘削方法の実証

ハンマによる反動式掘削方法は、反転時の空打ちを止めないと孔底に段差ができるてしまい、ビットを横引きするときに悪影響を与える事が予想される。実証実験により適切な管理方法を見いだせるものと考える。

③壁面仕上がりの実証

ハンマビットによる掘削は、コアチューブ掘削に比較すると壁面の粗度が悪いと予想されるため、実証実験を実施し確認を行う必要がある。

5) その他

処分孔ピッチについては、隣接する孔への影響を考慮すると、1m（処分孔芯々で3.22m）まで小さくすることが可能であると思われるが、実証実験により確認する必要がある。

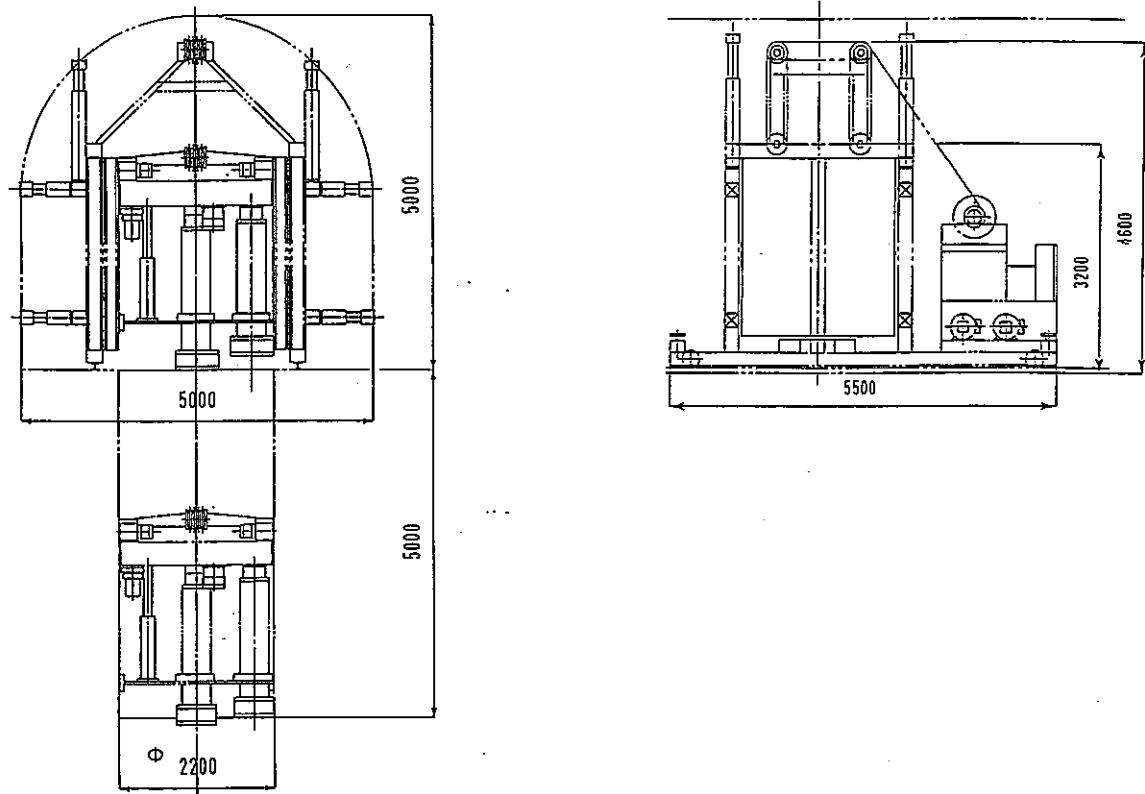


図 7.4-3 全断面掘削工法の概要

(4) 処分孔掘削機のまとめ

硬岩系岩盤を確実に掘削できるのは、ダウンザホールハンマ方式のみであることは前にも記述したが、今後は前述3工法の詳細検討・試験機による実証実験を行い、施工速度やメンテナンスサイクルなどの正確な施工データを収集することが必要であろう。なお、各処分孔掘削機のまとめを表7.4-3に示す。

表 7.4-3 各処分孔掘削機のまとめ

掘削工法	コア抜き工法	オープナー拡孔工法	全断面掘削工法	備考
仕上がり壁面状態	通常のダウンザホールハンマ施工とほぼ同様	通常のダウンザホールハンマ施工とほぼ同様	地山側に 10mm 以内の凹凸	
鉛直精度	機械セット時に決定される。(数値表現は不可)	1/200～1/500 程度	孔底で 10mm 以内	
周辺岩盤への影響	なし	全くなし	全くなし	
操作性	6 工程（掘削、ずり搬出は別工程）	2 工程（先行＋拡孔）（掘削、ずり搬出は同時）	1 工程（掘削、ずり搬出は同時）	
掘削時間 (h/孔)	14 時間／孔	26 時間／孔	32 時間／孔	予想値
現在の状況	ベースマシンは既存機械の応用	既存機械の応用	従来工法の応用	
開発要素	ベースマシン、ダウンザホールハンマ以外	リングマルチハンマ（拡孔掘削機本体）	マルチハンマ（掘削機本体）	
掘削ずり処理	エアリバース方式	リバースサーチュレーション方式	リバースサーチュレーション方式	
周辺設備	集塵装置 エアコンプレッサー	サクションポンプ、エアコンプレッサー及び水槽タンクなど	サクションポンプ、エアコンプレッサー及び水槽タンクなど	
適用性	開発要素が多く、適用には他工法に比べて時間がかかる。	レベルは高い	レベルは高い	試験機による実証試験含む

(5) 実績

ダウンザホールハンマー工法で施工された比較的掘削径の大きい工事例を表 7.4-4 に示す。

表 7.4-4 ダウンザホールハンマ工事に関する施工実績例

工事件名	工事概要	施工場所	施工期間	地質
宮古市宮古浄化センター建設工事	φ 1,000~1,100mm × 4.5~27m × 89 本	岩手県	1986.08~1986.10	花崗岩
鈴川線一部鉄塔建替え工事 (No.13)	φ 1,000mm × 26.5m × 16 本	静岡県	1986.12~1987.01	玄武岩転石
大阪発電所造設工事放水口締切工	φ 1,000mm × 4.2~7.8m × 41 本	福井県	1987.10~1987.11	緑岩
アルゼンチン共和国プエルト・デセアード漁港拡張工事	φ 1,200mm × 12~25m × 147 本	アルゼンチン	1988.08~1989.06	流紋岩
下賀茂変電所#2B 造設工事	φ 1,000mm × 5.0~13.5m × 8 本	静岡県	1989.03~1989.03	角礫凝灰岩
明石海峡大橋 4A 下部工事	φ 1,000mm × 15.2~29.7m × 412 本	兵庫県	1990.01~1991.01	花崗岩
ティアン火力発電所建設工事	φ 800~1,100mm × 19~65m × 88 本	韓国	1993.01~1994.03	片岩・片麻岩
大山石油基地建設工事	φ 800mm × 10.2~44.3m × 134 本	韓国	1995.02~1995.08	片岩・片麻岩
ハドン火力発電所建設工事	φ 800~1,100mm × 29.5~70.3m × 63 本	韓国	1995.03~1995.12	砂岩・頁岩
第二マレーシア・シンガポール橋建設工事	φ 1,450mm × 20m × 330 本	マレーシア	1995.03~1996.09	石灰岩
韓国ソウル市現代デパート建設工事	φ 1,370mm × 25m × 6 本	韓国	1997.03~1997.06	花崗岩
韓国テグ市東洋金融センター建設工事	φ 1,370mm × 28m × 20 本	韓国	1997.06~1997.09	頁岩
韓国ソウル市東洋セメント本社ビル建設工事	φ 1,370~1,830mm × 12~16m × 36 本	韓国	1997.08~1997.11	片麻岩

7.4.2 軟岩系岩盤処分孔掘削機の検討

(1) ダウンザホールハンマー工法

軟岩系岩盤への適用工法について、硬岩系岩盤への適用が妥当と判断されるパーカッション掘削工法のダウンザホールハンマー方式を検討する。同工法について検討した3種類の工法のうちで、コア抜き工法は他工法に比べコアの処理やセット替えなどの作業工程が増え、また、開発要素が多いため適用においても他工法に比べて時間がかかるとの判断から除外する。

オープナー拡孔工法と全断面掘削工法について堆積岩断面への配置状態を図 7.4-4 及び図 7.4-5 に示す。

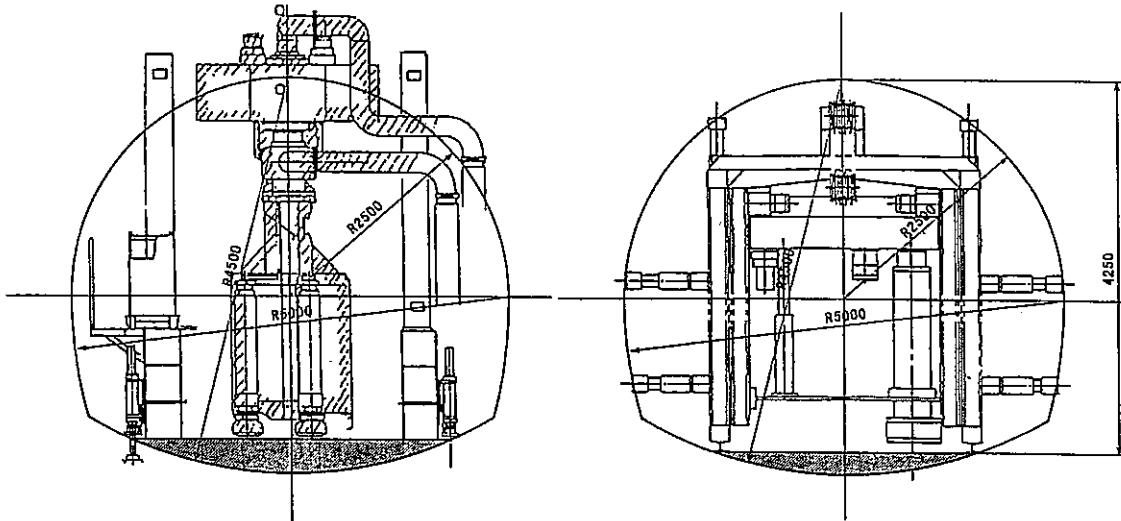


図 7.4-4 オープナー拡孔工法

図 7.4-5 全断面掘削工法

図から明らかなように、オープナー拡孔工法では機械が納まらず全断面掘削工法のみが可能性のある工法となる。その理由は、リバースサーキュレーション方式のオープナー拡孔工法は、ハンマーブロックの旋回機構や循環水配管の旋回部を上部に配置した構造のため全高が変わらないのに対し、全断面掘削工法ではハンマーブロックの旋回機構が横に配置されていて、全高を低く押さえることが可能なためである。ただし、全断面掘削工法では現状において以下のような課題がある。

図からも明らかなように、実施工での機械の据え付け・移動のため処分坑道断面に若干の拡幅を要する。

通常のエアーハンマーは刃先排気型であり、破碎された岩石はハンマーを駆動した空気により地上部に運ばれるため、そのまま使用すると粉塵が排気に混入して作業環境を著しく悪化させるのに比べ、全断面掘削工法に示す、上部排気型エアーハンマーは排気を上部に出し、孔底に停滞した掘削ずりをリバースサーキュレーション方式で排出させる方式のため粉塵は発生しない。ただし、同方式は今後の開発による。

さらに、エアーハンマー工法である全断面掘削工法は多量の圧縮空気を動力とするため、大規模の圧縮空気設備を必要とし、トンネル内では特に換気対策、粉塵対策など解決しなければならない課題が多い。そこで仮設備の規模が小さく、作業環境の面で優位なロータリー掘削工法を検討する。

(2) リバースサーキュレーション式ロータリー掘削工法

1) 掘削方法

- ①可動架台上に据えつけた掘削機に、岩盤用リバースビットとロッドを接続し、所定の位置に据えつける。
- ②掘削機のスラスト力と回転により掘削を行う。掘削時の反力は、坑道天端に

とる。

③掘削スライムは、リバースサーキュレーション方式でドリルロッド内を通り、掘削スライム集積タンクに排出する。所定の深度まで掘削後、ビットを揚げ、次孔の位置に移動する。

2) 施工精度

①鉛直性：掘削機の据え付け時の管理、口切り時の芯ずれ防止により鉛直性を保つ。

②壁面の仕上がり：地山の亀裂による欠け等が発生しないかぎり、なめらかである。

3) 必要作業員数

世話役 1名、オペレータ 1名、作業員 3名の合計 5名が最低限必要である。

4) 1孔当たりの掘削時間

予想される 1孔当たりの掘削時間は、表 7.4-3 に示すとおりである。

表 7.4-3 処分孔当たりの掘削時間

項目	時間 (h)
機械据付・掘削準備	1.5
掘削	25.5
ビット上げ	1.0
移動	1.0
合 計	29.0

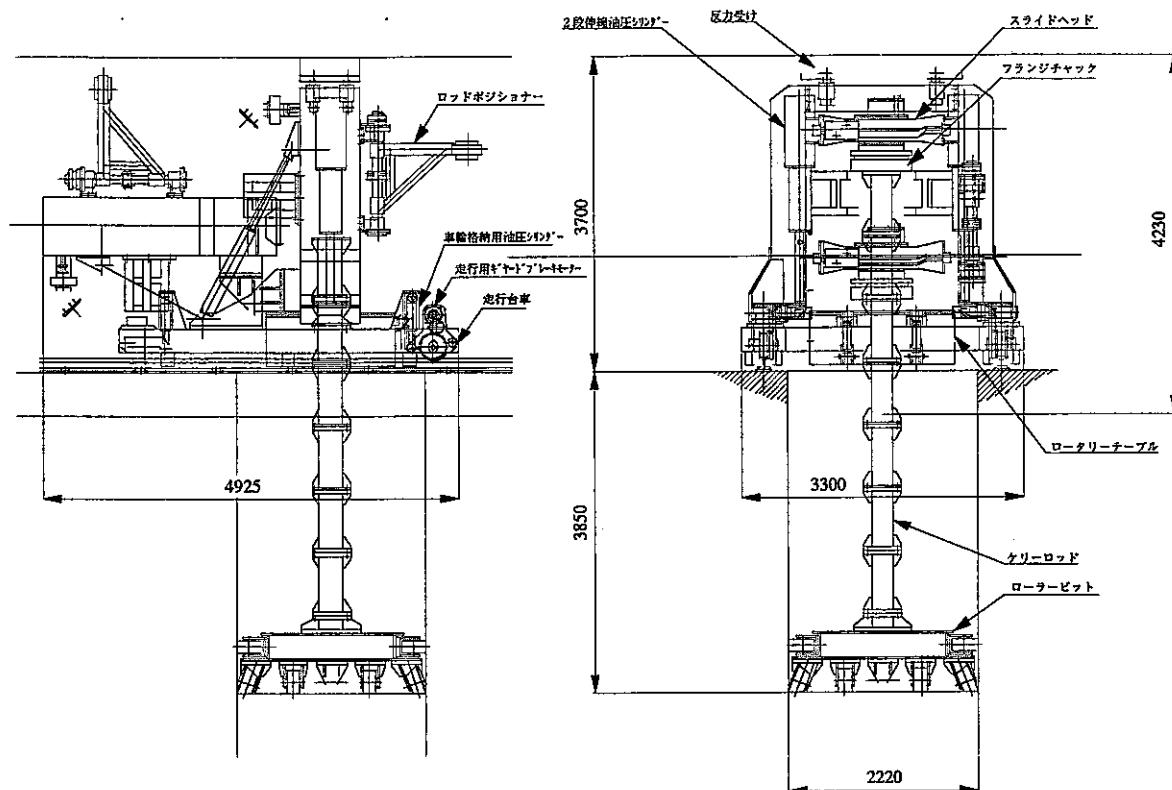


図 7.4-6 ロータリ掘削工法

5) 課題

掘削機としての能力面では、現状においても実績があり施工可能である。本計画において、狭い坑内で配置を可能とするためには使用ロッドは 50cm 程度となるため、能率やコスト面で適切とは言いがたい。このため、ドリルヘッド部のコンパクト化、ホルダー部の強化による小型化を検討しなければならない。また、掘削時の反力を機械フレーム全体で受けるため、部材の設計が必要となる。本工法においてはビット荷重の調整とドリルパイプの昇降は、ガイドフレームに沿って油圧で上下するスラストヘッドにより行う。

一般的にいって旋回の一方端で押しつけながら、旋回掘削を行うと状況によって鉛直精度を悪くする要因があるのは否めない。その対応策の一例を示す。

図 7.4-7 に示すラチス式スラストジャッキは TBM に導入され、自動方向制御システム（図 7.4-8）によりスラストジャッキの伸長量を制御して方向制御を行う機構である。図 7.4-9 に示す機械において、旋回掘削機構の直上にグリッパを有する仮固定機構にて掘削壁面に位置を保持し、短いストロークでの掘削を繰り返すことにより鉛直精度向上を図った掘削機械である。

