

トンネルと地下

立坑事例集



1973 ~ 2004

番号	標 題	出典名	概 要	頁
1	断層破碎帯を矢板工法で貫き大深度立坑に到達 関西電力 国文都市付近管路新設工事	トンネルと地下 2004年6月	山岳トンネル工法区間とステップ工法による200mの立坑施工について。地質は硬質砂岩と21本の破碎帯の軟質部からなる。	1
2	地下1,000mの立坑工事に着手 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事	トンネルと地下 2004年6月	高レベル放射能廃棄物の地層処分技術の研究として1,000mの立坑工事に着手。地質は、花崗岩に第三紀の堆積岩が約170m覆っている。施工は、ショートステップ工法。	5
3	径5.1mのレイズボーラーで立坑を掘る 国道185号 休山トンネル換気立坑	トンネルと地下 2002年4月	トンネル坑口部が住宅密集地域であることから、集中排気方式のために130m、内径4.2mの立坑をレイズボーラー全段面工法にて施工。地質は粗粒花崗岩で、地表より35mまでは、強風化岩。	12
4	標高1,790mから450mの立坑を掘削 一般国道158号 安房トンネル換気立坑	トンネルと地下 1998年8月	ショートステップ工法により450mの立坑を施工。冬季は気温が-25 となるため、立坑工事が不可能であった。二次覆工は、火山性地山による一次覆工の劣化を考慮してビニロン短繊維補強コンクリートとしている。地質は、粘板岩、チャート、砂岩などの堆積岩と貫入岩。	17
5	NATM立坑と小口径TBMで湧水激しい層群に挑戦 仁淀川系導水トンネル築造工事	トンネルと地下 1996年10月	導水トンネルのTBM発進立坑として径7.0m、深さ61mの立坑をNATM工法にて施工。	21
6	深さ481m・直径11mの大換気用立坑を掘る 第2阪奈有料道路 阪奈トンネル中央立坑	トンネルと地下 1993年10月	深さ481m、直径11mの換気用立坑を全段面発破 + ショートステップ工法にて施工。地質は、花崗岩、閃緑岩、片麻岩類。	27
7	名勝小倉山に200mの立坑を掘る 山陰本線 小倉山トンネル	トンネルと地下 1986年7月	深さ220m、内径8mの立坑をショートステップ工法にて施工。地質は、砂岩、粘板岩、チャート。立坑位置では、崖錐堆積物は少なかった。	31
8	偏平立坑をNATMで掘る 天山発電所放水路トンネル	トンネルと地下 1984年10月	掘削内径 9.2mx6.2m、深さ77mの偏平立坑をレイズボーラー(ビックマン)により先行掘削を行い、NATMにて切り広げ施工をした。地質は、片岩類と花崗閃緑岩類。	36
9	破碎帯偏土圧による変状とその対策 関越トンネル谷川換気用立坑	トンネルと地下 1984年9月	深さ170m、掘削直径11mの立坑を直径1.45mのレイズボーラーにて先行掘削後、ショートステップ工法にて施工。地表から約40mは、崖錐および転籍層で、基盤岩は、節理の発達した花崗岩類であった。	41
10	膨圧破碎帯における斜坑、立坑工事 中央自動車道恵那山トンネル	トンネルと地下 1982年7月	深さ571m、内径6.6mの換気用立坑をショートステップ工法にて施工。地質は、流紋岩質凝灰岩、凝灰礫岩であり、花崗岩の貫入作用により亀裂が発達しており、近隣のI期線立坑では、深度440mで断層に遭遇した。	46

番号	標 題	出典名	概 要	頁
11	NATMによる換気立坑工事 中国自動車道牛頭山トンネル	トンネルと地下 1982年6月	内空5.4m、深さ167mの立坑をショートステップ工法にて施工。換気坑の隔壁は、中央ではなく、左右非対称である。	50
12	アリマッククライマーとレイズボーラーを駆使した立坑工事 関越トンネル谷川換気用立坑	トンネルと地下 1982年6月	国立公園内にあり、積雪が5-6mに達する事から、地質の悪い谷川立坑を除いて、切り上がり工法であるクライマー工法を谷川作業坑、万太郎立坑に採用。	54
13	換気立坑入門 (1)	トンネルと地下 1980年6月	道路トンネルの換気方式一般について。	62
14	換気立坑入門 (2)	トンネルと地下 1980年7月	ショートステップ、ロングステップ、セミロングステップ工法。	66
15	換気立坑入門 (3)	トンネルと地下 1980年8月	NATM、クライマー工法、レイズボーラー工法	70
16	換気立坑入門 (4)	トンネルと地下 1980年9月	シールド工法	75
17	換気立坑入門 (5)	トンネルと地下 1980年10月	湧水対策、補助工法	80
18	換気立坑入門 (6)	トンネルと地下 1980年11月	安全対策	86
19	換気立坑入門 (7)	トンネルと地下 1980年12月	施工事例	91
20	つらら防止に挑む 恵那山トンネル換気立坑工事	トンネルと地下 1974年7月	つらら対策。	94
21	620mの換気立坑工事 恵那山道路トンネル	トンネルと地下 1973年10月		99

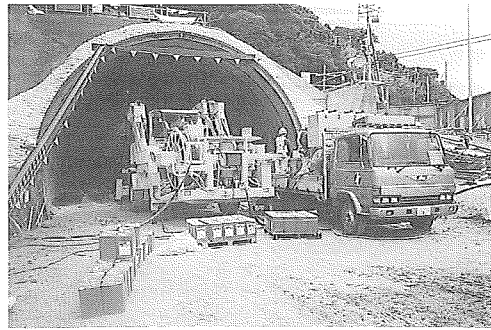


写真-9 AGF施工状況



写真-11 貫通発破直後の切羽



写真-10 AGF施工1シフト完了

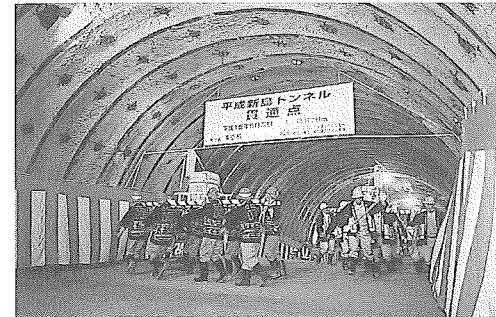


写真-12 貫通式典

が2D以下の区間については、補助工法としてAGF工法(長尺鋼管フォアパイリング)を実施した(図-10)。

AGF工法は、長さ12.5m、径114mmの25本の鋼管を、天端部にアーチ状に進行方向へ打設し、打設後鋼管を通して周辺地山に薬剤を注入し、鋼管周りに改良体を形成するもので、使用する薬剤は高分子系のうちシリカレジンを採用した(写真-9, 10)。

しかし、掘削前に試験施工を実施したところ、比較的浸透性の高いシリカレジンは地山の亀裂や空隙からの逸脱が多く改良体が形成されず、所定の効果を発揮しないことが判明した。また、掘削開始直後に地表部にまで達する天端抜け落ちが発生するなど、安全確実な補助工法の施工が求められた。

そこで、薬剤の種類および注入量を変え再試験を行ったところ、高分子系の中でもシリカレジンに比べゲルタイムが速く、発泡率が高いウレタン系を使用することで、浸透による逸脱を防止し、改良体が形成されることが確

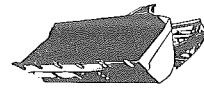
認された。この結果、土かぶり2D以下の区間において、大きな崩壊が発生させることなく掘削することができた。

7. おわりに

平成14年1月にトンネル掘削を開始し、平成15年4月に貫通、8月に覆工コンクリートが完了し、5月の貫通式典では、震災以降不自由を強いられてきた島民の方々の多くの喜びの声を聞くことができた。このトンネルは、平成の大地震にちなみ「平成新島トンネル」と命名された(写真-11, 12)。

平成13年10月10日の着工以来、島しょという特殊な地域におけるさまざまな状況変化に対し、工事を中断させることなく適切な対応を図ることができたのは、島民の方々をはじめ関係者の皆様のご協力のおかげであります。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

最後に、平成新島トンネルが平成16年4月24日に念願の開通となったことをご報告致します。



施工 断層破壊帯を矢板工法で貫き大深度立坑に到達 関西電力 国文都市付近管路新設工事

田中 一雄* 田中 耕三**
葛原 茂*** 石川 恭義****

1. はじめに

関西電力(株)では、将来の電力安定供給のため、大阪府箕面市大字栗生間谷の西大阪変電所から大阪市中央区

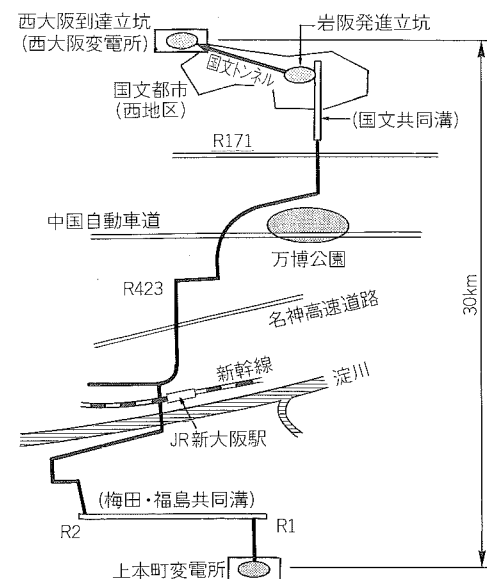


図-1 工事箇所位置図

の上本町変電所に至る約30kmの地下トンネルルートを完成した。

地下トンネル工事は、北摂地域の山岳トンネル工事と市内を中心とするシールドトンネル工事からなり、山岳トンネル工事では、大深度立坑施工、立坑間のトンネル施工、急曲線施工、シールドトンネルでは、長距離・高速掘進、地中接合、本線からの分岐トンネル技術など最新の技術を導入している(図-1)。

本稿は、上記工事のうち、立坑間山岳トンネル(国文トンネルL=1,843.2m)と掘削深度約200mの大深度立坑(到達立坑)施工について報告する。

2. 地質概要

工事箇所付近を構成する基盤岩は中生代ジュラ紀に形成された丹波層群(砂岩・砂質粘板岩・粘板岩)と、白亜紀後期に丹波層群に貫入した貫入岩(石英斑岩・ひん岩)の岩脈からなる。

山岳トンネル経過地の地質は、弾性波速度4.3~5.2km/secの砂岩硬質部とトンネル延長1,843m間に21本の破碎帯の影響を受けた軟質部からなる。なお、到達立坑では工事箇所周辺地域最大規模の箕面断層を貫通する施工となる。

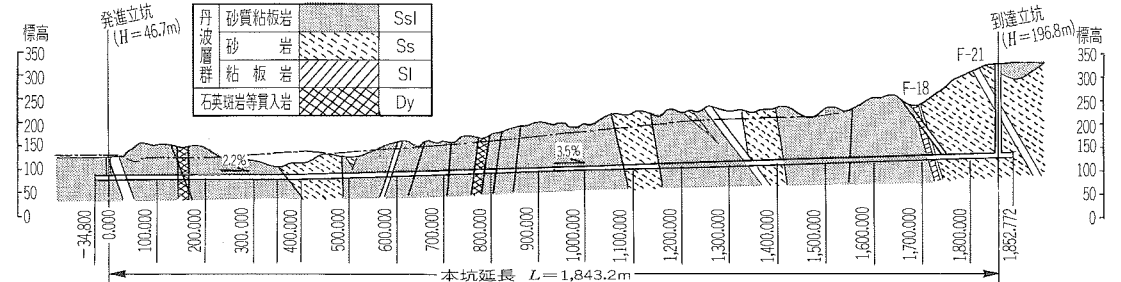


図-2 地質縦断面図

* 関西電力(株)電力システム技術センター大阪北部地中送電線工事所所長
** " " 大阪北部地中送電線工事所担当
*** 鴻池・大林・西松・東急共同企業体国文トンネル工事事務所所長
**** " " 国文トンネル工事事務所工事主任

事前の地質調査においては、弾性波探査と6本の調査ボーリングに加えて、岩盤透水試験・各種岩石物理試験・電気探査比抵抗試験などの詳細にわたる調査が実施された(図-2)。

これらの調査結果より、本トンネル地質は硬軟の差が著しいことが予測された。

なお、岩盤透水試験結果より、トンネル経過地の岩盤透水係数が2ルジオン未満であり、施工中の大量出水の可能性は低いと推定された。

3. トンネルの設計

3-1 平面線形・縦断勾配

国文トンネルは、大阪北部の茨木市と箕面市にまたがる国際文化公園都市(通称:彩都)開発区域内にあり、その平面曲線は地上の官民地境界の制約により曲線部が12か所あり、曲線延長は全体の35%に及び、しかも山岳トンネル工法ではあまり例のないR=100mの曲線部が3か所(S字含む)含まれる。

また、縦断勾配はトンネル施工法(レール工法)を考慮した3.5%の上り勾配で設計された。

3-2 トンネル断面

トンネル標準断面は、送電線設備の配置計画から最大掘削断面積49m²、内空断面積34m²の3心R馬蹄型トンネルである(図-3)。

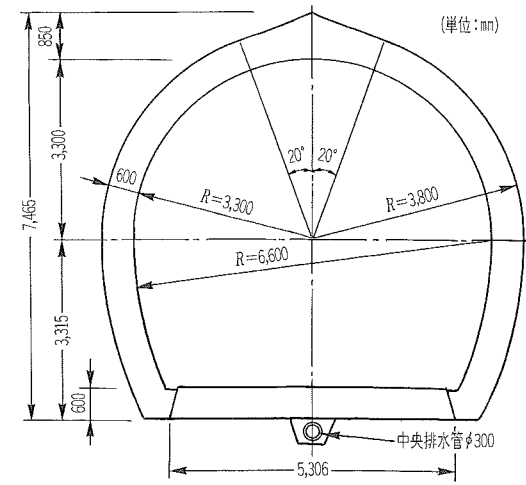


図-3 トンネル標準断面図

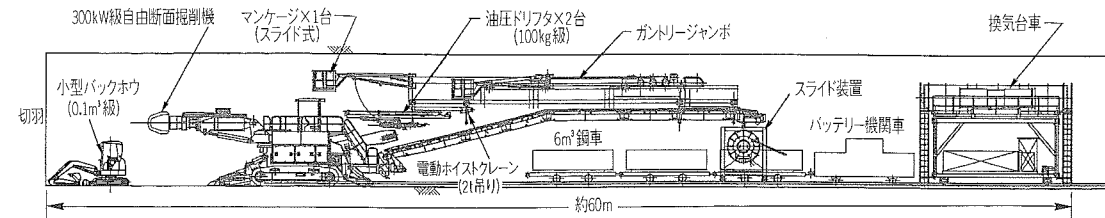


図-4 切羽付近機械配置縦断図

3-3 トンネル支保

本トンネルは、全延長の大部分が国際文化公園都市内(民地)にあるため、用地外へロックボルトが突出しないこと、および経済比較検討結果から全線在来矢板工法(発進立坑近傍はNATM)で設計された。

4. トンネルの施工

4-1 切羽機械の組み合わせ

本トンネルは、機械掘削が主で全延長の約94%を占め、残りの6%は発破掘削の設計であった。坑内運搬はレール方式とした。掘削には岩盤切削能力の高い自由断面掘削機(国内最大級300kW級)を採用し、掘削ずりは第1, 2ベルトコンベヤを通じて後方の鋼車へ積み込む方式を採用した。ベルトコンベヤへの積み込みは自由断面掘削機前面の掻き寄せ装置を利用して行うが、補助機械として小型バックホウを必要とした。発破用の削孔・鋼製支保工建込み・木矢板掛けには、門形の架台にドリフターブームを2基とマンケージを1基搭載したガントリージャンボを新規に製作・導入した。このガントリージャンボは自由断面掘削機と容易に離合できるとともに、電動ホイストを装備し鋼製支保工(H-200 重量450kgf)の切羽への運搬が可能な構造としている。図-4に切羽付近の機械配置縦断図を示す。

4-2 ずり揚げ設備

発進立坑(H=46.7m)におけるずり揚げ設備には、スキップ方式・コンベヤ方式・キブル方式などが考えられるが、当工事では経済性・安全性・施工性・立坑占有スペースなどを検討しスキップ方式を採用した(表-1)。なお、スキップベッセル容量は、ずり鋼車1台と同様の6.0m³とした(写真-1, 2)。

4-3 二次覆工スライドセントル

本トンネルは在来工法による施工のため、二次覆工も重要な支保部材であり、一次覆工後、速やかにコンクリートを打設する必要がある。しかしながら、切羽付近の機械配置などの制約により、最速でも切羽から200m後方における施工となった。このため、スライドセントルはL=12mとし掘削速度に追従可能なものとした(当現場では地元住民の要望から工事用車両の現場周辺運行が9:00~17:00に制限されていたこと、1回の打設量が最

表-1 ずり揚げ設備適用検討結果

ずり搬出方式	スキップ方式	垂直コンベヤ方式	キブル(バケツ)方式
運搬方式	切羽より鋼車で運搬されてきたずりを、立坑直下で鋼車1台分ずつスキップ設備に移し替え、坑外に搬出する。	切羽より鋼車で運搬されてきたずりを、一旦仮受けホッパーに移した後、エプロンフィーダを介してジョークラッシャーで粒径を80mm以下に調整し、垂直コンベヤにて坑外に搬出する。	切羽より鋼車で運搬されてきたずりを、立坑直下でキブルに移し、大型クレーンにて坑外に吊り上げ搬出する。
主用機械設備	積み込み部シュート・ベッセル・上部フレーム・ガイドレール・巻き上げ機・排出シュート	仮受けホッパー・エプロンフィーダ・ジョークラッシャー・横送りベルトコンベヤ・垂直コンベヤ	80tクレーン・6m ³ キブル
特徴	立坑占有スペースが、コンベヤ方式より劣るが設備はシンプルであり維持管理が容易である。	立坑占有スペースは少ないが、クラッシャー設備が必要であり、坑底設備が複雑となるため、維持管理に問題あり	立坑占有スペースが最小であるが、キブルの形状、鋼車よりの移し替え作業に難あり。
	ずり粒径の制約がない	ずりの粒径80mm以下	ずり粒径の制約がない
	実績多数あり	騒音が小さい	立坑深度20m以浅では、採用実績多数あり
	騒音対策を要する可能性あり	連続運転が可能	クレーンの運転による騒音あり
	巻き上げワイヤーロープの交換が必要	維持管理に難あり	積み込み、転倒に別途作業員必要 維持管理は容易
経済性	△	×	○
搬出能力	△ 70m ³ /h	○ 80m ³ /h	×
安全性	○	△	×
総合評価	○ 安全性など総合的に優れている	△ コスト・維持管理に問題あり	×



写真-1 スキップ地上構設備

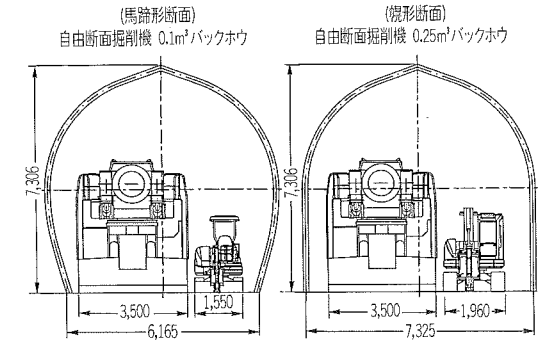


図-5 トンネル掘削断面変更図

また、トンネル平面線形曲線部分(R=100m)を考慮し、中折れ式で前後2分割が可能(6m+6m)な構造とし曲線部分では前後間にライナープレートを設置することで対応した。

4-4 掘削断面形状の変更

トンネル前半部の施工結果から、曲線部におけるガントリージャンボの通過、前述のずり積み込み補助機械(小型バックホウ0.1m³級)の切羽でのずり積み込み作業に多くの時間が費やされ、後述の切羽崩壊対策も含めて予定工程にかなりの遅れを生じた。このため、対策として、掘削断面を馬蹄型から幌型断面へ変更してトンネル底盤幅を広くし、ずり積み込み補助機械および発破ずり小割ブレーカ機械を大型化することで、サイクルタイムの短縮を図った(図-5)。

この結果、トンネル後半部は地山状況も前半部に比較して良好であったことも幸いしたが、同支保タイプ1サ

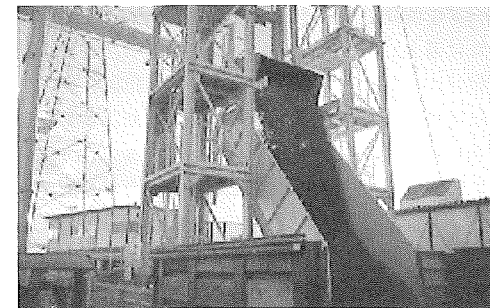


写真-2 スキップずり揚げ状況

大195m³に及ぶ(巻き厚t=60cm)こと、発進立坑を経由したコンクリート運搬となることなどから1回/2日の打設が最速であった。進行6m/日)。

イクルで、従来機械配置に比較して約30%の時間短縮が可能となり予定工程をクリアすることができた。

5. 断層破砕帯対策

トンネル掘削開始以来、切羽の小崩落は数回発生していたが、発進立坑より550m付近切羽において大規模断層破砕帯に遭遇し、約120m³に及ぶ天端部の地山崩落が発生した(写真-3)。

以下に崩落対策の詳細を記述する。

(1) 崩落対策工(図-6)

- ①, ② バルクヘッド構築, モルタル充填
- ③ 天端部空洞充填(エアームタル, 空洞充填用ウレタン系薬液)
- ④ 仮巻きコンクリート打設
- ⑤ 前方探査ボーリング
- ⑥ 崩積土改良(セメント系薬液注入)

(2) 縫い返し補強工(図-7)

- ① 先受け長尺鋼管打設
- ② 長尺鏡ボルト打設
- ③ ウレタン系薬液注入工法

(3) 崩積土撤去・鋼製支保工縫い返し

なお、崩落以前においても坑内変位が大きく(最大変位量約250mm)、種々の変位抑制対策を実施していた。在

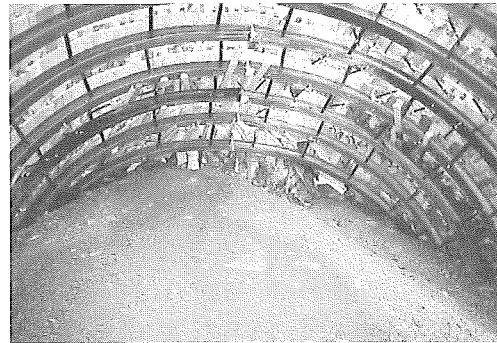


写真-3 切羽崩落状況

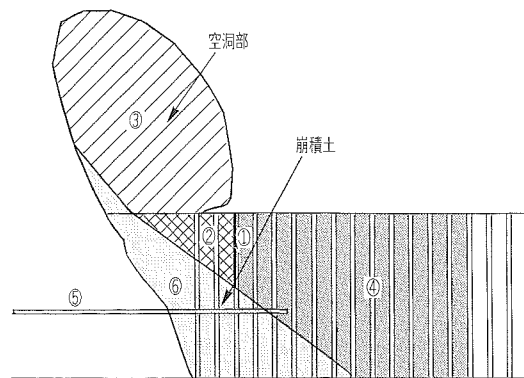


図-6 崩落対策工図

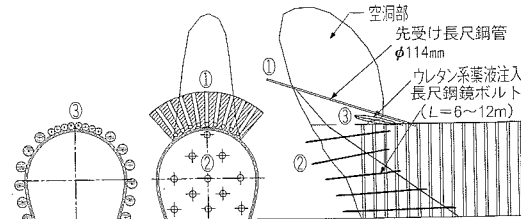


図-7 縫い返し補強工図

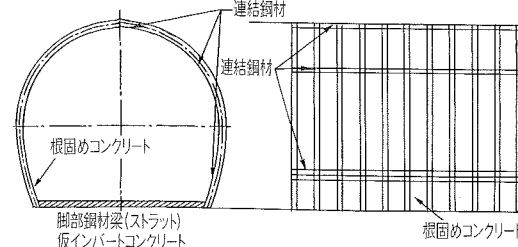


図-8 変位抑制対策工図

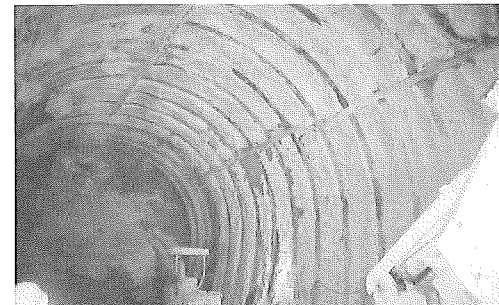


写真-4 トンネル全周仮巻きコンクリート

来矢板工法ではNATMに比較してトンネル縦断方向の支保剛性が小さく、初期の地山ゆるみも大きいため、地山不良部では変位を抑えることが困難であった。当初から考えられるさまざまな対策を実施して変位抑制を図ったものの最終的には吹付けコンクリート施工がもっとも効果的な変位抑制対策であり、吹付けコンクリートの支保効果が非常に高いことを再認識する結果となった(地上ヤードに簡易コンクリート製造設備と坑内吹付け設備を新たに導入)。

吹付けコンクリート設備導入前の変位抑制対策には、簡易なものも含めて以下の対策を実施した(簡易な工法から順に列挙(図-8))。

- ・縦断方向鋼材による鋼製支保工の連結
- ・脚部鋼製支保工間コンクリート打設(根固めコンクリート)
- ・鋼製支保工脚部ストラット(鋼材梁)設置
- ・仮インパートコンクリート打設(t=200mm)
- ・全周仮巻きコンクリート打設(t=250mm)(写真-4)

変位抑制対策は、簡易なものから実施し変位が収束するまで各種工法を組み合わせ実施した。

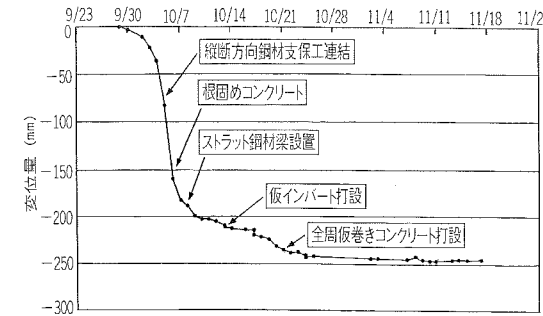


図-9 鋼製支保工変位経時変化図

図-9に在来工法施工箇所における坑内変位経時変化図例を示した。

6. 大深度立坑の施工

(1) 概要

到達立坑の掘削深度は、発進立坑との標高差、本坑トンネルの最小土かぶり厚の確保、トンネル施工法(レール工法)による勾配の制約などから、196.8mの大深度となっている。

また、内空断面は立坑内に設置される送電線設備の配置計画からφ8.0mの円形断面となっている(図-10)。

(2) 地質

立坑位置における事前のボーリング調査結果から、地盤面からGL-14mまでは変電所敷地造成盛土、GL-27mまでは砂礫層、それ以降は砂岩と砂質粘岩となっている。断層破砕帯は3か所確認され、とくにF21破砕帯は工事箇所付近において最大規模(名称:箕面断層活断層)である。また、地下水位はGL-102m付近にあり、地下水位で深の岩盤透水試験結果のP-Q曲線は直線状で最大注水圧力が地下水頭を上回っていることから施工中の大量出水の可能性は低いと推定された。

(3) 施工法

立坑の施工は、坑底に到達する本坑トンネルより先行する必要がある。標準工法である全断面爆破掘り下り工法(ショートステップ工法)を採用した。ショートステップ工法は、削孔・装薬・発破・ずり出し・一次覆工を1サイクルごとに行う掘削時の安全性が高い工法である。当工事では、1サイクル長を岩級区分C級で1.5m、D級で

1.0mとし、D級ではリング鋼製支保工H-125を建込んだ。なお、立坑底から2本の水平トンネル(本坑、待避坑)を分岐掘削するため、GL-185.0~196.4m間は、分岐施工や補強工の容易なNATMで施工を行った。

(4) 施工

削孔は、5ブーム空圧アンブレラジャンボを採用し、ずり出しにはスカーフ(立坑内円形足場床)底面に取

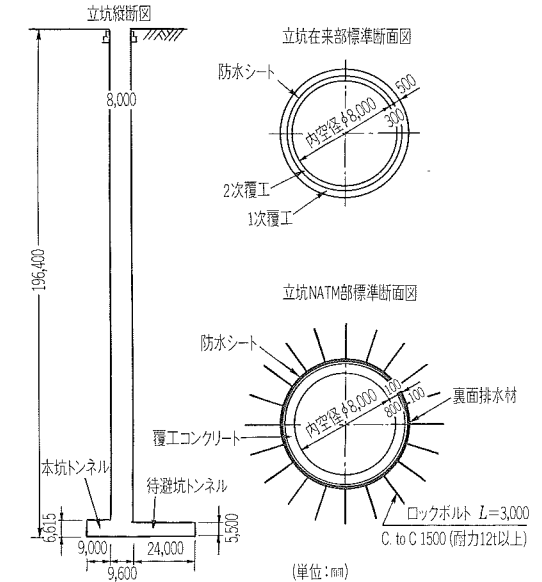


図-10 到達立坑概要図

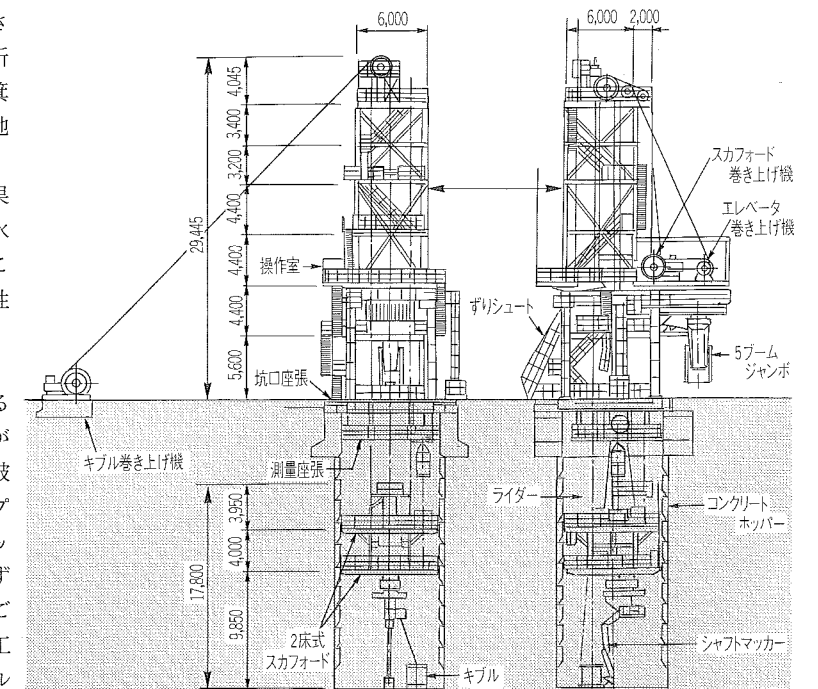


図-11 到達立坑施工概要図



名峡「帝釈峡」の発電所新設工事

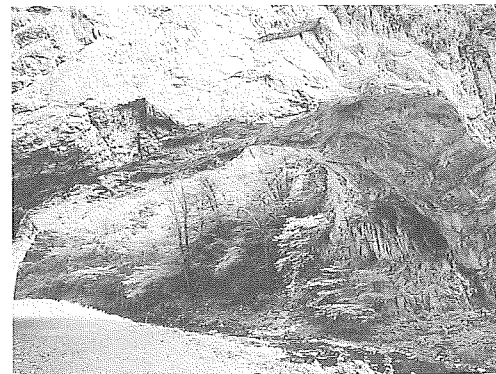
村田和郎

日本5大名峡の一つである国定公園『帝釈峡』は、広島県の北東部に位置し、帝釈高原の中央を南北に流れる帝釈川の沿岸18kmの溪谷には、兩岸の原生林の中にもっとも高い絶壁(220m)を誇る太郎岩をはじめ100mを越える石灰岩の大岩壁がそそり立っている。雄橋、雌橋などの天然橋や「白雲洞」に代表される80以上もある鍾乳洞、魚が上れないほどの急流「断魚溪」など、自然が創り出した力強い不思議な景観が点在する。

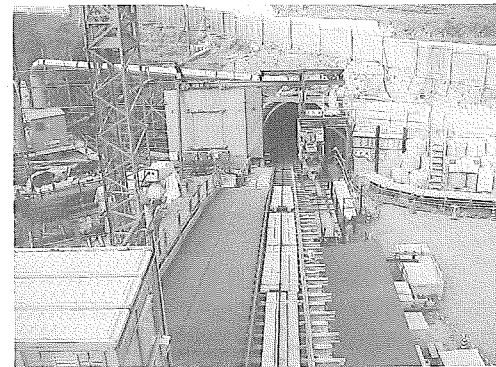
なかでも有名な国の天然記念物の雄橋は、全長90m、幅18m、厚さ24m、川床からの高さが40mと迫力ある大きな橋で、スイスのプレピッシュ、アメリカのロックブリッジとともに世界3大天然橋といわれている。

さて、中国電力(株)発注の新帝釈川発電所新設工事は、大正13年の完成以来約80年を経過している中国電力最古の帝釈川ダムの保全対策工事を実施のうえ、現帝釈川ダムの未利用落差の有効利用を図るため、圧力水路を有するダム水路式の発電所(有効落差129m、最大11,000kWの発電能力を有する)を新設し、帝釈川発電所を再開発するためのものである。

われわれが担当するのは、導水路トンネル総延長4,485mのうち、上流部450m(第1工区分)を除く4,035



雄橋(神の橋)



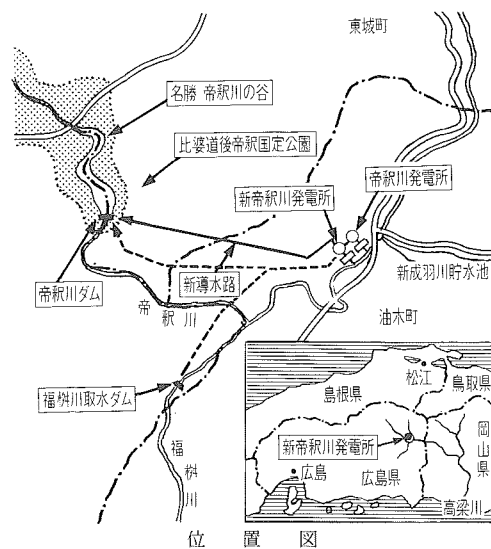
2号作業坑(斜坑)

mの区間とサージタンク、鉄管路基礎、発電所基礎、放水路および放水口である。

長大トンネルである導水路トンネルは、2本の作業坑を設け、第2号坑口(斜坑L=205m)を作業基地とする第1号トンネル下口と第2号トンネル上口、第3号坑口(水平坑L=169m)を作業基地とする第2号トンネル下口と第3号トンネルに大別され、4切羽に分割して同時施工としている。

平成15年8月に掘削を開始し、現在、導水路トンネルの進捗は4,035mのうち850m程度であるが、発注者、JV、作業員が一丸となって、平成18年6月の運転開始を無災害で迎えたいと願っている。

(奥村組・アイサワ工業・佐藤工業・東急建設共同企業体所長)



地下1,000mの立坑工事に着手

瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事

今津雅紀* 佐藤稔紀**
坂巻昌工***

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構)が進めている超深地層研究所計画は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の基盤となる地層科学研究の一環として実施するものである。超深地層研究所は、「原子力の研究、開発および利用に関する長期計画(平成12年11月24日、原子力委員会)」(以下、原子力長計)に示された深地層の研究施設のひとつであり、岐阜県瑞浪市においては、結晶質岩(花崗岩)を主な調査研究の対象としている(堆積岩を対象とした研究施設については、北海道幌延町において計画を進めている)。本計画において掘削する研究坑道は、深部地質環境の総合的な調査技術の確立および深地層における工学技術の基礎研究を行う場としての役割を担うとともに、原子力長計に示されているように国民の地層処分に関する研究開発の理解を深める場として活用される。

超深地層研究所計画は、1996年度から開始され、当初は岐阜県瑞浪市明世町吉に位置するサイクル機構の用地(正馬様用地)において進められていた¹⁾が、2002年1月に瑞浪市との賃貸借契約を締結し、岐阜県瑞浪市明世町山野内の瑞浪市市有地に瑞浪超深地層研究所(以下、研究所)を設置し、研究坑道の掘削を行うこととなった。

2002年7月、造成工事に着手した後、2003年3月、研究坑道掘削工事を契約し、現在、仮設設備の一部や坑口下部工区間の土工事などを本格的に開始している段階であり、2009年度の1,000m到達を目指している。研究所は、深度1,000m程度まで達する2本の立坑と500mおよび1,000mの深度における水平坑道群など(以下、2本の立坑および水平坑道を総称して研究坑道と称す)からなり、世界的にも例を見ない大深度の地下空間施設である。本稿では、研究所に求められる要件を満足するために

*核燃料サイクル開発機構瑞浪超深地層研究所
** " " チームリーダー
*** " " 所長

2. 設計における基本条件

2-1 立地条件

研究所を設置する場所は、図-1に示す瑞浪市市有地である。研究所用地は約7.8haであり、このうち造成した約1.2haの敷地に研究坑道を掘削するための諸設備を設置する。

ここでは、地層科学研究のほかに、地震研究や地下空間を利用する研究など、深地層の特性を生かす学術的な研究を幅広く実施することとしている。用地の周辺には市民公園や体験学習施設などの多数の公共施設があるため、施工にあたっては、学童を含む一般市民が多く訪れることに配慮する必要がある。

2-2 地質概要

研究所周辺の地形は、標高200m程度の丘陵地であり、敷地内を普通河川の狭間川が流れている。この地域には中生代白亜紀の花崗岩類(土岐花崗岩)が基盤として広く分布しており、これを新第三紀の堆積岩(瑞浪層群)が覆っている。立坑の掘削位置における地層境界は、深度約170mと想定している。近傍の正馬様用地(前述)のMIU-1号孔(L=1,011m、土岐花崗岩)における新鮮な地山部分のP波速度は4,500m/sec(コアの試験値5,480m/sec)であり、土岐花崗岩における一軸圧縮強度は図-2に示すように、150~200N/mm²程度である。

2-3 研究坑道に求められる機能

研究坑道を構成する立坑や水平坑道の寸法およびその形状は、掘削作業の効率性や経済性、搬入する資機材、研究のためのスペースなどを考慮して決定した。研究坑道のレイアウトを図-3に、その求められる機能を2-3-1~2-3-6に示す。

2-3-1 アクセス方式

アクセス方式としては、立坑およびらせん坑道を含む斜坑が考えられるが、立坑には掘削土量や掘削影響領域

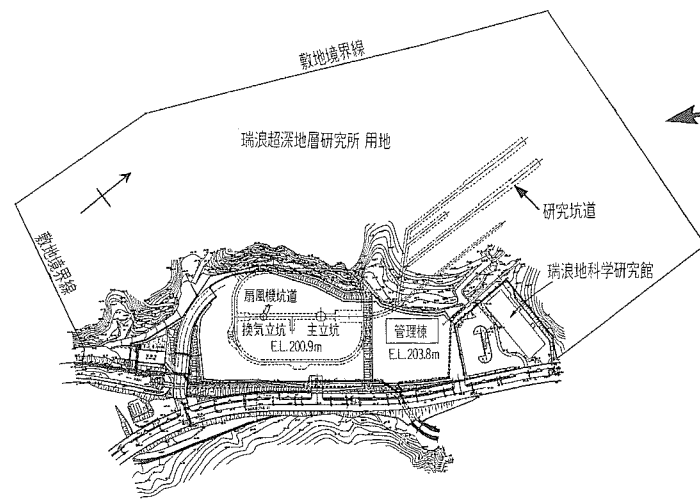


図-1 瑞浪超深地層研究所研究坑道の位置

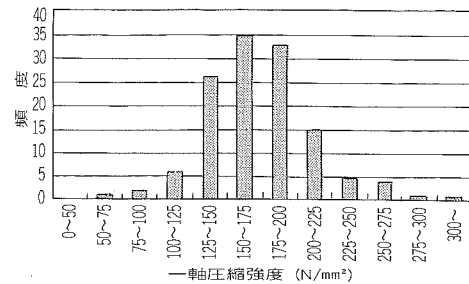


図-2 土岐花崗岩における一軸圧縮強度

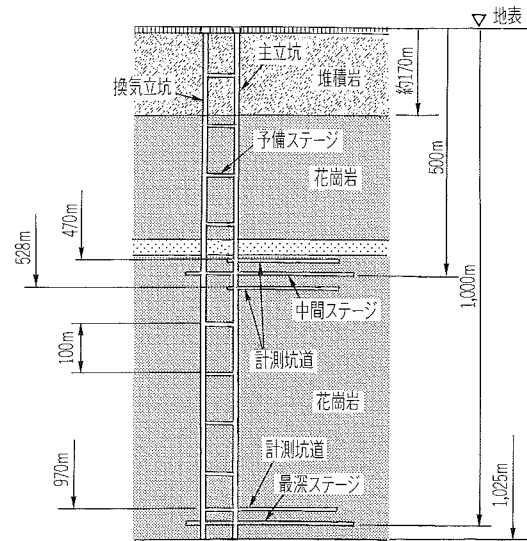


図-3 瑞浪超深地層研究所研究坑道のイメージ図

とも少ないなどの利点がある。また、研究所の用地形状や研究坑道とのレイアウト配置、排出できる土量が少ないなどの理由から立坑方式を採用した。

2-3-2 立坑本数

通気制御により安全区画を確保し、入坑者が安全に地表まで避難できる防災システムを考えた場合、入気立坑2本、排気立坑1本を設置し、どちらかの入気立坑から避難することが望ましい。しかしながら、当用地においては、敷地の制約もあるため、防災の基本コンセプトとしては、火災発生時に研究坑道内の避難所に待避し、消火後、地表に退避することとした。このため、坑内へ安全に避難できる場所(避難所)を設置し、立坑の本数は、主立坑1本、換気立坑1本の計2本とした。

2-3-3 立坑坑道設置間隔

トンネル標準示方書「山岳工法編」²⁾によれば、トンネル中心間隔を掘削径の2倍(地山が完全弾性体と考えられる場合)~5倍(軟弱な地山の場合)とすればほとんど相互に影響がないとされていることから、2立坑の設置間隔は掘削径(7.3m)の約5倍、すなわち40m(立坑の中心間距離)とした。

2-3-4 立坑形状

研究空間や立坑としての利用形態、施設・設備の建設や維持管理および応力的な安定性などから、総合的に判断して「円形断面」を選択した。

2-3-5 立坑内径

立坑の内径は、以下の理由により、主立坑6.5m(掘削内径7.3m)、換気立坑4.5m(掘削内径5.3m)とした。

- ① 2009年度に深度1,000m到達(目標工程)の確保
- ② 資機材の搬入スペース、安全性を考慮した坑内設備の設置スペースおよび坑内配管スペースの確保
- ③ ショートステップ工法による立坑施工実績を総合的に評価し、最小必要径として設定

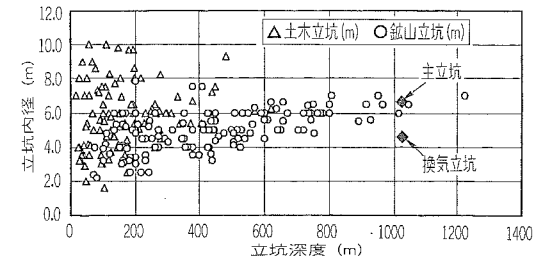


図-4 立坑の深度と内径の関係

これまでの立坑掘削実績³⁾に対して、研究所における主立坑および換気立坑の位置づけを図-4に示す。

2-3-6 立坑深度

サイクル機構の調査・研究では、地層処分の技術的信頼性を確認する場としての地質環境は、深度数百mから深度1,000m程度までの岩盤とされていることより¹⁾、結晶質岩系を対象とした研究所では、深度1,000m程度までの坑道を掘削する計画とした。主立坑における長さ1,025mのうち最深部25mは、ポンプ座の設置スペースとして坑底設備深さを確保するためのものであり、換気立坑における長さ1,010mのうち最深部10mは、将来設置する換気立坑エレベータの坑底設備深さを確保するためのものである。

研究坑道を構成する各坑道などの機能は、以下のとおりである。

- ・主立坑：水平坑道掘削のずりの搬出および掘削作業に必要な重機の搬出入のルートとしての立坑

- ・換気立坑：深度1,000m掘削完了後に昇降設備(エレベータ)を設置するスペースおよび研究坑道全体の排気機能を持つ立坑(扇風機坑道含む)
- ・予備ステージ：両立坑の連絡、研究坑道での湧水処理のための排水ピットおよび排水設備・給水設備・変電設備・空調設備の設置スペース、および深度依存性を研究するための坑道
- ・中間ステージと最深ステージ：坑道を利用した研究段階の主要な研究を行うステージ、試験坑道(水平坑道の掘削を伴う試験を実施する坑道)3本、TBM坑道、ループ坑道、立坑間連絡坑道、試験座などからなる坑道
- ・計測坑道：中間ステージおよび最深ステージの掘削に伴う計測を実施する坑道

2-4 工程

超深地層研究所建設に伴う研究成果については、原子力発電環境整備機構(以下、原環機構)が行う処分事業および国の安全基準や指針の策定に反映されるように適宜取りまとめる予定である。立坑掘削の成果は、2010年代を目途に原環機構が行う精密調査地区の選定に必要な技術基盤として、その成果を反映させることを想定し、2009年度頃を目安に立坑を深度1,000mに到達させることを大きなマイルストーンのひとつとして設定している。

この前提にもとづいた研究所における全体工程を、表-1に示す。

表-1 瑞浪超深地層研究所研究坑道の全体工程

工程	年											
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
主立坑	土留め工, 坑口上部工, 坑口下部工, 防音設置工	■										
	主立坑掘削(51~500m)		■									
	主立坑掘削(500~970m)				■							
	主立坑掘削(970~1,025m)									■	■	■
水平坑道	中間ステージ				■							
	計測坑道							■	■	■	■	■
	最深ステージ										■	■
換気立坑	土留め工, 坑口上部工, 坑口下部工, 防音設置工	■										
	換気立坑掘削(46~500m)		■									
	換気立坑掘削(500~1,010m)				■							
	換気立坑エレベータ設置工								■	■	■	■

* : 立坑掘削には予備ステージ掘削を含む。

3. 施設設計

3-1 地上設備

図-5に地上設備の配置案を示す。主な設備(坑内設備含む)は、下記に示す3-1-1~3-1-9のとおりである。

3-1-1 立坑坑口設備

主立坑および換気立坑坑口周辺には、図-5に示すような設備を効率的に配置し、各々の設備全体を防音ハウスで囲むものとする。櫓関連設備は、下記の理由により1,000m仕様を基本とし、ずりキブルおよび人キブルのロープ長のみ当初500m仕様(ただし、スカーフォードのロープ長は1,000m仕様)とした。

- 設備の設計・製作および基礎工事は、1,000mに対応したもの場合、一度のみの設置となる。
- 500mに対応した設備を設置すると、その撤去および1,000mに対応した設備の新たな設置が必要となるとともに、防音設備や巻上機についても同様に撤去と設置が必要となる。
- これら設備の撤去・設置の際、数箇月程度の掘削中断期間が生じるが、ロープの取り替えだけに限定すると、2週間程度で済む。

ロープの仕様を表-2に示す。ロープの安全率は、適用法規よりずりキブル用が5以上、スカーフォードおよび人キブル用を10以上とした。

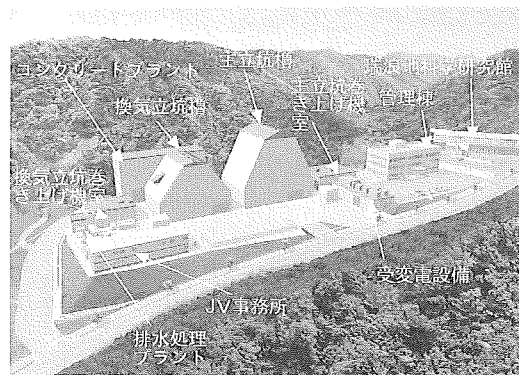


図-5 地上設備の配置(当初案)

表-2 ロープの仕様

区分	径(mm)		破断荷重(kN)		種類	適用法規 (労働安全衛生法)
	主立坑	換気立坑	主立坑	換気立坑		
ずりキブル	47.5	36	1,550以上	943以上	非自転性ロープ	クレーン等安全規則 クレーン構造規格
スカーフォード	45	31.5	1,700以上	831以上	耐摩耗用ロープ	ゴンドラ安全規則 エレベータ構造規格
人キブル	30	28	610以上	540以上	電纜入ロープ	エレベータ構造規格 エレベータの定期自主検査指針

立坑坑口設備の主なものは、下記のとおりである。

- 立坑櫓(主立坑:バックステー柱脚あり,換気立坑:バックステー柱脚なし)
- ずりキブル転覆装置
- ずり仮置場(主立坑:103m²,換気立坑:57m²)
- シャフトジャンボ搬入設備
- ずりキブル・コンクリートキブル待機ヤード
- 自走式キブル台車およびそのレール
- 集塵機(主立坑:1,200m³/min,換気立坑:500m³/min)
- 扇風機坑道(換気立坑のみ)

3-1-2 立坑巻き上げ機室

主立坑および換気立坑にスカーフォード、ずりキブル、人キブルなどを巻き上げるための巻き上げ機室を設置する。また、ワイヤ交換のために、ワイヤ交換時巻き取り機基礎をあらかじめ設置したうえで、ロープ巻き取り装置を用いて水平シーブなどの交換時に使用する予定である。主立坑の櫓と巻き上げ機の概要図を図-6に示す。また、櫓設備・巻き上げ機の基本仕様を表-3に示す。

3-1-3 立坑掘削設備

立坑掘削設備として、図-7に示す3段からなるスカーフォードを用いる。上段デッキ上には人員乗降用のプラットフォームおよびコンクリートホッパーを備え、中段デッキは作業スペースとして伸縮旋回シュートや制御盤など電気制御装置を設置する。下段デッキには、ずりキブルを付け替えるためのずりキブル付け替え装置があり、デッキ最下段の切羽側にシャフトマックが取り付けられ、掘削の際に用いるシャフトジャンボ(通常は地上部に据え置き)を脱着するための取り付け設備がある。表-4にずりキブルおよびコンクリートキブルの容量を示す。

3-1-4 コンクリートプラント

施工サイクル上、コンクリートの打設が夜間になることもあるため、地下-50m程度(以下、GL-50m程度と表示)以深の一般部における立坑の覆工コンクリートと研究坑道(主に、NATM区間)の吹付けコンクリートを供給するため、専用コンクリートプラントを現地に設置することとした。ただし、主立坑GL-51mおよび換気立坑GL-45.5mまでの坑口上部工および坑口下部工においては、昼間のみの施工のため、レディーミクストコンクリートを使用することとした。コンクリートプラントの主な仕様は、

- プラント供用期間:2005年~2015年頃(約10年間)

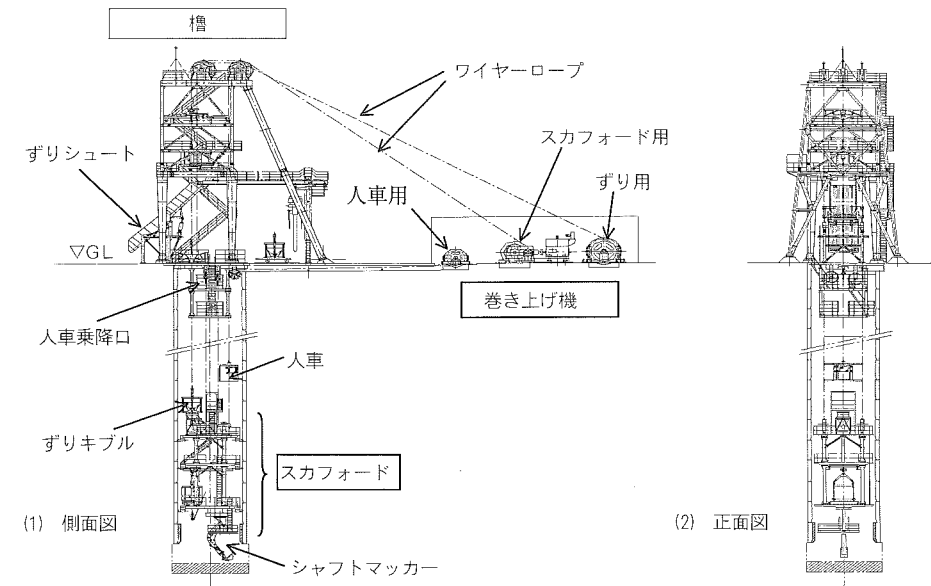


図-6 櫓と巻き上げ機(主立坑の場合)

表-3 櫓設備・巻き上げ機の基本仕様

項目		主立坑	換気立坑
立坑掘削径		φ7.3m	φ5.3m
立坑仕上がり径		φ6.5m	φ4.5m
深 度		1,025m	1,010m
ずりキブル	最大運搬重量	152kN	93kN
	最大巻き上げ速度	300m/min	300m/min
	ずりキブル容量	6m ³ (2基)	2m ³ (2基)
	コンクリートキブル容量	2.5m ³ (2基)	2.5m ³ (2基)
スカーフォード	デッキ数	3段	3段
	最大巻き上げ速度	5.5m/min	5.5m/min
	シャフトマック	0.4m ³	0.2m ³
	キブル付け替え設備	あり	あり
最大自重	237kN	120kN	
人キブル	搭乗人員	12人	5人
	巻き上げ速度	150m/min	150m/min

表-4 キブルの容量

	ずりキブル	コンクリートキブル	人キブル
主立坑	6m ³	2.5m ³	12人乗り
換気立坑	2m ³	1.5m ³	5人乗り

- ミキサ容量:1.0m³/1バッチ
- コンクリート供給量:覆工コンクリート25m³/h
吹付けコンクリート4m³/h
- 骨材ビン:4基(砂利用11m³2基,砂用7m³2基)
- 設備仕様:SEC(Sand Enveloped with Cement) 練り対応,コンパクトな設備
- セメントサイロ:30tクラス2基

3-1-5 給・排水設備

(1) 給水設備

地上部の給水設備として、給水ポンプ2.2kW(2台)と給水タンク10m³を1槽設置し、主立坑および換気立坑に敷設したφ100A(内径100mmを表す)の配管を通じて給水し、予備ステージごとに8m³の給水タンクを設置し、中継するものとする。

(2) 排水設備

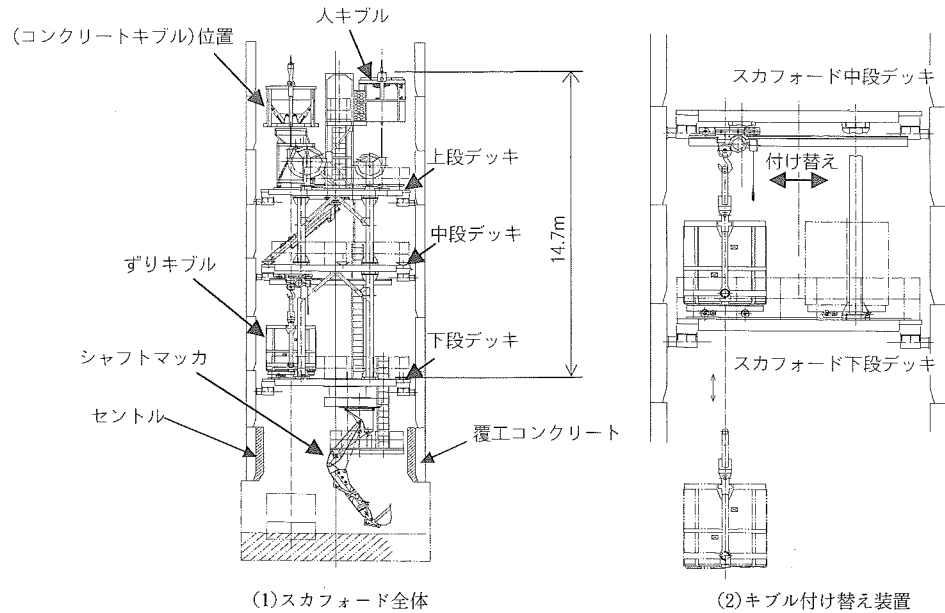
坑内の排水設備として、予備ステージ内に地下式排水ピット(12m²)を設置し、3槽(1槽は空調設備の冷却水排水用)に間仕切り、超高揚程ポンプ(φ150A,110kW,揚程140m,2.5m³/min)を設置する。なお、予備ステージに到達するまでの施工中は、予備ステージ間100mの立坑内深度33mおきに2か所、立坑覆工を掘り込んで中継ポンプ座(揚程35m以上のポンプ2台を設置できる場所)を設け、切羽排水(湧水含む)を処理するものとする。

(3) 排水処理設備

総排水量は、①立坑(主立坑および換気立坑)内の湧水2.0m³/min、②施工による排水量0.4m³/minの合計2.4m³/min(空調設備のための冷却水1.2m³/minは別系統)を処理できる150m³/hの排水処理設備を想定している。なお、設備設計に際しての立坑湧水量は、通常、根切り工事に用いられることが多い簡易式を用いて算定した⁹⁾。

3-1-6 換気設備

中間ステージ位置(GL-500m)へ到達までは、各立坑の坑口防音建屋内に設置した換気ファンと集塵機により、各立坑切羽からスパイラル鋼管による吸出方式で排気する。切羽での風速確保のため、予備ステージに設置した



(1) スカフォード全体 (2) キブル付け替え装置
図-7 スカフォード(主立坑の場合)詳細

補助ファンを用いて送気を行う。中間ステージ位置到達後は、主換気ファンを中間ステージ位置に移設するとともに、扇風機坑道ファン設備を設置し、坑道換気に切り替える予定である。坑道換気方式は、主立坑から入気させて換気立坑から排気する方式である。その際、予備ステージ両側および換気立坑坑口付近に風門を設置して、換気立坑横に施工する扇風機坑道から排気する。扇風機坑道の概念図を図-8に示すが、設備の設計にあたっては通気解析⁹⁾を行い、扇風機坑道上部(地上部)に主換気ファン2,100m³/min、中間ステージに局所換気ファン450m³/minを置くものとした。

3-1-7 電気設備

電力受変電設備は、商用電力と非常用発電設備(3,500kVAを超えた時点で、一部を非常用発電設備として使用)を併設するため、停電時に瞬時の電源切り替えが可能な自動切り替え装置を設備することとしている。

非常用発電設備として、ディーゼル発電機、低騒音型で定格出力800kVAの発電機を設置する。この800kVA発電機の必要台数は、GL-300m施工時までは2台であるが、GL-300m以深は、増設が必要となり、最終的に4台必要となる。また、非常用発電装置は、商用電源の停電信号を受け自動的に運転を開始するシステムとして

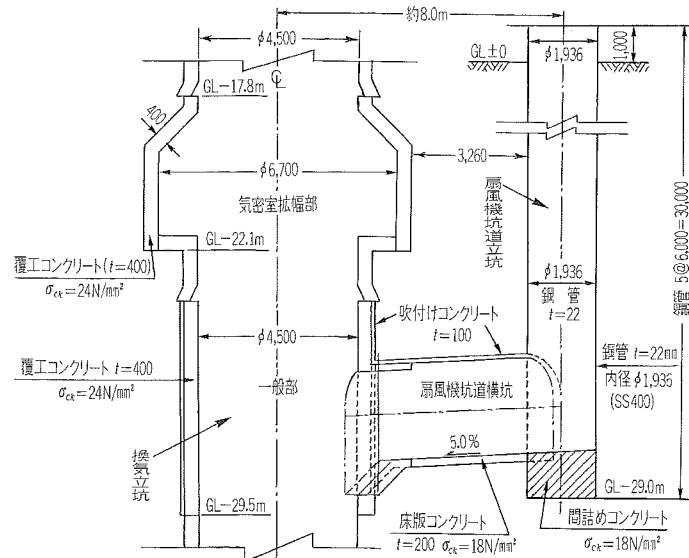


図-8 坑道換気のための扇風機坑道(左側は換気立坑)

いる。発電機用燃料タンクは、商用電源が停電になった後、12時間運転できる容量としているが、それ以上になる場合は、タンクローリーを準備する。主な特徴を挙げると、以下のとおりである。

- ・受電方式は、三相3線式60Hz、6600V受電とする。
- ・電力会社との取り決めにより、契約最大電力は3,500kVAとする。
- ・GL-500m(中間ステージ)以深では、最大電力が3,500kVAを超え、ピーク時4,700kVAと予想される

ため、非常用発電設備を非常用発電設備として使用する。

- ・変電設備は、地上部および予備ステージ内に設置する。
- ・キブル巻き上げ機起動時の電圧変動対策として、アクティブフィルタ方式のフリッカ抑制装置を設置する。
- ・坑内配線は、火災発生時の避難時間を考慮して、耐燃性ケーブルを使用する。

3-1-8 給気設備・空調設備

給気は、地上に設置した電動コンプレッサーなどによって行うこととし、給気用配管を主立坑および換気立坑それぞれに1本ずつ配管する。坑内の空調については、GL-500m以深の施工時に、空調設備用のクーリングタワーおよびクーリングシステムを地上および予備ステージなどの坑内に設置する予定である。

3-1-9 安全設備

火災時の緊急時においては、避難所での待避を基本コンセプトとし、その仕様は、設置位置の避難人数に応じて表-5の3種類とする。非常用給気配管(φ75A)を通して、待避者への給気を確実にするため主立坑と換気立坑双方からの2系統による給気配管とする。通信設備についても、同様に2系統とする。また、これまでの災害事例や想定災害にもとづき、立坑内の安全対策システムとして、①入出坑管理、②坑内火災管理、③坑内環境管理、④坑内通信管理からなるそれぞれが独立したシステムを

表-5 避難所の仕様

名称	サイズ	人数	床面積	場所	対象者
避難所A	W3.0m×L6.0m	7人	9m ²	予備ステージ	施工者の避難を想定
避難所B	W3.0m×L7.0m	12人	12m ²	中間ステージ 最深ステージ 計測坑道	施工者および一部の研究者の避難を想定
避難所C	W3.5m×L18.0m	50人	52.5m ²	中間ステージ 最深ステージ	研究者・見学者の避難を想定

表-6 立坑一般部・接続部の支保パターン

区分	支保パターン	ロックボルト			支保工	吹付け厚(cm)	覆工厚(cm)	金網	矢板掛率(%)	ライナープレート
		長さ(m)	周方向(m)	延長方向(m)						
一般部	B	—	—	—	—	—	40	—	—	—
	CH	—	—	—	—	—	40	—	—	—
	CM	—	—	—	—	—	40	—	—	—
	CL	—	—	—	H-125	—	40	—	30	—
	D	—	—	—	H-125	—	40	—	30	—
接続部 (下部*: 拡幅部)	B	—	—	—	—	5	40	—	—	—
	CH	3.0	1.7	1.3	—	10	40	—	—	—
	CM	3.0	1.6	1.3	—	10	40	—	—	—
	D	3.0	1.1	1.3	H-150	15	40	全周	—	—

*: 接続部5.8mのうち、拡幅部3.2mを表す。

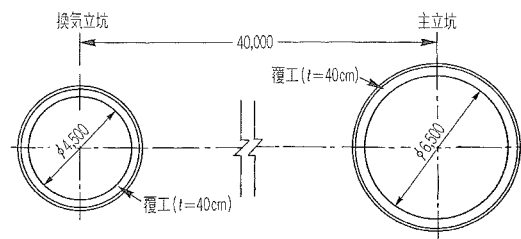


図-9 立坑の標準断面

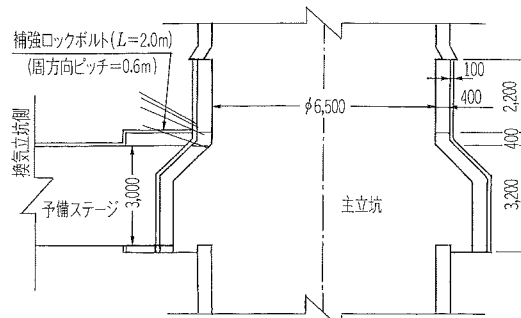


図-10 接続部付近の断面(主立坑の場合)

全通路確保のため、高さ5.8m、直径8.7m(主立坑の場合)を示す、換気立坑においては高さ5.8m、直径6.7m)の図10に示す接続部を設ける。

3-3 予備ステージ

予備ステージは、図-3に示した主立坑および換気立坑を100mごとに結ぶ幌型のトンネル(掘削はNATM)で、その諸元は延長32.3m、幅3.0m、高さ3.0mである(表-7、図-11参照)。予備ステージ内には、排水ピットおよび避難所1か所(トンネルの断面形状は予備ステージと同じ、延長6m)を設置する。予備ステージ位置は、GL-500mの位置を除き深度100mごとに1か所ずつ9か所(最深

表-7 予備ステージの支保パターン

支保パターン	ロックボルト			鋼アーチ支保工		吹付け厚 (cm)	覆工厚		金網
	長さ(m)	周方向(m)	延長方向(m)	上半	下半		アーチ	インバート	
B	—	—	—	—	—	3	—	—	—
CH, CM	1.5	3.0	1.5	—	—	5	—	—	—
CL, D	1.5	1.0	1.0	H-100	H-100	10	—	—	上下半

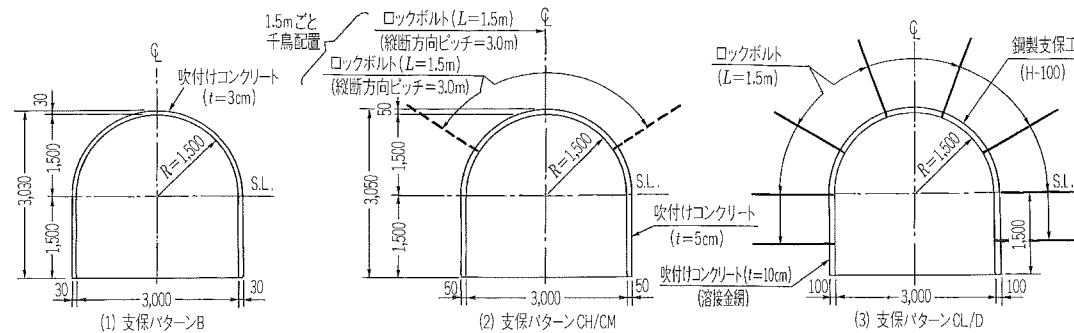


図-11 予備ステージの標準断面

部はGL-970m位置)に計画している。

3-4 中間・最深ステージ

中間ステージ(GL-500m位置)および最終ステージ(GL-1,000m位置)は、地層科学研究のためのメインステージで、表-8に示す12タイプの坑道などからなり、その形状は図-12に示すとおりである。

立坑や水平坑道の寸法は、掘削作業の効率性や経済性、搬入する資機材、研究のためのスペースなどを考慮して決定し、研究項目やその内容の詳細については現在、計画中である。

3-5 計測坑道

計測坑道は、中間ステージおよび最深ステージ掘削時に、先行あるいは並行して掘削し、先行変位や間隙水圧変化などの計測を行うスペースで、主立坑側に設置し、主立坑と反対側に、計測坑道の掘削ずりを搬出するための水平坑道を設置する。設置深度としては、中間ステージの上部GL-470mと下部GL-528mおよび最終ステージの上部GL-970mの3か所、その断面形状は幌型(幅3.5m×高さ3.5m、避難所Bのみ幅3.0m×高さ3.0m)であり、その平面は図-13に示すとおり、1か所あたり242.2mの延長である。

3-6 耐震設計

研究坑道は、その深度が1,000m程度に達することから、通常の地中構造物と比較して鉛直方向への広がりが多い。

静的解析手法により等価震度(動的なせん断応力を静的な震度に置き換えたもの)を与えた時の立坑の覆工コンクリートと周辺岩盤の応力状態を解析し、それぞれの許容応力と比較することにより健全性を確認した結果、覆工コンクリートに発生する応力は小さく、圧縮破壊に

表-8 中間ステージ・最深ステージを構成する坑道

No.	坑道 称名	坑道 寸法	延長	箇所	備 考
1	ループ坑道	幌型3.5m×3.5m(幅×高さ)	188.6m	1	掘削と並行して研究者が坑内に入坑して研究することを考慮して、安全通路が確保できる形状寸法を設定
2	ループ坑道離合部	幌型6.7m×3.5m	10.5m	1	掘削機械や機器搬入時の離合、退避スペース
3	ループ坑道試錐座	ループ坑道の一部を高さ8.0m、幅4.5mに拡幅	18m	4	試錐用大型ボーリング用スペースを確保
4	立坑間連絡坑道	幌型4.0m×4.0m	29.5m	1	換気、給排水、電気設備の設置スペース、集塵機、ファンの組立据付時の作業スペース、および側壁部配管の維持管理スペースの確保として設定
5	試錐座	ループ坑道の一部を高さ8.0m、幅4.5mに拡幅	8m	4	試錐用大型ボーリング用スペースを確保
6	接続坑道	幌型5.0m×5.0m	10m	1	試錐用大型ボーリング機器を搬入するスペースを確保
7	避難所B	幌型3.0m×3.0m	7m	1	収容人数12人、有効床面積12m ² 、立坑間連絡坑道中間部に設置
8	避難所C	幌型3.5m×3.5m	17m/18m	2	収容人数50人、有効床面積52.5m ² 、ループ坑道・アプローチ坑道各々に1か所設置
9	試験坑道1/2/3	幌型3.5m×3.5m	237.1m	1	各試験に必要な寸法として設定
10	試験坑道1/3	幌型5.0m×5.0m	100m	1	同上
11	TBM発進基地	幌型8.0m×6.5m	20m	1	TBMアセンブリホールとしての必要空間を確保
12	TBM坑道	円形φ2.2m	90m	1	TBMにより掘進する坑道

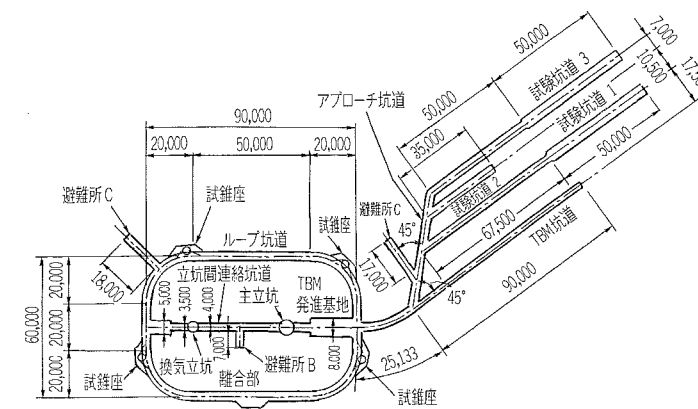


図-12 中間ステージおよび最深ステージ

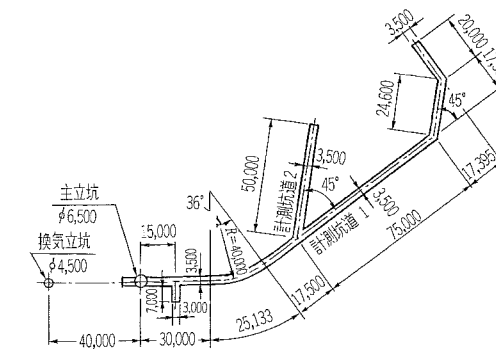


図-13 計測坑道

至らないこと、立坑周辺の岩盤においては、地震時に新たに塑性域が発生する領域はほとんどないことが確認された¹⁾。

3-7 通気解析

研究坑道においてもっとも起こりうる災害のひとつである火災については、火災が発生した場合の避難路と避難時間の確保がもっとも重要である。そこで、鉱山において適用実績の多い通気網解析を用いて火災を想定した解析⁹⁾を行った。その結果、避難所まで歩行にて避難が可能で、安全管理システムの稼働により、避難時間に余裕がある位置に避難所を設置するレイアウトとした。

4. 施工方法

4-1 上部工および下部工

4-1-1 上部工

坑口上部の基礎は、主立坑・換気立坑とも岩着(ここでは、泥岩)させる直接基礎形式としており、主立坑でGL-9.0m、換気立坑でGL-10.5mを上部工の底盤位置とした。敷地が狭小であることから、採用する工法としては、親杭横矢板・切梁工法を選定し施工した、その施工状況(換気立坑の場合)を写真-1に示す。

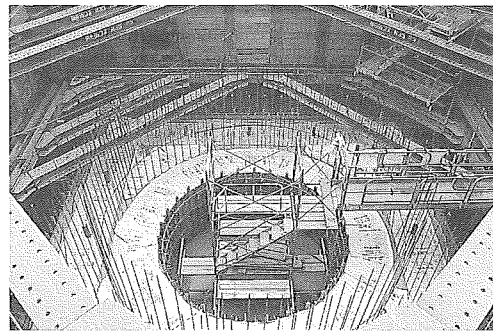


写真-1 坑口上部工施工状況(換気立坑の場合)

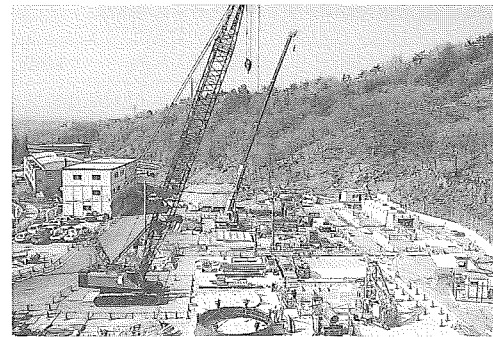


写真-2 坑口下部工施工状況(手前が主立坑)

4-1-2 下部工

坑口下部工区間は、立坑一般部を本格的に掘削するための櫓やスcaffordなどの設備が設置できる深度に至るまでの区間である。その施工には移動式クレーンを用いて掘削ずりの搬出や資機材の搬入を行う。その延長として、主立坑で42m(上部工とあわせて、51m)、換気立坑で35m(上部工とあわせて、45.5m)の下部工区間が設けられている。

施工方法として、ショートステップ工法やライナープレートによるロングステップ工法および立坑NATMが考えられるが、安全性および工期や経済性などの観点から、1掘進長1.0mで覆工コンクリート長1.0mの1ステップ方式ショートステップ工法を採用することとした。下部工の施工状況(手前が主立坑)を写真-2に示す。

4-2 研究坑道の掘削工法

4-2-1 立坑の掘削工法

立坑の掘削工法としては、発破による工法として在来工法やNATM、機械による工法として自由断面掘削やTBMやレイズボーラーを用いた工法などがある。また、覆工の打設時期により、ロングステップ工法とショートステップ工法に分けられる。発破工法のうち、発破と覆工を短区間で交互にくり返す在来工法によるショートステップ工法は、実績も多く岩盤状態の悪い場所での施工例も多く、掘進速度が速い工法である。そこで、一般部

においては、全断面発破の掘り下がりショートステップ工法を採用した。ただし、接続部はNATMとした。

削孔は、地上から坑底へ搬入する形式の油圧式150kg級ドリフター(主立坑：3台、換気立坑：2台)を搭載したシャフトジャンボにて行う。立坑においては切羽に排水や湧水が溜まることに配慮し、安全性の観点から「非電気式雷管」と「含水爆薬」を使用することとした。また、削孔効率の低下による削孔時間の増大を抑制するために、「デタージェント削孔(圧縮空気に加圧水を混ぜた削孔水で削孔する)方式」を採用する予定である。ずり出しは、「シャフトマッカによるずり出し方式」を採用し、シャフトマッカ(主立坑：0.4m³、換気立坑：0.2m³)およびずりキブル(主立坑：6m³、換気立坑：2m³)2缶とスcafford最下段にあるキブル付け替え装置を用いた替えキブル方式とした。

次に、裏面排水工・支保工・矢板工(支保パターンCL/D/Eの場合のみ)の後、坑壁観察などの研究を行い、覆工を施工する。覆工は、現場コンクリートプラントより一次運搬した覆工コンクリートを地上のキブル運搬台車に据え置いたコンクリートキブル(主立坑：2.5m³、換気立坑：1.5m³)を用いて投入する。地上においてコンクリートキブル2缶を効率よく入れ替えることにより、コンクリート運搬時間の短縮を図ることとした。

4-2-2 水平坑道の掘削工法

水平坑道の掘削工法としては結晶質岩系が対象であることより、主に硬岩に用いられるNATMによる発破工法を採用する。また、坑道掘削影響試験などの研究を目的として、中間ステージおよび最深ステージにおいては、機械掘削すなわちTBMにて掘削する坑道も計画している。水平坑道における1サイクルあたりの地質観察など(研究)のための時間を2時間確保した。

4-2-3 ずり搬出およびサイクルタイム

立坑掘削においては、深度が深くなるにつれて発破したずりの搬出時間が全体の掘削作業時間に占める割合が大きくなる。このため、効率のよいずり出し方法として、替えキブル方式を採用した。また、掘削のサイクルと1回あたりの発破進捗の関係を検討し、安全かつもっとも効率の良い掘削サイクルとして、1.3mの発破を2回くり返して、2.6mのコンクリート覆工を打設する変則のショートステップ工法を採用した。ただし、Eパターンにおいては、1発破進行長1.3mごとに1.3mの覆工コンクリートを打設する本来のショートステップ工法を予定している。1サイクルあたり、坑壁の地質観察など(研究)のために時間(2.6m覆工の場合：3時間、1.0mおよび1.3m覆工の場合：1.5時間)を確保した。図-14に深度500m位置でのサイクルタイム例を示す。

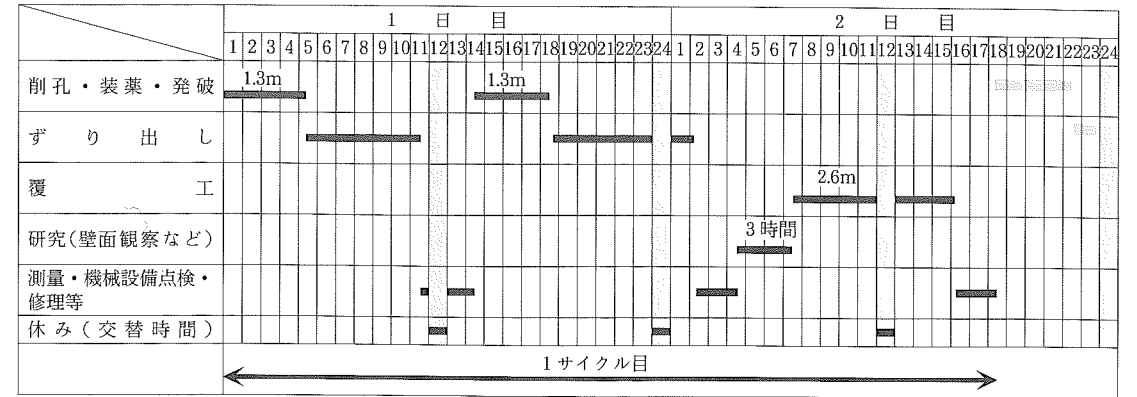


図-14 立坑掘削のサイクルタイム例(GL-500m, 花崗岩, パターンBの場合)

4-3 覆工・吹付コンクリート工

本坑で使用されるコンクリートは、密実なコンクリートを打設できるように、コンクリート中の骨材の表面を水セメント比の小さいペーストで造粒し、セメントの分散性やコンクリートの品質と耐久性を向上させたSECコンクリート(覆工コンクリートおよび吹付コンクリートとも)を基本的に採用する。ただし、坑口部上部工・下部工においては、レディーミクストコンクリート(JIS A 5308)の標準品を用いるものとする。また、覆工コンクリート工においては、ショートステップ工法で行うことから、早強ポルトランドセメントを使用する。吹付コンクリートも含めたコンクリートの仕様を表-9に示す。

4-4 集排水工

覆工背面の湧水については、縦断方向に90°間隔で連続した縦断方向排水材を4箇所設置し集水するとともに、25mごとに設置する円周方向の円周方向排水材を用いて集水する。湧水の多い箇所については、適宜、増設する予定であるが、図-15に示すように、円周方向排水材の設置箇所すなわち深度100mに4か所、全長1,000mでは40か所程度のウォータリングを設置し集排水する。25mごとのウォータリングに集まった湧水については熱線式流量計にて、4か所を取りまとめた100mごとの予備ステージ内排水ピットに流入する湧水については電磁流量

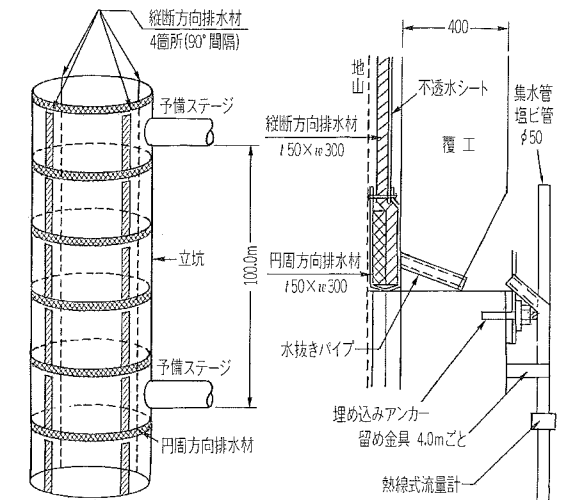


図-15 集排水工の設置箇所

計にて測定する。

4-5 計測工

計測は、切羽観察と内空変位計測の一部を除き自動計測を基本とし、地上および100mごとの予備ステージに設置するデータロガーにて計測データを収集し、無線LANユニットあるいは光ファイバーなどを介して地上の計測管理室のコンピュータに収録するものとする。そ

表-9 覆工コンクリートおよび吹付けコンクリートの仕様

区 分	種 類	呼び強度 (N/mm ²)	スランパ (cm)	粗骨材の最大寸法 (mm)	セメントの種類
坑 口 部	上 部 工	24	12	25	高炉セメント
	下 部 工	24	12	25	早強ポルトランドセメント
覆 工	接続部(CL, D, E)	40	12	25	早強ポルトランドセメント
	一般部・接続部(B, CM, CH)	24	2	25	早強ポルトランドセメント
吹 付 け	水平坑道接続部(避難所周辺12m含む)	36	18	15	普通ポルトランドセメント
	水平坑道一般部	18	8	15	普通ポルトランドセメント

のデータを管理するための計測管理システムは、地上の計測管理室でリアルタイムでの計測値の把握と記録が可能...

日常管理として実施すべきA計測、すなわちNATMで一般に行われる切羽観察および内空変位計測については、水平坑道および立坑接続部において行うものとした。

地山に応じて代表断面(立坑では50mごと、予備ステージでは2断面程度)で行うB計測としては、下記の項目を測定するものとした。

- ① 地中変位
② ロックボルト軸力
③ 吹付けコンクリートの応力
④ 覆工コンクリートの応力
⑤ 鋼製支保工応力

立坑一般部および接続部における壁面観察を主とする研究としては、2.6mごとに下記の項目について行い、随時、岩石物性についても試験することとした。

- ① デジタルカメラなどによる壁面観察
② 壁面マッピング(地質構造データ)および地質スケッチ・地質・地質構造(岩相、岩盤分類、RMR、風化・変質作用の特徴や程度、不連続構造の位置・種類・空間的分布・形状・走向/傾斜・充填鉱物の種類・量、湧水の程度など)

- ③ 赤外線サーモグラフィによる熱画像データ
④ 湧水量の計測と水質分析

壁面およびウォータリングにおける採水およびその物理化学パラメータ(水温、溶存酸素濃度、pH、酸化還元電位、電気伝導度)の分析についても、代表的断面で行う予定である。

また、研究坑道における掘削工事を妨げる大きな要因である突発湧水と山はね現象に対しても、計測を通じてあらかじめ予測し、事前対策を立てることとした。

5. おわりに

瑞浪超深地層研究所用地においては、2003年7月に、立坑坑口の基礎工事を開始し、現在、下部工や地上設備

の施工を行っているところである。一方で、深層ボーリング孔(MIZ-1号孔:掘削長1,350mを計画)などによる調査研究を実施中であり、これらの調査研究で新たに取得される情報にもとづき、適宜、設計や施工計画を見直す予定である。

また、掘削の進捗にあわせて各種のデータを取得し、設計や施工計画の妥当性を確認するため、岩盤変位計測等を長期にわたって計測するとともに、水位観測や間隙水圧観測等のモニタリングなどを行い、それ以降の研究坑道の掘削計画にフィードバックしていく。

参考文献

- 1) 見掛信一郎・杉原弘造・永崎靖志: 地下1,000mに研究坑道を掘る 東濃地科学センター 超深地層研究所計画, トンネルと地下, Vol.31, No.12, pp.55-63, 2000.12.
2) 土木学会: トンネル標準示方書「山岳工法編」・同解説, 土木学会, 1996.7.
3) 坂巻昌工・佐藤稔紀・見掛信一郎・今津雅紀: 国内における立坑・斜坑データベース化と瑞浪超深地層研究所の立坑内径, 土木学会第58回年次学術講演会, VI-046, pp.91-92, 2003.9.
4) 核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分技術的信頼性一地層処分研究開発第2次取りまとめ一, サイクル機構技術資料, JNC TN1410 99-020~024, 1999.
5) 今津雅紀・佐藤稔紀・見掛信一郎・玉井猛: 瑞浪超深地層研究所立坑の湧水とその排水方法, 第39回地盤工学研究発表会, 地盤工学会, 2004.7(投稿中)
6) 坂井哲郎・萩原育夫・佐藤稔紀・見掛信一郎: 深地層の地下研究施設における通気・防災上の検討, 資源・素材 2003春季大会講演集(I)資源編, No.3204, pp.114-115, 2003.3.
7) 松井裕哉: AN-1号孔およびMIU-1号孔における力学特性調査結果, 土木学会第55回年次学術講演会, CS-171, 2000.9.
8) 日本道路公団: 設計要領第三集 トンネル, (財)道路厚生会, 1998.10.
9) 日本鉄道建設公団: NATM設計施工指針, 日本鉄道建設公団, 1996.3.
10) 佐藤稔紀・見掛信一郎・玉井猛・今津雅紀・坂巻昌工: 地下1,000mに向けて・瑞浪超深地層研究所の建設計画, サイクル機構技報, No.20, pp.31-43, 2003.9.
11) 佐藤稔紀・見掛信一郎・今津雅紀・延藤遵・西川洋二: 瑞浪超深地層研究所主立坑の地震時健全性について, 土木学会第58回年次学術講演会, CS7-060, pp.397-398, 2003.9.



西大阪延伸線建設工事の計画概要

原田 大* 河野克司**
増味 康彰***

1. はじめに

西大阪延伸線は、阪神西九条駅と近鉄難波駅を結ぶ鉄道路線で、既存鉄道との新たな鉄道ネットワークを形成するとともに、阪神・近鉄の相互直通運転により神戸・奈良間の広域流動に資する路線でもある(図-1参照)。

この路線の整備については、建設主体が西大阪高速鉄道株式会社(以下、「西大阪高速」)、運営主体が阪神電気鉄道株式会社(以下、「阪神電鉄」という、いわゆる上下分離方式によって整備が進められており、また、その建

設にあたっては、鉄道施設の設計および施工管理を阪神電鉄が西大阪高速から受託して事業を進めている。

本稿では、現在建設中の西大阪延伸線建設工事の計画についての概要を記すものである。

2. 計画の概要

2-1 計画概要

西大阪延伸線は、高架式である阪神西九条駅を起点とし、安治川を橋梁で横断した後に中央大通(市道築港深江線)までの区間において地下に移行し、その後、地下

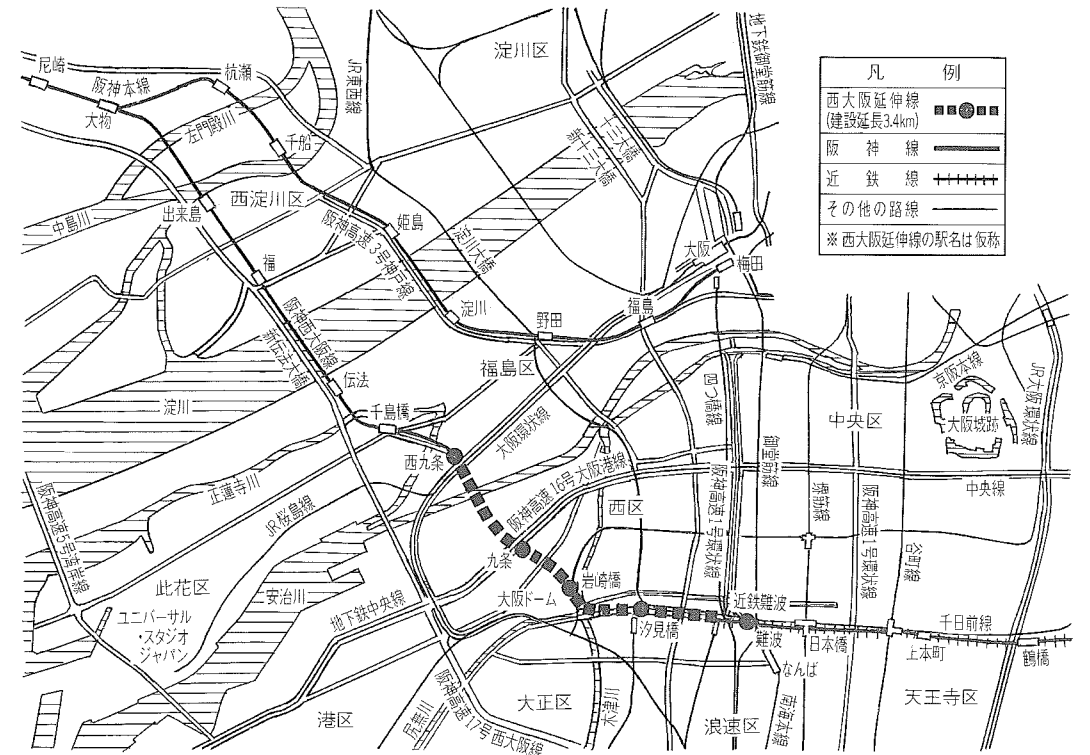


図-1 西大阪延伸線位置図

* 阪神電気鉄道(株)西大阪線延伸推進室建設工事事務所課長
** " " " " " 係長
*** 阪神電気鉄道(株)西大阪線延伸推進室建設工事事務所係長

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会

B5判・285頁 価格4,893円(〒380円)



〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

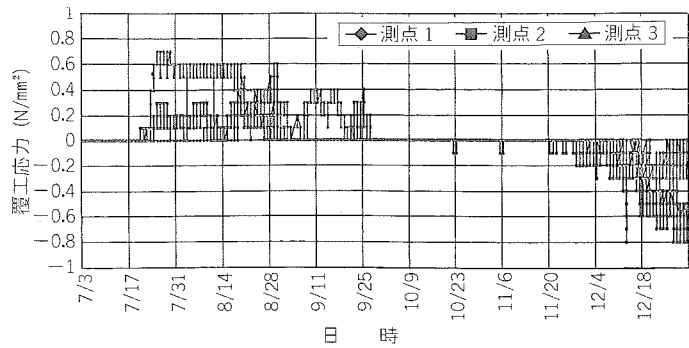


図-17 高速道トンネル覆工応力(測点3)

り替えている(図-16)。

車道沈下は7月24日の交差後に微小ながらも観察されている。また内空変位は0~2mmの間の些少な推移を見せている。覆工応力については夏は増加、冬には減少の傾向であるがいずれも管理レベル上問題のない範囲である(図-17)。

11. おわりに

これまで述べてきたように、事故もなく、また放水路トンネル、高速道トンネルともに管理レベル1で影響範囲の掘削を終えることができた。

計測結果を見てみると、事前に行ったFEM解析の結果を若干下回る変位量を計測している。これは、FEM解析の条件である変形係数を低めに見積もっていたこと、施工では計測値が管理レベル1にある程度近づいた段階での補助工法の早期採用が考えられる。

影響範囲を妙見トンネル切羽が抜けた以後も両トンネルの変位などについて計測監視を続けているが、その変位は収束しており落ち着いた状態にある。しかしながら今後も妙見トンネルのインバート、覆工の施工を控えており、事故のないように更に注意深く管理したい。

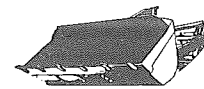
両トンネルに対し与える影響を最小限に止めるという方針は同じであるが、人を乗せた車両が四六時中通行しているトンネルとの近接工事と、放水路という重

要なインフラ設備との近接工事では、構造物も管理手法も異なる。しかしながら協議は同時並行して行わなければならないことがもっとも苦労した点である。仮に、現在実用化が進められているCALSの恩恵を受けることができている、協議に用いる設計資料や図面の作成において、費やす時間・労力を少しでも減らすことができたのではないかと、とも感じている。

最後に、放水路トンネル、高速道トンネルと、用途も構造も異なるトンネルの間での施工に際し、日々協議・打ち合せに協力頂いた熊本県八代地域振興局土木部、日本道路公団八代管理事務所の皆様に御礼申し上げ、この報告を終えたい。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル，1995.1.



施工 径5.1mのレイズボーラーで立坑を掘る
国道185号 休山トンネル換気立坑

方山 義彦* 原田 光則**
土屋 敏郎*** 武田 和徳****

1. はじめに

休山トンネルは、国道185号における呉市内中心部の交通渋滞解消を目的として平成9年度に着工し、平成14年春の供用を目指し現在施工中である。

換気方法としては、トンネル両坑口が人口密集地帯であるため、トンネル中央からの強制排気が必要不可欠となり、このため換気立坑(仕上がり径4.2m、延長130m)を設置する必要があった。換気立坑の掘削には、発破を一切使用しないレイズボーラー全断面工法(掘削径φ5,105mm)が採用された。同工法のこれまでの国内実績はφ4,740mmまでであり、今回採用したφ5,105mmの掘削径は過去最大のものとなる。

また、覆工に際しても、一次覆工から二次覆工への段取り替えは、工法が全く異なり、日数が掛かるため一次覆工で用いた吊り足場(以下、スカフォード)をそのまま二次覆工へ転用するという新しいシステムを構築することにより、経済的で短期間の施工が可能となった。

本稿では、休山立坑の概要を示すとともに、換気立坑の急速施工法として、国内最大径のレイズボーラー工法と、覆工の急速化施工について述べる。

2. 休山立坑の概要

国道185号線は、広島県呉市と三原市を結ぶ一般国道であり、瀬戸内海沿岸を結ぶ幹線道路となっている。しかし、呉市内の中央部と阿賀・広地区を結ぶ通称「呉越峠」と呼ばれる区間では、勾配が急で、急カーブも多く、さらに1日あたり約48,000台の交通が集中し、朝夕時の渋滞や交通事故の多発という課題を抱えている。

このため、この区間をトンネルで結ぶ休山改良事業が着手され、すでに休山トンネルは平成12年9月に貫通し

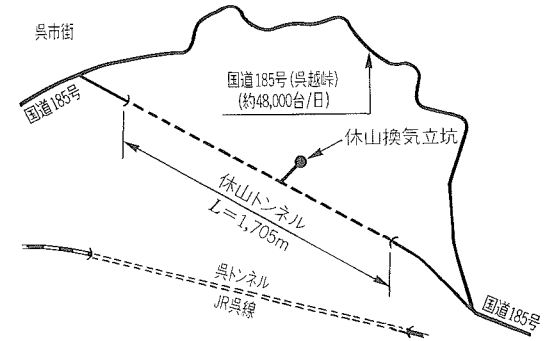


図-1 位置図

ている。この休山トンネルは、全長約1.7kmの市街地トンネルであり、坑口部には密集した民家や各種ライフラインがあり、本坑の施工には沈下対策や発破に伴う振動・騒音対策が講じられた¹⁾。

このように、両坑口とも民家が密集した状況のため、トンネル内の排気ガスをジェットファンで坑口より排出することは、環境面から困難となった。したがって、坑内空気を換気立坑により強制的に排出させる集中排気方法の採用が不可欠となり、本立坑が計画された。

休山立坑の位置図を図-1に示す。

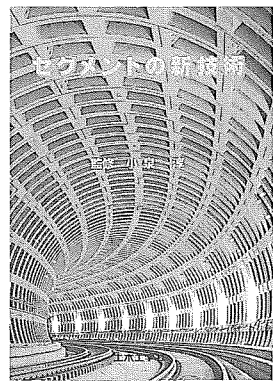
3. 国内最大径のレイズボーラー工法

3-1 レイズボーラー工法の概要

レイズボーラー工法とは、地上からパイロット孔を掘削した後、地下の横坑にてリーミングビットを取り付け、パイロット孔を地下から拡幅(リーミング)していく工法である。同工法の長所は、ずり処理が容易、かつ機械掘削のため切羽に作業員が入らないので安全面に優れている点が挙げられる。一方、短所は、工法的に坑壁の自立が必要不可欠であるが、掘削中における支保の施工が不可能なため、軟弱地質および破碎帯では施工が困難な点である。

立坑の施工方法としては、発破掘削全断面掘り下がり工法や小口径のレイズボーリング孔を利用する導坑先進

*国土交通省広島国道工事事務所工務課長
** " " " " 呉出張所長
*** (株)フジタ休山縦坑作業所所長
**** " " " " 監理技術者



セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 定価(本体価格2,000円+税) 円310円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として、過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、同じフォーマットで紹介したものをもとに、新たに「セグメントの新技术」編纂委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

株式会社 工本工学社

〒162-0832 東京都新宿区若戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

拡大掘削工法などが一般的であるが、休山立坑では実績の少ないレイズボーラー全断面工法が採用された。その理由としては、①コスト的・工期的に従来工法より優れていること、②安全面で優れた工法であること、③地質的に堅硬な位置を選定しており、上部の地質不良箇所も薬液注入を併用することで坑壁の自立が可能で、が挙げられる。

換気立坑の規模と地質を図-2に、レイズボーラー全断面工法と従来工法を図-3に示す。

3-2 当該地形・地質概要

計画地点は呉市街東部に位置する休山(標高501m)の北側に位置する。

背稜山地は標高200~500m程度で、山腹斜面は30°程度をなし、やや急であるが、山裾から中腹まで住宅地が広がっている。

主要地質は広島型の粗粒花崗岩で、施工基盤から深度5mまではマサ土、深度35mまではN値50前後の強風化岩盤、深度35mから117mにかけては、新鮮な岩盤と脆

弱な部分の互層となっている。深度117m以深は、一軸圧縮強度150MPaを超過するような硬質岩盤となる。地下水位は深度90m程度に認められた。

3-3 地盤改良工

掘削に先立ち、深度35mまでの強風化岩盤に対し、地盤改良を行う必要があった。その理由としては、①レイズボーリング時の坑壁自立の確保、②一次覆工(吹付け工)および二次覆工時の坑内作業員の安全確保、が挙げられる。

以上により、坑壁自立は当該立坑の成否に直接かかわる問題であり、マサ化している地山の崩落や、湧水や浸透した表面水による風化部の流出が発生すると立坑掘削自体が困難となる。また、レイズボーラー工法による掘削時には作業員が坑内に入ることはないが、一次・二次覆工時には入坑する必要があり、その際の作業員の安全確保も重要となる。したがって改良時には、壁面の安全な固結と遮水性能および覆工完了時までの効果の持続が要求される。

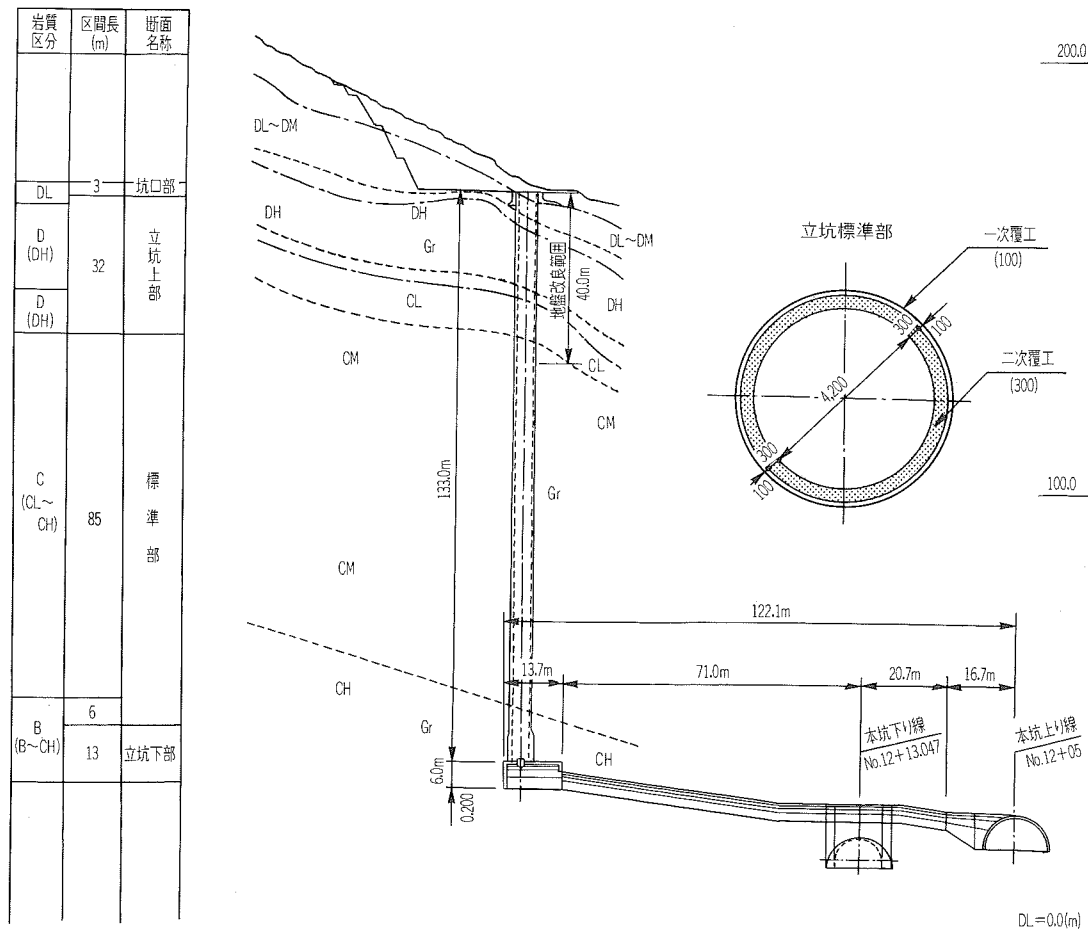


図-2 換気立坑の規模と地質

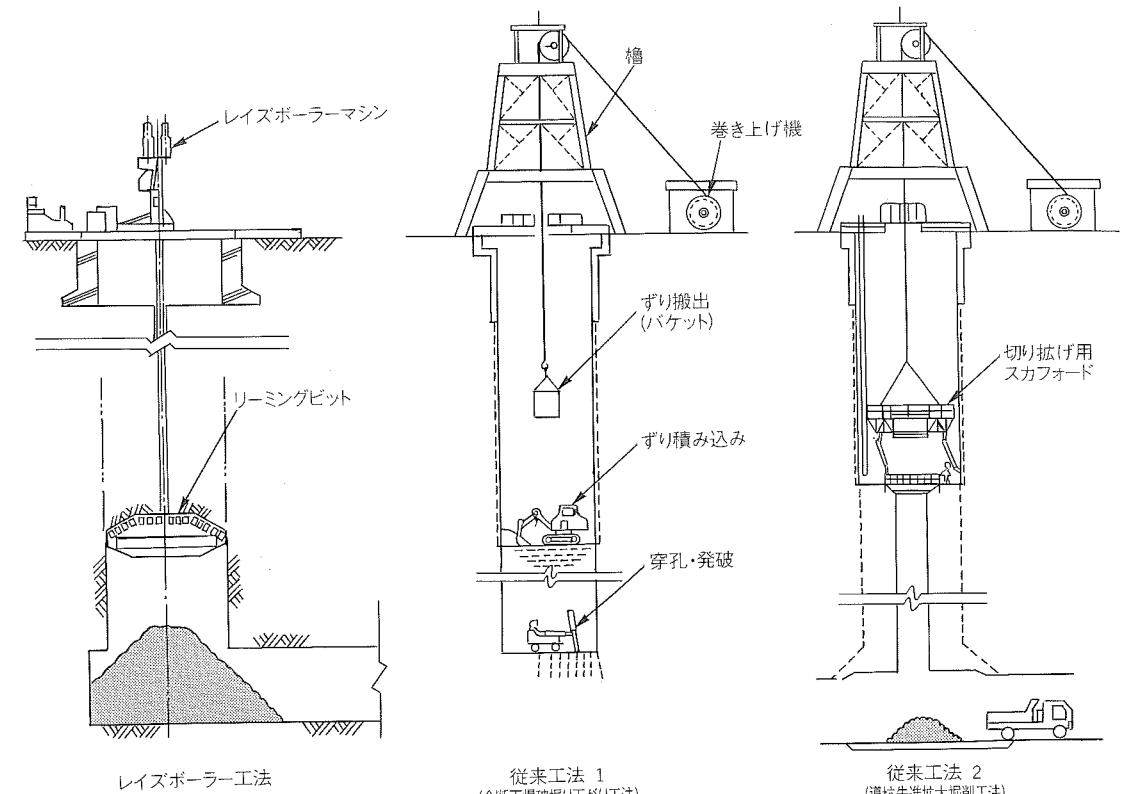


図-3 レイズボーラー全断面工法と従来工法

このため、加圧性に優れ十分な浸透性注入の改良効果が期待できる二重管ダブルパッカー工法を採用、また、注入材は坑壁自立の必要強度として円筒モデルの応力度解析により求められた3.5N/mm²を満足し、さらに前述した効果の持続性を得ることが可能な超微粒子系の恒久グラウト材を使用した。

地盤改良工完了後、効果確認ボーリング(φ66mm)によるコアサンプルを用いて一軸圧縮強度を行った結果、 $\sigma_{28} = 3.7\text{N/mm}^2$ (マサ土部分の3本の平均)となり、必要強度を満足していた。さらに、覆工完了時点まで深度0~35mの強風化岩盤について崩落が認められず、坑壁の自立が確認された。

3-4 パイロット掘削工

今回使用したレイズボーリングマシン(写真-1)の機械能力を表-1に示す。

パイロット孔掘削には、φ381mmのチップインサート型トリコーンビットを使用した。掘削用流体としてベントナイト泥水を循環させ、孔壁の保持・ビットの冷却洗浄・くり粉の排出を行った。

レイズボーラー工法によるリーミング掘削の精度は、パイロット孔の施工精度で決定される。このため、孔曲



写真-1 レイズボーリングマシン

がりの発生しにくいロッド編成を採用し、また以下に示す各種の要因に対し適切な掘削管理を行うことで、精度

表-1 機械能力

パイロット径	φ381mm
リーミング径	Max φ6,000mm
トルク	Max 46.0tf・m
スラスト	Max 694.0tf
回転数	0~50rpm
入力電源	600kva
本体重量	24.1 t

の確保に努めた。

パイロット掘削時のロッド編成は、一般的にはスタビライザーの使用を2~3本とする場合が多いが、孔曲がりを抑制する目的で、図-4のとおりとした。ここで、孔曲がりが発生する要因としては、①不適切なビット荷重、②地質・強度の変化、が挙げられる。①に対しては、設定ビット荷重を許容ビット荷重の50%程度に抑え10tfとし、②に対しては、事前ボーリングのコアサンプルから岩質・強度を確認し、変化点の掘削時はさらにビット荷重を抑え5tf程度とした。

以上より、パイロット孔貫通時の偏心量は38cmで、掘削精度は掘削長130mに対し0.3%となり、施工前に予想された掘削精度0.5%を大幅に上回る結果となった(写真-2)。

また、当初懸念されたベントナイト泥水の逸水は見ら

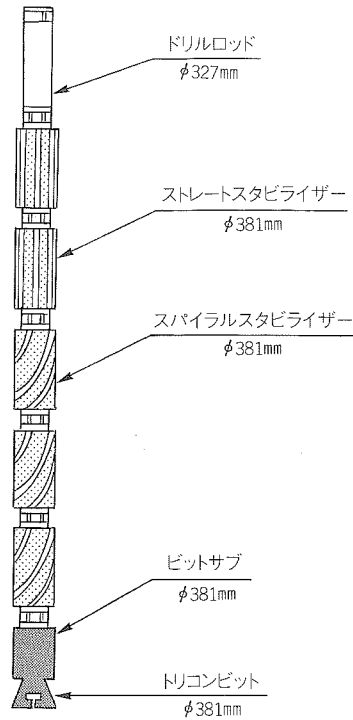


図-4 ロッド編成(パイロット掘削時)

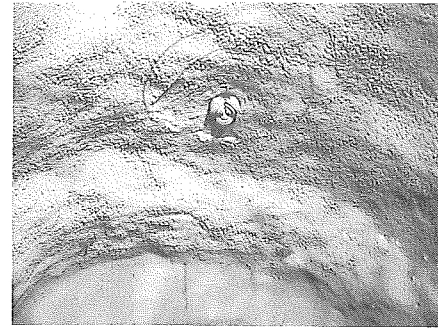


写真-2 パイロット孔貫通

れなかった。

3-5 リーミング掘削

リーミング掘削は、ドリルストリングスの強度向上のため、ステムは図-5のとおりL=3.5mのロングステムを使用し、スタビライザーは通常のスタビライザーの他にリーミング専用のソリッドスタビライザー(1本)を使用した。リーミングビットは32個のチップインサート型ローラーカッターで構成されている(写真-3)。

