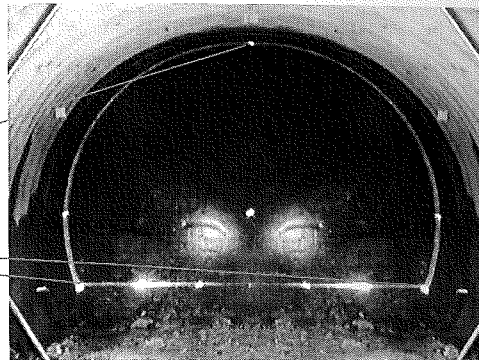
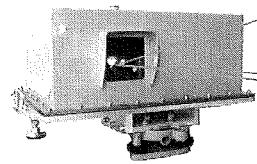


# レーザーマーキングシステム

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

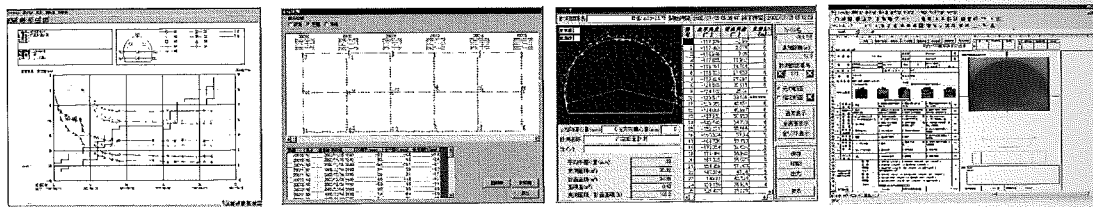


現場環境に耐え得る  
頑強なコントローラー

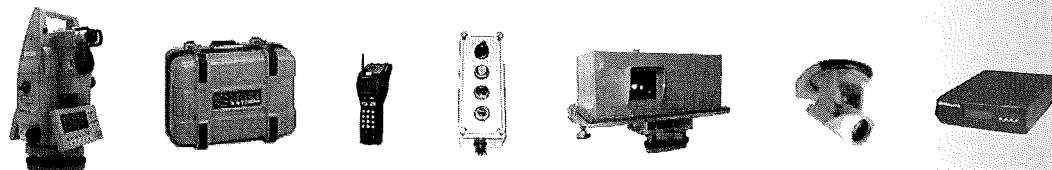


ジャンボに  
取付けて使用可  
AC200V対応

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



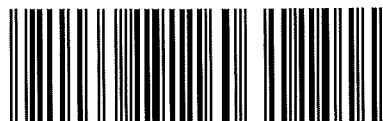
豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

## 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

定価 1,575円 雑誌06619-11  
本体価格1,500円



4910066191160  
01500

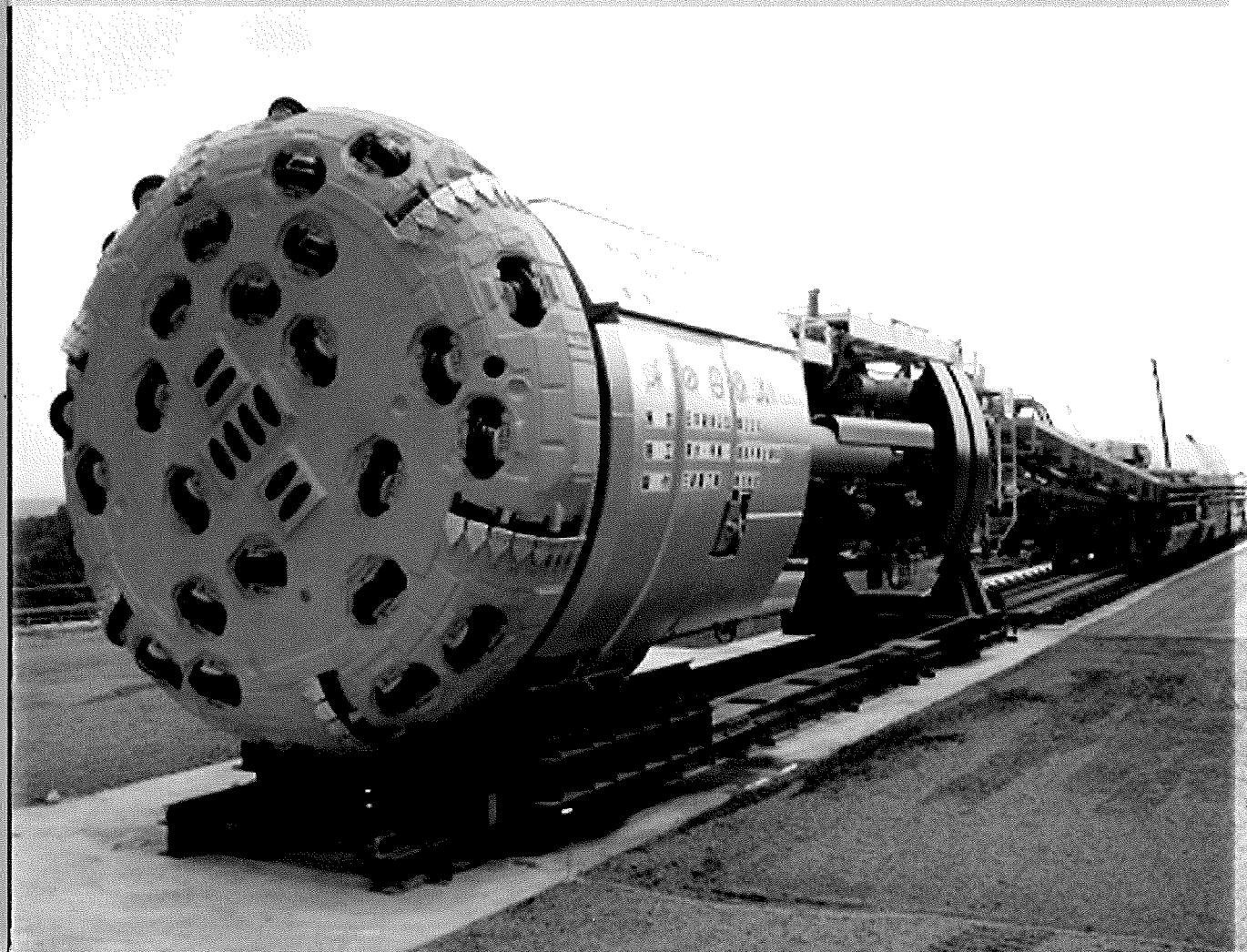
# トンネルと地下 11

vol. 37  
no. 11  
2006

Tunnels and Underground

小土かぶり含水マサ土地山で長崎自動車道と交差  
重金属と突発湧水への対応  
TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工  
地下深部約100mの堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削  
シールドトンネルの長期荷重に関する研究

日本トンネル技術協会誌

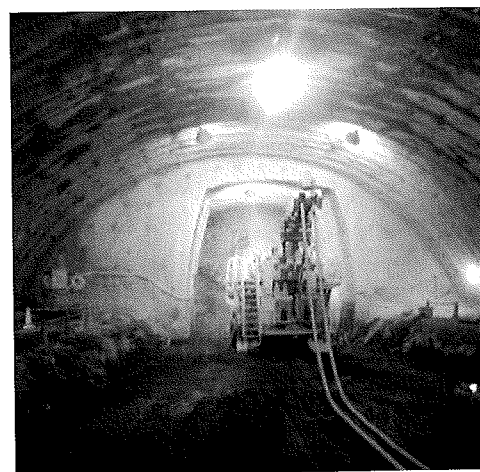


ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



カッター出力 330kW  
総質量 120ton



### 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

## KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: 日本鉦機株式会社)

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 TEL 03-5733-9444

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62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東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62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 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目3番14号 古河ビル 特機営業部 TEL: 03-3231-6966

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

## 吹付けコンクリートシステム



コンクリート吹付機  
**Sika®-PM500 PC**  
by Putzmeister

当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し、今までの吹付機の発想をことごとく変え、さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®-PM500PCを国内に導入しました。

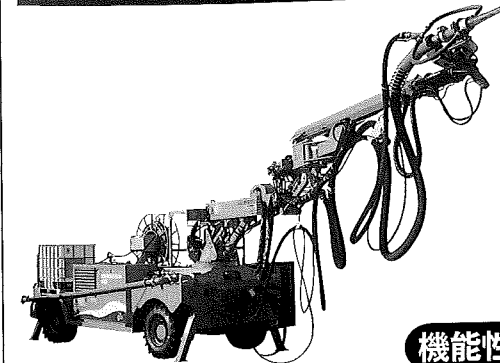


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

### プツマイスター圧送ポンプの特長

- ①シリンダーが他社機と比較して長い  
プツマイスター L=1000mm  
他社機 L=600~700mm
- ②S型揺動管の切替速度が他社機と比較して速い  
プツマイスター 0.15sec  
他社機 0.20~0.30sec
- ③油圧回路に特許FFH(フリーフロー回路)機能を採用

この三大特長によって、吹付け時の脈動が非常に少なく、またそのことに関連して息つきが防止され、コンクリートの付着性が著しく向上、作業時間の短縮、飛散リバンドの減少、さらに部品の消耗、油圧ホース、油圧ポンプ等々を含めコストダウンその減額を可能とします。



### コンパクトで群を抜く使いやすさ!

機能性、機動性の基に理想的な機械化を実現!

総販売元 東友エンジニアリング(株) 製造輸入元 プツマイスタージャパン(株)

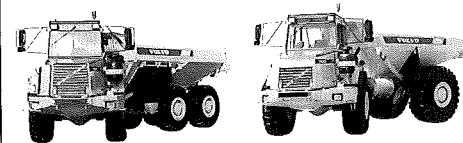
### トンネル関連製品

#### 吹付けコンクリートシステム

putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機  
Putzmeister S.A.

一体型吹付機・特殊型吹付機  
設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

#### VOLVO ダンプトラック (A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)

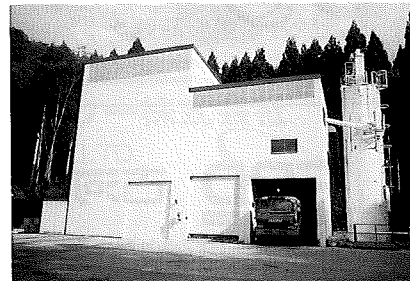


Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

#### バッチャプラント

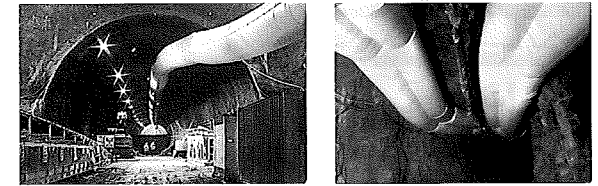
(全自動式, 3槽クラム式, 簡易型, 特殊型)



設計・製作：名岐機器株式会社

## トンネル換気システム

**ABC**  
VENTILATION SYSTEMS



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

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

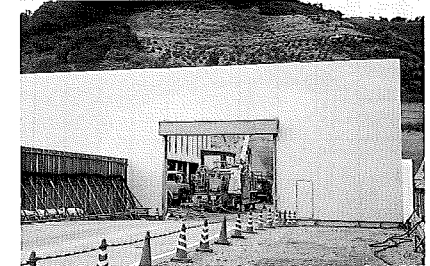
## 騒音防止システム

#### エコフラット -35db Cタイプ



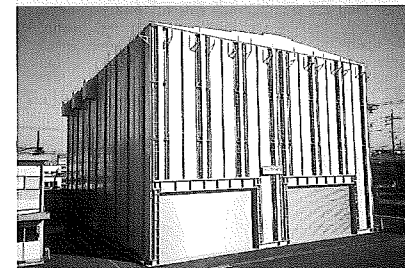
美観を重視した高性能の防音ハウス

#### エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



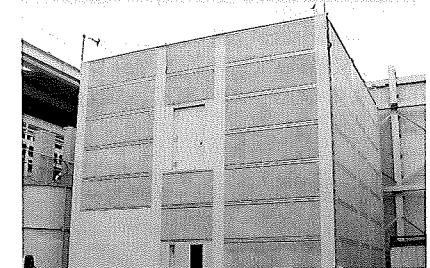
適応性の優れた防音パネル

#### エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

#### スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

### 東友エンジニアリング株式会社

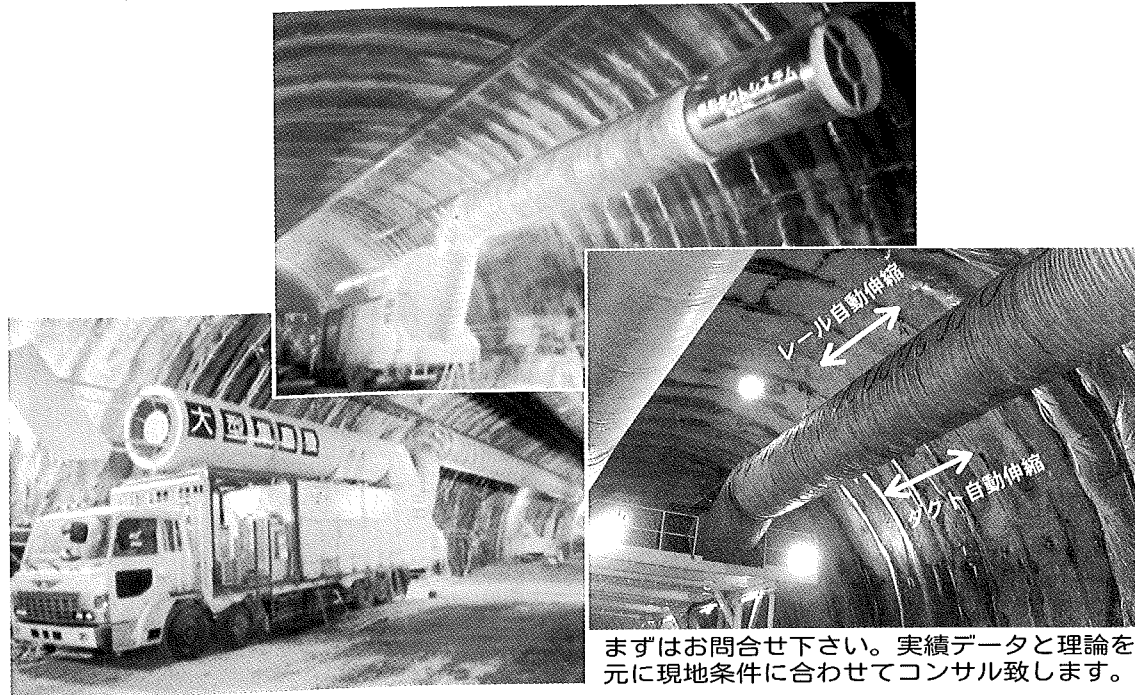
〒102-0073 東京都千代田区九段北 3-2-5 TEL: 03-3234-8901 FAX: 03-3234-8900

株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974

トユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

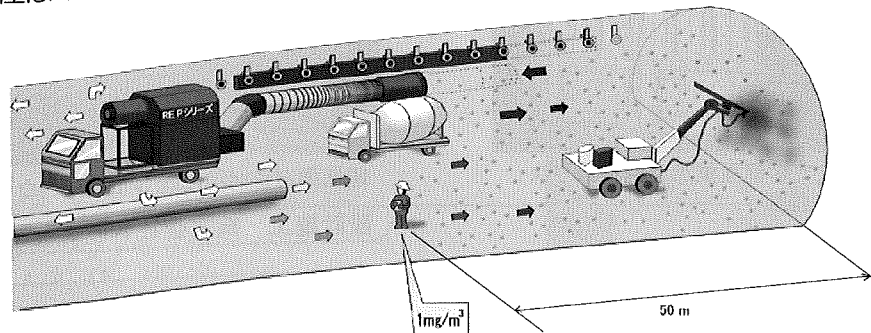
# 吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(\*) 0.5mg/m<sup>3</sup>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應。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。
- ・適應外径は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

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

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

# 超低騒音・三軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

あゆみ 静かなアリエルです



今時、静かなのは当たり前!!

ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

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: エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比-5dB
- 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

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

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

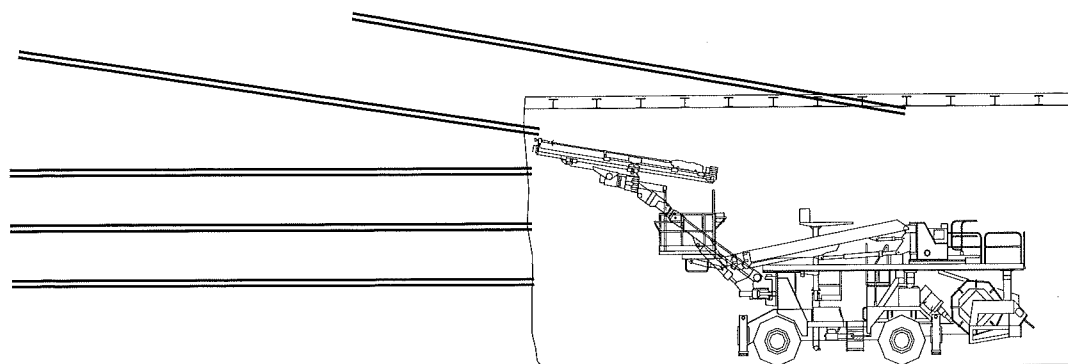
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

# 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

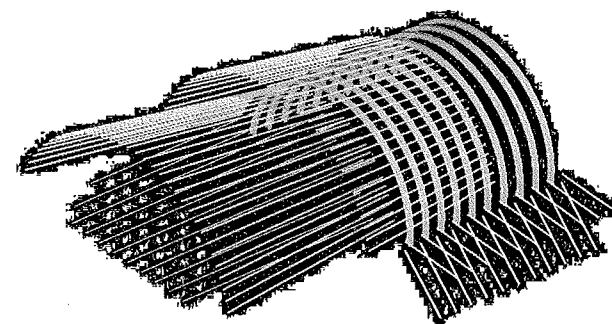
### AGF工法

### 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

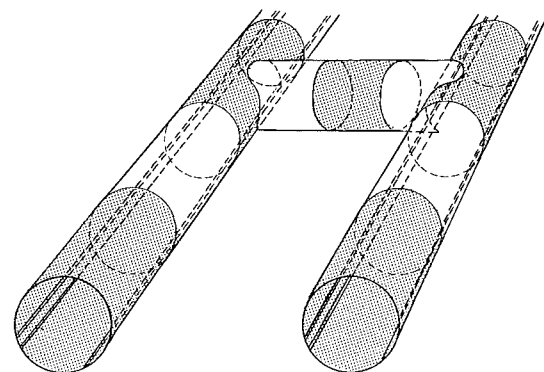
広島事務所 〒735-0022 広島県安芸郡府中町大通1-2-13  
TEL 082-285-6601 FAX 082-285-6651

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  
㈱エイチ・アール・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