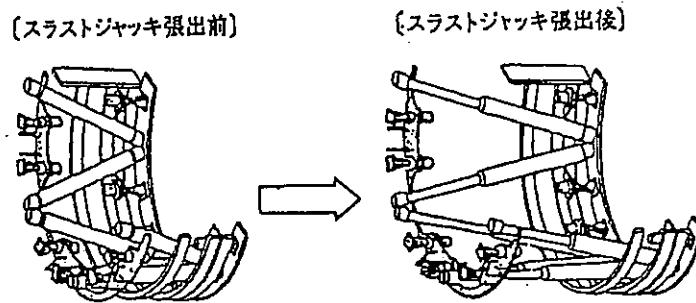


図 7.4-7 ラチス式スラストジャッキ

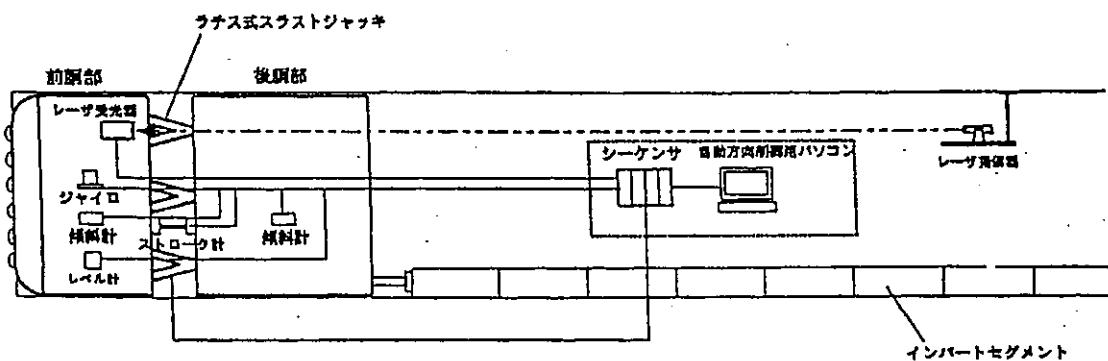


図 7.4-8 システム構成

(3) 実績

ロータリ工法で施工された比較的掘削径の大きい工事例を表 7.4-4 に示すとともに、今までの検討より、断面別、岩種別に適用可能工法を表 7.4-5 にまとめる。

表 7.4-4 ロータリー掘削工法の施工実績例

工事件名	工事概要	施工場所	施工期間	地質
(リバースサークルーション)				
関彦橋下部工工事 (その2) の内基礎工事	φ 1,600mm × 8.8m × 8本	山口県	1986.11～1986.12	安山岩
カラチ河上桟橋基礎杭工事	φ 1,250mm × 12.5m × 32本	パキスタン	1988.01～1988.07	泥岩
国上トンネル換気立坑掘削工事	φ 1,300mm × 12m × 140本	新潟県	1988.11～1989.03	泥岩 砂岩
セントーサ道路橋基礎海上基礎杭	φ 1,900mm × 45m × 1本	シンガポール	1990.09～1991.03	砂岩
牛深漁港連絡橋 P4 下部工工事の内海上基礎杭	φ 2,000mm × 13.6m × 10本	熊本県	1992.02～1992.05	頁岩
牛深漁港改修工事 1-A03号の内場所打杭工事 P1 橋脚締切工置換掘削工事	φ 2,000mm × 12.5m × 10本	熊本県	1992.12～1993.03	頁岩
青衣島オルターミナル建設 JETTY 基礎鋼管杭工事	φ 1,320mm × 108m × 19本	香港	1994.08～1995.01	花崗岩
MALAYSIA-SINGAPORE SECOND CROSSING BRIDGE PROJECT 橋脚場所打杭工事	φ 1,450mm × 4~27m × 123本	マレーシア	1995.07～1996.09	泥岩 石灰岩
MALAYSIA-SINGAPORE SECOND CROSSING BRIDGE PROJECT 橋脚場所打杭工事	φ 1,450mm × 3~20m × 53本	マレーシア	1995.09～1996.08	泥岩 石灰岩
(レイズボーリング)				
奥清津第二発電所新設工事第2工区下段圧力鉄管斜坑導坑掘削工事	φ 1,470mm × 250m × 1本	新潟県	1993.06～1993.10	石英 安山岩
奥清津第2発電所新設工事第2工区調圧水槽立坑掘削工事	φ 1,470mm × 70m × 1本	新潟県	1993.10～1993.11	石英 安山岩
温井ガムレバータシヤト立坑導坑掘削工事	φ 1,450mm × 115m × 1本	広島県	1994.04～1994.06	花崗岩
菱刈鉱山南部通気立坑掘削工事	φ 1,750mm × 200m × 1本	鹿児島県	1995.09～1995.12	凝灰岩 安山岩

表 7.4-5 適用可能工法のまとめ

岩種別	適用工法別	備考
硬岩系岩盤	ダウンザホールハンマー工法	・適切と考えられる。ただし仮設備規模は大。
軟岩系岩盤	ダウンザホールハンマー工法	・新規の要素開発が必要。 ・若干の断面拡幅が要望される。
	ロータリ工法	・適切と考えられる。

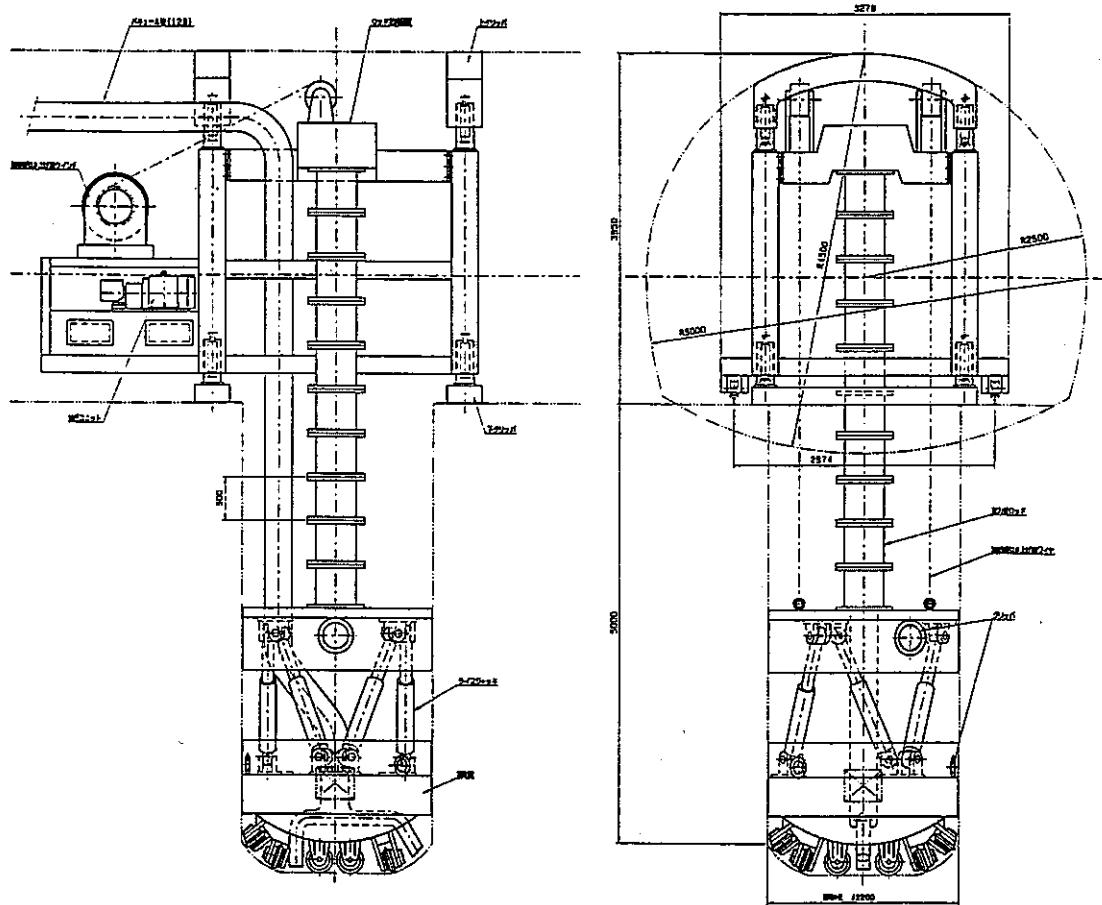


図 7.4-9 ロータリー掘削機（鉛直精度改良機）

7.4.3 周辺仮設備機器の検討

(1) 圧縮空気設備

オープナー拡孔工法と全断面掘削工法はいづれもエアーハンマー工法のため、多量の圧縮空気が必要となる。所要圧縮空気量はオープナー拡孔工法で $150\text{m}^3/\text{min}$ 、全断面掘削工法で $300\text{m}^3/\text{min}$ 程となる。

2工法において必要な空気量の違いは、オープナー拡孔工法が径 $2,220\text{mm}$ の孔を最初に $1,370\text{mm}$ の径で掘削し拡孔するのにたいし、全断面掘削工法では同径の孔を1回で掘削するため、倍の空気量を要することによる。

1) 圧縮機の規模、台数

現在多用されている空気圧縮機は据え付けや保守・管理などが容易なパッケージタイプである。駆動の方式により、ディーゼルエンジンタイプと電動タイプがあるが、本検討においては以下の理由によりディーゼルエンジンタイプに絞る。

一般的にいうと、電動の場合は商用電源幹線からの新規配線や多量の電気を使用することによる幹線経路に対する電圧安定性への懸念などが発生する。

また、大口径岩盤削孔工法の積算（日本建設機械化協会編）を参考にすれば、諸

雑費の項目で杭1本当たりの使用電源に関して、発動発電機の場合に諸雑費 16%，商用電源では 18% となっている。

ディーゼルエンジンタイプでは、特注ではあるが大規模の機種の実績がある。

2) 設置場所と配管ルート

設置位置は基本的な考え方として、使用場所の近くが良いが使用場所が順次移動するときは負荷の中心に集中して設備するのが良いとされる。据え付け位置は「地盤の良いところ」「給排水に便利なところ」「騒音障害の少ないところ」「搬入の容易なところ」などを総合的に考慮することになる。本検討においては、坑外設備として地上に設け、人荷用立坑の一角に配管を通し、坑底からさらに使用方向に配管を行うものとする。

前述のように複数の空気圧縮機を並列に配置し、そこからの配管をレシーバタンクでまとめ、比較的太い配管（口径 300mm）で坑内に導く。その際に圧力損失を考慮しなければならないが、最長で 3,000m程度の距離で曲がりや弁を考慮しても圧力降下は特に問題ない範囲と考えられる。

3) ずり出し設備

連絡坑道、主要坑道の掘削におけるずり出し方式は、レール方式を採用している。この方式が処分孔掘削ずりの搬出にも利用可能である。

4) 給水・排水設備

リバースサーキュレーション方式では掘削ずりの回収に多量の水を使用する。その循環水には掘削の進行とともに岩の粉碎粒子が徐々に混入し比重が大きくなってくるが、一般には循環水の比重があまり高くなると施工効率やカッタの磨耗などに影響をおよぼす。経験上からは坑内に環流する泥水の比重は 1.03 度が適当といわれる。また、循環用水は掘削孔容積の 2 倍程度であり、これらの水の管理が必要である。

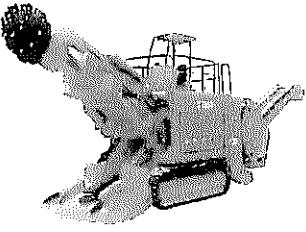
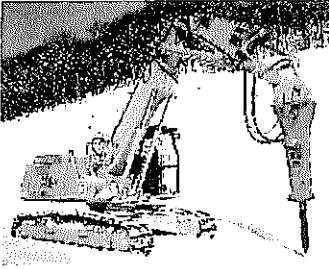
8. プラグ部の拡幅工法

プラグとしてはコンクリートプラグ及びペントナイトプラグが考えられているが、両者ともに坑道を拡幅する形が考えられている。処分場におけるプラグ部の拡幅工法は、掘削時の周辺岩盤のゆるみを許容するかどうかという観点と、施工上、坑道の建設・操業・埋め戻し工程との整合がよく効率的に行えるかどうかという観点から選択される。そのためには、掘削工法に加えてずり出し方式についても検討する必要がある。

掘削工法には大きく発破工法と機械掘削工法に分けられ、周辺岩盤をゆるませないという点からは機械掘削が有利である。膨潤圧を抑えることを主な目的とするコンクリートプラグについては、その目的から周辺岩盤のゆるみをある程度許容できると考えられることから、発破工法が選択できる。一方、水みちの形成を抑制することを主な目的とするペントナイトプラグについては、ゆるみ領域が潜在的な水みちとならないように配慮して機械掘削工法を適用する必要がある。

機械掘削は、自由断面掘削機、ブレーカー、TBM の利用が考えられる。表 8-1 にこれらの 3 工法について、断面への対応性やずり出しなどから比較した結果を示す。本分冊では、処分坑道横置き式の場合における坑道の掘削には TBM の適用を想定しており、処分坑道両端のコンクリートプラグの拡幅は坑道掘削と同時に TBM により行うのが最も効率的と考えられる。TBM を利用しない他の坑道における拡幅工法については、地質状況などを勘案し実証試験を行った後、自由断面掘削機またはブレーカーのいずれかを選択すればよいものと考えられる。また、実際の施工にあたっては、自由断面掘削機及び TBM を用いる場合には、プラグ拡幅部の仕様に応じた掘削が行えるように機械の改良を行うことが必要となる。

表 8-1 プラグ部拡幅工法の比較

項目	自由断面掘削機	ブレーカ	TBM	
			拡幅 500mm	拡幅 2500mm
概要図				横穴掘削時に同時にオーバーカットを行い、拡幅を行う。
プラグ断面対応性	上左右部では問題がないが、下部の掘削には現状では制限がある。通常据え付けレベルから-350mm程度まで。	ほとんどの断面に対応可能。 上部の掘削に反力受けが必要。	0~300mm程度の拡幅であれば、現状の技術で横坑掘削と同時に施工が可能。	
地質対応性	硬岩では掘削速度がかなり落ちる。	硬岩では掘削速度がかなり落ちる。	通常の直進掘削では硬岩であっても問題はないが、拡幅時は掘削速度が落ちる。	
工期・経済性	イニシャルコストが低い。	同左	イニシャルコストが高い。ただし施工数量により単価が下がる。 横坑をTBM掘削する場合は、コストの削減効果大。	
地山に与える影響	機械掘削のため影響は少ない。	同左	同左	
掘削ずりの処理法	内部のベルトコンベアにより掘削と同時に後方に排出可能。	ショベル系機械との組み合わせによる排出のため掘削を中断する必要がある。	内部のベルトコンベアで掘削と同時に後方へ排出可能。	
開発要素	下部への掘削に対応できるように機械仕様を検討する必要がある。 既存の技術で対応可能。	既存の機械仕様で対応可能。	長いオーバーカット量への対応が必要→対応可能。 円形以外への対応が必要→オーバーカット量を回転角で制御すれば対応可能。	
備考			横坑全体をTBMで掘進する場合、同時に施工可。	対応は難しい。
総合評価	○	○	○	×

9. 対策工

坑道の掘削に際してしばしば遭遇する現象として、

- ・切羽の崩壊や膨張など切羽の不安定現象
- ・湧水及び湧水に起因する地山の崩壊などの現象
- ・ガスの発生
- ・山はね現象

などが考えられる。これらの現象は、これまでのトンネル施工において経験されており、大深度地下に多数のトンネル群を施工することになる地層処分場の建設においては、従来にも増してこれらの現象に留意した対応が必要になると考えられる。このような現象に対しては、調査や施工管理を十分に行い、現象の発生が予測された段階あるいは施工中に発生した段階において、遭遇する現象を的確に判断したうえで、安全性、経済性及び全体工程などを勘案し、適切な対策工の選択あるいは組み合わせによって対応することが重要である（土木学会 1996）。

ここでは、既存の対策工法について整理するとともに、これまでのトンネル施工事例の中から発生した現象とその対応策について調査し、対策工法の有効性について検討を行った。

