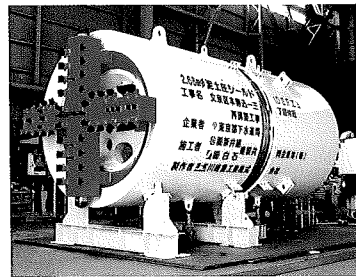


DSR

Draw a Shield for Recycle system

内胴引抜再利用型シールド工法

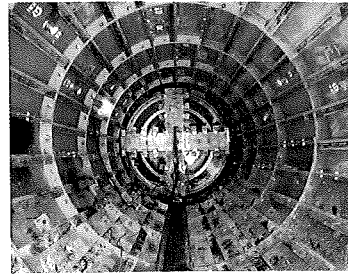
Kawasaki



①シールドマシン全景

先行掘進工区
(内胴回収工区)

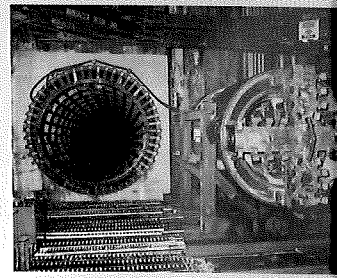
掘進可能距離は通常のシールド工法に準じます。経済性を考慮する必要がありますが、引戻可能距離に制限はありません。最小曲線半径は10Rです。



③内胴引抜状況(到達側より)

立坑

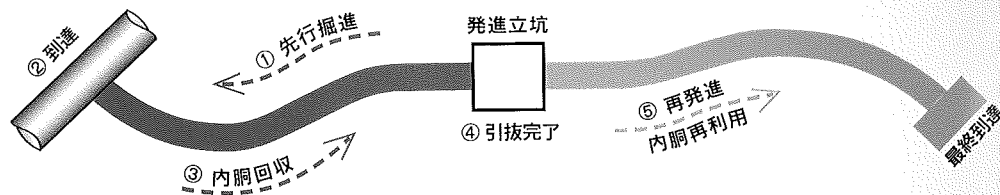
発進立坑および発進基地は、路線内で自由に選定可能です。



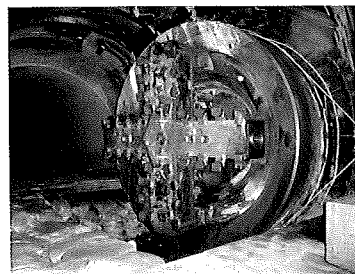
④内胴引抜・回転完了

再発進工区
(内胴再利用工区)

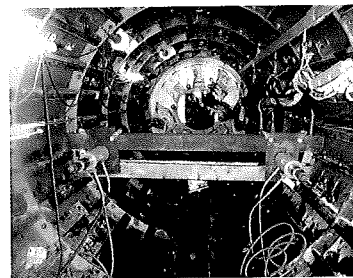
掘進可能距離は通常のシールド工法に準じます。最小曲線半径は10Rです。



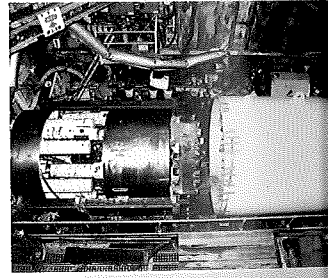
②先行掘進到達



③内胴引抜状況(発進立坑より)



⑤再発進・新規外胴取付状況



川崎重工

大型構造物ビジネスセンター 土木機械・機器営業部

東京本社：東京都港区浜松町2-4-1 (世界貿易センタービル)
関西支社：大阪市北区堂島浜2-1-29 (古河大阪ビル)

〒105-6116 (03) 3435-2387~9
〒530-0004 (06) 6348-8255

DSR工法研究会

株式会社新井組 株式会社鴻池組 石川島播磨重工業株式会社
株式会社白石 株式会社竹中土木 三菱重工業株式会社
戸田建設株式会社 株式会社間組 川崎重工業株式会社
株式会社フジタ 村本建設株式会社

web. <http://www.dsr.gr.jp>
E-mail: jimukyoku@dsr.gr.jp

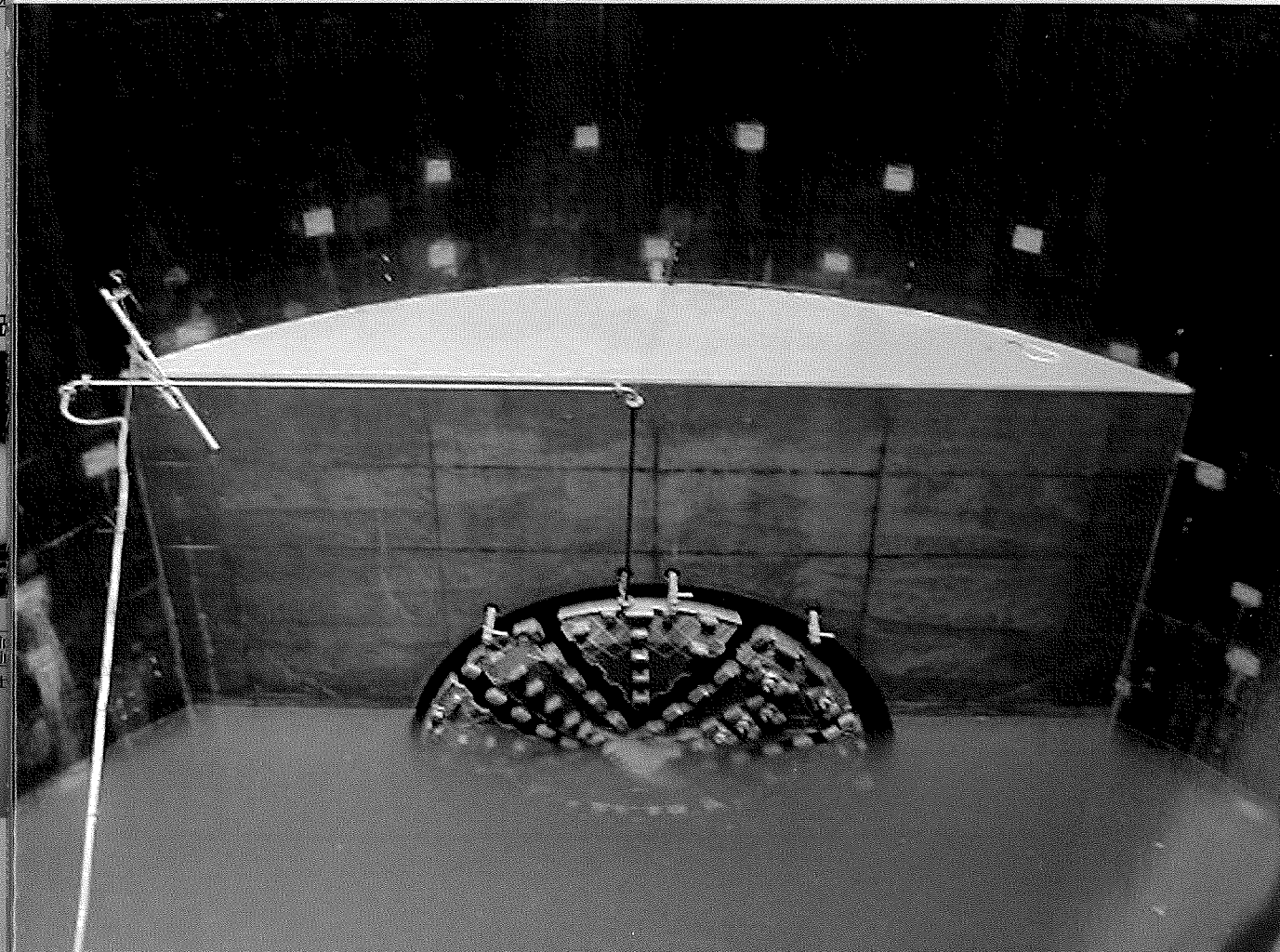
トンネルと地下 11

vol. 36
no. 11
2005

Tunnels and Underground

多亀裂・褶曲を有する第四紀未固結シルト地山への挑戦
都営新宿線シールド直上11cmに開削で駅を築造
石灰岩および上部未固結礫岩における大量湧水を克服
長距離・高速施工の内水圧対応シールドトンネル
内空変位量および天端沈下量と地山条件の相関に関する考察
新潟県中越地震における道路トンネルの被害
イスタンブール世界トンネル会議技術調査報告(2)

日本トンネル技術協会誌



定価 1,575円
本体価格1,500円

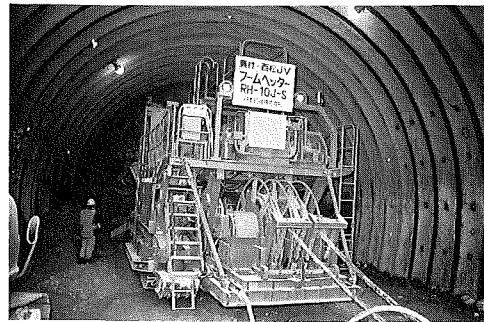
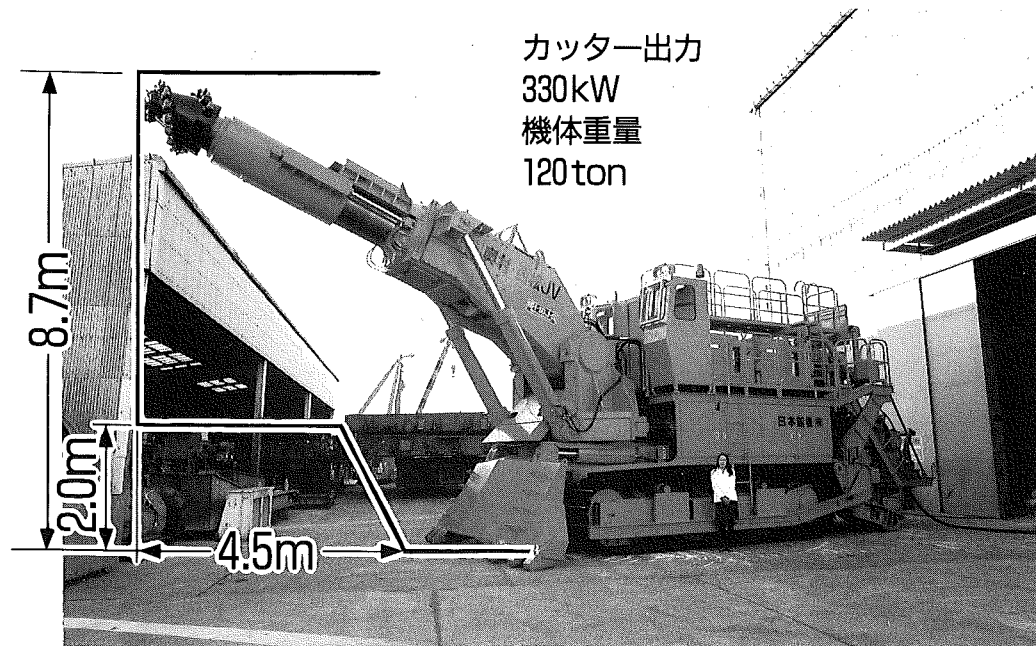
雑誌06619-11



4910066191153
01500

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッド

カッター出力
330kW
機体重量
120ton



RH-10J-S型は

- ① 積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。
- ② トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社 建設機械部

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

<http://www.kyb-ksm.co.jp>

旧社名: 日本鋳機株式会社

本社・営業
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル6階 TEL 03-5733-9441

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅前2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

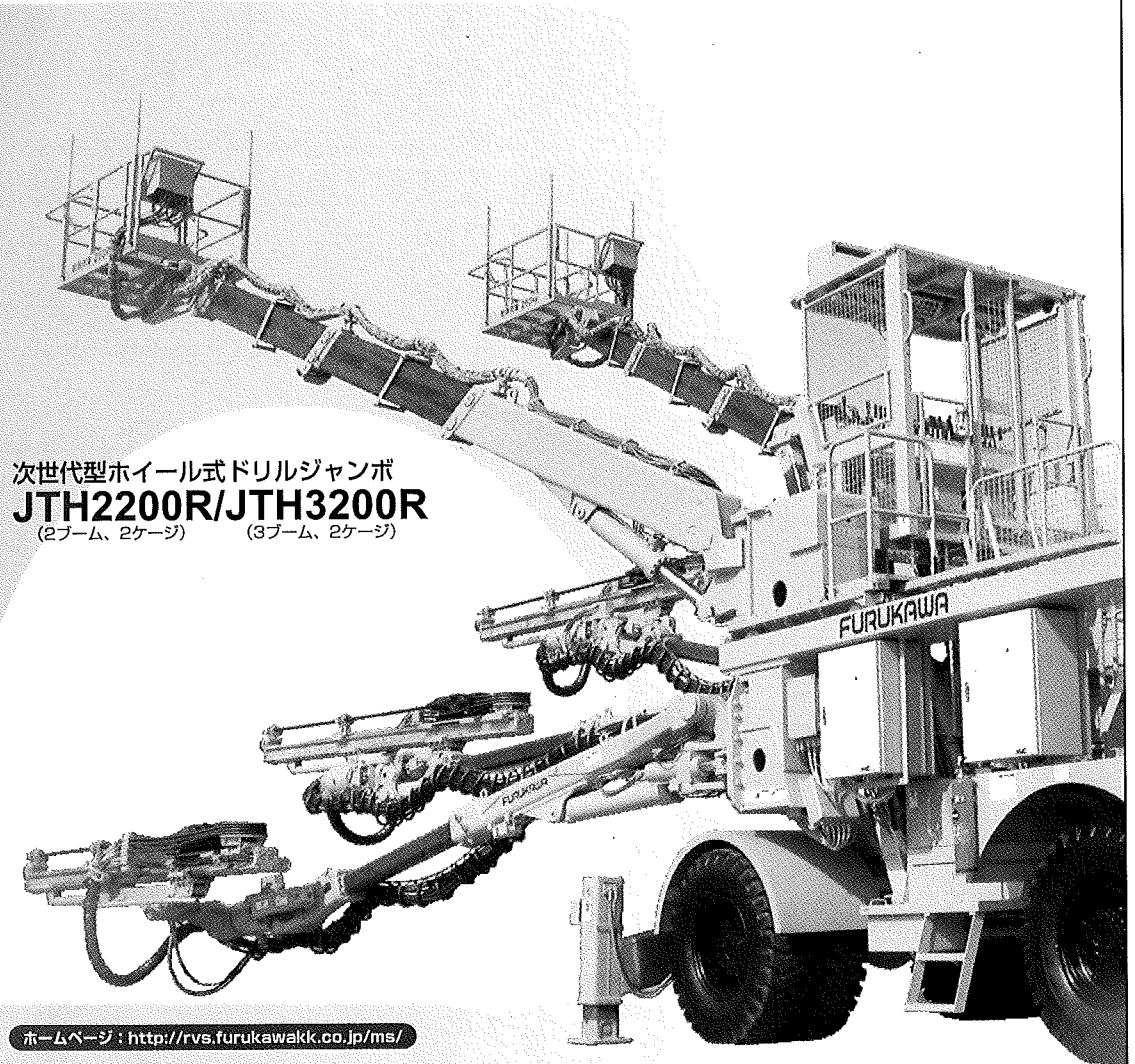
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4111



様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種ドリルジャンボ製品。全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

次世代型ホイール式ドリルジャンボ JTH2200R/JTH3200R

(2ブーム、2ケージ) (3ブーム、2ケージ)



ホームページ: <http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/>



△ 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

(旧社名: 古河機械販売株式会社)

本社 〒101-0047 東京都千代田区内神田2丁目15番9号 古河千代田ビル 特機営業部 TEL: 03-3252-2544

札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641

関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010

整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

新製品
CyberWorksシリーズ PictureMAGIC
 自動デジタルカメラ搭載型測量機と最新3Dステレオ処理による高精度空間測量システム

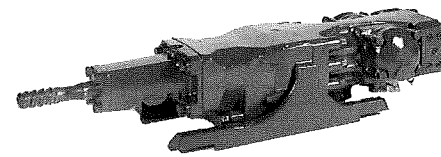
3Dカメラスキャナー
 自動測量、自動撮影
 遠隔リモートコントロール
 軽量ポータブル

株式会社演算工房 本社 〒604-0847 京都市中京区烏丸通押小路上る 日土地京都ビル4階 TEL075-213-7200 FAX075-213-7201

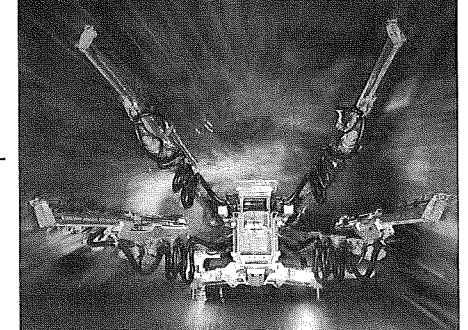
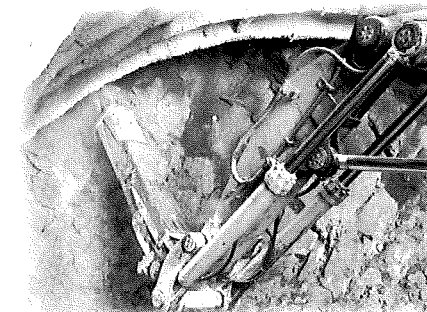
<http://www.enzan-k.com/> **enzan**

TOYO **SANDVIK**

サンドビクトーヨーは、高速さく孔と
 作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター
 HLX5



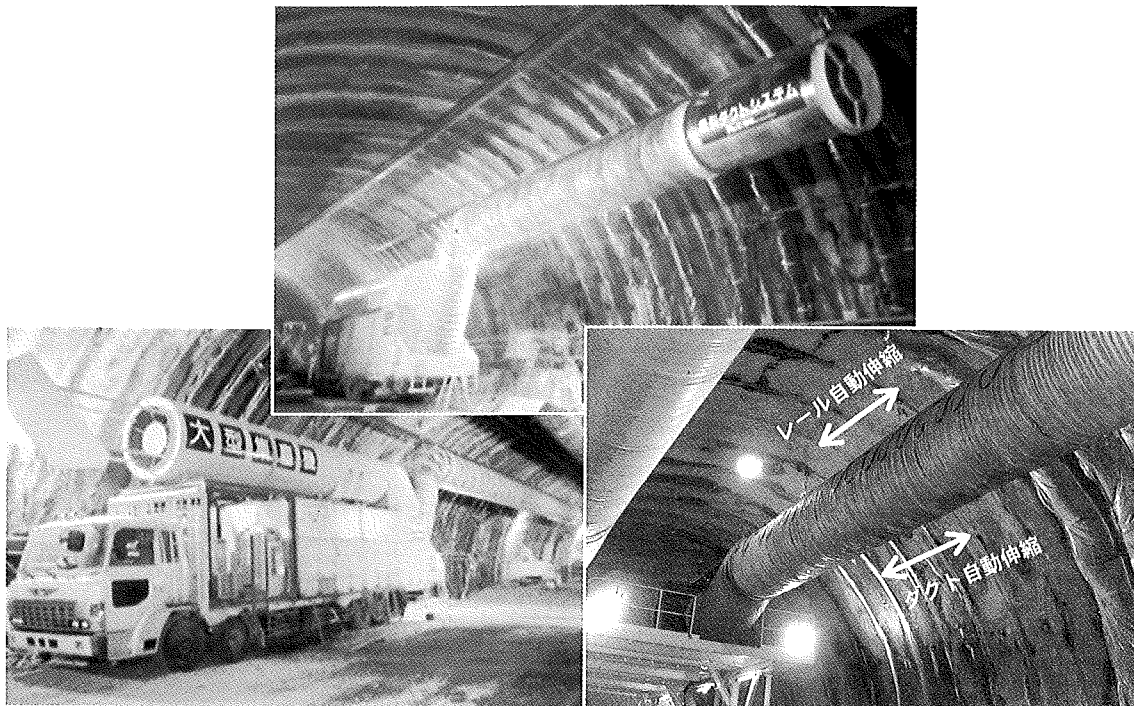
TOYO **Ram mer**
TAMROCK TORO

サンドビクトーヨー 株式会社
 〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
 共立新横浜ビル6F

Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661
 URL: <http://www.SMC.sandvik.com>

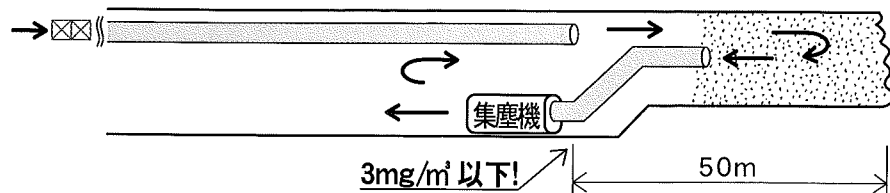
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(*) 0.5mg/m³達成!!



まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- ・発生源粉塵対策の決定版。
- ・ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- ・掘削工法や作業サイクルに適合。操作にお手間をとらせません。
- ・最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ・適応外径はΦ600~Φ1800、負圧-2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

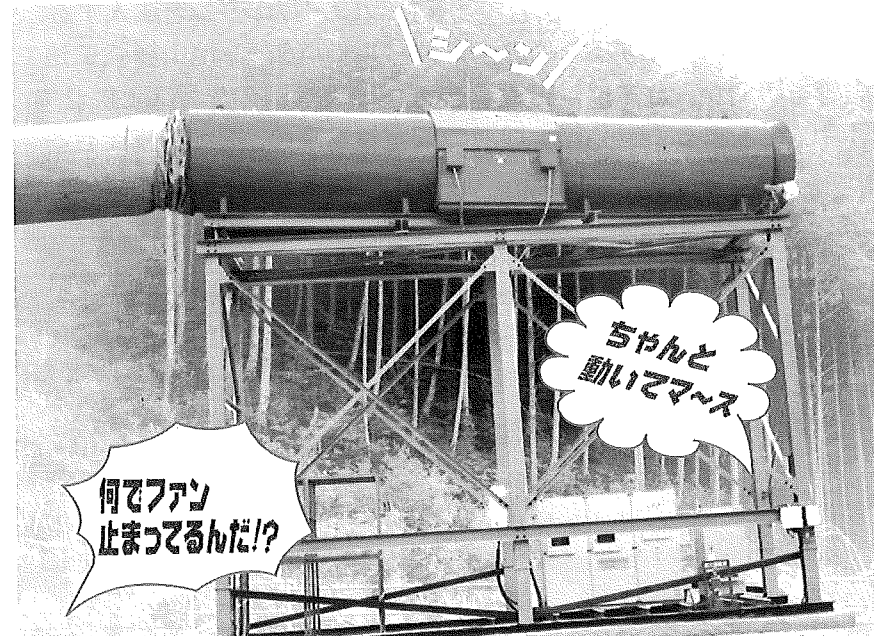
株式会社 **流機** エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい! ●♯♫〜これ、ファンの音なんです。



今時、静かなのは当たり前!!

シールド、都市NATMなどの都市環境や
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。

必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

- 超低騒音: 標準78dB(A)、オプションサイレンサーで60dB(A) 以下も可能。
- 省エネ: インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人-△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
- 高効率: 固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
- 制御: ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
(特許 第1742880 ダストセンサーによるインバータ制御)
- 使い易さ: 軽量、INV高調波対策も万全、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
- コンサルティング: 長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×2~200kW×2の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社 **流機** エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

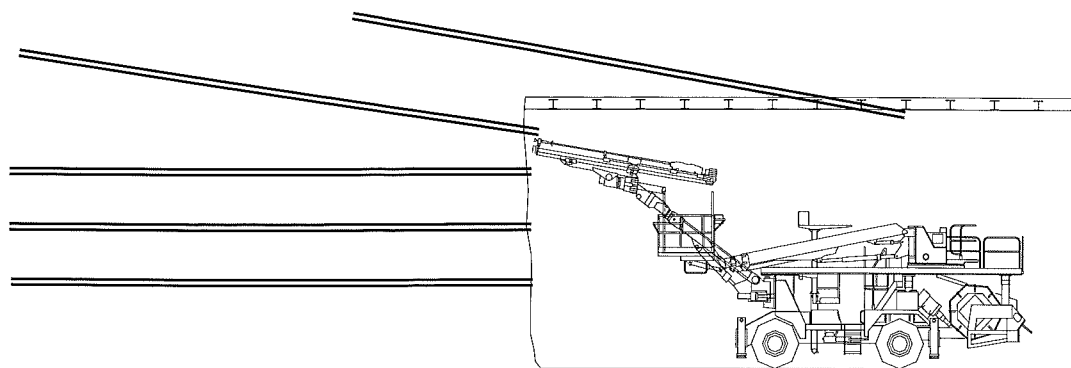
本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

パノラマ工法は切羽から長尺樹脂管(GRP管)を打設しシリカレジンを注入することで切羽前方地山を効果的に拘束するための全方位マルチパターン地山補強工法です。特殊強化樹脂管を切羽から全方位に打設することで、天端部の先受工と併せて鏡面補強も同時に施工することができ、切羽の安定性を高め、掘削の安全性を向上させます。



アルカリフリー型液体急結剤

AFK-777J

『AFK-777J』は、コンクリートとの混合が良く付着性に優れ、液体急結剤を少量のエアで添加するため、従来の粉体急結剤と比較して、粉じんやリバウンドが低減されます。

また、液体急結剤吹付けコンクリート用高性能減水剤『404シリーズ』を併用することで、安定した品質の吹付けコンクリート施工が実現できます。



対策!

「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

KATECS

発泡型シリカレジン

SR-L

SR-Lは、シリカレジンベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破碎帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジン形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

注入式長尺先受工法

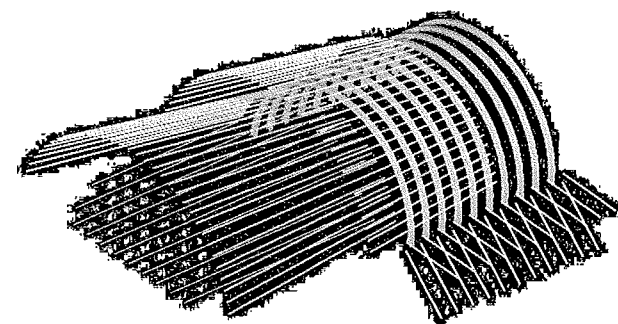
AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

KATECS

株式会社 カテックス 建設資材事業部

<http://www.katecs.co.jp/>

本社 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号
技術営業部 TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

中部営業部 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号
TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

東京支店 〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号
TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648

関西営業所 〒550-0015 大阪市西区南堀江4丁目1番18号
TEL 06-6578-3235 FAX 06-6578-3237

広島事務所 〒735-0022 広島県安芸郡府中町大通1-2-13
TEL 082-285-6601 FAX 082-285-6651

九州営業所 〒816-0932 福岡県大野城市瓦田4-15-26
TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846

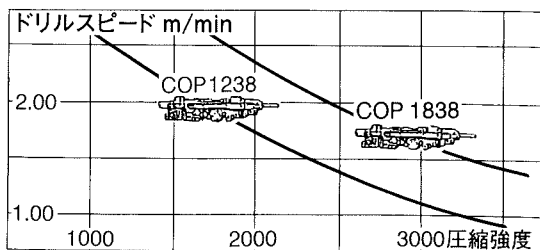
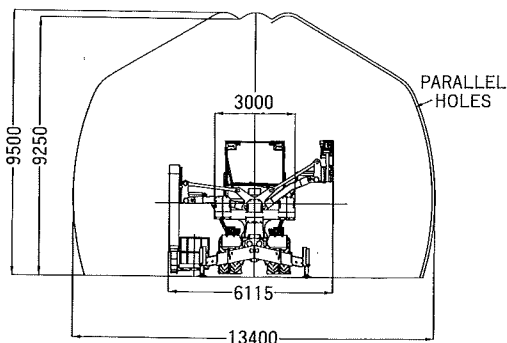
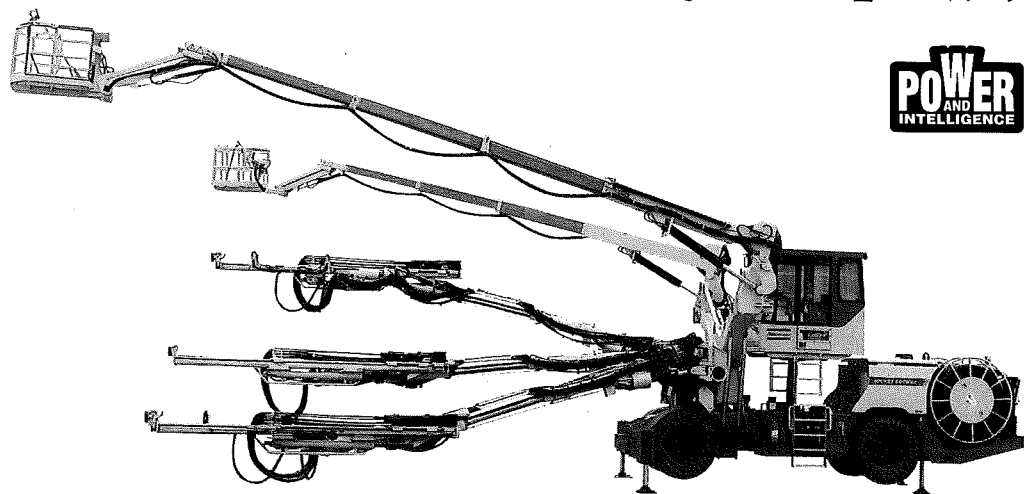
北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号
株式会社イー・アール・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット



ドリルマシン株式会社 DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里2-23-11
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番
 九州支店 〒839-0841 福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
 TEL (0942) 43-5315 番 FAX (0942) 43-5832 番
 焼津営業所 〒425-0072 静岡県焼津市大住638-1
 TEL (054) 620-7301 番 FAX (054) 620-7303 番
 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡加美町大袋川端454-3
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

安心と信頼



開発商品

コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム
(ホイール式)

M26C型坑内用ダンプ
新キャタピラー三菱製

SFW1C-6S型合体型吹付機
富士物産製

〈経験と実績、メーカーとの一体型、安心と信頼〉
を追求し、お役に立つよう日々行動しています。

- Total Cost削減の為にサービスマン付レンタルを積極的に展開中です!
- メンテナンス対応=ご希望のサービス体制をお聞かせ下さい。
50名のメンテナンスサービス員が、迅速に対応致します。
- ユーザーニーズに合った提供システム=現場のご予算をお聞かせ下さい。
- 総保有機台数 500台=ブローカーにない強み! 途中入替もOK!

トンネル機械の総合レンタル

三興レンタル株式会社

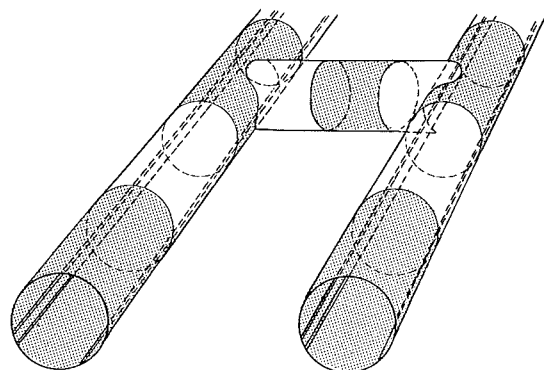
高槻事務所 / 〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1
TEL 072-677-2101(代) FAX 072-677-2109

〈協賛〉

サンドビクトーヨー(株)
新キャタピラー三菱(株)
富士物産(株)

トンネル用シグナルレイヤー付防水シート CARBOBAHN カーボバーンシート

ヨーロッパでの長年の実績、優れた防水システム



- ◎柔軟性、耐薬品性に優れた改良型ポリエチレン製
- ◎破損個所が容易に発見できるシグナルレイヤー付き
- ◎厚さ1.5, 2.0, 3.0mm, シート幅1.75～5.1mの豊富なバリエーション
- ◎不測の事態に対応するウォーターバリアシステム
- ◎電磁誘導加熱による高品質施工システム

KPC 株式会社 ケー・エフ・シー 土木営業部

〒105-0014 東京都港区芝2丁目5-10 ☎(03)3798-8511 FAX(03)3798-8516
 〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2-17 ☎(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755
 〒460-0002 名古屋市中区丸の内3丁目14-32 ☎(052)223-1050 FAX(052)223-1059
 〒065-0834 札幌市東区北34条東9-1-1 ☎(011)751-4681 FAX(011)751-4682

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

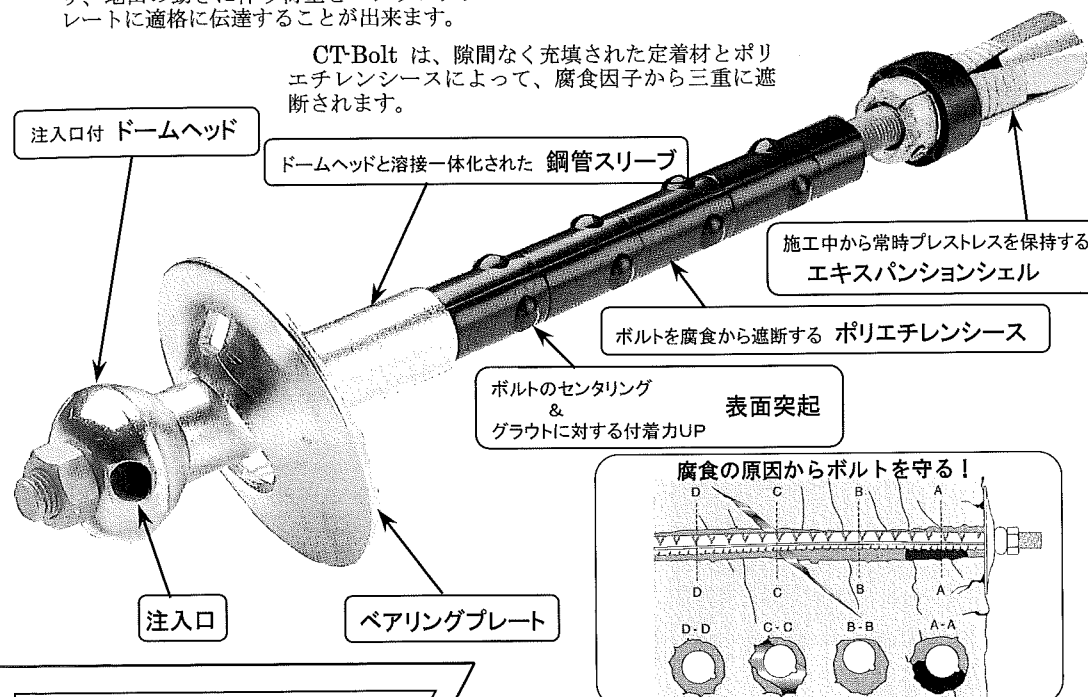
CT-Bolt



通常施工により超長期支保

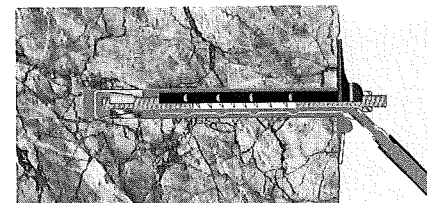
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



CT-Bolt の定着は・・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

用途:

- 山岳トンネル・海底トンネルに
- 立坑・地下空洞支保に
- 石油備蓄基地等地下施設建設に
- 斜面安定・補強土工に
- その他 腐食対策の必要な地盤に

総発売元 **Your Fastening Partner**

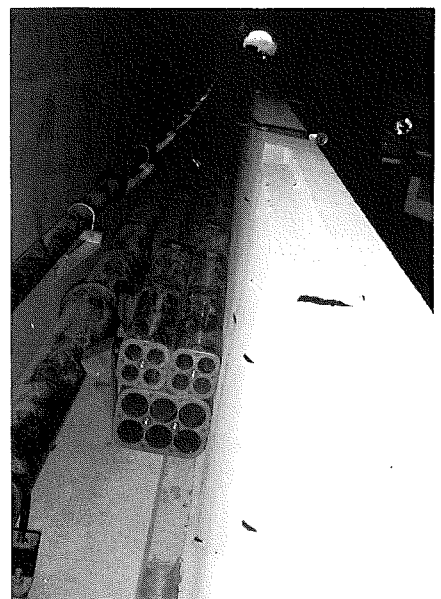
KPC 株式会社 ケー・エフ・シー

〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10
 お問い合わせ先 TEL: 03-3798-8517
 技術部 FAX: 03-3798-8850

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル (日本道路公団)



▲ 関南トンネル (日本道路公団)

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

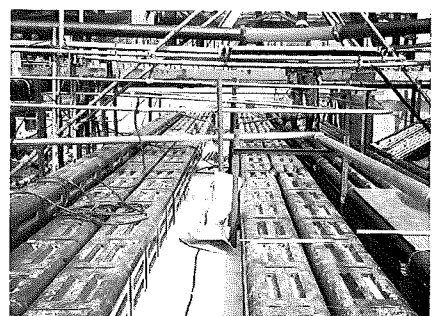
燃えない 錆びない 壊れない

地中配線管路材 (JIS C 3653)

トンネル内の狭い空間の
多条数のケーブル布設に
最適な管路です



▲ 川越火力発電所 (中部電力株)



▲ 広野火力発電所 (東京電力株)

狭い空間(トンネルetc)での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の“多孔陶管”は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。



杉江製陶株式会社

本社・工場 愛知県知多郡武豊町字上山1-76 ☎470-2387 ☎(0569) 35-2360(代) FAX (0569) 35-4087
 東京支店 東京都渋谷区恵比寿1-21-8 ☎150-0013 ☎(03) 3442-6181(代) FAX (03) 3442-1691
 大阪支店 大阪市都島区御幸町1-3-1 ☎534-0012 ☎(06) 6922-6991(代) FAX (06) 6922-2498
 札幌連絡所 札幌市北区新川2条10丁目575-28 ☎001-0922 ☎(011) 763-8907(代) FAX (011) 763-8790

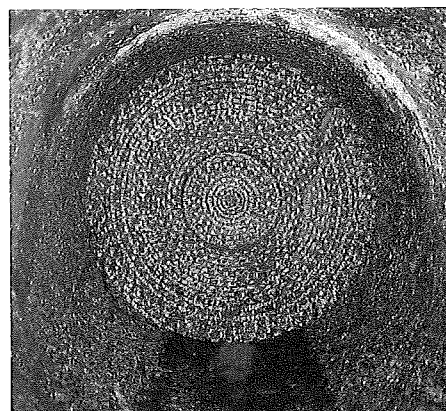
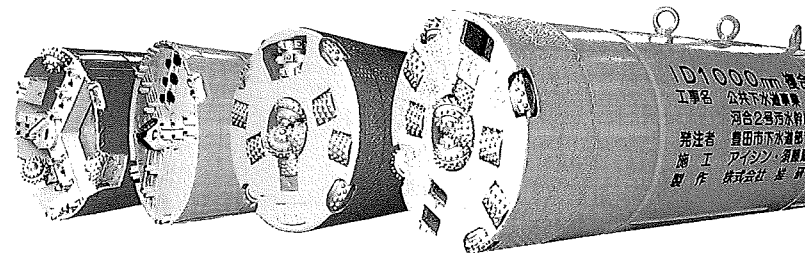
岩盤推進を創めて20年

軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法 (C.M.T工法)

- 800mm~3000mmまで対応
- 機内よりビット交換が可能です。
- 岩盤と普通土との互層土質も施工可能です。
- 長距離曲線推進も可能です。

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会
株式会社 推研

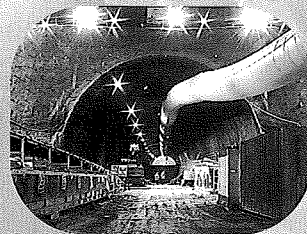
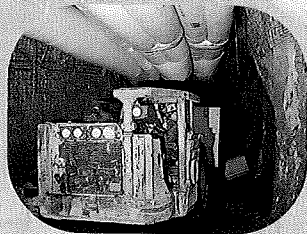
本社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
 TEL 06-4303-6026
 FAX 06-4303-6029

研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
 TEL 0726-94-6164
 FAX 0726-92-0186

ABC

VENTILATION SYSTEMS

- ファスナー式風管
- ツインダクト風管
- スパイラル風管
- 帯電防止型風管



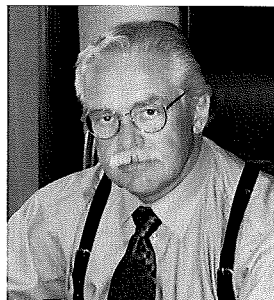
親愛なる日本の皆様

ABCカナダは、1968年の設立以来、トンネル掘削・鉱山用高品質換気システム開発に常に斬新な改革を続けてまいり、現在ではそれらの多くの現場において世界で最も優れた風管メーカーとしての地位を得ております。

ABCカナダの最も重要な使命は、風管メーカーとして如何にお客様の要望に応え、如何にお客様に満足を与えることが出来るか常に努力を続けることであり、それがお客様の幸せに貢献できるものと信じております。そのためにABCカナダはいち早くISO9001をクリアし、品質管理面においても常にお客様の満足度を満たすために努力をしております。

37年間の悲願としてこのたび日本のマーケットに参入できることはABCカナダにとり大きな喜びであり、日本国内総代理店である東友エンジニアリングと共に日本のお客様に十分満足していただける商品とサービスをお届けしていきたい所存です。

Darryl C. Yausie
President
ABC Ventilation Systems



総代理店 **東友エンジニアリング株式会社** 代表取締役社長 泉 俊憲

〒102-0073 東京都千代田区九段北3丁目2番地5号 東伸24九段ビル8階

TEL 03-3234-8901 FAX 03-3234-8900

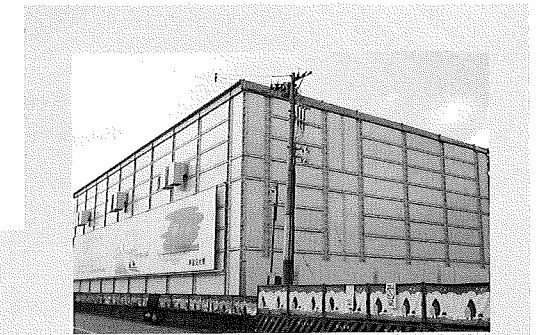
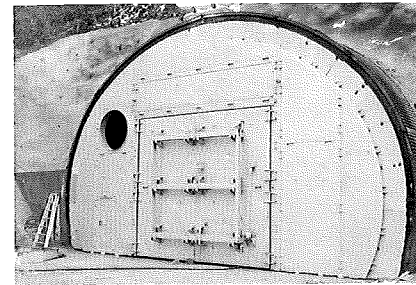
TOYU GROUP 株式会社 トーユーエコサポート TEL 03-5226-5971 FAX 03-5226-5974

(取り扱い商品：防音システム)

トーユーサービス株式会社 石岡工場 TEL 0299-27-6211 FAX 0299-27-6233

快適な作業環境を約束する騒音対策システム

- 防音扉-HFS型 マークII
パネル厚さ=150mm
- 防音扉-HFS型 新・マークIIc
(コンクリート充填タイプ)
パネル厚さ=150mm+コンクリート=100mm

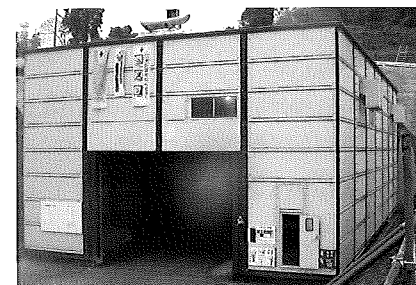


●防音ハウス-Hタイプ (ハイデラックタイプ)

HFD-125パネル使用 パネル厚さ=125mm

●防音シェルター-Dタイプ (デラックタイプ)

HFD-100パネル使用 パネル厚さ=100mm



●防音壁-Sタイプ (スタンダードタイプ)

HFS-100パネル使用 パネル厚さ=100mm

【騒音対策研究会】

株式会社カテックス	〒460-8331	愛知県名古屋市中区上前津1-3-3	TEL.052-331-8821
株式会社野佐和商会	〒550-0013	大阪府大阪市西区新町2-10-3	TEL.06-6532-5451
株式会社ビーエスアイ	〒060-0031	北海道札幌市中央区北一条東13-1-1	TEL.011-241-6500
古河ロックドリル株式会社	〒101-0047	東京都千代田区内神田2-15-9	TEL.03-3252-6551
幹事 ヒューズ工業株式会社	〒132-0035	東京都江戸川区平井6-35-5	TEL.03-3617-8111
		E-mail souon@fuse-ind.co.jp	

ISO9001取得～防音設備の設計、製造、施工、リース

◆計量証明事業登録 騒音レベル第913号 ◆建設業登録 とび・土工事業(般-12 第75054号)



ヒューズ工業株式会社

FUSE INDUSTRIES CO.,LTD.

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井6-35-5 TEL03(3617)8111 FAX03(3617)7565
大阪営業所 〒531-0072 大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル TEL06(6359)2611 FAX06(6359)2288
E-mail info@fuse-ind.co.jp URL http://www.fuse-ind.co.jp

コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

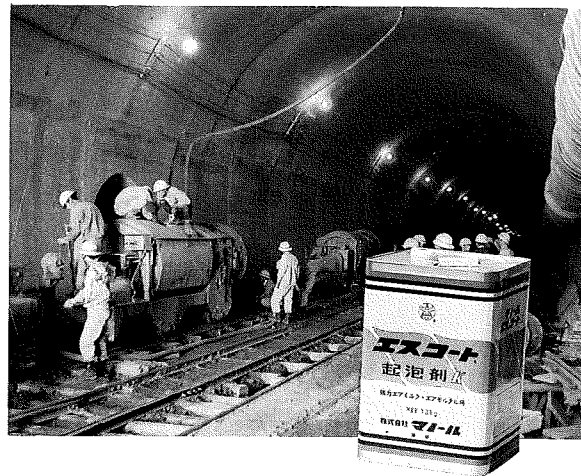
- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L & K 起泡剤

- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント，骨材の種類が任意



◆ 土木資材の総合プランナー ◆

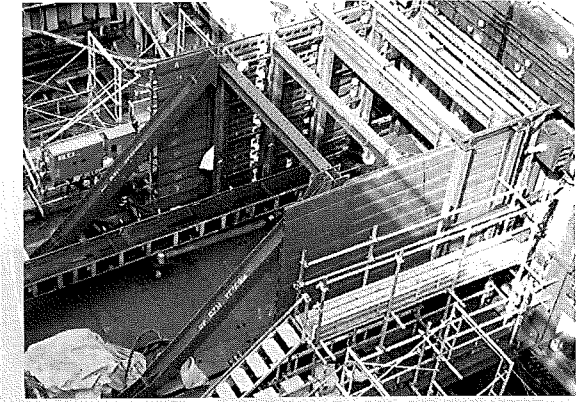
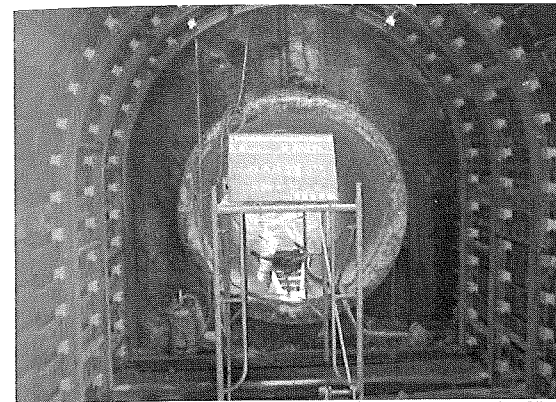


株式会社 **マール**

〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03 (3787) 1131 (代)

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法



30年の実績(工法指導致します)

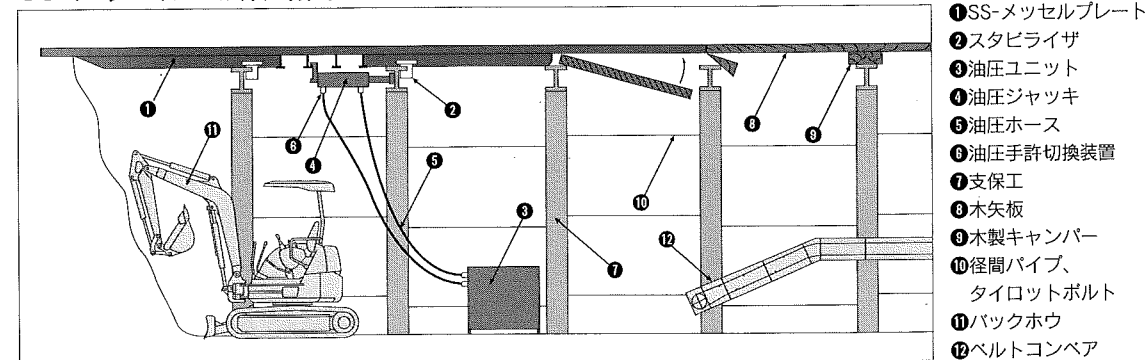
特徴

- 地山をゆるめず任意の断面形状のトンネル掘削ができます。
- 余掘りがなく切羽の掘削と一次覆工が同時に安全に施工できるので地表面が沈下しません。(都市トンネル工事では最適)
- SS-メッセルプレートとスタビライザとの組合せにより、メッセルの離脱及びノーズダウンを防止する構造になっています。直線・曲線掘進に適應します。
- SS-メッセル工法に使用される断面は、支保工の形状に従って、円形・角形・アーチ形・馬蹄形、のいずれでも自由に選べます。

実績

- JR線等線路直下横断工事。鉄道・道路・下水道・共同溝などトンネル工事に多数の実績をもっています。

SS-メッセル工法概略図



株式会社シーテック

URL <http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/>

〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

大丸の防音システム



サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

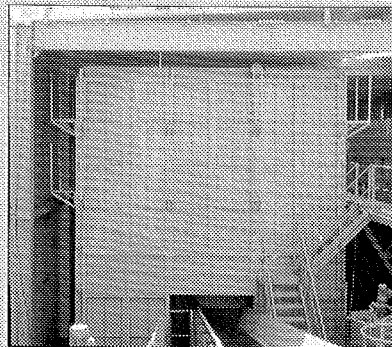
コスモス(Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB(実績)



設計・施工 東京都知事許可(般-13)第76001号 鋼構造物工事業
建設コンサルタント登録 建13第5745号

DMR
Daimaru

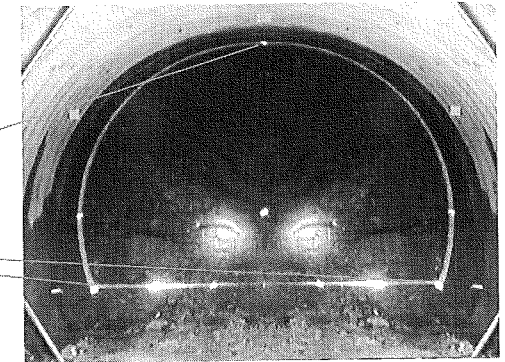
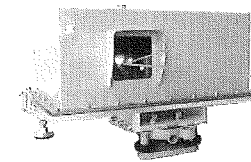
大丸防音株式会社

http://www.daimaru-bouon.co.jp
本社 〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1 TOMACビル2F
TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701
営業所 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151 FAX.06-6821-6477

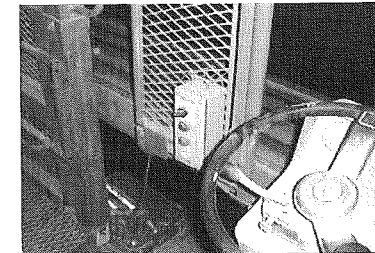
レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現

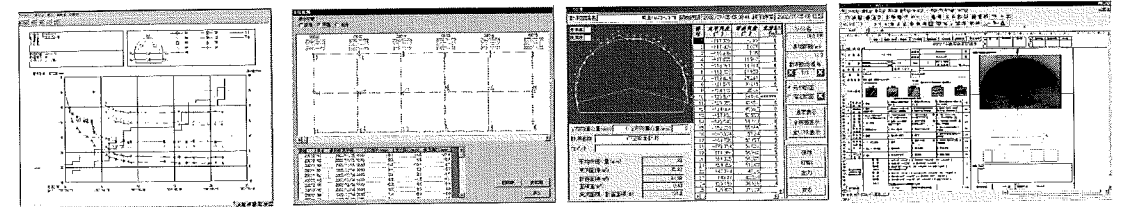


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

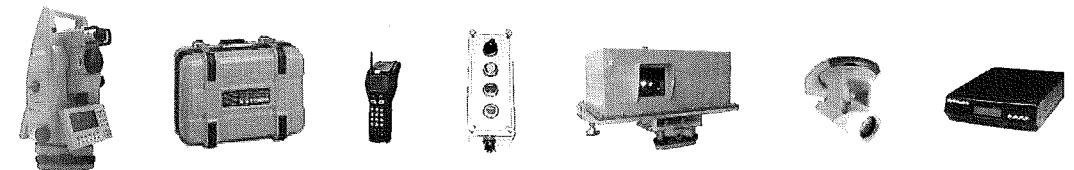


ジャンボに取付けて使用可 AC200V対応

各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



A計測データ処理 支保工立込精度、変形量 内空、巻厚検査 切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

MAC マック株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL(047)371-3191 FAX(047)371-3190

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

美しさと合理性をもつ多分割式アーチシステム モジュラーチ®

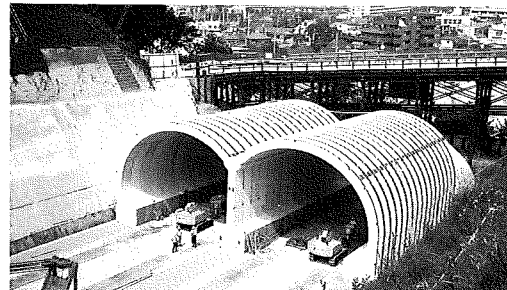
「モジュラーチ」(MODULARCH)は、フランスのマティエール社 (Matiere®) が開発した新製品を日本に技術導入した、大型の鉄筋コンクリート二次製品です。アーチ特有の形状・美しさと合理性をもつ多分割式アーチ形構造物です。

モジュラーチの特長の主なものは次の通りです。

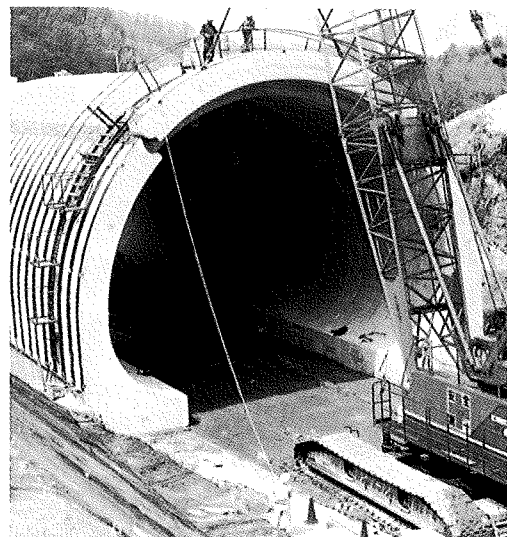
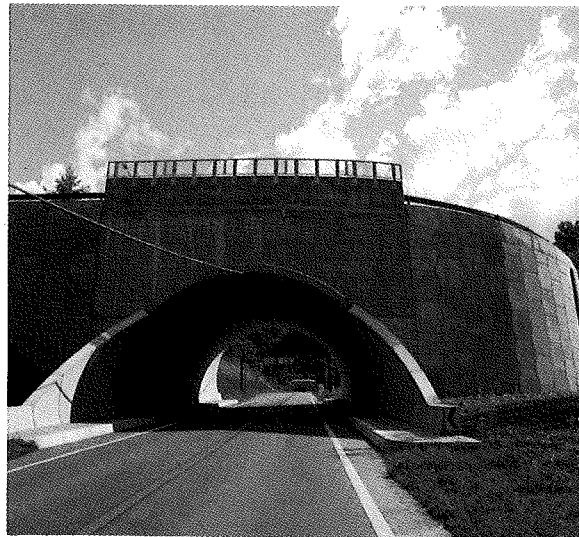
- (1) 多分割式のため大断面の構造物が構築できます。
- (2) アーチ型構造物に加わる荷重によるモーメントが、最も小さい箇所での分割する合理的な分割方式です。
- (3) 頂版部と側壁部の継手はヒンジ構造となっており、耐震性に優れた構造です。
(財)土木研究センターによる「モジュラーチ工法の耐震性向上に関する研究委員会」において、地震時に対する安全性について実験を行い、部材、継手とも安全上まったく問題ないことが確認されております。
- (4) 側壁部材が自立する構造となっており、安全性、施工性に優れています。

モジュラーチには次のものがあります。

- (1) シングルアーチ
4分割1組を単体としたもの
- (2) マルチアーチ
4分割で中間側壁をもつ2連以上のもの



マルチアーチ



シングルアーチ



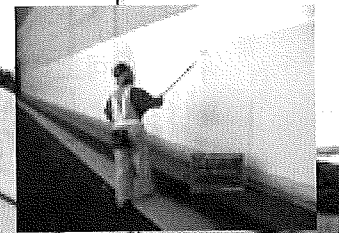
モジュラーチ工法協会

本部・事務局 〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-10-5 TMMビル5F
日本ゼニスパイプ(株)内 TEL 03(3865)2618 FAX 03(3865)2625

会員会社 日本ゼニスパイプ(株) TEL(03)3865-2611 FAX(03)3865-2630
ジオスター(株) TEL(03)5844-1204 FAX(03)5844-1221
日本ヒューム(株) TEL(03)3433-4114 FAX(03)3436-3275
オリエンタル建設(株) TEL(03)3261-1174 FAX(03)3234-1949
日本コンクリート工業(株) TEL(03)5462-1051 FAX(03)5462-1040

トンネル内装工防汚システム

トンネルの 視線誘導塗料



無機質 無溶剤・常温硬化形コーティング材

ダイヤセラゼツクス

NETIS登録番号：TH-000053

特長

- 視環境性** 視認性を向上させる。
- 美観** 美観を整え、不快感を与えない。
- 安全・誘導** トンネル壁面の位置を視認させ、かつ視線誘導効果を向上させる。
- 明るさ** 照明の効果を向上させる。
- 汚染除去性** 排気ガスなどの汚れが容易に除去でき、傷が付かず、かつ視認性が復元できる。
- 不燃性** 事故による火災時に内装材が延焼しない。

DC ダイヤコーティング協会

建物の保護と美装にダイヤの塗材・建材

DIA 恒和化学

恒和化学工業株式会社

本社

〒143-6550 東京都大田区平和島6-1-1 東京流通センタービル9F

☎(03)3767-3561(代) FAX.(03)3767-3917

URL <http://www.dia-kowa.co.jp/>

トンネル工事のコストダウンにご利用ください

高効率・低粉じん

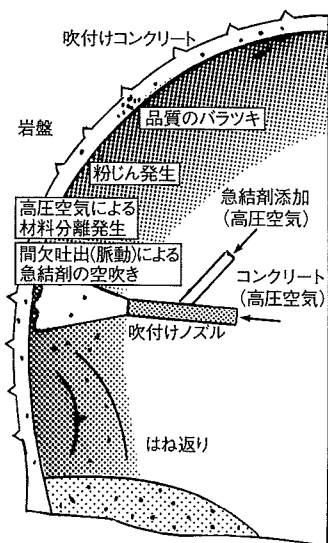
SEC吹付けコンクリート

建設技術審査証明(平成15年土木研究センター建技審証第0309号)

【性能向上のために分割練混ぜ(SEC)をしたコンクリート】

- はね返り率、粉じん発生量は、一括練りに対して10%以上減少する。
- 材齢28日コア圧縮強度は一括練りに対して10%以上高い。

吹付けコンクリートの課題



SECおよび高品質吹付け技術(シリカフェーム・石灰石微粉末を活用して粘性の向上を計る)による課題の改善

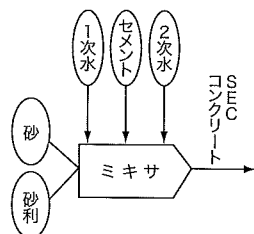
SECの造殻効果

- ・分離抵抗性の増大
- ・ホース内圧送抵抗の低減
- ・ポンプ圧送性の向上
- ・急結剤・混和剤使用量の低減

高品質吹付けの効果

- ・粘性の向上によるさらなる分離抵抗性の増大
- ・はね返り・発生粉じんの大巾な低減
- ・トンネル掘削コストの縮減

SEC対応のバッチャープラント



実績

湿式吹付け(一般)	: 140トンネル
高品質吹付け(新幹線・他)	: 120トンネル
初期高強度吹付け(新幹線)	: 4トンネル
高強度吹付け(第2東名・他)	: 5トンネル

SEC® (Sand Enveloped with Cement) 工法は、配合水を分割投入して練り混ぜることにより、低水セメント比のセメントペーストを骨材表面に付着(造殻)させるコンクリート工法です。

吹付けコンクリートにとって必要なコンクリートとは、過酷な加圧&外力(ポンプ圧送圧、空気圧、壁面への衝突圧)に抗することができる粘性をもった材料分離が少ないコンクリートです。

これをSEC工法により経済的に製造することで吹付けコンクリートの施工性能が向上します。

SECコンクリート機械協会がお手伝いさせていただきます。

SECコンクリート機械協会

正会員	リブコンエンジニアリング(株)	石川島建機工業(株)	(株)東洋製作所	(株)北川鉄工所
	光洋機械産業(株)	成和機工(株)	石川島建機(株)	(株)ティーエムシー
	日工(株)	名岐機器(株)	丸友機械(株)	村上工業(株)
特別会員	大成建設(株)	(株)大林組	清水建設(株)	(株)熊谷組
賛助会員	ユアサ商事(株)	東友エンジニアリング(株)	グレースケミカルズ(株)	(株)ポゾリス物産
	伊藤忠建機(株)	(株)イゲタプロテック	新和商事(株)	(株)フローリック
	日産機(株)	電気化学工業(株)	太平洋マテリアル(株)	

事務局 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 新有楽町ビル リブコンエンジニアリング(株)内
電話 03(3287)8011(代) FAX 03(3287)8015 協会 <http://www.5ocn.ne.jp/~seckikai/>

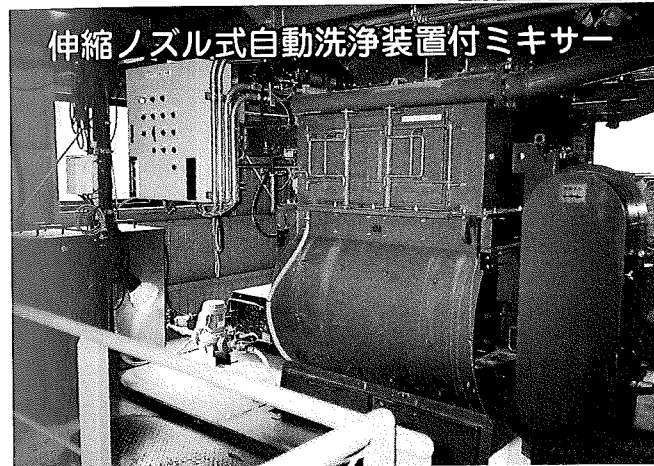
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

全自動式 バッチャープラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャープラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。



■ MKS-500KBE-TME型

生コン洗浄水処理装置

- ◆ スチールファイバー供給設備
- ◆ 濁水処理プラント(能力10T/H~100T/H)ユニットタイプ
- ◆ 砕石プラント・産廃プラント・ベルトコンベアー 設計・製作
- ◆ 油圧バケット、特殊クレーン設計・製作
- ◆ ターンテーブル(30^{ton}・重タンブ用・40^{ton}通過)

MK 名岐機器株式会社

本社 岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227 TEL (0584) 35-3735(代)
FAX (0584) 35-3736

本巢工場 岐阜県本巣市神海
〒503-1235 TEL (0581) 32-5066
FAX (0581) 32-5565

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減!