# 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

**KFC 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

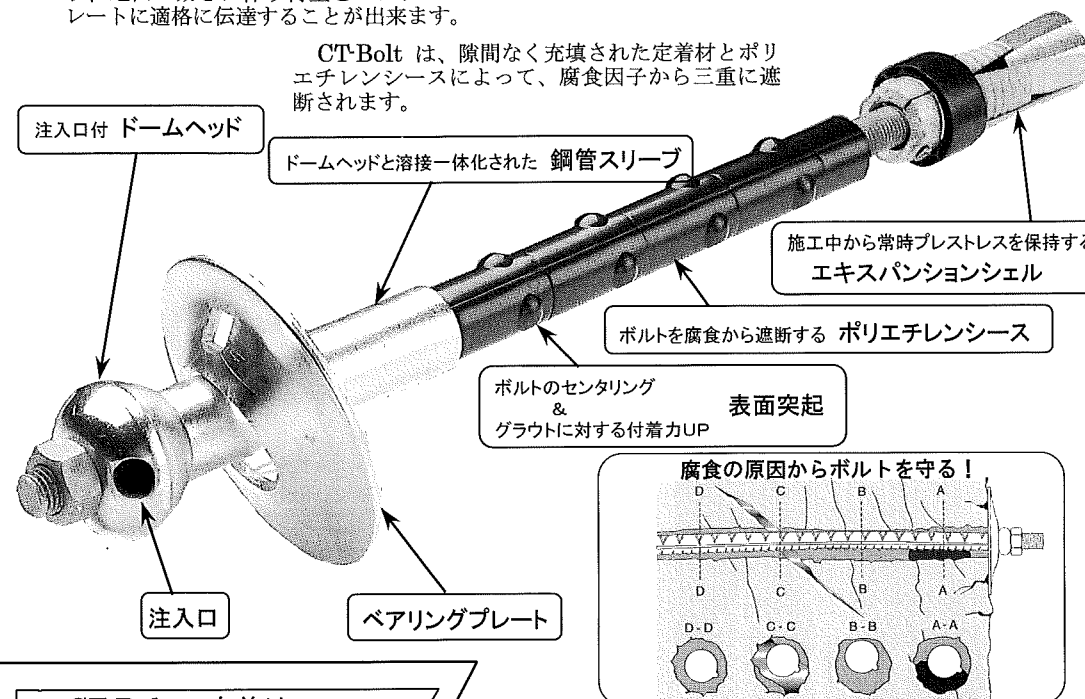
# CT-Bolt



通常施工により超長期支保

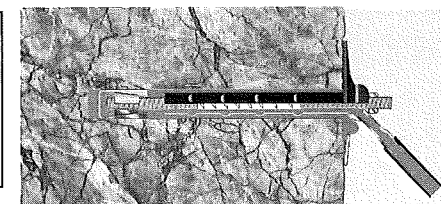
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

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。



- 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

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。

総発売元 Your Fastening Partner

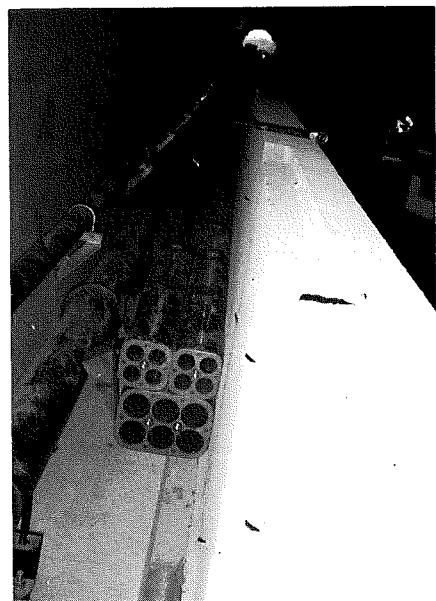
**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

〒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

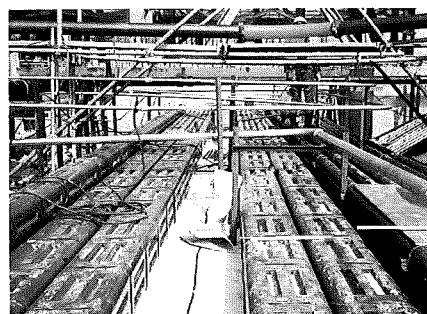
燃えない 錆びない 壊れない

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)]

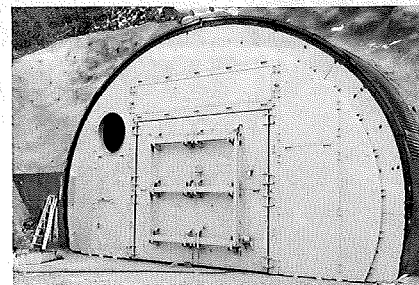
狭い空間(トンネルetc)での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の“多孔陶管”は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。



## 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

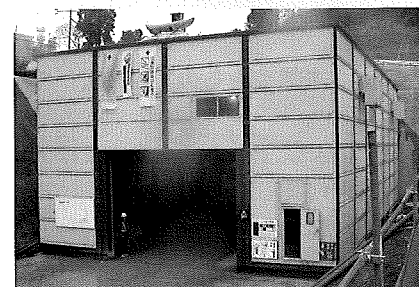
## 快適な作業環境を約束する騒音対策システム



- 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



### 【建設騒音対策協会】(旧 騒音対策研究会)

株式会社牛尾商店	〒810-0801	福岡県福岡市博多区中洲5-4-19	TEL.092-281-2131
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
株式会社ティーエムシー	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里5-23-3	TEL.03-3891-8211
日豊商事株式会社	〒150-0002	東京都渋谷区渋谷2-12-12	TEL.03-3409-8041
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
松茂工販株式会社	〒135-0061	東京都江東区豊洲4-1-23	TEL.03-3536-5531
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)



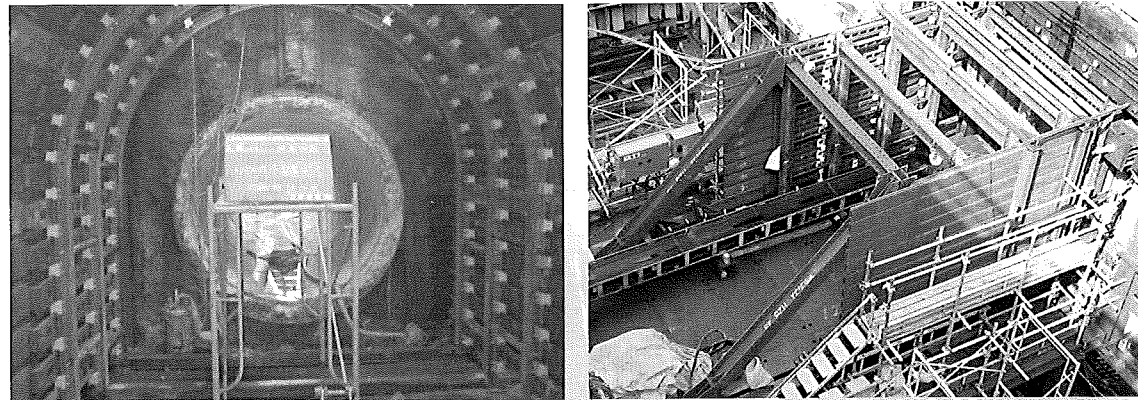
## ヒューズ工業株式会社

FUSE INDUSTRIES CO., LTD.

本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井6-35-5 TEL.03-3617-8111 FAX.03-3617-7565  
 大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル TEL.06-6359-2611 FAX.06-6359-2288  
 E-mail info@fuse-ind.co.jp URL http://www.fuse-ind.co.jp

# 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)

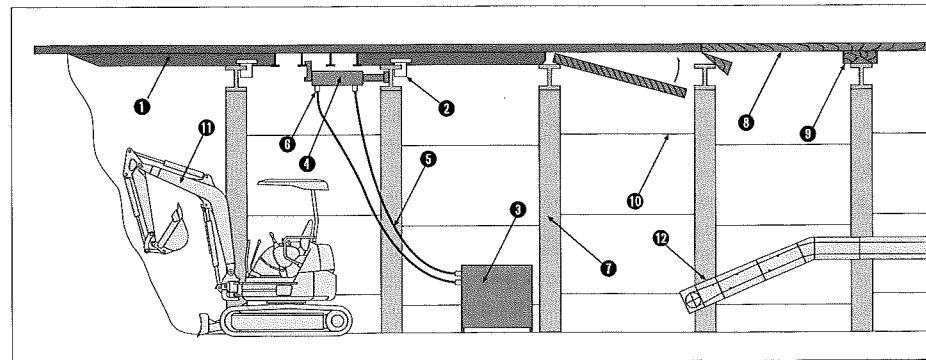
### 特徴

- 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。
- 余堀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



- ①SS-メッセルプレート
- ②スタビライザ
- ③油圧ユニット
- ④油圧ジャッキ
- ⑤油圧ホース
- ⑥油圧手許切換装置
- ⑦支保工
- ⑧木矢板
- ⑨木製キャンバー
- ⑩径間パイプ、  
タイロッドボルト
- ⑪バックホウ
- ⑫ベルトコンベア

**SIETECH 株式会社シーテック**  
 URL <http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/>

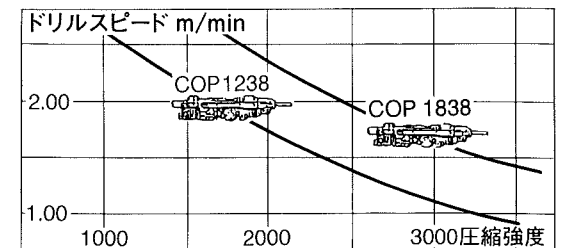
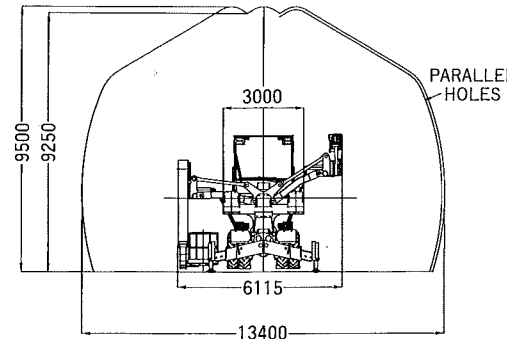
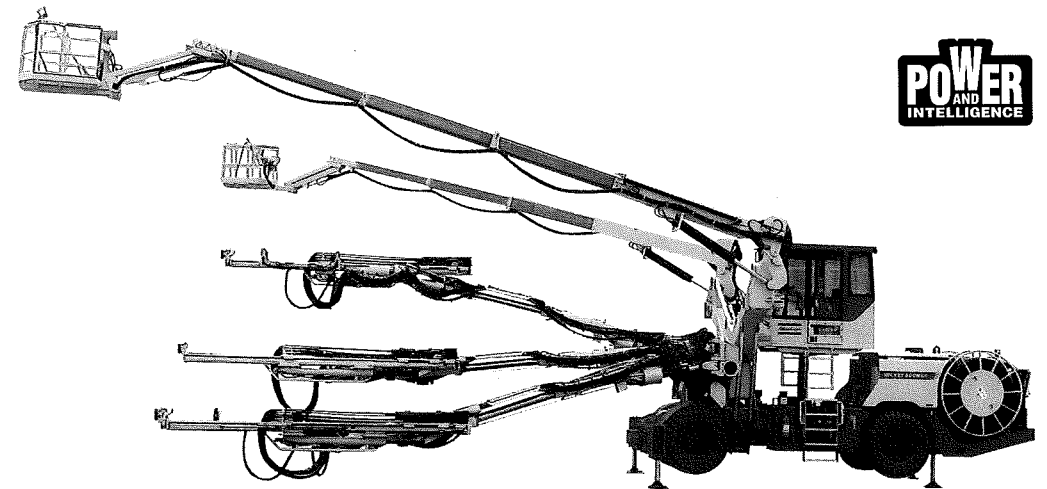
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

# 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

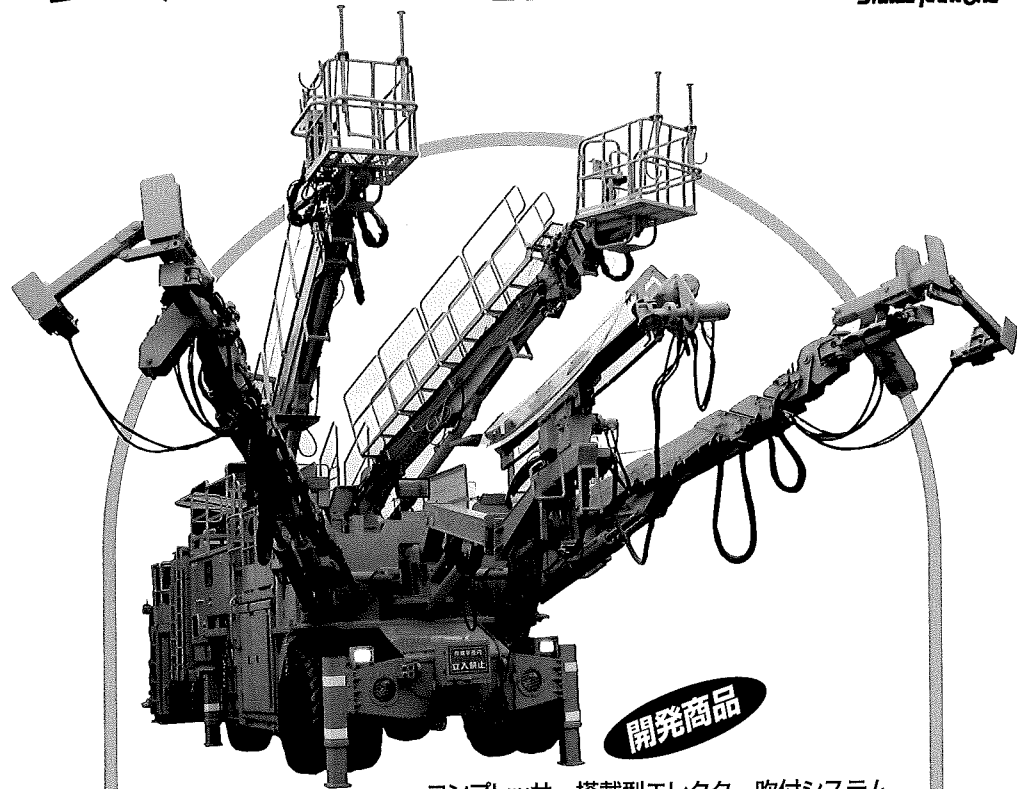


## ドリルマシン株式会社

### DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里 6-16-8 桂ビル5階  
 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 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端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)

## 〈1台2役のすぐれモノです!〉

- 1台にて1次吹付、支保工建て込み、2次吹付可能です。
- 2バスケットによる効率UPが可能です。
- 最大荷重1200kgの支保工を運搬・建て込み可能です。
- コンプレッサー 90kw・37kwを搭載しています。

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  
TEL072-677-2101(代) FAX072-677-2109

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
- ノーフリージング
- 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 ◆



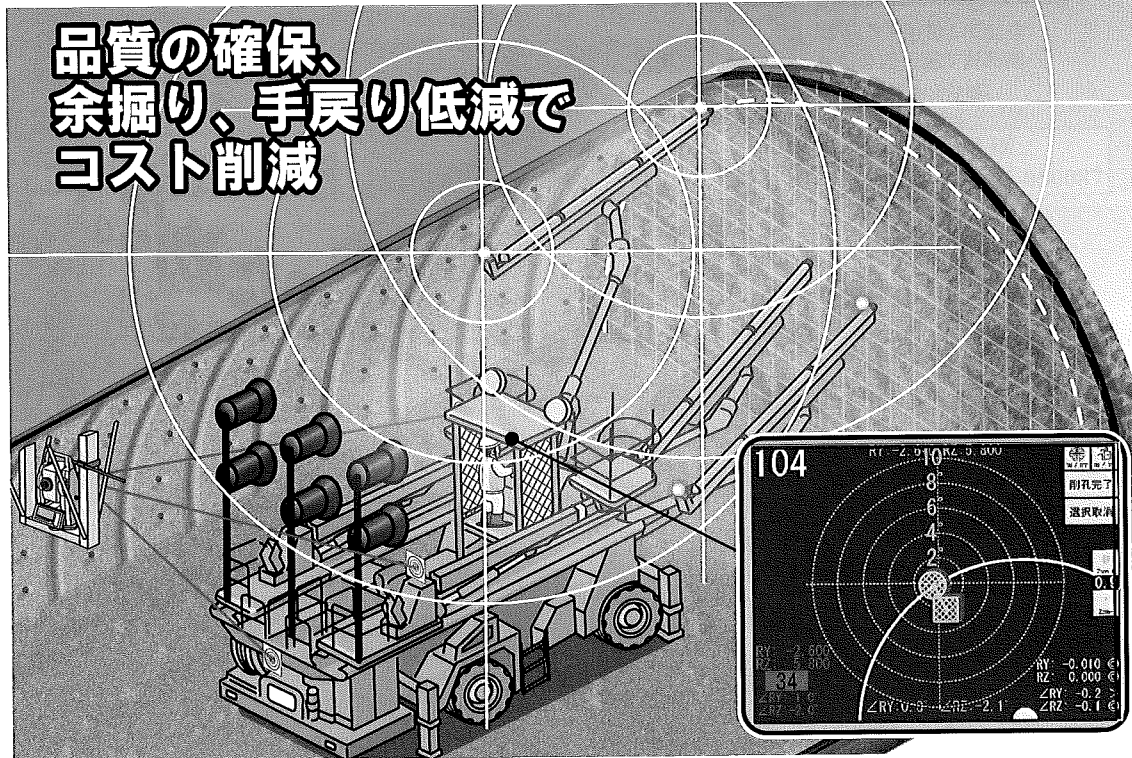
株式会社 マイル

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



# ジャンボナビゲーションシステム

3次元リアルタイム画像処理と高精度自動測量により究極の余掘り管理を実現します



品質の確保、  
余掘り、手戻り低減で  
コスト削減

## ★最適な削孔位置、角度の割り出し

3次元リアルタイム画像処理技術によりガイドセルの位置、角度を正確に把握

## ★オペレーターの作業性UP

最適Pointを運転席モニターでガイダンス

## ★削孔情報のデータベース化

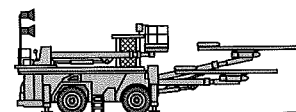
データは数値化され、データベースとして蓄積、次の削孔に活用

## ★リアルタイムモニタリング可能

オンライン化により事務所でも同時にデータ閲覧が可能

## ★従来のジャンボがグレードアップ

お手持ちのジャンボに搭載が可能



株式会社 演算工房 <http://www.enzan-k.com/>



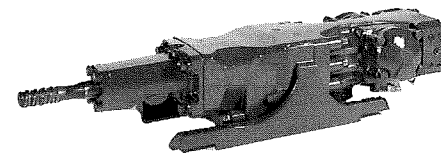
■京都本社 〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階 TEL. 075-213-7200 FAX. 075-213-7201  
■東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号 川崎パークビルI7階 TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589

TOYO

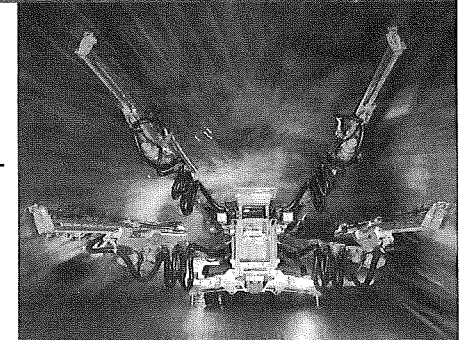
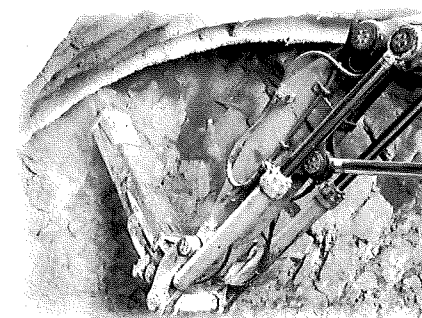
SANDVIK



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 EJC Rammer

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>

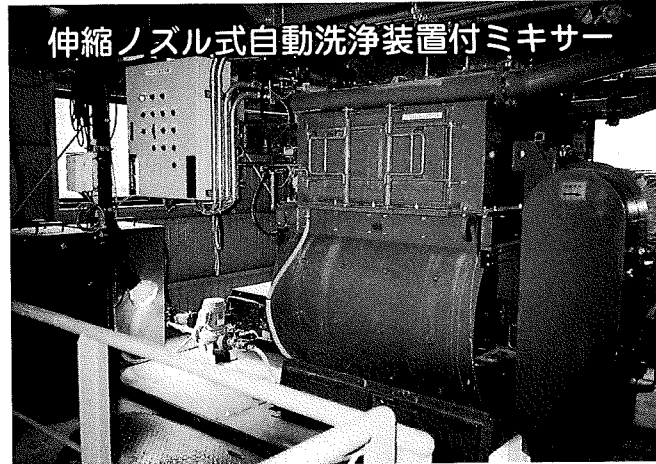
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

# 全自動式 バッチャプラント

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 (30ton・重タンク用・40ton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

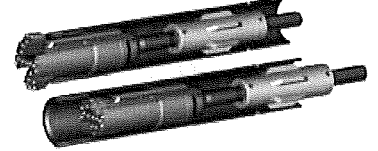
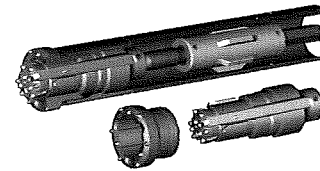
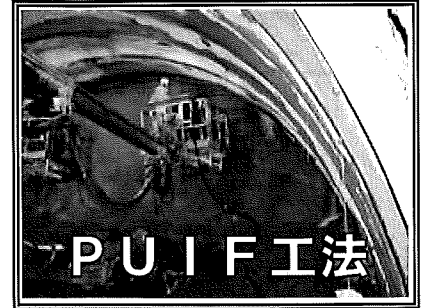
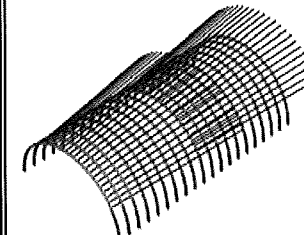
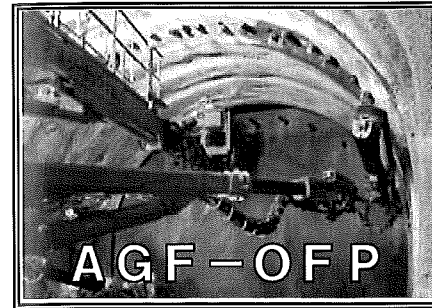
本業工場 岐阜県本巣市神海  
〒503-1235 TEL (0581) 32-5066  
FAX (0581) 32-5565

長工期  
トンネルに適し  
人件費の  
大幅削減!