9.1 坑道の建設における対策工

1) 湧水対策

アクセス坑道や水平坑道の建設工事において、湧水に遭遇した場合には、その影響により切羽の不安定化、支保機能の低下、坑内環境の不良化などが生じ、施工能率や品質の低下を招く恐れがある。処分場の建設においては、処分パネルは主要な割れ目などから十分離すように計画されているが（棚井ほか, 1999），アクセス坑道や連絡坑道が小規模な割れ目帯を横切る場合も想定される。このとき大深度ということで、予想外に局所的に大量かつ高圧の湧水が発生した場合には、坑内の冠水、水没やそれにともなう急激な地山の崩壊により、作業員の安全が脅かされることも考えられる。トンネル掘削にともなう湧水の問題点を表 9.1-1 に示す（土木学会, 1994a）。さらに、表 9.1-2～表 9.1-10 にはトンネル施工において遭遇した現象と対応策に関する事例を示す（土木施工, 1969；日本トンネル技術協会, 1983, 1986, 1992b, 1992c, 1994, 1997, 1998a；千々岩・中村, 1986；中村・近藤 1988；塩崎ほか, 1995；塩崎ほか, 2000）。なお、表中には地層処分を考慮した場合の考察を併記した。

一般的な湧水対策としては、湧水を減らす目的で行われる地下水低下工法と止水工法、湧水を処置する目的で行われる集・排水工法がある。表 9.1-11 に各種湧水対策工法の概要を示す。これらの工法のうち、地下水低下工法については、500m, 1,000m と大深度の場合には現実的ではない。また、止水工法であるグラウト注入工法は、注入材料によってセメントモルタル系、粘土系、薬液系に分けることができる。薬

液系はさらに水ガラス系及び高分子系というように細分化されるが、高分子系のものは地下水環境への影響が確認されたため、1974年7月以降は緊急用の場合を除いて使用が制限されている。グラウト注入工法を決定する要因としては、割れ目の状態及び湧水圧、湧水量などの状況とそれに適合する材料と注入方法とがある。それらは、とくに初期の注入効果が得られるよう選定しなければならない。

また、アクセス坑道や処分坑道など、地下施設の建設では、施工の段階で遭遇する可能性のある地山の崩壊や被圧地下水による突発湧水を事前に予測するために、破碎部の状況や地下水の被圧度などを事前に調査することを目的に、坑内切羽から定期的・連続的に先進探査ボーリングを実施することがきわめて重要といえる。したがって、坑道の掘削にあたっては切羽前方探査を実施し、断層破碎帯の存在が予測される場合には、必要に応じて先進ボーリングなどを行って確認し、大量湧水の発生が予想される箇所は、前もって止水処置などの対策を実施することが肝要である。近年多くのトンネル工事で切羽前方探査に採用されているTSP (Tunnel Seismic Prediction) などの反射法地震探査は、油井の探査などにもVSP (Vertical Seismic Prediction) として利用されていることから、これを応用することによって、前方の地山状況を予測することが可能と考える（物理探査学会、1998）。

表 9.1-1 トンネル掘削にともなう湧水の問題点

原因または環境	直接作用	予想される現象・影響
浸透水	<ul style="list-style-type: none"> ・破碎帶・割れ目の剥離促進 ・粘土の膨張 ・凝集力のない地山の流動化など 	<ul style="list-style-type: none"> ・側壁の崩壊、落盤の誘因 ・吸水膨張、地山のクリープ ・地山の崩落、自立作用の阻止
湧水帯へ接近	・遮水壁の破壊	・切羽地山の崩壊、流失や坑道の埋没
過小排水設備 (完成後もある)	・排水不良	・坑内環境の不良化、支保工基礎の支持力低下
集中湧水	・流速大、水深大	・切羽設備の水没、作業危険、工事中止
立坑、斜坑	・ポンプ排水	・坑内冠水、サンプ部及びポンプ設備の永久施設
地下水の継続的流失	・地下水位低下	<ul style="list-style-type: none"> ・水源枯渇 ・利用水位の低下（農業、酪農、飲料水、漁業） ・海岸部の海水の浸入、塩水化

表 9.1-2 トンネル実績調査結果（湧水対策、その 1）

トンネル名	九州縦貫自動車道加久藤トンネル																										
場 所	熊本県人吉市～宮崎県えびの市																										
工 期	平成元～平成5年																										
[地質概要]																											
<p>堆積岩類の四万十層群の砂岩・粘板岩を基盤として、その上部をえびの層群と呼ばれる凝灰角礫岩を主とする地層と、肥薩火山岩類の安山岩や凝灰角礫岩の火山噴出岩類が覆っている。肥薩火山岩類中には地下水が豊富に涵養され、複雑な形態で流動しているものと推察される。</p>																											
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">凡 例</th> </tr> <tr> <th>地質時代</th> <th>地 質 名</th> <th>記 号</th> <th>岩 相</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>新世 第四紀 ～第三紀 初期</td> <td>肥薩火山岩類</td> <td>Han</td> <td>安 山 岩</td> </tr> <tr> <td>新世 第三紀 中期</td> <td>えびの層群</td> <td>Ean</td> <td>安 山 岩</td> </tr> <tr> <td>新世 第三紀 後期</td> <td></td> <td>Etb</td> <td>凝灰角礫岩</td> </tr> <tr> <td>中世 古 代 紀</td> <td>四万十層群</td> <td>Sss</td> <td>砂 岩</td> </tr> <tr> <td>中世 古 代 紀</td> <td></td> <td>Sst</td> <td>粘 板 岩</td> </tr> </tbody> </table>		凡 例		地質時代	地 質 名	記 号	岩 相	新世 第四紀 ～第三紀 初期	肥薩火山岩類	Han	安 山 岩	新世 第三紀 中期	えびの層群	Ean	安 山 岩	新世 第三紀 後期		Etb	凝灰角礫岩	中世 古 代 紀	四万十層群	Sss	砂 岩	中世 古 代 紀		Sst	粘 板 岩
凡 例																											
地質時代	地 質 名	記 号	岩 相																								
新世 第四紀 ～第三紀 初期	肥薩火山岩類	Han	安 山 岩																								
新世 第三紀 中期	えびの層群	Ean	安 山 岩																								
新世 第三紀 後期		Etb	凝灰角礫岩																								
中世 古 代 紀	四万十層群	Sss	砂 岩																								
中世 古 代 紀		Sst	粘 板 岩																								
最深土被り	約400m																										
岩盤物性	$q_u=2 \sim 230 \text{ MPa}$																										
工 法	NATM（上部判断面先進ベンチカット工法の発破工法による）																										
[標準断面]																											
[現象]																											
<p>坑口より1,600m以奥の約80m区間で1t／分以上の切羽湧水が連続し、最大湧水量は12t／分に及んだ。湧水により軟弱地山の崩壊も発生。更に、湧水区間に続く軟弱な凝灰角礫岩では、流出崩壊と路盤の泥濘化、100mを越える内空変位が発生。</p>																											
[現象の予測]																											
<p>検討委員会による湧水予測シミュレーションを実施、掘削の進行に伴い予測値以上の湧水があり、シミュレーションを数回見直している。また、パイロット坑の湧水状況より、大量湧水区間を特定した。</p>																											
[対策]																											
<p>湧水：パッロット坑から本坑部への水抜きボーリング（110m間に21本）、水抜き導坑の掘削、止水薬液注入の3段階を実施。結果、切羽の押し出し、土砂の流出も皆無で通過した。</p>																											
<p>膨圧：計測管理による支保パターンの変更や各種補強対策（増ボルト、P C鋼棒、上・下半仮閉合、ウレタン注入等）の選定し、無事突破した。</p>																											
[地層処分を想定した考察]																											
<p>シミュレーションによる正確な湧水予測は困難であり、掘削の進展に伴い精度を向上させ、パイロット坑による湧水調査などから総合的に判断し、複数の対策工を選定することにより大量の湧水区間の施工を行うことが可能となる。</p>																											

表 9.1-3 トンネル実績調査結果（湧水対策、その 2）

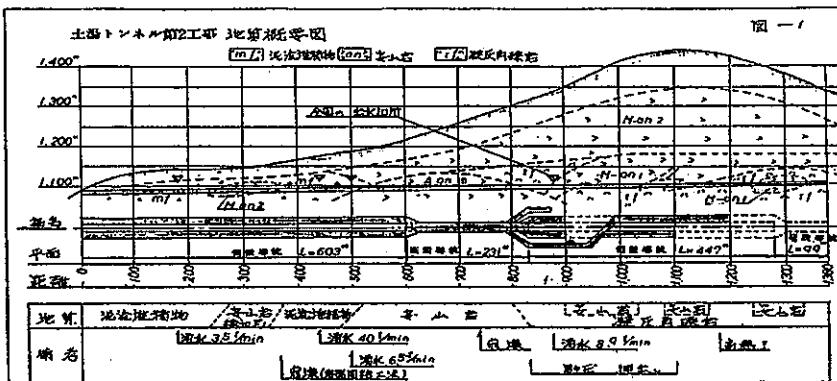
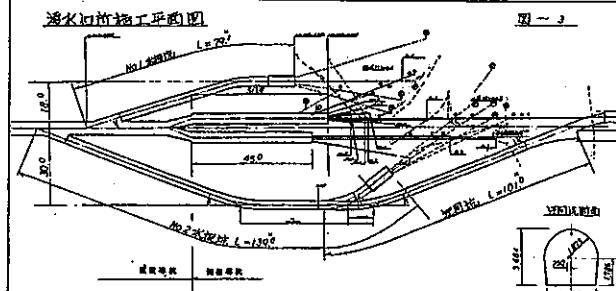
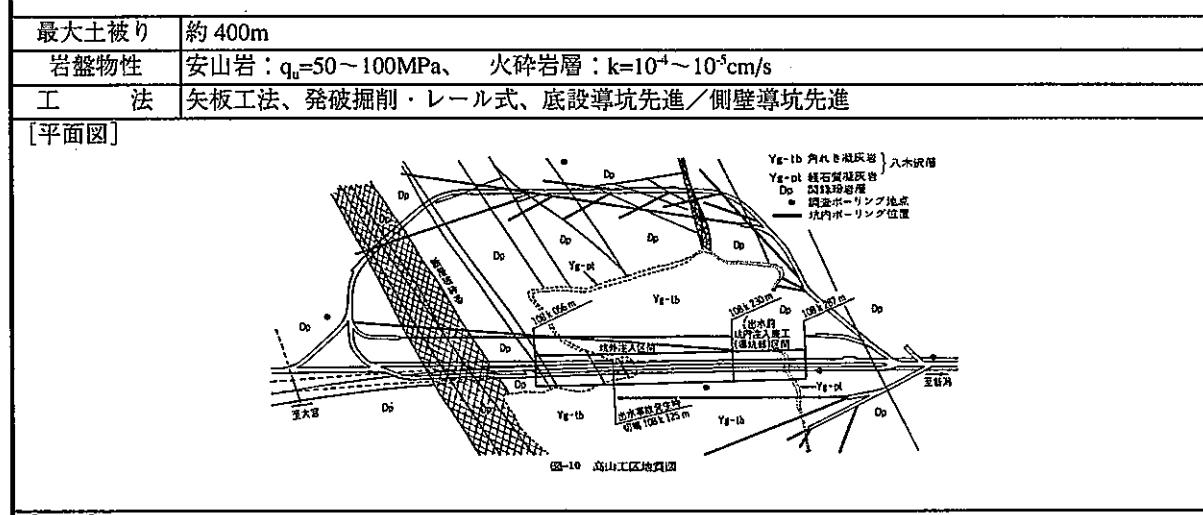
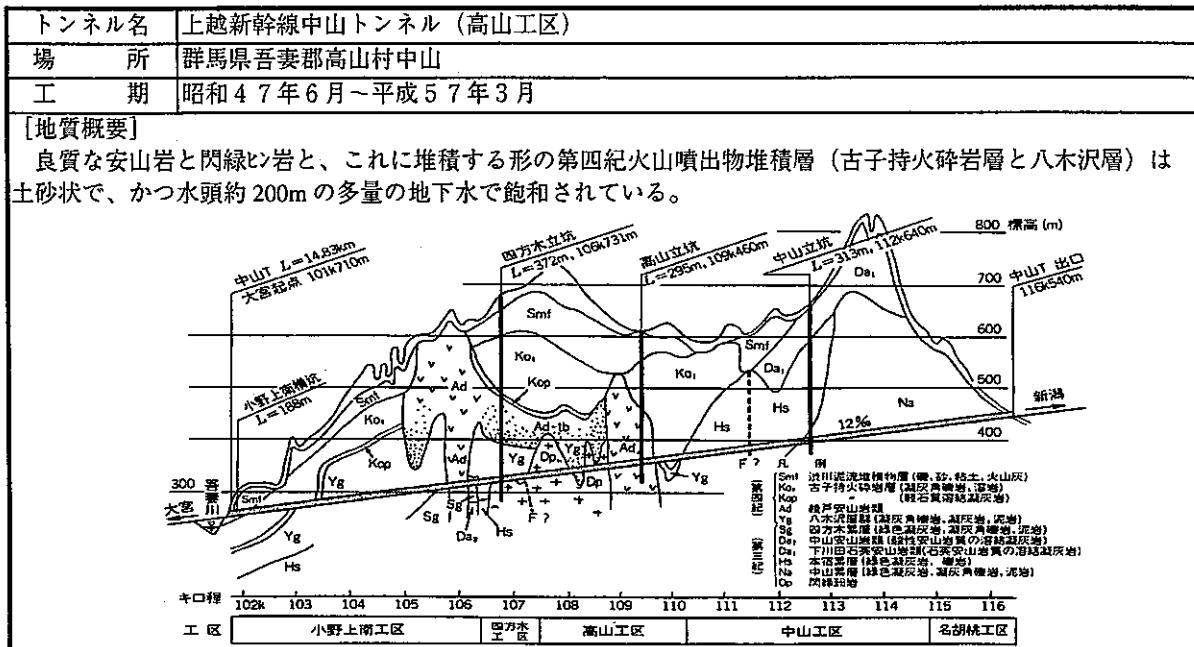
トンネル名	一般国道 115 号線土湯トンネル（福島側）															
場 所	福島県福島市土湯温泉町猪倉															
工 期	昭和 59 年 11 月～平成元年 1 月															
[地質概要]																
坑口付近は火山泥流堆積物、深部は熱水変質により粘土化した火山礫凝灰岩(T_1)、軟質な凝灰角礫岩(T_2)、高压・多量の地下水を胚胎した安山岩熔岩(A_n)から成る。																
																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>地質</th> <th>地盤堆積物</th> <th>安山岩</th> <th>凝灰角礫岩</th> <th>火成岩</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>坑内</td> <td>3.5 min</td> <td>3.5 min</td> <td>1.8 min</td> <td>涌水 8.9 l/min</td> </tr> <tr> <td>坑外</td> <td>65 min</td> <td>65 min</td> <td>1.8 min</td> <td>涌水 1.0 l/min</td> </tr> </tbody> </table>		地質	地盤堆積物	安山岩	凝灰角礫岩	火成岩	坑内	3.5 min	3.5 min	1.8 min	涌水 8.9 l/min	坑外	65 min	65 min	1.8 min	涌水 1.0 l/min
地質	地盤堆積物	安山岩	凝灰角礫岩	火成岩												
坑内	3.5 min	3.5 min	1.8 min	涌水 8.9 l/min												
坑外	65 min	65 min	1.8 min	涌水 1.0 l/min												
最大土被り	約 350m															
岩盤物性	$T_1: q_u \leq 1 \text{ MPa}, CEC = 80 \sim 100 \text{ meq}/100g$, $T_2: q_u \leq 2 \text{ MPa}, CEC = 60 \sim 70 \text{ meq}/100g$, $A_n: q_u \leq 80 \sim 100 \text{ MPa}$															
工 法	矢板工法、発破工法・レール式、底設導坑先進／側壁導坑先進															
[平面図]																
																
[現象]																
突発湧水、崩落、膨圧・押し出し等様々なトラブルに遭遇しながら側壁導坑掘進中に、坑口より 890m 地点で高压地下水の影響によるものと思われる木矢板の破損、支保工の変状が観測された。																
[現象の予測]																
事前調査における数本のボーリング結果より、地下水位が高く、地層境界部で相当量の突発湧水を予想した。また施工中の坑内ボーリング調査（放射状に合計 6 本）の結果、切羽前方に大規模な滯水層と脆弱地山の存在が判明するとともに、孔内より高压大量湧水（650KPa, 3.5ton/min）が発生した。																
[対策]																
水抜坑 ($n=2, A=10\text{m}^2, L=79.1+139.6\text{m}$)、水抜ボーリング ($n=24, \phi=165 \sim 86, \Sigma L=943\text{m}$) の実施により、切羽湧水量が 200l/min まで低減。その後、更に前方の湧水層を確認する為に迂回坑を利用して導坑を先行させるとともに、890m 以深より 50m 区間に對して導坑・上半部に LW 注入地盤改良とロックボルト ($l=4\text{m}$) 補強を実施した。																
[地層処分を想定した考察]																
延長 50m の湧水区間に對して経済的な積極排水による地下水位低下工法を採用し、施工に約 1 年を費やした。地層処分では十分な水文調査により湧水量の予測や地下水環境への影響評価が必要で、地下水位低下工法を採用するか否かの判断をしなくてはならない。																