ミキサー洗浄水

トラミキ洗浄水

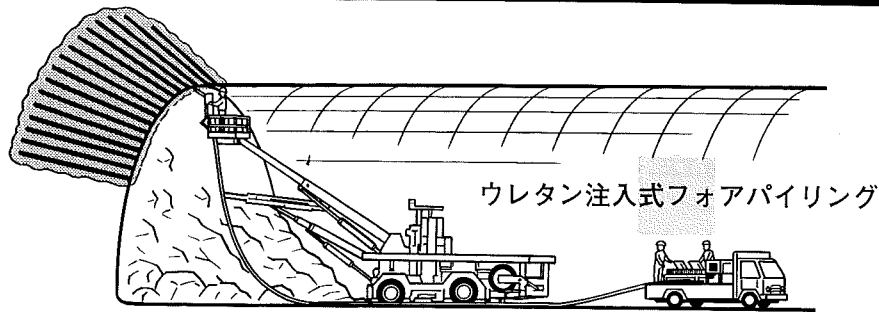
リサイクル

BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

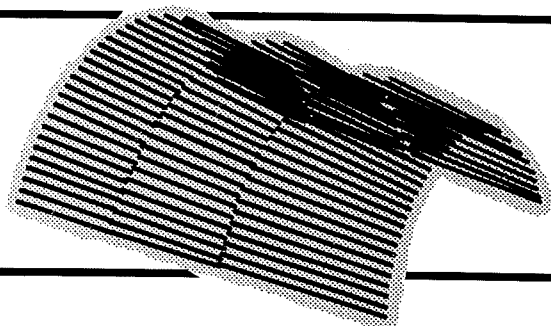
切羽の安定化対策用補助工法

エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法

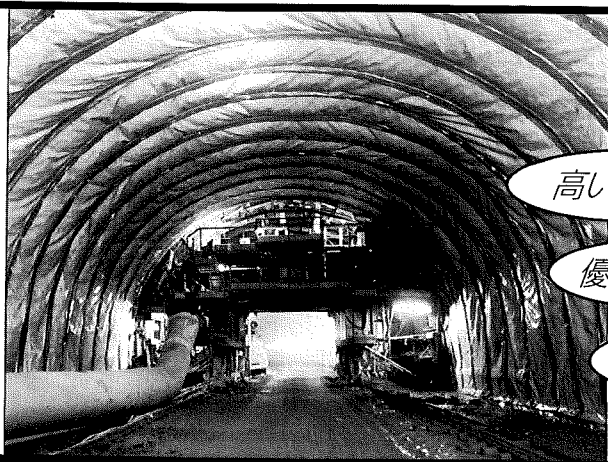


ウレタン注入式フォアパイリング

注入式長尺先受工法
(AGF工法)



ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

優れた耐久性

容易な施工性

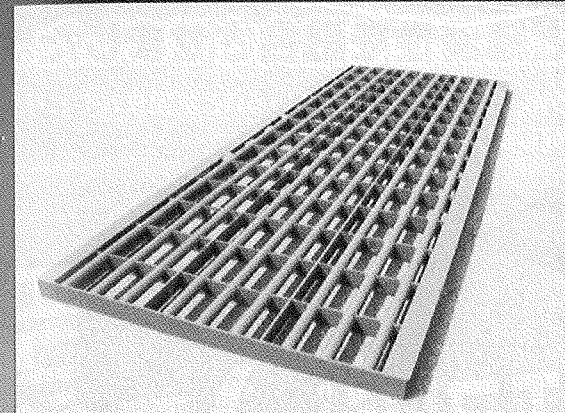
株式会社ブリヂストン

土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話 東京(03)5202-6870

ブリヂストンのトンネル資材

NTロードマット

意匠登録済み特許出願中



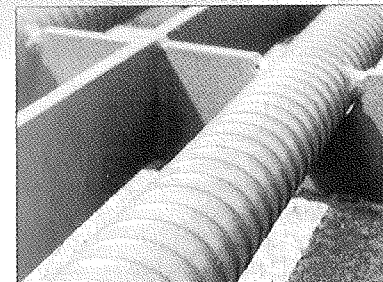
NTロードマットはパイプ表面の溝と
リップによって滑り止め効果が得られ
パイプによって沈み込みを防止し、
安定した仮設道路を作ることができます。

こんな現場に

- ・雨や湧水で敷鉄板が滑りやすい
- ・車のタイヤを痛めたくない
- ・坂道で滑りやすい
- ・軟弱地で沈み込みやすい

是非お試しください。

寸法 4000×1500×90 (mm)
質量 440 (kg)



製造販売元 **日東鐵工株式会社**

URL <http://www.nittotekko.co.jp>

本社 〒142-0043 東京都品川区二葉4-1-20 MC中延ビル
TEL (03) 5702-0161(代) FAX (03) 5702-0165

中国営業所 〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 YAF内山下ビル
TEL (086) 234-4800(代) FAX (086) 234-4400

相模原工場 〒229-1112 神奈川県相模原市宮下1-1-38
TEL (042) 773-4111(代) FAX (042) 774-0939

注:当仕様は改良のため予告なく変更させていただくことがあります。

degussa.

creating essentials

吹付けコンクリートの新方程式。 今だから考えられる環境と経済性を融合させました。

人に優しい作業環境を提供することはもちろん、経済性にも優れていることが望まれており、私たちはこれらを融合する液体急結剤を開発しました。それがメイコSAエコショットです。



(エコミー×エコジー) = エコシメント

NEW

「メイコSAエコショット」は、従来の液体急結剤よりさらに硬化特性を向上させ、特に単位セメント量が360kg/m³の一般強度吹付けコンクリートに適した性能を有しています。そのうえ成分中にアルカリ分を含まない液体急結剤で、作業員に対する安全性が著しく高く、しかも粉じんおよびリバウンドを大幅カット。作業環境と経済性を飛躍的に改善します。また、単位水量を大幅に低減する湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤「NT-1000シリーズ」を併用することにより、さらに付着性や急結性、強度発現性などが優れる、品質の安定した経済的な吹付けコンクリートの施工を可能にします。

アルカリフリー液体急結剤 メイコ® SAエコショット

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤
NT-1000シリーズ

- 高強度化・施工性の改善にはシリカフェーム「メイコMS610」
- 湿式吹付けコンクリートの練り置き時間を1~16時間できる「デルボクリート」

資料進呈/詳しくは、本社UGC営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。

株式会社 エヌエムピー
株式会社 ボゾリス物産

●本社/東京都港区六本木3-16-26 TEL.03-3582-8814(直) FAX.03-3583-3800
●支店/東京、大阪 ●営業所/札幌、仙台、宇都宮、千葉、横浜、上越、松本、静岡、名古屋、高松、広島、福岡、鹿児島
URL/ <http://www.degussa-cc.jp>

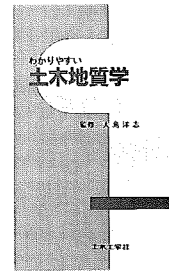


●(株)エヌエムピーは中央研究所と茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録しています。

土木工学社の地質学書

[好評発売中]

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 送料340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは
2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

1. 地球の構造
2. 地層や岩石の分類
3. 地質作用
4. 地質構造
5. 地形と地質との関わり
6. 日本の地質
7. 地下水

第II編 トンネル工事と地質条件

1. 路線選定と地質条件
2. トンネル工法・掘削工法と地質条件
3. 掘削方式と地質条件
4. トンネル掘削に伴う地質的現象

第III編 地質調査法

1. 地形・地質調査一般
2. 既存資料調査
3. 空中写真判読
4. 地質踏査
5. 弾性波探査
6. 電気探査
7. その他の物理探査法
8. ボーリング調査
9. ボーリング孔を利用して行う調査
10. 室内試験
11. 調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12. 水文調査・地下水調査
13. 立地条件調査

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

1. 調査の基本
2. 地山条件の調査の流れ
3. トンネル工事のための地山評価法
4. 調査の成果

[その他の既刊図書]

建設工事の保安地質学〔改訂版〕 石井康夫 著 A5判 475頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方 石井康夫・矢嶋壯吉 共著 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

地下水の科学 P.A. ドミニコ・F.W. シュワルツ 共著 大西有三 監訳

第I巻 地下水の物理と科学 B5判 235頁 税込4,281円 送料340円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工 E. フック・E.T. ブラウン 共著 小野寺進・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用 R.E. グッドマン・G.H. シー 共著 吉中龍之進・大西有三 共訳

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

岩盤の計測と解析 鈴木光 著 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

地質工学概論 菊地宏吉 著 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

続 きみの庭にも温泉が出る 石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 税込1,260円 送料210円

きみも金鉱を発見できる 石井康夫 著 新書版 200頁 税込1,029円 送料210円

お申し込みは、当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ、お申し込みください。

株式会社 土木工学社

〒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

道路,トンネル設計 (本体工,換気,防災,照明,施工管理他)

トンネル現場診断



株式会社 ロード・エンジニアリング

代表取締役社長 田島利男 常務取締役 山田憲夫
 (技術士・土木学会フェロー会員) 本誌編集顧問
 専務取締役 清水洋 福岡支店長 朽網新
 (技術士)

本社: ☎116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711
 福岡支店: ☎812-0016 福岡県博多区博多駅南1丁目15番22号 電話(092)436-1588
 沖縄事務所: ☎901-2122 沖縄県浦添市字勢理客555-2 電話(098)870-6411

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号




建設車両のタイヤのパンク、磨耗、破損を大幅に低減、車両の有効利用、修理に伴う人件費の削減等、工事の進捗に大いに貢献します。

- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)
 30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

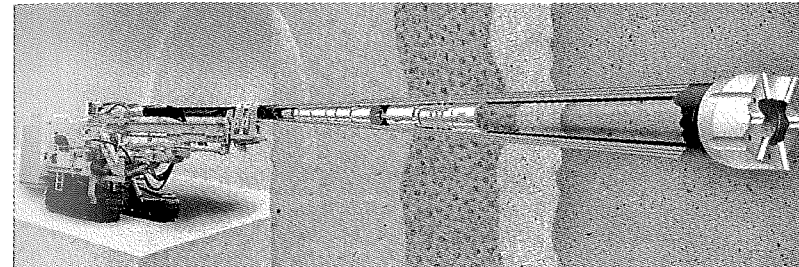
【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/
 各種中古車/触媒/線路 (中古)

 **中濃産業株式会社**
 代表取締役 土田義式

本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
 TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383
 営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
 TEL(0581)34-3990(代)

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



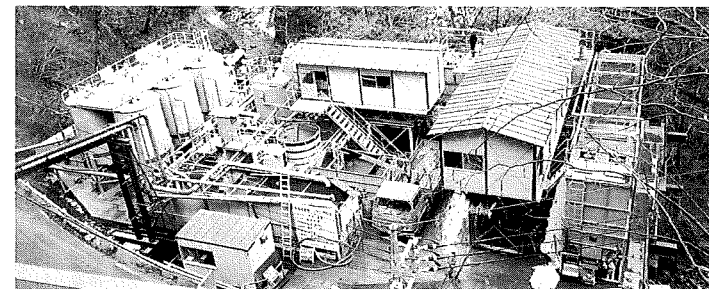
■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

 **KOKEN 鉦研工業株式会社**
 本社 〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
 TEL (03)3366-3111(大代表) FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先: エンジニアリンググループ
 TEL. (03)3366-3123 FAX. (03)3366-3365
<http://www.koken-boring.co.jp/>

数々の技術・豊富な実績が 明日を築く東急の濁水処理設備



◀北陸新幹線碓氷峠トンネル(東)濁水処理設備

◆営業品目◆

トンネル工事濁水処理設備
 都市土木工事
 P.Hコントロール設備
 炭酸ガス中和設備
 水処理各種計器器材
 上記 設計、施工、管理



東建産業株式会社
 (旧 東急設備㈱)

本社 東京都渋谷区渋谷1-16-14
 〒150-0002 TEL 03(5466)9511
 関西事務所 大阪市北区豊崎3-19-3
 〒531-0072 TEL 06(6371)6447

コンパクトで計量精度は抜群...

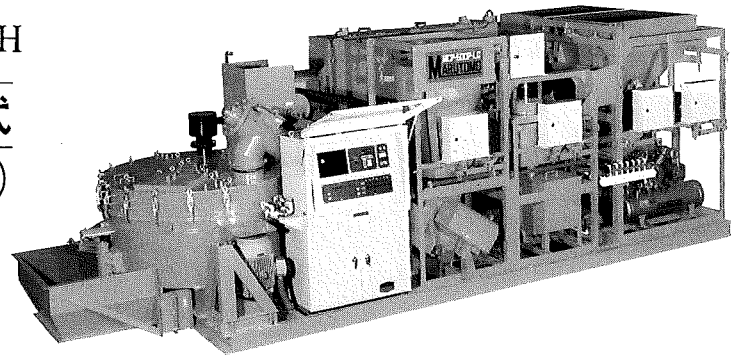
丸友の移動式コンクリートプラント


製造・販売・リース

生産量 10~90m³/H

電子制御自動式

(印字自動記録装置付)



 丸友機械株式会社

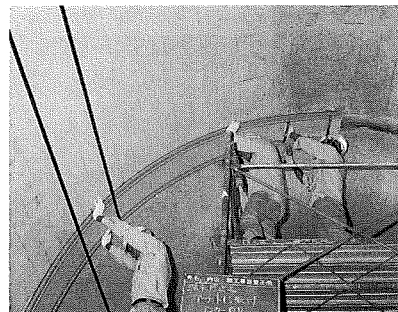
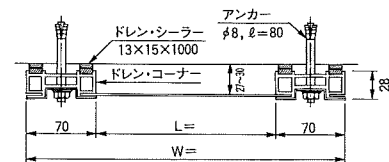
本社 名古屋市東区泉一丁目19番12号
 〒461-0001 電話(052)(951)5381(代)
 東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1の5
 〒101-0024 ミツバビル 電話(03)(3861)9461(代)
 恵那工場 岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
 〒509-7121 電話(0573)(28)2080(代)

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

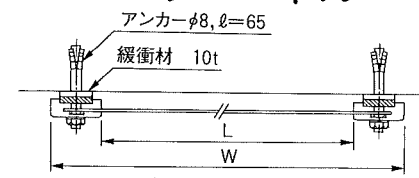
アーチ・ドレン導水樋

■特徴

- ・漏水幅に応導水幅の選択が可能
- ・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- ・寒冷地型、Boxカルバート用勾配型、etc有。



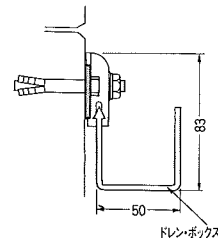
コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



JH水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン



■特徴

- ・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

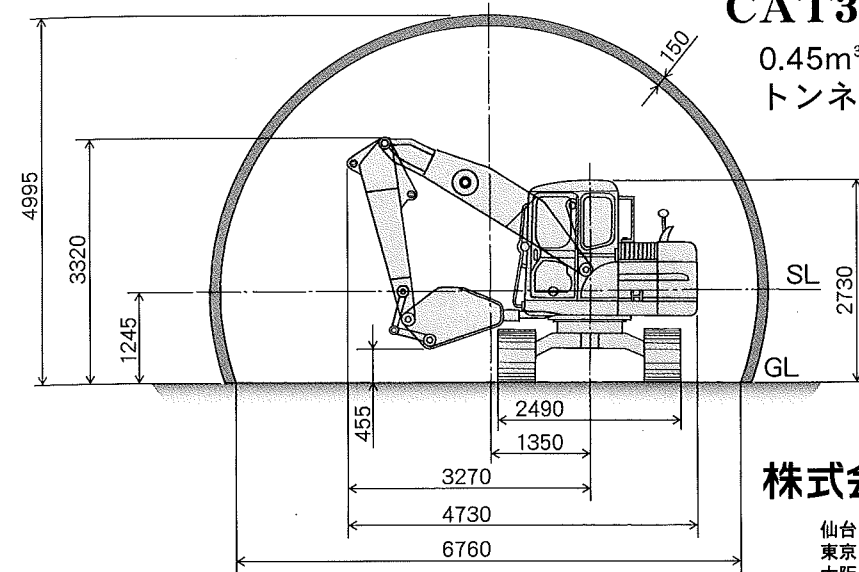
ニホン・ドレン工業株式会社

〒910-2166 福井市小路町4-12-1
 ☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
 e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

小断面にも入ります?

CAT313B

0.45m³ショートブーム
トンネル仕様



株式会社 ケイ・リー

仙台: TEL.022-359-5331
 東京: TEL.03-3661-5651
 大阪: TEL.06-6838-1372

CATERPILLAR (キャタピラー) 及びCATはCaterpillar Inc.の登録商標です。

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E.グッドマン, G.H.シー著/吉中龍之進・大西有三訳
 A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著
 A5判 474頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方

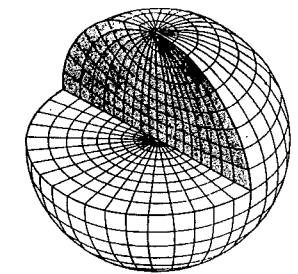
石井康夫・矢嶋壯吉 共著
 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック, E.T.ブラウン 共著
 小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共訳
 B5判 444頁 上製本 税込10,290円 送料450円

山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編纂
 B5判 500頁 税込15,301円 送料450円



わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著
 B5判 286頁 税込6,116円 送料340円

岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著
 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

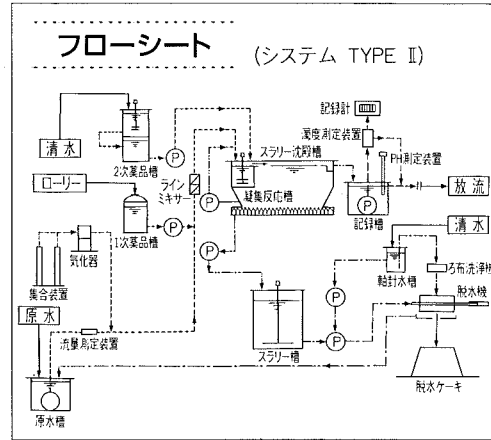
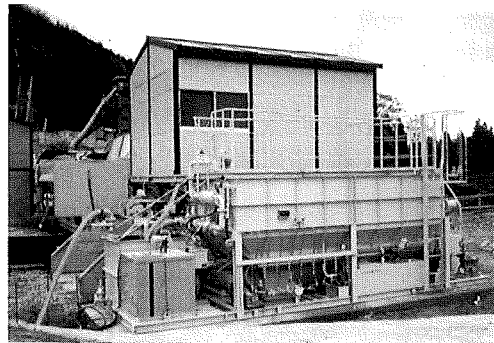
地質工学概論

菊地宏吉 著
 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

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

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら
大きな処理能力



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わせにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シクナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費が少ない。
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
3. シクナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

脱水機は、全自動無人化タイプを採用している。処理水の水質監視装置及び記録を自動化しており、運転状況の確認が容易である。

5. 多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。

6. 豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置 (異状警報装置と連動)
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置 (エアレーション装置等)
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動汙布洗浄装置

シクナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

詳細資料請求、お問い合わせは

株式会社 フジテックス
本社 〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (076)452-1616(代) FAX (076)452-1617

Waste Water Treatment System

ユニークな発想と高品質・自信の価格



※連続突起を有する鋼製シースを地山に引込み、芯材を挿入して固化材を注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

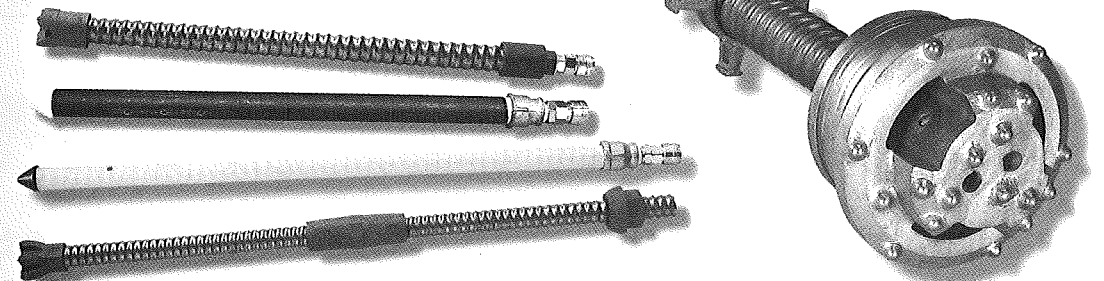
STD BITS

(ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
65A	φ76.3	φ86
90A	φ101.6	φ108
100A	φ114.3	φ124
125A	φ139.8	φ144

FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。



自穿孔ボルト&注入管

AGF-SP 工法

名称	形状		降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
	外形状	内径		
SPアンカー	R29	φ13	204	>255
	R32	φ17	204	>255
	R38	φ16	400	>500
SPミニパイル	R51	φ29	600	>750
	R73	φ50	960	>1200
注入管	鋼管	φ27.3	φ15	155 >215
	GFRP	φ28	φ17	- >180

R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

STE
エステーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0869 大阪府八尾市桜ヶ丘3丁目101番地
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
E-mail: steng@kawachi.zaq.ne.jp

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

経験の重み

子安 哲雄5

■研究

内空変位量および天端沈下量と地山条件の相関に関する考察

竹林 亜夫・松井 保45

■報告

新潟県中越地震における道路トンネルの被害

真下 英人 55

イスタンブール世界トンネル会議技術調査報告(2)

JTAイスタンブール技術調査団65

■施工

多亀裂・褶曲を有する第四紀未固結シルト地山への挑戦

—北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

依田 淳一・椎葉 俊政・山木 昇・岡村 光政7

都営新宿線シールド直上11cmに開削で駅を築造

—地下鉄13号線 新宿三丁目二工区—

岡田 龍二・木村 創17

石灰岩および上部未固結礫岩における大量湧水を克服

—中国電力 新帝釈川発電所導水路トンネル—

二岡 克己・小西 克文・村田 和郎・井岡 政俊25

長距離・高速施工の内水圧対応シールドトンネル

—霞ヶ浦導水事業 石岡トンネル第2工区—

飛島 幸則・川端 僚二33

■連載講座

山岳トンネルにおける工事中機械の選定(25)

立坑

「山岳トンネルにおける工事中機械の選定」連載講座小委員会75

■現場だより

「青い森の国」青森市より

熊谷 弘44

■資料

トンネル千夜一夜(11)

小野田 滋42

土木情報

編集部64

トンネルジャーナル

編集部74

工法・技術・製品ニュース

編集部87

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会国内広報ワーキング88

海外文献速報

JTA研究開発委員会90

■会報

会報

日本トンネル技術協会91

【表紙説明】

長距離・高速施工の内水圧対応シールドトンネル

—霞ヶ浦導水事業・石岡トンネル第2工区—



霞ヶ浦導水事業(那珂川, 霞ヶ浦, 利根川を結ぶ導水路)の一環である石岡トンネル(第2工区)新設工事(内径φ3.5m, 泥水式シールド), 工事延長5,000m(中間立坑なし)と国内有数の長距離施工ではあるが, 本掘進では月進平均320mの高速施工を実現した。立坑は, オープンケーソン工法により既に施工されており, 発進部, 到達部はNOMST工法が採用されていて, NOMST壁の開削, 土かぶり35mを超える高水圧下における施工には高度な技術力を要した。

写真はNOMST壁の貫通状況である。

[写真提供: 国土交通省](本文33頁参照)

ヤマモト (やまもと) たくがんき

無騒音 無振動 静かな破碎
超大型油圧破碎機
YTB 1120
トンネルビッカー

ヤマモトロックマシン株式会社
本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県比婆郡東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)
仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

電力・通信ケーブル用多条保護管

Kanaflex

ISO9001
認証取得

カナパイプPV型

トンネル内埋設工事を 省力化・効率化

用途

- トンネル・道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝 (C.C.BOX)
- 大規模プラント

難燃ポリエチレン製の多条ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックスコーポレーション株式会社

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 六本木ヒルズ森タワー17F TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130
 大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋1-8-30 OAPタワー17F TEL(06)6881-0776 FAX(06)6881-0760
 札幌営業所 TEL(011)271-8770 仙台営業所 TEL(022)792-3055 横浜営業所 TEL(045)241-7511 新潟営業所 TEL(025)226-5111
 静岡営業所 TEL(054)275-2258 金沢営業所 TEL(076)234-5660 名古屋営業所 TEL(052)955-1511 神戸営業所 TEL(078)360-6173
 広島営業所 TEL(082)240-0609 高松営業所 TEL(087)861-4600 北四国営業所 TEL(0875)57-6120 福岡営業所 TEL(092)474-2630
 鹿児島営業所 TEL(099)224-8404
 直営工場 北海道工場 仙台工場 栃木工場 千葉工場 滋賀工場 愛東工場 広島工場 四国工場 九州工場
 URL <http://www.kanaflex.co.jp>

会誌委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔委員〕

- | | |
|--|---|
| 伊藤 範行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長 | 濱 建介
株式会社アオバ取締役会長 |
| 久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社土木営業本部技術部長 | 松尾 勝弥
飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長 |
| 千葉 隆
清水建設株式会社土木技術本部
技術第二部部長 | 三浦 正彦
株式会社大林組土木技術本部技術部長 |
| 永島 茂
東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長 | 宮林 秀次
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長 |
| 長島 芳雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長 | 山田 邦博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 |
| 端 則夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長 | 山田 隆昭
中日本高速道路(株)中央研究所
トンネル研究主幹 |

編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 伊吹山 四郎
攻玉社工科短期大学名誉学長 | 松本 崇義
(元)東京都理事 |
| 島田 隆夫
鉄建建設株式会社社友 | 丸安 隆和
東京理科大学教授 |
| 高橋 彦治
伸光エンジニアリング株式会社技師長 | 吉川 新吉
東京発電株式会社常任監査役 |
| 田島 利男
株式会社ロードエンジニアリング代表取締役 | 吉村 恒
吉村とんねる・らぼ |
| 西松 裕一
東京大学名誉教授 | 渡邊 和夫
株式会社熊谷組執行役員副社長 |
| 林 博
西松建設株式会社専務取締役 | |

トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例

トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスマック	テスマック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小) cm	45	75	70	70
掘削幅(最大) cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm ²	700kg/cm ²	700kg/cm ²	1000kg/cm ²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。



ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026) 282-3671(代) FAX(026) 282-5803
http://www.wkk.co.jp/

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田 徹	東京都立大学名誉教授	橋本 定雄	不動建設株式会社特別顧問
定塚 正行	株式会社コンテック代表取締役社長	濱 建介	株式会社アオバ取締役会長
鈴木 章	月島機械株式会社顧問	水谷 敏則	(財)先端建設技術センター専務理事

〔委員〕

城戸 務	東京都水道局建設部工務課長	津金 昭一	独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
木谷 日出男	財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員	西村 聡	東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長
坂根 良平	東京都下水道局建設部設計調整課長	真下 英人	独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員(トンネル担当)
佐藤 亘	東京電力株式会社工務部送変電建設センター 首都圏調査グループ課長	山田 隆昭	中日本高速道路(株)中央研究所 トンネル研究主幹
佐野 正生	東京都交通局建設工務部計画改良課長	清水 満	東日本旅客鉄道株式会社建設工務部 構造技術センター課長

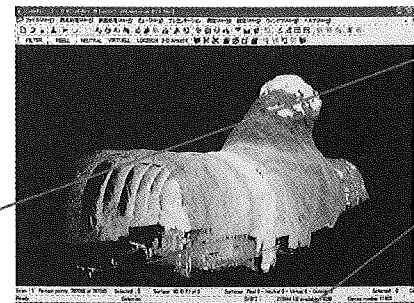
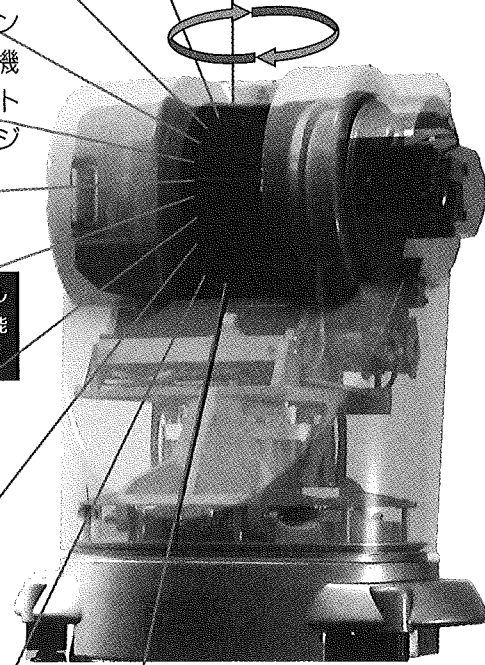
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

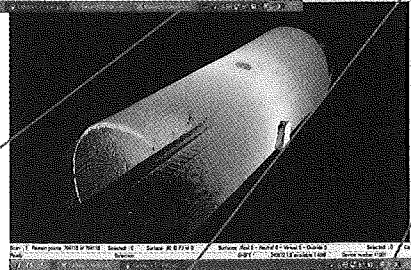
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



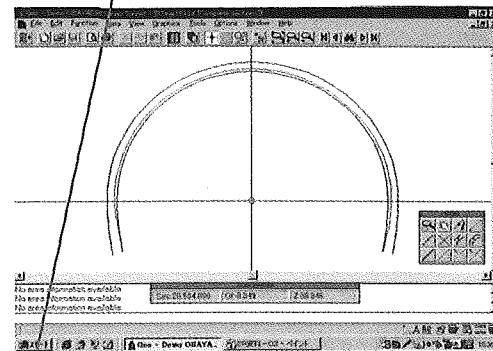
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ(ポリゴン)で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長、観測断面の面積、観測範囲のポリウム計算などが計算・表示・出力できます。



販売・レンタル 株式会社ソーキ

〒550-0025 大阪市西区九条南4-2-4
TEL: 06-6586-1707 FAX: 06-6586-1277
URL: <http://www.sooki.co.jp/>

製造元 トリンブルジャパン株式会社

〒135-0007 東京都江東区新大橋1-8-2
新大橋リバーサイドビル101
TEL: 03-5638-5022 FAX: 03-5638-5016

掲載頁
7

多亀裂・褶曲を有する第四紀未固結シルト地山への挑戦

—北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

(独)鉄道・運輸機構 依田 淳一

北陸新幹線高丘トンネル南工区は、10~50m(1~5D)程度の小土かぶりであり、その直上近傍には住宅団地、高速道路、県道2か所、携帯電話中継塔1基、送電線鉄塔6基など多数の近接構造物が存在する。このような施工環境に加え、地質はシルトを主体とした第四紀の若い未固結地山であり、かつ、地殻変動などの影響により、亀裂が多く、また、向背斜の褶曲が掘削断面内に現れるといった特徴をもつ。そこで、このような地山の挙動を表現できる数値解析モデルの構築を行い、このモデルを用いて、近接構造物への影響を抑制する工法の選定を行った。本稿では、数値解析モデルにもとづいて施工した小土かぶり、多亀裂、褶曲がある第四紀未固結シルト地山における山岳NATMトンネルの施工状況について報告する。

Tunnel Construction-Challenge to silty unsolid quaternary Ground having many Cracks and folded Layers
By Junichi Yorita, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真は褶曲状況

The south section of Takaoka Tunnel of Hokuriku Shinkansen (Superexpress railway line) has a small cover of 10 to 50 m. The route of this tunnel is adjacent to existing structures such as residences, an expressway, two prefectural roads, a steel tower for telecommunication and six pylons. The geology of this section is silty unsolid quaternary ground having many cracks and folded layers. The numerical model was used to analyze the ground behavior due to tunnel excavation. According to the result of analysis, the auxiliary methods were selected to mitigate the impacts to adjacent structures. This paper reports the construction records of this tunnel excavated in the above-mentioned ground condition.

掲載頁
17

都営新宿線シールド直上11cmに開削で駅を築造

—地下鉄13号線 新宿三丁目二工区—

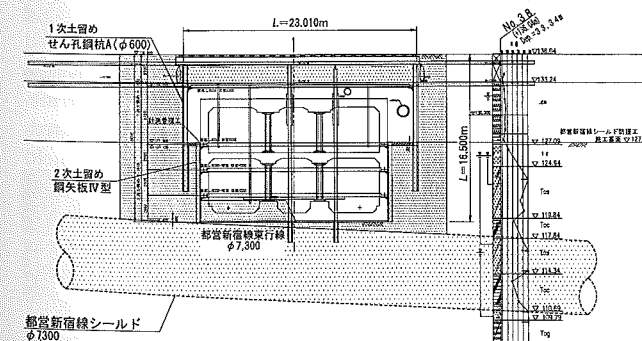
東京地下鉄(株) 岡田 龍二

東京地下鉄(株)は、現在地下鉄13号線(池袋~渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており、平成19年度の開業を目指している。新宿三丁目駅(仮称)は都内有数の繁華街である新宿の明治通り直下を、787mにわたって開削工法で建設するもので、平均掘削深が18mと比較的浅く、構造はほぼ全線で2層2径間となっている。開削工事範囲内には、三つの大きな交差点(靖国通り、新宿通り、国道20号)が存在し、そのうちのひとつである国道20号新宿四丁目交差点直下には都営新宿線シールド(φ7,300単線シールド)2本が存在し、床付け掘削時にはシールドセグメントとの離隔が最小で11cmになる部分があるため、都営新宿線シールドに対する各種防護を行った。本稿では、新宿三丁目における都営新宿線シールドの近接施工について紹介するものである。

Shinjuku-3 Chome Station constructed by Cut&Cover Method with Clearance of 11 cm to existing Shield Tunnel

By Ryuji Okada, Tokyo Metro Co., Ltd.

Tokyo Subway Line No.13 will have a length of 8.9km between Ikebukuro and Shibuya and be operated in 2007 by Tokyo Metro Co., Ltd. Shinjuku-3 Chome Station of this line is now under construction by the cut and cover method. This station is located beneath Meiji Dori Street in Shinjuku, one of down towns of Tokyo, have



図は新宿三丁目駅断面図

a length of 787m, an average depth of 18m and a structure of 2 stories and 2 spans. This station crosses Yasukuni Dori Street, Shinjuku Dori Street and National Road No.20, and intersects an existing twin subway tunnel(shingle track tunnel with a diameter of 7.3m) managed by Tokyo metropolitan government with the minimum clearance of 11 cm at Shinjuku-4 Chome Crossing of National Road No.20. This paper reports the construction records of this station including the protection methods for the existing subway.

石灰岩および上部未固結礫岩における大量湧水を克服

—中国電力 新帝釈川発電所導水路トンネル—

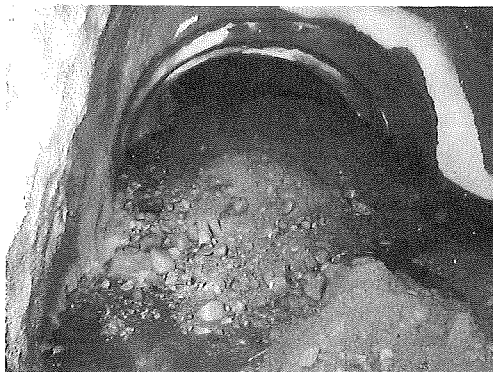
中国電力(株) 二岡 克己

帝釈川発電所は、広島県北東部に位置する高梁川水系帝釈川にあり、大正13年の完成以来約80年を経過した中国電力最古となる帝釈川ダムより取水、発電を行ってきた。中国電力では帝釈川ダム保全対象工事と合わせて、現帝釈川ダムの未利用落差(最大35m)の有効落差を図るため、圧力トンネルを有するダム水路式の新帝釈川発電所の新設工事を行っている。工事はダム本体と導水路トンネル4,485mのうち上流側450mを受け持つ第1工区と、下流側4,035mと発電所本体の施工を受け持つ第2工区に分割し実施している。本稿は、第2工区における導水路トンネルの施工について報告するものである。

Headrace Tunnel Excavation in Limestone and Conglomerate-Overcoming much Water Inflow

By Katsumi Nioka, Chugoku Electric Power Co., Inc.

Taishakugawa Hydro Power Plant is located in Taishaku River of Takahashi Basin in the north-east area of Hiroshima Prefecture and is operated using water from Taishakugawa Dam built in 1924. Chugoku Electric Co., Ltd is now constructing New Taishakugawa Hydropower Plant utilizing unused head of 35m of the existing Taishakugawa Dam. This project is divided into two sections. The dam and the upper stream of headrace tunnel having the length of 450 m belong to the first section, and the hydropower plant and the lower stream of one having the length of 4,035m belong to the second section. The total length of headrace tunnel is 4,485m. This paper describes the construction of headrace tunnel in the second section.



写真は2号坑口トンネル崩落状況

長距離・高速施工の内水圧対応シールドトンネル

—霞ヶ浦導水事業 石岡トンネル第2工区—

国土交通省 飛島 幸則

本稿は、霞ヶ浦導水事業(那珂川、霞ヶ浦、利根川を結ぶ導水路)の一環である石岡トンネル(第2工区)新設工事(内径φ3.5m, 泥水式シールド)について、その施工実績を報告するものである。

本工事は、工事延長5,000m(中間立坑なし)と国内有数の長距離施工ではあるが、本掘進では月進平均320mの高速施工を実現した。

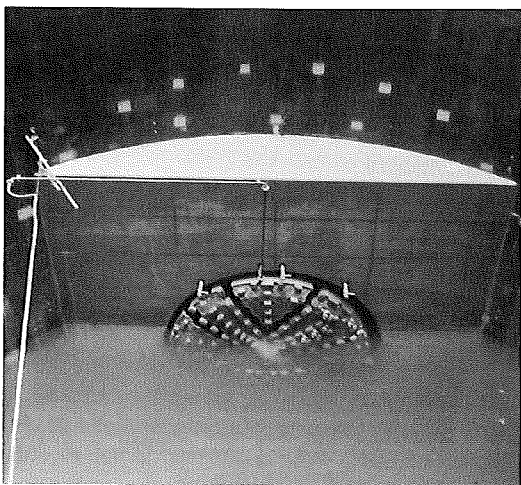
立坑は、オーブンケーソン工法により既に施工されており、発進部、到達部はNOMST工法が採用されており、NO MST壁の開削、土かぶり35mを超える高水圧下における施工には高度な技術力を要する。

また、本工事の発注は、設計・施工一括発注(デザインビルド)方式を活用しており、コスト縮減に努めている。

Long Distance and Rapid Excavation of Headrace Tunnel constructed by Shied method—Second Section of Ishioka Tunnel of Kasumigaura Lake Water Supply Project

By Yukinori Tobishima, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation

This paper reports the construction record of the second section of Ishioka Tunnel of Kasumigaura Lake Water Supply Project that joins the water system of Naka River, Kasumigaura Lake and Tone River using headrace tunnels. The headrace tunnel was constructed by the slurry shield method has a length of 5,000m, a cover of 35m and an inner diameter of 3.5m. No intermediate shaft exists between the starting shaft and the arrival shaft. The average advance rate of main shield driving was 320m/month. The shafts were constructed with the open caisson method and the NOMST(Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System) was adopted as the shield starting and arrival method that is available for the shield starting and arrival under highly pressurized ground water. The design and build contract was adopted in this project.



写真はNOMST壁貫通

内空変位量および天端沈下量と地山条件の相関に関する考察

応用地質(株) 竹林 亜夫

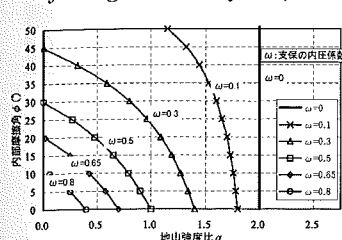
トンネル掘削時に切羽の地質観察および支保工の内空変位と天端沈下量の計測を実施することが定着したことにより、トンネル工事の安全性および品質が向上してきた。

本研究は、わが国のトンネル工事において報告された天端沈下の実測値と切羽の地質観察資料を分析し、考察したものである。その結果、次のことが明らかとなった。

- ① 掘削幅10mのトンネルにおいて、施工時に問題となる内空変位量は50mm以上で、天端沈下量は40mm以上の場合であり、これらの変位量はトンネル周辺地山に塑性域が形成された結果である。
- ② 支保工を施したトンネルにおいて周辺地山に塑性域が発生する条件を理論的に明らかにし、さらに実施工の計測値により実証した。
- ③ 以上のことにもとづいて、内空変位量および天端沈下を評価できる新しい岩種分類表を作製し、提案した。

Study on Correlation between Convergence/Displacement at Crown and Ground Condition

By Tsuguo Takebayashi, OYO Corporation



図は支保の内圧を考慮した塑性領域の形成条件

The observation of face and the measurement of convergence of lining and the one of displacement at tunnel crown have improved the safety of tunnel construction works and the quality of tunnel. The analysis of displacement at crown and the observation of ground at face clarify that, in case of excavation of tunnel with a diameter of 10m or more, if the convergence is over 50mm or the displacement at crown is over 40mm, some trouble would be caused by plastic zone of ground.

This study has established the theory of plastic zone caused by tunnel excavation and the standard to evaluate convergence and displacement at crown using the table for classification of rocks.

新潟県中越地震における道路トンネルの被害

(独)土木研究所 真下 英人

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震においては、関越自動車道、国道17号、国道291号などの幹線道路、上越新幹線、上越線などの主要鉄道幹線に大きな被害が生じ、とくに地震の被害を受けにくいと言われてきたトンネルで多くの被害が生じたのが特徴となっている。

本報告は、道路トンネルにおける全般的な被害状況と比較的大きな被害が発生した5トンネルの被害の概要と復旧方法の概要について述べたものである。



写真は和南津トンネルの被害状況(天端の崩落)

Damage of Roads caused by 2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake

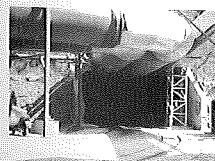
By Hideto Mashimo, Public Works Research Institute

2004 Mid Niigata Prefecture Earthquake(Niigata-Ken Chuetsu Earthquake)damaged many infrastructures and transportation system such as Kan-etsu Expressway, National Roads No.17 and No.291, Joetsu Shinkansen Railway(Joetsu Superexpress Railway)and Joetsu Railway Line seriously. The damages of substructures, which are relatively stronger than superstructures in earthquake, feature this earthquake. This paper introduces of damages of 5 road tunnels and repair works of them.

イスタンブール世界トンネル会議技術調査報告(2)

JTAイスタンブール技術調査団

イスタンブールで開催された2005年世界トンネル会議の参加、およびトルコ、スイス、フランス各国のトンネル工事の視察を目的に、日本トンネル技術協会が企画したイスタンブール国際トンネル会議技術調査団の調査報告として、国際トンネル会議の内容、各国トンネル工事の技術情報などについて10月号と11月号の2回に分けて報告する。



写真はAmsteg工区連絡坑坑口

Report of World Tunnel Congress 2005 in Istanbul-Part II

Reported by JTA-Delegation

The JTA-Delegation participated in the World Tunnel Congress 2005 in Istanbul held by International Tunnelling Association and Turkish Road Association, and made technical visits to tunnelling job sites in Turkey, Switzerland and France. This report follows the one in Tunnels and Underground on October, 2005.

高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
エレファントノズルシステム
第2東名高速道路・北陸新幹線工事で活躍中

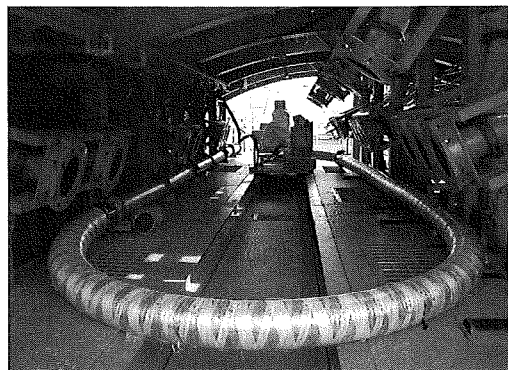
品質の向上

1. 多孔からのコンクリート投入が可能でブロック打設を実現します。
効果：コンクリート品質の低下を抑えられます。

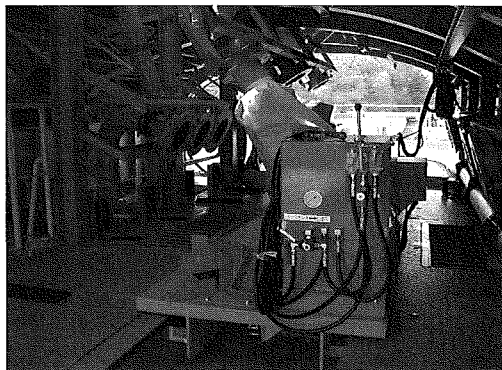
環境の改善

1. コンクリート配管を組解体する苦渋作業から解放します。
効果：迅速な配管切替えが可能で省力化が図れます。

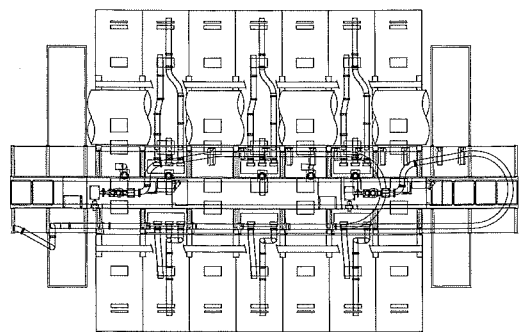
システム全景



配管挿入状態

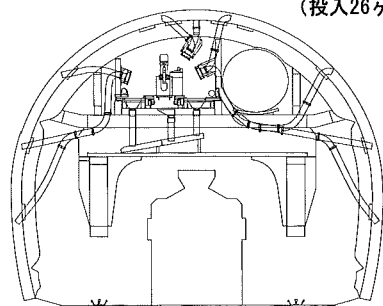


全体平面図



全体トンネル断面図

(投入26ヶ所)



岐阜工業株式会社
GIFUKOGYO CO.,LTD

本社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464
本社工場 TEL (058)323-2000(代) FAX (058)323-1176

東京支店 (03)3262-1285(代)
仙台営業所 (022)259-2239
九州営業所 (092)713-5265

URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

経験の重み



(株)鴻池組専務取締役(本協会監事)

子安 雄雄

「國境の長いトンネルを抜けると雪國であった」川端康成の「雪國」の始まりです。トンネルのこちら側と向こう側では、まったく違う世界が広がっています。それはどんな処なのだろうか？楽園かもしれない。こんな期待をトンネルは私達の心の奥底に与えてくれます。

菊池寛の「恩讐の彼方に」の一人山を穿つ了海の姿に目頭を熱くした思春期もありました。この国のトンネルの歴史上、屈指の難工事であった丹那トンネル(7.8km)、黒部トンネル(5.7km)の記録や小説を読み、また裕次郎の映像に心躍らされたことをついこの前のように思い出します。

自然に挑戦するとか克服するとか、そんな大それた思いでなく、自然の中に溶け込んで一緒に仕事をしてみたい。それが土木の世界を選んだ切っ掛けでもありました。私達の年代にはそんな思いの方が多いのではないのでしょうか。

地面を掘ったり、土を盛ったりする川作りや路作りは相当古くからあったでしょうが、人間が山に穴を穿つ本格的なトンネル作りはいつごろから始まったのだろうか。文献によれば今から4000年も前のように最近知りました。路作りや川作りに比べれば、トンネルを作る技術は当時でも格段に高度で、困難な作業であったはずですが、自然の洞窟に手を加えて住みかとしてきたことが、そもそものトンネルの原点でしょうが、その後のある目的を持って掘られたトンネルの多くは飲料や灌漑用の水路トンネルだと教えられました。交通や輸送用と言っても人や馬や牛を通す大型のトンネルは比較的新しいものなのです。

いずれにしても、困難な作業と多くの労力をかけてトンネルを掘るには、そこに人々が営みをして行くうえでの明らかな必要性と必然性があつたからでしょう。しかし、これをやり遂げるには幾多の犠牲があつたことか想像に難くありません。

記録に残っている日本でのトンネルの始まりは1000年ほど前のようですが、日本列島の地質や岩盤は、ご存知のとおりヨーロッパ大陸のそれに比べて若くそして脆弱です。その上にプレートの移動によって揉むに揉まれています。いたる所に断層があり、水や

熱水やガスが閉じ込められています。

大掛かりなトンネル工事が急速に増えたのは明治に入ってから、とくに鉄道建設が盛んになってからでしょうが、私達の先人たちはこのような難しく複雑な地形の条件を乗り越えてきました。そしてどこの人たちにも負けないトンネル構築技術を創出し、伝えてくれています。

勿論そこには蒸気機関の発達・鉄路の利用・電気設備の発達・ダイナマイトの発明・削岩機の発達・鋼製支保工の普及など工事用の機械や資材のめざましい発達がありました。また看過できないものに地質調査技術や地質(岩盤)工学などのソフトの発達がトンネル施工技術をここまで支えてきてくれました。

最近になってシールド工法やNATMが誕生し、コンピューターによる解析技術の進歩と相まってトンネルの利用範囲や応用分野が飛躍的に広がりました。岩盤から沖積層まで、そしてより長く、より深く、より大きくと追求できるようになりました。

しかしながら、トンネル工学は経験工学だと言われていて、切羽の一寸先は闇です。先輩たちは「起きた」あるいは「起きる」現象にいかに対処し、予想するかを肌でと経験で学んできました。どんなに事前の調査手法が進歩しても、地中の奥の情報はスポットでしかありません。この情報をつないでいくのは経験というノウハウです。このノウハウの蓄積に多くの貴い命や時間やお金が捧げられてきました

施工機械や材料が発達して、ややもするとマニュアルに頼りがちな時代ですが、そうはいかないのがトンネルの施工でしょう。自然の怖さと先輩の貴重な教を改めて知ることが大切だと思っています。

トンネル技術の進歩によって、トンネルは今や地下利用とか開発の分野に広がりました。道路・鉄道・水路だけでなく地下鉄・ライフライン・地下街・石油やガスの地下備蓄・地下発電所と枚挙にいとまがありません。開削トンネルとか沈埋トンネルまで生まれてきました。山に穴を空けるだけでなく道路や河川や海の下までの地下空間を担っています。

隔てられた地域の伝統や文化、経済や産業そして人の輪を広げ、過疎や格差を和らげることにトンネルは貢献しています。これからもこの役割は変わらないでしょう。そのうえに、阪神・淡路や新潟県中越の地震で、トンネルの安全性が実証され、ますます利用価値が上がることでしょう。

トンネルは外からは見えない地味な構造物です。しかしその中では今までに蓄積されてきた命がけの経験が支えているのです。

1億ドルで月に行けるようになりました。月にトンネルを掘るときもそう遠くはないでしょう。そのときにはきっと今の技術が役立つものと信じています。

施工

多亀裂・褶曲を有する第四紀未固結シルト地山への挑戦

—北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

鉄道・運輸機構飯山鉄道建設所所長 依田 淳一

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局長補佐 椎葉 俊政

戸田・フジタ・アイサワ・藤森 高丘トンネル南工区JV所長 山木 昇

戸田・フジタ・アイサワ・藤森 高丘トンネル南工区JV工務主任 岡村 光政

1 はじめに

北陸新幹線は、東京都を起点として、長野市、富山市、小浜市付近を經由し、大阪市に至る延長約600kmの路線である。このうち、平成9年10月に整備新幹線第1号として高崎・長野間(建設延長126km)が開業している。現在、長野・上越間は平成10年3月、上越・富山間は平成13年4月に着工しており、また、富山・金沢間および福井駅部は平成17年4月に工事実施認可を受けた(図-1)。

高丘トンネルは、北陸新幹線高崎起点131km 544m~138km555m間の長野盆地北縁部の丘陵に

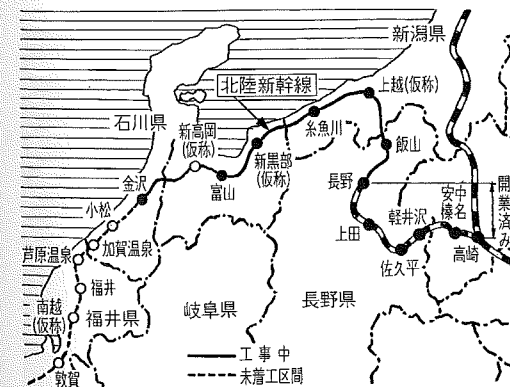


図-1 北陸新幹線(着工区間)ルート概要図

位置する延長6,940mの山岳NATMトンネルであり、北工区(延長3,990m)と南工区(延長2,948m)の2工区で施工している。北部の長丘丘陵と南部の高丘丘陵を縦断し、東側は河東山地から流下した夜間瀬川扇状地と接し、西側は千曲川と接して

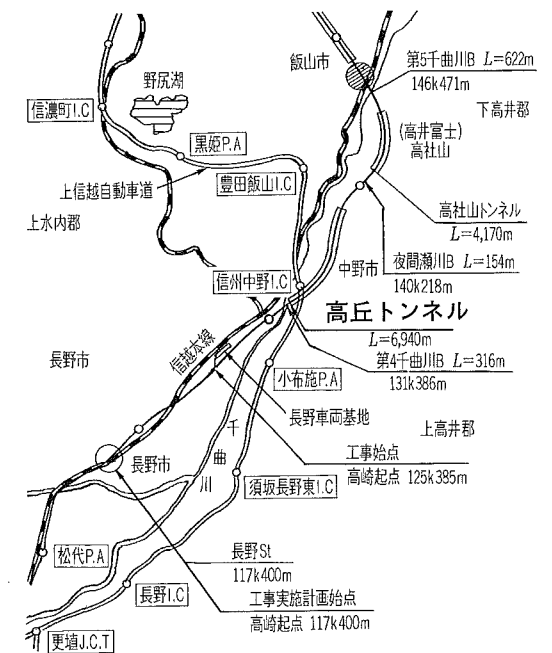


図-2 高丘トンネルルート概要図

いる。北部と南部では地形的な差異があり、北部は標高400m以上の比較的起伏の富んだ地形であるのに対し、南部は標高380mの茶臼嶺を最高点とした起伏の緩やかな丘陵性の地形をなす(図-2)。南部の高丘丘陵に位置する高丘トンネル南工区は、10~50m(1~5D)程度の小土かぶりであり、その直上近傍には住宅団地、高速道路、県道2か所、携帯電話中継塔1基、送電線鉄塔6基など多数の近接構造物が存在する(図-3)。このような施工環境に加え、地質はシルトを主体とした第四紀の若い未固結地山であり、かつ、地殻変動などの影響により亀裂が多く、また向背斜の褶曲が掘削