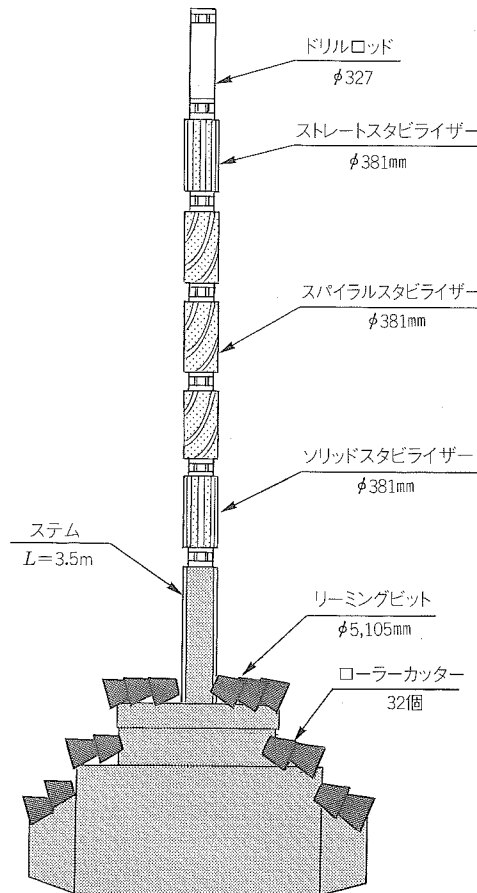


図-5 ロッド編成(リーミング掘削時)

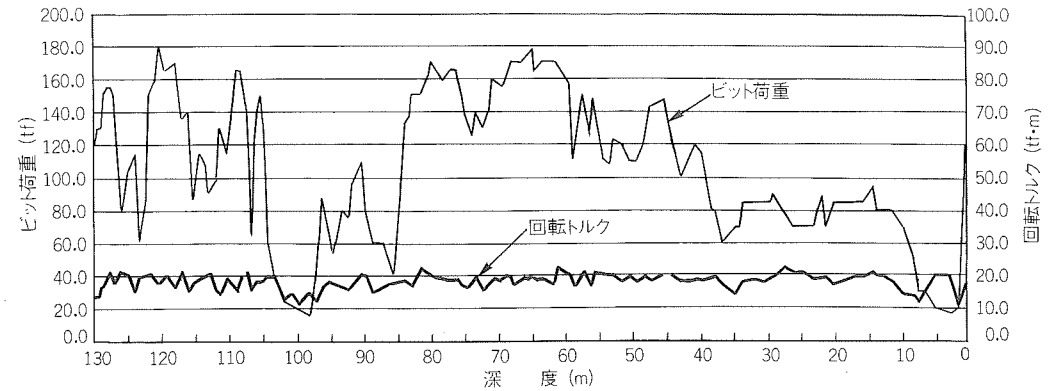


図-6 掘削深度と回転トルク・ビット荷重の相関

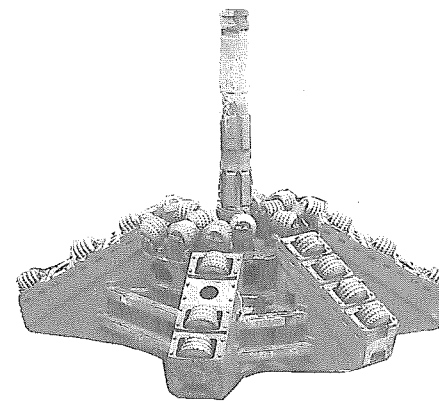


写真-3 リーミングビット

掘削深度と回転トルク・ビット荷重の相関を図-6に示す。回転トルクは15~20tfでほぼ一定ながら、ビット荷重は深度によって大きな差がある。これは、脆弱層では地山の崩壊や不連続面の存在によりリーミングビットが偏荷重を受け、ロッドやジョイント部が切断する危険があったため、意図的に荷重を下げたことによるものである。なお、リーミングビットの回転数は、掘削深度にかかわらず2.5~3rpmとした。

掘削初期段階では、パイロット孔壁から崩落した土砂がスタビライザーのブレード部およびその上部に堆積し、ロッドと孔壁間の隙間を埋めてしまったため、回転トルクが大幅に上昇し、そのたびにロッドを坑底まで降ろし、ロッドに付着している崩落土の除去を行った。さらに、25m掘削した時点では、回転トルクの変動が大きくなり、掘削速度が大幅に低下したため、ロッドを降ろしローラカッターを点検したところ、摩耗したローラカッターが認められたため交換(4個)の必要があった。

当初、掘削ずりは場外搬出する計画であったが、休山トンネル歩道部への盛土材とすることでリサイクル事業を積極的に推進し、コスト縮減を行った。

表-2 岩級別掘進量

岩級	深度(m)	パイロット掘削(m/日)	リーミング掘削(m/日)
D級	0~35	12.6	15.0
C級	35~117	7.6	3.9
B級	117~130	5.2	1.5
平均		8.0	4.0

3-6 施工結果

掘削実績としては、立坑掘削延長130mに対して、パイロット掘削実日数16.2日、リーミング掘削実日数31.2日(いずれも24時間稼働)で施工を完了した。これは日数の実績としてはパイロット掘削が平均8.0mで、リーミング掘削が平均4.0mに相当する。また、各岩級ごとの掘進量を表-2に示すが、岩盤が硬質になるにつれ、掘進量が減少する傾向が見られる。

4. 立坑覆工の急速化施工

4-1 概要

従来の立坑覆工では、一次覆工としては移動式型枠か、吹付けコンクリートを使用しており、また、二次覆工については、連続打設工法(スリップフォーム工法)が主流となっているが、一次覆工から二次覆工への段取り替えに日数がかかり、仮設備も槽などの設置で大規模なものとなる。

休山立坑は、上述したように大口径レイズボーリング工法を採用しており、掘削には従来の立坑施工に不可欠な槽などを組む必要はない。このため、コンクリート覆工方法についても工夫をすれば、全工期にわたり槽を組む必要がなく、軽微な設備で一次・二次覆工とも施工可能となる。

休山立坑で採用した立坑用急速覆工システムと従来工法を比較した場合の利点を下記に示す。

- ① 櫓などの大規模な仮設備が不要となる。
- ② スカフォードの構造が簡易なものとなる。
- ③ 一次覆工から二次覆工への段取り替えが簡易となる。
- ④ 二次覆工時の1日あたりの施工長が長くなる。

ここでは、経済的であり、かつ工期短縮も図れる覆工の急速化施工について述べる。

4-2 一次覆工

一次覆工は、坑壁がレイズボーリング工法で掘削を終了した時点では無支保の状態であるため、地表側から連続的に吹付けコンクリートを打設した。

吹付けの施工方法としては、スカフォード上で手吹きとする方法や、ミニショベルのアームにノズルを搭載し、アームの回転により吹付ける方法などが考えられる。しかし、手吹きはいうまでもなく、ミニショベルに搭載した場合でも、立坑坑内という狭隘な環境下での吹付け作業は、コンクリートのリバウンドや発生する粉塵により、作業員にとって大きな苦渋作業となる。また、ミニショベルに搭載した場合には、スカフォード上にミニショベルや湿式コンクリート吹付け機などを積載する必要があり、さらにミニショベルの動作の反力を確保する足場とする必要があるため、スカフォードを剛構造とする必要がある。しかし、剛構造とすることによりスカフォード部材の大型化が避けられず、支柱の裏側などで直接吹付け不可能な死角となる部分が発生する。

これより、深礎掘削における吹付けコンクリートの施工方法として開発された遠心力吹付け工法²⁾を一次覆工に採用した。この吹付け工法は、スカフォードから吊り下げて吹付け作業を行い、スカフォード上からの遠隔操作が可能であり、吹付け装置自体の重量も700kgf程度と軽量である。

さらに、圧縮空気を使用しないため粉塵の発生量が少ない。したがって、遠心力吹付け工法の使用により、①スカフォード下で吹付け作業を行うため、坑壁と吹付け機との間に足場などの障害物がなく、全周囲に均等な吹付けが可能となる。②作業員の作業空間にはリバウンドや粉塵が発生せず、苦渋作業から解放される。③スカフォードの軽量化が図れ、地上の巻き上げ設備も簡素化が図れる、という利点が得られる。図-7に一次覆工時のスカフォードを示す。

吹付け方法としては、全周にわたり同時に吹付ける方法と、一方向に集中的にコンクリートを吹付ける方法の選択が可能である。これにより、基本的に全周吹付けとし、キーブロックの崩落など部分的に坑壁が欠損した部分には一方向吹付けを行う施工方法とした。吹付け能力としては、実績として3~4m³/h、リバウンド率は15%

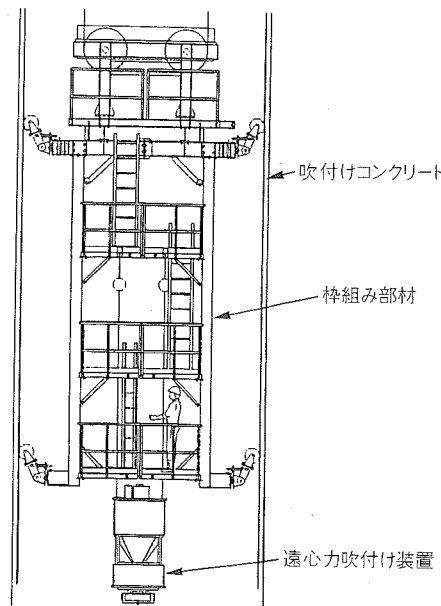


図-7 スカフォード(一次覆工)

表-3 コンクリートの種類

	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	最大骨材 (mm)	備考
一次覆工	18	10	15	N
二次覆工	18	12	40	BB

であった。

なお、昼間のみ施工とし、レディーミクストコンクリートを用いた。二次覆工を含めたコンクリートの種類を表-3に示す。

スカフォードまでのコンクリート供給は、2.9t吊り門型クレーンと1m³積みコンクリートホッパーを用いた。また、作業員の昇降は3人乗りのエレベーターを使用した。立坑覆工の仮設備を図-8に示す。

4-3 二次覆工

二次覆工の主流となっている連続打設工法は、一次覆工時の設備を撤去した後に新たな覆工設備を設置する必要があり、またコンクリートを断続的に打設するため、昼夜施工とならざるを得ない。

ここでは、一次覆工で用いたスカフォードを二次覆工にそのまま使用し、図-9に示すように、スカフォードの外周に型枠を上から吊り下げるという簡単な機構とした。

このため、一次覆工が終了した段階で、立坑下部の横坑内で遠心力吹付け装置を取り外し、二次覆工用型枠を組み上げ、スカフォード上部から吊り下げるだけで二次覆工が開始可能となり、実施工では4日間で段取り替え

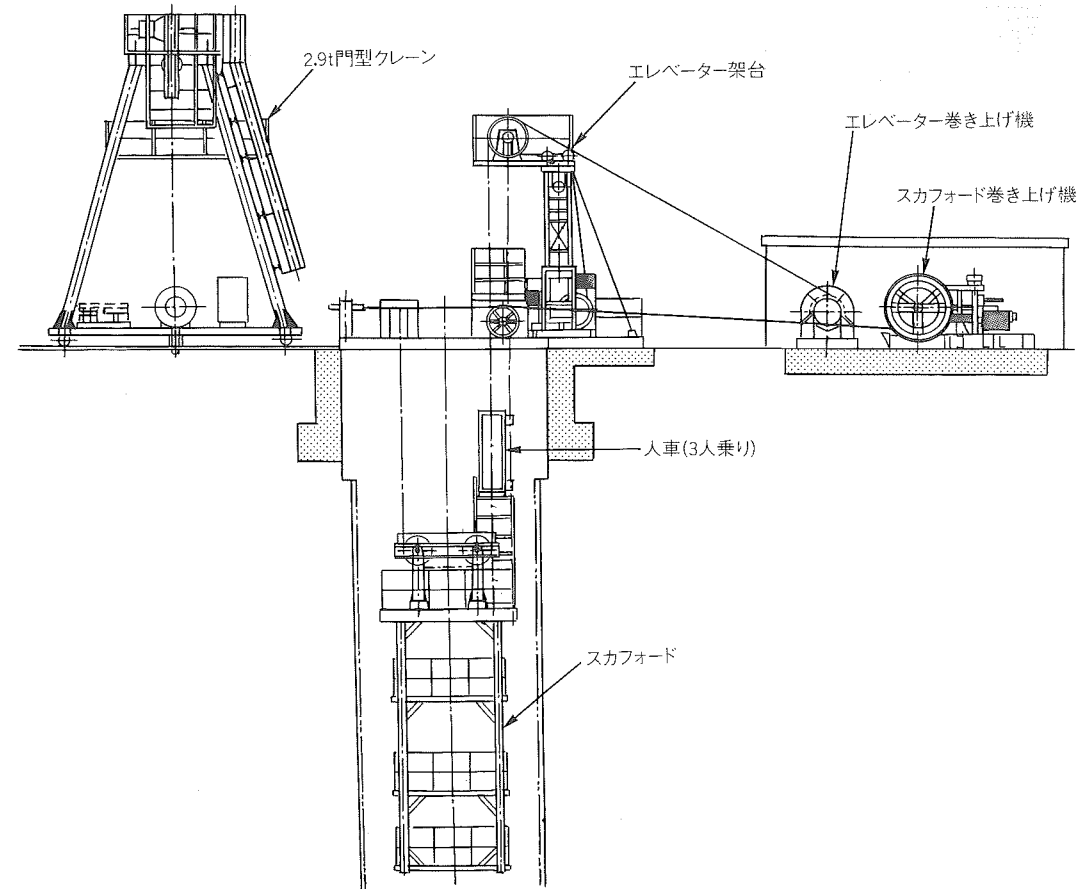


図-8 立坑覆工の仮設備

を完了し二次覆工に移ることができた。

サイクルタイムは、コンクリートの供給がクリティカルパスとなるために、深度によりコンクリート打設時間が増えるが、解体・移動に1時間、清掃・剝離材塗布・組み立てに2時間、深度100mでコンクリート打設に要する時間を6時間程度で計画し、型枠長さは4.5m(設計打設量25m³)とした。実施工では型枠組み立て時の重複部や型枠上部の余裕を除いても、1回のコンクリート打設で平均4.4mの打設が可能であった。これは、連続打設工法の昼夜施工で4m/日程度の進捗に比べ、昼間施工のみで十分な施工長を確保できる結果となった。また、深度が100m未満では型枠長を6.0mとしても十分打設が可能であった。

このため、夜間作業が不要となり、レディーミクストコンクリートで十分対応可能で、12時間以上の養生時間を得た後型枠を解体するため、コンクリートも十分硬化しており、コンクリート管理も容易であった。作業人員の編成を見ても、昼間のみ5人の作業で施工可能であったため、従来工法に比べ大幅な省力化が図れた。

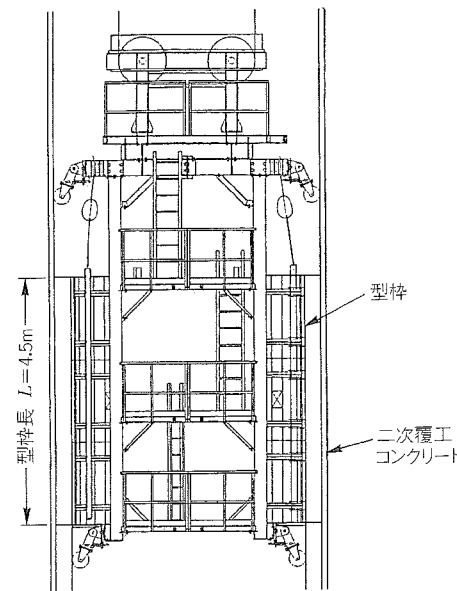


図-9 スカフォード(二次覆工)



写真-4 スカフォード(一次覆工)

写真-4,5に一次・二次覆工時のスカフォードの状況を示す。

5. おわりに

ここでは、換気立坑の急速施工方法について、国内最大径となるレイズボーラー工法による機械掘削と、新しい発想による同一のスカフォードを用いた一次・二次覆工方法について示した。

今後、市街地近傍における道路トンネルでこのような



写真-5 スカフォード(二次覆工)

換気立坑の需要が増加するものと考えられる。本稿が、今後の換気立坑施工時の一助となれば幸いである。

最後に、本トンネルの設計・施工に際し、ご意見・ご指導を頂いた「休山トンネル(仮称)施工検討委員会」の方々に厚くお礼申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 山田周一・石川庄嗣・土屋敏郎：制約条件の厳しい呉の市街地トンネル，国道185号線道路改良休山トンネル西，トンネルと地下，Vol.31，No.5，pp.7-13，2000.5.
2) 例えば，深礎杭のモルタル吹き付けを機械化，日経コンストラクション，11/22号，1996.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

- 1. 原稿は当社所定の投稿規定により執筆して頂きます。投稿規定は、本年1月号(Vol.33, No.1)巻末に掲載されています。また、ご請求があり次第お送りします。
2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお送りします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)

送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)



施工 PCパネルによる新旧トンネル接合部の処理
国道229号 新豊浜トンネル

赤坂雄司* 佐々木博一**
盛春雄*** 志田孝司****

1. はじめに

豊浜トンネルは、崩落した急斜面部を迂回し、隣接するセタカムイトンネルとをバイパストンネルで結び、一本の新豊浜トンネルとして、平成13年2月、被災から5年を経過して全面通行が開始された。

バイパストンネルと豊浜・セタカムイの両旧トンネルは、トンネル内で薄い交差角度(15°)で接合しているが、この接合部は超偏平断面となるため、この部分の掘削は、車両の通行を確保したままプロテクターを用い、緩みを最小範囲に抑える加背割りで行った(1)~(3)。

また、接合部の覆工は新トンネル開通後となるため、一般通行車両の規制をできるだけ少なくすることおよび早期の完成が求められた。

前報(1)(Vol.31, No.12)では、超偏平断面である接合部の設計・施工および計測結果について報告した。本稿では、新トンネル開通後、両旧トンネルの崩落側出口を閉塞した後に実施した、プレキャスト(PC)パネルを用

2. 概要

いたトンネル接合部の覆工工法について報告する。

2-1 トンネル接合部

新豊浜トンネルと旧トンネルの平面図を図-1に示す。接合部は、「中壁部」および「打ち増し部」と称する部分に分かれている。トンネル接合部の超偏平断面を標準断面に戻すための手段が中壁の構築であり、この中壁部は両トンネル接合部とも延長L=40mで厚さ45cmのRC構造となっている。

また、打ち増し部は、豊浜トンネル側が延長L=70m、セタカムイトンネル側が延長L=53mであるが、新設トンネル接合部の覆工が40cmであるのに対して、既設セタカムイトンネルの覆工厚さは30cmである。また、既設豊浜トンネルは在来工法によるものであったため、これを10cm分だけ覆工厚さを打ち増して接合部の構造的安定を図るものである。豊浜トンネル側、セタカムイトンネル側の接合部の平面図を図-2,3に示す。

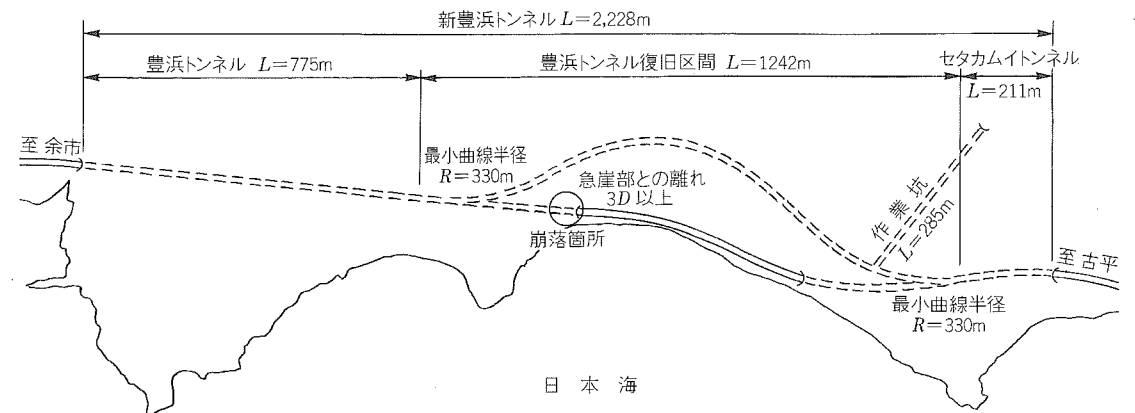


図-1 新豊浜トンネルの平面図

- *前田建設工業(株)技術研究所研究第1グループ課長
**国土交通省北海道開発局小樽開発建設部小樽道路事務所技官
***前田建設工業(株)北海道支店土木部部长(元)前田建設・草別組共同企業体豊浜トンネル作業所所長
**** " " 土木部主任(" 作業所主任)



『舞鶴の旅と一緒に』

藤原 春雄

皆さんは、舞鶴と聞いて何を思い出しますか。ちょっと考えて下さい。

舞鶴は、良くも悪くも明治維新後の時代の流れに翻弄された町と言えます。その結果としての文化遺産が多くあり、皆さんには、さまざまな思いがあるものと思われまふ。その思い出を語る記念館・見学場所へ御案内いたします。

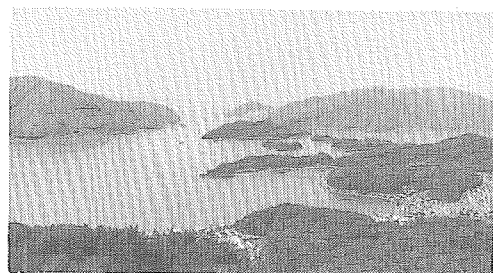
旅の始めは、西舞鶴駅近くにある舞鶴市民会館の郷土資料館に行きましょう。そこでは舞鶴の大まかな歴史がわかります。

郷土資料館を出ると、白色が映える城門があなたを迎えます。ここ田辺城資料館では、城下町舞鶴(田辺)の姿が見えてきます。

ここから車で国道27号線を進み、五老ヶ岳の五老スカイタワーで一休み。若狭湾が一望でき、青い空と海、そして緑いっぱいの山を満喫し、時と場所を忘れ、リフレッシュには最高のところですよ。

そこから山を下りて国道27号線を海まで走り、自衛隊の船をみつけたら、自衛隊棧橋に寄って見学しましょう。珍しい護衛艦の見学は、ドキドキすること請け合いです。

次に待つのは、赤レンガ倉庫群です。その中の市役所付近にある赤レンガ博物館・市政記念館に寄ってみましょう。明治に作られた赤レンガ建造物では、異国



発電所設置後の自然景観(五老岳より望む)

情緒を満喫できます。ここが気に入れば、市内各所にある赤レンガ建造物巡りも楽しいでしょう。

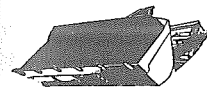
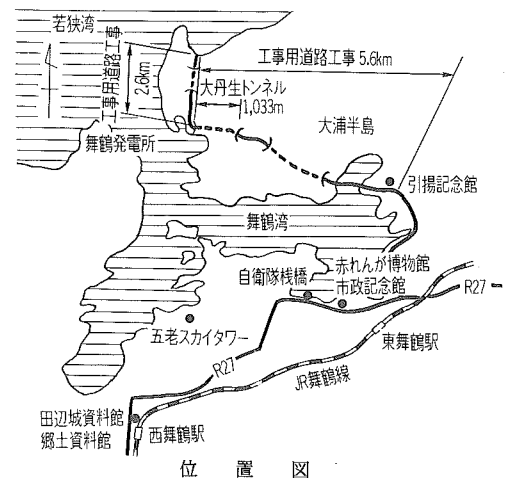
さらに国道27号線から、大浦半島に向かって車を府道に進めると、平引揚記念館があります。昭和20年から13年間にわたり、延べ66万人あまりの引揚者と約1万6千人の遺骨を迎え入れた喜びと悲しみの場所です。時間のある人は、先に進んでください。そこに当現場である舞鶴発電所新設工事・工事用道路大丹生トンネルがあります。

本工事は、増加する電力需要に備えて、関西電力(株)が舞鶴に建設する出力180万kWの火力発電所(平成15年運転開始予定)の一環工事として、本体工事の本格着工に先行して、1,033mの2車線工事用道路トンネルを建設する工事です。国定公園に囲まれた舞鶴湾に建設する発電所は、自然と環境との調和を大切にしています。工事中にも、その精神が生かされ、発破による振動・騒音を抑えるため、昼夜施工にもかかわらず、夜間の発破を行わずに施工したのが当工事の最大の特徴です。昨年の7月に東側から、11月には西側から向かい掘りをし、発注者である関西電力(株)の指導のもと、今年の4月28日に無事貫通式を迎えました。

現在は、企業体一丸となって無事故・無災害で一日も早い完成を目指して頑張っております。

さて、舞鶴の旅もここで終わりですが、一つ大事なことを忘れていました。舞鶴は、酒と魚がとてもおいしいところです。その後は、もう何の案内も説明もいらないでしょう。

(鉄建・大本共同企業体所長)



施工

標高1,790mから450mの立坑を掘削

一般国道158号 安房トンネル換気立坑

丹野 弘* 小原 誠 二**
鬼頭 芳弘*** 野村 貢****

1. はじめに

一般国道158号中部縦貫自動車道は、松本市を起点に中部山岳地帯を経て、福井市に至る延長約160kmの高規格幹線道路であり、北陸・飛騨地方と信州・関東地方を結ぶ重要な路線である。このうち、岐阜、長野の県境となる安房峠(標高1,790m)付近は幅員が狭く、急勾配に加えてヘアピンカーブが連続して、行楽シーズンには大渋滞が頻発し、観光バスなどの往来が困難をきわめていた。また、急峻な地形と火山地帯特有の脆弱な地質により雨期の通行止めも多く、とくに冬季は豪雪により毎年11月中旬から5月上旬までの約6か月にわたって通行止めとなり、幹線道路としての機能を十分に果たしていない状況にあった。

安房トンネルは、この諸問題の解決を目的として計画された「中部縦貫自動車道安房峠道路」の一部として建設されるもので、延長4,370m、第1種第3級の高規格幹線道路トンネルである(図-1)。

本地域は中部山岳国立公園第2種特別地域に指定されているとともに、中ノ湯側坑口は狭隘な谷地形、平湯側坑口付近は排気ガスの滞留しやすい盆地底という地形条件を有している。このため、トンネルの換気には、両坑口からの排気が少ない方式を採用する必要があり、両坑口から新鮮な空気を取り入れ、中央部の立坑から排出する「ジェットファン付き立坑集中排気縦流換気方式」を採用した。

トンネル本体の施工は昭和55年度の調査坑掘削開始以来、平成元年度に平湯側本坑、平成2年度に中ノ湯側本坑に着工し、平成7年4月に貫通、平成9年12月に供用を開始した。この間の調査坑や本坑の施工は本誌に

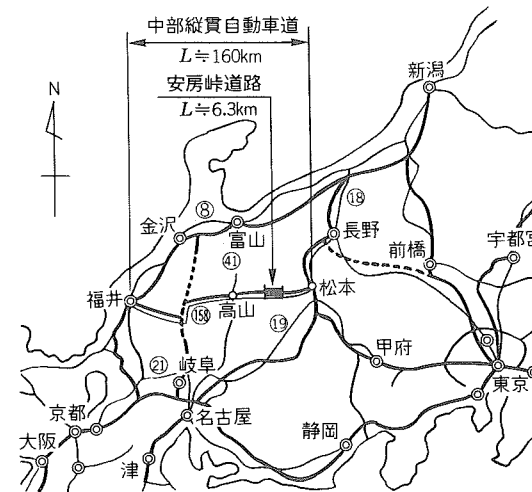


図-1 安房峠立坑位置図

数回にわたり報告されているとおり、高熱帯や高水圧、低速度帯に苦しめられた困難なものであった^{1)~4)}。

換気立坑は湧水除去に下部坑道を使用する計画のため、平成3年度に仮設棧橋および敷地造成を、平成4年度に水抜きボーリングを施工し地下水位を低減させた後、平成5年度からショートステップ工法により掘削を開始した。もとより冬季は豪雪により通行止めとなる安房峠の頂上での施工のため、冬季間は工事を行うことができず積雪6m、気温-25℃の環境下に開削設備一式を保管しての工事であったが、平成7年11月に地下換気所に貫通、平成8年11月に二次覆工および換気塔工事を完了し、平成9年度は仮設撤去および復旧工事を実施した。

2. 立坑工事概要

立坑掘削は発破による全断面切り下がりとし、交互築壁工法であるショートステップ工法を採用した。また、坑底接続部付近はNATMを導入した。

二次覆工はスリップフォーム工法により連続的に施工し、換気塔にはプレキャスト工法を採用した。通常、換

*財)先端建設技術センター研究第一部長
(前 建設省中部地方建設局高山国道工事事務所長)
**三井建設(株)名古屋支店土木部長(前 安房峠立坑作業所長)
*** " " 土木部(前 安房峠立坑作業所長代理)
**** " " 東京土木支店工事部(前 土木本部土木技術部技術第二課長代理)

表-1 工事概要一覧

工事名	中部縦貫道安房トンネル換気立坑工事	
工事場所	岐阜県吉城郡上宝村大字平湯～長野県安曇郡安曇村中ノ湯(県境)	
発注者	建設省中部地方建設局	
施工者	三井建設株式会社	
工事内容	立坑深度	450.7m
	一次覆工仕上がり径	8.1m
	二次覆工仕上がり径	7.5m
	一次覆工厚	40～50cm
	二次覆工厚	30cm

気立坑の仕上がり径が円形断面の場合、二次覆工は無筋コンクリートとするが、ここでは火山性の地山による一次覆工の劣化などを考慮して、二次覆工をビニロン短繊維による補強コンクリートとしている。

本立坑は土木工事における立坑としては現在、国内第4位の深度であり、仕上がり径7.5mとともに国内有数の大型立坑である。表-1に工事概要を示す。

3. 地形・地質の概要

安房トンネル換気立坑を含む安房峠道路は、北アルプスの活火山である焼岳を中心とする火山地帯を横断する道路であり、周辺には白谷山、アカンダナ山、十石山、乗鞍岳などの休火山群が連列された急峻な山岳地形となっている。安房峠は白谷山旧火山の溶岩が流れ、古生層に接して形成されたもので、基盤岩類と火山噴出物の境界付近は、安房平、小船沢、細池などの湿地や窪地が存在する地形となっている。

トンネル付近の地質はおおむね古生代二畳紀の粘板岩、チャート、砂岩などの堆積岩類と、これを貫く中生代～新生代第三紀の貫入岩からなり、これを第四紀の火山堆積物、扇状地堆積物などが覆う構造となっている。火山地帯のため、水平坑には中ノ湯高熱帯、平湯熱水帯などの高温岩盤が存在するとともに、平湯低速度帯と呼ばれた火山性堆積物が厚く堆積し大量の湧水を伴った区間が存在した(図-2)。

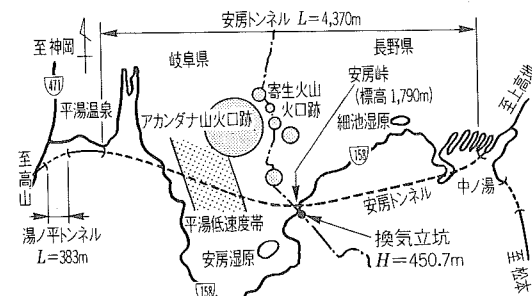


図-2 安房トンネル周辺図

立坑部は古生層の砂岩、粘板岩、石灰岩、チャートおよびその互層からなり、亀裂は多いが比較的堅固で、熱水や火山性ガスなどの影響はほとんどなかった。湧水は一時的に1.0t/minを超えたが、調査坑が既に貫通していることと先行した水抜きボーリングの効果もあり、工事に大きな支障となることはなかった。

4. 立坑の掘削計画と施工

4-1 掘削計画

換気立坑は安房トンネルのほぼ中央、岐阜県と長野県の県境に位置し、峠の標高は1,790mである。

立坑基地周辺は国立公園内にあることから、基地の設置にあたっては現状の地形を生かして改変をなるべく少なくするように最小限度の造成に留めて、不足分は鋼製栈橋を取り付けた。

一方、仮設備は狭い基地を有効に利用するため立坑櫓をタワーマシン方式(スcaffolding巻き上げ機を立坑櫓の中段に設置)とし、スcaffolding下段に4ブーム油圧ドリルジャンボを取り付けるなど、立坑設備全体の立体化と小型化を図った。その結果、峠わきの小尾根にほとんどの掘削設備を収めることが可能となり、付属のバッチャープラント設備と併せて非常に現地形の改変のない設備となった(図-3～5)。

ショートステップ工法は、穿孔、装薬、発破、ずり出し、一次覆工を1サイクルごとに行っていく工法で、切羽を掘削後直ちに巻き立てていくため安全性の高い工法である。本工法は昭和30年代に実用化され、国内炭鉱の立坑を中心に多くの実績があるもので、現在では山岳立坑掘削の標準工法とされている。1サイクルの掘進長は地山状況および自立性などにより1.0～2.5m程度に設計するが、本立坑では堅固ながらも亀裂の多い地山状況を勘案し、1.2～1.5mを1サイクルとすることにした。なお、ショートステップ工法の一次覆工には鋼製型枠を使用するため、1ステップの掘進長を調整する場合は、型枠の分割によって行った。また、下部に位置する調査坑(作業坑)および本坑が先行するため、ある程度水抜き効果が期待されたが、多量の湧水に遭遇する危険性もあることから水抜きボーリングを立坑掘削に先だって実施し、φ150mmの穴付きケーシングパイプを全延長に設置し、下部坑道に排水が可能となるようにした。

地下換気所との接続は、接続部周辺の地山が非常に亀裂の発達したやや不良な地山であったことから、換気所側の水平坑の掘削を立坑手前で終了しておき、立坑掘削時に切り破りながら接続することにした。この際、通気坑側の支保は事前に補強しておき、接続に伴う影響が地下換気所側に遠く及ばないようにした。この坑底接続部

周辺は事前調査および三次元解析により、大きな影響がでることが予想されていたので、立坑も坑底から18.05mはNATMによる施工とし、綿密な計測を併せて実施することとした。

ることとした。

4-2 施工実績

4-2-1 立坑上部

山岳立坑では本掘削に先立ち、スcaffoldingなどを坑内に収めるための立坑上部掘削を行う。平成5年8月までに坑口仮設備のうち、開削櫓などの本掘削設備を除く仮設備の設置を完了し、立坑上部の掘削(20.2m)に取りかかった。

立坑上部の掘削は機械および発破で掘削したずりをトラッククレーンで搬出して行った。この区間は風化が著しい砂岩で、肌落ちもみられたが、鋼製支保工を併用することにより地山を仮支保し、一次覆工をショートステップ方式にて施工した。

平成5年の冬季閉鎖までに立坑上部の掘削を完了し、スcaffolding、坑口ドアの設置および開削櫓の一部を組み立てた。この年の立坑掘削は約3か月間であり、月進6.2mであった。

4-2-2 本体部

平成6年は開削櫓の組み立て、落成検査などを経て、7月から本体部の掘削にとりかかった。

掘削当初は風化砂岩であった地山も一時粘土化し、湧水を伴う石灰岩となったが、深度75m付近からは比較的堅固となった。この不良区間は鋼製支保工を使用するC2～D3パターンで施工しており、7月および8月の月間掘削長はそれぞれ25.2mと22.8mであった。

深度86m付近からは比較的堅固なチャートおよび砂岩、石灰岩の互層となり、順調な掘削が行えるようになった。

本立坑のショートステップ工法では切羽と厚肉の一次覆工が約1.5mと非常に接近して施工されるため、側壁の自立が得やすく、亀裂が多い本地山でもかなりの区間

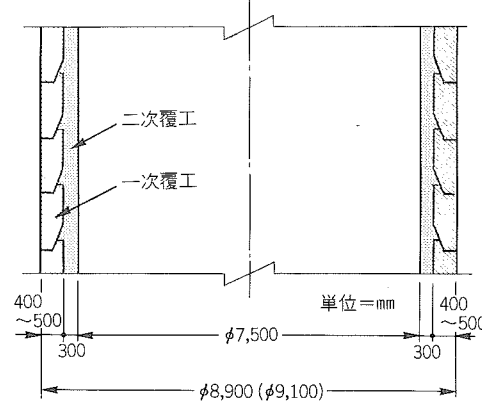


図-3 立坑標準断面図

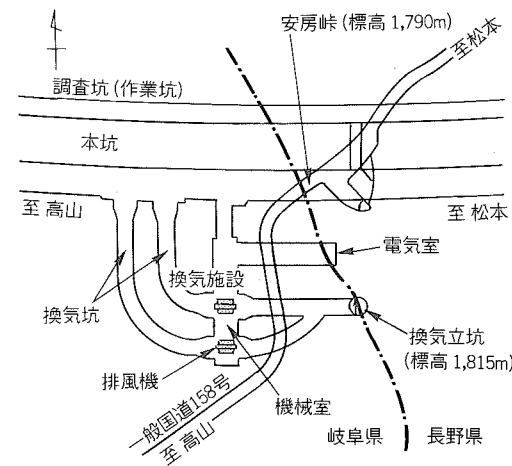


図-4 地下換気所平面図

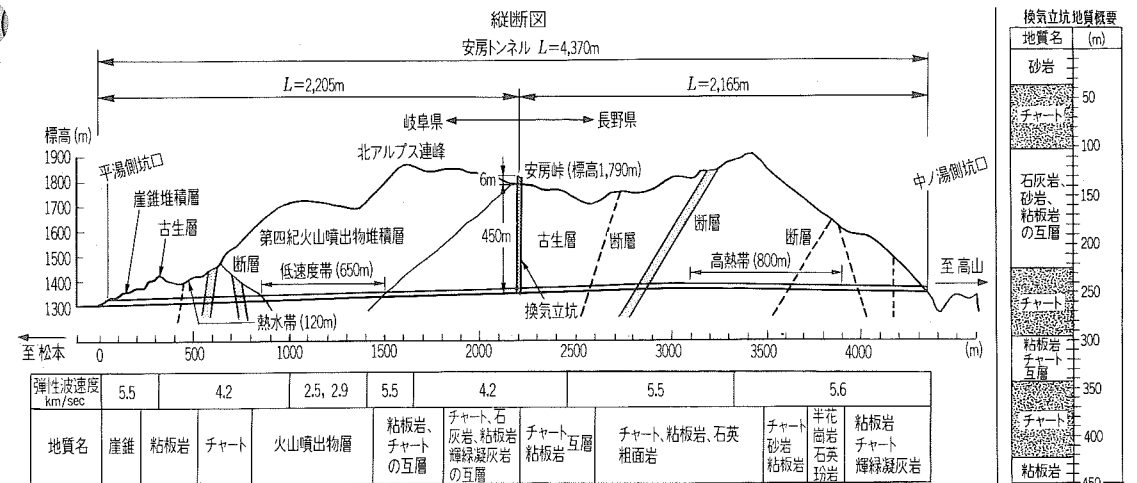


図-5 立坑地質縦断面図

弾性波速度 km/sec	5.5	4.2	2.5, 2.9	5.5	4.2	5.5	5.6					
地質名	産錐	粘板岩	チャート	火山噴出物層	粘板岩、チャートの互層	チャート、石灰岩、粘板岩、輝緑凝灰岩の互層	チャート互層	チャート、粘板岩、石英粗面岩	チャート砂岩粘板岩	半花崗岩石英粘板岩	粘板岩チャート輝緑凝灰岩	粘板岩

で鋼製支保工を省略した C1 パターンでの施工が可能であった。とくに深度 190m 付近までは目立った湧水もなく、順調な掘削が続いた。深度 150~200m の間は、一部石灰岩がみられたが全体的には安定したチャートで、本立坑における最高月進である 48.0m を平成 6 年 11 月に記録した。

平成 6 年は 12 月初旬まで掘削が可能であったため、立坑深度は 215.8m に達した。平成 6 年の掘削実績は 195.6m であり、一部不良区間もあったため、平均月進は 35.8m となった。

平成 7 年は仮設ヤードの除雪後、5 月から掘削を再開した。

平成 6 年 11 月ごろから湧水がみられるようになっていたが、5 月には最大 0.63t/min となった。湧水は暫時 0.4~0.6t/min で推移したが、深度 380m 以降は減少し、最終的に 0.2t/min で落ち着いていた。なお、湧水の温度、成分は随時調査していたが、温泉成分が検出されたことはなく、目立った水温上昇もなかった。なお、岩盤温度も当初は 7℃だったものが 17℃程度に上昇したがとくに目立った変化はなかった。

深度 215m 以深はチャートを中心とした粘板岩を狭にする地山が続き、湧水はあったものの比較的順調な掘削が続いた。

平成 7 年 10 月にショートステップ区間を終了し NATM に移行するまでの約 217m の平均月進は 38.3m であり、深度増加に伴うサイクルタイムの悪化、湧水の影響などを補って平成 6 年以上の掘進速度となった。表-2 に支保タイプ別サイクルタイムの例を示す。

4-2-3 一次覆工コンクリート

ショートステップ工法では一次覆工コンクリートの打設時間は短く、短時間の養生でセントル下のずりが撤去され、穿孔・発破が行われる。そのため、コンクリート

表-2 タイプ別掘進実績

タイプ	掘進長 (m)	暦日数	稼働日数	平均 暦日	稼働 暦日	1m あたり 所要時間
タイプ D	63.6	72	47	0.88	1.35	978min/m
タイプ C	348.9	282	206	1.24	1.69	781min/m
NATM	18.05	38	27	0.48	0.67	1970min/m

には早期強度が求められることから、火山地帯で比較的劣化の少ない高炉 B 種セメントに代って表-3 に示す配合を用いた。

立坑への搬入は 2 m³ コンクリートキブルを用い、キブル巻き上げ機でスカフォードまで降下、シュートにて型枠に投入した。

4-2-4 坑底接続部

坑底接続部は平成 7 年 11 月に NATM による施工を行った。接続に伴う水平坑および立坑への影響は事前解析からも指摘されていたので、立坑部、水平坑部、交点部それぞれに綿密な計測を配置して安定性の評価を行いながら施工した。接続に伴う影響は先行した水平坑側に大きく現れ、なかなか変形が収束しなかったが、増しロックボルトにより収束した。

施工は、スカフォードに設置した吹付け機により湿式吹付けを行い、ロックボルトは 1 ブーム穿孔機 2 台をそのつど搬入して打設した。

また、本区間は接続の影響区間であることから鋼製支保工を採用した。

立坑における NATM は作業工程が増える分、サイクルタイム的には不利である。接続に伴う作業性の低下や水平坑の補強などの作業もあり、NATM 区間の施工実績は月進 15.5m に留まった。

4-2-5 二次覆工

二次覆工は平成 8 年の工事となった。コンクリート打設はスリップフォーム工法により行い、コンクリートは掘削時に使用したコンクリートキブルを使用しキブル巻き上げ機により搬入した。

隔壁を持たない排気専用の換気スリップフォームの二次覆工は通気抵抗の軽減や、裏面に湧水をまわすことによりつららを防止することなどのために設置され、通常は構造的な検討は行わないが、本立坑では火山地帯であるため一次覆工の劣化が懸念されることから、二次覆工に一次覆工と同程度の偏荷重が作用しても安全なように補強を行った。

補強はビニロンの短繊維を添加することにより行った。ビニロン短繊維はスチールファイバーと同様、曲げタフネスの向上に寄与するものであるが、腐食しないなど、過酷な使用環境に適した補強材料である。本立坑の繊維

表-3 一次覆工示方配合 (kg)

W/C	S/a	SL	Air	G _{max}	C	W	S	25mm	40mm	硬化促進剤	WRDA
46.3	41.6	12.0	4.5	40	382	178	715	612	416	7.61	1.52
					121	178	273	230	153	45	

・使用材料 セメント：デンカ普通ポルトランドセメント(比重 3.16)
骨材：高原川産(比重 砂-2.62, 25mm-2.66, 40mm-2.7)
混和剤：AE 減水剤 ダーレクス WRDA(C×0.4%)

表-4 二次覆工立坑一般部および接続部示方配合

名称	S(kg)	W (ℓ)	細骨材(kg)	粗骨材(kg)	混和剤(g)	補強繊維(kg)
			砂	25mm	AE 減水剤	ビニロンファイバー
立坑一般部	350	175	830	913	3.59	6.6
接続上部	330	165	857	943	4.67	-

補強コンクリート配合を表-4 に示す。

5. 立坑仮設備

5-1 坑外仮設備

立坑基地は国道脇の鋼製栈橋より 25m 高い小尾根にあり、水平距離で 40m 離れている。現地形の改変を最小限に抑えるために栈橋から立坑基地までの資機材搬入設備としてインクラインを設置した。このインクラインは国道脇に設置したバッチャープラントから覆工コンクリートを運搬する大型トラックミキサーを立坑基地まで運搬するため、最大荷重 25 t の大型となっている。

バッチャープラントは国道脇に補強盛土により敷地造成して設置し、工事完了後は盛土とともに撤去し、元にもどす計画とした。

掘削ずりとは 1 キブルバケットごとに転覆シュートによりスキップに積み替え、鋼製栈橋までスキップで降ろしてから仮置き場に排土する計画とし、昼間のみバックホーでダンプトラックに積み込み、場外へ搬出した。

また、山岳気象に対応するため、仮建物を強風や積雪に耐えるものとしたり、襲雷警報装置を設置したりしたほか、巻き上げ機設備や給水設備、立坑槽の低温対策には万全を期した(写真-1)。

5-2 立坑掘削設備

立坑掘削設備は、立坑巻き上げ機設備、立坑用油圧ジャンボ、積み込み機および一次覆工設備などからなる。

立坑巻き上げ機設備は、キブル巻き上げ機、スカフォード巻き上げ機、人専用エレベータで構成される(表-5)。

従来、立坑用シャフトジャンボは坑口に仮置きし、穿孔のたびに搬入・搬出するものであったが、本立坑は掘



写真-1 立坑仮設備全景

表-5 立坑巻き上げ機設備の仕様

機器名称	キブル巻き上げ機	スカフォード巻き上げ機	人専用巻き上げ機
巻き上げ機設置場所	立坑広場(地上)	立坑槽中段	坑口(地上)
用途	運搬ずり、コンクリート、器材	スカフォード(作業床)の移動	人の運搬
電動機出力	500kW×1台	30kW×2台	90kW×1台
最大ロープ張力	12,200kgf	12,200kgf (12t×2条×2台)	2,740kgf
定格速度	190m/min	5m/min	150m/min
速度制御	直流サイリスタレオタード	ON-OFF	渦電流ブレーキ
使用ロープ	非自転 φ44mm	T6×ws(31) φ37.5	電らん φ24mm
荷重	ずり：4m ³ コンクリート：2m ³ 人：10人	スカフォード総重量 48,000kgf (ロープ自重含む)	人：6人

削径 9m の大断面であること、坑外での低温環境の保管を避けること、坑口設備の小型化を図ることなどを目的として、スカフォード下面に 4 ブーム油圧ジャンボを搭載する構造とした。スカフォードジャンボは水平ブームと垂直ブームを組み合わせることで、削岩機ロッドを垂直に維持したままの水平移動が可能になり、穿孔位置設定の作業性向上および穿孔精度の確保が図られた。

掘削したずりは、ずり積み機で 4 m³ ずりキブルバケットに積み込み、巻き上げ機で坑外に搬出する。立坑内でのずり積み機は機動性がよく、かつ作業環境の改善と維持管理の軽減が図れる 0.35m³ 級電動油圧ショベルを採用した。本機は立坑内での旋回を容易にするためショートアーム・ショートルーチ仕様とするとともに、油圧ブレーカを取り付け可能としたため、地山のあたり取りなど掘削補助に予想以上の成果を上げた(図-6、写真-2)。

6. 安全管理

本立坑の安全管理は次の 2 項を主眼とした。

- (1) 立坑作業の特殊性に関する安全管理
- (2) 山岳気象に関する安全管理

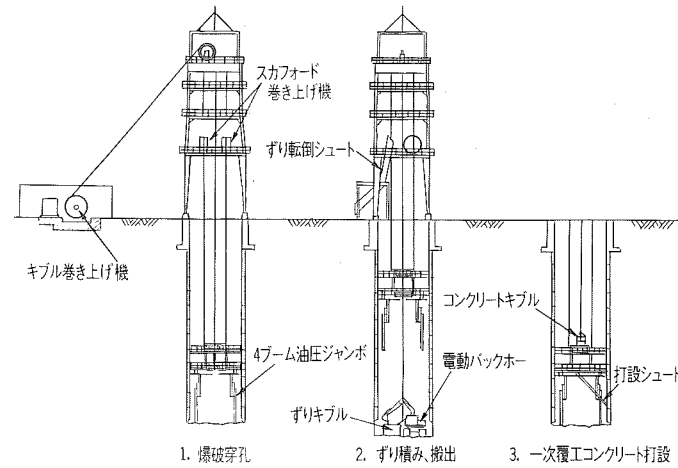


図-6 立坑施工次第図

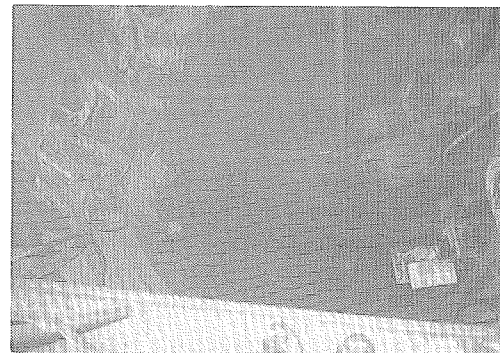


写真-2 立坑掘削状況

6-1 立坑作業の特殊性に関する安全管理

本工事では「労働安全衛生法」による安全管理のほか、一般土木では馴染みの薄い「鉱山保安法」を準用することで管理を行った。これは、「労働安全衛生法」の考え方が水平坑および比較的規模の小さい立坑を主眼としているため、大型山岳立坑においては設備および運用面でさまざまな問題を生じるため、「労働安全衛生法」に照らして答えのない問題に関しては、大型立坑を視野に入れた「鉱山保安法」の規定により解決を求めた。

6-2 山岳気象に関する安全管理

標高1,800mを超える山岳高地での施工となるため、次のような安全管理を行った。

① 雷対策

本立坑の位置は雷の多発する場所であり、雷検知と落雷が同時となる山岳部特有の雷が発生する。そのため、検知設備を充実させるとともに避難を徹底した。幸い、期間中に立坑内に落雷することはなかったが、作業員の避難は年間3～4回あった。

② 突風対策

下部の湿原から峠への上昇気流による25m/s以上の突風が10月以降多発するため、立坑作業は風速15m/sを基準として作業を中止した。また、突風の季節前にクレーン作業などを終わらせるように工程上配慮した。

③ 低温対策

各施設は厳寒期も立坑基地に保管することになるので、各機器は-40℃までの耐寒仕様とし、配管類もすべて保温筒と貼付ヒーターで対処した。また、立坑内の機器への湿度による悪影響を防止するため、冬季保管中も立坑内外に通電した。

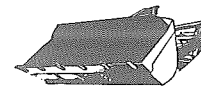
7. おわりに

安房トンネル換気立坑は大型立坑であるとともに、きわめて厳しい自然環境の中で施工した立坑である。仮設備の冬季保管を始めとして各作業の安全の確保・維持には万全を尽くしたが、無災害で完成できたのは関係各位の努力の賜物である。

現在、大型山岳立坑の需要は全国的に少ないため、工事経験は途切れがちであるが、立坑にはさまざまな用途が期待されており、非常に重要なトンネル技術の一つと言える。本立坑の施工実績が今後の立坑計画の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 竹内治夫・吉田啓一：高熱トンネルの施工性と挙動を調べる，トンネルと地下，1983.3.
- 2) 石河信一：火山噴出物の低速度帯に挑む，トンネルと地下，1986.6.
- 3) 松下敏郎：高熱帯と高水圧低速度帯を克服して調査坑が貫通，トンネルと地下，1992.3.
- 4) 成瀬清・鈴木辰弘・松山政雄：安房トンネルの本坑が貫通，トンネルと地下，1995.11.
- 5) 土木学会：山岳トンネルの立坑と斜坑，トンネル・ライブラリー，第7巻，1994.6.
- 6) 麻生博憲・片居木功・ほか：中部縦貫道安房トンネル換気立坑の仮設備，建設の機械化，1996.5.
- 7) 鬼頭芳弘・片居木功・ほか：深度450mの大型立坑の施工技術，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第3部，1996.9.
- 8) 野村貢・山地宏志・ほか：大型立坑における坑底接続部の設計および計測，土木学会第51回年次学術講演会講演概要集，第3部，1996.9.
- 9) 野村貢・山地宏志・ほか：立坑接続部の解析的計測と計測による評価，土木学会，トンネル工学研究論文・報告集，第6巻，1996.11.



施工 高強度吹付けコンクリートの施工試験

磐越自動車道 鞍手山トンネル

佐藤達雄* 三谷浩二**
遠藤祐司*** 細谷多慶****

1. はじめに

近年、山岳トンネルの大断面化、超扁平化が進んでいる。

トンネルライニング材として従来の吹付けコンクリートを使用した場合、設計厚が非常に厚くなりコスト増の原因となる。そこで、吹付けコンクリートの高強度化を図り、吹付けコンクリート厚さを薄くし、吹付けコンクリート量ならびに掘削量を減少することによってトンネル

建設コストの削減を図る必要がある。

高強度吹付けコンクリートの種類は、①シリカ質混和材料と高性能減水剤を用いた配合、②早強ポルトランドセメントと急結助剤を用いた配合、③エトリンガイト系混和材と高強度用急結剤を用いた配合、④新規セメントを用いた配合などに大別される。

今回の施工試験では、日本道路公団が進めている高強度吹付けコンクリートの開発において、高強度用急結剤と高性能減水剤の組み合わせによる配合を用いた。試験

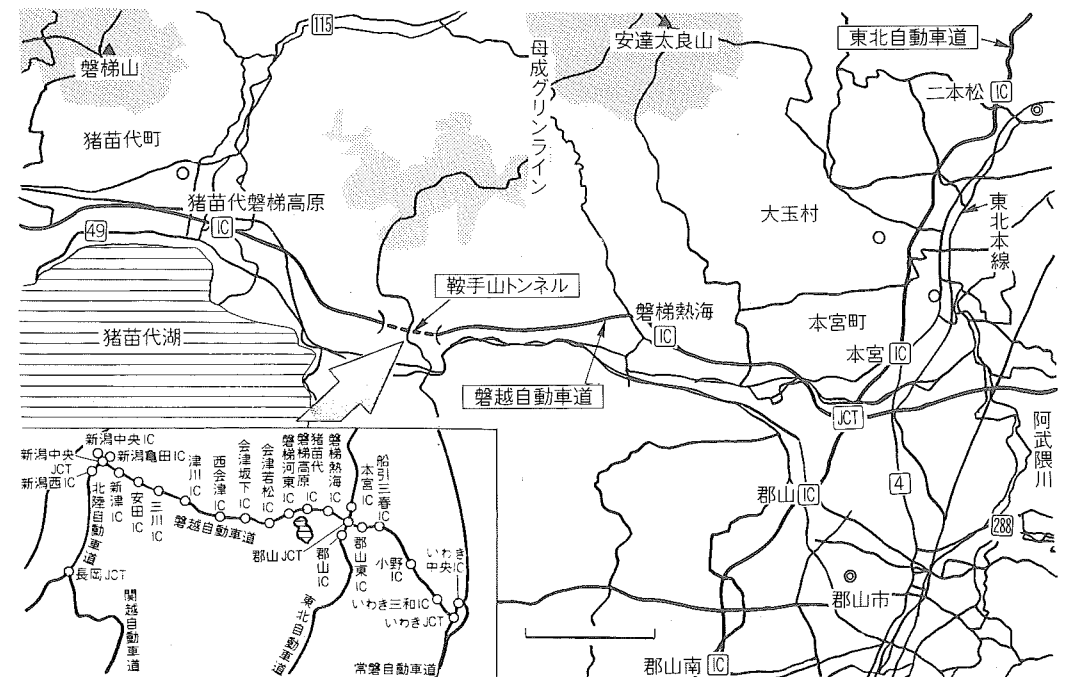


図-1 磐越自動車道鞍手山トンネル道路線図

*日本道路公団東北支社郡山工務事務所猪苗代工事区
** " " トンネル研究室主任
***アイサワ工業(株)・(株)地崎工業共同企業体鞍手山トンネル西作業所主任
****アイサワ工業(株)技術研究所

は、その施工性と品質を調査することを目的とし、鞍手山トンネル工事区間の30%にあたるL=344.85mを高強度吹付けコンクリートで施工した(図-1)。

以下に高強度吹付けコンクリートの現場施工試験結果を報告する。



「風の谷・谷汲村」岩坂トンネルより

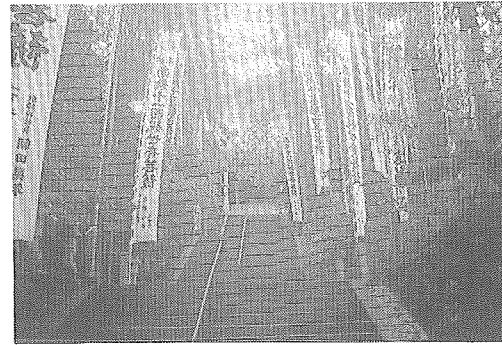
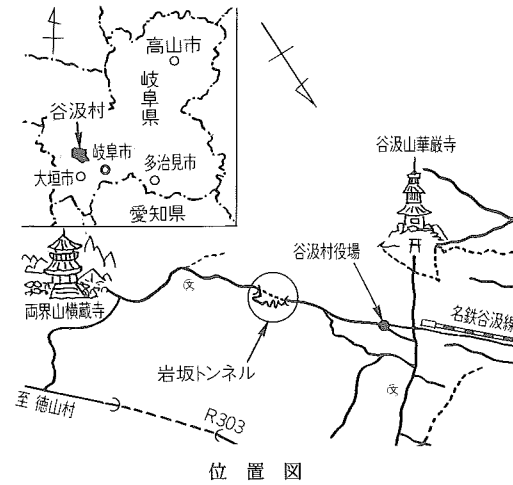
和田 孝 秀

岐阜県揖斐郡谷汲村は、岐阜県の西部に位置する人口約4,000人の山村である。谷汲村には、近隣に点在する観光名所のうち、谷汲山華厳寺と両界山横蔵寺がある。華厳寺は、地元から「谷汲さん」と呼ばれ親しまれている西国33番の満願霊場の札所である。また、横蔵寺は、美濃の正倉院といわれるほど、仏像や絵画、書籍が残されており、舍利堂には妙心法師のミイラが安置されている。このミイラは、何の加工もせず、天然自然に化身したもので、なぞとされている。

民族芸能としては「谷汲踊り」が有名で、鎌倉時代からの伝統を受け継ぎ、毎年2月17日には、華厳寺の仁王門前などで披露され、県の無形文化財にも指定されている。

近隣の観光名所は、根尾村の樹齢1500余年の日本最古の「淡墨桜」や105年前の濃尾大地震で出現した日本最大の断層「根尾谷断層」、春日村の「さざれ石」(国家「君が代」は、この春日村のさざれ石を見て詠んだものである)、揖斐高原、夜叉ヶ池、キャンプ場などがあり、県内外から、毎年多くの観光客が訪れる。昨年8月16日には、歌手の「さだまさし」と落語家の「笑福亭鶴瓶」が訪ずれ、NHKで全国ネットで放映された「さだまさし」の「風の谷から」は、谷汲村のイメージソングとなっている。

岩坂トンネルは、岐阜県が平成6年度に創設した



谷汲山華厳寺

「交流ふれあいトンネル・橋梁整備事業」の一貫としての主要地方道、山東本巣線のうち、谷汲村の名札と木曾屋地区を結ぶトンネルである。この路線は国道157号線と、国道303号線を結んでいる重要な観光および生活道路であり、計画地は、そのほぼ中間の岩坂峠に位置する。峠は幅が狭く曲がりくねっており、積雪のために事故が起きたり、大雨により土砂崩れが起きて通行止めになるなど、大変危険で不便な道である。

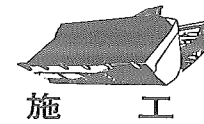
谷汲村民の半世紀の夢であったこのトンネルが開通すれば、1日あたりの交通量は、現在の約1,700台から4,500台へと3倍近くに増大すると考えられている。

地形は、中生層のチャートが主体の基盤岩である急傾斜の山地と、坑口付近の沖積世の崖錐性堆積物の緩傾斜面からなり、トンネル部は、地震断層として知られている根尾谷断層と関連する活断層である。地質は、中古性代の美濃帯に属するチャートが主体で、砂岩・頁岩が部分的に介在している。トンネル内空断面は66m²、トンネル延長は617m、3%の下り勾配で、NATMによる上半先進ベンチカット工法による機械掘削である。湧水は当初60m³/hと考えられたが、現在は12m³/h前後で安定している。

現在、上半370mを掘進中で10月の貫通を目指している。

地元村民の暖かい御支援のもと、工事完了まで、無事故・無災害で、竣工を迎えられるよう、職員一同一丸となって頑張っている。

(大日本土木(株)・(株)土屋組建設工事共同企業体所長)



NATM立坑と小口径TBMで湧水激しい層群に挑戦

仁淀川系導水トンネル築造工事

糸川 健児* 工藤 恭久**
横井 義一*** 太田 実****

1. はじめに

仁淀川取水事業は、年々増え続ける高知市の水需要に対応するため進められている水源開発、取水、導水、送水、配水施設の整備・拡充などの一環で、この中でも主要な事業である。この事業によって得られる水量は、1日120,000m³で、仁淀川河川敷内河床下に集水管を埋設、

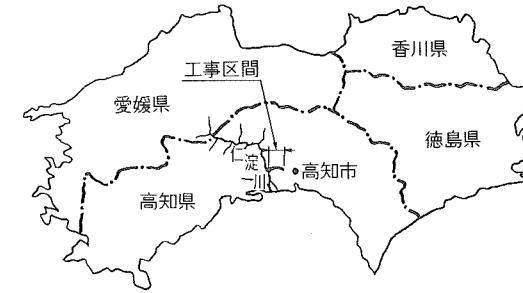


図-1 施工位置図

伏流水を取水し、取水所、導水トンネルを経て自然流下で高知市針木浄水場内の揚水所に導き、ポンプで浄水場に送る計画である(図-1, 2)。

当工事は、このうち、仁淀川取水所から針木浄水場内の揚水所までの導水トンネル区間3,884mをTBM工法で掘削し、発進立坑としてφ7.0~9.0m、深さ60.9mの立坑をNATM工法として計画した。

地質は、主として砂岩・頁岩および凝灰岩からなっており、導水トンネル部では、数か所の断層破碎帯などの弱層部が予想された。平成7年12月1日に導水トンネル部の掘進を無事完了したが、地質状況をふまえた立坑およびTBM掘進の施工状況と施工実績についてその概要を述べる。

2. 工事概要

工事概要は以下の通りである。

工 事 名 : 仁淀川系導水トンネル築造工事

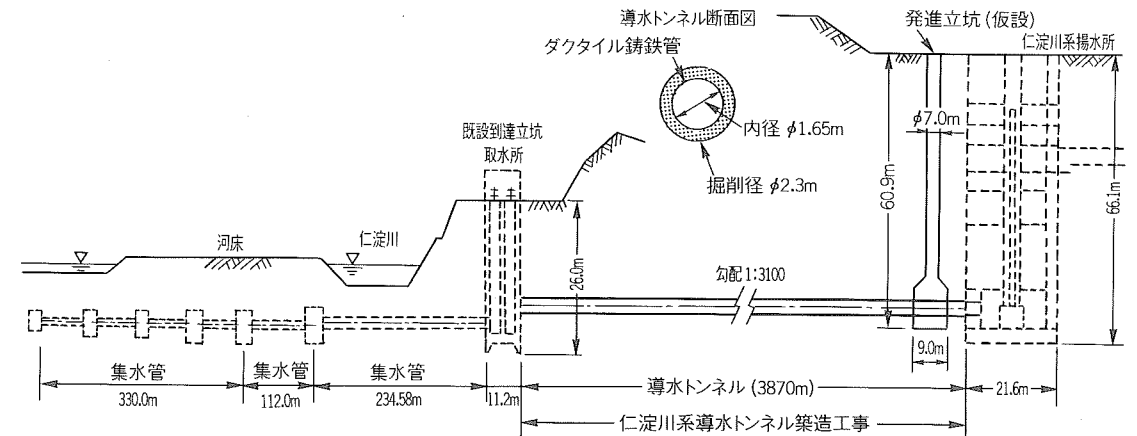


図-2 施設系統図

*高知市水道局配水課仁淀川取水工事事務所所長
** " " " " 建設技査
***熊谷・大林・香長・新進建設工事共同企業体仁淀導水トンネル作業所所長
****日本シビックコンサルタント(株)第二事業部技術第一部課長

企業名 : 高知市水道事業管理者(高知市水道局)
工 期 : 平成5年9月20日から平成9年3月20日
工事場所 : 高知市朝倉針木ヶ谷~吾川郡伊野町大字音竹

工事内容:

- 1) 発進立坑工 $\phi 7.0\sim 9.0m$ $H=60.9m$
土留め工法 GL \sim -13.5m ライナープレートを
用いた開削工法
-13.5m \sim -60.9m NATM工法
- 2) 導水トンネル工
 - ① 発破工法区間:
仕上がり断面 $4.4m^2$ $L=44.0m$
仕上がり断面 $10.9m^2$ $L=12.0m$
土留め工法
・パイプ支保工
・H型支保工
・掛け矢板
 - ② TBM工法区間:
掘削径 $\phi 2,300mm$ $L=3,805.7m$
圧碎式流体輸送方式
A区間(無普請 $L=2,102m$)
B区間(パイプ支保工 @1.5m $L=1,439.7m$)
C区間(パイプ支保工 @1.2m $L=147m$)
D区間(破碎帯部 セグメント $L=117m$)
二次覆工 コンクリート覆工
 $\phi 1,650mm$ $L=3,861.5m$
スチールフォーム2基

3. 地形および地質

3-1 地形

本地区は、仁淀川に沿う低地と鏡川の低地との間に挟まれた標高150m前後に達する丘陵地帯である。丘陵は、おおむね東西方向の山列を形成しており、甫木山から池ノ内南方を通る山体とバーガ森から池ノ内北方を通る山体に大別され、両者の間に、東西方向に伸びる盆地地帯が分布し、ここに池ノ内の各集落が点在している。なお、大奈呂から針木浄水場にかけては、標高100m付近の山頂部に平坦地形が発達しており、かつての河床(段丘面)である。この段丘面は、甫木山南方にも一部発達している。



図-3 地形平面図

3-2 地質

構成する地質は、御荷鉾構造線と、仏像構造線との秩父帯に属し、仁淀川断層の南側三宝山垂帯(三宝山層群)である。

三宝山層群は、中生代ジュラ紀後期(1億5000万年前)の砂泥互層と三疊紀~ジュラ紀前期(2億4000万年前~1億7000万年前)の石灰岩、チャートが取り込まれるように分布しており、これらの境界は断層あるいは泥岩層が未固結時に構造運動によって接触したものと考えられている(図-3, 4)。

これまでに実施された地質調査ボーリングの結果と立坑およびトンネル掘削時に確認された地質構成は以下の通りである。

(1) 砂岩層(Ss)

細粒~中粒砂岩を主体とし、部分的に粗粒砂岩が分布する。また、一部に珪質砂岩が認められる。単層の厚さは比較的厚く、塊状無層理の砂岩が多い。分布の規模は南方で厚く、甫木山付近では500mに達し、北方で粘板岩とくり返し分布し、徐々に薄くなる傾向がある。砂岩で形成される山体の風化深度は20m程度と推察される。新鮮部の岩質は良好で膠着力が強いが、亀裂部分は酸化を受け赤褐色を呈している。この周囲には東西方向の断層が発達し、角礫状に破碎された部分が見られ、このような劣化部が岩盤内の水みちとなっている(深度20mで200~250 l/min)。

(2) 粘板岩層(Sl)

黒灰色の泥岩を主体とするが、固結度(膠着力)の違いから頁岩、粘板岩も認められる。北部で比較的厚く分布し、砂岩、チャートをレンズ状に挟在する。破碎は、本層中に集中的に分布する。風化深度は30m程度と推定されるが、破碎帯を伴う部分ではさらに深い深部まで脆弱化している。

また、この地質は構造運動を激しく受けてきた古生層であることから、地層は岩盤であるが断層あるいは亀裂

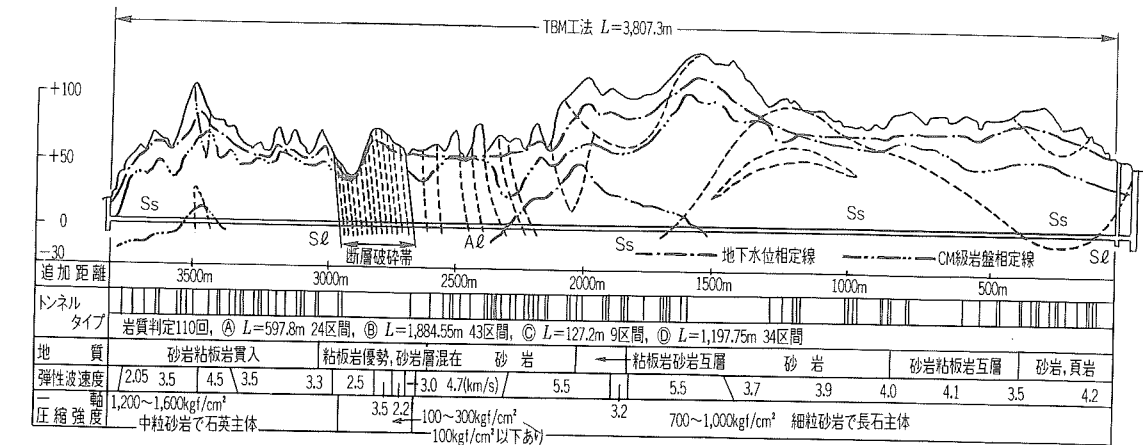


図-4 地質縦断面

を通じての水の動きがあると考えられる。すなわち、頁岩および凝灰岩は風化を受けかなり酸化されており、角礫状に破碎された部分が多く見られ、このような劣化部が岩盤内の水みちとなっている。

(3) 砂岩優勢砂岩泥岩互層(AI)断層破碎帯

砂岩中に粘板岩を挟在する岩相を示し、砂岩には葉理構造が認められ、工学的な異方性を強く示す岩相である。砂岩の比較的薄い部分では、砂岩はレンズ状に引き延ばされて、あたかも礫岩の礫のような様相を示す。風化の深度は30m程度と推定される。分布は粘板岩に密着しており、層厚は50m以下である。また、構造的な応力の集中した部分にあっており、断層破碎帯が多数発生している。さらに、断層破碎帯および風化帯は粘土化した部分と不均一化していることが多く、そのため、水を通すと考えられる。

4. 発進立坑施工(発破 NATM)

4-1 発進立坑の施工方法および仮設備計画

4-1-1 施工方法
発進立坑の基本的な施工手順は以下に示す通りで、施工区分として地山等級ごとに図-5, 6および表-1に示す3パターンの仕様で実施した。

4-1-2 仮設備計画
立坑掘削は図-7, 8に示す仮設備計画および基地計画にて実施した。揚重設備として4.6t吊りの移動式橋形クレーンを設置し、掘削機械設備として坑口より切羽が約15m程度掘進した時点で設置し、立坑掘削終了時までの掘削積み込み機として使用した。

4-2 施工経過

4-2-1 立坑掘削時の施工状況および問題点

(1) 遭遇した地質および湧水状況
当地の地質は主として砂岩・頁岩および凝灰岩からなっ

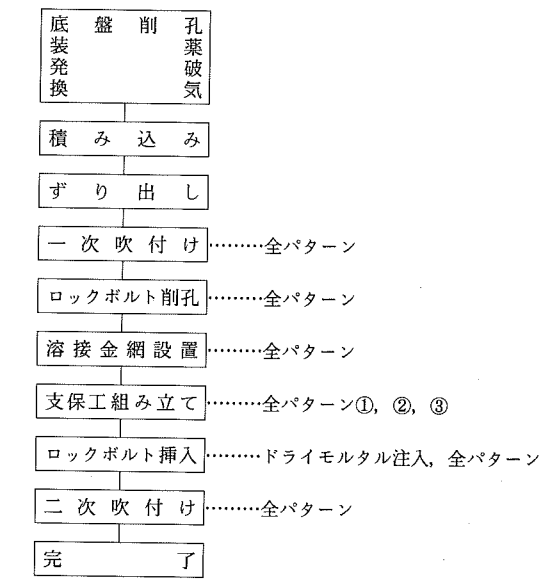


図-5 施工手順図

ており、砂岩と頁岩は互層状をなしている場合もある。頁岩および凝灰岩は風化を受けかなり酸化されており、角礫状に破碎された部分が多く、砂岩についても亀裂部分は酸化を受け赤褐色を呈している。

この周囲には東西方向の断層が発達し、角礫状に破碎された部分が見られ、このような劣化部が通水し(深度20mで200~250 l/min: 図-9)、岩盤内の水みちになっていると考えられる。

坑内観察調査によれば、表-2のように集約される。

(2) 掘削状況

当初の予想より多量の湧水量となった。当初2インチ水中ポンプを設置していたが、ロックボルト孔および土平、さらには切羽からも湧水が認められたため水中ポンプを3インチに切り替え、切羽に設けた釜場より揚水し

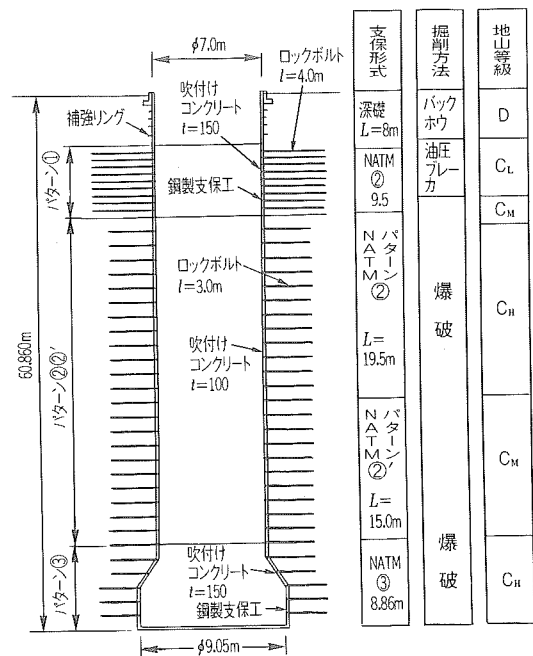


図-6 発進立坑施工区分

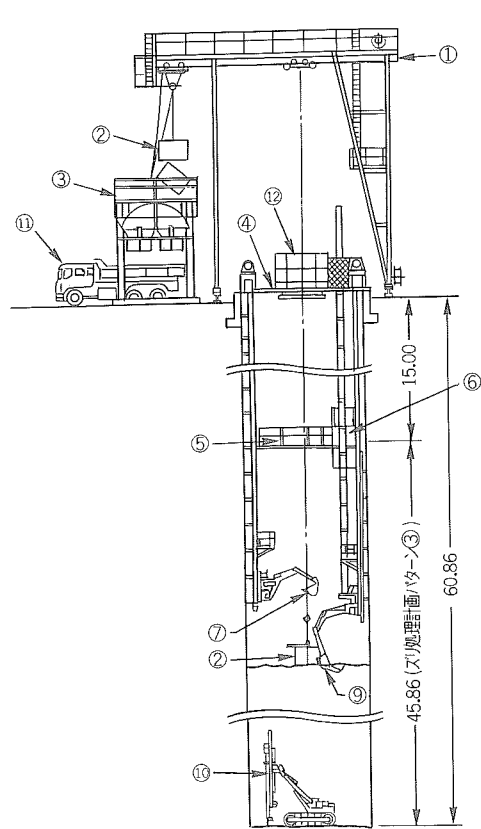


図-7 仮設備計画

番号	名称	数量	仕様
1	橋形クレーン	1	吊り荷重4.6t
2	ザリバケツト	2	容量2.4m ³
3	円形ホッパー	1	容量40m ³
4	地上フロア	1	開閉蓋
5	計測架台	4	幅650mm(手摺付き)
6	エレベーター	1	3人乗り240kg
7	ザリ積み込み機	2	油圧式0.13m ³
8	非常用梯子	1式	幅300mm長さ約8m
9	油圧ブレイカー	1	
10	1ブームクローラドリル	1	全重量4.6kg,全幅2.25m
11	ダンプトラック	1	11t
12	転落防止柵	1式	

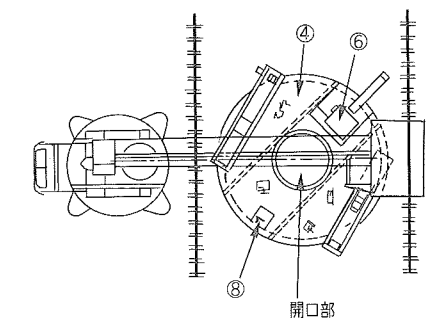


図-9 発進立坑湧水量変化図

表-2 坑内観測結果

①切羽の状態	安定または鏡面から岩塊が抜け落ちる。
②素掘り面の状態	自立または時間がたつと緩み肌落ちする。
③圧縮強度	100 > σ _c > 200 : ハンマー打撃で砕ける。 200 > σ _c > 50 : 軽い打撃で砕ける。
④風化変質	岩目に沿って変色(強度やや低下)全体に変色(強度相当に低下)土砂状粘土状破砕(当初より未固結)
⑤割れ目の状態	部分的に開口, 開口または粘土を挟む(当初より未固結)
⑥割れ目の形態	ランダム方形または層状・片状・板状
⑦湧水	全面湧水
⑧水による劣化	なし, または緩みを生ず。

た。また、当初はTBM掘進時から濁水処理施設を設置し、稼働を始める設計であったが、湧水量が多くなり急遽ヤード内にpH処理装置(処理能力12m³)を設け、希硫酸、PACにて処理、排水を行うこととなった。

(3) 発破作業状況
湧水の多い場所では、発破電流のリークによる不発を防ぐため、結線部に防爆シートを掛け、結線部からの発破電流の漏洩を防いだ(発破回路確認のための導通試験

表-1 施工パターン仕様

パターン①	ロックボルト			吹付けコンクリート	溶接金網	鋼製支保工
	長さ	周方向	延長方向			
余掘り	17cm	4.0m	20°	1.0m	15cm	1.0m
パターン②						
余掘り	17cm	3.0m	24°	1.5m	10cm	—
パターン②'						
余掘り	17cm	3.0m	24°	1.5m	15cm	1.5m
パターン③						
余掘り	17cm	4.0m	20°	1.5m	15cm	1.5m

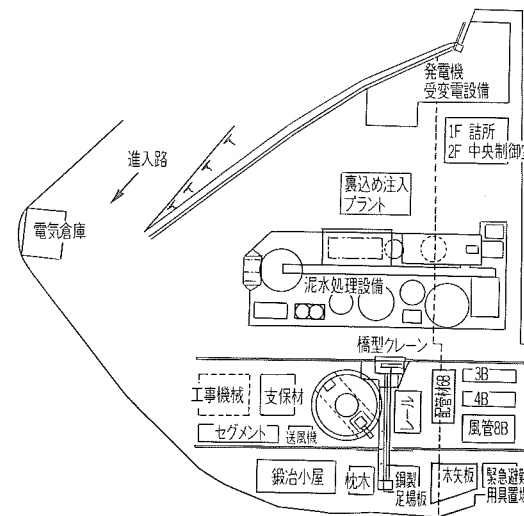


図-8 仮設備基地平面図

を毎回実施)。また、土平からの湧水が多い部分に透水マットを貼り集水し、後部に導き揚水した。

削孔時の孔への影響は切羽全体が湧水状態となり、孔の確認ができずらく、装束も容易ではない状況であった。(4) 吹付け施工状況

地山が湿潤で通常の急結剤添加率より多く必要とする箇所が多発し、とくに割れ目より湧水する箇所では、付着したコンクリートが剥離したり流される状況であった。このため、急結剤を増加する方法で早期に凝結させ水量を押えることで対応した。

(5) ロックボルト施工状況
地中変位計より8ℓ/min程度、ロックボルト全孔より3~8ℓ/minの湧水が見られた(定着材はドライモルタルとCタイト(早強タイプ))。

湧水量と湧水圧によっては全面接着効果が得られないため、試験施工としてカプセル方法(Cタイト(標準タイプと湧水タイプ))にて、施工したが、孔くずれがありCタイトの不完全な施工となり、計画より本数を多く使用しなければならず、ドライモルタルとCタイト(湧水タイプ)で施工することとした。

(6) 施工上の問題点
① 地層からの集中湧水や多量の恒常湧水は、地山の軟弱化を促進し、施工上大きな問題となる。この結果、支保工基礎地盤の支持力の低下および沈下が生じ、偏圧、崩壊の危険、流砂現象による切羽(土平)における地山の流失など、施工条件の悪化を招くことになる。

② 湧水により、当立坑北側に位置する民家の井戸枯れ、水温、水質の異状など、生活環境に及ぼす影響が懸念された。また、大きな水頭を持つ湧水が生じた場合は、砂礫や岩塊が土平から流出し、崩壊事故につながる可能性もある。

③ 発破作業において、装束前に漏洩電流を調べているとはいえ、ポンプが作動している以上、迷走電流に対して100%安全とは言えず、安全管理の面から問題がある。

④ 多量の湧水がある場合は水中発破のようになり、近接孔の発破の影響により不発を生じる恐れがある。4-2-2 過剰湧水に対する対応策

(1) 対策工法
当該立坑施工(発破NATM)に伴う、施工上の大きな問題点は、現況の湧水量をいかに低減させるかである。現在の湧水量は15~16m³/hを水中ポンプだけで処理するには、その能力の限界や安全性・施工性(掘削・発破・吹付け・ロックボルト)・周辺環境などに対する影響な

表-3 対策工法比較

対策工法	適用比較	評価
①止水注入工法	切羽自体に止水削孔を行うものであるが、当施工ではロックボルトがあるので不適当である。	×
②地盤注入工法	地盤にセメントペーストまたは化学物質を注入して地下水を遮断する工法であるが、地中の状況を十分把握しておかないと無駄となる可能性が高く、工事費が高い欠点がある。	×
③ディープウェル工法	掘削底面以下まで排水用井戸を掘り下げポンプアップする方法で、ヤードの制限がある場合など狭い範囲で深く掘る場合に適するもので、当現場においてはもっとも適している。	○
④バキュームディープウェル工法	ディープウェル工法の井戸上端を粘土などで大気と絶縁して積極的に吸水し、排水能力を高める方法であるが付近に漏水をもたらす場合がある。当現場では北側120mに民家があり、井戸より生活水を採っているため不適当と考える。	×
⑤イコス工法	ベントナイトを混ぜた泥水を送り、孔壁の崩壊を防ぎながら機械掘削する方法で地中の止水壁などに用いられる。これは、特別な機械設備を必要としないが、工期的な問題がある。	×

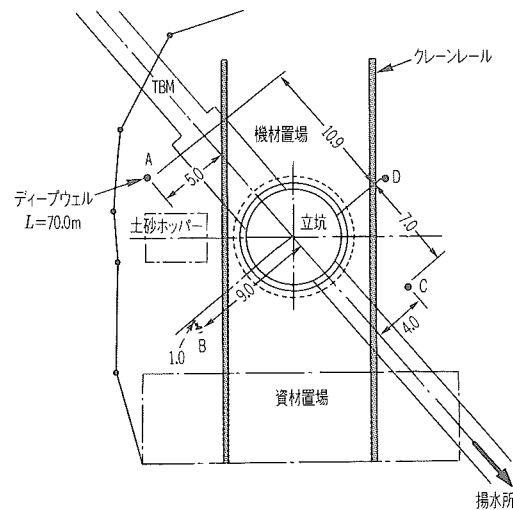


図-10 ディープウェル施工位置図

の問題がある。このため、具体的な対策工法として表-3に示す工法を挙げ比較検討を行った。

この結果、当該施工ではディープウェル工法を採用した。

(2) 揚水か所および深度の検討

- ① 当地におけるディープウェルの揚水か所は岩盤中となり、その裂か水の水みちの位置や深度は不明確である。
- ② 現在のヤード状況(制限)から考えると、図-10の施工位置図より4か所の施工が可能と考えられるがTBMの掘進時においてはB点は資材置場となり、C点、D点は泥水プラント設備の設置場所となる。

①、②の条件を考慮し、試験的に1孔(A点)のみを施工し、削孔深さは地質性状などから、掘削底面より約10m程度下(70m)とした。さらに必要と判断されれば、C、D点での施工を行うこととした。また、この対応策の他に、湧水により脆弱化した周辺地山に対応した支保工を設計上の支保ピッチ(@1.5m、掘削長1.8m)に対し、1ランク落とした施工パターン(@1.2m、掘削長1.5m)に変更した。

5. トンネル施工(TBM)

5-1 TBM仕様

TBMの概要図および主要諸元は、図-11、表-4に示す通りで、以下の特徴を有する。

(1) TBMの構造

- ① シールド構造の採用によって硬岩層から破砕帯を含む軟弱地層まで幅広い地質の掘削ができ、さらに着脱式面板の設置などカッタヘッドの面板に工夫を加えた。
- ② 本体が2か所で中折れできる構造となっているため、容易にカーブ掘進ができる。
- ③ カッタ交換は切羽前面に出ることなく、機内より安全に交換できる。
- ④ カッタヘッドは油圧駆動方式としているため、地質に応じた回転数が選定できる。

(2) 流体輸送

- ① 掘削とずり搬出が同時に連続的に行えるので能率がよい。
- ② 切羽は隔壁によって密閉され、掘削ずりは水とともにパイプ内を流れるため粉塵の発生がなく、坑内の空気は清浄に保たれる。
- ③ ずりトロの運行がなく、資材搬入用の運搬車の運行のみであるので、坑内通行は安全である。
- ④ 比較的大量の切羽湧水に対応できる。
- ⑤ 機内には送排泥管を通すだけなので、口径の割に機内有効スペースが大きくとれメンテナンス性がよい。

5-2 施工経過

5-2-1 トンネル掘削時の施工状況

(1) 掘削状況

トンネルの地質は、当初のボーリング調査で予測したものと大きく異なり、砂岩・粘板岩の互層、固結度の低い泥岩が主体となり、さらにこれらの不整合面が現れ、掘進に直接影響するほどではないがかなりの湧水を伴った。200~250m程度と見られた断層破砕帯の掘進に際しては、逐次坑内より先行ボーリングを実施し、地質および湧水状況の確認を行い薬液注入も考慮した。しかし、

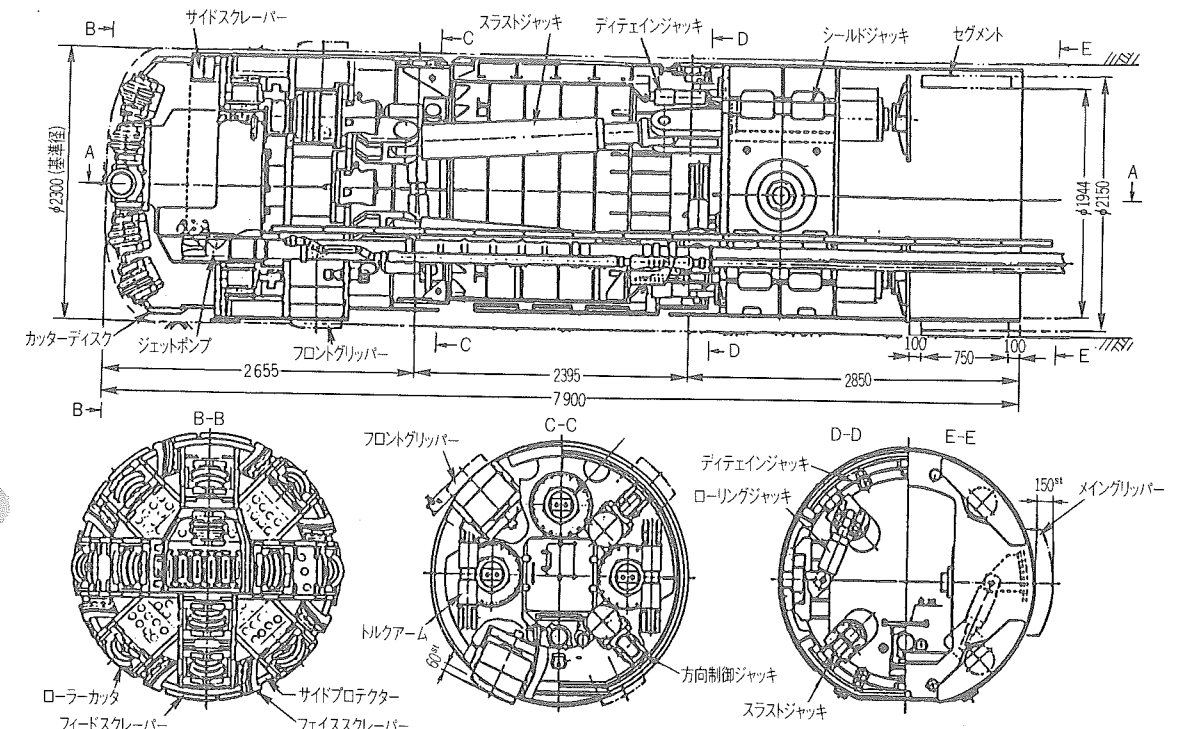


図-11 TBM概要図

表-4 掘削機主要諸元

掘削径	mm	2300
本体長さ	mm	7900
機械全長	m	約75
総重量	t	約90
装備電動機総出力	kW	約445
電源(1次~2次)		3.3kV
カッタヘッドトルク	t-m	最大30
カッタ装備数	センターカッタ	set 5
	インナーカッタ	set 8 (16リング)
	ゲージカッタ	set 4 (4リング)
カッタヘッド回転数	r.p.m.	0~9 (6段階)
主催推進力	t	最大260
主催進ストローク	mm	1000
補助推進推力	t	最大400
補助推進ストローク	mm	750
グリッパ推力	t	最大600
グリッパ接地圧	kg/cm ²	最大37
グリッパストローク	mm	150
ローリング作動角度	度	±2.4
ジャッキ押し出し速度	mm/min	最大85
設計カーブ半径	m	70
流体輸送能力	m ³ /min	1.7

先行ボーリングの結果、破砕帯は脆弱化しているものの湧水は0~5 l/minとほとんどなく、掘削工程に多大な影響は生じなかった。図-12に実績進捗図を示す。

(2) 湧水状況

湧水は全体に砂岩層において多く見られ、図-13に掘

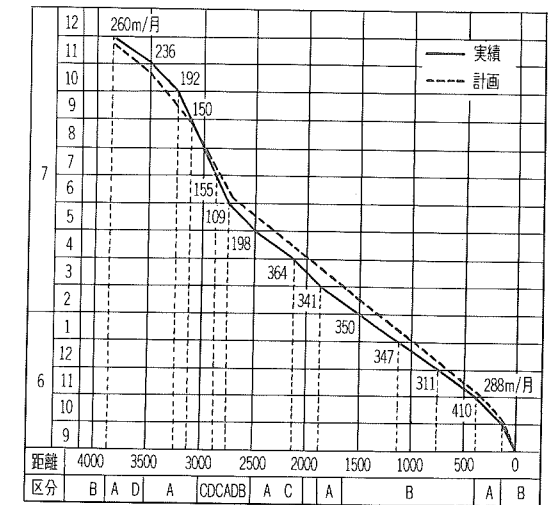


図-12 計画工程および実績進捗図

進長別の湧水量変化図を示す。

断層破砕帯区間(2,647m~2,908m)より発進側は、長石主体の細粒砂岩で比較的柔らかく潜在クラックが多く見られ、最大でも3m³/h程度の湧水がいたる所であった。反対の到達側は石英主体の中粒砂岩で、硬質であり潜在クラックは少ないが粘土の狭存など、砂岩との接面で開口節理(亀裂)が比較的大きく、異常出水を含む20~30m³/h以上の湧水か所が現れた。

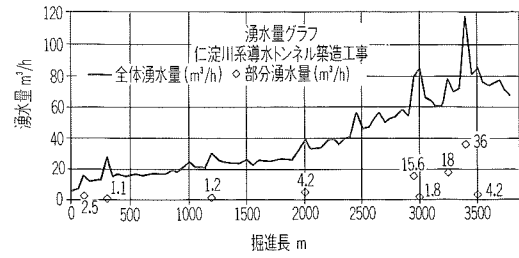
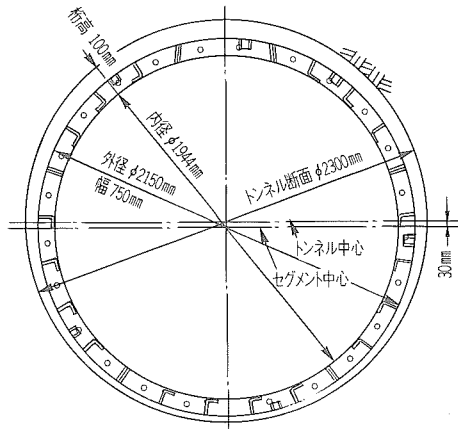


図-13 掘進長別湧水変化図



低膨潤型水膨潤性シール材(3倍型W20X14) リング間、ピース間全周貼り

図-14 セグメントおよび止水構造

5-2-2 湧水か所および断層破砕帯に対する対応策

湧水か所では地表水の低下による周辺環境への対策として、また、断層破砕帯では施工中の安全性確保として以下の対応策を実施した。

(1) 溝付き鋼製セグメントの活用

多量湧水か所では最大水圧 5kgf/cm² 程度を見込む溝付き鋼製セグメントを積極的に活用した。また、このセグメントの止水性を高める必要から、耐水圧性能 7kgf/cm² 程度の高水密性シール材を採用した(図-14)。

セグメントの設置判断については、掘進中での湧水範囲の特定が難しく、施工上の安全性、将来の地下水位の低下を考慮して、結果的にセグメントの使用率は湧水状況の変化により、全延長に対し 27% 程度となった。

(2) 早期裏込め注入の実施

多量湧水か所でのセグメント使用区間では、セグメン

トと地山の間には閉塞壁を設け、早期裏込め注入を実施した。

注入材料は水に希釈されにくい瞬結の 2 液型粘土モルタルを使用した。この結果、湧水区間ではほぼ完全に地下水は遮水され、井戸観測などから地下水の回復傾向が伺えた。

(3) 断層破砕帯での先行ボーリングの実施

断層破砕帯区間では、坑内切羽にロータリーパーカッションドリルを設置し水平先行ボーリング(ノンコア)を実施した。6 回実施した結果、湧水は 0~5 ℓ/min とほとんどなく、風化はしているものの先行薬液注入などの湧水対策を実施することなくセグメントの使用にて掘進が可能であった。

破砕帯の通過確認は、一般部の削孔時間を基に 1.5m/本が 5 ロッドで 250~430 秒続いたため通り抜けたと判断し、先行ボーリングを中止した。

5-3 二次覆工計画

5-3-1 覆工構造の考え方

予想以上の湧水か所の出現により、これらのか所ではセグメントによる一次覆工と早期の裏込め注入の実施により湧水量を減じる対策を講じたが、注入圧から判断すると 7kgf/cm² 程度に及ぶ湧水圧が作用していることが確認された。

また、当該ルート地域周辺は、高品質の果実を生産する果樹園を有するなど、地表水の低下や流出は耕作物や井戸などの周辺環境や水質への影響が大きい。

このため、トンネルは将来の維持管理、周辺環境を考慮し完全防水が可能となるような覆工対応が求められた(表-5)。

この結果、当トンネルとして基本的に考慮しなければならない要素としては、以下に示す 3 要素に集約され、これらを満たす覆工構造としては内管式(ダクタイル管)による覆工構造とすることが望ましく、これを採用することとなった。図-15 にその評価フローを示す。

- (1) 地下水の現況復元(周辺地区からの要望) → 供用後のトンネル内への導水・排水は不可
- (2) 覆工コンクリートの品質確保 → 湧水・漏水などのない覆工構造の確保
- (3) 将来的な維持管理を考慮した半永久的な覆工構造の確保 → 投資効果に反映可能な維持管理・長期の安定に共する構造

5-3-2 二次覆工計画概要

二次覆工工事は、当初のコンクリート覆工仕上がり径 φ1,650mm からダクタイル鋼鉄管 φ1,500mm による布設工へと変更となったことから、ここでは簡単にその計画概

表-5 覆工構造比較表

防水機能上の設定条件	トンネル覆工構造		湧水・漏水上の問題点
	無筋コンクリート	鉄筋コンクリート	
高水圧 導水・排水→不可	高水圧 導水・排水→不可	高水圧 導水・排水→不可	高水圧 導水・排水→不可
トンネル覆工構造	無筋コンクリート	鉄筋コンクリート	鉄筋コンクリート
湧水・漏水上の問題点	・シールド防水 ・裏込め注入 ・打継ぎ目への止水板	・シールド防水 ・打継ぎ目への止水板	・シールド防水 ・打継ぎ目への止水板
設定条件の優位度	×	△	○
施工性	×	△	○
工期	×	△	○
経済性	×	△	○
適用評価	○	△	×

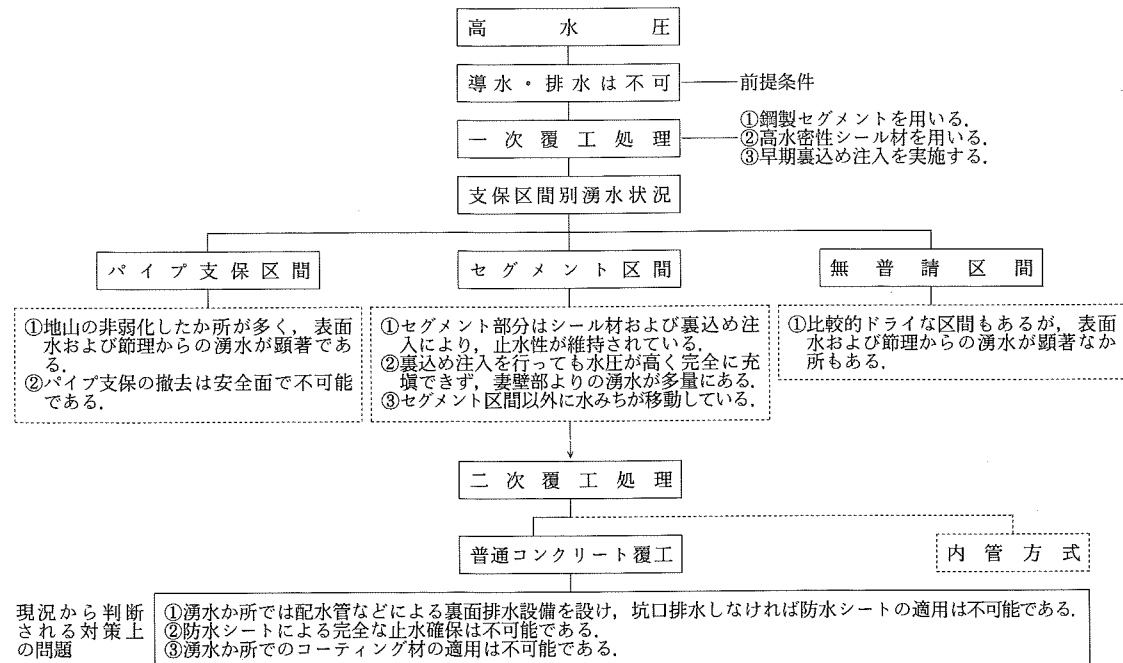


図-15 検討評価フロー

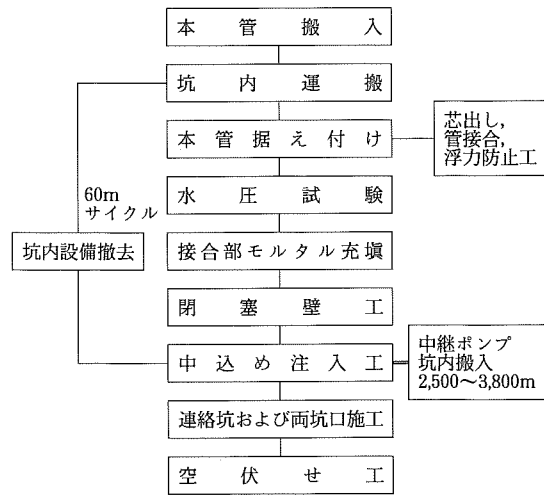


図-16 二次覆工施工フロー

要を述べる。図-16 に示す施工フローに基づき計画した。使用管材：ダクタイル鋳鉄管（図-17）
4種φ1,500mm U型
管体長：管体長は立坑吊り降ろし時（立坑内径7.0m）および坑内運搬時（R=300mカーブ）

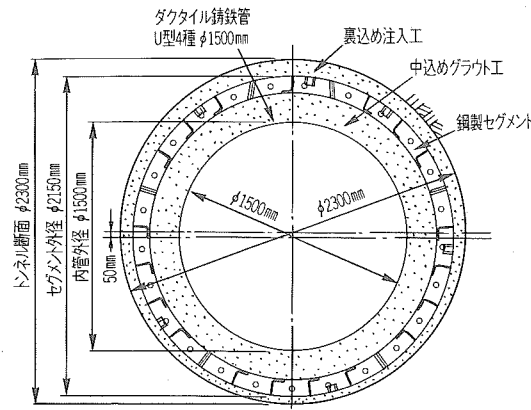


図-17 多量湧水区間標準断面図の検討よりL=4.0mとした。

耐水圧性能：4種管、肉厚16.5mmにおいて浸透外水圧 $P_0=12\text{kgf/cm}^2$ に対し、安全率2を確保できる。

図-16の施工フローのうち、中込め注入工については、施工時の湧水処理と供用後の地下水の復元を期待する意味で、入念な注入を実施する必要があるため、注入材料の選定および注入方法について詳細に検討し以下のよう

に計画した。

- ① 中込め注入材料
各種充填材料を比較検討した結果、当該工事では湧水状況に応じて、2液型粘土モルタルと流動性のよい粘土モルタルの2種類を使用して止水効果と充填性を満足させることとした。
- ② 注入方法
60mを1スパンとして中込め注入を実施し、グROUT孔は1本ごと(8m)に設置し2セットで同時に注入する。
湧水多量部では4m管内にセメントレンガ積みの閉塞工を2か所設け、先端部にSPS-Ⅲ(2液型粘土モルタル)で注入を行い、その後SPS-Ⅳ(1液型粘土モルタル)で到達側より順次施工する計画とした。

6. おわりに

本工事は、前述のように深度60mの発進立坑を発破NATMで、また延長3.8kmの導水トンネルをTBMで施工した。施工過程での共通点は、多量の湧水に遭遇したことであり、このための対応策として如何に湧水量を低減させるかが重要であった。各種の対応策を施すことにより、なんとか事故もなく予定工期内に貫通させることができた。引き続き、二次覆工施工を実施すべく準備中であり、関係者一同一体となって成功させるよう努力していきたい。当工事の計画と実績が何らかの一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書（山岳編）・同解説。

トンネルにまつわる小説

案内人トンネルQ?