表 9.1-4 トンネル実績調査結果（湧水対策、その3）



[現象]

108k460m地点のアクセス立坑より大宮側の施工時に、約700mの迂回坑を経て大湧水帯の反対側より、側壁導坑内から薬液注入をしながら掘進中、108k125m付近から異常出水（最大110t/min）が発生。止水堰の設置と揚水作業の甲斐無く、起点側3工区の坑道・立坑が2日後に水没した。

[現象の予測]

立坑施工時にも高圧多量湧水に難航し、テープウェルや薬液注入工法を併用した経緯がある。108k020m～300m付近に未固結凝灰岩の八木沢層が分布し、更に豊富な地下水を貯留し、その水圧は 20 kgf/cm^2 という高圧を呈することが調査結果より判明した事より、大量湧水の発生が予測された。

[対策]

出水箇所の充填止水と本坑再掘進を目的として、セントミルク・モルタル主体の坑道閉塞及びLW・溶液型主体の地山補強注入を地表より実施した。施工条件は、!深度約365mのボーリング孔曲がり精度 $\leq 0.6\% (\pm 20')$ 、"環境保全上から地表への逸泥(ケイケルV-1)の完全防止、#農業用水(8t/min揚水)の確保である。当初53孔が最終的に309孔となり、これを500～1000m級のボーリングマシン48台で施工した。

[地層処分を想定した考察]：水没という異常事態を避けるべく、大規模な湧水帯を含む地下水環境を高精度で特定する調査技術の開発・確立が必要である。

表 9.1-5 トンネル実績調査結果（湧水対策、その4）

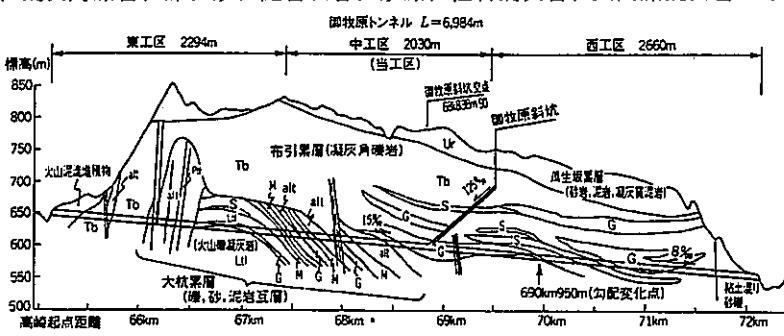
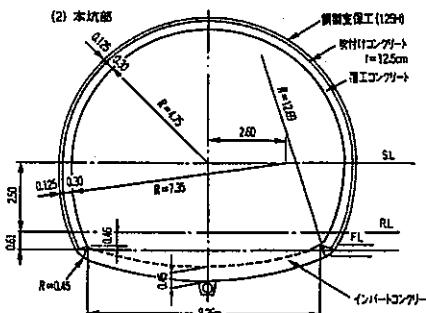
トンネル名	北陸新幹線御牧原トンネル（中工区）
場 所	長野県北佐久郡北御牧原村
工 期	平成4年3月～平成8年6月
[地質概要]	
第四紀及び新第三紀に属する小諸層群と呼ばれる火山破屑岩を主とした堆積岩から成る。主な岩種は砂岩、泥岩、凝灰質泥岩、凝灰角礫岩、礫、砂、泥岩互層、砂礫、軽石凝灰岩、火山礫凝灰岩である。	
 <p>御牧原トンネル $L=6,984\text{m}$</p> <p>標高(m)</p> <p>東工区 2294m 中工区 2030m (当工区) 西工区 2660m</p> <p>高崎起点距離 66km 67km 68km 69km 70km 71km 72km</p> <p>図-3 御牧原トンネル地質断面図</p>	
最深土被り	約200m
岩盤物性	$q_u=5\text{MPa}$ 以下 (膨張性地質区間、亀裂の多い泥岩が卓越した地質)
工 法	NATM
[標準断面]	
 <p>(2) 本坑部</p> <p>側面支保工(12φ) 取付けコンクリート (=125cm) 背エコンクリート</p> <p>内空寸法 R=1.25 R=1.25 R=1.25</p> <p>SL RL FL FL</p> <p>インバートコンクリート</p>	
[現象]	
<ul style="list-style-type: none"> i) 土被りが約200mで、亀裂の多い泥岩が卓越した箇所で内空変位量が増大。 ii) 未固結被圧帶水砂層区間で、水抜き鉛直ボーリングから湧水と共に砂が噴出。 iii) 含水砂層と泥岩の細かい互層部で、パイピング現象と共に土砂流出現象が発生。 	
[現象の予測]	
<ul style="list-style-type: none"> i) 岩石試験より膨潤性を評価。 ii) 地表面からの事前ボーリングにて、被圧水を持つ砂層の存在を確認。 iii) さぐり孔による地質調査を実施。 	
[対策]	
<ul style="list-style-type: none"> i) 増しロックボルト等の支保工の仕様変更及び縫い返し。 ii) 砂の流出を防ぐストレーナの採用。鉛直及び水平ボーリングの追加。 iii) コンクリートによる空洞充填及び薬液注入。 	
[地層区分を想定した考察]	
破碎帶や未固結部の状況や地下水の被圧度などを事前に調査することを目的に坑内切羽から定期的・連続的に先進探査ボーリングを実施することが極めて重要である。それにより、大量湧水の発生する箇所は前もって注入等による止水処置等の対策をとることが出来る。	

表 9.1-6 トンネル実績調査結果（湧水対策、その 5）

トンネル名	肥後トンネル（九州縦貫自動車道）
場 所	熊本県八代郡_熊本県球磨郡
工 期	昭和59年3月～平成元年3月
[地質概要]	
<p>凡例</p>	
最深土被り	約600m
岩盤物性	記載なし
工 法	本坑：NATM, 作業坑：在来矢板工法
[標準断面]	
<p>C 区 間 (STA. 165+12.3～STA. 165+26.9)</p>	
[現象]	
大湧水（坑道全体で、予測値6.4m³/minに対し、最大25.0m³/min）、突発湧水（2.5m³/min）	
[現象の予測]	
航空写真解釈による断層破碎帯の調査（断裂構造解析）を行い、断層破碎帯や滞水層の存在を確認した。切羽からの長尺（300m）ボーリングを実施し、地質の確認を実施した。	
[対策]	
短尺及び長尺の水抜きボーリングを実施したが根本的な対応とならなかつたため、水抜き坑（断面形状：幅2.525m高さ2.300mの幌形断面、工法：在来型矢板工法）を先行して施工した。これにより、十分な水抜き効果を得ることができた。	
[地層処分を想定した考察]	
大深度における処分場建設において、湧水予測及びその対策を実施するためには、先行ボーリング、断層破碎帯調査等による事前調査が重要である。湧水帶部の対策工として、水抜き坑の施工が有効である可能性がある。	

表 9.1-7 トンネル実績調査結果（湧水対策、その6）

トンネル名	松本トンネル
場 所	長野県松本市島内地先
工 期	平成2年6月～平成5年7月
[地質概要]	
最深土被り	約150m
岩盤物性	記載なし
工 法	NATM工法（上半先進工法）
[標準断面]	
[現象]	
切羽天端から最大3(t/min)の湧水が発生。	
[現象の予測]	
電気探査（比抵抗映像法）、弾性波探査による地山等級の調査。先行ボーリング ($\phi 70\text{mm}$, L=30m程度)により、地山状態や湧水の有無を確認しながら施工。	
[対策]	
水抜きボーリングの施工 切羽天端：ウレタン注入式ミニパイプルーフ, 切羽鏡部：吹付けコンクリート、ウレタン注入、上半分割傾斜掘削（切羽面を傾斜させ、核残し効果を期待。）	
[地層処分を想定した考察]	
大深度における処分場建設において、湧水予測及びその対策を実施するためには、先行ボーリング、断層破碎帯調査等による事前調査が重要である。湧水帶部の対策工として、水抜きボーリング、ウレタン注入等が有効である可能性がある。	

表 9.1-8 トンネル実績調査結果（湧水対策、その7）

トンネル名	赤石沢合流トンネル（導水路トンネル）
場 所	静岡県静岡市
工 期	平成2年11月～平成7年8月
[地質概要]	
トンネルの地質は全域にわたり四十万累帯の白根帶に属し、粘板岩、砂岩及びそれらの互層を主体とし、輝緑凝灰岩、緑色岩、チャートの薄層を挟在。	
最深土被り	約700m
岩盤物性	1軸圧縮強度：約100MPa（硬岩部は200MPa以上）
工 法	TBM: 4019m、発破工法: 3052m
標準断面：掘削内径2.6m（支保工はファイバー入りモルタル吹き付けと溝形鋼製リング支保工）	
[現象]：TD410m掘削以降、切羽からの湧水量が著しく増加し、TD450m付近掘削時には湧水量の日平均値は $13.5 \text{ m}^3/\text{min}$ に達した（一時的には $16.5 \text{ m}^3/\text{min}$ ）。湧水によりベルトコンベヤ上のズリが流され、TBM掘削が不可能となる。さらに、この湧水に伴い、切羽付近の酸素濃度が一時的に16%にまで低下した。	
[現象の予測]	
掘削後の地質観察結果から、この大量湧水は、坑口から410m～430mの粘板岩優勢砂岩粘板岩互層をトンネルが貫通することによって、430m～480mに存在していたクラッキーな塊状砂岩層、砂岩優勢砂岩粘板岩互層内の滞留地下水及びその周辺の地下水がトネル内に湧出したものと考えられた。	
坑道内の酸素濃度の低下は、岩盤中に滞留していた還元性の地下水が大量に湧出したために、構内酸素を消費したことが原因である（溶存酸素濃度、酸化還元電位を含む湧水の水質調査を実施）。	
[対策]	
湧水初期のトリチウム分析結果より、大量湧水は10～20年以前の降水起源の滞留地下水であることが判明した。水抜き施工のために、導水路トンネルに並行に水抜きトンネルを掘削し合計12本、148mの水抜きボーリングを実施し、ボーリング施工時には推定1.5MPaの高圧湧水が噴出したが徐々にその量は減少した。	
坑内酸素濃度の低下に対しては、坑外送気設備のコントラファンからターボファンへの取替えによる送気量の増大、TBM台車へのコントラファン設置による空気循環の改善により対処した。	
[地層処分を想定した考察]	
天然バリアの性能を評価する上で、処分坑道周辺の地下水環境を把握することは不可欠である。特に核種の溶解度に大きな影響を及ぼす酸化還元電位のデータは非常に重要である。本トンネルでは、大量湧水と坑内酸素濃度の低下を契機に、溶存酸素、酸化還元電位を含む水質データが長期に取得された。地下深部の坑道掘削による坑道周辺地下水の水質変化を示す貴重なデータといえる。	
処分を念頭においた場合、水抜きトンネル、水抜きボーリングによる湧水対策工だけでは限界があるが、予期しない突発湧水の対策事例としては今後の実施工で役立つ貴重な教訓となる。	

表 9.1-9 トンネル実績調査結果（湧水対策、その 8）

トンネル名	青函トンネル竜飛側斜坑（調査坑）
場 所	青森県兵庫県芦屋市
工 期	昭和 41 年 3 月（本州側斜坑掘削開始）～昭和 45 年 1 月（本州側斜坑底に到達）
[地質概要]	
本州方約 1/3 は火山岩、火山碎屑、北海道方 2/3 は堆積岩。本州方は地質が複雑で互層をなす。	
最深土被り	約 300m
岩盤物性	
工 法	健全部：発破工法による全断面掘削方式 断層部：周壁導坑掘削方式、導坑先進上半アーチ（メッセル工法）掘削方式
[標準断面]	
<p style="text-align: center;">周壁導坑掘削方式</p> <p style="text-align: center;">導坑先進上半アーチ (メッセル工法)掘削方式</p>	
[現象]	
斜坑延長 1315m のうち、406m 以深については地山が悪く、止水のための注入が必要であった。特に、1223m 地点で、最大 $16 \text{m}^3/\text{min}$ の湧水があり、斜坑約 200m が水没した。流出土砂量は約 300m ³ である。復旧には約半年を要した。	
[現象の予測]：上記崩壊部は、岩脈中に玄武岩貫入しており、変質した玄武岩が粘土化したものが安山岩との接触部で水みちを形成していたものと推定された。	
[対策]	
崩壊部は海面下 250m にあり、水抜きの効果は期待できない。そこで、細粒のセメントミルク、LW、ユリロック G（水素系注入材）の注入により、トンネル掘削部外周に 12m の固結帯を形成した。掘削工法は、メッセル工法を用いた周壁導坑掘削としたが、周壁導坑 No.1～No.4 の掘削完了後、予想以上の注入効果があることがわかり、上部半断面掘削、アーチ型とし、このアーチ部掘削に対してもメッセル工法を採用した。	
[地層処分を想定した考察]	
本斜坑では 460m より以奥の掘削については湧水防止のために全区間各切羽から止水注入を実施し、 $4 \text{m}^3/\text{min}$ 以上の湧水を常時排水する必要があった。海洋底下処分においては、大量湧水に遭遇した場合、注入工法による止水が不可欠であり、種々の注入工法と掘削工法の組み合わせが有効となる。	

表 9.1-10 トンネル実績調査結果（湧水対策、その 9）

トンネル名	山陽新幹線六甲トンネル芦屋斜坑
場 所	兵庫県芦屋市
工 期	昭和 42 年 3 月～昭和 46 年 8 月
[地質概要]	
芦屋工区は「本みかけ」と呼ばれる六甲花崗岩が主体（他工区に比べて断層は少ない）。	
<p>最深土被り 約 370m 岩盤物性 硬質の花崗岩（弾性波速度 5.5km/sec） 工 法 健全部は在来工法による全段面掘削。 断層部は頂設導坑先進上部半断面リングカット方式、最終的には多段導坑方式</p>	
[標準断面及び断層部掘削における導坑配置図]	
[現象]	
坑口より 330m 付近において、節理に粘土を挟む風化花崗岩から $3\text{m}^3/\text{min}$ の土砂を含む突発出水があり、切羽より 18m 区間が 200m^3 の流出土砂により埋没。その後の掘削でも土砂を伴う出水と支保工の変形が生じる。φ46~105mm の水抜きボーリング孔を施工するが、高圧の被圧水と噴出土砂のため、ジャーミングを起こして削孔不良、ロッド破損が続出。	
[現象の予測]；水抜きボーリングの施工結果から、断層破碎帯の厚さは 9~10m、湧水の水圧 2.0~2.2MPa と推定。	
[対策]；斜坑の両側に総延長 365m の地質調査坑を掘削し、地質調査坑から 23 本、総延長 360m の水抜きボーリングを実施。さらに、3 回の薬液注入による破碎帶部の固結、安定化を図り、頂設導坑先進上部半断面リングカット方式、最終的には断面積 3m^2 の多段導坑方式で断層破碎帯を掘削。	
[地層処分を想定した考察]；サイト選定の段階でこのような高圧湧水が発生する箇所を避けることが望ましいが、結晶質岩の場合は特にその予測が困難である。地層処分の場合は、深部地下の還元環境を保持する観点からも極端な水抜きによる地下水環境の変化は避けるべきであり、上記の対策工をそのまま適用することはできない。しかし、予期しない突発湧水の対策事例としては今後の実施工で役立つ貴重な事例である。	

表 9.1-11 湧水対策工法の概要

分類	工法	概要
湧水を減らす対策	地下水位低下工法	ディープウェル工法 掘削前に立坑周囲のボーリング孔より地下水を汲み上げ地下水位を一時的に下げる。
	水抜きボーリング工法	立坑内部から周辺地山に水平ボーリングを行い、ここから集水して地下水位や切羽への浸透を下げる。
	止水工法	プレグラウト工法 立坑掘削に全区画グラウトを行い、岩盤の空隙を埋め湧水を減らす。
	ステップグラウト工法	30m～40m のステップで地盤状況を確認しながらグラウトを行い、岩盤の空隙を埋め湧水量を減らす。
湧水を処置する対策	凍結工法	立坑周囲の土石（含有水）を凍結させて、地盤中の水の移動を止め止水する。
	裏込め注入工法	立坑覆工後、立坑外周の地盤とのすき間に裏込め材を注入し湧水を防ぐ。
	集水工法	ウォーターリング 覆工背面の水を 30m ピッチ程度で集水し、ポンプ座に流す。 (覆工背面を水が流れるのを防ぐ)
	二次覆工止水シート	止水シートを一次覆工の表面に設置してから、二次覆工コンクリートを打設する。
排水工法	裏面排水工	吹付けコンクリートの施工性確保のために湧水のある部位にパイプ、マット等でドレンを設ける。
	ポンプ座排水	立坑に数十 m～百数十 m ピッチで設けたポンプ座を利用して、湧水をリレー排水する。