断面内に現れるといった特徴をもつ。

本稿では北陸新幹線高丘トンネル南工区の小土かぶり、多亀裂、褶曲がある第四紀未固結シルト地山における山岳NATMトンネルの施工状況について報告する。

2 地質概要

高丘トンネル南工区の地質縦断面図を図-4に示す。千曲川の旧氾濫原と目される堆積物と火山堆積物からなり、第四紀更新世前期にあたる猿丸層、中期の豊野層から構成され、これらを覆って更新世後期とされる南郷層がトンネル上部(地表付近)に

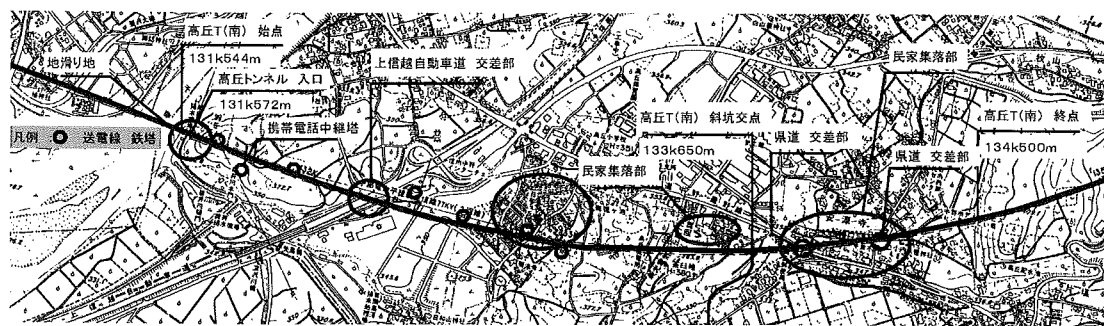


図-3 近接構造物位置平面図

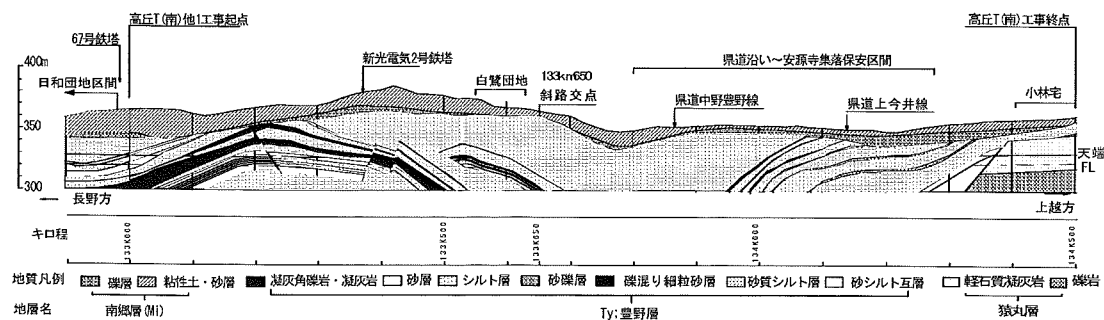


図-4 高丘トンネル南工区地質縦断面図

表-1 地質概要

地層名	分布・層相・特徴	施工上の留意点	N 値	一軸圧縮強度	変形係数
				kN/m ²	kN/m ²
南郷層	砂・砂礫を主体とし、シルト・粘土層を伴うN値30以下が主体で、固結度は低い	砂層の流出と切羽の自立性 支持力不足による支保脚部の沈下	30以下	86~349	2,700~5,000
豊野層	未固結状態であるシルト層主体で、砂層、礫層を挟在	支持力不足による支保脚部の沈下 地山強度比の低い区間での塑性地圧の発生	8~50 以上	170~1,189	27,425~117,000
猿丸層	礫層主体で、砂層・粘土層を伴う 安山岩の硬質礫を火山灰が埋めた凝灰角礫岩(軟岩)	安定した性状だが、掘削時の騒音 振動などの地上への影響	30~50	443~560	55,900~73,300

分布する。各層の地質概要を表-1に示す。

トンネル掘削断面の多くを占める豊野層はシルトを主体とし、一軸圧縮強度が1.0MPa前後と低く、地山強度比が低い区間を中心に塑性地圧による大きな内空変位の発生や支持力低下による支保脚部などの沈下、そして、これらに起因する地表面沈下が懸念される。シルト層には狭在または互層などの形で砂層および礫層が分布し、これらは均等粒径の未固結層のため、切羽の自立性が悪く、湧水を伴った場合、容易に土砂流出が発生する。

また、トンネルのルートは長丘断層と替佐断層に挟まれ、第四紀以降の断層、褶曲運動などの構造運動の影響を受けた高丘丘陵を縦断しており、とくに本工区における豊野層は、若い年代の地層であるにもかかわらず、地層面は大きく傾斜し、また特殊堆積構造を含む褶曲、断層、亀裂が発達している(写真-1,2)。これは高丘丘陵に並行する断層からの派生断層が本線と交差していることや、断層周辺での地殻変動が原因であると推測される

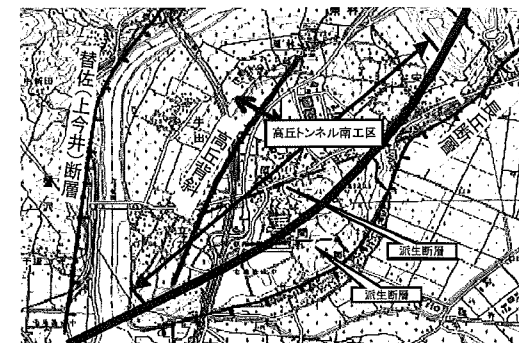


図-5 派生断層の状況(推定)

(図-5)。そのため、もともと一軸圧縮強度が低い地山であることに加え、褶曲、断層、亀裂が地盤の強度・支持力の低下や変形特性に大きな影響を与えると考えられる。

3 施工実績を踏まえた数値解析モデルの構築

近接構造物への影響を抑止するため、掘削の支保パターン、補助工法などの施工実績とトンネル水平内空変位、地表面沈下量などを分析した。そして、施工実績を踏まえた数値解析モデルの構築を行い、そのモデルを用いて支保パターン、補助工法などの掘削パターンについて、シミュレーションによる影響解析を行い、その結果をフィードバックしながら施工を行うこととした。

3-1 施工実績

本工区の地山は前記のとおり、未固結で亀裂が多いシルト層を主体としており、掘削に伴う応力開放による地山の緩みが大きいと考えられる。このため経済性、安全性を考慮しながら、地山に適した掘削工法について、施工と計測、そして、その結果に対する評価・検討を行いながら施工を進めてきた。代表的な支保パターン、補助工法の組み合わせなどの掘削パターンを図-6に示す。

3-1-1 斜路交差点部付近の施工状況(133km550m~133km800m)

斜路交差点部付近ではさまざまな補助工法などを試行錯誤し、その結果をフィードバックしながら、掘削パターンP-3(図-6)を基本として施工することとした。先受け工としてPASS工法、上下半吹



写真-1 褶曲状況



写真-2 構造運動を受けた地山

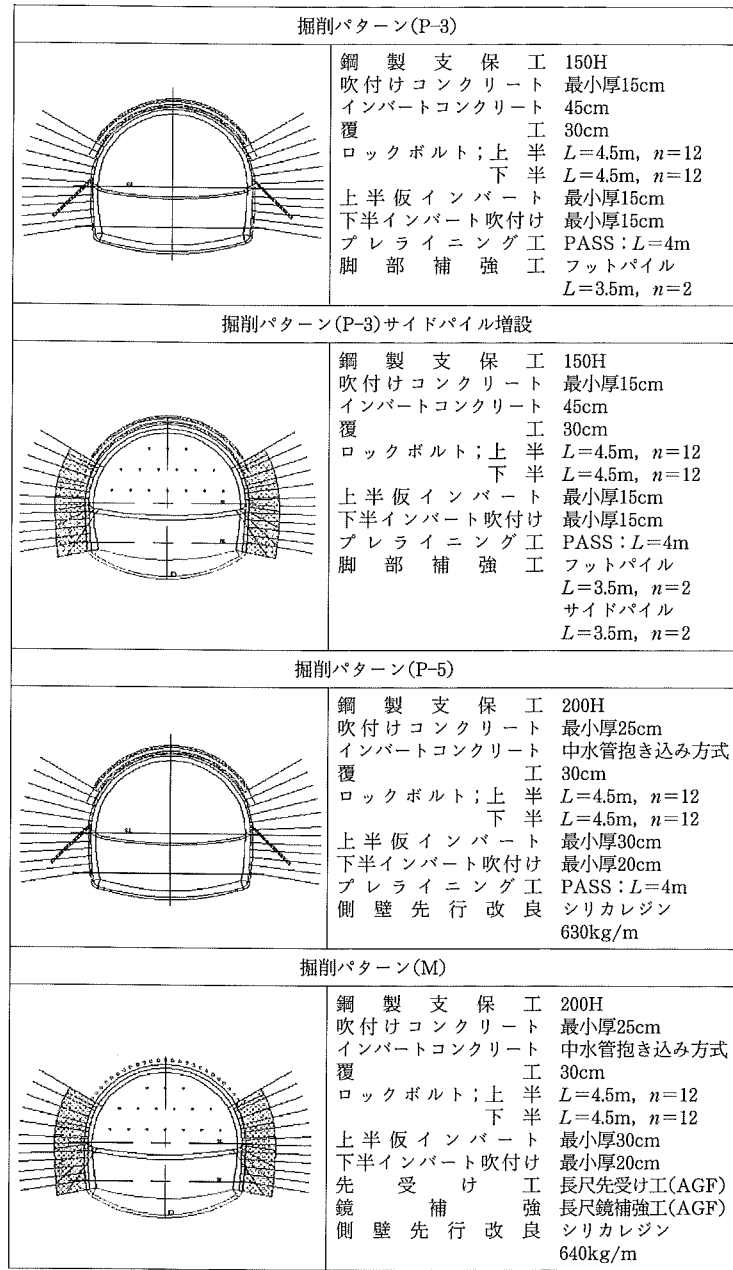


図-6 掘削パターン

付け仮閉合、フットパイルなどを補助工法として採用した。その結果、家屋の管理目標値である地表面沈下量50mm、傾斜角3.0/1,000rad(建築基礎基準を適用)以内に収まり、周辺の地表面にも大きな変状は認められなかった。この施工実績を受け、近接構造物が存在する小土かぶり区間における当初の掘削パターンの基本とした。

抑制するために地表面沈下量の再現精度が高いFEM解析モデルを構築した。地山物性値は当初の調査ボーリングから得られる変形係数などでは、本工区の地山特性を十分に表現できていないと考えられた。そこで亀裂や褶曲などの影響といった調査ボーリングでは評価しにくい特性を考慮し、モデルの再現性が高くなるように変形係数などを

3-1-2 亀裂質帯横断区間(133km 800m~133km900m)

亀裂質帯を横断する区間(133km800m~133km900m)では、斜路交点部付近で設定した掘削パターンP-3を基礎に、更に土かぶりが小さくなることを考慮し、サイドパイルを追加した(図-6:「掘削パターン(P-3)サイドパイル増設」)。

地山は非常に乱れ、亀裂、断層などが非常に多く出現し、切羽から土塊が小崩落をくり返すとともに、亀裂、断層に起因した地山の自立性の低下、とくに支保工脚部の支持力低下により、トンネル全体が沈下する傾向にあった。この脚部沈下の抑制のために、掘削パターン(P-3)に追加したサイドパイル(片側1本両側で計2本)に加え、更にフットパイルを追加し、フットパイルは全部で片側2本、両側計4本で施工した。しかし、脚部沈下を制御することはできず、地表面沈下量の管理基準値50mmを超え、想定以上に悪い結果となってしまった。このような状況は今後も想定され、更なる工法の検討が必要であると考えられる。

3-2 数値解析モデルの構築

亀裂質帯横断区間の施工状況を受け、地山の再評価と数値解析モデルの構築を行うこととした。

まず、近接構造物への影響を抑制するために地表面沈下量の再現精度が高いFEM解析モデルを構築した。地山物性値は当初の調査ボーリングから得られる変形係数などでは、本工区の地山特性を十分に表現できていないと考えられた。そこで亀裂や褶曲などの影響といった調査ボーリングでは評価しにくい特性を考慮し、モデルの再現性が高くなるように変形係数などを

表-2 解析ステップごとの解析値の比較

ステップ	地表面沈下量(mm)				天端沈下量(mm)			
	実績値	弾性	非線形弾性	弾塑性	実績値	弾性	非線形弾性	弾塑性
1 自重解析	—	—	—	—	—	—	—	—
2 上半掘削 応力開放率:40%	—	29	38	31	—	90	117	94
3 上半支保工	—	—	—	—	—	—	—	—
4 上半掘削 応力開放率:60%	—	58	91	71	—	160	239	186
5 下半掘削 応力開放率:40%	—	64	105	79	—	169	261	198
6 下半支保工	—	—	—	—	—	—	—	—
7 下半掘削 応力開放率:60%	104~119	69	121	85	210~232	177	288	204

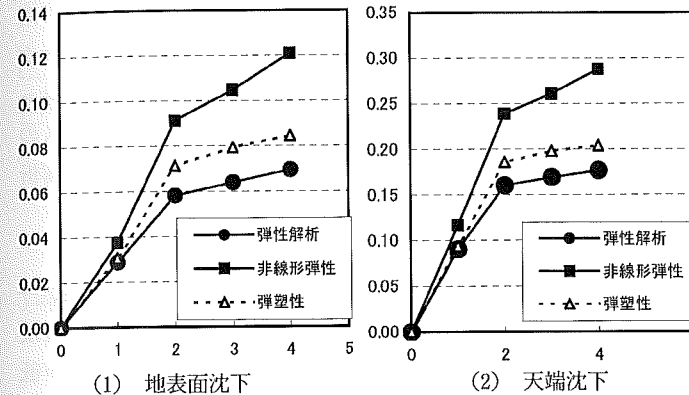


図-7 解析ステップごとの解析値の比較

修正しながら数値解析モデルの構築を行った。

解析手法については、これまでの施工区間における地表面沈下量に着目し、弾性解析、非線形弾性解析、弾塑性解析を行い、再現性が高いモデルを予測モデルに採用することとした。

解析に用いた断面は地質が比較的均一でシルトが主体である133km680m付近とし、地質条件は

変形係数 $E=27\text{MN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=20^\circ$ 、粘着力 $c=101\text{kN/m}^2$ 、土かぶり35mの地点で実施することとした。

解析断面において地表面沈下量の実績値と各解析手法の順解析による地表面沈下量、また、各解析ステップにおける地表面沈下量とトンネルの天端沈下量(表-2、図-7)を比較検討した。また、各モデルにおけるひずみ分布図(引張り力)(図-8~10)により本工区の変形特性を表現できるモデルを検討した。

た。

引張りひずみ分布図を見ると、弾性、弾塑性解析ともに天端部にほとんどゆるみ領域が発生していない。また、弾塑性解析は上半脚部のゆるみが少ない結果となっている。しかし、実際の計測では上半脚部の沈下はトンネル全体の沈下に大きく影響しており、実績との整合性がとれていないこ

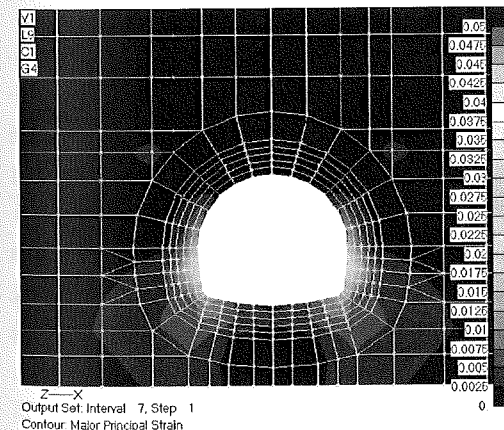


図-8 引張りひずみ分布図(弾性解析)

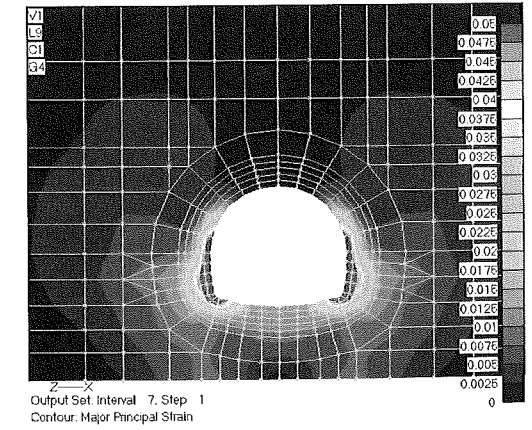


図-9 引張りひずみ分布図(非線形弾性解析)

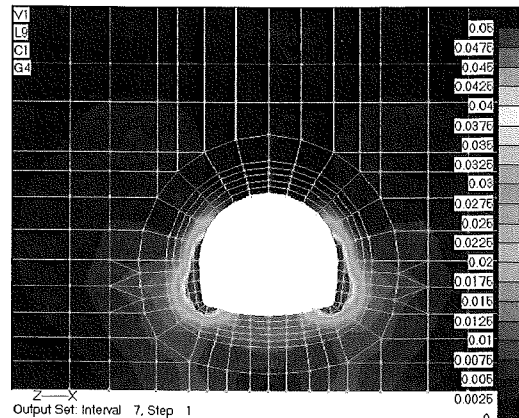


図-10 引張りひずみ分布図(弾塑性解析)

とが確認された。この部分のフィッティングが良いモデルの構築が重要であると考えた。

非線形弾性解析は、最終的な地表面沈下量、天端沈下量が実績値に近い値を表現でき、かつ、引張りひずみの分布において天端と上半脚部にゆるみ領域が発生しており、本工区の地山変形特性を表現できると判断した。この結果を受け、掘削パターン検討のための解析モデルとして非線形弾性解析モデルを採用することとした。

加えて、本工区の主な地質であるシルト層は、変形係数が小さく、掘削に伴い側壁部の破壊が一部進行し、これを契機に地山全体の劣化が進み、更にトンネル周辺の地山の変形係数が低下し、トンネル内空そして地表面沈下を助長してしまう地山と考えられた。その点において、非線形弾性解析は応力の増加に対して、変形係数が徐々に低下するモデルであり、シルトを主体とした地山において広域に変形係数の変化を取り扱うことができるモデルと考えられる。

3-3 管理基準値の見直し

数値解析モデルの構築に伴い家屋の管理基準を見直した。これまでの施工実績から、家屋や道路の近接構造物への影響の程度を考慮し、家屋における管理基準を地表面沈下量

80mm、傾斜角3.5/1,000radを限界値として設定し、この管理基準値をクリアできる工法の検討を行うこととした。

4 掘削パターンの見直し

133km680m付近で構築した非線形弾性FEM数値解析モデルを用いて、本工区において標準的な土かぶり地質条件を想定し、支保パターン、補助工法などの支保部材の組み合わせを行い、それらの地表面沈下抑制効果を評価することとした。地質条件は N 値=24、変形係数 $E=24\text{MN/m}^2$ 、内部摩擦角 $\phi=18^\circ$ 、粘着力 $c=94\text{kN/m}^2$ 、土かぶり25m、シルト主体の地質としてシミュレーションすることとした。表-3、図-11に検討ケースの掘削パターンと地表面沈下量、天端沈下量の解析予測値を示す。

4-1 側壁先行改良の検討

本工区は掘削に伴い側壁部の亀裂部の破壊が一部進行し、この破壊が地山全体への劣化へと波及し、そして、トンネル周辺の地山の変形係数が低下していくと想定される。

そこで新たな補助工法として地山の変形係数が低下する前、とくにその契機となる上半下半の側壁部について、切羽が到達する前に地山強度を上げてしまうことが重要ではないかと考え、側壁先行改良を施工することとした(図-12~14)。側壁先行改良の効果を検証するため、掘削前に先方に

表-3 検討ケースと数値解析予測値

補助工法	CASE 1 補助なし	CASE 2	CASE 3	CASE 4	CASE 5	CASE 6
PASS	—	○	○	○	○	○
ダブルフットパイル	—	○	○	○	○	○
上半仮閉合 吹付け厚さ	—	○ 15cm	○ 30cm	○ 15cm	○ 15cm	○ 15cm
上半ストラッド	—	—	—	○H-150	—	—
吹付インバート 吹付け厚さ	—	○ 20cm	○ 20cm	○ 20cm	○ 20cm	○ 20cm
側壁先行改良	—	—	—	—	○下半	○上下半
地表面沈下量(mm) case 1との割合	1.00	0.69	0.68	0.66	0.60	0.55
天端沈下量(mm) case 1との割合	1.00	0.73	0.72	0.70	0.62	0.57

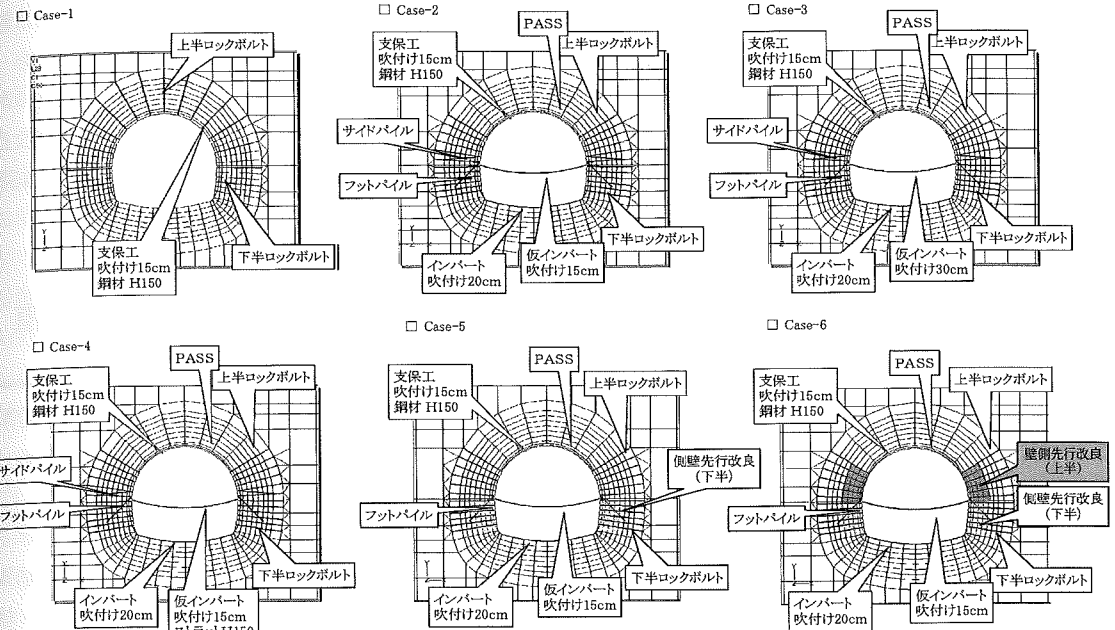


図-11 検討ケース

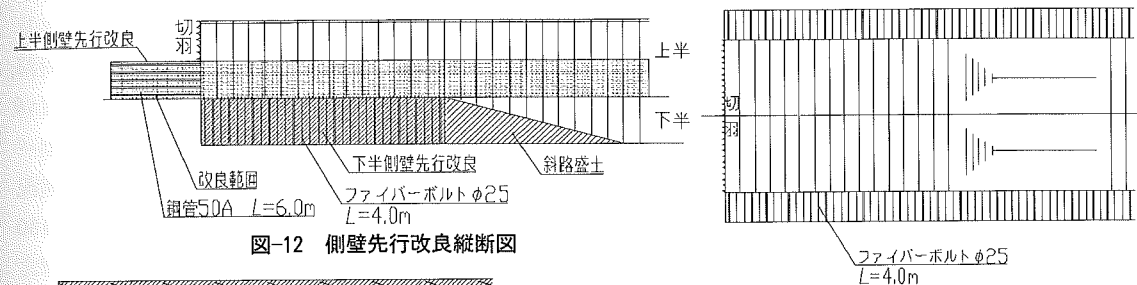


図-12 側壁先行改良縦断面図

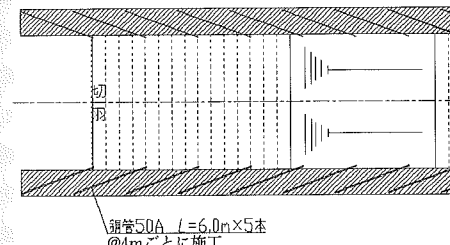


図-13 側壁先行改良平面図(上半)

向かって注入式ロックボルトなどを用いて先行改良を行った場合と、掘削後坑内から注入式ロックボルトにより後追いで改良する場合について数値解析を行った(表-4)。地表面沈下量を比較すると先行改良した場合のみが地表面沈下量の管理基準値である80mmをクリアしており、側壁先行改良の有効性を確認することができる。図-15, 16に改良した場合と改良しない場合の引張りひずみ分布図を示す。側壁先行改良をした場合、側壁の改

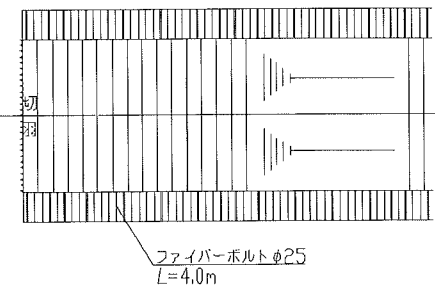


図-14 側壁先行改良平面図(下半)

良効果が顕著に現れており、ゆるみ領域が非常に少なくなることが確認できる。本工区の弱点とも言える箇所を補強することができる合理的な補助工法と言える。

改良範囲は図-12~14に示すとおりであり、改良はシルト質の地山であることを勘案し、割裂注入を行うこととし、注入材はシリカレジンをとした。

解析により側壁先行改良によって地表面沈下が管理基準値である80mm以内に収まるためには、注入により粘着力が100kN/m²向上する必要がある。その値をクリアするための注入計画を策定した。改良効果については試験施工を行い、孔内載荷試験を実施し、上半部の粘着力は181kN/m²、下半部は185kN/m²と必要強度に粘着力が向上したことを確認した。

表-4 側壁先行改良の効果(解析結果)

ステップ	改良なし		側壁先行改良あり		側壁先行改良なし (掘削後改良)	
	天端沈下	地表面沈下	天端沈下	地表面沈下	天端沈下	地表面沈下
上半掘削 応力開放率:40%	73	30	50	24	60	29
上半掘削 応力開放率:60%	119	50	90	41	101	47
仮インバート撤去	143	65	108	54	125	63
下半掘削 応力開放率:40%	153	73	117	61	134	71
下半掘削 応力開放率:60%	173	86	138	75	154	84

単位: mm

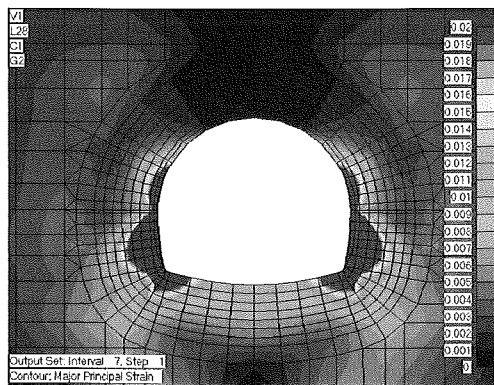


図-15 引張りひずみ分布図(側壁先行改良なし)

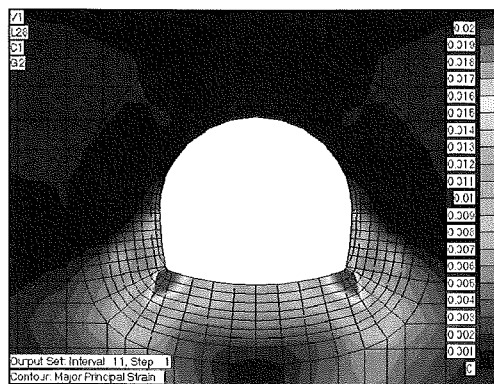


図-16 引張りひずみ分布図(側壁先行改良あり)

4-2 掘削パターンの見直し結果

掘削パターンの見直しを行った結果(表-3), 無対策であるCASE 1 に対し, 一番補助工法が少ないCASE 2 においても地表面沈下量は70%程度までは低減できることがわかった. CASE 5, 6 の側

壁先行改良を行った場合の効果は顕著であり, 本工区の地山の特性にあった補助工法と考えられる. 地山の亀裂, 褶曲状況によって側壁先行改良の範囲を変更することとし, CASE 5 ないしCASE 6 を掘削パターンの基本とすることとした.

5 掘削パターンの見直し後の掘削状況

5-1 新検証区間における掘削状況(133km900m~134km020m)

小土かぶり区間(土かぶり約20~25m)における地表面沈下抑制と, 新掘削パターンの見直し結果の検証を目的としてL=120.0mの掘削パターン検証区間(133km900m~134km020m)を設定した. 地質は依然として多亀裂質のシルト層を主体としており, 砂, 礫を挟在する. また, 小断層や向斜, 背斜構造がくり返される複雑な地質構造をしている. 数値解析の結果を受け, CASE 5, 6 を掘削パターンの基本としていたが, 想定以上に地質状況が悪かったため, 更に支保工をランクアップ(150H-15cm吹付けを200H-25cm吹付けに変更)した. また, 200mmを超える坑内水平変位の抑制のためにインバートストラット付の下半インバート吹付け(中央集水管抱き込み方式)の施工も追加した. 結果として, インバートストラットによる早期断面閉合により, インバートストラット設置後の継続的な地山の緩みが低減され, 早期閉合による地表面沈下の抑制に効果的であったと考えている. 当該区間の施工実績を踏まえ, 見直しをした掘削パターンを最終的な掘削の基本パターンとした(図-6:『掘削パターンP-5とM』).

これら補助工法の総合的な沈下抑制効果により, 派生断層横断区間で見直した家屋の管理基準値である80mm以内で沈下量を抑制する見通しが立った. しかし, PASS工法が施工困難となる礫層の出現が考えられるため, 先受け工としてAGF工法による施工も行った(図-6:「掘削パターンM」).

5-2 特殊堆積構造区間における掘削パターンMの検証

新検証区間(133km900m~134km020m)につき, 特殊堆積構造区間として, 褶曲, 断層などが確認され, かつ帯水砂礫層が挟在する区間が出現した. PASS工法は礫や湧水が存在する場合, 適用できない工法であり, PASS工法の代替となる掘削パターンの検証が必要とされた. そこでAGFによる先受け工により, φ50mm鋼管(上半)やφ25mmファイバースクリュー(下半)による側壁先行改良(シリカレジン注入), 上半吹付け仮インバートによる閉合, 下半吹付けインバートによる仮閉合(インバートストラット付)を基本としたPASS工法が使えない場合の基本掘削パターンMの検証を行った.

シルト層は鏡肌を伴った亀裂が発達し, 小規模な切羽の崩落をくり返した. このため, 切羽と切羽前方地山の安定性を確保するため, AGF鋼管(シリカレジン注入)による鏡補強工を採用した.

5-3 掘削パターンの基本パターンP-5とMの検証

数値解析モデルの検証として, 基本の掘削パターンとなるP-5, Mの地表面沈下量について, 解析予測値と実績値を比較した(表-5). 結果はおおむね一致しており, 地表面沈下を予測する解析モデルとして妥当であると判断した.

また, 通常脚部沈下対応として採用されるフットパイルを用いた掘削パターンP-3(側壁先行改良なし)について解析値と実績値を比較した. 解析値以上に沈下が発生しており, 地質状況が想定以上に悪かったこと(擾乱帯)も影響しているが, 本工区が多亀裂, 褶曲のシルト質の地山に対して, フットパイルの杭としての機能および掘削後の後追的に行うフットパイル鋼管からの注入による地盤改良では脚部沈下を抑制することができないことが明らかとなった. また, 解析モデルでは表現できないフットパイルの削孔による地山の乱れの影響も実績値と予測値の乖離の一因となっていると考えられる.

FEM解析を行う場合の応力開放率について,

表-5 数値解析予測値と実績値の比較

掘削パターン	地表面沈下量(mm)	
	数値解析予測値	実績値
P-3	86	111
P-5	79	82
M	82	86

表-6 PASS工法におけるFEM解析の上半掘削時応力開放率

上半掘削時(mm)	鋼製支保工建て込み前	鋼製支保工建て込み後(全沈下量)
地表面沈下量	16	48
鋼製支保工建て込み前応力開放率	16÷48×100≒30%	

過去の実績を踏まえ, 上半掘削時の鋼製支保工建て込み前は40%, 鋼製支保工建て込み後は残りの60%を解放するとして計算するのが一般的である. しかし, P-5の先受け工であるPASS工法について, AGFなどの先受け工と比較して, 上半掘削時における全応力が開放されたときの全地表面沈下量に対し鋼製支保工が建て込まれる前の上半掘削時の地表面沈下量が少ないという傾向が見られた. そこで計測結果を踏まえ, 上半掘削時, 鋼製支保工建て込み前の開放率を30%, 鋼製支保工建て込み後を70%と変更し, 解析を行った(表-6).

6 施工結果

地表面沈下量, トンネルの天端沈下量, 水平内空変位, 脚部沈下量について傾向分析を行った.

水平内空変位と天端沈下量を比較すると(図-17), 一般的には水平内空変位が天端沈下より卓越することが多い. しかし, 本工区は天端沈下量が卓越しており, 非常に特殊な地山といえる. 天端沈下および脚部沈下がトンネル変位の重要な要因であると言える.

天端沈下量と脚部沈下量を比較すると(図-18), 脚部沈下量が天端沈下量の約1.3倍であり, 本工区の地山の变形特性ともいえる傾向(脚部沈下が大きい)が顕著に現れている. また, 地表面沈下量は天端沈下量の約60%, 脚部沈下量の約50%となっており, 地表面沈下は脚部沈下からの影響が大きいものと考えられる(図-19, 20).

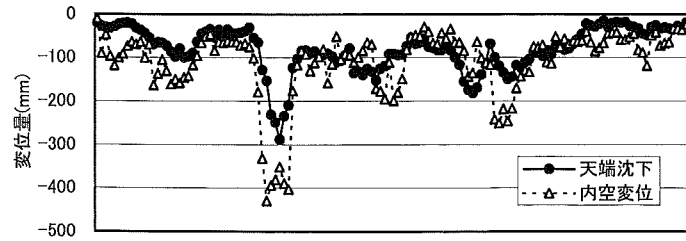


図-17 水平内空変位と天端沈下量

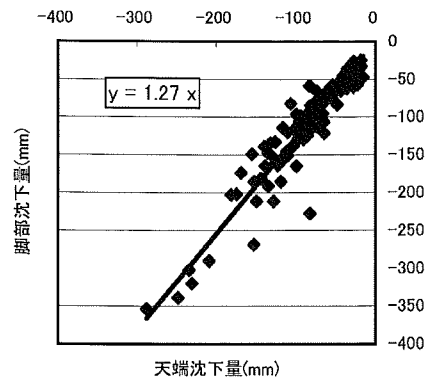


図-18 天端沈下量と脚部沈下量

実績値より側壁，脚部の変位が大きいという結果が得られ，この傾向は数値解析モデルのひずみ分布と整合性がとれており(図-15, 16)，数値解析モデルの妥当性が裏付けられた。解析結果，実績値ともに側壁先行改良は水平内空変位，脚部沈下対策として有効な手段であることを示唆している。

7 ま と め

高丘トンネル南工区は，当初の調査ボーリングなどにより，小土かぶりの未固結地山として掘削の難しさが懸念されていた。しかし，これに加え，地山が構造運動などの影響を大きく受けており，想定以上の地表面沈下が発生した。

これを受け，構造運動による多亀裂，褶曲などへの対策が最重要課題として位置づけられるようになり，本工区の地山の特性を勘案した対策を行う必要が生じた。さらに本工区は多数の近接構造物が存在し，これらへの影響を抑制しなければならず，影響を最小限に抑制するために，できる限り早い段階で対策を打つことが肝要であった。

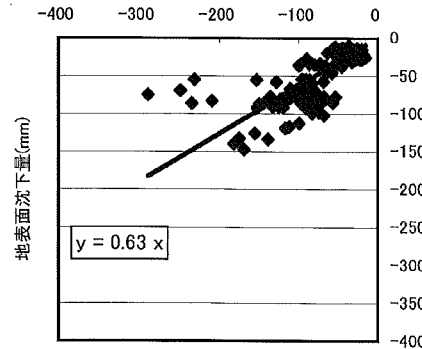


図-19 天端沈下量と地表面沈下量

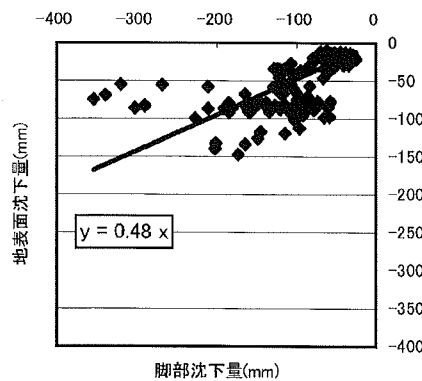


図-20 脚部沈下量と地表面沈下量

まず，事前に影響を抑制できる掘削パターンを検討するために，地質調査ボーリングや切羽観察記録，水抜きボーリングなどにより，常に地質の見直しをかけるとともに，本工区の地山の挙動特性を反映した数値解析モデルの構築を行った。このモデルの予測結果を受け，掘削により地山のひずみ領域が大きくなる箇所の強化を目的として，側壁先行改良を採用した。

数値解析モデル構築後，解析予測値と実測値を常に比較検討し，次の区間へと解析と施工をフィードバックしながら施工し，その結果，近接構造物への影響を抑制できる掘削パターンが確立できたと考えている。

今後も施工実績をフィードバックし，近接構造物への影響を抑制できるよう施工監理を十分に行っていきたいと考えている。

施工

都営新宿線シールド直上11cmに開削で駅を築造

—地下鉄13号線 新宿三丁目二工区—

東京地下鉄(株)新宿工事事務所技術課長 岡田 龍二
 (株)大林組新宿三丁目工事事務所グループ長 木村 創

1 はじめに

東京地下鉄(株)は現在地下鉄13号線(池袋～渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており，平成19年度の開業を目指している(図-1)。

本稿はこの地下鉄13号線建設工事のうち，新宿三丁目駅(駅名はすべて仮称)における都営新宿線

シールドの近接施工について紹介するものである。

2 工事概要

地下鉄13号線新宿三丁目駅は都内有数の繁華街である新宿の明治通り直下を，延長787mにわたって開削工法で建設するものであり，平均掘削深が18mと比較的浅く，構造はほぼ全線で2層2径間

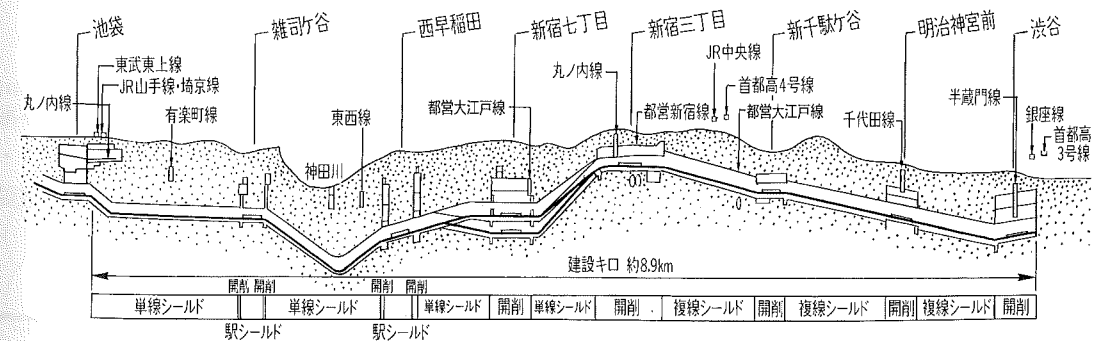
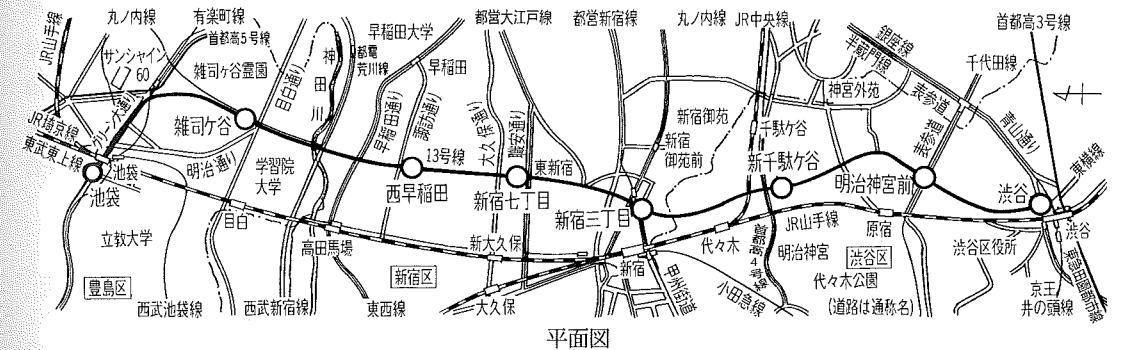


図-1 地下鉄13号線路線平面・縦断面図

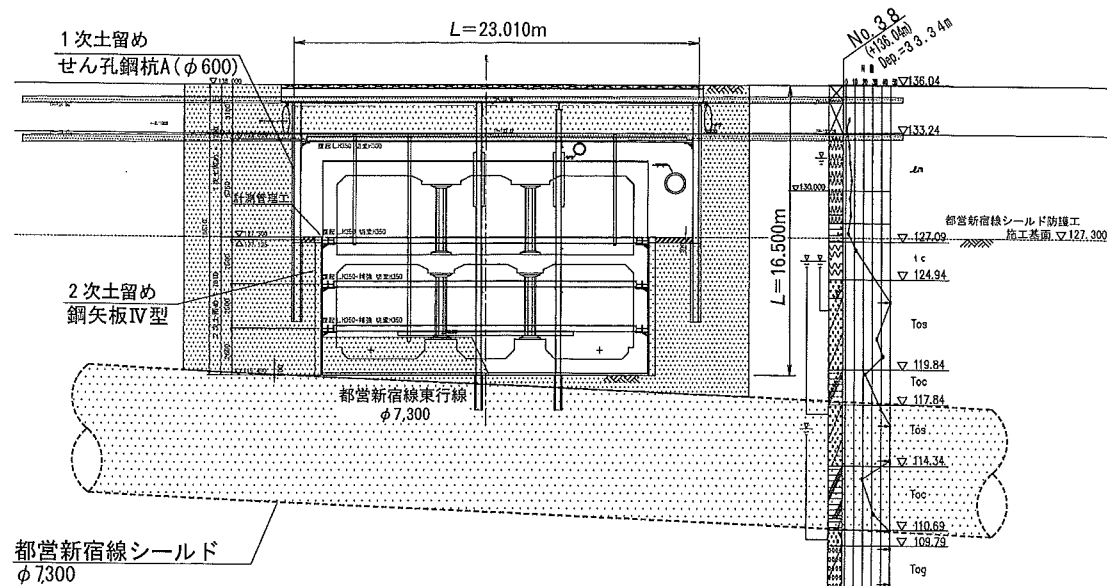


図-2 新宿三丁目駅断面図

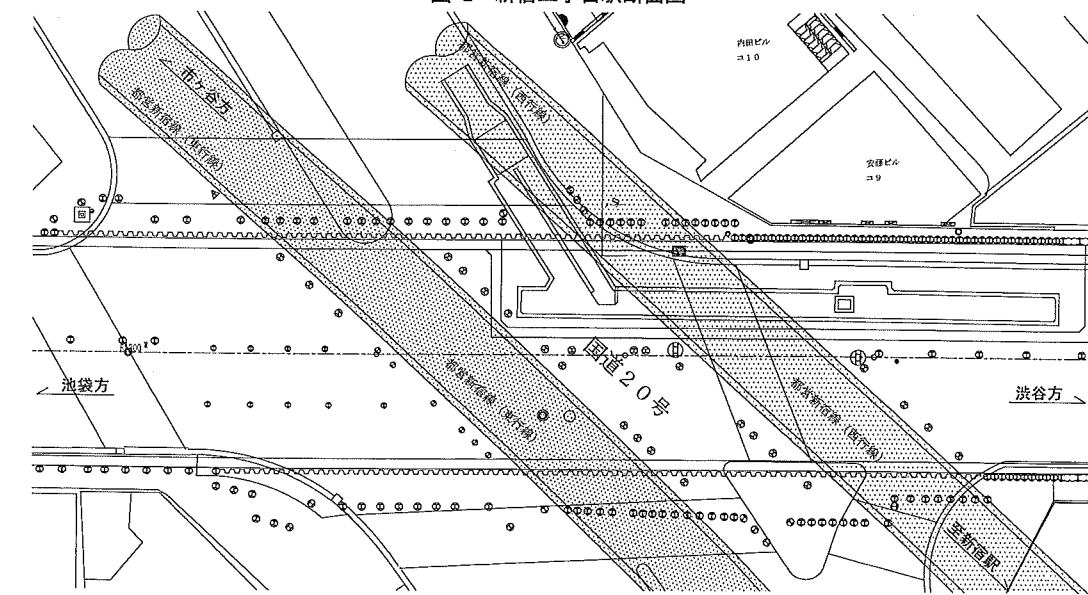


図-3 新宿四丁目交差点付近平面図

となっている(図-2)。

開削工事範囲内には、三つの大きな交差点(靖国通り、新宿通り、国道20号)が存在する。そのうちのひとつである国道20号新宿四丁目交差点直下には都営新宿線シールド(φ7,300単線シールド)2本が存在し、床付け掘削時には、シールドセグメントとの離隔が最小で11cmになる部分がある(図-3, 4)。このため、地下鉄工事のための土留め

杭の根入れ不足に対する安定性の確保、および掘削除荷に伴う都営新宿線シールドの浮き上がり・変形といった事柄が懸念されるため、都営新宿線シールドに対する各種防護工を行った。

3 当初計画について

当初の土留め計画は、土留め杭として柱列式地下連続壁S2型(φ600)(SMW杭、芯材H-400、H

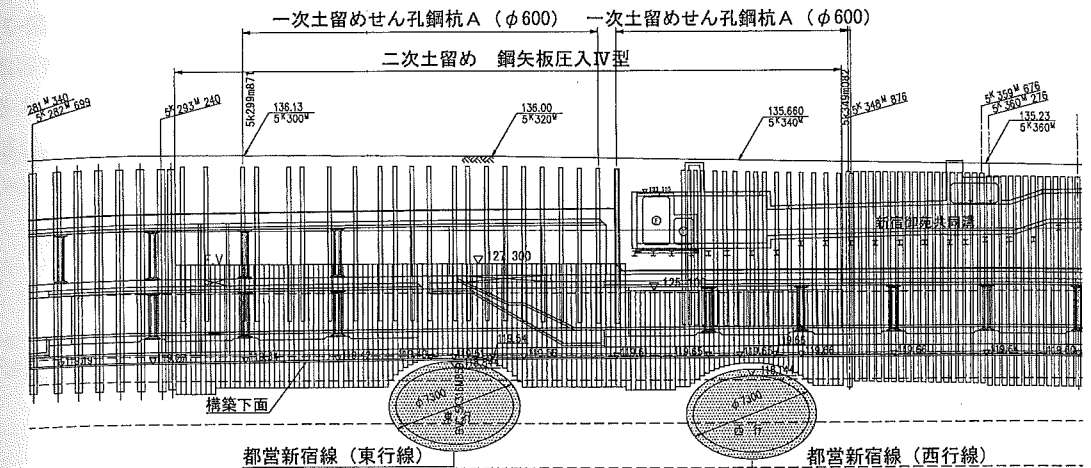


図-4 新宿四丁目交差点付近縦断面図

-300)、土留め支保工(腹起しH-350、切梁H-300)4段という方式であった。施工順序は防護工として覆工外から都営新宿線シールド近接部土留め背面に地盤改良(CJG)で防護し3次掘削まで完了後、アイランド工法にて中央部を掘削して構築の築造、先行して築造した中央部構築から最下段の4段切梁を設置し、側部の掘削・床付けを行うという計画であった。当初の施工断面図を図-5に示す。しかし、現場付近で競合する国道20号のJR新宿駅南口付近における新宿駅跨線橋架替え工事との作業帯の調整の結果、施工手順として地下鉄工事が先行し、国道20号部分の路上工事を極力早い時期

に終了させ、路面を跨線橋架替え工事に引き渡すこととなった。

その結果、当該箇所においては、2段土留めを採用することとなり、路上より1次せん孔鋼杭A φ600を施工し、路面覆工、1次掘削を行った後に、路下にて2次坑内鋼矢板IV型を施工する工法に変更となった。

4 影響解析について

防護工の検討に入る前に当初設計での都営新宿線のシールド上載土除去によるシールドの影響解析を行った。

4-1 横断方向の検討

横断方向の解析として、シールド上部の土がすべて取り去られる開削構築の中心部の断面と、シールド上部の土が半分取り去られ偏荷重がかかる構築側部の2断面で、それぞれ土かぶりをもっとも小さくなる床付け掘削時および完成時の2ケースで解析を行った(図-6)。トンネル構築については一次覆工と二次覆工が一体化した全周バネの剛性一様リングとし、掘削によるリングの変形モードに応じた地盤反力分布を設定できる地盤バネ

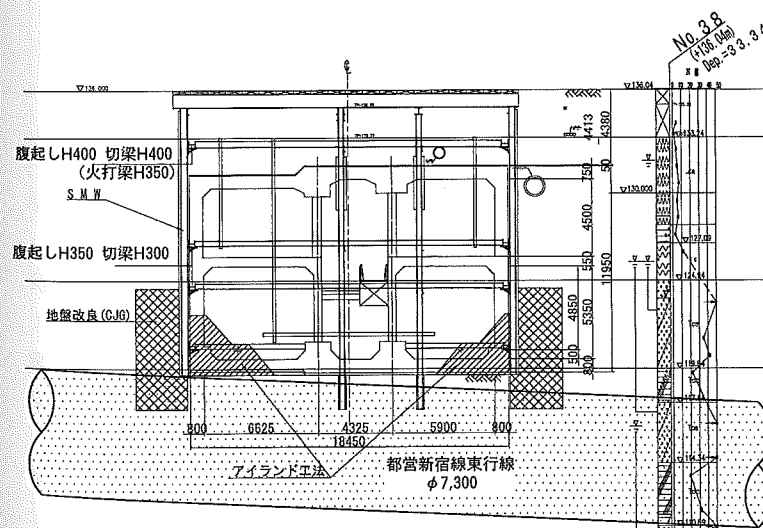


図-5 当初計画

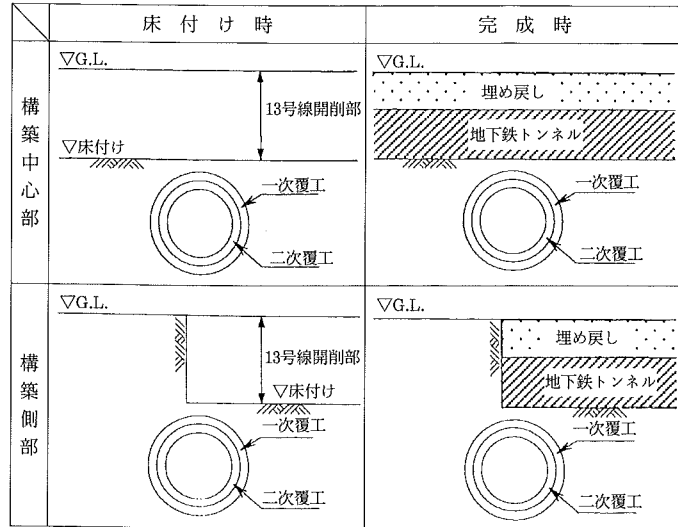


図-6 横断方向解析ケース

を加味した解析モデルを用いた(図-7)。解析の結果すべてのケースで許容応力度以下となり、上載荷重除去によるシールドへの影響は問題ないという結果が得られた。

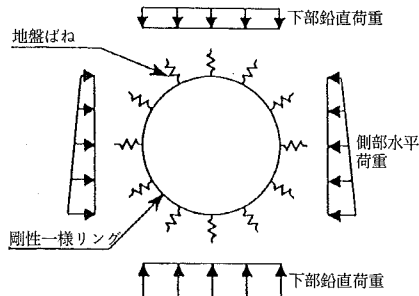


図-7 横断方向解析モデル

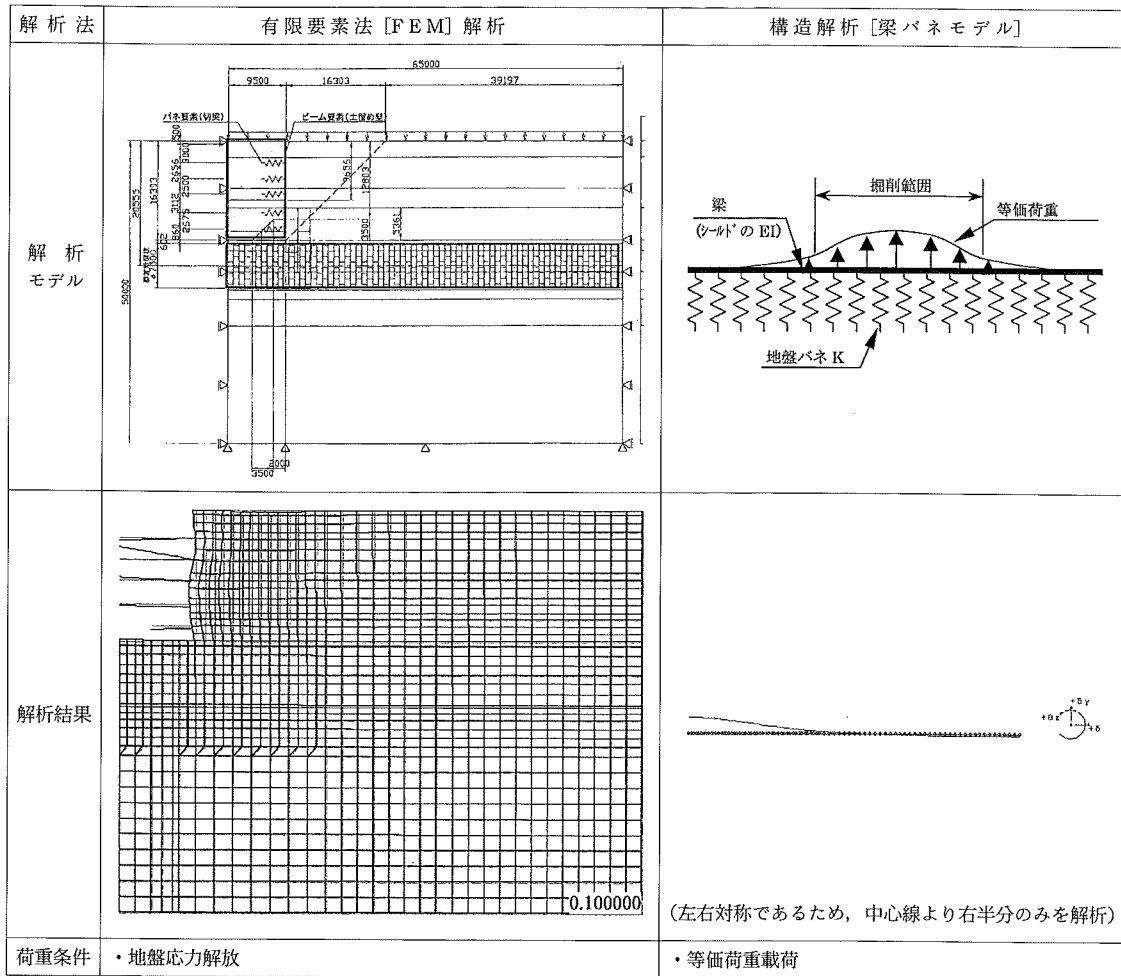


図-8 解析方法概念図

相対変位量は0.9mmで一次管理値の3.5mm以下であり、リバウンドによるシールドへの影響はないという結果が得られた。

5 当初計画の問題点

シールドに対する影響解析ではリバウンドによる影響はないという結果が得られたが、当初計画でのアイランド工法を用いた場合、側杭部が法面となり、残地山量が少ないため、中央部構築施工時に不安定な状態となる。また掘削途中で仮にシールドが浮き上がってしまった場合、対処するのが非常に困難にある。また土留め杭の根入れ不足に対しては背面の地盤改良を行うだけで、止水対策および根入れ先端部変位などの考慮がなされておらず安定性の確保も十分と言えない。よって当初計画を変更し、根入れ不足に対する安定性の確保およびシールドのリバウンドに対してより有効で確実な防護工を検討・選定し、実施する必要が生じた。

6 防護工の検討について

6-1 根入れ不足部の土留めの安定性確保に対する対策

解析結果ではアイランド工法での施工を行う際、中央部構築の施工のための法面掘削までは可能であるが、構築から切梁を架けるための掘削時、土留めがもたないという結果であった。このため最下段切梁の位置、段数、先行補強方法などに着目して対策工を検討した。

6-2 シールド浮き上がり防止対策

解析結果より当初計画時の地盤改良による防護および掘削・構築の分割施工(アイランド工法)の考え方を踏襲しつつ、改良を加えることにより管理値内に抑えることができると考え対策工を検討した。