(72) 大洞窟

C. ハイド 訳：田中 靖
文春文庫 '89. 7

カルストという言葉は、スロヴェニア語の“クラス”の転化したものであるそうだが、水の溶蝕をうけた石灰石岩が露頭する独特の地形を総称する言葉として用いられている。カルスト地帯は、水によって土壌や岩層をけずりとられた軟岩はいたるところで海綿のように亀裂や割れ目をつくりだし、急速に雨水を吸収しながら地の底に、数知れない洞窟や水脈を張りめぐらされている。

ドリーネ調査のためユーゴスラビアのカルストを訪れた日本人は、ネアンデルタール人からホモサピエンスと呼ばれるクロマニオン人への中間的段階と思われる人(ここでは汗と名付けられる)による壮大な洞窟壁画(スプラノ洞窟)を発見する。国際的な考古学調査団が組織され調査がはじめられる。ところが大地震により洞内に閉じ込められてしまう。活路をもとめ暗黒の地底内を進む。行く手には水没洞、土砂流、吸込み穴、大瀑布があり、毒百足などと闘いながら空気のある循環水帯洞や水

で満たされた飽和水帯洞を……日本人地質学者の五感、経験、沈着冷静な判断そして時空をのりこえた汗の形跡によりついに陽光が……。

ジュール・ヴェルヌの「地底旅行」の冒険に対し、恐怖につつまれた自然界との知恵比べの要素を含んでいる。未知の地下空間での黒闇の恐怖、閉所恐怖、その中での状況判断と決断がいかに大切かがわかる。

(73) 北の廃坑

草野唯雄
徳間文庫 '81. 1
金属鉱山の廃坑を舞台としたサスペンスである。

30年前にクローム鉄鉱を掘り尽くし、今ではその母岩である橄欖岩を露天掘りしている鉱業所で、不正が行われているという投書があり、会社の二人の常務から学生時代興信所のアルバイトの経験を持つ主人公に真相究明の指令が下りた。流れ者の労務者として元山に入山し、鉱山現場で一般に行われる不正の「売鉱操作」、「資材の横流し」、「労務費の水増し」について秘密調査に入るが、入山以来生命の危機にさらされはじめる。

夜、旧坑道に怪しい動きが、昼間は登山服姿に身を固め裏道を通り坑道内へ、不透明、灰白色の豆粒状の結晶が、クローム鉱物を採るための坑道は複雑でしかも廃坑、出口を求め自然通気の流れを感知して知らない入り口へ、ところが加背(断面)が狭くなり死の恐怖が……、サンプルも投げ捨てやっとの思いで脱出する。現状報告で一人の常務へ報告するが……。袋に入れられた石は、いったい何?石にクラッシャー、王水、塩化アンモニウム……、自然白金(ネイティブ・プラチナ)?、金銀は石英脈中にしか存在しないはず?運搬の索道、発破夫、坑道の恐怖、当時の労務者、不正の構造、ロマンス、鉱物の生成……、鉱物とトンネルに興味のある方は是非一読を。(参考)

クローム鉱物：石炭のように一定の層を作らず塊状で賦存している。橄欖岩(デユナイト)：四国、青森の一部に産出し耐火度が高いので粉碎し鑄物砂などに使われる。自然白金(ネイティブ・プラチナ)：不透明、灰白色の豆粒状の結晶王水にだけ溶け他の酸には溶けない。



「雁坂トンネル・モグラの音楽会」

西村 堯 男

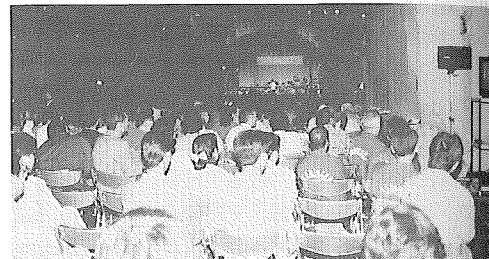
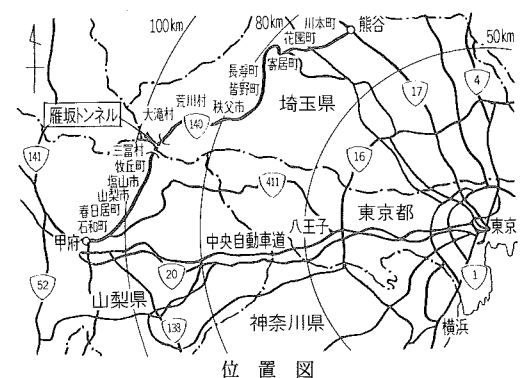
照明が落とされ正面のステージにスポットが集中すると、太鼓の力強いパチさばきとともに「モグラの音楽会」の幕開けとなった。

6月27日(日)、会場である山梨県三富村の雁坂トンネルには、観客、関係者を含め約1,000人もの人々にご参集いただいた。今回のように工事現場でコンサートが開かれたのは、全国でも初めてのことである。

会場となった山梨・一般国道140号雁坂トンネルは、秩父山脈の主脈を、ほぼ中央の雁坂峠付近(標高2,082m)で北東-南西方向に横断して、埼玉県と山梨県を結ぶもの(全長6,625m)で、その工事は10年にも及ぶ。いままで、ここは「開かずの国道」といわれてきたところであり、このトンネルが完成することで埼玉・山梨両県の時間的距離を縮めるだけでなく、地域活性化、文化交流などに大いに貢献できるものとして期待されている。見学者もすでに1万人を突破し、数多くの人に親しんでいただいている。

今回の音楽会の会場として使用された場所は、坑口から約3,500mの地点にあり、開通後地下換気所となる部分である。その大きさは奥行き53m、幅11m、高さ12m、4階建てビルが入る大空洞である。二次覆工前の吹付けコンクリート面は、細かい凸凹があり、テストの結果かえって面白い音響効果が得られることがわかったので、二次覆工施工前の状態でコンサートを開催することにした。

「モグラの音楽会」は、地元山梨の甲州笛吹き太鼓の演奏に引き続いて、磯部省吾氏指揮のもと甲府市交

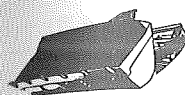


響楽団の演奏が行われた。演奏は、チャーミングなレオポルド・モーツアルトの「おもちゃの交響曲」や壮麗なチャイコフスキーの「交響曲第1番」、「スラブ行進曲」など多彩な曲目を楽しんだ。そして、コンサートの最後の「光と音のファンタジー」によって、色とりどりの光のシャワーとプラネタリウムを思わせる無数の光が、華麗な音楽とともに観客を魅了した。

このイベントにより、これまでトンネルやその工事現場に馴染みが薄かった人々に、トンネルが移動手段のための構造物としてあるだけでなく他地域との文化交流の役割を担っていることを知っていただけたのではないだろうか。現在、同トンネルは山梨県側3,462mが昨年の6月に貫通し、埼玉県側の残りも1,000mを切り、来年の夏には貫通の予定である。

トンネルが完成した日には、今回この音楽会にご参集いただいた方々に、今度は本来の「トンネル」としての役目を果たす雁坂トンネルの雄姿を見るために、ぜひ、もう一度足を運んでいただきたいと思うばかりである。

(建設省関東地方建設局 甲府工事事務所 建設監督官)



施工 深さ481m・直径11mの大換気用立坑を掘る

第二阪奈有料道路 阪奈トンネル中央立坑

小畑 秀夫* 近藤 忠幸**
井上 孝俊***

1. はじめに

第二阪奈有料道路は、一般国道308号のバイパスとして大阪都心部および東大阪市と奈良県北部地域を短時間で結ぶとともに、阪神高速道路大阪東大阪線および近畿自動車道天理吹田線と連結することにより、広域的な道路網を形成する。また、関西国際空港、関西文化学術研究都市へのアクセス道路としての機能を果たすなど、大阪府、奈良県にとって産業・経済の発展、文化・福祉の向上に大きな役割を担うものと期待されている。

本道路は、一般国道170号(大阪外環状線:東大阪市西石切町)を起点とし、奈良生駒線(阪奈道路:奈良市宝来町)を終点とする延長13.4kmの自動車専用道路であり、大阪府道路公社と奈良県道路公社との共同事業で建設を進めている。

ここでは、第二阪奈有料道路建設工事のうち、大阪府と奈良県境に位置する生駒山を貫く延長5.6kmの阪奈トンネルの中央付近に建設する換気用立坑の施工計画および施工経過について報告する。

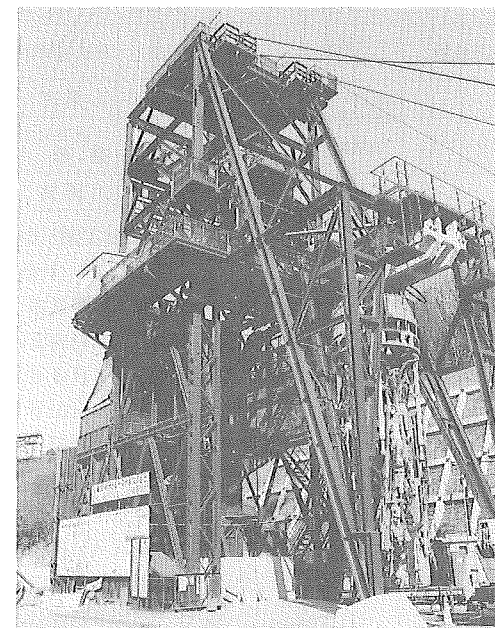
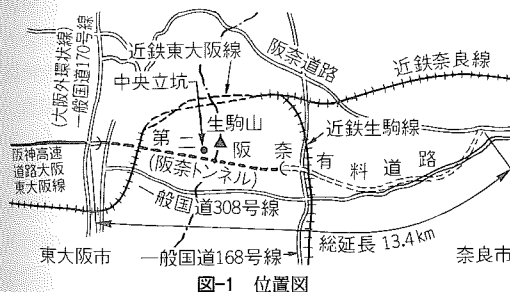


写真-1 立坑構全景
表-1 工事概要一覧表

2. 中央立坑工事概要

中央立坑工事は、大阪平野を一望する金剛生駒国道公



*大阪府道路公社第二阪奈有料道路建設事務所調査役兼工務課長

**大阪府道路公社建設部建設第一課長

***清水・三井・日本国土・竹中土木共同企業体所長

工事件名	第二阪奈有料道路建設工事(中央立坑工区)
工事場所	大阪府東大阪市山手町
発注者	大阪府道路公社
施工者	清水・三井・日本国土・竹中土木共同企業体
工事内容	施工深さ481m, 掘削径11m
	掘削断面積 95m ²
	一次覆工 8,500m ³ 二次覆工 7,000m ³

園内の生駒山(標高642m)山頂から約450m南西側の緩斜面(標高555m)に発進基地を設けている。立坑は施工深度481m、掘削径11mとわが国でも有数の大規模なものとなる。

施工法は掘削断面積95m²を全断面発破切り下がり工

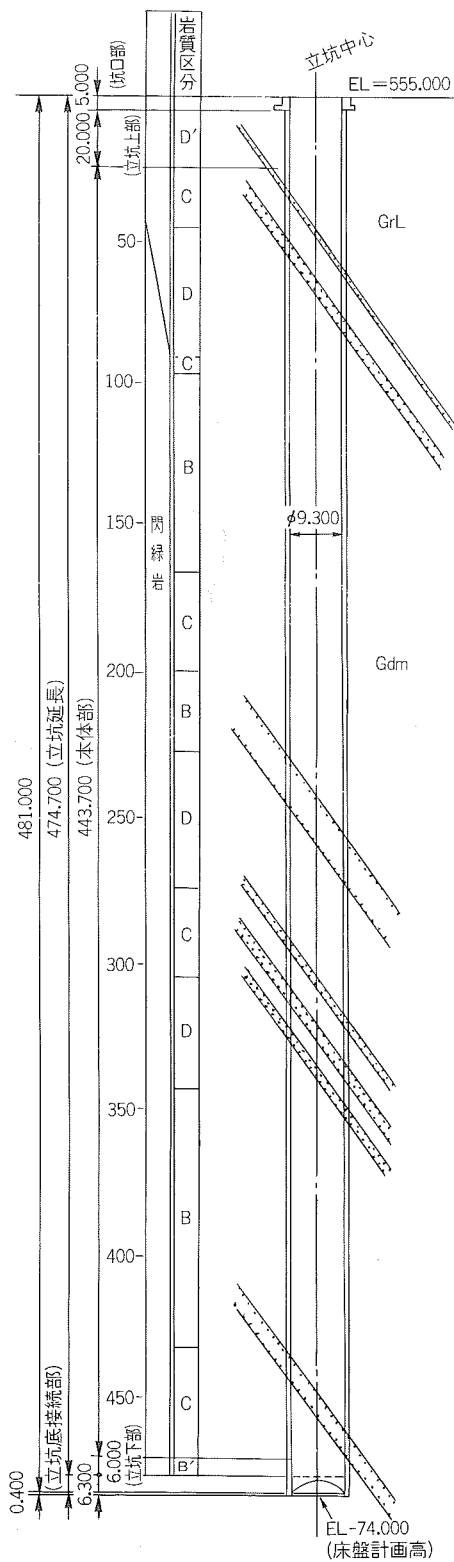


図-2 地質図

法とショートステップ方式の交互築壁工法を採用している。

3. 地質概要

生駒山脈は、南北30km、東西10kmに及ぶ広がりを持ち、大阪府と奈良県との境をなしている(図-2)。

生駒山系の基盤岩は、傾家複合岩類の花崗岩、閃緑岩、片麻岩類および、これらを貫く脈岩類より構成されている。中央立坑の地質は中粒閃緑岩が主体で、一軸圧縮強度2,000kgf/cm²以上の堅硬緻密なものが多いが、岩盤は風化を受けて粘土状になっているところもあり、断層破砕帯などではとくに注意を必要とする。

4. 立坑開削計画および施工状況

4-1 標準断面

中央立坑は、図-3に示すように人家の密集する坑口周辺の環境を重視し、両坑口から排気しないよう中央地下換気所を集め、浄化しつつ中央立坑から排気するとともに、新鮮な空気を送気する。そのため、図-4に示すように二次覆工で十字に隔壁を設けて断面を4分割して送排気を使用する。

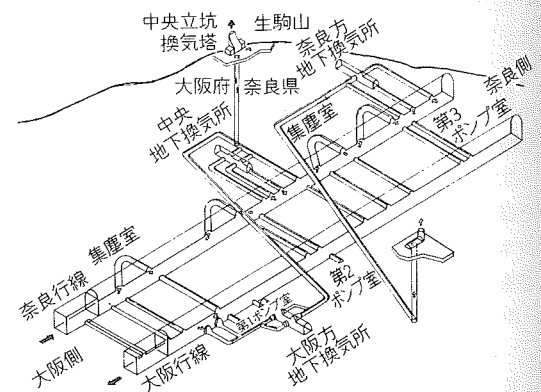


図-3 中央立坑概念図

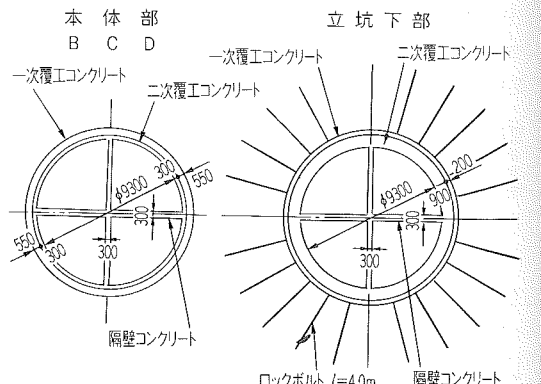


図-4 標準断面図

表-2 設計パターン

岩質区分	支保工	一次覆工	二次覆工	摘要	
立坑上部	D'	H-175 P=1.0	600	300	
本体部	B	—	550	300	ショートステップ
	C	—	550	300	ショートステップ
	D	H-150 P=1.0	550	300	ショートステップ
立坑下部	B'	ロックボルト l=4.0 P=1.0	200 (吹付け コンクリート)	900	

表-3 主要機械一覧表

項目	名称	仕様	備考
削孔	シャフトジャンボ	油圧4連装	150kg級
ずり積み	シャフトマッカ	0.55m ³	二重旋回
ずり運搬	ずりキブル	6.0m ³	自動転倒装置
巻上げ機	キブル巻きウインチ	600kW DC	140m/min
	スカフォード巻きウインチ	55kW×2	3m/min
	エレベータ巻きウインチ	75kW	10人用 95m/min
	エレベータガイド巻きウインチ	15kW	
立坑櫓	櫓設備	高さ25mH型	
坑内吊り足場	スカフォード	2段デッキ φ9.5m	通過孔3.5m
一次覆工	スライドセントル	l=1.8m	
コンクリート運搬	コンクリートキブル	3.0m ³	エアシリンダー
二次覆工	スリップフォーム	l=1.5m	

4-2 仮設備計画

4-2-1 仮設備配置計画

中央立坑の作業基地は約4,000m²で、その中にバッチャプラントなどの仮設備を配置している。

4-2-2 使用機械計画

本工事の使用機械の特徴は、大断面・大深度立坑に相応して大型化している。また、基盤岩が堅硬緻密な閃緑岩であることから、ずり出し時間と削孔時間を短縮するために6m³のずりキブルの採用と油圧シャフトジャンボを採用した。6m³のずりキブルの荷重は最大20t、油圧シャフトジャンボの荷重は26tとなるため、キブル巻きウインチは600kWの直流モータを採用し、ずりキブル巻き上げ時は140m/min、シャフトジャンボ巻き上げ時は100m/minと切り替えしてずり搬出速度を多少でも速くなるよう計画した。また、ずりキブルは自動転倒装置により転倒させることで省力化を図った。油圧シャフトジャンボは、スカフォード搭載型も考えたが、スカフォードのスペースとジャンボのメンテナンスを考慮して坑口格納型で、削孔ごとに切羽に搬入搬出するものとしたが、ほとんどトラブルもなく使用している。ずり積み機は0.55m³のシャフトマッカを採用し、隅部のずり取りを考慮して二重旋回タイプとしたため補助機械の必要もなく全周のずりを取り切ることができるが、硬岩のため負担が大きく故障の頻度は比較的高い。

近隣にテレビ中継所があり、600kW直流モータのウインチを使用していることから電圧降下防止のフリッカ装置と電流ひずみ防止の高周波フィルタを設備してテレビ局への影響を防止している。そのほか、エレベータ以外に昇降設備がないため、停電時の対応として300KV Aの発電機を常備している。換気設備は、坑口に1,000m³/minのコントラファンを設置し、φ900mmのスパイラルダクトを排気式に、また、100m³/minのハイプレックスファンにφ300mmのSLP管を送気式とする2系列の換気方式を採用した。

4-3 施工状況

4-3-1 施工概要

本工事は、昭和63年1月に着手し、地元民との調整、保安林解除、工事進入路の取り付け工事などを経て平成3年6月より立坑発進基地の造成工事を開始した。平成3年10月には水抜きボーリングに着工し、立坑の開削工事を開始した。本立坑の構造は、上から坑口部、立坑上部、本体部、立坑下部、坑底接続部に区分されており、水抜きボーリング完了後、平成4年4月に坑口部の工事に着手し、以来順次に立坑上部の施工、立坑機械設備などの仮設備の設置を行って、平成4年10月より立坑本体部の掘削を開始した。

平成5年7月末での進捗状況は、深度284mまで掘進し、この間の掘進スピードは平均月進26m、最高月進34mを記録している。

4-3-2 水抜きボーリング工事

立坑工事のポンプ揚水による湧水処理は、大深度立坑になるほど水没の危険など安全性の問題やコストの面で得策ではない。したがって、水抜きボーリング工事は、ボーリング孔をあらかじめ下部のトンネルと貫通させて、立坑掘削に伴う湧水を排水するためのものであり、立坑工事では湧水処理の成否が工事全体の成否にかかわる最重要課題である。水抜きボーリング孔は常に立坑の掘削断面内になければならないため、大深度立坑になるほど垂直精度が要求され、本工事においては1%以内(5m/480m)を目標に施工した。また、大深度になるほど途中での孔曲り修正がむずかしいため、掘削ビット直上にドリルウェイトを配置し、地上からの推進力を回避



写真-2 せん断キ取り付け状況

してベンデュラム効果(振り子効果)によって垂直精度を確保するターンテーブル工法を採用した。ボーリングは30~50mの頻度で孔曲り測定を実施し、ドリルウェイトを調整しながら慎重に進めた。その結果、立坑のセンターから始めたボーリング孔は、立坑坑底で掘削断面から1m程度はずれてしまったが、縦断的には400m付近までは断面内にあると予測され、残り80mの湧水処理は今後の検討事項である。

4-3-3 坑口部

坑口部は立坑櫓の基礎であり、将来は換気塔の基礎になる井筒部で深さ5mまでの部分である。坑口部の地質は強風化され地盤支持力が不足するため、リング基礎コンクリートの支持杭としてH-300、l=13mのH鋼杭を1.5mピッチで打設した。また、立坑上部を掘削する際の山留め杭として併用できるように施工した。

4-3-4 立坑上部

坑口部の下20mは立坑上部でロングステップ工法で設計されていたが、施工はショートステップ工法で施工した。立坑設備の設置スペースとして、また、発破の飛石による機械損傷防止に必要な深さとして本体部とは異なる施工を行った。立坑上部の20mのうち、最初の10mは坑口部で施工したH鋼杭を山留め杭として利用してブレイカ付きバックホで1.8m掘削し、壁面防護に吹付けコンクリートを施工した。一次覆工は背面の岩盤強度が期待できないため、一次覆工の落下防止としてH鋼杭にせん断キーを溶接した後、1.8mの鋼製スライドセントルをセットし、坑口からポンプ車でコンクリートを打設した。

次の10mは、次第に新鮮な岩盤が出現してきたため、ブレイカ付きバックホと発破を併用して掘削した。掘削後はH-175の鋼製支保工を取り付け、吹付けコンクリートを施工した後、上部と同様に1.8mの鋼製スライドセントルをセットして一次覆工を施工した。

ずり処理は0.45m³のバックホで3m³のずりキブルに積み込み、トラッククレーンで搬出した。

立坑上部の施工は、掘削と一次覆工を1.8mピッチで昼方で実施した結果、20mを約1.5か月要した。

4-3-5 立坑機械設備工事

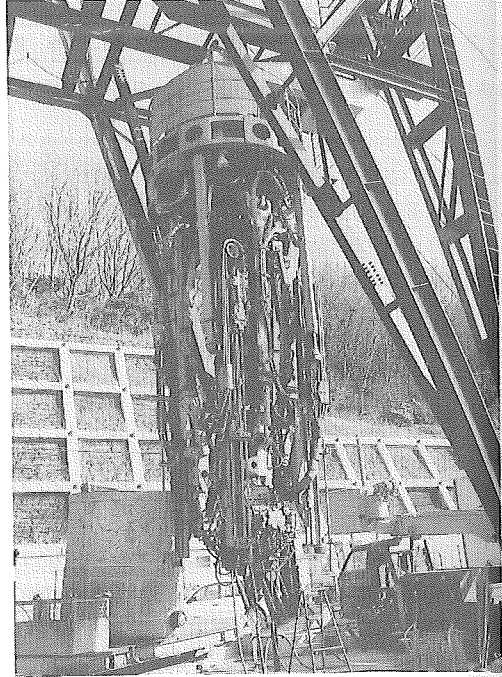


写真-3 4ブーム油圧シャフトジャンボ

立坑上部の施工完了後、立坑機械設備の設置工事を開始した。坑内に設置するスcaffoldingから順番に、坑口座張立坑櫓などを地上で組み立てクレーンで据付けた。断面が大きいため、いずれも重量が大きく30t程度に地組みして100tラフタークレーン2台で合い吊りして設置した。

ヤードも十分な広さがなく、重量物、高所作業といった危険作業の連続で慎重に工事を進め、試運転、官庁検査を経て2か月余りで終了した。

4-3-6 立坑本体部

立坑本体部は、25~468.7m間で設計の岩質区分はB区間が183m、C区間が128.7m、D区間が132mとなっている。いずれも掘削径11m、一次覆工55cmで、D区間はH-150の鋼製支保工を建て込む設計となっている。

施工は立坑深度200mまでは水抜きボーリングの効果で、地下水位が低下しており、ほとんど湧水もなく順調に進んだが、200mを過ぎて湧水が出始め、250mの断層破砕帯に入ってからかなりの湧水が観測されるようになった。

(1) 削孔・発破作業

掘削断面積95m²を全断面発破切り下がり工法で施工している。削孔長は2m、岩質区分B区間の削孔数は平均240孔、薬量はサンベックス櫃で1.1kg/m³程度となっている。雷管はDS電気雷管1~8段を使用している。進行長は一次覆工のセントル長1.8mを十分クリアしており、1発破1覆工のペースで施工している。

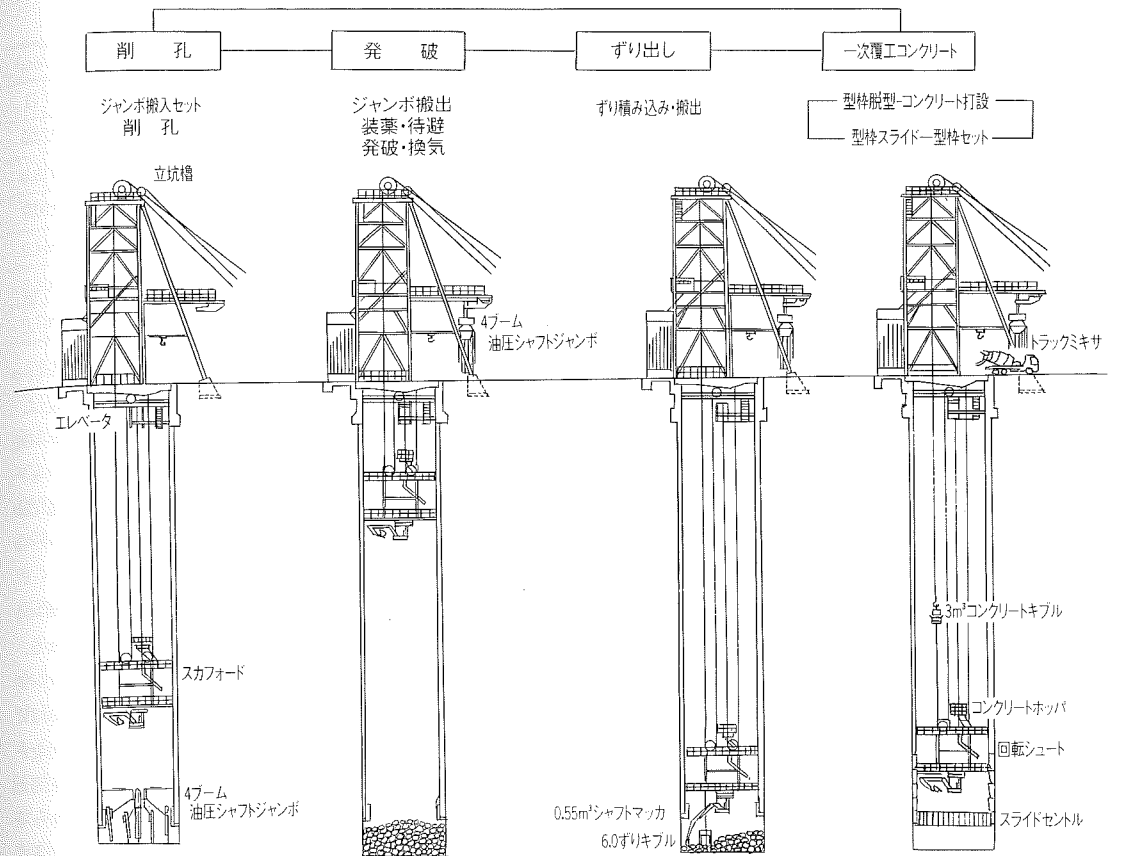


図-5 本体部施工順序図

削孔は4ブーム油圧シャフトジャンボを使用しており、坑口に格納しているジャンボを切羽に搬送してセットするまでに1時間程度を要しているが、油圧シャフトジャンボの削孔能力が高いので十分カバーしている。また、削孔は3~4l/minの削孔水に0.3~0.5%の界面活性剤を混入し発泡装置によってビット先端から泡を噴出し、粉じん防止と孔荒れ防止を目的とする泡削孔を行っている。この泡削孔によって空罫りに比べてかなりの粉じんを防止でき、また、罫り粉が泡と一緒に完全に排出されるため孔尻がほとんど残らない状況であったが、掘削が進むにしたがって湧水量が増加したため泡の効果が弱くなって荒崩れが見られるようになってきた。

(2) ずり搬出

ずりの搬出は、スcaffoldingに取り付けている0.55m³の二重旋回タイプ、シャフトマッカで6m³のずりキブルに積み込み搬出している。ずり搬出は発破後セントルの下端から1.8mになるまで1回目の搬出を行う。残りのずりを均して、この上にセントルをセットし、コンクリートを打設する。打設後2回目のずり搬出を行い、残りのずりを処理する。1回の発破により6m³のずりキブル

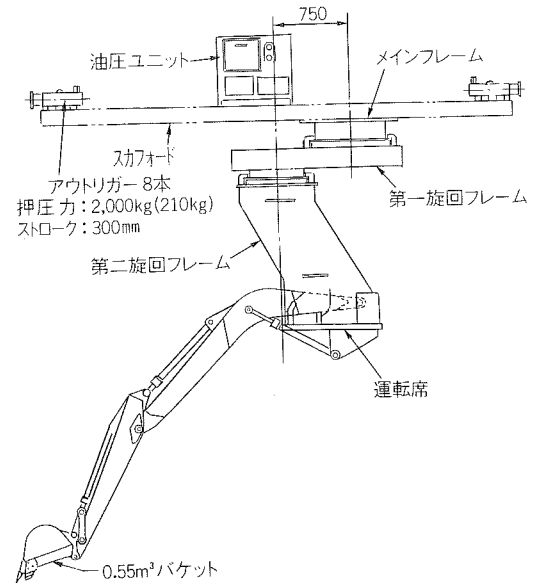


図-6 二重旋回式シャフトマッカ

で45回前後のずりが発生する。ずりキブルは1時間に3~4回程度搬出し、櫓の自動転倒装置によりキブルを

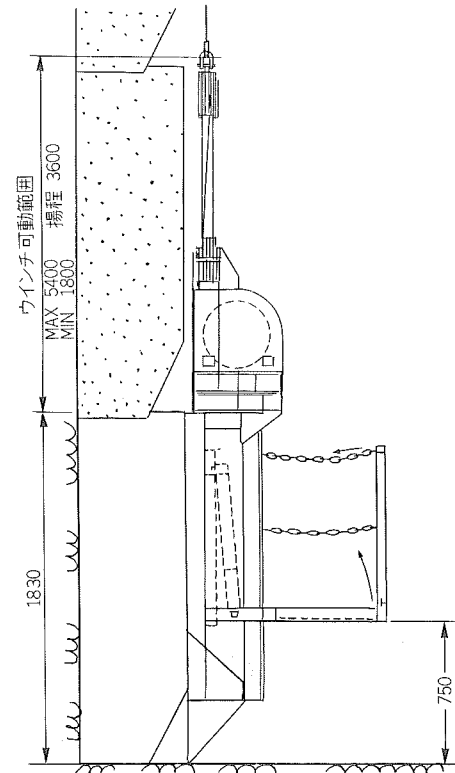


図-7 一次覆工セントル

シュート上へ転倒させ坑口のずり仮置場に集積している。集積したずりは、昼間の間にダンプトラックにより坑外の指定地に運搬し処理している。

二重旋回シャフトマッカは、作業性もよく全周のずりを取り切ることはできるが、スcaffordに固定しているため旋回部に応力が集中することによる故障や、発破の飛石による油圧ホースの破損などのトラブルを起こしている。しかし、他の積み込み方法に比べて能率がよいと考えている。

(3) 鋼製支保工

岩質区分D区間は、鋼製支保工を建て込む設計となっているが、ショートステップ工法の有利な点の一つは、覆工が切羽近くまであり、相当な悪地質でも支保工を省略できることにある。したがって、側壁岩盤が自立する場合は、できるだけ支保工を省略する方針を進めている。

(4) 一次覆工

ずり搬出がセントルの下端から1.8mの深さまで進んだ時点でずりの搬出を中断し、盤を均して一次覆工作業に入る。セントルを前回打設部から脱型し、セントルに取り付けた8台のウインチにより降下させ、ビニールシートを敷いたずり面にセットする。この時、調整ジャッキによりセンターから正しい位置になるようにセットし、

表-4 試験練り結果一覧表

NO	セメント (kg)	ポゾリス	塩カリ (kg)	圧縮強度(平均) kgf/cm ²		
				6H	24H	7日
1	370 (早強)	10L	7.4	75.2	193.0	329.0
2	370 (普通)	10L	7.4	11.4	119.0	273.0
3	370 (〃)	70	なし	測定不能	59.0	220.0
4	350 (〃)	10L	7.4	7.3	101.0	244.0
5	320 (〃)	10L	7.4	5.2	65.7	204.0
6	320 (早強)	10L	7.4	26.9	149.0	267.0

内面の清掃、はく離剤塗布、セントルの固定などを行ってセントルのセットを完了する。コンクリート打設は、場内のパッチャプラントからトラックミキサで生コンを運搬し、3m³のコンクリートキブルに積み込みスcafford上段のコンクリートホップから回転シュートを経てセントルまでの打設シュートによって全周のコンクリートを打設する。

覆工はショートステップ工法のため、短時間でセントル直下の残りずりの掘削とセントルの脱型が行われる。したがって、コンクリートは早期強度を必要とし、コンクリート打設後、セントル直下のずりが掘削されるのは7時間前後で、そのときの必要強度は計算上では約9kg/cm²である。また、セントルが脱型されるのは24時間前後で、そのときの必要強度は30kg/cm²である。これらを踏まえ、試験練りを行った結果、次のように要約できる。

① 6時間圧縮強度では、当然のことながら早強セメントの強度が高い。また、塩化カルシウムの早強性も高い。

② 早強セメントを使用したものは短時間で硬化が進み、シュート打ちでの流動性に問題がある。

以上のことから必要強度を満足し、施工性もよい配合は普通ポルトランドセメントを370kg、混和剤として塩化カルシウムを2%、ポゾリスNO.10Lを0.5%用いたものを、示方配合と定めた。

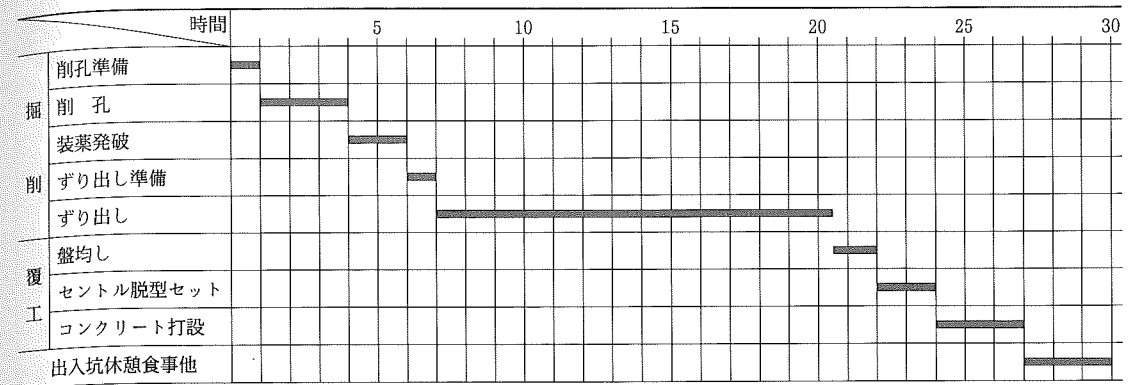
ショートステップ工法では、コンクリート打設後、短時間のうちに直下における発破が行われるため、発破振動による影響も心配されたが、現在のところ、とくに発破によるクラックなどは観察されていない。

冬季の最低温度は-5℃前後になるので、パッチャプラントには温水設備を設け、練り上がり温度の管理を行っている。

(5) 湧水処理

切羽の湧水は、一次覆工の背面に裏面排水工としてチューブ径30mm×3本と、フィルタ材と遮水シートからなる裏面排水材を岩盤に縦断方向に4か所、円周方向に10mピッチに取り付けている。裏面排水材によって一次覆工の背

表-5 サイクルタイム



面に導水された湧水は水抜きボーリングを通して処理している。また、裏面排水材で取り切れない湧水は、一次覆工の打ち継ぎ目からコンクリート表面に漏水し、水量が多くなると坑底では雨降状態になるため、ウォータリングに集め、塩ビパイプで湧水を一次覆工背面に導水処理している。

一次覆工と二次覆工の間には、コルゲートタイプの防水シートを張り、二次覆工表面に漏水しないように施工するものとしている。

4-4 サイクルタイム

立坑掘削延長481mのうち、240mの位置での標準サイクルタイムは昼夜2交替作業で1サイクル1.8mが約30時間となっている。そのうち、50%はずりの搬出、20%が削孔・発破、20%が一次覆工、その他10%となっている(岩質区分C、鋼製支保工なしの場合)。

4-5 二次覆工

立坑掘削貫通後、坑底より坑口に向かって二次覆工を行う。二次覆工は立坑を送気と排気に区分する隔壁、一次覆工での漏水を立坑内に入れさせないための防水工、化粧巻きの三つにわけられる。

隔壁は厚さ30cmの鉄筋コンクリート構造で、90°分割の十字隔壁となっている。化粧巻きは無筋で、厚さ30cmである。この十字隔壁と化粧巻きを90°扇型型枠で同時に、スリップフォーム工法により0.25m/Hの滑揚速度で連続的に上昇する予定である。

防水シートは厚さ1mmに2mmのリブ付きコルゲートタイプになっており、一次覆工全面に張り付ける。

隔壁・化粧巻き工事を下から上に向かって施工するのに先行して、鉄筋組み立て、防水工を実施し、コンクリート打設を連続的に行って打ち継ぎ目が少ない均質なコンクリート構造物を構築する予定である。

5. おわりに

現在までの施工をふり返っての反省点、あるいは今後

の課題として以下の項目が考えられる。

① 水抜きボーリングの孔曲り測定では、ぎりぎり掘削断面内にある結果となっていたが、迎へ導坑との貫通で1mほど断面の外にあることが判明した。これは、孔曲り測定の精度に問題があり、孔曲りの許容値を小さくして、早めに孔曲りの修正を検討すべきであった。結果としては、孔曲りの修正が深くなるほどむずかしい工事であることもあって、手を打てなかった。

今後は、もっと精度の高い測定方法(測定器を含む)や孔曲りの修正方法について検討する必要がある。

② 機械設備としては、できる限り省力化や高効率化を考えて計画したが、現在までのところ、当初の計画どおり順調に掘削を進めている。しかし、今後はさらなる大断面・大深度立坑の施工、とくにスピードアップを考えると、サイクルの50%を占めるずり搬出作業での巻上げスピード、キブルの容量、ずり積み機の選定など検討課題は多い。また、削孔発破での長孔発破の検討、一次覆工でのセントルのスパンや同時工法の採用など今後の課題である。

③ 従来、立坑の施工において岩盤挙動などの計測が行われた例は少ない。当工事では、大断面・大深度立坑の設計・施工技術の向上を目指した技術開発の一環として計測計画を立案し実施している。

計測結果については、まだ得られたデータが少なく、次の発表の機会があれば報告したい。

中央立坑工事も481mのうち約60%の掘削が進み、残すところ200m弱となった。しかし、これからは湧水も多く、深度も深くなって正念場を迎えることになる。来年春の貫通を目指して一層気を引締め慎重に工事を進める所存である。

最後に、本報告がさらなる大断面・大深度立坑の設計・施工に参考になれば幸いである。

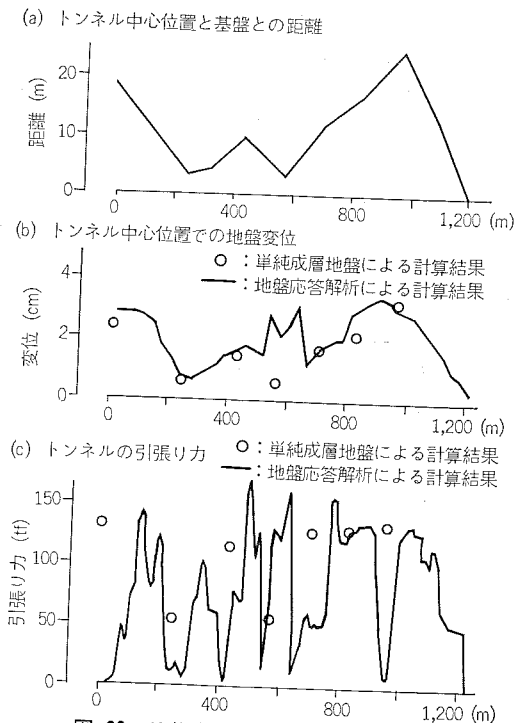


図-20 地盤応答解析による検討結果

は、図-16を調和分解して各トンネル位置ごとの変位スペクトルを示したものである。約1秒前後に卓越周期をもった比較的そろった波となっていることがわかる。

図-18は、トンネル中心位置における地盤の変位分布を1秒間隔で示したものである。先に示したとおり、地盤振動の固有周期が1秒程度であったことから、各時刻ごとの変位分布の相異は大きくないが、各位置での変位には位相差が生じており、これがトンネルに軸力を生じさせる原因となる。図-19は、この地盤の変位分布をその波長についてスペクトル表示したものである。100mと400m付近に卓越した波長があることがわかる。

図-20は、このようにして得られた地盤変位応答の最大値の分布と、トンネルの引張り力の最大値の分布を示したものである。なお、図中に参考として、トンネルと基盤との距離、ならびに単純成層地盤を仮定した計算結果をあわせて示した。地盤変位が、おおむねトンネルと基盤との距離に相似形で、かつ、単純成層地盤を仮定した計算結果と全体的にはほぼ一致していることがわかる。しかし、600m付近で両方の計算結果に相異が見られ、これはボーリング調査結果に示されたとおり(図-12、表-1参照)、この付近においてトンネルと基盤との間にきわめて軟弱なシルト層が存在することによると考えられるが、このように土質が複雑に変化する場合は地盤変位は、せん断1次モードによる単純な推定モデルによって

は十分評価できないことを示している。引張り力の最大値の分布も、単純成層地盤を仮定した計算結果と全体的にはほぼ一致しているが、トンネル中央部においては、地盤変位の場合と同様なことがいえる。

今回用いた重複反射理論による方法は、各断面ごとに成層地盤を仮定し、かつ、隣接する地盤の連成運動を無視しているため厳密なモデル化とはいえないが、高次モードの影響も評価することができ、また、取り扱いが有限要素法に比して容易なことなどを考慮すれば、工学的に見て十分な有用性をもつ方法と考えられる。

5. おわりに

以上、種々の観点から解析を実施し、シールドトンネルの耐震性についての検討を行ったが、継ぎ手部変形量に対する許容値の設定など多くの問題が残されているものの、今回用いたトンネルの解析モデルによれば、軟弱地盤中のシールドトンネルは、地震時においても継ぎ手ボルトが破断するなどの極端な状態には至らず、他の構造物と同程度の安全性を有することが示されたと思われる。しかしながら、もっとも基本となる入力地震波の性質やモデル化については、まだまだ多くの問題が残されており、今後とも地震観測の積み重ねを行って、合理的な耐震設計法を確立していくことが必要であると考えられる。

最後に、本報告をまとめるにあたり、早稲田大学理工学部村上博智教授、電力中央研究所土木研究所岩楯徹博士、同担当研究員当麻純一氏をはじめ、多くの方々から貴重なご助言をいただき、また、数値解析にあたっては日本工営株式会社山田孝治氏、田中弘氏のご協力をいただいた。ここに、関係各位に深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 日本道路協会：石油パイプライン技術基準，1974。
- 2) 土木学会：沈埋トンネル耐震設計指針(案)，1975。
- 3) 日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針，1982。
- 4) 建設省土木研究所：共同溝耐震設計要領(案)，土木研究所資料第2144号，1984。
- 5) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，1979。
- 6) 藍田正和，西野健三，田中 弘：セグメント継ぎ手の剛性を考慮した耐震設計について，第19回土質工学研究発表会概要集，1984，6。
- 7) 藍田正和，西野健三：入力波動の違いによるシールドトンネルの耐震性に関する一考察，第39回土木学会年次学術講演会概要集，I，1984，10。
- 8) 村上博智，小泉 淳：シールド工専用セグメントのセグメント継ぎ手の挙動について，土木学会論文報告集，第296号，1980，4。
- 9) 建設省土木研究所：地下埋設管路の耐震設計と設計地震入力，土木研究所資料第1764号，1982。
- 10) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V，1980。
- 11) 石原研而：土質動力学の基礎，鹿島出版会，1976。



名勝小倉山に200mの立坑を掘る
 山陰本線 小倉山トンネル

乾 登 志 夫* 杉 村 昌 利**

1. はじめに

国鉄山陰本線は、京都から山口県幡生に至る総延長675kmに及ぶ幹線鉄道で、東北本線(東京-青森間)に次いで営業キロの長い鉄道である。この路線は、1府4県(京都府、兵庫県、鳥取県、島根県、山口県)の裏日本の動脈として長年にわたり旅客貨物輸送の使命を果し、地域発展のために寄与してきた。しかし、近年は自動車輸送に、その王座を明け渡したとはいえ、各都市間の旅客輸送をみると、まだまだその機能を十分果しており、現に京都園部間(35.8km)の沿線各地では宅地開発、住宅建設が進み、ラッシュ時の混雑率は200%を越えている。今後は、さらに通勤・通学の増加が見込まれるが、現在線は単線のため線路容量の限界に達しているため、この区間を複線電化して輸送量を抜本的に増強する必要が生じてきた。

京都園部間のうち、とくに嵯峨馬堀駅間(9.4km)の現在線は保津川峡谷に添って敷設されており、急曲線の連続と災害多発区間のため輸送力の隘路となっている。このため曲線改良、災害などの解消をはかる目的においても別線で線増する必要がある。

別線計画では、6トンネル、5橋梁、2駅の移設工事があり、すでに終点方の地蔵トンネル、第5保津川橋梁は完成している。

ここに紹介する小倉山立坑は、小倉山トンネル(L=1,445m)、および第1保津川橋梁施工のための作業坑として設けるもので、風光明媚な嵯峨、嵐山の西側の山頂に位置している。

工事は、現在(61年4月)坑底連絡作業坑および一部本坑の掘削を完了し、立坑のつぼ下を施工中である。

2. 工事概要

立坑 深さ	220m
内径	8m
有効断面積	50m ²
立坑橋	1基
掘削数量	13,000m ³
覆工コンクリート	1,900m ³

* 日本国有鉄道大阪工務局京都工務区長
 ** 佐藤工業(株)大阪支店小倉山作業所長

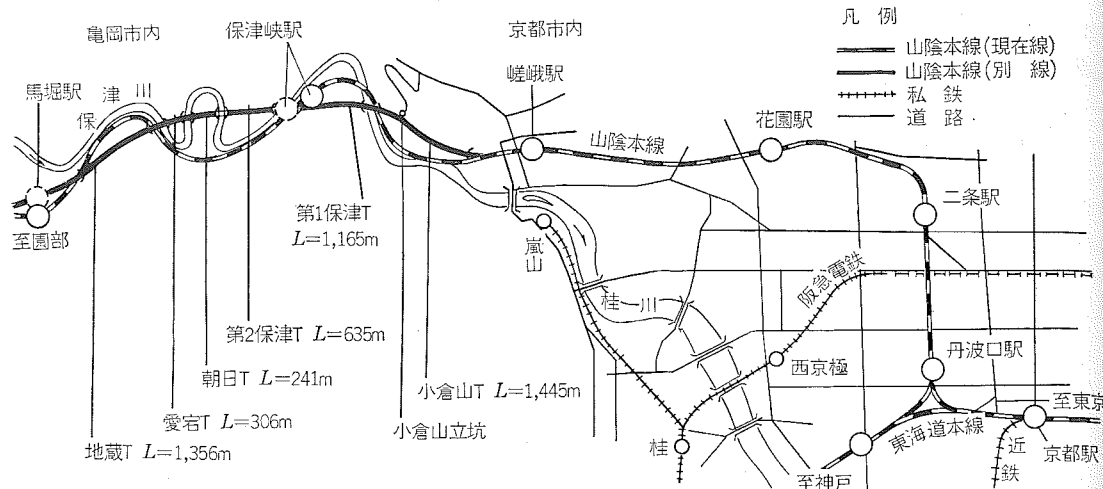


図-1 位置平面図

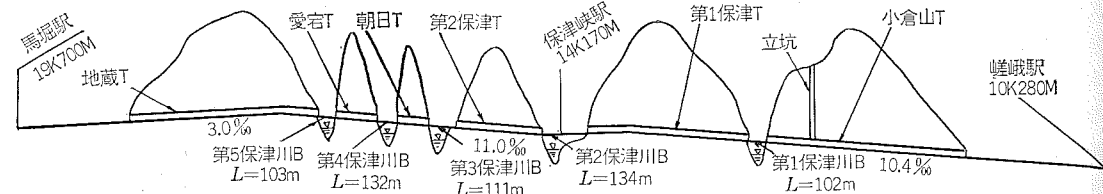


図-2 縦断面図

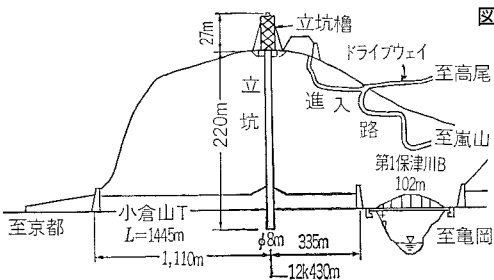


図-3 小倉山断面図

3. 地形・地質

3-1 地形概要

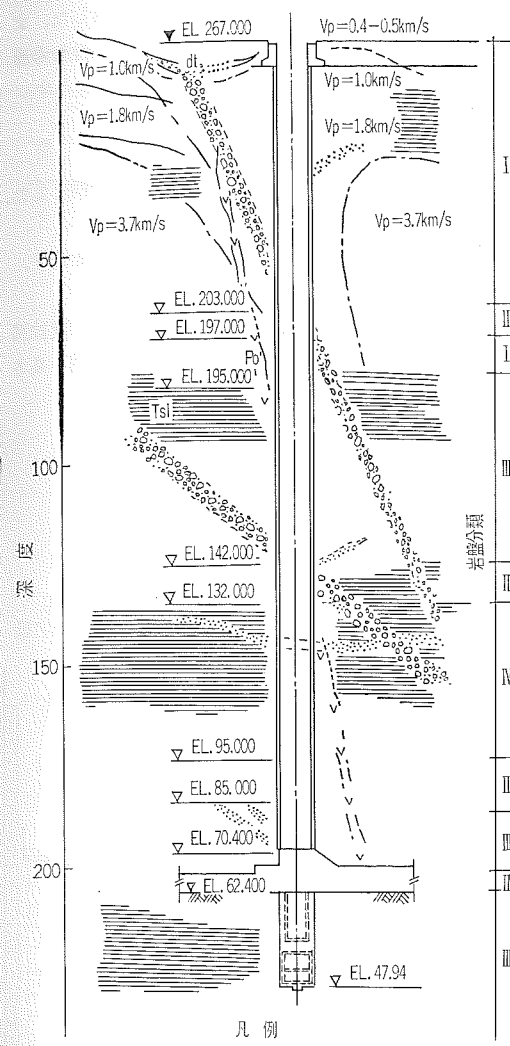
小倉山は京都市内から眺めると愛宕山と嵐山に挟まれたおわん形をした山体（標高296m）で、京都側の坑口付近は比較的なだらかな斜面から嵯峨野がひらけ、二尊院、檀林寺、天竜寺、常寂光寺、落柿舎、大覚寺などの仏閣、各種教育施設、大河内山荘などの民家が存し、亀岡側の坑口付近は小倉山と松尾山に挟まれた保津川渓谷にあり、坑口直下を現山陰本線が横断している。坑口付近の斜面はきわめて急峻で、民家などは存在していない。

立坑は小倉山山頂付近の尾根部にあたり、小倉山トンネルの亀岡側坑口寄りに位置している。

3-2 地質概要

小倉山周辺の地質は、古生層の丹波層群に属する砂岩、

粘板岩、チャート、珪質粘板岩からなっている。立坑付近は崖錐堆積物などの被覆層は存在せず、表土以下は基盤地質である。基盤岩は粘板岩を主体とし、数センチから数メートルの層厚で砂岩の薄層がところどころに分布している。また、深度130m付近には珩岩が数メートルの幅で貫入分布しており、母岩との接触状況により傾斜角70~80度で貫入している。主体となる粘板岩は、一般的に砂質な部分や珪質な部分が多く暗灰色~黒色を呈し、層理面と平行または、やや斜交するスレートへき開の発達が著しい。当初の弾性波探査結果から判断すると、弾性波速度は3.6~3.7km/sとなっており、岩盤強度分類表にあてはめると分類4のAランクに該当し、岩盤良好度分類に対比させるとDランクとなり、岩石自体は硬い部分もあるが風化が著しく、割れ目が多いと想定された。また、地下水位が深度79m付近にあり、断層破砕帯の透水係数（ 10^{-8} 程度）を考慮すると周囲の地下水を引水する可能性があり、深度100~130m付近では突発湧水の恐れがあった。掘削結果による岩盤状況はGL-68m付近まで強風化した岩盤であり、GL-68~82m、115~131m、190~200m間は珩岩と粘板岩の互層区間であり、珩岩は硬く割れ目は少ないが、珩岩に挟まれた粘板岩は割れ目が著しく発達し破砕されていた。一方、湧水については断層破砕帯、珩岩の貫入帯に多量に発生した。



凡例
 粘板岩 dt/Tsl 地質境界線
 砂岩 岩区分線
 珩岩 断層破砕帯
 崖錐堆積物 16km/s 弾性波探査速度値および速度境界線
 37km/s

図-4 地質図

4. 施工計画の概要

4-1 施工段階での計画概要

小倉立坑（GL~切掘げ天端、 $l=195.5m$ ）を施工するに当たり、次の3段階による施工を行うこととして計画した。

① 坑口築造（GL~GL-6.0m $l=6.0m$ ）

地表より6.0mを檜基礎構築とし、檜にかかる全荷重を、この構築で受け持つように、開削工法による鉄

筋コンクリート構造とすることとした。

② クレーン掘削（GL-6.0m~GL-44.4m $l=38.4m$ ）

坑口築造後、地表よりクローラークレーンによる掘削方式をとることとし、スカーフォードの発破退避距離とクレーンの能力により掘削延長を決定した。

③ 本掘削（GL-44.4m~GL-195.6m $l=151.2m$ ）

巻上機、檜、スカーフォードを使用する本格的立坑掘削とした。

4-2 掘削施工法の計画概要

長大立坑の掘削工法には、ショートステップ工法とロングステップ工法などがあるが、当立坑は、当初の地質調査報告書より

- GL-68.0mまでは強風化した粘板岩であり、それ以深にも3か所の断層破砕帯と思われる弱層地帯が確認されている。
- GL-80.0m以深は、湧水が多いと予想されている。などの地質、湧水の地質的要素を主体に、安全性、确实

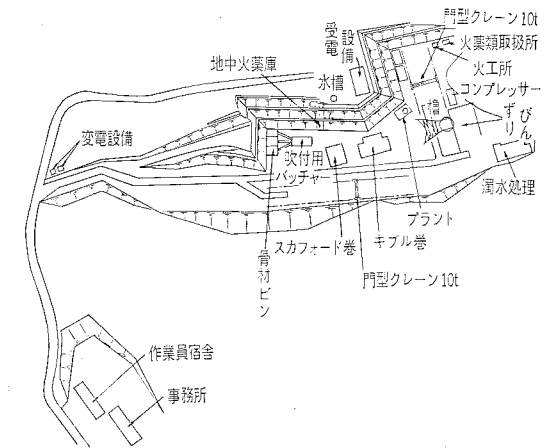


図-5 坑外設備図



写真-1 立坑檜

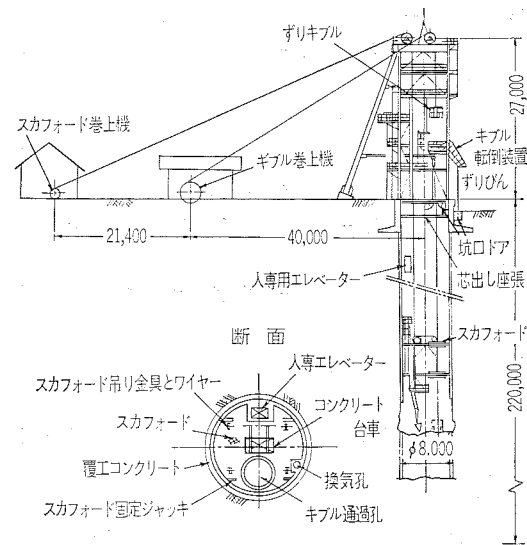
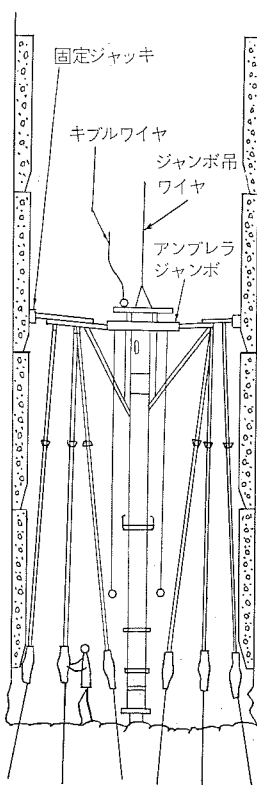
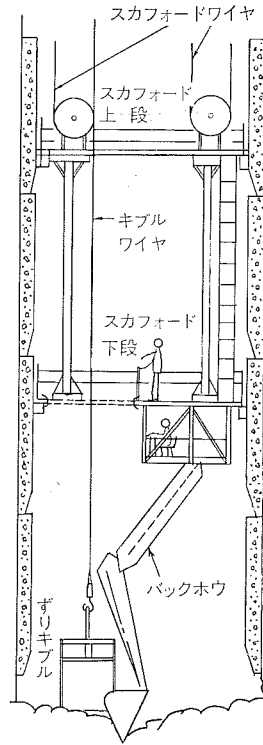


図-6 立坑設備

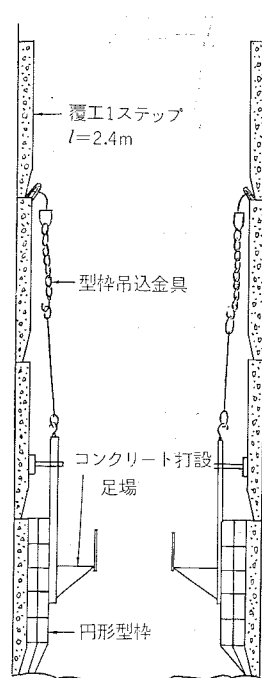
① 穿孔時



② 発破後・ずり積み



③ 前ロット完了



④ 新ロットコンクリート打設

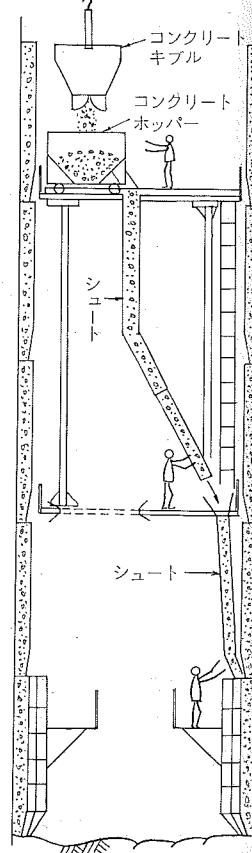


図-7 立坑掘削順序図

性にすぐれているショートステップ工法を採用した。また、1打設長の長さは、1発破の進行長、施工性を考慮して $l=2.4\text{m}$ とした。

4-3 設備の計画概要

(1) 坑外設備

本坑掘削の用途を主体に図-5のような坑外設備とした。

(2) 立坑設備

立坑設備は図-6に示すが、おもな機器の仕様を記す。

① 櫓

エレベーター構造規格、ゴンドラ構造規格、建設用リフト構造規格などにより製作された鉄骨R型、高さ約26.5m、重量約150.0tの櫓。

② 巻上機

・ケーブル巻上機

電動機出力……350kW×6P
 ドラム径……φ3,410mm
 ドラム幅……1,900mm

表-1 覆工コンクリートの示方配合

セメントの種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲	セメント (kgf)	水 (kgf)	砂 (kgf)	砂利 (kgf)	混和材	
								ポゾリス No.10 L (kgf)	塩化カルシウム (kgf)
普通ポルトランド	40	10±2	4±1	380	174	730	1013	1.9	7.6

ロープ速度……117.0m/min

・スカーフ巻上機

電動機出力……30kW×10P

ドラム径……φ1,500mm

ドラム幅……1,200mm

ロープ速度……8.0m/min

③ キブル (搬器)

ずりキブル ……容量5.5m³

コンクリートキブル……容量2.0m³

人専用キブル ……6人乗り

④ スカーフ

4点吊りの構造とし、上・下2段の作業床を設置した、重量約18.0tfの鋼製吊足場。

⑤ 人専用エレベーター

型式……ギアラック式エレベーター

積載量……定員6名 (450kgf)

速度……31.0m/min

⑥ 坑口設備

キブル転倒装置、坑口ロープ、坑口座張、測量座張など掘削に必要な諸設備。

(3) 掘削設備

① アンブレラジャンボ

立坑削孔用3ブーム削孔機 (削岩機台数、3ブーム×3台=9台)。

② 0.6m³バックホウ

スカーフ下部に固定されたバケット、容量0.6m³、360°全旋回のずり積み機。

(4) コンクリート設備

$l=2.4\text{m}$ 逆巻き用鋼製スライドフォームほか。

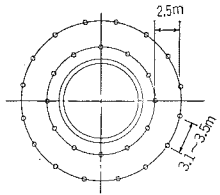
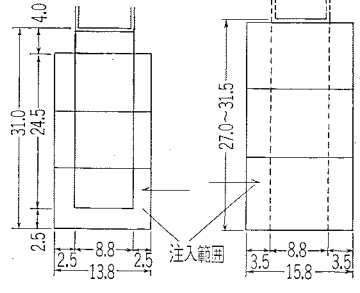
(5) 揚水設備

最大揚水能力を4.0tf/min対応の配管とし、立坑全延長に25.0mピッチに中継槽を設置し、能力に合わせた水中ポンプにより段階別に揚水することとした。

表-2 補助工法の比較検討表

項目	工法	水平ボーリング	ディープウェル	坑外注入	坑底注入
工法の概要		保津川方より水抜ボーリング φ100mm $l=350\text{m} \times 3\text{本}$	坑外よりのディープウェルの揚水 φ300mm $l=180 \sim 250\text{m} \times 8\text{本}$	坑外より切羽で深を注入 注入量≒2,000m³	切羽より坑底注入 注入量≒2,000m³
概算工期		45日/本	75日/本	90日	40日/回
技術的、施工的观点からの利点、問題点		(利点) 1. 立坑の工程に支障なく作業できる 2. 水道に当たれば確実な工法である。 (問題点) 1. 孔曲りなどで水道に確実に当てるのがむずかしい。 2. 湧水の自然放流についての協議などに時間がかかる。	1. 立坑の工程に支障なく作業できる。 2. 水道に当たれば確実に地質的に適した工法である。 1. 工期的に時間がかかる。 2. 孔曲りなどがあればポンプが回修できない。 3. 工費が増大する可能性が非常に高い。	1. 過去における実績より確実な工法である。 2. 断層帯など、弱層地質の改良にもなる。 1. 立坑の工程に一部支障を起こす。 2. 削孔長が長くなるため高価。	1. 過去における実績よりもっとも確実な工法である。 2. 断層帯、弱層地質の改良にもなる。 3. 他と比較して安価。 1. 立坑切羽を一時中止せざるを得ない。
施工の難易度		×	△	△	○
地山に対する適応性		△	○	△	○
総合評価		×	○	△	◎

表-3 坑底注入計画内容

項目	指針等による基本的な考え方	小倉山立坑での計画																																																													
注	<p>注入対象土量に対する全注入量は、通常次式で示される。 $Q=V \cdot n \cdot \alpha = V \cdot \lambda$ ここに、Q:全注入量 (m^3), V:注入改良範囲の土量 (m^3), n:地盤間隙率 (%), α:充填率 (%), λ:注入率 (%), 上記の算出式は砂質-粘性土での均等な浸透を示す時には有効であるが、脈状注入や亀裂注入では当初設定した注入範囲と実際の施工で得られる注入範囲とは大幅に異なるので、注入施工の段階で常に修正されるべきものであるということを理解しておくべきである。(注入の設計施工指針)</p>	<p>第1回坑底注入は、側壁注入の実績を参考(クラック帯 8%)とした。 第2回以降は、前回の実績を参考とした。</p>																																																													
入	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">土質</th> <th rowspan="2">圧入目的</th> <th rowspan="2">N値</th> <th colspan="2">間隙率 (%)</th> <th rowspan="2">充填率 %</th> </tr> <tr> <th>範囲</th> <th>標準値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="3">ローム・シルト・粘土</td> <td>止水</td> <td>0~4</td> <td>65~75</td> <td>70</td> <td>約40</td> </tr> <tr> <td>水強</td> <td>4~8</td> <td>50~70</td> <td>60</td> <td>" 30</td> </tr> <tr> <td>均化</td> <td>8~15</td> <td>40~60</td> <td>50</td> <td>" 20</td> </tr> <tr> <td rowspan="4">砂</td> <td rowspan="3">止水</td> <td>0~10</td> <td>46~50</td> <td>48</td> <td>" 60</td> </tr> <tr> <td>10~30</td> <td>40~48</td> <td>44</td> <td>" 60</td> </tr> <tr> <td>30以上</td> <td>30~40</td> <td>35</td> <td>" 50</td> </tr> <tr> <td>均強質化</td> <td>0~10</td> <td>46~50</td> <td>48</td> <td>" 50</td> </tr> <tr> <td>10~30</td> <td>40~48</td> <td>44</td> <td>" 40</td> </tr> <tr> <td rowspan="3">砂礫</td> <td rowspan="3">止水</td> <td>10~30</td> <td>40~60</td> <td>50</td> <td>" 60</td> </tr> <tr> <td>30~50</td> <td>28~40</td> <td>34</td> <td>" 60</td> </tr> <tr> <td>50以上</td> <td>22~30</td> <td>26</td> <td>" 60</td> </tr> </tbody> </table>	土質	圧入目的	N値	間隙率 (%)		充填率 %	範囲	標準値	ローム・シルト・粘土	止水	0~4	65~75	70	約40	水強	4~8	50~70	60	" 30	均化	8~15	40~60	50	" 20	砂	止水	0~10	46~50	48	" 60	10~30	40~48	44	" 60	30以上	30~40	35	" 50	均強質化	0~10	46~50	48	" 50	10~30	40~48	44	" 40	砂礫	止水	10~30	40~60	50	" 60	30~50	28~40	34	" 60	50以上	22~30	26	" 60	
土質	圧入目的				N値	間隙率 (%)		充填率 %																																																							
		範囲	標準値																																																												
ローム・シルト・粘土	止水	0~4	65~75	70	約40																																																										
	水強	4~8	50~70	60	" 30																																																										
	均化	8~15	40~60	50	" 20																																																										
砂	止水	0~10	46~50	48	" 60																																																										
		10~30	40~48	44	" 60																																																										
		30以上	30~40	35	" 50																																																										
	均強質化	0~10	46~50	48	" 50																																																										
10~30	40~48	44	" 40																																																												
砂礫	止水	10~30	40~60	50	" 60																																																										
		30~50	28~40	34	" 60																																																										
		50以上	22~30	26	" 60																																																										
注	<p>(注入孔配置) 第13条 注入孔は原則としてグラウトの注入有効範囲がたがいに重なるように配置しなければならない。</p> <p>注入孔を多くするほど1孔当たりの注入量は少なくてすむが、削孔本数が増え、削孔費が増大する。 トンネルの切羽から注入する場合は、注入孔を平行して設けることは不可能であるから、一般に扇状にさく孔される。注入孔の間隔は注入孔の末端で1.0~1.5mになるように配置されることが多い。(注入の設計施工指針)</p>	<p>中山立坑の2.0~2.3mを参考に注入影響範囲を2.0mとし下図のようにした。</p> 																																																													
注	<p>注入範囲は定式化するに至らず経験によるところが多い。使用するグラウトの強度によっても異なるが、間げき水圧が数kgf/cm^2の場合には、掘削断面外方にトンネル掘削幅の1/2程度とするのが普通である。(注入の設計施工指針)</p> <p>注入の範囲は、掘削によるゆるみ範囲などを検討し、過去の経験および実績を加味して決定されている。(トンネルと地下)</p> <p>注入の範囲は、普通の場合でトンネル半径の1.5倍、破碎帯の場合でトンネル半径の3倍となっている。(青函トンネルの基準)</p>	<p>第1回坑底注入は中山Tの実績より2.5mとした。 第2回~第4回坑底注入は3.5mとした。</p> 																																																													
注	<p>注入圧は、水圧の3~5倍程度で行われることが多く、大きい被圧水を持つ破碎帯の場合では、数$10kgf/cm^2$以上の注入圧を必要とすることがある。(注入の設計施工指針)</p>	<p>第1回坑底注入は、坑底調査ボーリングの結果、湧水圧の4倍とした。 第2回~第4回坑底注入も調査孔の湧水圧の4倍とした。</p>																																																													

5. 施 工

(1) 掘削

削孔は、3ブーム、アンブレラジャンボを使用して削孔し、装薬、発破、換気後、スカフォード下部に固定した $0.6m^3$ バックホーで $5.5m^3$ のずりキブルによりずり出しを行った。1発破の進行は1.0~1.2mのため、2~3回発破後、所定の覆工長 ($L=2.4m$) になった時点で盤整形を行い覆工作業を行った。

(2) 覆工コンクリート

覆工は2.4mのスライドフォームを使用し、コンクリートは $2.0m^3$ のコンクリートキブルにより、スカフォード上段に設置されているコンクリートホッパーへ搬入し、シュート打ちとした。

コンクリートの強度は、発破振動を考慮して6時間強度で $30kgf/cm^2$ になるような配合に決定した。また、覆工厚については、標準で30cm、一部地質不良区間は40cmとした。

(3) 湧水対策

①湧水対策にいたる経緯

GL-44.4m地点より巻上機、櫓、スカフォードを使用する本格的掘削を開始し、GL-70.0m付近までは順調に掘削が行われたが、GL-72.0m付近より湧水(約 $80\ell/min$)が発生し、掘削に伴って湧水が急激に増加しGL-79.0m付近では約 $1,300\ell/min$ の湧水となった。その後、掘削作業はサイクルの大幅な低下をきたしながら進められたが、掘削切羽の進行に伴い坑底切羽から湧出していた湧水が土平からも出はじめ、また装薬孔よりの自噴現象も見られた。

このような状況の中で、切羽は川のような様相を呈し、施工性の極度の低下と発破作業の危険性の増大のためGL-99.7m地点でいったん切羽を停止し、それ以深の地質の再調査を進めるにいたった。

②補助工法の選定

GL-99.7m以深の再度の地質調査の結果、地質もかなり破碎されており、湧水も予想以上に多いことが判明したため、各種の補助工法(表-2参照)を比較、検討した結果、施工実績、工期、確実性で優れた坑底注入工を採用した。

③注入計画の決定

注入計画は過去において施工された中山トンネル、青函トンネルなどの実績と、注入設計施工指針(昭和45年、国鉄建設局編)を参考に決定した(表-3参照)。

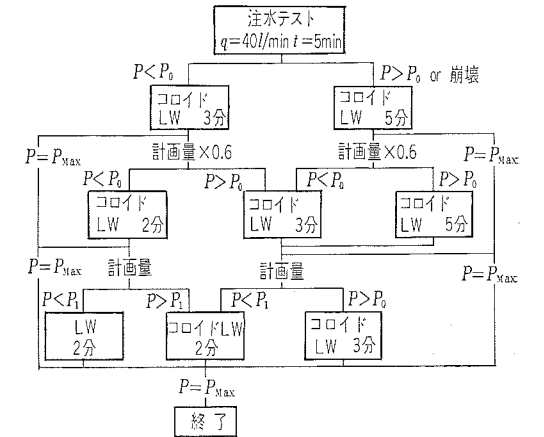
④注入管理

注入工事において重要な管理としては、

・地山に最適の注入材を、より経済的に、効果が発揮されるように日常の管理を行う。

・注入工事完了後、注入の効果確認を行う。
 があげられるが、注入を効果的に行うため、注入材の使

表-4 注入基準



標準配合 (1m³当たり)

(I) コロイドLW

A 液	B 液					
	濃度 (%)	100	150	200	250	300
水ガラス 250ℓ	コロイド セメント(kgf)	373	272	214	176	150
	分散剤(kgf)	1.87	1.36	1.07	0.88	0.75
水 250ℓ	水(ℓ)	371	407	427	439	449
計 500ℓ	計(ℓ)	500	500	500	500	500
ゲルタイム(参考)*		1	2	3	4	5

*配合切り換え基準はゲルタイムで管理する
 *ゲルタイムは±30秒の範囲で調整する
 *圧力上昇中の配合変更は行わない

第2回坑底注入の場合

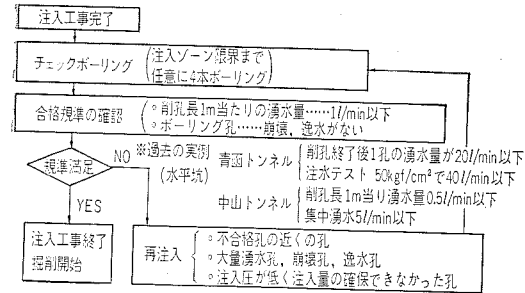
	1st(kgf)	2st(kgf)	3st(kgf)
P_0	6	8	10
P_1	8	12	15
P_{Max}	12	16	20

(II)

A 液	B 液	
	濃 度 (%)	
水ガラス 250ℓ	普通ポルトランドセメント(kgf)	380 216
	水 200ℓ 水(ℓ)	380 432
計 500ℓ	計(ℓ)	500 500
ゲルタイム(参考)*		1' 2'

*液温20°Cの場合の標準的なゲルタイムで、温度などの条件により変化する
 水ガラスは3号珪酸ソーダを使用

表-5 効果の判定



用基準, 効果の判定を表-4, 5に示すとおり行って管理した。

(4) 坑底設備

立坑の坑底設備として必要とされる条件は, 次のことがあげられる。

- ・ ずり積設備
- ・ 材料搬入設備
- ・ 揚水ポンプ設備
- ・ 換気, 給気, 給水設備などの諸設備

当小倉山立坑の坑底設備の計画に当たって, 特記する事項は下記のとおりである。

- ・ 小倉山トンネルの出口方に橋梁が計画されているため, 橋梁部材搬入坑が必要となった。
- ・ 本坑はタイヤ工法で計画されているため, 本坑内にずりの置き場所を設け, ずりピンを省略することにより, 立坑のつぼ下を浅くし, 工期, 工費の削減をはかった。
- ・ 坑底連絡坑の掘削工法は NATM を採用し, 大断面の立坑と, 大断面の連絡坑などの接合部には断面形状, 補強方法, 施工法に細心の配慮をほらった。

現在, 立坑からの各連絡横坑を完了し, 立坑のつぼ下を施工中であるが, 連絡横坑掘削段階で注入ゾーンを破って急激に湧水が多くなり, 坑口最大揚水量が約2.7 tf/minとなった時もあったが, 揚水設備の増強, 支保パターンの補強, 水抜きボーリングの施工などを行うことにより現在にいたっている。今後, 立坑のつぼ下施工後, 図-9に示す立坑の区画割(パントン)の施工を行い, 本格的な本坑の掘削に着手することになる。

6. 立坑における湧水

表-6に注入工事と坑口湧水量との関係を記すが, この表からも注入により確実に湧水が減少している状況が認められる。坑底注入工事は完全に切羽を止めるため工期, 工費を必要とするが, 止水対策としては確実な工法であるといえる。

本坑起点方L=1,110m 本坑終点方L=335m

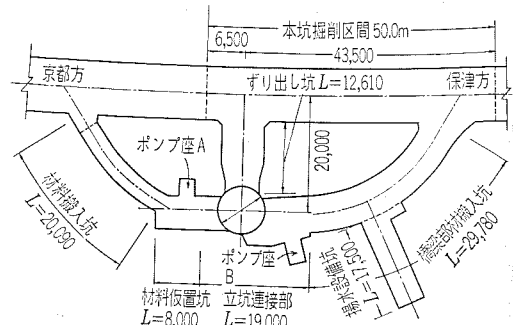


図-8 立坑設備平面図

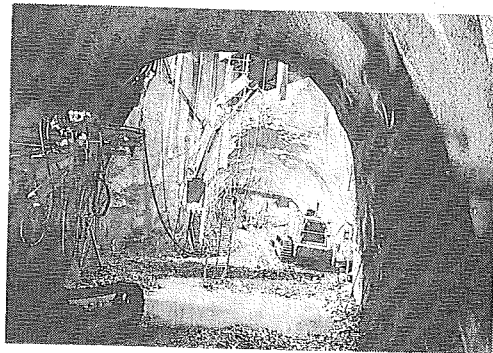


写真-2 坑底設備切り上げ状況

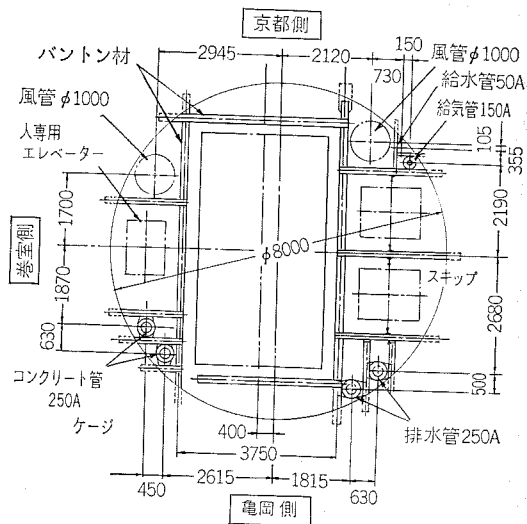
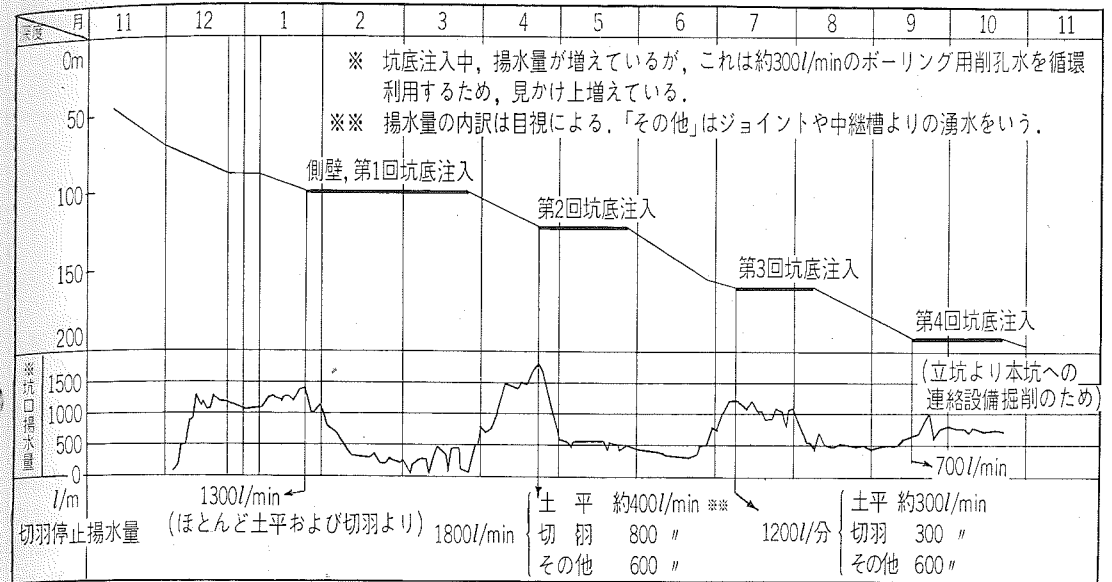


図-9 立坑設備区画図

立坑工事は, 湧水の増大に伴って施工能率, 安全性などが著しく低下する。過去に施工された中山トンネルなどの立坑工事においても, その傾向は顕著であり, 普通の水平坑の場合よりも施工性, 安全性などにおいてはるかに厳しい状況下で施工せざるを得ないといえる。過去

表-6 注入工事と坑口湧水量



における立坑工事の実績によると 500l/min 以上の湧水に対しては, なんらかの対策工法が必要であるが, 実際に湧水が多くなると思わぬ突発的出来事が発生するため, それ以深の立坑の施工性, 安全性, 経済性などを予想することは非常にむずかしく, すべての面において不確定な状態にあるといわねばならない。

7. おわりに

小倉山立坑の施工状況などについて紹介したが, 着工前の小倉山一帯の厳しい規制を一つ一つ解決すべく設計協議に時間を費やし, また, 着工後は地表下72m以深よりの湧水対策に明け暮れた結果となった。当初の地質調査から数か所の破碎帯よりある程度の湧水は予想されたが, 付近一帯の地形などを考慮すると, このような多量の湧水に遭遇するとは思ってもよらなかった。

一般に, トンネル工事は水との闘いといわれるが, とくに立坑の場合, 湧水があると次のような理由で工期に大幅な遅れが生じることとなる。

- ① 破碎岩および自噴出水による削孔能率の低下(穴あれ, 崩壊, ジャーミングなど)と有効削孔の減少, 孔の不揃いなど
- ② 排水ポンプの発破時の一時撤去および発破後の設

置に伴う湧水処理時間の増大とポンプの保守に伴う時間損失

- ③ 冠水に起因する機器などの保護装置の働きによる停電の頻発
- ④ 覆工コンクリート打設前の土平掘削面の導水処理の必要性

上記の理由に付随して, 作業員の疲労増大と安全の欠落が問題となる。これに対し, 本文で述べたように, 各種の止水対策を検討した結果, 施工実績, 工事費より坑底注入を決定し施工した。注入後は湧水の心配もなく, 掘削が順調となり, 坑底注入は成功であった。さらに, 着工以来無事故を継続してこられたのは作業員末端にいたるまで安全な作業手順を遵守した結果であったといえよう。

立坑は無事完成させたとはいえ, 立坑を使用している水平坑はタイヤ工法を採用しての掘削計画である。この工法での実績がないため, 環境問題に一抹の不安はあるが, 引き続き検討していきたい。

最後に, 国鉄の改革が進む中で種々の問題を孕みながら工事を推進させねばならないが, 将来に禍根を残さないためにも, ぜひ早期に完成させたいと願っているため, みなさま方のご支援とご理解をお願いします。

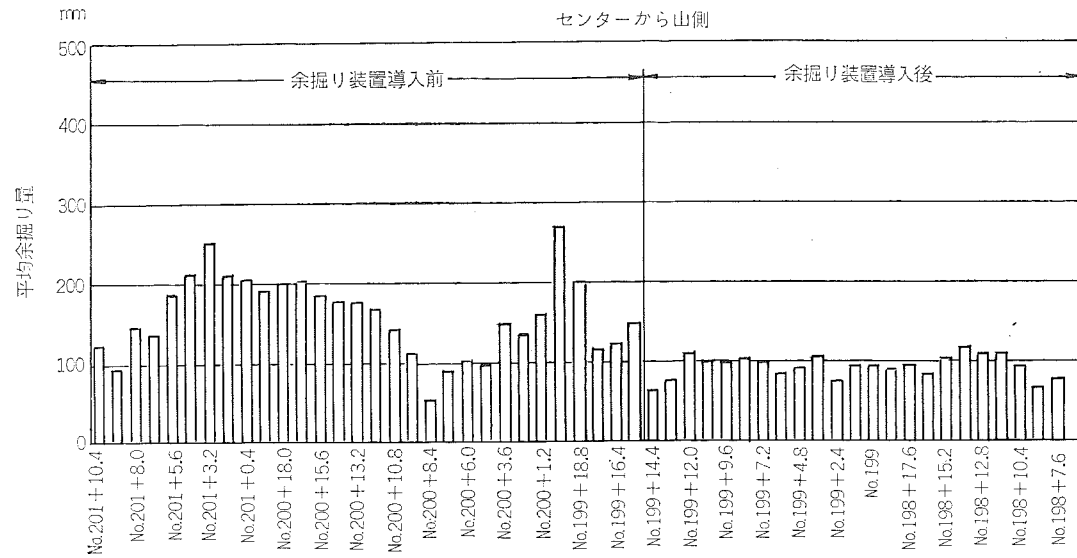


図-17 余掘り管理 (センターから山側)

上の問題点であったが、先打ちボルトで対応することにより、かなりの効果を発揮した。また、掘削後、ただちにパターンボルトを打設し、補強金網(φ4×50mmメッシュ)を取り付け後、吹付けコンクリートを施工する方法が十分に効果を発揮しており、さらにトレンローダの使用によるインバート先打ち方式の採用によって断面を早期閉合することが可能になり、トンネルの早期安定に役立っているものと思われる。

今後、軟岩でのトンネル掘削では、とくに先打ちボルトの施工および断面の早期閉合を重要視していく必要があると考えている。

(2) 坑内測量と余掘り防止

当現場の地質は、1軸圧縮強度が15~180kg/cm²の軟岩であることから機械掘削に適している。しかし、切羽では鋼製支保工を使用しないため断面のガイドがなく、測量作業には大分苦労が多く、断面測定に多くの時間を

必要とした。掘削についても、オペレータの位置、目の錯覚などから余掘り量が多くなり、トンネル断面、縦断面にも凹凸があった。これらの対策として、トンネル断面測定器による横断面測量時間の短縮、ロードヘッダに組み込んだ余掘り防止の開発により大きな効果をあげることができた。

とくに、オペレータはディスプレイの表示画面を見ながらドラム操作が可能になり、目の錯覚や死角がなくなったことから、確実に余掘りを半減することができた。

今後も、当現場での経験を生かして、これらシステムの改良を重ねていきたい。

おわりに

名ヶ山トンネルの諸問題については建設省国道2課の関係諸氏から適切な助言をいただいた。ここに誌上を借りて謝意を表する。

好評発売中

Charles Jaeger 著 Rock Mechanics and Engineering

岩の力学と工学

宮崎大学教授・工博 村上良丸 著
菊5判 486頁 定価 9,200円(千300円)

「岩の力学」講座の創始者で、ダム問題の世界的権威、Charles Jaeger 博士の名著 Rock Mechanics and Engineering の完訳である本書は、実務技術者のもとより、専門家から学生諸賢までの座右の著として、役立つものと確信します(訳者)。



施工

偏平立坑を NATM で掘る

天山発電所放水路トンネル

竹内 修* 福島晴夫**

1. はじめに

NATMは、トンネルの地質状況に応じて掘削断面形状や支保パターンを変更できる柔軟性を備えており、これまでに水平トンネルばかりでなく、立坑や斜坑、大断面、特殊断面トンネルなどの施工にも適用され、近々、日本のトンネル標準工法に採用されようとしている。

本報告は、偏平断面という特殊形状の立坑をNATMで掘削した九州電力(株)天山発電所放水路ゲート立坑の施工について述べるものである。

偏平形状の立坑は、円形の立坑に比べて掘削後の周辺地山の応力分布が等圧的でないために、応力集中や引張り応力を発生しやすく、在来工法では、肌落ちの原因となる地山の劣化を生じる可能性が大きいと考えられる。このような偏平立坑の施工に対して、NATMは掘削直後に地山に密着した支保を建て込み、地山を補強して地山の劣化を防ぐことができること、地質状況に応じて適切な支保を選択し適用できること、地質不良区間でも仮巻きコンクリートが必要ないことなどの点ですぐれており、当立坑の施工には最適な工法として採用された。

2. 工事概要

天山発電所は、佐賀県のほぼ中央部に位置する天山(標高1,046m)の西斜面を源とする六角川水系天山川の最上流部に高さ69mのフィルダムを築造して、有効容量300万m³の上部調整池とし、また、天山山麓を西流する松浦川水系敵木川の中流部に建設中の敵木ダムを下部調整池として利用し、この間を延長約3,300mの水路と発電所で結び、最大使用水量140m³/sec、有効落差520m、最大出力60kWの発電とするもので、1日最大6時間のピーク運転が可能な純揚水式発電所である。

* 佐藤工業株式会社九州支店土木部土木課長(元天山作業所長)
** " 土木本部技術部主任

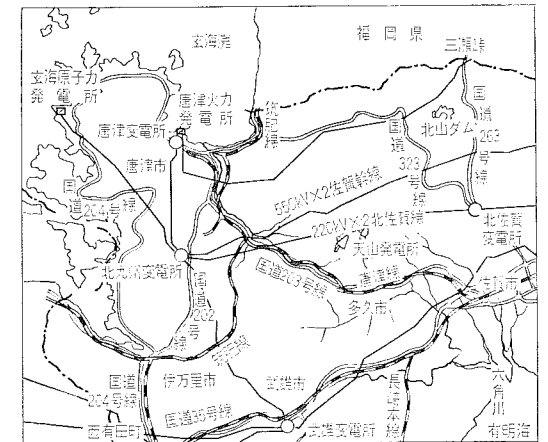


図-1 位置図

ここに報告する放水路ゲート立坑は、内径5.5m、延長1,884mの放水路トンネルの下口に位置し、掘削内径9.2×6.2m(仕上り内径7.2×4.2m)のだ円型断面で延長77.4mである。

発電所工事は、昭和55年3月より昭和61年11月までの工期で、このうち放水路立坑は、昭和57年4月より着手し昭和58年8月に完成している。

3. 地形および地質

天山発電所は、佐賀県の東北部を占める背振一天山山塊地域のうち、天山の西斜面に位置している。周辺の地形は、標高400~600mの山地と、これを刻むV字型の深い谷により特徴づけられ、尾根と谷の比高は約200mである。この急峻な地形は周辺の地質構造の影響を受けたもので、敵木川により浸食されたNE-SW系の主谷と、これとほぼ直交するNW-SE系の支谷が明瞭に認められる。

地質は、古生代末期~中生代初期の三郡変成帯に属する黒色片岩、緑色片岩、石英片岩などの片岩類と、これ

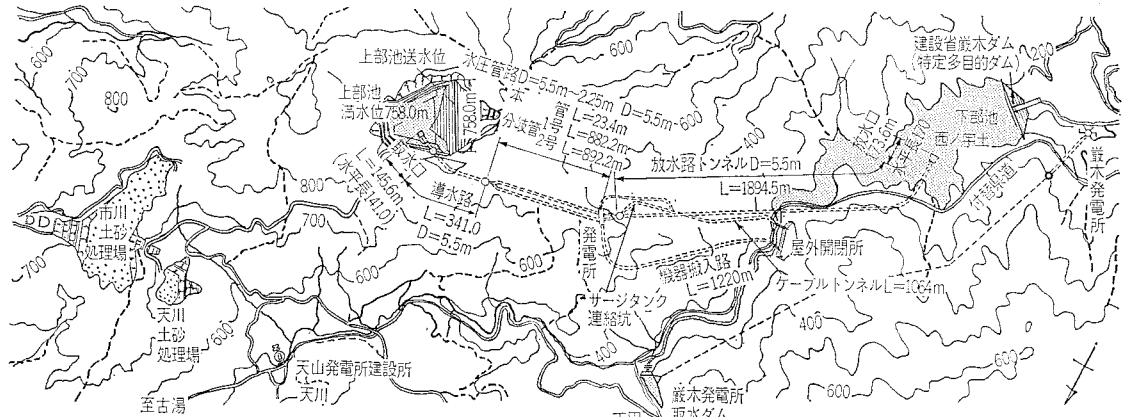


図-2 平面図

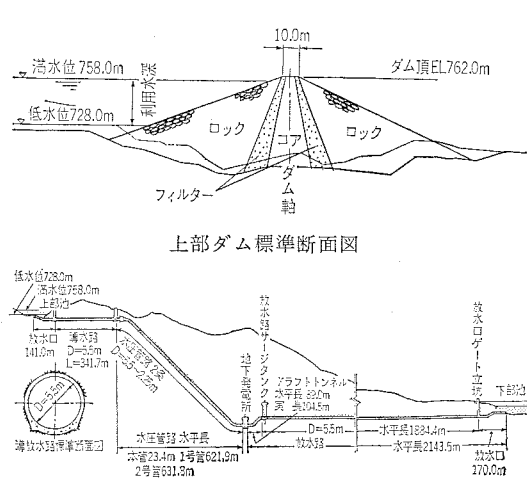


図-3 縦断面図

に貫入したアプライトを主体とし、一部に白亜紀頃の貫入と考えられる花崗閃緑岩が分布する。

放水ロケット立坑は、延長約77mのうち、地表より約30m間がCL~D級の黒色片岩風化帯で、以深はCH~CM級の黒色片岩が分布し、放水路トンネルとの交点付近には、熱水変質帯を伴うアプライト岩脈が貫入している。

片岩は、新鮮な部分は堅硬であるが、風化部は指圧で容易につぶれるほど軟弱である。また、片理面の走向はN45°W~N45°Eの範囲で変化し、アプライト脈は片理に沿って貫入している。

4. 断面形状と支保の検討

4-1 工法の検討

ゲート立坑は、図-5に示すようなだ円型で、当初地表から約30m間が鋼製支保工(H-200×200)と矢板の支保による在来工法、以深は吹付けモルタルとロックボ

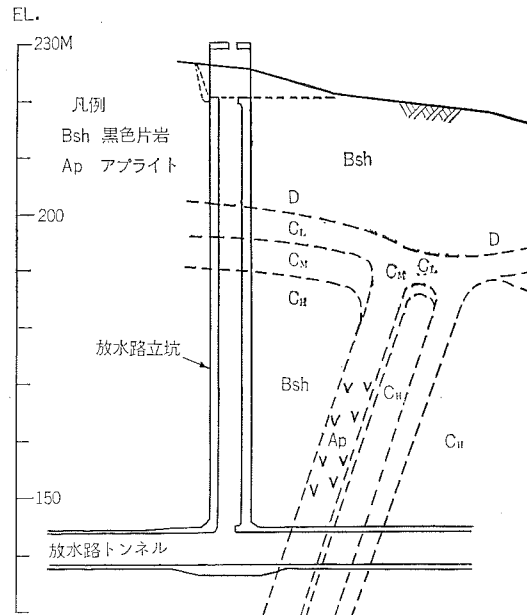


図-4 立坑地質図

トによるNATMで計画されていた。施工に際して、工法を検討した結果、
 ① 在来工法区間は地質が不良のため、掘削後、地山を無支保で放置する時間が長くなると、周辺地山がゆるみ、立坑の安定に悪影響を与える。
 ② 立坑内に重量の大きな鋼製支保工を持ち込むことは、工事の施工性、安全性を低下させる可能性がある。
 ③ 掘削に伴い発生する地山の応力集中や塑性化を避け、十分なアーチ効果を引き出すために、断面形状はできるだけ滑らかな円弧とすることが望ましい。などの理由から設計を見直し、全延長にわたりNATM

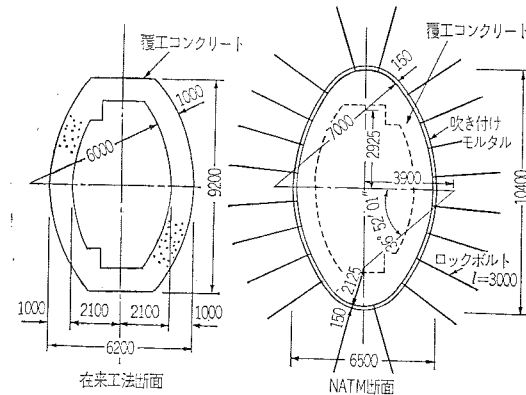


図-5 標準断面図

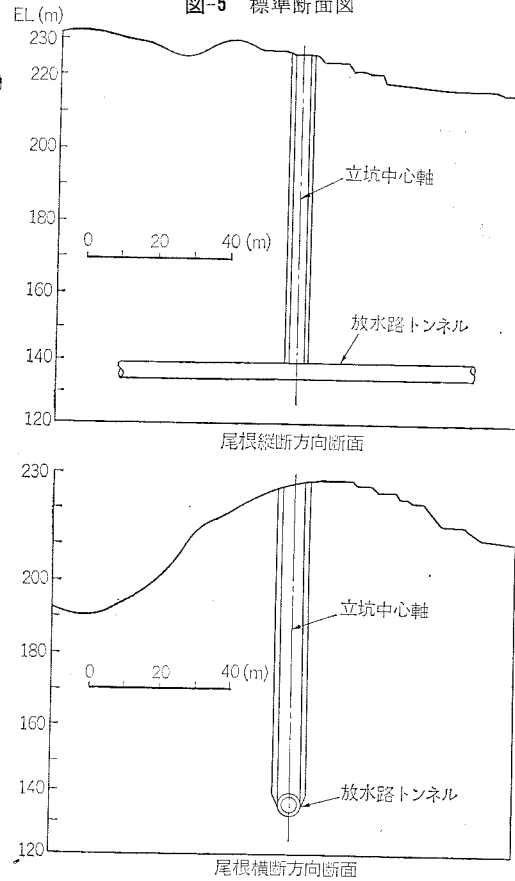


図-6 地形断面図

を採用することになった。

4-2 支保の設計

4-2-1 初期地圧計算

立坑断面に作用する応力は、土かぶり高さから計算される初期地圧の水平成分であると仮定する。

地表面が平坦な場合には、立坑は周辺等圧状態となるが、地表面が起伏に富む場合には、その状況に応じて最大、最小主応力の大きさや方向は変化する。

当立坑は、谷底との標高差が約30mの尾根の中央部に位置し、初期地圧は等圧的でないと考えられるため、2次元F.E.M.解析により起伏の大きい尾根横断方向の初期地圧の水平成分を計算した(図-7)。また、尾根縦断方向は、地表面が比較的平坦なので弾性論で計算した。この結果、立坑に作用する水平応力は、尾根横断方向が尾根縦断方向よりもやや小さく、偏圧状態となる傾向が認められた。なお、計算に用いた地山の物性値を表-1に示す。

4-2-2 支保の計算

立坑の形状は、隅角部を除くために長軸10.4m、短軸6.5mのだ円形断面とし、各地質区間における支保部材は表-2のように計画した。また、計算断面はCH~CM級

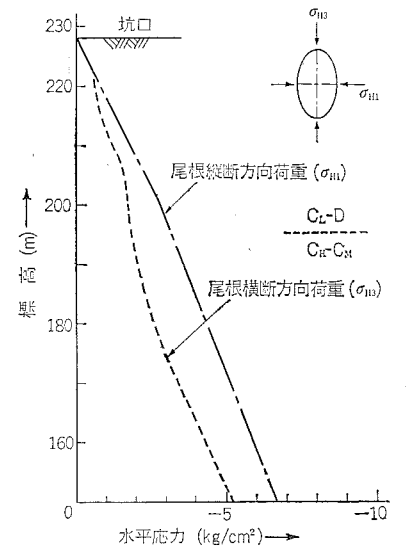


図-7 立坑の水平応力分布

表-1 地山物性値

岩盤等級	適用区間(m)	単位体積重量(t/m³)	弾性係数(kg/cm²)	粘着力(kg/cm²)	内部摩擦角(°)	ポアソン比
D	E. L. 200以上	1.9	3.0×10³	0.9	31	0.35
CM	E. L. 200以下	2.0	2.0×10⁴	2.0	40	0.3

表-2 支保部材

部材	項目	単位	CH~CM級	CL~D級
吹付けモルタル	厚さ	cm	7	15
	弾性係数	kg/cm ²	50,000	
	ポアソン比	—	0.2	
ロックボルト	直径	mm	22	25
	長さ	m	2.0	3.0
	弾性係数	kg/cm ²	2.1×10 ⁶	
	引張強度	kg/cm ²	2000	
	ピッチ	m	1.3×1.0	1.5×1.5

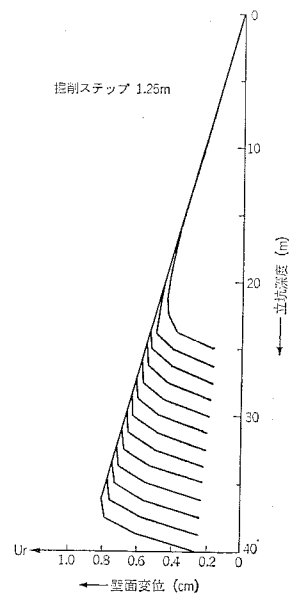


図-8 立坑の切羽進行に伴う変位の解放状況 (深度40mの解析例)

岩盤 (坑口より30m以深), CL~D級岩盤 (坑口より30m間) の両区間ともに, 尾根縦断, 横断方向の水平応力の差が最大となる2断面 (E.L.202m付近, E.L.155m付近) を選択した。

設計に先立ち, 立坑掘削時の切羽付近における地山の応力解放曲線を F.E.M. 軸対称弾性計算により検討した結果, 水平坑と同様であることが判明した (図-8)。Panet など (1982) によると, この応力解放曲線は, トンネル周辺地山が塑性化すると, その係数が変化するが, ここでは岩盤が比較的良好なために考慮していない。

支保の設計は F.E.M. 弾塑性計算を用いた。計算結

表-3 計算結果

項目	単位	CH~CM級	CL~D級
内空変位	長軸方向	mm	0.4
	短軸方向	mm	5.0
吹付けモルタル軸応力 (max)	kg/cm ²	25	21
ロックボルト軸応力 (max)	kg/cm ²	445	622

果を表-3に示すように, トンネル内空変位, 吹付けモルタルおよびロックボルトの応力は小さく, 支保は十分に安全であるという結果が得られた。

5. 放水口ゲート立坑の施工

5-1 導坑掘削

5-1-1 掘削工法の検討

下部に既設の水平坑がある場合の立坑の施工では, ずり抜き導坑を掘削し, 下部水平坑から掘削土を搬出する方式が機械設備や施工性などの面から有利である。この観点から以下に示す3つの導坑掘削方式について比較検討した。

- ① レイズドリルによる切り上り方式
- ② クライマーによる切り上り方式
- ③ クレタカット工法による全面掘削

立坑は, 上部20~30mがCL~Dの風化岩および土砂で, クレタカット工法では装葉孔の閉塞の可能性があり, 土砂部の発破にも不安が残る。またクライマー工法は工期が長くなること, 軟岩部では掘削断面の維持がむずかしいことなど, 施工性, 安全性の面から問題があるため, レイズドリル (ビックマン) による方式を選定した。

5-1-2 仮設備

(1) 受電設備
導坑掘削時のビックマンの容量 (156kW) に合わせてトランスを設置した。

(2) 給気設備
放水路トンネル用に設置した定置式コンプレッサ (30m³/min×2台) では配管距離が長くなるため, 別途に, 可搬式コンプレッサ (10m³/min×2台) を設置した。

(3) 給水設備
ビックマン使用時は300ℓ/mimの給水量を必要とするため, 濁水処理プラントより給水した。

(4) 荷役設備
最大吊荷重を, 切り抜き掘削時の小型油圧パワーショベル (0.18m³) の重量として計画した。ジブクレーン,

ステップクレーンなども検討したが, 用地の問題と取り扱いの容易さから門型クレーン (吊荷重4.9t) とした。

(5) 昇降設備

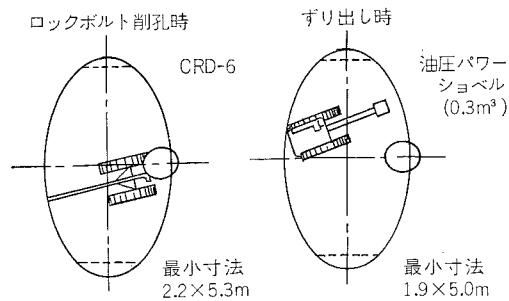


図-9 導坑位置の試験

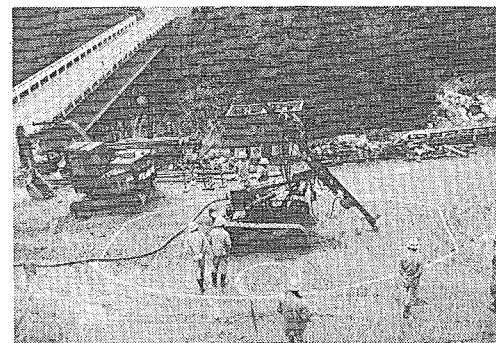


写真-1 導坑位置の試験

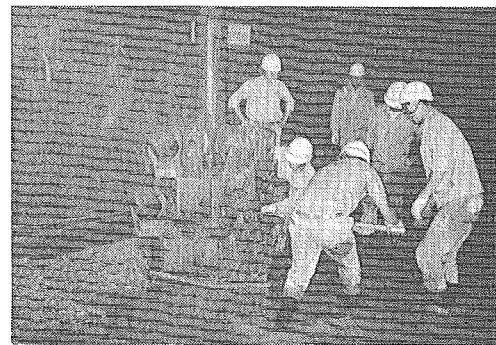


写真-2 リーミングビット取り付け状況

切り抜き掘削時および巻き立てコンクリート打設時の立坑内昇降用として, 簡易エレベータ (3人乗り) を設置した。

5-1-3 導坑掘削

(1) 導坑径と位置

孔径: リーミングビットの径は, φ1,150, 1,450, 1,750mmの3種類があるが, 導坑掘削時の経済性と立坑切り抜き時の作業性を考慮してφ1,450mmとした。

位置: 切り抜き掘削時のクローラードリル, バックホーなどの作業性を考慮して立坑端部とした。位置の決定にあたり, 実際に地表面に立坑の原寸を描き, 機械の作業性をチェックした (図-9)。

(2) 作業方法

掘削は, 小孔径 (φ250mm) のパイロットボーリングを貫通させた後, 下部横坑より搬入したリーミングビットをパイロットと交換し, それを回転しながら引き上げ, 導坑を規定の径 (φ1,450mm) に広げるプレボーリング工法を使用した。

(3) 孔壁保護

立坑上部10m程度は完全に土砂化しており, リーミン

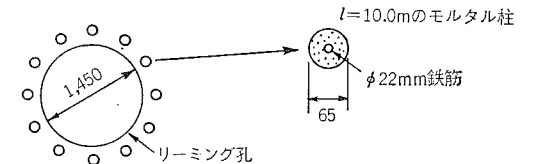


図-10 モルタル杭配置図

表-4 導坑実績

深度 (m)	5月		6月	
	25	31	10	15
GL	機械搬入, 段取 ※※			
D	※※※※※※※※※※			
20	片付, 搬去			
40	NATM工法			
60	R.B引き抜き, ビット交換			
80	※印の日は, 昼夜作業			

表-5 支保パターン区分

深度	地質	吹付け厚 (cm)	金網 (mm)	R.B径 (φ)	R.B長 (m)	R.Bピッチ (h×b)	鋼支保
-1.7	土砂	オープン掘削後, 仮り巻きコンクリート					
-12.7	土砂D級	15.0	φ6 2層	25	3.0	1.0×1.3	H-100 1.0ピッチ
-30.0	軟岩	15.0	φ6	25	3.0	1.0×1.3	なし
-77.4	硬岩	7.0	φ3.2	22	2.0	1.5×1.5	なし

表-6 吹付けモルタル配合表

単位 セメント量	W/C	細骨材	急結剤	粉塵 低減剤
400kg	50%	1,590kg	20kg 5%	0.24kg 0.06%

グ掘削後の孔壁の崩壊が懸念されたため、孔壁保護として、周囲に小径のモルタル杭を先行打設した(図-10)。

(4) 掘削進行

機械搬入より片付け撤去まで1か月で完了し、当初計画よりも15日程度短縮できた(表-4)。

(5) 掘削精度

リーミング掘削の精度は、パイロットボーリングの精度で決まるために、パイロットボーリングは慎重に施工したが、岩盤の構造や片理面の影響を受けたため、放水口側に約350mm蛇行した。

5-2 切り抜け掘削

5-2-1 支保部材

立坑の地山区分および設計計算結果により、表-5に示す支保区分で施工した。

(1) モルタル吹付け

モルタルの配合は表-6に示す。吹付け方法は、立坑坑口付近に吹付機(アリバ260)を設置し、立坑内へは2条の鉄管にて圧送した。また、モルタルプラントは、放水路トンネル施工時のプラントから4m³生コン車にて運搬した。

(2) ロックボルト

当工事では、土砂部分のロックボルト打設の良否が施工上のポイントであり、下記の方法で良好な結果を得ることができた。

① 削孔

削孔は、軟岩や崖錐部の長孔削孔用に開発されたダブルオーガを使用した。作業は、1.5mのスパイラルロットの2本継ぎによるさく孔で行い、ジャミングなどの問題もなく施工できた。

② ロックボルト

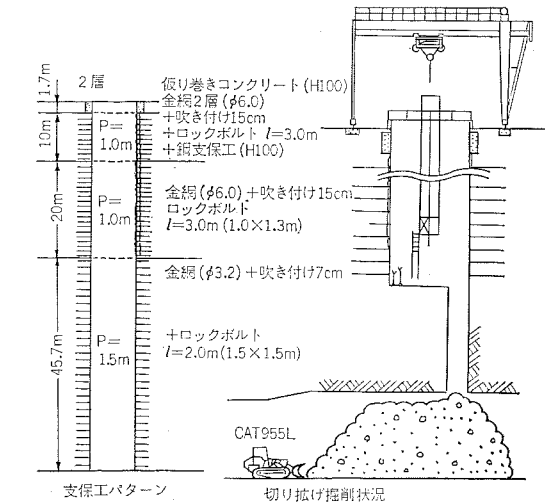


図-11 切り抜け掘削状況

ボルトは3mのネジ鉄筋を使用した。また、吹付け後の壁面の凹凸に対して、ボルトの力を有効に伝達するために半球座金を使用した。

③ 填充材

土砂部のロックボルト填充材は、立坑風化岩部におけるボルトの引き抜き試験結果からドライモルタルとした。また、硬岩部はレジンを採用した。

5-2-2 掘削方法

(1) 坑口付け

導坑掘削終了後、オープン掘削にて1.5m盤下げし、鋼支保工(H-100×100)を利用して地山に密着した仮り巻き鉄筋コンクリート(厚さ30cm)を打設した。

(2) 土砂および風化岩部の掘削

G.L.-4.7m付近までは、ユンボクラムによる上部ざり出し方式とした。また、G.L.-12.7mまでは発破の必要がなく、ミニバックホーによる導坑へのざり落し方式で1.0mずつ掘削した。

(3) 岩盤掘削

G.L.-12.7m以深は、1発破進行1.0mの発破掘削とした。ロックボルト打設間隔は、G.L.-30m付近まで

表-7 火薬使用実績表

岩質	深度(m)	掘削量(m ³)	爆薬		雷管	
			使用量(kg)	m ³ 当たり(kg/cm ³)	使用量(個)	m ² 当たり(個/m ²)
D級	12.7~21.7	473.4	53.5	0.11	439	1.2
CL~CM	21.7~41.0	1,015.2	296.8	0.29	1,164	1.3
CH	41.7~77.4	1,877.8	1,810.5	0.96	4,209	1.9

表-8 切り抜け実績

m	6月		7月		8月		9月		10月		
	10	20	31	10	20	31	10	20	30	10	30
0											
10											
20											
30											
40											
50											
60											
70											
80											

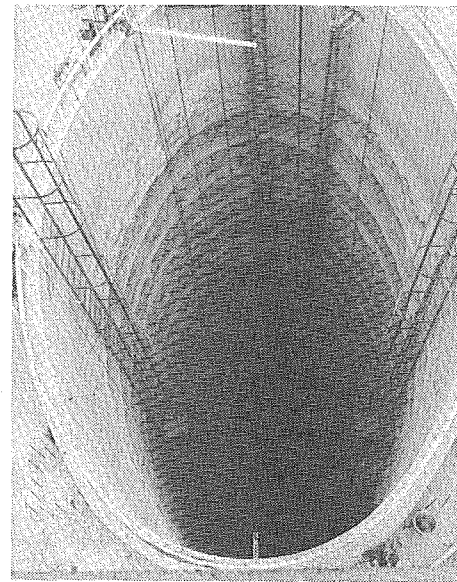


写真-3 切り抜け掘削完了

のCL~D級岩盤では1.0mとし、以深はCH~CM級の良好な岩盤となったため1.5mとした。

5-2-3 掘削実績

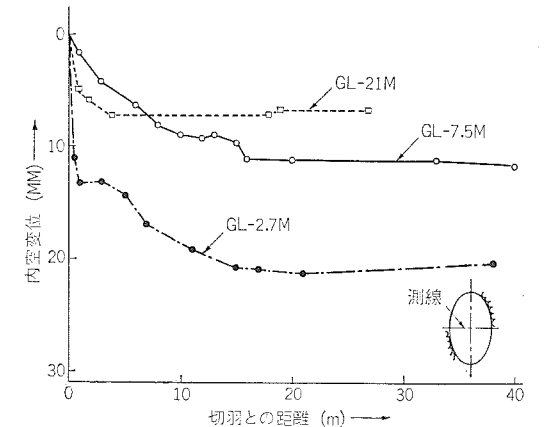
坑口部完了後掘削に着手し、片番の作業で平均進行は1.0m/日であった。また、吹付けの余吹率は1.89で、火薬使用実績は、芯抜きが必要がないために表-7のように少なかった。

6. 計測

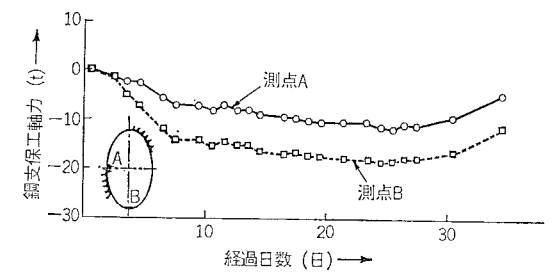
計測は、地表よりG.L.-30mまでの土砂および風化岩区間を対象として、内空変位測定5断面、支保工の応力測定2か所を実施した(図-12)。

これらの結果は、

① 内空変位は、G.L.-2.7mの風化部で最大約22mmを示し、計測断面が深くなるにつれて減少している。これは、深度が大きくなるにしたがい、地山が良好となっていることを示しているものと考えられる。



(a)内空変位計測結果



(b)鋼支保工軸力変化

② 支保工の応力は、曲率の大きい部分が曲率の小さい部分よりも大きい値を示している。など、計算結果と比較的一致している。

7. 立坑巻き立てコンクリート施工

掘削完了後、セントルを搬入し巻き立てを開始した。全長77.4mのコンクリート打設は、昼間施工で平均4回/週の進行を確保できた。

(1) 型枠工

当初、油圧ジャッキによるスリップホームを考えていたが、費用の面であまりメリットがないと判断し、普通タイプのセントルを使用した。打設高さは足場高さに合わせる必要があるため、枠組足場高さを1.6mとした。また、坑口に設置した門型クレーン(4.9t)を使用するため、セントルは2分割とした。

(2) 鉄筋組み立て工

巻き立てコンクリートの作業サイクルから考えると、鉄筋の組み立て時間を短縮する必要があったため、配筋の複雑なコーナー部は坑口で組み立て(2リフト分:2×1.6m)吊り降した。このため、2リフトに1回は鉄筋組み立ての時間を大幅に短縮できた。

(3) コンクリート打設

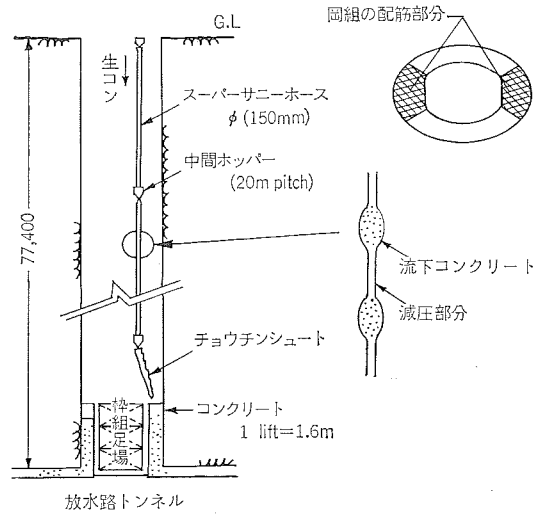


図-13 コンクリート打設

当初の計画では、上部からのシュートによる打設はコンクリートの分離や作業の安全性に問題があるため、下部30m間は、放水路トンネルからのポンプ打設を検討したが、以下の問題が解決できないために、すべて上部からのシュート打設とした。

〈ポンプ打設の問題点〉

- ①放水路トンネルが巻き立てコンクリート施工中で、立坑との同時打設が不可能なため、立坑のコンクリート打設が時間的制約を受ける。

画期的な NATM システムを開発

技術資源開発(株)で

技術資源開発(株)では、これまでの湿式吹付けシステム“TW工法”をさらに充実させるべく、遠隔操作吹付けロボット「ダイナミックシュータ」と多機能吹付け移動台車「ダイナミックマン-ベータI型」を開発、その実用機を公開した。ダイナミックシュータは、スイスのメナデュ社と、またダイナミックマンは、小林物産、草栄産業との共同開発したもの。

TW工法は、材料の供給、混練、圧送、吹付けが連続的に行えるシステムで、今回実用化された2機種は完全湿式吹付けシステム構成機として注目される。

ダイナミックシュータは、とくにNATM用に構成されたもので、あらゆる断面に適用でき、①遠隔操作ができる②ノズル先端が円運動をする③ノズル角度が自由に変わる④ノズル部、スライド部が軽量⑤吹付け壁面と距離を一定に保つなどの特長を有する吹付けロボット。

②打設完了後のコンクリート圧送管内の残コンクリート処理が困難である。

③打設時の配管の段取りかえなどに時間がかかる。シュート打設にはスーパーサニールースを使用した。このホースは極端な円形で、コンクリートの流量が増加すると、図-13に示すような間けつな塊を形成するため、各塊の間が減圧部となり、流下速度が減少するという特徴があり、ほぼ良好な結果を得ることができた。

8. おわりに

NATMによる立坑の施工例は、これまでに数件発表されているが、今回のような偏平大断面の施工例は少ない。立坑は水平坑より力学的に安定性が高く、工事の施工性や経済性を向上するためには、NATMのような軽量の支保部材を導入することが重要と考えられる。

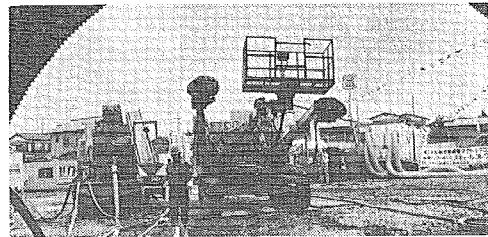
最後に、工法の検討と工事の施工にあたり適切なご指導をいただいた九州電力(株)天山発電所建設所の迫所長および土木建築課、工事区のみなさま方に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) M. Panet・ほか: Analysis of convergence behind the face of a tunnel; Tunnel '82.
- 2) 副島泰信: 天山発電所の施工概要, 建設の機械化 '83. 2.