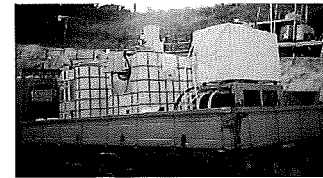
ミキサー洗浄水  
トラミキ洗浄水  
リサイクル

# トンネル補助工法【岩盤固結材他】

トンネル補助工法における資材の製造・販売



### R (リサイクル) コンテナシステム

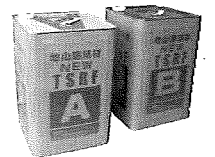


- ◎環境に配慮した注入システムであり1斗缶の産業廃棄物処理が無くなります。
- ◎R (リサイクル) コンテナが工場と現場を往復します。



### 岩盤固結材

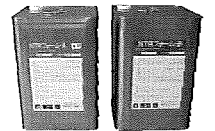
New-TSRF



New-TBU



NTRフォーム



\* 平成18年6月から東海ゴム工業(株)より岩盤固結材に関する事業を継承し製造・販売を行っております。

## TMC株式会社ティーエムシー

本社 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第2ビル5F  
大阪支店 〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F  
仙台支店 〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F  
名古屋支店 〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F  
九州営業所 〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 74・ツルギビル1F  
富山営業所 〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F

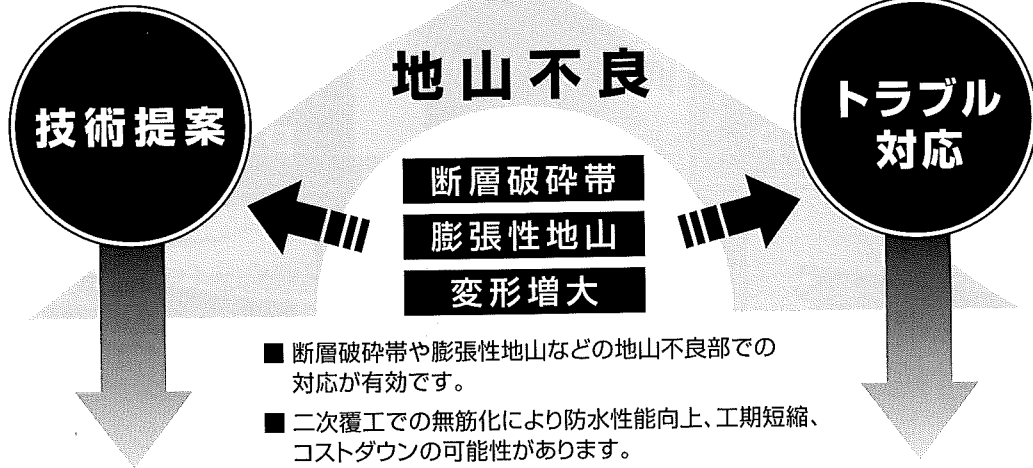
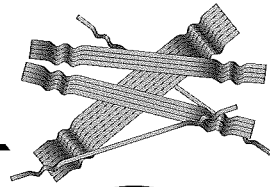
TEL 03-3891-8211 FAX 03-3803-6380  
TEL 072-966-6280 FAX 072-966-5720  
TEL 022-286-5111 FAX 022-286-5113  
TEL 0568-56-4288 FAX 0568-56-9219  
TEL 0942-40-8151 FAX 0942-40-8152  
TEL 0766-29-0001 FAX 0766-29-0002

**BRIDGESTONE**

厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

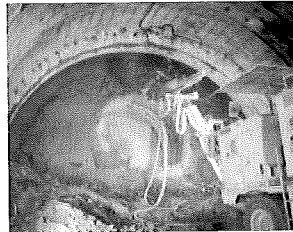
コンクリートをより強く、よりしなやかに。

## タフグリッ プ コンクリート補強用鋼繊維



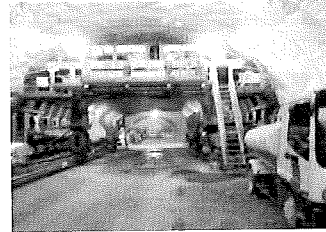
### 一次吹付

- 吹付のコンクリートの崩落防止 (膨張性地山)
- 山はね対策
- メッシュ置換 (安全対策)
- 切羽の自立補助



### 二次覆工

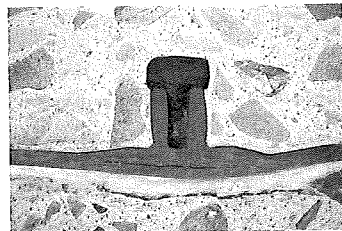
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

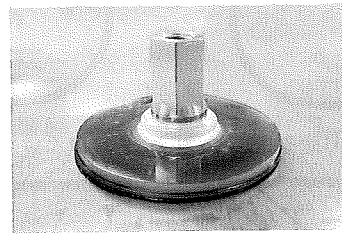
## ナトミックシート トンネル用防水シート

### 高い防水性



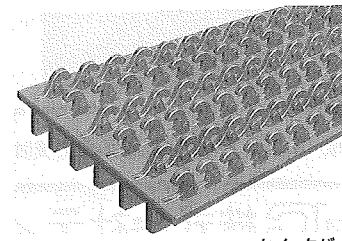
ウォーターバリア

### 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

### 容易な施工性



クイックバー

**株式会社ブリヂストン**

土木・建築資材販売促進第2部  
東京都中央区八重洲1-6-6 〒103-0028  
TEL. (03) 5202-6872 FAX. (03) 5202-6874

【好評発売中】

# シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章  
B5判 約280頁 本体価格4,660円 送料 340円

【推薦の言葉】

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

泥水式、土圧式シールドの開発と実用化により、切羽の崩壊や地盤沈下の防止はもとより、適用地盤の拡大、施工性や作業環境の改善なども飛躍的に進み、都市トンネルの施工法としてシールド工法は一般化されてきた。そして、今日では、立坑の設置や発進などの工夫や、特殊な断面形状や多円形のシールド工法の開発など、今日的なニーズや用途に応じた技術が誕生している。これらの技術は、国内はもとより英仏海峡トンネルの建設でも活用されるなど、広く海外でも日本で育ったトンネル技術として社会基盤造りに貢献している。

本書は、最近のシールドトンネルの新技术を実務経験者を中心にまとめたものである。本書の特色は、シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性の現況をまとめたうえで、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載されている。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介されており、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

本書の刊行が、シールド工事のより一層の安全性や経済性に寄与するとともに、新しいシールド技術の発展に貢献するものと確信するものである。

### 主要目次

第一章 概説 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性 ○ シールド工法の歴史 ○ シールド工法誕生以前のトンネル工法 ○ シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史 ○ シールド工法の導入と発展の経緯 ○ シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性 第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法 第三章 設計・施工編 1. 覆工 ○ 一次覆工の設計 ○ 二次覆工の設計と施工 ○ シールドトンネルの防水技術 2. 立坑の設計と施工設備 ○ 立坑の設計と施工 ○ シールド機の構造と装備 ○ 仮設備の計画 ○ シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理 ○ シールド掘進と施工管理 ○ シールド発進と到達 ○ 裏込め注入工法と注入効果 ○ 曲線施工と地中接合 ○ 補助工法の種類と選定 4. 近接施工と環境対策 ○ 近接施工と対策 ○ アンダーピニングおよび支障物対策 ○ シールド工事と環境対策 ○ 新工法の現状と将来展望 ○ ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変状防止 ○ 切羽安定の理論と実際 ○ 泥水式シールド工法の切羽安定 ○ 土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際 付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画

**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

きりりと線

《ご注文票》

シールドトンネルの新技术 \_\_\_\_\_ 冊 申込みます。

所在地 〒 ( )

事業所名

部 課 名

申込者名

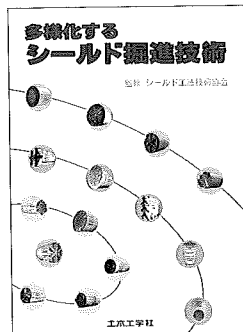
®

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



日本のシールド掘進技術は、国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように、国内はもとより海外でも高い評価を受けている。とりわけ、世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は、まさに日本が世界に発信している技術と言える。これらの掘進技術のほかにも、最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く、毎年、新しい技術が更新を繰り返している。

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

このため、読者の声に応えるべく、連載講座には掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度、同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い、発刊することとなった。

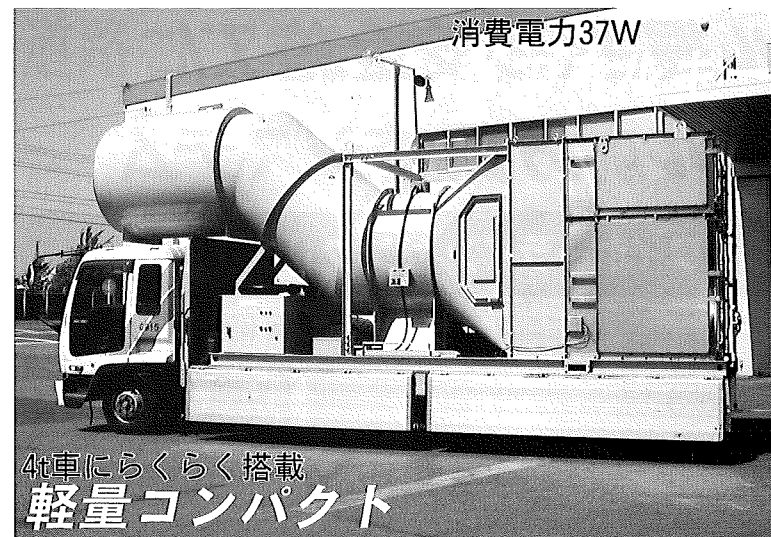
## 〔掲載工法〕

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カッター・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(株)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  
TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807



消費電力37W

RENT

取扱レンタル商品

- フリッカー対策器
- MACレーザーシステム
- オアシス(坑内休憩室)
- 発電機エコ装置  
(従来より小容量の発電機で  
施工できる為、省エネ効果)

4t車にらくらく搭載  
軽量コンパクト

National電気集塵機FY-20TKE(2,000m<sup>3</sup>/minタイプ)

株式会社 レント 特機営業課 担当者 工藤・近江

〒134-0093 東京都江戸川区二之江町1409-1

TEL: 03-5659-7502 FAX: 03-5676-0167 E-mail: kudo.yuji@rent.co.jp

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)

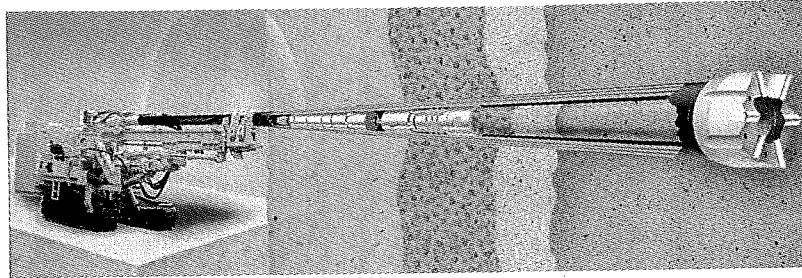
【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/  
各種中古車/触媒/線路(中古)

中濃産業株式会社  
代表取締役 土田 義 弐

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ま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行え、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。

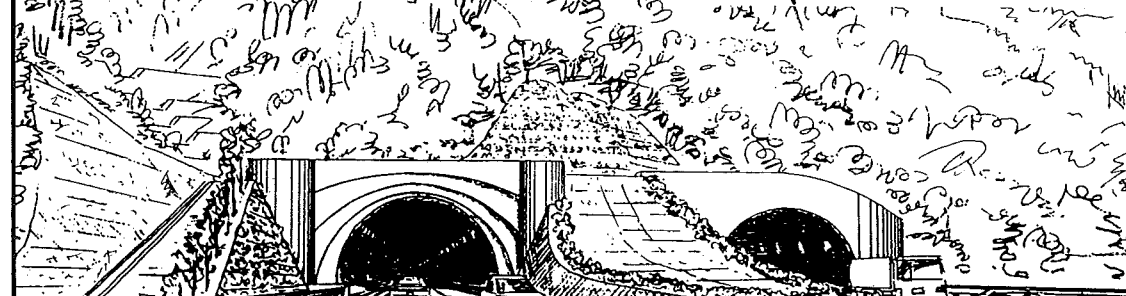


本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F  
TEL (03)6907-7888(大代表) FAX (03)6907-7527

お問い合わせ先：工事営業本部  
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522  
<http://www.koken-boring.co.jp>

# 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



(社) 建設コンサルタンツ協会会員 ISO9001取得

## 株式会社 ロード・エンジニアリング

会長 田島利男 代表取締役社長 清水洋(技術士)  
(技術士・土木学会フェロー会員)本誌編集顧問  
取締役副社長 山田憲夫 常務取締役 堀内浩三郎(工学博士)  
大阪支店長 亀甲谷義高(技術士) 福岡支店長 朽網新

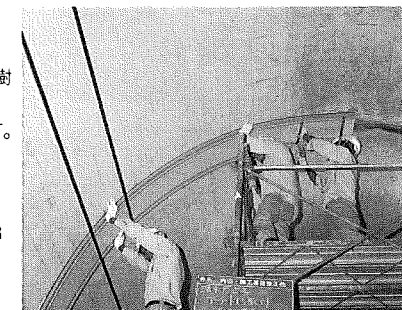
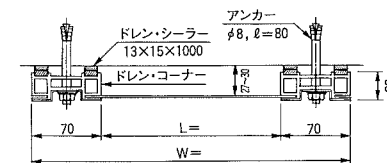
本社：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711  
大阪支店：〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711  
福岡支店：〒812-0016 福岡県博多区博多駅南1丁目15番22号 電話(092)436-1588  
沖縄営業所：〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

## トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

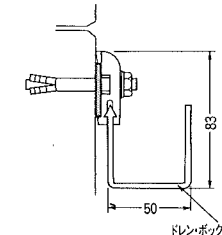
# アーチ・ドレン 導水樋

### ■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。



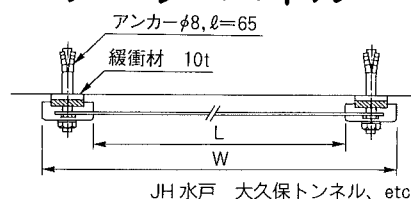
## 水平導水樋に サイド・ドレン



### ■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

## 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.

## 上半先進や狭い断面に!!

0.7m<sup>3</sup>ペースマシン ローディングショベル



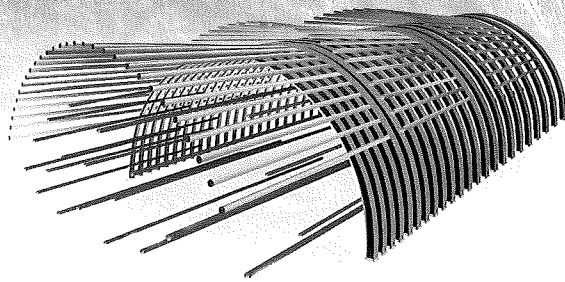
株式会社ケイリー  
仙台：TEL.022-359-5331  
東京：TEL.03-3661-5651  
大阪：TEL.06-6838-1372

URL <http://www.klea-cat.com>

## ニホン・ドレン工業株式会社

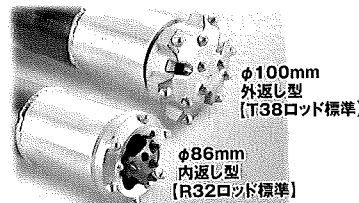
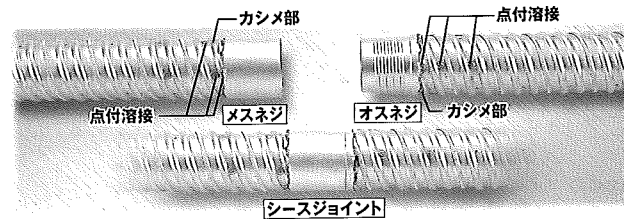
〒910-2166 福井市小路町4-12-1  
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455  
e-mail [n-doren@sky.hokuriku.ne.jp](mailto:n-doren@sky.hokuriku.ne.jp)

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



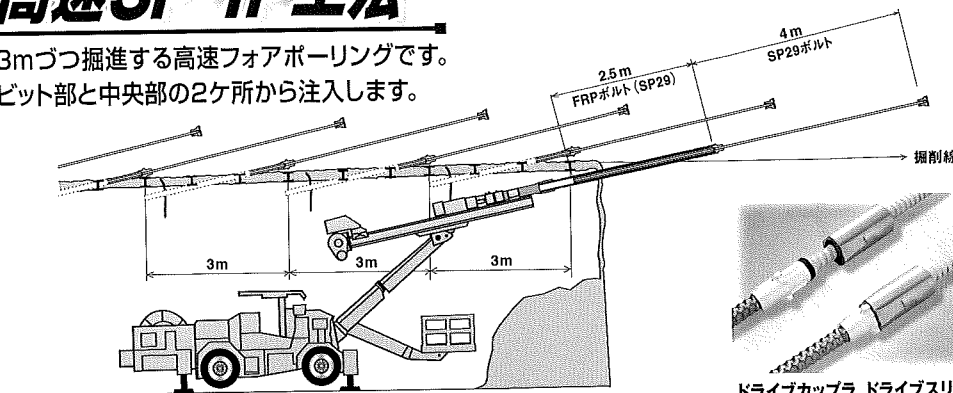
## FIXチューブ工法

※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと“FIX”します。

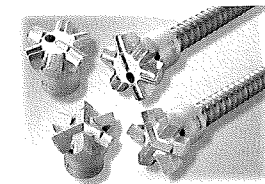


## 高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアボーリングです。ビット部と中央部の2ヶ所から注入します。

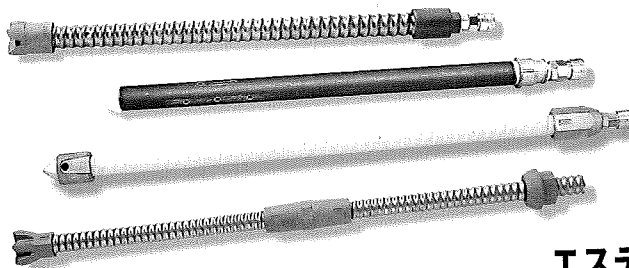


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット (SP29)