6-3 対策工の選定

対策工の選定は、①土留めの安定性、②シールドの浮き上がり防止、③施工性、④工程の確保、⑤経済性の5項目に留意して行った。

検討した対策工を表-2に示す。

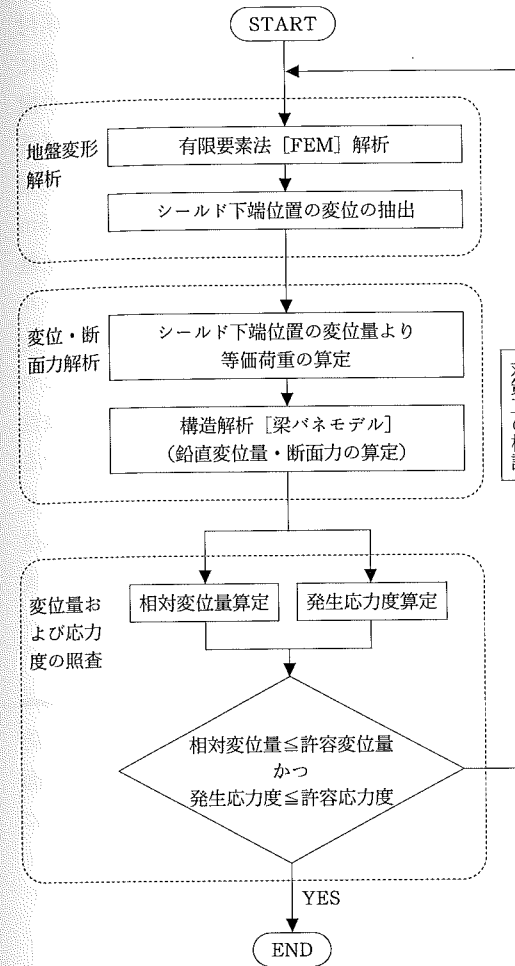


図-9 縦断方向検討フロー図

表-1 水盛式沈下計による測定結果に対する管理基準値

	一次管理値	二次管理値
10m間隔ごとの相対沈下量	3.5mm	5.0mm

4-2 縦断方向の検討

縦断方向の解析はFEMによる影響解析により初期応力状態から床付け掘削までの合計5ステップの解析を行った。構造解析モデルと解析結果を図-8に示す。鉛直変位量に関する検討方法および手順は、次のとおりとした(図-9)。

掘削に伴う新宿線シールドへの影響(リバウンド)の最大相対変位量は0.9mmという解析結果が得られた。東京都交通局の管理基準値は表-1のとおりである。

表-2 新宿線シールド防護工 検討一覧表

		先行地中梁+背面薬液注入+分割施工
A案	根入れ不足に伴う土留めの安定性の確保	・最下段切梁位置を床付け上2.0mにし、この切梁架設のために切梁直下に先行地中梁を地盤改良により実施
	シールド浮き上がり防止	・分割施工による掘削、構築の築造 ・最下段切梁設置後、残地山1.5m(上載荷重2.9kN/m ²)をA線側に残して、B線の掘削～下床打設の分割施工
		ロックボルト+背面地盤改良+薬液注入+分割施工
B案	根入れ不足に伴う土留めの安定性の確保	・最下段切梁下にロックボルトを施工 ・土留め背面はCJG、シールド近接部は薬液注入を実施
	シールド浮き上がり防止	・分割施工による掘削、構築の築造 ・最下段切梁設置後、残地山2.5m(上載荷重4.8kN/m ²)をA線側に残して、B線の掘削～下床打設の分割施工
		背面地盤改良+薬液注入+ウエルポイント+分割施工
C案	根入れ不足に伴う土留めの安定性の確保	・土留め背面はCJG、シールド近接部は薬液注入を実施 ・土留め背面の地下水位低下を目的としてウエルポイントを実施
	シールド浮き上がり防止	・分割施工による掘削、構築の築造 ・最下段切梁設置後、残地山2.5m(上載荷重4.8kN/m ²)をA線側に残して、B線の掘削～下床打設の分割施工

A案についてはシールド位置が床付け面に近いことから、床付け面以深に改良ができないこと、また改良体の撤去も発生するため、工程の確保、経済性で問題があった。また、最下段切梁設置のために、地山が残る厚さが1.5mとなり、浮き上がり防止のための上載荷重が2.9kN/m²と小さくなり、シールドの浮き上がり防止でも問題があった。

B案・C案については、①～④については同等の評価であったが、経済性においてC案が優れており、採用することとした。また浮き上がり防止として、地下水位観測井の設置、地下水位低下工法などを追加して施工した。実際の施工方法は下記のとおりである。

7 実施工について

新宿線シールド近接施工に対する防護として、掘削に伴い二次土留め背面にCJGを実施し、シールド近接部分に

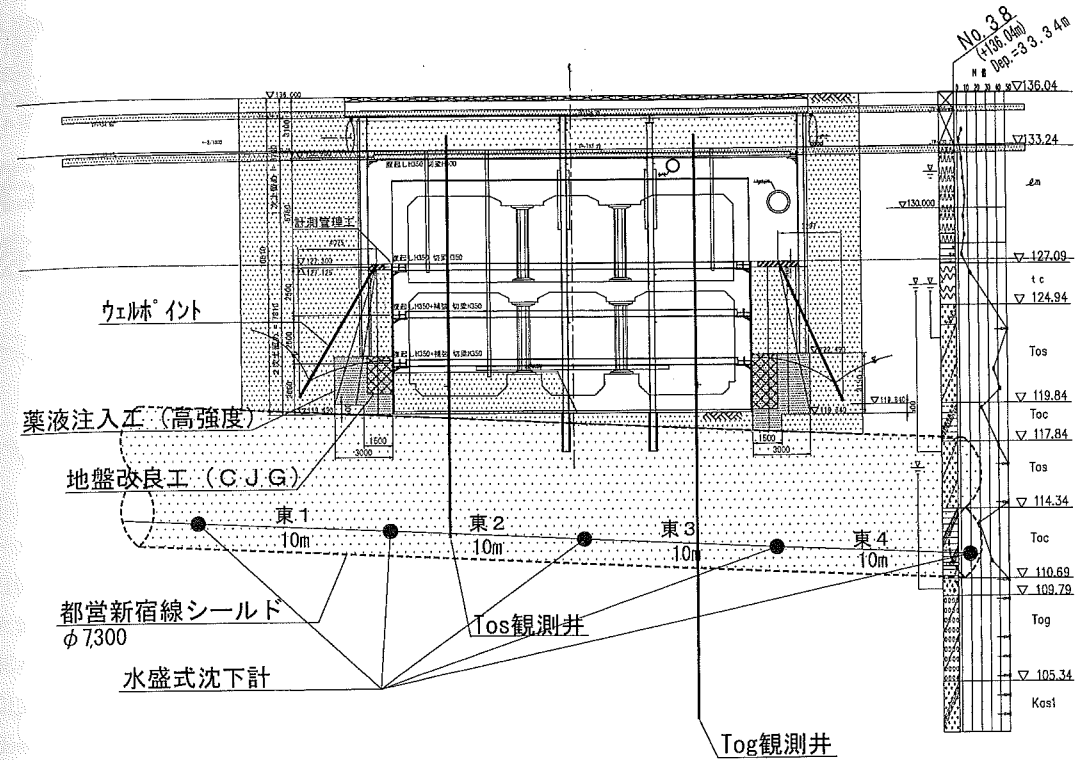


図-11 シールド防護工計測位置断面図

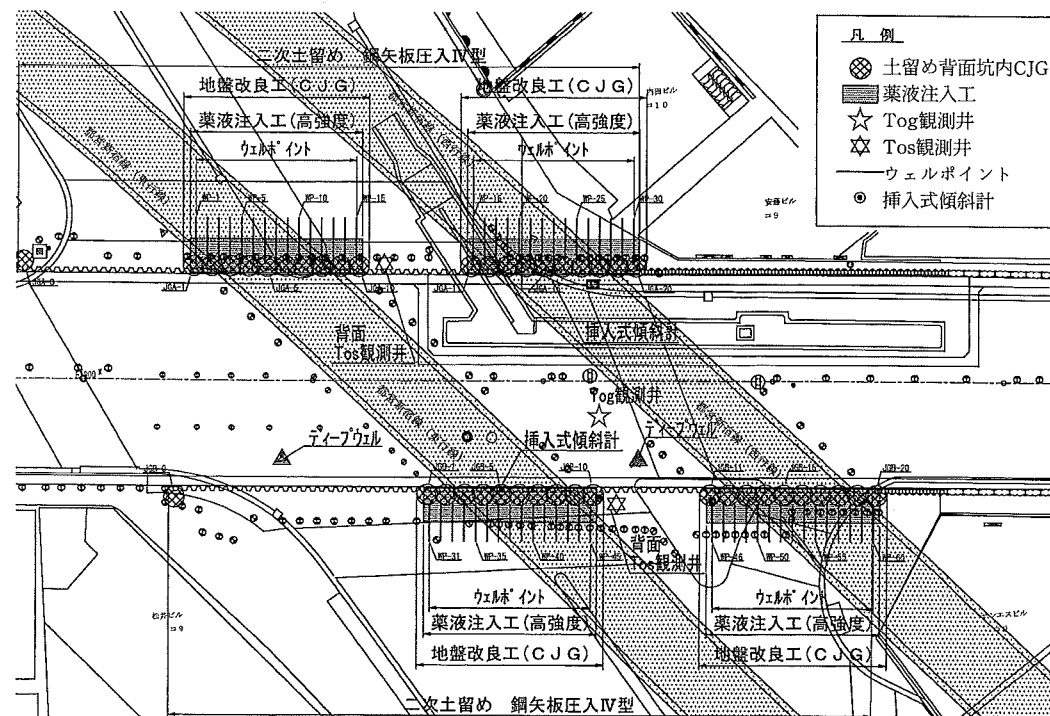


図-10 シールド防護工平面図

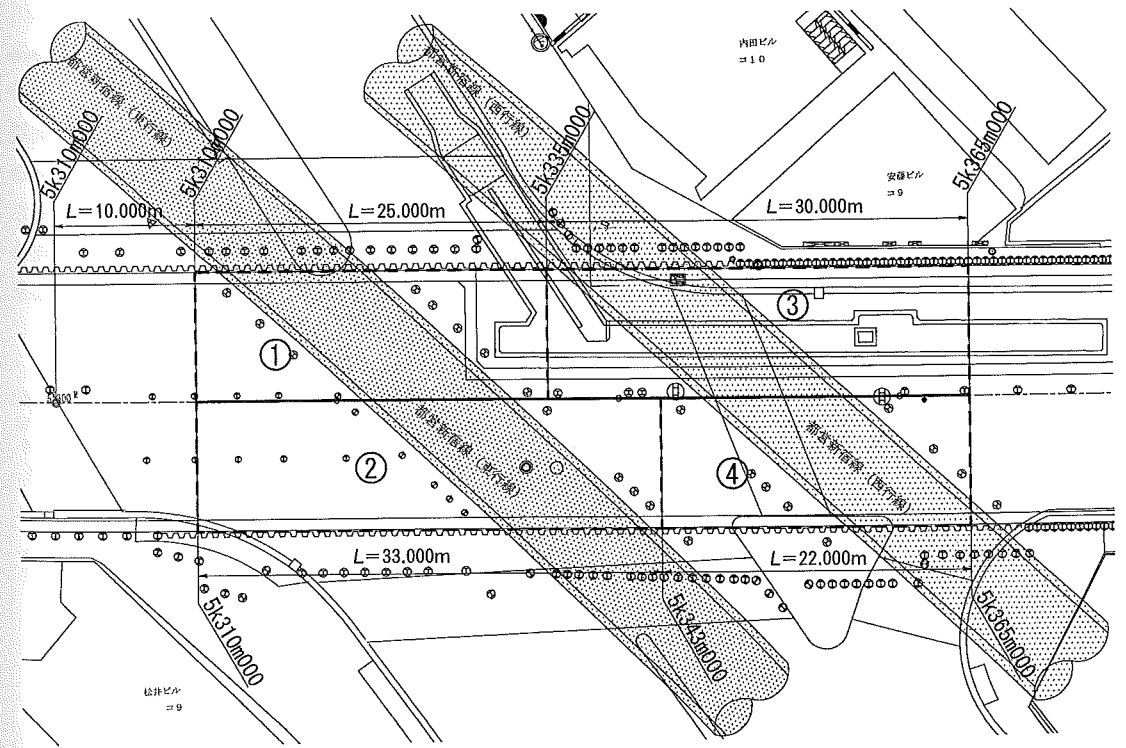


図-12 分割掘削平面図

ついでに薬液注入を施した。さらに土留め背面の地下水位をウエルポイントにて低下させ、背面側圧を低減することにより土留めの安定性を確保した。実際の地下水位の確認は、水位観測井を3本設置し、ウエルポイントの効果の確認を行った。また、土留め杭(鋼矢板IV型)の背面に挿入式傾斜計を設置し、土留め杭の変状についての計測管理を行った(図-10, 11)。

掘削～構築の分割施工について

では、2本のシールドのそれぞれ1本につき2分割を行い、計4分割での施工を行った(図-12)。

東行きシールドについては、図に示す①部分の掘削・床付け・構築工の施工を先行して実施し、コンクリートを打設した後、②部分の掘削を実施した。

同様に西行きシールドについても、まず、③部分の掘削・床付け・構築工の施工を先行して実施し、コンクリートを打設した後、④部分の掘削を実施した。

8 計測工について

シールドの変状計測は水盛式沈下計を東行線、西行線それぞれのシールド内に10m間隔で設置し、自動計測により行った(図-11)。新宿線シールドの相対変位の経時変化を図-13に示す。掘削に伴

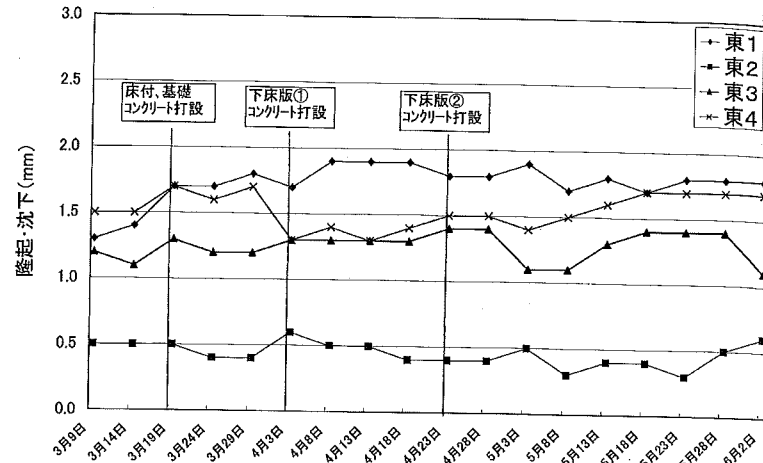


図-13 シールド相対変位経時変化図

いシールドは浮き上がり始め、下床版コンクリート打設後しばらくその傾向が続いた。その後10日間くらいで落ち着いたが、東行きシールドの最大変位は4.5mmまで達した。しかし、掘削範囲外30mくらいから徐々に変位しているため、相対変位では二次管理値内に収まり(最大1.9mm)無事施工をすることができた。

9 おわりに

今回の新宿線シールド近接工事においては、背面地盤改良+薬液注入+ウエルポイント+分割施工という方法で無事施工することができた。しかし防護方法にはほかの選択肢も多くあり、現場ごとの条件に合わせた検討が重要と考える。今回の工事が同様な工事を施工する際の参考になれば幸いである。

訂正

Vol.36, No.10, 26頁に誤りがありましたので、以下のとおり訂正いたします。

〔誤〕

五洋・浅沼特定建設工事共同企業体岩根トンネル工事事務所所長

〔正〕

五洋・浅沼特定建設工事共同企業体岩根トンネル工事事務所所長代理

施工

石灰岩および上部未固結礫岩における大量湧水を克服

—中国電力 新帝釈川発電所導水路トンネル—

中国電力(株)新帝釈川発電所建設所土木課第二工区区長 二岡 克己
中国電力(株)新帝釈川発電所建設所土木課 小西 克文
奥村組・アイサワ工業・佐藤工業・東急建設共同企業体所長 村田 和郎
奥村組・アイサワ工業・佐藤工業・東急建設共同企業体 井岡 政俊

1 はじめに

帝釈川発電所は、広島県北東部に位置する高梁川水系帝釈川にあり、大正13年の完成以来約80年を経過した中国電力最古となる帝釈川ダムより取水・発電を行ってきた。中国電力では帝釈川ダム保全対策工事(洪水処理能力の向上および構造上の補強)と合わせて、帝釈川ダムの未利用落差(最大約35m)の有効活用を図るため、圧力トンネルを有するダム水路式の新帝釈川発電所工事を行っ

ている。新帝釈川発電所は、既設の帝釈川発電所に隣接して建設され、ダム貯水池である神竜湖から毎秒最大10m³を取水し、有効落差129mを利用して最大11,000kWの発電を行うものである。この工事はダム本体と導水路トンネル4,485mのうち上流側450mを受け持つ第1工区と、導水路トンネル下流側4,035mと発電所本体の施工を受け持つ第2工区に分割し実施している(図-1)。

本稿は、第2工区における導水路トンネルの施工について報告するものである。

2 新帝釈川発電所導水路トンネルの概要

2-1 地形・地質概要

新帝釈川発電所導水路トンネルは、中国山地の吉備高原に代表される標高400~600mの緩い起伏面を土かぶり50~180m程度で貫いている。

地質は、古生代石炭紀から二畳紀の石灰岩を基盤とし、中生代白亜紀の安山岩、新第三期中新世の備北層群(礫岩)がこれを

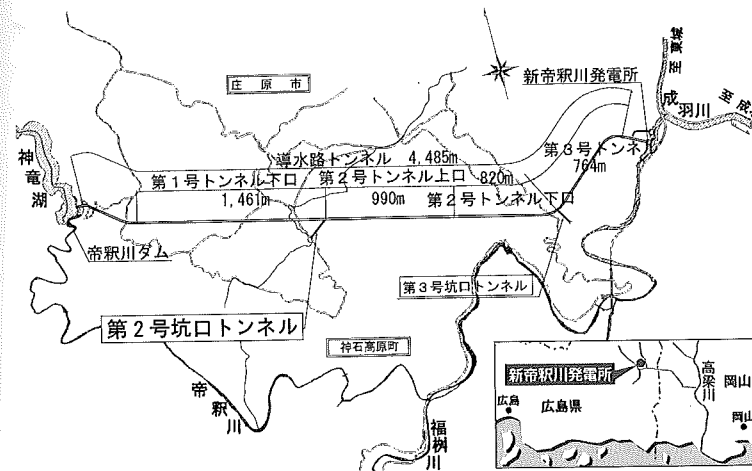


図-1 トンネル位置図

不整合に覆っている。石灰岩地域は、カルスト地形を呈し、湧泉、伏流による枯れ谷、石灰洞が多数存在する。また、石灰岩には一部ひん岩脈などの貫入が見られる。備北層群は、数十センチ程度の円～亜円礫を主体とする礫と半固結の粗粒砂やシルトからなる基質で構成されている。

図-2に示すように導水路トンネルは、全長約4,485mのうち上流側から約1,200mが石灰岩(Lm)(一部、ひん岩(Po))、次いで約800mが備北層群(Bcg)、残り約2,500mが安山岩(An)となっている。

2-2 工法および掘削方式の検討

導水路トンネルの施工に先立ち2本の作業坑(第2号坑口トンネル(斜坑L=205m)、第3号坑口トンネル(水平坑L=169m))を設け、両坑の坑口を作業基地として導水路ルート上の2か所にアクセスした(図-1参照)。また、この2か所を区間境界として、導水路を上流側から第1号トンネル下口(1,461m)、第2号トンネル上口(990m)、第2号トンネル下口(820m)および第3号トンネル(764m)の4区間に分け、アクセスした2か所からそれぞれ上下流方向に4方向の同時施工とした。計画段階では、TBM工法の採用も検討したが、前述したとおり備北層群区間は柔らかい基質の中に大きな玉石(礫岩)が入っているため施工に不向きであること、さらに、石灰岩内には溶食空洞が存在する可能性があることから、より確実性の高い発破方式の全断面掘削工法を採用した。

掘削工法については、地質性状および施工性などを勘案し、備北層群区間の掘削はNATM、安

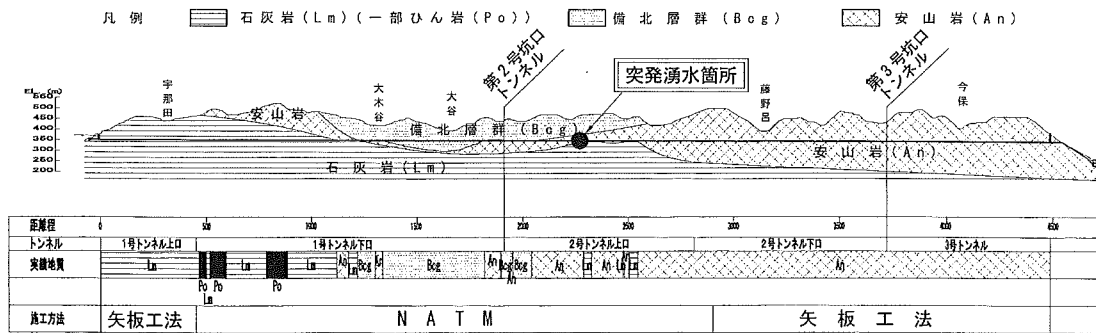


図-2 地質縦断面図(施工実績)

山岩および石灰岩区間のうち第2号坑口からの掘削はNATM、第3号坑口からの掘削は矢板工法を採用した。その選定理由は以下のとおりである。

(1) 備北層群区間

備北層群区間は、発破に伴うゆるみにより礫と基質が分離しやすい状態になると想定されるため、ゆるみの進展は石灰岩や安山岩区間よりも大きくなると考えられる。このため、荷重を面で支持でき、かつ支保効果が早く発揮され、掘削後のゆるみが最小限に抑えられるNATMを採用した。

(2) 安山岩および石灰岩区間

当該区間の弾性波速度は4.4km/s以上あり、比較的堅硬な岩盤性状を呈する。したがって、発破に伴う岩盤のゆるみの進行は、備北層群に比べて遅く、かつ塊状岩盤であるがゆえ、トンネル周辺広範囲に進展する可能性は低いと考えられる。このため、計画段階においては経済性を重視し矢板工法を計画していたが、第2号坑口からの掘削は、①NATM仮設備を極力長期にわたり使用する方が合理的であること、②石灰岩区間の掘削時に溶食空洞や突発湧水に遭遇した場合、補助工法との併用が容易であることなど、から施工段階においてNATMに変更した。なお、第3号坑口からの掘削については、周辺民家へ影響を配慮し、夜間の資材搬入が行えないことから当初計画どおり矢板工法とした。

3 施工計画

3-1 掘削断面について

掘削延長1,461mと比較的長い第1号トンネル

下口、第2号トンネル上口・下口における発破孔の削孔、鋼製支保工の建て込みには、後述するシャフローダなどの掘削機械が内部を通過でき、機械の入れ替え時間の短縮および待避所の省略が図れるよう門型の架台にドリフトブームを2基とマンゲージを1基搭載したガントリージャンボを採用した(図-3)。

また、小断面であることを勘案してずりの坑内運搬方式はレール方式を採用し、ずり積み込みでシャフローダ(KL-15)を使用した。

3-2 作業坑

3-2-1 第2号坑口トンネル

図-4に第2号坑口トンネルの縦断面図を示す。このトンネルは坑口と接続する導水路に約42mの高低差があるため、斜坑(水平距離165.0m、勾配25.5%)とした。坑底部には拡幅区間(幅9.4m、区間長20m)を設け排水ピット、資材置場として使用した。また、導水路へはR=40mの曲線で接続した。

当作業坑ではずり出しおよび資材搬入を効率的に行うために、掘削時のずり搬出のためのずり線(積載上限荷重30t)と吹付けコンクリートなどの資材搬入を主とする材料線(同20t)の2系統の軌道(図-5)と2台の巻き上げ機(ウインチ)を設置した。ずり線では、ずり鋼車を直接作業台車に載せ、坑外へ搬出する方

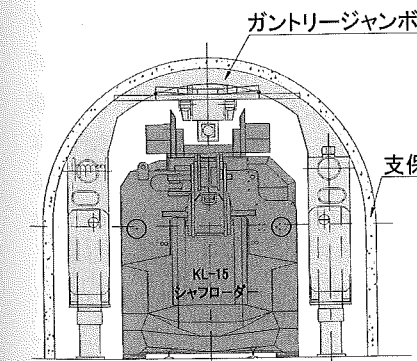


図-3 ガントリージャンボとシャフローダの関係

法を採用することにより、積み替え工程・設備を省略し、掘削サイクル短縮とコストダウンを実現した。

また、このような2系統の軌道の採用により、第2号トンネル上口の覆工作業と第1号トンネル下口の掘削作業の同時施工が可能となった。

3-2-2 第3号坑口トンネル

第3号坑口は、平均勾配が約40度の急峻な山腹斜面に位置するため、仮設構台を設置して作業ヤードを確保した。仮設構台は、下部作業ヤードから帝釈川を挟んで水平距離250m、高低差80mの位置にあるため、ケーブルクレーン(9t吊り)を用いて資材の搬出入およびずり出しを行った(図-6)。

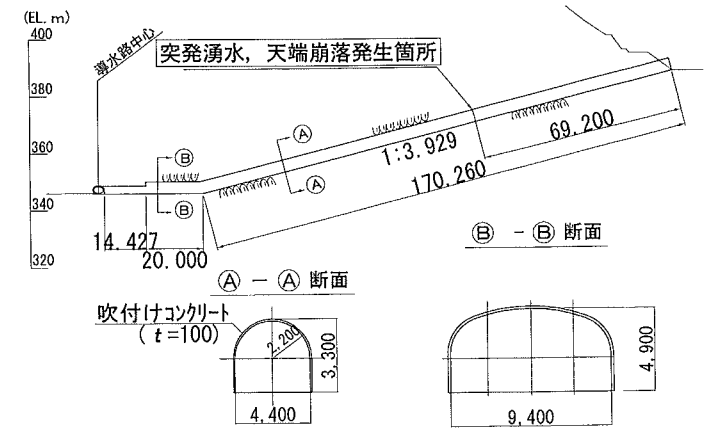


図-4 第2号坑口トンネル縦断面図

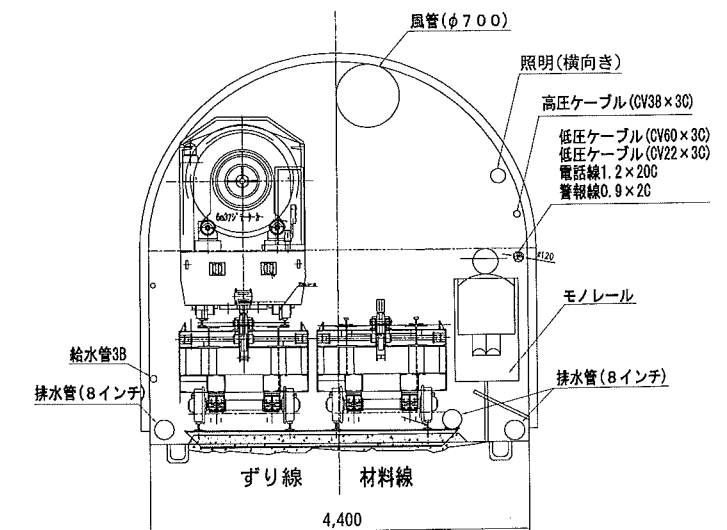


図-5 斜坑標準断面図

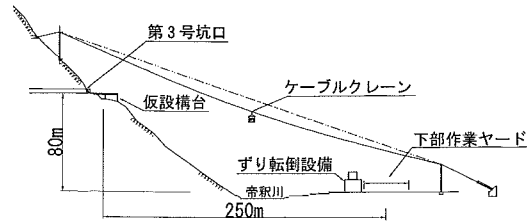


図-6 ケーブルクレーン縦断面図

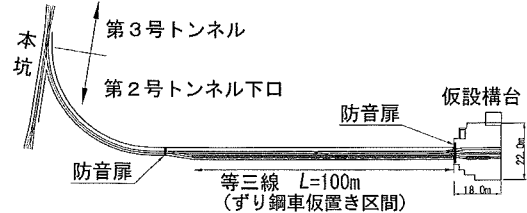


図-7 3号坑口トンネル平面図

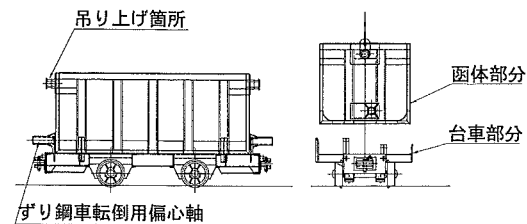


図-8 分離式ずり鋼車

第3号坑口周辺には民家が点在しており、夜間のずり出しが行えないため、夜間の掘削ずりはずり鋼車に積み置きし、作業坑内に残置した。夜間作業の2切羽分のずり(ずり鋼車30台)を仮置きする必要がある、図-7に示すように、直線区間100mを等三線断面とした。仮設構台からのずり運搬は、ずり鋼車を上部筒体と下部台車とに分離できるような構造(図-8)に改造し、ずり鋼車を直接吊り上げて下部作業ヤードに運搬し、転倒設備で捨土した。

また、民家への騒音・振動対策として、防音扉を坑口部と坑内の2か所に設置した。

3-3 導水路トンネル掘削

3-3-1 第1号トンネル下口、第2号トンネル上口

NATMの吹付け作業には通常吹付けロボットを使用するが、切羽部での機械の入れ替えに時間を要しサイクルタイム短縮の障害となっている。このため、本工事では図-9に示す吹付け専用アタッチメントをシャフロードに取り付け、ずり積み込み後、速やかに吹付け作業が行えるシステムを採

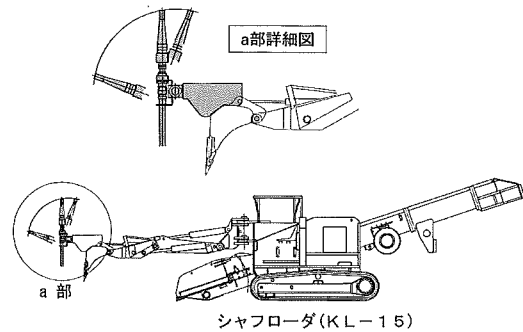


図-9 吹付け用アタッチメント

用した。これにより、吹付けロボットの入れ替え時間および待機場所の省略が可能となった。

ガントリージャンボの採用および吹付け用アタッチメントの使用により掘削サイクルを大幅に短縮することができ、第1号トンネル下口では最大月進215.7m、平均月進151.6mを達成した。同様に、第2号トンネル上口では最大月進162.1m、平均月進128.1mを達成した。

3-3-2 第2号トンネル下口、第3号トンネル

第2号トンネル下口は、第1号トンネル下口および第2号トンネル上口と同様、トンネル延長が820mと比較的短いことから、レールジャンボを採用し、最大月進は96.9mとなった。同様に第3号トンネルの最大月進は149.7m、平均月進は94.9mであった。

第2号トンネル下口の近傍(水平距離約250m)には、近隣住民の飲料水を賄う簡易水道の水源井戸があり、計画段階からこの井戸への影響が懸念された。このため、延長18mの先行ボーリングを15m掘削ごとに行い、掘進時間や湧水状況などのデータから切羽前方地質状況および水みちを事前に確認した。また、この井戸とトンネル近傍に観測孔を設け、地下水位をリアルタイムに観測しながら慎重に掘削した。その結果、掘削中における井戸に影響する湧水発生や井戸水位の低下などは確認されず、無事掘削を終えることができた。

3-3-3 NATMと矢板工法に関して

第2号トンネル下口の安山岩においては、アーチから側壁部にかけて変質粘土を挟在する縦割れ目が卓越していた。余掘り量低減対策としてスムー

ズブラスティング工法を採用していたが、発破に伴いこの割れ目沿いにキーブロックとして約1m以上にも及ぶ岩塊の抜け落ちが多く発生した。

NATMでは作業員が切羽直下に立ち入らずに吹付けコンクリートで支保できる。しかし、矢板工法では鉄矢木、鋼管パイプで先受けし、当たりづげのため、作業員がその中へ入って作業を行う危険を伴った。

本工事のような小断面トンネルを掘削する場合、経済性から矢板工法を選択する事例が多い。しかし、一方でNATMは、山岳トンネルの標準工法として位置づけられており、矢板工法の施工事例が減少し、作業員の経験も少なくなっている。掘削矢板工法の進捗が、NATMに比較して劣ったのは、想定よりも地山状態が悪かったこともあるが、施工経験不足に起因するものもあると思われる。

4 突発湧水区間の掘削

4-1 2号坑口トンネル掘削

事前調査結果から、作業坑となる第2号坑口トンネルでは、備北層群の基質部は緻密で節理などの不連続面はほとんどなく、透水係数は $k=1 \times 10^{-5}$ cm/s以下の低い値を呈しており、掘削に際し大量湧水が発生する可能性は低いと想定していた。

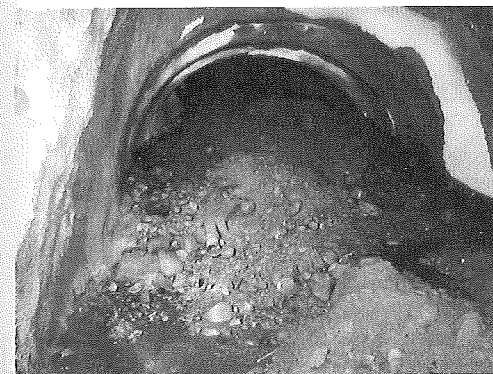


写真-1 2号坑口トンネル崩落状況

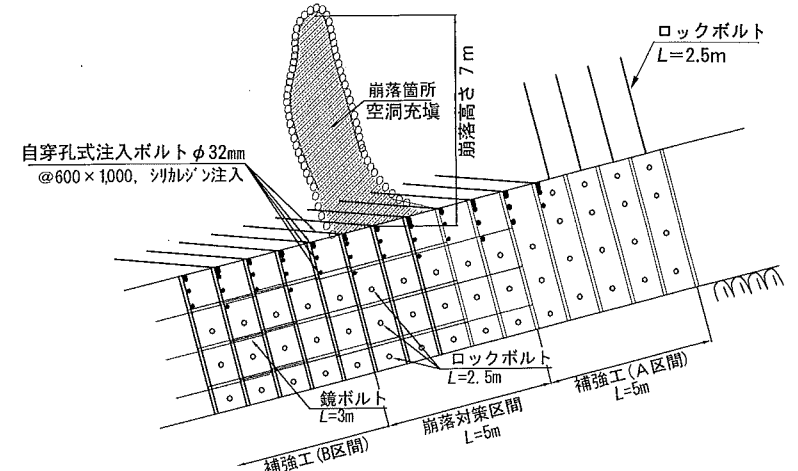


図-10 2号坑口トンネル崩落対策工図

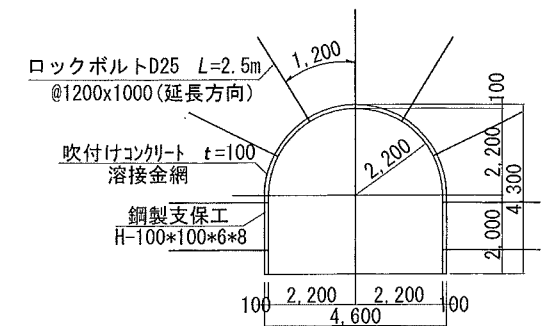


図-11 補強工(A区間)

しかし、TD.69.2m地点の備北層群風化層において、毎分約1m³の突発湧水が発生するとともに、切羽上部が崩壊(崩壊高:約4m(土量50m³))した(写真-1)。その後、再度崩落が発生し、最終的な崩落高は約7m(土量70m³)となった。

崩落の前には、内空変位や湧水量の増加などの崩落を推定させるような兆候は全く確認されなかったため、人身事故に至らなかったのは不幸中の幸いであった。

対策工は、まず岩盤のゆるみが想定される崩落箇所手前5m区間(A区間)の補強として、図-10、11に示す鋼製支保工建て込みH-100(1mピッチ)、吹付けコンクリートt=10cmの増し吹付けおよびロックボルトL=2.5m、9本/断面を行った。次いで、切羽前方天端の抜け落ち対策として注入式フォアボーリングL=3m、9~10本/断面を実施した。

天端崩落区間の施工フローを図-12に示す。
 空洞充填用注入材は、①硬化時間が短い、②トンネル天端部への注入であり、トンネル支保への

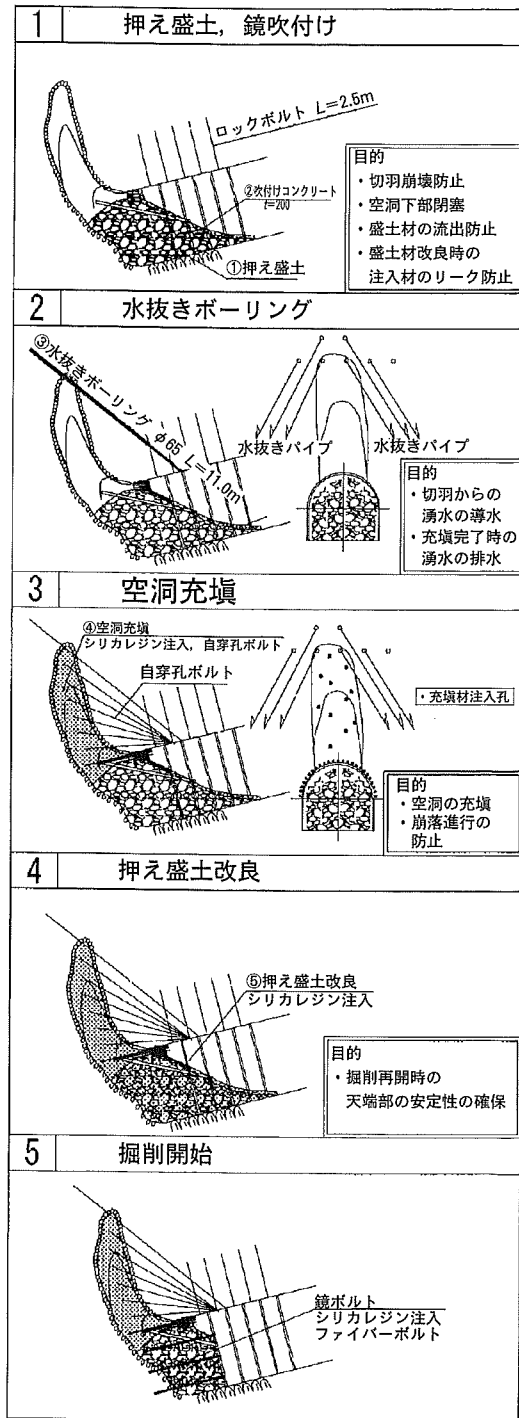


図-12 天端崩落箇所施工フロー

負担を軽減するように比重が小さい、③水に希釈されにくい、の3点を考慮し、樹脂系材料(シリカレジン)を採用することとした。

天端崩落箇所以降(B区間)も、下り勾配の斜坑掘削であるため掘進ごとに湧水が切羽前面に移動し、小断面で狭隘かつ天端から湧水が降り注いでくるため、ポンプを常時運転しながら作業を行うという厳しい環境下での掘削を余儀なくされた。このため、再崩落防止策として注入式フォアボーリングや鏡ボルトなどの補助工法を併用して掘削した。その結果、TD.108.0m付近地点で備北層群の堅岩部に到達し、湧水が切羽に移動しなくなったことから、当初設計の支保パターン(吹付けコンクリートt=10cm)に戻した。(図-10, 13)

4-1-1 突発湧水と天端崩落のメカニズム

突発湧水および天端崩落は、備北層群風化層の固結度が当初想定以上に小さく、かつ透水性も高かったことが主要因であると考えられる。そのメカニズムとしては、坑口上方の山腹斜面の傾斜が急であるため、ほぼ山腹に平行していたと想定される地下水面とトンネル切羽までの水頭差が斜坑掘削により急激に大きくなり、地下水圧を加えた大きな土圧がトンネル天端に作用し、支持力不足

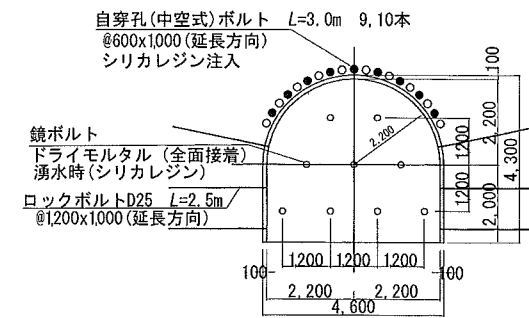


図-13 補強工(B区間)

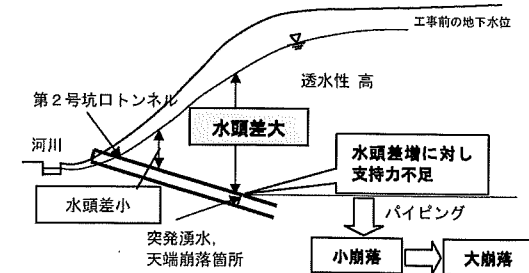


図-14 突発湧水、天端崩落のメカニズム

により小崩落、そしてパイピングにより大崩落が生じたものと考えられる(図-14)。

4-2 第2号トンネル上口突発湧水区間の掘削

第2号トンネル上口の掘削は、約130mの備北層群区間を終え、比較的地質性状の安定した安山岩区間を順調に進んでいた。約170m程度進んだころから徐々に熱水変質が顕著になり、これを契機に側壁部の吹付けコンクリートに一部クラックが生じ始めた。そして、その直後となる平成16年4月19日、突発湧水が第2号トンネル上口TD.2,278m地点で発生した。

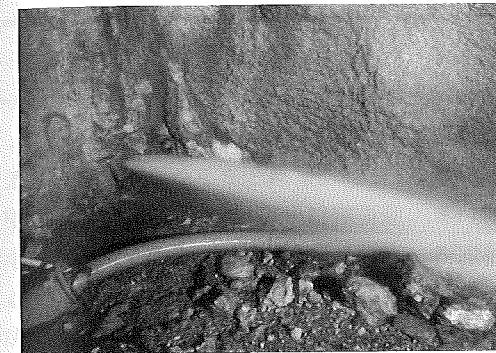


写真-2 突発湧水状況(Q=2 m³/min)

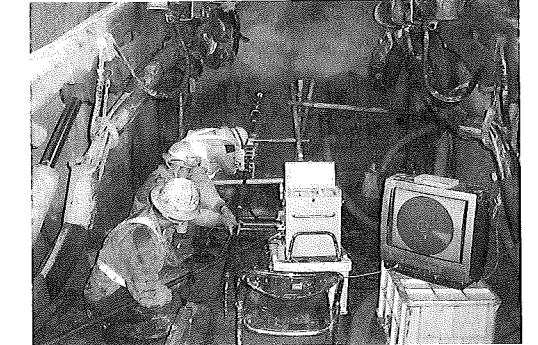


写真-3 孔壁観察実施状況

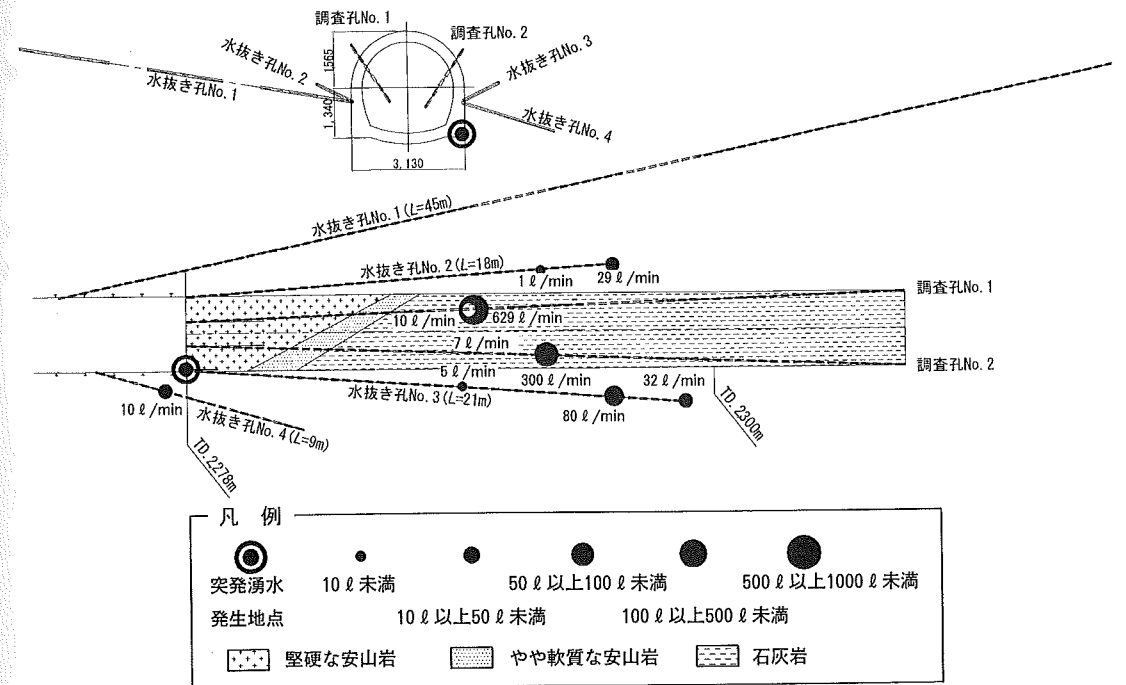


図-15 突発湧水地点状況図

当初、湧水は、変質粘土に規制された安山岩の被圧地下水であると想定していたが、調査の結果、切羽前方約3～8mで石灰岩に変わり、湧水はこの開口割れ目($t=3\text{cm}$)から湧出していることが確認された。このため、湧水は安山岩の難透水ゾーンに規制されて被圧した石灰岩内の地下水であるものと判断した。

その後、湧水は、湧出状況からかなりの高水圧を有していると想定されたことから、切羽崩壊を回避するため、厚さ20cmの鏡吹付けを行った。また、切羽前方の湧水排除と地下水圧低下を目的として切羽手前側壁部および切羽に $L=9\sim 45\text{m}$ の水抜きボーリングを4本実施した(図-15参照)。

水抜き孔は、調査ボーリングデータを参考に水みちを想定して削孔したが、切羽に集中した湧水は幾分減少したが十分な減水効果は得られなかった。

これは、湧水が蜂の巣状に発達した開口割れ目(溶食空洞)内を選択的に流れていることによるものと推定された。

突発湧水の発生から約1か月が経過し、湧水量がほぼ半減したこと($Q=1.1\text{m}^3/\text{min}$)、排・濁水処理設備が整備されたこと、さらに調査ボーリング結果より石灰岩の岩質自体は硬質であることからとくに補助工法を実施することなく、慎重に掘削を再開した。

TD.2,300mまでは切羽に開口割れ目が出現すると切羽手前の湧水は減少し、代わって切羽より湧水が噴出するという現象を何度もくり返した。しかし、湧水発生時に比べ水圧は低下していたため、浸水しながら掘削を続けた。その後の石灰岩には水みちとなる開口割れ目もなく、TD.2,320m付近で安山岩区間に入ると、切羽からの湧水はまったくみられなくなったため、設計支保パターンによる掘削を行った。なお、TD.2,470m付近で再度石灰岩に遭遇したが、湧水はほとんど見られなかった。

5 おわりに

導水路トンネルは、平成17年3月に取水口から発電所水圧管路までの全4,485mが無事貫通した。平成17年7月末現在、約3,600mの覆工が終了し、現在、覆工と並行して高圧グラウチング工を施工している。地質変化が激しい4kmを越える長距離掘削についても苦労が多かったが、加えて狭小断面の覆工も施工面で大変な苦労と工夫を要する作業となっている。しかし、発注者、施工者が一体となって無事の竣工と平成18年6月の運転開始を目指し、終盤の工事を進めている。

本報告が関連する工事の参考になれば幸いである。

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
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、本誌編集委員会が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支払いいたします。
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

長距離・高速施工の内水圧対応シールドトンネル

—霞ヶ浦導水事業 石岡トンネル第2工区—

国土交通省関東地方整備局霞ヶ浦導水工事事務所工務課長 飛島幸則
鹿島・前田特定建設工事共同企業体石岡トンネル(第2工区)JV工事事務所長 川端僚二

1 はじめに

霞ヶ浦導水事業は、霞ヶ浦と利根川下流部、霞ヶ浦と那珂川下流部をそれぞれ結ぶトンネル(利根導水路、那珂導水路)を建設し、霞ヶ浦、利根川および那珂川の水を相互に行き来させることにより、霞ヶ浦および桜川の水質浄化、利根川および那珂川下流部の既得用水の補給などによる流水の正常な機能の維持と増進ならびに新規都市用水の確保を目的として行われている事業である(図-1, 2)。

この那珂導水路の一区間である石岡トンネル(第2工区)新設工事は、既に完成している第6工区に続いて2番目に施工する工区であり、茨城町常井地先にある茨城立坑(既設)を発進立坑とし、茨城町上飯沼地先にある上飯沼立坑(既設)を到達

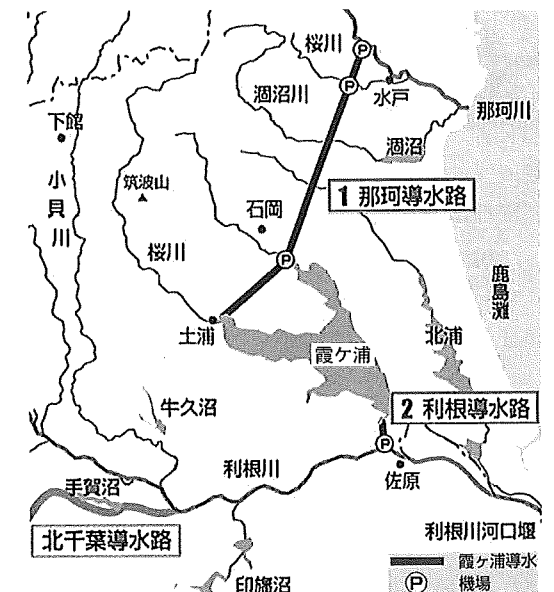


図-1 水のネットワーク構成図

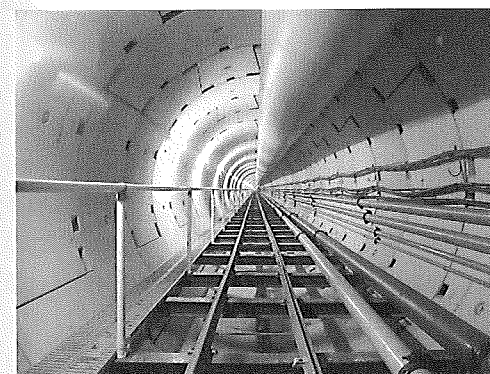


写真-1 トンネル内

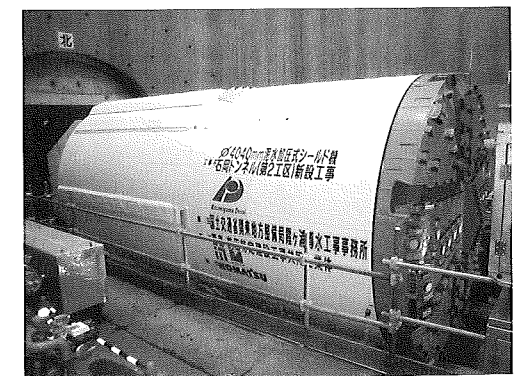


写真-2 シールド

立坑とする全長約5,000m, 最大土かぶり40mの長距離, 大深度シールドトンネルを36か月で施工するものである。

本稿は, 石岡トンネル(第2工区)新設工事の長距離, 大深度シールドトンネル工事を所定の工期内に完了するために採用した, NOMST (Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall system)

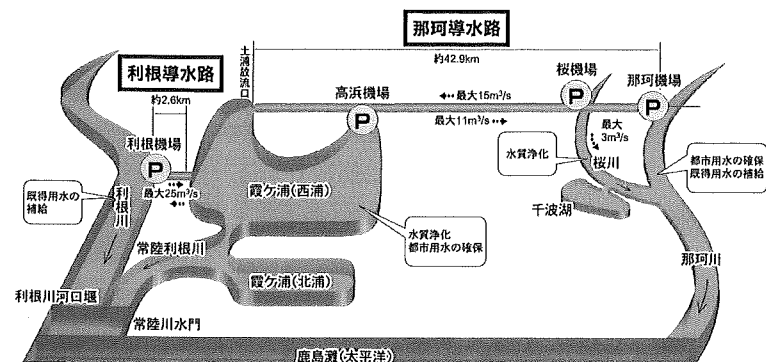


図-2 霞ヶ浦導水事業の施設概要

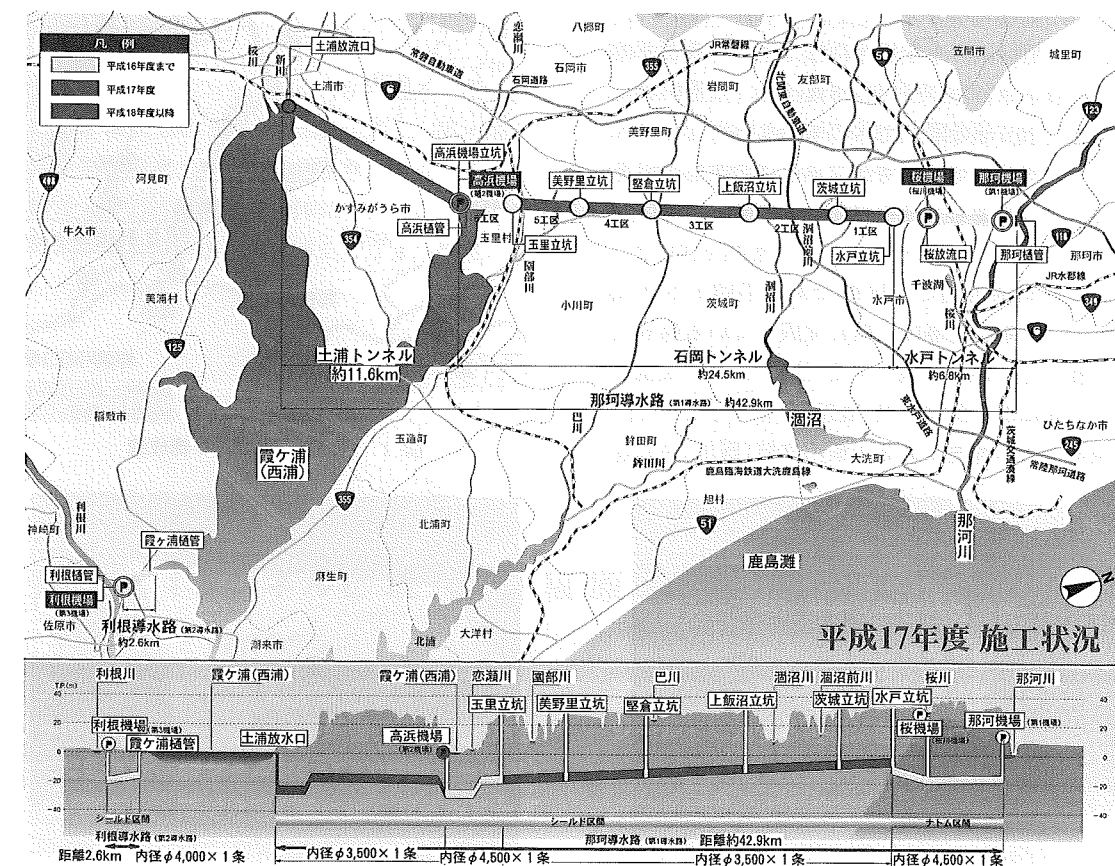


図-3 施工状況

壁の掘進, 長距離高速施工, 近接した井戸の地下水変動調査について対策工の概要およびその効果・評価について報告するものである。

2 工事概要

本工事の概要は以下のとおりである(図-3)。

- (1) 内径: $\phi 3,500\text{mm}$
- (2) 施工延長: 5,000m (中間立坑なし)
- (3) 土かぶり: 約10~40mの大深度泥水加圧式シールド工法
- (4) 契約: 技術提案型一般競争入札・設計施工一括発注方式(デザインビルド方式)
- (5) 工期: 平成15年3月15日~平成18年3月31日までの36か月間(本掘進では平均月進量320

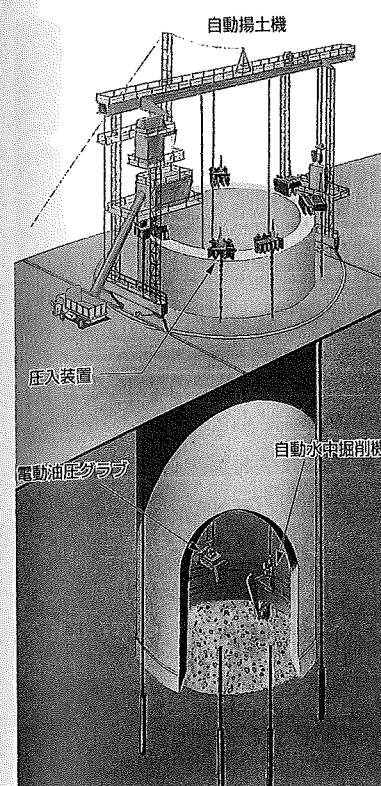


図-4 自動化オープンケーソン(SOCS)工法m/月の高速施工を実現)

- (6) 茨城立坑, 上飯沼立坑ともに自動化オープンケーソン(SOCS: Super Open Caisson System)工法で施工されている(図-4)
- (7) 坑口は, 新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達防護工法(NOMST)により施工されている(図-5)

3 工事の制約条件と課題・問題点

- (1) 長距離施工: 中間立坑なしで5,000m施工(リレービット工法を採用)
- (2) 設計外力: 10~40mの土かぶりの変化
- (3) 工程が厳しい: シールド, セグメント設計・製作期間を含めて36か月
- (4) 周辺環境(水質, 水位, 騒音など): 施工区間は, 井戸を家庭用水源として利用している家庭も多い
- (5) 残土処理: シールド掘削土は高圧フィルタープレスによりコーン指数 800kN/m^2 を確保し, 土

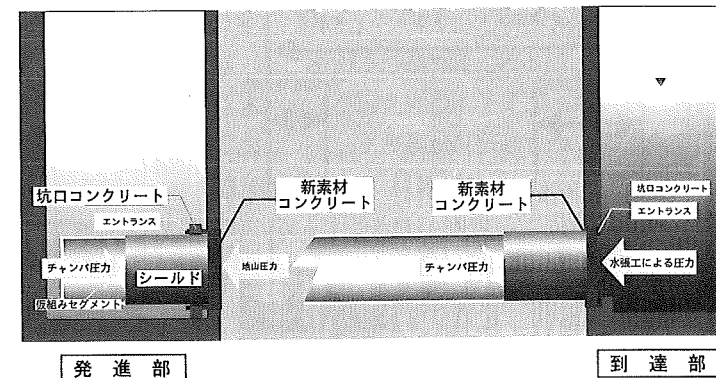


図-5 新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達防護工法(NOMST)