ダイナミックマンは、同一移動台車上に、GM90吹付け機DHシステムのほか、高圧水、ポンプ、ローディングバスケット、エレクトラーム、モルタルプラントを搭載した多機能マシン。

これらの新鋭機は、同社が埼玉県浦和で開催した展示会“NATM SUMMER”に関係官庁、建設会社などから約1,000名を集めて公開実演を行い高い評価を得た。



トンネル半生記

海外こぼれ話(上)

ローコストトンネルシンポジウムから

田島利男*

さる6月21日から3日間、ノルウェー王国の首都・オスロで、同国主催によるローコストトンネルをテーマにしたシンポジウムが開催された。

著者も、機会があって同シンポジウムに参加した。以下は旅行先でのこぼれ話の2, 3を紹介する。

○ アンカレッジ空港のオバさん

ノルウェーなど欧州に行くには、北廻り、南廻りのほか、ソビエトを通るルートなどがある。このうち、もっとも利用されているのが北廻りで、この北廻りは、途中アラスカのアンカレッジに給油のために立ち寄る。このルートをわれわれも利用した。

アンカレッジは、成田から約6時間半の距離にあるが、時差はプラス5時間、しかし、日付け変更線を越えるので、日本の正午は、前日の午後5時となる。夜の9時半に成田を出発したので、アンカレッジには日本時間で翌日の朝4時に着くことになるが、時差の関係で、現地では当日の朝9時に着く。6月であったため、成田を飛び立つと間もなく夜が明ける。暗いところで眠る習性のある人は眠れない。そして、5時間の睡眠時間の短縮である。

アンカレッジ空港では、給油のため約1時間、乗客は機内より開放され、空港内のロビーで休息できる。ロビーに入って驚いた。日本の空港ロビーと同じ雰囲気である。お手洗への案内版は日本語で示され、すし屋もあれば、うどん屋もある。だいたいロビー内の乗客はほとんどが日本人で、チャリホリと鼻の高い外人がいる。聞える会話も日本語ばかり、外国にきた気がしない。

土産物屋は、ウイスキー、煙草などの免税品店のほか、装飾品、ここでは砂金を溶かした金塊のネックレス、毛皮のコートが特産品のようなのである。このほか、食品では冷凍のキングサーモン、生きた毛ガニ、牛肉、チョコレ

* 本誌編集顧問、(株)ハイウェイ・エンジニアリング代表取締役

ートなどがあるが、あまり安くない。

これらの品物を前に、大きな声で品物をすすめているオバさんたちがいる。ほとんどが日系で、年齢は、新幹線の終着駅などで見かける清掃婦くらい。われわれ日本人が近づく、われわれとまったく変わらない日本語で一生懸命品物をすすめる。そして威勢がいい。

ある航空会社のスチュワーデスが、乗り遅れている日本人を呼びながら探していると、このオバさんたち、「○○便のお客さん!早く乗らないと置いていかれちゃうよ!」と大声で叫ぶ。アメ横にでもいる感じである。

このオバさんたち、日系アメリカ人や米国に永住権をもつ人達であるが、なかには日本からの出稼ぎもいるらしい。

食品売場の中年太りのオバさんに、こんな北のところに住むより、ロスアンゼルスあたりに住んだ方がよくないかと聞くと、あんな空気の悪いところは住むところではないといい、アンカレッジに住んでいることを自慢していた。

太ったお腹あたりと、うまそうな牛肉を見比べながら、「空気もいいし、食べものもいいし、体もよくなる一方だね」と冷かすと、「そうなの、だから今日のお弁当はこれだけ」といって、レズのそばに置いてあるビニール袋に入ったコッペパン1個のサンドイッチを指差した。

装飾品売場ではディスカウントセールが行われていた。ここの品物は安い。しかし、あまり人だかりはない。品物を見ていると、オバさんが近寄ってきて、こんな安いものはない。ぜひ、お土産に買いなさい。絶対に損はしないとすすめる。こちらは、儲けたような気持ちになり、ついネックレスを買ってしまった。

アンカレッジのオバさんたち、かつて日本の男どもが占領し、そして玉砕したアリューシャン列島のアツ島の、そのまた向こうのアメリカで、アンカレッジを占領したかのように働いている。したたかな山の神たちであ



天龍村の“ゆべし”を送ります

吉沢道夫

長野県の諏訪湖から、静岡県遠州灘に流れる天龍川水系の早木戸川に水路式発電所を新設している。地図のうえで見ると、静岡県・愛知県・長野県の接点を佐久間ダムに沿って8kmほど上流にのぼったところで、風光明媚な天竜奥三河国定公園内に位置している。

この地方は、かつて林業が盛んで、天龍川を筏で木材を運び、帰路には塩や海産物を買って秋葉街道を歩いて帰ってきたという歴史の古い地籍である。

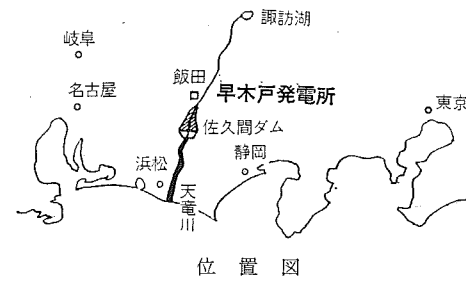
ここ早木戸から少し下流の県界に、坂部という集落がある。ここは、「桓武天皇13代平直貞9代之孫、熊谷丹甲貞直」が、文和元年に2人の臣従とともに土着し、一郷開発の祖となったところで、いまでも、その熊谷家は繁栄し、末孫が居住している。また、坂部の冬祭は国の無形文化財に指定されており、1月4日の夜から5日朝まで盛大な祭事が行われている。

この地方の産物は、伊那山地に覆い茂る木材をはじめとして、天龍茶、椎茸が特産で、最近では村の特産物振興により“ゆべし”という保存食物が加工されて各地に送り出されている。

さて、早木戸発電所の概要を説明すると、早木戸川と天竜川の合流点上流9km付近に早木戸取水ダムを設けて取水し、途中3か所の溪流取水を合わせて最大4.2m³/sの水を約4.4kmの無圧トンネルで導水して倉の平地籍下流に設ける発電所で有効落差325.6mを利用して最大出力11,200kWを発電して佐久間ダムに放流するものである。

当現場は第3工区を担当し、58年1月に着手して60年6月の通水に向けて鋭意施工中である。現在は、取り付け道路3,200mの工事を終えて3号導水路下口1,352mをNATMで施工している。

施工計画段階では、取り付け道路の地盤が悪いことを考慮して9か月で12万m³の土石を搬出する施工機械と、崩落防止用の法面工などを工夫する一方で、取り付け道路の遅れで、トンネルの着手が遅れた場合を想定した掘削工法を検討した結果、油圧ジャンボにより長孔S.B発破で掘削し、ずり運搬に20m³シャットル



位置図



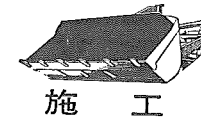
S.Bによる発破状況

カーを用いる組み合わせで対処する計画を立て、その計画に基づいて、現在T.D520m付近を掘削中である。この間、被圧湧水(2,000ℓ/min)に出会い、その処理に追い回されたこともあったが、職員一同のがんばりで何とか切り抜けることができた。切羽の様子は毎日に変化するので、ご気嫌伺いも大変であった。

現在は、一層の工程アップのために掘削方法を検討しているが、並行してラス張り、コンクリート吹き付けのサイクルタイムの短縮をはかるためスチールファイバーの採用を検討している。この施工がベターであり、発注者からも認められればラス張りの時間が短縮されるのではないかと期待しつつデータの検討をすすめている。

いづれにしても、今秋には貫通させねばならず昼夜をいとわず工事を行っている。60年6月の通水までに同工事を無事故・無災害で完成させるために職員および関係者一同ますます精勤している。

(吉川建設株式会社土木部長)



破碎帯偏土圧による変状とその対策

関越トンネル谷川換気用立坑

定塚正行* 佐取勘四郎**
上村啓二***

1. はじめに

関越トンネルは、東京と新潟とを結ぶ約300kmの関越自動車道のほぼ中央に位置する延長10.88kmの道路トンネルである。

このトンネルは、長大トンネルではじめての立坑送排気型縦流換気方式が採用された。この換気方式は、換気系の構成上、それぞれ2か所の立坑、地下換気所と5か所の電気集じん機室でなりたっている。

関越トンネルの工事は、昭和52年11月に着工し、昭和57年に車道トンネル(本坑)が貫通し、昭和58年11月の谷川立坑の貫通を最後に掘削工事はすべて完了した。

この報文は、関越トンネルの掘削工事のうち、谷川立坑で発生した破碎帯偏土圧による立坑覆工コンクリートの変状とその補強対策について報告するものである。

2. 谷川立坑の概要

谷川立坑は、関越トンネルの水上側側口より約3.7kmの位置にあり、上信越高原国立公園を代表する谷川連峰組嶺に直面している。

立坑位置の選定は、①換気計画はトンネル延長3分割する位置に2か所設置する。②谷川連峰一帯は、国立公園であるため、環境防護上の観点から特別保護地域は絶対に避け、特別地域も極力さけることとし、③さらに、掘削工法上の制約から立坑の掘削深さは、およそ200m程度におさえることなどの条件を考慮して決定した。その結果、谷川本谷と細芝沢の合流位置に選定した。

地質的には、ボーリング調査および立坑の水抜き工を利用したPS検層などから、図-4に示すように、地表部から約40mは崖層および転石層であり、下部は節理の

* 日本道路公団関越トンネル南工事事務所長
** " " トンネル南工事長
*** " " " "

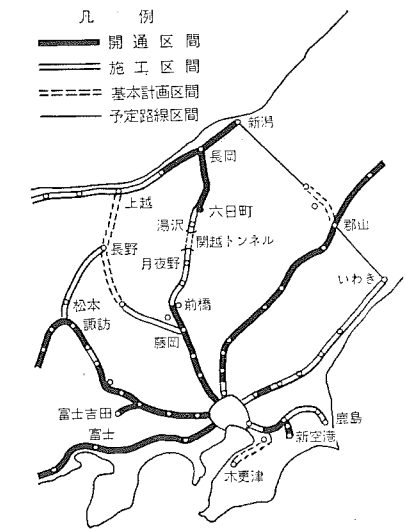


図-1 位置図

多い花崗岩であり、数か所に破碎帯も確認されている。

立坑の覆工は、立坑掘削と交互に施工する1次覆工と掘削完了後に連続コンクリートとしてスリップフォームで施工する2次覆工とからなる。立坑は換気上、送気と排気と分離する隔壁版が必要であるが、これは2次覆工と同時に施工する。さらに、地上部には吸排気を行うための換気塔を建設する。

施工は、まず工事用道路となる作業立坑を掘削し、そこにエレベータ設備を設け、人員および資機材の搬出入を行いながら換気用立坑の掘削にあたった。掘削は、上部のルーズな層は上部より迎え掘りを行い、次にレーズボーラーより直径1.45mの導坑を掘削し、この導坑を用い、坑底部にずりを落下させながら、掘削直径11.1mおよび12.1mの立坑の切り抜け掘削を上部よりショートステップ工法で行った。掘削は、立坑掘削専用の4ブーム

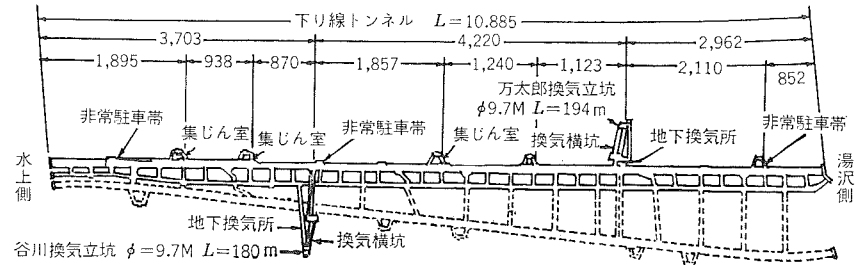


図-2 概要図

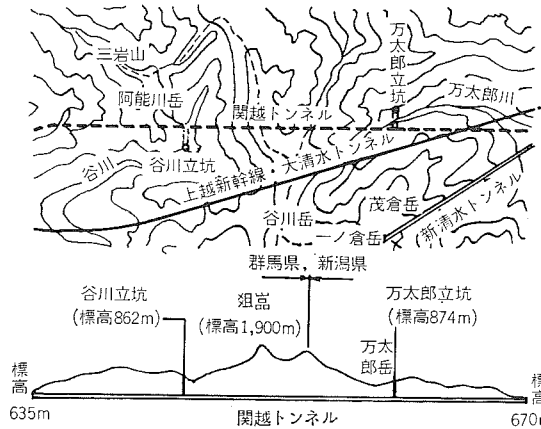


図-3 立坑縦断面図および位置図

のシャフトジャンボを用い削孔を行い、爆薬により発破掘削する発破工法とした。掘削覆工は、立坑の断面が大きいこと、および地質条件的にも、数か所に破碎帯が確認され不安定であることから1ステップ1.2mのショートステップ工法とし、覆工厚40cmの1次覆工を施工し地山を押えながら掘進した。

3. 立坑の切り抜け掘削

立坑の切り抜け掘削は、昭和57年7月から、上部崖錐層および転石層は、ログドリルを用いて行い、その下部の岩盤層は、シャフトジャンボを用いて昭和57年11月から本格的な掘削を開始した。

上部の掘削は、転石が多く、湧水も若干あり、地山も

ボーリング調査結果		
地質	ボーリング深	特記事項
崖錐	8.00	角礫を含む
玉石混り砂礫層	32.80	数mの転石が存在 礫質は雑多
石英閃緑岩	39.70	強風化、一部真砂化
	50.00	堅硬であるが、クラック部は風化
	60.20	亀裂少なく良好
破碎帯	68.50	破碎質で鏡肌が見られる
	75.75	断面粘度を含む
石英閃緑岩	87.00	堅硬であるが、鏡肌が見られる
	137.00	亀裂数平均10個/m前後 部分的に岩片状含む
	155.5	亀裂多く破碎質
	190.0	亀裂多い部分と良好な部分と互層になっている。 亀裂角は70~90°が多い

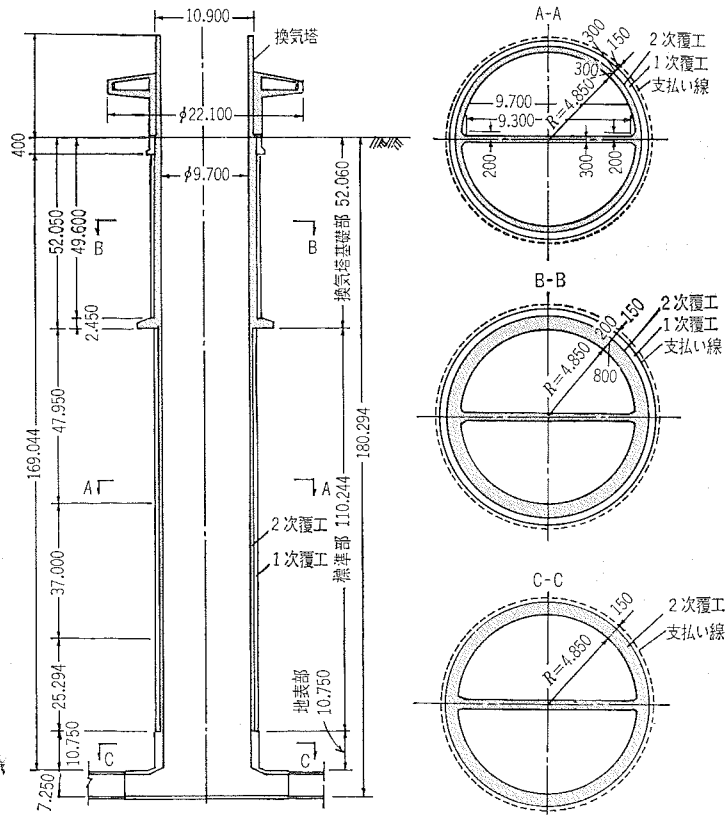


図-4 立坑断面および地質概要

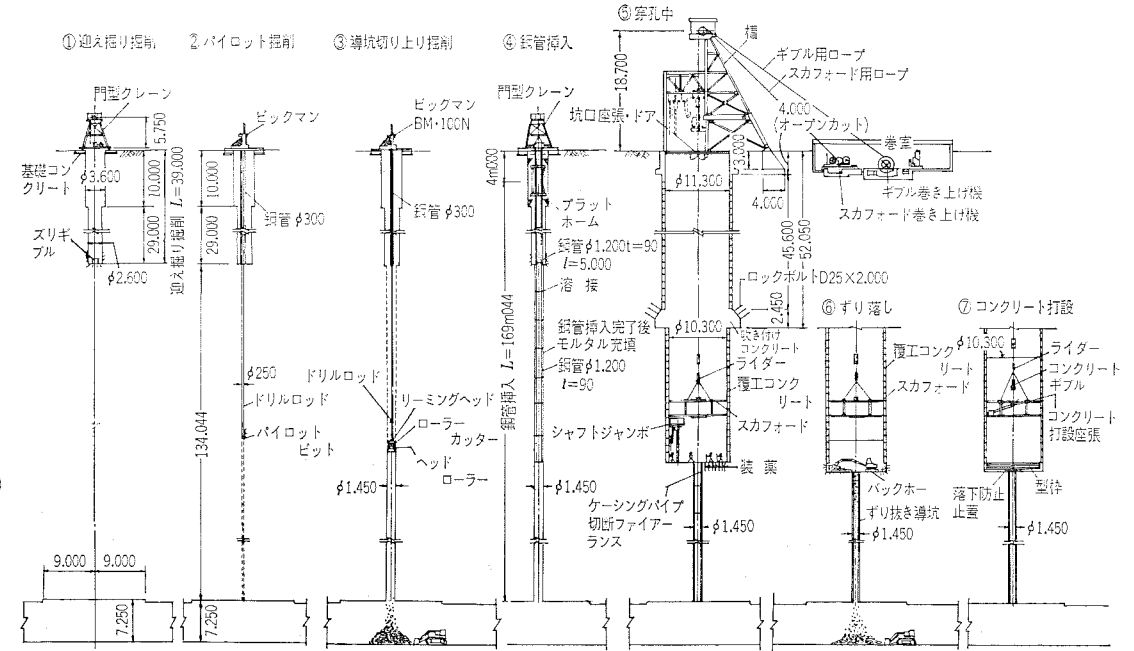


図-5 本立坑施工次第図

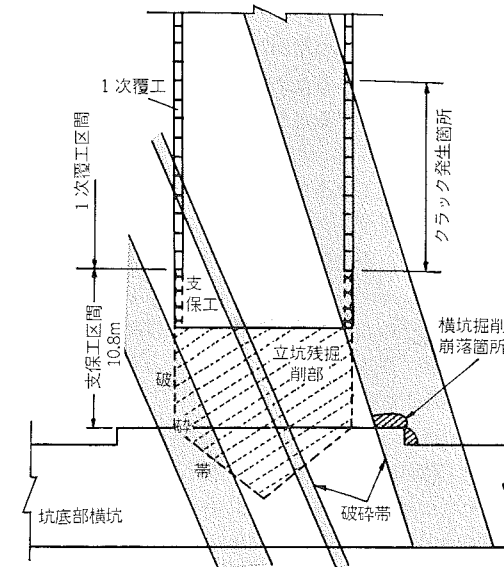


図-6 立坑クラック発生箇所付近の破碎帯

ルーズなため側壁が自立しない箇所もあり、また、これらの要因のほか、大断面の立坑の掘削に作業員が不慣れであったことなどから非常に難航した。冬期休止後、昭和58年から岩盤層の掘削を再開したが、以後は、比較的順調に進捗した。ところが、貫通直前の昭和58年8月末に1次覆工の一部に大きなクラックが発生し掘削を一時

中止した。

4. 1次覆工クラック

立坑の1次覆工に発生したクラックの状況と、その付近の地質状況を図-8に示す。クラックの発生状況は、立坑坑底部約7mの位置で発破後、発破地点より上方約4~7mの位置の1次覆工にクラックが発生した。クラックの位置は、立坑延長方向に13mにもわたった。

当該個所の地質状況(図-6)は、立坑に約70度の傾斜で破碎帯が通過しており、これは立坑部の横坑に連続している。この破碎帯は、下部横坑掘削時に約500l/minの湧水とともに崩落した地点と一致している。

これらから推定できるように、1次覆工に発生したクラックは、この破碎帯のゆるみ土圧により発生したものと考えられる。付近の切羽の地質状況は、石英せん緑岩で単体では堅硬であるが、切羽全体に節理が発達し、破碎帯部は風化を受け粘土化していた。

5. 1次覆工および切り抜け掘削時の補強対策

1次覆工にクラックの発生した箇所は、大断面の立坑と横坑との交差位置付近であるため、一般での横坑での変状に比較して現場での不安感は非常に強かった。

立坑の切り抜け掘削を行うための補強工法の選定にあたっては、仮設機械類は資材運搬用の作業立坑を通過で

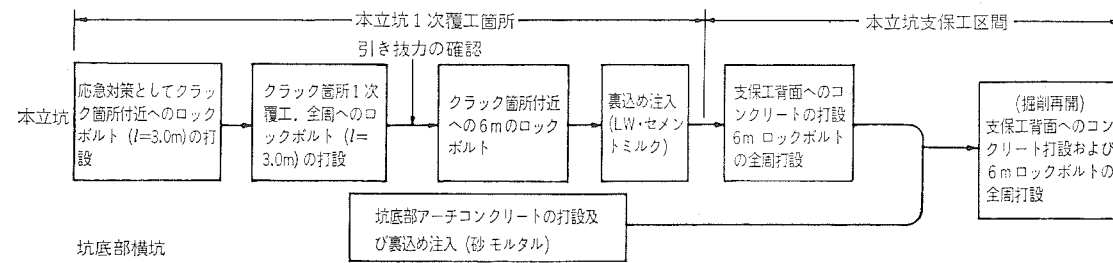


図-7 1次覆工補強対策の手順

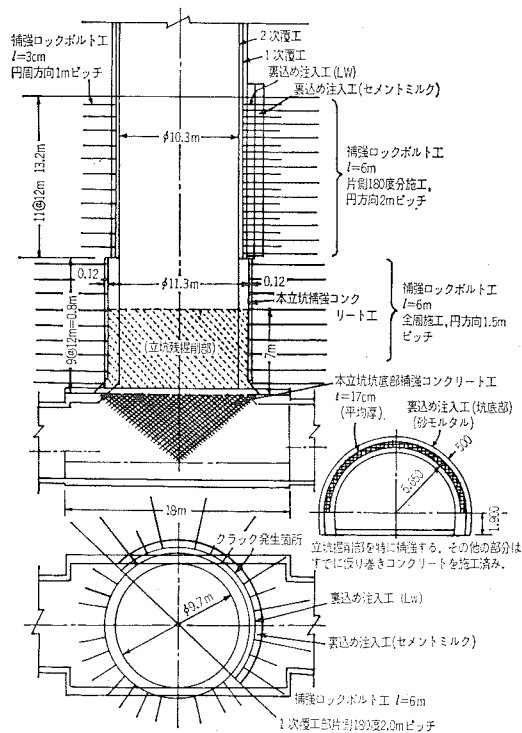


図-8 補強対策概略図

きるものであること、さらに、立坑内での作業は、作業足場がスカフォード(図-6参照)上であることなどから、補強対策工法の採用にもかなり制約があった。補強対策は、次の手順で行った。

5-1 立坑部の補強

(1) 1次覆工個所の補強

1次覆工のクラックの発生個所の補強は、まず、応急対策として長さ30mのロックボルト(全面接着レジスタタイプ)をクラック発生個所周りに打設し、次にクラック

発生範囲の1次覆工全周に打設し、周辺地山に圧縮ゾーンを形成させ、周辺地山を安定させることとした。このロックボルトの打設により、クラックの進行は、ほとんどなくなったが、3mのロックボルトの中には、引き抜き強度が十分に得られないものもあったので、クラック発生個所周りに長さ6mのロックボルト(全面接着モルタルタイプ)を打設した。

(2) 1次覆工背面の裏込め注入

クラック発生が、破碎帯の挙動に基づくものであるものと考えられるため、1次覆工背面にある程度の空隙が存在する可能性があった。このまま施工を進めてしまうと、将来地山のゆるみの増加などにより立坑に悪影響を及ぼすことが予想されるため、空隙を充填し、地山の荷重を覆工が均一に受けるように1次覆工背面に裏込め注入を行った。

注入は、1次覆工のクラック部から注入材が流出するのを防ぐため、まず、クラック個所の1次覆工背面にLWの注入を行い、その背面に若干の地盤改良的な効果も期待し、セメントミルクを注入することとした。背面の状態は、注入圧の状況から、大きな空隙は存在しないことが確認でき、注入量は少量の注入となった。

(3) 本立坑支保工区間の補強

本立坑の坑底部約10m区間は、スリップフォームによる2次覆工時に、坑底部横坑と一体としてコンクリートを打設するため、1次覆工は施工せず、リング状の支保工のみで地山を支保する計画であった。この区間の補強は、横坑との距離も近く立坑掘削と横坑掘削時の地山のゆるみなどの影響が複雑にからみ合う地点である。そのため、補強は支保工と地山との間にコンクリートを打設し支保効果を面的に高め、さらに6mのロックボルトを全周に打設することにより吊り下げ効果も期待した。

5-2 立坑坑底部横坑の補強

立坑坑底部横坑には、1次覆工のクラック発生個所からの破碎帯が連続していること、および立坑の掘削の進

行に伴い、横坑に相当の荷重がかかることを考え、本立坑の掘削に伴う導坑からの落下ずりによる破損をさけるため坑底部横坑の一部に覆工を施工していなかったが、この個所の覆工をまず行った。次に立坑直下の坑底部は、立坑のクラック発生までは、鋼アーチ支保工と、この支保工をH鋼で横方向に連結する程度の補強であったが、補強対策は、これらの支保工を1次覆工でくみ込み、支保工と覆工コンクリートを一体化させ剛性を高め、さらに、その背面に空洞充填のため砂モルタルを注入することとし、全体としては、坑底部横坑のアーチを補強する方法を採用した。

これらの補強対策により、立坑1次覆工の変状は完全に停止した。これにより、掘削を再開し、立坑の掘削は

昭和58年11月に完了したが、掘削中および掘削後とも、立坑の内部には変化が見られず、また坑底部横坑にも変状は見られなかった。

6. 本立坑2次覆工の補強

立坑は、掘削完了後、前述したように、スリップフォームにより隔壁版と2次覆工とを同時に施工する工法を採用した。この2次覆工の施工にあたり、立坑は、関越トンネルの換気上の重要性、完成後の立坑の維持管理の困難さを考慮し、立坑掘削時にクラックの発生した個所付近については、2次覆工を補強して破碎帯のゆるみによる外力に対抗できるように配慮した。

2次覆工の補強は、立坑はすでに1次覆工が施工されており、また、内部はスリップフォームの構台と型枠が固定されているため、2次覆工の部材厚は任意に変化させることはできない。したがって、補強は1次覆工の変状状態から外力を想定し、2次覆工の鉄筋量を増すことで外力に対抗できる構造とすることとした。

6-1 1次覆工に作用した荷重などの想定

1次覆工の変状の状態は①変状を起こしたコンクリートは、表面が剥離している。②曲げ引張りの状態ではなく、圧縮破壊と考えられる。③クラックは1次覆工のリングの一部にのみ集中している。これから、1次覆工にはリング全体にかかる等圧と考えられる荷重と、破碎帯の挙動によるものと考えられる偏土圧が同時に作用したものと考えられる。外力の想定概念図を図-9に示す。

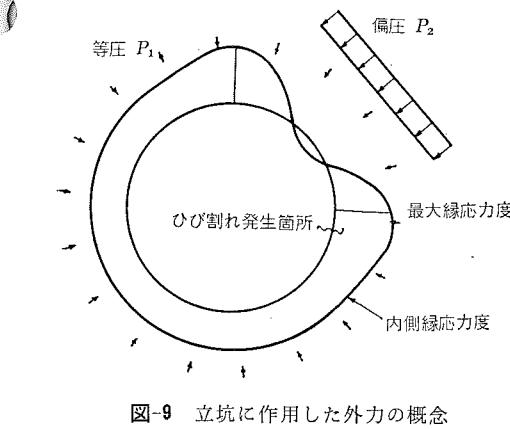


図-9 立坑に作用した外力の概念

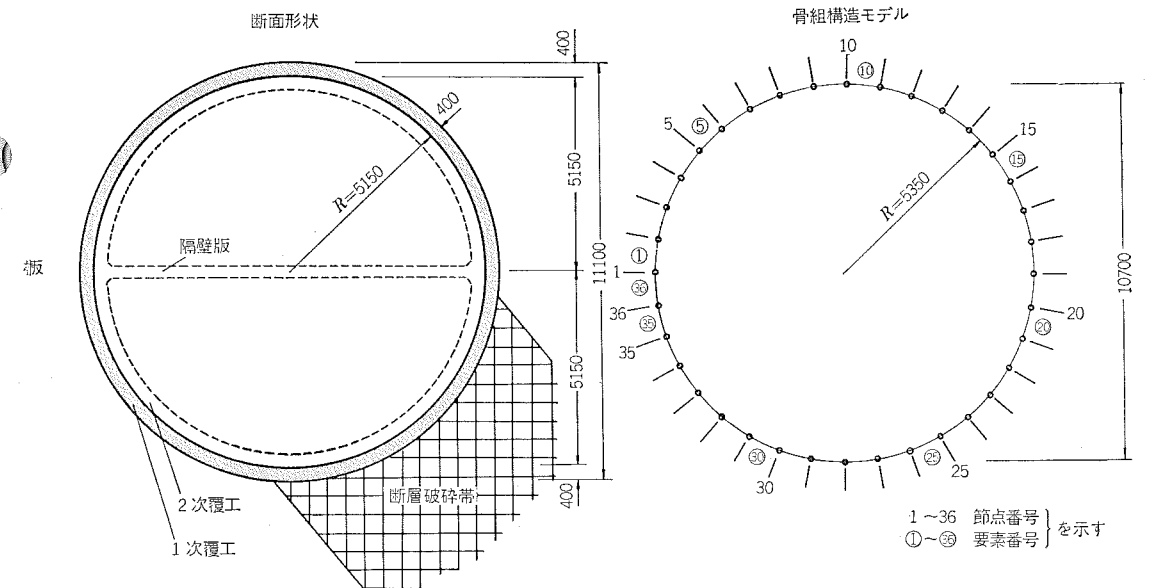


図-10 断面形状および骨組構造モデル

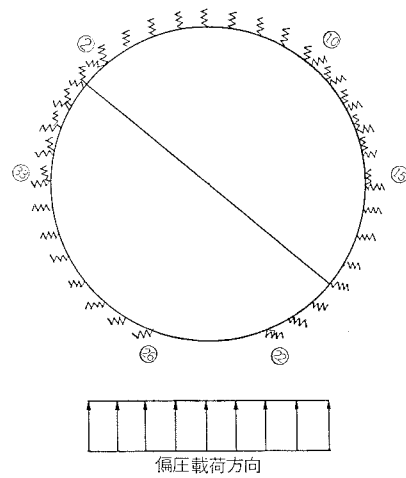


図-11 地盤反力バネ作用位置 (バネの方向は、偏圧荷重方向と、それに対する鉛直方向の2成分とする)

偏土圧の曲げによる内側引張り応力は、軸力に低減されて破壊応力には至らず、逆に曲げによる内側圧縮応力が軸力と相まって破壊応力に達し、曲げ圧縮破壊によるクラックが発生したものと考えられる。なお、クラック発生位置に対して偏土圧作用範囲と内側緑応力度の最大値を示す位置とが近似する。

(1) 解析モデル

1次覆工に作用した荷重などを想定するために図-10に示すように、1次覆工の断面形状を軸線を用いた平面構造モデルに置きかえ計算を行った。

(2) 解析条件

解析に際し、次の解析条件を採用した。

① 支点バネ

1次覆工リングが地山側に変位する場合、地山には、その変形を抑えようとして反力があらわれる。この反力の大きさは、変形量に比例するものとして一般に地盤反力バネ定数 k_x (水平方向)であらわす。ここでは、地山には風化がみられ、亀裂が発達していることから、水平地盤反力係数 $k_x=10$ (kg/cm³)を用い解析モデルの図-11に示すように支点バネを作用させた。

② 材料特性

1次覆工部材の弾性係数は、クラック発生時の材令は7日程度であるため、材令を考慮し $E_{e1}=180,000$ (kg/cm²)に低減した。

(3) 作用荷重の想定

解析は、ゆるみによる等圧荷重 P_1 を1次覆工全周に作用させ、また破砕帯の挙動による偏圧荷重 P_2 をクラック発生個所の切羽状況を参考に破砕帯部分に作用させ P_1 、

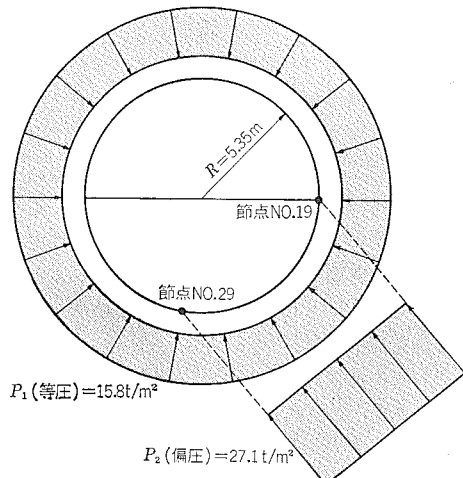


図-12 1次覆工に作用した想定外力

P_2 の値を任意に与え、

①内側緑応力度の最大となる(圧縮)応力が圧縮破壊強度を若干上まわる。

②内側緑応力度の最小となる(引張り)応力が引張り破壊強度を若干下まわる。

上記の2つの条件を満たすような荷重条件を求め、その大きさを「クラック発生時の1次覆工にかかる荷重」と想定する方法をとった。

この結果、 $P_1=15.8\text{kg/cm}^2$ 、 $P_2=27.1\text{kg/cm}^2$ が上記条件を満たす荷重となった。荷重想定図を図-12に示す。

6-2 2次覆工断面の検討

(1) 設計条件

① 解析モデル

2次覆工断面検討のための解析モデルは、1次覆工の外力想定時と同様に図-13に示すとおり、隔壁版を考慮した平面構造モデルとした。

② 荷重条件

1次覆工で検討したクラック発生時のゆるみ荷重 P_1 (等圧)と、破砕帯の変動による荷重 P_2 (偏圧)は、1次覆工を介して1次覆工に作用する。そこで2次覆工に作用する荷重は、1次覆工および2次覆工の剛性を考慮し、荷重分担を行わなければならない。1次覆工の材料特性、断面特性を表-1に示す。

ここで、1次覆工のクラックによる剛性の低下を次のように仮定した。

○クラックよりヒンジを形成したリングには、曲げ剛性を負担させない。

○クラックの生じた1次覆工の断面積は、安全をみて1/2に低減した。

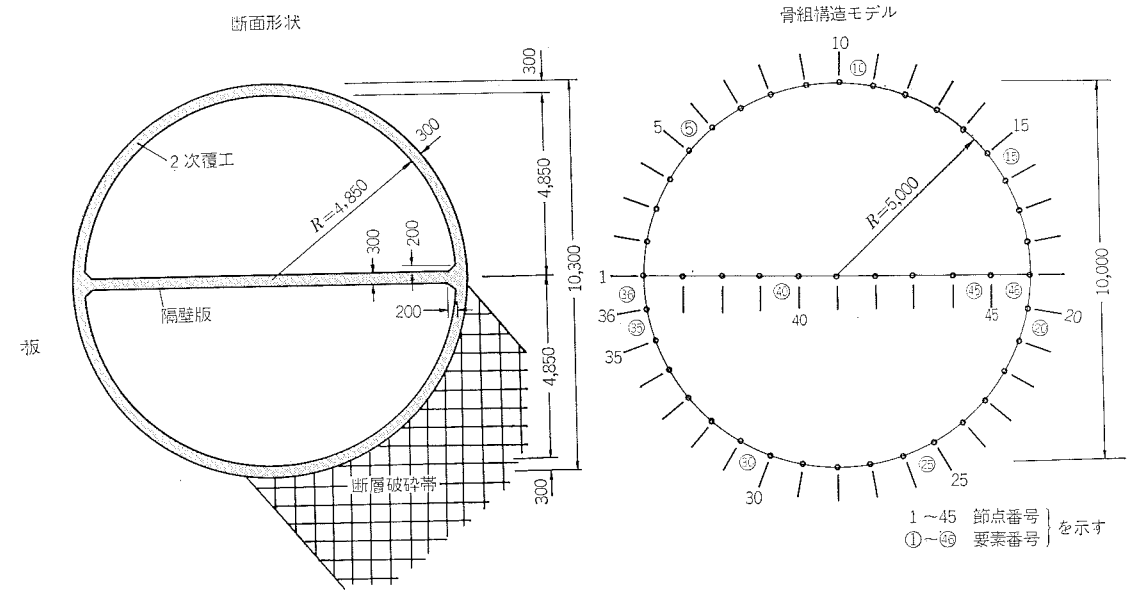


図-13 断面形状と骨組構造モデル

表-1 材料および断面特性

	設計基準強度 (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)	巻き厚 (cm)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)
1次覆工	$\sigma_{CR}=180$	$E_1=240,000$	$t_1=40$	$A_1=bt_1$ 4,000	$I_1=bt_1^3/12$ 533,333
2次覆工	$\sigma_{CR}=240$	$E_2=270,000$	$t_2=30$	$A_2=bt_2$ 3,000	$I_2=bt_2^3/12$ 225,000

ただし、 $b=100\text{cm}$ とする。

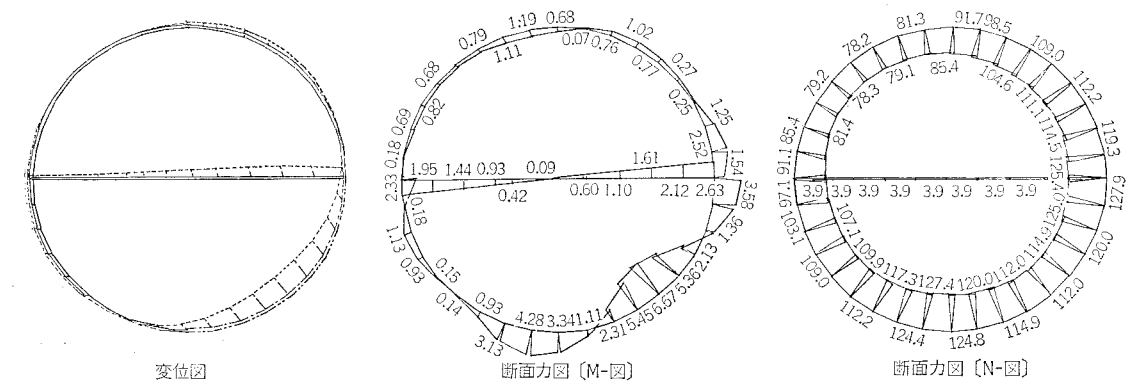


図-14 計算結果出力

これから、2次覆工施工後の軸剛性比に着目し、軸剛性比は、

$$\frac{E_2 A_2}{E_1 A_1' + E_2 A_2} = \frac{270,000 \times 3,000}{240,000 \times 2,000 + 270,000 + 3,000} = 0.6$$

となる。ここで、2次覆工には、荷重 P_1 、 P_2 の60%が作

用するものとする。

したがって、作用荷重 P_1' (等圧)、 P_2' (偏圧)は、お

おの

$$P_1' = 0.6 P_1 = 0.6 \times 15.8 \text{ (t/m}^2\text{)} = 9.5 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

$$P_2' = 0.6 P_2 = 0.6 \times 27.1 \text{ (t/m}^2\text{)} = 16.3 \text{ (t/m}^2\text{)}$$

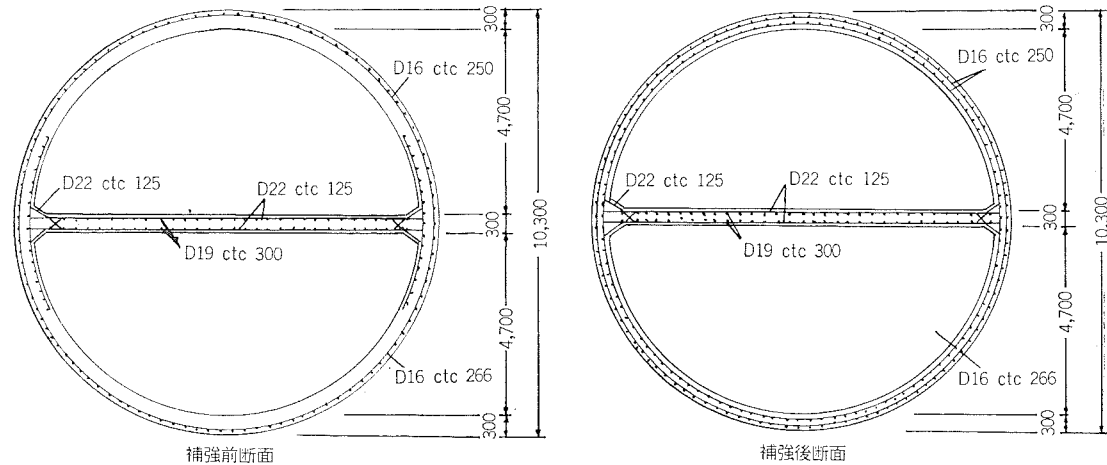


図-15 2次覆工の補強

とし、作用位置は1次覆工検討時と同一位置とする。

(2) 計算結果

以上による計算結果を図-14に示す。これらの検討結果から、2次覆工は図-15に示すとおり補強することとした。この補強は、逆算してみると、1次覆工を介さず直接想定した外力が2次覆工に作用したと仮定しても、破壊には至らないという結果となった。これにより破砕帯偏土圧に対する補強としては十分な補強であるものと考えられる。

トンネル・ワールドニュース

ニューカッスルの遠隔操作T. B. M. 難航す

はじめて英国で使用された日本製リモートコントロールT. B. M. は、ニューカッスルの2番目のトンネル掘削で掘削が中断されている。請負者 Lilly Construction は深さ14mの中央立坑から東部下水幹線の径1.8m、延長586mのトンネルを掘削しているが、この工事は Thrside 下水計画の一部で、企業者は N. W. A. である。このシールドは50万ポンドで、昨年日本の井関ポリテックから購入したもので、はじめの300mのトンネルは無事掘削したが、目下2番目のトンネルに100m入ったところで障害物につき当たった。障害物が玉石か、その他の障害物かはいまだ判明しないが、地質条件以外の故障もあるようだ。スラリーの中に機械のメタルが発見されている。そこで急いで立坑を掘り機械を取り出した。トンネルは含水砂礫層を掘り Derwent 河の下をくぐる。故障前に、この川底は抜けた。この機械は300mまでの玉石は取り出せるようになっている。支障物はもっと大きなサイズであったであろう。機械は目下修理中で、3月初旬には再びトンネルに持ち込まれる予定である。他に支障がなければ月末には掘削完了する。結局ダウンタイムは2か月となった。このほか、さらに2kmのトンネル入札を審査中で、間もなく決定されるであろう。

7. おわりに

関越トンネル谷川立坑の変状に対する補強対策の概要について記した。この補強対策にあたっては、関係者のみなさまのご指導とご協力によるところが大であり、紙面をかりてお礼申し上げる。

なお、関越トンネル谷川立坑工事は、スリップフォームによる2次覆工を終え、現在、換気塔工事を施工中であり、この換気塔工事は昭和59年末までに終わるべく最後の仕上げを急いでいる。

カリフォルニアの膨張性土質の支保工

北カリフォルニアの Santa Clara Valley の灌漑および給水ポンプ場の建設は、非常に亀裂の多い膨張性地質を掘るので多くの経験と知識を必要とされた。地質は主として堆積岩の頁岩、砂岩で、掘削後24時間で4~5cm膨張する。大型鋼支保工と矢板のほか間隔をつめたいろいろな形の木材支柱を建てたがたびたび崩壊した。この工事は径73mの地下ポンプ室を木製支保工を建て込んで掘った導坑から切抜け、完成後はサージング立坑となる径5.5m、深さ91.5mの取り付け立坑を場所打ちコンクリート覆工で施工する。ポンプ室は、地上のポンプ場と12×1.8mの断面で、深さ91.5mの取水立坑で結ばれる。このポンプ設備は Central Valley Project として知られ、San Louis 貯水池から水をポンプアップし、延長87kmの水路トンネルに取り入れ、灌漑と給水に使用する。企業者は Santa Clara Valley 地区水資源公社および San Benito 地区水資源開発洪水防衛公社に代って開拓局が施工するもので、ポンプ場は Underground Construction Co. 取り付け立坑は Russel Clough Co. がメインコントラクターである。困難な地質条件は予想されたものですでに完成した Pacheco および Santa Clara トンネルで経験している。これらのトンネルも広範にわたって掘削直後に支保する必要があった。



地下鉄の列車風—測定とシミュレーション

福井正憲* 古野聖武**

1. はじめに

1-1 都営地下鉄12号線の概要

都営地下鉄12号線（以下12号線という）は、昭和47年3月に都市交通審議会から東京圏都市高速鉄道網整備計画として答申（答申第15号）された13路線中の1路線で、図-1に示すように新宿副都心を起点として、西大久保、御徒町、蔵前、森下、月島、浜松町、六本木、代々木を經由して再び新宿に戻る環状線約26kmと、これより、東中野、練馬、豊島園を経て高松町（現在は光が丘と改称）に至る放射線約13kmからなる総延長約39kmの長大路線である。

この12号線は地下鉄でははじめての環状線を形成しているため、都心を放射線状に貫く既設の地下鉄線や国鉄線との交差が多く、この路線が完成すると高速鉄道網の有機的な結合が促進され、利用者の利便は一段と増大するものと考えられる。

一方、放射線部は光が丘に建設される大住宅団地および周辺の住宅地域を新宿副都心に結ぶこととなるので、この地域の通勤、通学や生活交通手段として大きな役割

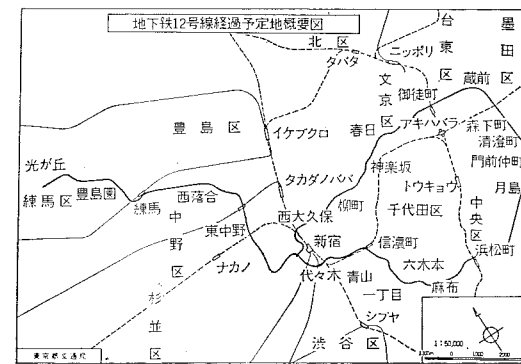


図-1 都営地下鉄12号線路線概要

* 東京都交通局高速電車建設本部建設部計画課長

** 施設課長

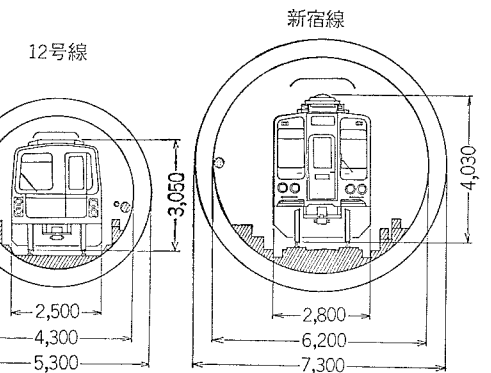


図-2 単線円形トンネル断面比較

を果たすものと思われる。

1-2 12号線小型化の理由

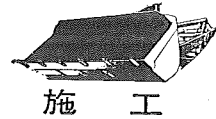
当初、12号線は従来規模の地下鉄として計画が進められ、昭和49年8月に東京都として全線の免許を取得したが、昭和48年のオイルショックを契機とする社会経済情勢の急変により、当初の計画では膨大な建設費を要し、このまま事業計画を執行することは不可能と思われた。したがって、できるだけ建設費や運営費の節減をはかる方向で計画の再検討が行われた。

この結果、輸送需要も低成長下の条件のもとでは当初の推計よりもかなり少ないことが判明し、また、将来とも他路線と相互乗り入れのない地下鉄であること、その他、新技術の導入などをはかることにより図-2の左側に示すような小型断面を採用することとした。

1-3 列車風に関する調査の必要性

計画見直し後の12号線は、図-2に示すように車両も小型化されているが、トンネル断面も列車の運行および保安上必要な空間を確保したうえで可能な限り縮小されている。

この結果、トンネル内有効断面積に占める車両断面積の割合（閉そく率）が異状に大きくなっている。一例を



膨圧破碎帯における斜坑、立坑工事

中央自動車道恵那山トンネル

伊藤 好人*
林 和夫**

1. はじめに

恵那山トンネルは、岐阜、長野、山梨を経由して中京地区と東京を結ぶ中央自動車道西宮線のうち、長野県飯田市と岐阜県中津川市間に位置し、中央アルプス南端直下を貫く日本で数々の長大道路トンネルである(図-1)。

本トンネルは、交通量の増加に見合った、経済的な投資を行うため、I期線(下り線<供用中>)、以下I期線という)のみ早期に建設し、すでに対面交通で昭和50年8月に開通し、長野、松本地方の経済流通に役立っている。

その後、II期線(上り線<建設中>)、以下II期線という)は、昭和53年3月に着工し、現在、本坑、換気立坑、斜坑、地下換気所など、60年完成を目指して建設中で、補助坑は、約4年を費やし57年4月貫通した。

2. 恵那山トンネルの特色

I期線の換気方式は、完全横流方式が採用されているが、多額の工事費と維持管理費を必要とすることから、II期線では、換気機の技術的向上と相まって世界ではじめての集じん機付立坑送排気型縦流換気方式を採用した(図-2)。

これは、一方交通のトンネルになることから、車両の交通換気力(ピストン効果)を利用できる特色と、トンネル内の視距を妨げる煤煙を電気集じん機によって除去し、汚染空気を浄化し、再利用をはかる方法を組み合わせた換気方式である。これらに必要な土木工事としては、集じん機室4か所、地下換気所2か所、直径約6.1mの立坑、斜坑各1か所、などがある。

3. 恵那山トンネル斜坑、立坑の概要

飯田方を斜坑(約22.2m²)、中津川方を立坑(約29.2

* 日本道路公団名古屋建設局調査役

** 〃 恵那山トンネル工事事務所換気坑工事長

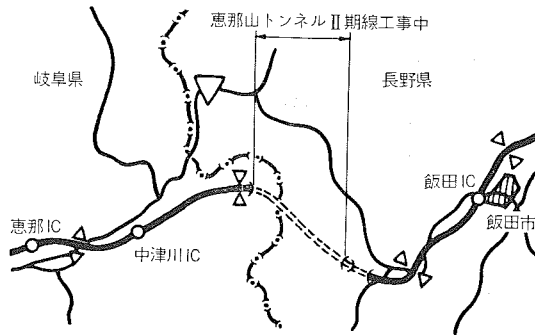


図-1 位置図

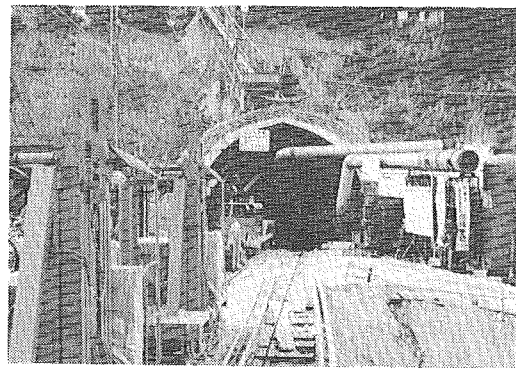


写真-1 斜坑坑口付近

m²)で(図-3)、地形上I期線と同位置で施工中である。

斜坑工事は、昭和55年7月に着工し本年3月末現在595m、立坑工事は、55年9月に着工し本年3月末現在435m、それぞれ掘削中であるが、地質が複雑に変化していると同時に多くの断層破碎帯が存在しているため工事は困難をきたしている。ここに工事の概要と、これまでの施工の一端を報告するものである。

4. 斜坑工事

斜坑坑口(標高約980m)のルートは、I期線斜坑と約80m離れてほぼ平行で、I期線の本坑とII期線の本坑

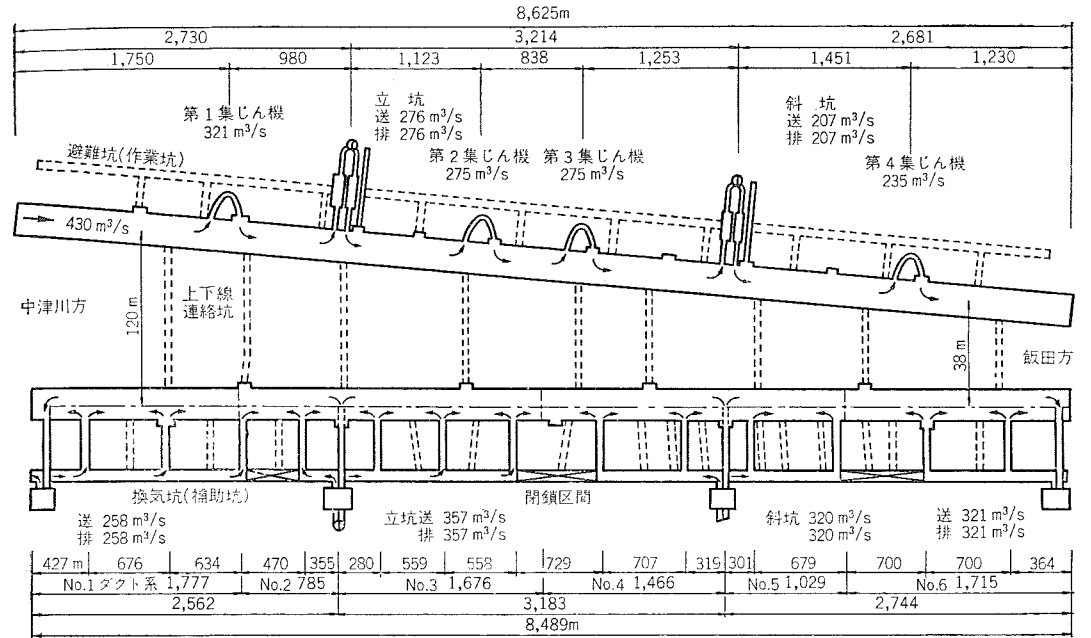


図-2 恵那山トンネル換気系統図

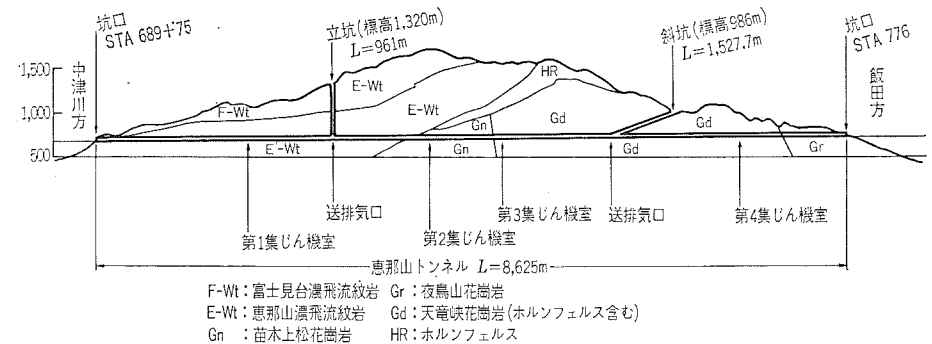


図-3 立坑、斜坑の位置および地質図

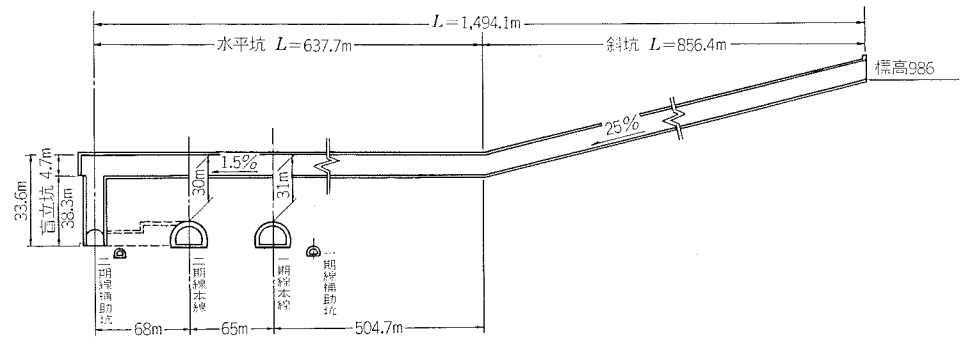


図-4 斜坑縦断面図

の約30m上部を水平坑で通過し、盲立坑により地下換気掘削断面積約31.8m²(地質平均IV、図-5)を全断面所の合流坑に連結する(図-4)。

4-1 施工法

1982年7月

坑外に据え付けた600HP単胴ウィッチによるインクライン軌道にて坑外に搬出し土捨

— 15 —

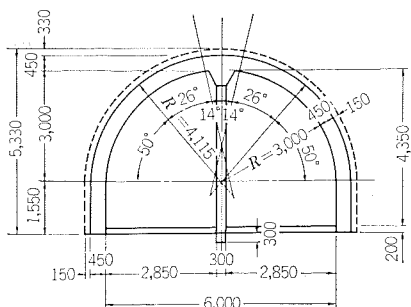
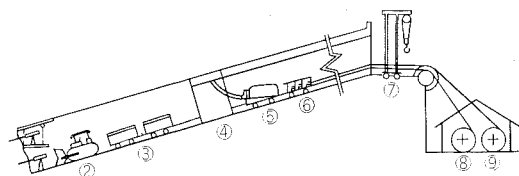


図-5 斜坑標準断面図(IV)



- ①前定機および吊り足場 ⑥人貨車
- ②D60Sサイドダンプ ⑦移動式橋式クレーン(11t吊り)
- ③オリトロ(6m³) ⑧300PS巻上機
- ④環装スライドセントル ⑨600PS巻上機
- ⑤プレスクリート(6m³)

図-6 施工図

場へ処理する。覆工コンクリートは、同じく坑外に据え付けた300IP単筒ウィンチを使用し、坑口よりプレスクリートで搬入し、坑口側より順次吹上方式で連続打設するインクライン軌道工法にて施工中である(図-6)。

4-2 地質概要

図-3, 7は、過去の地質調査, I期線本坑, 斜坑の施工実績, および着工以来のII期線斜坑の実績などを含め

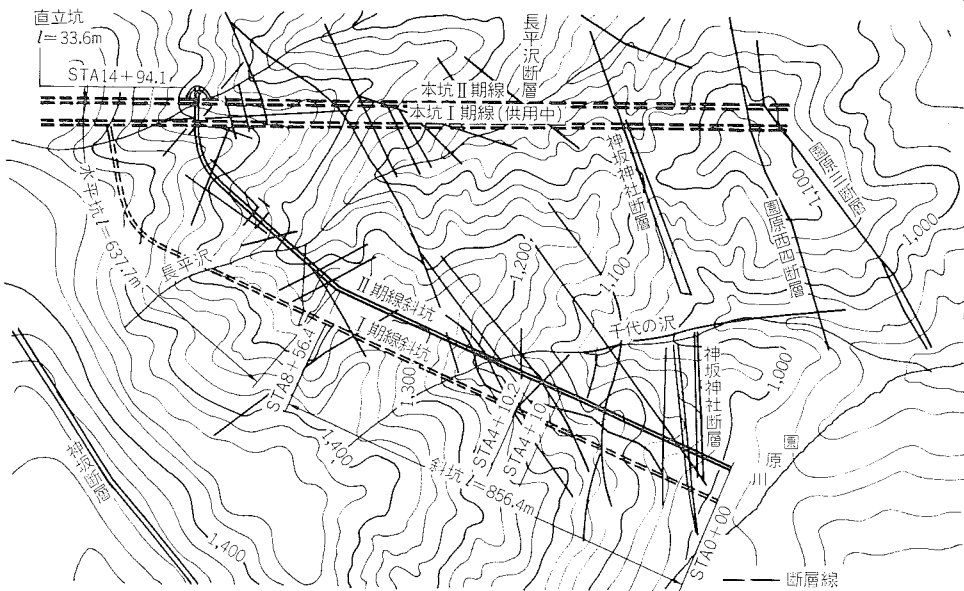


図-7 斜坑付近断層図

て集成した地質平面図である。図に示した河谷の屈曲および無数の断層線でもわかるとおり、近傍の全体地質は、神坂断層および神坂神社断層の2つの断層群にもまれたきわめて複雑な地質を呈している。

斜坑全体の地質は、天竜峡花崗岩を基岩としているが、上記2断層の影響を受け、破碎帯特有の割れ目の多い剥離しやすい、脆弱な花崗岩層とフォルンフェルスから成り立っている。また場所によって熱水作用による帯緑灰白色～灰白色を呈した粘土層を介在している。

II期線、飯田方本坑切羽に露出している長平沢断層の地質と同様で、現在、NATMで施工中である。

工事は、坑口より約400m付近まで、小断層に悩まされつつも、通常の施工法で何とか進行を続けたが、413m付近以東、神坂派生断層よりまったく予期せぬ膨圧に見舞われ、余りの後荷の強さゆえついに昭和56年7月末～10月末まで立往生の止むなきに至った。わずか80m離れたI期線の施工実績からは、考えも及ばぬ事態となった。

4-3 神坂派生断層膨圧区間の状況

(1) 変状

昭和56年7月26日、掘削がSTA4+70.2(坑口より470.2m)まで進行した時点で支保工脚部の押し出しが著しく変状が出た。

掘削を休止して支保工をレールなどで連結補強、アーチ部のバックリングに対する木製支保工の応急補強、およびストラットによる押し出し防止などを施工すると同時に、緊急に覆工コンクリート打設をしたが、異常土圧

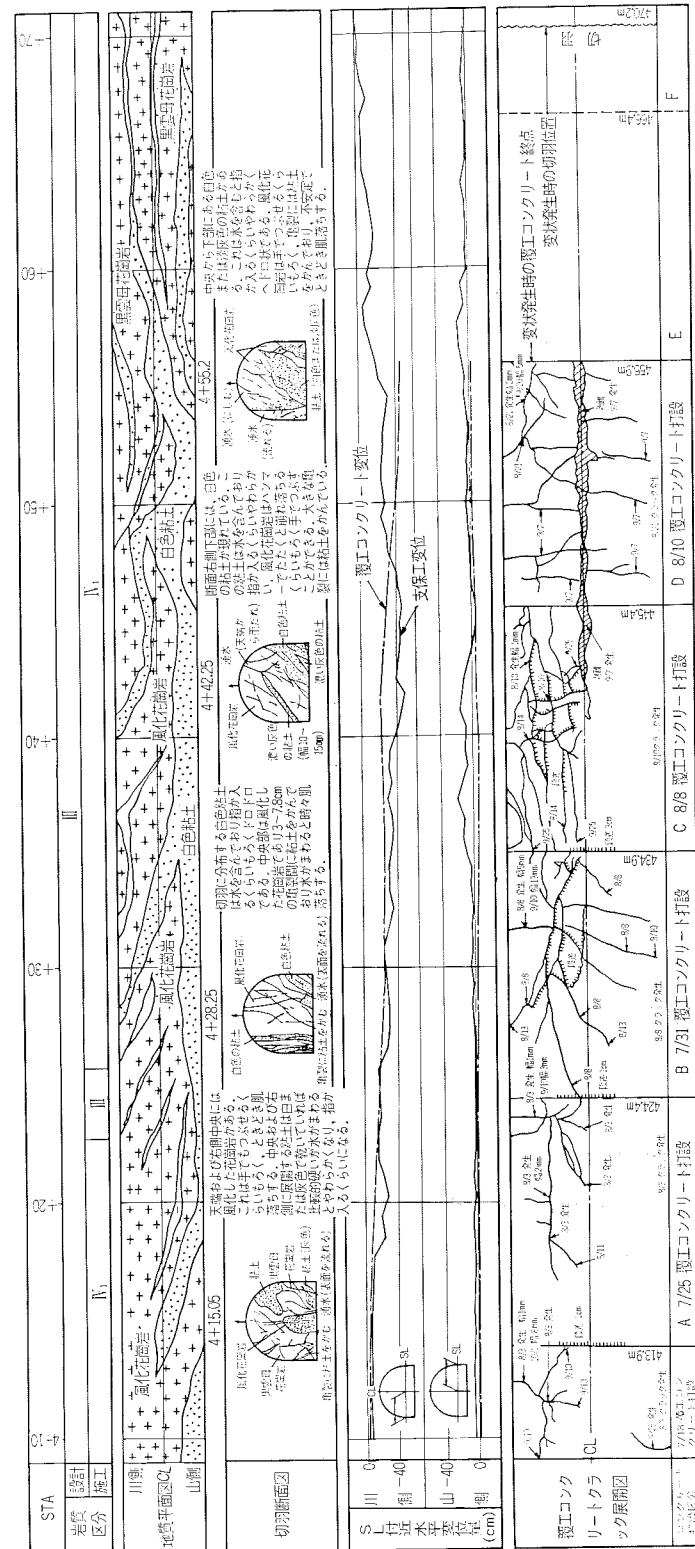


図-8 神坂派生断層膨圧区間地質および変状図

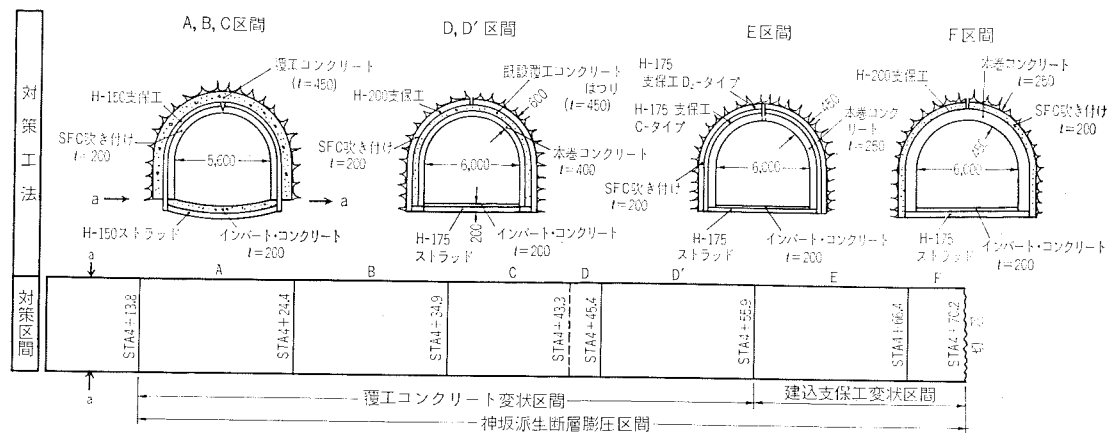


図-9 変状区間のおおのの対策

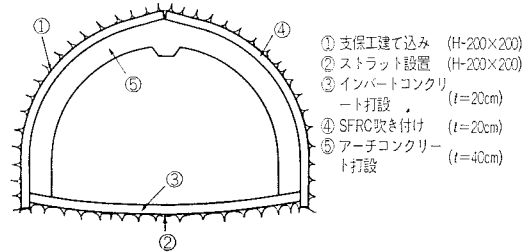


図-10 施工順序図

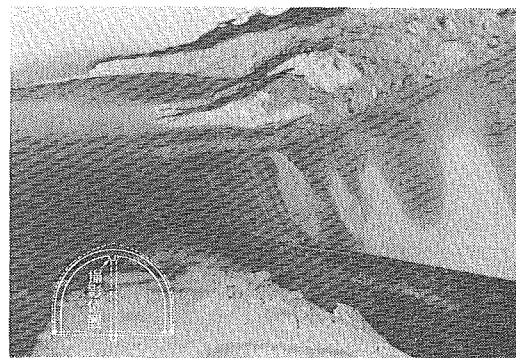


写真-2 座屈箇所

のために覆工コンクリート打設後、2~3日後にヘアー
クラックが発生し、7週間後には亀甲状クラックへと進
行し、部分的にはコンクリートの剝脱をみるまでに至っ
た。

緊急巻き立てした覆工コンクリート脚部は、全体的に
水平方向に押し出され、内空断面の縮小は10~50cmを
超える区間も見られるようになり、一方、支保工建て
込み区間も応急処置を行ったにもかかわらず座屈、はら
み出し、継手ボルトの破断、補強ストラットの座屈など
変形を生じた。

4-4 膨圧区間以奥の施工

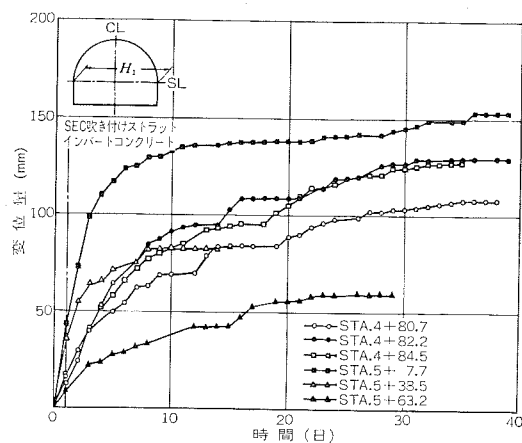


図-11 支保工の水平変位

(1) ボーリング調査

STA 4+70.2 (坑口より470.2m) 以奥についても、
神坂派生断層の影響が予想されるため、先進ボーリ
ングを実施したところ、断層はSTA 6+00(坑口より600m)
付近まで達していることが確認された。

これまでの補強対策の結果、急速に強度を増し、長期
的に持続できる、吹付コンクリート(ファイバー入り)
を支保工建て込みと同時に、20cm厚さにて施工し、鋼
支保工の剛性と併用することによって、強大な地圧に対
抗し、周辺地山の滑落を早期に食い止める工法が最良と
判断した(図-10)。

(2) 施工

前述の施工計画に沿って、切羽の正確な状況把握、安
全確保の両面から検討した結果、実際の作業手順は24時
間連続作業とし、夜間作業帯においては掘削、支保工、
ストラット建て込み、昼間作業帯においてはインバート
コンクリート打設、吹付コンクリート(ファイバー入り)

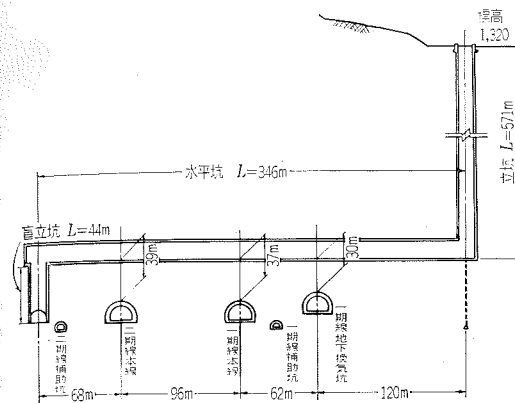


図-12 立坑縦断面図

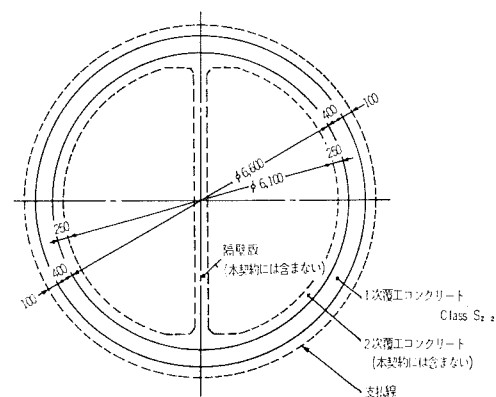


図-13 立坑標準断面図

による1次巻き立てを行って、掘削後24時間以内に早期
抱束を行う。

地山内空変位は、支保工(SLの位置)で毎日定時観
測した結果、図-11に示すとおり、平衡状態となる時間
は、地質、湧水などによって、多少の変動があるが、掘
削後20~30日となっている。

内空変位を管理しながら、2次巻き立ては、収束
状況を見極め実施している。なお覆工コンクリ
ート打設後の同位置観測点において微動変位が認め
られる箇所もあるが、時間経過とともに収束状
況にある。

5. 立坑

立坑坑口は、標高約
1,320mで、ルートはI
期線立坑と約70m離れて
ほぼ平行で、I期線の本
坑と、II期線の本坑の約
40m上部を水平坑で通過
し、盲立坑により地下換
気所の合流坑に連結する
(図-12)。

5-1 施工法

立坑の施工法は、ショ
ートステップ交互築壁工
法で、1ステップ築壁長
は1.5mである。掘削は、

発破掘削後グラブ(0.4m³)で3.2m³ずりキブル
に積み込み、巻ウィンチ(600IP)にて地上に搬出し、引
き続き1ステップ覆工を施工する(図-13, 14)。

5-2 地質概要

立坑の位置する恵那山トンネル中津川方の地質は、中

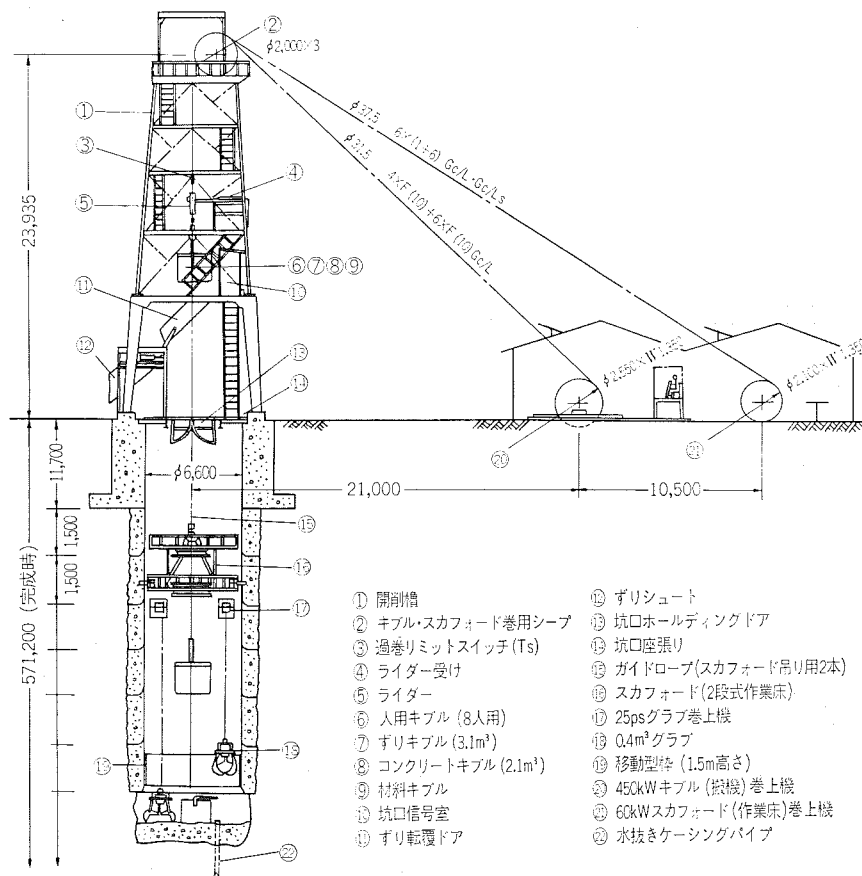


図-14 施工図(ショートステップ交互築壁工法)

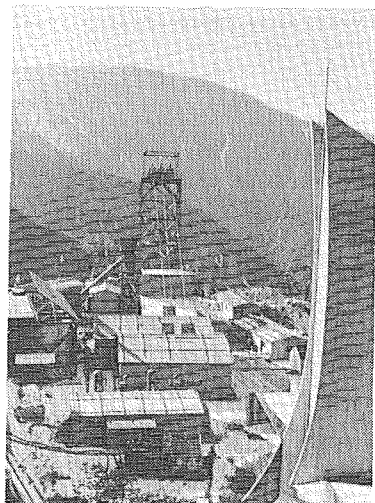


写真-3 立坑坑口付近

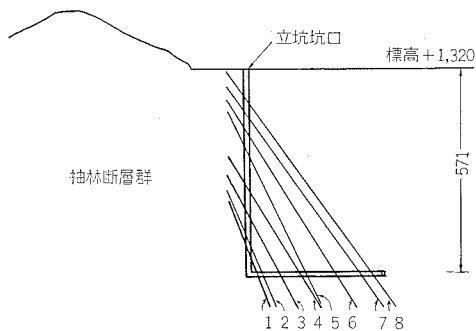


図-15 立坑付近地質図

世代末期の酸性火成活動の産物である流紋岩質凝灰岩、凝灰れき岩によって構成された濃飛流紋岩類である。この地質は相当硬質であるが、各所に無数に分岐する袖林断層破碎帯、および苗木、上松花崗岩の貫入に伴う熱水作用を受けて亀裂が細かく発達し、亀裂面沿いの粘土化が進んだ非常に不安定な状態で、湧水を伴うと容易に崩壊する。

5-3 断層破碎帯

I期線立坑工事において深度約440m付近を掘削中、断層破碎帯の出現によりせん断亀裂が生じ、内空側に約3cm突出した。II期線立坑工事においても、I期線立坑の南側約70mと近距離にあり、同一地質と判断される(図-15)。

施工位置は袖林第1～第8断層中にあり、断層は無数に分岐している。この断層群は非常に不安定な地質より構成され、本工事においても第3断層分岐破碎帯(図-16)で崩落および亀裂現象が発生し、裏面セメント注入工、剝離落下防止工など施工した。

Table with 6 columns: Depth (m), Geological Section, Cut, Observation, Countermeasures. It details geological data and construction actions at various depths from 370m to 420m.

図-16 袖林第3断層付近の地質および施工

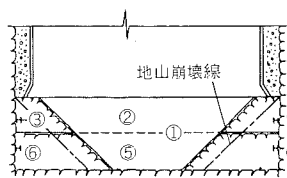


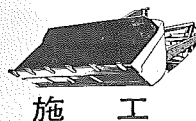
図-17 施工法

5-3 対策工

破碎帯個所の施工法は、①地山崩壊線内を発破による掘削を行った後、②の部分のずりを搬出、③の部分は人力により注意深く掘削し、④の1段目支保工を設置して、矢板による山留めをする。⑤の残ずりを搬出し、⑥の人力掘削を行う。最後に、⑦の2段目支保工H-125を設置して、山留めを行い、1ステップの掘削工の完了となる(図-17)。

6. おわりに

恵那山トンネルは、I期線により地質がおおよそわかってはいるが、苦難の連続と思われる。工事進捗率はようやく50%で、まだまだ予断を許さないところであり、昭和60年に向かって、無事、完成したいと思っている。



(続) 民地下の複合曲線シールド 福岡市地下鉄中洲川端～祇園間

米澤 福徳*
津高 正高**
吉原 順一***

1. はじめに

福岡市高速鉄道建設路線は1、2号線からなり、その建設延長は、17.2kmである。そのうち1号線は、姪浜を起点とし、室見、西新、天神、中洲川端を経て国鉄博多駅に至る11.7kmの路線である。2号線は中洲川端を起点とし、千代町、箱崎を経て、貝塚に至る5.5kmの路線である。

現在、室見～呉服町間の7.2kmが営業中であり、58年3月には、さらに姪浜～室見間および中洲川端～博多(仮駅)間で営業開始となる予定である。またその時点で国鉄筑肥線と相互直通運転が行われ、国道202号線の交通混雑緩和が期待される。

2号線(呉服町までが営業中)は、その半ばまでが工事中で、残部も順次工事に着手し60年6月には全線開通の予定である。

全路線のほとんどの工区がオープンカット工法によって工事が進められてきたが、室見を中間点とする愛宕下藤崎間については岩盤が地表面近くまで現れているので山岳トンネル工法で行われ、また呉服町～千代町間の御笠川では、豊水期(毎年6月初め～9月末までの4か月間)における河川使用の制約によりケーソン工法が採用された(ケーソン工事は上記豊水期を除く渇水期のみ)の施工となり、1渇水期に1基が沈設され3渇水期にわたって行われた。

店屋町工区は当市では唯一のシールド工法が採用され

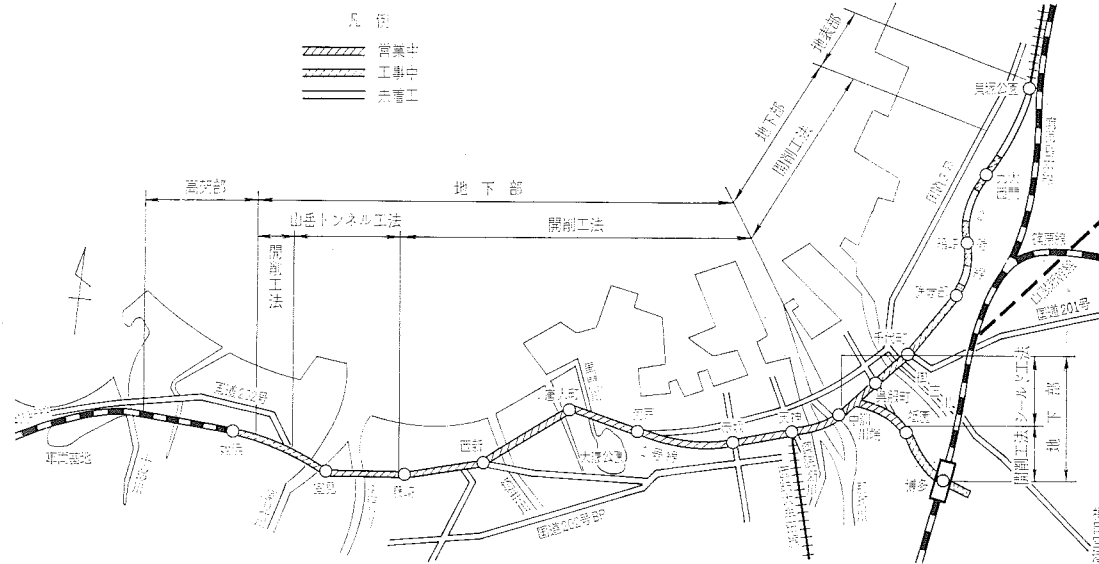


図-1 福岡市高速鉄道路線図

* 福岡市交通局工事部長
** " " 工事部工事事務所長
*** " " " 工事事務所主任

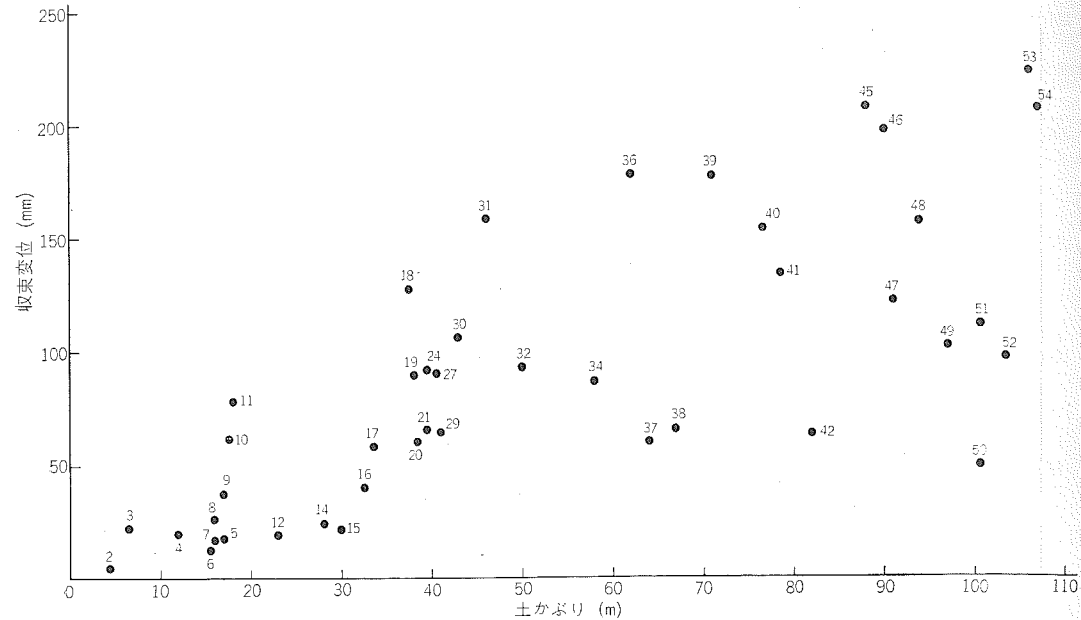


図-27 土かぶりと収束変位の関係

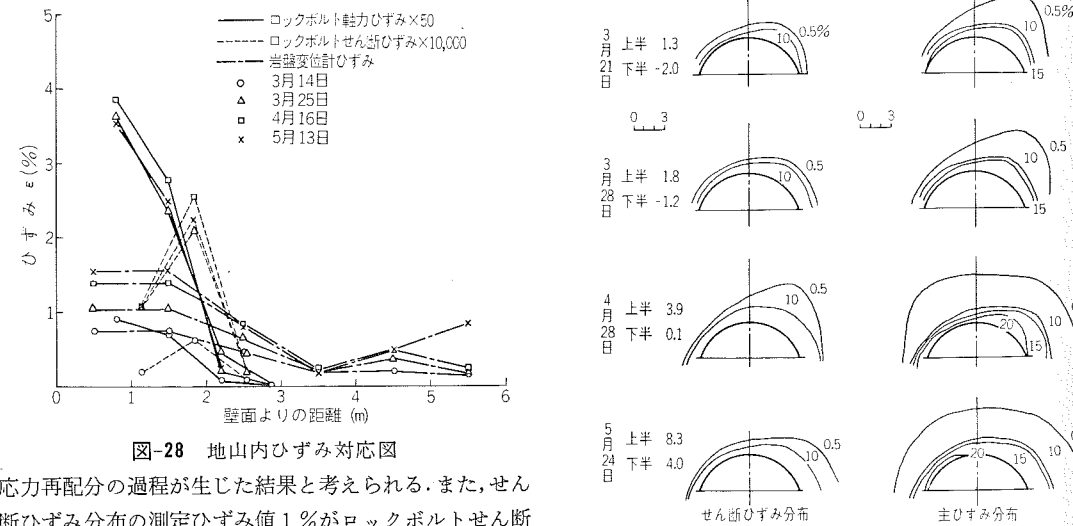


図-28 地山内ひずみ対応図

応力再配分の過程が生じた結果と考えられる。また、せん断ひずみ分布の測定ひずみ値1%がロックボルトせん断応力より推定される塑性域とほぼ対応していることより、測定せん断ひずみ増分1%が、1つの塑性域の目安と考えられる。ここで、トンネル掘削前の地山の初期ひずみはわからないが、掘削の影響で生じるひずみは、計器設置前のひずみを約1%と推測すれば、測定増分ひずみ1%の計2%のひずみであり、これは供試体の3軸圧縮試験の破壊時ひずみ2%と対応していることは興味深い。

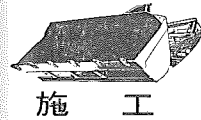
6. むすび

本報告では、塩嶺トンネルの測定結果の概略を示した

が、測定結果より内空変位は、切羽の位置と深い関係があること、また地山のひずみに注目すれば、より正しく地山の状況を把握できることがわかった。また、これらの結果が今後同様な膨脹性泥岩地山のトンネル掘削に役立つ資料の1つとなることを願っている。

参考資料

- 1) トンネル工事における変位計測結果の評価法, 土木学会論文報告集, 1982年1月。



NATMによる換気立坑工事
中国自動車道牛頭山トンネル

桑野敏樹*

1. はじめに

中国自動車道は吹田市と下関市を結ぶ延長540kmの高速道路で、すでに全体の80%にあたる440kmが供用されており、残る102km区間についても57年度末の供用を目前にして80%程度の進捗となり、舗装工事や諸設備工事が主体となっている。

この区間は中国山地の中央部をほぼ東西に通過する所で、ルートは急峻な地形のためトンネルや橋梁が多く、トンネル5か所(24.4km、路線延長の24%)、橋梁98か所(13.3km、同じく13%)となっている。

牛頭山トンネルは延長3,573mで、この区間で一番長いトンネルであり、他の2,000m以上の4トンネルと同じく暫定2車線で供用し、引き続き4車化を行う計画である。

本トンネルはすでに舗装まで完成し、照明などの施設工事を着手しているが、同時に換気に使用する立坑も工事中であり、今回この立坑の概要を紹介する。

2. 牛頭山トンネルの概要

牛頭山トンネルは、広島市の北方約20km、中国道と中国横断道広島浜田線を結ぶ安佐J.C.に近接した位置にある。

延長は3,573m、平面線形は東坑口一部を除き、直線、縦断線形は、西坑口から1,943mまでが0.5%、東坑口から1,630mまでが1%の拌み勾配である。

当地は断層や河川により寸断され、標高600m内外の山地が塊状に分布する所で、ルートはこの1つである牛頭山の直下をほぼ東西に通過する。

地質は、中世代白亜紀に形成されたものでいわゆる広島花崗岩とよばれている粗粒黒雲母花崗岩を主体とし、一部に、小規模な珩岩の岩脈をはさむ程度である。これらは大規模な断層もなく、両坑口付近の風化部を除き、

* 日本道路公団広島建設局建設第二部工務二課調査役

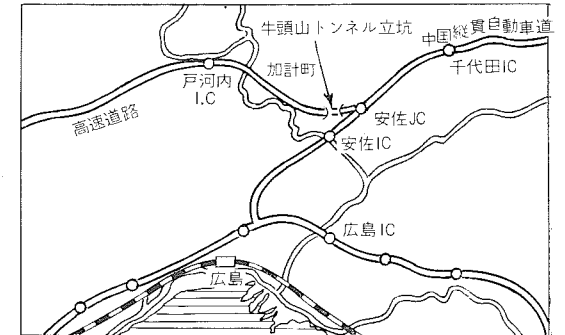


図-1 位置図

表-1 牛頭山トンネル換気設計諸元

道路規格	第1種3級 山地区
交通容量	対面時 1,440台/h, 1方時 1,295台/h
トンネルの内空断面	$A_r = 59.9\text{m}^2$
トンネルの代表寸法	$D_r = 7.7\text{m}$
許容煤煙透過率	対面時 $\tau = 30\%$, 1方時 $\tau = 40\%$
CO許容濃度	$K = 100\text{ppm}$
交通速度	$V = 60\text{km/h}$
両坑口間圧力差	$\Delta P_H = -2.5\text{m/s}$ 相当
車道内最大風速	$V = 10\text{m/s}$
ダクト内最大風速	$V = 20\text{m/s}$
換気量(機械換気量)	対面時 $445\text{m}^3/\text{s}$, 1方時 A $120\text{m}^3/\text{s}$, B $290\text{m}^3/\text{s}$

新鮮で堅固な岩盤である。

3. 換気計画

牛頭山トンネルは、先にも述べたように当初対面供用のトンネルで、引き続き4車化を進める計画であるが、長大トンネルであることや現地の条件などから、数年の対面供用期間が生じる。したがって、このトンネルの換気設備は対面通行および一方通行に適した無駄の少ない方法を選択する必要がある。同時に防災面(トンネル内火災)についても考慮する必要がある。本来防災面からは、双設トンネルであれば、上・下線を連絡坑でつなぎ対処できるが対面通行のトンネルでは、別に併設して避難坑を設けるか、換気方式で対処するしかない。

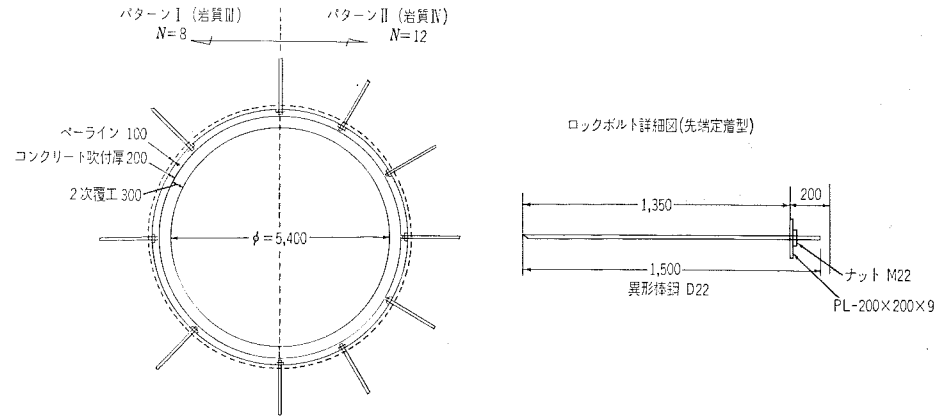


図-2 ロックボルトパターン図

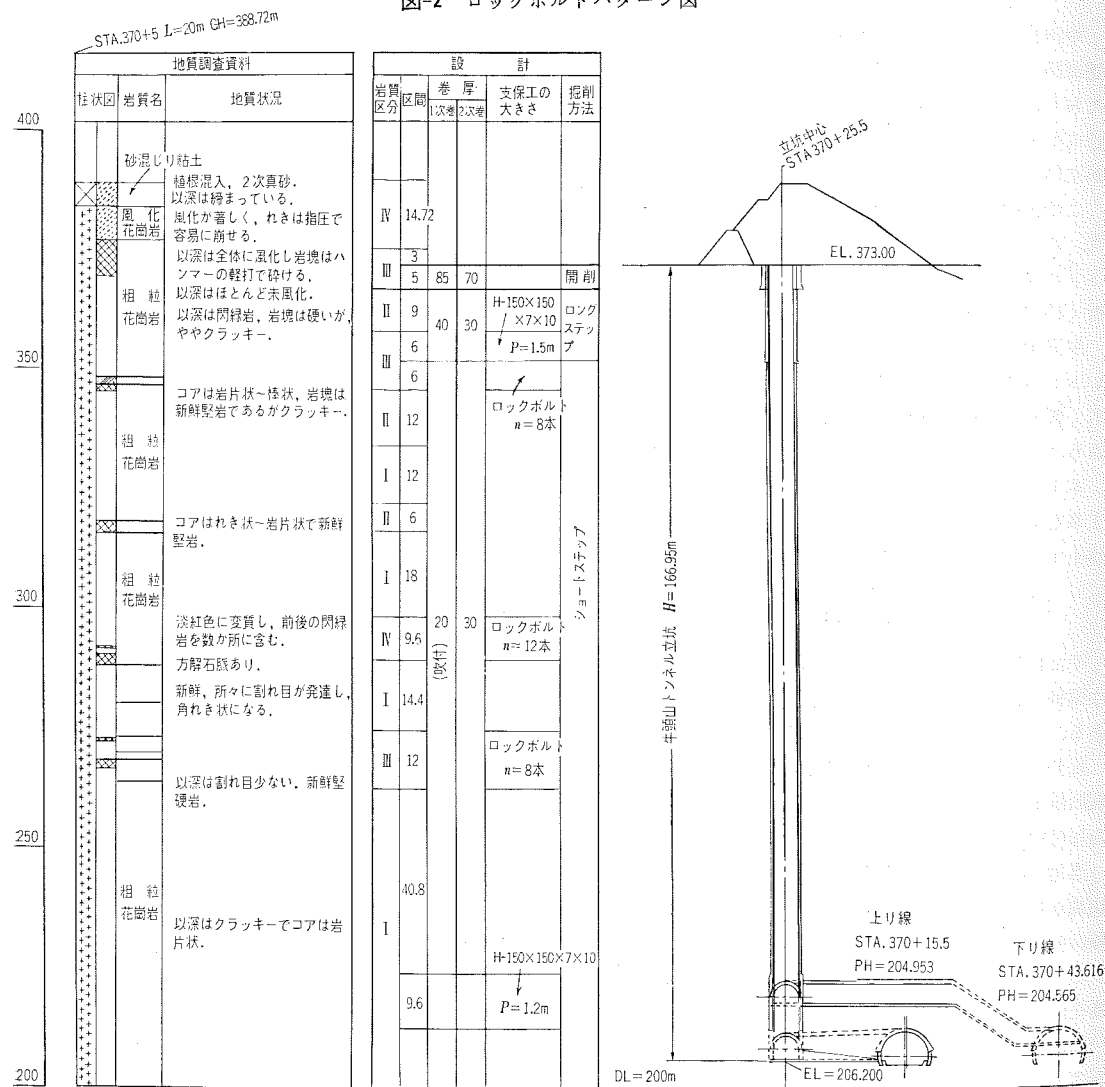


図-3 地質縦断面図

本トンネルの換気方式として、ジェットファン方式、半横流式、集じん機式、立・斜坑による集中排気および送気排気方式などが考えられるが、経済性、防災面から、対面時に換気方式を立坑による集中排気方式+調整用ジェットファン(超大口径φ1,530mm)14台とし、一方時には、立坑を二分割して、上・下線を送気サッカルド+調整ジェットファン14台で換気する計画とした。

この設備は、対面時に集中排気を行うことにより縦流換気の延長が短くなり防災面で優位となり、また一方時にはサッカルド方式として対面時の設備をほとんど無駄なく利用できる利点がある。

4. 立坑の設計

4-1 立坑の断面

前記換気方式による機械換気量は、対面時 445m³/s、一方時上り線120m³/s、下り線290m³/sを必要とする。

立坑の断面を決める立坑内風速は建設費と運転動力費に関係する。換気設備の運転状況は関門トンネルや名神、東名のデータを考慮し、対面時8時間、一方時4時間のフル運転として、また供用後5年の対面、15年の一方、通行計20年の運転動力費を想定して建設費と比較して、立坑内風速20m/sとした。これにより立坑の断面は仕切壁を入れて内径5.4mとした。

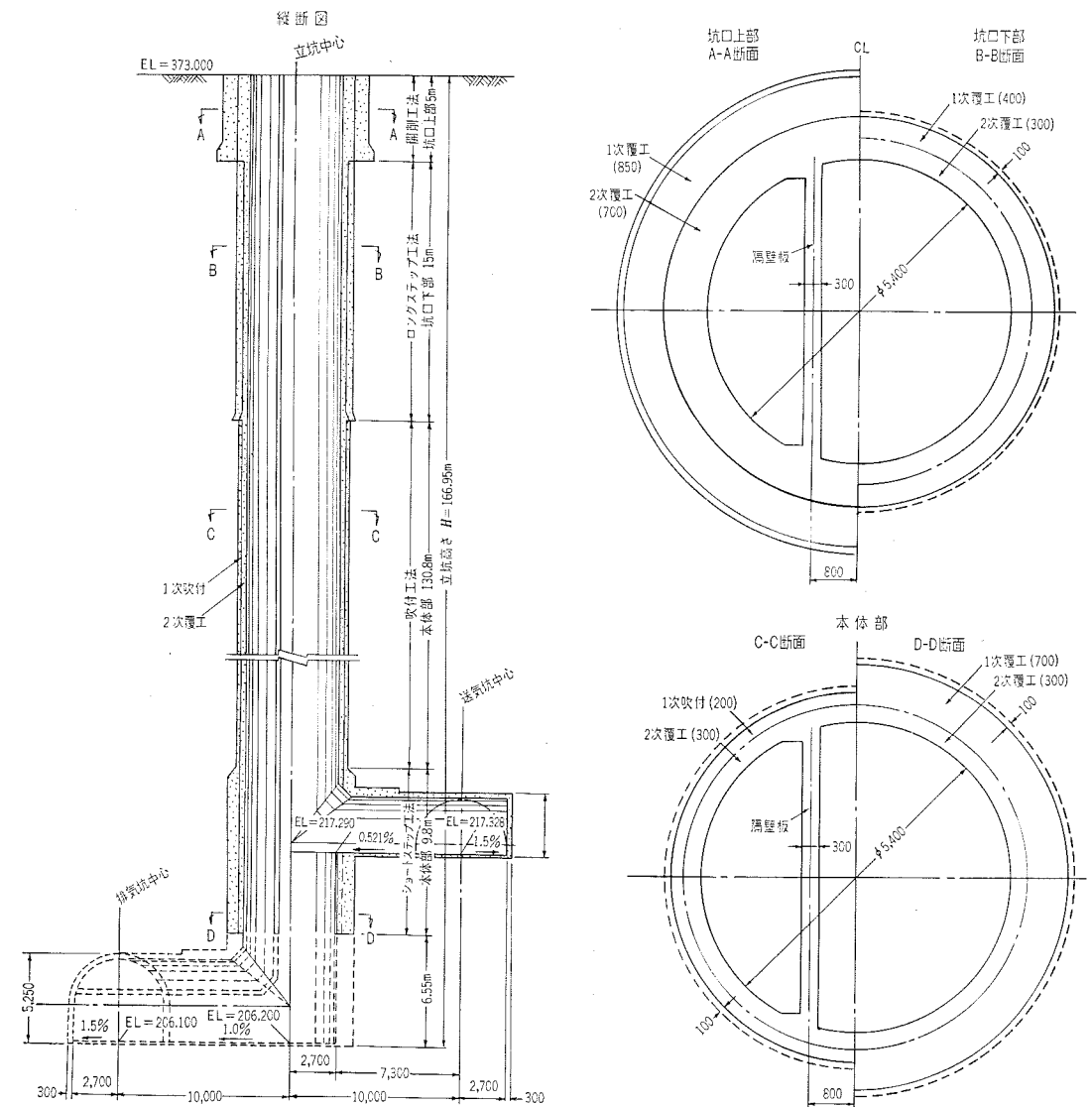


図-4 標準断面図

4-2 立坑の位置

立坑の位置は、換気方式が集中排気方式およびサッカルド方式のため、中央部が望ましいが、集中排気期間が

短いため、立坑建設に必要な工事用道路、将来のメンテナンス（地上換気所）などの経済比較から既設道路に面した図の位置とし、トンネル中央までの水平坑による

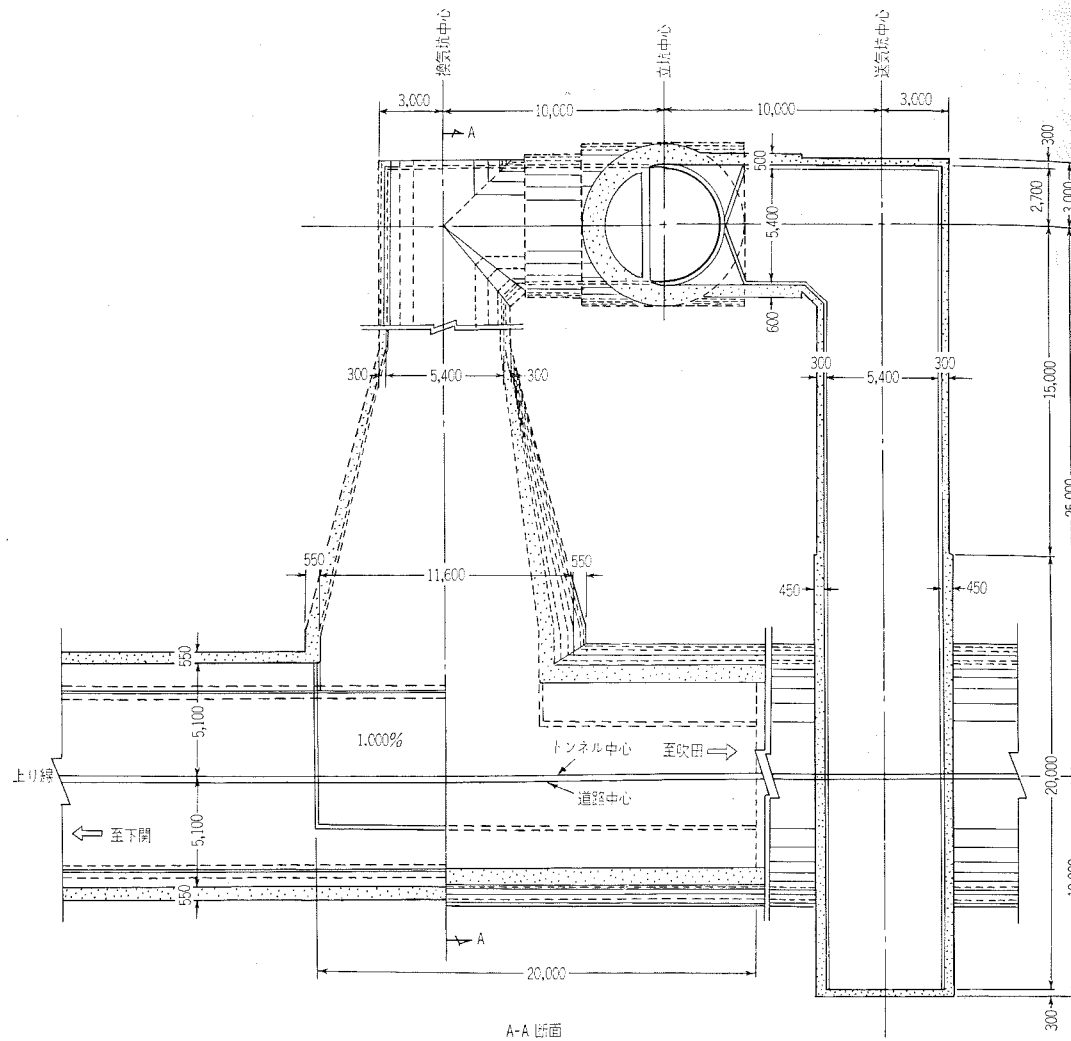
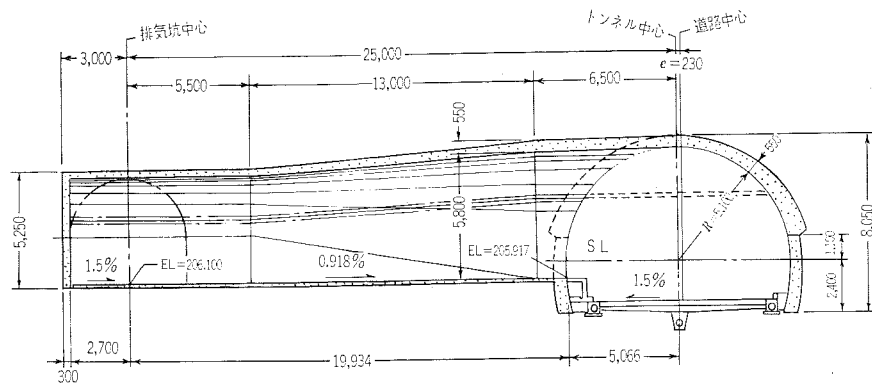


図-5 換気横坑一般図



ダクト延伸は行わない。

4-3 掘削工法

立坑の掘削方法としては一般的なショートステップ工法を採用した。ステップ長も他の例から1.2mとした。またこの立坑を将来上・下線のサッカルド方式に使用するため隔壁が必要となり、この隔壁の両端固定も含め、1次覆工、2次覆工に分けて施工する。