## 自穿孔ボルト&注入管



※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。

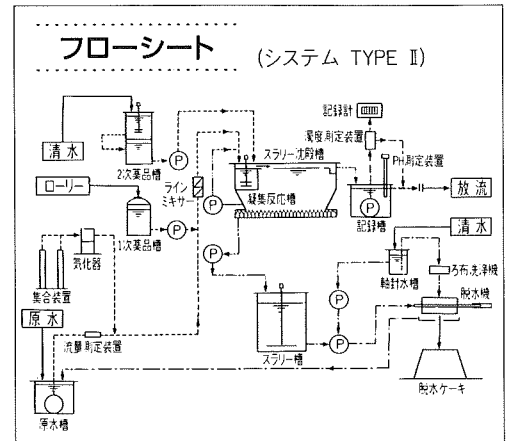
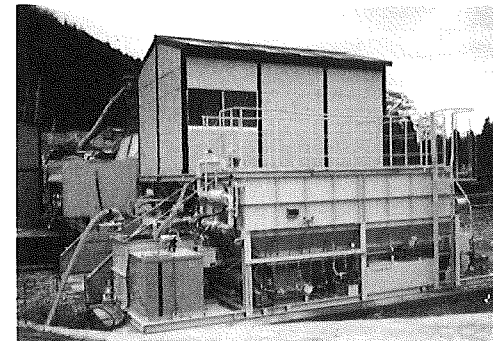


エスティーエンジニアリング株式会社  
ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251  
http://www.st-eng.co.jp

# 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。角型シッ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費が少ない。  
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。
3. シッ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常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。処理水の水质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 (異常警報装置と連動)  
炭酸ガス後中和処理装置 (エアレーション装置等)  
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

シックナー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

### ■巻頭言

#### 海外プロジェクトへの挑戦

友野 希成 .....5

### ■研究

#### シールドトンネルの長期荷重に関する研究

有泉 毅・金子 俊輔・塩冶 幸男 .....49

### ■施工

#### 小土かぶり含水マサ土地山で長崎自動車道と交差

##### —九州新幹線 筑紫トンネル(山浦工区)—

佐々木幸一・武内 繁一・永利将太郎・坂田 和幸 .....7

#### 重金属と突発湧水への対応

##### —国道289号 甲子トンネル—

岩淵 誠・篠田 耕二・原 淳二・新居 直人 .....15

#### TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工

##### —第二名神高速道路 甲南トンネル(下り線)—

奥隅 豊栄・大矢 隆二・木村 厚之・楠本 太 .....27

#### 地下深部約100mの堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削

##### —余裕深度処分埋施設本格調査のうち試験空洞掘削工事—

富田 敦紀・蛭名 孝仁・福田 勝美・戸井田 克 .....39

### ■連載講座

#### 発破技術の現状(1)

##### —現状と展望—

「発破技術の現状」連載講座小委員会 .....57

### ■現場だより

#### 「コノハズクの里」新城市より

玉井 昭雄 .....14

#### 日本三景「天橋立」を望みつつ

福家 佳則 .....26

### ■資料

#### トンネル千夜一夜(23)

小野田 滋 .....24

#### 土木情報

編集部 .....38

#### トンネルジャーナル

編集部 .....48

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....64

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....65

### ■会報

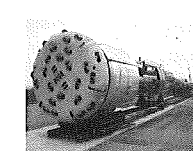
#### 会報

日本トンネル技術協会 .....67

#### 【表紙説明】

TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工

—第二名神高速道路 甲南トンネル(下り線)—



第二名神高速道路甲南トンネルでは、掘削断面積は約190m<sup>2</sup>、延長約2,500mの双設長大トンネルをTBM導坑先進掘削工法で施工した。下り線工事では、地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な掘進を可能にするTBM施工技術、先行した上り線TBM導坑の施工成果を受けて地質情報などを本坑掘削計画に反映させる情報化施工技術、および合理的で効率的な大断面トンネルの施工技術を駆使し、上り線掘削工事に並行して行われた。写真は、φ5.0mTBM全景。

〔写真提供：西日本高速道路(株)〕(本文27頁参照)

**ヤマモト (ま)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)

# Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

## 都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

# カナレックスML

電線共同溝をはじめとする電力・通信ケーブルの埋設管工事  
情報化時代に伴う光ファイバーの多条敷設  
都市部での電線地中化工事を省力化・効率化

### 1. 独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）

- ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

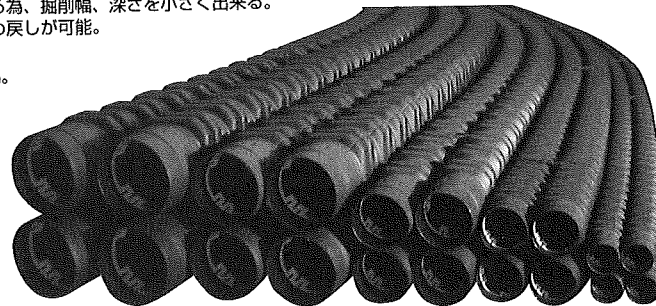
### 2. 可とう性に優れる

- ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

### 3. 優れた性能

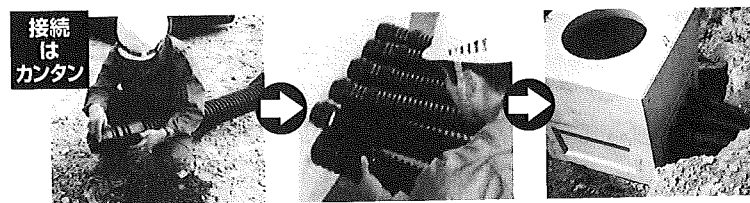
- ・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
- ・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
- ・JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

### 4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

# ワンタッチ継手付ハンドホール



管路に継手差口をねじこみ 継手受口に差しこむだけ これで接続完了。

ワンタッチ継手（ベルマウス付直材）を工場に取り付けてご納品。管路接続がスピーディー、確実に行えます。

●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

※特許・意匠出願中

TVコマーシャル放映中 テレビ朝日「サンデープロジェクト」(日曜 朝10:00~11:45)

**カナフレックスコーポレーション株式会社** ISO 9001 認証取得

**株式会社 インテック**

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)6881-0767 FAX(06)6881-0769

営業所 札幌・仙台・新潟・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・北四国・福岡・鹿児島  
直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

## 会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

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

〔幹 事〕

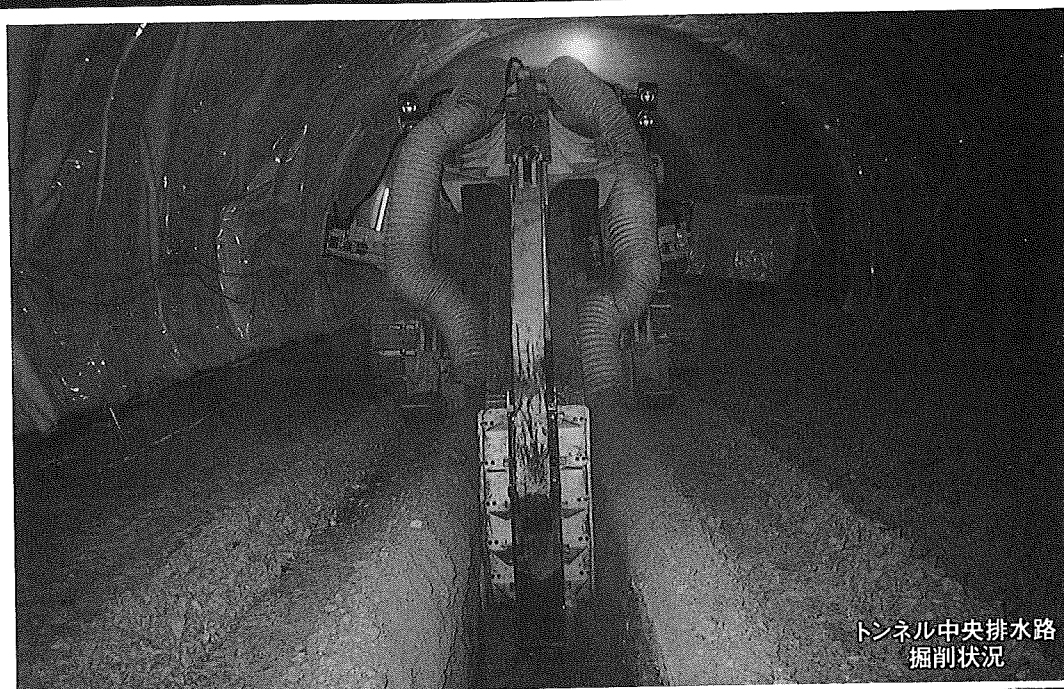
伊藤 範行 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 グループ長	端 則夫 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
大石 敬司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長	濱 建介 株式会社アオバ取締役会長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長	松尾 勝弥 飛島建設株式会社土木本部トンネル統括部長
鈴木 明 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	山田 邦博 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
千葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 技術第二部部长	山田 隆昭 中日本高速道路(株)中央研究所 トンネル研究主幹
長島 芳雄 株式会社竹中土木取締役技術本部長	山道 哲二 株式会社大林組東京本社土木技術本部技術 第二部部长

## 編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

伊吹山 四郎 攻玉社工科大学短期大学名誉学長	林 博 西松建設株式会社専務取締役
島田 隆夫 鉄建建設株式会社社友	松本 崇義 (元)東京都理事
高橋 彦治 伸光エンジニアリング株式会社技師長	丸安 隆和 東京理科大学教授
田島 利男 NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット トンネル担当	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

# 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	テスメック	テスメック	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 <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	1000kg/cm <sup>2</sup>
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	高橋 良文 東京都下水道サービス株式会社技術部長
定塚 正行 日本シビックコンサルタント株式会社 参与・技師長(山岳トンネル担当)	橋本 定雄 中黒建設株式会社顧問
	濱 建介 株式会社アオバ取締役会長

### 〔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 東京電力株式会社電力流通本部・工務部 設備渉外・調整グループ課長	町田 俊二 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	山田 隆昭 中日本高速道路株式会社中央研究所 トンネル研究主幹

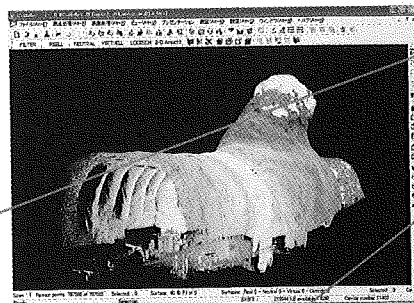
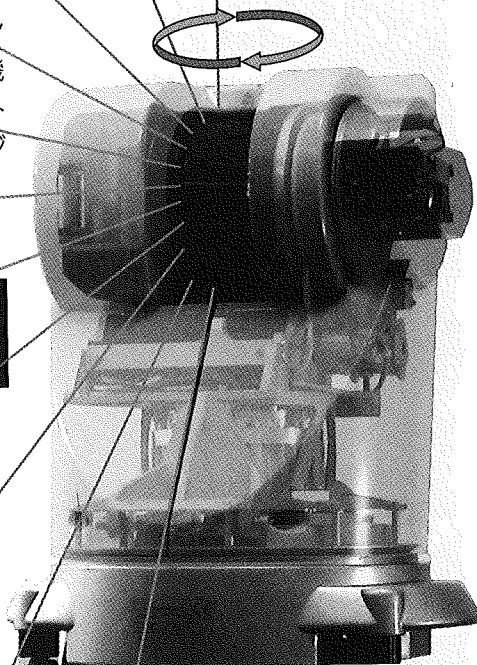
# Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

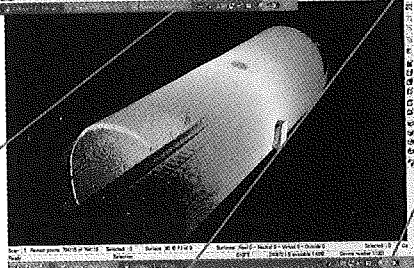
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m<sup>(1)</sup>の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



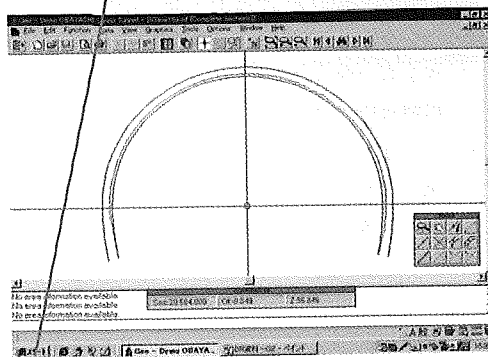
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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、観測範囲のボリューム計算などが計算・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

小土かぶり含水マサ土地山で長崎自動車道と交差  
—九州新幹線 筑紫トンネル(山浦工区)—

鉄道・運輸機構 佐々木幸一

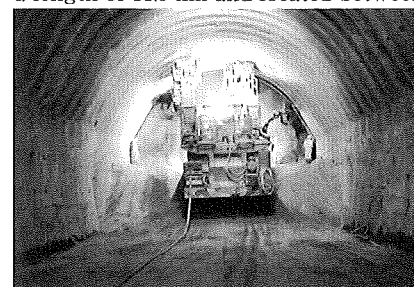
筑紫トンネルは、九州新幹線で最長となる延長約11.9kmの新幹線複線トンネルであり、福岡県那珂川町から背振山系を貫き佐賀県鳥栖市に至る。同トンネルは4工区に分割して施工を進めており、そのうちもっとも終点方の山浦工区は、長崎自動車道直下を土かぶり約20mで交差する。長崎自動車道は交通量も多く、トンネル掘削により支障が発生した場合には社会的にも多大な影響を及ぼすことが懸念された。

長崎自動車道交差部付近の地質はおおむね強風化花崗岩のマサ土で自然地下水位も高く、さらに全土かぶり約20mのうち、上部約10mは盛土で構成されている。本稿では、このような厳しい条件下でのNATM施工に際して、切羽の安定を図り許容値以上の大きな沈下などを発生させないよう実施した各種対策工の内容と効果および各種計測内容とその結果について報告する。

### Chikushi Tunnel crossing Nagasaki Expressway with Small Cover in Weathered Granite Soil

By Koichi Sasaki, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Chikushi Tunnel is a double track tunnel of Kyushu Shinkansen (Kyushu Super Express Railway Line) with a length of 11.9 km and located between Nakagawa Town, Fukuoka Prefecture and Tosu City, Saga Prefecture



写真は切羽掘削状況

penetrating Sefuri Mountains. The project of construction of this tunnel is divided into four sections. This tunnel crosses Nagasaki Expressway in Yamaura Section, the south end one with a cover of about 20 m. If the tunnel excavation gives negative impacts to this Expressway, it is concerned that its social influence is very severe because this Expressway has much traffic volume. The geology of this crossing section is heavily weathered granite soil and the ground water level is high. The upper cover with a depth of 10 m consists of embankment. This tunnel was excavated with NATM. This paper reports the measures to control settlement and the results of measurements.

掲載頁

15

重金属と突発湧水への対応  
—国道289号 甲子トンネル—

国土交通省 岩淵 誠

国道289号は、新潟県新潟市を起点とし、福島県の南会津地方、県南地方を経て同県いわき市へ至る幹線道路である。このうち、南会津郡下郷町から西白河郡西郷村までの間は険しい甲子峠に阻まれ通年通行不能となっており、この甲子峠区間の「甲子道路」の整備が、文化や経済、観光などの幅広い交流の幹線ネットワークとして大きな期待が寄せられている。

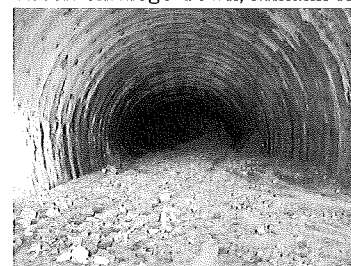
甲子トンネルは、この甲子道路整備の主となり、甲子山(標高1,549m)を全長4,345mで貫く長大トンネルで、平成15年より下郷町側から翌年には西郷村側と両工区より掘削を開始した。事前調査段階および掘削施工段階において、①重金属の溶出する可能性のある掘削岩への対応、②掘削時突発湧水への対応、が必要となった。

本稿では、これら課題に対する施工概要について報告する。

### Measures against Rock having Heavy Metals and Sudden Spring Water in Kashi Tunnel

By Makoto Iwabuchi, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation

National Road No.289 is a trunk one starting from Niigata City, Niigata Prefecture, passing the south district of Aizu, Fukushima Prefecture and leading to Iwaki City, Fukushima Prefecture. The traffic in the section between Shimogo Town, Minami Aizu County and Nishigo Village, Nishi-Shirakawa County is not always available because steep Kashi Mountain Pass is located there.



写真は突発湧水による土砂流出状況

The project of development of network of Kashi Road is expected to settle this traffic problem and to improve the exchange of culture, activate the economy and promote the sightseeing business. The construction of Kashi Tunnel is one of this project has a length of 4,345 m penetrating Kashi Mountain, 1,549 m high. The tunnel excavation started from the portal in Shimogo Town in 2003 and from the one in Nishigo Town in 2004. The site investigation tells us that the measures against rock having heavy metals and sudden spring water during excavation.

This paper reports the construction records of this tunnel.

第二名神高速道路甲南トンネルは、掘削断面積は約190m<sup>2</sup>、延長約2,500mの双設長大トンネルで、TBM導坑先進拡幅掘削工法を採用した。この下り線工事は、先行した上り線TBM導坑の施工成果を受けて、下り線TBM導坑地山等級を見直し、上り線拡幅掘削工事と並行して行われた。下り線TBM導坑の先行掘削は、2004年6月より開始し、2006年2月に貫通した。

本稿では、地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な掘進を可能にするTBM施工技術、先行TBM導坑掘削で得られた地質情報などを本坑掘削計画に反映させる情報化施工技術および合理的で効率的な大断面トンネルの施工技術について、大断面トンネルの挙動特性とともに報告する。

Construction of Konan Tunnel of Meishin Expressway No.2 by Drift followed by Excavation Method using TBM

By Toyohide Okuzumi, West Nippon Expressway Co., Ltd.

Konan Tunnel of Meishin Expressway No.2 is a twin tunnel having a section area of about 190 m<sup>2</sup> and a length of 2,500 m, and was excavated by the drift followed by excavation method using TBM. After the completion of drift of upward tunnel using TBM, the rating of geology was reviewed and the drift of downward tunnel using TBM and the enlargement work of upward tunnel were executed. The excavation of drift of downward tunnel started on June, 2002 and completed on February, 2004.

This paper reports the rapid excavation by TBM in stable ground, the safe excavation in unstable ground, and the intelligent construction system and technologies for large section excavation adopted in this project.