2) 山はね対策

山はねは、トンネル掘削時において、掘削周辺の岩盤の一部が大きな音響とともに坑道内に突然飛び出す現象であり、大深度における硬岩系岩盤の場合に生じることが多い。この現象は、岩盤中に蓄えられた弾性ひずみエネルギーが、掘削により解放されることに起因して発生すると考えられており、発生した場合には重大な事故につながる可能性もある。山はね地山に共通する特徴をまとめると以下のとおりである（土木学会、1994a）。

- ・一般に、石英閃緑岩、片麻岩などを主体とする堅硬で節理やシームを含まない塊状の岩盤、あるいは規則的で顕著な節理が発達しているが密着している岩盤で山はねが多発する。
- ・圧縮強度は 100～200MPa 以上、静弾性係数は 30～50GPa 以上、脆性度は 15～20 以上の岩石に山はねが多い。
- ・トンネルの土被りがおおむね 800～1,000m 以上で山はねが多発するが、初期応力、とくに水平方向の初期応力が卓越する地山では、小さい土被りでも山はねが発生する。

- ・湧水のみられる箇所では山はねは発生しない。これは、地下水が流出する程度の開口節理が存在すると応力が岩盤に伝達されにくいためと考えられる。
- ・山はねの発生は、節理やシームとの関連性が強い。また、大規模節理や断層の前後で山はねが発生しやすい。
- ・山はねで飛び出した岩片は扁平なものが多く、岩盤の跳ねた跡は凹形にへこんだ状態で残る。また、ボーリングコアがディスキング現象を起こすことがある。
- ・発破直後に顕著な山はね現象が発生し、時間の経過とともに沈静化することが多いが、何らかの刺激を与えると再び活発化することがある。

山はね現象に対する対策工の選定あるいは計画のためには、山はね地山の特徴を調べるための各種の調査・計測が必要となる。山はね対策に必要な調査・計測項目として、ボーリング調査、岩石試験、節理調査、湧水調査、初期応力測定、地山応力変化計測、AE 計測などが挙げられる（土木学会、1994a）。このうち AE 計測は、山はねの発生メカニズムの解明と予知を目的としたものであり、岩盤が破壊にいたる前から AE を発生するという性質を利用して岩盤内の AE を収録し、山はなの兆候を予知しようとするものである。センサーとしては加速度計が用いられており、センサーを切羽近傍や隣接する坑道内に設置して計測を行うものである。図 9.1-1 に AE 計測の概念を示す。

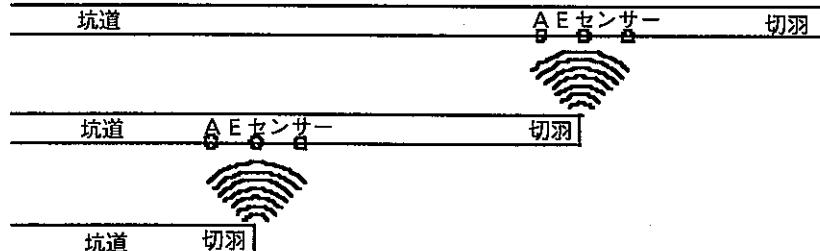


図 9.1-1 AE 計測の概念

山はねの対策としては、一般的に図 9.1-2 及び図 9.1-3 のようなものや、以下に示すものがあるが、これらを単独あるいは組み合わせて実施される。

- (日)鋼製支保工あるいはネットなどで掘削面を覆う。
- ②フリクションタイプのロックボルトを使用して、ロックボルトの打設直後から縫付け効果（吊り下げ効果）を発揮させるようにする。
- (火)鋼纖維吹付けコンクリートを使用するなど一次覆工のじん性を上げ、剥落の危険性を減少させる。
- ④コソク作業（発破や掘削機械による掘削で除去されずに残った突出部分を、

バール、ピック、ブレーカーなどにより除去する作業) や山はね発生時の退避、待機を徹底させる。

表 9.1-12 及び表 9.1-13 にトンネル施工において遭遇した現象とその対応策についての事例を示す(多賀直大ほか, 1990; 日本トンネル技術協会, 1990)。

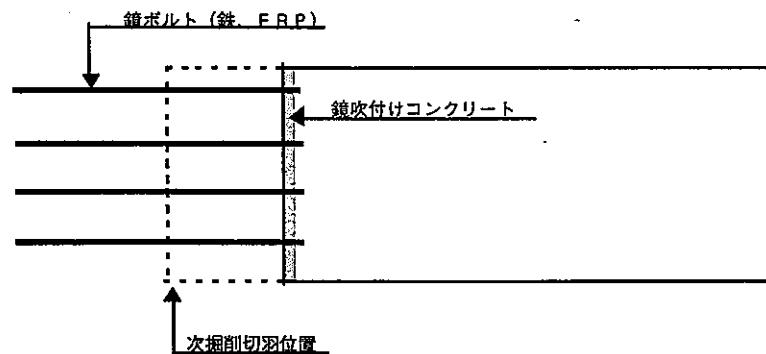


図 9.1-2 鏡ボルト、吹付けコンクリートの概要

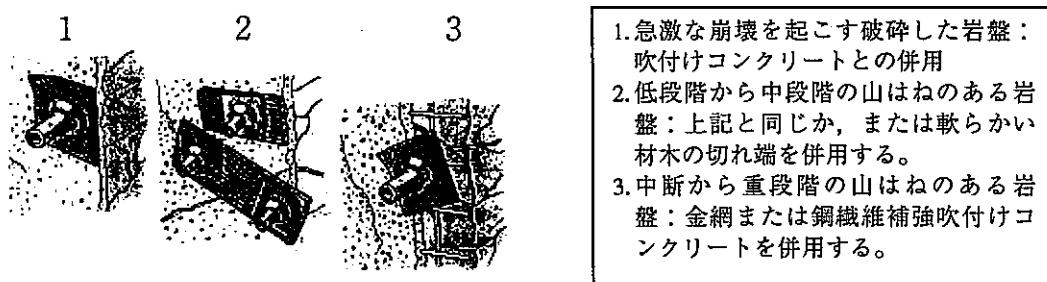


図 9.1-3 フリクションタイプボルトによる山はね対策の例

表 9.1-12 トンネル実績調査結果（山はね対策、その 1）

トンネル名	関越トンネル (II 期線)
場 所	新潟県南魚沼郡湯沢町～群馬県利根郡水上町
工 期	昭和 61 年 6 月～平成 2 年 8 月
[地質概要]	
<p>水上側は流紋岩、安山岩、ホルンフェルス等から構成されており、断層破碎帯が所々に見られ変化に富んだ地質であり、湯沢側は大部分が安定した石英閃緑岩からなり水平な亀裂がある。</p> <p>The diagram shows a geological cross-section from point No. 10 to No. 118+60 km. It includes labels for '谷川立坑' (Gorge Pit) and '万太郎立坑' (Wataro Pit). A legend identifies rock types: R_h (流紋岩, 混灰岩), CB_h (変質玄武岩, 変質安山岩), M (ホルンフェルス(頁岩, 砂岩)), D (石英閃緑岩), and CT_h (凝灰岩). Joints are indicated by various symbols like 'v', 'x', and '+'.</p>	
<p>最深土被り 約 1200m 岩盤物性 $q_u=126\sim282 \text{ MPa}$, $E=42.4\sim99.2 \text{ GPa}$, $\nu=0.179\sim0.370$ 工 法 NATM</p>	
[標準断面]	
<p>The top diagram shows a circular cross-section with labels for '内側コンクリート' (inner concrete), '吹付コンクリート' (sprayed concrete), '吹付コンクリート' (sprayed concrete), 'ロックボルト' (bolts), and 'S' (steel plate). Below it is a detailed view of the '標準支保パターン' (standard support pattern) showing '吹付コンクリート (7cm)' (sprayed concrete 7cm), 'ロックボルト D25, L=3000' (bolts D25, L=3000), and '壁面吹付コンクリート' (sprayed concrete on wall). To the right is the '山はね区間支保パターン' (slope collapse zone support pattern) showing '壁面吹付コンクリート (7cm)' (sprayed concrete 7cm), '壁面吹付 + 埋設锚ボルト (5cm) (L=4.0m, 44本)' (wall sprayed concrete + embedded anchor bolt (5cm) (L=4.0m, 44 pieces)), and '切羽' (cutting edge). Dimensions include 5438, 5438, 150, 5600, 150, 150, 1.5m, 1.5m, 1.5m, and 4.0m.</p>	
[現象]	
<p>湯沢側坑口より 3.6～3.7km にかけて山はねが発生。鏡面での飛石がほとんどで、後方側壁での発生は希であった。</p>	
[現象の予測]	
<p>避難坑の側壁から AE 計測（最大振幅値、発生回数、波形等）を行った。AE イベント数及び最大振幅と山はね状況は相関関係が深いこと、AE が活発になってから 1～2 発破後に山はねが活発になることが分かった。</p>	
[対策]	
<p>AE 計測結果及び切羽状況を点数化し、施工パターンを決定した。ただし、判定基準の設定は、試行錯誤し、修正を加えながら見直しを行った。</p> <p>フリクション型ロックボルト、ファイバーコンクリートを採用した。さらに、切羽面に対し、通常コンクリートによる吹付けと、ロックボルト ($L=4.0m$) の打設を行った。</p>	
[地層区分を想定した考察]	
<p>大深度硬岩サイトでは山はねが起こる可能性が高い。AE 計測は山はね予測の有効な手段であるが、量的な把握までには至っていない。AE 計測により山はねを予測し、施工中の現象を観測しながらその程度にあわせて対策工を施すことで安全性が確保されると考えられる。</p>	

表 9.1-13 トンネル実績調査結果（山はね対策、その2）

トンネル名	国道140号雁坂トンネル
場 所	埼玉県大滝村～山梨県三富村
工 期	平成元年5月～平成4年6月
[地質概要]	
山梨県側の2.5～3.0kmは花崗閃緑岩、埼玉県側の3.5～4.5kmは砂岩・泥岩の互層。接触部500～700mはホルンフェルス化作用を受け熱水鉱化変質している。	
最深土被り	約850m
岩盤物性	不明
工 法	NATM
[標準断面]	
[現象]	
花崗閃緑岩において主に土被り200m以上の切羽天端部で山はねが発生。発破直後が最も激しく、時間とともに減少し概ね2時間程度で収まるが、長いものは2昼夜断続的に続く。	
[現象の予測]	
避難坑掘削時に山はねが発生したことから本坑でも発生すると予測。施工中はAE計測管理システムよりAEパラメータが基準値を越えた場合、自動的に警告する。しかし、山はねの危険度の判断の材料にはなったが、定量的な判断はできなかった。	
[対策]	
待避・待機の徹底、地山観測記録表の充実、入念なコソク作業、打設直後に効果を發揮する周面摩擦型ロックボルトの採用、韌性の高い鋼纖維補強吹付けコンクリートの採用。	
[地層処分を想定した考察]	
山はねの量的な予測は現状では難しいものの、現象そのものはAE計測等の充実で可能であり、山はねに対する対策も適切な補助工法を選択することにより十分対応可能である。	

3) そのほかの対策工

(1) 破碎帯対策

通常、破碎帯は多量の湧水帯や軟弱層、時には膨圧地層を形成しているケースが多く、トンネル施工中に遭遇すると、場合によっては難工事を強いられることがある。施工にあたっては、反射法地震探査などによる予測を行うとともに、破碎帯予想地点に近づいた時点で、その性状や位置及び被圧水の有無などを正確に把握するため、先進ボーリング、地山試料試験などを行い、その結果を踏まえて対応策を講ずることが必要である。

破碎帯は、その性状、岩質、湧水状況などによりさまざまな形状、態様を呈するが、大別すると①湧水がないか少ない場合、②大量湧水をともなう場合、③膨圧の発生をともなう場合の3つのタイプが多く、各々に見合った対策を選択する必要がある（土木学会、1994a）。滋賀県・栗東トンネル上り線西工事では、断層破碎帯により切羽上部の崩落や湧水などが生じTBMによる掘削に影響した事例があり、ここでは水抜きなども兼ねた先進ボーリングの実施、薬液注入及び鋼製リング支保工などによる対応が図られている（日本トンネル技術協会、1999）。

硬岩系岩盤で採用したNATMでは、日常の計測管理により、掘削にともなう周辺地山の挙動と各支保部材の効果を確認しながら工事が進められる。破碎帯あるいは地山状況の不安定な箇所では、とくにこうした計測管理を綿密に実施しながら、以下のような支保の増強や地山の改良を行って対応する。

- ・ロックボルトの打設
- ・吹付けコンクリートの増し吹き
- ・ロックボルトの増し打ち
- ・掘削ステップ長の見直し
- ・鋼製支保工、鉄矢木の使用
- ・薬液注入による地山の改良

一方、軟岩系岩盤において、破碎帯部の地山が自立しない場合には、薬液注入・凍結工法の対策がとられるが、とくに破碎帯で大きな地圧の発生が予想される場合は、覆工セグメントなどを用いて地山の膨張を抑える必要がある。また、上記に加えて、状況に応じて以下に示す補助工法を併用することも可能である。

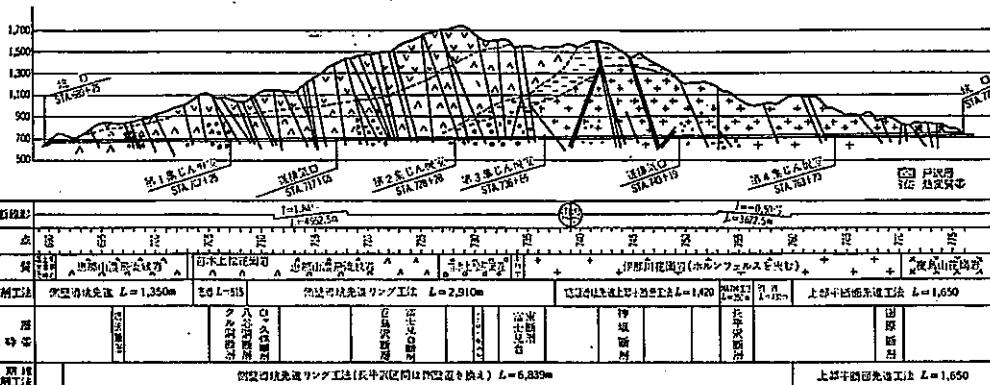
- ・フォアパイリング
- ・鏡吹付けコンクリート
- ・鏡止めボルト
- ・セメントミルクなどの注入