地区画整理事業の盛土材として100%再利用

4 対策工の施工概要と効果

4-1 NOMST壁の切削

SOCS工法は立坑を構築する際の, 安全性・経済性の向上, 省人化を目的として開発された新技術であり, 立坑設置の際, 地盤条件を検討のうえ採用した。

NOMST工法は立坑の壁に新素材コンクリートを用いることにより, シールドのカッタービットで直接切削・開口することを可能にすることから, 地盤改良の省略化, 発進・到達の自動化, 省力化によるコストダウン, 工期短縮および安全性が向上する。

NOMST壁切削は, シールドの面板が立坑側壁面に当たってから立坑側壁を抜けるまでの約1,800mmを7方で行った。その際の掘進データを図-6~8に示す。

立坑は側壁厚さ2m, 深さ約46mで円形に構築されている。立坑側壁のコンクリートの設計強度は 21N/mm^2 , NOMST壁は炭素繊維からなる芯材を格子状に製作したものを内面・外面にかぶり200mmで円弧状に敷設されている。切削開始直後からカッタートルクの上昇が考えられたため, シールド掘進速度を $1.0\sim 3.0\text{mm/min}$ に落とし掘進管理を行った(図-6)。図-7に示すようにNOMST壁切削直後からトルクが上昇していることがわかる。掘進距離200~600mm, 1,400~1,700mm付近でのト

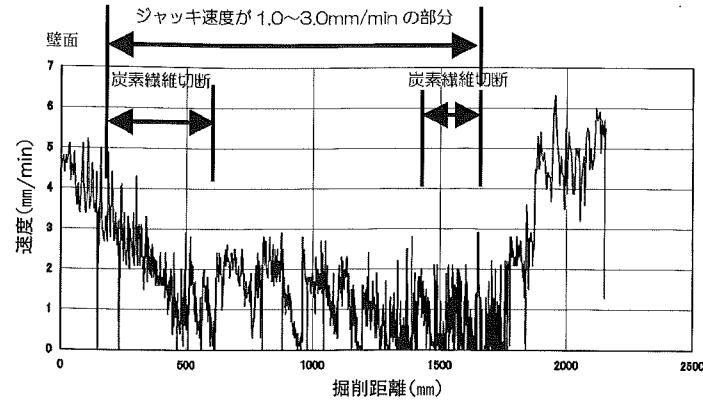


図-6 掘削速度と掘削距離の関係

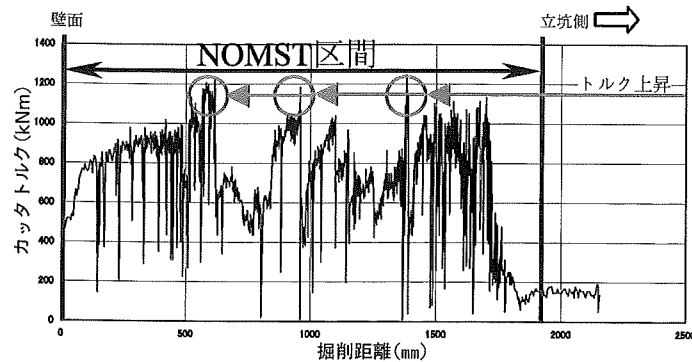


図-7 カッタトルクと掘削距離の関係

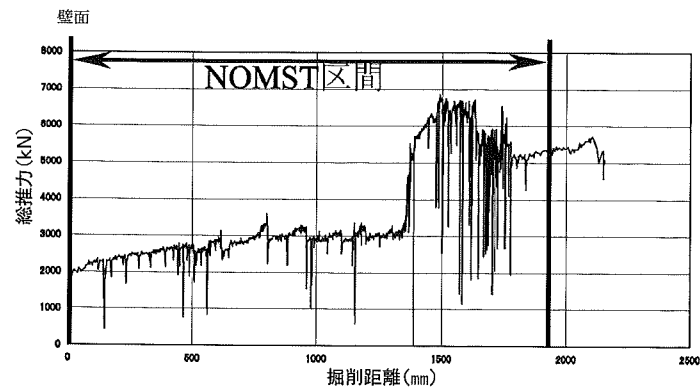


図-8 総推力と掘削距離の関係

ルクの上昇は円弧状に配筋された芯材を切削していることに起因していると推測される(図-8)。NOMST壁切削中は速度を一定に保って管理していたため、総推力は2,500~3,000kNで推移している。しかし、NOMST壁残り400mm付近から外側壁に亀裂が入り切羽水圧を保持できない危険性があったので、切羽水圧を外水圧+20kPaで管理し、掘進するようにしたため、その差分約4,000kN総推

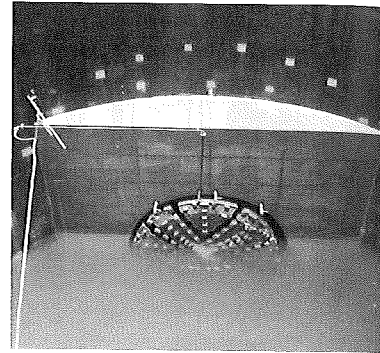


写真-3 NOMST壁貫通

力が上昇している(図-8)。

上記のような掘進管理と事前の発進準備工を行いNOMST壁の切削を行った結果、懸念されていた炭素繊維の強度の影響がなくなる立坑外側コンクリート部分の大割れによるカッタ面版、配泥管の閉塞はなかった。

また、発進室(坑口ケーシング)を設置して2段パッキンとしたこともあり漏水は認められなかった。

以上のような掘進管理を行い、安全にNOMST壁を切削し発進を行うことができた。

上飯沼立坑における到達工法は、立坑内を周辺の自然水位になるように調整を行い水中到達とした。発進時のNOMST壁切削を参考に掘進管理を実施し、反力のなくなる立坑内壁のコンクリートの割れもなかった。止水は坑口にはエントランスパッキン(ゴムチューブ)を設置し、NOMST壁を切削しカッタヘッドを立坑内に貫入し、エントランスパッキン内にグラウト材を加圧充填し膨張させて止水を実施し、さらにシールド外周部に止水材を注入したことで漏水はなかった(写真-3)。

4-2 長距離掘進対策

長距離掘進対策としてリレービット工法を採用した。

掘進延長約5,000mにわたる掘削地盤の大半が

洪積砂質地盤であり、さらに発進・到達立坑がNOMST壁であることから、シールドのビット摩耗対策として「リレービット工法」を採用した(図-9)。これは、シールドのカッタスポーク内に作業空間を設け、大気中のまま補助工法なしでシールド内から「いつでも、どこでも、何回でも」安全にカッタビットを交換できる技術である(図-10)。

写真-4に示すシールド面盤のリレービット13基のうち、摩耗量が大きいと予想された外周側から3基を、3,870m(2,867リング)掘進時点で交換した(写真-5)。これらビットの摩耗量はいずれも摩耗量限界の40mmまで達しておらず(写真-6)、交換していない内周側10基のリレービットの健全性を確認できた。なお、到達直前に13基のリレービット全数をNOMST用ビットに交換した。

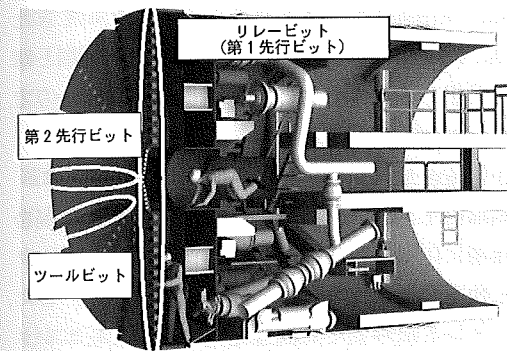


図-9 リレービット工法

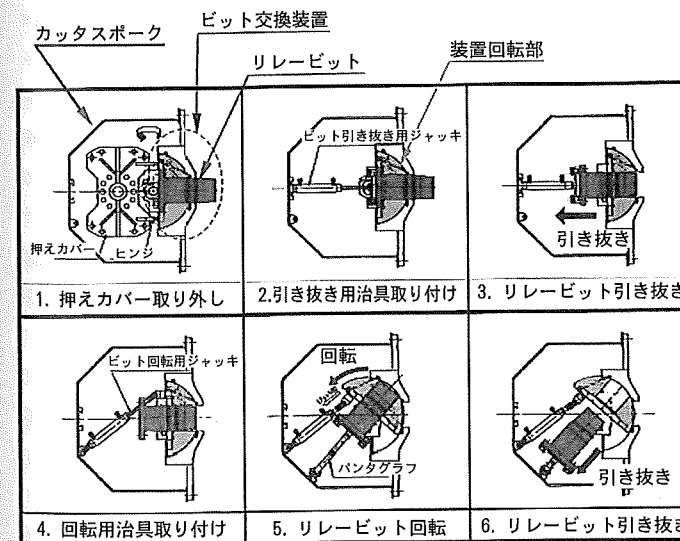


図-10 リレービット交換工法

そのほかに、シールドのチールシールを4段階とし、そのうち最外段をウレタン注入型として止水性および耐久性の向上を図っている。

次に、カッタの累積回転数については当初想定値162,043回転、実施工では242,682回転となりおおよそ1.5倍であり、同様にビットの転走距離も想定値に対して1.5倍となっている。

カッタビットの摩耗量の推定と実測摩耗量との比較を図-11に示す。

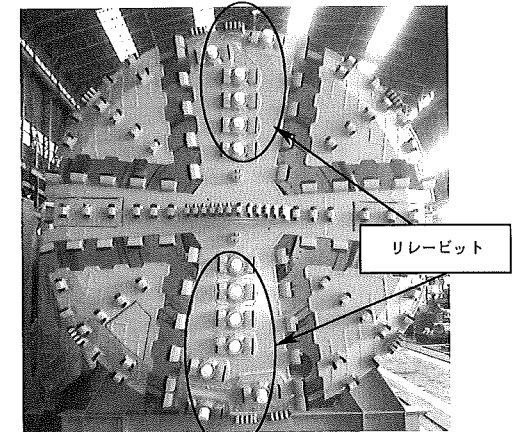


写真-4 リレービット

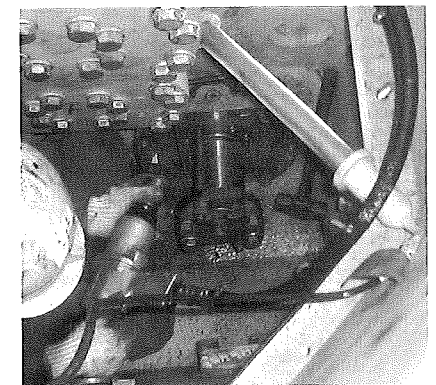


写真-5 リレービット交換状況

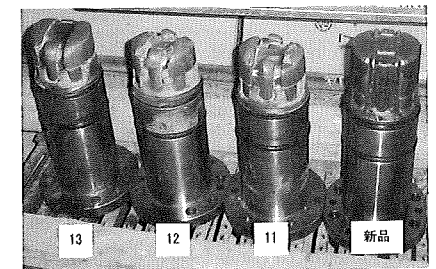


写真-6 リレービット磨耗状況

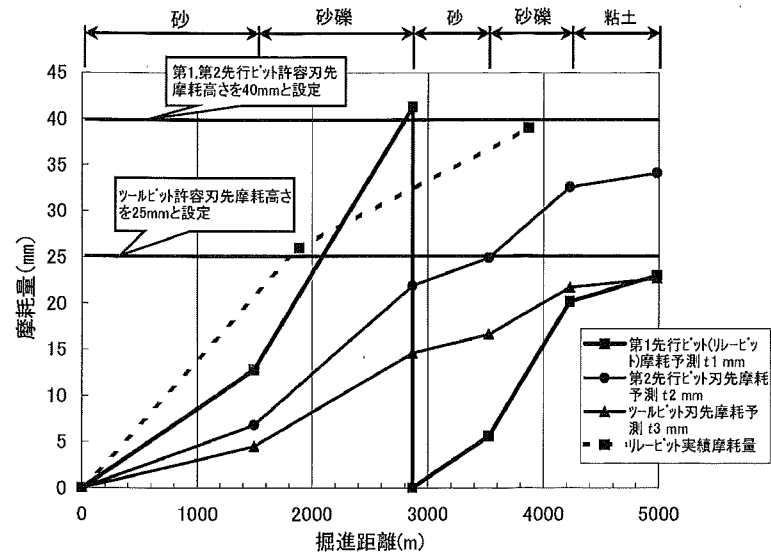


図-11 カッタビットの磨耗量と実測磨耗量との比較

表-1 月別掘進距離

年月	月別掘進距離 (m)	累積距離 (m)	平均月進量 (m)
2004年 2月	27	27	初期掘進 240m/3か月 =80m/月 (段取替を含む)
3月	189	216	
4月	24	240	
5月	355	595	
6月	459	1,054	
7月	459	1,513	
8月	103	1,616	
9月	365	1,981	
10月	387	2,368	
11月	490	2,858	
12月	305	3,163	
2005年 1月	185	3,348	
2月	501	3,849	
3月	363	4,212	
4月	326	4,538	
5月	226	4,764	
6月	198	4,962	

磨耗量の推定式 $t = K \lambda \cdot 10^{-3}$, $\lambda = 2\pi RL / (10 \cdot P_e)$, $P_e = V/N$, ここに、 t : ビットの刃先磨耗量 (mm), K : ビットの超硬チップの磨耗係数, λ : ビットの転走距離 (km), R : 最外周ビットの取り付け半径 (m), L : 掘進距離 (m), P_e : ビットの切り込み深さ (cm/rev), V : シールド推進速

度 (cm/min), N : カッタヘッド回転速度 (rpm) である。

計画時点では磨耗係数(土砂によって変化)の最大値に対しての過酷度として1.5倍に計画し、第1先行ビット(リレービット)は約2,800m付近で許容磨耗量の40mmに達すると予想した。

磨耗量計測は約1,900m時点と約3,800m地点で調査を行った。約1,900m地点では予想曲線を上回っていたが、約3,800m地点までは許容磨耗量に達しなかった。これはリレービットの残存高さがほかのカッタ類(第2, ツールビット)と同等の高さになってきたため、同じパス(周回路)上のほかのカッタ類と磨耗を分担しあうことにより磨耗量が減少したのではないかと考えられる。

4-3 高速施工

高速施工対策としては、砂礫, 砂, 粘土の複合地盤層に応じ掘進速度を100mm/minまで、カッタ回転数を3rpmまで任意に設定可能とした。また、セグメント組み立て時間短縮用に高速回転エレクトラおよび伸縮増速シールドジャッキ、裏込め注入にシールド外からの同時注入方式を採用し、掘進・組み立て時間の短縮を図った。

表-1に初期掘進および本掘進実績(2005年6月末現在)を示す。2004年3月末に初期掘進完了後、約1か月の本段取り替え工を終え2004年5月初旬から本掘進を開始した。

本掘進開始直後から掘削しやすい砂主体の地盤であったことから、目標月進量320mを上回る進捗を確保することができた。

シールド掘削の泥水は高压フィルタープレスでコーン指数800kN/m²以上に脱水し、水戸市内原地区の土地区画整理事業の盛土材として再利用していることから、掘進距離約3,000m付近では、掘削土中に1.0μm以下の微細砂分が急増しサイクロンによる分級効果が得られず、余剰泥水が増

加し掘削土のほとんどを高压フィルタープレスにより処理せざるを得ない状況となった。そのため、泥水調整を行いながらの掘進となった。

掘進距離約3,200m付近からは、地山が再び砂主体の地盤に戻り、設備のトラブルによる遅延もなく2月は501mと最高月進量を記録した。

掘進距離約4,000m付近からは地山が砂礫層に変化したため、配管・クラッシャでの閉塞が頻繁に起き平均掘進スピードを60mm/minから25mm/min程度に落とし、閉塞解除を行いながらの掘進となった。

若干のトラブルはあったものの致命的なものはなく掘進を進めることができ、本掘進開始から14か月間の平均月進量は目標月進量320mを上回る337mを記録した。

初期掘進の実績から、本掘進での目標月進量を確保するためには掘進サイクルタイムの短縮が必須条件であり、セグメントの組み立て時間に着目しさまざまな改善を行った。切羽設備などの改良により、当初45分かかっていた組み立て時間を25分にまで短縮し、効率的な作業ができるよう人員配置を工夫して最終的に平均組み立て時間を約15分とし、初期掘進時から30分もの時間短縮を実現することができた。

4-4 内水圧対応

4-4-1 コンクリート中詰め鋼製セグメント

一般的にシールドトンネル覆工には、以下の性能が要求される。本工事では、条件によって内水位が外水位を最大14.7m上回り、覆工が全断面引張応力状態となる場合がある。下線部はこの条件下においてさらに重要となる項目である。

- (1) 耐荷力(施工時作用荷重, 常時作用荷重, 内水圧, 地震時作用荷重)
- (2) 耐久性(本体および継手構造に対して, 外部環境, 内部環境)
- (3) 止水性(本体および継手構造に対して, 外水圧, 内水圧)

表-2 セグメント緒元

種類	内径 (mm)	桁高 (mm)	幅 (mm)	分割	締結	蛇行修正用テーパセグメント	数量 (リング)	
コンクリート中詰め鋼製セグメント	重荷重	φ3,500	200	1,350	5	ボルト	有	767
	軽荷重	φ3,500	200	1,350	5	ボルト	有	2,921
可携セグメント	φ3,500	200	600	5	ボルト	無	2	

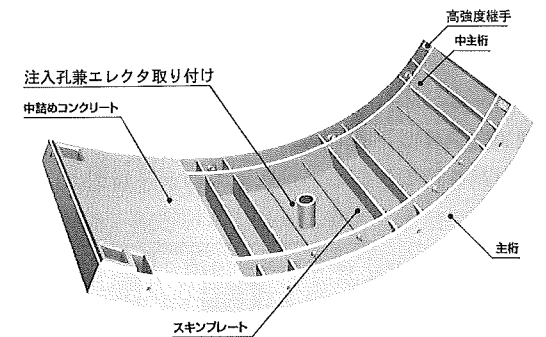


図-12 セグメント高強度継手

(4) 施工性(高速施工, 坑内の施工性)

前項で示した要求性能を確保できるセグメントとして止水性確保の観点から本体部は全断面引張状態においてもクラックが貫通しない構造とした。また、継手構造は設計軸引張力以上のプレストレスを導入できる構造で、かつ継手剛性が高く変形が少ない構造とした。

さらに、施工性、施工スピードについて比較し、セグメント幅1,350mm, 断面5分割化とすることによって施工性を確保しつつ、要求される施工スピードを満足できることから、これに対応可能な形式を優先した。

上記の要求性能を満足するセグメント構造に対して経済性の比較を行った結果、本工事においては「コンクリート中詰め鋼製セグメント」が最適であると判断した。

本工事に用いる「コンクリート中詰め鋼製セグメント」は、一般的なものに加えて以下の特徴を有するものとした(表-2)。

- (1) 水密性を確保するため、鋼製のスキンプレートと主桁・継手版に完全止水溶接を施す。
- (2) 高強度継手とするため、セグメント継手面に図-12に示すような補強鉄板を設ける。

(3) 主桁に近接した中主桁を設け、4本主桁構造とすることにより継手からの応力伝達を円滑にする。

(4) 継手片側をインサート埋め込み形式とし、後施工となるボルトボックスの充填作業量を低減する。

4-4-2 可撓セグメント

可撓セグメントは、2つの鋼製リングで止水ゴムを挟む構造で、主構造は鋼製部材で構成されており、その表面はタールエポキシ塗装による重防食が施されている。従来の可撓セグメントは外水圧のみを対象としていたため、外水圧対応の止水

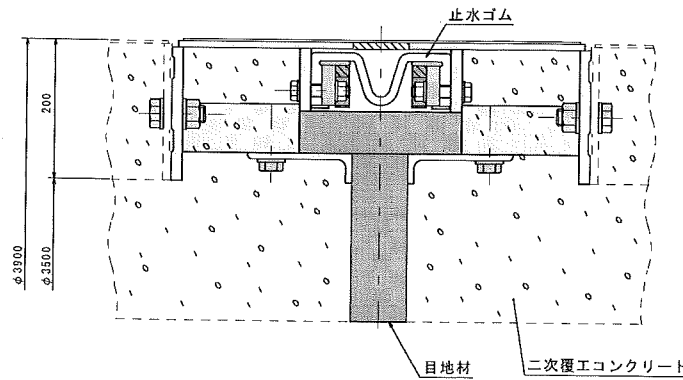


図-13 従来型可撓セグメント

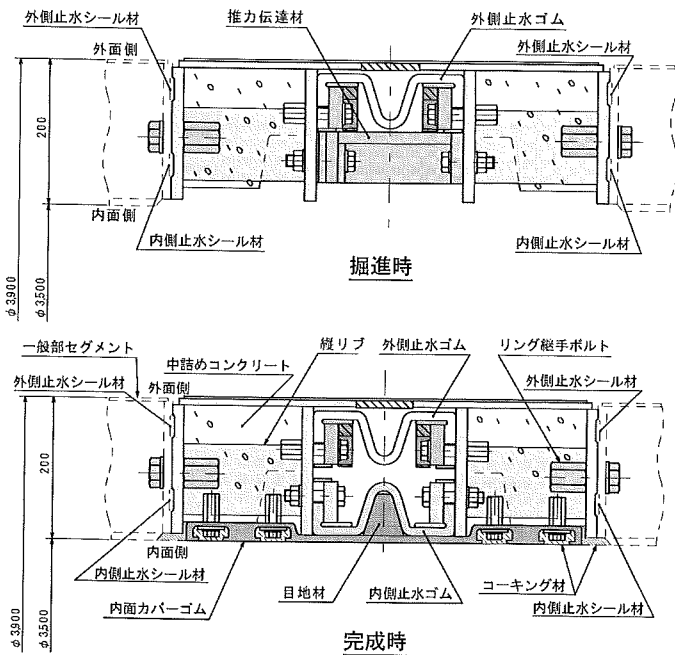


図-14 二次覆工省略型可撓セグメント

ゴムしか付いていない。また、トンネル内面側は、水路などでは従来二次覆工が行われてきたために、可撓セグメントだけで腐食対策や内面平滑化に対応できる構造とはなっていない(図-13)。

そこで以下に示す構造とすることで、上記を満足する二次覆工省略に対応できる可撓セグメントを開発した。また、可撓セグメントの開発にあたっては、完成形だけでなくシールド掘進時の推力伝達機構にも着目したセグメント構造としている(図-14、写真-7)。

(1) 内水圧に対応するように内面側にも止水ゴムを取り付けている。

(2) シール材を内・外面の2条に配置し、止水ゴムとラップさせることで内外水圧に対しそれぞれ完全止水が行える。

(3) 内面側を平滑にするため、鋼殻内部にはあらかじめコンクリートが充填されており、ボルトボックス充填後、内面カバーゴムを取り付けることで、内面側が平滑化できる。

(4) 主要鋼材は防錆塗装後に充填コンクリートで被覆され、また、止水ゴムにより水分に曝されない状態となり、耐久性を満足できる構造となる。

4-5 地下水変動調査

泥水式シールド工法による施工は、周辺地盤や切羽の安定が不可欠であるため、掘削地山の土質を考慮した泥水

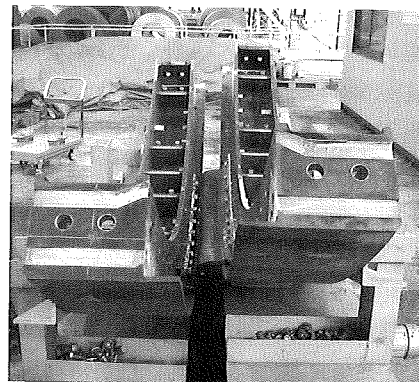


写真-7 可撓継手

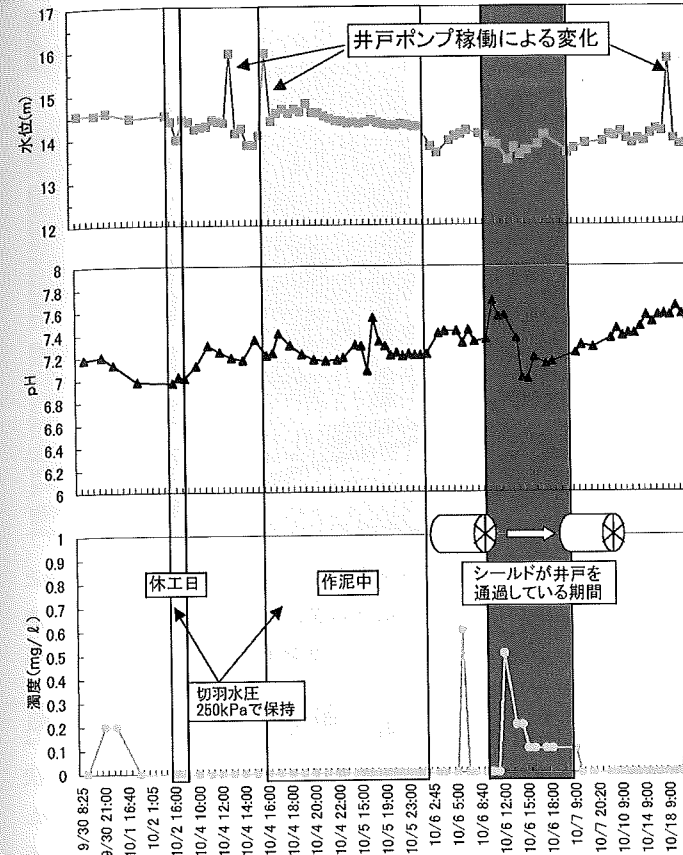


図-15 掘進に伴う既設井戸の水位・pH・濁度の変化

性状を確保し、切羽自然水位+20kPaを管理泥水圧としている。また、裏込め材は注入量および注入圧により管理を行うことで確実な地盤安定を図っている。ここで、本トンネル計画路線上に井戸(約2,000m付近、深さ約70m)があり、トンネルと井戸との隔離は3.1mとなるため掘進による地下水への影響をモニタリング調査した。

図-15に水位、pH、濁度を示す。水位については井戸孔口から水面までの距離である。井戸直前の切羽前面において泥水圧が低下したため、10月4日16時からマシンをストップさせて比重を高くした泥水の作泥作業を実施したが、その間の水位、濁度の変化はほとんどない(切羽水圧250kPaで保持)。さらに、マシン先端が井戸真横付近からマシンが通過している間は水位、pHともに上下しているが、それほど大きな変化はしていない。濁度については井戸に接近して0.6mg/lまで上昇

した。マシン通過後の水位は約14m、pHは約7.4、濁度は0mg/lで安定している。pHの上昇した原因は裏込め注入材がセメント系であることが影響していると考えられる。水質に関しては50項目の水質分析を実施して水質基準を超える影響は認められず地下水汚染の問題はない。

5 結論

当時考えられていた制約条件と課題について、おおむね満足のいく結果が出ていると考えられる。予定された工期もさらに短縮でき、安全に施工が完了したことはトンネル工事における近傍の地下水の影響が把握されたことで、十分な評価に値する。

なお、ビット交換時間の短縮改造や、さらなる新技術の開発に鋭意努力していきたい。

6 おわりに

当事業は、平成16年度までに予算ベースで約72%が完了した。非常に長い地下導水路を構築するため、これまで多くの新技術を投入しコスト削減、工期短縮を図ってきた。例えば立坑の施工においては、日本で初めて自動化オープンケーソン(SOCS)を適用するとともに、シールドに関しては長距離急速施工技術を開発し、石岡トンネル第6工区に適用している。

今後も厳しい予算状況の中、さらなるコスト削減や工期短縮に努め、効率的に事業を進めていきたいと考えている。

河川や湖沼の浄化は、浄化用水の導水だけで実現できるものではなく、流域における下水道整備や浚渫などほかの水質保全事業、および水質保全のための規制などと相まって効果を上げることができる。予算も厳しい状況ではあるが今後も関係する皆様のご理解とご協力をいただき、平成22年度の完成を目指して取り組んでいきたい。



■安藤忠雄と地中美術館

岡山県の宇野港から船で20分ほどの瀬戸内海に、直島という周囲16km、人口3,500人ほどの小さな島が浮かんでいる。かつては製塩業の島として、現在では三菱マテリア直島精錬所(金の精錬所としては東洋一の規模を誇る)がある島として知られているが、この直島に2004年7月18日、安藤忠雄の設計による地中美術館が開館したというので、今年の夏休みを利用して訪ねてみることにした(図-1)。

地中美術館は、印象派の巨匠であるクロード・モネの「睡蓮」と、現代アーティストのウォルター・デ・マリア、ジェームズ・タレルの3人の作品の

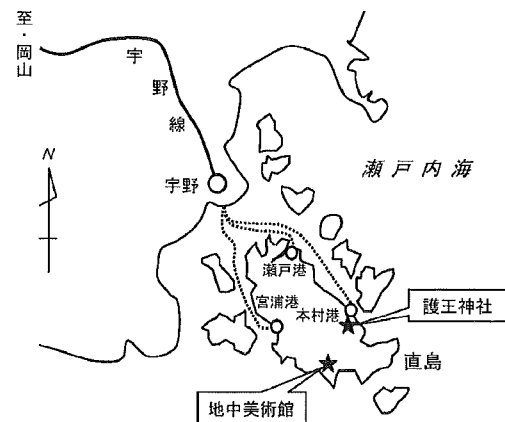


図-1 直島と地中美術館

みを展示する美術館で、展示される作品を前提として設計が開始された。すでに歴史上の人物であるモネは別として、ランドアートの開拓者であるデ・マリアと、光のアーティストであるタレルについては、安藤とディスカッションをくり返しながら、その作品を展示するにふさわしい空間が決められた。現代建築の挑戦者・安藤忠雄が創造した地下空間とは、はたしてどんな世界なのだろうか。

■なぜ地中美術館なのか？

地中美術館の建設経緯やそのコンセプトについてはすでにいくつかの雑誌で紹介されているが(『美術手帳』2004年9月号、『Casa BRUTUS』同年10月号など)、これらによれば、瀬戸内海に面した小高い山の上に美術館を建設するため、その風光明媚な景観を損なわないようにあえて外観のない建築—すなわち地中の建築を構想したとされる(写真-1)。

もっとも、安藤自身は、「地中へ」(「地中美術館」直島福武美術館財団・2005所載)と題したエッセイの中で、『幼いころから暮らした、暗さの中にわずかな光の差し込む住まいの記憶』、『若い日に訪れたカッパドキアで体験した穴居住宅の迷宮空間』、『アーメダバードの地下深くに掘られた井戸への階段』といった記憶の断片を引用して地中

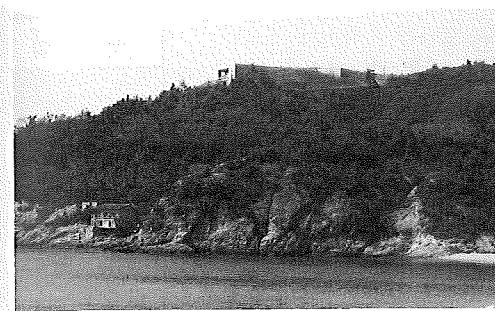


写真-1 海岸から望む地中美術館

への憧れを述べ、近代建築が失った地中の奥底から光を仰ぎ見る感覚を再び取り戻すために地中の建築を構想するに至ったと吐露している。そうした意味で、地中美術館は、安藤忠雄が長年にわたって温めてきた構想をようやく実現する場となり、このことは『地中美術館は、自身の肉体的感性がもっとも直裁に表現された建築となった』という建築家自身の言葉にも集約されている。

■地中美術館の不思議な空間

地中美術館は、「地中」という言語から私たちが想像するような完全に密閉された地下空間ではなく、半地下空間に設けられた美術館である。このため、中央には吹き抜けがあり、また南面には瀬戸内海を望む開口部(地中カフェとなっている)があるほか、各展示室も天窗などによって自然光を導いている。

地中美術館の内部は、地中という制約された空間にありながら、打ち放しコンクリートで仕上げられた壁体、自然光を取り入れたシンプルな室内空間、室内と外部との境界に設けられた坪庭や石庭、微妙な角度で傾いた壁面、通路に設けられた柱のない光のスリットなど、随所に安藤的な建築の特徴を見出すことができる。その平面構成は、三角形と矩形を基本としており、作品のスケールに応じて設計された各展示室を長大な通路で幾何学的に結んでいる。これによって、参観者は方向感覚を失い、非日常的な世界へと迷いこむことになる。そして人々は薄暗い通路の果てに唐突に現れる光の展示室を逍遙することによって、非現実的な地下世界を体感するのである。それはまさに

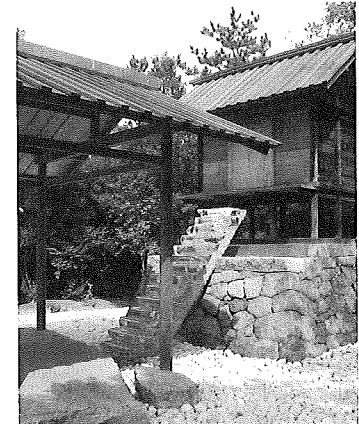


写真-2 地下に通じる護王神社のガラスの階段
安藤のめざした『地中の奥底から光を仰ぎ見る』世界を具現化したものと言える。

■もうひとつの地下空間—護王神社—

直島では、安藤をはじめとする建築家や芸術家が、本村地区に古くからある家屋や社寺を再生させる「家プロジェクト」が展開されている。これまでに、角屋(1988)、南寺(1999)、きんぞ(2001)、護王神社(2002)の4軒がこのプロジェクトによって完成したが、このうち護王神社は、写真家でありアーティストとしても活躍する杉本博司のデザインによるものである(設計協力・木村優)。護王神社の社殿は、白い玉砂利を敷き詰めた矩形の空間に建てられ、「神の階段」と名づけられたガラスの階段によって、天上界の社殿と地下の世界とが結ばれている。敷地の側面には、地中への入り口があり、ここから地下の石室に入ると、天上界へと通じるガラスの階段が闇に浮かぶ幻想的な光景が広がっている。階段の下には、水たまりができていて、これによって階段はさらに地中深くへと達しているような錯覚を覚える。地中美術館と併せて、ぜひ訪れておきたいスポットである(地中部分の見学は申込制で有料)。

ともあれ、これまで地表に建物を創造することに情熱を傾けてきた建築家が、地下という新しい世界に目を向けた点は注目される。建築家の鋭い感性によって、地下空間に新たな可能性が広がることを期待したい。



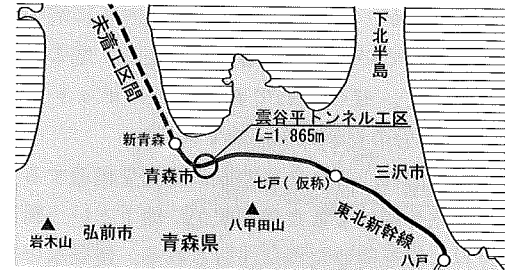
「青い森の国」青森市より

熊谷 弘

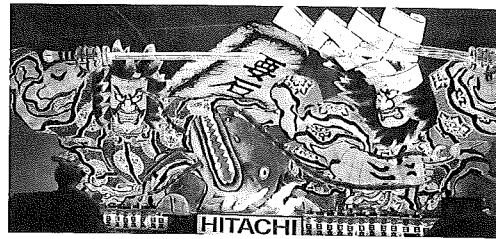
当作業所は、東に下北半島、西に津軽半島を擁する陸奥湾の南に位置する青森市のほぼ中央部にある。北東約18kmには東北でも有数の温泉街「浅虫温泉」があり、西方約8kmには1992年に発掘され、忽然と姿を表した日本最大級の縄文集落「三内丸山遺跡」がある。過ごしやすい夏にくらべ、冬は非常に厳しい気候となる。冬の時期、日本海側から押し寄せる寒波が八甲田連峰に阻止されて、裾野である青森市に大量の雪を降らす。昨年の冬は19年ぶりとも言われる大雪となり、青森市の最大積雪量は178cm、累積積雪量は約10mにも達した。

この厳しい冬の気候のためか、夏の盛りとなる8月2日から7日まで開催される東北最大の祭り「青森ねぶた祭」は大いに盛り上がりを見せる。青森ねぶた祭は250年程前から行われていたという記録があるほか、さまざまな言い伝えがあるが由来は明らかではない。武者像をかた取った大型ねぶたの灯籠は、伝統の技術を駆使し、半年間もの製作期間を経て完成される。祭の期間、勇壮な大型ねぶたとともに大勢の人達が「ハネト」と呼ばれる出で立ちで、お囃子のもと、市内を「ラッセラー・ラッセラー」の掛け声で踊り、パレードをする。例年全国から350万人の観光客が訪れ、青森の夜を焦がすエネルギーで盛大な祭りである。

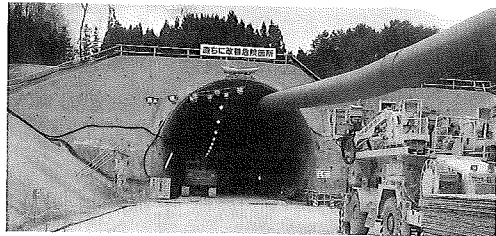
青森市へのアクセスとしては、市の中心部から南へ10km程の所に青森空港があり、また東北自動車道と接続した青森自動車道が市内まで延びている。更に5年後には東北新幹線が開通し、空の便、高速道路、新幹線と主要交通網が揃い、利便性がより一層高まるものと期待されている。



位置図



青森ねぶた祭り



坑口全景

当作業所では、この交通網整備のための東北新幹線新設工事のうち雲谷平トンネル工区を担当している。東北新幹線の八戸・新青森間は延長81.2kmで、そのうち61%がトンネルで山岳地帯を貫く路線となっている。雲谷平トンネル工区は、東北新幹線の拠点駅となる新青森駅から約10km手前の位置にあり、起点の八戸側から八甲田トンネルを抜け、平野部に移行する丘陵地に位置する。工区の総延長は1,865mで、トンネル3か所、橋梁部2か所、切盛土部と多くの工種が混在する変化に富んだ区間である。当工事の特徴としては、3トンネルともきわめて小土かぶりであり、加えて上部に市道および県道が走っていることが挙げられる。

地質は非溶結凝灰岩が主体で自立性に乏しく、いずれのトンネルもフォアボーリング、AGF工法などの補助工法を採用しながら慎重に掘削を進め、すべてのトンネルが貫通に至っている。

現在、トンネルではインバートおよび覆工コンクリートの施工、明かり部では高架橋工事と切土工事を施工中であり、無事故・無災害で高品質の作品を納めるべく、工事の完成を目指している。

(竹中土木・福田・本間・大坂共同企業体雲谷平トンネル作業所所長)

研究

内空変位量および天端沈下量と地山条件の相関に関する考察

応用地質(株)技術本部技術参与 竹林 亜夫
福井工業大学建設工学科教授 松井 保

1 はじめに

山岳トンネルの掘削時に、切羽の地質観察および支保工の内空変位と天端沈下量の計測を実施することが定着したことにより、トンネル工事の安全性および品質が向上してきた。

本研究は、わが国のトンネル工事において文献などで報告されている内空変位量および天端沈下量の実測値と切羽の地質観察資料を以下の視点で分析し、考察したものである。

- ① 掘削幅10mのトンネルにおいて、施工時に問題となる内空変位量および天端沈下量について分析する。
- ② 施工上問題となる内空変位量および天端沈下量を工学的に分析し、主に地山条件との相関について考察する。
- ③ 以上の分析にもとづいて、内空変位量および天端沈下量を考慮した岩種分類を検討する。その結果、トンネル工学において有用な知見が得られたのでここに報告する。なお、本稿では内空変位(量)と天端沈下(量)を総称する場合、坑内変位(量)と称す。

坑内変位量計測の意義と計測結果

2 結果

2-1 坑内変位量の計測とその意義

NATMでは、一般に切羽観察および内空変位

と天端沈下測定による計測管理が行われている。内空変位測定はトンネル掘削幅の変位量を、天端沈下測定は支保工の天端部の沈下量を計測する。切羽観察は切羽の自立性と地質観察を一日に1,2回、内空変位と天端沈下測定は同一断面で実施され、トンネル縦断方向の測定間隔は通常の地山では20m、軟質地山では10m、変位量が大きくなると5m間隔で行われる。この支保工の変位計測は品質管理のうえで次のような役割がある。

- ① 支保工の変位状態を把握して、吹付けコンクリートなどの支保パターンの適性を評価する。
- ② 支保工の変位量を計測管理することにより変形余裕量、覆工巻き厚、設計内空断面などの出来形の確保および品質管理を合理的に行う。
- ③ 支保工の変位状態の落ち着きを確認することにより、インバートを含む支保構造の適性および二次覆工の施工時期を判定する。

支保工の天端沈下現象は、支保工の脚部支持力とも密接に関係している。したがって、内空変位量と必ずしも相関しないことから天端沈下測定の意義が存在している。

2-2 岩種ごとの内空変位量の計測結果

わが国の高速道路トンネルにおいて掘削時に実施された切羽の地質観察および内空変位計測結果を岩種ごとにまとめたものを表-1¹⁾に示す。なお、平均内空変位量は最終内空変位量の平均値を示し

表-1 岩種ごとの内空変位量¹⁾

岩種名	総データ数	平均内空変位量 (mm)	平均内空変位量+σ (mm)
深成岩	斑れい岩	23	4
	花崗岩	482	8
	花崗閃緑岩	47	10
脈岩	花崗斑岩	98	10
	石英斑岩	6	11
変成岩	ホルンフェルス	22	3
	黒色片岩	170	24
	緑色片岩	19	36
火山岩	千枚岩	12	80
	流紋岩	86	5
	安山岩	44	17
	石英安山岩	42	22
中生層	角礫岩	23	5
	砂岩	108	16
	チャート	40	19
	粘板岩	599	30
第三紀層	砂岩	47	9
	凝灰角礫岩	82	9
	礫岩	48	14
	凝灰岩	150	26
	泥岩・頁岩	405	88

注：σは標準偏差を表す。

ている。この表から岩種ごとの内空変位の傾向が以下のよう示される。

- ① 深成岩、脈岩のすべての岩石と変成岩のホルンフェルス、火山岩の流紋岩、安山岩、石英安山岩、中・古生層の角礫岩、砂岩、チャート、第三紀層の砂岩、凝灰角礫岩および礫岩などが分布する硬質岩、中硬質岩の地山では、平均内空変位量はおおむね20mm以下と小さい。
- ② それに対して、変成岩の黒色片岩、緑色片岩、千枚岩、火山岩の安山岩、中生層の粘板岩、第三紀層の凝灰岩、泥岩および頁岩では、平均内空変位量と標準偏差値を加えた値は50mmを越えている。

3 坑内変位量に関する数値解析と実測値の考察

3-1 坑内変位量に関する数値解析

掘削幅が約10mの二車線道路トンネルにおける坑内変位の値を検証するために、DII支保パターンを対象に、平面ひずみの弾塑性FEM解析を行った。地盤の初期応力の側圧係数は1.0で、地山は

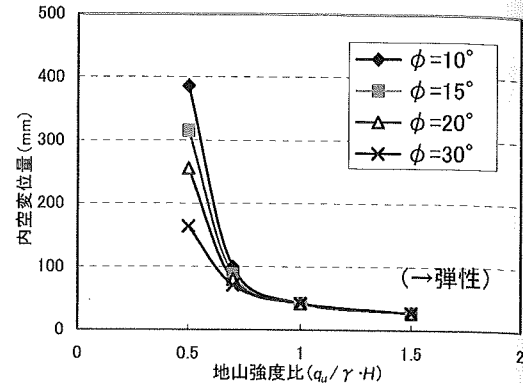


図-1 数値解析結果

完全弾塑性モデルとしている。

数値解析の結果、トンネルの内空変位量と地山強度比との関係は図-1²⁾のように示される。図-1より明らかなように、地山強度比が1および1.5の条件での内空変位量は、それぞれ42mmおよび27mmである。そして、地山強度比が1以下では内空変位量は50mm以上となり、内部摩擦角と地山強度比が小さいほど、内空変位量は著しく大きくなる。同様に本解析の結果、内部摩擦角と地山強度比が小さいほど天端沈下量は大きくなり、その値は内空変位量の半分であった。

3-2 泥岩地山トンネルの坑内変位計測結果

表-1において、内空変位量をもっとも大きい泥岩地山について検討するために、新潟県の第三紀泥岩地山の資料にもとづいて坑内変位量と地山強度比の相関を示したのが図-2, 3である³⁾。図-2において、内空変位量が50mmを越えるのは地山強度比が1以下の条件で、それより小さくなると内空変位量は著しく大きくなり、前項の数値解析結果と一致している。同様に図-3において、天端沈下量は地山強度比がおおむね2以下の場合には60mm以上と大きくなっている。

3-3 岩種ごとの内空変位と地山強度比の相関

各岩種の内空変位量と地山強度比の相関について既に報告⁴⁾されているが、ここでは軟質岩と硬質岩の地山に分けて図-4, 5³⁾に示した。両図より次のように考察される。

- ① 岩種によらず地山強度比が4以上になると、

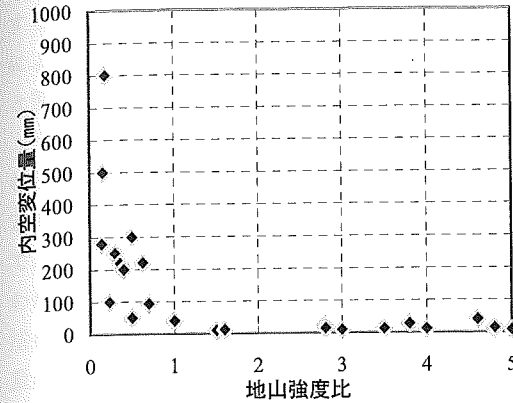


図-2 泥岩地山の内空変位量と地山強度比

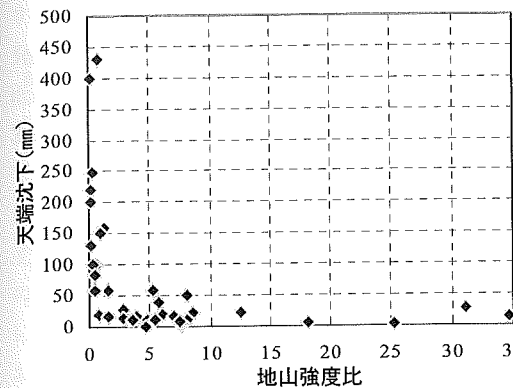


図-3 泥岩地山の天端沈下量と地山強度比

内空変位量は50mm以下となる。

- ② 軟質岩の地山では地山強度比が4以下の場合、値が小さいほど内空変位量は大きくなる。
- ③ 硬質な地山において、地山強度比が2以下の場合に内空変位量が50mm以上となる。その切羽は、いずれも新鮮な岩質でなく破碎変質および風化変質による粘土質の地山であった。以上のように、各岩種の内空変位量は若干のばらつきを有するが数値解析結果と整合している。

3-4 大きい坑内変位量と地質状態

わが国で施工された、いわゆる膨張性地山のトンネルにおける切羽の地質状態を分析した結果を表-2に示す³⁾。この表に、内空変位量および天端沈下量が50mm以上の大きな変位量区間長さを併記している。主な地質として、蛇紋岩、泥岩、頁岩、凝灰岩、メランジュ地山、断層破碎帯および温泉余土である。表-2において、切羽全体が均質地質状態の場合および硬質部と軟質部が混在してい

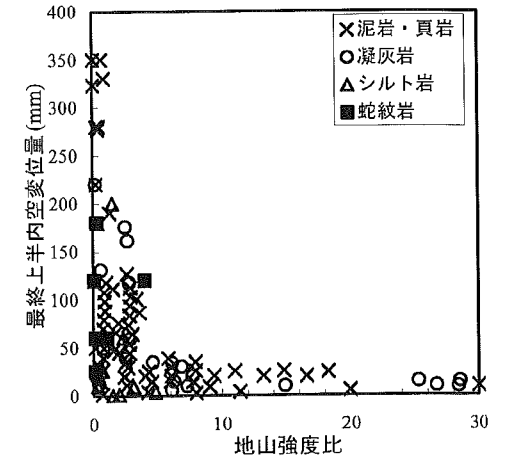


図-4 軟岩における内空変位量と地山強度比の相関

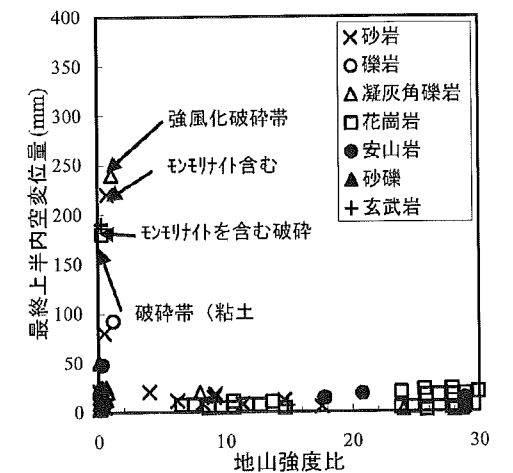


図-5 硬岩における内空変位量と地山強度比の相関の場合などがある。まず、切羽全体が均質地山では、一軸圧縮強度などの地山物性値のばらつきは少ないと考えられる。例えば、図-2に示した泥岩地山の計測結果がばらつきの少ない状態で、解析値とも整合している。

一方、硬質部と軟質部の岩種が混在する地山条件では、一軸圧縮強度などの試験が変位挙動を反映した軟質部でなく、たまたまコアが採取できたことから試験結果のある硬質部の値を採用している場合には、理論値と相違した値となる。例えば、図-4のように解析値と異なって地山強度比が2~4程度でも大きい内空変位量のデータが報告されることになる。したがって、硬質部と軟質部の地質が混在している切羽では、変位挙動を反映

表-2 いわゆる膨張性地山トンネルの地質状態の分類と坑内変位の大きい区間長

地質状態	地山状態	変位量50mm以上の区間長さ		
		100m未満	100~500m	500m以上
① 軟岩層 全面		地層の変形、変質は少ない軟岩で一軸圧縮強度は小さく、スメクタイトなどの粘土鉱物を含み、一軸圧縮強度に比べ土かぶり圧が大きい場合、断層、ゆるい褶曲部で変形はとくに大きい。	M: 金田一, 塩谷川放水路 T: 駒止	M: 赤倉 T: 中山, 岩手
② 破砕変質全面 軟質		断層破砕帯、構造運動などで岩質全体が大規模に破砕変質を受け、割れ目には油目、鏡肌、粘土を介在する。断層破砕帯の場合、変質粘土帯の背後に帯水部が存在すると急激に崩壊することがある。	S: 鬼峠, 嵐山, 長峰第二, 藤白, 北小谷, 第二今泉, 逢坂山, 仁淀川第三巻, 大所川発, 岩清水 M: 塩嶺, 瀬波, 新牧ノ原 Mr: 嶽山, 鳴鼓, 層雲峡発電所, 大山, 奥新冠発電所, 春別発電所 Cl: 定山溪	S: 神居, 新登山, 嶺岡, 大清水 M: 鶴立山, 折渡, 頸城, 赤倉, 飯山, 能生, 第一白坂, 日振 T: 青函, 折爪 Mr: 大杉 F: 恵那山, 朝日
③ 硬軟混在 全面		硬質岩を角礫状に含み基質部は上の項と同様な破砕変質を受けているメラランジュ地山など。硬質部が切羽に占める面積が多いほど、土圧は小さい。破砕変質部の一軸圧縮強度のばらつきは一般に大きい。	S: 篠篠谷, 稲里, 常磐 M: 葉師 Mr: 小川 F: 草木, 松生, 金田一 Cl: 第一熱海	S: 神居, 新登山, 嶺岡, 大清水 M: 鶴立山, 折渡, 頸城, 赤倉, 飯山, 能生, 第一白坂, 日振 T: 青函, 折爪 Mr: 大杉 F: 恵那山, 朝日
④ 硬軟互層 混在		硬質と軟質が互層状に分布し、大半は軟質部で、上の項と同様な破砕変質を受けている。メラランジュ地山などが該当する。硬質部の一軸圧縮強度で地山強度比を算定すると大きすぎる値となる。	S: 大清水(作業坑) M: 美根, 第一中の二股, 里見 T: 大田坂, 月山第一	M: 大頭, 厩濃川水力第一, 新榎 T: 新宇津 Mr: 明神
⑤ 帯状軟質 部分的混在		非変質部は中硬岩~軟岩で、軟質部は破砕帯粘土や破砕性凝灰岩、泥岩の場合でアーチ支保には偏圧状に土圧が作用し、インパートは軟質部に盤ぶくれを生じることがある。軟質部の地山強度の影響が大きい。	T: 中屋, 一ノ瀬 Mr: 大豊, 篠栗 F: 神長(流れ目), 子不知, 仙岩, 長沢, 八田原, 歌 Cl: みちのく	M: 御牧原(水平) T: 益山 F: 池田第一, 新神戸, 新芦谷, 下久野
⑥ 断面外軟質 部分的混在		トンネル掘削域内は非変質の軟岩であり、掘削後は軟質部の存在に気づかないことがある。軟質部は断層破砕帯や破砕変質岩が分布し、時に地下水が変質を助長する。この場合、切羽の地山強度比は大きくなる。	M: 春日山, 地蔵	F: 新親不知
⑦ 地すべり		地すべり面がトンネル内およびトンネル上部にあって、基盤岩は破砕変質を受けている。トンネル掘削により地すべり運動を誘発しやすく、誘発した場合にはトンネルに作用する土圧も大きい。	M: 春日山, 地蔵	S: 嶺岡 M: 第三大沢, 日暮山, 谷稲葉

注1) S: 凝灰岩, M: 泥岩, 頁岩, T: メランジュ, F: 断層破砕帯, Cl: 温泉余土
注2) アンダーラインのある地山状態は内空変位、天端沈下量が50mm以上の場合、無印のトンネルは内空変位量が50mm以上の場合

する軟質部の試料による試験結果を集積することにより、実測値のばらつきが少なくなり、解析値と整合すると考えられる。

文献調査の中で、天端沈下量が大きいと考えられるトンネルにおいて、設計段階で側壁導坑先進方式や中壁分割工法などの掘削工法を採用して、支保工の天端および脚部沈下対策が事前に行われていたり、施工時に脚部補強工などの補助工法を採用することにより効果をあげて、天端沈下量が小さい事例も多く見られた。

また、切羽付近に分布する局所的な不連続面がすべり面となる変位および偏圧現象などがまれに発生することがあるので、すべり面となる不連続面の地盤物性を把握する必要がある。

3-5 施工上問題となる坑内変位量

山岳トンネルの施工品質管理として重要なことは、内空断面と覆工巻き厚などの設計寸法を確保することである。そのために、掘削断面は支保工の施工誤差を考慮して設計断面よりも大きくしている。その施工余裕量は、アーチ構造の半径におおむね50mmを加えている。ただし、変位量が大きい地山条件では、吹付けコンクリート支保などに変質が発生するために変形余裕量が考慮される。施工事例において、支保工が変質したときの坑内変位量に関する報告は以下のようなものである。

- ① トンネル標準示方書には⁹⁾最終内空変位量が20~120mmでは吹付けコンクリート(圧縮強度は約18MPa、ひずみは1%程度)の変質発生率は10~20%、120mm以上では30%以上となる。
- ② 掘削幅約9mの水路⁹⁾トンネルでの計測結果は、吹付けコンクリートにひび割れが発生するなど支保に変質が生じた箇所の最終内空変位量は60mm以上であった。
- ③ 新幹線トンネル(掘削幅約10m)における計測結果⁹⁾から、内空変位が50mmを超えると吹付けコンクリートにひび割れが発生し、100mmを超えるとロックボルトに変形が生じ、200mmを超えると吹付けコンクリートのひび割れが進行して剝離・剝落が発生した。

④ 北陸自動車道路の泥岩地山トンネル⁹⁾では、吹付けコンクリートに変質が発生するのは、内空変位量に比べて天端沈下量が卓越し、変質した最終天端沈下量は40mm以上であった。

⑤ 土かぶりが400mを超える泥質片岩が分布する寒風山トンネルで、支保工の剛性が不足したために30mm以上の大きい天端沈下量に伴う変形が発生したことが報告⁹⁾されている。

以上のように、吹付けコンクリートなど支保工の変質に関する内空変位量は約50mm以上、天端沈下量は約40mm以上の値でばらつきがある。ここで施工技術的に重要なことは、吹付けコンクリートに変質が発生したときの最終坑内変位量の絶対値ではなく、50mmの内空変位量、40mmの天端沈下量は支保工の変質が発生しはじめる施工管理上の限界値であるとともに、その値は岩質に関係なく地山強度比が2~4以下の場合に相当していることである。

4 坑内変位に関する理論と実測値

4-1 トンネル周辺地山の弾塑性解析

施工管理上の内空変位量の限界値50mmおよび天端沈下量の限界値40mmを超える条件は、二次元数値解析の結果、支保工がある場合に地山強度比が1.0以下であることから、ここでは、トンネル周辺地山の塑性領域形成について理論的に考察する。地山を完全弾塑性体、側圧係数を1.0とした円形トンネルのKastnerの弾塑性式に支保の内圧(p_i)を考慮した塑性領域の算定式は式(1)により表される¹⁰⁾。

$$\frac{\rho}{a} = \left[\frac{2}{\zeta+1} \cdot \frac{\gamma H(\zeta-1) + q_u}{p_i(\zeta-1) + q_u} \right]^{\frac{1}{\zeta-1}} \quad (1)$$

ここに、 ρ : 塑性領域の半径、 a : トンネル掘削半径、 γ : 地山の単位体積重量、 H : 土かぶり厚さ、 p_i : 支保にかかる内圧、 q_u : 地山の軸圧縮強度、 $\zeta = (1+k)/(1-k)$ 、 $k = \sin \phi$ 、 ϕ : 地山の内部摩擦角。

式(1)に、地山強度比 $\alpha = q_u/\gamma H$ 、支保の内圧(p_i)を土かぶり圧(γH)で無次元化した支保の内

圧係数 $\omega = p_i / \gamma H$ を代入すると、塑性域の算定式は式(2)のようになる。

$$\frac{\rho}{a} = \left[(1-k) \frac{\alpha(1-k) + 2k}{\alpha(1-k) + 2\omega k} \right]^{\frac{1-k}{2k}} \quad (2)$$