写真はφ5.0mTBM全景

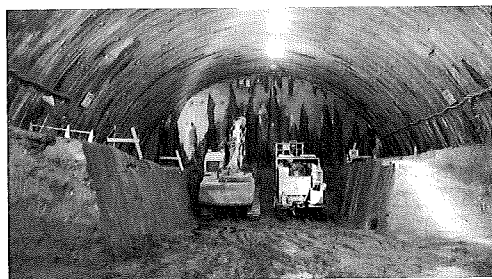
日本原燃(株)では余裕深度処分埋設施設(低レベル放射性廃棄物のうち比較的放射能レベルの高い廃棄物を地下埋設する施設)の基本設計を目的とした調査を実施しており、その一環として青森県六ヶ所村の敷地内で空洞の力学的安定性および掘削影響領域の把握を目的とした試験空洞の掘削を実施した。地下約100mの試験空洞周辺の地質は新第三紀中新世の堆積軟岩で地山強度比は2以下と小さく相対的には高地圧な岩盤である。このような条件下の位置に埋設施設本空洞と同規模の径約18m級の大規模空洞を掘削した。本報告は上記サイト特性を有する岩盤での情報化設計施工実績および施工時の特徴的な空洞挙動として、①空洞壁面近傍の剥落、割目の発生、②掘削時の周辺岩盤の間隙水圧挙動などについて報告するものである。

Excavation of Test Cavern in Sedimentary Soft Rock, 100 m deep

By Atsunori Tomita, Japan Nuclear Fuel Limited

Japan Nuclear Fuel Limited researches the basic design of low-level radioactive waste (LLW) sub-surface disposal facility with engineered barrier for the relatively high level radioactivity waste among low level ones. The test excavation of cavern was done in the research yard of Rokkasho Village, Aomori Prefecture to study the

mechanical stability of cavern and the Excavation disturbed zone. The geology of 100 m below ground of test cavern is sedimentary soft rock in the Miocene of Tertiary Era and high ground pressure is dominating (the competence factor of the rock, which is the ratio of rock strength to overburden in the site is not more than two). In this underground with the depth of 100 m, the LLW sub-surface disposal facility and large scale cavern with a diameter of about 18 m was excavated. This paper describes the spalling of wall of cavern and the behavior of pore water pressure during excavation.



写真はベンチ掘削時の状況

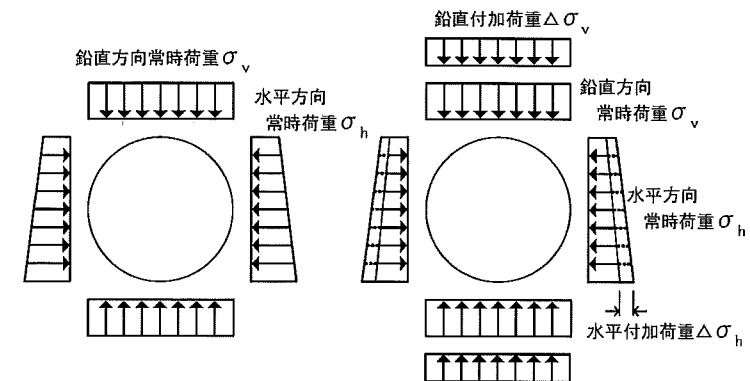
軟弱粘性土地盤におけるシールドトンネルに働く10年、20年といった長期スパンで変化する荷重の考え方とその設計に関する研究を記載する。

ここでは、遠心模型実験を実施し、実応力場で広域的地下水位低下ならびにトンネル覆工からの漏水という条件でトンネル周辺地盤を圧密させた場合、トンネル作用土圧の長期的変化が発生することを実証した。さらに、この実験結果を関口・太田が提案した地盤の弾塑性モデルを用いた土/水連成解析で、トンネル周辺地盤の挙動ならびにトンネル作用土圧の変化をよくシミュレートできることを明らかにした。また、この土/水連成解析を用いた、長期荷重に対するトンネル覆工の設計法を提案している。

Study of Long-Term Load acting on Shield Tunnel

By Takeru Ariizumi, Tokyo Electric Power Company

This paper studies the design of shield tunnel in consideration of the change of load acting on shield tunnel in soft clayey soil in 10 to 20 years. The centrifugal model experiment verified that the earth pressure acting on shield tunnel is changed due to the consolidation surrounding tunnel caused by the lowering of ground water level and leakage. The results of soil-water coupled analysis to simulate the behavior of ground using the elastoplastic model proposed by Sekiguchi and Ota is well consistent to the results of experiments. This paper proposes the design method of shield tunnel lining in consideration of the long term load using soil-water coupled analysis.



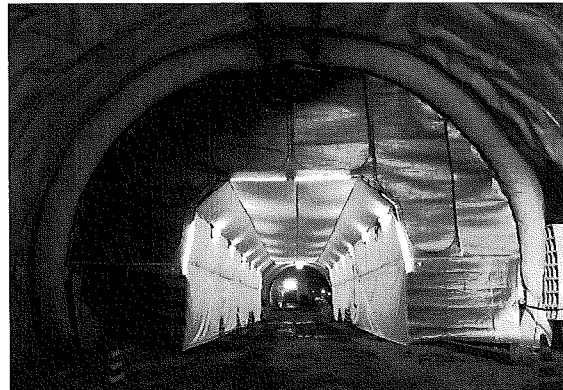
[ 常時荷重状態 ] [ 長期付加荷重状態 ]

図は長期付加荷重の設定イメージ

## トンネルバルーン覆工コンクリート トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な  
覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録  
(No.HR-040005)

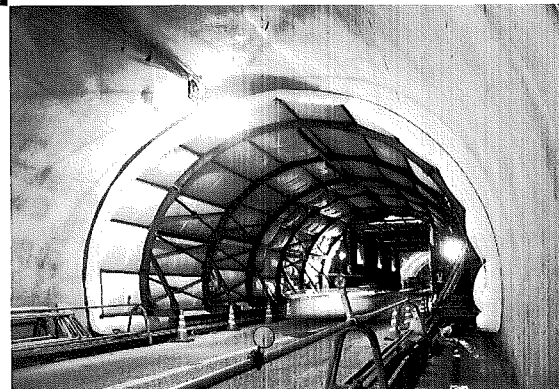


### セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

#### 【特徴】

1. 若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2. 高品質コンクリートの確保が可能です。  
(脱型時コンクリートの付着が減少します)
3. サイクルタイムの短縮が可能です。
4. 洗いが車両通行部に落ちません。

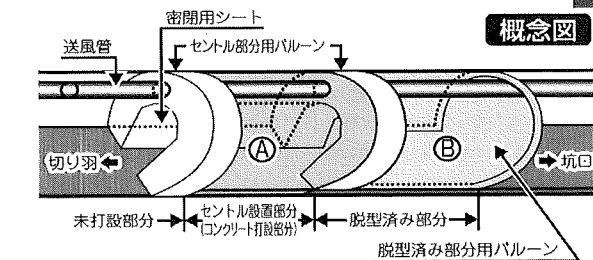


### 覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

#### 【特徴】

1. 長期材齢の強度アップ
2. 覆工コンクリートの表面を湿潤状態に保ちます。  
(乾燥収縮クラックの低減に貢献します)
3. 断熱効果が期待できます。  
(内部と表面の温度差が小さい⇒  
温度応力の低減)



① セトル(コンクリート型枠)を両サイドのバルーンと密閉シートで囲って空気層をつくり保温・保湿する  
② 打設後のコンクリートに薄い気泡のバルーンを密着させ保温・保湿する

#### 概念図

実績	セントル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	5現場	2現場
高速道路	2現場	2現場
国土交通省	3現場	8現場
地方自治体	7現場	5現場
JR東日本	2現場	1現場
合計	19現場	18現場

2005年『日経BP技術賞 建設部門』受賞



岐阜工業株式会社  
GIFU KOGYO CO., LTD.

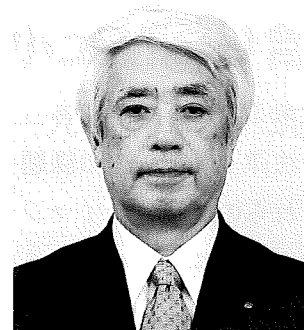
本社・工場 岐阜県本巣市十四条144番地  
Tel. 058(323)2000(代) Fax 058(323)1176  
東京支店 Tel. 03(3262)1285(代) Fax 03(3262)6093  
仙台営業所 Tel. 022(259)2239 Fax 022(259)3664  
九州営業所 Tel. 092(713)5265 Fax 092(714)3028  
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

株式会社 東 宏  
TOUKOU

本社 北海道札幌市東区北20条東5丁目1番7号  
Tel. 011(742)3331 Fax 011(742)3333  
関東支店 Tel. 027(352)2061 Fax 027(352)6065  
道東営業所 Tel. 0155(34)6311 Fax 0155(34)8494

URL <http://www.k-toukou.jp/>

## 海外プロジェクトへの挑戦



(株)間組執行役員副社長(本協会理事)

友野希成

1975年4月30日サイゴン政府が無条件降伏し、ベトナム戦争が終結してから30余年が過ぎた。この戦争のもたらした犠牲は大きく南北ベトナムでは200万人近い人が犠牲となった。米軍でも5万8,000人以上の若者達がこの戦いの意義を見出せぬままに故郷を遠く離れたアジアの地でその命を失っていった。

戦後しばらくの時間を経て、日本の対越経済協力も再開されその象徴的存在であるチャウライ病院が1995年プロジェクト方式技術協力として開始された。その後政府円借款も順調に推移し、2000年にはハイバントネル建設工事が開始された。その施工地点はベトナム戦争激戦の地ダナン近く、北の政治文化都市首都ハノイと南の商業都市ホーチミンシティとの中間地点、ダナン・フェ地区に位置する。南北ベトナムを海岸沿いに縦貫する交通物流の大動脈、国道1号線上の最大の難所、急勾配、急カーブの連続するハイバン峠の真下に全長6.3kmのトンネルを建設するものである。2005年に工事が竣工するとこれまでのハイバン峠経由に比べ、ダナン市からフェ方面への所要時間は1時間弱短縮され、更には東西経済回廊を経由してラオス、タイ東北部へのアクセスが格段に向上した。

ハイバントネル工事の竣工にあたり、発表されたいくつかの論文、報告文、技術レポートを見たが、この工事に参画した技術者達は先のベトナム戦争の時代にはまだ少年時代を送っていた世代であり、中には終戦後に生まれた若いトンネルエンジニアもみられ時の流れの速さを実感したものだ。海外工事に従事するとその国の発展に直接貢献する機会を得るが、独自の文化風土に接し、また世界史的な歴史上の事柄に触れることもできる。これは土木技術者の特権であると思う。最近建設産業で働く喜びややりがいが見出せないという若い技術者の声を聞くことがあるが、本来土木技術というものは社会の発展あるいは公共の福祉の向上に貢献し、それを通して自己の成長を図るものではないだろうか。その意味で海外工事に参画することもその解答の一つとなり得ると思う。

長い工事期間中には予期せぬ諸々の事象に遭遇する。それは経験あるエンジニアであっても予想できない自然条件であったり、あるいは人為的な問題や法律上、契約上の課題であったりするが国内工事とは若干異なる種類の問題も多い。それらの解決にはイメージネーション、適応性など持てる資質をいかんなく発揮した最適対応が瞬時に求められることもある。プロジェクトマネージャーはできるだけ客観的にまた経験あるスタッフの知恵知見を集約し最終的には責任をもって決断しなければならない。ときには苦渋の選択決断を強いられることもある。われこそ識見あるシビルエンジニアたらん気概と誇りを持って日ごろの勉強と教養の蓄積そして技術の研鑽が求められる所以である。

発展途上国政府が求めるものは高品質の構造物を安く、早く建設するという古典的な価値観だけではなく、建設工事を通じて先端的な技術の移転がなされることである。入札図書の中に設計施工技術、ローカルの熟練工、未熟練工への技術の研修、安全管理の教育訓練計画などハードとソフトの両面にわたる技術移転プログラムが要求され、その評価も最終契約者を決定する要件の一つとなっている場合が多い。ハイバントンネル竣工レポートには、将来の国の発展を担うベトナムの若いエンジニアの熱い向学心、それに応えようとする日本のトンネル技術者の心意気その文脈に躍動している。数多くの困難に遭遇しそれを克服しながら工事を完成し、この国の発展に寄与する事業に参画しているという誇りと喜びを共有している。日本のトンネル施工技術、施工マネジメント能力が先人から確実に受け継がれてきている証であり、またそれを後輩あるいは途上国の若者達に伝えていかねばならないという責任感と自覚、そして先人達の努力への感謝の心も感じられる。

黒部川第四発電所建設工事の着工は今からちょうど50年前、『黒部の太陽』で大町ルートトンネル工事の陣頭指揮をとった石原裕次郎演じる岩岡剛のモデルとなった、今は笹島建設の会長を務める笹島信義氏は述懐される。『くろよん建設のためとか、会社のためとかいうんじゃなくて、日本の名誉のためですよ』。その意気を感じた作業員が必死になって破碎帯を突破した。笹島氏は『今はそういう職人魂、プライドはなくなった』と嘆いておられたと最近の新聞記事で見かけたが、心配は要らないと思う。笹島氏の熱い心、『困難に克つ魂』は日本の若きトンネル技術者へしっかりと受け継がれている。

## 施工

# 小土かぶり含水マサ土地山で長崎自動車道と交差

## —九州新幹線 筑紫トンネル(山浦工区)—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第一課課長 佐々木 幸一  
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局鳥栖鉄道建設所所長 武内 繁一  
 鉄道・運輸機構九州新幹線建設局鳥栖鉄道建設所主任 永利 将太郎  
 間・大本・梅林・深町特定建設工事共同企業体監理技術者 坂田 和幸

### 1 はじめに

九州新幹線筑紫トンネルは、福岡県那珂川町から背振山系を貫き佐賀県鳥栖市に至る九州新幹線では最長となる延長約11.9kmの複線トンネルで、現在4工区に分割して施工を進めている(図-1)。

そのうち、もっとも終点方に位置する山浦工区は、長崎自動車道(以下、「長崎道」という)と土かぶり約20mで交差する。長崎道交差部付近は自然地下水位も高く、未固結のマサ土および盛土で

構成されるなど当初より困難な施工が想定されていた。

長崎道は交通量も多く、トンネル掘削により支障が発生した場合には社会的にも多大な影響を及ぼすことが懸念されることから、NATMの施工に際して確実な切羽の安定を図るとともに、厳しい道路面の沈下抑制が求められた。

本稿は、長崎道交差部付近で実施した各種対策工の内容と効果、トンネル施工に伴って実施した各種計測管理および施工結果について報告するものである。

### 2 概要

#### 2-1 長崎道との交差概要

筑紫トンネルと長崎道との交差概要を図-2に示す。筑紫トンネルは長崎道本線とおおむね直交するが、その手前で山浦パーキングエリア(以下、「PA」という)と隣接している。そのため、長崎道本線直下の施工に先立ちPA隣接部およびPA進入路下の掘削を行うこととなり、その影響範囲はトンネル延長で180mに及ぶ。

#### 2-2 交差部の地形・地質の概要

事前に長崎道を挟むように4本の

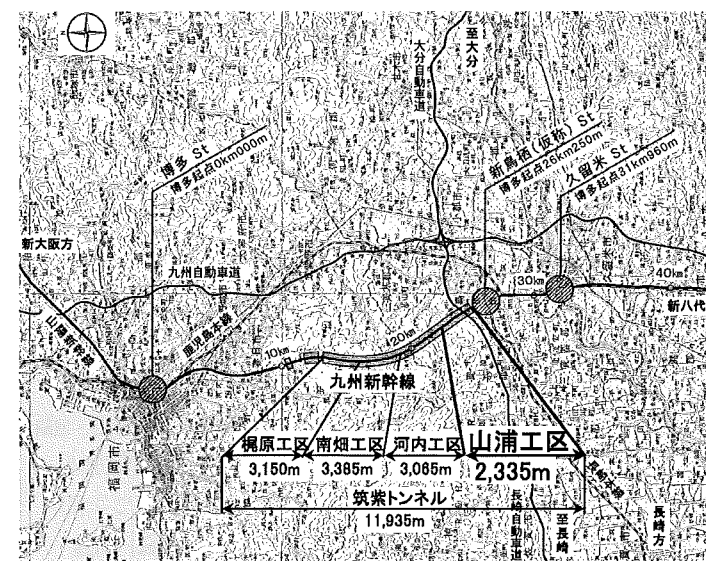


図-1 筑紫トンネル位置図

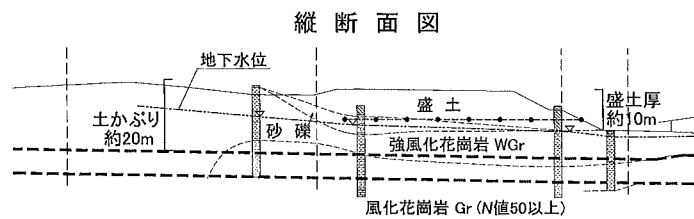
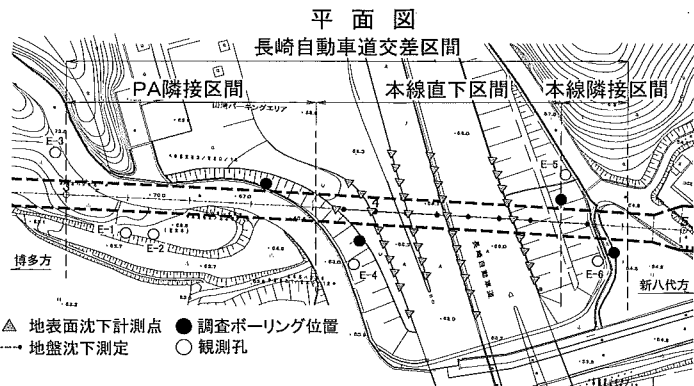


図-2 長崎自動車道交差概要図

調査ボーリングを実施し、地形・地質の状況を確認した(図-2)。

長崎道交差部付近の土かぶりは約20mであるが、上部約10mは盛土で構成されており、本来の地山厚としては10m程度となっている。盛土はおおむね周辺で発生した切土のマサ土が使われており、その下に数mの砂礫層、トンネル直上はN値の低いマサ化した強風化花崗岩で、トンネル断面付近は比較的N値の高いマサ化した風化花崗岩となっている。

また、背振山系の豊富な地下水を背景に周辺の地下水位は高く、どの位置においてもおおむね地表から数mの位置にある。

### 3 事前解析と計測管理

#### 3-1 事前のFEM解析

トンネル掘削による道路面の沈下量を予測し、地表面沈下抑制対策などについて検討を行ったうえで道路管理者と協議することを目的として二次元FEM解析を実施した。解析に用いる各地層の地山物性値は、調査ボーリングの結果を使用した。解析は、補助工法としての長尺先受け鋼管注入工(以下、「AGF」という)の剛性を考慮し、掘削

工法はミニベンチ工法を想定した解析ステップを用いて実施した。その結果、最終地表面沈下量として23mmが得られた。

#### 3-2 計測管理

FEM解析結果を参考に道路管理者との協議の結果、長崎道交差部での地表面沈下量に関する管理値を表-1で設定した。

地表面の計測は、長崎道本線とPA進入路の路肩および中央分離帯に測定用ターゲットを設置し三次元測定器により自動計測を行った。測定結果はリアルタイムにJV事務所のモニターに表示させ、必要に応じ24時間監視を行える体制とした。

また、早期に地中の動きをキャッチし、地表面沈下管理の一助とすることを目的として、トンネル天端と地表面のほぼ中間部に水平ボーリングを行い圧力式沈下計にて地中の沈下を測定することとした。

さらに、坑内B計測を実施し、支保部材の応力状況の把握と設計の妥当性を確認するとともにその後の追加対策などの検討のための資料を得ることとした。

図-2に地表面沈下計測のターゲットの位置および地中沈下測定位置を示す。

表-1 地表面沈下の管理基準値と管理体制

#### 3-3 緊急対策について

長崎道交差区間のトンネル掘削において道路面に万一一段差や陥没などが発生した場合、走行車両

管理基準値		管理体制	
1次管理値	10mm	2次管理値×1/2	注 意 体 制 計測頻度強化 現場点検強化 作業員への注意強化
2次管理値	20mm	FEM解析値より決定	要 注 意 体 制 計測体制強化 追加対策工の検討・協議 必要により実施
3次管理値	30mm	2次管理値×1.5	厳 重 注 意 体 制 施工の中断 原因の検討 対策工の検討・協議 対策工の実施