表9.1-14～表9.1-18に破碎帯対策の事例を示す（例えば、日本トンネル技術協会、1983）。

表 9.1-14 トンネル実績調査結果（破碎帯対策、その 1）

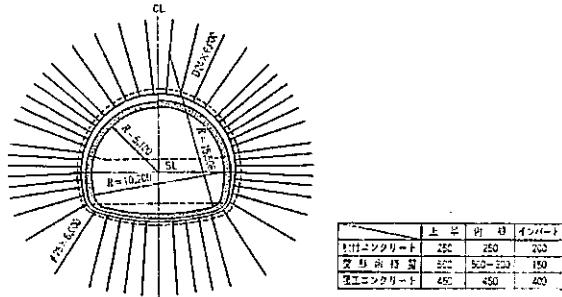
トンネル名	国道194号寒風山トンネル																					
場 所	愛媛県西条市																					
工 期	昭和63年9月～平成8年9月																					
[地質概要]																						
高知県側は泥質片岩、愛媛県側は塩基性片岩・珪質片岩。																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>勾配</th> <th>泥質片岩</th> <th>塩基性片岩</th> <th>珪質片岩</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測点</td> <td>120</td> <td>120</td> <td>120</td> </tr> <tr> <td>地質</td> <td>泥質片岩 （一見塩基性片岩）</td> <td>珪質片岩</td> <td>赤鉄錆珪質片岩 （一見塩基性片岩）</td> </tr> <tr> <td>弹性波速度 (km/s)</td> <td>4.7</td> <td>5.9 16 52 32 52 4.7</td> <td>6.0 15 60 14 6.0 36 50 41 5.0 14</td> </tr> <tr> <td>計画支保パターン</td> <td>C B C D C D C B C B C B C D C D C B C D</td> <td>B₁, B₂, D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆, D₇, D₈, D₉, D₁₀</td> </tr> <tr> <td>実績支保パターン</td> <td>B₁, B₂, D₁, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆, D₇, D₈, D₉, D₁₀</td> <td>B₁, C₁, B₂, C₂, C₃, D₁, C₄, B₃, C₅, D₂, D₃, D₄, D₅, D₆, D₇, D₈, D₉, D₁₀</td> </tr> </tbody> </table>	勾配	泥質片岩	塩基性片岩	珪質片岩	測点	120	120	120	地質	泥質片岩 （一見塩基性片岩）	珪質片岩	赤鉄錆珪質片岩 （一見塩基性片岩）	弹性波速度 (km/s)	4.7	5.9 16 52 32 52 4.7	6.0 15 60 14 6.0 36 50 41 5.0 14	計画支保パターン	C B C D C D C B C B C B C D C D C B C D	B ₁ , B ₂ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀	実績支保パターン	B ₁ , B ₂ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀	B ₁ , C ₁ , B ₂ , C ₂ , C ₃ , D ₁ , C ₄ , B ₃ , C ₅ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀
勾配	泥質片岩	塩基性片岩	珪質片岩																			
測点	120	120	120																			
地質	泥質片岩 （一見塩基性片岩）	珪質片岩	赤鉄錆珪質片岩 （一見塩基性片岩）																			
弹性波速度 (km/s)	4.7	5.9 16 52 32 52 4.7	6.0 15 60 14 6.0 36 50 41 5.0 14																			
計画支保パターン	C B C D C D C B C B C B C D C D C B C D	B ₁ , B ₂ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀																				
実績支保パターン	B ₁ , B ₂ , D ₁ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀	B ₁ , C ₁ , B ₂ , C ₂ , C ₃ , D ₁ , C ₄ , B ₃ , C ₅ , D ₂ , D ₃ , D ₄ , D ₅ , D ₆ , D ₇ , D ₈ , D ₉ , D ₁₀																				
最深土被り	約900m																					
岩盤物性	$q_u=14 \sim 30 \text{ MPa}$ 、 $E=16 \sim 23 \text{ GPa}$ 、 $\nu=0.11 \sim 0.27$																					
工 法	NATM																					
[標準断面]																						
[現象]																						
土被り400mを越えると天端沈下量、内空変位量が顕著に増加。																						
[現象の予測]																						
土被り600mまでの計測データによる予測、及び解析による予測を併用。																						
[対策]																						
シリカヒュームを用いた早期高強度吹付けコンクリート、ねじり鋼棒を用いたロックボルト、鋼製支保工等を使用した特殊支保パターンの採用。																						
[地層処分を想定した考察]																						
深地層においては、変位の計測と解析による予測は重要であり、両者を組み合わせた管理により、最適な支保パターンを選定する必要がある。																						

表 9.1-15 トンネル実績調査結果（破碎帯対策、その 2）

トンネル名	中央自動車道恵那山トンネル飯高方（長平沢断層区間）																							
場 所	長野県下伊那郡																							
工 期	昭和53年3月～59年10月																							
[地質概要]																								
全般に花崗岩が热水変成作用を受け脆弱になった灰白色の粘土層。																								
																								

最深土被り	約450m											
岩盤物性	$q_u=1.7 \sim 4.0 \text{ MPa}$ 、 $E=0.9 \sim 2.2 \text{ GPa}$ 、 $\nu=0.45 \sim 0.48$											
工 法	NATM											

[標準断面]



[現象]

膨張性地山、局所的ながら1mを越える相対変位が発生。

[現象の予測]

膨張は予測しているが、量的な予測は行っていない。

[対策]

はらみだし箇所につきはつり補修を実施。覆工コンクリートにSFRCを使用、増しボルトとして総ネジP C鋼棒（16本/m）ができるだけはつり掘削前に実施。それでも変位が基準値を越える場合は増し吹付けを実施。

[地層処分を想定した考察]

深地層において花崗岩の風化が予想される場合は、大きなはらみだしが発生するため計測管理と補助工法による対応が必要である。

表 9.1-16 トンネル実績調査結果（破碎帯対策、その3）

トンネル名	県道127号線検査谷トンネル																																						
場 所	千葉県安房郡鋸南町																																						
工 期	平成3年2月～平成5年11月																																						
[地質概要]																																							
当地域は第三紀層地滑り地帯として著名で、地質は第三紀層の堆積岩や凝灰岩と地下深部で形成された蛇紋岩が多数の断層で接する断層破碎帯である。入口側130m迄は健全な砂岩、それ以深は粘土質から土砂化した非常に脆弱な地山である。																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>地 図</th> <th>谷 岩</th> <th>碎 带</th> <th>破碎帯(粘土～土砂化)</th> <th>破碎帯(粘土～土砂化)</th> <th>破碎帯(粘土～土砂化)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>断面バーン</td> <td>D1</td> <td>C1</td> <td>C1</td> <td>D1-I</td> <td>D1-I</td> <td>D1W-1,I</td> <td>D1W-1,Y</td> </tr> <tr> <td>坑 間</td> <td>130m</td> <td></td> <td></td> <td>D1-I</td> <td>385m</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>432m</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>										地 図	谷 岩	碎 带	破碎帯(粘土～土砂化)	破碎帯(粘土～土砂化)	破碎帯(粘土～土砂化)	断面バーン	D1	C1	C1	D1-I	D1-I	D1W-1,I	D1W-1,Y	坑 間	130m			D1-I	385m								432m		
地 図	谷 岩	碎 带	破碎帯(粘土～土砂化)	破碎帯(粘土～土砂化)	破碎帯(粘土～土砂化)																																		
断面バーン	D1	C1	C1	D1-I	D1-I	D1W-1,I	D1W-1,Y																																
坑 間	130m			D1-I	385m																																		
					432m																																		
最大土被り	約40m																																						
岩盤物性	砂岩: $q_u=20\text{MPa}$ 、破碎帶: $\gamma=2.09\text{g/cm}^3$, $q_u=100\text{kPa}$, 粘土分=70%, 浸水崩壊度=C～D, 陽イオン交換容量(CEC)=35meq/100g, 地山強度比(G_n)=0.16, 透水係数(k)= $3\times10^{-7}\text{cm/s}$																																						
工 法	NATM、機械掘削(自由断面掘削機)・タイヤ式、上半底設導坑先進																																						
[標準断面]																																							
[現象]																																							
トンネル掘削により超軟弱地山の切羽前方で大きな緩みが発生し、かつ鏡面割れ目が流れ目のため切羽に作用する緩み荷重が滑り面に沿ってすべりを誘発したことにより、切羽全体が2回大崩落(1回目V=205m³、2回目V=166m³)した。その後は対策工により、導坑内で1度小崩落(V=18m³)が発生したが、応急的な吹付けコンクリートで十分対応でき、大崩落には至らなかった。																																							
[現象の予測]																																							
事前ポーリング調査等より、切羽自立性確保のため先受けフォアポーリング(l=3m)を有するD「パ」ーンと設計した。施工中の坑内水平ポーリング調査と切羽観察結果より、切羽崩落の可能性が非常に大きいと確認された為、種々の補助工法を追加実施。1回目の大崩落後に採用した「ワレクン注入式フォアポーリング: PUIF(l=4m,n=21本/m)」補助工法により、大規模崩落は防げると考えたがその予想を上回る程地山条件が劣悪で2回目の大崩落が発生した。本格的な対策工適用後的小崩落は予想範囲内であった。																																							
[対策]																																							
2回の大崩落発生後、「鏡面の小崩落に引き続いてフォアポーリング先端以深から全体崩落が発生する現象を抑制するために「上半底設導坑先進」により切羽面の高さを小さくする方法、及び「不連続地山の一体化と地山改良の効果を図るために「PUIF(l=4m,n=21本/m)」を採用した。尚、トンネル上部の空洞(各50m³程度)にはエーモルタル+セメントミルク+ワレクン注入で充填した。																																							
[地層処分を想定した考察]																																							
崩落による地山周辺の応力場・水理場の擾乱を防止するため、前方地山の事前調査や切羽観察・計測結果の的確な評価、及び設計・施工への迅速なフィードバックが必要である。																																							

表 9.1-17 トンネル実績調査結果（破碎帯対策、その4）

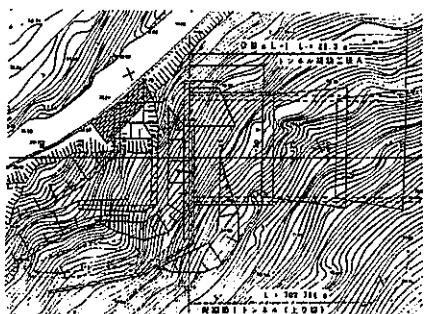
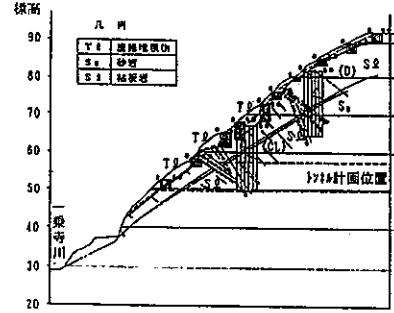
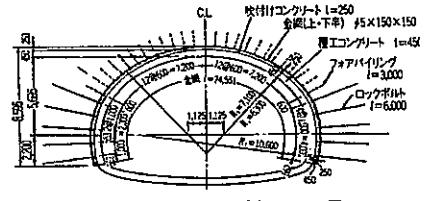
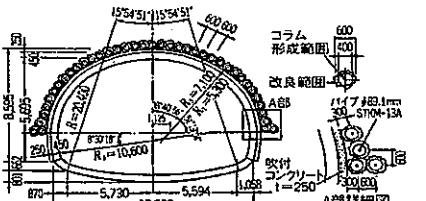
トンネル名	名神高速道路梶原第1トンネル
場 所	大阪府高槻市梶原
工 期	平成2年4月～平成6年10月
[地質概要]	
西坑口側は40°～50°の急勾配を有する尾根形斜面であるが、厚い崖錐層の下部には強風化・破碎された粘板岩・砂岩から成る崩壊性地山である。	
	
	
	
	
[現象]	
設計段階において、西側坑口付近では過去に数回の表層崩壊が発生していた事、また水平ボーリング調査と弾性波探査から強風化・破碎帶の存在することが確認されていた。	
施工前の動態観測から現状斜面が活動中であり、坑口付けの切土作業中にも小崩壊が発生した。	
[現象の予測]	
崩壊性地山におけるトンネル掘削では斜面表層部の崩壊を誘発する可能性が非常に高いことが設計段階で予想されていた。	
更に施工計画時のFEM解析と坑内平板載荷試験から、地耐力不足と天端・肩部崩壊も予想された。	
[対策]	
坑口部の施工範囲として、「強風化岩以深の風化岩（C _L 級, V _p =1.8～2.0km/s, E=210MPa）の手前まで、かつ土被り1D以下の範囲」をJH標準坑口パターンより1ランク上のD'aLパターンと設計した。	
実対策工として、上記範囲で「ローラインジエットフォアアーリング：R J F P工法（噴射圧40MPa, パイル=39本シフト@60m）」+法面補強ボルトを採用し、上半足元部の「ローラインジエットサイトパーアーリング：R J S P工法」を追加した。	
[地層処分を想定した考察]	
実際のトレル施工手順を考慮した3次元FEM解析による予測と計測管理に基づく評価より、トンネル及び周辺地山の力学的挙動を精度良く把握することが可能である。それにより適切な対策を施すことが出来る。	

表 9.1-18 トンネル実績調査結果（破碎帯対策、その 5）

トンネル名	北陸新幹線朝日トンネル（東工区）
場 所	富山県下新川群朝日町
工 期	平成6年3月～
[地質概要]	
入口から1/4ぐらいまでは安山岩溶岩・安山岩質凝灰角礫岩、中央部は流紋岩・流紋岩質凝灰角礫岩、出口までは北陸層群の地層が西傾斜して分布。	
図-3 地形地質縦断図	
最深土被り	約400m
岩盤物性	$q_u=0.18 \sim 72.4 \text{ MPa}$ 以下（第2破碎帶）
工 法	NATM
[標準断面]	
図-4 標準断面および支保パターン図	
[現象]	
破碎帶で、強大な地圧による支保工部材の押出し、変形、破断。	
[現象の予測]	
有限要素法による強度及び変形特性の予測。	
[対策]	
高耐力支保工の採用、早期断面閉合、十分な変形余裕量の確保、注入式鏡ボルト、注入式先受けボルトの採用。	
[地層処分を想定した考察]	
深地層においても変位の解析的予測は有効な手段であり、計測管理と組み合わせて合理的な支保パターンを選定することが出来る。	

(2) ガス対策

軟岩系岩盤では、その種類や地質構造の状況によって、種々のガス発生の可能性がある。ガスは、岩盤の空隙などにある圧力下で内在し、とくに夾炭層などの軟岩層に分布する場合が多く、深度が増すと発生頻度が増加し、包含するガス量も増え、かつ、ガス圧も高くなる傾向がある。したがって、このような軟岩層では、突発的に多量のガスが噴出してガス爆発を引き起こしたり、ガスが徐々に湧出して、酸素欠乏やガス中毒を引き起こすこともある。また、炭酸ガス、硫化水素ガス、亜硫酸ガスなど、温泉や鉱泉とともに湧出するものもある。

軟岩系岩盤において通常問題となるのは、メタンを主とする可燃性ガスである。安房トンネルにおける事例（日本トンネル技術協会, 1983, 1992a）では、微量の火山性ガスの発生に対して、さぐりボーリング、ガス自動検知警報装置の導入、緊急避難台車（防爆構造、気密構造）の配備など、複数の対策の組み合わせによって対応が図られた。

可燃性ガス対策の基本は、一般に予知、換気、火源対策、監視を含む保安体制から構成される。これらガス対策は、初期に掘削される坑道において最も重要であり、この意味でアクセス坑道建設における対策が重要となる。アクセス坑道建設時においては、ガス湧出による酸素欠乏やガス中毒と、ガス突出によるガス爆発が想定される。ガスの湧出、突出などを完全に防止することは事実上不可能であるので、ガスの湧出が予想される場合には、ガス対策として、

- ・事前ボーリングによる探査及びガス抜き
- ・換気設備の拡充（大風量換気設備の設置）
- ・坑内設備の防爆化
- ・ガス検知システムの設置、運用などの管理体制の徹底

などの措置を講じておく必要がある。これらの対策は、ガスが湧出するような施工条件下における工事の安全性や作業環境維持のためにも必要不可欠である（土木学会, 1994a）。表 9.1-19～表 9.1-20 にトンネル工事において遭遇した事例を示す。

表 9.1-19 トンネル実績調査結果（ガス対策、その1）

トンネル名	中部縦貫自動車道安房トンネル調査坑																															
場 所	長野県南安曇郡安曇村～岐阜県吉城郡上宝村																															
工 期	昭和55年～3年7月（調査坑のみ）																															
[地質概要]																																
主として、砂岩、粘板岩、チャートの互層。坑口より1000mの間は、花崗岩が貫入し割れ目が多く熱変成を受けている。高圧の湧水を伴う大規模な断層破碎帯あり。																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th>地質名</th> <th>崖錠</th> <th>粘板岩</th> <th>チャート</th> <th>凝灰角れき岩 (火山砂マトリックス)</th> <th>粘板岩 チャート互層</th> <th>粘板岩 チャート・石炭岩</th> <th>チャート・互層 粘板岩</th> <th>チャート・粘板岩 石英粗面岩</th> <th>チャート 粘板岩</th> <th>平元炭 粘板岩</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>弹性波速度(km/s)</td> <td>2.5</td> <td>2.9</td> <td>5.5</td> <td>4.2</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>5.5</td> <td></td> <td>5.5</td> </tr> </tbody> </table>											地質名	崖錠	粘板岩	チャート	凝灰角れき岩 (火山砂マトリックス)	粘板岩 チャート互層	粘板岩 チャート・石炭岩	チャート・互層 粘板岩	チャート・粘板岩 石英粗面岩	チャート 粘板岩	平元炭 粘板岩	弹性波速度(km/s)	2.5	2.9	5.5	4.2				5.5		5.5
地質名	崖錠	粘板岩	チャート	凝灰角れき岩 (火山砂マトリックス)	粘板岩 チャート互層	粘板岩 チャート・石炭岩	チャート・互層 粘板岩	チャート・粘板岩 石英粗面岩	チャート 粘板岩	平元炭 粘板岩																						
弹性波速度(km/s)	2.5	2.9	5.5	4.2				5.5		5.5																						
最深土被り	約600m																															
岩盤物性	不明																															
工 法	NATM																															
[標準断面]																																
[現象]																																
焼岳から3kmに位置し、アカンダナ山旧火口がトンネル中央にあるため、火山性ガス（予測されたが発生したのは微量）。																																
[現象の予測]																																
火山性ガスの発生は過去の調査経緯から予想された。調査坑内からの調査として、先進ボーリングによる調査、さぐりボーリングによる調査を実施。硫化水素ガス、メタンガス濃度が比較的高い値を示した。																																
[対策]																																
さぐりボーリング、ガス測定（削孔時、発破後、ずり処理後）、ポケット用ガス検知器の携帯、200m毎のセンサによるガス自動検知警報装置の導入、緊急避難台車（防爆構造、気密構造）の配備等複数の対策を実施。																																
[地層処分を想定した考察]																																
ガスの発生は、周辺の地質調査や先行ボーリング等からあるていど予測が可能であり、それに対し複数の手段による綿密な対策を施すことにより危険を回避できるものと考えられる。																																