4-4 1次覆工

ショートステップ区間の1次覆工は吹付コンクリートで設計した。これは下記による。

- ①地質が表層の風化部を除き、堅固な花崗岩で安定している。
- ②現場が生コンプラントから遠く、また昨今の事情から夜間作業が困難である。
- ③現場生コンプラントの設置は、排水、給水設備、設備面積などから困難でありまた不経済である。
- ④地質不良個所に遭遇した場合、ロックボルトの施工と相まって対策が早い。
- ⑤コンクリート覆工に対し吹付厚を薄くできるため掘削断面積が小さくなり、また1次覆工の型枠も不要となり経済的である。

吹付厚については、立坑の内径が5.4m、2次覆工厚を30cmとしたので、吹付面は径が約6mとなり、通常の高速度トンネルの径5.1mより大きい、またスカフォードの固定や悪地質遭遇の場合、施工後の長期安定も考慮し、試験的に20cmとした。

4-5 ロックボルト

局部的に遭遇すると思われる地質の悪い所には、2つのボルトパターン(φ22mm, l=1.5m×8本/1.2mおよび12本/1.2m)を暫定設計とした。図-2に計画図を示したが、立坑の施工は、まず上部から5mを仮設槽の基礎として、オープン開削し、その下部15mは鋼アーチ支保工によるロングステップ工法(1次覆工はコンクリート)で施工した。その後、スカフォードなどの立坑諸設備の完成をまってショートステップによる施工に移行した。なお、水平ダクト連結部付近から最下部までの区間(約16m)は、ダクトの施工などを考慮し、1次覆工厚を70cmとした。

また、図面に示していないが、坑口から56mの地点に、W=3.3m, H=3.5m, l=15mの中間水槽を追加施工した。この水槽は、約60tの防災用(消火栓3か所、給水栓2か所に40分間給水する)として、地上換気所に設けた水槽の圧力調整用として用いる。

4-6 2次覆工

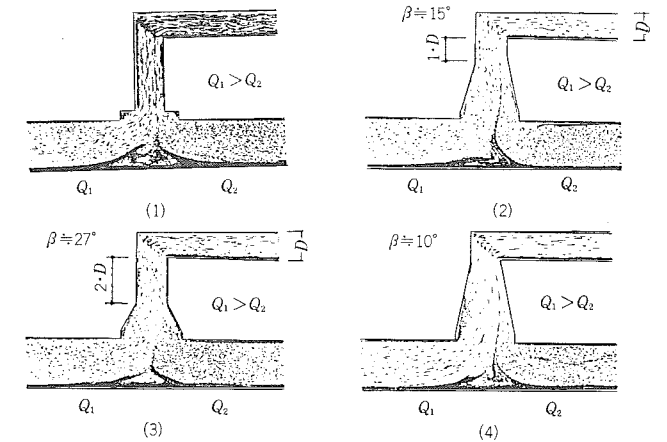


図-6 2次模型による壁面損失実験

2次覆工はt=30cmで最下部からスライディング工法(約40cm/hの速度)で施工する、地上換気所のため、立坑内に給水用配管、電力、通信などケーブルの架設が必要であり、給水管4条は1次覆工壁面に沿って、電力、通信などの8条は立坑仕切壁内に埋設する。図-3~5に設計図を示す。

5. 立坑と本坑取付部

本換気設備のように立坑を使用する場合、本体と水平坑との取付部にはダクトコーナーが生じ、この部分で乱流を生じ圧力損失を高めることが予想される。

このため水槽に2次元模型を作りアルミ粉を流す簡単な実験を行った。図-6はその写真である。

この結果、コーナーペンを有効に働かすため、コーナーに入るまでに1D(Dはダクトの代表寸法)以上の整流長を必要とすることがわかり、本坑の場合1Dとした。

なおこの部分は本體工で施工したため、本記載図と実施工図は異なる。図-7に変更図を示す。

6. 実 施 工

6-1 施工状況

本工事は、昭和56年2月に契約し、10月初めに、換気所の敷地造成、建物基礎、仮設備および開削部5mまでの施工を完成し、引き続きロングステップ区間15mの施工に約1か月を要して完成し、立坑の追加設備に約1か月をさらに費やして、ショートステップの施工に取りかかったのは11月末になった。現在(57年3月末)坑口から111m地点を施工中である。

現在の施工設備および施工機種の主要なものを示す。

- 掘削 TY-76 7台
- ざり積機 MA-630, CT-250, 各1台昼夜交互使用

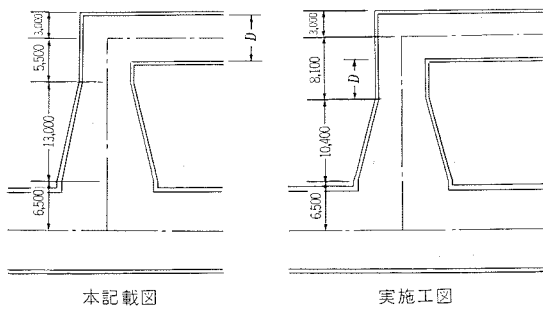


図-7

表-2 ショートステップ工法の施工実績
(-20~-66.7mまでロックボルトあり、以下なし)

施工年月	51/11	12	57/1	2	3
実働日(日)	6	23	17	19	27
施工深度(m)	-20 -24	-24 -40.6	-40.6 -56	-56 -77.8	-77.8 -110.9
月進行(m)	4	16.6	15.4	21.8	33.1
実働日の1日当たり進行(m/日)	0.67	0.72	0.91	1.15	1.22

吹付設備 コンクリートモビル、CM-100Tによる
ミキシングおよびアリバー 260 地上設置圧
送(約3~3.5kg/m²)

主要設備 スカフォード: 1, ウインチ: 400kW,
37kW, 各1機, ずりケーブル 3m²: 2個

6-2 ショートステップ吹付工の施工速度

当初の頃は、作業員の不慣れと施工機、設備の故障が多く、その修理にも手間どり進行が遅延した。これは、施工時期が冬季に入り、骨材、砂など材料の冬期管理にも一因があると思われる。今までの施工による主な故障によるロス、ずり積機に起因するもの33回、吹付機、ホース、圧送管に起因するもの12回、ウインチ関係に起因するもの4回、スカフォード関係に起因するもの5回、その他12回の計66回である。最初は1回の故障修理にかなり手間取ったが、最近では半分以下に短縮された。

表-2に月別施工実績を示す。なお吹付コンクリートの配合は表-3のとおりである。

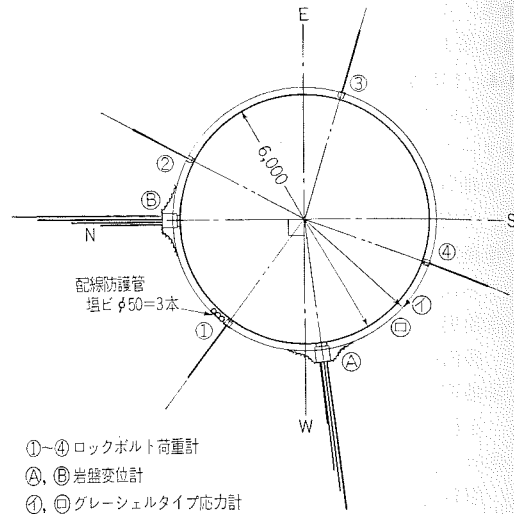
6-3 ロックボルトおよび計測

ショートステップ区間(坑口から20m地点)に移行してしばらくは予想以上に岩質が悪く、ロックボルトを施工した。ボルトは、φ22mm, l=1.5m, 先端固定型を使用し、パターンは進行1.2m当たり8本、12本、16本であるが、16本は2ステップ2.4m、12本は4ステップ4.8mを当初に施工し、以後は地質もやや良くなり67mまでを8本パターンで施工した。またこれ以後現在の111

表-3 吹付コンクリート配合表

粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				急結剤
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
13	45	60	162	360	1,114	763	14.4

セメント: 普通セメント, 急結剤: シグニット・L



①-④ ロックボルト荷重計
⑤, ⑥ 岩盤変位計
⑦, ⑧ グレーシェルタイプ応力計

図-8 計測機器の配置 (GL-28.9~-30.1m)
mまでは岩質がさらに良好となり、ボルトなしで施工している。

計測は坑口から30m付近(ロックボルト8本施工区間)において、地中変位2か所(深度0.5m, 1.0m, 1.5m, 3.5m), ロックボルト軸力4本, 吹付コンクリート内応力測定(グレーツェルタイプ土圧計を吹付コンクリート内に設置して周長方向を、岩盤と吹付コンクリートの境に設置して法線方向の応力を測定)を行っている。

測定機器の配置は図-8に示す。

測定結果は、変位量0.1mm程度、軸力0.4t/本程度、吹付コンクリート応力9t/m²でこの応力は多少増加の傾向にある。

7. おわりに

この立坑は、竹中土木により施工中で、8月末に完成の予定である。計測データや施工上の問題点についてまだ詳細な検討が終わっていません、概要的な説明になった。中国道には他に2か所(米山トンネル, 加計トンネル)の立坑があり、施工完了時に対比して比較し、まとめたと思っています。なお設計に当たって協力していただいた千代田コンサルの中村氏、パンフィックコンサルの石高氏に、また現場データに協力していただいた竹中土木の堀米所長以下職員の方々に感謝する次第である。



施工

花見川シールドの概要

1. はじめに

花見川シールドは、航空燃料輸送パイプラインの送油導管を敷設するために新東京国際空港公団によって1級河川印旛放水路(花見川)河底に施工されたものである。

航空燃料輸送パイプラインは、新東京国際空港において必要とする大量の航空燃料を合理的かつ安全確実に輸送するために建設されるもので、幾多の経緯を経て昭和47年12月25日、石油パイプライン事業法の施行により、その適用を受けるものとして基本計画が定められたものである。同基本計画では、年間最大800万klの航空燃料を千葉市を発地点とし、四街道市、佐倉市、酒々井町、富里村を經由して成田市を着地点とするルートで輸送することとなっている。

2. パイプラインルートの概要

現在建設しているパイプラインは、図-1に示すように千葉港頭ターミナルから中央埋立地、稲毛・検見川埋立

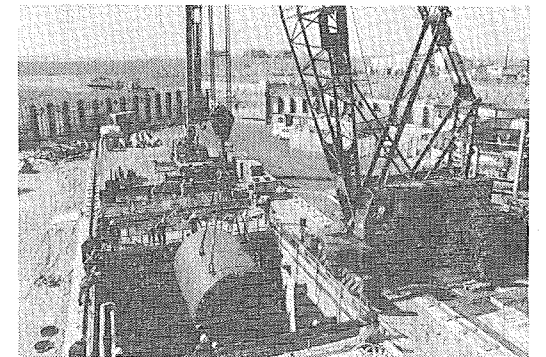


写真-1 シールド機を立坑内に降ろしている

地、印旛放水路、京葉道路、東関東自動車道を経て新東京国際空港ターミナルに至る延長46.9kmのルートで、一般埋設区間38.8km、トンネル区間8.1km(印旛放水路地区4.7km、京葉道路地区3.2km、一般埋設部0.2km)となっている。

パイプラインは、送油導管として外径355.6mm、肉厚11.1mmの熱間継目無鋼管2条を使用しており、常用

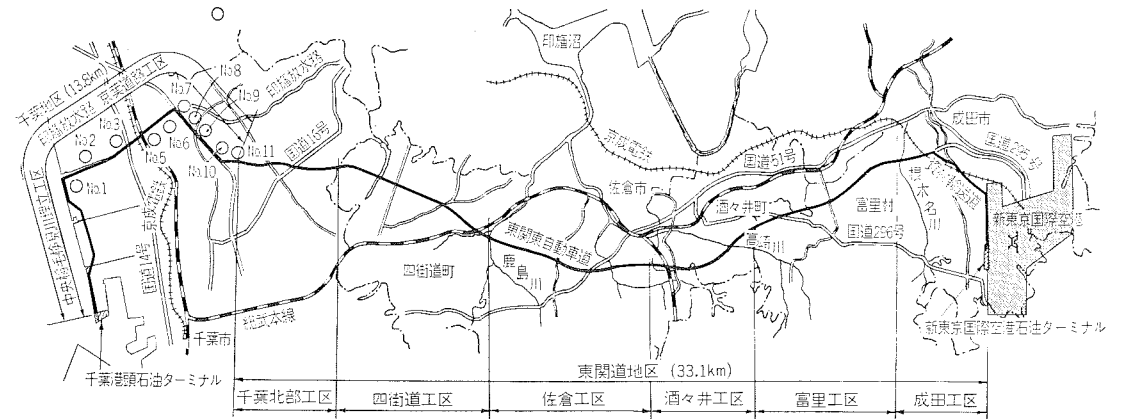


図-1 パイプラインルート図

* 新東京国際空港公団パイプライン建設実施本部工務部長

り、NATM施工も急速に進歩し、各企業においても利用件数は急上昇している。

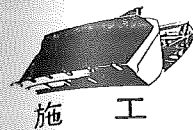
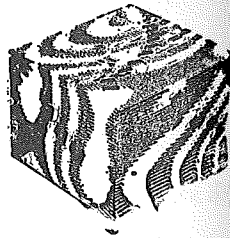
NATMの非常に有効な活用例として現在施工中の国鉄伊東線新宇佐美トンネルがある。地山は温泉余土を主体として強膨圧地帯で、旧宇佐美トンネルではその温泉余土の膨圧に悩まされた大変な難工事としての記録が残っており、今回はNATMの長所をとくに生かしてトンネル断面を真円とし、かつ掘削もミニベンチ工法によるトンネル断面の早期閉合をはかり、計測による地山変位の確認とその対応の努力の結果、内空変位50mm程度と順調でNATMの有効性が確認され、今後NATMの採用とその進歩は大いに期待できるものである。

トンネル工法の進歩ということで欠かせないものにTBMの使用がある。これは火薬を使用しないため地山を傷めない、掘進スピードが早い、労務者の省力化、安全作業であるなど多くの利点があるため、一時全国各地で採用されたが、わが国固有の地質変化の多様性に応じられず下火になっていたが、昭和53年電源開発(株)の下郷発電所の水圧管路工事(傾斜角50°、長さ500mを2本)で、西独ビルト社製のTBMが採用され、まずφ3mにて切り上がり貫通後反対方向にφ6mで切り広げリーミングするといった2段階の削孔方法を取り、破碎帯部も吹付けとロックボルトにより無事切り抜け非常に好評を博し、また普通、中間に作業横坑を設け上下2分割で施工するが、この場合作業横坑を設けず500mを一挙に掘り抜きTBMの有効性が再認識された。

これによりトンネルの急速施工、あるいは発破震動または騒音の禁じられた場合などNATMなどとの併用を含めたTBMによる施工の再検討が必要である。

一方被圧水をもった破碎帯あるいは閉門トンネル、青函トンネルなど海底部のトンネルの高圧湧水に対する注入工法の著しい進歩がみられ、薬液注入による地盤改良と併せトンネル工法の進歩に大きな貢献をしている。

さて以上最近のトンネル工法の進歩について述べてきたが、いまトンネル工事にとって非常に大きな問題となっているのはじん肺の関係である。一般的トンネル災害は20年くらいの間で急激に減少し、死亡災害は年間160人から36人へと1/4に減少しているが、じん肺問題は過去の長期にわたる作業環境からむしばまれたもので、現在は換気の改良、防じんマスクの完全着用などの対策を講じているので今後の発生要因は減少するものと考えられるが、最近の坑夫の高齢化対策とともに、今後は切羽の人員のロボット化・無人化を真剣に考える必要がある。最近のロボット工学の発達から見ても、まったく夢物語でもない大いに期待するものである。



施工

アリマッククライマーとレーズボーラーを 駆使した立坑工事 関越自動車道関越トンネル

前田 依彦*
佐取 勘四郎**

1. はじめに

東京と新潟を直結する関越自動車道新潟線は、東京～前橋間と新潟～長岡間がすでに供用中であり、残す区間も着々と工事が進行している(図-1)。

この中において関越トンネルも昭和56年2月に補助坑が貫通し、本坑(車道部)も57年2月に貫通した。現在関越トンネルの工事の主体は、本坑以外の部分、すなわち地下換気所および換気用横坑、換気立坑などの施工に移っている。関越トンネルの進捗状況を図-2に示す。

関越トンネルの地下換気所は、図-2に示すように本トンネルをほぼ3分割する形で、水上側(谷川)と湯沢側(万太郎)の2か所に設けられており、これに伴ってそれぞれに換気用立坑が設置される。これらの換気用立坑の工事に使用するために、各立坑位置に接して作業用立坑が1か所設置されている(図-3(a)(b)(c))。なお、作業用立坑は工事用道路の代替をするものである。

これら換気用立坑、および作業立坑はクライマー工法およびレーズボーラー工法で施工した。本報告では、これら立坑に採用した特殊掘削工法の採用の経緯、特色、施工結果などについて述べるものである。

2. 施工計画

2-1 立坑位置における地形、地質などの特色

(1) 地質状況

関越トンネルでは前述のように、谷川立坑と万太郎立坑があり、これら立坑位置は本トンネルの換気計画(立坑送排気縦流換気方式)からその位置が本トンネルをほぼ3分割する個所に定められ、立坑の施工性や供用後の防雪(雪崩)対策を考慮して、現在の位置が決められた。その結果、両立坑の位置はいずれも河川(谷川および万

* 日本道路公団関越トンネル南工事事務所長
** " 関越トンネル南工事事務所立坑工事長

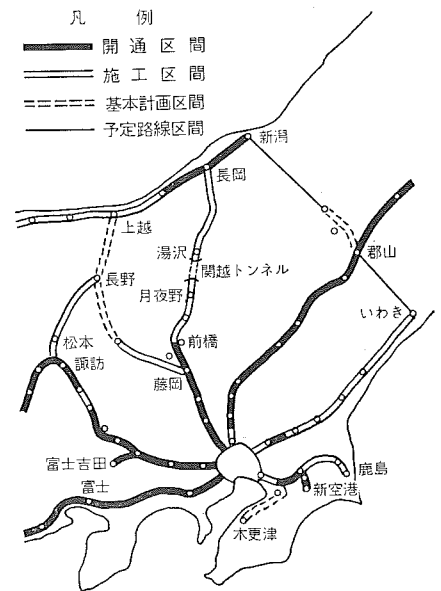


図-1 関越トンネル位置図

太郎川)に接した小さな台地部にあり、立坑の深さとしては約180m程度となっている。このため立坑の地質は、地表部付近は河床堆積物層で構成され、その下部が岩盤層となっている。この河床堆積層は谷川立坑で約40m前後、万太郎で約20m前後の深さとなっており、谷川ではこの堆積層の中を伏流水が2~6m³/min流れていると推定された。また堆積層の下の岩盤部は主として石英閃緑岩から成っており、万太郎立坑では非常に硬く、良好な岩質であったが、谷川立坑では全体に非常に破碎質な岩盤であり、垂直方向に近い断層もいくつか推定されるような状況であった。このため谷川立坑の地質調査は立坑位置の選定時点とその後の立坑の施工段階との2度にわたって実施された。当初の地質調査は通常のコアサンプリングによるボーリング調査が主体であり、施工段階の

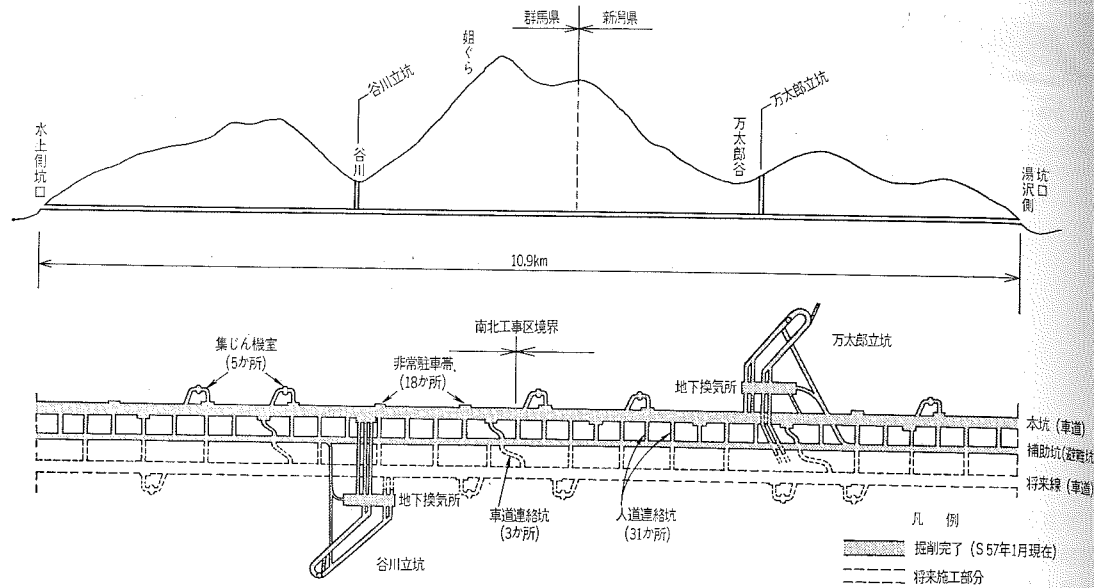


図-2 関越トンネル概要図

調査としては、立坑位置に水抜用のボーリング（ノンコア）を実施し、この孔を利用してP S 検層、孔内発破地表受振法および屈折法弾性波探査を行った。これらの地質調査方法を図-4、5に示す。地質再調査の結果を図-6、7に示す。

(2) 地形および気象状況など

谷川、万太郎の両立坑とも国立公園地域内にあり、しかも周辺は地形的にもきわめて急峻な様相を呈しており、冬期には最大積雪深が5～6mに達する豪雪地域である。

このため工事用道路の建設はほとんど不可能に近く、たとえ、工事用道路を建設したとしても1年のうち、精々半年しか利用できない状況である。したがって通常の工事用道路に代わる工事施設が必要とされ、そのために作業立坑の設置が計画された。また国立公園内であることなどから、地表部において大量の掘削土の処理は困難であり、通常の立坑開削工法の採用は不可能であった。また冬期の多雪を考えると冬期作業も困難であり、このために冬期も作業が可能な方法として、地下トンネルの坑底から地表に向けて切り上げる工法の採用が検討された。切り上がり工法としてはアリマックライマー工法や全断面上向き立坑掘削工法（同和工営）などが考えられた。

2-2 立坑掘削工法の選定

前述のような立坑の地質条件のほか、立坑位置周辺の地形や気象条件などを考慮して立坑の施工方法を次の観点から選定した。

- (1) 関越トンネル全体の工程からみて立坑の施工が本トンネル完成にとって大きなネックとなるので、冬期間でも施工が可能な方法を考える。
- (2) 立坑位置が国立公園内にあるため立坑広場のずり処理などが極力少ない工法を選ぶ。
- (3) 作業立坑は工事用資材の搬出入や人員の輸送に使用するので、所要断面として少なくとも2.3m×2.3m程度が確保できること、また本立坑は断面が大きいので、初めに導坑を掘削しこの導坑を利用して所定断面まで切り広げる工法を考える。
- (4) 施工方法としては、過去の施工実績や安全性なども十分に配慮する。

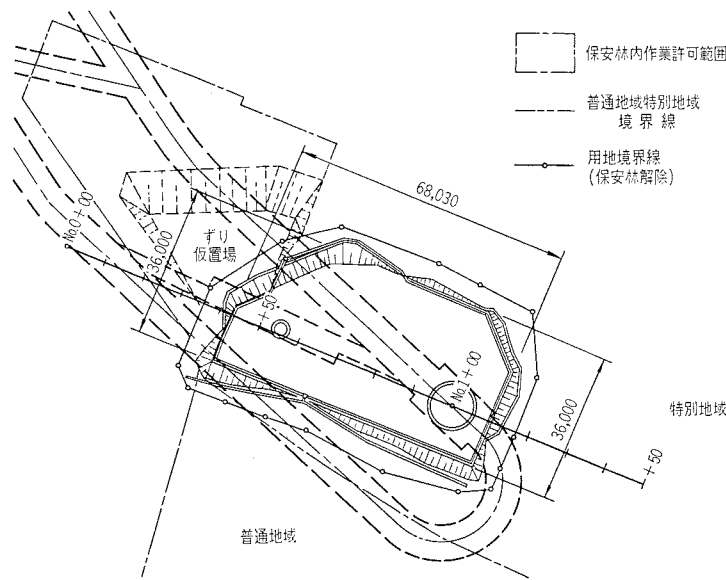


図-3(a) 谷川立坑平面図

表-1 立坑掘削工法の比較

施工条件等	(1)冬期施工の可否	(2)地表部でのずり処理量の可否	(3)所定断面の確保の可否	(4)過去の施工実績	(5)安全性	(6)経済性	備考
①アリマックライマー工法	可	無	可	多	地質によっては危険性大	安	
②レーズボーラー工法	不可	少*1	作業立坑では困難 本立坑は可（ずり出し導坑）	多	良	高	*2リーミングダウンの場合はやや多くなる
③全断面上向き立坑掘削工法	可	無	可（ただし、作業立坑では断面小さく不向き）	少*2	地質によっては危険性大	中	*1延長30m程度までの実績

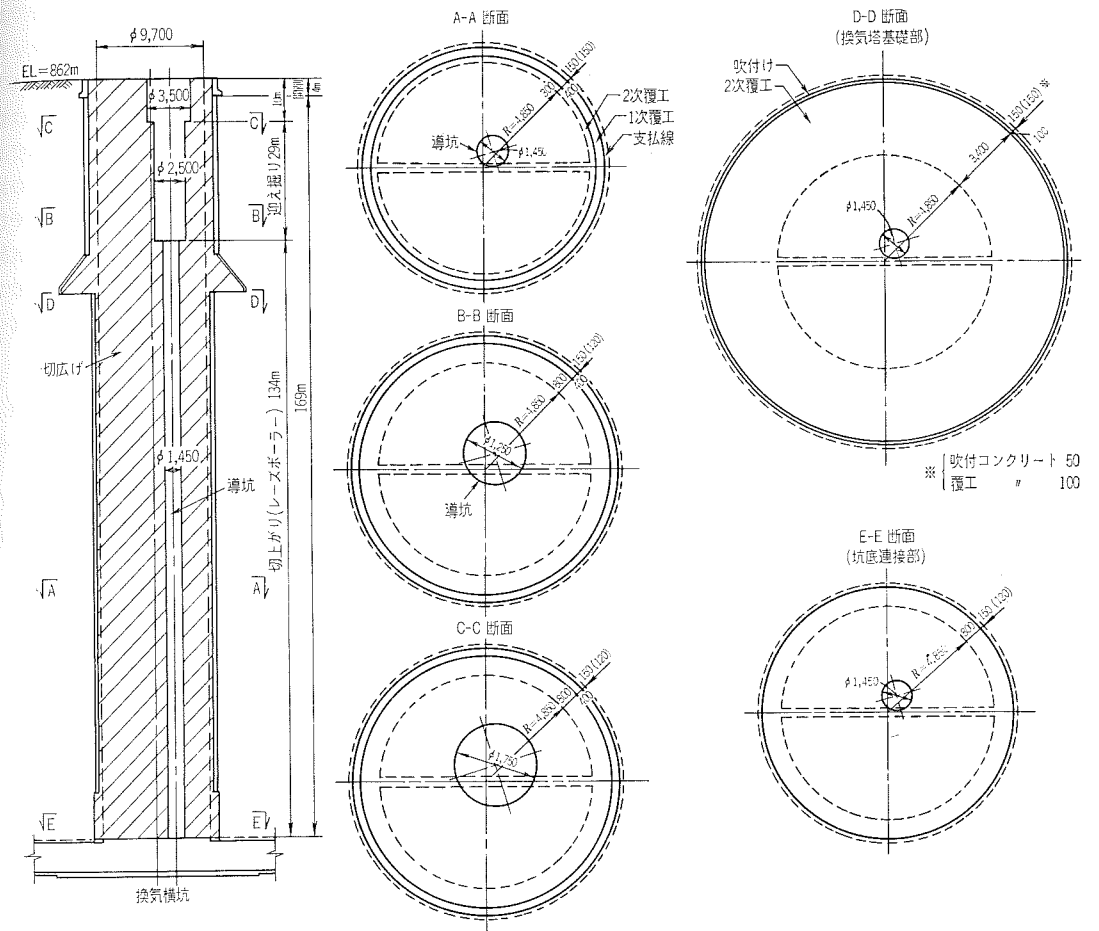


図-3(b) 谷川本立坑縦断および標準断面図

これらの条件を基に立坑掘削工法として考えられる3つの工法（①アリマックライマー工法、②レーズボーラー工法、③全断面上向き立坑掘削工法）について表-1のように比較検討を行った。以上のような比較検討の結果をふまえて、関越トンネルの両立坑の掘削工法は冬期施工の可能性、所定断面の確保、施工実績などからアリ

入や人員の輸送に使用するので、所要断面として少なくとも2.3m×2.3m程度が確保できること、また本立坑は断面が大きいので、初めに導坑を掘削しこの導坑を利用して所定断面まで切り広げる工法を考える。

(4) 施工方法としては、過去の施工実績や安全性なども十分に配慮する。

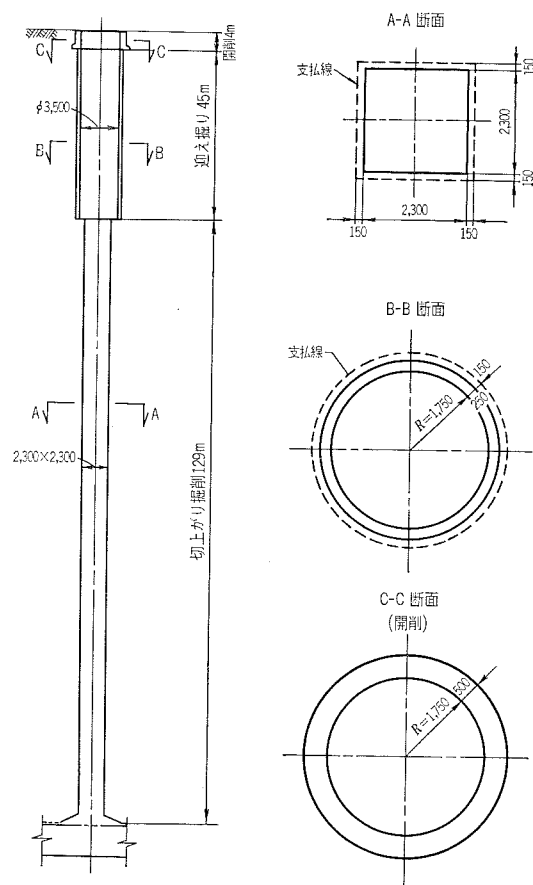
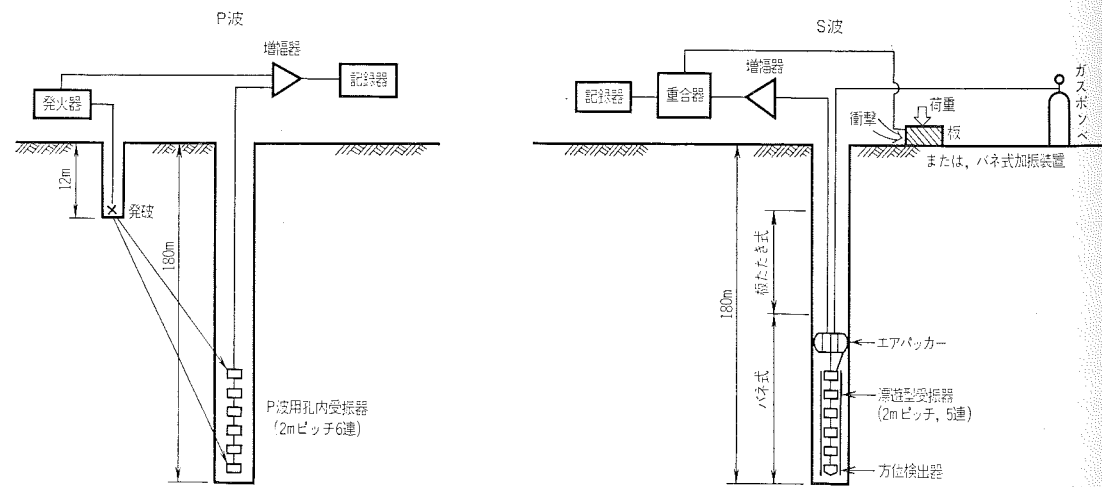


図-3(c) 谷川作業立坑縦断および標準断面図



実施範囲 水抜きBor. No1 (本立坑) 深度32~180m
(PS検層) 水抜きBor. No2 (作業立坑) 深度30~180m

バネ式加振装置: 水抜きBor. No1 (本立坑) 深度92~180m
水抜きBor. No2 (作業立坑) 深度102~180m

図-4 地質調査方法(1)

マック工法を採用することになった。しかしながら、このクライマー工法の決定にあたって、とくに地質の点で谷川立坑については安全性に対する懸念が大きかったので、施工に先立って地質を再度確認する必要が生じ、前述のような各種調査を実施した。その結果、谷川立坑のうち本立坑については、地質的にかなり悪いことがわかったので再度、工程や施工性、安全性などの観点から谷川本立坑の導坑のみは、レーズボーラー工法で施工することとした。なお、工程的にはたまたま谷川本立坑の導坑掘削は無雪期の施工が可能であった。また谷川作業立坑については、谷川本立坑に比較して地質的に多少良好であること、および所定断面の確保などの点からアリマック工法で施工を実施することにした。なお2-1で述べたように両立坑とも地表部に河床堆積層があり、これらは転石混じりの砂れき層であり地層としてはかなり軟弱である。したがっていずれの切上り工法でもこの部分の施工はきわめて困難であり、そのためこの部分のみはやむを得ず、地表部から下へ向けて迎え掘り（通常の立坑開削工法）を行うこととし、谷川立坑で約40m、万太郎で約20mまでを迎え掘りで計画した（計画断面などは図-3(b)(c)参照）。

3. 施工方法

3-1 クライマー工法

クライマー工法としては、スウェーデンのアリマック社で開発されたアリマッククライマー工法が広く使用さ

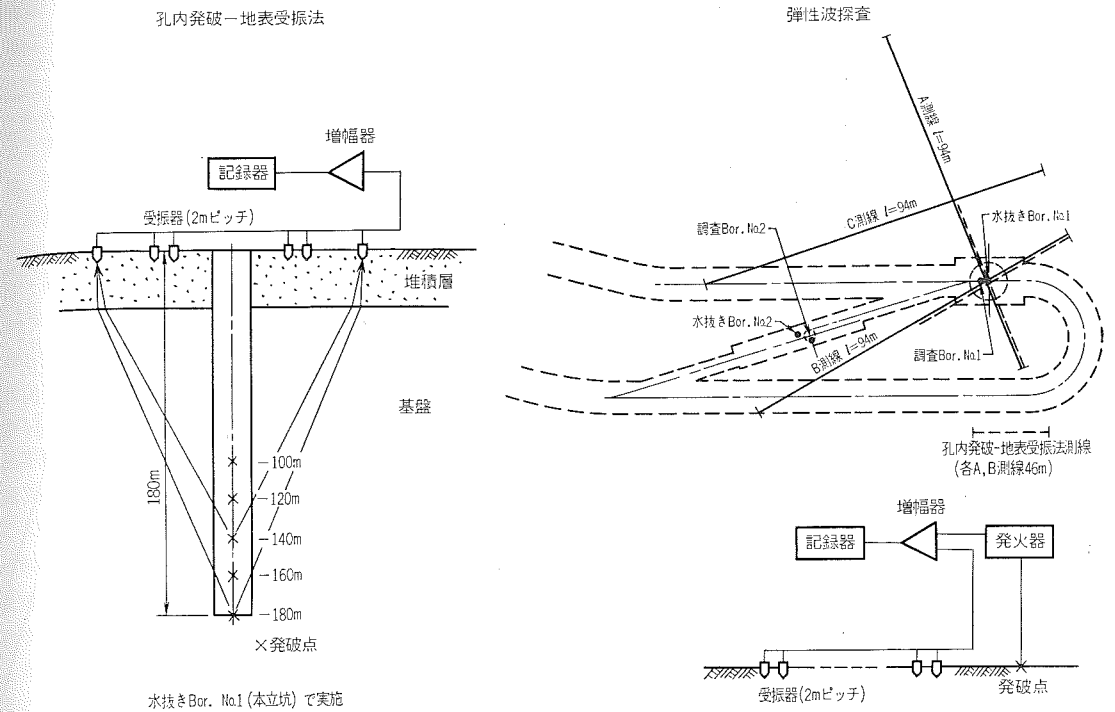


図-5 地質調査方法(2)

表-2 アリマッククライマーの仕様 (STH-5E型)

プラットフォーム寸法	1.8m×1.8m	
電動モーター	7.5kW	1,450rpm 3相誘導電動機
制御装置	断自動復帰型	
上昇速度	18m/min	50Hz
下降速度	<30m/min	自重降下時
本体自重	1,180kg	
ケーブル自重	1.1kg/m	特殊ケーブル
ケーブルリール	エアモーター自動巻取	
ガイドレール	2mレール90kg	
エクステンションボルト	l=800, 1,200, 1,600mm	

表-3 アリマッククライマーの重量など (STH-5E型)

項目	内訳	重量 (kg)
本体自重		1,350
搭載重量	作業員 3名×65kg	195
	削岩機 2台	100
	工具およびビット類	80
ケーブル自重	ガイドレールおよび付属品	130
	1.1kg/m (140m)	155
合計		2,010

注) 許容最大静荷重 2,300kg

れている。この工法は外国の鉱山などの立坑や斜坑の掘削に広く使われており、わが国でも鉱山および水力発電所の調圧水槽、鉄管路などの掘削にかなり使用されてきた。道路トンネルの立坑などについては、まだ使用実績は比較的少ない。以下にアリマッククライマー工法の概要を述べる。

(1) 施工手順

施工は、図-8に示すようなクライマーのケージに作業員(2~3人)が乗って切羽先端に行き、クライマーの昇降停止後ケージから出て作業台に乗り移り、ストーパー(削岩機)で上向きに削孔し、削孔後装葉し、退避、

発破を行う。発破後はクライマーのガイドレールに取り付けられているエアホースと水噴霧装置により粉じんあととガスを排除し換気を行う。このエアと水の噴射により切羽の浮石などを極力除去することが、次の作業を行ううえで安全上重要な要素となる。これら換気などに要する時間は通常30~40分程度要している。浮石などの落石がなくなったと思われる時点で再びクライマーで上昇し、切羽面などのこそくを行ってから次の穿孔作業に入る。したがってクライマーによる作業は次の手順となる。
削孔→発破→換気→浮石落とし

なお、坑底部にはクライマーが退避する場所と付属機

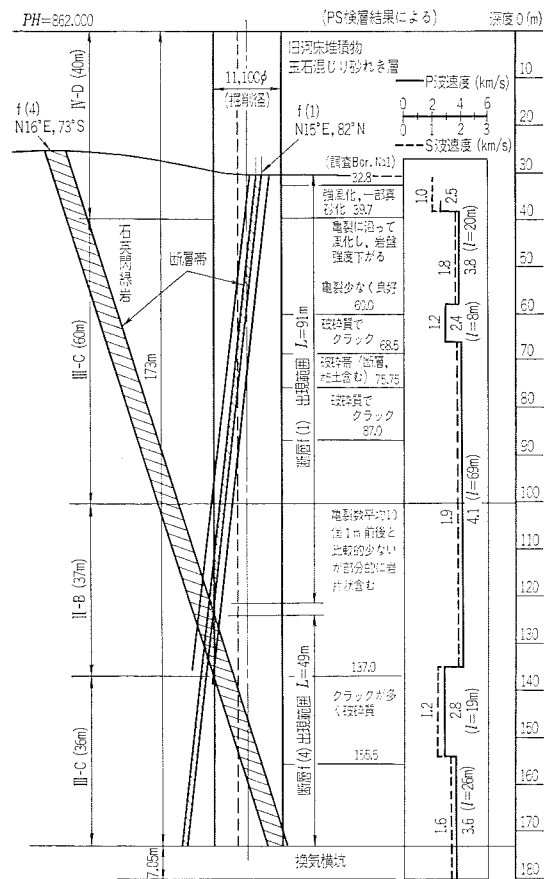


図-6 本立坑地質縦断面

器類を設置するための基地が必要であり、今回工事に用いた基地の状況を図-9に示す。

(2) クライマーの構造

アリマック社のクライマーには駆動形態として、エアモーター式、電動式、ディーゼル油圧式があるが、当トンネルでは立坑延長が180mと長いことから電動式を使用した。クライマーの構造は駆動装置、ケージ作業台、ガイドレール、および給気給水給電設備から構成されている。当トンネルで使用したクライマーのおもな仕様を表-2に示す。

(3) 施工内容

施工計画を立てるにあたって当トンネルの地質を次のI, II, IIIに分類した。

地質I: 地山の岩質は、非常に堅硬かつ新鮮で大塊状を呈し、割れ目がほとんどなく立坑切り上がり掘削時には支保工を必要としないもの。

地質II: 地山の岩質は、堅硬で割れ目が少ないもの、あるいは層状をなす岩で層理または片理が認められるも

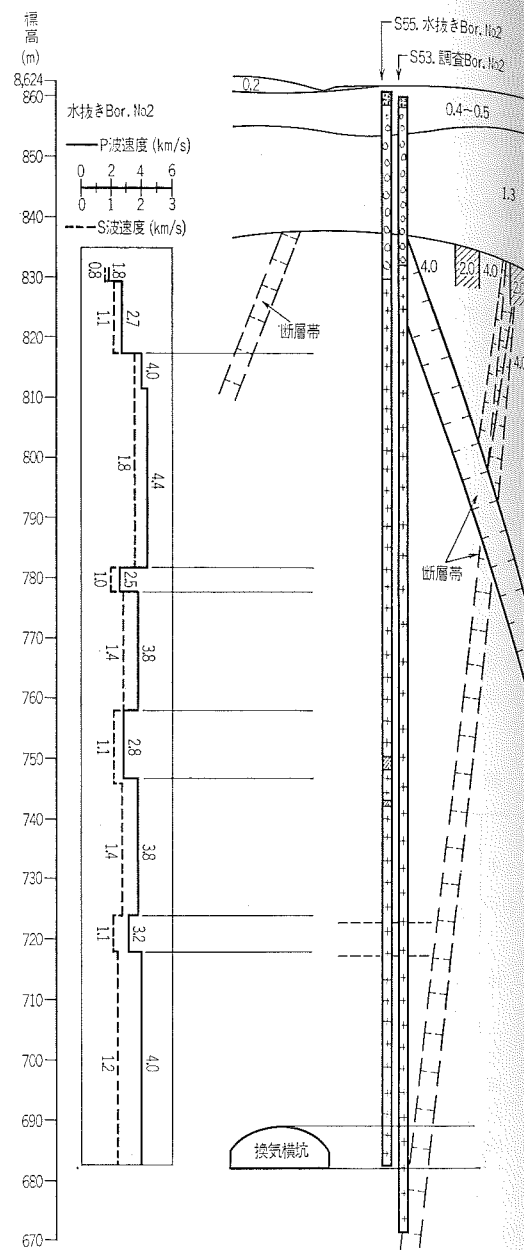


図-7 作業立坑地質縦断面

ので、立坑切り上がり掘削時に支保工(ロックボルト)を必要とするもの。

地質III: 上記I, II以外の地質のもので掘削時に鋼製支保工(枠組み)などの補強を必要とするもの。

地質Iは非常に良好な岩盤であるので特に問題はないが、IIについては壁面の安定を計るために掘削直後にロックボルトを打ち込むことにした。また地質IIIについて

は図-10に示すような形に支保工を枠組みして壁面の安全を計るべく計画した。

(4) 測量

鉱山などでクライマーにより立坑や斜坑を掘削する場合の立坑や斜坑の形状寸法、位置などの精度は比較的ラフでもその目的からみて余り問題にならない場合が多いと思われるが、今回施工した関越トンネルの立坑のうち、とくに作業立坑については掘削後、資材などの搬出入用のエレベーターやケーブルを設置しなければならないため、断面形状や垂直性にきびしい精度を要求された。そのため測量は掘削10mごとに実施することにして、施工精度の向上に努めた。測量の方法としてはレーザー光線を利用したものや下げ振り式のものなどがあるが、レーザー光線を使用するものでは測定器の設置方法や落石からの防護方法などが困難であったので、比較的取扱いの容易な下げ振り方式を採用した。この方法は図-11に示すようにクライマーにワイヤで重りを吊り下げ、坑底部に水を張って、重りの位置を測定し、掘削位置を常時確定し、位置が計画よりずれた場合はその都度修正することにした。

(5) 点検整備など

当トンネルの地質はとくに谷川立坑においてかなり不良な状況が想定されたので、クライマーによる作業の安全性向上のために、機器の整備点検や作業員の安全教育を徹底させるとともに、浮石落としなどの作業を入念に実施することにした。そのために、点検項目や安全標語を作業基地内に掲示し、作業員がいつも安全対策に注意を喚起するように努めた。

3-2 レーズボーラー工法

レーズボーラー工法は日本、アメリカ、西ドイツで数社が機械を開発しており、立坑や斜坑の掘削、とくに導坑掘削に威力を発揮している。

(1) 施工手順

施工としては図-12に示すように、まずパイロットビットにより小口径のパイロットホールを掘削し、パイロットホール貫通後、パイロットビットを径の大きいリーミングヘッドと交換し、パイロットホールの掘削方向と反対方向にリーミングヘッドを回転させながら掘削を行うもので、パイロットホールの掘削とリーミングの方向

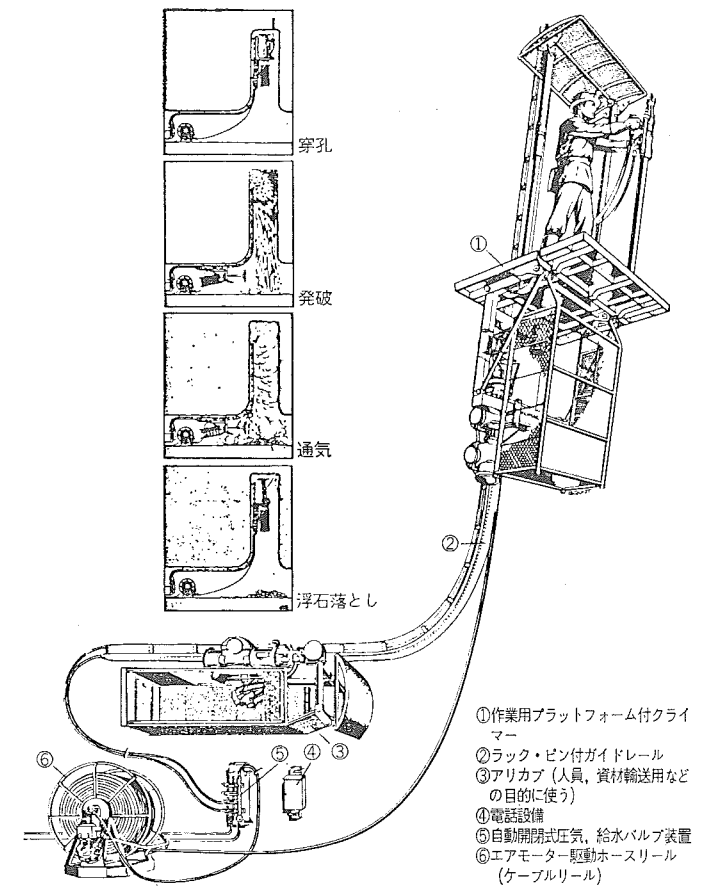


図-8 アリマッククライマー作業概要

を上向き、下向きのどちらにするかにより①ボーリングダウン、リーミングアップ方式と、②ボーリングアップ、リーミングダウン方式との2通りがある(図-13)。これらの方法にはいずれも得失があるが、当トンネルでは立坑地表部にはできるだけずりを搬出したくないので、リーミング時のずりが坑底部に落ちるリーミングアップ方式を採用した。

(2) レーズボーラーの構造

レーズボーラーの構造は、地上部のコンクリート基礎上に設けられる本体構造、メインフレーム、駆動装置、油圧装置とパイロットホールを通じて掘削用のトルクをリーミングヘッドなどに伝達するドリルパイプ、穴曲がり防止などのためのスタビライザー、および岩掘削のためのパイロットビット、リーミングヘッドから構成される。

(3) 施工内容

換気用を使用する本立坑は図-3(b)に示すように掘削径で約11m(完成内径φ9.7m)と大きいため、まず導坑

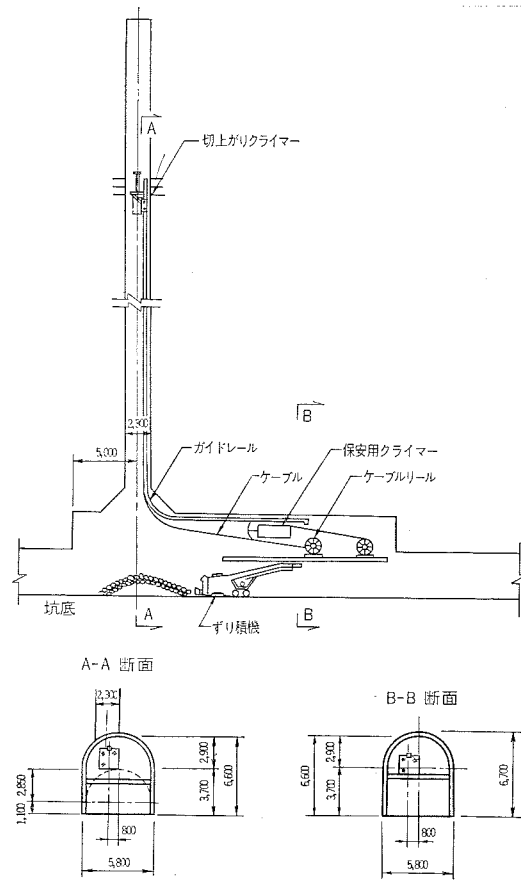


図-9 クライマー基地

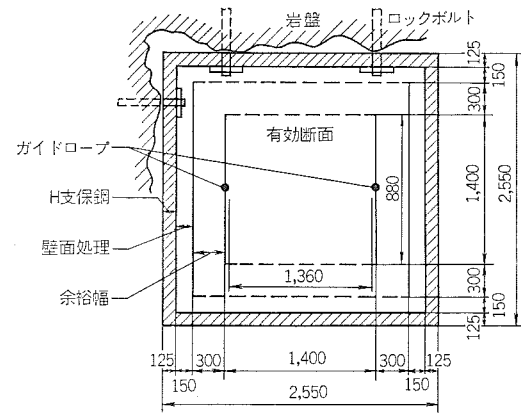


図-10 岩質不良区間における支保工

を掘削しこの導坑を用いてずりを下に落としながら切込
げを行う工法を採用した。この導坑掘削は図-14に示す
ように、まず上部39mまでを迎え掘りで行い、その下を
レーズボーラー工法で掘削した。迎え掘りは地表部に近
い河床堆積層の区間を対象とし、上部10mまではφ3.5

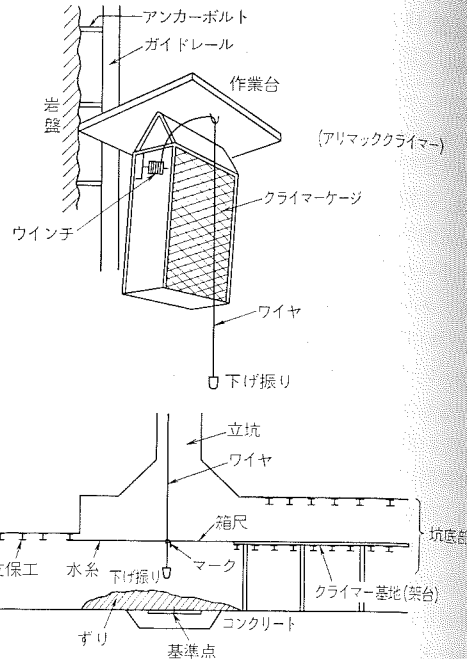


図-11 クライマーによる立坑測量

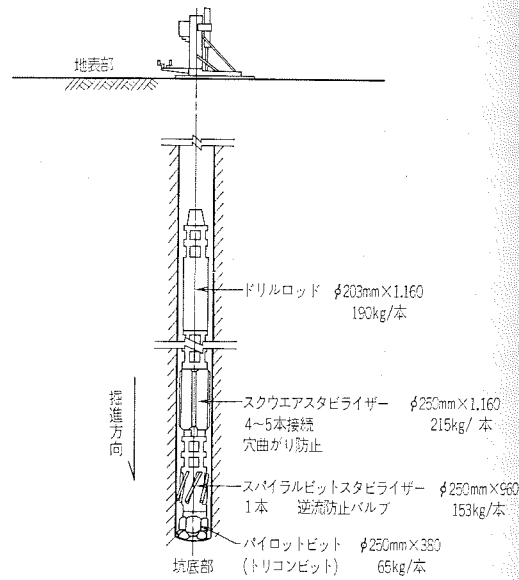


図-12 パイロットダウン

mとしその下はφ2.5mとした。その理由は上部10m部
分は導坑掘削完了後に孔崩れ防止用の鋼管(φ1,200mm,
t=9mm)を挿入するための作業足場として使用する
ことを考えて多少広くしたものである。なお、φ2.5m
区間はリーミング径以上の孔径であればよいわけである
が、上部からの迎え掘り作業となると余り小さい径では
作業性が悪いので、深礎坑などの施工実績を参考として

表-4 レーズボーラー基礎の設計荷重

項 目	重 量 (t)
リーミング時の荷重 (最大引抜力)	106
BM-100N自重 (ドリルユニット)	13
コンクリート重量	47
H鋼桁 (H-400×400)	5
計	225

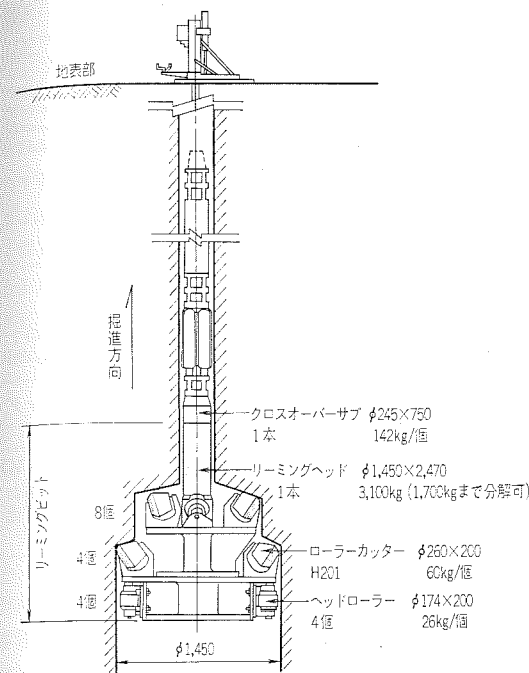


図-13 リーミングアップ方式

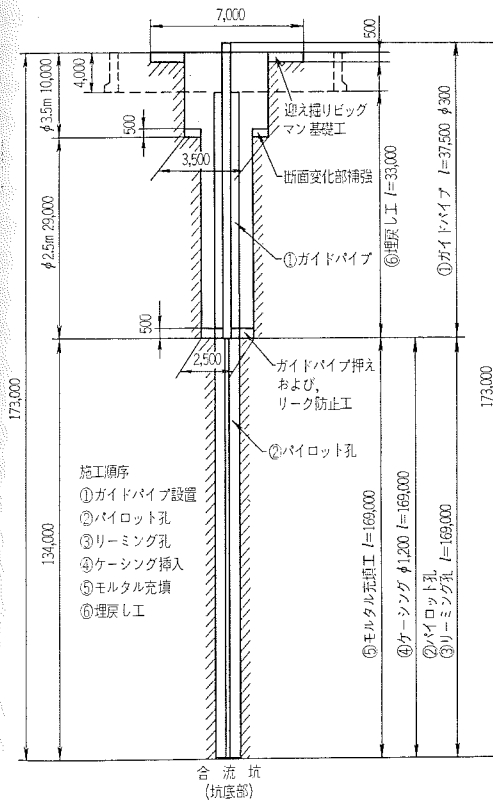


図-14 本立坑導坑掘削順序

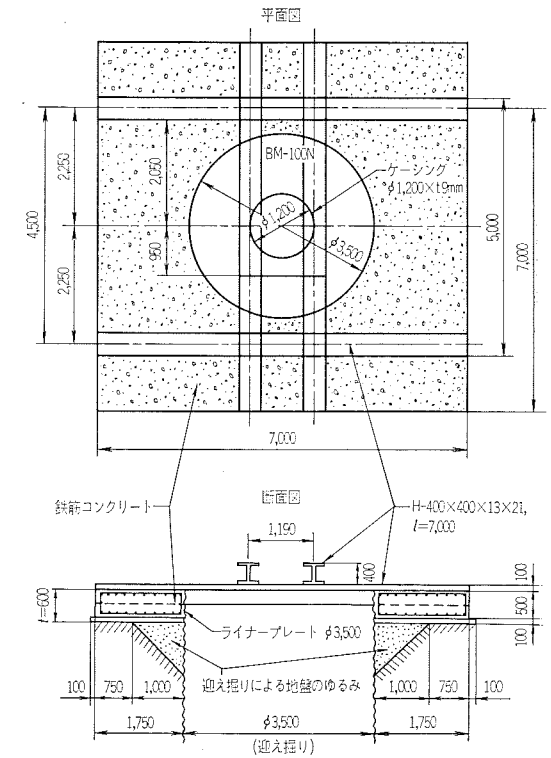


図-15 レーズボーラー基礎図

φ2.5mを採用した。
迎え掘りが完了した時点で図-15のように地表坑口
部にレーズボーラーの基礎を設置した。この基礎の設計条
件は表-4に示すような荷重を考慮した。この基礎の下
の迎え掘り部分には図-16に示すようにレーズボーラー
のロッドを挿入し、掘削用の循環水を地表に戻すためのガ
イドパイプを設置した。レーズボーラー工法の採用にあ
たっては、まずその掘削対象とする立坑(または斜坑)
の目的および対象岩盤の硬さ、掘削延長などを考慮して
パイロット孔径およびリーミング孔径を決定する必要が
ある。パイロット孔径は通常φ250mmが使用されてお
り当立坑でもこれを採用したが、問題はリーミング孔径
である。当立坑の導坑はその中をずりを落させて搬出

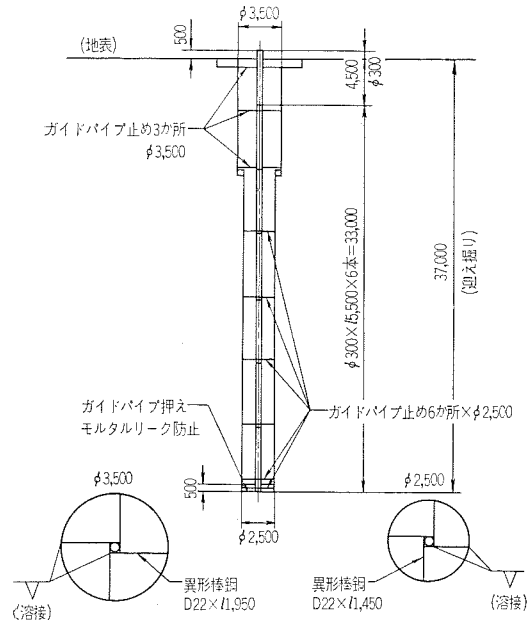


図-16 ガイドパイプ設置図

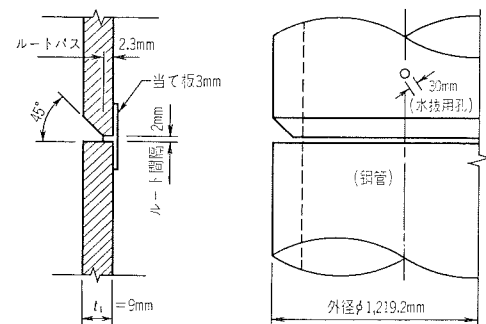


図-17 鋼管継手部溶接

する、いわゆるずり出し導坑であるため、できるだけ大きい径が望ましい。しかし、谷川立坑の地質は前述のようになかなか脆質な部分を含んでいるが、場所によっては相当堅硬な岩盤部もあり、これら良質岩盤部の性状は弾性波速度で4.1km/s、1軸圧縮強度1,500~2,000 kg/cm²程度と推定されている。また、当立坑の掘削総延長は180mと長いので、リーミング径の選定にあたってはこれらの条件を十分考慮した。その結果、これまでのいくつかの施工実績などからみて、当立坑ではリーミング径としては、φ1,450mm程度が上限であろうと考えられたので、この径で掘削することにした。リーミング完了後に孔崩れ防止用の鋼管を挿入し、鋼管と孔壁との間をモルタルで充填する。このモルタル充填は、鋼管を固定し、ずり落とし時に鋼管がぶれたり破損するのを防止するために必要なものであり、導坑をずり出し用に

表-5 レーズボーラー工法施工概要

項目	内容	
掘削孔径	パイロット孔	φ250mm
	リーミング孔	φ1,450mm
掘削深度	134m	
掘削方向	垂直	
掘削本数	1本	
地質状況	石英閃緑岩、一部破碎帯岩の1軸圧縮強度1,500~2,000kg/cm ²	
使用機種	鉋研式大口径岩盤掘削機ビッグマンBN-100N	
その他	リーミング後ケーシング(φ1,200mm)を孔崩れ防止のため建込み、周囲をモルタルで充填する	

活用するためには大切なことである。

孔崩れ防止用鋼管はリーミング径がφ1,450mmあるので理論的には1,300mm程度まで挿入可能であるが、リーミング孔の穴曲がりや鋼管建込み前の孔壁のゆるみなどを考慮するとφ1,200mm程度が安全とみられたのでこの径のものを採用した。肉厚としてはできるだけ厚い方が望ましいが、経済性や施工性を考えるとt=9mm程度が過去の施工例などからみて適当と思われた。またこの鋼管は建込み延長169mと長いので、ある程度の長さのものを継ぎ合わせて挿入しなければならない。そこで1本当たりの鋼管は、立坑坑口広場における鋼管建込み用クレーンの規模(立坑口で使用する工事用器材などはすべてヘリコプターによる空輸で搬入したものであるため余り大きな器材は使用できない)および鋼管を搬入するのがヘリコプターであることから重量的に1本当たりの鋼管の重さが約1.5t以下の制限があり、これらを考慮して1本当たりの長さを決定した。その結果、1本当たり5m(重さ1.4t)のものを34本継ぎ合わせることにした。この場合、鋼管の継手が完全でないとずり落とし中にずり落ちの衝撃により鋼管が破損したりする事故が多いので、この継手は図-17のような溶接継手とした。

以上より谷川立坑におけるレーズボーラー工法の内容をまとめると表-5のとおりである。

(4) 施工精度

レーズボーラー工法による施工精度としては掘削時の穴曲がりが最も問題となるが、この穴曲がりの大小はパイロットホルの掘削の良否によって左右される。一般にレーズボーラー工法のパイロットボーリングでは掘削

延長に対して1%程度の穴曲がり予想される。

谷川立坑では以前に、立坑位置において水抜用のボーリング(φ150mm)を2か所施工したが、そのときの穴曲がりが約1%(掘削深度180mに対し穴曲がり1.8mと1.75m)であった。今回のレーズボーラー工法のパイロット径は250mmであるので、精度的には水抜ボーリングよりはやや有利と考えられるが、極力穴曲がりは小さく抑えないとリーミング作業がずり落とし作業に支障となるおそれがあったので、パイロットピットの直上にスタビライザーを多用することによって穴曲がり防止に努めた。

4. 施工結果

4-1 アリマッククライマーによる作業立坑の施工

(1) 地質状況など

立坑掘削後確認した地質状況は図-18に示すとおりであったが、一般的に亀裂が多く、この亀裂は縦方向、横方向ともよく発達し、亀裂間隔も狭い。また、亀裂の目は開いており中に粘土を挟んでいる場合が多かった。岩は一部風化し、真砂化、砂状を呈する個所も見受けられ、場所によっては縦方向に長い区間にわたって破碎質(粘土化)な岩が厚み40~60cmで帯状に延びている所もあった。

地表部から深度45mまでは上からの迎え掘りで実施したが、この地層部はセメントベントナイトで止水グラウトを行ったため、伏流水もほとんどシャ水されて掘削時の湧水は非常に少なかった。また迎え掘りの下の岩盤部はクライマーによる下からの切り上がりであったが、この区間では湧水はまったく見られなかった。

(2) 施工結果

(i) 進行

クライマーによる掘削作業は原則として昼夜2方(1方当たり実働10時間)で行った。当立坑の施工に要した日数は37日(このうち1方のみの作業日が3日)で施工延長は128.7m(1方作業による掘削6.0m)であった。これから2方(1作業日)当たりの進行を計算すると平均3.6m/日(2方)となる。この作業日にはクライマーおよびケーブル、ガイドレールなどの修理時間も含まれたものである。日ごとの進捗状況を図-19に示す。

(3) 施工精度

クライマーの施工精度としては立坑の垂直性および断面形状が問題となる。垂直性については図-11に示すようにクライマーからピアノ線を垂らして、坑底部に設けた基準位置との関係を測量し、掘削位置を随時修正しながら施工した。その結果、掘削延長に対する中心位置の

横方向のずれは、掘削延長約125mに対して中心点のずれが0.5mで精度0.4%であった。また地表部から施工した迎え掘りの穴(φ3.5m)とクライマー断面とは貫通直前にクライマーの掘削断面位置を迎え掘り位置に合わせるように修正したので、ほとんど貫通位置でのずれは生じなかった。この修正方法は迎え掘り部分の坑底部に4本の穴を明け、この穴に長さ3mの突き棒(ローディングパイプ)をあらかじめ挿入しておき、下からクライマーでこの突き棒の出る位置まで掘削し、この棒の位置を確認してから最後の貫通用の掘削を実施した。断面形状は貫通後、壁面の整形を行って所定断面を確保した。この壁面整形は作業性が悪いのでかなり作業に手間取った。

(4) トラブルなど

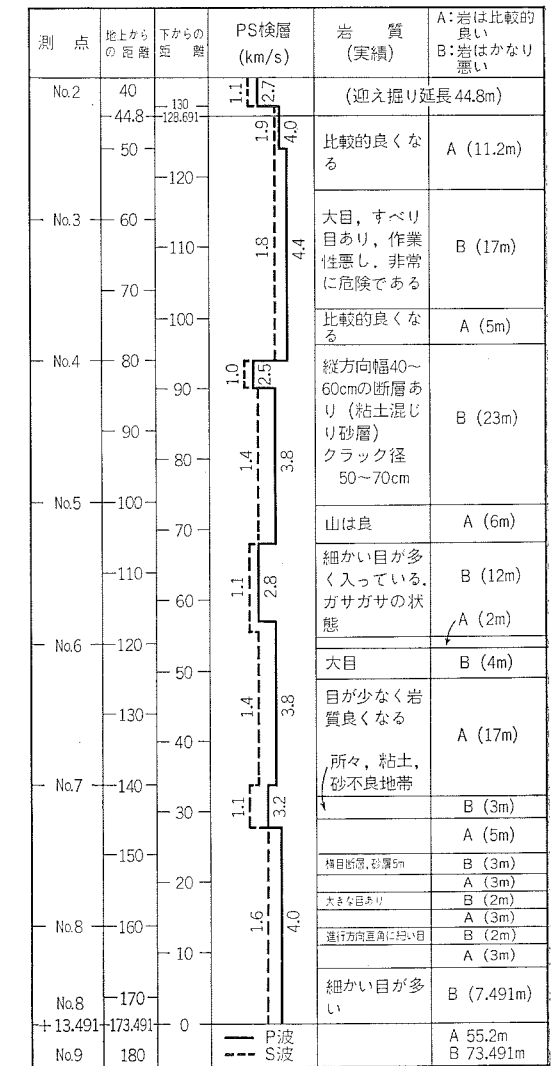


図-18 作業立坑アリマック切上がり掘削地質図

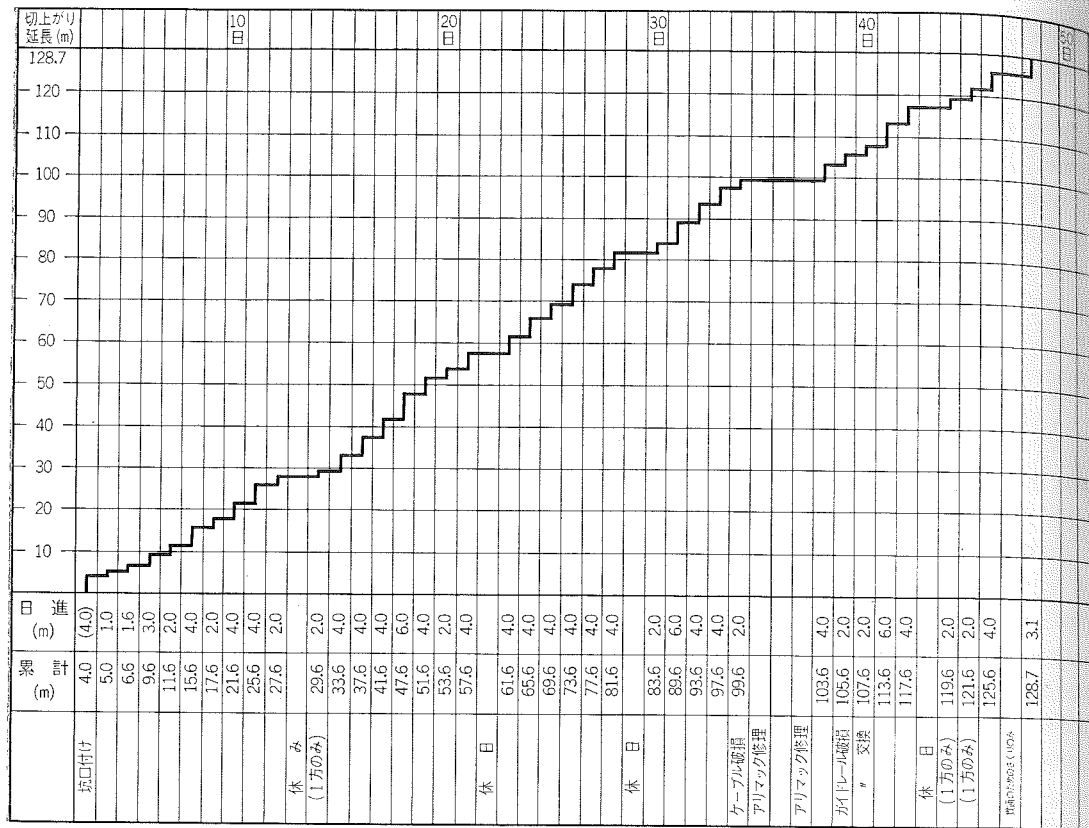


図-19 作業立坑アリマック切上り掘削進捗図

地質的にはかなり不良であったにもかかわらず、掘削時に湧水がなかったために、とくに大きな事故もなく施工できた。浮石などの崩落もとくに安全性に大きな影響を及ぼすほどのものはなかったが、クライマーが切羽に近づいた時点でかなり大きな落石が天蓋に乗ったことが1回あった。事前の点検整備が良好であったため、クライマー関係の故障としては余り大きなものはなく進行に対しての影響も少なかったが、落石によるケーブルの破損およびガイドレールの破損がかなりあった。

(5) 壁面処理

作業立坑は工事期間中だけでも3~4年にわたって使用するため、壁面は落石防止のために十分な対策が必要であるので、掘削整形後金網を全面に張り、地質の悪い所にはロックボルトを挿入し岩の安定化を計った。また、全体的に谷川作業立坑は岩質が不良であったので、金網設置後、内壁面全体にわたってモルタル吹付けを行った。

(6) その他

作業立坑の坑底部はクライマーの昇降用ガイドレールの取付けや施工性からラッパ状に多少広げる必要がある

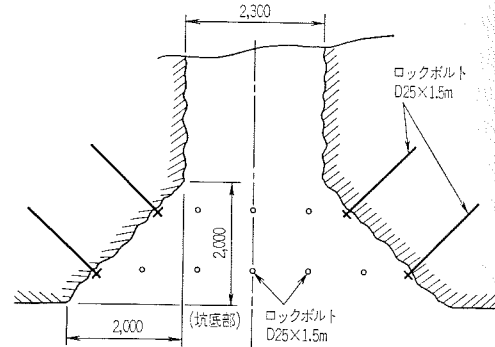


図-20 作業立坑坑底部

が、発破やずりの落下により岩盤がゆるみやすいため、この部分は何らかの補強をしなければならない。そこで当初設計では図-20に示すように1.5m (φ25) のロックボルトと金網設置により坑口部を補強する計画であったが、実際に掘削を始めてみると予想以上に岩質が悪く、坑口部のラッパ状に広げた所が非常に不安定であったので、図-21に示すようにH鋼で支保工を組みその内側に鋼板を溶接し、ずりの落下により坑口部が崩れるのを防止した。これにより坑口部の崩壊は防止できたが、掘削

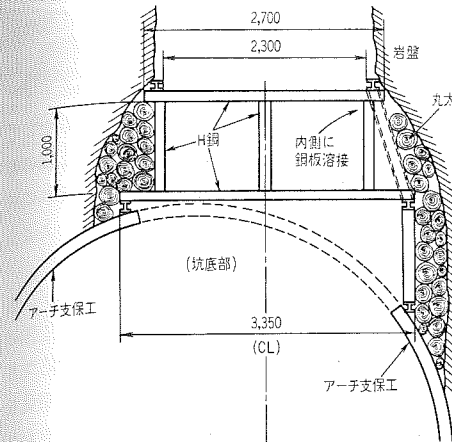


図-21 作業立坑坑底補強図

完了時点ではずりの落下によりH鋼や鋼板がかなり変形をきたしていた。

4-12 レーズボラー工法による本立坑導坑の掘削

(1) 地質状況など
レーズボラーによる掘削の場合は掘削面の地質を直接目視することはできないので、地質状況はリーミング時の落下ずりなどから大略判断するしか方法がない。当立坑では事前にPS検層やボーリングにより地質調査を行ってあったので、この地質調査結果(図-6)と落下ずりの状況を観察した。図-6からわかるように本立坑では深度60m付近と135~155m付近の2か所かなり地質の不良な箇所が出現しているが、これら破砕質な地質の箇所をリーミングしたときの落下ずりの中には、径20~80cmもの大きなずりがかなり多く含まれていた。これはリーミングカッターにより切削されたというよりは、すでに破砕された状態にあった岩がカッターによりもぎ取られたような形で下に落下したものと考えられる。このような破砕質の地質の場合は、カッターの間やカッターと岩盤との間にこれらの大きな岩片がはさまれてリーミングに故障を来たすおそれがあるので注意が必要である。また、地質調査図(図-6)で70~135m間は弾性波で4km/sと地質はかなり良好と見られるが、この付近のリーミング時のずりの径は5mm程度以下がほとんどを占め、形状もやや扁平な感じであった。これら堅硬で一般的な岩のリーミングでは比較的トラブルはないが、進行はかなり落ちる傾向が見られた。

(2) 施工結果

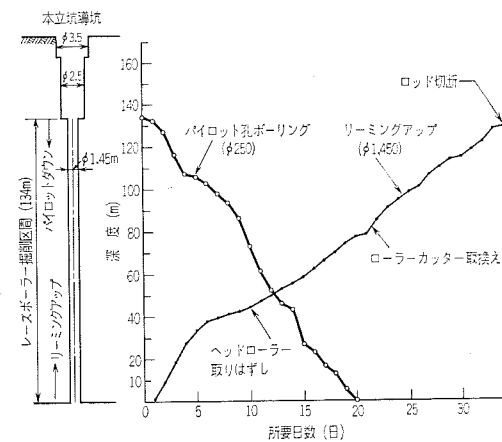


図-22 ビッグマンによる掘削進行状況

表-6 進行実績

	1日当たり進行(注1) (m/日)		1方当たり進行(注2) (m/日)		1作業時間当たり進行(注3) (m/h)		実掘進時間当たり進行(注4) (m/h)	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
パイロットダウン	8.2	16.7	4.1	9.3	0.35	0.78	0.51	0.83
リーミングアップ	4.0	10.6	2.0	5.6	0.17	0.47	0.19	0.51

注)1., 2. 1日当たり2交替(2方)を原則とし、1方当たり12時間作業。

3. 作業時間には準備、跡片付け、交替時間などが含まれる。

4. 実掘進時間とは機械が作動した実時間をいう。

(1) 進行

当立坑において施工したレーズボラーの進行状況は図-22に示すとおりである。掘削作業は原則として1日当たり2交替で行ったが、日によっては機械の点検修理などで1方のみしか作業できない日もあった。図-22ではこのような場合も1日として所要日数に入れてある。当立坑は垂直坑であり、しかもレーズボラーで掘削する導坑は掘削後にケーシングを建て込んだ後、本立坑の切広げのずりを落とすために使用するものである。導坑の掘削にあたっては極力、垂直性を保持することに努めた。この垂直性の保持はパイロット孔の掘削の良否に左右されるので、パイロットダウンにあたっては必要以上のトルクを掛けないようにしてボーリングの孔曲がりを極力少なくするように注意した。そのため、パイロットダウンの進行はある程度抑えられた傾向がある。進行実績は表-6に示すがパイロットダウンは1日(2方)当たり平均8.2m/日、機械の稼働時間当たりで平均0.51m/hであった。

リーミングアップ作業は、坑底部のリーミング始点の掘削にかなり手間取った。その理由は、ローラーカッター

ーが岩盤を切削するためには図-13に示すように、リーミングヘッド全体が岩盤内に十分入っていないとローラーカッターと岩の切削面とが十分に密着しないのでカッターの切削力が損なわれるためである。図-22からわかるように、リーミングの進行は掘削当初では1日当たり6~10mの進捗がみられたが、その後は日当たりもほぼ2m前後であった。途中、掘削開始後10日目で進行を上げるために、垂直坑では余り必要のないヘッドローラー(図-13)は取り外した。また、掘削開始後21日目で進行がかなり落ち始めたために、ローラーカッターのうち摩擦の著しいもの(損傷1個、摩擦7個)は部品交換した。その後、比較的順調に作業は進んだが、作業開始後34日目でクロスオーバーサブの部分が切断され、リーミングビット全体が坑底に落下してしました。

掘進経緯は以上のとおりであるが、これらリーミング作業を全体としてみた場合、表-6からわかるようにリーミングアップの1日当たり平均掘進率は4.0m、掘進時間当たり0.19mであった。

(ロ) 掘進精度(孔曲がり)

孔曲がり精度はすべてパイロット孔の掘削によって左右されるものであるが、このパイロット孔の孔曲がり掘進延長134mに対し水平方向のずれが約1mであった。したがって精度として0.7%となり、掘進延長にもよるがこの値は通常いわれているレーズボーラー工法の孔曲がり精度1%に比べてもかなり良好な結果であった。

(ハ) トラブルなど

最も大きなトラブルは、リーミングの最後の段階で生じたクロスオーバーサブの切断事故であった。当工事ではロッドなどの切断によるリーミングヘッドの墜落を防止するための装置を備えていたが今回の事故では有効に働かなかった。この事故の原因としては、かなり破碎質な岩盤部で岩片がカッターと坑壁との間にはさまれ、一時的に大きなトルクがロッドやクロスオーバーサブに作用したものと推定されるが、掘削面は孔内であり、事故原因を直接確認する術がない。なお、破断面の状況を見ると、破断した部分は金属疲労によると思われる状態が確認できるので、この部品の耐久性も今後検討が必要かと思われる。現在、これらの事故原因の解明と今後の対策については関係者の間で検討されつつある。

5. おわりに

関越トンネルの立坑の施工法は、立坑位置における気象条件や地形地質条件などのいくつかの制約から特殊な掘削工法を採用せざるを得なかった。とくに水上側の谷川立坑では換気用立坑と作業用立坑とが水平距離で約50

mしか離れていないのかかわらず、その掘削工法はレーズボーラー工法とアリマッククライマー工法と2つの工法が別々に採用された。また、地質的にも余り大きな相違もないことからいえば、両工法の実験的比較としてはこれ以上の条件はないといえよう。実際に両工法の施工に携わった立場からみれば、両工法ともそれぞれに利点欠点はあるが大まかにみて次のようなことがいえよう。(アリマッククライマー工法)

作業性としては確かに危険の多い工法といえるが、施工を計画するにあたって十分な地質調査を行って工法の適否を判断するとともに安全対策も地質条件に対応できるものを事前に計画すること、および熟練した作業員を極力確保することがこの工法の成功の鍵となると思われる。この工法の場合は掘削延長にかかわらず掘削断面の形状や大きさの選定が、レーズボーラー工法に比べて比較的自由にできることおよび掘進能力もかなり早いことが利点であろう。ただし、掘削断面の形状や施工精度にきびしい制約がある場合は、施工中の測量や発破方法などに十分注意しないと手直しが多くなり、作業時間もかなり長くなり危険も増すと思われる。

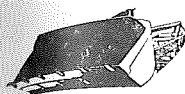
(レーズボーラー工法)

レーズボーラー工法の場合も重要な点は、事前に十分な地質調査を行って施工計画を立てることである。とくに掘進延長と地質条件(岩の硬さ、破碎質な岩か否かなど)によって掘削径は左右されるので、これらの判断を誤らないようにすることが大切である。逆にいえば、これらの点でレーズボーラー工法はアリマックに比べて掘削形状や大きさの選定の自由がきわめて制約されざるを得ないことが欠点でもある。ただし、掘削作業が全面的に機械で行われるので人命に対する安全性は高い。

いずれにしても、両立坑の掘削は多少の機械的なトラブルはあったものの、人命にかかわるような大きな事故もなく施工できたことは、これら工事に携わった関係各技術者や直接作業に当たった作業員の一致した安全指向の賜と思われる。ここに関係各位の皆様には謝意を表す次第である。なお、本報文ではおもに谷川立坑の施工について述べてきたが、万太郎立坑でもクライマー工法で施工しており、これらの施工状況は第14回道路会議論文集(一般論文)に掲載されているので参照して頂きたい。

参考文献

- 1) 立坑開さく法(増補版), 北新建設(株).
- 2) 稲見・佐取: 関越トンネルの立坑施工計画, 土木技術, 1980年9月号.
- 3) 佐取・上橋: 立坑工事における止水グラウトの施工, 土木技術, 1981年5月号.



施工

高被圧滞水砂層におけるシールド掘進

東電・京浜潮田線

中島章治*
北原正弘**

1. はじめに

東京電力における首都圏過密地域への電力供給は、東京を中心にその外周をリング状に囲む50万Vの架空送電線と、さらにその内側を25万5千Vの架空送電線で系統を構成し、遠隔地電源からの電力をうけ、周辺の変電所へ導入し(図-1)、そこを拠点に27万5千Vの超高圧地中送電線により15のルートで放射状に、都心へ向け電力の

導入をはかる計画である(図-2)。

この地中送電線路は、すでに7ルートの導入を完了し、4ルートを建設中であり、ここに紹介する京浜~潮田線もその一環である。すなわち、京浜地区は低成長ながらも、今後とも電力の需要増が見込まれるので、需要の中心に近い川崎市に潮田変電所を新設し、既設京浜変電所(27万5千V)間約28kmを結ぶ基幹地中送電線を新設するものである。さらにこれを都内池上変電所(大田区)

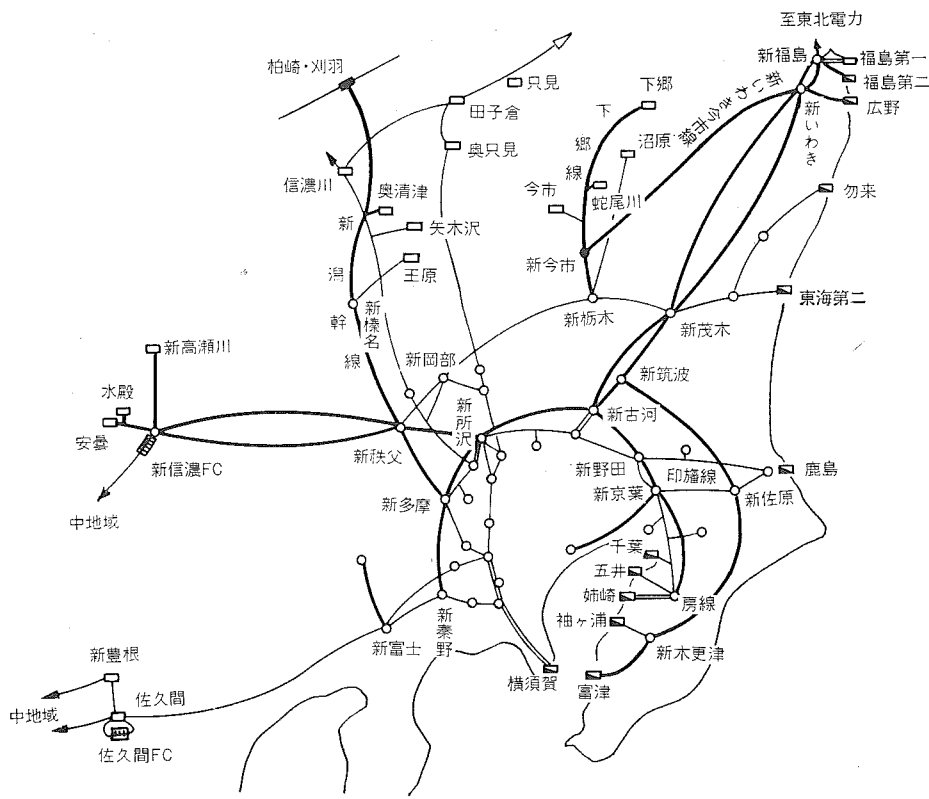


図-1 昭和60年代の系統構想図

* 東京電力(株)神奈川地中線建設所副所長
** " " " " 木土課長

表-10 日比谷線以後のエスカレータの設置状況

線 別	総台数 (台)	一駅当たり		km当たり換算	
		台数 (台/駅)	指数	台数 (台/km)	指数
日比谷線	20(18駅)	1.1	100	1.2	100
東西線	33(14駅)	2.4	218	1.9	158
千代田線	76(17駅)	4.5	400	4.0	333
有楽町線	56(11駅)	5.1	464	5.5	458

表-12 トンネル換気設備

線 別	総風量 (m³/min)	km当たり風量 (m³/min)
日比谷線	0	0
東西線	31,000	(17.1km) 1,813
千代田線	44,600	(19.1km) 2,335
有楽町線	36,400	(10.2km) 3,569

従来の開削式工法の工期がおおむね24か月程度であったものが、現在では36か月を越すことも珍しくなくなった。

その理由としては既述のとおり一般的に構築物が大型化されたこと、掘削深度が大きくなり施工量が増大したこと、鋼杭打、鋼矢板打などの土留め工法が穿孔鋼杭打、柱列式連続地中壁などに変更になったため、これら新工種の施工機械は大型であり、施工にあたって各種の制約を受けることが多いばかりでなく、穿孔時間が長くなる関係もあって土留め工事の期間が長くなったことなどがあげられる。

また土かぶりが増えてシールド式工法を採用する場合は、シールド機械を発進させる立坑が完成した後(着工後完成までに約1年間以上を必要とする)でなければシールド機械を発進させることができないのみならず、単線2本のシールドトンネルを築造する場合にあって、経費節約のために1基のシールド機械を往復させることもあるので、ますます工期は延長される結果となる。

このほか、最近の建設工事は、労務者が週休制を確保できるような工程を企業者側でも設定して欲しいという業界の強い希望があるが、一般的に週休2日制に移行しようとする時代にあって、このような希望を一概に無視するわけには行かないので、工期が延びる傾向にあり、このため、工事費のうち特に現場経費は工期に比例する性質のものであり、この種の経費の増加が結局は工事費全体を押し上げる結果ともなっている。

(8) 付帯設備関係の増大

前述の地下鉄工事の大型化、掘削深さの増大はひとり土木工事費関係のみならず付帯設備にも影響を与え、総建設費の増額を招来する結果となった。

(i) 駅照明設備

ホームの延長、乗客の利便を考慮したコンコースの設

表-11 駅換気設備

線 別	総風量 (m³/min)	一駅当たり		km当たり換算	
		風量 (m³/min)	指数	風量 (m³/min)	指数
日比谷線	12,705	(18駅) 706	100	734	100
東西線	19,400	(14駅) 1,386	196	1,135	155
千代田線	50,850	(17駅) 2,991	483	2,662	363
有楽町線	50,170	(11駅) 4,561	646	4,919	670

表-13 路線別用地費実績

線 別	km 当たり用地費 (千円)	用地取得期間
丸ノ内線	71,000	昭25~37年度
荻窪線	63,000	32~39
日比谷線	329,000	33~40
東西線	308,000	36~43
千代田線	628,000	39~54
有楽町線(池袋~明石町)	438,000	45~50
(和光~明石町)	1,008,000	45~

置などのため、日比谷線以後の駅照明面積の増加は表-9のとおりとなっている。

(ii) エスカレータの設置

掘削深さの増大や乗客に対するサービス向上のため最近ではエスカレータを設置することが多いが、その状況は表-10のとおりである。

なお、参考までに丸ノ内線においてエスカレータを設置しているのは国会議事堂前駅1か所だけである。

(v) 換気設備

トンネルの位置が深くなったので、従来のような列車の往復によるピストンアクションだけでは換気が十分に行われなため強制換気が必要となる。

これを駅設備関係、トンネル換気設備関係に区分して掲記すると表-11、12のとおりとなる。

なお、丸ノ内線においてはこれらの諸設備は設けられていないが、このような付帯設備は施工条件の悪化ならびに乗客の利便の向上にはどうしても欠かすことのできないものである。

(9) 用地費の膨張

地下鉄の路線は原則として道路下を通過することを第一義としているが、最近では地下鉄が設置できるような広い道路での建設がほとんどおわり、道路幅が狭くなったため建設用地が必要となったほか車庫用地、出入口用地などの買収費、営業補償などの用地費は増加の一途をたどっており、各線別の実績は表-13のとおりである。

この用地費増加の最大の理由は、土地評価額の異常な上昇といえることができるが、このように労務賃金、材料費の高騰という他動的な理由によって建設費が上昇することは当事者として誠に辛いところである。



換気立坑入門(1)

青砥克尚*
三浦克**

1. はじめに

地下にトンネルや坑道のような空間を造った場合一般に外気との連絡が制限された閉鎖空間となり、その中の環境を良好に保つためには空気を入れ替えなければならない。この空気の入替えを目的として設けられた立坑を換気立坑と呼ぶ。

換気立坑は鉱山に多く見られる。鉱山では鉱床開発の深部移行に伴う坑内温度の上昇と、採掘場の範囲拡大に

伴い、換気立坑の需要が増加している。また最近では作業能力の向上を目的として坑内ヘディーゼル機関を導入することが増え、排ガスを排除するためにますます換気立坑の要求が増している。

一方土木の分野では、道路トンネルの供用後の換気用として立坑の需要が増えてきている。

道路トンネルの換気立坑は従来その数も少なく、最近では、掘削工法については恵那山トンネルにみられるように大断面で深度の大きい立坑ではショートステップ工

表-1 道路トンネルの換気方式

換気方式	縦 流 式						
	(1) ジェットファン式	(2) サッカルド式	(3) 電気集塵機付縦流式	(4) 集中排気式	(5) 立坑送排気式	(6) 半横流式	(7) 横流式
略 図							
一般的特徴	(1) 適用延長は2,000m程度以下が標準である。 (2) 交通の換気力を有効に利用でき一方通行には有利で経済的である。	(1) 適用延長はジェットファン式と同じである。 (2) 換気機が集約されていて維持管理が楽である。	(1) 適用延長はCOの濃度により決まる。 (2) ディーゼル車の多いトンネルでは有利で経済的である。	(1) 適用は延長3,000m以下が標準であり、対面交通に適する。 (2) 交通換気力を利用することができない。 (3) 坑口から汚染空気を排出しない。	(1) 立坑で換気区間を分割すれば適用延長に制限はない。 (2) 長大トンネルでも交通換気力を利用してきて経済的である。	(1) 適用延長は3,000m以下が標準である。	(1) 立坑、斜坑などで換気区間を分割すれば適用延長に制限はない。 (2) 安定した換気が可能である。 (3) 土木工事費、設備費、維持動力費とも高価である。
代表例	(一般的である)	日本坂トンネル(下り) 2,045m	敦賀トンネル(下り) 2,925m	日野山トンネル(下り線) 1,362m 長峰第2トンネル(3,820m)	関越トンネル*(1期) 10,885m 恵那山トンネル*(2期) 8,625m 注) *(3)との組み合わせによる	天王山トンネル(上り) 1,454m (下り) 1,390m 日本坂トンネル(上り) 2,005m 網掛トンネル(1期) 1,943m	関門トンネル(3,461m) 恵那山トンネル(1期) 8,489m 笹子トンネル(上り) 4,417m (下り) 4,414m

* 日本道路公団大阪建設局海南湯浅工事事務所技術課長
** " 技術部道路技術課

表-2 道路トンネル換気用立坑一覧表

内容 トンネル名	トンネル 延長(m)	立坑		換気方式	備考
		内径(m)	延長(m)		
アールベルグ	13,980	8.32 7.37	226 747	横流換気 (6分割)	供用中
ゴットハルト	16,322	5.95* 5.60 6.60 5.70*	513 303 522 896	横流換気 (9分割)	工事中
恵那山	8,489	6.20 25m ² *	620 1,048	横流換気 (6分割)	供用中
笹子	4,784	5.30 9.20	30 45	横流換気 (2分割)	"
日野山	1,556	6.0	40	立坑排気 縦流換気方式	"
恵那山 (上り線)	8,625	6.10 29m ² *	750 900	集塵機付き立坑 送排気型縦流式	工事中
関越	10,885	9.70 9.70	166 192	集塵機付き立坑 送排気型縦流式	"
藤白	1,823	3.50	264	立坑排気 縦流換気方式	"
長峰第1	1,240	2.95	168	"	"
長峰第2	3,820	5.40	405	"	"

注) *斜坑

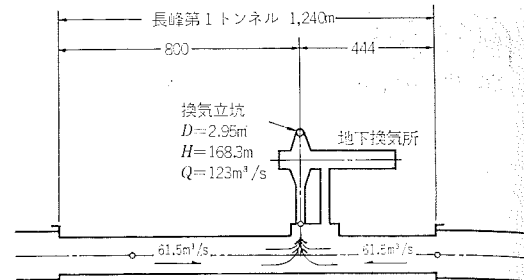
法が標準的な工法となり、内側には化粧巻きを施工するのが一般的である。今後、道路トンネルにおいて換気立坑を建設する機会が増え、断面、延長などの規模も多様化することが予想されること、ロックボルトや吹付けコンクリートの技術が進歩し立坑掘削用の機械も開発が進み、諸外国やわが国の鉱山では新しい立坑施工の試みがなされていることを考えると、道路トンネルにおける換気立坑においても、新しい技術の導入により経済的な立坑施工の可能性のあるものと考えられる。

日本トンネル技術協会は、日本道路公団大阪建設局より委託を受け、換気立坑設計特別小委員会(三谷健委員長)を設け、換気立坑施工上の諸問題を整理するとともに、新しい工法の適合性についても調査研究を行っている。この連載講座では、この研究成果をもとに7回にわたって換気立坑の設計、施工に関する技術的諸問題を概説する。

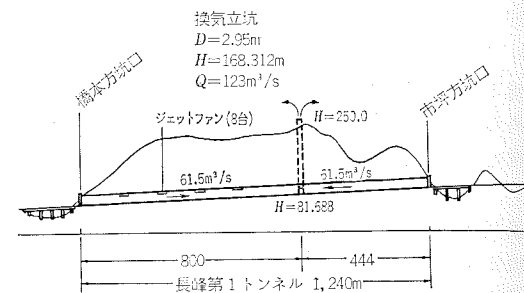
2. 換気立坑概説

2-1 道路トンネルの換気方式と立坑

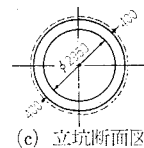
道路トンネルの換気目的は、自動車の排ガスに含まれている一酸化炭素(CO)などの生理的有害物質と視距(見通し距離)を低下させて走行の安全性をそこの煤煙の濃度が許容限界以下に保たれるようにトンネル内空気を入れ替えることである。自動車のピストン作用などの自然換気だけでは十分な換気を行えない、延長が長く、交通量の多いトンネルでは、機械による強制換気



(a) 換気系統図



(b) 縦断面図



(c) 立坑断面図

図-1 長峰第1トンネル立坑(集中排気式の例)

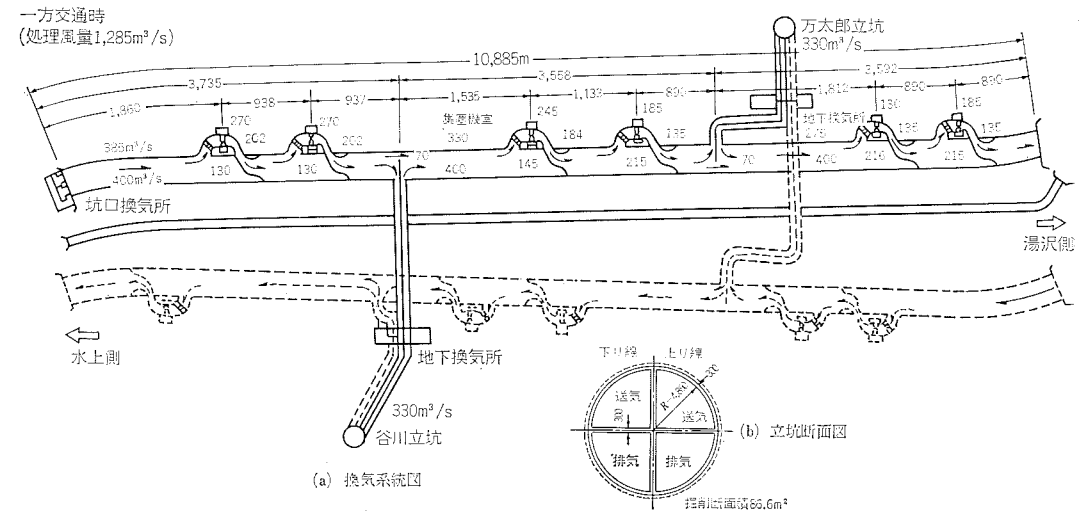
(機械換気)が必要である。一般的な機械換気の方式には大略表-1に示すようなものがある。

この中で換気立坑を必要とするのは、(4)集中排気式、(5)立坑送排気式である。集中排気式は坑口から汚染空気を排出しないという利点により、また立坑送排気式はトンネル内空気中の汚染物質濃度が許容限界となる位置で空気の入替えを行うもので、経済性に優れた縦流換気方式を長大トンネルにも適用可能とし、省エネルギーの面から注目されており、両者とも採用されるケースが増えている。また、(7)横流式についても立坑によって換気区間を分割することによってダクト断面積の減少や換気動力費の低下が可能であり、恵那山トンネルでは立坑と斜坑各1本により換気区間を6分割としている。表-2に道路トンネル換気立坑一覧表に示す。

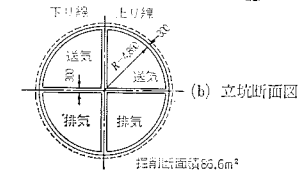
2-2 換気からみた立坑の設計

換気立坑の設計に当たっては、換気の効率が重視される。換気は供用後は日常的に運転するものであり、この運転に要する費用は長期間にわたって累加する性質のものである。

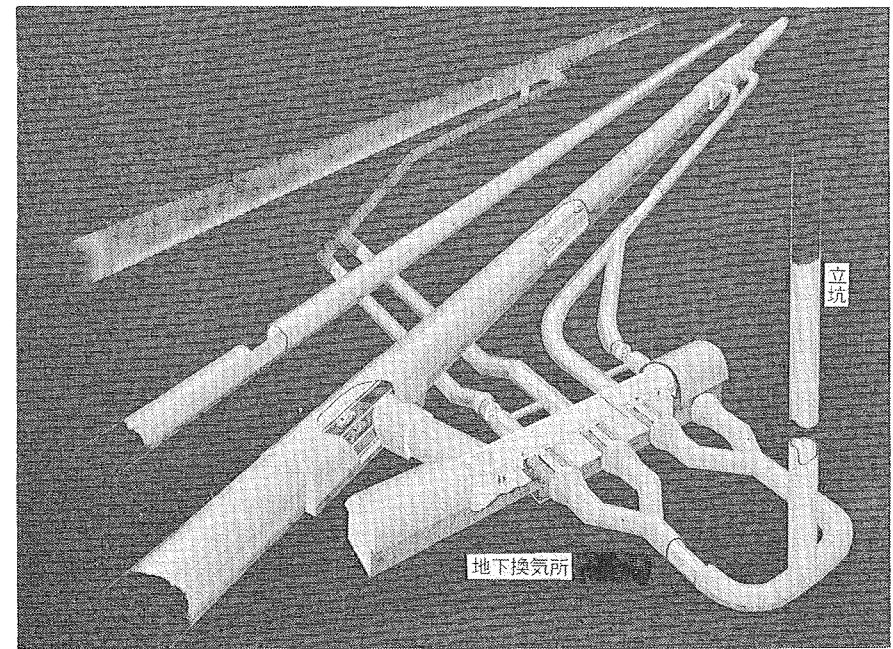
換気機の設備費、維持動力費を計算する尺度として換



(a) 換気系統図



(b) 立坑断面図



(c) 立坑付近の透視図

図-2 関越トンネル立坑(立坑送排気式の例)

気機軸動力が用いられ、これは次のようにあらわされる。

$$S_{KW} = \frac{Q \cdot P}{102\eta} \quad (2.1)$$

ここに、

S_{KW} : 換気機軸動力 (kW)

Q : 換気風量 (m³/s)

P : 全風圧 (mmAq)

η : 換気機効率

(2.1) 式で換気風量 Q はトンネルの対象とする換気区間の長さ、単位時間当たりの車の走行台数、車1台当た

りが排出する有害物質の量、有害物質の許容の濃度などによって定まり、換気機効率 η は、設置する換気機の種類であり、立坑の設計により換気機軸動力に関係するのは全風圧 P である。これは必要な換気風量 Q をトンネル内およびダクト、立坑内に流した時に生じる各種圧力損失(抵抗)に打ち勝ち、必要風量を流すために必要な圧力である。

立坑集中排気式の場合を例として説明すると、所要風圧は次のようにあらわされる。

$$\Delta P = \Delta P_{S_i} + \Delta P_s$$

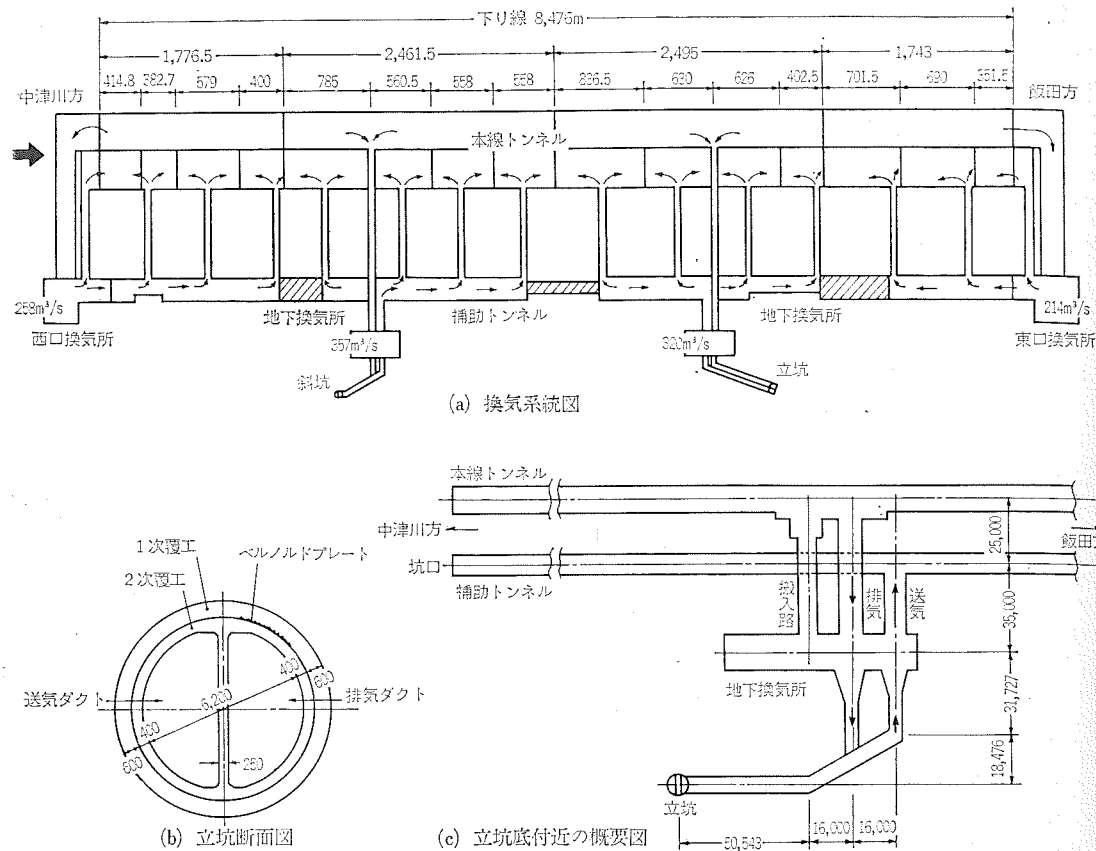


図-3 恵那山トンネル立坑（横流式の例）

ただし、

ΔP : 所要風圧

ΔP_{si} : 立坑底における圧力

ΔP_s : 立坑および曲がりなどの損失

立坑底における圧力は、坑口から所要換気量以上を吸引するのに必要な負圧力である。立坑および曲がりなどの損失 ΔP_s は概略次の式であらわされる。

$$\Delta P_s = \left(\zeta_t + \lambda_s \frac{L_s}{D_s} \right) \frac{\rho}{2} V_s^2$$

ただし、

λ_s : 立坑の摩擦損失係数

L_s : 立坑の長さ

D_s : 立坑の代表寸法（円形の場合直径）

ζ_t : 合流および曲がりなどの損失係数

ρ : 空気密度

V_s : 立坑内の風速

この関係から換気機軸動力を小さくし、送風機規模の縮小、換気運転動力費の節約をはかるため、換気立坑には次のことが要求される。

① 延長を短くして L_s を小さくする。

② 断面を大きくして、 D_s を大きく、 V_s を小さくする（断面が円形の場合 ΔP_s は直径の5乗に逆比例する）。

③ 壁面を滑らかにして λ_s を小さくする。

(1) 延長の決定

立坑は延長を短くすることが換気設計上有利であり、位置選定の段階で検討すべき最大の課題である。しかし換気立坑の場合、本トンネルとの連絡箇所は換気設計の面で制約を受ける。たとえば対面交通トンネルに立坑集中排気式の場合にはトンネル中央に立坑を設けると最も効率がよい。

また立坑送排気式の場合にも換気区間の適正な配分により立坑位置が定められる。また立坑の排気口からの汚染空気の拡散を考慮し、地上の立坑タロが決められることもある。

地形上立坑が最短となる位置と換気上最適な本トンネルとの取り付け位置が異なる場合には、立坑を長くしても最適位置に設ける（図-4の④）、横坑により立坑が最

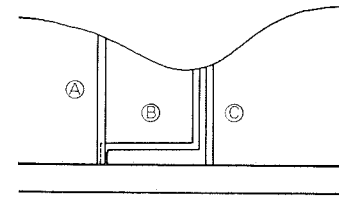


図-4 立坑位置の選定

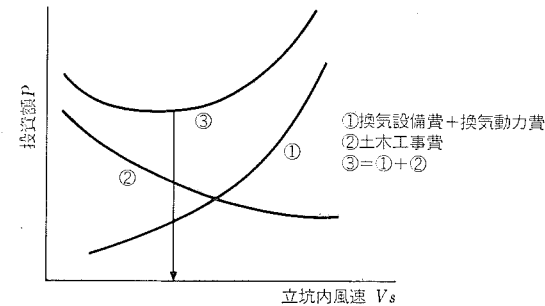


図-5 立坑内風速と投資額

短となる位置に導く（同④）、換気設計上無理をしても立坑を含めたダクト長を最短とする（同④）などの案に対し土木工事費、換気設備費と換気動力費の総額による経済性の比較を行って決定する。土木工事費の算定で地質による施工の難易が考慮されるのはいうまでもない。

(2) 断面の決定

立坑の位置、延長が決まると、断面の設計に入る。断面を大きくすると立坑風速を小さくすること、 D_s を大きくすることにより、抵抗が減り、換気の所要動力を小さくするが、掘削量、コンクリート量が増え、土木工事費を大きくする。したがって換気の設備と運転に要する費用と土木工事費を合計した総投資額が最底額となるよう図-5のように立坑内風速、すなわち内空断面積を設計する。

図-5の曲線はそれぞれのトンネルごとに求める必要があるが、一般的には経済的な立坑内風速は16~20m/sであることが多い。

ただし内空断面が極端に小さくなると、工所用設備に制約を受けるため、掘削断面積を小さくしても土木工事費も小さくならない。通常の発破による掘り下がり工法で、巻上げる設備によってずり搬出を行う場合には、1次覆工の内径が4m以下となれば汎用的なずり搬出設備が使えなくなり、土木工事費の面でも、これより内径を小さくすることには利点がないといわれているので、断面を設計する上で注意する必要がある。