写真-1 仮設電光板

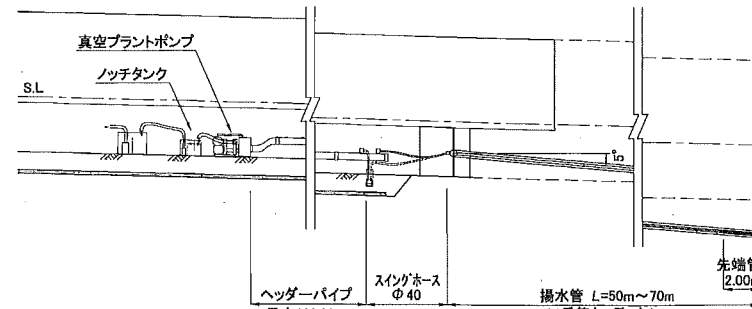


図-3 切羽前方の強制水抜き工計画図

に有害な影響を発生させることがもっとも懸念された。そのため、道路管理者および警察との協議の結果、そのような事態が発生したときに迅速に通行車両に異常を知らせ車両の停止を図ることを目的として、交差部の約350m手前に上下線それぞれ仮設の電光掲示板を設置した(写真-1)。遠隔操作により電源を入れることができる設備とし、異常発生時には迅速に対応できる体制とした。

## 4 交差部施工上の問題点と対策工

### 4-1 地下水位低下対策工の検討

前述のように長崎道交差部の地質はマサ化した強風化～風化花崗岩であることと、さらに地下水位は高いことが確認された。このため、切羽の安定を図り突発的な切羽の崩落などによる地上への影響を避けるためには、事前に地下水位を低下させることがもっとも重要であると考えられた。

トンネルにおける一般的な地下水位低下対策としては、水平水抜きボーリング、ウエルポイント、地表からのディープウエルなどが考えられる。当トンネルにおける交差部付近までの施工実績および検討結果では、以下の内容でそれぞれを単独で用いるのは不十分であると考えられた。

- ① 水平水抜きボーリングでは、掘削切羽到達時に切羽面まで水位を低下させるのが困難であった。
- ② 近隣地点の同様な地質状況下で実施した揚水試験結果では、揚水による地下水位低下範囲がごく狭い結果であった。また、ディープウエルを長崎道敷地内に設置することは困難である。

③ ウエルポイントについては、切羽近傍のみの対応となるため、ミニベンチ工法による早期閉合という施工サイクルでは地下水位低下の遅れが懸念される。

このような中で、事前に確実に地下水位を低下させる方法として、水平水抜きボーリングとウエルポイントを融合させた方法(以下、「強制水抜き工」という)を計画した。

強制水抜き工は図-3に示すように、下半側壁部に設けたボーリング座より二重管による前方やや下向きの水平ボーリングを実施し、その中に揚水管を挿入後、真空ポンプにより先端から揚水するものである。

この方法は、九州新幹線麦生田トンネルのシラス層における地下水位低下対策工<sup>1)</sup>や福岡のマサ土層での共同溝NATMトンネルにおける地下水位低下対策工として実施されているが、長崎道本線直下の対策として採用するため、より慎重な施工を行う必要があることから、当トンネルのマサ土層における効果については地上に複数の観測孔を設置し、地下水位低下の状況を確認しながら施工を進めることとした。

### 4-2 沈下抑制対策の考え方

さらに、不良な地質のもとで、車両の走行に支障をきたすことのないように地表面沈下量を20mm以内で管理することとした。

長崎道交差部手前の土かぶり20～30mの範囲における一般施工区間での掘削に伴う地表面沈下量の実績は、おおむね30～40mmとなっていた。これを20mm以下に抑えるためには、施工の各段階における沈下要因に対してそれぞれ対策工を実施し、

各段階において発生する沈下量をそれぞれ最小限とすることが必要と考えられた。

対策の要点は、以下のとおりとした。

- ① AGFおよび長尺鏡ボルト工により先行沈下を抑制する。
- ② ウィングリップ付き鋼製支保工により上半掘削以降の上半脚部沈下を抑制する。
- ③ ミニベンチ工法を採用し、仮インバートによる早期閉合を行う。
- ④ 長尺ロックボルト(L=6m)を用いて側部の変位を抑制することにより地表面沈下の抑制を図る。

以上を踏まえて設定した基本対策パターンを図-4に示す。本線直下区間については、PA隣接区間より鋼製支保工のサイズアップおよびAGF施工範囲の拡大により確実な沈下抑制を図ることとした。

掘削はベンチ長5~7mのミニベンチ工法とし、

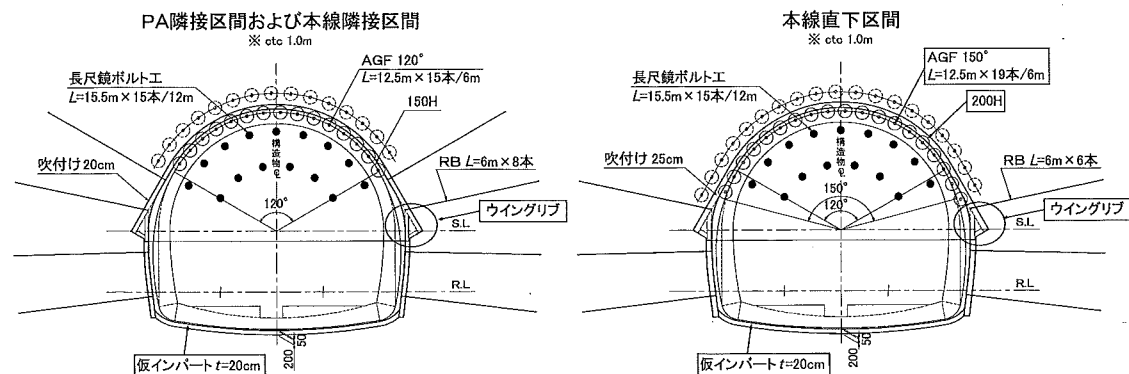


図-4 基本対策パターン図

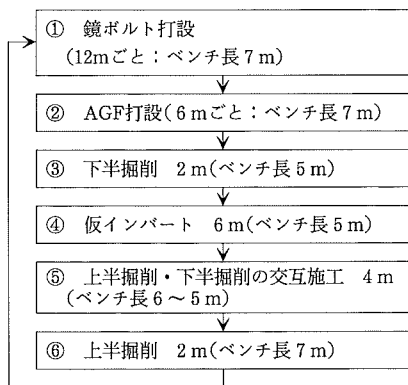


図-5 施工フロー

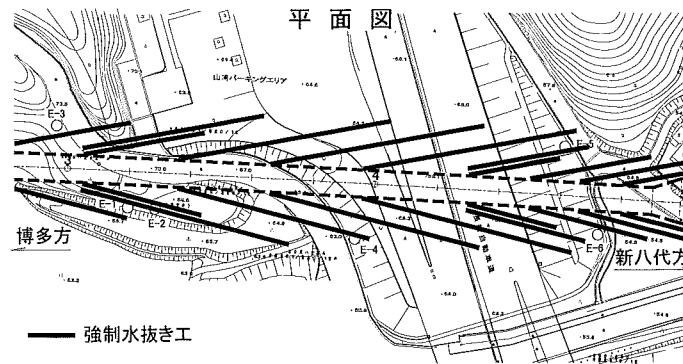


図-6 強制水抜き工の施工実績

6mごとに仮インバートによる早期閉合を実施するために図-5に示すサイクルで行った。

### 5 施工結果

#### 5-1 強制水抜き工の施工状況と効果

強制水抜き工の施工実績を図-6に、施工状況を写真-2~4に示す。強制水抜き工の施工時期や1回あたりの施工延長は、観測孔による地下水位観測結果により判断しながら施工を進めたが、おおむね掘削が30m程度進むごとに延長50~70mの水抜き工を左右に設置した。

代表的な強制水抜き工の施工に伴う観測孔の地下水位低下状況を図-7に示す。観測結果は顕著な地下水位低下効果を示しており、切羽到達前に確実な地下水位低下が図られていることがわかる。

図-8に観測孔の測定結果より推定された地下水位線を示す。切羽の地下水位はおおむね底盤付近まで低下し切羽は常に乾いた状態で施工すること

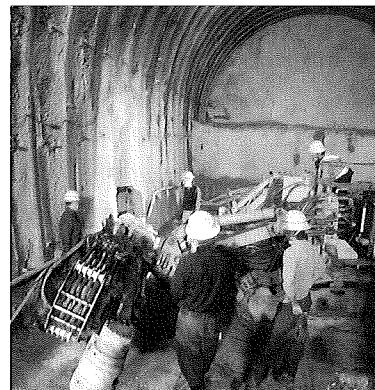


写真-2 強制水抜き工施工状況

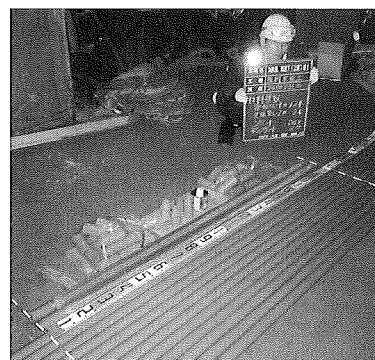


写真-3 揚水管

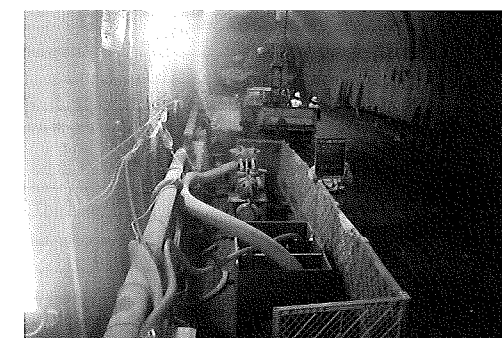


写真-4 真空ポンププラント

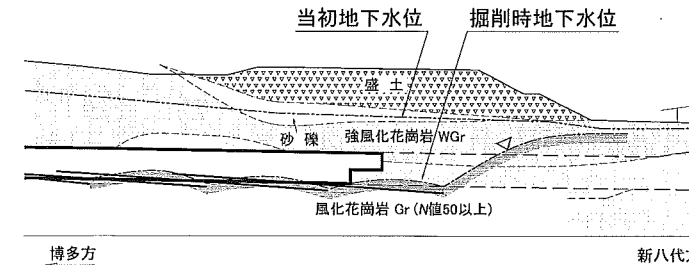


図-7 地下水位低下状況  
地下水水位経時変化図(E-4孔)

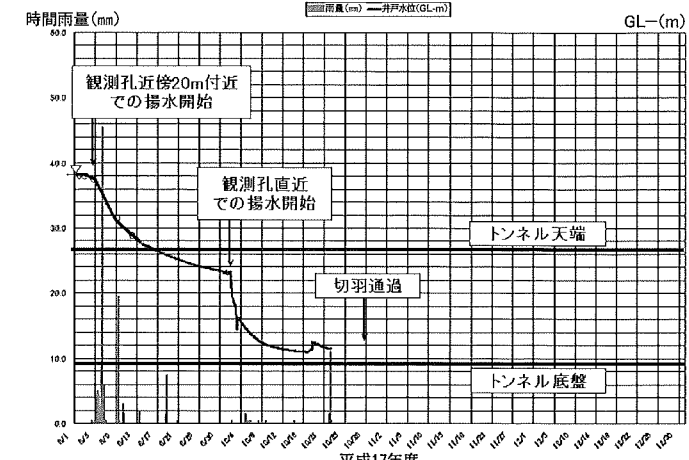


図-8 観測孔の観測結果

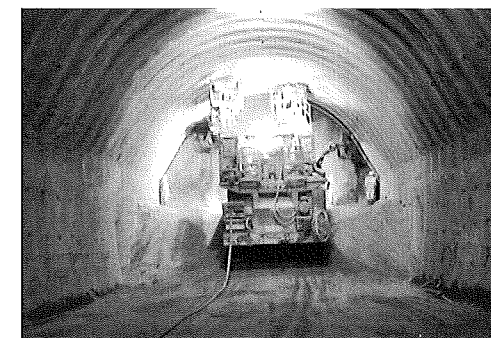


写真-5 切羽掘削状況

が可能となった。施工時の切羽の状況を写真-5に示す。

#### 5-2 PA隣接区間の施工状況と対策工の効果

沈下抑制対策については、PA隣接開始区間より長崎道本線に向かって、沈下の状況に応じ、順次対策工を追加した。

図-9に実施した対策工の内容と地表面沈下グラフとを対比して示した。これによれば、対策工を

順次追加するごとに地表面沈下量が小さくなる様子が見えてくる。

また、坑内B計測として実施した鋼製支保工の応力測定結果を図-10に示す。下半部の軸力負担が少なく大部分を上半部で受け持っている様子が見えてくる。このことはウィングリップによる支持効果が高く、沈下抑制に寄与していると考えられることから、本線直下でも引き続き採用することとした。

5-3 本線直下区間の施工状況と追加対策工の実施

PA隣接区間の計測結果の実績を分析し、本線直下区間の施工にあたっては地表面沈下量20mm以内という管理目標値をクリアするための指標として、切羽到達時および仮インバート施工時の管理

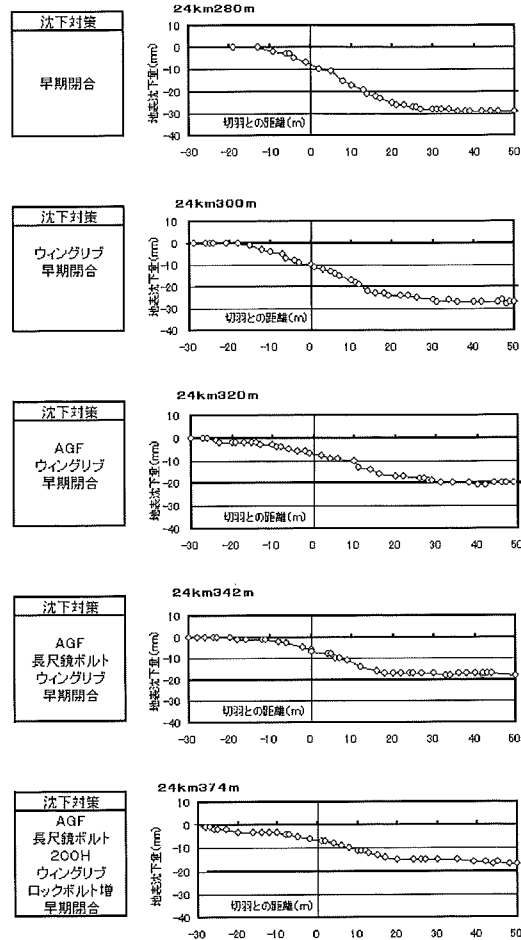


図-9 沈下対策ごとの地表面沈下推移

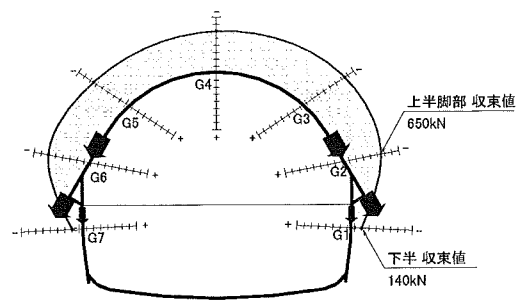


図-10 鋼製支保工軸力分布図

値を設定し(表-2), 追加対策工の実施基準とした。

図-11に本線直下区間での地表面沈下自動計測結果を示す。地表面沈下量は表-2の基準以内で推移したが、本線直下に近づくにつれ切羽の地質状態も不良となったことから、地表面沈下量・内空変位とも増加傾向を示した。次第に計測値が追加対策工の実施基準値にせまり最終的に20mmを超えることが懸念される状態となったため、本線直下の延長約30m間については、図-12に示す追加対策工を実施した。

表-2 追加対策工の実施基準値

計測項目	切羽到達時	仮インバート施工時
地表面沈下量	10mm	15mm
坑内		
A計測	天端沈下	20mm
	内空変位	35mm

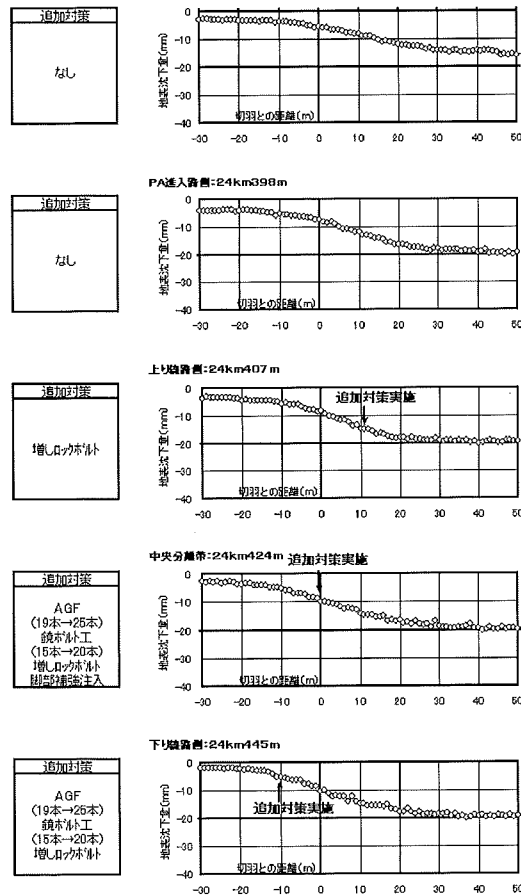


図-11 本線直下の地表面沈下グラフ

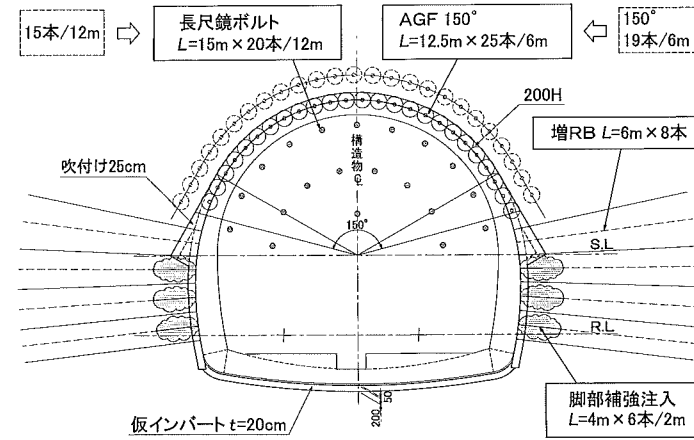


図-12 追加対策工

表-3 本線直下の地表面沈下量の測定値

計測位置	先行沈下	仮インバート施工時	収束値	
PA路肩	24km388m	5.8mm	9.3mm	15.3mm
PA進入路側	24km398m	8.1mm	13.3mm	19.9mm
上り線路側	24km407m	9.3mm	13.8mm	20.0mm
中央分離帯	24km424m	9.9mm	14.8mm	19.7mm
下り線路側	24km445m	10.1mm	15.4mm	19.5mm

その結果、いずれの測点においても目標とした20mm以内の地表面沈下量に抑え、交差部の施工を終了することができた(表-3)。

6 おわりに

交通量の多い長崎道の直下を、約20mの小土かぶりで盛土を含むマサ化した強風化層でかつ地下

水位が高いという施工が困難な条件の中で、支障をきたすことなく厳しい地表面沈下管理値をクリアして掘削を完了することができた。現在は交差部のインバートコンクリートも完了し、覆工コンクリートの施工を目前にしている。

今回採用した強制水抜き工による地下水位低下対策は当トンネルの地質条件に適していたため、非常に高い効果を得ており、長崎道交差部以降の小土かぶり区間の標準工法として

現在も継続して施工している。

また、地表面沈下抑制対策については、事前解析とそれにもとづく対策工の選定、施工および計測にもとづくフィードバックが適切に実施できたものと考えている。

最後に、当トンネルの事例が今後の一助となることを期待するとともに、筑紫トンネル(山浦工区)の施工にご協力いただいている多くの関係者の方々に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 松本雄二・須長誠・大島洋志・加藤僚一：地下水面下のシラス地山に透水性路盤を採用、九州新幹線麦生田トンネル、トンネルと地下、Vol.31, No.8, pp.7-14, 2000.8.