表 9.1-20 トンネル実績調査結果（ガス対策、その 2）

トンネル名	国上トンネル（野積工区）
場 所	新潟県三島郡寺泊町野積
工 期	昭和 59 年 10 月～平成元年 3 月
[地質概要]	
坑口から 1300m 付近迄は泥岩／頁岩と凝灰質砂岩との互層である寺泊層、それ以深の工区境迄は砂岩を介在する硬質頁岩である七谷層に大別される。	
地質横断図（野積工区）	
最大土被り	約 130m
岩盤物性	寺泊層 : $q_u=8 \sim 13 \text{ MPa}$, $V_p=2.6 \text{ km/s}$, RQD=60~70% 七谷層 : (健岩部) $q_u=30 \sim 50 \text{ MPa}$, $V_p=2.6 \sim 2.8 \text{ km/s}$, RQD=50~70% ; (膨張部) $q_u \leq 500 \text{ KPa}$, モンモリロナイト含有率=27~71% (Ca 型)
工 法	矢板工法、発破／機械併用（自由断面掘削機）、上半先進／側壁導坑先進
[ガス対策工図]	
図 8 地所換気（多孔風管）	
[現象]	
左側側壁導坑の坑口から 12m、右側は 49m でガス泄出を確認したため、安全上から掘削を一時中止し、メタンガス安全対策を検討・策定した。再開後ガス発生量は掘進と共に漸増し、硬質砂岩（ノジュール）を介在する硬質頁岩の 1300m 付近から予想外の大量ガスに遭遇した。安全対策も段階的に変更改善を重ねていった。	
[現象の予測]	
事前調査報告書より当地域は産油・産ガス地帯であり、寺泊層は石油・ガスの母層と考えられ、ボーリング調査孔からも湧水とともに微量のメタンガス発生が報告されていた。但し、地質構造が単斜構造であり、大きな断層も確認されていないことから、その発生規模は比較的小規模と予想されていた。	
[対策]	
着工当初のガス対策を見直し・強化改善していった。「ガス予知」の先進ボーリング調査により濃度は確認出来たが発生地点・量は判別不可。「ガス規制」の面では矢板を外して岩着させたアーチコンクリートは効果があったが、ガスを完全に封じ込める方法は検討に留まった。	
[地層処分を想定した考察]	
コンクリート全周覆工によっても発生ガスを完全に封じ込めることは出来ず、泄出によるガス濃度の増加が続く為、供用後の保安対策上からも換気立坑を用いた自動運転強制換気の実施を余儀なくされた。この事例から、事前調査段階において予測可能な技術を用いて、このようなサイトを予め避けることが重要である。	

(3) 熱対策

地下での建設工事における高熱の影響は、火山・火成活動の影響によるものと、大深度地下であるために地温勾配と深度の影響を受けるものに分けられる。処分場の開発においては、前者の影響はサイト選定の段階で避けることとしている。一方、後者の影響については、サイトが選定された段階で、その影響の程度を把握し、計画を策定するうえで十分留意しておく必要がある。大深度に建設される地下施設においては、地温勾配により岩盤温度が地表に比べて最大 30°C 程度上昇すると想定される。岩盤温度が 70°C 以上となるような地温の高い地山では、発破作業の装薬時に爆薬が自然爆発を起こすことがあり、きわめて危険な状態となる。このため、耐熱性の爆薬を使用するなどの対策が必要となる。また、労働安全衛生規則（労働基準調査会、1998）や鉱山保安規則（白亜書房、1996）では、坑内における気温を 37°C 以下としなければならないとされている。とくに労働安全衛生規則では気温が 28°C を越えまたは越える恐れのある坑内作業について、半年以内ごとに 1 回、定期的に当該作業における気温を測定しなければならないと規定している。地下施設においては、高温・多湿のきわめて劣悪な作業環境となることから、大容量の換気や必要によっては冷房装置を配備して、適正な作業環境の維持を図ることが必要となる。なお、ここで必要となる冷房設備は基本的に坑外に設置される（土木学会、1994a）。

(4) 地圧対策

軟岩系岩盤（深度 500m）の場合、その力学特性や土被り圧から、場所によっては非常に大きな地圧の作用と押し出しが想定される。そこで、表 9.1-21 にこれら地圧に対する対策例を示す（土木学会、1994a）。

表 9.1-21 地圧に対する対策例

施工中の現象	比較的軽微な対策	比較的大きな対策
盛ぶくれが生じる	－	・インバートにもロックボルトを打設する。
吹付けコンクリートの剥離、ひび割れ	・掘削後早期吹付けを行う。 ・吹付け厚を増加させる。	・増しボルトを施工する。 ・スチールファイバーコンクリート吹付けとする。 ・鋼製支保工のランクを上げる。
地中変位が大きくなり、緩み領域が異常に広がる	・掘削から支保工までの時間を短縮する。 ・ロックボルトの打設時期を早める。	・増しボルトを施工する。 ・鋼製支保工のランクを上げる。 ・掘削ピッチを縮める。 ・掘削断面形状を変更する。
内空変位量が大きくなり、変位速度が増加する	・掘削から支保工までの時間を短縮する。	・増しボルトを施工する。 ・支保ランクを全体に上げ、掘削ピッチを縮める。 ・掘削断面形状を変更する。 ・応力を解放するために小断面の先進導坑を掘削する。

9.2 処分孔掘削における対策工

(1) 湧水

割れ目や破碎帯の存在による大量の湧水については、主要坑道や処分坑道の施工段階で止水処理などの対策がなされる。一方、処分孔内で生じる可能性のある少量の湧水については、処分孔底に排水ポンプを設置し、処分坑道に設置される排水路（管）に排水するといった方法が考えられる。また、これらの湧水が緩衝材の設置に影響を及ぼすことが想定される場合には、処分坑道坑底部より処分孔周辺にボーリング孔を設け、そこからの排水によって周辺水位を低下させる方法や、ボーリング孔を利用し粘土系のグラウト注入により遮水する方法などが考えられる。なお、これらのボーリング孔は緩衝材施工後にベントナイトで充填する必要がある。

(2) 地圧と壁面の劣化

軟岩系岩盤の場合、処分孔掘削後の孔壁の押し出しや処分孔掘削壁面の劣化などの可能性も想定される。これらは、岩質及び建設から操業開始までの時間幅に依存する。処分孔掘削後の孔壁の押し出しについては、あらかじめ予想される変位に対する余裕しろを設けるという方法や、再掘削（縫い返し）を行い、内空を確保するといったことなどが考えられる。一方、処分孔壁面の劣化で危惧すべき現象には、スレーキングが挙げられる。これは、掘削で大気中に暴露され乾燥した後に水浸することによって、急激に泥状化や砂状化あるいは細片化する現象である。これらの現象に関しては、処分孔の乾燥・湿潤の繰り返しを避け、壁面の劣化を防止するという配慮が重要となる。

以上のような事象が想定される場合には、緩衝材の定置スケジュールと処分孔の掘削時期を考慮した操業計画の検討も必要となる。

(3) 掘削影響

硬岩系岩盤においては、処分孔掘削にともなって亀裂のずれが生じる可能性がある。掘削による亀裂のずれの要因としては、掘削による処分孔周辺の応力の再配分や、余剰な掘削エネルギーの岩盤への伝播などが考えられる。機械掘削の場合、岩盤への衝撃は発破に比べ小さいと考えられる。しかし、キーブロックのような亀裂面で囲まれた小岩体が、掘削の衝撃によって処分孔壁面からブロック状に移動する場合も考えられる。その場合には、処分孔内空の変状や亀裂付近の透水性が大きくなるなどの可能性も考えられる。このような機械掘削による処分孔近傍岩盤への衝撃を検討することは今後の課題である。

10. 建設に関する品質管理

品質管理の目的は、工事目的物が所定の品質・規格を満足するように施工されていることを、施工途中における各種の試験・検査・検測によって確認し、不良の発生を未然に防止することである。品質管理には、使用材料の品質・規格などの管理

と、工事目的物として所定の形状寸法・強度などを満足していることを確認するための出来形管理とがある。アクセス坑道、主要・連絡坑道及び処分坑道の建設時においては、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼製支保工、覆工の各部材は地山と一体となり、地山の有する支保機能を有効に利用するために重要なもので、その品質の良否は、トンネルなど構造物としての健全度を左右することになる。したがって、支保工、覆工などを構成する各部材として使用する材料や出来形などが、設計図書及び地山条件に適合しているかをつねに検討、確認して、各部材が最も適切になるように、その品質を一定水準以上に保つことが大切である。管理にあたっては、使用材料の材質、形状、寸法、配合及び出来形の形状、寸法、強度などをあらかじめ定められた試験、検査の方法により確認するのが一般的であり、これらの結果は、そのつど所定の様式にしたがい記録に残しておく必要がある。しかし、品質管理は単に試験などのデータを取って記録すれば良いというものではなく、日々に得られるデータの状況を分析し、つねに使用材料は適正であるか、人為的な異常はないかなどを十分に把握し評価していくとともに、施工方法の改善の余地と方向を見いだすところにその意義がある。建設時における品質管理の例を表 10-1～表 10-13 に示す（東京湾横断道路（株）、1990；土木学会、1996；日本道路公団、1997）。本表に示す管理項目、試験方法、適用などはあくまで一例であり、実際の建設にあたっては、別途計画されている地下研究施設やサイト特性調査のための地下施設の建設を通じて適切な管理内容が設定される。

表 10-1 主な品質管理内容(1)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
吹付けコンクリート	材料、計量及び練混ぜ	セメント、骨材、急結剤等の吹付けコンクリート用いる材料については、所定の試験検査を行い、その品質を確認しなければならない（金網等を含む）。	吹付けコンクリートは、掘削後ただちに地山に密着し、地山を緩めないための重要な支保部材であり、吹付けコンクリートには早期強度の発現が要求される。したがって、吹付けコンクリートの材料においては、これに対応するための的確な品質の管理が必要である。	・アクセス坑道（硬岩系岩盤）一次覆工 ・主要・連絡坑道（硬岩系岩盤） ・主要・連絡坑道（軟岩系岩盤）一次、二次及び三次吹付け
		材料の貯蔵量は施工に見合ったものとし、貯蔵中の劣化、異物の混入に注意し、適切に管理しなければならない。	貯蔵量の過剰は材料の劣化を生じさせやすく、注意が必要である。また、異物の混入がないよう適切な施設に保管しなければならない。	・処分坑道堅置き方式（硬岩系岩盤） ・処分坑道堅置き方式（軟岩系岩盤）一次、二次及び三次吹付け
		吹付けコンクリートの配合にあたっては、材料の計量器、練り混ぜ機等の性能について検査しなければならない。	吹付けコンクリートでは、材料の配合率が重要であり、このため、定期的に計量器の精度、練り混ぜ機の性能などのチェックを行う必要がある。	
	吹付けコンクリートの吹付け厚及び強度	吹付けコンクリートは、所要の吹付け厚が得られていることを確認するとともに、目視により付着性状、跳ね返り等の観察を行い、良好な施工が行われていることを確認しなければならない。	吹付けコンクリートとともに、金網や鋼製支保工を用いる場合は、地山と吹付けコンクリートとの間に空隙が発生する場合があるので、吹付け厚の管理にあたっては、吹付けコンクリートの密着性に対する注意も必要である。	
		吹付けコンクリートは、所要の強度が得られることを必要により確認しなければならない。	地山に吹きつけられたコンクリートの強度発現の状態の把握、初期強度の確認。	

表 10-2 主な品質管理内容(2)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
ロックボルト	ロックボルトの材料	ロックボルト等の材質、形状、寸法、加工方法等が設計でさだめられたものであることを確認するとともに、その保管にあたっては、有害な錆、異物の付着及び変形を生じさせないよう管理しなければならない。	設計にてきごうしたものであることの確認、定着材との接着効果を妨げる有害な錆、ごみ、油等が付着しないよう、有害な曲り、ねじ部の損傷等がないよう管理しなければならない。	・主要・連絡坑道（軟岩系岩盤） ・処分坑道豎置き方式（軟岩系岩盤）
		定着材は、所定の試験、検査を行い、その品質を確認するとともに、保管にあたっての品質の劣化がないよう管理しなければならない。	定着材は、その品質を確認した上で使用しなければならない。セメントなどの材料は、湿気、温度などによる変質、異物の混入等による劣化の防止に努める。	
	ロックボルトの配置及び定着	ロックボルト孔は、所定の孔数、位置、方向、孔径及び長さであることを確認しなければならない。	設計図書で示された配置（位置、方向）及び長さのとおりに打設するのが原則である。（穿孔精度の管理）	
		ロックボルトは十分な定着力が得られるよう、穿孔、定着材の混合、充填等がなされていることを確認しなければならない。	孔壁の荒れや崩壊等がなく、所要の孔が確保されていること。くり粉や湧水等による強度の低下がないよう適切な処理が行われていることの確認。（引き抜き試験）	
		ペアリングプレートは、ロックボルトの軸力をトレリ壁面に十分伝達できることを確認しなければならない。	ペアリングプレートは、吹付け面又は掘削面に十分密着していることを確認しなければならない。	

表 10-3 主な品質管理内容(3)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
鋼製支保工	鋼製支保工の材料	鋼製支保工の材質、形状、寸法等は、設計で定められたものであることを確認しなければならない。	材質の確認及び曲げ加工、切断、穴あけ、溶接等の加工方法と形状寸法が設計図書に合致していることの確認。	・アクセス坑道（軟岩系岩盤） ・主要・連絡坑道（軟岩系岩盤） ・処分坑道堅置き方式（軟岩系岩盤）
		鋼製支保工の保管にあたっては、有害な錆、異物の付着及び変形を生じないようにしなければならない。		
	鋼製支保工の建込み	鋼製支保工は、所定の間隔、位置に建込まれていることを確認しなければならない。	支保機能が確実に発揮されるためには、一組の鋼製支保工が同一平面にあり、ねじれたり、傾いたりしていないことが必要である。また、隣接する鋼製支保工間に著しい凹凸がなく、所定の間隔、位置に建込まれる必要がある。	

表 10-4 主な品質管理内容(4)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
覆工（その1） 〔現場打ちコンクリート、インバートコンクリート含む〕	覆工の材料、配合及び強度	覆工の材料、配合及び強度は、設計に適合していることを確認しなければならない。	覆工に用いるコンクリート等の材料、配合及び強度の管理	・アクセス坑道（軟岩）一次覆工コンクリート ・アクセス坑道（硬岩、軟岩）二次覆工コンクリート
	型枠の据え付け及び覆工の出来形	型枠は形状、寸法が適切であり、かつ構造は、コンクリート打設時の圧力に十分耐える強度を有していること、及び支持地盤が十分な強度を持っていることを確認しなければならない。	打設するコンクリートによる変形、沈下がないことの確認	・主要・連絡坑道（硬岩、軟岩）インバートコンクリート ・処分坑道堅置き方式（硬岩、軟岩）インバートコンクリート
		型枠は、コンクリートの打込みに先立ち、覆工の形状、寸法が所要のものになるよう据え付けられていること。所要の設計巻き厚が確保できることを確認しなければならない。	設計巻き厚の確認については、コンクリート打設後の確認がしがたいため、型枠設置時に入念に検査する必要がある。	

表 10-5 主な品質管理内容(5)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
覆工（その2） [コンクリート系 セグメント及び裏 込め注入工]	セグメントの材 料、配合及び強 度とセグメント の出来形	セグメントの材 料、配合、強度及 びセグメントの出 来形が設計図書に 適合していること を確認しなければ ならない。	セグメントの製品精度 及び品質の良否は、セ グメントの組立の難易 度、水深精度などに直 接関係し、また、坑道 の変形等にも影響があ るので、厳格な管理の もとに製作しなければ ならない。	・処分坑道横置き 方式（軟岩系岩盤）
	裏込め注入材料 及び注入出来形	注入材の材料、配 合は設計図書に適 合していることを 確認しなければな らない	裏込め注入材料は、一 般に流動性、強度、収 縮率、水密性をはじめ 硬化時間などが重要な 要素となっており、こ れらの性質は施工の良 否に直接関係し、坑道 の変形・変状、地山の 沈下などに影響する。 このため地山の土質や 注入方法に適合する材 料の選定を行い、材料 の品質はもとより、配 合に対する十分な管理 を実施しなければなら ない。	
		セグメントと地山 との空隙部に完全 に充填されている ことを確認しなけ ればならない。	裏込め注入工は、地山 の緩みと沈下を防ぐと ともに、セグメントの 早期安定や坑道の蛇行 防止などに役立つこと より、注入された裏込 め注入材のコア採取を 行い、その注入厚さ、 状況、強度等をチェック する。	