(3) 立坑内面の仕上げ

立坑の摩擦損失係数 λ_s は壁面の粗度に関する。ス

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{D} \cdot \sigma / 2U^2; \quad \lambda = \frac{1}{(1.138 - 2 \log \delta / D)^2}$$

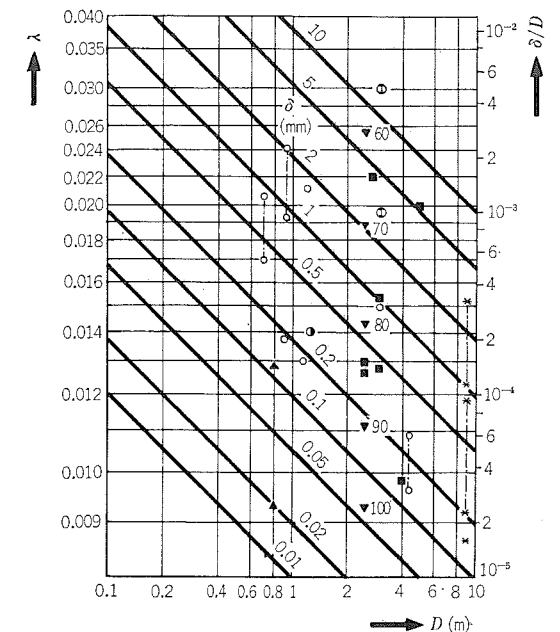


図-6 壁面粗度と摩擦損失係数（ λ がレイノルズ数に
関係しない領域において）
○ F. Scobey ▼ Strickler
■ G. DeMarchi ● Holland-Tunnel
▲ Grenoble ○ Mersey-Tunnel
* Moody, Kirschnner

(Die Lüftung der Autotunnel: Bericht der Expertenkommission für Tunnellüftung an das Eidg. Amt für Strassen-und Flussbau による)

イヌ連邦換気専門委員会の資料によれば、壁面粗度 δ と摩擦損失係数 λ との関係は図-6のようであらわされる。

長峰第1立坑の場合、通常の現場打ちコンクリートによる化粧巻きを行った場合には、 $D=2.95m$ 、 $\delta=1mm$ とみなして、 $\lambda_s=0.015$ 程度と考えられる。化粧巻きを施工しないで、吹付けコンクリートによる1次覆工のままにしておいた場合、 $D=3.45m$ 、 $\delta=70mm$ と考

$$\lambda_s = \frac{1}{(1.138 - 2 \log \delta / D)^2} = 0.05$$

程度と考えられ、立坑部の圧力損失が λ_s に比例することを考えれば、壁面仕上げの影響は大きいといえる。

一方、壁面粗度を小さくするために化粧巻きを行うことは、同一掘削断面積の中では内空断面積を減じることになる。換気設備費と動力費の増分と、化粧巻きの工事費を比較して化粧巻き施工の是非を検討することは意味のあることと思われる。長峰第1トンネルの場合で概算比較すると表-3のようになり、この場合立坑としての質

表-3

	化粧巻無し	化粧巻有り
D_s (m)	3.45	2.95
λ_s	0.05	0.015
L_s (m)	168	168
V_s (m/s)	13.16	18.0
P_s (mmAq)	25.81	16.94
P (mmAq)	118.4	108.6
M_{KW} (kW)	210	192
換気機価額 (千円)	113,050	113,920
電気設備費 (千円)	37,800	34,560
維持動力費 (千円)	84,000	76,800
合計 (千円)	234,850	225,280
差額 (千円)	+ 9,570	

$$\text{注) } P_s = \lambda_s \frac{L_s}{D_s} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V_s^2$$

$$P = 90 + P_s \times 1.1$$

$$M_{KW} = \frac{P \cdot Q}{102\eta}$$

$$Q = 123\text{m}^3/\text{s}$$

を問題にしなければ、化粧巻きをしないことによる換気のコスト増分は957万円程度となり化粧巻きの土木工事費がこれ以上であれば、化粧巻きをしないことも意義があるといえる。

また、ショートステップ工法においては、後の章で詳述されるが、覆工コンクリートを逆巻きで施工するため

に切欠きが生じる。このために摩擦損失係数は $D=4\text{m}$ 程度の立坑で $\lambda_s=0.025$ 程度になると推定できる。この場合は λ_s の差が小さいので化粧巻きを施工しない場合の換気上の負担増は吹付けコンクリートの場合よりも小さく、化粧巻きを施工しないことを検討する価値は大きい。また、ショートステップ工法で、この切欠きを無くする覆工施工法も研究開発されている。

2-3 その他の特徴

換気立坑の場合、換気方式により、排気専用立坑、送排気兼用、送気専用がある。立坑排気式の場合は排気専用であるが、立坑送排気式や横流式の場合は、同一個所に送気立坑と排気立坑が必要であり、一般的には1本の立坑を仕切板によって区切って送排気兼用に用いることが経済的である。恵那山トンネルでは送排気兼用とし、仕切板により2断面に分割しており、関越トンネルでは、双設する上下線の送排気立坑を1本にまとめ、仕切板により4分割としている。

送気立坑の場合、冬期には低温の外気が高速で流入するために、立坑内に漏水があると、つららとなって、立坑底に落下し、コーナーベーンや地下換気所のファンを傷つけるおそれがあり、この意味で、漏水対策が重要である。恵那山トンネルでは、1次覆工と化粧巻きの間にポリエチレンシートを張ることにより防水処理を施している。

〔新刊図書紹介〕

土木機材事典

近年、鉄道、道路、地下鉄、上下水道、発電所などの各面で、大小の土木工事が活発に行われるとともに土木工事に関する新技術および機械の開発も積極的に進められてきた。しかし、このような土木工事の範囲拡大に伴い、土木工事に使用される機材も多様化ならびにその種類も増加してきたため、専門家のあいだでさえ日進月歩で進められている新技術および機材の開発の全貌を把握することが困難な状況にある。こうした中で、技術者・学者・メーカー・ジャーナリストら、専門家200氏の責任執筆によってまとめられたのが「土木機材事典」である。本書は、個々の解説にとどまらず、機械の「種類」「特徴」「用途」「目的」など、実務に必要な項目について、わかりやすく解説してある。

本書の構成は、I 土工・岩石工用機材、II 基礎工用機材、III トンネル・地中工用機材（せん孔機械、

トンネル掘削機、ずり積込み・運搬機械、覆工機材、トンネル用支保工機材、換気・排水用機材、トンネル工用計測機器、発破用機材）、IV 地盤改良工用機材、V コンクリート・モルタル工用機材、VI 骨材生産機材、VII 舗装工用機材、VIII 道路維持工用機材、IX 橋梁架設工用機材、X 港湾施設工用機材、XI 海上・海中工用機材、XII クレーン・揚重機材、XIII 電気工用機材、XIV 汎用・仮設・安全機材、XV 調査・測量・安全施工管理用機材の15章からなり、土木工事全領域に必要な機械・器具・試験測定器・資材・材料までの2500項目を集録している。また後半部には「資料編」として、機械採用時の便を計るため土木機材関連企業350社の貴重な資料を集録している。B6判、1500ページ。(24,000円・発行=産業調査会・発売=産調企画=03-593-0041)

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

仙台市地下鉄にGOサイン 年度内着工は確実、60年秋開業へ

運輸審議会は5月27日、仙台市から申請のあった市地下鉄（七北田～泉崎間、14.2km）の免許について「同路線の免許は妥当」とする答申案をまとめ、地崎運輸大臣の答申した。これを受けて運輸省は近く同地下鉄の免許に踏み切る予定で、東北初の地下鉄建設は60年10月の開業を目指し今年度中の着工が確実となった。

仙台市の計画によると、同地下鉄は宮城県泉市七北田と仙台市泉崎を結ぶ14.2kmの路線。仙台市をほぼ南北に縦断するもので、近年大規模団地の造成などによって著しい人口増加が見込まれる北部地域および南部地域から市都心部への通勤、通学輸送の足を確保しようというもの。

同区間に設置される駅は合わせて16駅で、北から七北田、黒松、旭ヶ丘、瓦山、北仙台、北四番丁、勾当台、広瀬通、仙台、五ッ橋、愛宕橋、河原町、元瀬橋、長町、鍋田、泉崎

の各駅。

総建設費は2,460億円を見込み、キロ当たり建設費は152億円。建設に当たっては、山間部などの一部を日本鉄道建設公団に委託して施工を進める。今後の建設スケジュールとしては、正式に免許が下りるのを待って、今年度中に着工に踏み切り、60年10月の開業を予定している。

完成すると開業時の1日平均輸送人員23万6,000人を見込み、ラッシュ時4～5分間隔、オフラッシュ時で6～10分間隔による運行を計画している。また、七北田～泉崎間は25分で結ぶ。

同地下鉄は去る53年5月に仙台市議会で建設が議決され、運輸大臣に対し免許申請が提出された。しかし、地元の一部に建設に反対する動きがあって、調整に手間だったことなどから運輸審議会での審議が遅れていた。今回の答申を受けてようやく建設に向けて動き出すことになった。

年度内に技術基準

トンネル工事の爆発災害防止

トンネル工事施工中の防災対策が要請されているが、日本トンネル技術協会は、本年度中には「トンネル工事における爆発災害防止に関する技術基準」を作成する方針である。

同協会ではかねてトンネル工事中の安全対策に取り組み、協会内に安全環境委員会を設置し種々の安全技術基準を作成している。

ちなみにこれまで作成されたトンネル工事に関する労働災害防止基準としては、50年の運搬設備による危害防止基準、51年の肌落ち等による危害防止基準、52年度のシールド工

事安全施工基準、53年度の換気設備等の基準がある。これらの技術基準はいずれも労働省から研究委託されたもので、労働省では全国の基準局、監督署に通知し、トンネル工事関係者に順守指導を行っている。今回の「爆発災害の防止に関する技術基準」も労働省委託事業の一環として取り組んでいるもの。

この研究は、最近の爆発事故が従来の防止対策では対応不十分であることからガスの漏出、滞留状況の把握およびその実態を踏まえ、施工上の安全対策と、その管理運営等の総

合的な爆発災害防止のための技術基準を作成することを目的としている。同協会としては、近く最終案をまとめ、本年度中には技術基準として作成し、労働省を通じて関係者に順守を呼びかけていく方針である。

作業環境の改善図る

ディーゼルエンジン用煤煙除去装置

大成建設は岡村製作所と共同で、トンネル坑内工事用車両から排出される煤煙を90%除去する「ディーゼルエンジン用煤煙除去装置」を開発、実用化に成功した。

両社が開発した同装置の原理は水蒸気核凝縮の性質（水蒸気が冷却化され水滴として析出される時煤煙が核となって水滴を生成）を利用したもので、そのままでは除去できない微細な粒子を寄せ集め大きくし、フィルターで捕集・除去するもの。

具体的には①ディーゼルエンジンから出る高温排気ガスを触媒式浄化マフラーによって一酸化炭素、炭化水素を除いた後②本装置のエバポレーター（蒸発装置、水が入っている）の中に送り込む③高温排気ガスに触れた水が加熱され、水蒸気となってラジエーター（冷却管）に導かれ水滴となる④この水滴が微細な煤煙粒子を核として数十倍の大きさとなり、ストレーナー（排気筒）を通して特殊フィルター（カートリッジ式、約200時間で交換）で捕集される——仕組みとなっている。

同装置の大きさはダンプトラック搭載型の場合、重量約30kg、長さ2.3m、全幅1.3m、高さ0.85mで、ダンプのシャーシの下側に取り付けられる設計となっている。装置の価格は試作段階で約180万円前後。なお、同装置の製造・一般販売は岡村製作所が行う。



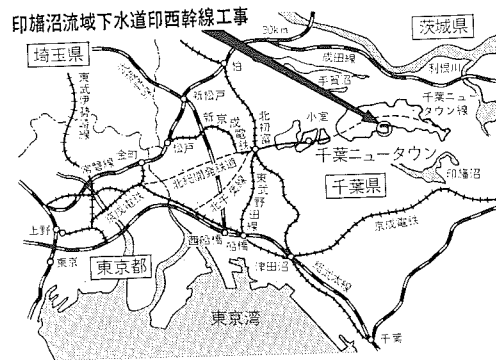
悪戦苦闘のすえ無事貫通

若林 樹

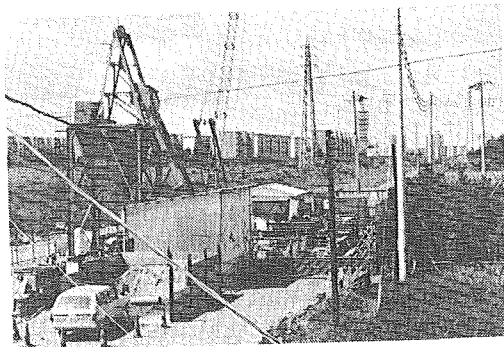
北総地域はその昔「下総国」と呼ばれ、古くから文化の開けた土地柄で鎌ヶ谷大仏を始め由緒ある古刹が点在し江戸時代には将軍家のお狩場だった名残りを留めるような豊かな緑や湖沼がいっぱいで、野鳥のさえずりが聞え、周囲には梨園やブドウ畑の田園風景が続く都心から30kmとは信じられないような澄んだ空気と青空が広がるこの地に、計画人口34万人の首都圏の新しい都市、千葉ニュータウンが建設途上である。

この千葉ニュータウンの一面に当工事を施工している。

印旛沼流域下水道は、手賀沼流域下水道や江戸川左岸流域下水道および千葉市、習志野市、船橋市の公共下水道と境を接し、対象区域は千葉市、佐倉市、成田市など14市町村にわたり、その面積は21,060haと新東京国際空港でこの地域に約136kmの管渠、10か所



位置図



地上設備全景

の中継ポンプ場、2か所の終末処理場を設けて、195万人の処理人口を予定している。

当事業は、昭和43年度から実施し現在一部供用開始しており、70年度完成を目標に建設が進められている。

この印旛沼流域下水道工事の一環としての印西幹線工事は仕上がり内径1,500mm、施工延長1,060mの下水道管渠をシールド機外径2,260mmの圧力保持式シールド工法で施工した。

地質は洪積台地上にあり台地部周辺は利根川および印旛沼に沿う河川により浸食された沖積低地となっており、下位は砂質土層を主体とする成田層群上部層からなっている。その成田層群上部層を掘進した。

54年5月着工以来、発進立坑の構築および仮設備関係も予定通り進み、7月初旬より掘削を開始した。

圧力保持式シールド機は、切羽の崩落を防止するために掘削した土砂をシールド機の圧力室に充填させて、自然含水比のままの掘削土砂を地山の静止土圧に見合うように圧力保持し切羽の安定を計りながら順次掘削された量だけスクレーコンペヤで排土される。

実際にこの機械は、小断面シールドでは機構が複雑なため機械本体の設備関係による作業スペースの問題、そして土質（当現場の場合特に含水比）によって敏感に反応し著しく掘進量にばらつきがあり、最高日進量19リング（リング90cm）と予想以上だったが平均日進量では7.2リングと計画掘進量を下まわり、また曲線部の施工にも苦勞がありいろいろの問題を残したが無事3月2日に貫通した。

当現場での施工上の諸問題を検討し小断面圧力保持式シールド工法の作業効率向上を計りたいと同時にあらためて土質に対するシールド機選定の難しさを認識した。現在2次巻コンクリートを打設中で、それにつづいて人孔を築造し8月末に工事完成の予定である。

千葉ニュータウンが早く完成し、この下水道が1日も早く供用開始しお役にたつことを願う。

(三菱建設(株)印西作業所)



換気立坑入門(2)

武田 衛*

3. 事前調査

換気立坑の場合、立坑位置はトンネル換気に都合のよい位置ということで選択範囲が制限され、さらに最近の動向から見て、環境保全面より、坑口位置が絞られる傾向にある。このようなことは立坑掘削という面からみると、非常に不都合なことで、地下掘削の中でも特に立坑掘削は不測事態に対する対応が非常に困難な面を持っており、このことを十分認識し、事前調査を十分に行って少しでもよい位置を選定し、さらに予想される自然条件などに余裕をもって対応できる設計を行うことが重要である。

立坑掘削における最大の問題点は、湧水に対する適応性が非常に小さいことで、一般には切羽湧水が0.5m³/minをこえると掘削不能といわれている。このため立坑位置の選定では、湧水調査が非常に重要な意味を持っている。

立坑位置は次のような条件を考慮して選定される。

- (1) 地質の良い所
断層破砕帯、膨張性地山とか含水未固結地山などは極力避ける必要がある。避けられない場合は事前に対策を考える必要がある。
- (2) 湧水の少ない所
湧水は掘削能率、工費に大きな影響を有している。湧水量が多いと止水対策が必要になる。
- (3) 坑口の設けやすい所
河川の氾濫、地すべりなどの心配がない所を選ぶ必要がある。
- (4) 仮設用地、進入路の確保がしやすい所
一般のトンネル工事に比べ巻上設備など仮設が大きくなるので、運搬路の確保は大切である。
- (5) 動力の確保しやすいこと
巻上設備、排水設備など、常時運転を要する設備が多く、またこれら設備の停止により不測事態が発生し易い。

- (6) 土捨場が確保しやすいこと
- (7) 骨材供給の容易なこと

通常の立坑工事では掘削作業とコンクリート作業が連続して行われるため、コンクリートの供給体制が工程確保に大きな影響力を持っている。

(8) 環境保全に影響の少ない所。また環境保全対策のしやすい所

換気立坑の傾向として、トンネル坑口より排気を出すことはきざられ、立坑排気の傾向が強い。したがって排気にとまらぬ周辺への影響は重要なことである。また立坑掘削に伴って地下水への影響も大きい。

これら条件は一般のトンネル工事にも当てはまるもので、一般のトンネル同様、これら条件のすべてを満足させることは難しいが、できるだけ満足し得る場所に選定することが必要である。

事前調査の手順は次のように考えられる。まず、既存資料の整理と地表踏査などの現地調査を中心とした概査で、これによって不良地質の分布、断層帯などの地質構造、不良地形の分布（地すべりなど）、水利用などの環境状況、進入路とか仮設用地の状況、動力、土捨場、骨材供給状況などを明らかにし、立坑位置として適切な候補地を選定することになる。

次にこれら候補地について、精密な地表踏査、ボーリング、各種検層、揚水試験および岩石試験といった精査を行うことになる。精査で特に重要なことは湧水調査で、湧水が多いと思われる地質の場合、電気検層、揚水試験などの地下水状況を知る調査は欠かすことのできないものである。また断層などの破砕帯が予想される場合にはボーリング孔を利用した孔内弾性波測定なども効果のある調査法である。

4. 立坑掘削工法概説

4-1 概要

立坑の掘削工法は、通常掘削方式により分類され、そ

* 同和工営(株)土木企画部長

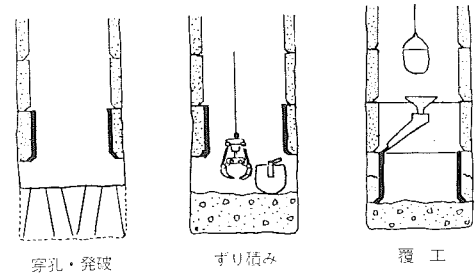


図-1 ショートステップ工法作業概念図

これらは大別すると次のようになる。

- 爆破掘削掘り下がり工法
- 爆破掘削掘り上がり工法
- 機械掘削工法
- 特殊工法

これらのうち、爆破掘削掘り下がり工法は一般に普通工法と呼ばれ、ショートステップ方式が代表的方式で、現在国内での掘り下がり立坑はほとんどこの方式によっている。

そのほかは特殊な条件で採用されており、それらのもち代表的な方式はクライマー方式とビッグマンに代表されるレイズボーラー方式で、両者とも小断面の立坑掘削に向いており、換気立坑として必要な断面を確保するには通常これら小断面立坑を導坑として所要断面まで切り広げる方式が採用されている。

一方諸外国の動向をみると、機械掘削が広まりつつあるように見受けられる。代表的なものには西ドイツのウィルト(Wirth)の立坑掘削機がある。これはパイロット孔を掘削し、このパイロット孔をずりシュートとして利用しながら、上からリーミングダウンするものと、パイロット孔なしで掘り下がるものがある。

国内でも、これからは立坑工事の安全性、工期短縮といった目的で機械掘削方式が広がるのではないと思われる。

今後の問題として、立坑工事に対するNATMの適用が検討されると考えられる。それには、立坑掘削切羽における地山応力の状況を知ること、立坑工事に適した計測法の開発の必要性など、研究課題が残されている。

以下では、現在国内で行われている

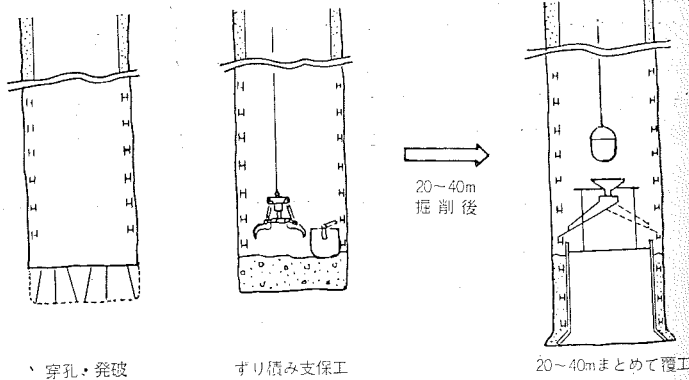


図-2 ロングステップ工法作業概念図

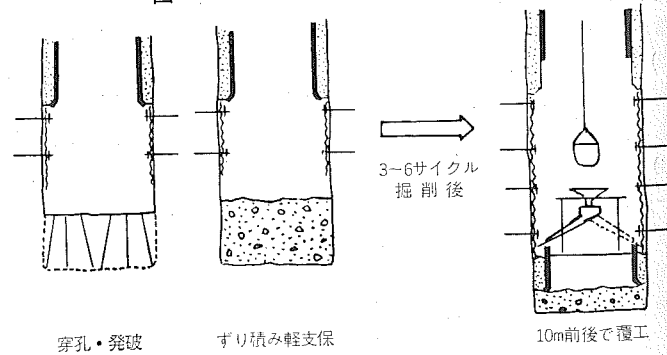


図-3 セミロングステップ工法作業概念図

工法を中心に、立坑掘削工法について説明する。

4-2 爆破掘削掘り下がり工法(普通工法)

4-2-1 概要

普通工法は掘り上がり方式とか導坑先進切り広げ方式などに対比される工法で、穿孔・発破、ずり出し、覆工(支保工を含む)を上から下に向かって順次繰り返していくもので、掘削に伴って発生する起砕ずりをすべて上へ巻き上げ運搬処理していく工法である。

この工法の特徴を一言で言えば、種々の地質条件に対応し得る工法と言える。また掘削ずりの運搬排出をはじめ立坑内作業に伴う移動がすべて巻き上げ設備によるなど、仮設備に大きな比重がかけられ、設備の選定およびそれら設備の運転、保守管理が重要な役割を占めている。

この工法で、掘削作業に大きな影響を及ぼすのは、このような仮設備と、もうひとつは切羽における湧水で、湧水量が多くなると掘削作業そのものが不可能になるため、事前に湧水状況を十分に調査して、湧水が予想される個所には、セメント注入とか薬液注入などにより止水を事前に行って、工事中の排水作業を軽減させることが立坑掘削の工程維持に大切なことである。

普通工法は覆工の施工時期により、ショートステップ

工法とロングステップ工法に大別される。1発破ごとに小さく覆工を行っていくのをショートステップ工法と呼び、切羽面を一時支保工で押え、20~30mごとにまとめて順巻覆工を行うのをロングステップ工法と称している。さらにこの中間的なものをセミロングステップ工法と称しており、これは大略3~6サイクル程度ごとにまとめて覆工していくもので、重支保にならない程度の支保工で、一時切羽側壁を押え、覆工を行っていく方法である。

従来は立坑と言え、ロングステップ工法で行うのが常識であったが、近年ショートステップ工法が開発され、今日の国内での掘り下がり掘削はほとんどショートステップ工法により施工されている。

普通工法では作業する場所が坑底面か吊り足場(スカフォード)に限定され、しかも掘削断面は普通のトンネルに比べ非常に狭い。このように限定された作業空間では作業者数および使用機械の大きさならびに台数が制限される。また立坑内で使用する機械設備は巻き上げ機により吊り下げ移動されるため、巻き上げ機の容量、巻き上げ速度に制限を受け、使用機械の重量、容量も余り大きくはできない。このようなことで普通工法の工程は大きな制約を受けることになる。

工程短縮の方法として覆工作業と掘削作業を並行して同時に行う工法として同時工法とか準同時工法がある。しかしこれらはいずれの場合も設備が大きくなること、上下同時作業に伴う安全確保に支障があるなどの問題が発生し、特殊な場合にしか適合できない。

普通工法は、現段階でショートステップ工法あるいはセミロングステップ工法により立坑掘削技術として確立されたと考えられる。今後はこれら工法の個々の作業について使用機械の改善を中心とした小規模な技術開発がなされるものと考えられる。普通工法の飛躍的改善の道としては巻き上げ設備を中心とした設備の大規模な改革が必要となるものと考えられる。

4-2-2 ショートステップ工法

(1) 概要

ショートステップ工法は、“穿孔・発破—ずり出し—覆工”を1サイクルずつ順に行っていく方法で、切羽側壁を直ちにコンクリートで覆工していくもので、通常支保工を必要としないことに特徴を有している。したがって、支保工を必要としない分コストが低減でき、能率的になること、その他ロングステップ工法に比べ安全な工法と言われている。

一方、小さく、逆巻きでコンクリートを打設していくため、切欠状の打継目が多くなること、打設直後の

コンクリートに近接して発破するため発破によりコンクリートを傷めやすいこと、コンクリート打設を頻繁に行わねばならないため、コンクリートの供給を計画的にやり難いなどの問題がある。

このような問題はありますが、ショートステップ工法が普及したのは、コンクリート早強剤の利用、発破方法の改良、コンクリートプラントの簡易化といった技術の開発ならびに支保工省略による作業性の向上、作業管理のしやすさ、および安全性の向上といった利点が一般に受け入れられた結果と考えられる。

(2) 穿孔・発破

一般に用いられる穿孔機としては次のようなものがある。

- 手持さく岩機
- シャフトジャンボ
- レグタイプ(アンブレラジャンボ)
- ドリフタータイプ(シャフトジャンボ)
- リング式ジャンボ

手持さく岩機は、小断面の立坑のごとくジャンボ方式が採用困難な場合とか、延長の短い立坑で、ジャンボのような大きな設備を設けるのが不利な場合に用いられる。手持さく岩機の特徴は、小さな設備ですむという利点と労働負荷が大きいこと、1発破長を長くできないこと、能率が悪いことなどといった欠点を持っていることにある。

シャフトジャンボは広く用いられるもので、主巻(ケーブル)に吊り下げ、側壁に対してエアシリンダーまたは油圧シリンダーを用いて腕部を側壁に突っ張って、レグドリルまたはドリフターを取り付けたジャンボ架台を固定して穿孔するもので、一般にレグドリルタイプのものをアンブレラジャンボと呼び、ドリフタータイプをシャフトジャンボと呼んでいる。通常4連装ないし

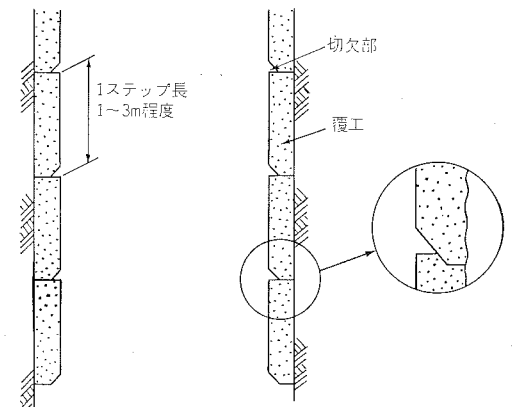


図-4 ショートステップ工法切欠状打継目

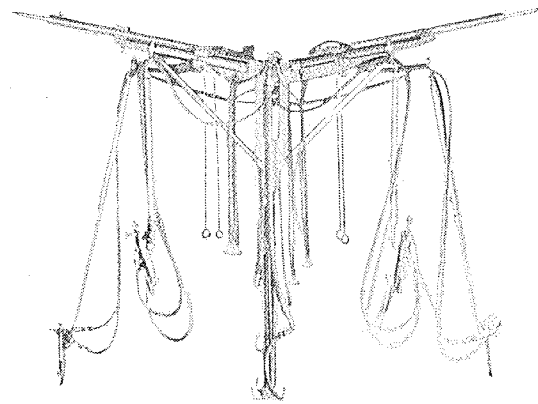


図-5 アンブレラジャンボ

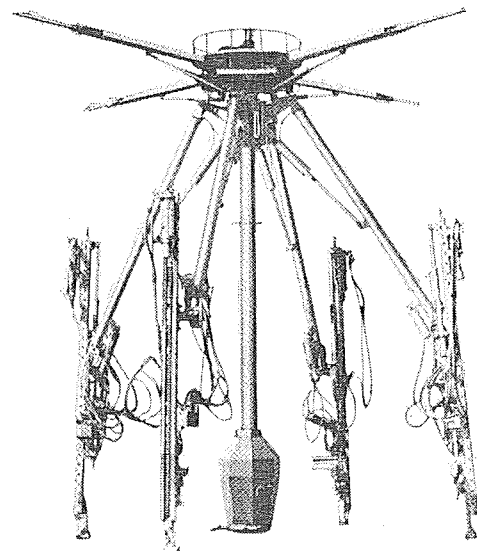


図-6 シャフトジャンボ

6連装が使われており、後出のリング式と比較した場合、スカフォードに荷重をかけずにすむこと、ジャンボの坑外への出し入れが容易で修理しやすいことなどの利点がある。

リング式ジャンボはスカフォードにドリフターの架台を取り付けたもので、一般にはスカフォード底部にIビームのレールを設置し、ドリフターの架台をこのレールに取り付け、各方向にレール上を滑べらすことで移動できるようにしたものが用いられる。この方式は、大型ドリフターの使用が可能で、大型・高能率が考えられる。しかしスカフォードの荷重が大きくなること、さく岩機の取りはずし、坑外持出しがしづらいため、修理作業がやり難いこと、ジャンボが邪魔になって、スカフォードを切羽面に余り近づけないこと、さらに、ドリフターがスカフォードについているため、同時にグラブをスカフォードに取り付ける余地が少なく、ずり積機とし

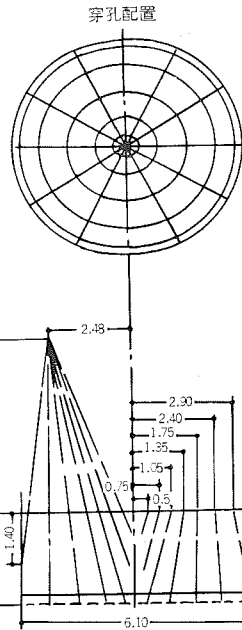


図-7 穿孔パターン例

てグラブとの併用がし難くなるといった欠点を持っている。

ショートステップ工法における1発破長は、岩質によって異なるが、ドリフター式ジャンボの場合、2.0~2.5m程度、アンブレラジャンボとか手持さく岩機では、1.0~1.5m程度が多い。

爆薬としては、跡ガスの良いもの、耐水性のあるものが選定の基準となる。最近スラリー爆薬が普及してきているが、これは跡ガス、耐水性とも良好で、さらに残留火薬の穿孔くり当てによる爆発事故に対しても安全性が高いので、広く採用されるのではないだろうか。

立坑掘り下りの穿孔・発破作業での注意すべきことは、穿孔口切り作業で、穿孔切羽面は、前回の発破による岩盤のゆるみとか、ずり出し時の取り残しずりとかいったもので、荒されており、通常、口切り部0.5m程度はガサガサになっている。したがって、まず口切りに当たっては、大きな口径のビットで口元部を穿孔し、ケーシングパイプで孔口の崩壊を防止して、それから、発破孔を穿孔するようにしている。

(3) ずり出し

立坑掘削能率に最も大きな影響を及ぼすのがずり出し作業で、ずり出し方式の選定が、掘削作業の計画時のポイントになる。ずり出し方式は、人力積み込み方式、グラブ方式およびクローラショベル方式がある。積み込み方式の選定に当たっては、立坑断面の大きさが、最

も影響をもっている。断面が小さいと機械を動かすスペースがなくなり、機械積み込みができなくなり、人力積み込みによらざるを得なくなる。

広く用いられているのは、グラブ方式で、グラブバケットをスカフォードに吊り下げて積み込む方式で、グラブバケットの上下移動のため、ホイストを用いる。グラブバケットは、通常0.2~0.3m³程度の容量のものが用いられ、スカフォードのバランス、積み込み能率を考え、対称方向に1台ずつ、2台取り付けられる例が多い。

クローラショベル方式は、比較的大きな断面に向けて、仕上がり断面で5.5m以上が望ましい。クローラショベルは、主巻きに吊り下げて、搬出入される。クローラショベルとグラブとを比較すると、積み込み能率は、クローラショベルの方が良く、特に坑底部隅のずり取りがしやすい利点がある。

そのほかの積み込み機械としては、シャフトマッカーとかバックホータイプのものなどがある。バックホータイプは積み込み能率、坑底部の盤出し能力の大きいことなどの面で、今後普及する可能性がある。

ずり運搬は、キブルが用いられる。キブルの大きさは立坑断面、1発破長、巻き上げ機の高さなどを勘案して決められ、通常1.5~4.0m³程度のものが用いられ、一般には、2台用意し、1台を巻き上げ運搬中にもう1台に積み込みを行うようにしている。

(4) 覆工

立坑の覆工は、今日では大半が無筋コンクリートによっており、特に土圧の大きい所とか、坑口部のごとく、不均等荷重のかかりやすいといった特殊な所で、鉄筋コ

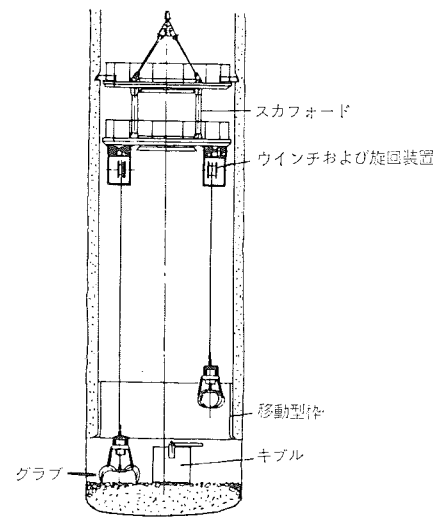


図-8 グラブ積み込み

ンクリートが用いられている。

ショートステップ工法の場合、コンクリートの1打設長は、1発破の掘進長に合わせて決められ、一般には、1.0~3.0mが多い。型枠は鋼製の移動型枠が用いられ、コンクリートの持ち込みはパイプ流送(コンクリート流入管)またはキブル(コンクリート用キブル)にてスカフォードまで運搬し、シュートを利用して打設している。パイプにより持ち込む場合は、深くなるとパイプ途中で骨材とセメントが分離を起こしやすくなり、品質管理に注意せねばならない。

ショートステップ工法の問題点は、ほとんどが覆工作業に伴うもので、そのひとつは、ショートステップ工法では、コンクリート打設後、直ちに次の掘削に入るため、早強性のコンクリートを必要とし、初期強度を高くする必要がある。次に、コンクリートの打設作業が頻繁に行われ、また1回の使用量も少なく、生コン持ち込み方式が取り難い。したがって、一般には、専用のバッチャープラントを設ける必要がある。さらにもうひとつの欠点である切欠状の打継目については、最近色々工夫がな

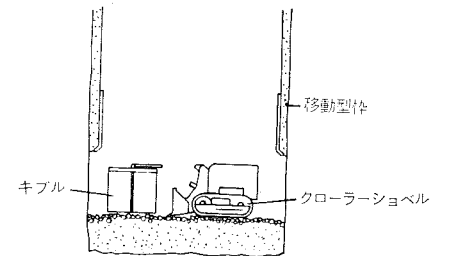


図-9 クローラショベル積み込み

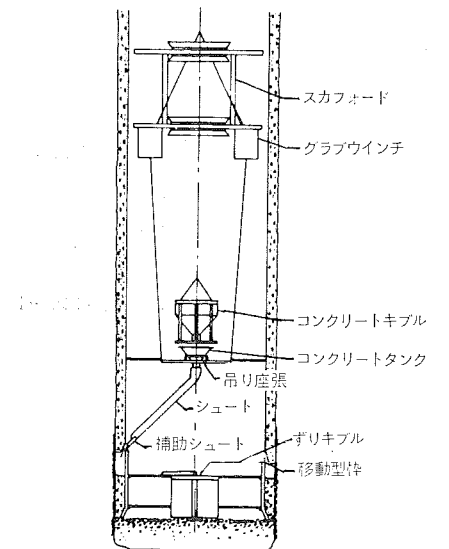


図-10 コンクリート打設図

され、切欠部を無くする方法が試験されている。

(5) 仮設備

立坑は、上下に垂直に展開するため、人員・ずり・材料などの運搬設備、作業用足場、坑口設備などに特有の設備が要求される。これら特有の設備としては、次のようなものがある。

(1) 主巻(キブル巻)

ずりキブル、人員昇降用キブル、コンクリートキブルなどの巻き上げに用いられる。単胴巻、複胴巻ともに用いられるが、単胴巻の方が作業管理しやすく、一般的である。

(2) キャプスタン巻

吊り足場(スカフォード)の巻き上げに用いるもので、ロープを大きくし、巻き上げ速度を非常に小さくしたものをを用いる。複胴巻が使われる例が多い。

(3) 槽

巻き上げロープの支点になるもので、最上部にヘッドシーブが取り付けられ、中間部には、ずりあげ設備が取り付けられる。

(4) 坑口設備

坑口開閉扉、坑口座張、ダンピングドア、ずりホッパーなどがある。

4-2-3 ロングステップ工法

(1) 概要

掘削と覆工を通常20~40m程度ごとに交互に施工していく方法で、掘削後の地山のゆるみを支保工で支え、地質に応じ、一定の区間ごとにまとめて覆工を行うもので、ショートステップ工法と比較した場合、この工法は、コンクリートをまとめて打設できるため、コンクリートの

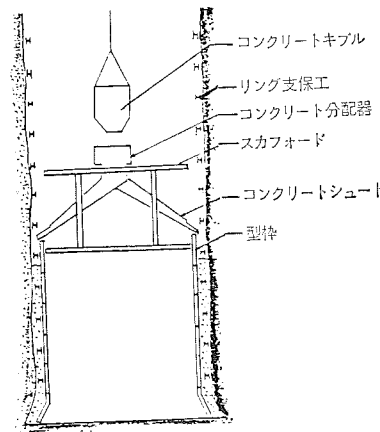


図-11 ロングステップ工法での覆工例

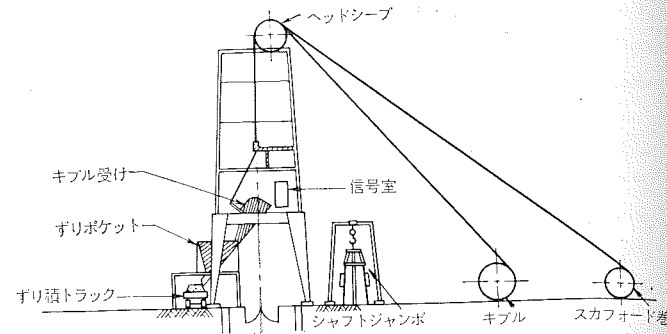


図-12 立坑坑口部仮設備

打設を計画的に実施できること、打継目が少なく内面が円滑に仕上がることなどの利点があるが、支保工を完全にすることが必要で、これがコスト、能率面に多大の影響を与えている。また作業の安全性の面でも、支保工に伴うトラブルが多く不利と言われている。

ショートステップ工法が開発されるまでは、ほとんどがこの工法によっていたが、ショートステップ工法の開発、普及により、国内では、現在ほとんど採用されていない。

(2) 支保工

支保工は、通常円形リング枠が用いられる。一般には125~200H形鋼を円形に曲げ加工し、3~5部材にして組み立てる方式で、矢板としては、木製矢板または鋼矢板が用いられる。支保工は、タイロッドで吊り下げ、バックンで締め上げ固定する。支保工ピッチは、1.0~1.5m程度が普通で、岩質に応じて部材の大きさ、ピッチが決められる。

(3) 覆工

掘削と覆工のステップは、岩質によって決められるが、通常、20~40mを1ステップとし、1ステップの掘削が終わると、坑底部にフーチングを造り、それをベースとして、1基ずつ型枠を組み上げながら、下部より順番でコンクリートの打設を行う。これらの型枠組、コンクリート打設は、スカフォードを足場として施工する。

立坑延長の短い場合は、全延長の掘削が終わってから、下部より一気にコンクリート打設を行う。

4-2-4 セミロングステップ工法

(1) 概要

ショートステップ工法では、1発破長ごとに覆工を行っていくため、コンクリートの打設が他作業の進行に影響を受けやすい。そのためコンクリートの供給時間、供給数量を予測し、計画的に進めていくことが困難なため、手近に供給設備を設け、いつでもコンクリートの供給が可能な体制を作ることが要求される。またコンクリート

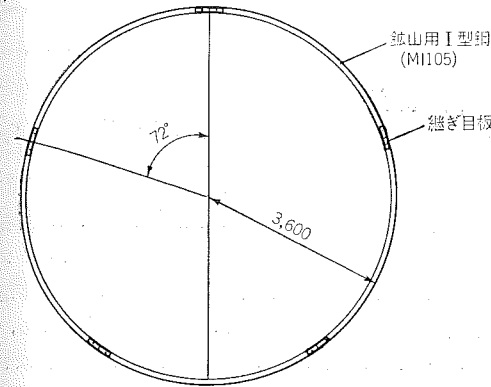


図-13 支保工例

打設後、時間を置かず隣接部の発破作業に入ることになり、コンクリートを傷めやすいことが考えられる。そのほか、三角状に切り欠けとなる打継目が多く、この部分が強度的に弱点となりやすい。

このようなショートステップ工法の欠点を緩和し、かつロングステップ工法の欠点である支保工作業を簡素化し、ショートステップ工法の能率、コストを維持しようと考えられたものが、このセミロングステップ工法である。

セミロングステップ工法が以上のような期待に答えられるのは、地質によるものと考えられる。地質が悪く、大きな支保工を要する場合は、その利点が生まれない。地質が良好で、肌落ち防止程度の軽微な支保工(ロックボルト金網張り程度)で維持できれば、ショートステップ工法の欠点がある面でカバーでき、その効果を発揮できることになる。

一般的には、地質が良ければ、コンクリート作業を集約化できることにより、掘削作業の流れが良くなり、ショートステップ工法より、能率が良いと言われている。

(2) 支保工および覆工

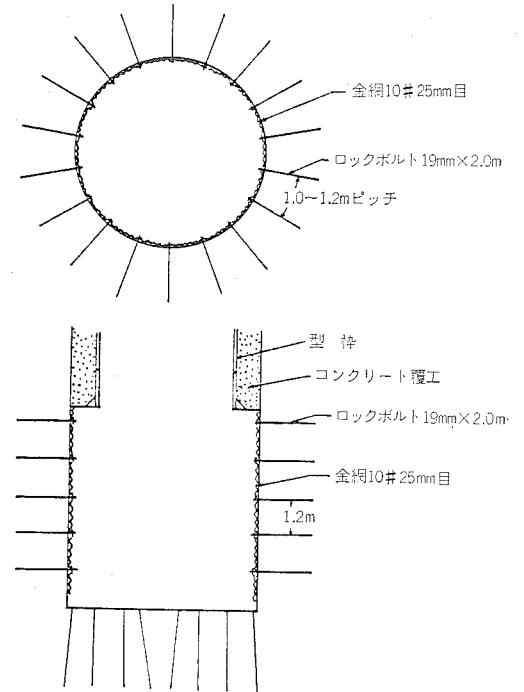


図-14 セミロングステップ工法における支保工例(ロックボルト金網張支保)

支保工は、地質が良ければ、簡単なロックボルトと肌落ち防止目的の金網張り程度で施工される。この場合、使用されるロックボルトは、打設の容易なものを選ばれる傾向があり、一般的には、エキスパンションタイプ、ウェッジタイプで、1.5~2.0m長程度のものが用いられている。地質の悪い所では、ロングステップ工法同様、円形リング枠が用いられる。

覆工は、ロングステップ工法と同様、下から順に型枠を1基ずつ組み上げながら打設する。この場合には、下部のフーチングを作らないのが一般的である。

好評発売中!!

NATMの設計と施工実例集(1)

B5判 232頁 定価 2,400円 千200円

NATM(新オーストリアトンネル工法)は、1960年代からオーストリアを中心に、ヨーロッパ諸国で実用に供され、すでに多くの施工実績を有している。国内においても、1967年には塩嶺トンネル、第3白坂トンネルで実用化をはかるための各種試験が行われるなどして、今日では堅岩・軟岩あるいは膨張性地山においても従来の工法を上回る実績を示し、たちまちのうちに

トンネル工法の主流として脚光を浴びるに至っている。本書は、現在、標準的な設計・施工法の未確立の状況のなかで、NATMに取り組み種々努力されている方々にとって、NATMの計画・施工の実務書として必読の書といえる。本書にはNATM理論(ミュラー氏の「22の原理」)と国内で実施されたNATMの主な施工例23編が集録されている。(土木工学社発売)

自家保有トラックによる運搬費の積算は、たとえば工事施行に伴って発生する掘削土の運搬、あるいは盛土や埋立用の購入土砂の運搬などのないいわゆる汚れ物とか、大量の材料を運搬する場合などによく適用される手法である。

自家保有トラックの場合の積算は、運搬作業に関する積み卸し時間、待ち合わせ時間、運搬距離などから算出される運搬作業のための作業の始まりから終了までのサイクルタイムと「建設機械等損料算定表」に規定される1時間当たり運転損料および1日当たり供用損料かあるいは1時間当たり換算損料から積算するが、これらに関連して規定しなければならないのは運搬速度である。地方においてはそれほど問題にならないが、都会における運搬は現在の交通事情を反映してその運搬速度が極度に遅くなる傾向がある。運搬速度は積算の基になるサイクルタイムの計算に直結しているものであるから、この決定には慎重な配慮が必要である。

参考までに営団の積算においては、東京都内の交通事情を勘案してその運搬速度を表-17のとおり定めている。

表-17 都内運搬速度

区 別	速 度
昼 間	14km/h
昼夜間	17km/h
夜 間	20km/h

運搬距離は原則として運搬しなければならない地点間の最短距離によらなければならないことはいうまでもないが、支給材料の運搬にあたって最近の傾向として作業の専門化に従って加工所で加工のうえ現場に搬入されるケースが増加している。たとえば鉄筋支給の場合でも、加工所へ回送されることが多いし、鋼材などもいったん仮置場におくことが多いので、倉庫から現場までの最短距離で積算するとかえて実情にそぐわなくなるので、営団ではいずれの場合も加工場所、仮置場を想定しての距離としているが、このことは材料が業者持ちでも同様であろう。

運搬距離に関連して、工事の施行に伴って発生する残土は、土捨場を指定してそこに処分させる方法と、自由処分として一定距離を積算する方法とがある。

前者のように土捨場を指定している場合はそこまでの最短距離で積算すればよいが、自由処分の場合は実際の運搬距離も明確ではないし、また、売却可能な良質土と不良土があるから、これを勘案して適当な距離を想定しなければならないが、営団ではこの距離を良質土は5km、中質土は10km、不良土は捨場を想定しての距離とし必要があれば捨場代を加算することとしている。

都市土木工事における最近の大きな問題として、建設残土の捨場地の枯渇化とそれともなう遠距離化により

合成される残土処理費の高騰があげられる。そのうえ最近で土留め用としてベントナイト溶液を使用する工事が増加してきたが、このベントナイト廃液の処理が非常に厳しくなり、一説によればその処理は産業廃棄物の対象になるという意見もある。

こうした状況を受けてこのような残土処理費の高騰分を設計変更の対象として欲しいという業界の希望が増大してきたが、ここで問題となることは、前記のような積算上の諸数値が甲、乙間で明確にされていないことである。工事説明などにおいて積算上の運搬距離などが甲、乙間で確認されているときは、積算条件の変更として設計変更の対象として取り上げることが積算技法上困難なことではないが、こうしたことが確認されていないときには積算担当者としてはどうにもならない問題である。これからの都市トンネル工事においては、このような不確定要素がいろいろと発生することが予想されるが、工事の契約にあたって、約款上の処置を考慮しておく必要があることはいうまでもない。

このほか残土の運搬の積算にあたってよく問題になることは、この残土を埋戻し用に利用できないかということである。従来は切ばり、腹起こしなどの仮設材に木材を利用することが多く、安全施工の立場から、掘削が終わったただちに構築用コンクリートを打設し、埋戻しを行うという「いわゆる掘って、巻いて、戻す」という施工順序をとることが多かったから、掘削と平行して埋戻しが行われるという状況が少なくなかった。そのため自工区の発生残土を埋戻し用に利用することも比較的行われやすく、この比率が高い工事においては埋戻し用土砂の20%も流用できたという事例があったほどである。

しかし、最近では、仮設材がすべて鋼製化したこととあって、安全の確保が容易になったことおよび機械化施工のメリットを生かすために全掘削量を一挙に行う事例が多くなり、残土を埋戻し用として利用できるケースは非常に少なくなった。

また、地下鉄工事は長い区間を施工する事業であるから、他工区の残土が埋戻し用として利用できないかという意見もきかれるが、こうしたことを行うためには残土の数量、発生時期、土質の条件が合わないと利用できないものである。最近のように住民パワーなどのために当初予定している施工時期の確保さえも困難な状況下において、積算にあたってこれらの諸条件を見透すことは事実上不可能であり、営団の積算においても、営団自体の車庫用地を築造するなどの特殊な場合を除いて、他工区からの残土を利用するという計算は行っていない状況である。



換気立坑入門(3)

武 田 衛*

4-2-5 NATM的工法

(1) 概 要

トンネル掘削工法として急速に普及してきたNATMの考え方を立坑掘削に取り入れようとするもので、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しようとするものである。

立坑側壁に作用する荷重の大きさ、および分布状態を推定することは困難で、従来覆工厚を決定する場合、ほとんど経験的な値を重視して決めている。また立坑では、破損した場合の修復が困難なこともあって、どちらかというやや過剰気味に覆工厚をとる傾向にある。

立坑掘削にNATM的な考えを取り入れ、計測により合理的な支保工を設計していけば、より経済的な施工を生み出す可能性があるものと想定される。立坑は、元来坑口部を除き、不均等荷重を受け難いといわれているが、システムロックボルトの施工により、ますます均等化が進むことが期待され、また吹付けコンクリートの早期施工により、地山の変位を拘束、立坑周辺地山のゆるみを少なくし、周辺岩盤耐力を強めることが予想され、覆工にかかる荷重は、相当に減ぜられるものと推測される。将来は、これらの効果で、覆工厚の節減も期待される。

(2) 掘 削

掘削の順序は、地質を考慮して決める必要がある。一般には、穿孔・発破一ずり積み→1次吹付けコンクリートそしてロックボルト打設を繰り返し、その間に計測をし、計測結果をみて、必要に応じてロックボルトの増し打ちおよび2次吹付けコンクリートを行う。

この方式では、立坑周辺地山のゆるみを小さくするのがポイントで、そのため穿孔発破作業では、必要以上に地山をゆるませないように、特に気を付けねばならない。そして、吹付け効果を良くするには、掘削面の凹凸を小さくすることが大切で、さらに切羽に近接した既吹付け

* 同和工営(株)土木企画部長

コンクリートを傷めないように発破することも大切で、このような目的のためには、スムーズブラスティングを考慮する必要がある。

1発破長は、穿孔機械の能力およびロックボルトのパターンに合わせて計画する必要がある。穿孔長が長過ぎると掘削計画断面外への食い込みが大きくなるし、短か過ぎると掘削面の凹凸が多くなる傾向にある。一般には、

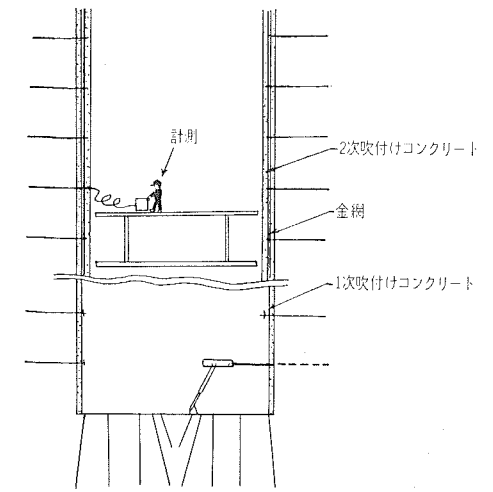


図-15 NATM的掘削工法の概念図

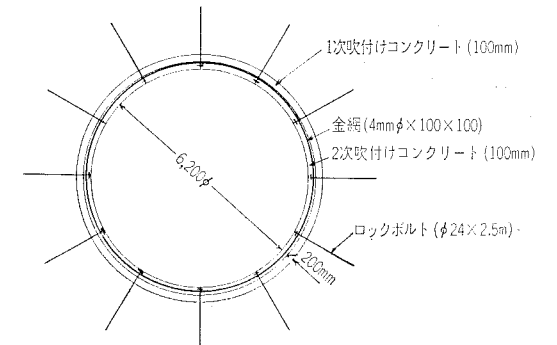


図-16 NATM的工法標準断面図

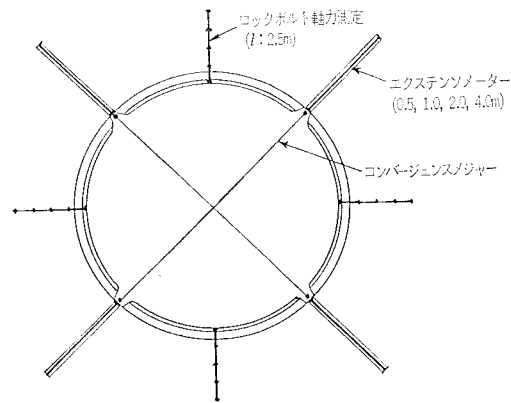


図-17 立坑内の計測例

2.0~2.5m ぐらいが適当ではなかろうか。

ずり積みは、ショートステップ工法と同様に考えればよい。積込機械の選定に当たっては、1次吹付けコンクリートの仕上がり断面で検討すればよい。

1次吹付けコンクリートの吹付け厚は、地質に応じ考えねばならないが、100mm 厚前後が適当と思われる。ロックボルトの長さ、ピッチは、地質によって決めねばならないが、掘削断面直径によっては、穿孔のしやすい長さも考慮に入れなければならない。過去の経験からボルト長は、1.5~2.5m 程度の長さが考えられ、また定着方式としては、全面接着タイプが望ましい。打設ピッチは、1.0~1.5m 間隔程度が普通である。

2次吹付けコンクリートは、計測結果により、吹付け厚さを決めればよいが、目安としては、1次吹付け厚と同じくらいと考えられる。化粧巻きは、地質の悪い場所では、地山保持の目的が必要であるが、地質が良ければ、使用上必要に応じて実施すればよい。化粧巻きは、全延長掘削完了後、坑底より順巻きにて施工するのが作業上都合がよい。

NATMで能率よく、仮設備も少なく実施するには、導坑方式が有利で、化粧巻きを考えなければ、巻上げ設備としては、材料と人員輸送およびスカフォードの上下だけを考えればよく、簡単なものです。仮設費が大幅に節減できることになる。

(3) 計測

NATMにとって計測は、不可欠のもので、また立坑のライニングに働く荷重を知るためにも、計測は大切なことである。しかし水平トンネルと違って、立坑の場合計測足場の確保が容易ではなく、継続的な計測は困難である。今後、立坑に合った計測法の技術開発が望まれる。目下の所では、できるだけ手間のかからないものを選んで、採用することになる。

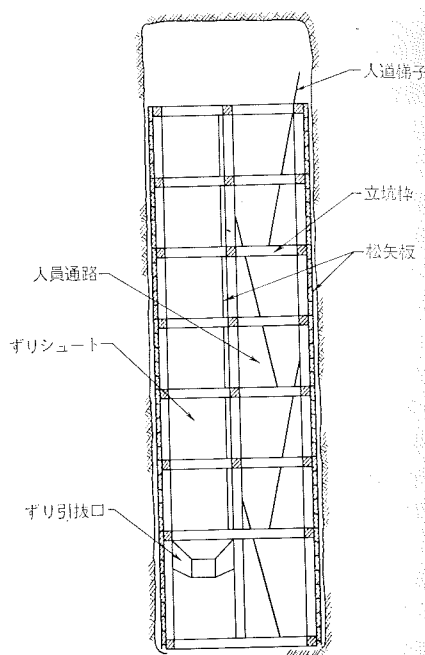


図-18 足場付掘り上がり工法

計測の種類としては、内空変位、ロックボルト軸力および地中変位測定などが考えられる。立坑の場合、壁面のゆるみより、地山内の応力変化がより問題となると考えられるので、地中変位、ロックボルト軸力分布測定の2つが、特に有効なものと思われる。

4-3 爆破掘削掘り上がり工法

4-3-1 概要

掘り上がり工法は、足場を用いて上向き穿孔し、下から上に向かって爆破掘削していくもので、爆破ずりは自然落下で立坑底まで落下し、立坑底で積み込み、運搬、排出していくものである。

この工法の特徴は、爆破ずりを自然落下で坑底まで落とし、坑底で集中積み込みができる点で、掘り下がり工法に比べるとずり運搬に重力を有効に利用していることで、運搬設備をほとんど要せず、運搬コストが他のどの工法よりも安いことにある。一方掘り上がり切羽内の作業は、周囲が素掘りのままの状態での作業が多く、切羽天端よりの肌落ち、崩壊などの危険が多く、不良地質での掘削は困難で、一般には、地質の良い硬岩部に用いられ、軟弱地質には不向きである。

掘り上がり工法の代表的な方式は、クライマー工法で、これはレイズクライマーと呼ばれる移動式足場を用いて、その足場上で発破孔を穿孔し、爆破掘削していく工法で、スウェーデンの鉱山で開発され、国内でも鉱山を中心に急速に広まった工法で、掘り上がり工法といえば、この

クライマー工法を指すくらい普及している。

昔からの工法として、足場付掘り上がり工法がある。これは通常、木製支保工(立坑枠)を組み上げ、それを足場として上向きに穿孔、発破し、掘削していく工法で、支保作業に大変な熟練を要し、作業性も悪く、現在では特殊な所でしか用いられない。

これら掘り上がり工法は、小断面の工法で、換気立坑として一般に要求される断面をこれらの工法だけで掘削することはできない。したがってこれら工法で掘削した立坑を導坑として用い、上から下へ向かってベンチカット式に掘り下がり切り広げていく方法が取られる。

その他、特殊な掘り上がり工法として、ステージプラスチック工法がある。これは鉱山で、上部坑と下部坑を連絡する目的での立坑掘削に開発したものである。

4-3-2 足場付掘り上がり工法

昔からの掘り上がり工法で、木製支保工を組み上げ、それを足場として上向きに発破孔を穿孔し、爆破掘削していく方法で、立坑内を半分仕切り、一方を爆破ずりシュート、もう片方を人員通路として用いる。支保工は、地質の良好な所では、側壁の凹部を利用して、坑木(切丸太)を張り渡し、その上に足場板を渡して、作業足場とし、側壁周囲は、素掘りのままで掘削する。地質が悪く周囲を矢板で押える必要がある場合は、切り込みを入れた立坑枠を組み上げ、立坑枠間に矢板を入れ、側壁表面のゆるみを押えていく。

この方式は、立坑枠の組み上げ、立坑という狭く危険な場所で、天端、側壁からの肌落ちに注意しながら地山を押えていくといったように、支保作業に高度の熟練技術を要するため、現在では鉱山みたいな熟練者を常時かかえることのできるような所で用いられる程度で、一般のトンネル現場ではほとんど実施されていない。また作業全体が人力に頼っているため、掘り上がり延長に限界があり、通常20~30m以下で用いられている。この工法の特徴は、特別な設備を一切要せず、手軽な方法であることに利点があり、欠点としては、高度の支保工技術を必要とし、落石事故などの安全性に問題があり、また支保作業が難しいため、能率が

悪いことにある。

4-3-3 クライマー工法

スウェーデンで開発された硬岩用の立坑掘り上がり方式で、作業足場を機械(レイズクライマーと呼ばれる)で上下できるようにしたもので、掘削は、この作業足場上で上向き削孔し、爆破掘削にて行う。

レイズクライマーは、作業用足場となるプラットフォーム(スチール製保護天井付)とケージおよびこれを支持するガイドレールそして昇降用モーターより構成されている。昇降用モーターは、空動式と電動式があり、昇降ケージに取り付けられている。動力伝達のため、前者はエアホース、後者はキャブタイヤケーブルを用いており、下部坑に巻き取り用ホースリールを設置し、ケージの昇降に合わせて、ホースまたはケーブルを延ばしたり、巻き戻したりしている。立坑内の人員の昇降は、このプラットフォーム下部のケージに乗り、昇降用モーターを操作して行う。

穿孔作業、浮石落とし作業は、プラットフォーム上で行う。発破時には、プラットフォームを掘り上がり底部の水平退避室に引き込んでおいて、発破する。発破によ

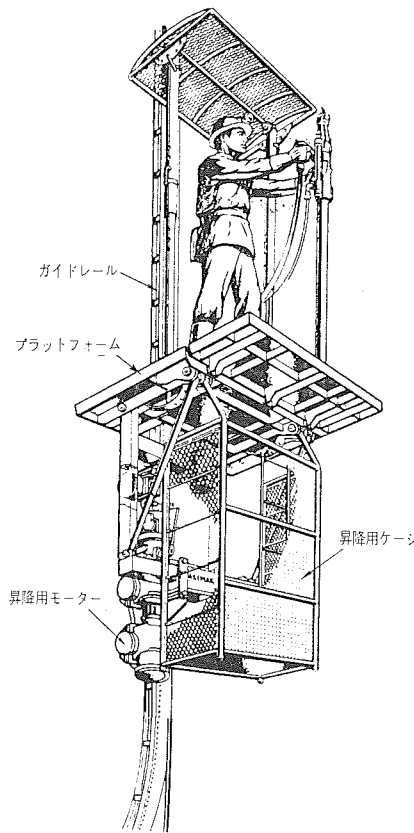


図-19 クライマー全体図

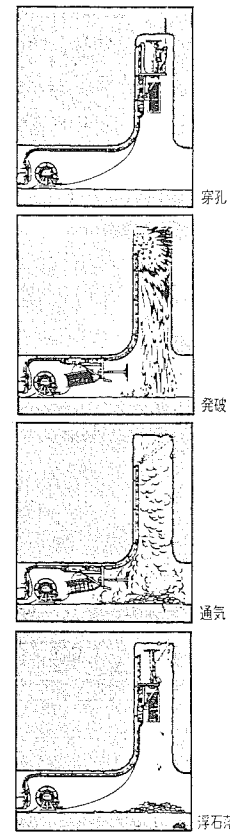


図-20 クライマーによる掘削順序

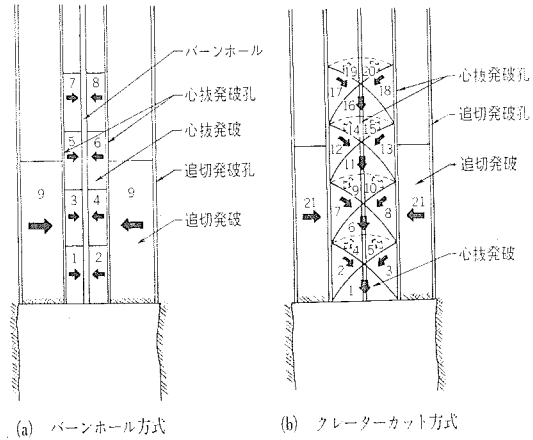


図-21 ステージブラस्टィング掘削概念図 (数字は発破順序)

る掘削ずりは、立坑内を自然落下して立坑底に落ちる。坑底で、このずりをショベルなどで積み込んで搬出する。プラットフォームを固定するガイドレールは、掘削に合わせて側壁に打ち込んだエキスパンションボルトで固定しながら延長していく。

この方式は、他の立坑掘削方式に比べ、比較的設備が小さくて済み、コストの安い方式といわれているが、しかし切羽で支保工を施工しないのが原則で、素掘りのままで、立坑内が維持できることが前提となっており、地質が良好なこと、延長が適当なこと（短か過ぎると準備費が割高になる。また長過ぎると安全性、作業性に問題が発生する。通常100mぐらいが適当といわれている）、などの条件が必要で、適応範囲が限定される。作業中の天端からの肌落ちによる落石は、スチール製保護天井で受けるようになっているが、側壁からはね返りなどの危険がある。また、途中で、地質が悪化した場合の対応策がなく、他の工法への切り替えも不可能で、この工法の採用に当たっては、事前に地質を十分に精査し、全延長にわたって地質が良好であることを十分確認した上で、採用されなければならない。

4-3-4 ステージブラस्टィング掘り上がり工法

(1) 概要

ステージブラस्टィング掘り上がり工法は、鉱山の盲立坑掘削に用いられるもので、大型ドリフターとかダウンザールドリルを用いて、上部坑より下部坑に向けて垂直に平行孔を穿孔し、上部坑より爆薬を装填して、下部より上部に向かって分割発破して掘り上がる工法で、ステージごとに順次発破を行うので、ステージブラस्टィングと呼ばれる。

穿孔パターンおよび発破方法により、バーンホール方

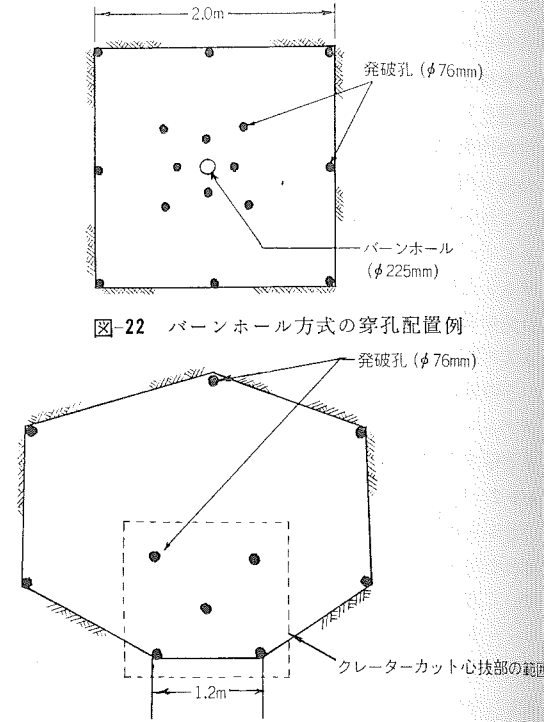


図-22 バーンホール方式の穿孔配置例

図-23 クレーターカット方式の穿孔配置例

式とクレーターカット方式に分けられ、国内では主として前者が用いられる。

この工法の特徴は、大型掘削機のような大がかりな設備を用いず、通常の掘削作業で用いられる穿孔機を用いて穿孔するので、特別な設備を必要としないこと、作業が単純であること、立坑内に人が入らないので、安全性が高いことなどの長所があり、コストの安い工法である。一方パラレル穿孔が前提のため、孔曲がり誤差が大きくなると失敗するため、立坑延長の長いものは不可能で、一般にはダウンザールドリルのような孔曲がりの少ない機械を用いても、40~50mぐらいが限界といわれ、一般的なドリフターでは、20~30mぐらいが限界である。

この工法は、地質の良好なことが前提で、地質の悪い所、特に軟弱帯、破碎帯を含んだような場所では用いられない。

(2) バーンホール方式

バーンホール方式は、通常立坑中心部に比較的直径の大きなバーンホール（爆薬を装填しない孔、自由面がわりになる）を配置し、周辺に心抜き用発破孔を配置し、さらに外周に追切り孔を配置する。標準的な穿孔パターン例を図-22に示す。

発破は、下部より上部に向けて分割して行うが、心抜き部のみをある程度（5~10m）先行して発破する。心

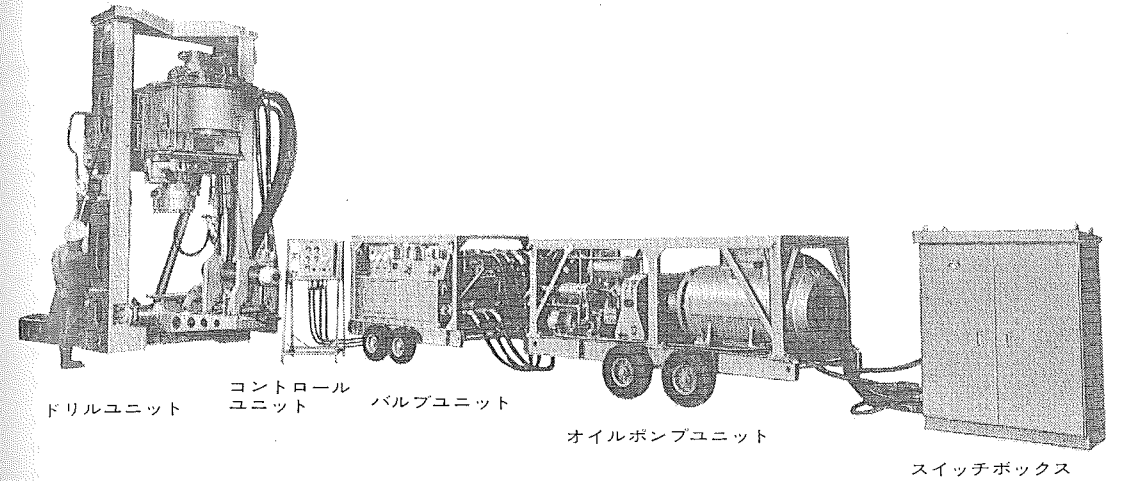


図-24 ビッグマン本体

抜き部は、一般に2~3mずつ分割して行う。

立坑掘削面を滑らかに仕上げるには、スムーズブラस्टィングを応用する。

この方式を成功させる決め手は、心抜き部を順調に仕上げることで、そのためには、バーンホールの孔径、心抜き部の発破孔の配置を良く考え、過装薬にならぬように装薬量を決め、各発破孔の発破順序を計画することが必要である。

(3) クレーターカット方式

この方式は、まず下部坑の天端を自由面にして、最下底部で第1段の発破を行い、クレーターを作り、その後はこのクレーターの壁面を自由面として利用し、順次発破し、クレーターを重ねながら心抜き部を最初に掘り上がり、その後周辺の追切り孔をバーンホール方式と同様に発破して行う。

バーンホール方式が弱装薬で、かつ爆力を弱めながら発破するのに対し、クレーターカット方式は、爆薬の威力をフルに使って発破を行うので、心抜き効果が大きい。発破孔数を少なくでき、大口径のバーンホールも不要で、また穿孔配置、孔曲がりなどバーンホール方式ほど精度を要しないという利点がある。

しかし、周辺の追切り孔、次の発破孔および周辺の地山を傷めやすいこと、一般的に発破回数が多くなることなどの欠点があり、国内では試験的に行われただけで、ほとんど普及していない。

4.4 機械掘削工法

4-4-1 概要

爆破掘削工法が、地山の掘削を爆薬のもつ爆破エネルギーにより行うものであるのに対し、この機械掘削工法は、爆薬を用いず、機械的エネルギーにより地山を切削していくものである。

機械掘削工法は、下向きに掘り下がっていくもの、上向きに掘り上がっていくもの、また、パイロット孔を先行し、そのパイロット孔をリーミング切り広げていくもの、全断面を一度に機械掘削していくもの、さらには、素掘りを原則とするもの、掘削と同時にシールド枠をつけていくものなど、多種類の方式がある。

機械掘削工法の特徴は、爆破掘削工法との対比により理解される。機械掘削工法は、立坑内での人力作業が少なく安全性に優れていることが最大の利点である。その他、立坑側壁を傷めることが少なく、側壁の仕上がりが滑らかなこと、掘削作業が連続的で、工程管理がしやすく、一般に能力が良いことなどの利点がある。さらには、爆破掘削では、特有の技能経験者（立坑掘削に関する）が要求されるが、機械掘削ではその割合が少ない。

一方、欠点としては、特殊な設備が要求され、一般にその設備は大きく高いこと、地質に対する適応範囲が狭いこと、立坑断面の大きさに合わせて設備を変えなければならないこと、一般にコストが高いことなどである。

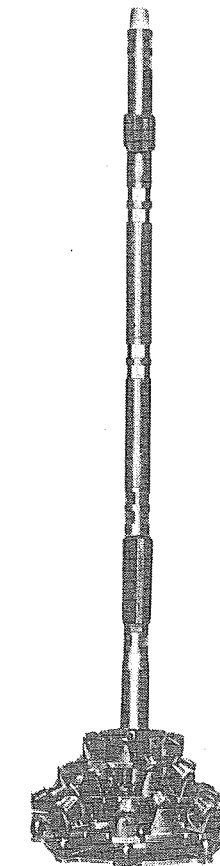


図-25 リーミングビット

表-1 レイズボーラーの仕様

メーカー	機種	パイロット径 (mm)	リーミング径 (mm)	孔長 (m)	トルク (kg・m)	馬力 (kW)	重量 (ドリルユニット) (kg)	ドリルパイプ径 (mm)	ドリルパイプの1本の長さ (mm)
鉦研	BM-50N	200	800	100	3,000	37	5,000	152	1,140
	BM-100N	250	1,750	180	7,000	90	12,000	203	1,160
	BM-120N	250	1,750	250	7,000	90	13,000	232	1,160
	MM-200N	350	2,430	250	20,000	150	23,500	260	1,700
ヴィルト	HG-100	250	1,120	200	3,400	90	7,300	168	1,200
	HG-160	250	1,400	200	(5,100)	132	11,500	168	1,500
	HG-210	250	2,040	230	(10,100)	160	15,100	210	1,500
	HG-250	311	2,680	280	16,000	250	25,100	250	1,500
ロビンス	23R	200	910	150	2,064	75	4,100	170	1,200
	32R	200	1,200	183	4,155	75	5,900	200	1,200
	61R	280	1,800	180	10,800	170	7,500	250	1,500
	71R	280	2,100	(610)	14,400	210	10,200	254	1,524
	72R	280	2,100	250	35,318	350	13,500	250	1,500
	82R	310	2,400	300	26,315	265	12,000	290	1,520
	84R	310	2,500	300	45,706	350	11,500	"/	1,500
	85R	350	3,700	300	50,370	400	23,600	305	1,500

表-2 リバースサーキュレーションドリルの仕様

機種	駆動形式	荷重形式	回転数 (rpm)	回転トルク (kg・m)	原動機出力 (kW)(ps)	ドリルパイプ径 (mm)	重量 (t)	掘削口径 (mφ)	掘削深度 (公称) (m)
日立	S400H	ロータリーテーブル	ドリルカラー	0~22	0~6,000	110	200	15.0	—
	S600	"	"	0~12	0~17,000	(155)	300	30.9	—
石播	L-6	"	"	0~19	0~6,000	75	200	6.0	400
	L-36	"	"	0~18	0~36,000	290	326	26.0	300
三菱	MD-150	パワースイベル	油圧シリンダー	0~21	5,500	110	200	22.0	1.5
	MD-440	"	"	0~9	40,000	360	457	155.0	4.4
利根	RRC-20	ロッドレス水中駆動	ドリル自重	22	1,518	37	150	12.0	1.5~2.0
	RRC-30	"	"	17	3,256	60	200	18.0	2.0~3.0
加藤	RSAC150	ロータリーテーブル	ドリルカラー	0~16	1,700	45	150	2.1	—
	RSAC200	"	"	"	2,280	75	200	3.0	—
川重	KSD-4	ロータリーテーブル or 水中駆動	"	0~10	0~35,000	480	300	65.0	3.5

機械掘削工法で最も普及しているのは、ビッグマンに代表されるレイズボーラー方式で、上部より下部坑にパイロット孔を貫通させ、下部坑でリーミングビットを設置し、下部よりパイロット孔をリーミングアップしていくものである。

次に、立坑としての実績は少ないが、基礎工掘削などに用いられるリバースサーキュレーション方式の大口径掘削機による掘削工法があり、レイズボーラーと同じような目的で使用されつつある。これら両者は、掘削径を余り大きくできず、小断面の立坑を完成させるにとどま

るため、一般に換気立坑として要求される断面の立坑をこれらの工法で全断面掘削することは困難で、通常これら工法で掘削した小断面立坑を導坑として用い、周囲を爆破式掘削により切り広げて所要の立坑を完成させることになり、厳密な意味では、機械掘削と爆破掘削の併用方式といえるものである。

全断面立坑掘削機としては、パイロットを先行させ、リーミング方式で掘削するもの、全断面を一度に掘削する全断面方式のものがある。これらは、国内ではまだ使用されていないが、海外では、かなり普及してきている。

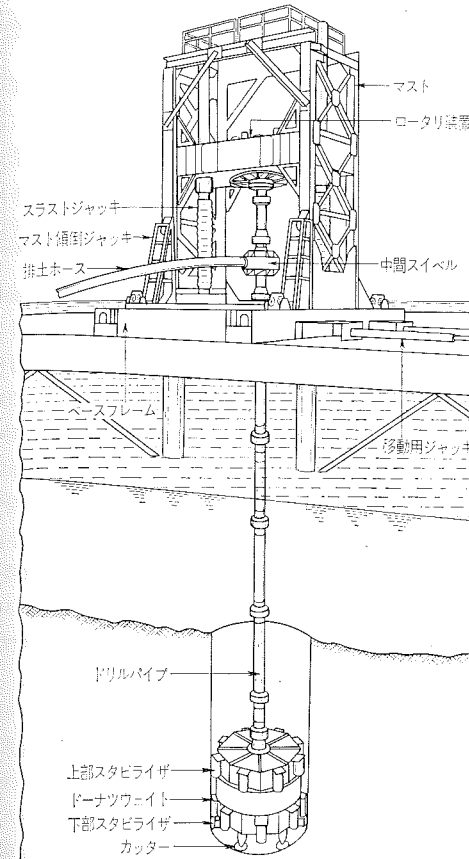


図-26 リバースサーキュレーションドリル

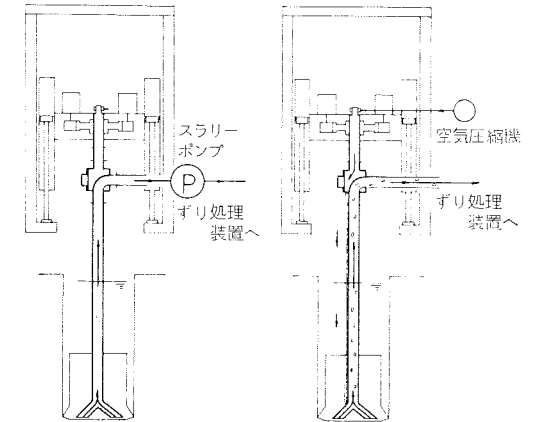
その他、特殊なものとして、シールド掘り上がり掘削機がある。これは、掘削に合わせて、シールド枠を組み上げていくもので、現在、小断面の延長の短い立坑掘削に用いられている。

4-4-2 レイズボーラー方式

レイズボーラーの代表的なものは、ビッグマンで、これは直径 250mm 程度のパイロット孔を上から下向きに掘削し、下部坑に貫通させ、リーミング用ビットを上向きに取り付け、パイロット孔を下から上向きにリーミングアップしていくものである。

リーミング仕上がり径は、通常 800~1,750mm で、掘削深度は公称 200m である。仕上がりは、素掘りで、ケーシングの挿入設備はない。

パイロット孔は、トリコンビットを用いて掘削する。掘削くり粉は、泥水を用いて上部へ排出する。リーミングビットは、一般にローラーカッターが用いられ、カッターは 2~3 段ステージの傘状タイプが用いられ、掘削ずりは、ローラーカッターの間隙を通して立坑底に自然落下し、排出される。



ポンプサククション方式 エアリフト方式

図-27 リバースサーキュレーションドリルのずり排出
レイズボーラーは、もともと鉦山の盲立坑掘削機として開発されたものであるため、コンパクトな形にまとめられており、また分解運搬を考えた設備になっている。この他、特徴としては、立坑内に人が入ることがなく作業の安全性に富んでいること、比較的能率が良いこと、コストも他の機械掘削に比べると安いといった点を長所とし、一方欠点としては、硬い岩質では切削費が高くなること、軟弱地質、破碎帯などでは支保工の方法がないため、側壁の崩壊を起こし、掘削できなくなることで、地質が均質良好で、自立できる程度に軟らかい所に向いている。

後述するリバースサーキュレーション方式と比べると、設備が小さいこと、リーミング方式であるため、比較的硬い岩質でも能率であること、パイロット孔掘削に泥水を使うだけで、リーミングは、ドライで行うため泥水処理が少ないといった特徴も持っている。一方、立坑側壁を押える支持物がないので、軟弱地質に対してはリバースサーキュレーションタイプより劣る。

レイズボーラー方式の機械としては、ビッグマンの他にヴィルトやロビンスといった外国メーカーのものがある。これらの代表的機械の仕様と公称能力を表-1に示す。

4-4-3 リバースサーキュレーション方式

リバースサーキュレーション方式は、孔底のドリルビットにより掘削した掘削ずりを逆循環 (リバースサーキュレーション) 方式で水とともに連続的に排出するもので、掘削孔内を常に満水状態に保ち、孔壁のあらゆる個所に静水圧をかけ、孔壁の崩壊を防ぎながら下向きに掘削し、掘削ずりをサクションポンプ、ジェットポンプまたはエアリストポンプで水と一緒に汲み上げ、排出する方式のものである。

ビットの回転は、上部のロータリーテーブルまたは、パワースイベルからドリルパイプを通して伝達される。掘削ずりは、このドリルパイプ内を通して水とともに排出するようになっている。

掘削深度は、ポンプによる掘削ずりの排出能力によって決まり、従来150～200m程度が限界といわれていたが、エアリフトポンプ方式の登場で200mを越える深度の掘削も可能となってきた。また掘削口径も、機械の大型化、ビットの改良によって大口径のものも掘削可能となり、口径3～4m程度でも可能といわれている。

この方式では孔内を常に満水にし、地盤安定液を用いて孔壁の保護を行うものであるから、多量の湧水とか、逸水層があると掘削ができなくなる。また孔内を満水状態で掘るため、下部坑に直接貫通させると多量の孔内水が、掘削ずりとともに下部坑へ吹き出すことになる。

この工法では、掘削中は素掘りが原則であるが、孔壁保護の目的で、途中でケーシングパイプを挿入することは、可能である。しかし途中でケーシングパイプを入れ

た場合、そこから下部への掘削を行う場合は、掘削径をケーシング内径より小さくしなければならない。

レイズボーラーと比較すると、全断面を一度に上部から掘り下がる方式であるので、下部坑掘削に先立って施工することが可能で、また前述したごとく、孔壁を泥水などで押えているため、多少の崩壊性のある地山でも掘削可能であること、基礎杭掘削用といった立坑以外の工事にも広く使われているなどの特徴がある。

訂正

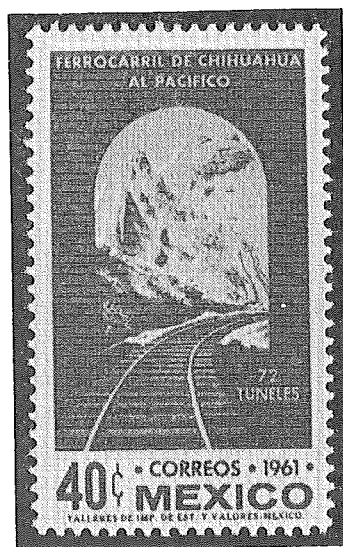
本誌6月号掲載論文「吹付けコンクリートと油圧さく岩機について」表-2(P.57)の「備考」で、1行目に「HD-200 8台」とあるのは「HD-100 8台、HD-200 1台」の、3行目に「HD-200 8台」とあるのは「モンタベールH70 8台」の、5行目に「HD-100 2台」とあるのは「モンタベールH70. 2台」の誤りです。著者より訂正のご依頼がありましたので、訂正いたします。

随想

トンネルと切手(7)

藤井浩

(10) メキシコのトンネル切手—デスカンソトンネル
発行目的—チワワ太平洋鉄道開通記念
発行年—1961年12月



印刷方式—グラビア印刷
発行国—メキシコ
1961年12月、メキシコのチワワ太平洋鉄道が完成し、3種の切手が発行された。そのうち額面40Cの切手には、この鉄道の最長トンネルであるデスカンソトンネルの坑口が描かれている。
チワワ太平洋鉄道は、リオグランデ河に面したオヒナガからチワワ高原を横断して、カリフォルニア湾のトポロバンポにいたる920kmの鉄道である。
米国中央部から太平洋沿岸にいたる短絡ルートとなるもので、1872年に計画されたこの鉄道は、90年を費やして完成されたものである。
シエラマドレ山脈を横断するため、72か所のトンネルが建設されたが、切手には最長トンネルのデスカンソトンネル(延長1,860m)が描かれている。坑口付近の高峰は、シエラマドレ山脈の雄姿である。なお、切手には、トンネル72か所の文字が記入されている。
(日本国有鉄道建設局線増課長)

社団法人 日本トンネル技術協会
会 報

●会員現況

	5月25日現在	6月25日現在
正会員	1,604名	1,596名
団体会員	211名	212名
個人会員	1,393名	1,384名
準会員	105名	107名
名誉会員	1名	1名
計	1,710名	1,704名

●委員会の活動状況(昭和55年6月1日～30日)

- ①6月5日/第1回(施)膨張性地山特別小委員会幹事会
横田幹事長ほか10名、(1)昭和55年度受託契約の内容の説明、(2)第2章アンケート調査の検討
- ②6月9日/第56回事業委員会
北原委員長ほか10名、(1)昭和55年度催物計画、(2)催物結果の報告
- ③6月10日/第68回会誌委員
遠藤副委員長ほか5名、(1)7月号の会誌および会報の検討、(2)現場だよりの依頼方針
- ④6月12日/第1回海文調査特別委員会幹事会
久保幹事ほか9名、(1)昭和54年度報告書の校正、(2)昭和55年度作業計画
- ⑤6月12日/第1回シンポジウム施工部門打合せ
藤井議長ほか10名、(1)ロックボルト施工のテーマと人選
- ⑥6月13日/第2回(施)深部トンネル対策特別小委員会打合せ
山本小委員長ほか7名、(1)委員会の構成、(2)委託業務の内容検討
- ⑦6月16日/第65回国際委員会
吉村委員長ほか9名、(1)I T Aブリュッセル総会出席報告、(2)I T A理事会対策、(3)“トンネル現況”対策
- ⑧6月17日/第4回(安)安全研修対策幹事会
中村幹事長ほか11名、(1)テキスト原稿量の打合せおよび内容の検討
- ⑨6月18日/第18回積算委員会
加藤委員長ほか10名、(1)昭和55年度事業計画
- ⑩6月18日/第1回N A T M適用対策特別小委員会
山本小委員長ほか26名、(1)トンネル改築の施工体験説明

- ⑪6月18日/第1回(施)シンポジウム計設部門打合せ
山本議長ほか7名、(1)ロックボルト設計のテーマと人選
- ⑫6月19日/第2回海峡線文献幹事会
垂水幹事ほか6名、(1)報告書の校正
- ⑬6月20日/第42回(契)I A T契約部会対策小委員会
長友小委員長ほか17名、(1)I T Aブリュッセル会議報告
- ⑭6月20日/第10回資材機械委員会幹事会
藤田幹事ほか6名、(1)資材ハンドブック原稿の検討、(2)第1回資材機械説明会対策
- ⑮6月25日/第13回(施)漏水分科会
立石主査ほか14名、(1)委託業務作業内容の説明および作業分担
- ⑯6月25日/第3回(安)変状対策特別小委員会
佐藤委員長ほか23名、(1)昭和55年度作業計画研究課題の検討
- ⑰6月26日/第2回膨張性地山特別小委員会幹事会
横田幹事長ほか12名、(1)提出原稿の調整と第3章の査読計17回開催 208名

●催物開催結果

- ①5月/欧州トンネル見学会(5月17日～6月2日)参加者44名
- ②6月/名塩トンネル見学会(6月20日)参加者92名

●'81 ニース、'82 ブライトン I T A 関連シンポジウム論文募集の切迫る!

このほど、'82 ブライトン I T A 総会と同時に開催するシンポジウムの案内がありましたが、論文募集の応募期限が意外に早く、'81と相前後しております。

	第7回年次総会(ニース)	第8回年次総会(ブライトン)
名称	工費の節減研究シンポジウム	トンネルリング'82
主催	仏トンネル協会	英トンネル協会ほか
時期	昭和56.5.11～14	昭和57.6.7～11
課題	工費の節減	安全、施工技術、工費節減
部門	(1)調査計画(2)契約(3)設計施工基準(4)施工技術	(1)施工法と機械(2)地質(3)保守管理(4)計画
応募	課題部門、題名、概要(英又は仏語で1,000語以内)	課題部門、題名、要旨(英語で300語以内)
提出	昭和55年8月末当協会事務局まで	昭和55年9月末当協会事務局まで
採否	昭和55年12月	昭和56年11月

地下鉄建設に伴う工事用電力設備としては、契約最大電力50kW以上500kW未満で契約期間1年以上とし、高圧3,000Vまたは6,000Vで受電し、これを200Vあるいは100Vに変圧して動力用または照明用に供するときおよび3,000Vの高圧を直接使用する定置式コンプレッサなどの高圧モーターにも適用する。

また、電力設備費および照明用電力料金の内訳は、次のとおりである。

- 受電設備費：工事負担金、簡易キュービクル設備
- 幹線設備費：受電所より工事現場全般に仮設する動力用、照明用幹線設備
- 照明設備費：坑内外の照明設備一式
- 保守費：電気関係一式の保守労務費
- 基本料金：電力会社との契約kW高と月数による基本料金
- 照明電力料金：坑内外の照明電力料金

(イ) 安全管理費

安全管理費は、地下鉄工事の施行にあたって路上、路下の交通、保守、点検など安全を確保するために必要な作業に関する要員、施設などの経費で、積算にあたっては開削式工法、シールド式工法の場合に大別される。

安全管理費の内容については、開削式工法およびシールド式工法と大差がなく、次のとおりである。

- 現場警備員費
- 坑内通路および階段費
- 非常用電話費
- 安全管理施設費
- 路面清掃、撒水費
- 安全管理雑費

となっている。

このうち安全管理施設費は、一般通行者に対する注意標識、誘導、保安施設ならびに労務者に対する安全管理、諸標識などの費用である。

また坑内通路および階段費は、坑内の通路、階段に要する費用で、通路の延長は通路の段数、列数を査定して算出することになっている。これらの経費は一般には仮設費として積算する事例が多いが、営団ではその性格上安全管理費の一部として積算することとしている。

路面清掃、撒水費は工事施行中の路面、撒水などに関する経費であることはいままでもないが、その他に工事竣工時の清掃費ならびに監督官庁の検査に係る費用も含むことにしている。

安全管理雑費とは、前記以外の安全装備費、安全教育費、安全奨励費としているが、その内訳は次のとおりである。

- 安全装備費：命綱、保安帽、保護手袋、安全靴、遮光眼鏡、ガス探知機、安全ネット、消火器、看板、安全チョッキ、溶接工保護具、医療薬品、酸素呼吸器、酸素濃

度測定器、マイクなど

安全教育費：安全研究会、表彰、記念品、パンフレット、スライド、映画、作業責任者資格取得講習会、安全協議会、技能講習受講料など

安全奨励費：安全競技賞品代など

(ロ) 小工事費その他

都市トンネル工事は、その性質上付帯する小工事や雑費に属するものが非常に多い。これらの経費をそのつど積算することは事実上不可能に近いし、かえって拾い漏れを生ずるおそれがあるので、営団ではこの種の経費を小工事その他として一定の基準により積算することとしているが、その内容は次のとおりである。

- 給水設備費
- 路面補修費
- 小埋設物処理費
- 沿道家屋、井戸調査費
- 工事写真費
- 応急資材費
- 坑内排水処理費
- ガス管点検用足場費
- 坑内清掃片付費
- ポンプ揚水費
- その他

小埋設物処理費は、杭打ちに伴う示方書に示す請負業者負担の地先小管路切り回し、復旧のための費用とする。

沿道家屋、井戸調査費は、工事着手前に行う沿道家屋の実態測定、撮影、記録、報告などのための経費で、調査対象家屋は、通常の場合構築の左右外側から20mの範囲を標準とするが、特に軟弱地盤のため影響があると考えられる区域では実情に応じて計上することができるほか、ビル街、高層家屋などのある場合は別途考慮することになっている。

応急資材費は、万一の事故に備えて木材類、鋼材類、土俵などを一定の場所に準備しておくための経費である。

ここにいう坑内排水処理費は、下水道局に支払う下水道使用料ならびに既設下水道管の掃除料、土留め溜および土砂処理費用の合計である。

ガス管点検用足場費は、東京ガス会社との協定により掘削用切り梁上にパイプ足場を架設し、ガス管の点検用に供するためのものに関する経費である。

坑内清掃片付費は、底部防水施工前および頂部防水施工前の清掃、乾燥のためならびに工事竣工時の水洗清掃に関する経費で、一般にこれら清掃に要する経費は、例外多額になるとされている。

ポンプ揚水費は、掘削終了後コンクリート工事終了までの期間、構築内に溜る漏れその他の水を揚水する費用で、機械器具損料、運転経費を計上する。

以上の項目が通常小工事費その他に計上されるが、現場の特殊な条件によって必要な経費はそのつど計上されることはいままでもない。



換気立坑入門(4)

武田 衛*

4-4-4 シールド掘り上がり機

レイズボラーを上向きにした構造で、それにシールドセグメント組み上げ機構を付加したもので、軟弱地質にも可能な掘り上がり機として、国内で開発されたものである。現在の試験機は、掘削外径1.4m、セグメント内径で1.2m、掘削延長30mの盲立坑掘削用に開発されたもので、これまでに約20本の実績を示しており、中硬岩より崩落地質および膨張性地質にまで掘削実績を有している。今後は、さらにセグメント内径1.5m、延長60mを目標に改良を加えている。

掘削機構は、ドリルビットの回転により、切削していくもので、ビットは傘状を成しており、先端にトリコンビットを配置、それを2段目および3段目のローラーカッターで、順次切り広げていく方式で、ドリルビットの回転力、押し上げ力は、坑底に設置したドリルユニットにより、ドリルロッドを経由して伝達される。掘削ずり

は、セグメント内をドリルロッドに沿って落下し、ドリルユニット上に落下、回転式のスクレーパーによって排除される。1ステップ(0.5mないし1.0m)の掘削が終わると、引き続いて、下部坑でセグメントを継ぎ足して、ジャッキアップし、セグメントを押し上げる。これら各作業は、立坑底より離れた位置に設置したコントロール装置の操作で実施されるため、掘り上がり立坑内に人が入ることなく、立坑掘削とセグメント組み上げが行われる。

この工法の特徴は、掘削に当たって立坑内に人が入ることがなく、安全性の高い工法で、従来、どのような工法によっても掘り上がりが不可能であった不良地質においても、安全、確実にしかも能率良く掘削することができるようにしたことにある。また支柱作業といった高度の技術を要しないことなどの利点があり、一方下部坑に設置したドリルユニットよりロッドを通じて先端ビット



図-28 松峰型シールドレイズマシン

* 同和工営(株)土木企画部長

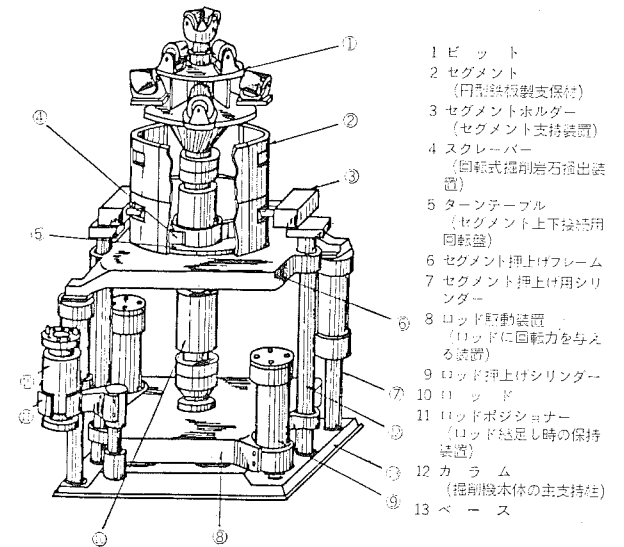


図-29 松峰型シールドレイズマシン説明図

1980年9月

表-3 松峰型シールドマシン仕様

	MSRM1号機 (UPB-75A)	MSRM2号機 (UPB-100A)
掘削口径(m)	1.4	1.7
セグメント内径(m)	1.2	1.5
掘削延長(m)	30	60m以上
回転数(rpm)	0~26	0~15
トルク(kg·m)	0~3,750	0~4,000
ビット押付力(t)	120	120
セグメント押上力(t)	200	300
ノストローク(mm)	600	600
機体重量(t)	11,750	14,000
ドリルユニットの大きさ(m)	—	2.8×2.0×3.2
原動機出力(kW)	75	100

に回転力および推力が与えられるため、ロッドのたわみなどで孔曲がりや起きやすいこと、立坑延長が長くなるとロッド重量が増し、押し上げられなくなることなどで、余り長い立坑は掘削できないこと、硬岩では、ビットの摩耗が大きく、コスト高になるなどの欠点を持っている。この機械の適用範囲としては、地質の悪い場所での上

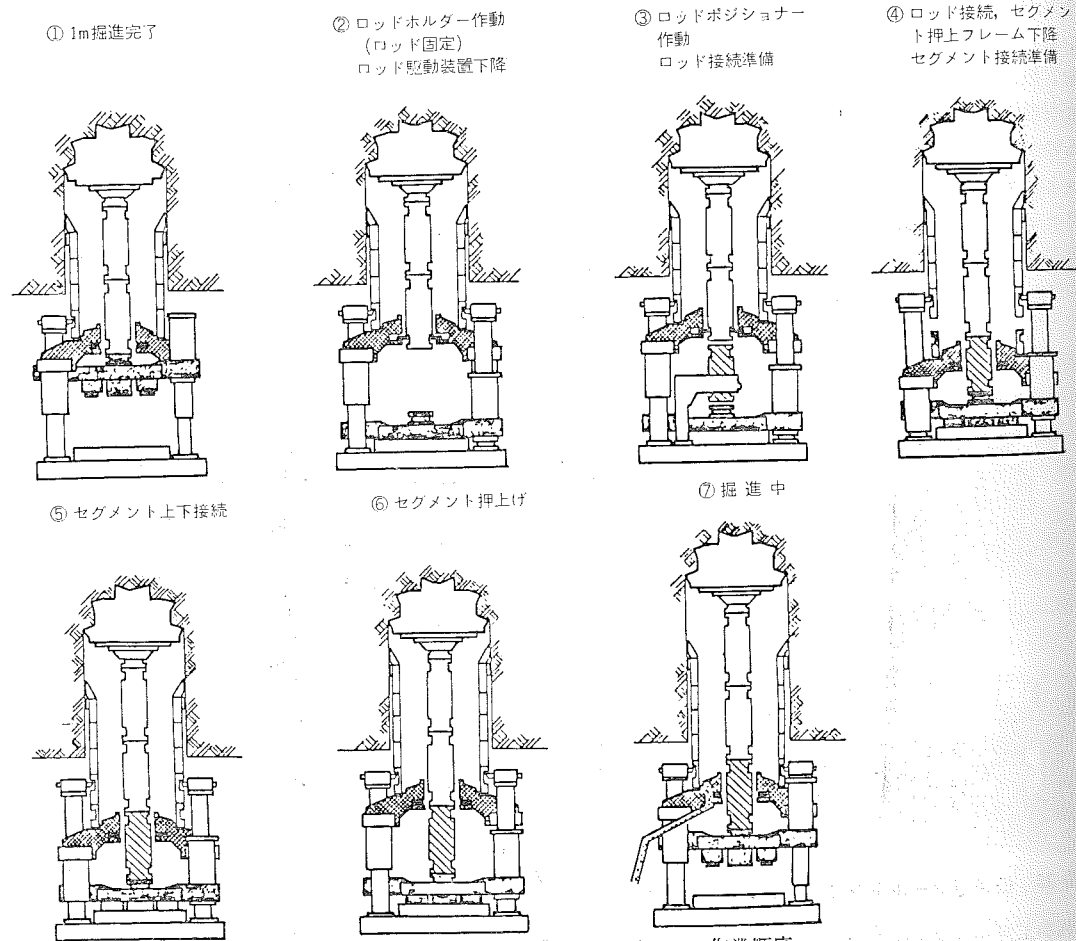


図-30 松峰型シールドレイズマシン作業順序

向き導坑の掘削(たとえば、掘り上がり立坑の地表貫通部の掘削とか、地下空洞開削での不良地質での上向き導坑など)などが考えられる。

4-4-5 全断面立坑掘削機

レイズボーラー方式とかリバースサーキュレーション方式をさらに立坑掘削機として一歩前進させたもので、直径5~6mの立坑を全断面機械掘削するもので、代表的なものとして、西独のヴィルト社の立坑掘削機がある。これは、TBM(トンネルボーリングマシン)の考えを立坑掘削機に持ってきたもので、ドリルマシン本体が立坑底切羽にあり、その上に、支保工作用プラットフォームがあり、掘削と平行して、鋼製セグメントによる支保工を追っかけていく方式である。

ヴィルト社では、パイロット孔リーミングダウン方式と、それをさらに改良した全断面方式とがある。リーミング式は、レイズボーラーでパイロット孔を掘削し、掘削仕上がり径1.2m立坑掘削機により、リーミングダ

ウンしていく方式で、切り広げの掘削ずりは、パイロット孔を通して下部坑へ自然落下、排出される。ドリル本体は、油圧シリンダーを立坑側壁に張り固定される。ドリルビットは、ドリル本体に組み込まれた電動モーターで回転される。

全断面方式は、このリーミングダウン方式を改良したもので、試作中であるが、パイロット孔を使わず、立坑底を水で満たし、掘削ずりを水とともに、ドリル本体上部の作業用プラットフォームまでポンプアップし、そこでスクリーンを通し、荒いずりは、ケーブルに投入、立坑巻により巻き上げ、細かいずりは、水と一緒に立坑上部へポンプアップ排出する方式を採用している。

この全断面方式は、まだ実績はないが、リーミング方式は、すでに数本の実績がある。その実績を表-4に示す。

全断面立坑掘削機による立坑掘削方式の特徴は、掘削作業が連続的で、掘削と支保工が同時に平行して施工され、能率が良いことである。この種のものの欠点は、TBMと同様、不良地質に対応できないことで、また設備が大きく、設備費が高いことである。ただTBMと異なり立坑の場合、方向制御は、比較的楽のようである。リーミング方式の場合は、パイロット孔を正確に掘削することが大切で、このパイロット孔掘削の面で、立坑延長とか、地質の適用範囲とかが制約されると考えられる。国内で、この種のものを使用する場合、地質の複雑さなどから考えて、かなりの改良が必要と考えられる。

4-5 大断面立坑掘削工法

4-5-1 概要

道路トンネルの換気立坑では、1本の立坑で入排気を共用する例もあり、この場合、掘削径は、10mにも及ぶことになり、通常の立坑に比べ、掘削ずり量も多くなり、掘削ずりの運搬処理が立坑掘削能率、コストに大きく影響することになる。このような場合の掘削工法としては、前出の普通工法(爆破式掘り下がり工法)でも勿論可能であるが、掘削ずり運搬の面では不利で、もっとずり運搬能率の良い工法が求められる。

以下で説明する導坑先進切り広げ工法および上向き全断面掘削工法は、このような目的に合致した掘削方式である。

導坑先進切り広げ方式は、レイズボーラーとかクライマーなどで掘削した小断面立坑を導坑(切り広げ掘削時の掘削ずりシュートとして利用する)として用いて、下向きにベンチカット式またはグローリー式に切り広げる工法である。これは、大断面立坑に用いられるだけでなく、レイズボーラーとかクライマーなどでは、通常の換気立坑に要求される断面の掘削ができない場合が多いが、そのような場合の切り広げにも同様の方式が採用される。

上向き全断面掘削工法は、全断面を爆破掘削にて上向きベンチカット方式で掘削していく工法で、掘削ずりの一部は、そのまま残して、次の掘削の足場として用い、全断面を順次掘り上がっていく方式である。

両者とも、掘削ずりの大半を重力を利用して、自然落下で坑底まで落とし、集中排出する方式で、掘削ずり処理の能率が良く、ずり運搬コストが安い工法である。

4-5-2 導坑先進切り広げ工法

クライマーといった掘り上がり工法とかレイズボーラーといった機械掘削工法で、小断面の立坑を掘削し、その小断面立坑を導坑として上部より下向きに切り広げ、掘り下がる工法である。切り広げ時の掘削ずりは、すべてこの導坑に投入され、立坑底に自然落下し、積み込み

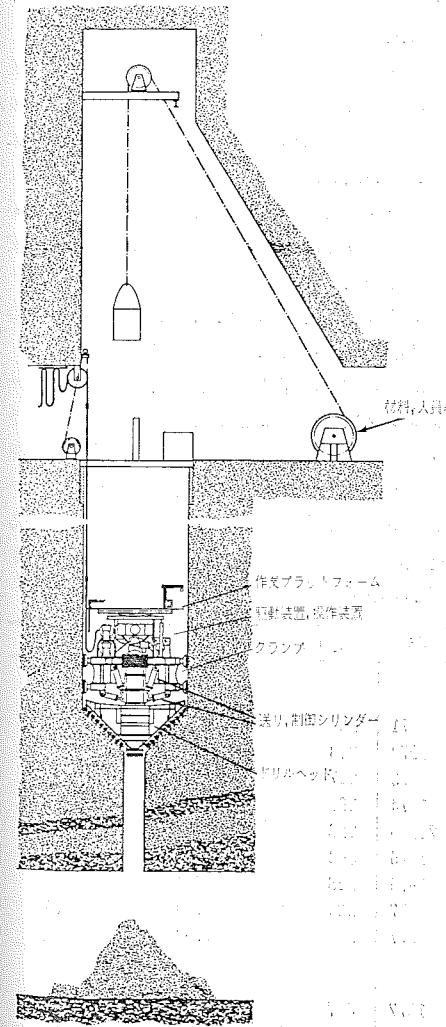


図-31 SBVI-500/650-E/Sch 立坑掘削機模式図

排出される。この導坑は、この掘削ずりシュートのほかに、切羽換気、切羽水の水抜き孔などに利用される。

切り広げ方式としては、切羽面を導坑に向けて勾配をつけ、切り広げ爆破ずりが、この斜面に沿って自然落下

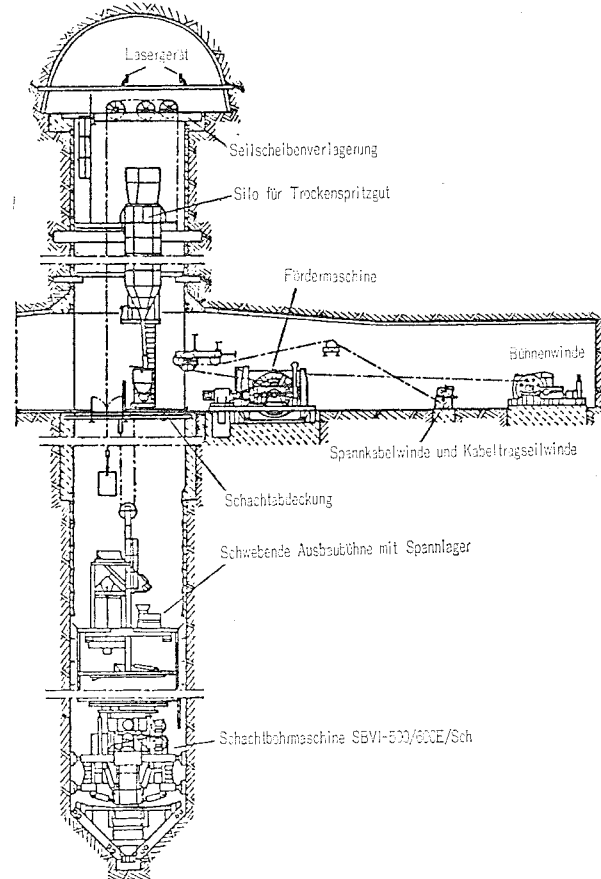


図-32 SBVI-500/600 E/Sch 立坑掘削機を用いた全断面掘り下がり図

表-4 ドイツにおける機械掘削立坑の実績

鉱山名	会社名	立坑名	年	深度 (m)	掘削速度 (m/日)	期間 (日)
Mit der Gesenkböhrmaschine GSB 450/500						
Emil Mayrisch	EBV	72 C	1971	231	1.95	119
Walsum	RAG	480	1972	243	5.75	42
Zollverein	RAG	N-N. 14.1	1973	227	9.02	25
Sterkrade	RAG	6-6-33	1974	196	13.52	15
Emil Mayrisch	EBV	87 a	74/75	228	8.00	28
Minister Stein	RAG	Schacht 1	1975	302	9.64	31
Emil Mayrisch	EBV	87 c	1976	228	6.14	44
Rossenray	RAG	NHO-01	76/77	224	10.80	31
Emil Mayrisch	EBV	87 e	1977	228	7.90	32
Mit der Schachtbohrmaschine SB VI-500/650 E/Sch						
Ibbenbüren	Preussag	Ostfeld-Bohrgesenk	1977	467	9.79	48
Güttelborn	Saarberg	Schacht 3	1978	414 ^a	13.80	30

EBV Eschweiler Bergwerks-Verein. RAG Ruhrkohle AG. ^aZuzüglich 10m Vorschacht.