ここに、 α : 地山強度比、 ω : 支保の内圧係数。

トンネル掘削に伴い周辺地山に塑性領域が形成される条件は、式(2)に示されるように、支保の内圧係数 ω 、地山強度比 α および内部摩擦角 ϕ の関数となり、それらの関係を図示したのが図-6⁹⁾である。この図において、支保の内圧係数が0、すなわち素掘りトンネルの場合は、地山強度比が2以上の条件では塑性領域が形成されないで自立している。また、地山強度比が2以下で内部摩擦角が30°以下になると、両者の値が小さくなるほど、支保の内圧係数としては大きいものが必要となる。

4-2 坑内変位量の実測値と地山条件

わが国の施工事例における内空変位量の実測値および地山強度比と内部摩擦角の関係を図-7に、天端沈下量の実測値および地山強度比と内部摩擦角の関係を図-8に示す。図-7, 8において、施工上の限界値の坑内変位量50mm、40mmを基準として、それより大きい場合に変位の程度をいくつかに区分して表している。この図を全体的に見て、変位量の大きい領域と小さい領域を区分すれば図示の

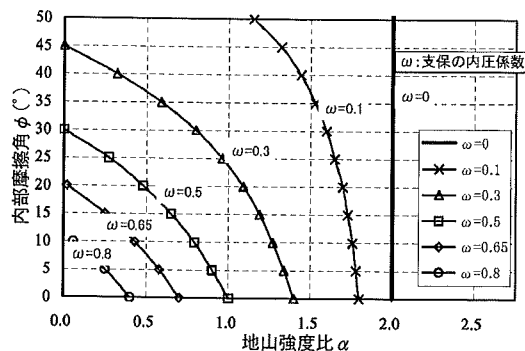


図-6 支保の内圧を考慮した塑性領域の形成条件

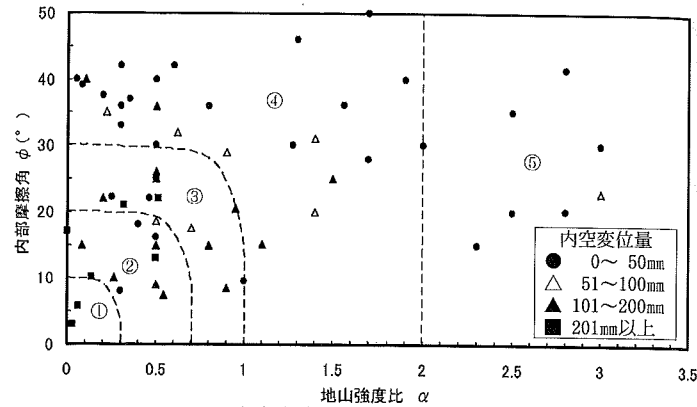


図-7 内空変位量と地山条件の関係

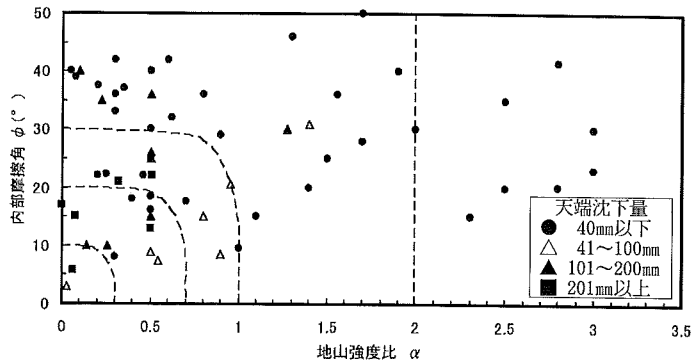


図-8 天端沈下量と地山条件の関係

ように①～⑤の領域に分けることができる。それぞれの領域の主な内空変位量と地山条件および支保工の変状状態は以下のとおりである。

領域①：わが国の膨張性地山トンネルでもっとも苦労した鍋立山T(泥岩)などにおいて、導坑先進工法などの特殊工法を採用しても支保工の変状がもっとも著しい状態であった。

領域②：膨張性トンネルの典型でもある折爪T(凝灰岩)、嶺岡T(粘土質蛇紋岩)、朝日T(断層粘土)、飯山T(泥岩)などにおいて、特殊な施工法や剛性のある支保工および多重支保工を採用しても坑内変位量が著しく大きかった。

領域③：一般的な膨張性地山のトンネルに該当し、標準支保パターンよりも剛性の大きい支保工を採用しても坑内変位量が多い。

領域④：いわゆる膨張性地山のトンネルに該当し、標準支保パターンでは剛性が不足するために坑内変位量が多い場合がある。また、内部摩擦角が30°以上の固結度の低い砂・砂礫およびシラ

ス地山などでは、内空変位量は小さいが、天端沈下量が大きくなることもある。

領域⑤：塑性領域の形成がなく、標準支保パターンの適用範囲であり、坑内変位量は小さい。

このように、施工事例の実測値において、数値のばらつきはあるものの、図-6に示した理論的傾向を裏付けることができた。また、図-7, 8を考察することにより、NATMにおける膨張性地山は図-7の①～③の領域に該当すると考えられるが、④の領域も坑内変位が大きくなることもあるので注意する必要がある。

4-3 坑内変位量と塑性域形成に関する考察

ここで、標準支保パターンの内圧係数の概略値を把握するために支保工を円形閉断面と仮定して厚肉円筒理論で支保耐力を算定したのが表-3¹¹⁾である。とくに、土かぶり厚が200mになると、Eパターンでも支保内圧は0.5以下となり、支保の強度不足に起因して塑性域の拡大が予想される。馬蹄形の支保工の場合は、理論的に厚肉円筒の支保耐力よりも低い値となる。

従来、支保工が変状する地質は膨張性地山と言われ、その膨張性の原因にはスウェリング(膨潤)とスキーズィング(押し出し性)が考えられている。本稿のように周辺地山に塑性域が形成されるのは後者の場合で、わが国の膨張性地山のほとんどが該当すると考えられる。これまで膨張性地山の主要な判定指標としては地山強度比が2以下とされていたが、図-7, 8により、支保工が設置されているNATMでは、地山強度比が1以下で内部摩擦角が30°以下の地山の強度特性値に規定されることが明確となった。ただし、土かぶり厚さが大きくなるに伴い支保内圧係数が小さくなるため

表-3 支保パターンごとの支保耐力と支保の内圧係数⁹⁾

支保パターン	鋼アーチ支保工	吹付けコンクリート厚 (cm)	支保耐力 (kN/m ²)	土かぶり厚さ(H)と支保の内圧係数		
				H=100m	H=200m	H=300m
DI	H-125	15	900	0.38	0.19	0.13
DII	H-150	20	1,130	0.47	0.24	0.16
DIII	H-200	25	1,397	0.58	0.29	0.19
E	H-250	30	1,773	0.74	0.37	0.25

に、地山強度比が1～2の範囲でも坑内変位が大きくなることが考えられる。

なお、塑性域が形成されない弾性域の状態でのトンネル掘削が行われる状態での坑内変位量は施工上問題にならない小さい値であり、理論上は地山の变形特性値で求められる。

また、特殊なケースとして切羽付近に分布する局所的な不連続面がすべり面となる変位および偏圧現象の場合には、すべり面の内部摩擦角は一般的に、30°以下で粘着力は小さいと考えられる。すなわち、力学的には不連続面のすべりに関する安定性問題であるが、すべり面の物性は塑性域形成条件の強度特性値と類似状態と考えられる。

5 坑内変位量を考慮した岩種分類

5-1 文献調査による岩種分類

以上のことから、限界坑内変位量を超える地山条件は、地山強度比が1以下で内部摩擦角が30°以下であり、さらに地山強度比および内部摩擦角が小さくなると坑内変位量は著しく大きくなること明らかとなった。ここで、文献調査^{12)~16)}により、岩種ごとの内部摩擦角と一軸圧縮強度を図-9⁹⁾のように整理した。図-9では、日本道路公団の設計要領に示されている岩石グループ¹⁷⁾において、塊状岩盤をφ地山に、層状岩盤をc地山に相当すると考え、内部摩擦角の大きさを考慮して岩種の分類に若干の修正を加えた。例えば、蛇紋岩は岩盤状態が塊状蛇紋岩と葉片状・粘土質蛇紋岩に分け、力学物性としては前者をφ地山に、後者をc地山に区分した。同様に、凝灰岩においても、高強度凝灰岩はφ地山に、低強度凝灰岩をc地山に区分した。

5-2 岩種ごとの内部摩擦角に関する考察

図-9において、各岩種の内部摩擦角の平均値はφ地山では30°以上を示し、c地山では30°以下を示している。今回の文献調査は、地山の力学試験による物性値が少ない状態での考察であったが、今後地質状態を定性的に明確に

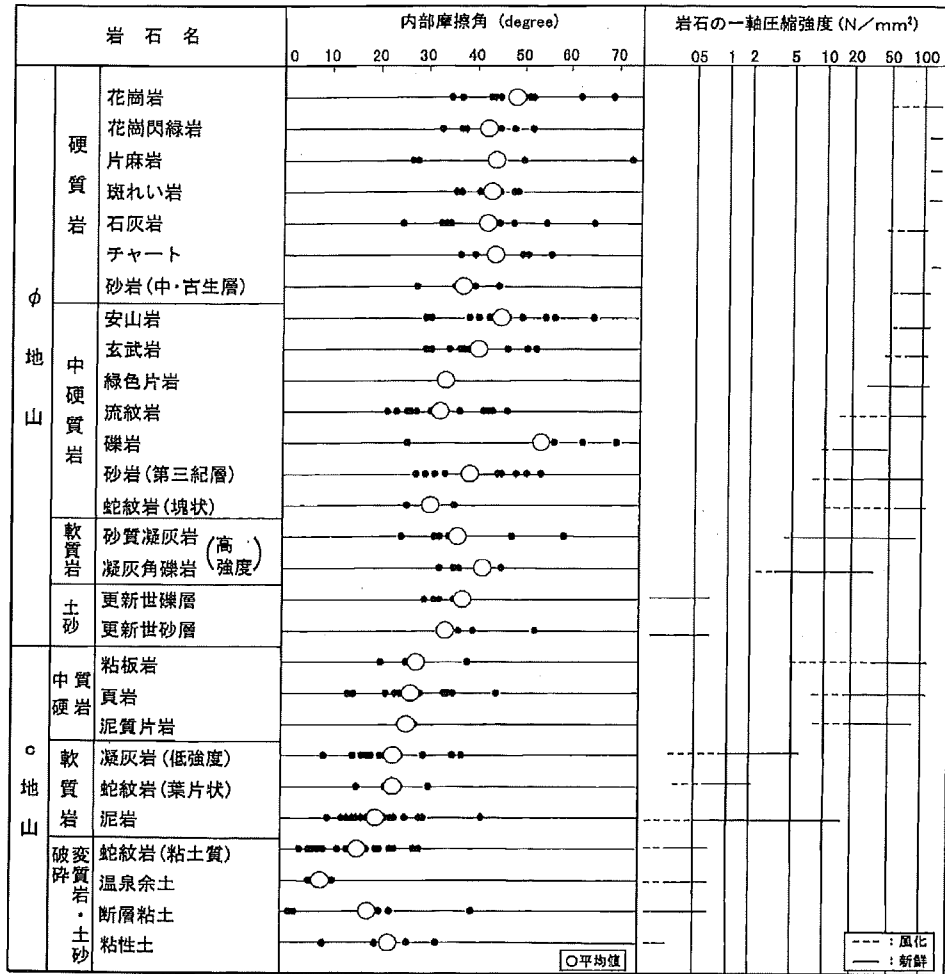


図-9 岩種ごとの内部摩擦角と一軸圧縮強度および岩種表

分類した後に、力学試験を数多く実施することにより、内部摩擦角などの物性値のばらつきは低減するものと考えられる。

5-3 岩種ごとの一軸圧縮強度に関する考察

図-9に示すφ地山とc地山の岩石ごとの一軸圧縮強度分布において実線部分は新鮮な岩盤状態の値で、破線の部分は風化および変質している岩石の強度の範囲を示している。図-9において、φ地山の砂質凝灰岩および凝灰角礫岩には、低強度凝灰岩のデータが含まれているために、一軸圧縮強度が低い範囲に及んでいることが考えられる。同様に、c地山の粘板岩、頁岩および泥質片岩には、風化および変質した試験値が希少なために一軸圧縮強度は高い範囲に留まっていることが考えられ

る。ちなみに、図-9に示した一軸圧縮強度値が、10N/mm²のときに地山の単位体積重量を20kN/m³とすると、地山強度比が1となる土かぶり厚さは500mとなる。

5-4 坑内変位量を予測できる岩種分類

図-9に示した岩種ごとの内部摩擦角および一軸圧縮強度の分類表とともに、これまで考察してきた内容にもとづいて、内空変位量および天端沈下量が予測できる岩種分類を簡潔に示すと、表-4のように整理できる。表-4により、トンネル掘削時の坑内変位量の概略値を、塑性域の形成条件を基準として予測することができる。なお、表の破線部分は岩盤が風化および変質している場合を示している。

表-4 坑内変位量を考慮した岩種分類

地山分類	主な岩種	内空変位量				天端沈下量			
		小	20mm	50mm	100mm	大	小	20mm	40mm
φ地山	H(硬質岩)	-----				-----			
	M(中硬質岩)	-----				-----			
	L(軟質岩)	-----				-----			
c地山	S-a(破碎・変質岩と土砂)	-----				-----			
	M(中硬質岩)	-----				-----			
	L(軟質岩)	-----				-----			
山	S-b(破碎・変質岩と土砂)	-----				-----			
		-----				-----			

- ① φ地山は、内部摩擦角が30°以上であることから限界内空変位量(50mm)より小さい。ただし、地山強度比が2以下の破碎変質岩および土砂地山で支保の剛性が弱い場合には、内空変位量および天端沈下量が大きくなることもある。
- ② c地山の中硬質岩で、新鮮な岩盤状態の場合はφ地山の中硬質岩と同様に坑内変位量は小さい。しかし、風化変質を受けて内部摩擦角と一軸圧縮強度が低下した場合には、坑内変位量が大きくなるのが考えられる。
- ③ c地山の軟質岩および破碎変質岩は内部摩擦角が30°以下のために、地山強度比が2以下になると坑内変位量が大きくなるので、支保の剛性および施工法に配慮する必要がある。以上のように、トンネル周辺地山の地山強度比と内部摩擦角が判明すると、坑内変位量の概略値を推定することができ、支保工の沈下対策、支保工の選定および変形余裕量などが施工時に切羽で対応することができるようになる。その結果としてトンネル工の安全性と構造品質が向上することになる。

6 まとめ

わが国で実施されたNATMの計測資料を分析

して、坑内変位量と地山条件の相関を考察した。その結果、坑内変位量と地山条件の相関が明確になり、それにもとづいて簡潔な岩種分類表を提案した。主な結論は以下のとおりである。

- ① 施工時に支保工の断面管理上から問題となる最終内空変位量は50mm以上、最終天端沈下量は40mm以上の場合であり、その変位量は周辺地山に塑性域が形成した結果である。そのことから、50mmを計測管理上の限界内空変位量、40mmを限界天端沈下量と称する。
- ② 周辺地山に塑性域が形成され、限界内空および天端沈下量以上となる条件は、地山強度比が1以下で内部摩擦角が30°以下である。さらに、地山強度比と内部摩擦角が小さくなると坑内変位量が著しく大きくなる。以上のことが理論解析値のみならず実測値でも実証された。
- ③ 塑性域が形成される主な地質としては、蛇紋岩(葉片状および粘土質)、泥岩、頁岩、凝灰岩、メランジュ地山、断層破碎帯および温泉余土などである。従来より、これらの地質は膨張性地山と称されている。
- ④ それらの多くは硬軟混在の地質状態であるために力学試験結果で、ばらつきが発生しやすいことを指摘した。硬軟混在の地質状態の

場合に、支保の変形挙動を反映する地山物性は軟質部分であることを指摘している。

⑤ 限界内空変位量を超えることが予想される場合には、施工品質を確保するために変形余裕量を確保するとともに、剛性のある支保工の使用およびインバートによる断面の閉合などにより支保内圧を高める必要がある。また、限界天端沈下量を超えることが予想される場合には、側壁導坑方式などの施工法および脚部補強工などの補助工法による対策が必要である。

⑥ 地山強度比が1以下のφ地山は、一般的に坑内変位量が小さいが、支保の剛性が小さいと坑内変位量が大きくなるので注意が必要である。また、未固結砂質、礫質およびシラス地山などでは天端沈下現象に注意が必要である。

⑦ 上記の事項が明らかになったことから、岩種ごとの内部摩擦角および一軸圧縮強度の一覧表を作成し、内部摩擦角30°以下の場合をc地山、30°以上をφ地山として整理した。この表にもとづいて、岩種区分表を簡潔にまとめて提案した。

⑧ これらの表を用いて、内空変位および天端沈下の概略量を推定できる表を提案した。

この岩種分類により設計時および施工時に支保パターンの選定評価がより確実になると考えている。また、複雑な地山の物性値はばらつきを伴いやすいが、地質状態を明瞭に観察することによりばらつきを低減することができる方法を指摘した。今後、本稿の主旨に適合した施工時の計測資料がより多く収集されることにより、精度の良い岩種分類表に修正されることを期待している。

本研究の成果が、今後のトンネル工事の品質、安全性および経済性の向上に活用いただければ幸いである。

参考文献

1) 中田雅博・西村和夫・中野清人：岩石ごとの地山挙

動に関する研究，トンネルと地下，Vol.29，No.1，pp.53-63，1998.1.

2) 竹林亜夫・呉旭・三上元弘・松井保・国村省吾：トンネル掘削時の坑内変位量と地山強度比および内部摩擦角の関係，土木学会第58回年次学術講演会，VI-056，pp.111-112，2003.

3) 竹林亜夫：トンネル掘削に伴う坑内変位に関する地質工学的研究，大阪大学学位論文，pp.42-89，2003.

4) 今田徹：NATM20年 我々は何を学んだか，ハイウェイ技術，No.9，pp.9-15，1997.

5) 土木学会：トンネル標準方書「山岳工法編」・同解説，3p.，213p.，1996.

6) 伊藤友太郎・川名英二：軟岩層の湧水地帯をNATMで掘る—JR小千谷発電所第1水路トンネル，トンネルと地下，Vol.18，No.5，pp.35-46，1987.5.

7) 河田孝志・梅沢一・服部一夫・一橋学・白木博昭：北陸新幹線里見トンネルにおける膨張性地山のミニベンチ工法，トンネル工学研究発表会論文・報告集，第3巻，198p.，1993.

8) (財)高速道路技術センター：北陸自動車道・上越～朝日間総合検討(昭和62年度)，第三紀泥岩地帯におけるNATMの計測管理検討委員会報告書(総括)，日本道路公団新潟建設局，132p.，1988.

9) 後藤守・岡崎和彦・尾上誠一：高強度吹付けコンクリートにより大土かぶりを克服，トンネルと地下，Vol.29，No.1，pp.17-24，1998.1.

10) Kastner.H：Statik des Tunnel-und Stollenbaues auf der Grundlage Geomechanischer Erkenntnisse，Springer-Verlag，pp.66-80，1962.

11) 竹林亜夫・三上元弘・曾根好徳：NATM施工時の坑内変位に関する地質工学的研究，北海道土木技術会トンネル研究委員会，2004トンネル技術研究発表会論文集，pp.71-82，2004.

12) 小野寺透・吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆共訳，E.フック・E.T.ブラウン共著：岩盤地下空洞の設計と施工，土木工学社，pp.108-114，1985.

13) 土質工学会：岩の工学的性質と設計・施工への応用，pp.220-222，294p.，1974.

14) 星野一男・加藤碩一・深部物性データ編集委員会：本邦産岩石の深部物性データ集，産業技術総合研究所・地質総合センター，pp.22-122，2002.

15) 日本材料学会編：岩の力学—基礎から応用まで，日本材料学会，丸善(株)，66p.，1993.

16) 増田秀夫・田中荘一訳，Lama.R.D・Vutukuri.U.S：岩の力学的性質Ⅲ—試験に関する技術と結果，古今書院，pp.165-166，1999.

17) 日本道路公団：設計要領第三集(トンネル)，pp.69-70，1997.

報告

新潟県中越地震における道路トンネルの被害

(独)土木研究所基礎道路技術研究グループ上席研究員 真下英人

1 はじめに

2004年10月23日に発生した新潟県中越地震においては、関越自動車道、国道17号、国道291号などの幹線道路、上越新幹線、上越線などの主要鉄道幹線に大きな被害が生じ、とくに地震の被害を受けにくいと言われてきたトンネルで多くの被害が生じたのが特徴となっている。

本稿は、今回の地震により発生した道路トンネルの被害とその復旧の概要について報告するものである。

2 道路トンネルの被害状況

今回の地震により被害が発生した国道・県道の道路トンネルは、図-1および表-1に示す21トンネルである。今回の地震による被害の主なものとしては、覆工コンクリートのひび割れおよびそれに伴う覆工コンクリートの剥落または崩落、側壁部の押し出し、路面の隆起、側溝の変

状などとなっている。被害の程度は大規模な補強が必要なものから補強・補修を必要としないものまでトンネルによって大きく異なっている。被害の発生箇所は、過去の地震において被害が発生したトンネルと同様に坑口部付近で規模の大きな被

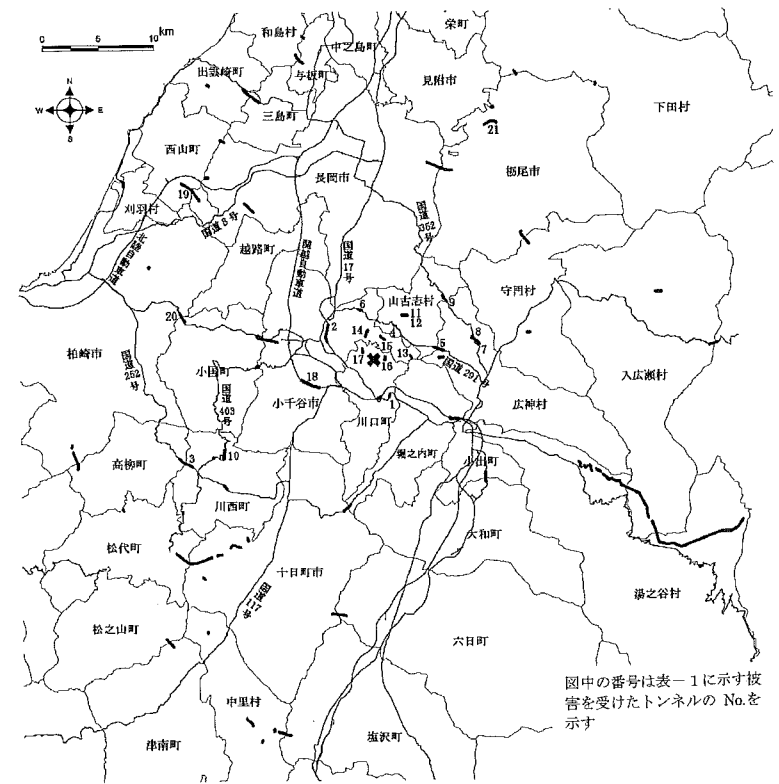


図-1 被害が発生したトンネル位置図

表-1 被害が発生したトンネルの概要

No.	被害程度	トンネル名	路線名	竣工(年)	断面規模	延長(m)	土かぶり(m) 最大	代表	覆工(巻き厚:cm)	幅工(m)	高さ(m)	施工法	地質	主な被害状況
1	A1	和南津	国道17号	1965	2車線	300	40	40	C(50~90)	9.00	4.60	矢板	新第三紀砂岩 和南津層砂岩	覆工コンクリート(天端部分)の一部崩落、覆工コンクリート剥落・ひび割れ、覆工コンクリート(側壁部)のはらみだし、側溝の変状
2	A2	小千谷第2	国道17号	1983	2車線	1,088	62	100	C(60)	9.50	4.80	矢板	新第三紀砂岩 和南津層砂岩	覆工コンクリート(側壁・アーチ下部)に縦断方向にひび割れ、掘削目地付近で覆工コンクリート片剥離
3	B	山中	国道252号	1972	2車線	1,307	200	6	C(60~75)	6.50	4.50	矢板	砂岩、泥岩	アーチ部に縦断方向にひび割れ
4	A2	竹沢	国道291号	1965	2車線	18.2	6	6	C	6.00	4.50	矢板		側壁・アーチ部に貫通ひび割れ、路盤にひび割れ
5	B	中山	国道291号	1998	2車線	913	120	100	C(30~35)	8.50	4.70	NATM	砂岩、泥岩	掘削目地付近でコンクリート剥離
6	B	東山	国道291号	1987	2車線	220	35	25	C	7.00	4.70	矢板		アーチ部施工目地に開き
7	B	小平尾	国道352号	1991	2車線	390	90	45	C	9.25	4.70	NATM		全周に輪切りひび割れ、目地に圧縮剥離、路肩側溝と車道におき
8	B	折中	国道352号	1994	2車線	374	60	50	C	9.25	4.70	NATM		側壁、アーチ部にひび割れ
9	B	城山	国道352号	1997	2車線	128			C	7.00	4.70	NATM		側壁の縦断方向にひび割れ
10	B	淡海	国道403号	1995	2車線	860			C	6.00	4.70	NATM		アーチ部部の目地にコンクリート剥離
11	A1	羽黒(車道)	主要地方道柏崎高浜線之内線	1967	1車線	506	100	50	C(45)	5.50	5.20	矢板		アーチ天端に圧さ、歩道路盤の浮き上がり、アーチ部・側壁部に貫通したひび割れ
12	A2	羽黒(歩道)	主要地方道柏崎高浜線之内線	1994	歩道	550	100	50	C(30)	2.20	2.85	NATM		NATM区間(136m)に被害報告なし、柔掘り区間の吹付けコンクリート剥離
13	A1	十二平	主要地方道柏崎高浜線之内線	1986	2車線	210	40	35	C(60~80)	8.70	4.70	矢板		アーチ天端に圧さ、歩道路盤の浮き上がり、アーチ部・側壁部の圧さ、蓋ぶくれ
14	A2	蘭木	主要地方道小千谷川口大和線	1989	2車線	590	180	100	C(60)	6.00	4.70	矢板		アーチ天端に縦断方向にひび割れ、アーチ部全周に輪切りひび割れ
15	A2	塩谷	主要地方道小千谷川口大和線	1983	2車線	512.5	110	50	C(50~60)	7.50	5.85	矢板		アーチ天端に縦断方向にひび割れ、アーチ部全周に輪切りひび割れ
16	A1	木沢	主要地方道小千谷川口大和線	1991	2車線	305	30	25	C(30~70)	9.00	4.70	NATM		側壁に押し出し変形、側壁・アーチ肩部に圧さ、トンネル軸方向に伸び、覆工・路盤の目地に開き
17	A1	荒谷	一般県道小栗山川口線	1977	2車線	292	45	20	C(60)	7.60	5.64	矢板	魚沼層群～泥岩、砂岩、礫岩の互層	ひび割れ
18	B	山本山(上り)	関越自動車道	1981	2車線	1,838.5	140	50	C(60~70)	10.20	7.50	矢板		側壁部に縦断方向にひび割れ
19	B	沖見峠	一般県道礼拝長岡線	2000	2車線	1,080			C	8.50	4.70	NATM		側壁に縦亀裂
20	B	武石	国道291号	1986	2車線	831	140	100	C(50~60)	7.00	7.74	矢板	砂岩、泥岩	
21	B	新尾	一般県道新尾田井線	2001	2車線	854			C(30~50)	10.25	4.70	NATM	新第三紀西山層	継ぎ目から漏水

・被害程度 A1: 大規模な補強・補修を必要とするもの A2: A1以外で補強・補修を必要とするもの B: 補強・補修を必要としない軽微なもの
・覆工 C: コンクリート

害が発生したトンネルが見られたが、トンネルの中間部で規模の大きな被害が発生したトンネルも見られた。また、トンネル工法に関しては、被災地域に建設されたトンネルの多くは矢板工法により建設されており、NATMにより建設されたトンネルが少ないが、NATMにより建設されたトンネルの中にも被害を受けたトンネルも見られた。以下に比較的規模の大きな被害が発生した5つの道路トンネルについて被害状況と復旧方法の概要を紹介する。

3 和南津トンネルの被害

3-1 和南津トンネルの概要

和南津トンネルは、矢板工法により建設された延長300m、全幅9mの2車線道路トンネルで昭和40年に竣工した。掘削工法としては底設導坑先進上部半断面工法が採用され、覆工厚は500~900mmである。

トンネル周辺の地質はシルト質砂岩により構成されており、トンネルは最大土かぶり40m程度の

段丘地形を通過している。

3-2 和南津トンネルの被害状況

地震により発生した変状の展開図を図-2に示すが、主な被害としては終点側(長岡側)坑口から20~110mの区間で天端部において縦断方向に圧さあるいはせん断破壊によると思われる覆工コンクリートの剥落が発生し、とくに、終点側坑口から90~107m区間では天端部において幅約2~6mのコンクリート塊が崩落した(図-3、写真-1参照)。また、終点側坑口から10~30m間においては両側壁(とくに山側)が5~15cm内空側に押し出すとともに、側壁部とアーチ部の水平打ち継ぎ目付近において圧縮破壊によるコンクリートの剥落(図-4、写真-2参照)が発生したほか、ほぼ全線(とくに山側)で側溝の変形破損が発生した。なお、終点側坑口部では、坑門壁においてコンクリート打ち継ぎ目に目開きや段差が生じたほか、川側の上部ブロック(幅8m、高さ2m)が川側へ約20cm、坑外長岡側へ12cm移動し、坑口部のもたれ擁壁も5~10cm移動した。

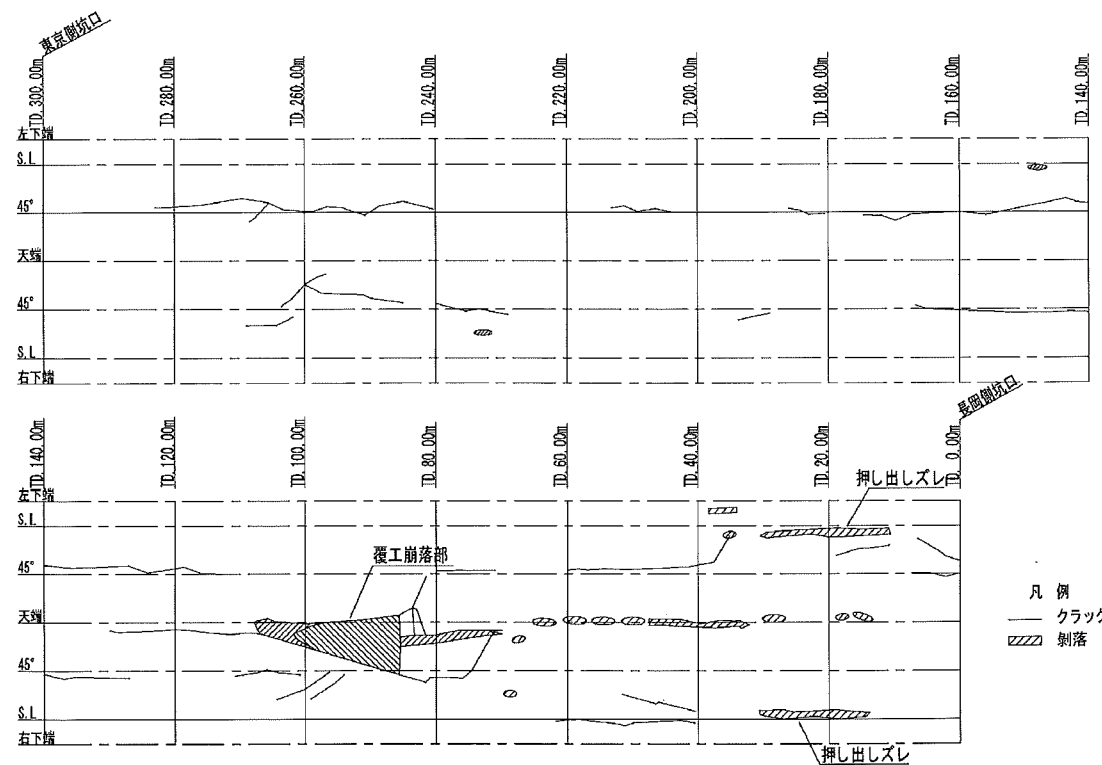


図-2 和南津トンネル変状展開図

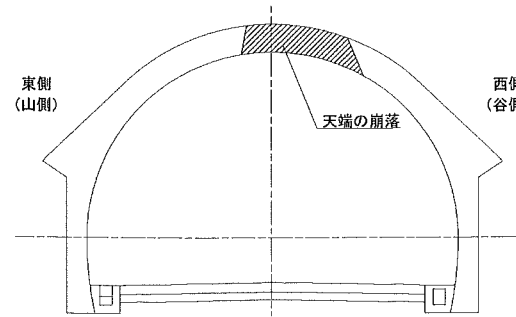


図-3 和南津トンネル被害状況図(終点側坑口から100m付近)

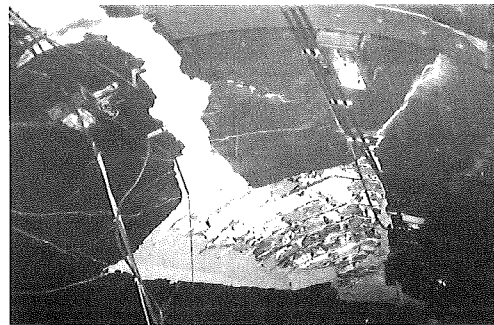


写真-1 和南津トンネルの被害状況(天端の崩落)

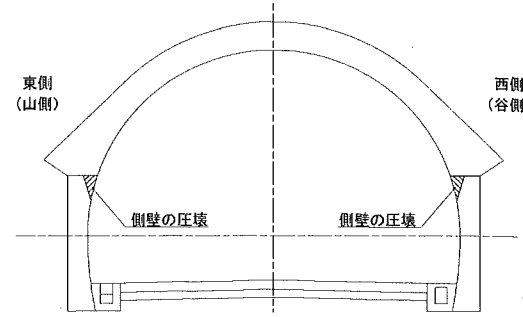


図-4 和南津トンネル被害状況図(終点側坑口から20m付近)

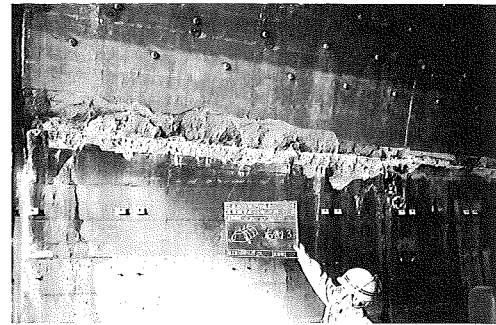


写真-2 和南津トンネルの被害状況(側壁の押し出し)

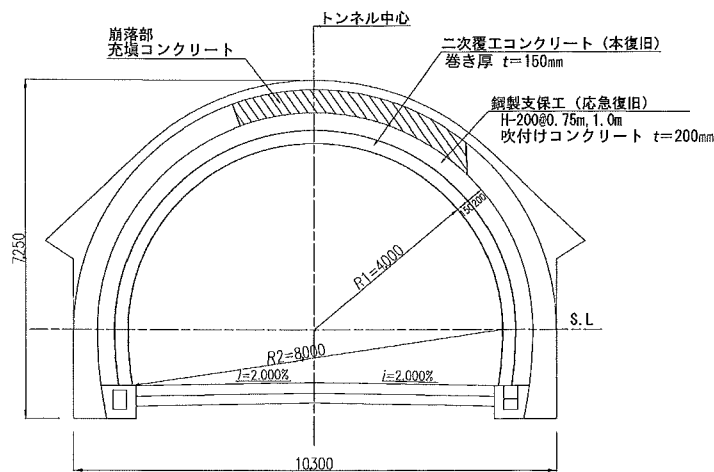


図-5 和南津トンネル復旧方法

3-3 和南津トンネルの復旧方法

和南津トンネルの復旧対策は、一刻も早い通行の確保が求められたことから応急対策と本復旧対策の2段階に分けて実施された。応急対策としては終点側坑口から約120mまでの天端に圧ぎなどが発生した区間において、覆工が崩落した箇所をコンクリートで充填した後、覆工の内側に鋼製支

保工(H-200)を建て込むとともに、鋼製支保工間を吹付けコンクリートで充填することなどによりトンネルの安全性を確保した(図-5参照)。また、本復旧対策は、応急対策として鋼製支保工の設置と吹付けコンクリートの施工を行った終点側坑口から120mの区間において、内側に最小巻き厚150mmのコンクリートを巻き立てるとともに、変状が発生した側溝・坑門部は場所打ちコンクリート構造物に置き換えた。

4 木沢トンネルの被害

4-1 木沢トンネルの概要

木沢トンネルは、延長305m、全幅9.0mの道路トンネルで平成3年に竣工した。施工方法はNATM、掘削工法は上半先進ベンチカット工法で、補助工法として上半フォアパイルL=2mをほぼ全線にわたり施工している。覆工厚はアーチ

部300~700mm、側壁450~700mm、インバート500mmである。トンネルの土かぶり、大半の区間で30m弱程度であり、終点側(木沢側)坑口部の36m区間は明かり巻き施工となっている。

4-2 木沢トンネルの被害状況

地震により発生した変状の展開図を図-6に示すが、ひび割れや変位の状況から、木沢トンネルの変状形態は次の3パターンに大別できる。

起点側(峠側)坑口から30~80mの区間は、もっとも変状をきたした区間で、側壁からアーチ部にかけて山側と谷側の両側に大規模な連続したひび割れが発生した。また、ひび割れ上部の半断面が谷側に変位し、山側側壁部では大きな剥落が生じ、トンネルが破壊した状態であった(写真-3参照)。大規模なひび割れのほかにも、アーチ部や側壁部に縦断方向および横断方向の多くのひび割れが発生したほか、舗装目地が開口し、最大150mmに及ぶものもあった。

起点側坑口から80~240mの区間では、横断方

向のひび割れが数多く発生し(写真-4参照)、とくに起点より180m付近、220m付近および240m付近では開口幅の大きいひび割れが密集し、ひび割れが閉合して剥離した状態であった。また、舗装目地はほとんどの箇所が開いており、最大150mmを超える箇所もあった(写真-5参照)。

起点側坑口から240~305m区間(終点側坑口部)は、横断方向のひび割れは少なく、アーチ部や側



写真-3 木沢トンネルの被害状況(側壁部からアーチ部のひび割れ)

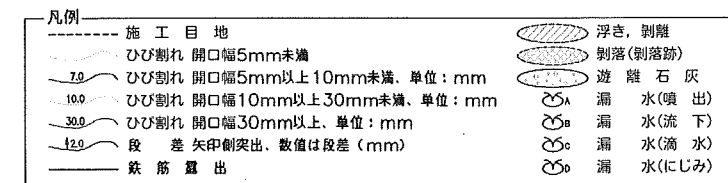
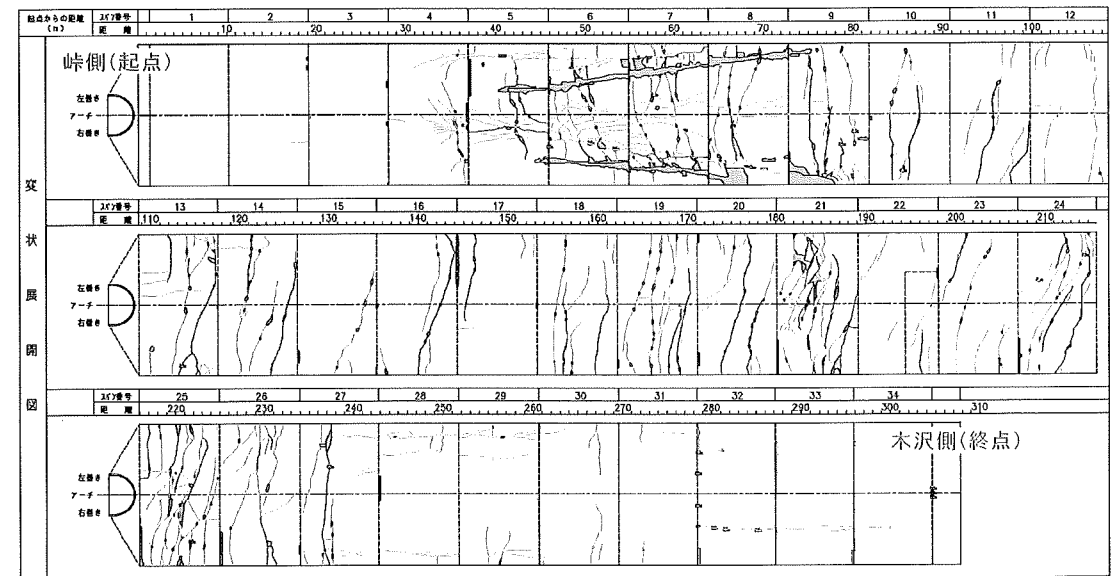


図-6 木沢トンネル変状展開図



写真-4 木沢トンネルの被害状況(横断方向のひび割れ)



写真-5 木沢トンネルの被害状況(舗装版のひび割れ)

壁部に縦断方向の連続したひび割れが発生した。舗装目地の開口も認められるが一部の箇所を除いて開口幅は比較的小さかった。

4-3 木沢トンネルの復旧方法

起点側坑口から30~80mの大規模ひび割れ区間については、覆工の損傷が激しいことから縫い返しによって覆工背面の状態を確認したうえで、トンネル改築工による対策を行うこととした。また、覆工自体は安定しているが、ひび割れが集中した剥落の危険のある面積の広い箇所には、内面補強工として建築限界を確保でき経済的なセメント系繊維補強材内巻き工を採用し、そのほかの剥落危険箇所には剥落防止対策として、炭素繊維複合板接着工を施工することとした。

5 荒谷トンネルの被害

5-1 荒谷トンネルの概要

荒谷トンネルは、延長292m、全幅7.6mの道路トンネルで、昭和52年に竣工した。施工方法は矢板工法、掘削工法は底設導坑先進掘削工法である。覆工厚はアーチ部600mm、側壁600mmである。トンネルの土かぶりは最大45m程度で両坑口に向かいなだらかに減少して

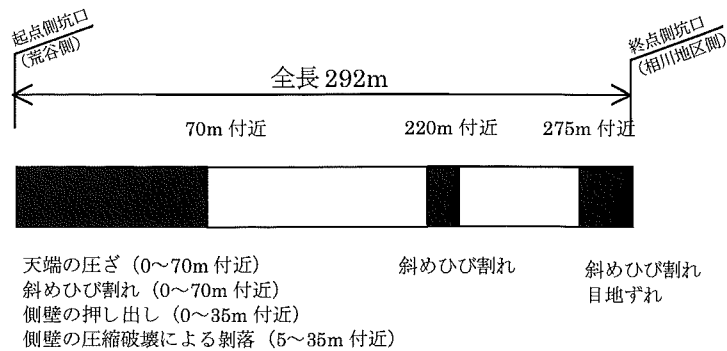


図-7 荒谷トンネルの全体被害状況図

いる。

5-2 荒谷トンネルの被害状況

荒谷トンネルの全体被害状況を図-7に示すが、被害は両坑口付近に集中して発生した。

起点側(荒谷側)坑口から0~70m区間では、アーチ部から側壁部にかけて多数の斜め方向ひび割れ(写真-6)、あるいは天端部に圧ざと思われる剥落が発生した(図-8、写真-7参照)。また、側壁部の押し出しあるいは側壁部とアーチ部の水平打ち継ぎ目付近における圧縮破壊によるコンクリートの剥落が発生(図-8、写真-7参照)したほか、横断目地部においても水平横方向に段差が確認された。さらに、

舗装面にも複数のひび割れが発生した。

終点側(相川地区側)坑口部では、アーチ部や側壁部に多数の斜め方向や横断方向のひび割れが発生した。また、アーチ部と側壁間の目地部におい

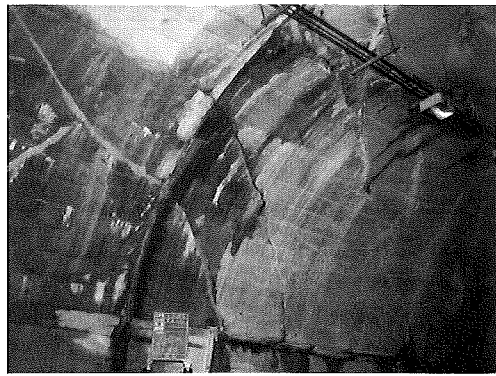


写真-6 荒谷トンネルの被害状況(斜め方向ひび割れ)

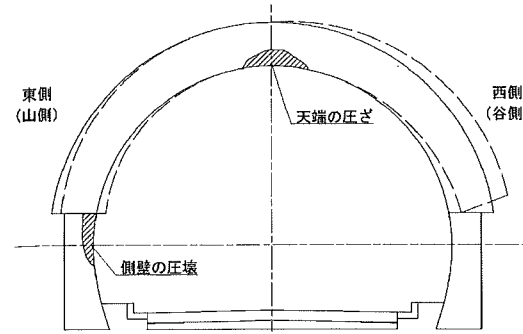


図-8 荒谷トンネル被害状況図(起点側坑口付近)

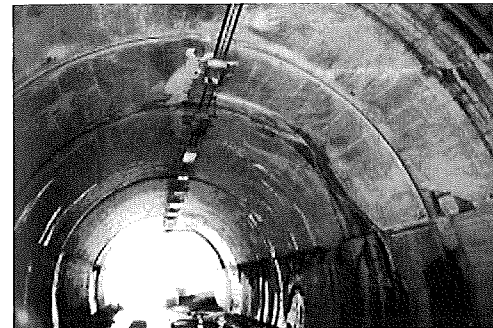


写真-7 荒谷トンネルの被害状況(天端の圧ざ、側壁部の圧壊)

て、水平横方向にずれが発生し、横断目地部においても水平横方向に段差や目地開きが確認された。

なお、中間部では坑口部より被害が少ないものの、アーチ部から側壁部にかけて斜め方向ひび割れなどが発生した。

5-3 荒谷トンネルの復旧方法

荒谷トンネルの復旧工法は、ひび割れ補修工、断面修復工、コンクリート剥落防止対策工(内面補強工)の3種類の中でコンクリート剥落防止対策工(内面補強工)が中心的な役割を受け持ち、ひび割れ補修工、断面修復工はコンクリート剥落防止対策工(内面補強工)を施工する前処理工と位置づけた。コンクリート剥落防止対策工(内面補強工)としては炭素繊維複合板接着工を施工することとした。

6 羽黒トンネルの被害

6-1 羽黒トンネルの概要

羽黒トンネルは、延長506m、全

幅5.5mの道路トンネルで、昭和42年に竣工した。施工方法は矢板工法、掘削工法は側壁導坑先進工法である。覆工構造は巻き厚450mmで逆巻き工法により築造された。地質は、施工時の記録によれば準硬岩程度の頁岩となっているがその後の調査で風化泥岩の存在が確認されており、トンネルの土かぶりは最大で100m程度である。

6-2 羽黒トンネルの被害状況

羽黒トンネルの全体被害状況を図-9に示すが、被害は両坑口付近に集中して発生した。起点側(西側)坑口部では、トンネル南側の斜面崩壊に伴い坑門工にひび割れや目開き、段差などの大規模な変状が発生した。また、天端部に幅1.5m程度の連続した圧ざが発生、アーチ肩部や側壁目地部では長さ十数mに及ぶ縦断方向のひび割れが発生し、コンクリート片の剥落がいたるところで発生した。中間部では、坑口部より被害は少ないものの、アーチ肩部に長さ数m程度の縦断方向のひび割れが発生し、側壁部では目地モルタルのはらみ出しや剥落が発生した。さらに舗装版においてもひび割れや目開きが確認され、連続的に50~100mm程度隆起した(写真-8参照)。終点側(東側)坑口部でも、トンネル背面の斜面崩壊で坑門工にひび割れや目開き、段差などの大規模な変状が発生した。また、アーチ肩部に十数m程度の縦断方向ひび割れが確認され、側壁部では目地モルタルのはらみ出しや剥落が見られた。さらに、舗装版においてもひび割れが密集し、500mm程度の隆起が確認された。

6-3 羽黒トンネルの復旧方法

羽黒トンネルでは、代替ルートがないという地

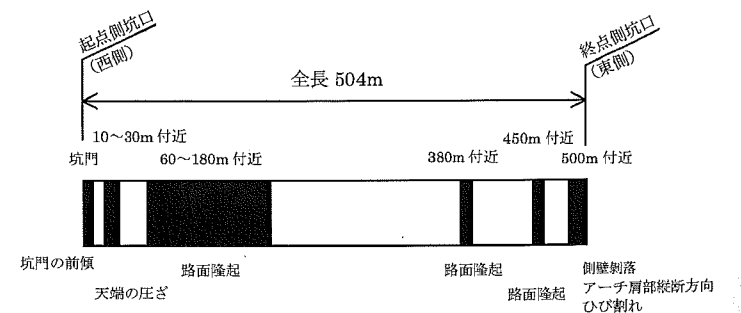


図-9 羽黒トンネルの全体被害状況図

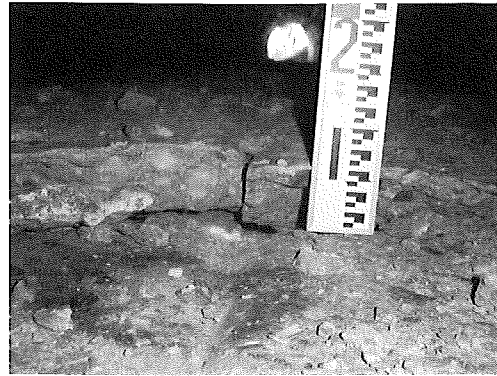


写真-8 羽黒トンネルの被害状況(舗装版の隆起)

理的条件から通行不能期間を最短とするため、既設覆工コンクリートの内側に鋼製支保工を建て込むとともに吹付けコンクリートを施工した。ただし、内空断面が減少し、一車線幅員しか確保できないため、隣接する歩道トンネルを一車線歩道付き断面に拡幅新設することとした。

7 十二平トンネルの被害

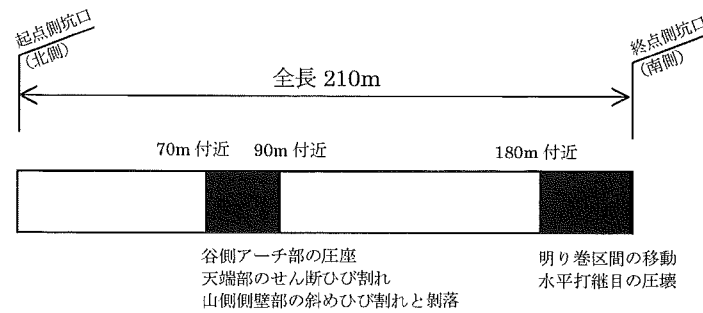
7-1 十二平トンネルの概要

十二平トンネルは、延長210m、全幅8.7mの道路トンネルで昭和61年に竣工した。施工方法は矢板工法、掘削工法は上部半断面先進掘削工法である。覆工厚は600~800mmで、トンネルの最大土かぶりは40m弱程度である。

7-2 十二平トンネルの被害状況

十二平トンネルの全体被害状況を図-10に示す。起点側(北側)坑口部付近は、ほかの区間に比べて変状は少なく、左アーチ部に縦断方向のひび割れが見られる程度であった。

起点側(北側)坑口から70~90mの区間では、著



谷側アーチ部の圧座
天端部のせん断ひび割れ
山側側壁部の斜めひび割れと剝落
明り巻区間の移動
水平打継目の圧壊

図-10 十二平トンネルの全体被害状況図

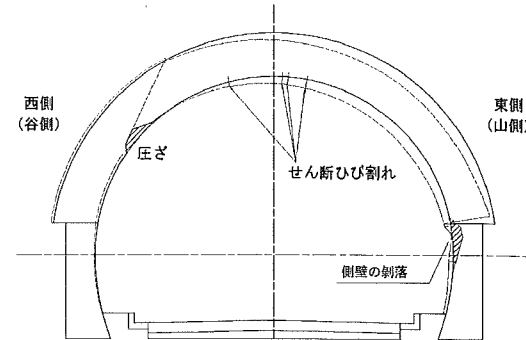


図-11 十二平トンネル被害状況図(起点側坑口から70~90m付近)

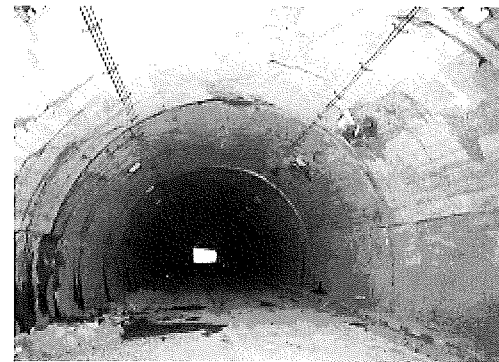


写真-9 十二平トンネルの被害状況(アーチ肩部の圧さ、側壁部の剝落)

しい変状が見られ、谷側のアーチ肩部に縦断方向の圧さが見られるとともに、天端部においてはせん断と思われるひび割れが亀甲状に入っており、山側側壁部には大きな剝落も発生した(図-11、写真-9参照)。

また、舗装版に大きな開口も見られ、山側の車線が約20mにわたり、50mm程度の浮き上がりが発生した。終点側坑口部においては、坑口より約20mの明り巻区間が折れるように谷側に移動す

るとともに、アーチ部と側壁部の水平打ち継ぎ目において圧縮破壊によるコンクリートの剝離が、アーチ部コンクリートあるいは側壁コンクリートに発生した(図-12、写真-10参照)。

7-3 十二平トンネルの復旧方法

当該トンネルの復旧工法は、起点側坑口から60~110m区間ではファイバーポリマーモルタル吹付け工を

8 おわりに

過去の震災事例の調査結果にもとづく分析結果によれば、地震規模が大きく、地震断層面からの距離が近く、地形・地質条件やトンネル構造などに問題がある場合は山岳トンネルも地震の被害を受けることが報告されている。今回の地震により比較的規模の大きな被害を受けたトンネルも、旧地すべり地あるいは断層を通過する場合や、土かぶりが小さく偏圧地形を有する場合など地形・地質的に問題を有する場合が多いことが明らかとなってきている。しかし、発生した被害は、天端部における圧さ、側壁から肩部にかけた縦断方向のひび割れ、横断方向のひび割れ、側壁部の押し出し、側壁部とアーチ部の打ち継ぎ目部付近における圧壊、路面の隆起などトンネルによって異なった形態を示しており、また、同一トンネルでも区間によって被害の有無やその程度に差が見られるなど被害の発生には個々のトンネルの条件が大きく影響しているものと考えられる。

今後は、被害が発生したトンネルの特徴を震源や断層との位置関係、地盤の変形、トンネル周辺の地質・地形、トンネル工法・構造などの観点から整理し、地震によって被害が発生した原因を分析するとともにトンネルの耐震対策について検討を行っていく予定である。

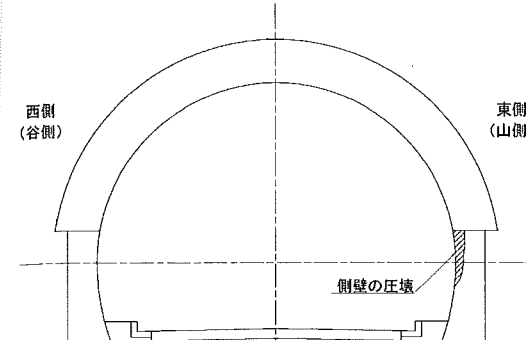


図-12 十二平トンネル被害状況図(終点側坑口付近)

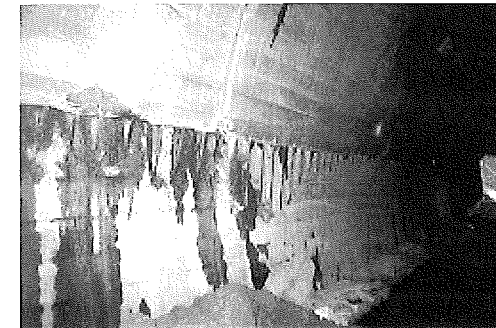


写真-10 十二平トンネルの被害状況(側壁部の圧壊)

施工した後、プレキャスト版内巻き工を施工することとした。それ以外の区間はひび割れ補修工と断面修復工を施工した後、ファイバーポリマーモルタル吹付け工を施工することとした。

明かり巻き区間は上部法面とあわせて対策工法を検討中である。

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては32頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

〒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)

5-2 トンネルの概要

Gotthard ベーストンネルの断面図を図-9, 10に示す。基本的には単線トンネルが2条並列しており、掘削外径は9.4mの円形断面である。一次支保の内側に防水層を設け、最終的には35cmのライニングを施す構造である。

このトンネルは57kmの延長を5工区で施工し、全延長の75%をTBMで、残りは発破工法で計画されている。TBMは掘削延長約86km(43km×2条)に合計6台のマシンが投入される。

工事は1996年に着手し、2015年の完成を目指している。また、建設費用は、当初64億CHF(スイ

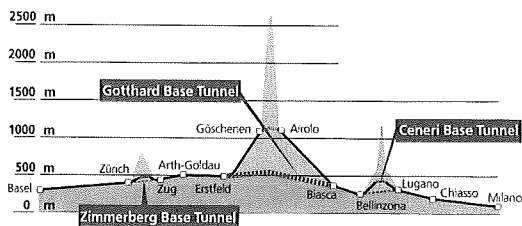
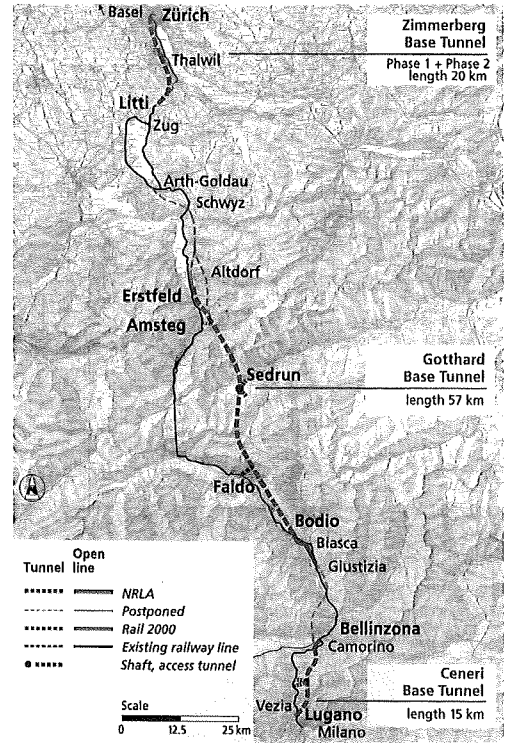