表 10-6 主な品質管理内容(6)

管理対象	管理項目	管理内容	管理理由（目的）等	対象構造物
空洞	坑道、処分孔の出 來形	各坑道の位置、幅、高さ 等の出来形は、設計図書 に適合していることを確 認しなければならない。	坑道、処分孔の位置及び 内空寸法は設計図書に適 合していなければならな い。	・全ての坑道及び 処分孔

表 10-7 品質管理の一例（吹付けコンクリート）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
材料	1. 計量装置 計量器の原器 配合設定装置 自動計測装置と計量記録装置 計量器の目盛り	日本道路公団等のバッチャープラントの管理試験に準拠	6ヶ月に1回 6ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1練り毎に1回
	2. ミキサ ミキサ練り混ぜ性能	JIS 規格試験	6ヶ月に1回
	3. セメント 材質等規格	製造工場の規格証明書	1ヶ月に1回
	4. 水 水質	土木学会規準試験	採取箇所又は水質の変更毎に1回
	5. 細骨材 表面水率 粒度 比重（表乾） 吸水率 単位容積重量 実績率 粘土塊 洗い試験で失われるもの 比重 1.95 の液体に浮くもの 有機不純物 耐久性 塩分含有量	JIS 規格試験または道路公団試験方法による	1回／日 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 以下、製造工場又は品質の変更毎に1回
	6. 粗骨材 表面水率 粒度 比重（表乾） 吸水率 単位容積重量 実績率 粒形判定実績率（碎石） 粘土塊 洗い試験で失われるもの 比重 1.95 の液体に浮くもの 耐久性 アルカリ骨材反応	JIS 規格試験または道路公団試験方法による	監督員が指示する場合 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 以下、製造工場又は品質の変更毎に1回
	7. 急結剤 材質等規格	製造工場の規格証明書	1ヶ月に1回
	8. 金網 材質等規格	製造工場の規格証明書	製品の変更毎に1回
施工	1. 配合及び強度 配合 スランプ（湿式のみ） 初期強度 採取したコア強度	配合記録、JIS 規格試験または日本道路公団試験方法による	1練り毎 吹付け毎 50m に 1 回 50m に 1 回
	2. 吹付け厚	削孔後実測	20m 区間で任意の数箇所

表 10-8 品質管理の一例（ロックボルト）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
材料	1. 定着材 材質等規格 コンステンシー 圧縮強度	製造工場の規格証明書 JIS 規格試験 JIS 規格試験	1ヶ月に1回 練り混ぜ開始前に1回 50mに1回
	2. ロックボルト、ペアリングプレート 外観 形状寸法 材質等規格	目視 寸法検査 製造工場の規格証明書	製造工場又は品質の変更 毎に1回
	1. 配置及び定着 強度（ロックボルト引張強さ） 長さ 間隔（位置） 突出量	日本道路公団試験方法 日本道路公団試験方法 目視による確認 目視による確認	20m区間で任意の数本 同上 全数 全数

表 10-9 品質管理の一例（鋼製支保工）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
材料	1. 支保鋼材 外観 形状寸法 材質等規格	目視 寸法検査 製造工場の規格証明書	製品の変更毎に1回
施工	1. 支保工建込み 間隔、建込み位置	検測	全基数

表 10-10 品質管理の一例
(覆工; 現場打ちコンクリート, インバートコンクリート含む)

対象	品質特性	試験・測定方法	適用	備考		
材料	1. コンクリート	日本道路公団のバッチヤープラントの管理試験に準拠				
	(1)計量装置 計量器の原器 配合設定装置 自動計測装置と計量記録装置 計量器の目盛り		6ヶ月に1回 6ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1練り毎に1回			
	(2)ミキサ ミキサ練り混ぜ性能		JIS 規格試験	6ヶ月に1回		
	(3)セメント 材質等規格		製造工場の規格証明書	1ヶ月に1回		
	(4)水 水質		土木学会規準試験	採取箇所又は水質の変更 毎に1回		
	(5)細骨材 表面水率 粒度 塩分含有量 比重(表乾) 吸水率 単位容積重量 実績率 粘土塊 洗い試験で失われるもの 有機不純物 比重 1.95 の液体に浮くもの 耐久性 アルカリ骨材反応		JIS 規格試験又は日本道路公団試験方法による	練混ぜ開始時と2時間毎 1日に1回 1週間に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 以下、採取箇所又は品質の変更毎に1回		山砂は1回/週
	(6)粗骨材 表面水率 粒度 比重(表乾) 吸水率 単位容積重量 実績率 粒形判定実績率(碎石) 粘土塊 軟かい石片 洗い試験で失われるもの 比重 1.95 の液体に浮くもの 耐久性 すりへり減量(舗装版) アルカリ骨材反応		JIS 規格試験又は日本道路公団試験方法による	1日に1回 1日に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 1ヶ月に1回 以下、採取箇所又は品質の変更毎に1回		
	(7)混和材 材質等規格		製造工場の規格証明書	1ヶ月に1回		
	2. 鉄筋 材質等規格		製造工場の規格証明書	全数		ミルシート

表 10-11 品質管理の一例（覆工；現場打ちコンクリート、インバートコンクリート）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
施工	1. 配合及び強度 配合 運搬、打込時間 スランプ 空気量 温度 塩化物含有量 圧縮強度	配合記録 時間計測 JIS 規格試験又は（財）国土開発技術研究センターに合格した簡易塩分測定器による測定	1 練り毎 全運搬車 最初の 5 台、以後 50m ³ 毎 最初の 1 台、以後 50m ³ 毎 最初の 1 台、以後 50m ³ 毎 海砂：1 日に 2 回、海砂以外 1 週間に 1 回、150m ³ 毎
	2. 出来形 型枠据え付け（覆工厚空間） コンクリート厚さ 内空断面寸法	型枠端部にて検測 打設端部及び検査孔にて検測 検測	1 打設区間毎 1 打設区間毎及び 1 打設区間あたり 2 箇所の検査孔 20m 毎

表 10-12 品質管理の一例（覆工；裏込め注入工）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
材料	1. セグメント（材料） セメント、水、細骨材、粗骨材、混和材、鉄筋及びコンクリートの配合、スランプ、空気量、塩化物含有量、圧縮強度は、表 10-10 に準ずる。		
	2. セグメント（製品） 外観 形状寸法 仮組立 性能	目視観察 検測 検測 単体曲げ試験、継ぎ手曲げ試験、推力試験、吊手の引き抜き試験	全数 全数 数百リンク*に 1 回 数百リンク*に 1 回
	3. 裏込め注入材（モルタル） (1)セメント、細骨材、混和材は、表 10-10 に準ずる。 (2)圧縮強度 (3)コンシスティンシー	JIS 規格試験又は土木学会規準試験	50m に 1 回 練混ぜ開始前に 1 回
	1. セグメント組立、裏込め注入後の出来形 (1)蛇行量	測量（トランシット、レベル等により測定）	1 リング*掘進毎に上下左右
	(2)裏込め注入出来形 注入状況 強度	コア抜きによる確認	必要に応じて実施

表 10-13 品質管理の一例（坑道、処分孔出来形）

対象	品質特性	試験・測定方法	適用
施工	1. 出来形	測量（トランシット、レベル等により測定）	各坑道の中心線（処分孔の中心）、坑道は 20m 毎、処分孔は全数
	位置		
	基準高		
	幅（径）		
	高さ		

11. 考察

以上、大深度地下を対象とした処分場の建設技術については、基本的に現状のトンネルや地下空洞の掘削技術を適用または準用することが可能と考えられる。

一方、その建設においては、予想以上の現象に遭遇することも十分あり得ることから、地下深部で遭遇する環境下で安全かつ合理的な施工を行うため適正な対策工法の選択あるいは組み合わせによる対応に加えて、従来のトンネル工事にも増して、より綿密な施工管理が必要となる。また、各種の計測結果を適切に判断するためのシステムの構築も重要である。このような観点から建設にかかる要素技術（掘削技術、支保工法など）を組み合わせた体系的な建設システム（情報化施工等）の構築が必要であり、これらについては、別途計画されている地下研究施設やサイト特性調査のための地下施設の建設及び工学技術の確認を通じてより具現化するものと考えられる。なお、サイトが特定されれば、具体的な地質環境条件や各坑道の仕様（形状、寸法）などに応じ、適切な工法などが選定され建設システムが整備される。

参考文献

荒木浩二, 浅田秀正 (1985) : TBM による下水道幹線の施工 神戸市山田汚水幹線における実績, 建設の機械化.

物理探査学会 (1998) : 図解 物理探査.

千々岩敏すけ, 中村孝雄 (1986) : 九州縦貫道・八代～人吉間の工事現況, 土木施工 41 卷 5 号.

土木施工 (1969) : 山陽新幹線六甲トンネルの薬液注入, 10 卷 11 号.

土木学会 (1989) : 第四版土木工学ハンドブック I.

土木学会 (1994a) : トンネルライブラリー 第5号 山岳トンネルの補助工法.

土木学会 (1994b) : トンネルライブラリー 第7号 山岳トンネルの立坑と斜坑.

土木学会 (1996) : トンネル標準示方書「山岳工法編」・同解説.

土木工事積算研究会 (1998) : 建設省土木工事積算基準 平成 10 年度版.

江川顯一郎, 他 (1991) : 多量湧水を伴う軟弱層を TBM で突破 東京電力水殿川導水路, トンネルと地下 vol.22 No.11.

ジェオフロンテ研究会 (1996) : TBM 急速施工に関する研究報告書.

白亜書房 (1996) : 鉱山保安規則 (石油鉱山編).

稻見悦彦, 佐藤和夫 (1985) : 関越トンネルを回顧する, トンネルと地下 vol.6 No.8.

伊藤鬼代志, 長田京司 (1989) : TBM 推進中に遭遇した断層破碎帯の処理 本四連系送電工事讃岐トンネル, トンネルと地下 vol.20 No.8.

糸川建児, 他 (1996) : NATM 立坑と小口径 TBM で湧水激しい層群に挑発 仁淀川系導水トンネル築造工事, トンネルと地下 vol.27 No.10.

建設業労働災害防止協会 (1992) : 新版 ずい道工事等における換気技術指針.

蟹沢康人, 他 (1992) : 市街地硬岩部を TBM で掘削 本四連絡橋舞子トンネル, トンネルと地下 vol.23 No.7.

建設産業調査会 (1993) : 最新トンネル工法・機材便覧.

近藤寛通, 他 (1995) : TBM で硬・軟複合地盤に挑む 平谷発電所新設工事, トンネルと地下 vol.26 No.7.

経堂英嗣, 他 (1981) : 大清水トンネル建設工事, 土木施工 vol.22 No.2.

加納米二, 他 (1983) : 4m の長孔発破に挑む 今市発電所導水トンネル, トンネルと地下 vol.14 No.2.

川村昌臣, 他 (1997) : 日本最大径の TBM による導水路の施工 北海道電力滝里発電所導水路, トンネルと地下 vol.28 No.9.

剣持三平, 他 (1996) : 長大山岳トンネルにおける急速施工 北陸新幹線五里ヶ峰トンネル, トンネルと地下 vol.27 No.2.

黒木繁盛, 谷口航, 小尾繁, 長谷川宏, 杉野弘幸, 窪田茂, 堀田政國 (1999) : 地下空洞の力学的安定性評価, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-037.

前田昌康, 他 (1996) : 土被り 200m の未固結砂層を抜く 北陸新幹線八重原トンネル東工区, トンネルと地下 vol.27 No.6.

中村孝雄, 近藤俊一 (1988) : 肥後トンネルの施工, 土木施工 vol.29 No.7.

日本トンネル技術協会 (1983) : トンネルと地下 第 14 卷 3 号.

日本トンネル技術協会 (1985) : NATM における安全対策に関する調査研究報告書.

日本トンネル技術協会 (1986) : トンネルと地下 第 17 卷 4 号.

日本トンネル技術協会 (1990) : トンネルと地下 第 21 卷 9 号.

日本トンネル技術協会 (1992a) : トンネルと地下 第 23 卷 3 号.

日本トンネル技術協会 (1992b) : トンネルと地下 第 23 卷 5 号.

日本トンネル技術協会 (1992c) : トンネルと地下 第23巻 6号.

日本トンネル技術協会 (1993) : トンネルと地下 第24巻 3号.

日本トンネル技術協会 (1994) : トンネルと地下 第25巻 4号.

日本トンネル技術協会 (1996) : トンネルと地下 第27巻 8号.

日本トンネル技術協会 (1997) : トンネルと地下 第28巻 3号.

日本トンネル技術協会 (1998a) : トンネルと地下 第29巻 2号.

日本トンネル技術協会 (1998b) : トンネルと地下 第29巻 12号.

日本トンネル技術協会 (1999) : トンネルと地下 第30巻 1号.

二唐時雄, 他 (1991) : 流紋岩質凝灰岩熱水変質部の膨張性地山を掘る 山形非道車道益山トンネル, トンネルと地下 vol.22 No.2.

日本海洋開発産業協会 (1994) : 平成5年度 地下貯水式海水揚水発電の調査補助事業報告書.

日本鉄道建設公団 (1996) : NATM 設計施工指針.

日本建設機械化協会 (1996) : 大口径岩盤削孔工法の積算.

日本道路公団 (1997) : 設計要領 第三集 トンネル.

大貫富夫 (1982) : 中山トンネルの施工, 土木施工 vol.23 No.5.

奥田和也, 向下武雄 (1983) : 太田川流域下水道におけるTBM工法, 建設の機械化.

労働基準調査会 (1998) : 安衛法便覧(I) 平成10年度版.

塩崎功, 向上拡美, 他 (1995) : 砂岩・粘板岩互層における赤石沢トンネル湧水の水質について, 水工学論文集.

塩崎功, 猪狩哲夫, 他 (2000) : 小断面トンネルにおいて発生した大量湧水による坑内酸素濃度低下, 応用地質第 40 卷 6 号.

須々木茂, 他 (1981) 中硬岩における NATM 福知山線第 1 名塩トンネル, トンネルと地下 vol.12 No.6.

杉木清, 他 (1984) : 新愛本火力発電所導水路トンネルにおける TBM 施工の現状, 建設の機械化.

外山信雄 (1990) : 中部電力北又渡水力発電所 TBM を用いた導水路トンネルの施工, 建設の機械化.

関戸正充, 遠藤智 (1992) : 4.5m の長孔発破による急速施工 香港・大老山トンネル, トンネルと地下 vol.23 No.3.

高山昭, 尾登数夫 (1974) : 作業坑入門 (最終回), トンネルと地下 vol.5 No.6.

多賀直大, 他 (1990) : 関越トンネルの施工, 土木施工 vol.45 No.8.

「トンネルボーリングマシン入門」連載小委員会 (1995) : 連載講座 トンネルボーリングマシン入門, トンネルと地下 第 26 卷 10 号～第 27 卷 5 号.

東京湾横断道路 (1990) : 東京湾横断道路 品質・出来形管理基準.

戸花幸作, 安尾和也 (1996) : ECL 工法入門 (最終回) 施工実績 日高発電所新設工事のうち土木本工事 (第二工区), トンネルと地下 vol.27 No.12.

田中一 (1997) : 清水第三トンネルの TBM 導坑ブレイクスルー (貫通) 第二東名高速道路清水第三トンネル, トンネルと地下 vol.28 No.6.

田名瀬寛之, 他 (1997) : 軟岩トンネルの高速施工をめざした TWS の開発 北陸自動車道山王トンネル, トンネルと地下 vol.28 No.8.

丹野弘, 他 (1998) : 標高 1,790m から 450m の立坑を掘削, トンネルと地下 vol.27 No.8.

棚井憲治, 岩佐健吾, 長谷川宏, 郷家光男, 堀田政國, 納多勝 (1999) : 地層処分場のレイアウトに関する検討, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 99-044.

内田勝士, 他 (1981) : 膨張性地山における NATM 国道 289 号線駒止トンネル, トンネルと地下 vol.2 No.9.

割出賢治, 他 (1989) : TBM による急速施工 新内川第二発電所導水路, トンネルと地下 vol.20 No.6.

渡辺邦男, 他 (1990) : TBM (パイロット機) による導坑掘削 秋葉第三発電所放水路トンネル, トンネルと地下 vol.21 No.3.