『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」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)



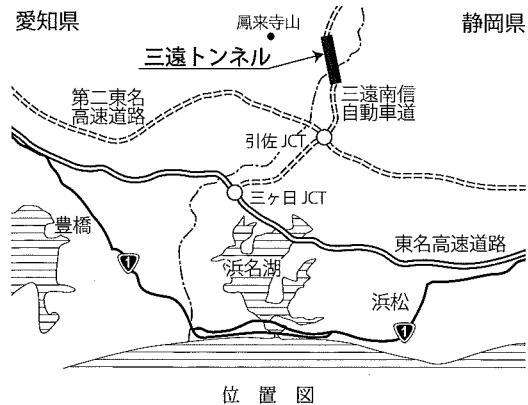
## 「コノハズクの里」新城市より

玉井 昭雄

愛知県の東部、東三河地区に位置する新城市は、自然環境が豊かで四季折々の風情が楽しめる土地であり、現場付近では虎と龍を除いた十二支を見ることが出来る。また、この地は有名な「長篠・設楽ヶ原の戦い(1575年)」が行われた場所でもある。この戦は、武田信玄亡き後の勝頼に率いられた武田軍が徳川方の長篠城を包囲し、家康に援軍を要請された織田信長が派兵して、織田・徳川連合軍が武田軍を破った戦いである。勇猛な武田軍の騎馬隊と信長軍の鉄砲隊の戦闘がよく知られているが、これに関しては数多くの異説があるようである。

長篠の戦いといえば、長篠城を抜け出し徳川の援軍を呼びに行き、戻る途中に武田軍に捕まって磔にされた鳥居強右衛門という武者がいる。ごつい顔をしたふんどし姿の男が磔にされた大きな看板が新城市の国道脇に立っているが、この怪しげな看板の男が鳥居強右衛門だと知ったのは、当地に来てからしばらく後のことであった。

当現場は現在新城市となっているが合併前の鳳来町に位置しており、ここには鳳来寺山がある。日光・久能山とならんで三東照宮と呼ばれる鳳来山東照宮があり、晴れた日には山頂より三河湾まで眺められる絶景である。この鳳来寺山には、「仏法僧」が棲息する。霊山が棲息地として名高いこの鳥であるが、本当に「ブッポウソウ」と鳴くのはフクロウ科の小型の鳥「コノハズク」である。昔から長い間別の鳥がブッポウソウ



坑口全景

ウソウと鳴くものだと信じられ、今では以前からのブッポウソウ(別の鳥)を「姿の仏法僧」、コノハズクを「声の仏法僧」と呼び分けるようにもなった。ちなみにこのコノハズクは、愛知県の県鳥となっている。

さて、こうした環境の中で施工中の三遠トンネル(仮称、L=4,525m)は、長野県飯田市から静岡県浜松市に至る三遠南信自動車道のうち、愛知・静岡の県境を貫く。当工事は、愛知県方の工区(鳳来地区)で、本坑1,895m(今回発注分)、避難坑2,739mを施工中である。本坑坑口が山腹に位置するため、避難坑の一部を上り勾配12%の作業坑として利用し、この作業坑を介して本坑の施工を行っている。また、避難坑のレール工法用の作業基地はトンネル坑内に設けており、作業効率の確保が厳しい施工条件である。

坑口部の法面保護、異常出水などのトラブルに遭遇しながらも、平成18年9月末現在、避難坑は1,700m、本坑は1,500mの掘削が完了し、本坑の2次覆工も施工中である。現在は、約1,600mに及ぶ中央構造線擾乱帯と呼ばれる区間(二つの構造線断層に挟まれた区間)を掘削中であるが、避難坑での切羽前方地山の調査・探査および地山評価を有効に利用し、安全かつ経済的な施工を実施している。

地域の期待に応えるべく発注者である国土交通省の指導のもと、一日でも早い貫通のため鋭意施工中である。

(大林・銭高特定建設工事共同企業体所長)

# 施工

## 重金属と突発湧水への対応

### — 国道289号 甲子トンネル —

国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所建設監督官 岩 淵 誠

国土交通省東北地方整備局郡山国道事務所建設監督官 篠 田 耕 二

戸田・フジタ特定建設工事共同企業体甲子トンネル(下郷工区)作業所所長 原 淳 二

清水・飛鳥特定建設工事共同企業体甲子トンネル(西郷工区)作業所所長 新 居 直 人

### 1 はじめに

一般国道289号は、新潟県新潟市を起点とし、福島県の南会津地方、県南地方を経て同県いわき市へ至る幹線道路である。このうち、南会津郡下郷町から西白河郡西郷村までの間は険しい甲子峠に阻まれ通年通行不能となっており、遠く迂回を余儀なくされている。この甲子峠区間である「甲子道路」の整備が、文化や経済、観光などの幅広い交流の幹線ネットワークとして大きな期待が寄せられている(図-1)。

この甲子道路整備の主となり、甲子山(標高1,549m)を全長4,345mで貫く長大トンネルが「甲子トンネル」である。

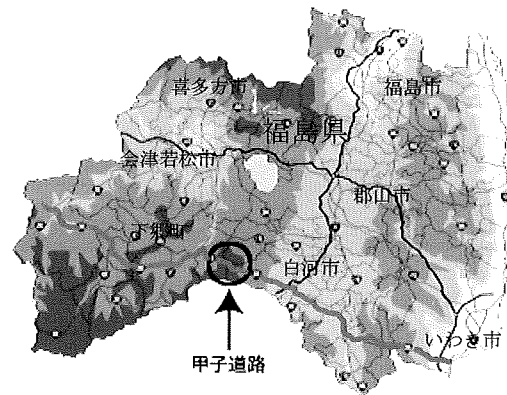


図-1 現場位置図

甲子トンネルは平成15年より下郷町側(以下、下郷工区)から翌年には西郷村側(以下、西郷工区)と両工区より掘削を開始したが事前調査段階および掘削施工段階において以下に示す課題に対する検討と対応が必要となった。

① 重金属の溶出する可能性のある掘削岩への対応

② 掘削時突発湧水への対応

本稿ではこれら課題に対する施工概要について報告する。

### 2 工事概要

甲子トンネル工事の全体概要を以下に示す。

工 事 名：甲子トンネル(下郷工区)工事

甲子トンネル(西郷工区)工事

施 工 場 所：福島県南会津郡下郷町

(下郷工区)

福島県西白河郡西郷村

(西郷工区)

道 路 規 格：3種2級

トンネル延長：L=4,345m(全 体)

L=2,387m(下郷工区)

L=1,958m(西郷工区)

トンネル幅員：0.5m+3.25m×2+0.5m=7.5m

掘 削 方 式：発破掘削(NATM)

掘削工法：補助ベンチ付き全断面工法  
上半先進ベンチカット工法

### 3 地形・地質概要

図-2に地質縦断図を示す。

甲子トンネルは、那須火山群の北部に位置する甲子山の直下を、ほぼ東南東-西北西に横断する位置に計画されており、周辺には第四紀の火山岩類からなる山々が南南西-北北東に連なり、これらの山間を西郷工区側では阿武隈川源流が、下郷工区側では阿賀野川水系観音川が浸食・開析し深いV字谷を形成している。

トンネルに広く分布する第四紀火山噴出物群は甲子火山岩類、甲子旭岳火山岩類からなり玄武岩質溶岩および玄武岩質火砕岩(自破砕溶岩・凝灰角礫岩)からなる(図-2)。

地山等級としては、弾性波速度、RQD、一軸圧縮強度などより部分的に硬質部が存在するものの大部分をCおよびD岩種が占める。

### 4 重金属含有岩への対応

#### 4-1 掘削岩における検討課題

事前の地質調査より、トンネルFH付近以外の一部サンプルより重金属を含む岩が確認され、土壌環境基準試験に準じた溶出操作では環境基準を超過してはいないものの強制的に溶出を促進させようと溶出量を測定したところ環境基準を超過するサンプルが得られた。

主な重金属は鉛・砒素・セレン・カドミウムで

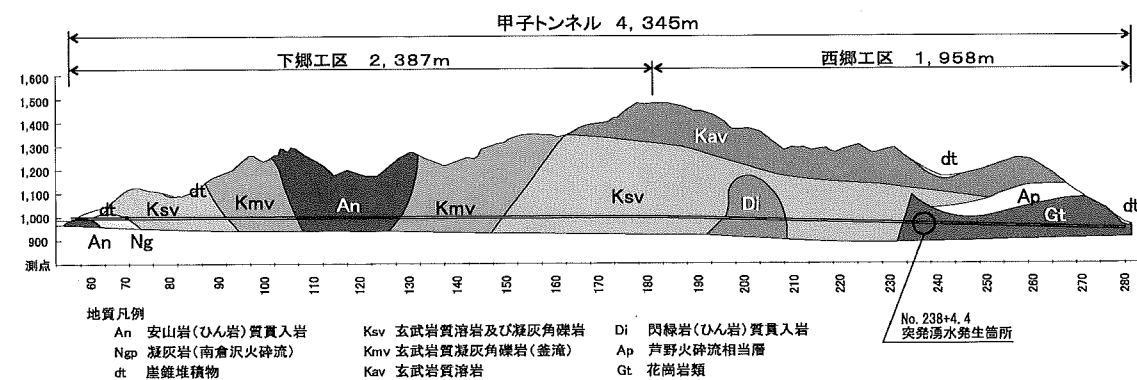


図-2 甲子トンネル地質概要

あり、これら重金属は掘削時点では溶出しにくいものの長期的には溶出する可能性があることが確認された。

可能性ではあるものの、これらの硫化鉱物を含んだ鉱化変質岩は水や空気に触れると酸化作用により硫酸が生成され、浸出水のpHが低下し酸性水となる。酸性水の発生や重金属の溶出は、人の健康や周辺環境に悪影響を及ぼす恐れがあり、事前にその対策を講じなければならない。そのためには、掘削ずりが何らかの対策を必要とする岩(以下、「要対策岩」)なのか対策を必要としない岩(以下、「無対策岩」)かを判定し、迅速かつ正確に処理する方法の検討が必要である。

#### 4-2 判定方法の検討および判定の流れ

事前試験で得られた調査結果をもとに甲子トンネルでは学識経験者、行政担当者、トンネル施工技術者などで組織する「甲子トンネル施工技術検討委員会」(以下、技術検討委員会)を設置し蛍光X線分析および簡易溶出試験を用いた判定と基準値を設定した(図-3)。

判定方法は、①先進ボーリングコアサンプルによる一次判定試験、②掘削後ずりを採取して試験を実施する二次判定試験、に分けられるが、前者は今後の発生状況を事前に把握することを目的とし、後者は対策の有無を判断することを目的としている。

判定に用いる基準値は、溶出試験結果による重金属溶出濃度と硫黄含有量およびpHとの相関関係を導き設定した。



図-3 対策岩判定フロー

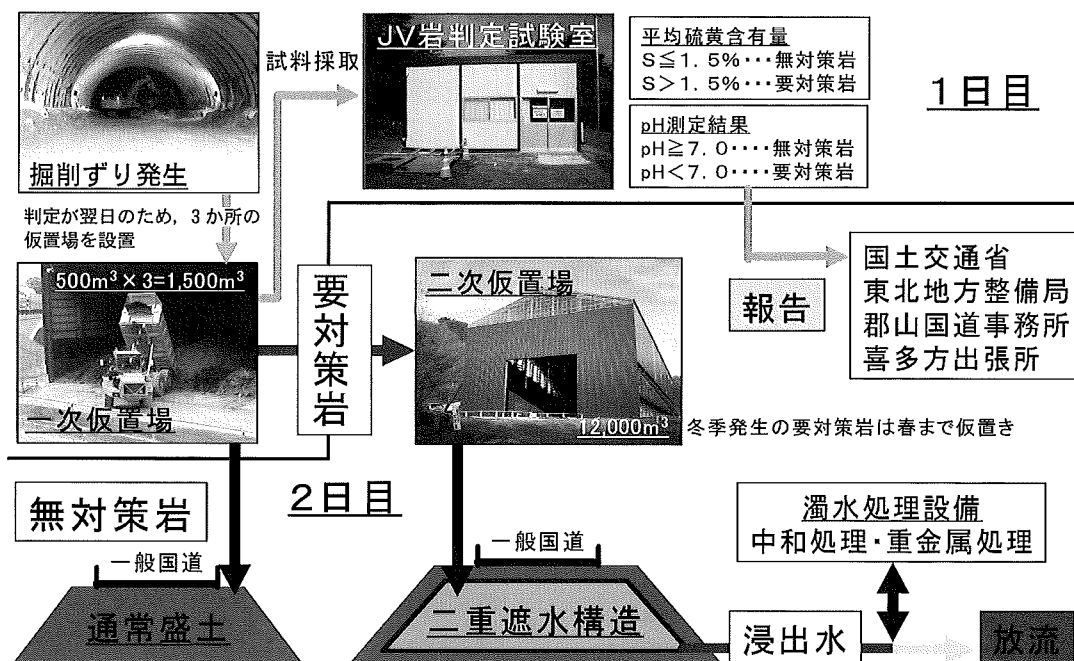


図-4 掘削岩処理フロー

掘削岩の判定には半日程度期間を要するため、判定結果が得られるまでの掘削岩は坑口付近に設置した1次仮置場に保管し結果が得られた時点で運搬し道路盛土材として有効に活用している。

また、下郷工区では降積雪が非常に多く冬期間の盛土作業は不可能であることを考慮して要対策岩を12,000m<sup>3</sup>保管できる2次仮置場を設置し対応している(図-4)。

### 4-3 地山湧水および作業濁水の処理方法

#### 4-3-1 地山湧水における検討課題

地下水は土壌や地層の間隙中に存在し、その移動速度はきわめて遅い。地下水の起源は雨水・河川水・海水・化石水および熱水などで、岩盤中では、相互作用として鉱物の風化・溶解作用によるpHの変化などが考えられる。

そのため重金属を含有している地域においては、酸性の地下水が存賦している可能性があり、トンネル掘削に伴う地下水位の低下により、酸素が供給され、硫化鉱物が酸化し重金属が溶出することが考えられた。

#### 4-3-2 地山湧水の処理対策

前述したとおり、トンネル坑内から生じる地山湧水には、重金属が溶出している可能性があり、通常の濁水プラントに加え重金属にも対応できる

設備を計画し環境汚染を未然に防ぐこととした。

#### (1) 重金属の処理概要

重金属溶出水の処理方法についても技術検討委員会にて検討を行い、水酸化物処理+TRP吸着工法を採用した。

水酸化物処理方式+TRP吸着工法の特徴を以下に示す。

水酸化物処理方式は、排水に含まれる溶解性重金属を水酸化物として生成させ、凝集沈殿させる方法である。カドミウムや鉛などの重金属イオンを含む排水のpHを上げることに伴い、pH10付近で金属イオンとOHイオンが反応し、水酸化物の沈殿が生じる。TRP吸着方式は、天然鉱物の粉末(TRP)、ミネラル凝集剤によって、溶解物質の吸着・固定を行う方法である。

カドミウム・鉛は、水酸化物反応槽において、炭酸ガス・消石灰によるpH調整を行い、PAC・高分子で凝集させる。砒素は、塩化第二鉄を加えた後に、pH調整(アルカリ)を行い鉄による水酸化物供沈とする。セレンは、TRP反応槽においてTRPにより吸着し、PACで凝集させる。その後は、砂濾過装置にてSSに補完させる。

すべての重金属は最終的にシックナーを経由して脱水ケーキに濃縮される(図-5)。

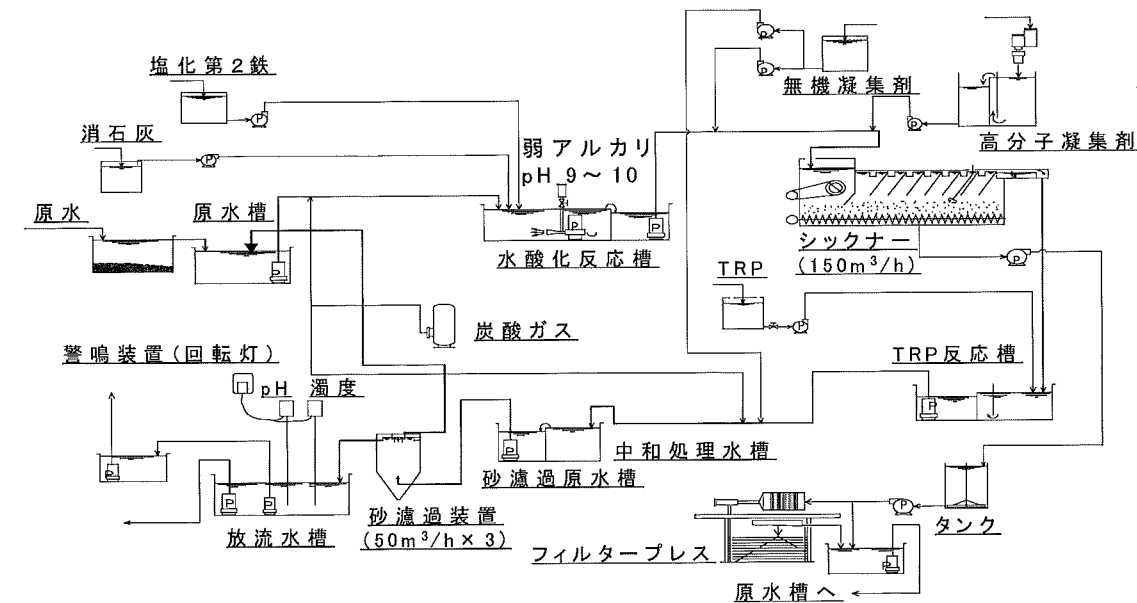


図-5 濁水処理設備処理フロー図

#### (2) pH・濁度・重金属処理管理について

pHおよび濁度管理は、放流槽にpH・濁度計を設置し管理する。管理値外の異常が発生した場合、警鳴装置を起動させ、処理中の濁水はバイパスを経由して、原水槽に戻し再処理する。重金属処理は、溶出量を測定することによって、処理状況を把握する。管理値外の異常が発生した場合は、上記と同様な方法で処置を実施する。

#### 4-3-3 水質検査

水質検査は、濁水処理前後の重金属溶出量の確認と、放流の適否および処理の妥当性を確認することを目的として実施する。

測定は、処理前の溶出量の確認として先進ボーリングで発生した湧水を、処理後の溶出量の確認として濁水処理水を検査の対象とした。

#### (1) 検査機器に求められる要求

河川に放流を行う濁水処理水はSS・pHなどを日常管理項目とし定期的に公的機関による水質試験を実施し基準を満足しているかを判断しているのが一般的である。

しかし、本工事のように重金属の溶出把握を日常管理とするためには公的機関における水質試験では時間を要してしまうことが課題としてあげられる。そこで、検査機器に求められる要求としては、溶出状況(溶出量)が、迅速かつ定量的に測定でき、さらに現場で測定が可能な機械として検討を行った。