図-8 チューリッヒ〜ミラノの建設計画

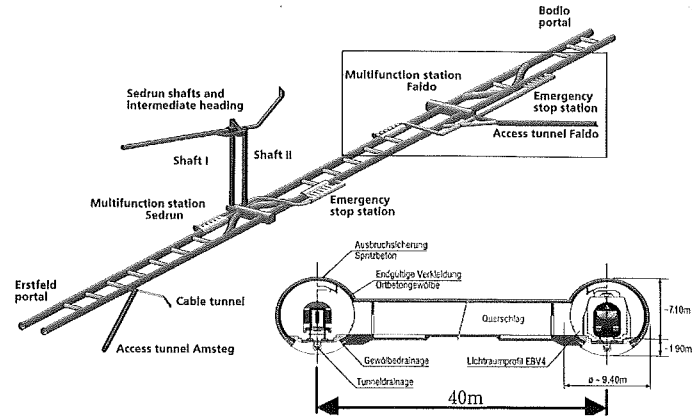


図-9 トンネル全体構造と断面図

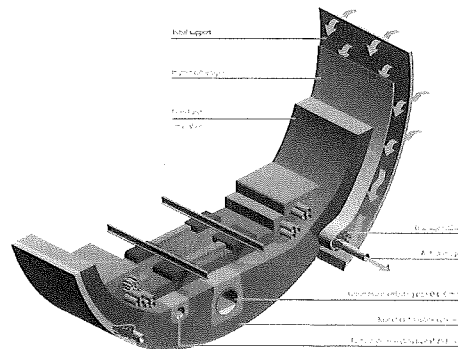


図-10 トンネル完成断面図

スフラン：1 CHF=約88円)であったが、安全と環境に対する設備の充実のための増額で、現在では80億CHFになると想定されている。

特徴的な安全対策としては緊急停車駅の設置がある。このトンネルは、通常はトンネル内換気を行わず、上下線の各々2か所に緊急避難用の停車駅が設置されており、火災時などの緊急時には、この停車駅まで列車を移動させ、この部分を利用し坑内の排気と新鮮な空気を取り入れを一方に制御し、速やかにかつ安全に乗客避難が可能な構造としている(図-11)。

また、Gotthardトンネルにより発生する残土は1,330万m³にのぼるが、このうち、22%は骨材としてトンネルに再利用され、24%は近くのUri湖岸沿いのピオトープのための埋立てに、残りは第三者による再利用へ回され、無駄のない有効利用計画がなされている。

視察時期のGotthardトンネルは、立坑・本坑

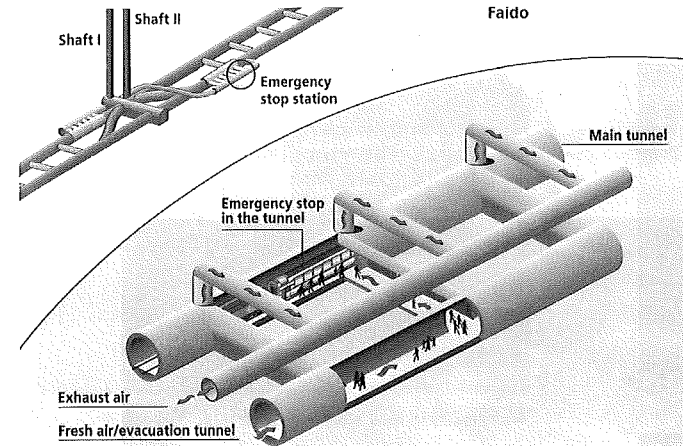


図-11 緊急停止駅と避難システム

など合わせて約69.8kmの掘削が終わっており、工事全体の掘削延長のうち45.5%の掘削が終了している状況であった。本坑掘削においては、現在Amsteg工区とBodio工区で、それぞれ2台のTBMが稼働しており、今後、残り2台のTBMが導入される予定である。

5-3 工事の特徴

今回視察したAmsteg工区は、Gotthardトンネルの北から2番目の工区で11.4kmの延長を持つ。坑口から1.8kmの連絡坑で本坑に到達し、交点部付近を発破工法で施工し、ほかはTBMによる本坑施工である。2003年に南隣のSedrun工区に向け2台のTBMが発進した。施工はMURER社(スイス)とSTRABAG社(オーストリア)の共同企業体が担当し、TBMはHerrenknecht AG社(ドイツ)製である。

視察団は、インフォメーションルームでの説明の後、見学者のための装備(退避時間分の圧縮酸素供給装置とレシーバーは義務付け)を装着し入坑した。1.8kmの連絡坑をバッテリーカーに分乗し本坑との交点付近で下車した。その場所では、

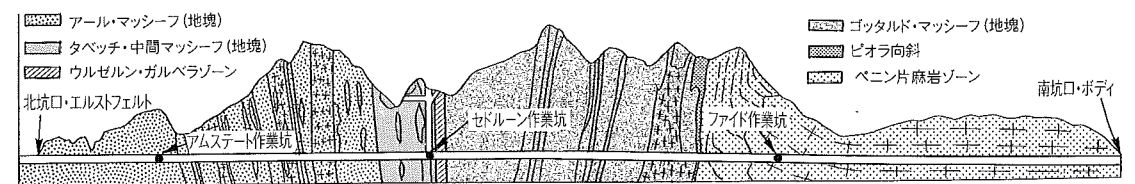


図-12 Gotthardベーストンネル地質縦断面図

日本のトンネル坑口の御神木に相当すると思われる女神像がわれわれを迎えた(写真-11)。

Amsteg工区のTBMは、視察の時点でそれぞれ7.1km(東線)、6.8km(西線)を掘進しており、施工体制は1方8時間の3方体制(2方掘進、1方メンテナンス)で、これまで最大日進は35m、平均日進は21mで順調に施工している状況であった。

今回の視察では、本坑内の状況は見ることができず、主に交点部周辺のクラッシャーやベルコンの乗り換え設備

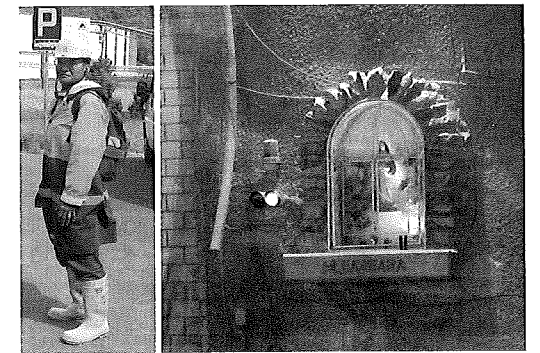


写真-11 入坑装備と女神像

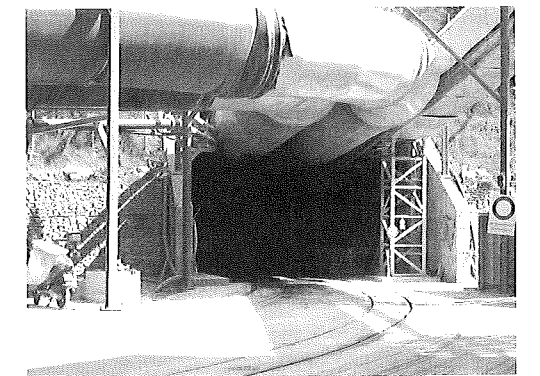


写真-12 Amsteg工区連絡坑坑口



写真-13 本坑交差点部

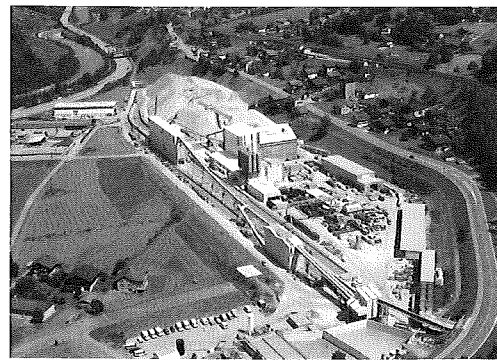


写真-14 Amsteg工区坑外仮設備



写真-15 坑口ヤードでの記念撮影

などのずり処理設備の視察となった。切削ずりは切羽からベルコンで運搬され、今回視察した連絡坑との交差点部で乗り換えられ、大きな岩塊はここでクラッシングされ、ベルコンで坑外まで搬出される。そして、坑外運搬は環境を考慮しダンプは使用せず、列車により運搬している。

TBMの一次支保は、ロックボルト、吹付けコンクリート、鋼支保工を部材として、地山状況に応じて設置しているが、Amsteg工区は、山はね

現象が発生し、部分的に可縮支保工が設置されたということである。

延長が長いことから、坑内温度は高くなりやすく、とくに切羽付近は43℃程度まで上昇するようである。ここでは、坑内の快適な作業を確保するため坑内温度は常に28℃以下にすることとしており、φ2.5m×2条の換気設備を導入し環境を保持していた。坑内の湧水は、0.3t/sec程度と想定しているが、現在の所0.03t/sec程度である。

5-4 その他

坑外設備は広いヤードを使用しているが、よく整備されており、周辺的环境に配慮していることが伺えた。また、従業員宿舎は、全作業従事者(320名)に対し完全個室で、24時間体制の食堂も完備されており、周辺の風景なども手伝い、非常に良い労働環境を提供しているように感じた。

Gotthardトンネルへは、全工区を通じてほぼ毎日見学者が訪れており、既に30万人を越えているそうである。今回説明をしていただいた方は、AlpTransit Gotthard(ATG)の広報担当の方であるが、ほとんど休みなく見学者の対応をしているということであった。

(文責：黒坂聡介・飛島建設(株))

6 ローザンヌ地下鉄(スイス)

5月14日(土)スイスのチューリッヒを離れ、スイス国内をバスに揺られて南下しローザンヌに入った。ローザンヌはレマン湖のほとりの静かな小さな町で国際オリンピック委員会(IOC)本部があることで有名な町である。

ローザンヌでは現在建設中の市内を南北に縦断するローザンヌ地下鉄M2トンネル工事現場を訪れた。残念ながら土曜日であったため現場視察はかなわなかったが、NEW METROインフォメーションセンターにおいてM2プロジェクトのレクチャーを受けることができた。

6-1 プロジェクト概要

ローザンヌ地下鉄M2は、既存の地下鉄、国鉄をつなぐ形でローザンヌ市内を南北に縦断する地下鉄で、レマン湖のほとりのウーシー駅からエバ

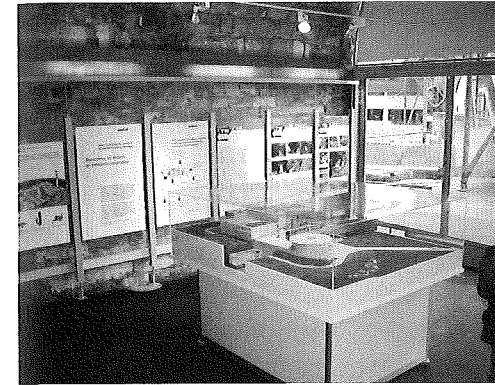


写真-16 インフォメーションセンター

ランジュ駅まで約6km区間、14駅を18分間で完全自動運転する計画である。

ローザンヌは坂の多い町で、M2においても延長6km区間で338mの標高差を持っており、傾斜は最大12%、平均5.7%となっている。このため、パリの地下鉄と同じゴムタイヤ式を採用する。

スイスにはNO₂を37μg/m³以下に抑える規制があり、規制を超えている地区はNO₂量を減らすために鉄道を積極的に建設する政策をとっており、このM2の走るエリアもこれに該当する。

ローザンヌ駅付近には37,000人が勤めており、ラッシュ時には約3,000人が利用することが想定されている。「これは、日本から見ると少なく感じるだろうが、ローザンヌ市から見ると大変な利用者数だ」との説明だった。

M2はコスト削減のためにウーシー駅からフロン駅までは、19世紀末に建設されたフニキュランと呼ばれる鉄道を流用し複線化して使用するが、景観を保つために極力地下化を図り、駅舎も景観を重視したデザインとしている。

また、スイス国鉄ローザンヌ駅部分は、駅の受



図-13 ローザンヌ地下鉄M2路線図

け替えに費用がかさむために既存のフニキュランの駅をそのまま使用し単線で運用する計画である。

工事は2004年に開始され2008年には開通の予定であり、建設費は5億9000万CHFを予定していたが、現在すでに7億2000万CHFに増えているとのことである。

6-2 工事概要

M2工事は、6kmの延長を6工区に分けてスタートした。またトンネルは建設費や利用者の利便性を考え極力浅深度での施工を行っている。

トンネル断面はW9.94m×H6.74m~W11.7m×H7.61mであり、NATMにより掘削されている。

トンネル掘削部の大半は、砂が化石状になっているモラッセと呼ばれる土質で、水が少なく掘削しやすい良好な地盤であるため、ロードヘッダで掘削している。途中には硬質岩も出現しここでは発破工法も採用している。

支保は写真などを見る限り、液体急結剤による吹付けコンクリートとラチスガータ支保工を採用しているようである。ロックボルトは支保工設置部では実施していないように見えるが、支保工なしの区間では数は少ないがランダムに設置されているようである。

本工事において、施工上問題となったのはベシエル橋(写真-17)であった。線形上この橋の下部に橋台を貫通してメトロを通す必要があったが、この橋は100年以上前に作られた非常に古い橋で、掘削に耐えられないため橋台をタイロッドアンカーによる縫地補強後、トンネル掘削時の影響を抑えるためパイプルーフ工法を採用して橋台部の掘削を行った。

また、2005年2月22日にトンネル陥没事故が起

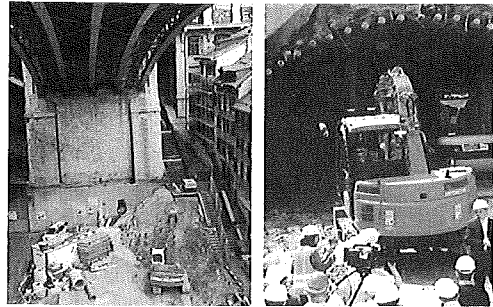


写真-17 ベシエル橋施工状況

きた、これは、トンネル掘進経路上に現れた氷河の堆積した層に水みちがあり、そこより出水し陥没に至った模様だ。「この層は超音波による事前調査で、大量の水の存在を予見してあり、慎重に掘削を進めていたものの少し掘りすぎた」との説明があった。

この事故の復旧には約800m³のグラスサンドが用いられた。グラスサンドとはグラスファイバーとセメントが混合された砂であり、砕いたガラスを原料としたリサイクル品であるため、値段が安くまた圧縮強度が大きいことから採用された。またトンネルの再掘進時には、液体窒素方式の凍結工法を用いて地山の崩壊防止を行った。

6-3 その他

ローザンヌ地下鉄M2工事は、市民が工事を見学できるオープンデイを設けたり、またわれわれが訪れたNEW METROインフォメーションセンターでは事故情報を積極的に展示したり、情報公開がかなり進んでいるという印象をもった。

また、計画時点より環境・景観に大変神経を使っているのが感じられた。他の視察場所でも同様であったが、説明者の口から何度も『環境』という言葉が発せられるのが大変印象に残った。

事故もあったようだが、幸いけが人もなかったようなので、今後の無事故と一日も早い工事の完成を切望する。

(文責：小椋浩・(株)精研)

7 A86道路トンネル(フランス)

われわれ調査団一行は、帰国日となった5月17日(火)、パリ市郊外のベルサイユ宮殿に程近い、



写真-18 実物大のトンネル完成模型

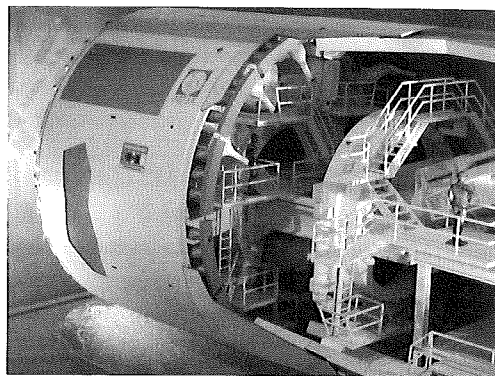


写真-19 シールド模型

環状道路A86西部線パビリオンを訪問した。

このパビリオンは、インフォメーションセンターとして沿道住民を含む一般市民のために開設されているほか、将来の利用者に対する緊急時対応のPRも行っており、現在まで68,000人の来訪者を迎えている。また、3階建て1,200m²の展示室や実物大のトンネル模型など(写真-18, 19)展示施設の規模および内容は、一見の価値あるもので、大変充実していた。

7-1 事業の概要

7-1-1 概要

A86西部線は、パリ郊外を結ぶ全長約80kmの外側環状高速道路A86(図-14(上))最後の未整備区間であり、20年余の長い検討期間を要して1996年に着工したが、環境問題や計画そのものの進め方などについて住民から異議申し立てが起き、契約が一度破棄されたが、1998年工事再開に至った。

現在は、ベルサイユ近郊の公園緑地帯東トンネル10kmおよび西トンネル7.5kmの工事を残すのみとなっており(図-14(下))、部分開業を経て

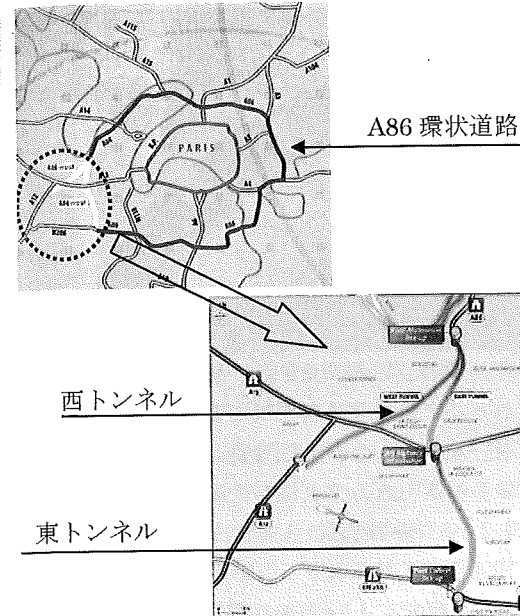


図-14 A86全体図と西部線全体図

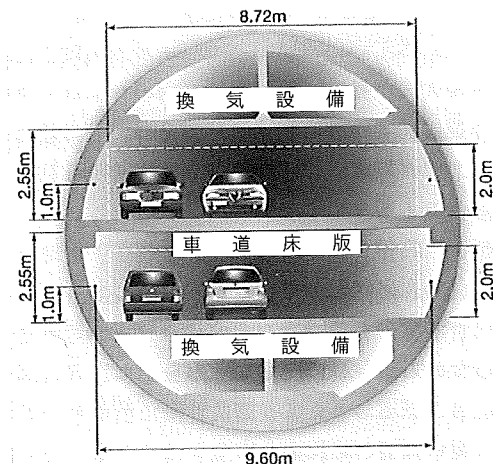


図-15 断面図

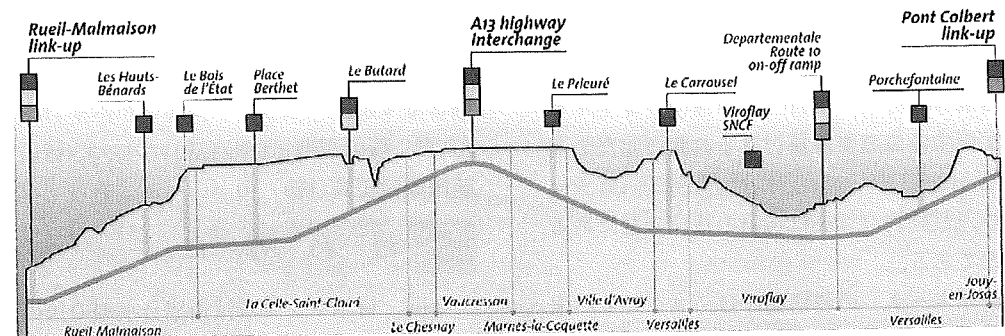


図-16 縦断面図

2009年の完全開通を予定している。

総工費(暫定)17億ユーロ(1ユーロ=約137円)のビッグプロジェクトである。

7-1-2 事業の形態

この事業は、いわゆるPFI事業に近く、フランスでは歴史のあるコンセッション契約により、民間企業であるCOFIROUTE社に資金調達・建設・維持および管理運営が委託された。権利移譲は、70年後となる。

「渋滞のない高速道路」が契約条項に盛り込まれているため交通量で通行料金を変動させるシステムが採用される予定である(ラッシュ時が高額となる)。

7-2 トンネルの仕様

7-2-1 東トンネル(10km)

普通車専用である東トンネルは、内径10.4mで通行車線2車線および緊急車線1車線の上下2階層の構造(図-15)であり、各階の内空高さは2.55mである。車高2.0m以下の車両が通行可能であり、フランス国内の90%の車両をカバーできる。

土かぶりは、13~90mで130mの高低差があり最大勾配は4.5%、ほぼ中間地点でA13とアクセスする(図-16)。

7-2-2 西トンネル(7.5km)

西トンネルは、大型車を含む全車種の通行が可能であり、勾配は1.5%で、A12にアクセスする。その他詳細は、計画中である。

7-2-3 救助用立坑および換気用立坑

各々の通行階層は、独立しており、緊急時の救助用立坑、吸気用立坑および排気用立坑がある。

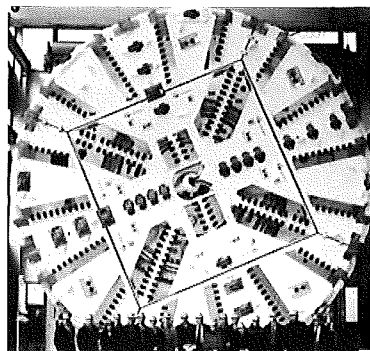


写真-20 シールド

住民の強い要望があることから地上への露出を最小限に抑え美観の維持に努めている。

7-3 施工

7-3-1 シールド

外径11.565mのシールド(写真-20)は、複合地盤に対応するために土圧式と泥水式の両方の機能を備え、容易に切替可能な構造となっている。硬質地盤では土圧式シールド、崩壊性の高い地盤では泥水式シールドで施工している。

泥水式シールドにおける切羽圧の制御は圧縮空気でやっている。土圧式シールドでの施工では、土砂を連続ベルコンで坑外まで搬送している。

7-3-2 覆工

覆工に用いられているセグメントは、外径11.24m、厚さ420mm、幅2.0m、8分割のRCセグメントで、すべてのリングがテーパセグメントとなっている。また、トンネル内には3段の床板が計画されており、最下段についてはプレキャスト床板をトンネルと同時に施工している。

7-4 安全

7-4-1 安全コーディネーター

1993年ヨーロッパでは、工事現場ごとにセキュリティ会社と契約し、セキュリティコーディネーターを配置することが義務付けられた。ただし、責任の範囲は、工事の進め方に対するサジェッションであり、最終的な責任は現場の建設会社にあるとのことである。

コーディネーターの資格要件は、ヨーロッパ未統一であるもののフランスでは、10年間の実務経験と3週間の法律研修後、国家認定組織から認証



写真-21 説明をするコーディネーター

されることとなり、各現場で安全に関するアドバイザー業務を行う。今回視察した現場では、コーディネーターとして女性が従事していた。

7-4-2 トンネル火災

1999年スイスモンブランのトンネル火災事故を受けて2000年にトンネルの安全基準が改定され、従来400mごとに設置されていた避難用出口が2倍の200mごととなったため設計変更となった。

また、本工事においても、シールド掘削中にトンネル火災が発生し、シールド内のマンロック内に作業員19名が9時間待避し、その後無事救出された。それ以来、専用の待避設備が常設されたとのことである。

7-5 その他

今回のA86パビリオンの視察を通して、多くの関係者が労力を費やし、このプロジェクトを立ち上げたことや、計画段階で日本を始め世界各国へ技術者を派遣しトンネル防災計画に活用したこと、また周辺環境への配慮、安全コーディネーターをはじめとする各種安全施策など、その真摯な取り組みに感銘を受けた。また、コンセッション契約など非常に興味深い事柄も多く非常に有意義な視察となった。

(文責：藤原義典・(株)協和エクシオ/野田賢治・前田建設工業(株))

8 おわりに

今回、日本トンネル技術協会主催の技術調査団の一員として、全国各地のトンネル専門家25名とともに、トルコ、スイスそしてフランスの3か国

を12日間にわたり視察した。この間、発注者、コンサルタント、施工業者それぞれの立場を超えた交流を重ねることができ、トンネル技術者として大変有意義な日々を過ごすことができた。とくに今回の開催地がトルコ、そしてヨーロッパでの現場視察ということで、昨年のシンガポールとは違って日本とほぼ似た気候であったため、快適な視察行となった。また、個人的には山岳トンネルの経験が皆無であることもあり、新鮮かつ印象的な日々であった。この貴重な12日間の体験を通して感じたこと、学んだことを以下に列記する。

(1) 世界トンネル会議：世界のトンネル技術者にとって重要な一大イベントであり、威厳と華やかさ、そして活気と参加者の熱意を感じた。また、日本を代表し、国際的なトンネル技術者として活躍されている姿を拝見するとともに、これらの方々と会場以外も含めて交流することができたことは、貴重な経験であった。

(2) ポスボラス海峡横断鉄道トンネル：ヨーロッパとアジアをトンネルで結ぶビックプロジェクトであり、この早期完成に地元の熱い期待を受ける一方、速い潮流のなかでの沈埋トンネル施工など、多くの技術課題を抱える難工事である。この国際的な脚光を浴びる工事を遂行するため、遠く離れた異国の地で頑張っている日本の技術者達に対し、同じ仲間として敬服とあこがれの念を感じた。これを機会に地域住民との交流をさらに深めて、明治期に日本とトルコの友好のために尽くした山田寅次郎に続く、21世紀の日土両国の新たな架け橋となることを期待する。

(3) ゴットルト鉄道トンネル：完成すれば世界最長となるトンネルであり、アルプスの山並みに囲まれた作業基地の素晴らしさと、山岳トンネルのスケールの大きさに感銘をうけるとともに、工事に従事する作業員への配慮、とくに坑内の環境整備や安全確保に対する取り組み姿勢は、われわ

れにとって学ぶべき多くのものがあると感じた。

また、併せて視察したA16道路トンネル工事やローザンヌ地下鉄工事においても共通であったが、各プロジェクトは地球環境への貢献そして建設副産物のリサイクルなど、環境というキーワードのもと、スイスの優れた自然を守ることを最優先課題とし、このコンセプトに沿って多くの事業が計画的かつ積極的に進められており、現地関係者の説明を受けながら、日本における公共投資の現状と対比し、一瞬羨ましさを感じた。

(4) A86道路トンネル：フランスでは高速道路の一部は既に民間会社が運営しており、行政の責任により社会資本整備が進められているスイスとは正反対の事業手法であり、多くのリスクを抱えての工事ということで、関係者の苦労はまた違ったものがあるのではと感じた。とくに、今回視察した現場はパリ郊外部ということもあり、過去に住民の反対運動などもあり、多くの紆余曲折のもと進められており、工事関係者の苦労は日本と相通じるものを感じた。このようななか、この対応として地域住民との交流、情報公開を積極的に進めており、この取り組み姿勢は大変参考となった。とくに、ミニテマパークを彷彿させるパビリオン(展示室)の素晴らしさは、一見の価値があるのではと感じた。

以上、とりとめのないことを羅列したが、トンネル技術者にとって海外の現場を直接体験し見識を広めることは大変有意義であり、今後も多くの方が参加し、わが国のトンネル工事の発展に資することを期待する。

最後に、今回の調査団を企画した日本トンネル技術協会、12日間にわたり不慣れなわれわれをサポートしていただいた日本旅行(株)の担当者と桑原調査団顧問、そして現場視察に対応していただいた現地関係者に心から感謝申し上げます。

(文責：永島茂・東京地下鉄(株))

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

外環道関越～東名高速間の
計画案を発表

国土交通省と東京都は、東京外かく環状道路(外環道)の関越道～東名高速約16kmについての建設計画変更案を発表した。

同計画は、66年に都市計画決定の際、高架構造で計画されたが、沿線住民との協議が難航し、約35年間凍結されていた。今回の計画変更案は、66年に計画決定されたルートの基本とし、大深度地下空間を極力活用し整備する。関越、中央、東名の各高速道路とJCTで接続し、目白通り、青梅街道、東八道路との交差点にICを設ける。事業主体は決まっていなかったが、有料道路方式による施工は、難しいとし、国と地方が建設費を負担する「新直轄方式」との合併施工が有力視されている。

みなと安久トンネル貫通

近畿地方整備局港湾空港部が舞鶴港の多目的国際ターミナル整備の関連事業で建設を進めている舞鶴港臨海道路の「みなと安久トンネル」が貫通した。

同トンネルは、延長1,125m、幅員10.25mの山岳トンネルで、コンテナ輸送車が通過できる十分な幅と高さを確保。掘削はNATMで、補助ベンチ付き全断面掘削工法および上半先進ベンチカット工法を採用。工事にあたっては、港湾空港部初の山岳トンネルであったため、学識経験者や有識者からなる「舞鶴港臨海道路トンネル技術検討委員会」を設立させて体制を整えた。

上向きシールド工法研究会発足

大成建設、五洋建設、石川島播磨重工業、石川島建機工業の4社が共同開発した上向きシールド工法の普

及に向け、工法研究会が発足した。同工法は、既設シールド内から地上に上向きに掘削して立坑を構築する技術。研究会には、4社のほか銭高組、奥村組、フジタ、三井住友建設、戸田建設らが参加。今後、発注者向けの提案活動を強化するとともに、技術・積算資料の作成などを行う。

東幹、雲谷平トンネル貫通

鉄道・運輸機構が建設を進めている東北新幹線・雲谷平トンネル工区の3トンネルが貫通した。

同工区は、雲谷平(650m)、横内(145m)、松森(78m)の3トンネルのほか、構造物が凝縮された珍しい工区。この貫通により、青森市内で施工されたすべてのトンネルが貫通した。

海外進出を後押しする
研究会を立ち上げ

国土交通省は、ゼネコンの海外進出を後押しするための施策に着手。年内にBOT事業の経験があるゼネコンや、海外PPP(官民パートナーシップ)事業のノウハウを持つシンクタンク、金融の専門家、海外建設協会の担当者などで研究会を立ち上げ海外に進出しやすい事業スキームなどを探っていく考え。とくにアジア地域では、インドやインドネシアなどを中心に、経済成長に伴うインフラ整備の拡大や自由貿易協定の締結などで市場環境が整うことが期待され、同省では、こうした地域でゼネコンが事業に取り組みやすくすることで、進出を後押しする方針。

内径3.5mの推進工事

戸田建設は、横浜市環境創造局発注の「西部処理区瀬谷飯田雨水幹線下水道工事」で、内径3.5mの超大口径推進工事でRC推進管を2分割し、

搬入・組み立てた後に推進する組み立て式推進工法を採用。

同推進管は、外径4.08mで道路輸送の高さ制限3.8mをクリアできないため2分割で搬入し現場で組み立てる。組み立てにあたって、継手の耐力や止水性などが懸念されたが、対策を施し、耐水圧試験で0.4MPaという耐水圧性を保有することが確認済み。地上で組み立て45度回転させて立坑に搬入することによって、立坑内で組み立てるのに比べ効率的に施工サイクルを確保。都市トンネルの可能性を広げる施工例として注目したい。

直轄工事の品質確保促進
ガイドライン

国土交通省は、4月に試行された公共工物品質確保促進法と8月に閣議決定した「直轄工事における品質確保促進ガイドライン」をまとめた。

ガイドラインでは、工事を総合評価方式で発注する場合の手順や、入札参加者の技術力の評価方法、中立・公正の審査・評価のあり方、発注者支援の仕組みなどを示している。このほか、品質管理に向けた新たな取り組みとして、設計・施工一括発注方式やGM技術活用方式の事例を示すとともに、建設コンサルタントとゼネコンで構成する異業種JVを今後、早急に検討すべき課題として挙げた。

道路関係4公団の民営化で
新会社発足

道路関係4公団の民営化に伴い、日本道路公団が3分割され、新たに東日本、中日本、西日本、首都、阪神、本州四国の各高速道路会社の6つの特殊会社と高速道路資産を保有する独立行政法人日本高速道路保有・債務返済機構が10月1日発足した。

連載講座

山岳トンネルにおける工事中用機械の選定(25)

立坑

「山岳トンネルにおける工事中用機械の選定」連載講座小委員会

1. 概要

立坑の施工にあたっては、水平トンネルと違い、諸々の運搬作業に巻き上げ装置を使用するなど、特殊な機械を使って施工するので、とくに安全管理に留意するとともに、地質については十分に検討し、突発湧水など、非常事態対応可能な諸設備の規模、配置などを詳細に検討することで、安全性、施工性に十分配慮した計画を立てることが重要である。

2. 立坑の設計

立坑には、その用途により長大トンネルの作業坑、地下発電所の調圧水槽・道路トンネルの換気立坑などがある。

2-1 換気立坑

換気立坑の場合は必要な通気量を十分満足する大きさが必要であり、運搬を目的とする立坑の場合は、所要の運搬量を確保するためのマンケージ、スキップを安全に昇降させることができる断面とする。

2-2 作業立坑

作業立坑の場合は、ずり出し設備、揚水管、換気管、給気管、各種配線類、および搬入資機材の寸法を考慮して決定する。搬入資機材の主なもの、シャフトジャンボ、ずり積み込み機、支保工、コンクリートなどである。とくに、立坑と横坑取り付け部の形状・寸法は、機械類の搬入やレールや配管などの長尺物の搬入によって構造と併せて十分な配慮が必要となる。作業坑の場合最小内径は6.0m以上が一般的である。

3. 立坑の施工と特徴

立坑の掘削工法は、地質、湧水の多少などによって異なるが、ほとんどが全断面掘削であり、掘削と覆工との作業時期の組み合わせにより、次の施工方式に大別される。

3-1 交互方式(ロングステップ方式)

地質に応じて、20~30mを1回の施工ブロックとして、掘削と覆工を交互に行う方式である。

3-2 同時方式(ショートステップ方式)

削孔、発破、ずり出しの後、ただちに掘削した部分の覆工を行う方式である。この場合の1ステップの長さは地山の自立状況により、1.2~3.0m程度に定められることが多い。一般には1.2~1.5mの掘削を2サイクル実施し、覆工を2.4~3.0mのスペンで打設する例が多い。この方式は、掘削と覆工が短時間に行われ、土圧に対しても安全であり、掘削能力が良く現在もっとも多く採用されている。同時方式は交互方式と比較して次のような利点がある。

- (1) 特殊な場合を除いて、支保工が不要であり、コンクリートと岩盤が密着する。
- (2) 上部から逐次覆工をするので地山崩落に対して安全性が高い。
- (3) 高所での作業が比較的少ない。
- (4) 掘削と覆工を1サイクルとして施工が流れるので作業員が工程に馴れやすい。
- (5) ショートステップでコンクリートを打設するので、湧水処理がやりやすい。
- (6) 作業が簡素化しており経済的である。

3-3 併行方式

良好な岩盤の場合には、ある深さまで掘削後、スカフォードを足場として、上部では覆工作業、下部では掘削を進めるという掘削と覆工を並列作業とする方式である。しかし、この方式は、設備が大規模となるばかりでなく、上下作業になるので安全確保に工夫が必要であり、施工事例は少ない。

4. 掘削

立坑の掘削方式にはトンネル作業坑のように地表から掘り下げる場合と、換気立坑、調圧水槽のように立坑底部に横坑が連絡し、これを利用して底部から切り上げる場合の2通りがある。

4-1 立坑掘り下げ方式

掘削は巻き上げ機を用いて行われる。巻き上げ機は立

坑および本坑施工時の設備を考慮して選択する必要がある。立坑の特殊な機械には、立坑内の作業吊り足場となるスカフォード、ずり、またはコンクリートを運搬するキブル、ずり積み機のグライファなどがある。

削孔は通常レッグハンマを使用するが、立坑直径が大きい場合にはシャフトジャンボを用いる(写真-1)。削孔は下向きになるため、くり粉の排出にエアと削孔水を混合する方法を取り、また土砂の流入を防ぐために木栓、ウエスなどでパッキングする必要がある。

ずり出しはスカフォードから吊り下げたグライファ、あるいはシャベルにより積み込み、坑外へ巻き上げる。通常、ずりキブルは2個用意し、ずり搬出時間の短縮を図る(図-1)。

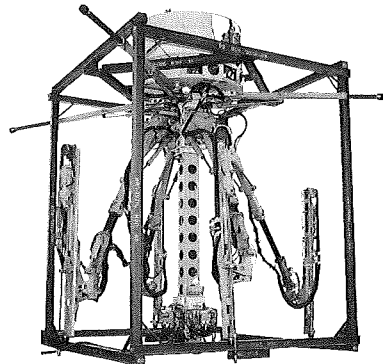


写真-1 シャフトジャンボ

4-2 導坑先進幅方式

導坑掘削のための切り上がり方法は、アリマックを使用するか、大口径ボーリング機械のビッグマンなどを使用する。海外の鉱山でアリマックは数多く使用されてい

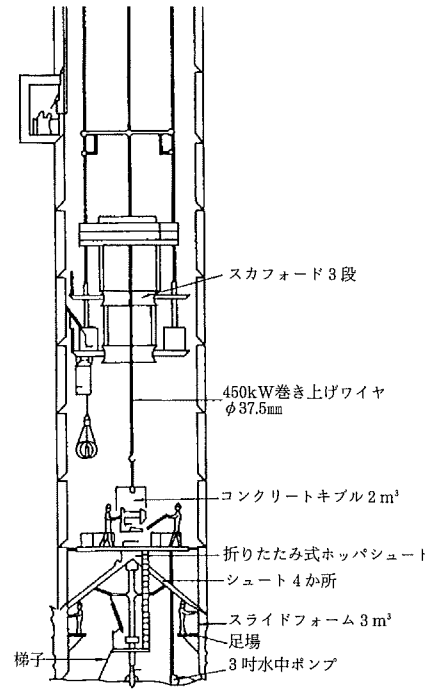


図-2 覆工作業概要図

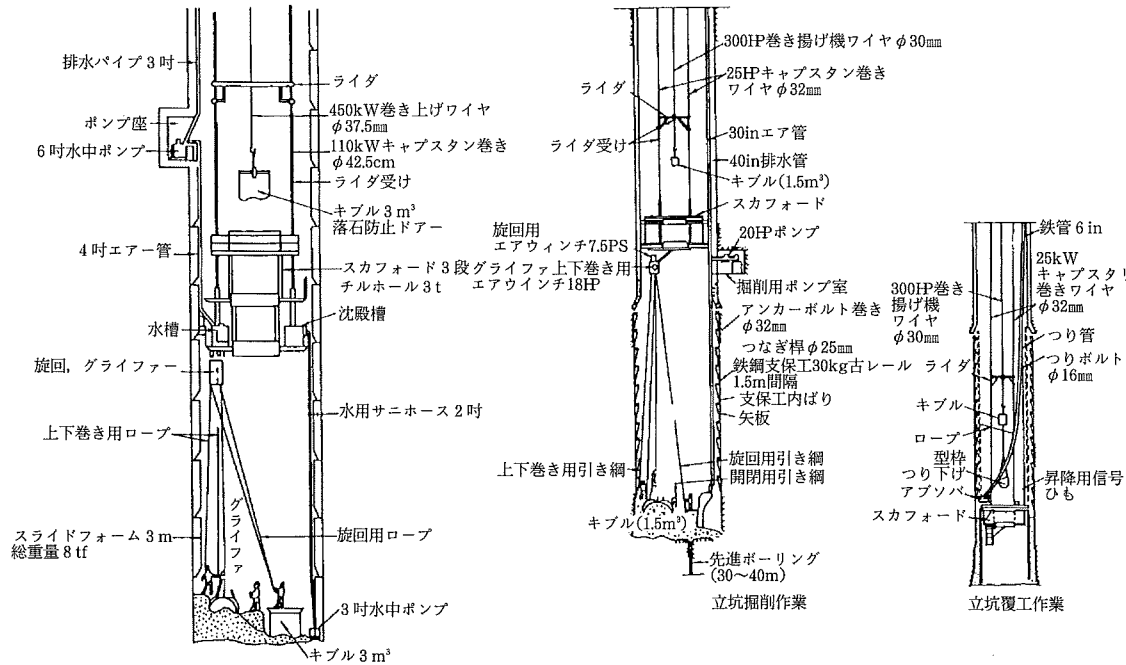


図-1 立坑スカフォード(同時方式・交互方式)

表-1 立坑設備実績

用途	立坑名称	北陸本線	青函トンネル	山陽トンネル	山陰本線		中部電力	
					小倉山立坑	100万kW	50万kW	
掘削	板取立坑	230.2	188.5	199.3	371.6	295.0	312.9	219.0
掘削	積み込み	6.0	7.5	7.5	6.0	6.0	6.0	8.0
掘削	搬出	0.4	1.0	1.0	0.8	0.8	0.8	0.3
掘削	打設方法	30m間隔	40m間隔	30m間隔	30m間隔	30m間隔	30m間隔	50m間隔
掘削	型種	30kgレール	30kgレール	30kgレール	30kgレール	30kgレール	30kgレール	30kgレール
掘削	打設設備	パニア方式	パニア方式	パニア方式	パニア方式	パニア方式	パニア方式	パニア方式
掘削	型式・電動機	225kW	450kW	450kW	350kW	400kW	450kW	350kW
掘削	型式・電動機	18.8kW	30kW	30kW	30kW	110kW	30kW	30kW
掘削	電動機	350	350	350	350	350	350	350
掘削	巻上げ速度(m/min)	300	300	210	210	210	210	210
掘削	ロープ径(mm)	36	36	36	36	36	36	34
掘削	型式	3.5m ³ ・底開式	3.5m ³ ・横転式	3.5m ³ ・横転式	3.5m ³ ・横転式	3.5m ³ ・横転式	3.5m ³ ・横転式	3.5m ³ ・横転式
掘削	自重(tf)	2.5	無	無	6.0	4.0	6.0	4.0
掘削	ずり重量(tf)	5.1	無	無	7.2	6.3	7.5	6.3
掘削	ロープ重量(tf)	1.6	無	無	1.8	3.9	3.9	3.2
掘削	型式	225	450	350	450	450	450	350
掘削	電動機	150	200	180	150	150	150	50
掘削	巻上げ速度(m/min)	30	52	60	52	50	47.5	22
掘削	ロープ径(mm)	2.5	7.8	9.6	5.5	2.1	11.1	0.72
掘削	自重(tf)	2	6	11.8	8	0.7	14.9	0.5
掘削	ロープ重量(tf)	1.2	2.08	3	4.1	3.2	1.9	1.7

るが日本では近年ほとんど採用されなくなった。ボーリング機械によるパイロットダウン、リーミングアップ方式は、導坑掘削が完了したのち、導坑または、パイロット坑をずり処理に利用し、これを立坑の全口径まで拡幅する。この方式は大口径立坑の掘削では一般的であり、発電所の調圧水槽などの立坑に多く採用されている。

5. 覆工

覆工は、2~3mのスライドフォームを使用するのが一般的である。コンクリートはキブルでスカフォード、あるいは坑底に設置されたコンクリート打設足場上まで運搬し、シュートかパイプにより投入する。また、同時方式の場合は、コンクリート打設完了後短時間で次の掘削に入り発破が行われるので、コンクリートの早期強度を必要とするため、早強ポルトランドセメントを380kg/m³程度の配合ケースが多い。

6. 立坑設備実績

表-1に主な立坑工事の立坑設備実績をまとめた。
(文責：篠原慶二・前田建設工業(株))

参考文献

1) 最新トンネル工法・機材便覧平成5年度版。

7. 立坑施工事例：ショートステップ工法
(箕面有料道路山岳トンネル築造工事(北工区))

7-1 工事概要

箕面有料道路山岳トンネルは、国道423号のバイパス道路の一環として箕面市坊島から下止々呂美まで建設される延長5,623mのトンネルである。このうち北工区では、延長3,298mの本坑工事のほかに、避難坑、地下換気所、換気立坑の施工を行った。表-2に換気立坑の工事概要を、表-3に構造諸元を、図-3に立坑一般図を示す。

7-2 地質概要

地質は丹波層群の砂岩が主体となっているが、部分的に頁岩が挟在している。破砕帯はGL-125m付近およびGL-225m付近の2か所である。地下水位は、調査ボーリング実施時にはGL-142mであった。この調査ボーリングは、立坑中心付近を地表から立坑下部につながる横坑まで削孔されているため、立坑施工に先立ち横坑部を掘削し、水抜き孔として利用した。したがって立坑掘削時には、地下水位はGL-220m付近まで低下していた。

7-3 ショートステップ工法選定の経緯

7-3-1 施工方法の比較検討

換気立坑の施工方法として、掘り上がり工法であるクライマー工法とレイズボラ工法を、掘り下がり工法で

表-2 換気立坑概要

工事名	箕面有料道路山岳トンネル築造工事(北工区)
発注者	大阪府道路公社
工事場所	大阪府箕面市下止々呂美
工期	平成10年10月16日~平成17年3月31日 (このうち立坑施工期間は23か月)
掘削工法	ショートステップ工法
立坑深さ	331.4m
仕上がり径	5.6m(掘削径6.2~6.8m)
掘削断面積	33.2~43.0m ²
掘削土量	10,559m ³
コンクリート量	2,326m ³

表-3 構造諸元

工法	支保ターン	鋼製支保工	1掘進長(m)	覆工厚(cm)	掘削断面積(m ²)	
坑口部	開削工法	-	-	70 (RC)	-	
上部工	ショートステップ工法	D	H-125	1.2	40	32.2
		D	H-125	1.2	40	32.2
		D'	H-125	1.5	40	32.2
		C'	-	1.5	30	30.2
下部および連結部	NATM	C	H-125	1.2	10 (吹付け) 60 (RC)	36.3

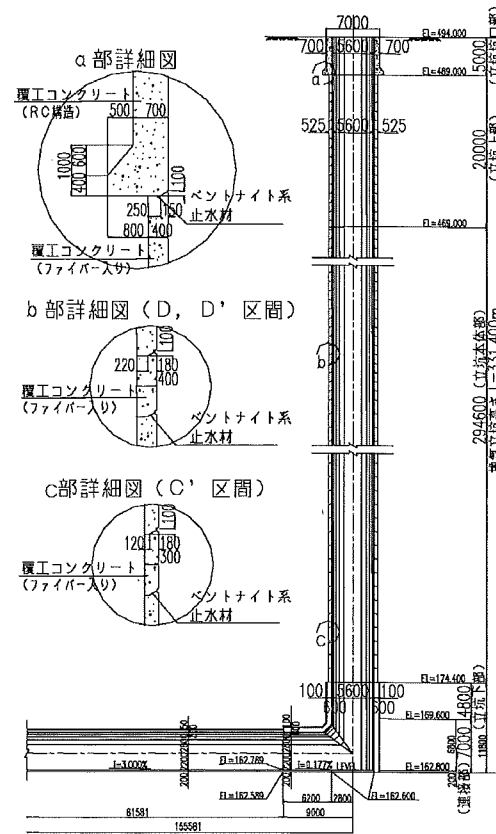


図-3 立坑一般図

表-4 立坑施工方法比較表

工法概要	全断面爆破掘り上がり工法 クライマー工法	機械掘削工法 レイズボラ工法	全断面爆破掘り下がり工法(ショートステップ工法)		
			在来工法	NATM	
地質	硬岩用立坑工法で下部坑よりガイドレールに沿って上下する作業足場(アリアッククライマー)を使用し、上向き穿孔発破掘削を行い、ずりを導坑内に落下させ下部坑より搬出させる。	砂岩が基板であるが風化部では坑壁の崩落の危険性が高い	同左。また、孔壁が詰まる同一作業のやり直しとなる	地質の変化に対応させやすい	破砕部ではロックボルト、吹付けコンクリートの施工性が悪い
湧水	同左	同左	湧水が多い場合は、止水工法およびポンプアップ設備が必要となる	湧水に対する吹付けコンクリートの施工性に問題がある	
施工性	軟弱地質部ではエキスパンションボルトの効果が少ない危険性が高い	軟弱地盤での孔壁崩落および詰まりが発生しやすいと懸念されるが、鋼管を設置するなどの補助工法を併用すればよい	同左	NATMと比べると掘削ずりが増えるが大差ではない	一次支保の保守点検や計測など、在来工法と比較して手間を要する
安全性	同左	同左	地上で作業できる分、クライマー工法に比べれば安全性は高い	早期覆工コンクリート打設できることから安全性はもっとも高い	スカフォード固定時に吹付けコンクリートが剝離し、落下する恐れがある
工 程	本坑掘削が換気立坑まで到達しないと施工できない	同左	同左	本坑の工程に関係なく施工が可能のため、全体工程が短縮できる	同左。ただし、在来工法と比べ計測工の時間を要する
経済性	1.2	1.2	1.0	1.1	1.1
総合評価	本坑掘削が換気立坑まで到達しないと施工できない	同左	同左	安全性が高い分他案より優れる	安全性、施工性で在来工法より劣る
適 否	適さない	適さない	もっとも適する	適する	適する

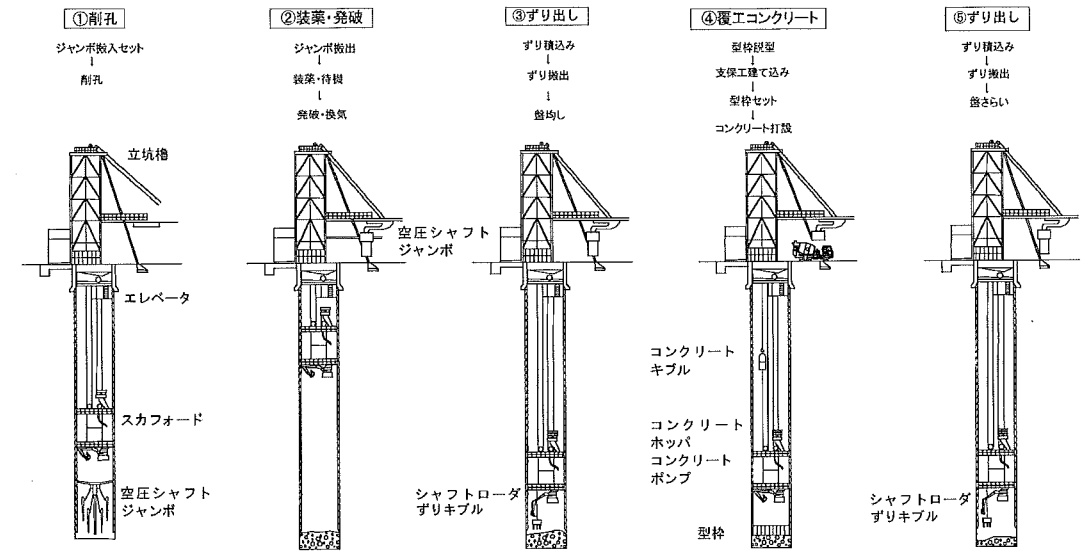


図-4 施工手順

あるショートステップ工法(在来工法)とショートステップ工法(NATM)の4案の比較検討を行った。比較表を表-4に示す。

検討の結果、クライマー工法、レイズボラ工法では、自然落下したずりを立坑底部から搬出するためには、本坑の掘削が完了し、横坑と立坑底部が接続されていなければ工事が遅延するため適当ではないと判断した。さらに、ショートステップ工法のNATMでは、在来工法の

一次覆工と比べて、スカフォード固定時に吹付けコンクリートの剝離落下の危険性が高く、支保部材の信頼性に問題があるため、在来工法を採用することにした。

7-3-2 施工方法

橋設備を設置してからの施工区間である本体部は、1掘削長1.2mあるいは1.5mのショートステップ工法で施工した。ただし、本工事では、コスト削減のため二次覆工を省略して施工した。施工手順を図-4に示す。

(1) 削孔

削孔は、5ブームシャフトジャンボを吊り降ろし、スカフォードと主巻きのロープに吊り下げた状態で削孔する揺れを防止するため、振れ止めを張り出す。

(2) 装薬・発破

削孔終了とともにシャフトジャンボを搬出し、スカフォードにて装薬し、発破時には、スカフォードを切羽から30m以上昇らせて退避する。また、切羽面に防爆マットなどを敷き、発破ずりが覆工面にあたり損傷することを防止する。

(3) ずり出し

ずりは、スカフォードに懸垂されているシャフトローダでずりキブルに積み込む。ずり搬出は、移動式型枠の設置が可能となる深さまで行う。

(4) 覆工コンクリート

前回ブロックの型枠を脱型し、支保工建て込みの準備をする。その後、支保パターンDおよびD'については、鋼製支保工(H-125を円周方向に4分割)を人力にて建て込む。一つ前の鋼製支保工に取り付けられているつなぎ材に次のつなぎ材を引っ掛けて設置し、肌落ち防止用に土留め木矢板を取り付け、キャンパーで固定する。

次に、8台のウィンチで移動式型枠の高さを調整する。それから、下げ振りあるいはレーザーを用いて中心を出し、移動式型枠の中心を合わせる。このとき、打設時の重量による低下と、圧送の偏圧が作用して傾くことを考慮して設置する必要がある。その後、型枠下部には矢板を取り付け、枕木やキャンパーを用いて打設時に型枠が移動しないようしっかり固定する。

コンクリートの打設は、本坑のバッチャプラントからトラックミキサ車で運搬し、立坑作業ヤードにおいて、繊維補強材と硬化促進剤をトラックミキサ車に投入し、十分攪拌する。そして、坑口に設置したムカデコンベヤを用いてコンクリートキブルに積み込み、スカフォード上まで

表-5 掘削および覆工設備仕様

1. 掘削設備	
・シャフトジャンボ	空圧式5ブーム ビット径 36mm 総重量 7,800kg
・シャフトローダ(スカフォード懸垂)	バケット 0.25m ³ 本体 0.30m ³
2. コンクリート設備	
・コンクリートポンプ(スカフォード搭載)	吐出量 25m ³ /hr 電動機 30kW
・ムカデコンベヤ	総重量 1,000kgf 能力 25m ³ /hr チェーン速度 35m/min
・スチールフォーム	
・電動チェーンブロック	定格荷重 5tf (揚程 6m)×4台
3. 荷役設備	
・ジブクレーン	吊り上げ荷重 2.8tf 揚程 8m
・巻き上げ用発電機	3.0kW×4P
・横行用発電機	0.4kW×4P
・坑口台車	積載荷重 8tf 2.2kW

で降ろし、ホッパに投入する。ホッパからはスカフォード下部に設置しているコンクリートポンプに落とし打設した。

(5) 残ずりだし

コンクリート打設が終わると、次のブロックの削孔面

表-6 橋設備仕様

1. 橋	
・H型 高さ 24m	重量 150tf
2. キブル巻き上げ機	
・牽引力	11,337kgf (平均)
・ロープ速度	183m/min (平均)
・電動機出力	400kW×6P 1,150rpm
・ワイヤーロープ	φ32mm(モノロープSP 合成繊維心入り)1本
3. スカフォード巻き上げ機	
・電動機出力	30kW×10P 687rpm
・ロープ速度	7.92m/min (平均)
・スカフォード巻き上げ速度	1.98m/min (平均)
・牽引力	19,694kgf (平均)
・ワイヤーロープ	φ30mm(ファイラー型26本6より 鋼心入り)2本
4. 人荷車巻き上げ機	
・電動機	45kW×6P 1,160rpm
・牽引力	3,416kgf (平均)
・ロープ速度	68.5m/min (平均)
・ワイヤーロープ	φ24mm(電らん入りウォーリントンシール形36本8より)1本
5. 人車ガイド巻き上げ機	
・電動機	7.5kW×4P 1,800rpm
・牽引力	2,000kgf (平均)
・ロープ速度	18.62m/min (平均)
・ワイヤーロープ	φ14mm 1本
6. キブル	
・ずりキブル	2.5m ³
・コンクリートキブル	2.0m ³
7. スカフォード	
・4点吊り	2床式
・自重	17tf
・総重量	38tf
8. 人専用エレベータ	
・積載量	定員3名 400kgf
・自重	560kgf
9. 坑口設備	
・坑口ドア	ホールディングタイプ エアシリンダー駆動
・測量座張	ウインチによるセンターの位置出し

表-7 坑外設備仕様

1. 給気設備	
・電動コンプレッサ	: 75kW, 12.3m ³ /min×3台
	37kW, 6.1m ³ /min×1台
・エンジンコンプレッサ	: 100HP, 11.0m ³ /min×1台
	200HP, 18.5m ³ /min×1台
2. 換気設備	
・送風機	: 風管径 600mm, 風量 400m ³ /min 15kW×2, 全風圧 300mmAq
・集塵機	: 37kW, 500m ³ /min
3. 給水設備	
・散水車	: 4tf
・水槽	: 20m ³ ×2
・水中ポンプ	: 11kW 100A
4. 濁水処理設備	
・濁水処理設備	: 12.5kW 30m ³ /hr
・フィルタープレス	: 15.9kW 380L
5. 坑外運搬設備ほか	
・トラックミキサ車	: 12tf(4.5m ³)3台(生コン運搬)
・油圧ショベル	: 0.45m ³ (ずり積み込み)
・ユニック車	: 積載4tf 2.9tf吊り(場内小運搬)
・高所作業車	: 垂直6m(クローラ)(ジャンボ整備など)
6. 電気設備	
・受電電圧	6,600V
・総変圧器容量	1,300kVA
・総負設備容量	1,050kW
・フリッカー抑制装置	900kVA (アクティブフィルター方式)
・避雷針設備	

までずりを出す。

7-3-3 施工機械の仕様

立坑本体部および下部で使用した設備を、表-5~7に示す。バッチャプラントは立坑作業ヤードには設置せず、本坑設備と兼用した。

通信設備については、操作室とスカフォードにインターホンを設置し、また、本坑にあるバッチャプラントや火薬取扱所とはNTTの音声専用回線で接続した。

安全設備として操作室とJV事務所に、坑内、坑口および主巻きウィンチを監視できるようモニタを設置した。

また、停電など電気トラブルが発生した場合、キブルやエレベータが使用できなくなる。そこで、非常用設備として発電機とウィンチを一式備えた。

7-4 施工実績

二次覆工を施工する通常工法の当初計画工程は26.5か月であったが、換気立坑の機能を維持しながら、断面形状、コンクリート配合、打ち継ぎ目の止水構造などを改良して二次覆工を省略した結果、実施工では23.0か月となり、3.5か月の工期短縮となった。また、純工事費(直接工事費+共通仮設費)についても、一次覆工の高品質化により増額があったが、二次覆工の工事費は削減されたため、全体で17%のコスト縮減となった。

(文責: 近藤啓二・鹿島建設(株))