して導坑内に落ちこむようにしたタイプ（グローリー方式と呼ぶ）と、切羽面を水平にし、ベンチカット式に掘り下がっていくタイプ（ベンチカット式と呼ぶ）がある。

グローリー式は、導坑を爆破時の発破自由面として利用し、導坑を中心に追切り孔を穿孔する。追切り孔は、図-35に示すごとく、孔尻を導坑に向けて、勾配がつくように穿孔し、爆破した際、爆破ずりが自然に導坑に落ち込むようにする。穿孔に当たっては、切羽面に勾配があり、足場の確保が難しい。穿孔作業中は、導坑に墜落防止目的の吊り足場でフタをするような工夫が必要である。穿孔機としては、シャフトジャンボとかアンブレラジャンボといったリモコン操作の可能なものが向いている。

グローリー式では、切羽に勾配をつけ、爆破ずりが自然に導坑に転がり込むように穿孔するが、立坑断面が大きくなり、この切羽斜面長が余り長くなると、この爆破ずりの自然落下が困難になり、作業上危険になるので、余り大きな断面の立坑には向いていない。

グローリー方式では、切羽でのずり積み作業が不要で、ずり処理が最も安い方式で、コストの安い工法といえる。

ベンチカット方式は、切羽面を水平にしたもので、切羽に積込機を入れ、爆破ずりを積み込み、導坑に投入する。穿孔は、地下発電所におけるサージタンク用立坑のごとく大きければ、クローラドリルを使って下向き穿孔方式を採用する。換気立坑程度の断面であれば、手持さく岩機、シャフトジャンボとか小型クローラドリルなどを用いる。積込機は、クローラショベル、バックホーなどを

使う。また状況によっては、ブルドーザを導入し、ブル押しでずりを導坑内に落とす。

この方式では、グローリー方式と反対に断面が小さいと機械の配置が難しく、断面の大きい方が、向いている。

切り広げ工法は、導坑内を多量の掘削ずりが落下していく。そのため導坑側壁は、これら落下ずりで常にこすられることになる。したがって地質の悪い所では、導坑（通常素掘り）の維持が難しく、不向きである。一方、掘削ずりの巻き上げが不要であるため、巻上設備として

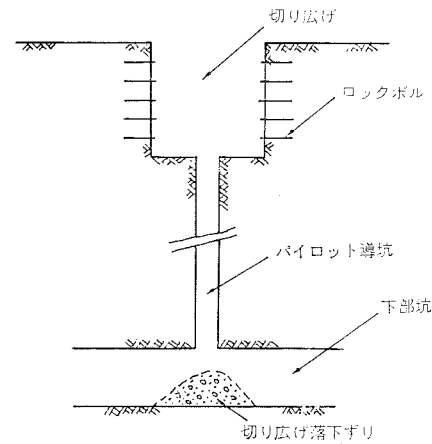


図-33 導坑先進切り広げ工法概念図

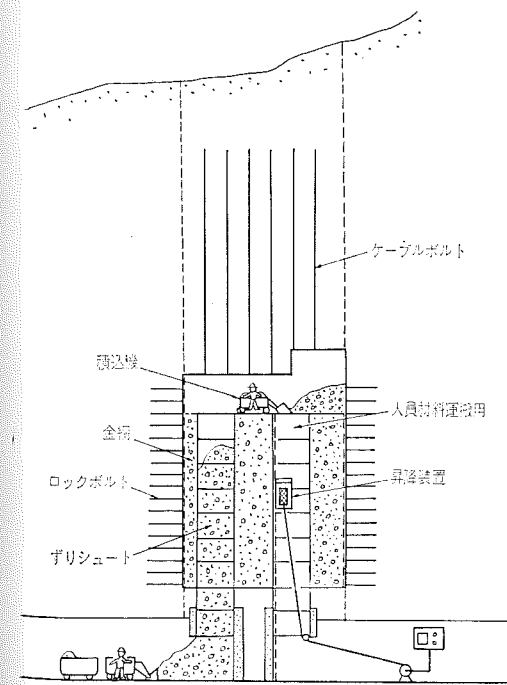


図-34 上向き全断面掘削工法概念図

は、大きなものを必要としないことに大きな利点がある。

さらにロックボルト、コンクリート吹付け程度で、1次覆工したり、またはパイプ流送式でコンクリート覆工できれば、さらに巻上設備が小さくてすむことになり、設備として、非常に小規模なものとなり、掘削コストは、さらに安くなる。

導坑先進切り広げ工法の特徴的なものとしては、鉱山におけるシュリンケージ採掘法を利用した切り広げ方式がある。これは、導坑内に吊り足場を設け、足場上より、水平または斜め下向きに全円周にリング状に穿孔し、坑底を自由面として、下から順に爆破切り広げながら上がっていく方式である。そのような例として、クライマーを利用した方式を図-37に示す。この方式は、前2者よりさらに能率よく、安い工法であるが、切り広げ爆破時に、孔尻の起砕が悪く、孔尻が大きく残りやすく、立坑側壁面をきれいに整えることが難しいこと、側壁のライニングが困難なことなど、大きな問題を有している。

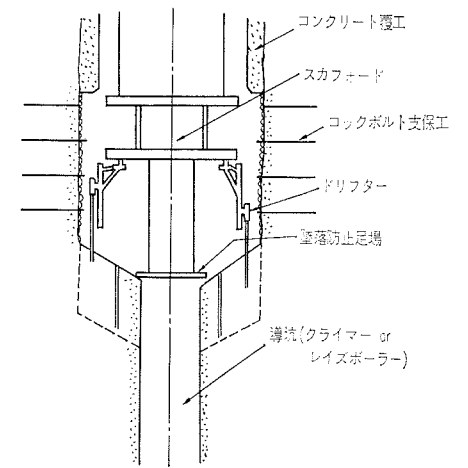


図-35 グローリー方式による導坑先進切り広げ工法概念図

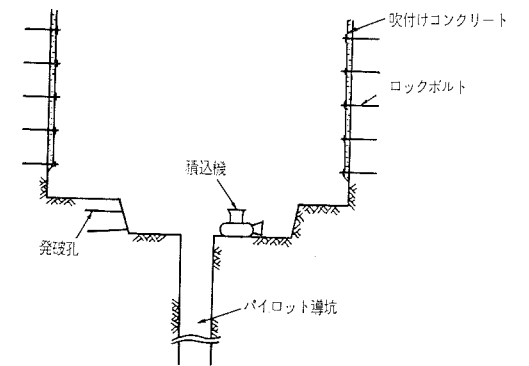


図-36 ベンチカット方式による導坑先進切り広げ工法概念図

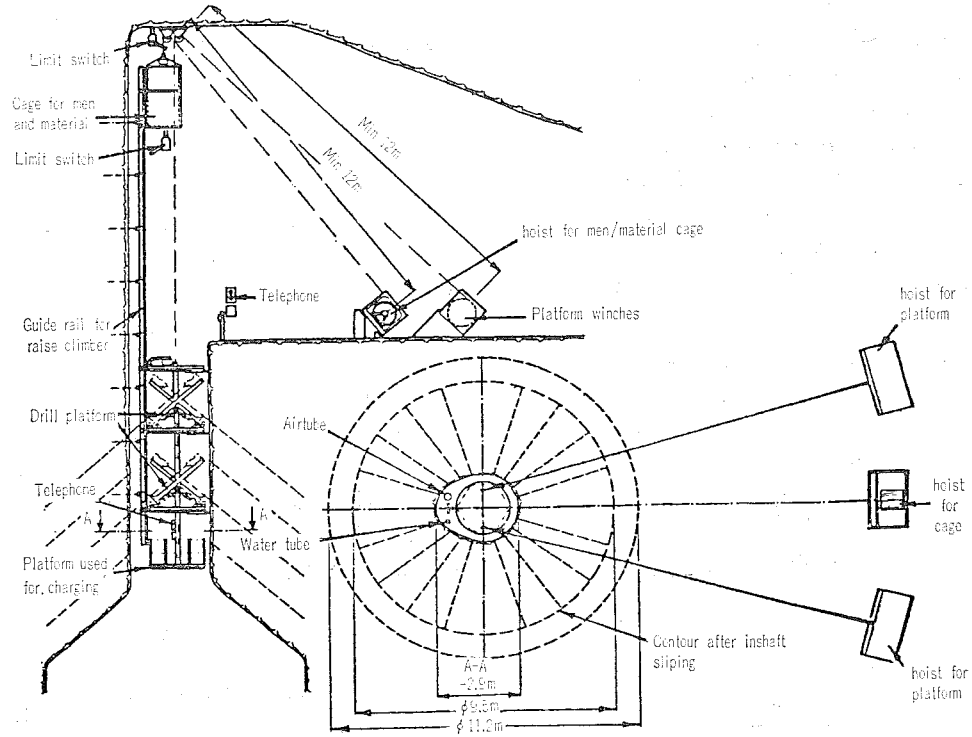


図-37 クライマーを利用した導坑先進切り広げ工法（上向き掘削）（Mining Magazine, August, 1979, p.107より）

4-5-3 上向き全断面掘り上がり工法

この工法は、上向きにベンチカット式に1~3mずつ全断面爆破掘削、掘り上がっていくもので、爆破ずりは、掘り上がり足場として切羽内に残していくもので、爆破によって増積した分のずりは、埋め残し足場ずり内に組み上げた円形鉄板シートを利用して、立坑底へ自然落下排出するものである。

埋め残しずり内には、2~3本の円形鉄板シートを組み上げ設置し、このシートを掘削増積ずり排出シ

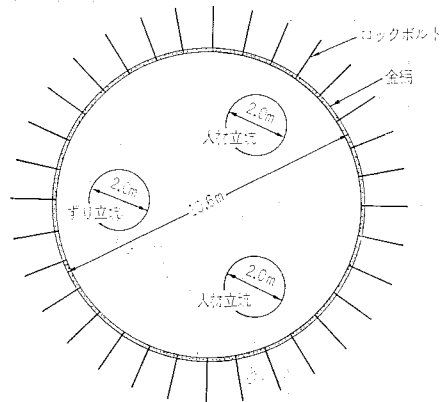


図-38 上向き全断面掘り上がり工法標準断面図（シート配置図）

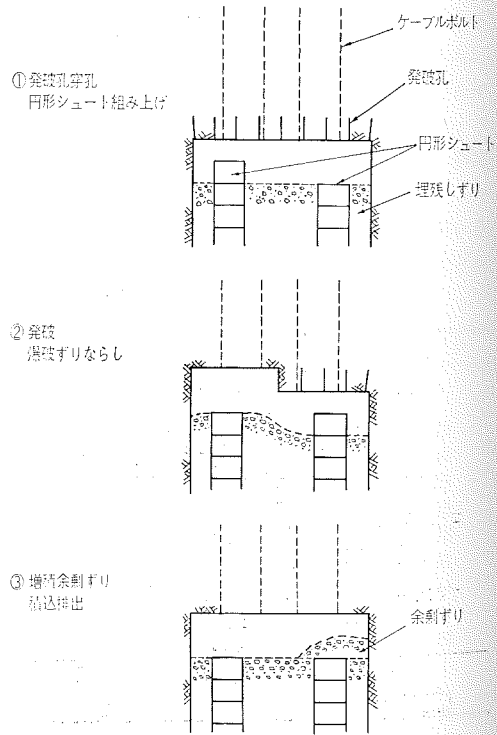


図-39 上向き全断面掘り上がり工法掘削順序図

表-5 主な立坑掘削工法の比較

掘削工法	概要	適応地質	適用深度	断面	支保工、覆工	設備	安全性
掘削掘り下がり工法（普通工法）	発破による掘り下がり工法	種々の地質に可					
ショートステップ工法	1発破ごとに掘削、覆工をくり返す（覆工は逆巻）	軟弱地質～硬岩（地質に対する適応性大）					
ロングステップ工法	地山を1時支保工で押え、20~30mごとに順巻で覆工をまとめて実施	軟岩～硬岩（不良地質に問題あり）					
セミロングステップ工法	地山を1時支保工で押え、5~10mごとに覆工する	同上					
NATM的工法	ロックボルト、吹付けコンクリートで地山変位を拘束、必要に応じ覆工を行う	軟弱地質～硬岩					
掘削掘り上がり工法	発破による掘り上がり工法	地質の良い所向き					
足場付掘り上がり工法	立坑内（木製or鋼製）を組み、それを足場として掘り上がる方式	中硬岩～硬岩（技術があれば軟岩でも可）	20~30m以下	4.0~8.0m ² （矩形断面）	木製支保工（鋼製もあり）	小	悪
クライマー工法	アリマッククライマーを用いて掘り上がる方式	中硬岩～硬岩（亀裂が多いと不可）	200m以下（100m程度が最適）	4.0~6.0m ² （矩形断面）	素掘り	やや大	悪
ステージプラットフォーム工法	長孔穿孔発破による掘り上がり方式	同上	40~50m以下	特になし	同上	小	やや良
機械掘削工法	機械掘削による方式	軟かい、均質地質向き					
レイズボーラー工法	パイロット孔を掘り下げ、リーミングアップする方式	軟岩～中硬岩（崩壊性、膨張性地山は不可。硬岩は、コスト高）	200m以下	φ=1.0~2.0m	素掘り	やや大	良
リバーサーキュレーション工法	全断面掘削、掘り下がり方式、泥水を使用する	軟岩（膨張性不可。逸水地山不可。硬岩は、コスト高）	同上（実績は100m程度）	φ=1.0~3.5m	素掘りorケーシングパイプ	大	良
シールド掘り上がり工法	鋼製セグメント支保工を設置し、掘り上がり機械方式	軟弱地質～中硬岩（膨張性、崩壊性地山可）	60~80m(?)以下（実績35m）	φ=1.2~1.5m	鋼製セグメント	やや大	良
全断面立坑掘削機	全断面掘削、掘り下がり方式、支保工、覆工平行方式	軟岩(?)～中硬岩（不良地山では地盤改良要）	467mの実績あり（海外実績）	φ=4.5~6.5m（海外実績）	鋼製セグメント or 吹付けコンクリート	特に大	良
大断面工法		良質地質向き					
導坑先進切り広げ工法	導坑先進切り広げ掘削方式、導坑は、クライマー、レイズボーラーなどによる	軟岩～硬岩（導坑掘削方式により規制される）	200m以下（導坑掘削工法で規制される）	φ=4.0m以上が望ましい	コンクリート吹付け or コンクリート	やや大	普通
全断面掘り上がり工法	ケーブルボルト支保工を用いて、埋め残し足場による上向き全断面掘り上がり掘削	中硬岩～硬岩（不良地山では地盤改良要）	100~200m(?)以下	φ=8.0m以上が望ましい	同上	やや大	やや悪

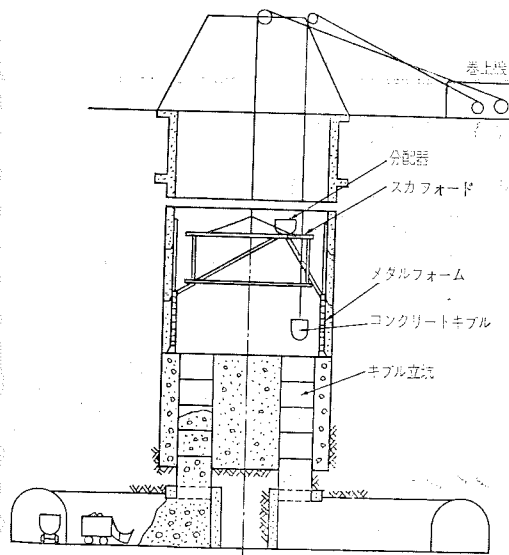


図-40 上向き全断面掘り上がり工法、覆工概念図

ート、材料運搬シュート、人員通路および換気シュートとして利用する。

掘削の順序は、本体部では“1ステップ分の上向き穿孔→円形鉄板シート組み上げ（1ステップ分）→爆破→爆破ずりを組み上げ鉄板シートの高さに合わせて地ならしし、余剰ずりをずりシュートに投入排出→側壁ロックボルト支保工（地質によっては、吹付けコンクリート）を1サイクルとし、これを繰り返しながら上向きに掘削する。”

この際、上向き掘削時の天端切羽支保工としては、掘削に先立って、上向きに15~20m長のケーブルボルト（PC鋼線）を打設しておき、地山の変位を押え、天端よりの肌落ちを防止する。掘削時には、このケーブルボルトを切り取りながら上向きに掘削していく。ケーブルボルトの地山内残長が短くなると、掘削を止めて、ケーブルボルトを新たに打設、オーバーラップさせる。

発破孔およびケーブルボルト孔の穿孔は、ジャンボあ

るいはスローパーを利用し、側壁ロックボルト孔は、レ
ッグドリルを用いる。上向きケーブルボルトをさらに長
くして使用する場合は、小型のボーリング機械を持ち込
んで利用すればよい。

爆破掘削増積ずりの積み込みおよび地ならしは、キャ
タピラー式のロッカーショベルを用いる。円形シュート
は、鉄板を曲げ加工したものを3~4部にして組み上げ
ていく。1ステップ長は、1~3m程度が考えられ、円
形シュートの長さは、このステップ長に合わせる。円形
シュートは、1本は掘削ずりシュート兼排気シュートに、
もう1本は、人員通路、入気シュートおよび材料シュ
ートとして用いられる。そのほかに必要に応じ予備シュ
ートを1本を設け、多目的に利用する。人員昇降は、円形
シュート内に簡易エレベーター(クライマーとかアトリ
オを利用する)を取り付けて行う。

全延長の掘削が完了すると、上部より埋め残しずりを
掘り起こして、シュートに投入、掘り下げていく。1ス
テップ分のずりを取り除くと、直ちにその分のシュート
を解体撤去し、下部に向かってこれらを繰り返していく。

覆工は、上記埋め残しずりの掘り起こし、掘り下がり
作業と平行して、逆巻きで、ショートステップ方式で行
う方法と、全延長の立坑掘削完了後、順巻きで、スリッ
プフォームを用いて行う方式が考えられる。

本工法は、立坑側壁については、掘削ずりを残すこと、
および掘削後直ちにロックボルト打設、吹付けコンクリ
ートなどを行うことで、地山の押し出し変形を強力に押
えることになり、また掘削天端は、全面モルタル接着の
ケーブルボルトを先行して打ち込んでおくことにより、
掘削に伴う切羽天端の変位を強く強く拘束することにな

り、地山の安定が得られやすいことが特徴である。

そのほかの特徴として、掘削機械としては、特殊なも
のは必要ではなく、通常のトンネル掘削機械で間に合う
こと、ずり運搬では、重力を有効に使い、自然落下によ
り坑底に集積されるため、ずり運搬が楽で、能率が良い
ことなどの利点がある。

一方、欠点としては、作業が集約されているため作業
員の技術力が能率、安全性に大きく影響すること、軟弱
部での施工が難しいことなどがある。

4-6 各工法の比較

現在考えられる換気立坑の掘削工法について説明した
が、これら各種工法を大まかに比較してみると、表-5の
ごとくなる。現状では、立坑掘削といえ、普通工法が
採用されることが多いが、換気立坑の場合、通常立坑底
には、下部坑が開削されており、立坑掘削に当たっては、
この下部坑の利用が能率、コストにそして全体工程に大
きな影響を有している。

下部坑の利用で最も効果的なのは、掘削ずりを立坑底
に自然落下させ、下部坑より排出することで、これによ
って運搬設備の節約、運搬エネルギーの節約になる。さ
らに下部坑より直接掘り上がり掘削できれば、立坑上部
の設備は不要となり、進入道路、坑外仮設用地といった
ものがいらなくなり、環境上にも大きなメリットが生ま
れてくる。

換気立坑掘削の将来の方向を考えると、一つは、能率
アップ、作業の安全性向上を考えての機械掘削への道で
あり、もう一つは、自然環境上の制約による下部坑から
の掘り上がり掘削への道ではなからうか。

事務所移転のご案内

平素は月刊技術誌『トンネルと地下』に格別のご愛顧を賜わり厚くお礼申し上げます。

さて、弊社では、かねてより懸案としておりました事務所を下記に移転することになりました。

これを機会に機構を整えて、土木技術者各位に役立つ実務書、参考書を鋭意刊行してまいります
ので、今後ともより一層のご支援とご鞭撻をお願い申し上げます。 敬 具

昭和55年8月吉日

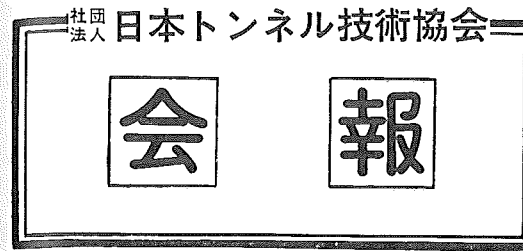
株式会社 土木工学社
代表取締役社長 山本尚志

— 記 —

所在地 〒162 東京都新宿区岩戸町16番地 メイジャー 神楽坂

電話 03-267-2888番(代表)

営業開始日 昭和55年8月27日



●会員現況

	6月25日現在	7月25日現在
正会員	1,596名	1,611名
団体会員	212名	212名
個人会員	1,384名	1,399名
準会員	107名	107名
名誉会員	1名	1名
計	1,704名	1,719名

●第43回理事会

日時 昭和55年7月10日12時~14時

場所 日本トンネル技術協会会議室

出席者 理事35名中28名、監事3名中3名

議題 ①入会33名、退会29名の承認、②役員交替

I T A プリュッセル総会において尾之内副会長が I T A 理事に選任されたことを報告した。

●委員会の活動状況(昭和55年7月1日~31日)

①7月1日/第69回会誌委員会

遠藤副委員長ほか6名、(1)8月号の会誌および会報の検討、(2)現場日より対策、(3)巻頭言依頼対策

②7月4日/第10回(施)山岳トンネル施工小委員会

佐藤小委員長ほか11名、(1)昭和55年度自主研究課題(漏水防止対策研究の経過および膨張性地山における N A T M の合理的施工法)および受託研究の現況

③7月4日/第1回シンポジウム設計、施工合同打合せ
斉藤委員長ほか16名、(1)実行委員会の設置、(2)実施方針の打合せの検討

④7月7日/第66回国際委員会

吉村委員長ほか10名、(1)I T A 理事会報告、(2)I T A 作業部会対策、(3)ニースシンポジウム論文対策

⑤7月7日/(安)安全対策小委員会特別幹事会打合せ

大塚幹事ほか1名、(1)爆発基準報告書原稿の査読

⑥7月8日/第57回事業委員会

北原委員長ほか10名、(1)催物の結果および計画

⑦7月9日/第3回(施)膨張性地山特別小委員会幹事会

横田幹事ほか9名、(1)第3章(3-3)吹付けコンクリートの査読

⑧7月10日/第49回総務委員会

植良委員長ほか10名、(1)理事会の議案

⑨7月11日/第8回 I T A 安全部会対策小委員会

中井小委員長ほか8名、(1)リュッセル会議報告と今後の対策

⑩7月11日/第32回安全対策小委員会、第14回爆発対策特別幹事会(合同)

中井小委員長ほか19名、(1)爆発災害防止技術基準案の審議、(2)研究課題の検討(照明などの設備対策)

⑪7月15日/第5回安全研修幹事会第1回山岳部会打合せ

中村幹事ほか5名、(1)テキスト原稿の査読(環境対策)

⑫7月15日/第14回(施、山)漏水分科会

立石主査ほか13名、(1)防水、止水、排水材および氷結防止工などの検討

(2)執事作業方針の検討

⑬7月16日/第19回海峽線文献調査幹事会

久保幹事ほか6名、(1)昭和55年度特別翻訳文献27編の選定および翻訳担当者の決定

⑭7月16日/シンポジウム設計部門打合せ

佐藤幹事ほか3名、テキスト原稿の執筆分担

⑮7月16日/安全経費小委員会

杉山委員長ほか10名、実態調査項目の検討

⑯7月18日/第2回 N A T M 適用対策特別小委員会

山本委員長ほか18名、今年度方針の討議

⑰7月18日/第2回湧水対策特別委員会

盛下委員長ほか28名、(1)昭和54年度事業成果の検討

(8)7月22日/第6回安全研修幹事会第2回山岳部会打合

中村幹事ほか4名、テキスト原稿の査読(照明、換気、騒音、振動)

⑱7月23日/爆発対策特別幹事会打合せ

大塚幹事ほか1名、爆発報告書の修正

⑲7月24日/第11回資材機械委員会幹事会

谷幹事ほか12名、(1)資材機械説明会、(2)資材ハンドブック原稿審議

⑳7月28日/爆破技術特別委員会打合せ

山口委員ほか3名、(1)委員会対策

㉑7月29日/第5回膨張性地山特別小委員会幹事会

大塚幹事ほか6名、(1)第3章(3~4.5)(ロックボルト、鋼支保工)の査読

㉒7月30日/第1回安全経費小委員会幹事会

津下副幹事ほか7名、(1)調査報告の検討

㉓第2回変状対策特別小委員会

佐藤委員長ほか20名、(1)作業方針の検討

㉔7月31日/第7回安全研修幹事会第3回山岳部会打合せ

このような湧水に対し、現在行われている処理方法は下記のとおりである。

(1) キブルによる排水

比較的湧水量が少ない場合には、サンドポンプでずりキブルに汲み入れ、ずりと一緒に巻き上げる方法が採られるが、100 l/min 程度の湧水が限度である。

(2) ポンプ設備による排水

水抜きボーリングの無い立坑で、湧水がある場合には、

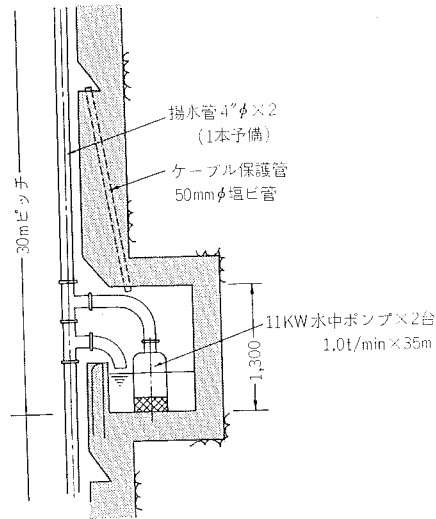


図-42 小容量揚水設備 (1.0t/min 以下)

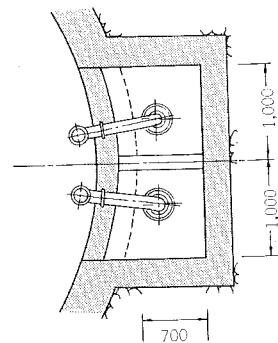
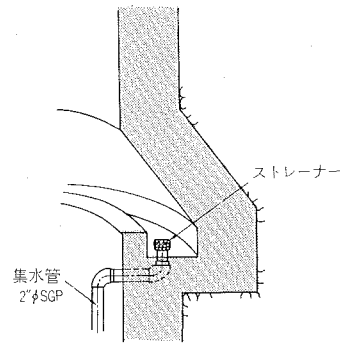


図-43 ウォーターリング構造



揚水設備を設けなければならない。予想される最大湧水量に対して計画するが、立坑深度、揚水量によって 図-42および図-43のような設備が設けられる。

これら設備の問題点を挙げると、

(i) 設備工事に、かなりの時間と費用を要す。

(ii) ずり積み中に、スライムを含んだ濁水を吸い上げるので、定期的に、バックの掃除やポンプの整備を行わねばならず、掘削作業が中断される。

(iii) 発破の際、坑底ポンプを一時撤去するので、ずり積み開始までにかかなり水が溜まる。

(iv) ずり積み中には、坑底ポンプを絶えず移動しなければならず、ずり積み能率が低下する。

(v) 電力消費量が多い。

(3) 水抜きボーリング孔による排水

水抜きボーリング孔による排水が、最も有効な方法であり、排水能力も大きくなる。一般に、100mmφ程度のケーシングパイプが最も多く使用されているが、孔曲がりや湧水量によっては、150mmφまでのケーシングパイプも使用されている。この水抜きボーリング孔は、立坑掘削にとって非常に大切なもので、閉塞事故を起こさないように、細心の注意を払わなければならない。発破時には、ケーシングパイプ周辺の穿孔配置や装薬量に留意し、保護ロープを中に入れて、ケーシングパイプの折損閉塞事故を防ぐ。

(4) ウォーターリングによる集水

掘削中に出た湧水は集水を行うが、完全に集水することは不可能で、必ずコンクリート打設継目から湧出してくる。この湧水がだんだん多くなってくると、コンクリート打設時に型枠の中へ流入し、コンクリートの品質低下をまねいたり、立坑内へ飛散して作業環境を悪くする。このような場合には、図-43のようにウォーターリングを設けて集水処理をする。このウォーターリングは、立坑内壁に20~30m間隔で設けられ、湧水量によって規模も異なる。

5-1-2 水抜きボーリング

湧水のある立坑掘削では、水抜きボーリング孔は非常に重要であり、この水抜きボーリング

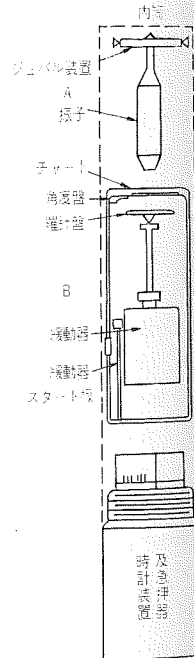


図-44 村田式孔曲がり測定器構造

孔の有る無しでは、立坑掘削能率および工事費に大きく影響してくる。この水抜きボーリング孔の施工に当たっては、併せてコア採取により、地質状態の把握や湧水状況を事前に知ることは、立坑掘削にとって非常に有利である。

水抜き孔のケーシングパイプは、一般に内径 90~150mmφのものが採用されている。この孔径は排水量、立坑深度、孔曲がり修正の難易度、工事費などを勘案して決定されている。一般に、600m 程度の立坑で防水グラウトを行う場合には、100mmφ程度が最も多く採用されている。排水能力(深度400m)は100mmφで3.5m³/min、150mmφで0.2m³/min程度である。以下、一般に採用されている100mmφ水抜きボーリング孔の施工について述べる。

(1) ボーリング施工概要

表土層部では、8φガイドパイプを挿入し、2~3m岩着させてセメンテーションを行う。以下NQワイヤーラインで、コアを採取しながら、先進削孔を行う。10~20mごとに孔曲がり測定を行い、湧水、逸水を調べながら、所定の深度まで先進する。以後、130mmφオープナービットで拡孔し、100mmφケーシングパイプを挿入する。途中、断層や崩壊箇所では、泥水またはセメントにより保孔を行って削孔する。表-6は水抜きボーリング工事に使用されているボーリング機械の仕様である。

(2) 孔曲がりについて

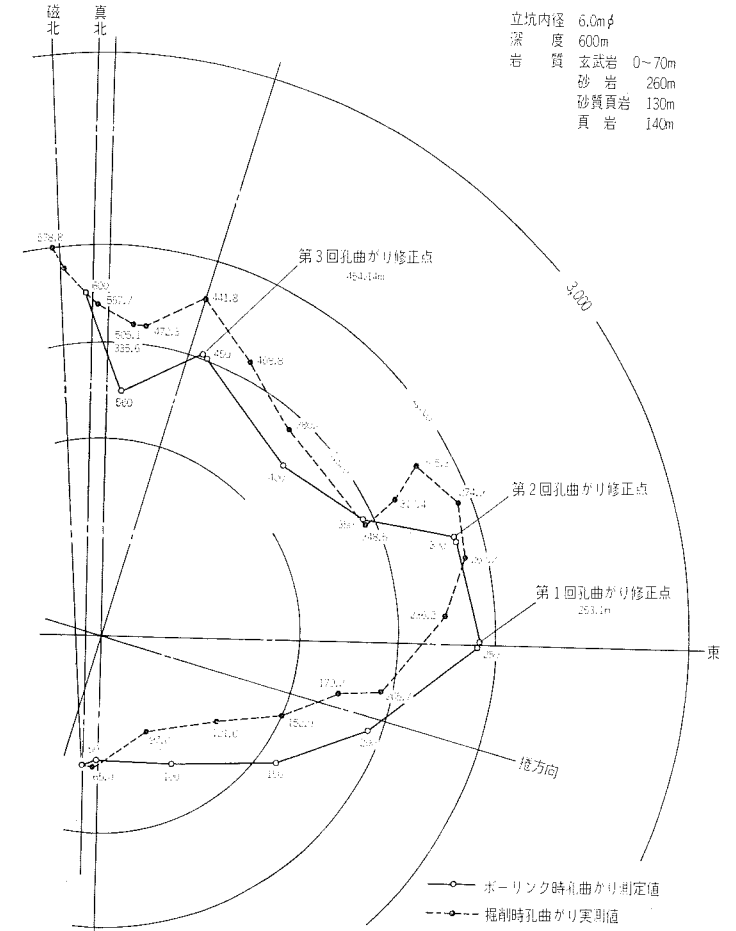


図-45 水抜きボーリング孔偏心実績

孔曲がり許容範囲は、一般に安全を見込んで、立坑内径の80パーセント以内とされている。先進削孔中には、10~20mごとに孔曲がり測定を行って、上記許容範囲外に出そうな場合には、孔曲がり修正を行わなければならない

表-6 立坑水抜きボーリング機械仕様

機 種	機 形	掘 進 能 力		原 動 機		重 量 (kg)	
		ロッド径 (mm)	深 度 (m)	種 別	出力 (kW PS)	総重量	分解最大重量
特利根ボーリング	TEL-3	NX~AX	800~1,300	M E	22 30~40	3,000	500
鉦研試錐工業(株)	クラスターCR-2B	NQ~BQ	1,200~1,500	M E	30 40~50	3,700	620
東邦地下工機(株)	D-12B	50~85	1,500	M E	30 50~60	4,800	500
ヤマトボーリング(株)	A-1200	50~60	1,200	M E	30 50	3,300	500
日本ロングイヤ(株)	L-44	HQ~AQ	500~1,300	M E	22 30~50	3,300	500

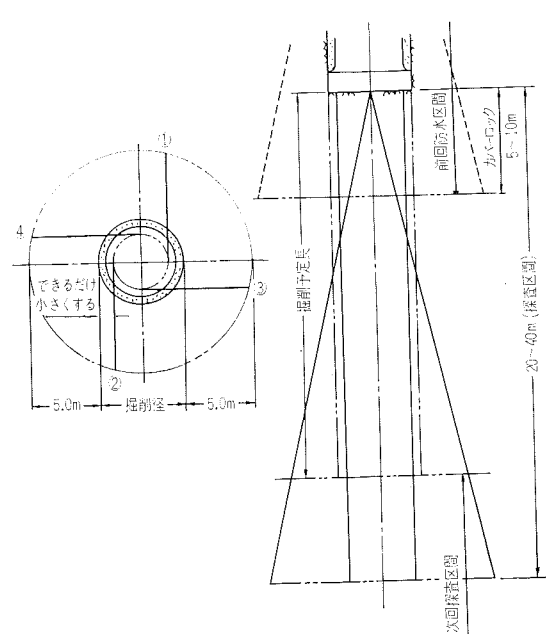


図-46 探査ボーリング規格図

い、孔曲がり測定には、イーストマン式、村田式、トトロ式、トロバリ式、三鉱式などがあるが、立坑の場合は、比較的簡単に方向・傾斜の測定が可能な村田式(図-44)が、一般に用いられている。孔曲がり修正は、ホイップストック掘り方式で行われ、作業手順は次の通りである。

(i) まず、先進孔の孔曲がり位置の孔芯をチェックして、曲がり方向・角度を計画する。

- (ii) 孔曲がり位置まで105mmφに拡孔する。
- (iii) 100mmφガイドケース(非磁鉄製、曲がり角度1~2°)を降下し、方向を決めて固定する。
- (iv) このガイドケースの中を通して、60~45mmφの先進ボーリングを3~6m行い、この先進孔の測定を行う。

(v) 先進孔が所定の方向・角度であれば、以後同様に、NQワイヤーラインで孔曲がりを測定しながら、先進削孔を行う。図-45は、松島炭鉱池島第2立坑での、水抜きボーリング孔偏心実績である。

(3) 施工上の注意事項

- (i) 逸水箇所は原則として、逸水止めの処置をして掘削を行うこと。
- (ii) ケーシングパイプはソケット継ぎとし、十分締付けの後、上下を溶接すること。
- (iii) ケーシングパイプは、原則として、定尺物を使用すること(発破の場合に、ジョイント個所が容易に確認できる)。
- (iv) ケーシングパイプは、閉塞事故防止のため、す

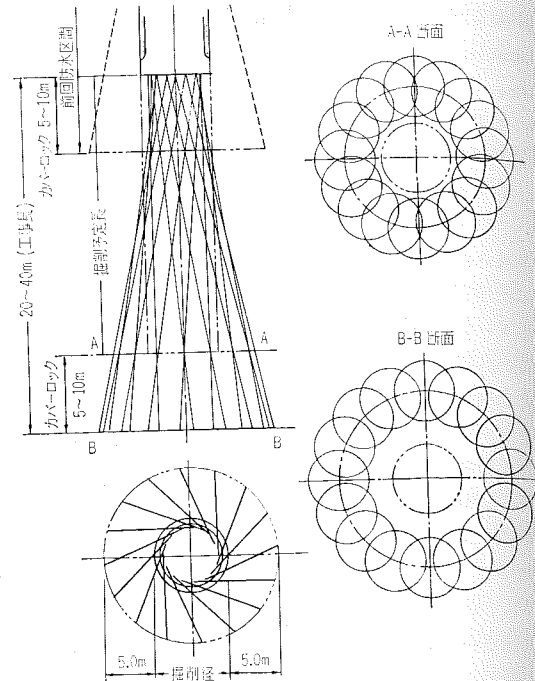


図-47 注入孔規格図

べて同一径とすること。

(v) ケーシングパイプと孔壁の間は、セメントミルクを圧入して完全に充填すること(発破時のケーシングパイプ保護と、グラウト時のミルク漏出防止のため)。

5-1-3 先進防水グラウト

多くの含水層を有する岩盤中に立坑を掘削する場合には、先進防水グラウトは、欠くことのできな重要なものである。従来、立坑掘削中の防水工事はとかく軽視されがちであり、この結果、工事進捗を大きく妨げられた例がしばしば生じている。

先進防水グラウト工法は、水抜きボーリング孔の無い湧水立坑や、水抜きボーリング孔があっても掘削に支障をきたす多量の湧水がある立坑では、必ず実施されている。この工法は、20~40m(岩質、削孔機能力、掘削段階長などにより左右される)を1ステップとして、探査ボーリング、防水グラウト、掘削を交互に繰り返して、立坑を掘り下げる工法である。

(1) 探査ボーリング

立坑掘削前のパイロットボーリングや、付近の地質調査資料で、立坑位置の岩質や湧水状況は大体把握できる。しかし立坑掘削では、亀裂、断層などのために不慮の出水に遭遇し、掘削に支障をきたすことがある。したがって、湧水の前想される立坑では、掘削に先だち、1ステップ20~40mの探査ボーリングを実施すべきである。探

表-7 立坑防水用削孔機仕様

要目	個数	仕	標
ドリフター	1	M110-B	消音型モーター・ローテーションドリフター
ガイドセル	1	ロッドチェンジ	3,000mm
		フィード長	3,800mm
		ガイドセル	チャンネルタイプ(チェーンフィード)
		フィードモーター	MRH-2型(2PS. ヒストンタイプ)
		ガイドテイル	スクリュウタイプ
ガイドスライ	"	"	
コントロールバルブ	1	RCV-21	微調整バルブ付
ロッド径	32mmφ	ウォークスイベル式	
長	全	5,110mm	
全重量	850kg		

査ボーリング規格は、図-46のとおりであり、立坑円周の接線方向(これについては後述する)に4本、所定深度の探査ボーリングを行う。探査の結果、湧水のある場合には、スタンドパイプをセットして注入作業を開始する。もし、4本の探査孔に湧水の無い場合には、この計画深度の掘削を行い、カバーロック5~10m(岩質により決まる)を残して、次のステップの探査ボーリングが行われる。このように、探査、グラウト、掘削を繰り返して立坑を掘り下げれば、不慮の出水に出会うこともなく、能率よく立坑掘削を行うことができる。

(2) 注入孔の規格

(a) 注入孔本数および配置

注入孔の本数は、内径5~6mの立坑では、16本前後が標準となっている。しかし、含水層の亀裂方向、亀裂の発達状態、破碎帯、前回の注入効果などにより、この本数はかなり増減する場合もある(表-11 立坑防水グラウト工事実績参照)。

岩盤注入の場合、グラウトは注入孔と交わる亀裂中に浸し、この間隙を充填する。その浸透範囲は亀裂の規模、亀裂の状況、注入法などによって異なり、極端な場

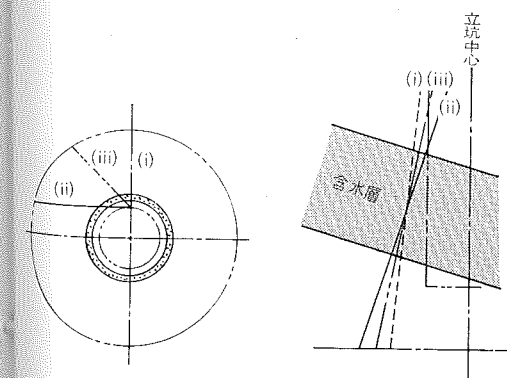


図-48 注入孔削孔方向比較

合には、数十mに及ぶこともある。しかし、注入量が極端に多くなりそうな場合には、これを防ぐことは可能であり、浸透範囲はあまり広く見込む必要はない。実際の計画においては、図-47のように、ボーリング孔先端が、掘削面から5m程度離れるように、立坑円周の接線方向に削孔する。この注入孔を中心にして、半径3mの円を仮定し、各注入孔を中心軸とする円柱状の防水帯を考え、これら防水帯が互に重なり合って、立坑周囲を包囲するよう計画すればよい。

(b) 注入孔の削孔方向

削孔方向としては次の3通りが考えられる。

- (i) 立坑中心より放射線方向
- (ii) 立坑円周に対し接線方向
- (iii) (i)と(ii)の間方向

注入孔の削孔は、なるべく多くの亀裂と交わるように行うのが望ましい。しかし、限られた立坑断面の中で、しかも含水層の上方より削孔しなければならず、理想的な削孔は不可能である。上記3方向を比較すると、図-48に示すように、(ii)の立坑円周に対し接線方向が、削孔長は若干長くなるが、最も良い方向で一般に採用されている。

(c) 注入孔の削孔径

削孔径は、削孔能率が良く、削孔経費が安くて、しかも注入の諸条件を満足するように選定される。回転衝撃式の削孔機を使用する場合には、55mmφ程度のビットが一般に使用されている。

(3) 注入孔ボーリング

(a) ボーリング設備

防水グラウト工事は、ボーリング作業と注入作業の反覆作業であるが、注入作業には十分時間をかけ、慎重に行わねばならない。したがって、防水工事全体の能率を向上させるためには、ボーリング作業で、能率の良い試錐機を使用しなければならない。破碎帯などの地山不良地帯を除き、一般に、削孔能率の良いドリフターを使用し、ノンコアで削孔している。図-49は、立坑移動型枠にセットして使用する立坑防水用削孔機であり、表-7はその仕様である。

(b) ボーリング作業上の留意事項

- (i) 削孔中の各深度における湧水量、練粉の種類、削孔速度などを記録し、ビット磨耗度の推定、注入作業時の状況判断などに利用しなければならない。
- (ii) 削孔中は、常に給水量および排出練粉量の変化に注意を払わねばならない。特に削孔途中で湧水があっ

た場合、その湧水位置を通過してなお予定深度まで削孔する時には、湧水と給水と間違えて、ビットの給水孔が閉塞しているのに気付かず、そのまま削孔して、ビットの損傷、ロッドを取られるなど、思わぬ事故を起こすことがある。

(iii) ロッドおよびジョイントスリーブは、ネジ部の

検査を十分行い、不良品は絶対に使用しないこと。もしロッドとスリーブの継目から漏水があると、所要の給水を行っても、ビット刃先へ必要な給水が行われず、ビットの損傷、ロッドを取られるなど、トラブルの原因となる。

(iv) ビットの取替えやロッドの継ぎ足しの後に、再

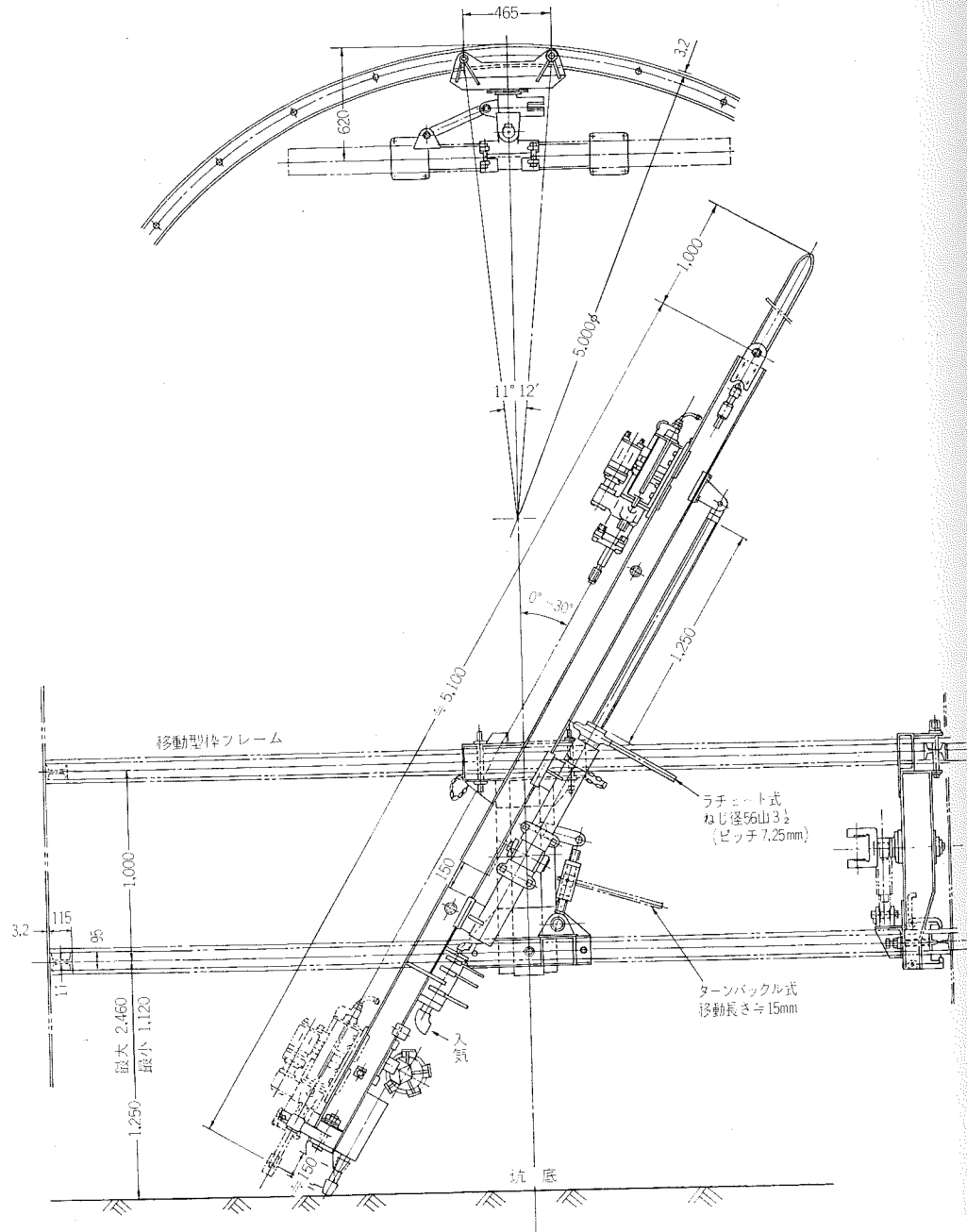


図-49 立坑防水削孔機

表-8 高圧注入ポンプ仕様 (定圧自動変量形)

機種名	HFV-2B型 (ヤマト)	VP-G2型 (鉦研)
吐出圧力	5~120kg/cm ²	8~85kg/cm ²
吐出量	0~45 l/min	0~46 l/min
ストローク長	300mm	300mm
ストローク数	0~20 rpm	0~12 rpm
ピストン径	57mm	65mm
油圧ピストン径	74mm	80mm
口径	吸入 40A, 吐出 32A	吸入 38mm, 吐出 32mm
原動機	15 PS×6P	11kW×6P
重量	ポンプ400kg, パワーユニット700kg	ポンプ520kg, パワーユニット600kg

に、立坑底に高圧グラウトポンプ、その他注入機材1式を持ち込み、立坑底で注入作業を行う場合と、坑外に注入設備を設置して行う場合がある。前者は、立坑内に注入管を布設する手間は省けるが、反面、立坑内の狭いスペースに注入機材を持ち込んでの注入作業で、設備台数に制限を受けたり、ポンプ保守の困難、グラウト材のロスなど欠点が多く、現在では、ゲルタイムの速い業液注入の場合にのみ採用されている。後者の坑外に注入設備を設置する方法は、注入管が多量に必要であるが、前者のような欠点はなく、立坑深度の果進にしたがって、その落差を利用して注入初期の低圧注入に効果を上げ、ポンプの故障も少なくなるなどの利点を有し、現在では殆どこの方法が採用されている。

深い立坑での湧水は、比較的水圧が高く、極端な場合は水頭差がそのままかかる場合もある。したがって、立坑のグラウトポンプ設備は、一般に高吐出圧型のものが使用される。表-8は立坑で使用されている高圧注入ポン

表-9 グラウト配合表 (200 l 当たり)

水比	比重	水量 (l)	セメント量 (kg)	ベントナイト量 (kg)	ポゾリス量 (kg)
1:8	1.0786	991.2	23.2	0.70	0.06
1:6	1.1034	743.4	30.5	0.92	0.08
1:4	1.1510	495.6	44.6	1.34	0.11
1:3	1.1962	371.7	57.9	1.74	0.14
1:2	1.2799	247.8	82.6	2.48	0.21
1:1	1.4882	123.9	144.1	4.32	0.36

注) 比重 高炉セメントB種 2.93, ベントナイト 300# 2.58, ポゾリスNo.8 1.10, ベントナイト=セメント×3%, ポゾリス=セメント×0.25%

表-10 濃度切替基準

ミルクの濃度	1:8	1:6	1:4	1:3	1:2	1:1
経過時間(分)	120	120	120	120	60	—

- (i) 注入している濃度で圧力の上昇が見られる間は濃度を変えない。
- (ii) 注入圧力が注入中の濃度で上表に規定された時間内に上昇しない場合は濃度を一段濃くする。
- (iii) 濃度を上げて圧力が急上昇する場合は直に1段薄い濃度に切替える。

び削孔を開始する時には、削孔機は必ず回転を先に行い、ビット刃先が孔底岩盤に着岩したことを確認の後、初めて打撃をかけるようにしなければ、ビットまたはロッドの脱落事故を起こすことがある。

(v) 予定深度までの削孔が完了したならば、ロッド引上げに先だって、このポアホールの水洗を十分行い、線粉を完全に排出し、注入効果を上げるように心がけねばならぬ。

(4) 注 入

(a) 注入設備

立坑における注入作業は、各ステップ注入のたびごと

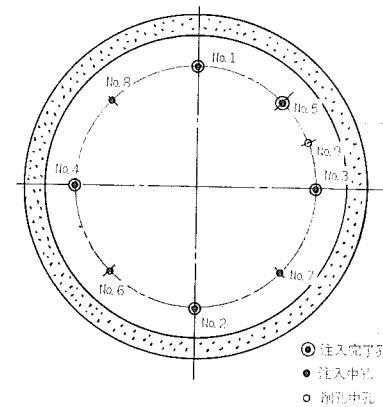


図-50 注入順序

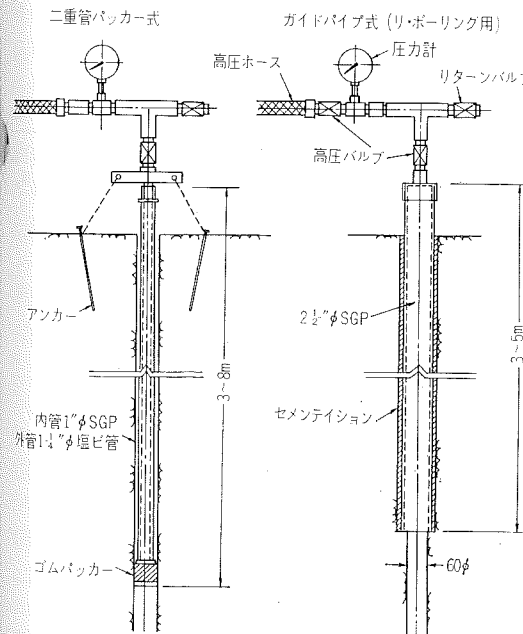


図-51 スタンドパイプ構造

プの仕様である。

(b) 注入順序

注入順序としては、図-50のように、最初、向き合ったNo. 1, No. 2, No. 3, No. 4の4孔を削孔注入し、注入完了を待って、次に、これらの中間にNo.5, No.6, No.7, No.8を削孔注入する。このように、防水範囲を次第に広げてゆく中間挿入法で作業は進められる。この方法は、次の削孔で前の注入孔の注入効果を調べることができ、有利である。

(c) 注入材料および配合

現在、注入材料として用いられているものには、セメント系（セメントグラウト、セメントモルタルグラウト、セメントベントナイトグラウトなど）、セメント薬液系（LW、SSセメントなど）、薬液系（水ガラス系、高分子系）があり、それぞれ特質をもっている。

立坑では一般に高圧注入であるので、強度の出るセメント系グラウトが主に用いられているが、亀裂が大きく大量の注入が予想されたり、逆に破砕帯などでセメントミルクの浸透が思うようにならない場合には、LWや水ガラス系薬液が用いられている。カバーロックの岩質が非常に悪く、グラウトの漏出が多く注入困難な場合には、ウレタン系薬液が非常に有効であるが、暫定指針による使用規制があるので、取扱いに注意を要する。表-9は立坑注入における配合の一例である。

(d) 注入方法

探査の結果湧水のある場合には、図-51のようにスタ

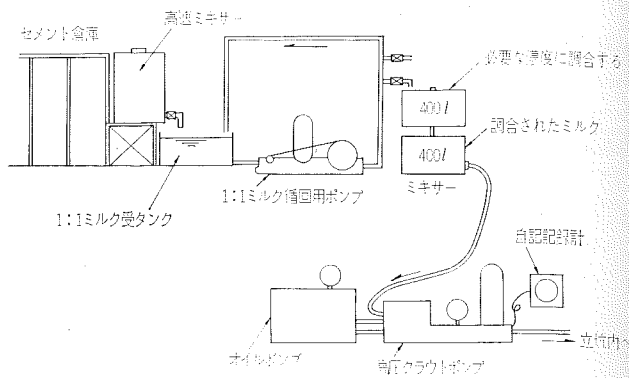


図-52 注入組織図

ンドパイプをセットし、注入に先だって湧水量・湧水圧の測定および水押しテストを行い、注入孔自体の注入特性をつかみ、注入時の状況判断に役立たせる。水試験が終わると注入作業を開始する。注入セメントミルクの濃度は1:8から始め、単位注入量は10~30l/minで、濃度の切替えは表-10のような基準にしたがって行われる。図-52は注入組織の一例である。

立坑の湧水は、しばしば、非常に高い湧水圧を有する場合がある。このような高圧湧水に対しては、上記基準によらず、時間をかけて慎重に注入を行い、発破振動などにより、防水帯が破られ出水することのないよう注意しなければならない。注入の最終圧力は、一般に湧水圧の3倍程度とされている。表-11は、含水地帯に掘削された立坑の防水グラウトの実績である。

5-2 工事後の湧水対策

湧水地帯に施工された立坑では、多かれ少なかれ、壁

表-11 立坑防水工事実績表

立坑名	防水回数	防水日数	工事長 (m)	削孔			湧水 (孔当り)			注 入				残水量 (l/min)	穿孔機	
				本数 (本)	全削孔長 (m)	再削孔長 (m)	全湧水量 (l/min)	最大湧水量 (l/min)	最大湧水圧 (kg/cm ²)	注入本数 (本)	セメント量 (t)	フライアッシュベントナイト (t)	薬液 (l)			
松島炭鉱 大島入気立坑	26	154	667	226	6,679	—	5,053				226	752	148	16,800	120	ザルゲッターBG-III
北炭 平和第3立坑	10	145	225	216	7,653	—	12,022	600	14	189	865	59	43,000	20	石油さく井P-4	
松島炭鉱 池島第2立坑	25	200	553	459	13,848	—	9,105	500	34	459	1,090	440	10,600	100	ザルゲッターBG-III	
山陽新幹線 大鳴立坑	9	95	118	243	3,764	—	9,808	300	8	243	274	—	8,390 * 7,510		古河M110-B	
北炭 夕張新鉱第1立坑	30	236	869	549	20,669	—		2,500	50	495	2,767	—	2,020		石油さく井P-4	
北炭 夕張新鉱第2立坑	22	323	790	582	25,660	—		1,200	45	548	2,749	—	17,830 * 33,000		"	
松島炭鉱 藤島入気立坑	30	225	653	414	13,065	7,415	23,043	2,500	27	414	1,199	1	16,890	100	古河M110-B	
松島炭鉱 藤島排気立坑	28	232	603	416	12,734	3,421		1,200	29		1,435	6	7,016	110	"	

薬液：珪酸ソーダ、※ウレタン系

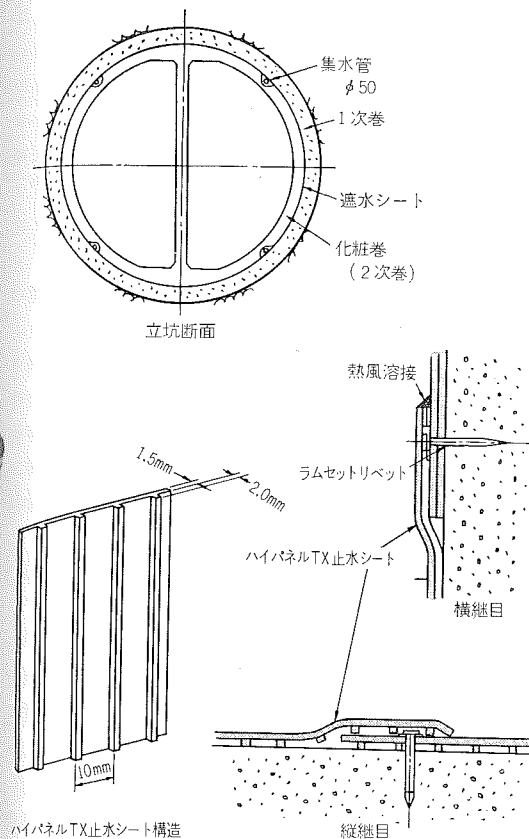


図-53 遮水シート施工図

面からの漏水があるものである。冬期、寒冷地では、この漏水が凍って立坑壁面につららを生ずる。このつららは次第に生長して大きくなり、立坑通気断面を縮小したり、また、暖かくなると、落下して地下換気所の設備を損傷するなど、換気立坑にとっては非常に有害なものである。したがって、寒冷地での換気立坑では、この漏水を処理し、つらら防止に注意を払わなければならない。

この漏水処理として、トンネルの場合には、覆工面に排水と保温を兼ねた止水板を取り付ける方法が採られている。しかし、立坑の場合は、施工後の補修が不可能に近いので、覆工面に水を全く出さない方法が採られている。すなわち、1次巻きの上に遮水シートを張って水を完全に閉じ込め、この上に2次巻コンクリートを施工する工法が採用されている。水はこの遮水シートと1次巻の間を流下し、2次巻コンクリートへの漏水を完全に遮断する方法である。

この遮水シートには、次の条件を満足するものを選定しなければならない。

(i) コンクリート打設時の側圧によって、通水断面

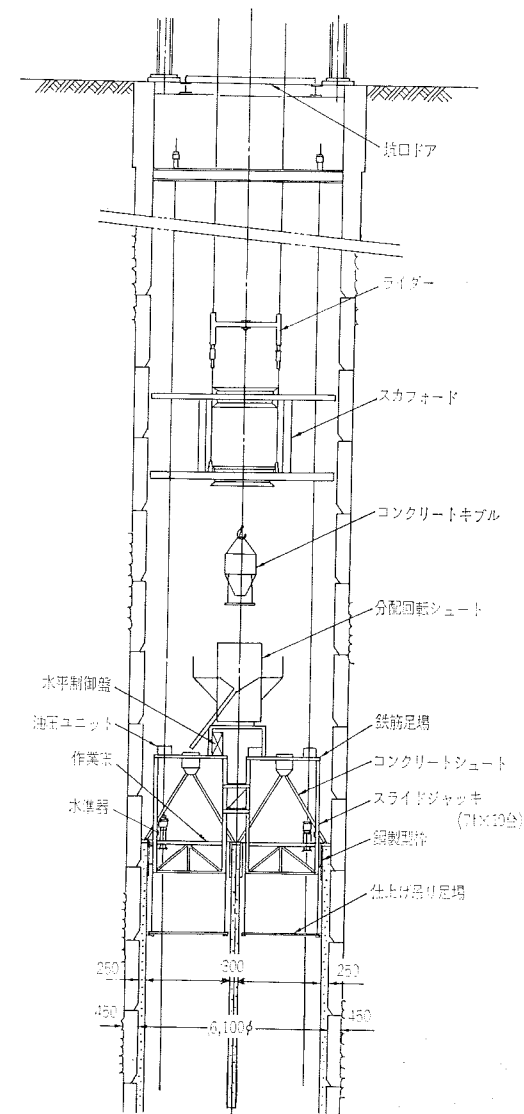


図-54 スリップアップ工法概要図

がつぶれない強度を有すること。

(ii) コンクリートの成分、漏水中の成分などに対し、化学的に安定であること。

(iii) 継目の接着が容易であること。

(iv) 1次巻き面には集水管などがあり、これらを覆ってなじみ良く張れること。

(v) 軽量で取扱いやすいこと。

(vi) 廉価であること。

以上の条件を満足するものとして、一般にポリエチレン製の止水板が使用されている。なお、2次巻きの施工には、一般にスリップアップ工法が採用されている。図

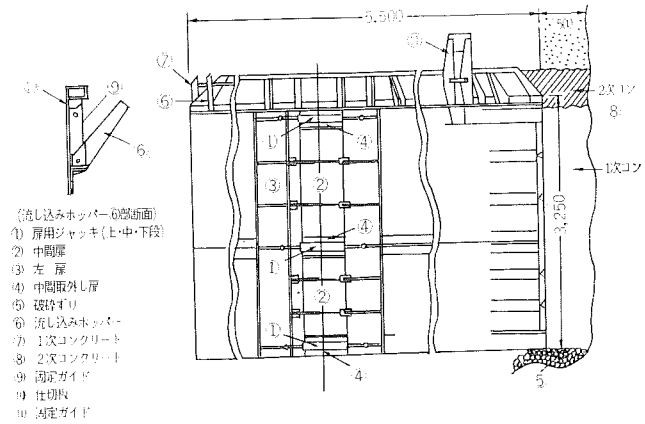


図-55 特殊移動型枠構造

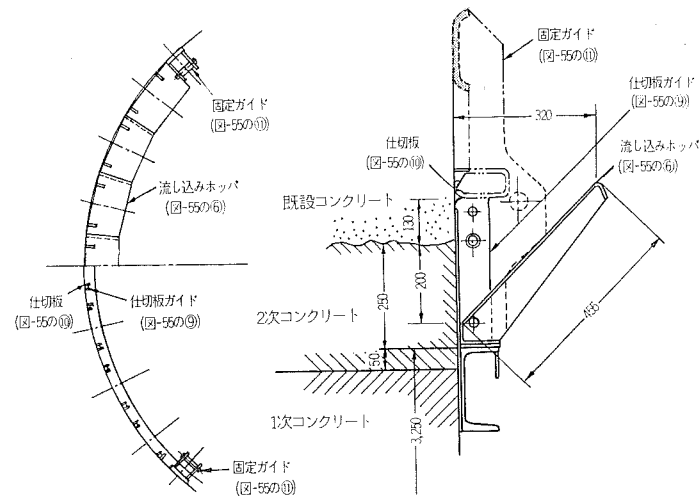


図-56 特殊移動型枠上部詳細

-53は遮水シート施工概要である。

5-3 覆工面の仕上げ

ショートステップ工法による立坑掘削では、コンクリートは逆巻きとなり、各ステップの施工継目には三角の切欠部ができる。一般に換気立坑では、立坑内風速は非常に速く、この三角切欠部は通気抵抗を増大させる。この通気抵抗を小さくするために、立坑断面を大きくしたり、ショートステップ工法で1次巻きを行い、この上に化粧巻き(2次巻き)を施工している。また、特殊型枠

を使用して、この三角切欠部を造らない工法も実施されている。

5-3-1 化粧巻工法

化粧巻工法としては、ショートステップ工法で掘削、1次巻きを終えて後、ジャッキを使用して下からスリップフォームを引き上げながら、連続的に化粧巻コンクリートを打設する、スリップアップ工法が採用されている。この工法の概要は図-54のとおりであり、型枠高さは1.2~1.5mのものが使用され、スリップアップ速度は、この型枠高さのコンクリートの自立最小圧縮強度によって求められる。いま、型枠高さを1.2mとすると、自立最小圧縮強度は次のとおりである。

$$120\text{cm} \times 0.0024\text{kg/cm}^2 \times 2 (\text{安全率}) = 0.58\text{kg/cm}^2$$

この圧縮強度を出現する時間は、コンクリートの配合、練り上がりおよび養生温度にもよるが、これを6時間とするとスリップアップ速度は $1.2\text{m} \div 6\text{時間} = 0.2\text{m/h}$ となる。

また、スリップアップ時における作業上のトラブルや、休日のためスリップアップを長時間停止する場合には、ジャッキに過負荷のかからぬよう30~40分に1回(1ストローク50mm)の割で引き上げ、縁切りスライドを行う

必要がある。

5-3-2 特殊型枠を使用した施工例

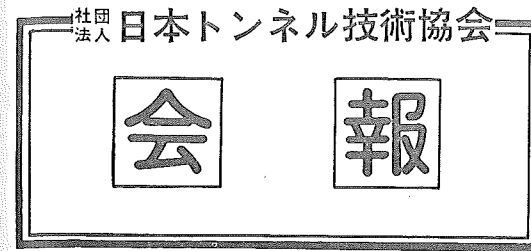
この工法は化粧巻工法の工期、工事費を軽減させるために考案され、三井砂川南部排気立坑で実施された。施工方法は、図-55および図-56のように、立坑内部に傾斜した着脱式型枠を取り付け、1次コンクリートを打設する。次に、円周を4分割して、2次コンクリートを打設しながら順次仕切板を差し込み、テーバー型枠を取り外して、切欠部の無い施工継目に仕上げる工法である。

好評発売中!!

建設工事の保安地質学 理学博士 石井康夫著

A5判・460頁・上製箱入・4,800円(千200円)

土木工学社 03-267-2888



●会員現況

	7月25日現在	8月25日現在
正会員	1,611名	1,625名
団体会員	212名	211名
個人会員	1,399名	1,414名
準会員	107名	107名
名誉会員	1名	1名
計	1,719名	1,733名

●委員会の活動状況 (昭和55年8月1日~31日)

① 8月4日/第70回会誌委員会
高坂委員長ほか8名, (1)9月号の会誌および会報の検討, (2)今後の投稿予定原稿, (3)巻頭言執筆依頼 (昭和56年) 予定者の選定

② 8月4日/第58回事業委員会
北原委員長ほか11名, (1)催物結果 (サウエル博士, アンベルグ氏特別講演および水川台地下鉄などの現場見学), (2)催物計画経過 (施工体験発表会, アサハン見学会, トンネル技術特別講演会と映画の会, 資材機械説明会, N A T M技術講習会), (3)ブライトン "トンネリング82"論文募集案内

③ 8月7日/第1回シンポジウム設計Bグループ打合せ
土屋委員長ほか2名, (1)テーマ「ロックボルトの解析手法」の内容の検討, 構成および執筆分担

④ 8月11日/第1回爆破技術特別委員会幹事会
和田幹事長ほか16名, (1)調査対象文献の検討 (国内外雑誌, 論文集および社内報など) および作業分担, (2)作業内容 (リストアップおよび要旨)

⑤ 8月11日/トンネル現況編集小委員会打合せ
青木小委員長ほか3名, (1)「トンネル現況」の査読

⑥ 8月12日/第4回安全研修山岳部会打合せ中村幹事長ほか4名, (1)テキスト原稿の査読 (施工計画, 設計, N A T M工法, 災害事例), (2)今後の作業計画, (3)研修方法

⑦ 8月13日/研究開発委員会打合せ
山本委員長ほか2名, (1)研究開発文献集の追録改訂, (2)委員会の構成, (3)I T A作業部会対策 (標準化部会, 研究開発部会, 地震部会)

⑧ 8月14日/トンネル現況編集小委員会打合せ

青木小委員長ほか2名, (1)「トンネル現況」の査読

⑨ 8月19日/(安)爆発対策特別幹事会打合せ

大塚委員ほか1名, (1)爆発基準報告書原稿の査読

⑩ 8月19日/第1回シンポジウム設計Aグループ打合せ

今田委員ほか3名, (1)テーマ「ロックボルトの解析手法」の内容の検討, 構成および執筆分担

⑪ 8月20日/第2回安全経費小委員会幹事会

杉山幹事長ほか8名, (1)安全経費の構成, (2)調査項目の選定

⑫ 8月21日/第2回シンポジウム設計Cグループ打合せ

佐藤幹事長ほか3名, (1)テキスト原稿の査読

⑬ 8月21日/漏水分科会打合せ

石井委員ほか3名, 打継目止板の効果の検討

⑭ 8月22日/第15回爆発対策特別幹事会

中井幹事長ほか10名, (1)爆発基準報告書の最終検討

⑮ 8月23日/トンネル現況編集小委員会打合せ

青木小委員長ほか2名, (1)「トンネル現況」の査読

⑯ 8月26日/第43回(契)I T A契約部会対策小委員会

友小委員長ほか14名, (1)I T A勧告対策, (2)作業条件の検討

⑰ 8月26日/第30回契約委員会

池原委員長ほか11名, (1)委員会の構成, (2)ブリュッセル会議の報告, (3)I T A勧告 (第1次)の取扱

⑱ 8月27日~29日/第3回環境保全小委員会, 第3回地表沈下対策特別幹事会現地検討会

金安委員長ほか15名

⑲ 8月28日/第15回漏水分科会

立石主査ほか15名, (1)提出 (第1次)原稿の検討

⑳ 8月29日/第3回変状対策特別小委員会

佐藤小委員長ほか22名, (1)トンネル覆工の模型実験, (2)S F R Cによる補修の効果, (3)新幹線のトンネル変状,

(4)トンネル変状と対策事例 (飯田線大月トンネル, 高千穂線境野トンネル)

㉑ 8月29日/第2回シンポジウム設計Bグループ打合せ

土屋委員長ほか2名, (1)テキスト原稿の査読

㉒ 8月29日/トンネル現況編集小委員会打合せ

青木小委員長ほか1名, (1)「トンネル現況」の査読

計22回開催 181名出席

●催物開催結果

① 8月8日/第6回施工体験発表会, 参加者 183名

② 8月24日~30日/インドネシアアサハン現場見学会,

参加者30名

値上げを踏まえて、しゅんせつ、ずい道工事など特に電気使用量の多い工事を対象として、3月24日付で電気料金も対象として追加された。

このように対象品目が合計6品目になったのは、前述の「石油価格の変動によりその価格の流動性が予想され、あらかじめ確保し、備蓄することが困難な建設資材」と限定したため、このため値上がりの動きのある鋼材、木材、アルミニウムなどの建設資材については、備蓄が可能であること、および前渡金によって工事着手前にあらかじめ確保できることなどの理由によって対象から除外された。

なお、この請負代金額の変更は特定建設資材の価格の変動によるものに限定し、その他の建設資材の価額、労務費、機械器具損料、現場管理費および一般管理費等の変更は行わないものとしている。

変更額の算出方法は、原則として各特定建設資材について、その資材の使用を開始する月の1月前から、その使用を完了する1月前までの毎月の資材の実勢単価を算術平均して得た単価と、その資材の当初の設計単価との差額に設計数量を乗じて得た金額についての各資材の合計額を算出するいわゆる精算方式で、その変更の限度額はこうして得た合計額の4分の3を限度とするが、事務処理上この資材価格の変動が小額のもの(200万円)を除くこととしているが、工事金額にして2億円以下の中小規模の工事に対する配慮として、工事の規模に応じて段階的に資材価格の変動分が200万円から5万円までのものを対象とすることとしている。

変更額を4分の3を限度としたことについて、建設省ではインフレーション対策の観点から安易な資材の値上げに歯止めをかけるためとしており、この結果残りの4分の1については請負業者の負担とし、これらの企業の企業努力を求めたものであろう。

なお、契約上の措置として当分の間新規契約工事については付則として次の条文を入れるほか、昭和55年3月31日以前に契約した工事については4月1日以降すみやかに、「標準約款」第47条「補則」により、契約変更の申し入れを行い、前記同様の付則を設けることとしている。

付則

甲又は乙は、石油価格の変動により工期内に特定建設資材の価格に変動を生じ、請負代金額が不適当となったと認めるときは、(第21条)の規定によるほか甲乙協議して請負代金額を変更することができる。

以上が特約条項についての概略である。

また、この取扱いについて建築工事においては、前記

の品目だけでは中小建設業者の救済にならないとして、対象品目の拡大を検討している企業者もあるが、その反面設備工事においてはビニール管等の資材が大きく値上がりしているが、前述のとおり前提のため実際の救済とはならないという業界もある。

一方、企業者側からすれば、各種公団のように一般に工期の長い工事が多く、特約条項が適用されるような工事は、当然スライド条項も適用されることになることから事務量が増大し、日常の発注業務や設計変更業務に支障を与えるのではないかと懸念される。

さらに変動額の財源を、予算の流用または当該工事内容の変更によって求めることになっていることから、新規事業の減少が避けられないという指摘があり、今後その推移が注目されることになろう。

このほか、差額の算出の実務としてずい道工事の電力量のように設計数量が甲、乙間で確定していない場合、実使用量が設計数量と開差がなければ問題は無いが、開差がある場合は過去の実績から工事費中の構成比によるのか、実使用量によるのか、積算数量によって精算するのか積算上の問題が起こることも想像される。

このほか本質的なものとして、この特約条項には問題があると考えられるが、その一つとして資材が上がったときには国が負担し、下がったときには業者のもうけとならねないということが指摘される。事実、アスファルトについてみて、昭和53年当時円高のため石油価格が下がったとき半年前にさかのぼって値下げしたことがあるが、このような場合でも企業者はこうした事態をチェックする手段をもたないことにも問題があろう。

もともと請負制度は、資材が上がるにしても下がるにしても請負業者が利益も危険も負担するのが建て前という議論もあり、今回の措置は運用次第では限度額4分の3という歯止めがあるものの今後の資材の値上がりを容易に認めることにもなりかねないおそれが残ろう。

また、特約条項の受け止め方についても、企業側では通達にもあるとおり、異常な原油の値上がりを資材メーカー、請負業者が企業努力だけでは吸収できなくなったためそれを補うためのあくまでも臨時的措置としているが、請負業者側としては必ずしもそのような受け止め方をしないで、将来は「標準約款」にも加えたいとしているとされているが、このような場合には契約そのものが請負契約なのか精算契約なのかという本質的な問題になってくる可能性さえ秘めているといえる。

なお、エスカレーション条項に関する詳細については下記図書を参照せられたい。

藤田修照著 改訂11版積算必携 経済調査会刊



換気立坑入門(6)

稲毛正昭*
伊藤裕夫**

6. 立坑掘削工事における安全対策

6-1 転落、落下物による事故防止

立坑掘削工事は、トンネル掘削工事に比較して、転落および落下物による事故に対しては、特別の配慮が必要である。トンネル掘削工事と共通する一般的なものを除き、立坑掘削に際し特に注意すべき事項を述べる。

6-1-1 作業員の入坑、出坑

立坑工事における作業員の入出坑はトンネル工事と比較して、極めて特殊な条件(上下方向)で行われる。現在最も一般的な工法で、普通工法と呼ばれている爆破掘削掘下げ工法の場合、比較的深度の浅い立坑の場合(50m程度)梯子方式によることもあり、また中程度の深度では工事用巻上げ機とは別に人員昇降専用設備を設ける場合もあるが、立坑の掘削断面、あるいは掘削深度などにより制約されることもあり、概ね工事用巻上げ機を人荷兼用で使用する場合が多い。立坑への作業員の入坑、出坑がすべて巻上げ機により行われる場合の注意すべき事項は、

- (1) 立坑への入出坑は必ず所定の人車を使用する。
- (2) 人車はエレベーター構造規格による構造とし、定員を厳守する。
- (3) 人車以外の搬器(ずり、材料、コンクリート)には絶対乗ってはならない。
- (4) 入出坑はすべて巻上げ用ロープに吊り下げられた人車(ケージ)により行われるので、坑底に信号員のいない次のような場合の入坑は特に注意を要する(休日の翌日、勤務交替時、発破施工時)。そこで一般的な手順例を参考までに紹介する。

入坑前に坑口信号員および巻上げ機運転員に第1回目の入坑人車であることを連絡し、確認の上運転を開始する。人車はスカフォード位置より約30m上部より徐行運

* 三井建設(株)坑務部立坑課長

** 北新建設(株)技術部長

転とし、約10m上部位置で一時停止、安全を確めて後降下、スカフォード位置に停止、信号員をスカフォードへ降ろし坑底へ下がる。信号員は人車の運行および坑底状況を監視しながら、人車が坑底へ安全に着床するまで、人車内の信号員および坑口信号員と連絡交信を行い、着床後は坑底信号員と交替する。

6-1-2 飛来、落下ずり

立坑工事の場合、トンネル工事と違い、発破点火は全員が坑外へ退避して行われるので、発破による飛来ずりでの直接の危険はないが、2次的な落下ずりによる事故に特別の配慮が必要である。特に注意すべき事項は、

- (1) ショートステップ工法で型枠が打継目を有する構造の場合はその打継目のコンクリート上へ、ロングステップまたはセミロングステップの場合は支保工の上へ、発破時の飛来ずりがたまるので、発破後の入坑時、適当な器具で完全に除去する。
- (2) その際、スカフォード上および各種機械類の上も点検し飛来したずりのある場合は除去する。

6-1-3 スカフォード作業

立坑工事には、坑内の中間における作業足場およびずり積機(グライファ)やさく岩機(シャフトジャンボ)の取付け架台として、キャブスタン巻上げ機により、坑底より10~40mほど上方にスカフォードを吊り下げ、固定している。このスカフォードへの作業員の乗降および機材類の積降ろしなどの場合の注意事項は、

- (1) 作業員がスカフォードへ乗降する時は、必ず坑口信号員および巻上げ機運転員にその旨を連絡した後行方。
- (2) スカフォード上での作業は1人作業を禁止し、必ず腰綱を使用する。
- (3) 機材類の積降ろしの場合、必ず坑底へ連絡し、坑底の作業員を退避させた後、作業する。
- (4) スカフォードの上は常に整理、整頓し、不要の材料などは置かない。また必要なものは、ロープで緊縛す

るなど落下防止の措置をし、もしスcafford自体が傾く場合は吊りロープにより調整し、常に水平を保つよう留意する。

(5) scaffordの移動の場合は、坑底に作業員のいないことを確認し、坑壁にある送風管、送気管、電線などの仮設物への接触に注意し、4~5mごとに一時停止をして安全を確認しながら行う。

6-1-4 ずりキブル

立坑工事の普通工法におけるずり運搬にはキブルを用いる。巻上げ用ロープに吊り下げられたキブルは、常に坑底の作業員の頭上を運行するので、特別の注意を要する。運行中におけるキブル自体の落下防止には、巻上げ機のブレーキ関係、ロープの摩耗、コース元、フックの脱落防止装置などの機械的点検を毎日行うことが必要である。キブルを使用している作業中における注意すべき事項は、

(1) キブルがscaffordの下で運行中の時は、キブルの真下に居ることは避ける。特に降下してくる場合は作業を中断して上方へ注意を集中する。坑底作業中は必ず信号員(監視員)を指名する。

(2) 降下してきたキブルは、必ず坑底より3~5m上で一時停止させ、信号員の合図により下げる。巻上げる場合は坑底より10~30cmの位置で停止し、完全に振れ止めをして後、巻き上げる。

(3) キブルへのずりの積込みは、運行中の落下防止のため、90%程度以下の積み荷とし、絶対山積みしてはいけない。

(4) キブルの底や回りの付着ずりは、必ず完全に除去した後に運行する。

(5) 坑口においては、ダンピングドアを閉じてキブルを転倒し、ずり積替え作業を行うが、その際必ず坑口ドアも閉じることとし、開放状態の場合は坑口信号所および巻上げ機運転所で、赤ランプが点灯するなどの確認措置を講ずる。

6-1-5 機械、材料などの搬出入

立坑工事における機械類や材料などの搬出入は、すべてキブルを使用するか、直接吊り下げるか、すべて巻上げ用ロープにより吊り下げて行われる。その際の特に注意すべき事項は、

(1) キブルを使用する場合は、荷積み状態に注意し、途中で荷くずれのないように、ロープなどで確実に緊縛するなどの落下防止の措置をする。長尺物の場合は、ライダーの脱着なども考慮し特別の注意を要する。

(2) キブルを使用せずに搬出入する場合は、台付きワイヤおよび緊縛器具などは特に定められたものを用い、

常時点検し、十分に安全な方法、手順を定めて置く必要がある。

(3) 坑口で材料などの積降ろしをする場合は、必ず坑口ドアを閉じて作業する。

(4) 機械などを直接吊り下げ搬出入する場合は、坑口付近およびscafford付近は徐行運転とし、必要に応じて途中scafford上へ誘導監視員を配置する。

6-2 爆薬事故防止

トンネル掘削工事と共通する一般的な火薬取扱い上の遵守事項および注意事項を除き、特に立坑掘削工事における火薬類による事故防止に、必要と思われる事項を述べる。

6-2-1 運搬

立坑工事において、火薬類を坑内へ運搬する場合の注意すべき事項は、

(1) 立坑内へ火薬類を運搬する場合は、木製などの丈夫な構造の定められた運搬箱に入れ、キブルには標識を付け、他の器材などの混載はしてはならない。

(2) 火薬運搬キブルを運行することを坑口信号員、巻上げ運転員および坑内信号員に連絡、確認後運転する。

6-2-2 装填、結線

普通工法の立坑工事における発破孔の配置は、作業員の足元真下であり、またキブルなど搬器の着床面でもあるため、発破孔の保護、装填および結線線の確認などに特別の配慮が必要である。特に注意すべき事項は、

(1) 装填前の発破孔には木栓を入れ、踏付けなどによる孔の崩壊より保護し、また削孔位置の確認をする。

(2) 爆薬は1孔分を「ビニールチューブ」に入れて装填し、殉爆度を高め、不発残留を防止する。

(3) 装填後は脚線を木柱または竹棒などへ巻き付けて発破孔へ立て、装填完了を明確にする。

(4) 結線はすべて直列とし、結線部は「プロタイト」などで保護し、湧水などによる不発残留を防止する。また湧水量が多い場合は、発破孔へ竹棒などを立てて空中結線を行う。

(5) 母線への結線前には電灯、信号などをscaffordへ上げて電源を切る。

(6) 作業員の最後の昇坑用の人車は、断線防止のため着床させず、少し浮かして乗車するなどの配慮が必要である。

6-2-3 発破後の確認

発破後送風により排煙を行う。作業員の入坑前に状況確認する場合の注意すべき事項は、

(1) 安全確認のため坑底へ降りる場合は、まずscafford上へ降り、電灯、信号などが異状のないことを確

め、所定の位置へ吊り下げ固定する。

(2) scafford上への飛来ずりを処理した後、必ずscafford上へ信号員(監視員)を残し、坑底へ徐行で降下する。

(3) 着床前に必ず一時停止をし、着床の際破砕ずりの片寄りによる転倒などのおそれのないことを確認する。

6-2-4 雷対策

換気立坑は、排気ガスなどの関係で山頂部などの高所へ位置する場合が多く、雷による火薬類の暴発事故などについても十分な配慮が必要である。雷発生時の注意すべき事項は、

(1) ラジオ、テレビなどにより常に気象情報に注意し、雷雨の発生時刻などが事前に確認できる場合は、発破作

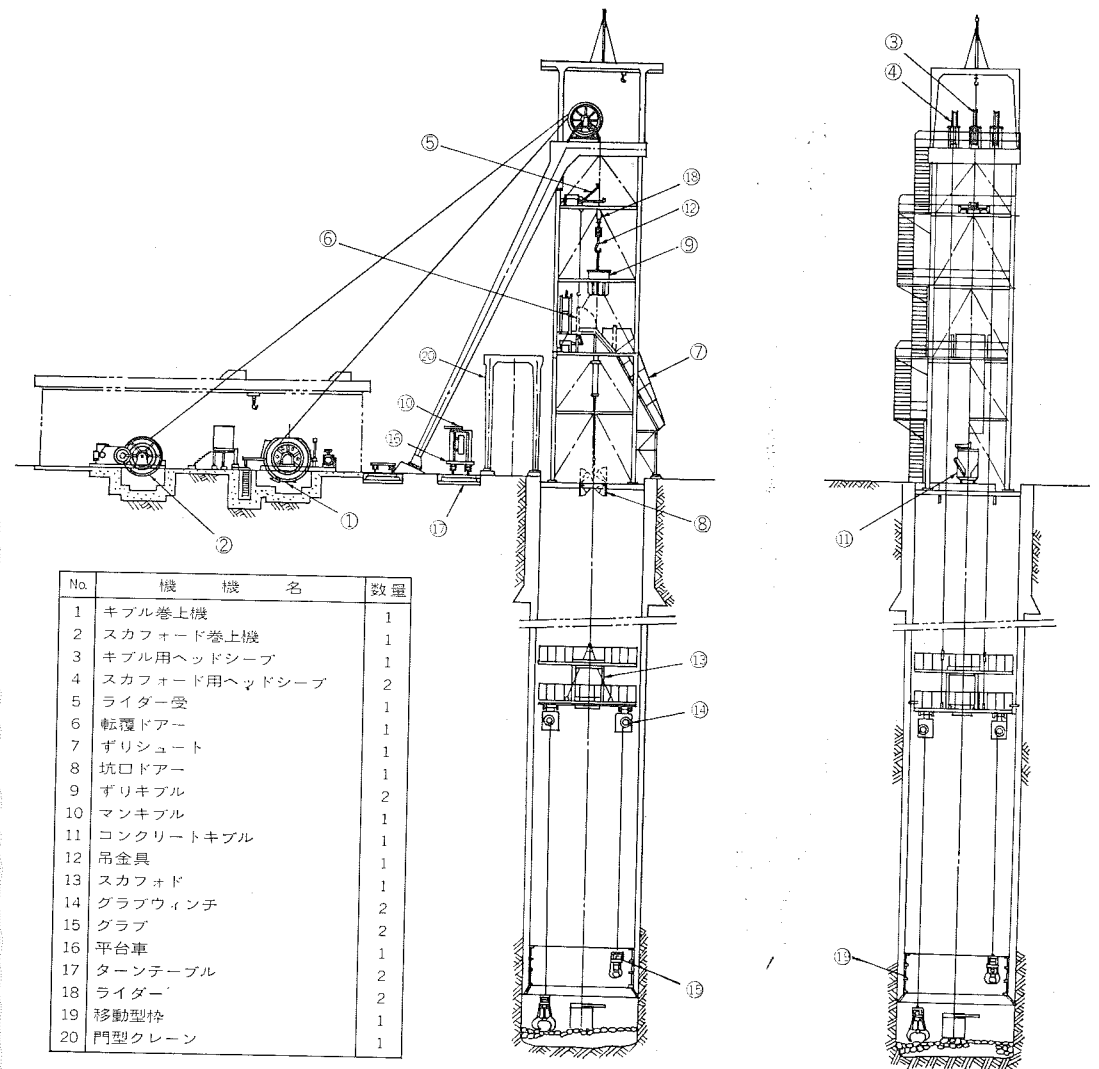
業の変更などの予防措置をする。

(2) 発破作業中に雷雨発生の場合は直ちに作業を中止し、全員坑外へ退避する。その場合避雷針設備のある建物などの避難個所を指定しておくが良い。

(3) 落雷による停電に備えて、雷雨発生の際の情報のある場合は、予備電源設備などの点検試運転をし、特に湧水のある立坑の場合は、ポンプ関係の電源切替えがすみやかにできるように配慮し、状況によっては、発破作業以外の作業の場合でも坑外退避を考える必要がある。

(4) 送電線関係による停電の外に、落雷による巻上げ機の電気関係の故障、電話の不通などの事故対策も十分検討しておく必要がある。

(5) 落雷による火災発生は、仮設建物のみでなく、付



No.	機 機 名	数 量
1	キブル巻上機	1
2	scafford巻上機	1
3	キブル用ヘッドシーブ	1
4	scafford用ヘッドシーブ	2
5	ライダー受	1
6	転覆ドア	1
7	ずりシュート	1
8	坑口ドア	1
9	ずりキブル	2
10	マンキブル	1
11	コンクリートキブル	1
12	吊金具	1
13	scafford	1
14	グラフウィンチ	2
15	グラフ	2
16	平台車	1
17	ターンテーブル	2
18	ライダー	2
19	移動型枠	1
20	門型クレーン	1

図-57 立坑掘削設備概要図

表-12 キブル巻上げ機保安装置

保安装置名	摘要
(1)過巻防止装置	深度指示計による上下限リミットスイッチ, 現場ライダーによる上限リミットスイッチ
(2)減速監視装置	坑口およびスカフォードに接近した時に50%減速を検出する
(3)過速度防止装置	全区間 115% 以上のオーバースピードを検出し電源を遮断する
(4)過負荷保護装置	過電流を検出し, 電源を遮断する
(5)不足電圧保護装置	
(6)非常停止装置	
(7)ブレーキインターロック装置	始動時にブレーキが開放状態だとスイッチが入らなくなっている
(8)油圧低下制限開閉器	油圧ブレーキの油圧が低下すると電源回路が遮断される
(9)坑口ドア開き監視装置	キブルが坑口に接近した時に, 坑口ドアが閉じていると, 電源回路を遮断する
(10)ブレーキシュー摩耗検出装置	警報を発し, 操作盤の警告灯点灯

近の樹木などより発生する場合もあり, それらを含めての消火対策も必要である。

(6) 落雷のはげしい時は, 不測の事故に備え, 坑外の作業はもとより, 通行も一時禁止するなどの措置も必要である。

6-3 側壁の崩壊

立坑掘削工事においては, 側壁の崩落事故は, すなわち重大事故につながる場合が多い。現在最も一般的な工法で, 普通工法と呼ばれている爆破掘削掘下げ工法の場合の, 各種施工法別に, 側壁崩壊事故防止上特に注意を要する事項につき述べる。なお導坑先進爆破掘削工法の場合の切広げ掘削の場合も同様である。

6-3-1 ショートステップ工法

側壁の崩壊による事故防止を, その目的の1つとして開発された工法なので, 側壁崩壊による事故はきわめて少ないが, 施工上特に注意すべき事項は,

(1) 岩質変化, 湧水, 断層などに常に注意し, 計画型枠高さの側壁自立が困難な場合は, 型枠高さの短縮, 支保工の施工, 吹付けコンクリートの併用など, 直ちに応急の処置をする。またあらかじめ, それらの施工計画などの検討をしておく必要がある。

(2) 型枠設置後の「はだ落ち」のおそれがある場合は, パイプ, 鉄筋, 金網など山留めをした後に型枠を設置す

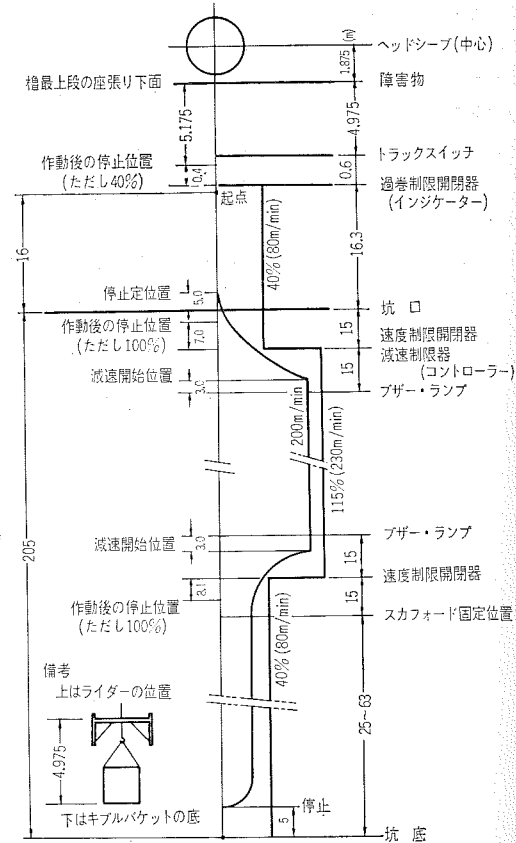


図-58 450kWキブル巻上げ機デューティーサイクルダイアグラム

る。

(3) 原則として支保工を施工しない工法なので, 地山の自立状態に応じ, 計画型枠高さの決定が最重要である。

6-3-2 NATM的工法

一般的な注意事項としては, トンネル工事におけるNATM工法の場合と同じで, 側壁をできるだけゆるめないように発破法を考慮し, ロックボルト, 金網, 吹付けなどは計画掘削パターンにしたがい, 確実に施工することが重要である。特に立坑工事の場合の注意事項は,

(1) 吹付けコンクリート施工後の上部側壁に亀裂などの異状のある場合は, 即時, 坑底作業を中止して, スカフォードを使用して, 再吹付け, 支保工などの補強処置をする必要がある。

(2) スカフォード移動時は, 綿密に点検し, 異状の有無を確認する。また深度が深くなった場合は, 定期的に入車により側壁点検を実施する。立坑の場合, 小破片の「はくり」落下も, 重大事故のおそれがあると考えられる。

6-3-3 ロングステップおよびセミロングステップ工法

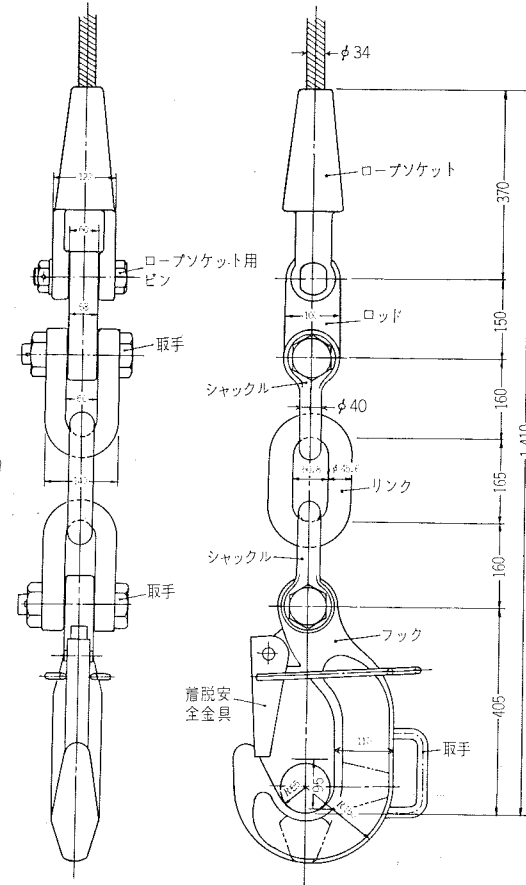


図-59 キブル吊り金具

1ステップ覆工までの間(ロングステップ30~40m, セミロングステップ4~6m), 支保工により側壁を保持しているため, 注意事項は, 一般トンネル工事の側壁崩壊事故防止対策と全く同じである。特に立坑工事の場合, 注意すべき事項は,

(1) 支保工の際, 山留めに使用した矢板, くさびなどの落下による事故が考えられるので, 施工時は脱落のないよう特別な配慮が必要である。

(2) 発破後は必ず矢板, くさびなどの再締付けや, 脱落個所の補充をする。

(3) 「はだ落ち」防止には, 矢板と併用して全面に金網を張るのも有効である。

(4) ロングステップの場合は, 掘削中適当な時期に掘削作業を中止し, 矢板などの再締付けおよび浮石落としを行う必要がある。

6-5 立坑掘削設備の安全対策

立坑掘削設備の概要は図-57のとおりである。この内, キブル巻上げ設備は, 工事用エレベーターとしてエレベ

表-13 スカフォード用ワイヤロープ規格

		6×7 (JIS 1号) 大字はJISです。						
		構成		中心繊維 6×(1+6)				
		より方		普通 ZまたはS				
		用途		鉱業用, 巻上機用, 林業用, 索道用, チェアリフト用, さく井用など				
ロープの径 (mm)	上層素線径 (mm)	計算断面積 (mm²)	切断荷重 (t)			単位重量 (kg/m)		
			G種	A種	B種		C種	
3.15	0.35	4.06	0.53	0.60	0.66	0.71	0.037	
4	0.44	6.54	0.85	0.97	1.06	1.15	0.059	
5	0.55	10.2	1.34	1.52	1.65	1.79	0.093	
6	0.67	14.7	1.92	2.18	2.38	2.58	0.134	
6.3	0.70	16.2	2.12	2.41	2.62	2.84	0.147	
8	0.88	26.2	3.42	3.88	4.23	4.58	0.237	
9	1.00	33.1	4.33	4.91	5.35	5.80	0.300	
10	1.11	40.9	5.34	6.06	6.61	7.16	0.371	
11.2	1.24	51.3	6.70	7.60	8.29	8.98	0.465	
12	1.33	58.9	7.69	8.73	9.52	10.3	0.534	
12.5	1.39	63.9	8.34	9.47	10.3	11.2	0.579	
14	1.54	80.1	10.5	11.9	13.0	14.0	0.727	
16	1.78	105	13.7	15.5	16.9	18.3	0.950	
18	2.00	132	17.3	19.6	21.4	23.2	1.20	
20	2.21	163	21.4	24.2	26.4	28.6	1.48	
22	2.44	198	25.9	29.3	32.0	34.7	1.80	
22.4	2.48	205	26.8	30.4	33.2	35.9	1.86	
24	2.66	235	30.8	34.9	38.1	41.3	2.14	
25	2.78	255	33.4	37.9	41.3	44.8	2.32	
26	2.86	276	36.1	41.0	44.7	48.4	2.51	
28	3.12	320	41.9	47.5	51.8	56.2	2.91	
30	3.30	368	48.1	54.5	59.5	64.5	3.34	
31.5	3.50	406	53.0	60.1	65.6	71.1	3.68	
32	3.55	419	54.7	62.1	67.7	73.3	3.80	
33.5	3.70	459	59.9	68.0	74.2	80.4	4.16	
34	3.76	472	61.7	70.1	76.4	82.8	4.29	
35.5	3.92	515	67.3	76.4	83.3	90.3	4.67	
36	3.98	530	69.2	78.5	85.7	92.8	4.81	
37.5	4.16	575	75.1	85.2	93.0	—	5.21	
38	4.22	590	77.1	87.5	95.5	—	5.36	
40	4.40	654	85.5	97.0	106	—	5.93	

		スターロープ 6×(☆+6)						
		構成		中心繊維 6×(☆+6)				
		より方		普通 ZまたはS				
		用途		鉱業用, 巻上機用, 林業用, 索道用, チェアリフト用, ロープウェイ用など				
ロープの径 (mm)	上層素線径 (mm)	計算断面積 (mm²)	切断荷重 (t)		単位重量 (kg/m)			
			A種	B種				
18	2.00	135	20.1	22.1	1.22			
20	2.21	167	24.8	27.3	1.51			
22	2.44	202	30.0	33.0	1.83			
22.4	2.48	209	31.1	34.2	1.89			
24	2.66	240	35.7	39.3	2.17			
25	2.78	261	38.7	42.6	2.36			
26	2.86	282	41.8	46.1	2.55			
28	3.12	327	48.5	53.5	2.96			
30	3.30	375	55.7	61.4	3.40			
31.5	3.50	414	61.4	67.7	3.75			
32	3.55	427	63.4	69.8	3.87			
33.5	3.70	468	69.5	76.5	4.24			
34	3.76	482	71.6	78.8	4.36			
35.5	3.92	526	78.0	85.9	4.76			
36	3.98	540	80.2	88.4	4.89			
37.5	4.16	586	87.0	95.9	5.31			
38	4.22	602	89.4	98.5	5.45			

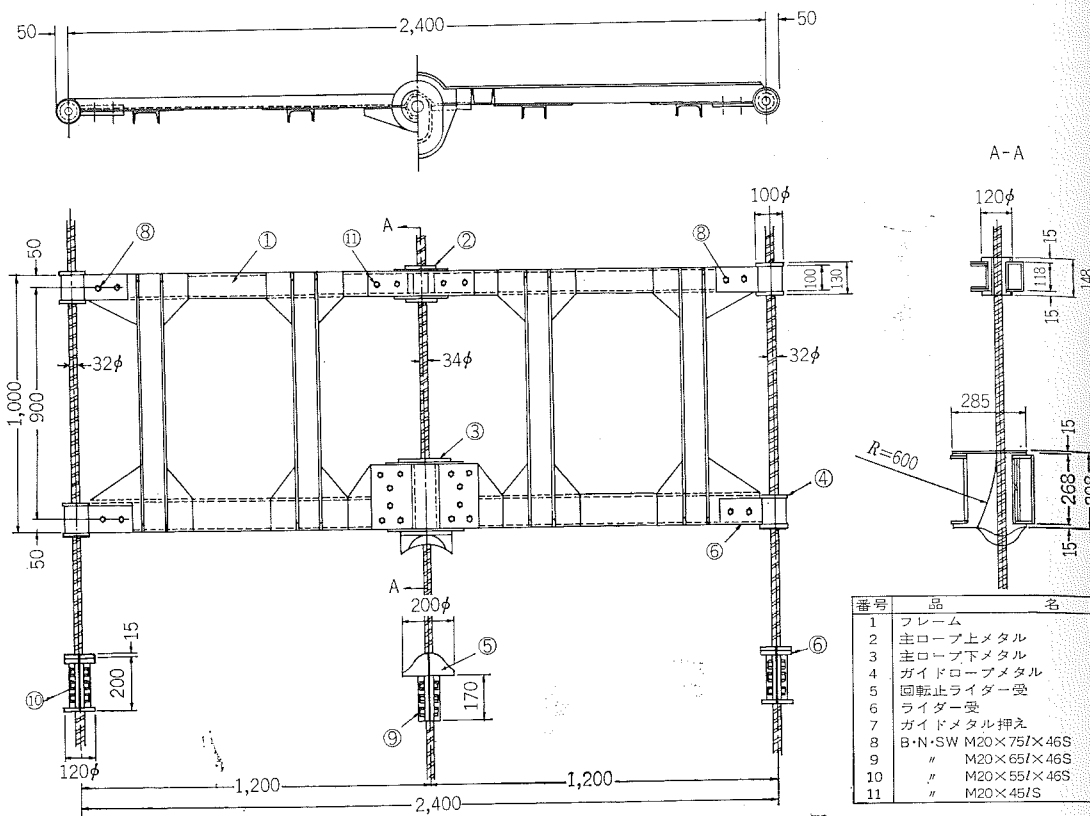


図-60 ライダー構造図

ター構造規格の適用を受ける。しかし、このキブル巻上げ設備は普通のエレベーターと異なり、特殊な構造のため、エレベーター構造規格の全面適用は困難である。したがって後述するように、特別な安全措置を講ずることによって、同規格第37条により、一部適用除外を申請することができる。以下、各設備の概要と安全対策について述べる。

6-5-1 掘削用槽設備

槽設備は立坑坑口の真上に設置され、上部にはキブル用として1組、スcafford用として2組のヘッドシーブが搭載されている。構造は鉄骨製でA型、H型、R型などのタイプがあり、立坑の規模（キブル巻上げ機のプル、ロープスピード）によって大きさ（設計安全基準に合ったものを使用しなければならない）が異なる。槽の頂部には避雷針が設置され、中段にはライダー受け、ずり転覆装置、信号室などが設けられている。

安全対策としては、毎作業日にヘッドシーブの点検給油、槽各部ボルトの緩みの点検などをしなければならない。

6-5-2 キブル巻上げ機設備

(1) キブル巻上げ機

キブル巻上げ機としては、一般に単胴型電動巻上げ機が使用されている。制御方式は乾式グリッド抵抗制御、液体抵抗制御、電気制動制御などがあり、それぞれの特徴を有している。巻上げ機容量は、立坑規模により200~500kW程度のもので一般に使用されている。巻上げ機出力は、巻上げ荷重をP(kg)、ロープ速度をV(m/s)とすると、次式で求められる。

$$L(kW) = \frac{P \times V}{102 \times \eta}$$

η：効率（2段減速で0.8）

制動方式は常用ブレーキとしてポスト型油圧ブレーキ、非常用としてスラストブレーキが使用されている。

保安装置としては表-12の装置を設備し、安全運転に万全を期している。図-58はキブル巻上げ機のデューティサイクルダイヤグラムの一例である。

(2) キブルロープ

キブルロープとしては、巻上げ・巻下げの際に回転の少ないワイヤロープを使用しなければならない。一般に非自転性のシンキングロープ(4×F(10)+6×F(10))

表-14 シンキングロープ規格

シンキングロープ 4×F(10)+6×F(10)					
構成	2層フラット型 中心繊維 4×10+6×10				
より方	ラング ZまたはS				
用途	鉱業用、巻上機用など				
ロープの径 (mm)	上層素線径 (mm)	計算断面積 (mm ²)	切断荷重 (t)		単位重量 (kg/m)
			裸・めっき A種	裸 B種	
20	1.47	172	24.1	26.3	1.61
22	1.63	208	29.1	31.8	1.94
22.4	1.65	215	30.2	33.0	2.01
24	1.78	247	34.7	37.8	2.31
25	1.86	268	37.6	41.0	2.51
26	1.91	290	40.7	44.4	2.71
28	2.08	336	47.2	51.5	3.15
30	2.21	386	54.2	59.1	3.61
31.5	2.34	426	59.7	65.2	3.98
32	2.37	440	61.6	67.2	4.11
33.5	2.48	482	67.6	73.7	4.51
34	2.51	496	69.6	75.9	4.64
35.5	2.62	541	75.9	82.8	5.06
36	2.66	556	78.0	85.1	5.20
37.5	2.78	604	84.7	92.3	5.65
38	2.82	620	86.9	94.8	5.80
40	2.94	687	96.3	105	6.42
42	3.12	757	106	116	7.08
42.5	3.16	775	109	119	7.25
44	3.25	831	117	127	7.77
45	3.35	869	122	133	8.13
46	3.40	908	127	139	8.50
47.5	3.50	968	136	148	9.06
48	3.55	989	139	151	9.25
50	3.70	1073	151	164	10.0

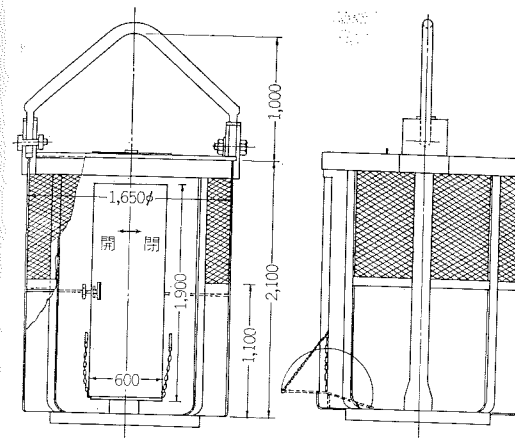


図-61 人用キブル

が使用されている。

ロープは毎日点検する外、定期的に摩耗、腐食、素線切れなどの精密検査を行わなければならない。また、コース元はずり転覆や機材運搬などで傷みやすいので、定期的に切詰め(5~10m)をしなければならない。

ロープの安全率は、エレベーター構造規格では10以上(人車の場合)となっているが、これについては条件があり後述する。表-13は立坑で使用されているキブルロープの規格である。

(3) キブル用吊り金具(ロープコース、シャックル、フック)

ロープコースは袋型で、コースメタルでロープ素線を挿し込んである。フックはキブルの柄や台付きが外れないように、爪付きのものが使用されている。これら吊り金具類はS25CまたはSFC材を使用し、すべて鍛造仕上げを行い、電磁探傷で検査し、完全なものを使用しなければならない。安全率は最大荷重に対して10以上にとっている。図-59は吊り金具の構造図である。

(4) ライダー

ライダーはキブル動揺防止のために使用されるもので、スcaffordロープをガイドとして運行される。構造は図-60のとおりであり、自重は一般に250~500kg程度のものが使用されている(あまり軽すぎるものは途中でひっかかる危険性がある)。