8. 大断面立坑施工事例: 神流川発電所水槽立坑

8-1 工事概要

東京電力神流川発電所は、長野県南相木村を流れる信濃川水系に上部ダムを、群馬県上野村を流れる利根川水系に下部ダムを建設し、有効落差653mを利用した最大出力282万kWの純揚水式発電所である。この2県を貫く導水路トンネル最下流部の分岐管上部に制水口型の調圧水槽となる立坑が設置されている。建設地点の地質は秩父帯南帯の中古生層であり、泥質岩を主体とする基質に大小さまざまな岩塊が海底地滑りにより混入した混在岩である。立坑に分布する地質は凝灰岩、玄武岩を主体とし、新鮮部は割れ目の少ない硬質な岩盤である。表-8に水槽立坑工事概要を、図-5に水槽立坑構造図を示す。

8-2 施工フロー

図-6に水槽立坑工事施工フローを示す。

8-3 導坑掘削・仮巻き部工事

水槽立坑の下部は、1、2号と3、4号水圧管路の分岐管部となっており、立坑掘削時のずり投下かつ積み込みヤードと

なる。この分岐管部掘削と並行して、標高1,600mの尾根部からの水槽明かり掘削(ヤード造成)を施工した後、平成12年7月より導坑掘削工事を開始した。掘削は大口径ボーリング掘削機(BM-150A)により水槽明かりヤード(EL.1,563.0m)からのパイロット掘削(φ250mm)後、分岐管部にてビットを交換し、上方に向かってリーミング掘削(φ1,450mm)を行った。その後、孔壁保護のための鋼管(φ1,300mm, t=9mm)を挿入している。

導坑掘削工事完了後、切り抜け掘削時における坑口部の不均等荷重に対応するため、明かりヤードから3.0m下がりまでの仮巻きコンクリートを施工した。これと同時に、主要仮設備の基礎工も施工している。

8-4 主要仮設備

図-7に切り抜け掘削時の主要仮設備となるスカフォード設備概要図、写真-2に立坑内の状況(ゴンドラ部)を示す。

表-8 水槽立坑工事概要

工事名	神流川発電所新設工事(I期)のうち土木工事(導水路工区)	
発注者	東京電力(株)	
工事場所	群馬県多野郡上野村~長野県南佐久郡南相木村地先間	
施工者	熊谷組・大日本土木共同企業体	
工期	平成9年3月18日~平成17年12月20日	
水槽立坑施工期間	平成12年7月~平成16年5月 (導坑掘削~スカフォード設備解体)	
掘削断面	320m ² 掘削内径19.6m(支保仕上がり)	
覆工厚	1.3m 仕上がり内径17.0m	
深度	101.4m	
掘削方法	導坑先進掘削(NATM)・分割発破工法	
覆工方法	スリップフォーム連続打設工法	
主要仮設	テルハ(定格荷重21.38tf)	スカフォード設備 エレベータ(最大定員6人)

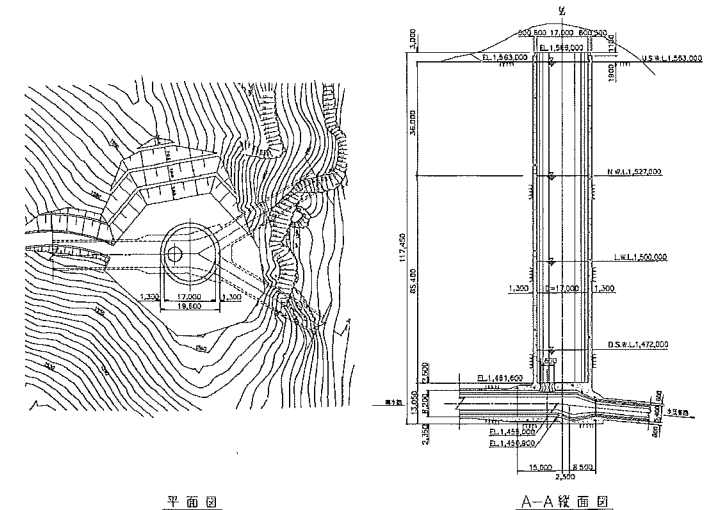


図-5 水槽立坑構造図

水槽立坑工事における資機材の搬入出に使用するトローリー式テルハクレーンは、切り掘削工事に先行して設置した。テルハの定格荷重(21.38tf)は、使用機械のうち最大となる大型ブレーカ(320B 1,400kgf級)の重量より決定している。表-9にテルハの仕様を示す。

スカフォード設備は立坑坑口部に設置する上部構台と

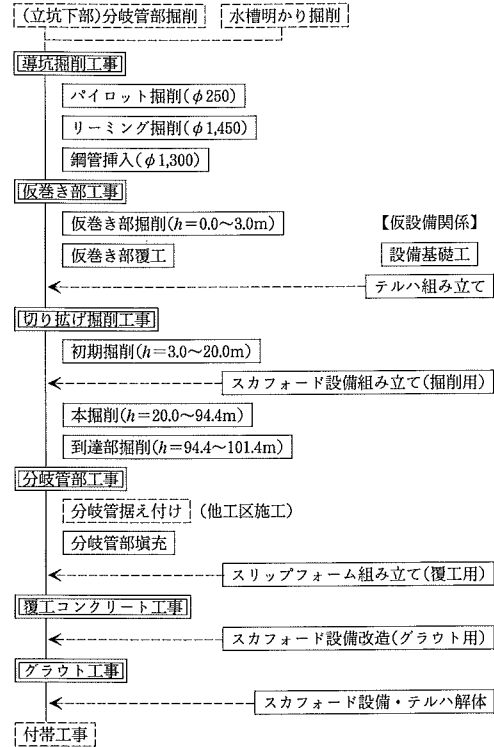


図-6 水槽立坑工事施工フロー

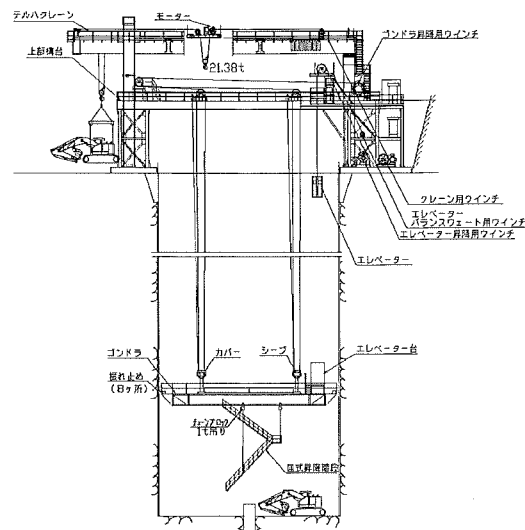


図-7 スカフォード設備概要図

立坑内に設置する Gondola (吊り下げ式作業床) から構成される。Gondola は、掘削時の内空変位測定および仮設配管時の作業足場、電気設備・小資機材置場として使用するものである。上部構台には動力ウィンチを配備し、ワイヤーロープで吊られた Gondola を必要に応じて上下

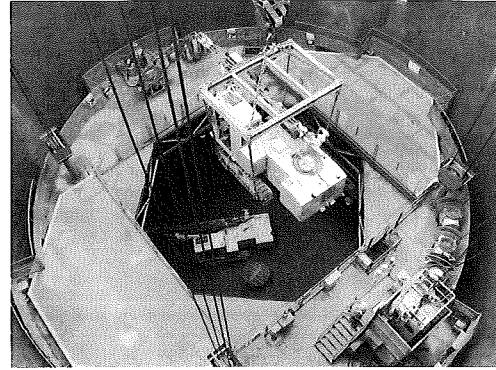


写真-2 立坑内部状況

表-9 テルハ仕様

項目	仕様
型式	トローリー式テルハ
揚程	120m
定格荷重	209.524kN (21.38tf)
定格速度	巻き上げ20/10/4 m/min 横行15 m/min
電動機	巻き上げ95kW 横行0.8kW
ロープ径	φ25mm
安全装置	過巻き防止装置、ワイヤー外れ止め装置立坑中心一時停止、荷下位置一時停止

表-10 スカフォード設備仕様

項目	仕様
型式	円形デッキ型電動ウィンチ式
積載荷重	上段182.21kN 上下段236.67kN
定格速度	2.5m/min (ロープ速度 10.0m/min)
電動機	22kW×2
ロープ径	φ28mm (巻き取り長さ 650m×2)
安全装置	過巻き防止装置、非常用ブレーキ

表-11 エレベータ仕様

項目	仕様
型式	立坑電動ホイスト式マンケージ
積載荷重	4,900N(500kgf) 最大定員 6人
定格速度	35.0m/min (ガイド 11.0m/min)
電動機	15kW (ガイド 5.5kW)
ロープ径	電纜φ22mm (ガイド φ14mm)
ケージ寸法	1,100×1,100×2,150
安全装置	非常停止 (過巻き上下、過速度、過電流、非常停止ボタン、主幹切ボタン、乗場扉開、ケージ内扉開)、逃走防止 (主ロープ切断時、ガイドロープにセーフティキャッチが作動して落下を防止)

に移動できる構造である。Gondola から最下部の切羽への昇降は屈式タラップを使用した。最上部の立坑坑口から Gondola までの昇降設備としては、6人乗りのロープガイド式エレベータ(最大積載荷重500kgf)を設置している。スカフォード設備は、切り掘削が深度20m地点まで進捗(初期掘削)した後に設置した。初期掘削時の切羽への昇降は、らせん階段を設置して対応している。これにより、立坑内での Gondola 組み立て・解体を実施することとなり、坑外の仮設ヤードを最小限の規模とすることができた。表-10にスカフォード設備の仕様を、表-11にエレベータの仕様を示す。

8-5 切り掘削工事

切り掘削は穿孔・装薬・発破を3分割にて実施した後、ずり処理・吹付けコンクリート・ロックボルトを2分割にて施工し、最後にずり処理孔となっている導坑の鋼管切断までを1サイクルとしている。第1分割の発破は心抜き発破、第2、3分割の発破は打掛け発破としている。盤下げ発破時に使用した火薬は、飛石による坑内外仮設備の損傷を抑えるために爆速の遅い硝安油剤爆薬を採用した。使用時の防水・静電気・後ガス対策として、①バキュームによる孔内水の強制排水、②帯電防止用ポリチューブ・ピース物の採用、③Gondola 上に設置したガス検知器による切羽の後ガス測定を実施した。図-8に施工要領図を示す。

到達部では最終掘削の3.0mを残した状態で分岐管部のずり足場を導坑の口元まで堆積・整形し、導坑からのずり処理が不可能となった時点で、上流(導水路)側の立坑端部を貫通させ、ずり処理を行っている。

8-6 覆工コンクリート工事

分岐管部充填工事完了後、覆工工事に先立ち、スカフォードの Gondola 部を掘削工用から覆工工用のスリップフォームに改造した。コンクリートは当工区のバッチャプラントから出荷し、立坑上部ヤードにてポンプ車を使用してコンクリートバケット(4.5m³)に荷取りした後、

テルハで Gondola 上のホッパへ下ろし、回転シュートを介し型枠内へ打設した。型枠のスライディングはヨーク支柱に取り付けた24台の油圧ジャッキによりクライミングロッドを反力として行っている。図-9に覆工コンクリート工事概要図、図-10にスリップフォーム設備図、写真-3に覆工工事状況を示す。

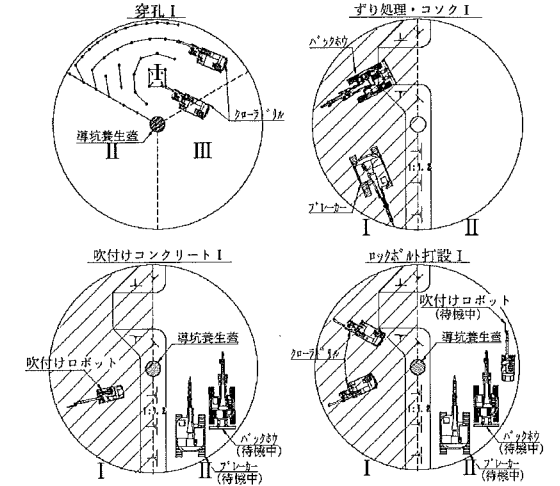


図-8 切り掘削施工要領図

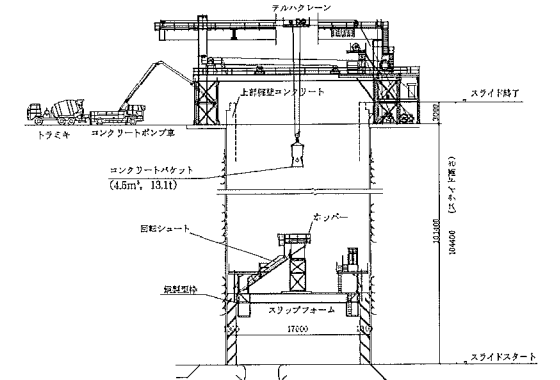


図-9 覆工コンクリート工事概要図

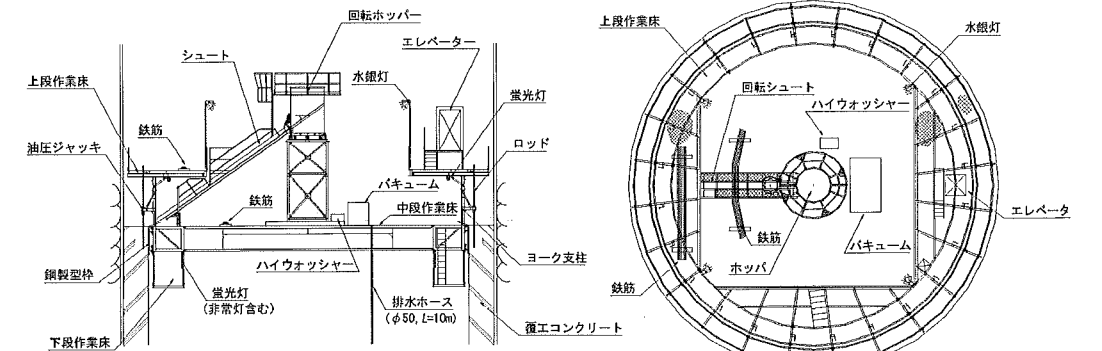


図-10 スリップフォーム設備図

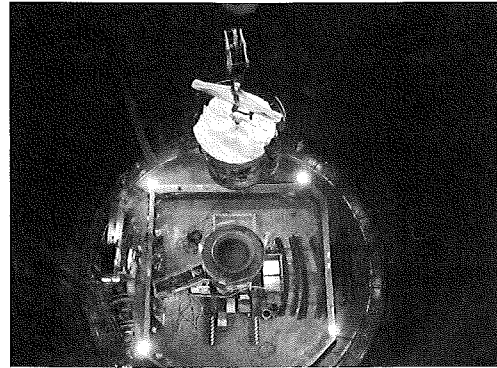


写真-3 覆工工事状況

8-7 グラウト工事

覆工工事完了後、コンソリデーショングラウトを実施した。これに先立ち、スリップフォームを再びゴンドラへ改造している。グラウト工用ゴンドラの上部作業床中央部にはターンテーブルを設置し、この上に削孔機を配置して削孔を行い、下段作業床に配置した2セットの注入プラントよりセメントミルクを圧送して注入した。

8-8 おわりに

平成16年春、雪解けを待ってテルハおよびスカフォード設備の解体を行い、水位計・安全柵・点検歩廊などの諸設備を設置して水槽立坑工事を完了した。

当工事では標高が高く気象条件の厳しい中、限られた立坑仮設ヤードを利用して各工種の工程をシリーズ化して施工できた。切り抜け掘削1サイクルあたり、テルハを使用した資機材搬入出時間の割合は15%、発破時のゴンドラ退避などに所要する時間の割合は5%も占める。今回、大断面立坑の施工事例として主要仮設を中心に紹介したが、施工性・安全性を確保するためにはこれら設備の点検、維持管理が重要となる。

(文責：前浜卓郎・(株)熊谷組神流川作業所)

9. レイズボーラによる大断面、大深度グローリホール施工事例：(戸高鉱業社神野地区開発工事)

9-1 はじめに

大分県津久見市は、単一地区石灰石生産量が日本一であり、その量は年間3千万トンにも及ぶ。

津久見地区では、当工事の発注者である(株)戸高鉱業社戸高鉱山をはじめ5鉱山が採掘を行っている。

工事の概要は、戸高鉱業津久見鉱山の3km西方において石灰石採掘鉱山を新規に開発する工事である。以下に工事概要を示す。

工事名：神野地区開発工事(神野工区)

発注者：(株)戸高鉱業社

工期：平成11年4月1日～平成15年9月30日

請負者：熊谷・鹿島・飛島・大林建設工事共同企業体

工事内容：材運坑道 22.1m² L=2,150m

BC坑道ほか 11.9m² L=1,795m

1次破碎室 6,700m³ 2室

立坑(K-1) φ4,750 H=389.5m

立坑(K-2) φ4,750 H=422.5m

鉱山における立坑の役割は、切羽で採掘された原石を効率良く運搬するために一次破碎室に隣接した位置に立坑を設けるものである。B系(セメント・骨材用)およびC系(鉄鋼用)一次破碎室につながる2本の立坑は、K-1立坑がH=389.5m、K-2立坑がH=417.5mである。わが国のレイズボーラ工法で作られた立坑としては、340mが最深であったが、どちらもこれを上回り日本一の深さを誇る立坑となった。レイズボーラ工法とは、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)しながら切り上げる工法である(図-11)。同工法の長所は、ずり処理が容易であり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。

一方、短所は工法的に坑壁の自立が必要不可欠であり、掘削中における支保ができないため、軟弱地質や破砕帯で施工が困難である。

これまでの鉱山工事では、立坑掘削はクライマーによる人力掘削が主体であったが、熟練技能者の高齢化と大深度であることから工期短縮と安全性の向上からレイズボーラ工法が採用された(写真-4)。

9-2 大深度対策と機械の能力

掘削深度がこれまでの実績から大きく延長されるためツールを含めた専用機械の改良が必要であった。国内のφ4,000mm以上のレイズドリリングにおいて過去の実例を見るとリーミングビット上のスタビライザーの折損事故が多く発生しているため対策として硬質チップを埋め込んだφ400mmの強化型スタビライザー(従来はφ350mm)を使用することとした。このためφ350mmのパイロット孔掘削完了後にφ400mmにパイロット孔を拡孔する工程を追加する必要が生じた。

スラスト力(引き抜き力)に関しては、最大スラスト力(481tf)に対しリーミング時のツール重量および掘削に必要なビット荷重について検討した結果、掘削ツールの合計重量は次のとおりである。

ロッド重量 710kgf×269本=190,990kgf

スパイラルスタビライザー重量

1,000kgf×10本=10,000kgf

リーミングヘッド(φ4,750mm)

38,000kgf×1式=38,000kgf

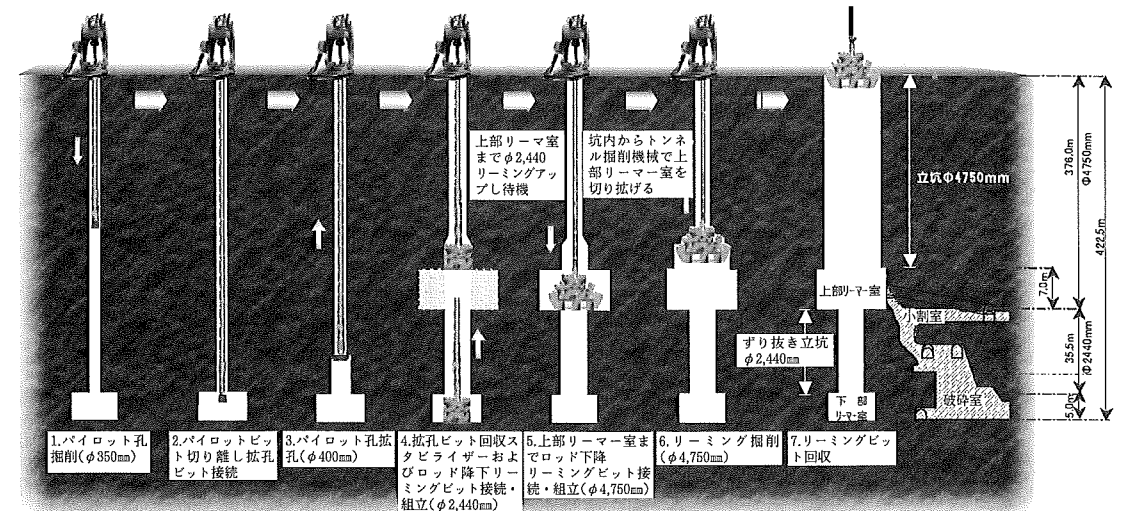


図-11 立坑施工概要図

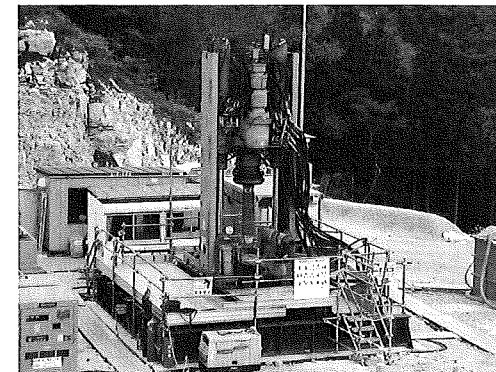


写真-4 レイズボーラ地上部基地

ドリルヘッド重量 15,000kgf×1式=15,000kgf
合計 253,990kgf

ゆえに、掘削機械の有効引き抜き力は227tfとなる(481tf-254tf)。ローラーカッタ1個あたりの荷重実績でも5tf程度かかっていたため32個のカッタには計160tfの荷重になっていた。よって、最大掘削深度における掘削時の最大荷重は387tfで最大引き抜き力の80%以上にあたる。実際の掘削では亀裂や空洞が存在し瞬間的にビット荷重が増加することを考慮すると、今回の掘削径と深度がほぼ限界であると思われる。

9-3 工事実績

工事は前述したように、パイロット掘削とリーミング掘削からなり、掘削ツールの編成は図-12のようになる。

9-3-1 パイロット掘削

パイロット孔掘削には、φ350mmのチップインサート型トリコンビットを使用した。掘削用流体として清水を700ℓ/min程度ポンプで送りスライムの除去とビットの

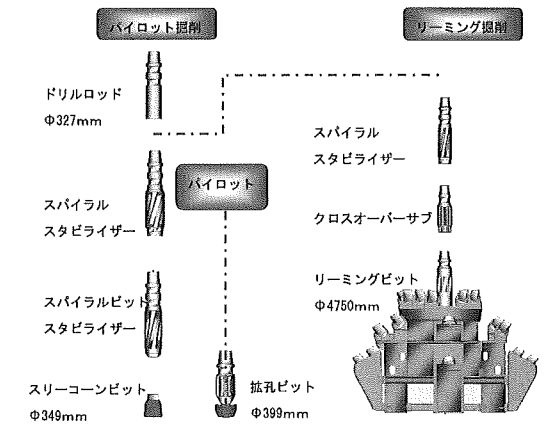


図-12 掘削ツール編成図

冷却洗浄を行った。掘削途中、50m付近で空洞にあたり全量逸水となるがロッドを一旦上げた後、セメントミルクを4m³注入することで再掘削が可能になった。

その後も100m過ぎたところで再び全量逸水となり以降は、エア併用のミスト掘りで掘削を行った。また、掘削深度が大きいためにロッドが坑壁にあたりロッドがバイブレーションを起こしたが、地上からロッドに潤滑材液(品名：イーゾードリル)をロッドに絡めながら流し込むことによってバイブレーションが収まった。

立坑底で一次破碎室とつながるため立坑の到達精度は、0.5%以内が求められていた。このため孔曲がりの発生しにくいロッド編成と適切な掘削管理を行い、孔曲がりの測定にはジャイロコンパスによる計測を行った。

パイロット掘削時のロッド編成は、一般的にスタビライザーの使用を2～3本とする場合が多いが、孔曲がりを抑制させるため8本編成とした。

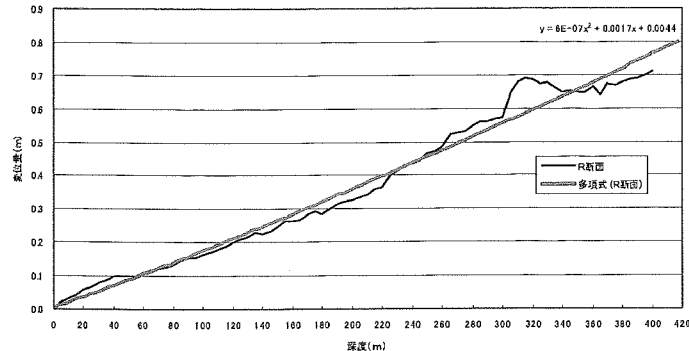


図-13 K-2立坑孔曲予測

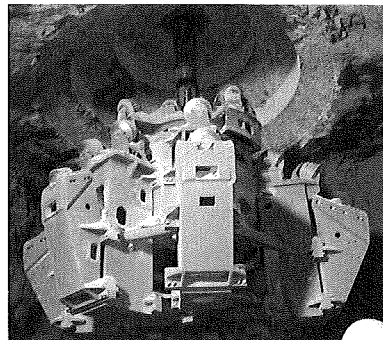


写真-5 リーミング掘削切羽状況

また、孔曲がりが発生する要因として、不適切なビット荷重と地質・強度の変化が挙げられる。設定ビット荷重は、許容ビット荷重の50%程度に抑え6~12tfとし、地質の変化に関しては、事前ボーリングのコアサンプルから岩質・空洞などを確認しながら掘削を行った。孔曲がり測定では、ロッド内

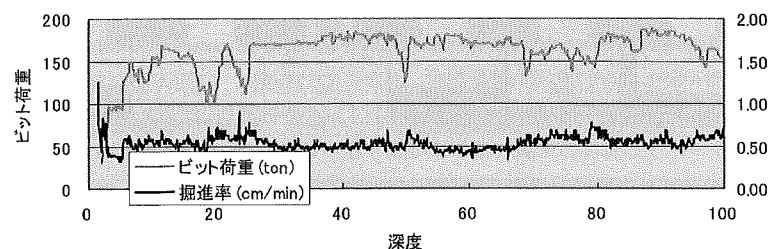


図-14 リーミングビット地上貫通

にプローブ(ジャイロ、傾斜計、信号処理回路などを収めた耐圧容器)を降ろして計測を行った。計測頻度は、50m以内ごとにGLから5m間隔でX、Yの離れを計測した。また計測結果は、パソコンで集計、グラフ化し回帰曲線による近似式で最終到達時点のズレを予測した。

その結果、K-2立坑(深度417.5m)では、計測データからパイロット孔貫通時の予測値は73cmのズレであった(図-13)が実際の貫通した偏芯量は33cmで施工管理基準値0.5%以内に対して0.08%という高い精度で貫通できた。

9-3-2 リーミング掘削

リーミング掘削は、リーミングビット本体に取り付けられた32個のローラーカッタが地上からのスラスト力で岩盤に反力をとりローラーカッタが回転することで岩盤を切り崩しながら掘削する方式であるため、石灰石の均

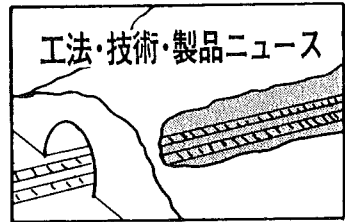
質な岩盤ではコンクリートの打ち放しのような非常に平滑な掘削面に仕上げることができた(写真-5、図-14)。

9-4 おわりに

立坑を発破によって掘削した場合、掘削面の凸凹に加え発破の影響を岩盤に与えるため投入原石によるブリッジの立坑詰まりや立坑径の磨り減りに対する広がり防止に良い効果が得られたと思われる。また、掘削ずりも発破と違いカッピングスライスされたずりであるため積み込み、運搬などの作業においても取り扱いが容易であった。

今回のレイズボラによる立坑掘削は、世界的にも大深度に入るレベルの工事であったが、完全機械化が実現できたことで人的災害のリスクが削減でき安全性の向上に大きく貢献した。

(文責：山下文章・(株)熊谷組津久見戸高作業所)



HID採用 ハンディーサーチライト

サン自動車工業は、優れた配光と視認性を確保したHID(バブル内の電極間に高電圧をかけ、放電発光させるシステム)採用のハンディーサーチライト「POWerview(パワービュー)HIDハンディーサーチライト2」を発売した。

同製品は、自動車用HIDを数多く販売している当社がその技術を携帯型サーチライトに応用したもので、ハードな使用にも耐える軽量アルミボディを採用、霧や煙、粉じんなど視界の悪い環境に対応、雨天等での使用可能。視認距離200m、連続2時間点灯可能、などの特徴がある。



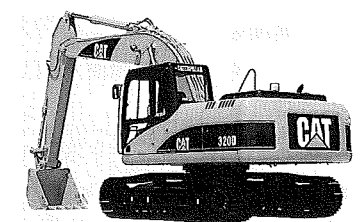
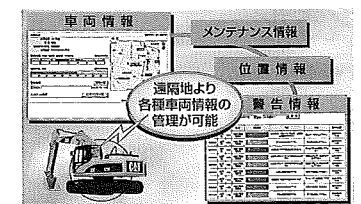
建設機械の遠隔管理システムおよび油圧ショベル「REGA」Dシリーズ

新キャタピラ三菱は無線通信を使った建設機械の遠隔稼働管理システム「プロダクトリングジャパン」を開発し、油圧ショベル300ファミリー「REGA」に新しく登場するDシリーズに標準搭載する。

同システムは、インターネットを活用して、車両の稼働状況、GPSを利用した車両の位置情報を確認で

き、消耗品の交換時期を一覧で表示、また、車両が発する警告情報を活用することで、費用の低減や突発故障による休車を未然に防ぐことが可能。

一方、「DEGA」Dシリーズは、同システムの標準搭載をはじめ掘削力をさらにアップ、操作性の向上、省燃費による高い燃料生産性を実現するエコノミーモードの採用など作業現場周辺への環境に配慮した。



掘進と一部組み立て作業を同時施工

飛鳥建設は、シールド工法での掘進と一部セグメントの組み立て作業を同時に行う高速施工技术「ロスゼロ工法」を開発した。

同工法では、大断面シールドで一般的な軸方向挿入式セグメントを挿入するスペースを確保するために生じる推進時間を利用し、早期にスペースが確保されている下部セグメントを掘進中に前倒しで組み立てる。設備などを特別に変更することなく、一般的な掘進・組み立てサイクルが15%程度短縮できる。

長尺鏡ボルトを経済的に高耐力化

大成建設は、ケー・エフ・シーと共同で、切羽補強に用いるグラスファイバー製長尺鏡ボルトの高耐力化技術

「ストロングボルト工法」を開発した。

同工法は、ボルト管内に挿入する充填材注入パイプに安価な棒状補強材を取り付け、充填材で固定することにより、継手部の耐力向上を図る。ボルトの本数を増やさずにより不良な地山に対応可能。従来の継手部の引張耐力が母材の1/5に対し、同工法では、1/3以上に改善。すでに、実現現場での試験施工で、性能を確認している。

直線ポンプで泥圧送

銭高組と友定建機は、シールド工事や浚渫工事の排土に適用する「直線スクィーズ圧送ポンプ」を開発した。

同ポンプは、小~中口径シールドの長距離・高速施工を可能とする泥土圧シールド「HSS工法」の要素技術として開発したもので、曲線ポンプに比べ圧送設備のコンパクト化や低コスト化が図れる。今後、ポンプのスリム化により、推進工事の真空排土や立坑での土砂揚げに代わる土砂搬送への利用を目指す。

高精度現場透水試験装置を開発

飛鳥建設は、最終処分場ベントナイト混合土の安全性評価を目的とした面的な遮水性管理法の実現に向けて、簡単にしかも早期に精度良く透水係数を求めることが可能な「高精度現場透水試験装置」を開発した。

同装置は、サンプラー内に加圧装置を付けた簡単な構造になっており、サンプラーに試料を採取し、そのまま透水試験に供する仕組み。特徴として、試料採取が容易、電気設備が不要、法面部の評価も可能、短期間で透水係数を求めることが可能、装置を何台か準備することで日常管理が面的に行え、品質管理情報を公開することで地域住民の理解を得ながら建設を行える。

(土木工学社図書案内)

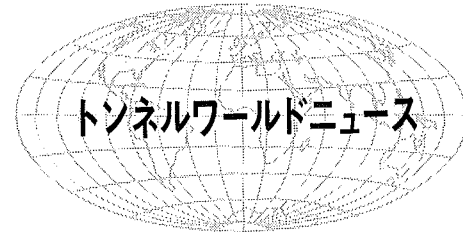
岩盤の計測と解析 工博 鈴木 光著

A 5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

最近では、有限要素法を利用し、地盤や構築物の変形や応力分布に関する予想解析が行われるようになりつつある。そのために入力などに信頼度の高い各種計測値が要求されるようになってきた。

このような理由から、建設工事では、従来にも増して計測や解析が重要となりつつある。

本書は、応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である。



(社) 日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

貫通間近なLötschbergトンネル

スイスの西側Alptransitルートの主要部となるLötschbergベーストンネルの掘削は、4月28日にMitholzとFerden工区間で最後の貫通を目指している。

Lötschbergトンネルは延長34.6kmで、イタリアからスイス中心部を経て他のヨーロッパ諸国を結ぶ主要鉄道網の改善の要となるとともに、スイス道路網の貨物輸送量を減少させることに貢献することとなる。

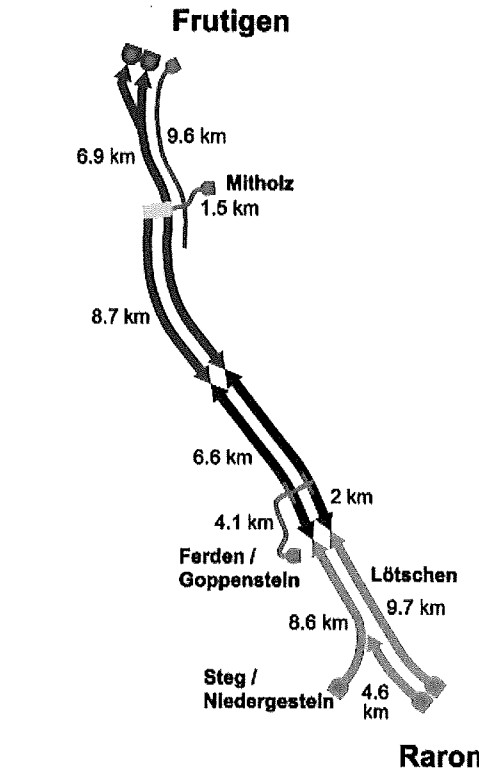
12月末にFerden側からの掘削工事班は、最後の残り数m区間の発破掘削を終了し、TTCが取材に行ったときには、南側のMitholz側からの掘削班は貫通点のすぐそばまで掘進していた。覆工は約84%が完了し、Raronの南側坑口からは鉄道施設工事が順次進められている。

軌道には、英仏海峡トンネルで成功を収めたものと同様の無道床軌道が使用され、効率的な作業により100m/日で敷設が可能である。

Ferdenの西トンネルでは、長距離ベルトコンベヤの解体作業が北へ向けて行われている。また、両トンネルにおける作業架台や破砕機も撤去中である。換気坑内では、冷却用風管が布設中である。換気制御室ではコンクリート打設作業が行われている。坑外作業基地では大型破砕機が解体されていたが、濁水処理設備は稼働中である。

Steg接続トンネルでは、仕上げ工事が進められている。

Raronの東トンネルでは、管理用通路が3月末に完成し、4月中旬までには軌道工事班へ引き渡される予定である。



Lötschenの東トンネルの前部部では、約3kmのアーチ部と5.4kmの管理用通路のコンクリート打設が残されている。この工区は5月中旬に施設工事班へ引き渡される予定である。

Raronにある南坑口から約3.6kmは軌道の敷設が行われており、さらにLötschenの分岐点までにある各連絡トンネルは、全設備の設置が完了している。

(T&T '05.4 担当：下田哲人・中日本高速道路(株))

Alptransitの進歩の中でLötschbergが記録を達成

Lötschberg Alptransitベーストンネルの最後の貫通掘削が4月28日に行われた。

これにより、当トンネルは陸上トンネルとしては世界最長となった。

そして、海底トンネルを含めた全トンネルでは、英仏海峡トンネル、日本の青函トンネルについて世界第3位の延長となった。

しかしながら、Lötschbergトンネルは数年後には、延長が57kmで現在45%以上の掘削が完了しているもう一つのAlptransitトンネルである「新St Gotthard鉄道トンネル」に世界最長の陸上トンネルの座を取って代わられる予定である。

延長34.6kmのLötschbergトンネルは、St Gotthardトンネルとは異なり、主に発破工法で掘削され(80%)、TBMによる掘削はわずか20%であった。

今日に至るまで、トンネル作業は全体で11年あまりを要した。

最初の発破作業は1994年にKantertalのパイロットトンネルで行われ、引き続き同年にMitholz工区でも工事が始まった。

(立坑を除き)全部でこのプロジェクトにおいて88km以上のトンネルが掘られた。

Mitholz工区南部の石炭紀層を除けば、掘削の地質条件は当初の想定どおりであった。

この特殊区間を克服するために7か月余りの遅れが生じたが、それにもかかわらず、最後の貫通は当初予定のわずか2か月半の遅れであった。

最後の発破と貫通式典がプロジェクト関係者と招待者を合わせ、約1,200人の前で催された。

一方、Lötschbergトンネルの東側に位置し、スイスとイタリアを結ぶ当トンネルに並行する鉄道ルートとなるSt Gotthardトンネルの4月末での進捗は約45.6%である。

当トンネルでは、もっとも土かぶりの大きなSedrun工区において唯一、発破工法が採用されているが、大部分の掘削にはHerrenknecht社のTBMが用いられている。

現在の計画では約50.5kmがTBMによる掘削であり、残りの6.5kmが発破掘削であるが、工程の確保を考えると発破掘削が増えるかもしれない。

この巨大プロジェクトには本坑、アクセストンネル、横断通路、補助トンネル、立坑を含め全部で約154kmのトンネルがある。

今年の半ばには掘削の進捗が50%に達する予定である。

(T&TC '05.5 担当：光木香・鉄道・運輸機構)

木製かけ矢板工法の下水トンネルが順調に進捗

米国、サクラメント市のブラドショー下水パイパス第8工区の建設工事が掘削月進約213mの順調な滑り出しで始まっている。このトンネルは3月の末に発進したLovat社製の再整備TBMが掘削を行っている。

建設費1,930万USドルの本プロジェクトは、サクラメント郡衛生管理区のために実施するもので、下水を通すためにサクラメント郡の北西部から地域下水処理プラントまでφ3.07m、延長2.4kmの本トンネルを使用する。

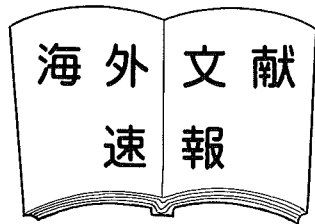
このトンネルは、幹線道路の下を平均土かぶり10.6mで固い砂質粘土、シルト質粘土およびわずかに礫や小さな玉石の混ざった粘土質シルトの土質の中をLovat社製のMP-121RL/PJシリーズ8600のTBMで掘削することになる。プロジェクトチームによるとトンネルの一次支保工は鋼製リングと木矢板により行われる。最終の覆工は内径1.82mのRCパイプをトンネル内に設置して行われ、一次支保工との間隙はグラウトにより充填される。全体で11か所の立坑が設けられるが、そのうちの二つは完成しており、残りの9か所は施工中である。

径が4.3mから11mの各立坑の主要支保工はトンネルと同様に鋼製リングと木矢板となる。この立坑を利用して最終的にφ1.52mのマンホールが道路面に設けられる。

トンネルが土壌汚染の可能性のある2か所の地域を横切するため作業員はHazwopper(Hazardous Waste Operations and Emergency Response)と呼ばれる汚染土壌対応の訓練を受ける必要がある。これは作業員に対して汚染土壌に関わる労働災害の可能性の周知とその危険性をいかに軽減するかの教育である。

工事は昨年11月15日に開始され2006年の5月末までに完成する予定である。

(T&TI '05.5 担当：税所陽一・前田建設工業(株))



(社) 日本トンネル技術協会
研究開発委員会

自走式ワークステーション/Maximizing the advantage

By J Shani Wallis : T & TI December 2004 Vol.36, No.12, pp.14-17

全長57kmのGotthard Base Tunnelは、外径8.8mの双設鉄道トンネルである。本工事は覆工コンクリートを掘削と併行して進めることが必須条件となっている。

全5工区のうち、Bodio工区(16.6km)およびFaido工区(15.1km)は、5社で構成するTAT共同体が2001年6月に一括特別価格で受注し、工期

表-1 ワークステーションの各部所の役割

構台 No.	役割
0a, b, c	ホースリール
1 a, b, c	排気システム, 作業コンテナ, 安全コンテナ
2 a, b, c	油圧ハンマー付き掘削装置による整形
3	ショットクリートステーション
4, 5, 6, 7	トンネルクリーニング作業, 真空清掃装置付き
8, 9, 10	防水シートおよび, 下部ライニング
11, 12, 13, 14	下部コンクリート養生, アーチ部防水シート
15, 16	連絡トンネルのコンクリート打ち
17	ストローク3mの推進システム
18	L=12m No.1 セントル, コンクリート配送装置
19	養生設備
20	L=12m No.2 セントル, コンクリート配送装置
21, 22, 23, 24, 25	コンクリートポンプ, 養生設備
26a, b, c	設備取り付け, 延長150mホース

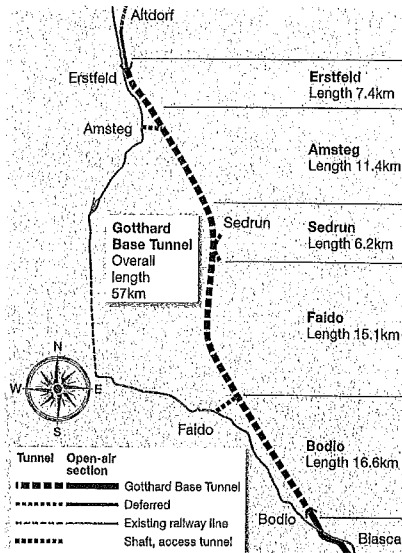


図-1 Gotthard Base Tunnel

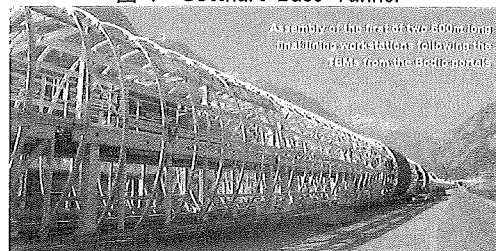


写真-1 TBMワークステーション

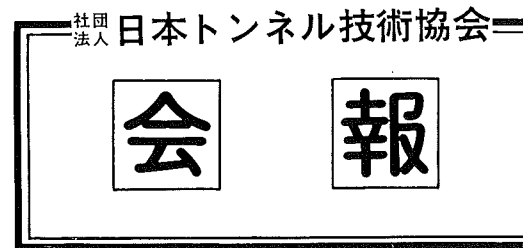
は2011年末である。

各トンネルそれぞれにφ8.8m Herrenknecht製岩盤用TBMが投入された。覆工コンクリートは、ひび割れなどを考慮し長さ12mのセントル2基を使用して、24m/日の進捗を見込んでいる。

本トンネルでは、覆工とTBMの作業を集中処理するための自走式ワークステーションが採用された。ワークステーションは、合計12種類の作業をこなす全長600m、重量1,900tであり、35基の構台が連なっている。ピストンの働きにより3mのストロークで全体が伸縮しながら、芋虫のような動きで30分間に12m前進する。

覆工コンクリートを24m/日を6日/週続けて144m打設し、7日目に2.5時間の作業でTBMのサービスマンマシンをリセットする。この時間にTBMのメンテナンスも同時に行われ、TBMは次の144mを中断なしで掘削前進できる。

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))



1. 会員の現状

	8月25日現在	9月25日現在
正会員	2,036名	2,036名
団体会員	354名	354名
個人会員	1,682名	1,682名
名誉会員	1名	1名
計	2,037名	2,037名

2. 第178回理事会

日時：平成17年9月12日(月)12:00~13:00

場所：(社)日本トンネル技術協会会議室

出席者：理事28名、監事3名 計31名

議題：

①26名の入会と34名の退会を承認

②理事、評議員の交替を承認

1. 理事

旧	新	所属 役職
手塚 昌信	橋本 徳昭	関西電力(株)土木建築室長支配人
平出 亨	野崎 春己	東京都地下鉄建設(株)取締役新交通本部長
小出 忠	—	鉄建建設(株)

2. 評議員

旧	新	所属 役職
森谷 俊美	岡野 哲	本州四国連絡橋公団東京事務所 上席調査役
菊池浩一郎	砂道 紀人	電源開発(株)エンジニアリング事業部長代理
橋本 徳昭	大石 富彦	関西電力(株)土木建築室計画グループチーフマネージャー
宇田川孝之	伊藤 博	日本下水道事業団技術監理部長

③COBとの今後の技術交流方針を承認

3. 委員会の開催状況(9月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎施工技術委員会

TBM工法小委員会幹事会：9/16 (高津壮太幹事長ほか15名)原稿を検討

都市トンネル小委員会幹事会：9/27 (北川滋樹幹事ほか7名)Q&A項目を検討

◎研究開発委員会

トンネル技術白書小委員会：9/13 (朝倉俊弘委員長ほか29名)原稿状況を検討

◎八甲田トンネル特別委員会：9/7,8 (須田熙委員長ほか38名)現地視察

◎新埋め戻し材特別委員会：9/26 (赤木寛一委員長ほか22名)試験結果を検討

◎効率的掘削工法特別委員会：9/27 (西村和夫委員長ほか22名)委託業務説明

計 6回開催 139名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：9/5 (日月俊昭委員長ほか10名)理事会議題を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会：9/24 (鈴木篤幹事長ほか6名)COB対策

国内広報WG：9/1 (光木香幹事長ほか8名)海外文献を査読

対外広報WG：9/22 (光木香幹事長ほか6名)査読原稿を検討

ITA対応総括WG：9/22 (福本勝司主査ほか6名)ITA理事会報告

◎事業委員会打合せ会：9/6 (木戸義和委員ほか7名)研修対策

◎会誌委員会：9/6 (大島洋志委員長ほか15名)10月号の会誌と3か月計画を検討

計 7回開催 65名出席

合計 13回開催 204名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等	備考
国際会議 「長大トンネルのデザイン、建設、 管理・雪山トンネル開通記念」	2005.11.7~10	台北 (台湾)	Chinese Taipei Tunneling Association 台湾トンネル技術協会	http://www.longtunnel2005.taneeb.gov.tw
国際会議 トンネル—新しい方向、新しいチャンス	2005.11.28~12.1	ライプツィヒ (ドイツ)	STUVA e.V. 地下輸送施設の研究	http://www.stuva.de
国際シンポジウム：地下掘削とトンネル技術 環境保護を考慮したトンネルの建設	2006.2.2~4	バンコク (タイ)	Underground Excavation and Tunneling Group, Geotechnical Chapter, Engineering Institute of Thailand タイ技術協会、地質工学会、地下掘削・トンネル技術グループ	http://www.eit.or.th/engineering/geotech/ISUET2006
国際会議と展示会 21世紀におけるトンネルと非開削技術	2006.3.7~9	セランゴール (マレーシア)	The Institution of Engineers, Malaysia Tunnel and Underground Space Technical Division, IEM マレーシア工学会 トンネルおよび地下空間部会	http://www.iem.org.my/
第32回ITA総会およびコンgres「地下空間の安全」	2006.4.22~27	ソウル (韓国)	Korean Tunneling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会	http://www.ita2006.com
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006.9.12~16	ウィスラー (カナダ)	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局	http://www.engconfintl.org/6ad.org Call for papers

*論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください。社団法人日本トンネル技術協会 TEL:03-3553-6174

5. 平成17年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
イスタンブール国際トンネル会議技術調査	2005.5.7~18	26	トルコ、スイス、フランス
神戸市地下鉄現場研修会	2005.7.8	20	兵庫県
京都市地下鉄現場研修会	2005.7.22	25	京都府
大強度陽子加速器施設現場研修会	2005.8.24	19	茨城県
北陸新幹線現場研修会	2005.9.15,16	16	新潟県
北海道地区道路トンネル現場研修会	2005.10.6,7	26	北海道
九州新幹線現場研修会	2005.11.17,18	30	佐賀県
(発表会)			
第56回(山岳)「特殊環境下におけるトンネル工事」	2005.12.12	200	東京都
第57回(都市)「都市トンネルにおけるリニューアルと補強工事」	2005.12.13	200	東京都
(討論会)			
第3回モグラ研究会「設計変更」	2005.5.26	15	東京都
第4回モグラ研究会「近隣対策」	2005.7.15	13	東京都
第5回モグラ研究会「技術の伝承」	2005.10.4	11	東京都
(講演、講習会)			
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2005.6.23,24	32	富山県
第7回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2005.10.26,27	40	東京都
トンネル技術特別講演会	2006.2	300	東京都

第56回(山岳)、第57回(都市)施工体験発表会開催のご案内

恒例となりました施工体験発表会を今年も下記により開催することといたしました。今回は本会設立30周年の記念事業のひとつとして特別講演を盛り込みました。トンネル工事関係者にとりましては、施工における各種の現場事例を通じて技術力向上のよい機会であると存じますので、多数ご参加下さいますようご案内申し上げます。

— 記 —

開催場所：北の丸公園 科学技術館地下「サイエンスホール」

千代田区北の丸公園2-1 TEL:03-3212-8485

地下鉄東西線「竹橋」駅下車徒歩約7分(案内図参照)

開催日：第56回(山岳)施工体験発表会 平成17年12月12日(月)

第57回(都市)施工体験発表会 平成17年12月13日(火)

定員：各200名

参加費：第56回、第57回それぞれ個人会員12,000円、団体会員15,000円、一般18,000円

申し込み方法：この案内書添付の申し込み用紙に記載のうえ、郵送またはFAXをもってお申し込み下さい。電話での申し込みは受け付けませんので、ご了承願います。

〒104-0041 東京都中央区新富2-14-7 新光第一ビル

社団法人日本トンネル技術協会 施工体験発表会係

TEL:03-3553-6174 FAX:03-3553-6145

支払い方法：上記申し込みの後、郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名記入のうえ、下記にお振込み願います。現金書留でも結構です。

郵便振替口座 00160-7-196331 日本トンネル技術協会

その他：①参加費の払い戻しはいたしかねますが、代理参加は差し支えありません。

②テキストを事前に送付いたしますので、住所など連絡先は必ず記載してください。

第56回、第57回 施工体験発表会参加申し込み書 (参加する回を○で囲んで下さい。)				
ふりがな 氏名	年齢	歳	TEL	— —
会社名				
所属役職				
会社住所	〒 —			

第56回(山岳)施工体験発表会

開催日：平成17年12月12日(月)

プログラム：

- 司会 〈事業委員会委員〉大成建設(株)土木本部土木技術部トンネル技術室長 端 則夫
- 9:05 開会挨拶 〈事業委員会委員長〉日本交通技術(株)代表取締役社長 桑原 彌介
- 9:10 特別講演「トンネルの地震被害とその教訓」
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授 朝倉 俊弘
- 10:10 休憩
- 10:20 高圧・多湧水を伴う山岳トンネル工事(三池トンネル) (株)間組
- 10:50 掘削岩埋立造成地の湿地復元対策による自然環境保全に配慮した地下発電所工事 大成建設(株)
- 11:20 急傾斜不安定坑口部の施工(番所トンネル) 五洋建設(株)
- 11:50 昼食
- 司会 〈事業委員会委員〉鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部グループ長 伊藤 範行
- 12:50 超膨圧区間を多重支保工法により掘削(飯山トンネル) (独)鉄道・運輸機構
- 13:20 多量湧水を伴う鉱化帯の施工(八甲田トンネル) (株)奥村組
- 13:50 八甲田トンネルで発生する鉱化変質岩の環境対策 (独)鉄道・運輸機構
- 14:20 絶滅危惧種の生息地域におけるトンネル工事(上田トンネル) (株)フジタ
- 14:50 休憩
- 15:00 火山地帯における重金属含有土の処理実績(青葉トンネル) 鹿島建設(株)
- 15:30 多量・高被圧水下におけるトンネルの構築(筑紫トンネル) 前田建設工業(株)
- 16:00 地下水位低下を抑制した重要構造物直下の施工 (株)熊谷組
- 16:30 大量湧水下における小断面避難坑トンネル連続ベルトコンベアシステムの採用 飛鳥建設(株)
- 17:00 閉会

以下の2編は論文のみ掲載いたします。

- * 重金属を含んだ掘削土の処理方法(下白滝トンネル) 前田建設工業(株)
- * トンネル掘削に伴う重金属含有土の処理(大夕張トンネル) 清水建設(株)

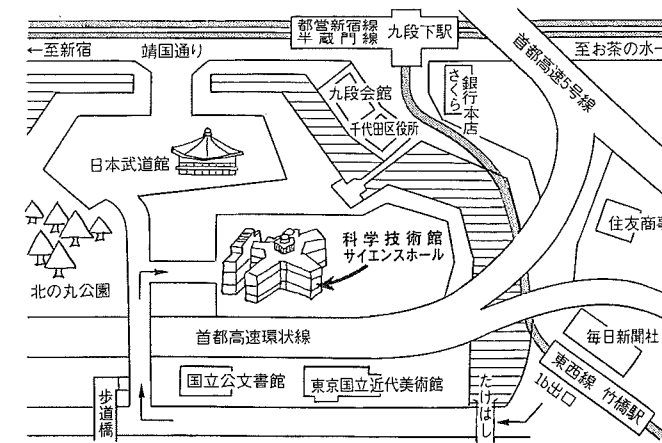
第57回(都市)施工体験発表会

開催日：平成17年12月13日(火)

プログラム：

- 司会 〈事業委員会委員〉飛鳥建設(株)土木本部トンネル総括部長 松尾 勝弥
- 9:05 開会挨拶 〈事業委員会委員長〉日本交通技術(株)代表取締役社長 桑原 彌介
- 9:10 特別講演「都市トンネルにおける維持管理とリニューアル」
東京地下鉄(株)鉄道本部工務部構築物構造改善プロジェクトチーム担当部長 宮田 信裕
- 10:10 休憩
- 10:20 都市部における山岳トンネル低土被り区間における薄肉鋼板補強工(萩台トンネル) 飛鳥建設(株)
- 10:50 光硬化型シートによる日本坂トンネル補修工事 鉄建建設(株)
- 11:20 非開削による既設シールドトンネル撤去工法の開発 (株)大林組
- 11:50 昼食
- 司会 〈事業委員会委員〉(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部長 木戸 義和
- 13:00 営業線地下鉄軀体の拡幅リニューアル工事(阪神春日野道駅) 鹿島建設(株)
- 13:30 「3Sセグメント工法」による管きょリニューアル事例 前田建設工業(株)
- 14:00 薄肉鋼板補強工法による地下鉄シールドトンネル二次覆工補強 (株)熊谷組
- 14:30 休憩
- 14:40 昭和初期に構築された地下鉄駅の大改良工事 (株)間組
- 15:10 漏水防止のためのトンネル二次覆工工事 佐藤工業(株)
- 15:40 営業線直下の耐震補強工事 大成建設(株)
- 16:10 透し掘り連続壁工法 東京地下鉄(株)
- 16:40 閉会

〔案内図〕



12月号予告[12月1日発売予定]

- ファイバーコンクリート用の再生PET繊維の開発と適用例
- 一般国道33号越智道路 野老山トンネル
- 大阪市営地下鉄第8号線 蒲生四丁目停留所地下連絡通路
- 東上田水力発電所導水路トンネル
- 旧江戸川を横断する大深度シールド工事【連載講座】
- 山岳トンネルにおける工事用機械の選定(最終回)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆9月上旬のことだが、現在建設中の東北新幹線八戸～新青森間のトンネル工事が一般のニュースで取り上げられていた。ニュースの内容は産業廃棄物の不法投棄であった。産廃が発見されたのは、八戸市の高館トンネル(延長:1,300m)と本号の「現場だより」(44p.参照)に紹介されている青森市の雲谷平トンネル(延長:1,900m)、そのほか荒川橋梁(100m)でも見つかったそうだ。このニュースを最初に聞いたとき、小土かぶり区間の続く東北新幹線のトンネル工事であるので、坑内掘削中に産廃が発見されたのだと思ったが、幸いにして明かり部で発見されたようだ。高館トンネルはまだ現場にて産廃を含む土砂を仮置きしているようだが、すでに産廃を処分した雲谷平トンネルでは約1,300tの産廃を撤去したようだ。なんと4tトラックで300台以上に相当する。各地で産廃の不法投棄がよくニュースになるが、そのほとんどが投棄されて数年経った後に発見されており、未だに発見されていないものも多々あると思われる。今後は投棄中に取り締まりのできる体制を国と地方を挙げて強化する必要があると思われる。われわれ編集者もこうした記事を誌面のどこかに掲載し、世間の関心が薄れることのないようにすることが編集者の使命と考える。(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第36巻 第11号 [通巻423号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成17年10月20日 印刷

平成17年11月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.soc.nii.ac.jp/jta

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、小社より振込用紙をお送りいたします。

購読料

1冊 1,575円(送料108円)
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。TEL: 03-3267-2888

本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

吹付けコンクリート用急結剤

「太平洋ショットマスター」



急結性に
優れています

セメント鉱物系ならではの
シャープな急結性が得られます
そのため 吹付けコンクリートを急速に硬化させ
岩盤への優れた付着性
跳ね返りの低減が実現できます

短時間強度長期耐久性が
良好です

吹付け後 短時間で高い強度が得られ
以後の強度発現性も優れています
また セメント鉱物系ですので
長期耐久性も良好です

3

塩化物を
含んでいません

塩化物を含んでいませんので

ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

優れた付着性!!

「太平洋ショットマスター」は、太平洋セメント株式会社が特殊セメントやセメント用各種混和剤の開発技術をもとに、鋭意研究開発したセメント鉱物系を主成分とした吹付けコンクリート用急結剤です。セメント鉱物ならではの急結性を有し、吹付けコンクリートの岩盤への優れた付着性・跳ね返りの低減が実現できます。

 太平洋マテリアル株式会社

- 営業本部 土木資材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル7F TEL.03-3278-5319
- 北海道支店/TEL.011-221-5855 ○東北支店/TEL.022-221-4511 ○東京支店/TEL.03-3278-5331
- 北陸支店/TEL.076-234-1670 ○中部支店/TEL.052-452-7141 ○関西支店/TEL.06-6228-6660
- 中国支店/TEL.082-261-7191 ○四国支店/TEL.087-833-5758 ○九州支店/TEL.092-781-5331