(5) キブル

キブルには人用キブル、ずりキブル、コンクリート用キブルの3種類が使用される。

(a) 人用キブル

構造は図-61のとおりであり、天井および床部は鋼板製で、これを形鋼で鉄どめ連結し、側面は鋼板とエキスパンドメタルで覆われている。側面には1か所の出入口

があり、内開戸が設けられている。主要部の安全率はエレベーター構造規格に指定された7.5以上、吊り金具関係の安全率は以上に設計しなければならない。

(b) ずりキブル

鋼板製の円筒容器で立坑の規模により、容量1.5~4.0m³のものが使用され、ずりの搬出および工事用機材の運搬に用いられる。吊り柄は一般に上部支持方式が多く、良質な鍛造用鋼材を使用し、十分な安全率(10以上)を取っている。

(c) コンクリート用キブル

鋼板製円筒容器でコンクリートの運搬専用である。下部にコンクリート排出のためのゲートがあり、手で開閉される。このゲートには、運行中に誤操作がないように、ロック装置が取り付けられている。吊り金具は本吊りのチェーン方式とロッド方式があり、十分な安全率(6以上)を取っている。

6-5-3 Scafford巻上げ機設備

(1) Scafford巻上げ機

Scafford巻上げ機としては、複胴型電動巻上げ機が用いられ、立坑内のScaffordの運行に使用される。

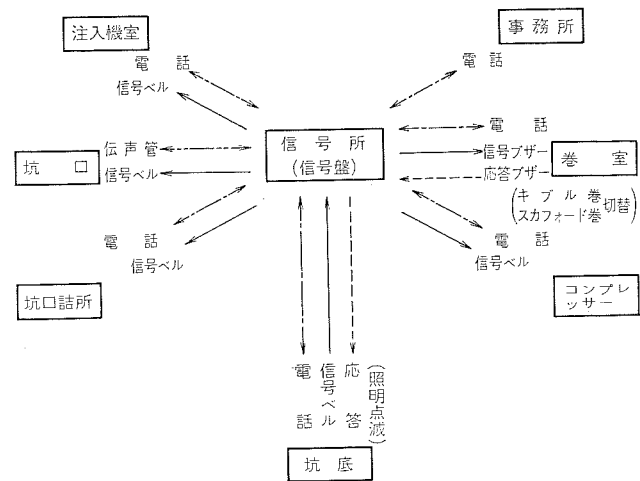


図-62 立坑信号系統図

この巻上げ機は、ロープ速度を遅く(3~6m/min)、牽引力を大きくしてあり、容量30~60kW程度のものが一般に用いられている。制動装置としては、手動ポストブレーキとスラストブレーキが装備されている。左右のロープ長さ(スカフォードの傾き)の調節のために、クラッチによる単胴単独運転可能な構造となっている。保安装置としては深度指示計、逆転防止ラチェット、過負荷遮断器などが装備されている。

(2) スカフォードロープ

スカフォードは一般に2本吊り方式が多く、ロープは左右にS捻、Z捻のロープを使用し、スカフォードの自転を防止する。この本のロープは、キブルの動揺防止のためのガイドロープとしても利用される。ロープの安全率は6以上であり、ロープの種類としては6×7GC/Lまたは6×(☆+6)GC/Lが用いられている。表-14はスカフォード用ワイヤロープの規格である。

(3) スカフォード

スカフォードは立坑掘削において大切なもので、次のような数々の用途に利用される。

- (a) 立坑内の作業足場
 - (b) 落下物に対し、坑底作業員を保護する。
 - (c) ずり積み用グラブウィンチ設備が設置されている。
 - (d) 坑底との間に非常梯子を設け緊急時の避難所となる。
 - (e) 信号・照明・発破設備の立坑内中継基地の役目をする。
 - (f) 発破の際には、坑底信号・照明設備の退避場所となる。
 - (g) 覆工時の型枠降下や中心出し作業に利用する。
- スカフォードの構造は鋼製2段式で、中央部にキブル

通過孔があり、ラップ状のガイドを取り付け、キブルが安全に通過できるようにしてある。上下段ともに、通過孔および外周には墜落防止用手摺りが設けられている。下段下面には旋回レールを取り付け、グラブウィンチが装備されている。ずり積み中のスカフォードの動揺防止は、坑壁に4個のホルダーを固定して行う。

6-5-4 坑口座張りおよびドア

立坑坑口には座張りおよびドアを設け、人員の入出坑、機材の搬入出の基地とする。座張りは形鋼を渡して固定し、この上に鋼鋼板または木板を張ってある。ドアにはホールディング式とスライディング式の2種類があるが、一般にホールディング式が使用され、開閉はエアシリンダーによって行われる。この座張りおよびドア上には重量物が乗るので、これら荷重に対して十分安全なように設計しなければならない。ドアは掘削中のキブル昇降時のみ開け、常時は閉じ、坑口よりの異物の落下を防止する。

6-5-5 信号設備

立坑では故障に備えて2系統の信号装置が必要であり、普通、押釦信号と電話が設備されている。槽中段部に信号所を設け、坑内からの信号・連絡はすべてこの信号所を中継して、巻室その他へ送られる。

6-5-5 信号設備

立坑では故障に備えて2系統の信号装置が必要であり、普通、押釦信号と電話が設備されている。槽中段部に信号所を設け、坑内からの信号・連絡はすべてこの信号所を中継して、巻室その他へ送られる。

押釦信号装置としては、坑内では防爆防水型押釦スイッチを使用し、合図は坑内照明と連動して、これを点滅させ、信号所では電鈴またはブザーが鳴る。巻運転時は、信号所より巻上げまたは巻下げの信号を受けた場合には、必ず応答信号を送って合図を確認した後、巻上げ機の運転を行う。図-62は立坑信号系統図である。

坑内電話も信号所を中継して坑内、巻室、その他へ通話が行われる。坑内の電話設備には、発破時の漏洩電流を考慮して無電池式の電話器が使用されている。

6-5-6 エレベーター構造規格の適用除外

エレベーター構造規格の適用が困難な項目と特別に講ずる安全措置は次のとおりである。

(1) 昇降路関係

(a) 規格第16条第1項第2号ならびに第30条第1項第1号および第2号関係

「昇降路(立坑)および搬器の構造ならびに設備の使用目的等から、昇降路の出入口の戸に関連する安全装置(インタロック装置)の設置が困難である」

次の安全措置を講ずる。

- (i) 人用搬器には内側引戸を設け、その開閉は専従

の塔乗者に行わせる。

(ii) 人用搬器の専従塔乗者に連絡用のトランシーバーを携行させる。

(iii) 坑口作業床の開閉部(搬器の通路)にはドア(坑口ドア)を設け、搬器が坑口より下方にあるときは、ドアを閉じ、深度指示計に取り付けたパイロットランプを確認して運転する。

(b) 規格第16条第1項第4号ならびに第30条第1項第7号および第8号関係

「立坑掘削では昇降路が順次下方に伸びて行くので、底部ファイナルリミットスイッチおよび衝撃を緩和する装置を設けることは困難である」

安全対策としては、搬器がスカフォード上方約15mの位置に降下してくると、減速監視装置が自動的にチェックして減速運転を行う。さらに坑底の上方5mの位置にくると、警報ブザーが鳴る装置をセットし、エレベーター操作者はこれを確認し、搬器を一旦停止させる。その後坑底からの合図にしたがって微速で安全に着床させる。

(c) 規格第16条第1項第5号関係

「昇降路(立坑)以外の場所に、掘削に必要な圧気・排水パイプ、換気用風管、電気配線等を設けることは困難である」

安全対策としては、これらの設備がガイドロープおよび搬器に接触することのないよう十分な間隔を保って、昇降路の内側面に所定の金具を用いてしっかり固定する。

(d) 規格第20条関係

「搬器昇降のガイドとしては、2本のスカフォードロープを使用するので、これを取付金具等で昇降路等に取付けることは困難である」

安全対策としては、ガイドロープ上端はスカフォード巻上げ機の巻胴に、下端はスカフォード吊り金具に確実に取り付け、スカフォード巻上げ機のブレーキおよび逆転防止装置により、吊りロープがゆるまないように措置する。

(e) 規格第23条関係

「立坑掘削では各種搬器が使用され、昇降路出入口の床(坑口ドア)も特殊な構造のため、搬器と床の間隔を4cm以内とするは困難である」

安全対策としては、坑口作業床で人を乗降させまたは荷を積降ろしするときは、作業床中央の坑口ドアを閉じ、その上に搬器を着床させて行う。

(2) 安全装置関係

(a) 規格第30条第1項第3号関係

「操縦装置のハンドルを自動復帰型にすると、パネの力に抗してハンドルを操作しなければならず、操作者の疲

勞が著しく大きくなる」

安全対策としては、自動復帰型とせず、操作者がハンドルをはなした場合は、減速監視装置および過速度閉閉器が作動して搬器が停止する構造とする。

(b) 規格第30条第1項第4号関係

「搬器内で動力を遮断する装置を設けることは、立坑設備の構造上困難である」

対策としては、人用搬器内にトランシーバーを設置し、エレベーター操作者に対し、動力遮断を指示できるようにする。

(c) 規格第30条第1項第6号および第31条第1項関係

「搬器の降下速度が定格速度の1.4倍をこえないうちに搬器を自動的に制止する装置は取付け難く、かつ当該装置を次第ぎき非常止め装置とすることは困難である」

安全対策としては、定格速度の1.15倍の速度になった場合に停止する構造の過速度閉閉器を取り付ける。また、巻上げ用ワイヤロープの安全を確保するため、毎作業日の外観検査および毎月定期的に精密検査を実施する。

(d) 規格第30条第1項第9号関係

「巻上用ワイヤロープがゆるむと、直ちに動力を自動的に遮断する構造とすると、搬器の取替えや着床時に支障をきたす」

対策としては、搬器着床時のロープのゆるみに若干の余裕(搬器の取りはずし、荷の積降ろしなどの作業に支障のないだけ)をとって、巻上げ機の深度指示計にリミットスイッチを取り付ける。

(3) ワイヤロープ関係

(a) 規格第36条第1項第3号(i)および(ii)関係

「巻上用ワイヤロープの種類および搬器のワイヤロープの数は、立坑設備の構造上、同規格により難しい」

次の安全措置を講ずる。

- (i) 安全率を規格値より大きくとる(人車の場合)。
- (ii) 非自転性のワイヤロープを使用する。
- (iii) 毎日、使用前にワイヤロープ、ロープコース、シーブおよび巻胴の点検を行う。
- (iv) ワイヤロープの摩耗、腐食、素線の切断などの状況を定期的に精密検査する。

おわびと訂正

前月号の本連載講座61頁の左段上から17行目に「150mmφで0.2m³/min——」とあるのは「150mmφで9.2m³/min——」の誤りです。おわびして訂正します。

表-35 標準歩掛 (単位: m³)

名称	単位	数量	備考
材料費			
レディミクスト コンクリート	m ³	1.00	
雑品費	式	1	材料費の3%
労務費			
特殊作業員	人	0.28	
普通作業員	〃	0.46	
左官	〃	0.12	
雑費	式	1	労務費の3%
その他			
労務副費	式	1	労務費の5%

ア. ホーム下均しコンクリート費

ホーム下均しコンクリートはホームに均しコンクリートを打設し、凹凸をなくすもので、次のとおりである。

$$[(\text{材料単価}) + (\text{歩掛}) \times \{(\text{労務者基準賃金}) + (\text{割増率対象賃金}) \times (\text{割増率})\} + (\text{その他})] \times (\text{設計数量}) = (\text{ホーム下均しコンクリート費})$$

この式に代入する歩掛は表-35のとおりであり、割増率は昼夜連続交代作業割増10%、深夜作業割増30%とし、現場の状況を想定してそのつど定めるものとする。また歩掛は清掃、コンクリートシュート受、坑内小運搬、打込み、仕上げ、養生等とする。

イ. 排水管工費

排水管工はビニール管を埋め込むもので、次式のとおりである。

$$[(\text{材料単価}) + (\text{歩掛}) \times \{(\text{労務者基準賃金}) + (\text{割増率対象賃金}) \times (\text{割増率})\} + (\text{その他})] \times (\text{設計数量}) = (\text{排水管工費})$$

この式に代入する歩掛は表-36のとおりであり、割増率は昼夜連続交代作業割増として10%である。

歩掛はビニール管加工、取付、坑内小運搬等としている。

ウ. 道床継鉄筋埋設工費

道床継鉄筋埋設工は、く体コンクリートの後に打設する道床コンクリートを一体化するため、く体コンクリートと同時に埋設するもので、次のとおりである。

$$[(\text{材料単価}) + (\text{歩掛}) \times \{(\text{労務者基準賃金}) + (\text{割増率対象賃金}) \times (\text{割増率})\} + (\text{その他})] \times (\text{設計数量}) = (\text{道床継鉄筋埋設工費})$$

《おわびと訂正》

前月号の「換気立坑入門(6)」中下記の誤りがありました。おわびして訂正します。

- 69頁左段。図-59中左側の図に「取手」指示が2か所ありますが誤りです。削除してください。
- 69頁右段。表-13とあるのは表-14の誤りです。
- 71頁右段。表-14とあるのは表-13の誤りです。本文上から3行目に「安全率は以上」とあるのは「安全率は10以上」の誤りです。また本文上から14行目に「吊り金具は本吊」とあるのは「吊り金具は3本吊」の誤りです。
- 72頁左段。本文上から12行目に「この本のロープは」とあるのは「この2本のロープは」の誤りです。



換気立坑入門(7)

稲毛正昭*
伊藤裕夫**

7. 立坑工事施工例

7-1 日本における立坑掘削の経緯と現状

日本における立坑の歴史は古く、明治初年に長崎県高島炭鉱で深さ45mの長方形立坑が英国人の指導で掘られたのが最初とされている。以後、炭鉱の発達とともに、九州、常磐、北海道などで数多くの立坑が掘られ、掘削技術も西欧の技術をもとに、日本の地質に合った新しい工法が開発され、現在に至っている。

このように、炭鉱の発達とともに掘られてきた立坑も、近年では炭鉱の斜陽化とともにその数は非常に少なくなってきた。しかしながら、最近では、地下発電所の導水立坑や道路トンネルの換気立坑などが盛んに掘削されるようになり、立坑の需要は増加してきている。

施工法では、昭和38年頃から、ロングステップ工法に代わって、ショートステップ工法が採用されるようになり、安全性、経済性ともに大幅に改善されてきた。

過去10年間に日本で掘削された主要立坑の施工実績をあげると表-15のとおりである。なお、この中の2、3の立坑について、次項以降でその施工概要を述べる。

7-2 同時工法による立坑工事

(1) はじめに

換気立坑工事の施工例とし、掘削工とコンクリート巻立工の同時工法についての実績例を紹介する。ショートステップ工法にしても、ロングステップ工法にしても、「交互工法」と、普通いわれている工法で、掘削工とコンクリート巻立工を交互に繰り返して施工するものをいう。これから紹介する同時工法は、南ア連邦で最初に行われ、

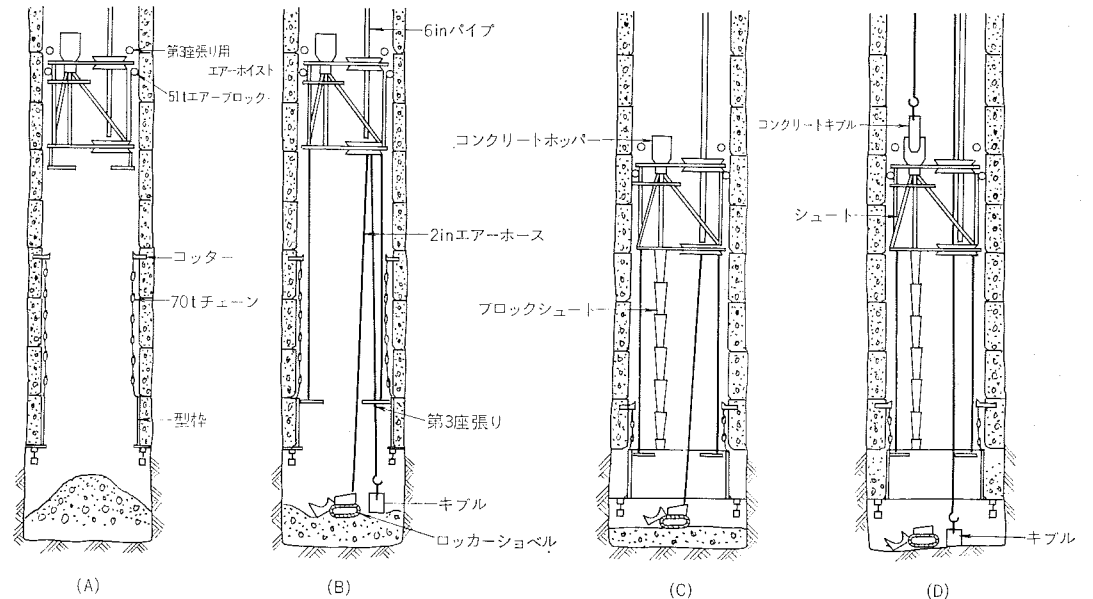


図-63 施工手順概要図

* 三井建設(株)坑務部立坑課長
** 北新建設(株)技術部長

表-15 過去10年間に日本で掘削された主要立坑施工実績

立坑名	完成年月	立坑		立坑諸元	掘削法	施工法		主要		掘削		備	湧水対策	備考
		内径	深度			掘削	覆工	キヤブ巻	スカーフド巻	キヤブ	アブル			
同和鉱業大身谷立坑	S 45. 2	4.0m ^φ	425m	粘板岩	ショートステップ	ライナーブレード	コンクリート	450kW	30kW	1.0m ³	4連装アンブレラジャンボ	0.15m ³ グラブ	なし	
三井芦別北部入気立坑	45. 6	5.0	440	頁岩・砂岩互層	"	コンクリート	コンクリート	450	50	2.2	シンカー	0.3 m ³ グラブ	"	
日炭若松第7立坑	45. 7	5.0	650	砂岩 50% 頁岩 50%	"	"	コンクリート	600	60	3.2	4連装シャフトジャンボ	"	先進防水グラウト	湧水多し
住友赤平中央排気立坑	46. 2	6.6	620	頁岩・砂岩互層	ロングステップ	アブロック	コンクリート	450	20	3.2	シンカー	クロラーショベル GS-5	なし	
松島炭鉱池島第2立坑	46. 5	6.0	754	"	ショートステップ	コンクリート	コンクリート	500	45	4.0	6連装ジャンボ	0.4 m ³ グラブ	先進防水グラウト	
三菱松木鉱山運搬立坑	46.	5.0	380	"	"	流送コンクリート	コンクリート							
三菱松木鉱山排気立坑	47.	4.0	260	"	"	コンクリート	コンクリート							
青函トンネル吉岡立坑	47. 12	6.5	190	泥岩・砂岩	"	"	コンクリート	450	40	3.0	シンカー	0.3m ³ グラブ GS-5	ポンプ揚水	
三井三池三池島立坑	48. 3	6.0	513	砂岩 70% 頁岩 30%	"	"	コンクリート	450	60	4.0	4連装シャフトジャンボ	0.4m ³ グラブ	先進防水グラウト	
北炭幌内排気立坑	48.	6.0	1,044	頁岩・砂岩互層	準同時	"	"	すり450 Co. 300	40	3.0	シンカー	クロラーショベル ME 630	なし	
青函トンネル電飛立坑	48.	6.5	199.5	凝灰角れき岩	ショートステップ	"	"	450	45	3.0	"	"		
山陽新幹線大鳴立坑	48. 5	6.0	118	緑色片岩	"	"	コンクリート	500	30	3.2	6連装シャフトジャンボ	0.3m ³ グラブ	先進防水グラウト	ポンプ揚水
北炭夕張新鉱第1立坑	49. 4	7.0	916	頁岩・砂質頁岩互層	準同時	流送コンクリート	コンクリート	800	75	4.0	シンカー	クロラーショベル ME 630	先進防水グラウト	高圧湧水
農水事業団静清庵浦原立坑	49. 4	4.5	148	風化安山岩	セミロングステップ	コンクリート	コンクリート	150	20	1.5	"	"		
中央道恵那山トンネル換気立坑	49. 8	6.2	620	濃飛流紋岩	ショートステップ	"	"	500	45	3.0	"	0.4m ³ グラブ		
北炭夕張新鉱第2立坑	50. 1	7.0	808	頁岩・砂質頁岩互層	準同時	"	"	すり450 Co. 350	45	4.0	6連装シャフトジャンボ	クロラーショベル ME 630	先進防水グラウト	高圧湧水
上越新幹線中山立坑	50.	6.0	313	石英安山岩・緑色凝灰岩	ショートステップ	"	"							
電源開発奥津津電所鉄管立坑	50.	5.2	151	石英安山岩	"	"	"	200	15	2.0	シンカー	0.3m ³ グラブ	なし	
同和鉱業小坂鉱山内の管排気立坑	50.	4.0	162	流紋岩	"	"	"	220	15	1.7	"	"	"	

住友佐々木連鉱山立坑	51. 1	4.5	600	石灰石	導坑拡大及び全断面掘削	一部コンクリート一部鉄掘り	コンクリート	220	185	1.0	4連装アンブレラジャンボ	クロラーショベル ME 630		
大坂セメント伊吹鉱山立坑	51.	5.3	140	石灰石	ショートステップ	コンクリート	コンクリート	100	40	1.0	シンカー	0.2 m ³ グラブ	なし	
大坂セメント伊吹鉱山立坑	51.	5.3	162	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	
国道9号線春木トンネル換気立坑	51. 3	5.0	152.4	泥岩・凝灰角れき岩	導坑拡大導坑掘削	導坑拡大	"	60	15	1.2	"	バックホー	"	
上越新幹線高山立坑	51. 6	6.0	295	火山泥流凝灰角れき岩	ショートステップ	"	"	350	15	3.0	"	0.3 m ³ グラブ	ディーブウェル	湧水多し
松島炭鉱島入立坑	51. 6	5.0	720	砂岩・頁岩互層	"	"	"	450	60	3.2	4連装シャフトジャンボ	"	先進防水グラウト	
上越新幹線四方立坑	51.	6.0	372	凝灰角れき岩	"	"	"	350	30	3.0	シンカー	"	ポンプアップ	湧水多し
中部電力奥矢作第2発電所水圧管立坑	53. 7	7.4~6.7	380	花崗閃緑岩	"	"	"	450	55	3.0	"	"	なし	
松島炭鉱島排気立坑	53. 9	6.0	670	砂岩・頁岩互層	"	"	"	450	60	3.2	4連装シャフトジャンボ	0.4 m ³ グラブ	先進防水グラウト	
空知炭礦桜沢排気立坑	54. 4	5.0	445	砂岩・頁岩互層	準同時	"	"	すり400 Co. 119	45	3.2	シンカー	ME 630	なし	
東北電力沼沢第2発電所水圧管立坑	54. 6	6.0	189	流紋岩質角れき凝灰岩	導坑拡大	吹付コンクリート	コンクリート	天井クレーン	-	エレベーター	4連装シャフトジャンボ	0.1m ³ ×3バックホー		
三井砂川南部排気立坑	54. 7	5.5	891	頁岩・砂岩互層	ショートステップ	コンクリート	コンクリート	450	45	3.6	シンカー	0.3 m ³ グラブ	なし	

その後、ソ連、チェコ、東ドイツなどで実績をあげ、西側では、イギリスの2、3の立坑で採用されている工法で、ずり積みとコンクリート打設作業を上下で並行して施工する工法で、日本では初めての施工例である。

(2) 施工概要

北海道幌内炭鉱において、採掘個所の深部移行に伴う換気改善の目的で計画された立坑で、工事着工は昭和47年4月からである。

(a) 施工諸元

立坑掘削延長 1,044m
立坑掘削直径 7.5m
立坑覆工巻厚 0.5m
立坑掘削工法 同時工法

(b) 機械設備 (表-16)

(3) 施工手順の概要 (図-63)

(a) さく岩はジャックハンマーにて行い、装填終了後発破を実施する (図-63のA)。

(b) 排塵後盛り上がったずりを整地し、坑外より積み込み機を搬入し、ずり積みを行う (図-63のB)。

(c) 型枠が下げられる程度にずり積みが行進したら、スカーフードに取り付けた1.75HPのウインチ3台を操作し、第3座張りを下げる。

(d) スカーフードに取り付けられた5tエアブロック4台を操作綱により操作し型枠を用る。

(e) コンクリート打設時に使用した70tチェーン4本を外し、型枠をエアブロックで降下する。

(f) 側壁にあらかじめ埋込んだボックスロッターを入れ、70tチェーンをこれより下げ型枠を吊り替える。

(g) 型枠の水平および中心設定をし、固定したら型枠の底に鋼板または矢板を入れ、型枠下部へ取り付け鋼製のリングで締め上げる。側壁の間にすき間が生じる場合は適当な材料 (ダンボール、セメント空袋など) でふさぎ、打設開始する (図-63のC)。

(h) コンクリートはスカーフード上段

表-16 機械設備

機械名	仕様
キブル巻上げ機	450kW, 複胴型, 240m/min ロープブル 12,000kg ドラム 2,550φ×1,650幅 油圧制動
キブルロープ	34φダブルフラットンド, ストランド ロープ, 破断荷重66.8t
ヘッドシーブ	3,000φ
キブル	4.0m ³ (2台)
ガイドロープ ウインチ	15HP (4台)
コンクリート キブル巻上げ機	400kW, 複胴型, 180m/min
コンクリート キブルロープ	30φ, シンキングロープ
コンクリート キブル	1.5m ³ , 底開き
キャプスタン 巻上げ機	40kW, 複胴型, 6m/min ロープブル 7,850kg ドラム 1,935φ×1,220幅
キャプスタン ロープ	24φ共心サンロープ 破断荷重 47.1t
スcaffolding	3段式 6,200φ, 19,800kg
移動型枠	鋼製 6,500φ, 9,000kg
ヤグラ設備	鉄骨A型, 高さ39m
ずり積み機	ME630型エクスカベータ, 0.3m ³
バッチャー プラント	強練型 30kW, 0.75m ³ , 半地下式セ メントサイロ50t, 3槽式バッチャー
圧気設備	75kW(2台) 予備 (圧気は本坑より)
換気設備	扇風機 37kW, 425m ³ /min
さく岩機	TY-75, 8台

のホッパーで明け, 下段で5方向に分割された分配シュートを通じ型枠の中へ打設する。これと並行してずり積み作業を実施する(図-63のD)。

(i) ずり積みとコンクリート打設が終了すると, 積込み機を坑外へ出し, 第2座張りをスcaffoldingまで上げ, 全員で削岩作業を行う。

(4) 削岩

同時工法においては, 打設長(型枠の長さ)と1発破長とが同じであることが望しく, また積込み時間内に打設が終了することが望しい。本立坑では1発破長を2.75mとし, 型枠長も2.75mとした。1発破長2.75mの確保には少なくとも3.2mロッドの使用が必要であろう。し

表-17 サイクル所要時間実績例

階	所要時間	備考	階	所要時間	備考	階	所要時間	備考
1	15'40"	巻クラッチ調整 30'	17	20'00"	巻乱巻修正 150'	33	12'45"	
2	14'20"		18	21'50"	調整発破実施	34	17'25"	調整発破実施
3	15'55"	積込機故障 70'	19	13'50"		35	13'50"	
4	14'25"		20	9'50"		36	10'30"	
5	14'20"		21	22'20"	発破失敗	37	11'30"	
6	20'30"	巻乱巻修正 320'	22	11'50"		38	12'00"	
7	18'40"	ミキサー故障 350'	23	14'10"		39	23'30"	調整発破巻ク ラッチ 215'
8		ミキサー修理 675'	24	12'30"		40	10'50"	
9	15'20"	スcaffolding 撤除 235'	25	20'20"	調整発破積込 機故障 120'	41	28'10"	第3座張り修 理 870'
10	11'30"		26	10'50"		42	14'45"	
11	11'50"		27	13'35"		43	20'00"	第3座張りホ イスト修理 120'
12	10'50"		28	18'30"	調整発破実施	44	14'15"	
13	11'50"		29	17'45"	型枠底抜け 220'	45	14'00"	
14	15'30"	調整発破実施	30	15'00"	追切 210'	46	15'35"	
15	12'00"		31	14'20"		47	14'55"	
16	11'00"		32	11'40"		48	10'30"	

たがって, 足場の問題などから替えタガネ方式を採用した。

この場合, 安全上から見ても踏台程度の簡易足場で作業できうる限度は, ロッド長3.2mである。

使用ロッドは1.8mロッドに42mmビットを最初に使用, 替えタガネは3.2mロッドに38mmビットを使用, 火薬は杉ダイナマイト30mm径, 150kg/本を使用, 雷管はMS(3M)1~8段である。

(5) ずり積み

ずり積みは, スcaffolding下部へ取り付けるグライファの使用が型枠設定などの点から困難なため, クローラーロッカショベル, ME630を使用, 3.2m³キブルへ坑底にて直積みとした。

(6) コンクリート打設

同時工法の場合も, 打設完了後数時間で型枠を移動するので, 急結剤を添加, また作業上スランプ15cm程度が必要なので, 減水剤としてポゾリスを使用した。バッチャープラントについては, 削岩時の人員でずり積みと

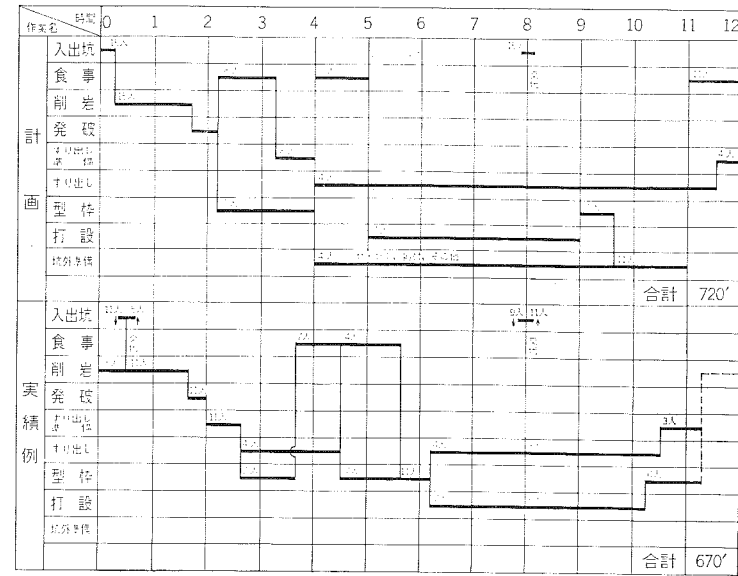


図-64 交替制サイクルタイム(参考例)

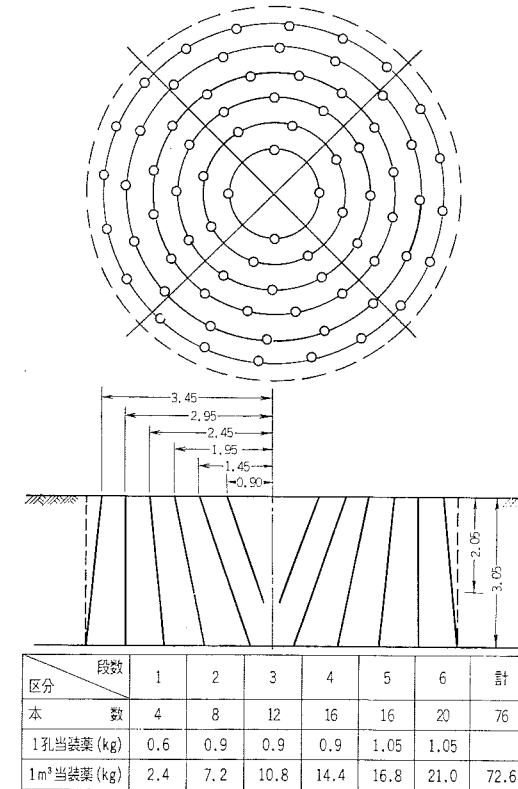


図-65 標準削孔規格図

コンクリート打設ができるよう半自動式とし, 骨材ビンよりミキサーを経て坑口キブルまでは1人で操作できるよう計画した。

(7) スcaffoldingの移設

スcaffoldingは掘削進行にしたがい逐次移動する。その位置は, 発破および作業能率, さらに安全上の問題も考慮し, 坑底から14.5~20mと定め, 2サイクルごとに移動することにした。

(8) 人員配置(同時作業時を標準とする)

ミキサー1人, 坑口1人, スcaffolding2人, 第3座張り2~3人, 坑底ずり積み3~4人, 計9~11人で施工した(3交替編成)。

(9) 安全対策

上下同時作業となるため落下物防止対策を特に重点的に計画した。

(a) スcaffolding固定位置をできるだけ坑底に近く置くこととした。

グライファの場合旋回式を使用した場合でも30m程度の高さが必要となるが, クローラー式のME630を使用すると最低5~6m程まで下げて作業ができるので, その目的に最も適した機種である。

(b) スcaffolding上段にコンクリート分配ホッパーを置いたので, コンクリート作業時の落下物防止のため周辺には600mm, キブル通過孔縁には800mm, コンクリートキブル側には1,500mmの落下防止壁を設け, またコンクリート打設シュート孔5個, 中心設定孔1個, 昇降用はしご孔1個の開孔箇所はすべて「ふた」をする構造とした。

(c) スcaffoldingが移動時側壁との接触などによる転落および落下物の事故のため, ゴムタイヤ製ガイドローラーを取り付けた。スcaffoldingの移動作業にも大きく役立つ利点もある。

(d) 最小限, 同時作業の作業制限をし, 型枠の脱型, 移設時は, 坑底作業を行わないように作業工程を組む。

(10) 同時工法についての考察

換気立坑工事の実績例として, 工法紹介程度の概略を述べたが, 設備費が過大なことと, 小断面掘削の施工は無理であるなどのことから, 小規模の換気立坑の工法としては難点があると思われるが, 交互法に比較してかなりの能率アップが望めるので, 比較的断面の大きな(径6m程度以上)施工延長が長い(深度500m以上)立坑の掘削には有効であろう。

(参考資料: 北炭幌内炭礦立坑開さく課, 北炭幌内排気立坑工事報告, 1973炭鉱技術8月)

つらら防止に挑む —恵那山トンネル換気立坑工事—

猪間 英俊*

1. 防水工の必要性

来春の供用を目ざして鋭意工事を進めている恵那山トンネルは、中央アルプスを横断する長大トンネルであるから、中津川方坑口から2.5kmの位置にある換気用立坑は、約620mという相当な延長となるだけでなく、標高1,320mという高地に開口することになる。暖冬であった昨冬でさえも日中の最高気温が氷点下であった日が16日もあるような高地の立坑になると、冬は立坑内に漏れる水が凍って立坑内壁につららを生じ、雪なども降りかかってつららの成長に拍車をかけ、日中も融けることがない。立坑内壁につららを生ずると

(1) つららの落下が地下換気所の送風機に対し損傷を与える。

(2) 立坑断面すなわち通気断面の縮小、などの弊害がある。

立坑をふくめてトンネルのつらら防止対策としては、二つのいき方があると思われる。すなわち、

(1) 覆工表面に水を1滴も漏出させないようにトンネルを建設する。

(2) 覆工の表面に水の漏出を許すが、保温材を被覆するなり、電熱線を埋設するなりして凍らない方法を講ずる。

長大立坑ではひとたびつらら防止工を施工した後は2度と補修ができないから、経済性も考え(1)のいき方を採用しなければならない

さて小文は、恵那山トンネル立坑に採用した防水工(つらら防止工)の施工法と、その方式を決定するまでの比較検討の結果などについてまとめたものであるが、立坑の構造や施工法について先に説明しておく必要がある。

* 日本道路公団名古屋建設局
恵那山トンネル西工事事務所立坑工事長

2. 立坑の施工法と防水工

立坑の延長は約620mで、坑底の水平ダクトとの接続を除くと防水工の対象となる延長は約611mである。仕上がり内径が6.2mの円形で、巻立てコンクリートは1次巻きと化粧巻きの2層に分けて打設する。掘さくと巻立てを1.2mまたは1.8mごとに交互に繰返す交互築壁工法で坑底まで掘下った後、化粧巻きを坑底からスリップフォーム工法で打上げる。

したがって、1次巻きは1.2mまたは1.8mの高さの逆巻きとなるから、コンクリート打設に便なるよう図1のように3角形断面の切欠き部が坑壁内面をどり囲む。また平均約30mごとに、1次巻き内面より5cm内側に

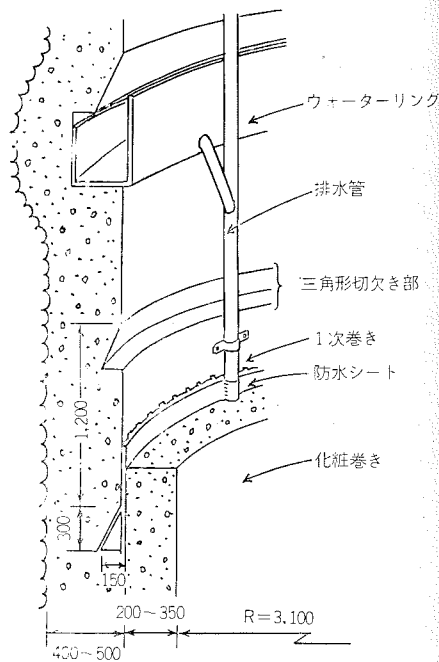


図-1 立坑の構造と防水工の説明図

に鋼製のウオーターリングが配してある。

化粧巻きの工法は1次巻き坑壁にブラケットを12本取付け、それぞれにクライミングチューブを吊下げて、スリップフォームとその構台とをクライミングチューブによって滑揚させることによって24時間連続打設する。50~60m滑揚するとブラケットを50~60m高い位置に盛替える。

防水工は1次巻きと化粧巻きとの間にシャホシートを張り、漏水はその背面を流下させて化粧巻き側への漏水を完全にシャ断するものであるが、立坑の施工法から制約される条件や問題点がでてくる。なお以下水をさえぎるシャホシートと、その背面の通水層に用いる通水マットまたは通水ネットとを合わせて防水シートと呼ぶことにする。

1) 防水シートを張る順序(坑口または坑底から)
防水シートを坑口から順に下に張ってゆく方法は、上下に並んだシャホシートの重ね方が自然(上のシートの下端が1次巻き側に、下のシートの上端が化粧巻き側に重なるように張らなければシャホ水が完全にできない)であって、化粧巻きの前に一気に張ることができるから一見能率的である。しかし、化粧巻き直前の1次巻き坑壁には坑口から坑底まで換気管、電力線、通信線、排水管が敷設固定してあるから、坑底近くに降りているスcaffoldingを一旦坑口まで巻揚げて防水シートを張りながら下るためには、これらの配管配線を一旦撤去し、防水シートを張ってからもう一度敷設しなければならない。あるいは、配管配線にひっかかる部分はスcaffoldingを切落さなければならない。そして化粧巻きの時は、スリップフォームの滑揚とともにスcaffoldingを巻揚げつつ、途中1次巻き坑壁にびょう着しなければならないので、一旦張った防水シートに孔をあけなければならない。配管配線の敷設替えのための孔と合わせると孔の補修が非常に数多くなって、全体の工程からはかえって非能率的であり、シャホ水の完全性も損われる。

坑底からスリップフォームの滑揚に合わせて上へ張ってゆく方法は、シャホシートの上下の重ね方がやや厄介であるが、他に問題はない。

2) 化粧巻きコンクリートの打設に対する適応性
防水シートを張った後化粧巻きコンクリートを打設するのであるから、防水シートはつぎの性質をもっていることが必要である。

- (1) コンクリート打設時の側圧、パイプレータ圧で容易に通水層がつぶれることがないこと。
- (2) 脱型後の反発力が大きいために、硬化を始めたばかりのコンクリートに悪影響を及ぼすことがあってはな

らない。

この二つの性質は互いに相反する性質であるから、硬い素材を使うときはシートとしては柔軟な構造にする。たとえば、網目を大きくするか、繊維を細くして織るとかする。逆に軟らかい素材を使うときは硬く変形しにくい構造のシートにすることが必要である。

3) 防水シートの性質として望ましい条件

(1) コンクリートの成分、漏水中の成分に対し侵されないことが必要であるほか、漏水には将来も泥分をふくんでいるから目詰りしないこと。

(2) 坑壁の水が流れ、水滴が飛散している中で、シャホシートのつなぎ合わせが容易であること。接着剤を使用する方法であると簡単であるが、水に対しては不利である。ヒータを使う溶着方式であるとやや時間がかかるが、溶着の確認は容易である。

漏水量は坑底で約0.4~0.5l/分であった。約30mごとに配置したウオーターリングから排水管へ水を導くこととすると、シャホシート背面の通水層はウオーターリング間の30m分の漏水を通すだけの空間があればよい。漏水の天候や季節による変動、集中的な漏水箇所、目詰りなどを考慮して断面通水量は150l/分程度として計画した。

(3) 1次巻き坑壁だけでなく排水管などの付属物をもおおってなじみよく張れること。そのためには伸びがよくなければならない。このことは2)の性質と関係がある。

(4) 軽量で扱いやすいこと。狭い坑内で他の作業と並行して施工するためには、多くの人員や機械を投入できない。

4) 1次巻き坑壁の3角形切欠き部をどうするか。
3角形切欠き部は何か充てんした上で防水シートを張るか、空間のまま残しておくかという問題である。これは防水シートの実験で考えることにした。

3. 施工法の比較実験とその結果

結論から先に申せば本立坑で採用した施工法は、ポリエチレン製のシャホシートであるハイパネルTXを使い、つなぎ合わせは溶着するものである。

これの採用を決定するまでに行った坑内取付け実験、化粧巻き打設実験とその結果などを述べる。

3-1 坑内取付け実験

1) 目的

シャホシートのつなぎ合わせの仕上りの良否、作業の難易などの判断。

2) 場所

立坑内(-)334m。スcaffolding上段。

3) 実験場所の状況

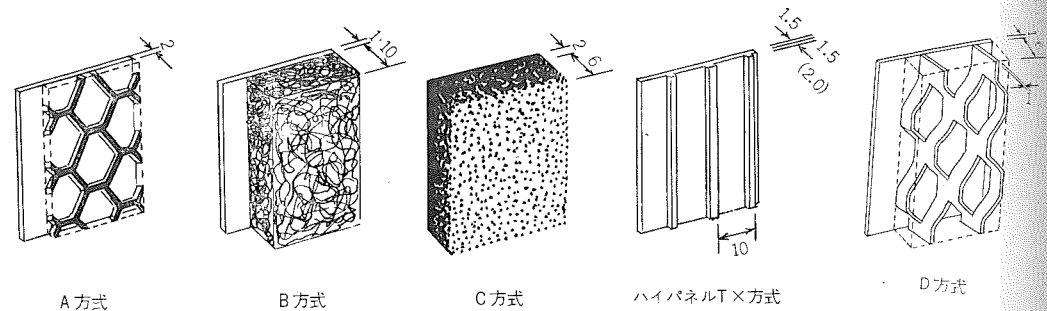


図-2 実験した防水シートの説明図

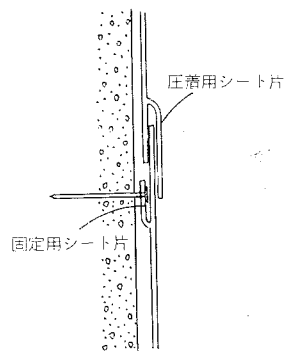


図-3 B方式のつなぎ合わせ

漏水が飛散して小雨のように降っている。坑壁は所々濡れている。

4) 実験した施工法

実験場所を120°ずつ3等分して、3つの施工法に割当てた。

(1) A方式：しゃ水シートは厚さ2mmのポリエチレン製の両面平滑のシート、通水ネットはネトロンシートZ-18、ネトロンシートをびょうで固定した後、ポリエチレンシートをびょうで固定し、ポリエチレンの溶接棒で溶着する。ポリエチレンシートのつなぎ合わせは重ねる。びょう打銃、溶接機、携帯用変圧器を使用する。

(2) B方式：しゃ水シートは厚さ1mmの軟らかい塩ビ製のシートで、その4辺は固定用シート片と圧着用シート片を図-3のようにつけてある。圧着面には接着剤を塗布してあるが、保護紙でおおってある。圧着時に保護紙をはがしてローラで圧着する。通水マットはサランの細い繊維をからめた厚さ10mmのフェルト様の柔らかいマットである。通水マットをびょうで固定した後、塩ビシートをびょうで固定し、つなぎ合わせ部分は圧着用シート片に重ね合わせてローラで圧着する。びょう打銃を使用する。

(3) C方式：しゃ水シートは厚さ2mmのブチルゴム系のシート、通水マットは同質の栗おこしのような外観

の厚さ6mmのマット。しゃ水シートと通水マットをそれぞれ単体に加工してある。このシートをびょうで定してブチルゴム系のテープでシールする。つなぎ合わせは突合わせ。

5) 結果

(1) A方式：ポリエチレンシートもネトロンシートも剛性があるため壁面へのなじみが悪く、反発性も強い。ポリエチレンシートを固定して生ずる歪みやしわをため、シートの大きさは小さくする必要があるから溶着長が長くなる。水滴があっても溶着は良好であるときに溶着の確認が容易である。

(2) B方式：接着面が水滴で濡れると、拭いても接着しにくい。シートのしわが接着面に集まってきて接着しない部分が残る。接着効果を確認しにくい。

(3) C方式：マットが目詰りしやすく、コンクリート打設圧が目がつぶされるおそれがある。テープが水滴で濡れた面には接着しにくい。自重が大なるためびょう多量に必要で、シートを小さくしなければならないが、つなぎ合わせ長が長くなる。

6) 比較

(1) しゃ水および背面通水性：しゃ水性はA方式が頼りできる。背面通水性はA方式がすぐれ、ついでB方式であって、C方式は期待できない。水滴があると接着不完全なのはB方式とC方式。接着効果の確認はどれもむずかしいが、とくにB方式とC方式がむずかしい。

(2) 作業能率：単体のC方式が2枚構成のA方式B方式より当然速い。

(3) 化粧巻き工事との関連：鉄筋の建込みなどに際して破損しやすいのはB方式、ついでA方式と思われるが、破れても簡単に補修できる方式がよい。

3-2 化粧巻き打設実験

1) 目的

化粧巻き打設後の通水性の確認。3角形切欠き部でのん材の要・不要。若材齢コンクリートに対する防水

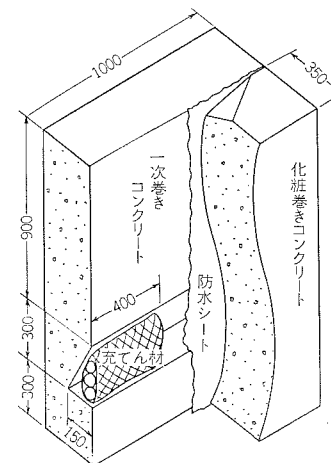


図-4 化粧巻き打設実験

シートの反発性の影響。化粧巻きコンクリート打設による防水シートの損傷の有無などの調査。

2) 場所

立坑坑外

3) 実験方法

(1)1次巻き坑壁の模型を1方式1個あて製作する。(2)防水シートを固定する。(3)化粧巻きコンクリートを打設する。(4)脱型。(5)模型天端より清水を通水する。(6)化粧巻きコンクリートをとりこわす。以上の順に行う。

4) 実験細目

(1)模型寸法は、図-4のとおりである。(2)防水シートの固定は左右端各3か所とする。(3)3角形切欠き部には長さ1mのうち40cmにネトロンマットを充てん、60cm

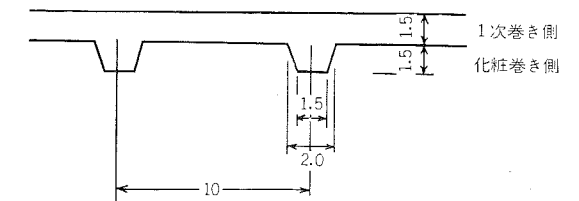


図-5 化粧巻き打設実験に供したハイパネルTXには何も充てんせず。(4)排水管周囲の防水シートの性状は調査しない。(5)化粧巻きコンクリートはパイブレータで締める予定であったが、型わく強度が不足していると思われたので、最初のバッチだけパイブレータを使用、第2、第3バッチでは使用せず。(6)化粧巻き天端は防水シート側に向けて傾斜をつけて仕上げ水のみやすくしたが、そのみ口の長さは模型ごとに異なった。計算上問題はない。(7)脱型時間は6時間としたが、実験当日気温が高かったためコンクリートの硬化が速く、若材齢コンクリートに対する防水シートの反発性の影響については調査目的を十分には達しなかった。

5) 実験した施工法

本立坑で採用したハイパネルTX方式とB方式、新たにD方式の3種について実験した。

(1) ハイパネルTX方式：ポリエチレンシートの一方の面が平滑、他方の面に縦のリブをつけたもの。しゃ水シートと通水ネットが単体に加工されている。寸法は図-5のとおり。平滑の面を化粧巻き側に、リブ付きの面を1次巻き側に固定する。

(2) B方式：坑内取付け実験と同じもの。

(3) D方式：しゃ水シートは厚さ1mmの両面平滑の

表-1 通水性の実験結果

防水工方式		A	B	C	
天端のみ口長	(1)	0.8m	0.6m	1.0m	
通水量	(2)	6l	4l	8l	
立坑壁全周換算通水量(概算)	(2)×22m/(1)	190l	150l	180l	
天盤に注いだ水が吸いこまれて消滅するまで	(3)	20sec	14sec	0sec	
天盤に注いだ水が90cm下の切欠き部に達するまで	(4)	8sec	14sec	3sec	
のみ口の概算通水断面積	(5)	0.001m ²	0.005m ²	0.0135m ²	
(3)により計算した	通水速度	(6)=(2)×60/(3)×(5)	18m/min	4m/min	非常に大
	流量	(7)=(5)×(6)=(2)×60/(3)	18l/min	12l/min	非常に大
	立坑壁全周換算流量	(7)×22m/(1)	490l/min	330l/min	非常に大
(4)により計算した	通水速度	(8)=0.9m×60/(4)	7m/min	4m/min	18m/min
	流量	(9)=(5)×(8)	7l/min	20l/min	240l/min
	立坑壁全周換算流量	(9)×22m/(1)	180l/min	730l/min	5300l/min

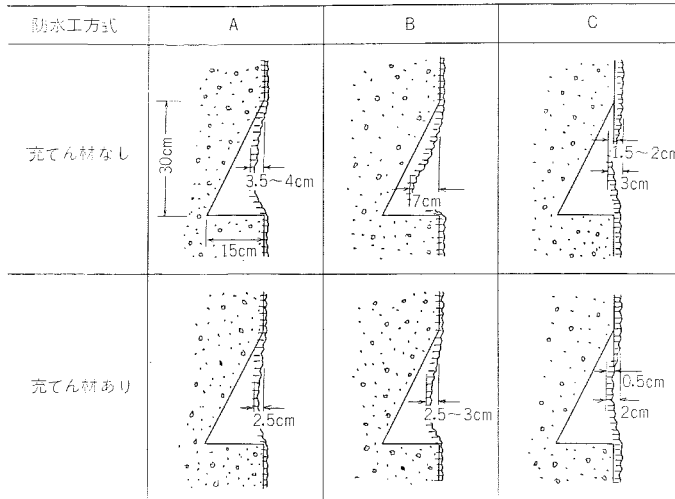


図-6 三角形切欠き部への防水シートと化粧巻きコンクリートのかん入状況

ポリエチレンシート。通水ネットは硬質のポリエチレンシートを道路に用いる眩光防止網のように網に開いたもので、素材厚さ1mm、ネットに加工した全厚さは6mm。

6) 結果

各模型の天端のみ口の長さに応じて水量を加減して清水を通した。結果は表-1のとおりでどの方式も計画の150l/分の水を通水できる。

3角形切欠き部での充てん材の有無による防水シートと化粧巻きコンクリートのかん入状況は図-6のとおりで、B方式は充てん材がないと大きくかん入する。ハイパネルTX方式とD方式は充てん材の有無によるかん入状況の差はあまりないと認められる。

化粧巻きコンクリートを取りはずして、防水シートの損傷の有無を観察したところ、B方式はびょうの縁に沿って塩ビシートが薄く引伸ばされ今にも裂けんばかりに傷んでいる。ハイパネルTX方式D方式には引きずり跡や裂目その他の変形はない。

7) 考察

実験値は処女通水の値である。通水が継続的に行われると、しだいに通水抵抗の小さいところに水みちが固定し、流速通水性が大きくなる可能性はあるように思う。どの方式でも排水管背後の1次巻き坑壁との間に大きな空間が残されるから、もっと多量の水を通すことができるはずである。一方遊離石灰、土の微粒子などが永年の間に沈着し、ある程度目詰りしてくるであろうが、目詰りは漏水を抑える方向に働くであろう。

3角形切欠き部における防水シートのかん入は、防水

シート自身の伸びでまかなわれていた。脱型時の反発力の問題があり、シートのずれであれば、びょうの周辺に裂目がじたりつなぎ合わせて破断をきたす。方式ではびょうの周囲が裂ける寸前で防水シートが引きずられており、3角形切欠き部には充てん材が必要である。

ハイパネルTX方式は十分通水できるシート厚さに対するリブの形状寸法間隔は最適かどうかは分からないが、後に述べるコンクリートのクリープに対する検討から、リブの高さを0.5mm高くして再度通水実験を行った。

D方式は通水性が不必要に大きい。通水ネットとして使った製品はこれより薄いものは作っていないということであった。化粧巻きの巻厚が薄いため、防水

シートに11mmの巻厚を奪われると化粧巻きの施工が困難になる。

以上二つの実験からハイパネルTX方式が適当であると判断した。

3-3 ハイパネルTXの通水性再実験

1) 目的

ハイパネルTXのリブの高さを1.5mmから2.0mmにしたものの通水性実験。

2) 場所

メーカー工場内の建物のコンクリート壁。

3) 実験方法

(1)建物のコンクリート壁にリブ高さが1.5mm, 2.0mmの2種のハイパネルTXを固定する。(2)化粧巻きコンクリート打設。(3)模型天端より清水を通水する。

4) 壁面の状態

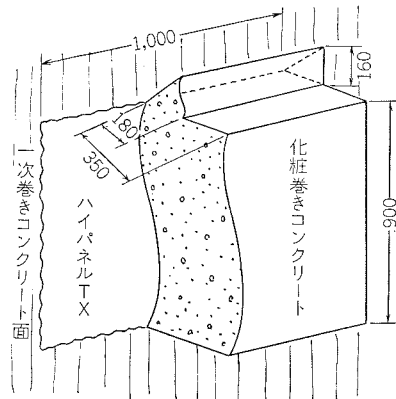


図-7 ハイパネルTXの通水性再実験

表-2 2種のハイパネルTXの通水性の比較

防水シート種別	ハイパネルTX, リブ高さ 1.5mm			ハイパネルTX, リブ高さ 2.0mm		
	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
実験順	第1回	第2回	第3回	第1回	第2回	第3回
1次巻き側壁面状態	湿潤	乾燥	湿潤	湿潤	乾燥	湿潤
天端のみ口長 (1)	1.0m	1.0m	1.0m	1.0m	1.0m	1.0m
通水量 (2)	12l	12l	12l	12l	12l	12l
立坑全周換算通水量(概算)(2)×22m/(1)	260l	260l	260l	260l	260l	260l
天端に注いだ水が吸いこまれて消滅するまで (3)	11.5sec	9sec	9sec	7sec	6sec	6sec
天端に注いだ水が90cm通過するまで (4)	—	1.5sec	1.0sec	—	1.0sec	0.6sec
のみ口の概算通水断面積 (5)	0.00124m ²	0.00124m ²	0.00124m ²	0.00165m ²	0.00165m ²	0.00165m ²
③により通水速度 (6)=(2)×60/(3)×(5)	50m/min	65m/min	65m/min	62m/min	73m/min	73m/min
③により流量 (7)=(5)×(6)=(2)×60/(3)	63l/min	80l/min	80l/min	103l/min	120l/min	120l/min
③により計算した立坑壁全周換算流量 (7)×22m/(1)	1,400l/min	1,800l/min	1,800l/min	2,300l/min	2,600l/min	2,600l/min
④により通水速度 (8)=0.9m×60/(4)	—	36m/min	54m/min	—	54m/min	90m/min
④により流量 (9)=(5)×(8)	—	45l/min	67l/min	—	89l/min	150l/min
④により計算した立坑壁全周換算流量 (9)×22/(1)	—	990l/min	1,500l/min	—	2,000l/min	3,000l/min

建物の壁面は木製型枠打放し面で、型枠は縦方向に使用してある。化粧巻き打設実験の1次巻き模型の面より粗。

5) 結果

表-2のとおりで、通水の回数を重ねるにつれて通水性がよくなるのは、壁面の汚れを除く効果もあるのではある。化粧巻き打設実験では処女通水であったから通水性が過小に出ているのではないかと思う。

3-4 コンクリートのクリープと乾燥収縮の検討

1) 目的

コンクリート打設後、地山圧力により生ずるクリープおよび乾燥収縮によって生ずる変形が通水性に及ぼす影響について検討する。対象はハイパネルTXのリブ高さ1.5mmのもの。

2) クリープによる変形量

ヨーロッパコンクリート委員会の「コンクリート構造物設計施工国際指針」によるコンクリートのクリープはつぎのとおり。

クリープ歪み (ϵ_f)

$$\epsilon_f = \frac{\sigma_b'}{E_{b28}} \phi_t$$

E_{b28} : 材齢28日におけるコンクリートのヤング率

σ_b' : コンクリートに作用する応力度

$\phi_t = k_c \cdot k_d \cdot k_b \cdot k_e \cdot k_t$ (クリープ係数)

k_c : 非常に湿った大気中……1.50

k_d : 材齢1日以内に土圧が作用すると仮定≒2.0

k_b : $C=400\text{kg}$, $W/C=41\%$ ……0.8

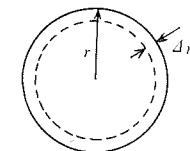


図-8

k_e : 仮想厚, 40cm……0.72, 30cm……0.75

k_t : 1.0

1次巻きコンクリートに作用する応力は不明であるが、材齢6時間の設計基準強度の30kg/cm²を作用応力と考えれば安全と思われる。…… $\sigma_b' = 30\text{kg/cm}^2$

σ_{28} は大よそ500kg/cm²である。CEB/EIPの式によるとEは4.7×10⁵kg/cm²で土木学会PC指針の4×10⁵kg/cm²よりもかなり大きいので、コンクリートの弾性係数としては4.0×10⁵kg/cm²をとる。以上の数値から $\epsilon_f = 130 \times 10^{-6}$

化粧巻きのクリープ歪みは無視できる。

1次巻きのクリープによる1次巻き覆工の半径の減少量は、

$$\frac{\Delta r}{r} = \epsilon_f \approx 130 \times 10^{-6}$$

であるから、 $\Delta r \approx 0.5\text{mm}$

1次巻きのクリープだけを考えると、通水層厚は0.5mm減少する。

3) 乾燥収縮による変形量

$$\epsilon_r = \epsilon_c \cdot k_b \cdot k_e \cdot k_p \cdot k_t$$

ϵ_c : 非常に湿った大気中……11.5×10⁻⁵

非常に乾燥した大気中…… 38×10^{-5}

- $k_b : 0.8$
- $k_e : 0.72 (40\text{cm}), 0.75 (30\text{cm})$
- $k_p : \text{無筋コンクリート} \dots\dots 1.0$
- $k_t : 1.0$

1次巻きの乾燥収縮（1次巻きが非常に湿っていると考えた場合）、上記数値より、

$$\epsilon_r = 66 \times 10^{-6}$$

化粧巻きの乾燥収縮（化粧巻きも非常に湿っていると考えた場合）、

$$\epsilon_r = 69 \times 10^{-6}$$

結局乾燥収縮については1次巻きも化粧巻きも同程度の数値で問題はない。

4) コンクリート打設時側圧の検討

化粧巻きコンクリート打設による側圧が防水シートに及ぼす影響を検討する。

ACIの式

$$P = 0.73 + \frac{80.56R}{17.8+T} \quad \text{または} \quad 2.74h \text{の小さい方の値}$$

- R : コンクリートの打設速度……0.3m/h
- T : 打設したコンクリートの温度……30°C
- h : コンクリートの打設高さ0.2m

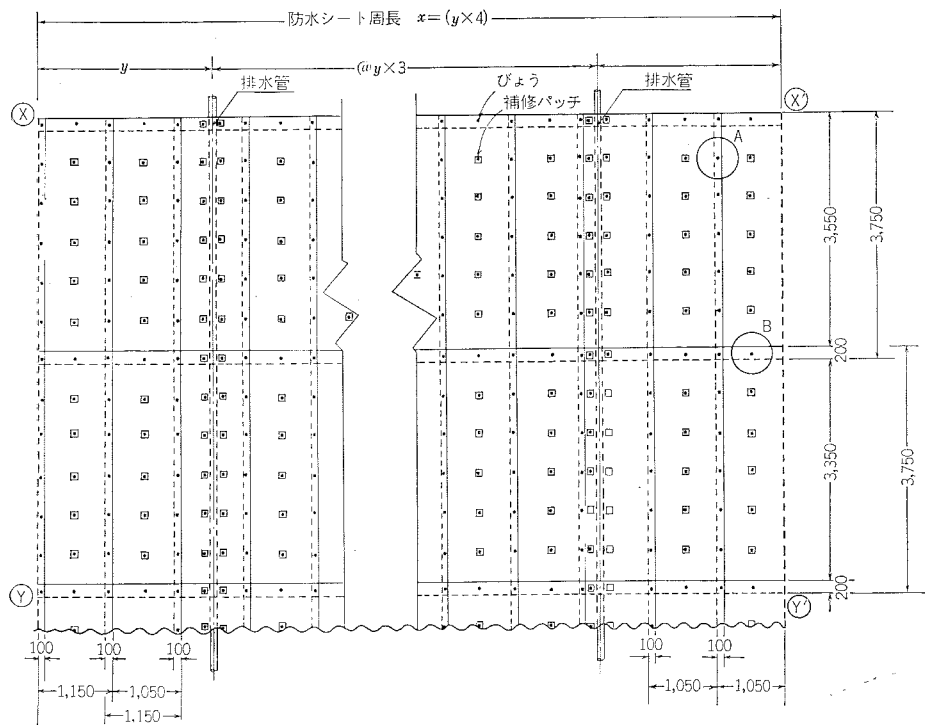


図-9 防水シート施工図

表-3 ハイパネルTXの物性（代表値）

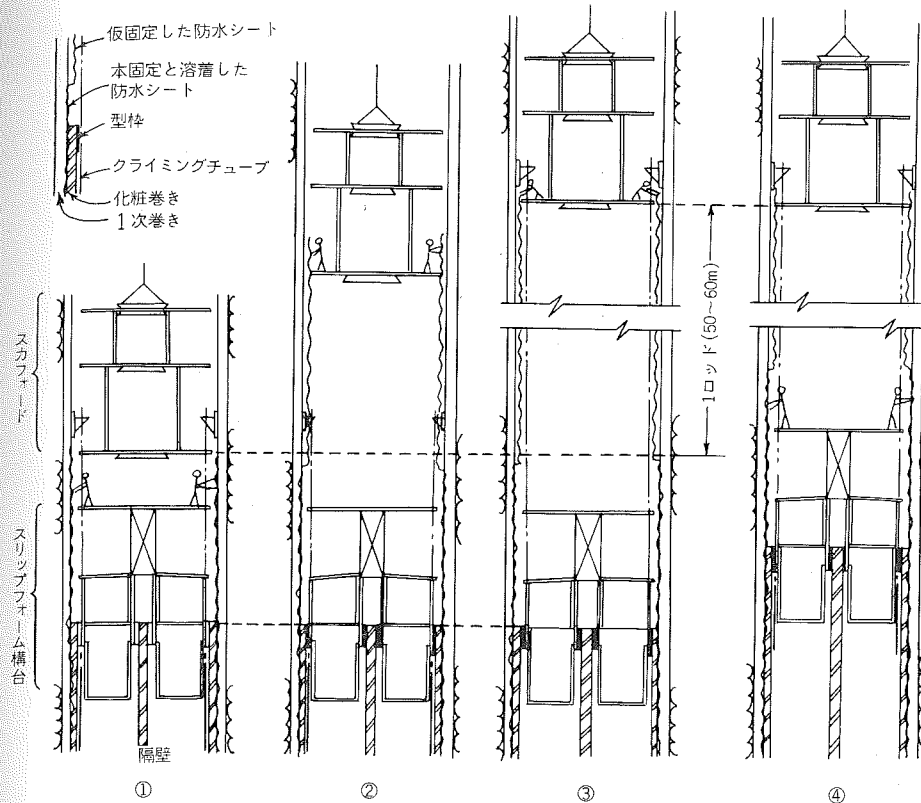
密度	0.917g/cm ³
メルト・インデックス	2.0dg/min
軟化点	100°C
融点	113°C
ぜい化温度	<-80°C
耐酸性	95%硫酸, 35%塩酸など使用可 (発煙硫酸, 発煙硝酸など不可)
耐アルカリ性	苛性ソーダ, 苛性カリ, 炭酸ソーダなど使用可
耐塩類性	食塩, 重クロム酸カリ, 過マンガン酸カリなど使用可
耐有機溶剤性	ニトロベンゼン, アニリンなど使用可 (二硫化炭素, 四塩化炭素など不可)

上記の数値より $P = 1.24\text{t/m}^2$ または 0.6t/m^2 。

0.6t/m^2 の荷重で載荷試験した結果、ほとんど変形なかった。

5) 検討

クリープ歪みによる通水断面減少は、単純に断面積例とすると $(1.5-0.5)/1.5 \approx 0.67$ 。表-1のハイパネルTXの全周流量の180l/分で考えると、 $180 \times 0.67 \approx 120\text{l/分}$ で計画通水量に対し断面不足となるので、リップ高



- ①スcaffolding 至近位置までスリップフォーム構台が滑した状態。防水シートはスcaffolding 位置まで本固定と溶着を終る。
- ②スcaffolding を巻揚げながら防水シートを仮固定。スリップフォーム構台はそのまま。
- ③スcaffolding は1ロッド巻揚がると固定する。防水シートも1ロッド分の仮固定を完了。クライミングチューブを1ロッド上に移設する。スリップフォーム構台はそのまま。
- ④滑揚過程。防水シートを本固定し溶着する。

図-10 防水シート施工順序

を2.0mmとすることにした。この場合 $180 \times (2.0 - 0.5) = 135\text{l/分}$ となる。

4. ハイパネルTXによる施工

結局ハイパネルTXのリップ高さ2.0mmのものを用いることとし、3角形切欠き部には何も充てん材を使わないこととした。ハイパネルTXのサイズは本立坑のステップに適合するよう $3.75\text{m} \times 1.15\text{m}$ とした。これには重なり代として15cmとってある。その物性は表-3のとおり、強度も伸びもよく、カタログによると伸び率は800%とありことである。厳冬でも軟らかくしなやかさを保っている。はさみで切れるので現場合わせが容易である。びょうとしてはラムゼットを使用した。

施工順序はスリップフォームが1ロッド約50~60m滑した後クライミングチューブを盛替える際、スcaffolding の巻揚げを利用して1ロッド分の防水シートを坑壁

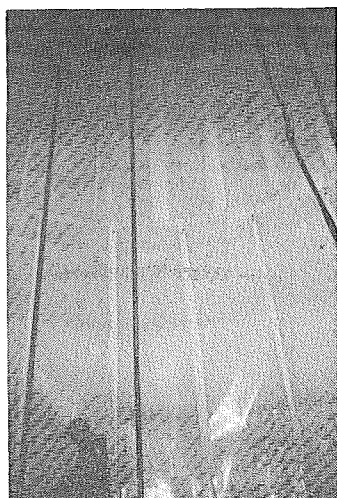
に仮留めしてゆく。1ロッド分巻揚がるとスcaffolding を固定、クライミングチューブを上へ移設し終わると再び滑揚に入るから、スリップフォームの構台の最上部作業床で防水シートの本固定、溶着、びょうの頭などの補修を行う。スリップフォームの滑揚速度が時間あたり24cmであるので、作業員は3名でよい。

防水シートの溶着は1時間に50~60mの速度でできるが、溶接棒の入替え、作業位置の移動などのロスを含めると15~20mの能率である。

施工上2、3気をついたことを細かいことであるが記す。

スリップフォームの滑揚の1ロッド分を先に仮留めする場合、作業スペースさえ許せば防水シートの長さももっと長いものを使いたい。

防水シートの重ね代は左右上下とも15cmとして裁断したが、左右は15cm以内におさまるものの、上下は15



①防水シートを仮留めした坑壁



②びょうの打込み作業



③溶着

写真 防水工施工状況

cmでは不足気味であった。1次巻きの施工誤差、排水管による歪みなどのほか、つなぎ合わせを3角形切欠き部をにげて行わなければならないことも関係しているであろう。ゆえに設計図面としては左右10cm、上下20cmとした。

防水シートの伸びがよいので、坑壁や排水管に密着しない凹凸のある浮上がったような張方でも、化粧巻きコンクリートによって坑壁や排水管によく密着して、しかもその背面を水が盛んに流下しているのが透けて見られる。

びょうは防水シート1枚あたり14本と計画したが、その半分でも間に合うようである。スリップフォームのコ

ンクリートは比較のおだやかに打設されるためびょうが少なくてすむと思われる。

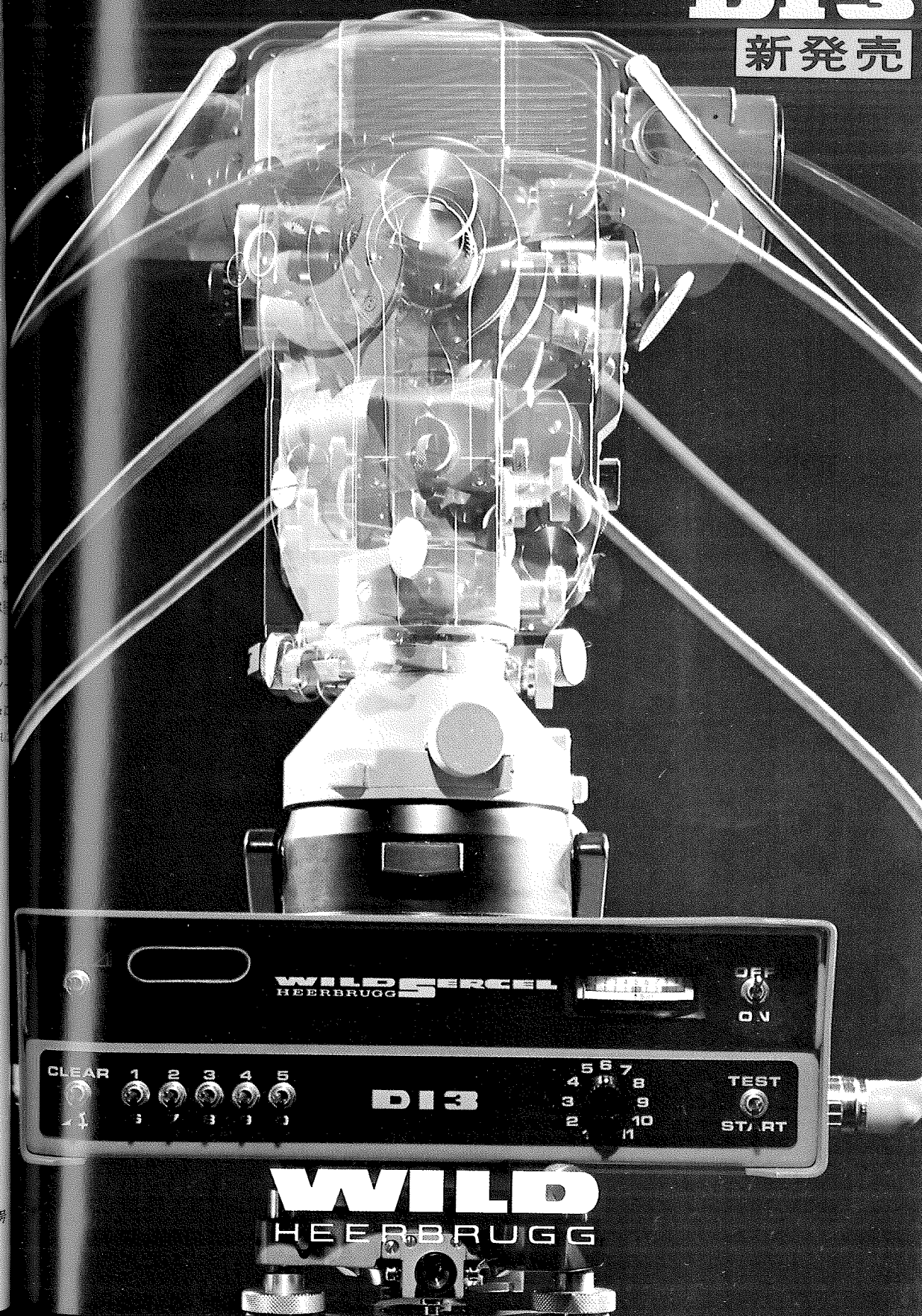
びょうは完全に打込まれない場合が多いが、その突した頭は補修用シートをあてがって周囲を溶着する。補修用シートをなるべく使わないことが完全シャ水には重要なことはいうまでもない。

溶接棒は溶着長に対して5%以上余分に必要であった。防水シートの片面にリブが付いているために重ねたシートが浮いた形になって溶着が不完全になることが往々にしてあり、また、溶着の始端と終端は重複させなければならないことによる。

一步前進している... WILD

DI3

新発売



620mの換気立坑工事 恵那山道路トンネル

長友成樹*
石井達夫**
猪間英俊***

1. ま え が き

うがち初めから7年目に入った恵那山トンネルも、補助トンネルの貫通を数ヶ月後に迎えることとなった。一方換気用の中津川方立坑も、恵那山の紅葉の盛りも過ぎようとするころ、貫通の歓声が地底にこだまする見通しである。

恵那山トンネルの交通流のための換気系は6分割の完全横流式である。換気方式・換気計画の経緯は参考文献



写真-1 立坑全景

* 日本道路公団名古屋建設局
恵那山トンネル西工事事務所長
** 同所神坂工事区工事長
*** 同所立坑工事区工事長

(1)にくわしく発表されているので省略する。

この6分割両端部を除いた4ブロックは、それぞれ2ブロックずつ中津川方立坑、飯田方斜坑によって換気する。本報文はこの中津川方立坑の工事報告である。

2. 工 事 概 要

本立坑は昭和44年春より本格的調査に入った。換気系の分割から、立坑位置はトンネル延長の3分の1地点、すなわち中津川方坑口より約2,816m付近となるべきであるが、この地点は百鳥沢とよぶ急峻な谷で、立坑掘さくには困難な地点であるので約300m坑口側へ移し、中津川方坑口から約2,495m、また地下換気所との取付けの関係もあり、本線トンネル中心線からの離隔距離約110m南に、円形断面で、仕上り内径6.2mで建設することとした。

この地点は恵那山=富士見台=南沢山と南から北へ連なる県境をなす山稜から、西へ分岐した尾根がさらに小さな尾根へ分かれていく要の位置にあって、急峻な山腹にあってやや緩傾斜である。したがって地質もこの周辺では比較的良好であると期待できた。

標高は1,320mで、約3.2km近くまで林道がすでにあっ

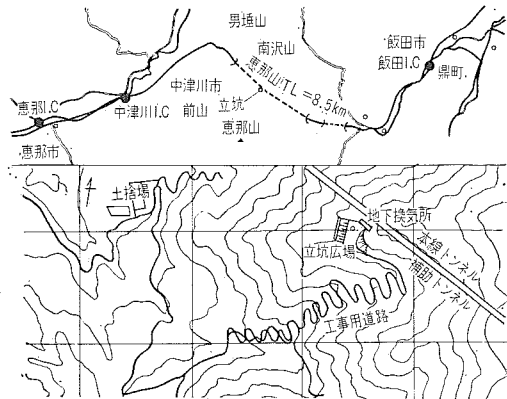


図-1 立坑位置

たが、昭和44年7月にこの林道から工事用道路を施工した。この道路は平均こう配約10%のヘアピン・カーブの連続である。

この工事用道路がほぼ完成した時点、昭和45年7月に立坑工事の水抜坑工事を着工した。

水抜坑工事の竣功後、翌昭和46年8月立坑工事の本工事を契約、坑口部30mの施工、櫓、巻揚げ設備その他の仮設工事につづいて、昭和47年6月より本格的な施工を開始した。当初トラブルがあり相当日数を失ったが、掘さくの進行速度は設計どおり順調に進み、本年6月末には400mを突破した。

秋には坑底にすでに導坑として入っている水平ダクトと貫通する。貫通後は立坑内の送排気を区分する隔壁工事と、防水工事をふくめた化粧巻立て工事を坑底より上へ進め、最後には坑口に高さ26.5mの換気塔を建設する。

立坑の諸元は深さ620m、仕上り内径6.2m、掘さく径は標準として7.4m、7.7mで詳細は図-2のとおりである。仕上り内径6.2mは、計画風量362m³/secに対して立坑内風速約25m/secとなり、これは従来の上限値とされている20m/secをこえても止むをえないという前提に

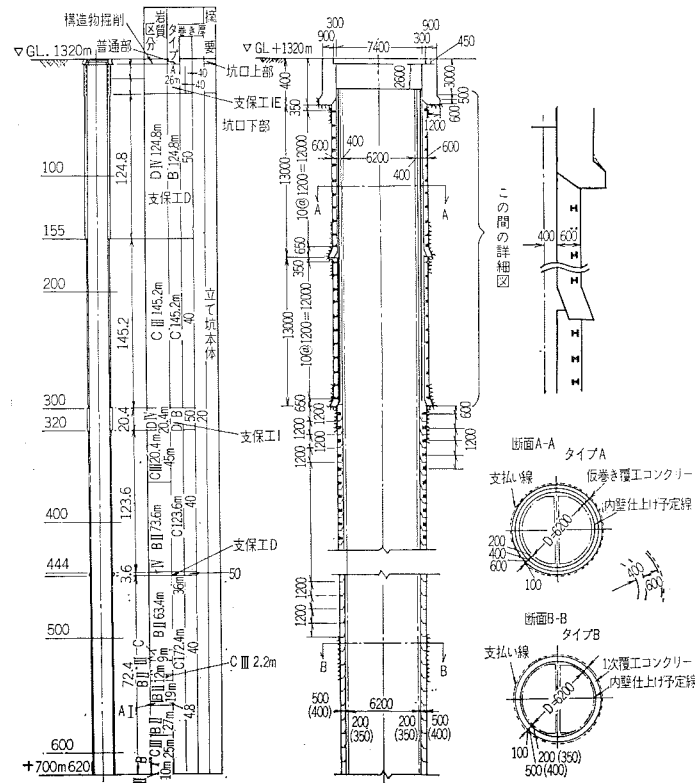


図-2 縦断面図、標準断面図および地質縦断面図

たっており、立坑の掘さく径としてはこれまでもっとも多く施工されている、いわば手馴れたものに止めようということから、上記の掘さく径に決定した。

施工場所は岐阜県中津川市神坂字袖林の国有林地内である。

3. 地 質 状 況

恵那山トンネルの地質は濃飛団研の考えにしたがえば、古生層の基盤上に地塊運動が起こり白亜紀にいたり、ここにいわゆる濃飛流紋岩とよぶ火砕流堆積物が相次ぎ堆積、その後花崗岩類が貫入したものであり、その花崗岩類には花崗斑岩、伊奈川型の花崗岩、苗木上松型の花崗岩を包含している。

中津川方は濃飛流紋岩が厚く堆積し、トンネル計画高では濃飛流紋岩が大部分で、ごく一部で貫入した苗木上松型花崗岩が断層を伴ってあらわれる。立坑では全延長にわたって濃飛流紋岩であるが、濃飛流紋岩を細分した濃飛団研の記載によれば、立坑の300mをやや過ぎたところまで富士見台溶結凝灰岩、それ以後恵那山溶結凝灰岩であった。そのちがいは前者は後者にくらべ苦鉄質であり、斑晶が一般に小さく少量であるほか、2の特徴がある。ただし、この地層区分は立坑掘さく上差異は認められない。

それよりもこの付近の濃飛流紋岩は阿寺断層末端部にあたり、断層の発達著しいこと、また節理がよく発達して、立坑では深層風化により節理面の茶褐色の汚染が深度260mをこえてなお認められた。断層面、破砕帯には白色粘土の10~20cm程度の帯がひん繁にあらわれた。濃飛流紋岩は岩片では非常に硬質で、圧縮強度で2,000kg/cm²以上を示すものさえ多いが、断層・節理に富み、潜在き裂が非常に発達しているため、岩盤としてはむしろ崩れ易い。このような岩の特徴は立坑掘さくにおいて、いろいろな形であらわれ、たとえばずりの粒度の不連続性一玉石級、砂級が多くて砂粒級が少ない、あるいは坑壁は自立するのに、さく岩機の震動による孔壁の荒れと水の滞留により、さく孔した孔がただちに崩れてしまうこと、グラブの爪の磨耗がはなはだしいなどに見られる。

湧水は大きな問題であるが、後でのべる水抜坑工事と水抜坑孔明工事が有効に

きいたと思われ、湧水は少ない。

4. 水抜坑工事と水抜坑孔明工事

水抜坑工事とは、立坑の工事中の湧水をポンプ揚水することが得策でないため、下に補助トンネルがあることを利用して排水することとし、立坑の掘さく断面内にボーリングをし、最終口径 168.3mm のケーシング・パイプをそう入するもので、立坑工事の成否がかかっていた。

そのため石油さく井の優秀な技術をもつ石油資源開発株式会社と契約した。工事は 500HP エンジンの大口径ボーリング・マシンなど資材約 1,000 t を立坑坑口広場に引揚げて、実掘さく日数 49 日、3 方 2 交替で約 12.7m/日の高効率をあげ、深い山の中で雪に閉じこめられる直前に辛うじて竣功できた。

なおこの工事において特記すべきものとして、ターボドリルによる孔曲りの矯正工事がある。そもそもボーリング、とくに長尺の場合は大きな孔曲りを生ずるものである。しかしこの水抜坑の場合は上記の目的からして、立坑の断面直径をはみ出す孔曲りは許されない。このためとくに慎重に掘進するとともに、ほとんど毎日孔曲りを測定して許容値以上に達しそうな場合は強制的に孔曲りを矯正することとした。この結果、孔曲り測定精度の

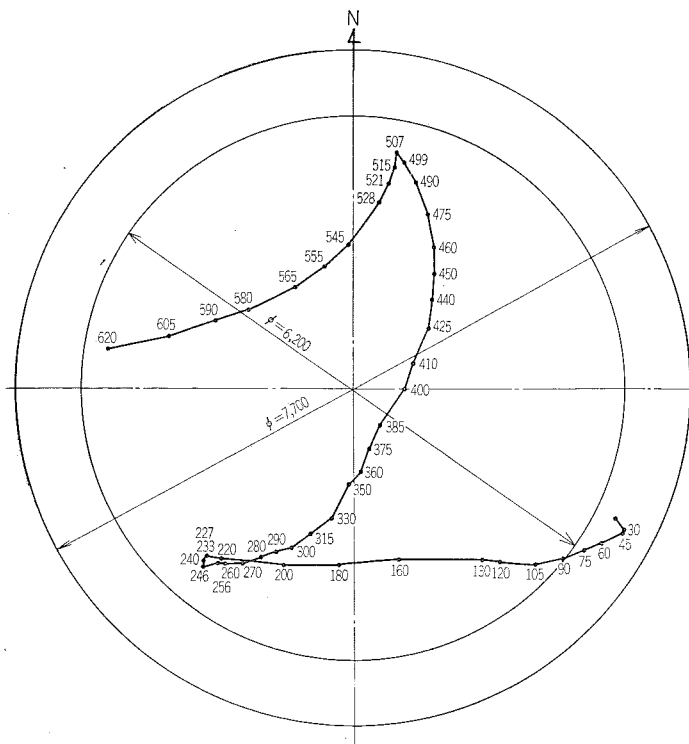


図-3 水抜坑の軌跡と立坑掘さく断面との関係(数字は深度)

優秀さと相まって所期の目的を達成した。

この工事の詳細については、すでに本誌の第 2 巻第 9 号に報告されていることを付け加えておく。

つぎに水抜坑孔明工事は、水抜坑としてそう入設置したケーシング・パイプに孔明することによって、地山の地下水を積極的に排除するために施工した。

水抜坑工事施工中、水抜坑としてそう入するケーシング・パイプとして、有孔のパイプとするか、それとも無孔のパイプをそう入して後孔明するか検討した。ボーリングの後補助トンネルから導線を分岐してボーリング孔尻と貫通する時期が、ボーリング完成後一年半程度あるため、有孔のパイプをそう入すると、孔からパイプ内に流入する土砂でパイプが詰まってしまうことを怖れたこと、また立坑掘さく開始直前に孔を明けても水位の低下は相当期待でき、立坑の掘さくの進行速度から考えて、切羽が低下した地下水位に追いつくのは相当深くなるだろうということを考えあわせ、無孔のパイプをそう入しておいた。

そう入設置されたケーシング・パイプに孔を明ける工法は、石油開坑で坑井仕上げの工法として一般に行なわれているもので、ガン・パーフォレーション、略してガンバ仕上げとよんでいる。これに対して初めから有孔のパイプをそう入する工法をライナ仕上げとよんでいる。

まず孔明工事を実施する前に、セメント・ボンド検層を行なった。この検層の目的はケーシング・パイプの外側の空き状態を知ることにある。ボーリングの孔壁が崩れ、パイプと孔壁の空きに土砂が落ちこんでいる個所に孔明することは、パイプ内に土砂を流入させることとなるので好ましくないからである。

装置は音波検層機に電子管回路を接続したもので、一定強度の音波を放射し、パイプを走行して受信器に到達した最初の波の振幅を測定記録するものである。

油井では水止めのためのセメンテーションを対象にこの検層を行なうが、セメントの代わりに孔壁が崩れていても使えるのであって、パイプの外側がセメント、土砂がよく付着していると、音波のエネルギーが失われ振幅が減衰することを利用したものである。

孔明工事に用いる器材のおもなものは、グラス・ジェット・チャージ、ストリップ

プ・キャリア、導爆線、電気雷管である。

グラス・ジェット・チャージは、ガラスのケースに成型装薬と伝爆薬とを封じたもので、一個が幼児の拳ぐらの大きさである。これを爆轟させると、高熱のジェットとなって噴流し、ケーシング・パイプに孔明するもので、その威力は 40cm の鋼板をも貫くといわれている。せん孔径は約 9 mm である。

ストリップ・キャリアは、グラス・ジェット・チャージをはめこんで支えることのできる円孔を多数あけた、幅 3 in の長いプレス板である。これに導爆線を一緒に編むようにしてグラス・ジェット・チャージを装着する。このとき導爆線とグラス・ジェットの伝爆薬とがガラスを隔てて接するように編む。導爆線の末端は電気雷管に接続する。

今回の工事では、ストリップ・キャリアは 10m、グラス・ジェット・チャージは深度 1 m あたり 4 ~ 6 個とした。装着を終わってケーシング・パイプ内につり下げた状態はつるし柿のごとくで、目的

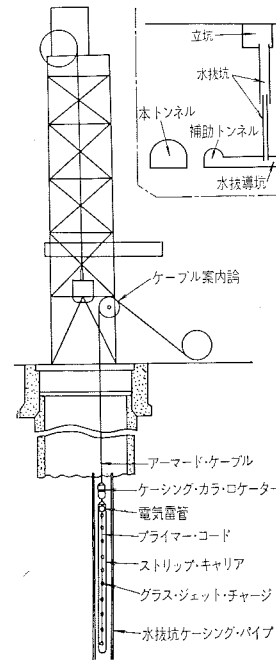


図-4 孔明工事模式図



写真-2 孔明工事の状況

の深度によって、電気雷管によりグラス・ジェット・チャージを一斉に発射することで 1 回の作業が終わる。材料一式をつけかえ発射をくり返し、必要な深度全部に孔明する。

油井では m あたり 13 発発射するが、m あたり 4 ~ 6 個に減じたのは、ケーシング・パイプ外側が大部分セメンテーションによる固定をしていないため、孔明工事によりパイプが破損し易いことを懸念したものである。なお実施にあたってはパイプ内を湛水し水中発射とすることによって、パイプ破損をできるだけ避け、かつ作業器材の破損とパイプ内遺留などを避けるように努めた。

せん孔数は延べ 260m 区間に 1,360 発、爆轟回数 30 回で、1 回の爆轟に湛水の確認、検測を含めて 25 分前後を要した。

さて孔明工事の結果、効果であるが、ガンバの施工箇所を掘り出して実際に見るという例はなかった。今後は考慮を要すると思われる現象もあった代わりに、効果は予期以上といってもさしつかえない。

350m 以浅の 9 5/8 in ケーシング・パイプでは、カップリングが数個割れていた。割口のさびからみて立坑掘さくの発破によるものではなく、ガンバのせん孔と無縁のところでも割れていた。しかしカップリングの破損の発生が、ボーリング孔の孔曲りが大きくて、ターボドリルで方向変換させた深度に集中していることから考えて、当の深度をせん孔する直前の近くの深度をせん孔した時に、孔曲りによる応力の蓄積していた深度のカップリングに衝撃を与えて割れたものと推定される。

また 330m 以深の 6 5/8 in のケーシング・パイプは、330 ~ 350m 間は 9 5/8 in のパイプ内に固定されない状態で、350m 以深は 8 5/8 in のボーリング孔にセメンテーションなしの状態を設置してあって、350 ~ 395m 間をせん孔した。その結果多数の孔が、孔を中心に 5 ~ 30cm の割目が入っていた。割目は上の方ほど大きかった。これはパイプが固定されていない状態にあることと、管厚が 9 5/8 in 管にくらべ 6 5/8 in 管は約 1 mm 薄いことによると思われる。m あたり発射数を減じていなかったら恐らく完全に縦き裂していたであろう。

地下水位は孔明工事以前は常に 180m 前後にあったが、立坑掘さくが 400m 以深に達しても湧水は少なく、顕著な滞水箇所もなくポケット水もない。深くなってきたためウォーターリングでとりきれない漏水が坑底に雨のように降りそそぐのが、むしろ切羽湧水より多いという状況であって、孔明工事は十分目的を達したといつてよい。なお孔明工事の実施は昨年 8 月である。

5. 坑口工事

本立坑の構造は上から坑口上部、坑口下部、本体部に3区分できる。

坑口上部は巻揚槽の基礎であり、将来は換気塔の基礎となる井筒部で深さ4mまでの部分である。ここには坑口座張、測量座張を設備する。

つぎにその下26mを坑口下部と称して、支保工を施工して掘り下るいわゆるロング・ステップ工法で施工した。本体部のずり積みにグライファを用いるためには、その操作に支障のない深さ、また発破による飛石がスカフォード、坑口ドアなどを損傷することのないだけの深さ、また岩盤が深くまで緩んでいることなどから、30mを坑口部として本体部と異なる施工を行なった。

坑口下部の26mは1ロッド13mの2ロッドとし、一発破進行は支保工間隔と同じ1.2mで施工した。発破後ずり積機D20Sを搬入し、1.5m³キブルに積み込み、地上に

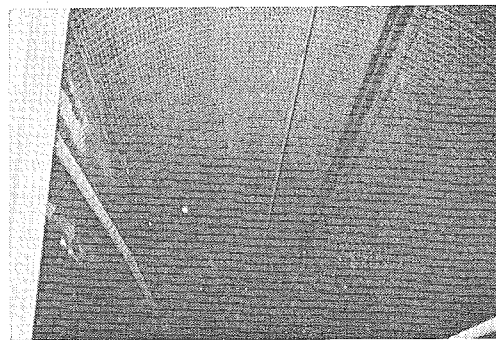


写真-3 坑口下部のベルノルド鋼板工

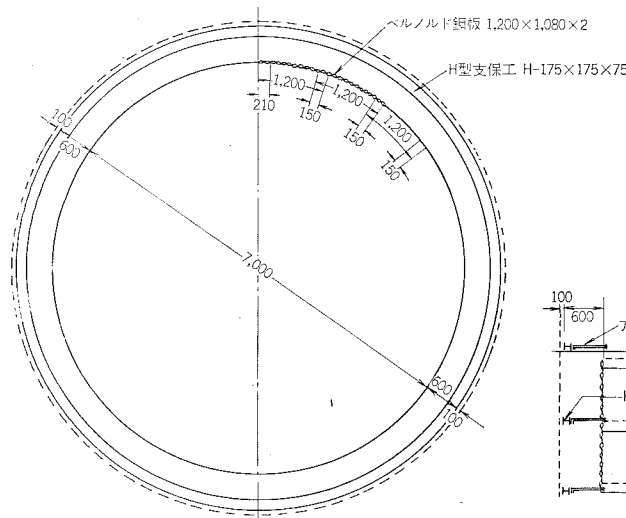


図-5 ベルノルド鋼板工、組立図および詳細図

据えたトラック・クレーンで引揚げた。第1ロッドの掘さくが完了すると覆工に移り、つづいて第2ロッドの掘さくに入る。

覆工は当初の設計では2回に分けて覆工することとし、外巻きは無筋コンクリート、内巻きは鉄筋コンクリートであったが、施工直前にベルノルド鋼板が国内生産され始めたので検討の結果、

1. 型わく費、鉄筋費の合計額よりも、ベルノルド鋼板の方が若干安い。
 2. 施工速度はベルノルド鋼板がすぐる。
 3. 施工はベルノルド鋼板の方が容易である。
- 以上の理由で設計を変更して図-5、写真-3のようにベルノルド鋼板を施工した。

6. 立坑本体部

立坑本体部は30~620m間で、一次覆工を40cmおよび50cmとし、この上に化粧巻きとして20cmを施工することとして、掘さく径を7.4mおよび7.6mで計画した。しかし一次覆工は逆巻きとなるため、どうしても継目からの漏水は避けられず、これを二次覆工後の立坑内部に漏らすと、厳冬期につららを生じ、内空断面を縮小させ、また落下したつららが換気機を損傷することが考えられるので、完全な防水工が一次、二次両覆工間に必要となる。またウォータリング間の排水管にしても、遊離石灰の沈着、水あかの付着を考えると太いものを埋設したいこともあり、二次覆工を20cmから35cmに変更、途中から掘さく径を7.7mおよび7.9mとした。

立坑の施工法は交互法と並行法とがあり、おのおの

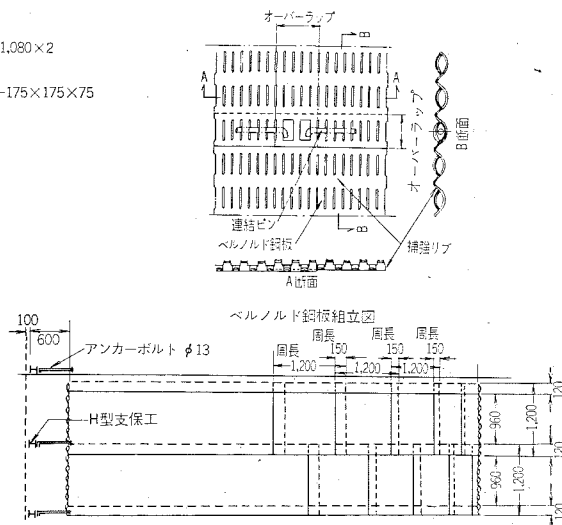
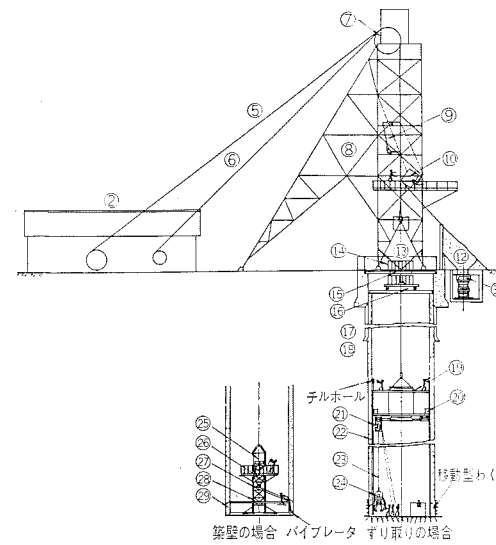


表-1 主要機械設備

設備種別	機器種別	仕様
主巻き	キブル巻揚機	500kW, 3300V, 複胴を単胴で使用, 240m/分
	ロープ	32φ, 4×F(10)+6×F(10)G ^c /L
	ずりキブル	内径1600φ, 高さ1500φ, 3m ³ ×2台
	ヘッド・シーブ	2800φ
スカフォード	キャプスタン巻き	45kW, 220V, 複胴, 4.19m/分
	ロープ	28φ×2本, 6×(☆+6) ^c /L
	ヘッド・シーブ	2800φ
	スカフォード	2段, 外径6400φ, キブル通過口1か所 2100φ
槽	槽	A型, 高さ23m
ずり積み設備	グライファ	0.4m ³ ×1台, せん回装置つき, 予備0.3m ³ ×1台
	ミキサ	0.5m ³ ×1台
覆工設備	型わく	移動型わく, 高さ1300
	コンクリート・キブル	1.5m ³ ×2台
圧気設備	圧縮機	235IP, 39.2m ³ /分
通気設備	扇風機	37kW, 400m ³ /分
さく孔機具	さく岩機	F-10, 10台
	ピッケル	CA-7, 6台
	シャフト・ジャンボ	四連装



番号	名称	番号	名称
1	巻揚機(600IP)室	17	コンクリートブロック(二重巻)
2	"(60IP)"	18	"(一重巻)
3	600IP単胴巻	19	スカホード
4	60IPキャプスタン	20	スカホード定着装置
5	主巻ロープ	21	回転箱
6	キャプスタンロープ	22	20IPクラブ巻
7	矢玄車	23	20IPワイヤロープ
8	鉄製槽	24	0.4m ³ クラブ
9	キブル転倒装置	25	1.5m ³ コンクリートキブル
10	3m ³ キブル	26	1.5m ³ 入ホッパ
11	ずり捨シュート	27	シュート
12	ずりホッパ	28	ホッパ架台
13	坑口扉	29	ショートステップシンキングパネル
14	保安柵	30	つり下式振動フイダ
15	坑口座張		
16	測量座張		

図-6 立坑施工次第図

ロング・ステップ方式とショート・ステップ方式とがある。本立坑ではショート・ステップ方式の方がよほど地質が悪くない限り支保工が不要で施工速度が速いこと、保安上よいこと、工費もロング・ステップ方式とほとんど同等であることなどから、ショート・ステップ方式の交互築壁工法を採用した。

ステップ長は、全体としては地質が悪いので1.2mとした。岩質IVに対してのみ支保工H-125×125を、1ステップ1基、ステップの中央に建込むこととした。

3方稼働で月進38.9~49.8mと計画した。

おもな機械設備は表-1のとおりである。

○さく孔・発破作業

掘さく断面積は、掘さく径変更前の175m以浅は45.4m²(標準部)、変更後の175m以深は46.6m²(標準部)である。重力方向に向かってさく孔するため孔尻は30cmとり、1.5mのさく孔を全断面に行なう。実際には孔崩れがひどく、1.5mのさく孔を行なっても1.0~1.1m、あるいははなはだしい時は0.8mといった進行しかえられず、したがって1発破1覆工であるべきところ、たとえば6発破5覆工といった状況がつついている。孔崩れのためさく孔しても使えない孔が多く生じ、岩質IVで90孔以上のさく孔を要したこともある。ダイナマイトは複m³あたり0.6~0.7kg/m³の消費量である。

水抜坑が坑底を掘さくの進行につれて移動する。掘さく断面の中心近くにある時は、心抜き発破は側壁に移す。また水抜坑を破損しないよう、水抜坑周辺は一段遅い段発として、ずりを水抜坑と反対の方向にとばす。

水抜坑にはずりが入るのを防ぐため、発破時ばかりでなく全作業をとおして、水抜坑にはストレーナ付きのキャップをかぶせ、厳重に保護している。

初めさく孔にアンブレラ・ジャンボを計画していたが、アンブレラ・ジャンボを用いても孔崩れはやはりあるし、搬入・セット・解体・搬出にかかる相当の時間をとり返すだけの高能率のさく孔は望めないで、古河F-10を使っている。一方6~8名でさく岩機は4~5台、孔崩れを防ぐためセメントを4~5袋孔の口元にまいている。

発破後の換気はビニール風管をスcafford直下まで敷設し、吹込式の送気をしている。

○ずり搬出

ずり搬出はグライファ0.4m³ 1台をスcaffordからつり、3m³キブルに積込み搬出する。

ずり搬出は発破後全量を引きつづいて行なうのではなく、2回にわけて行なう。最初まずずりの約30%を搬出し、残りをならした後にこの上に型わくを降ろし据付け、コンクリートを打設する。打設後第2回目のずり搬出に入り、70%のずりを搬出してさく孔に入る。したがって型わく1わく分の高さは、前回の残ずり70%と今回発破のずり30%を搬出することによって形成される。

1回の発破で35~40箇前後のずりが発生する。発破直後のずり積込みは、ずりをつかみ易いため速くて、巻揚げ巻降ろしの時間の方が長いので、積込みより巻揚機に左右されてほぼ9~10分に1箇搬出できるが、ずりが少なくなってくるとずりをつかみにくいため巻揚機の方が待ち、20分に1箇という状態になる。

岩は粉砕されていても硬質であるため、グライファの爪の摩耗がはげしく、爪の寿命が炭坑の場合の10分の1であるということである。

坑口に出たずりはずりシュート上へキブルを転倒させ、

ずりびんからフィーダ、コンベヤを経てダンプ・トラックに積み設備をしてあるが、冬期はずりが凍るほか、フィーダ、コンベヤが凍ってしまうため、これらの設備は使えなかった。

○支保工

支保工はH-125×125を5片、ペーン接合したリング支保工で、コンクリート中に埋込んだアンカ金具につりボルトをつり、これに支保工をかける。

ショート・ステップ方式の有利な点の一つは、支保工を相当の悪地質でも省略できることによって施工速度が上ることにあるから、岩質IVには支保工を用いる設計であったが、状況に応じてできるだけ支保工を省略する方針としている。

○覆工

ずり搬出が1.2mの高さだけ進行すると、ずり搬出を中断し、盤をならして覆工作業に入る。型わくは前ステップとの重複打設分10cmを余分にとり高さ1.3m、下部の高さ40cmについては外側へ20cmのテーパをつけて、このテーパからつぎのステップのコンクリートの流しこみに都合よくしておく。

まず測量座張りよりピアノ線を降ろし中心を出し、前回打設部から型わくをゆるめ、スcaffordにてチルホールを操作して型わくを降下させ、ずり面にセット、内面を掃除、はく離剤を塗布して型わくの設置を終る。つぎに坑外より打設足場、ホップ、シュートなどを搬入、打設に入る。コンクリート・キブルは1.5m³積み2箇を使用、パッチャ・プラントは狭い場所で設備でき、練混ぜ能力の高いエルバE

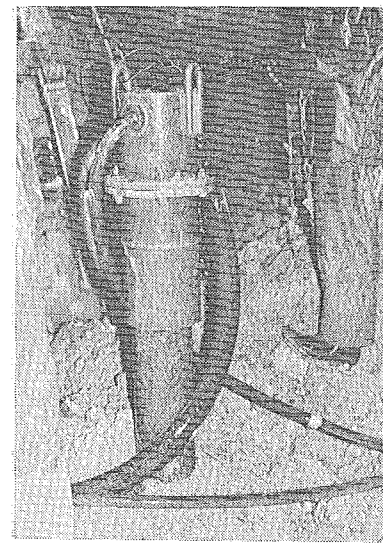


写真-4 坑底の水抜坑

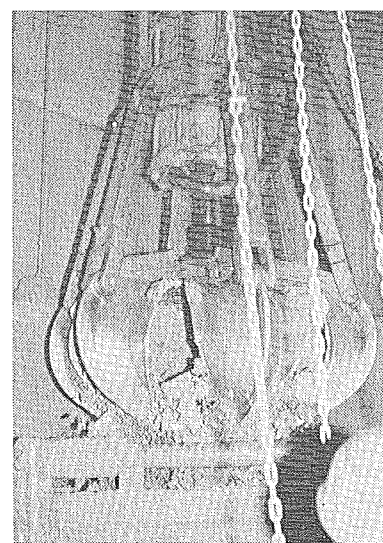


写真-5 ずり積込作業状況

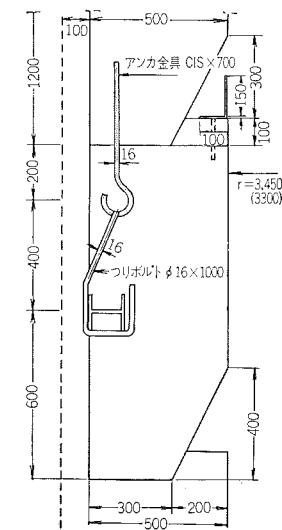


図-7 支保工、覆工、ウォータリング詳細図

表-2 覆工コンクリートの示方配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	単位水量 W (kg)	単位セメント量 C (kg)	水セメント比 W/C (%)	絶対細骨材率 S/a (%)	単位細骨材量 S (kg)	単位粗骨材量 G		単位混和剤量 (g)
								5~25mm	25~40mm	
40	10±2	2~4	166	400*1	41.5	41.0	720	1,050		10,000*2

*1 早強ポルトランドセメント。

*2 ポゾリス No. 10 L 2,000 g, 塩化カルシウム 8,000 g。

PZ401Aを設備した。

ショート・ステップ方式であるから短時間の中に型わく外しと、直下における発破が行なわれるので、コンクリートは早期強度を必要とし、6時間の設計強度を30kg/cm²として試験を行なった。結果はつぎのように要約できる。

1) 6時間圧縮強度は、単位セメント量50kg/m³、塩化カルシウム1%、養生温度10°Cの増減に対し、それぞれ15kg/cm²、20kg/cm²、30kg/cm²増減し、養生温度の効果が大きい。初期材齢においても、水量増加による強度低下が大きく、不必要な水量の増加は避けなければならない。また超早強セメントは早強セメントより25kg/cm²上回る。

2) 材齢6時間における圧縮強度はバッチ変動が大きいので、設計基準強度 $\sigma_{ck}=30\text{kg/cm}^2$ に対して配合強度は $\sigma_r=45\text{kg/cm}^2$ となる。これを満足する配合は早強セメントを400kg/m³用い、混和剤として塩化カルシウム2%、ポゾリスNo.10Lを用いたものである。

立坑の位置は標高1,320mであるから、幸いこの数年は暖冬であったが、冬季の最低気温は-20°Cは考えておかなければならない。立坑工事を冬も休まず進める方が有利であると判断され、立坑工事はサイクルで仕事をする以上、昼夜天候に関係なく待たなしでコンクリートを打設しなければならないこと、また平均10%という九十九折の運搬路の水結、荒天による閉鎖といった事態も予想されるので、寒中コンクリートには十分な設備を施した。骨材およびコンクリート関係設備にはスチーム暖房をし、断熱材あるいは断熱材をはさんだ上屋をかけ、水は40°C程度に加熱するなどして、10°C以上のコンクリートを常に供給した。しかし打設場所が坑内であるため、気温は11°C以上あるので、養生についてはなんの考慮も必要なかった。

○湧水処理

坑底の湧水と覆工継目からの漏水は、坑底の水抜坑から自然流下により補助トンネルへと排出する。覆工継目の漏水は、平均30mに1か所設けたウォータリングに集め、水抜坑へ直接導く。それでも漏水がなめらかに流れているうちはよいが、漏水が多くなると、覆工継目ごと

にできる切欠き部にたまったずりのため飛散するようになるので、坑底では細雨が降っている状態になる。

将来立坑内側への漏水は好ましくないので、覆工裏面にもマットを縦方向と円周方向に埋設している。

7. 工程のスピード・アップについて

一時水抜坑が閉塞するトラブルがあったため正常の掘さく進行がえられなかった時を除き、月進45~55mで進んでいる。今年6月末日に400mを突破した。

すでにくり返しのべたように、硬質でありながらもろく、節理に富んで崩れ易い岩を相手に工程のスピード・アップについて、いろいろの角度から検討したが、これという決め手がない状態である。

問題はさく孔・保孔関係とずり搬出関係にしばられる。さく孔する孔の口元にセメントをまくことは、小さなずりは粘土化し、孔内に落込むことが少なくなって有効であるので実行している。

湧水がある時に薬液を使って保孔を試みたが、これは水で稀釈されてしまい効果はなかった。

鉄のパイプを打込み、この中をさく孔する方法は、き裂や湧水の多いところで有効であるが、長いものを使うと打込み引抜きに困難で、一番調子のよいのは40~60cm程度のものである。この方法も採用している。

ケーシング・パイプと組合わせた偏心ビットによるさく孔は、線粉がうまく排出されず、したがってケーシング・パイプも入ってゆかない。そのロッドがケーシング・パイプに対して斜めに取付けた構造のものであったが、さく岩夫の手元でみそすり運動をすることもあって使用にはたえなかった。

ワゴン・ドリル・タイプのもは、さく孔はすみやかであるが、搬入・セット・坑内での移動に非常に時間がかかり使えなかった。アンブレラ・ジャンボも同様に搬入・セット・解体・搬出に非常に時間がかかる。

ロッドは1.5mだけでなく、1.6mものをつくり一発破1.2mを確保しようとしたが、身長足りないさく岩夫には取扱いにくいので、全面的にとりいれるに至らなかった。

ずり積込み関係では、ロッカ・ショベルME630は、