本現場では、先に述べた課題を総合的に検討し、「多項目水質迅速分析計」を採用し日常管理を実施している。



写真-1 掘削岩・湧水試験状況

この分析計の特徴を以下に示す。

#### (長所)

- ・迅速に高精度な測定が可能(1検体30~90分)
- ・コンパクトで作業スペースを確保しやすい

#### (短所)

- ・調整剤の試薬が必要
- ・前処理に加熱や試薬の調整に手間がかかる

上述より、高精度であり迅速かつ現場測定が可能であることより多項目水質迅速分析計を用いた日常管理を実施しているが、分析計測定値の信頼性向上を図る目的より定期的実施する公的機関による水質試験結果も確認し放流管理に努めている。

### 4-4 要対策岩の処理方法

現場判定試験により「要対策岩」と判定された掘削岩は、長期的な観点より重金属の溶出する可能性のある岩と位置づけられるため溶出を抑制し地下水の汚染防止を図る必要がある。

#### 4-4-1 処理計画

計画当初としては、要対策岩に石灰石を添加し中和処理を施した後、周囲に粘性土による不透水層を構築し、地下水からの隔離と雨水などの浸入を防ぐ方法が検討された。

しかし、下記の問題点が懸念された。

- ・石灰石を加えた溶出試験の結果、カドミウム・鉛・砒素に対しては中和効果が確認されたが、セレンに対しては効果が薄い結果が得られた。
- ・遮水層を構築する良質な粘性土が現場近郊では入手困難であった。
- ・粘性土を道路路体として用いる場合の強度が懸念された。

そこで、本工事においては管理型処分場の構造に準じた「二重遮水シートによる封じ込め方式」を実施している(図-6)。

### 4-5 考察

現在、硫黄含有量およびpHによる基準値を超過し要対策岩と位置づけられた掘削岩は発生しているが、公的機関による溶出試験結果からは、環境基準を超過した含有岩および溶出水は発生していない状況である。



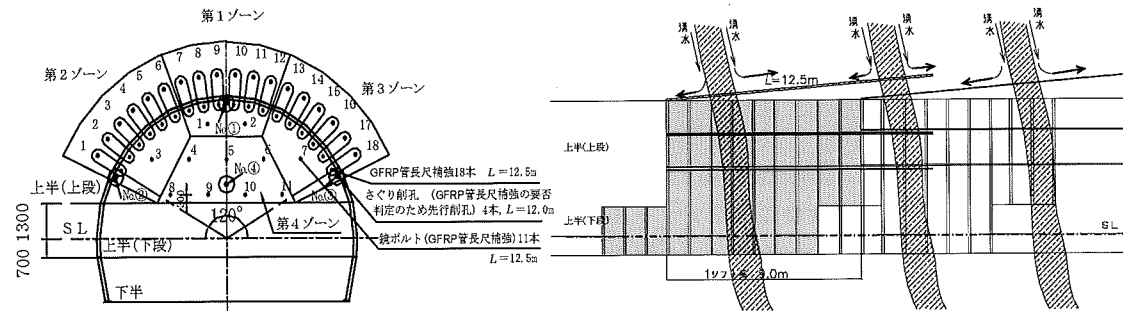


図-9 湧水帯の対策工法

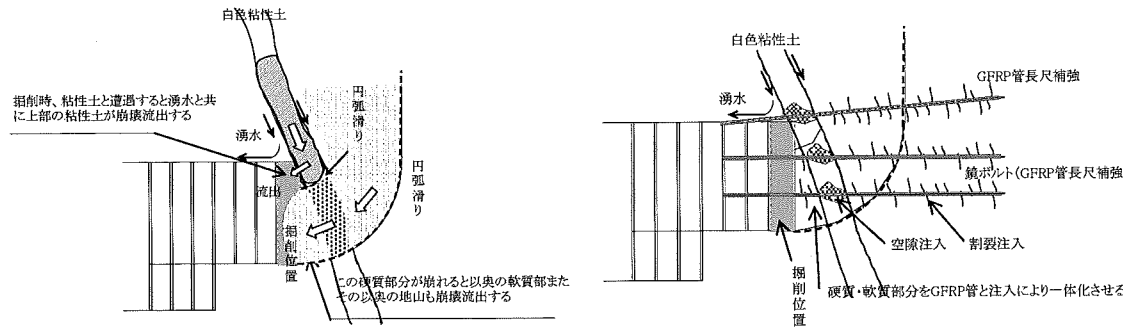


図-10 切羽天端・鏡補強概念図

5-3 湧水区間の施工

先進ボーリングの結果より、湧水圧が1.5MPaと高く近傍には未固結の粘性土層などを伴うことが確認されたため、以後の掘削施工は十分に水圧を下げた後、探り削孔により地山条件、先受け補助工法の必要性和範囲、残留水圧などを確認し慎重に進めた。

掘削時の補助工法としては、天端および鏡の安定をGFRP管長尺補強としたほか、上半に補助ベンチを設けた上半二段ベンチカット工法を実施した。なお、探り削孔により確認を行う残留水圧の限界値については「北陸新幹線 高社山トンネル北工区」<sup>1)</sup>の検討例にならい、管理動水勾配  $i_c=1.0$  を用いて検討を行い、安全な水圧を確認することとした(図-9, 10)。

5-4 考察

この土砂流出を伴う突発湧水(最大全体湧水量: 5.3t/min, 最大水圧1.5MPa)の対応において、2か月余りの期間、切羽停止を余儀なくされたが、その後、先に述べた対応をくり返し約120mに及ぶ湧水帯を大きなトラブルもなく突破することが

できた。

当初から湧水が予測されていた領域であるため先進ボーリングを実施していたものの、複雑な水脈、粘性土脈の分布を十分に把握するには不十分であった。そこで、GFRP管を用いた中尺の探り削孔を実施したが、これは長尺のみでは把握できない切羽近傍の複雑な湧水帯を確認する場合に大変有効であった。

下郷工区においても切羽測点No.74付近の先進ボーリング施工時に一時2.5t/min(最大全体湧水量)の大量湧水が発生したものの水抜きボーリングの追加により対応し大きなトラブルもなく掘削を行うことができた。

6 おわりに

本稿では、甲子トンネルで実施した重金属を含む掘削岩および地山湧水に対する判定から処理のほか、掘削時に遭遇した突発湧水に対する対応を述べた。

幸いなことに環境基準を超過する重金属の溶出は確認されていないものの、福島県のように指定

区域以外および自然的要因による汚染土壌処理について条例を制定している地域もある。

長期的な視点に立ち環境対策を実施することは今後更に重要度を増すものと考えられ、建設工事においても環境保全は、施工管理上重要な管理項目である。また、突発湧水では尊い人命を失う可能性もあることよりトンネル工事の怖さと調査・準備の重要性を改めて痛感している。

当トンネルで実施した対応が同種工事を計画するうえでの一例になれば幸いである。

参考文献

1) 依田淳一・越川俊幸：火砕岩類の高圧湧水帯を水抜きボーリングで突破、北陸新幹線 高社山トンネル北工区、トンネルと地下、Vol.35, No.2, pp.7-12, 2004.2.

P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

第I巻	地下水の物理と化学	価格4,281円	〒340円
第II巻	地下水環境学	価格4,485円	〒340円
第III巻	地下水と地質	価格3,873円	〒340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため、水の物理学・化学的性質、地球の状況、水資源としての地下水の状況、地下水の水理学的特性とその調査方法など多岐にわたっており、地質学者、水理地質の実務者、地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者、または、地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている。

<第I巻 主要目次>

■序論 ■岩石における空隙の起源と透水性 ■地下水の動き ■岩石の弾性的な性質と流れの方程式 ■水理試験(モデル, 方法と応用) ■溶質と粒子の輸送 ■汚染物質の水理地質学入門

<第II巻 主要目次>

■地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数字理論 ■地下水による物質輸送(水質編) ■地下水による物質輸送(地質編) ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化の対策

<第III巻 主要目次>

■水資源 ■堆積盆水環境における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

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



## ■化石の町・瑞浪市

小学校高学年から中学校時代を名古屋で過ごした筆者にとって、岐阜県瑞浪市は格別思い出深い場所である。当時、化石採集に熱中していた筆者が、ハンマー片手にせっせと通ったのが瑞浪であった。

名古屋近郊の化石少年たちにとって、瑞浪市は大垣市の金生山と並ぶ「聖地」で、古生代のフズリナ化石で有名な金生山に対して、瑞浪は新第三紀の貝化石などの産地として知られていた。中でもサメの歯の化石や、別名「月のおさがり」と呼ばれるピカリア(巻貝の一種)は人気を集め、より大きく、珍しい化石を見つけて自慢するのが、仲間たちとの密かな楽しみであった(現在、瑞浪市内における化石の採集は禁止されており、瑞浪市化石博物館の野外学習地のみで許可を得たうえで採集することが可能)。

しかし、リーダー格の先輩の卒業とともに瑞浪通いも遠のき、以後、訪れる機会を失ったままであった。その化石の町・瑞浪市に、太平洋戦争中に掘削された地下工場の跡地を再利用して、化石博物館が開館したのは、それから数年後の1974(昭和49)年のことであった。

今回、当時の思い出に浸りつつ現地を訪れたので、ここに紹介してみたい。

## ■地下工場から博物館へ

瑞浪市に分布する瑞浪層群は、新第三紀中新世(約2,000万～1,500万年前)に堆積した海成層(一部に淡水成層を含む)の砂岩、泥岩などを主体に構成され、サンゴ、貝類、サメの歯、ほ乳類、植物などの化石を多く含むことで知られている。ハンマーでも削ることができる程度の軟岩で、自立性も高いため、太平洋戦争末期には地下工場の建設地として注目され、川崎航空機各務ヶ原工場をここに疎開させることとなった。

地下工場が設けられたのは、瑞浪市の西部に位置する通称「化石山」の周辺で(瑞浪市明世町山野内付近)、工事は1945(昭和20)年4月に開始され、陸軍四式重爆撃機「飛龍」を生産するため、総延長7,628mに及ぶ地下工場が建設されたが、一部の機械を搬入したにとどまり、稼働することなく終戦を迎えた。

その後、1974(昭和49)年、この地に瑞浪市化石博物館が建設された際に、放棄された地下工場の一部を野外展示室に転用することとなり、地層の観察ができるように整備された。さらに1993(平成元)年には、道路と駐車場をはさんだ反対側の山腹に、生命の進化の過程を体験できるアミューズメント施設として、地下工場を利用した「地球回廊」が完成し、現在に至っている。



写真-1 「化石の地下壕」の内部



写真-2 「地球回廊」の入口(右)と出口(左)

なお、「化石山」の山頂には、この地下工事で犠牲となった中国人労働者を弔うため、1972(昭和47)年に建てられた「日中不再戦の碑」がある(元の碑は1967(昭和42)年に建立されたが、中央自動車道の建設により現在の地に再建)。

## ■「化石の地下壕」、 「地球回廊」を見学する

「化石の地下壕」と「地球回廊」は、中央自動車道瑞浪インターチェンジのすぐ近くにある瑞浪市民公園の敷地内にあり、中央本線瑞浪駅から歩いて30分程度で行ける。

化石博物館の下にある「化石の地下壕」は、3m四方の断面で、延長は80mほどで行止まりとなっており、瑞浪層群戸狩層の素掘り面をそのままとしているため、ムラサキガイやマテガイ、フナクイムシなどの貝化石が堆積している様子を見ることができる。路盤は舗装されており、路盤部分に照明を設置することにより、アーチ部分の全周をくまなく観察できるよう工夫されている(写真-1)。

一方、「地球回廊」は、地下工場の一部を区切って一周する延長270mの坑道の内部に、「光のトンネル」、「地球史を飾った生物たち」、「地球の誕生」など、13の展示コーナーを設け、パネルや模型、音響などによって地球の歴史を体感できるようになっている。展示には、SONY、NHKエンタープライズ、雑誌「Newton」などが協力しているので、内容もそれなりに充実しているが、コンク



写真-3 「地球回廊」の内部

リートや吹付けコンクリートによって補修されているため、地下工場の跡地としての生々しさは希薄である(写真-2, 3)。

また、展示コーナーの一角には、(独)日本原子力研究開発機構の協力による日本の地下利用の展示コーナーもあったようだが、訪問時はあいにくリニューアル工事中であった。ちなみに、原子力機構は現在、「地球回廊」の北側に瑞浪超深地層研究所を設置し、高レベル放射性廃棄物を地層処分するための研究の一環として、地下1,000mの立坑を掘削中である(詳細は、本誌Vol.35, No.6(2004年6月号)参照)。

全国には、太平洋戦争中に建設された地下施設が約5,000か所もあるとされ、特殊地下壕対策事業でその陥没対策などが行われているが、瑞浪市のような活用例はほとんどないと思う。戦争の犠牲になった方々の苦労を無駄にしないためにも、こうした地下施設の有効な活用を期待したい。



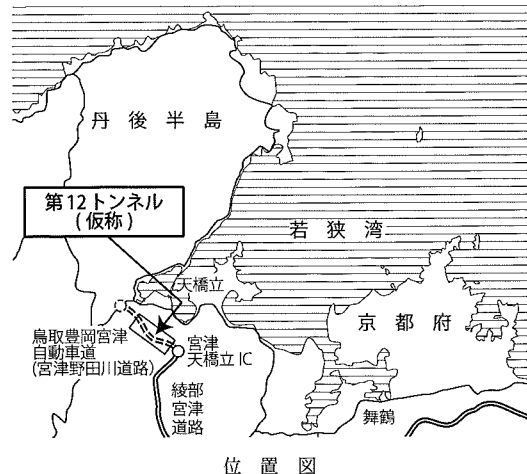
# 日本三景「天橋立」を望みつつ

福 家 佳 則

日本三景の一つ「天橋立」は日本海に面する京都府宮津市に位置する。天橋立とは南北に伸びる天然の砂州であり、湾を宮津湾と阿蘇海に切り離している。全体がクロマツの古木で覆われており、高台からの「股覗き」が神秘性を増す。阿蘇海と宮津湾は一本の運河で結ばれているが、過去には水質の悪化から漁民より何度か天橋立の切断話が持ち上がっている。生業と景観との関係が問われながらも、その景観を今日も維持してきたことは京都らしく、また一土木技術者として考えさせられる。

当地・宮津は縄文時代以来の古い歴史を持つ町であり、古代には国の役所である国府が置かれ丹後の政治・経済・文化の中心として発展した。戦乱の中世を経て近世になってからは、天然の良港・宮津湾を利用した北前船の寄港地として、丹後ちりめんなどの集散地として繁栄した歴史を持つ。そのため四季折々に催される祭りや行事には独特の伝統が見られ楽しめる。近年は「天橋立観光」や「海水浴」などの客で賑わっているが、なんといっても日本海のブリやカニなどの新鮮な魚介類、伝統を受け継ぐ酒造りといった食文化の高さは見逃せない。

第12トンネル(仮称)は、宮津市内に位置し、天橋立とほぼ同じ長さ3.6kmであり、京都北部地域と京阪神地域や日本海沿岸地域を結ぶ重要な路線となる。鳥取



位置図



天橋立全景(左:阿蘇海, 右:宮津湾)

豊岡宮津自動車道のうちのもっとも京都寄りの宮津野田川道路(6.4km)の一区間に当たる。当トンネルは、本坑(二車線の車道用トンネル)と避難坑からなり、現在、工事の最盛期にある。

避難坑は坑口部を除きTBM(オープン型φ5m)で掘削した。TBMの愛称「ドリームサンシャイン」の名付け親は隣の女子小学生であり、「みんなの夢をのせて、暗い土の中を太陽の光を目指して掘り進む」というキャッチフレーズが好評で多くの応募の中から採用された。数多くの断層や超硬岩に進捗を阻まれながらも、愛称にも助けられ9月末に無事貫通の喜びを分かち合った。

本坑掘削は住宅の少ない終点側から掘削を進めており、今後は避難坑を利用して奥に分け入り、2切羽体制で掘削する。本坑の発破掘削ずりは切羽近くで破碎した後、連続ベルトコンベヤで坑外へ搬出しており、長大トンネルの安全確保に大きく貢献している。

大規模プロジェクトでもあり見学者は多い。すでに1,000名を超え、なおも後を絶たない。「社会に開かれた建設現場」が当発注者の願いであり、またわれわれ、公共事業を施工する者の責務でもあろう。

未だ工程上は50%、今後も素晴らしい景観と文化、そして早期完成に向けた地元の方々の思いを糧に、宮津にりっぱなトンネルを残すべく努めたい。(鹿島・飛島・鉄建・公成・吉村特定建設工事共同企業体宮津第12トンネルJV工事事務所所長)

# 施工

## TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工

### —第二名神高速道路 甲南トンネル(下り線)—

西日本高速道路(株)関西支社大津工事事務所工事長 奥 隅 豊 栄  
 清水建設・飛島建設・銭高組共同企業体所長 大 矢 隆 二  
 清水建設・飛島建設・銭高組共同企業体工事課長 木 村 厚 之  
 清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部副部長 楠 本 大

### 1 はじめに

甲南トンネルは、第二名神高速道路の甲賀土山IC～信楽IC間に位置し、掘削断面積は約190m<sup>2</sup>で、滋賀県甲賀市甲南町から甲賀市信楽町を結ぶ延長約2,500mの双設長大トンネルである(図-1)。このため、TBM導坑先進掘削工法を採用した。この下り線工事は、他工事上り線掘削工事と並行して行われ、先行した上り線TBM導坑の施工成果を受けて、下り線TBM導坑地山等級を見直し、2004年6月より下り線TBM導坑掘削を開

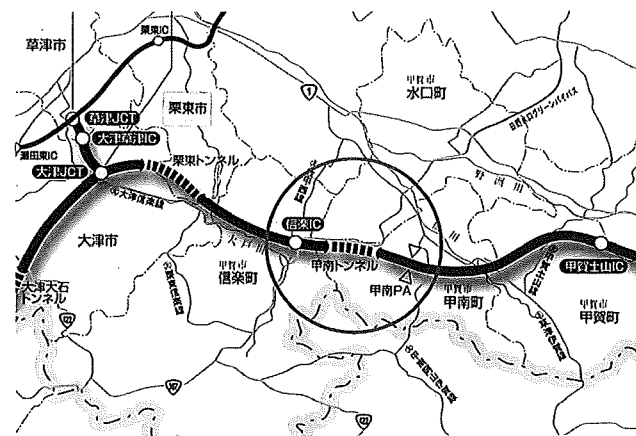


図-1 甲南トンネル位置図

始した。2006年2月には下り線本坑も貫通し、2007年9月の竣工を目指し、覆工コンクリートを施工中である。

本稿では、地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な掘進を可能にしたTBM施工技術とともに、先行TBM導坑掘削で得られた地質情報などを本坑掘削計画に反映させる情報化施工技術および合理的で効率的な大断面トンネルの施工技術について述べるとともに、大断面トンネルの挙動特性が明らかになったので報告する。

### 2 工事概要

甲南トンネル下り線工事は、TBM導坑掘削と本坑掘削および覆工コンクリート工、坑門工などであり、2004年3月に着手した。TBMは、東側坑口ヤードで組み立て、延長120mのTBM発進坑内に引き込み、定置し、2004年6月15日から西側に向けてTBM掘進を開始し、5か月後に、到達した。西坑口側では、TBM掘進と並行して、延長55mのTBM到達部を中央導坑先進上半工法で施工した。TBM導坑貫通後は、東西両坑口側から本坑掘削を開始し、

12か月後に、トンネル中央付近で貫通した。本坑掘削時の坑内換気は、施工が完了している上り線坑内と下り線TBM導坑をトンネル中央付近の避難連絡坑で連絡し、上り線坑内への送風機と風管配置による坑道換気方式を採用した。

### 3 地形・地質概要

標高200~600m程度の田上・信楽山地が広がり、全体に開折が進み、入り組んだ地形を形成する。トンネルの中央付近には、土かぶり厚17mの小土かぶり部が存在する。

山地構成岩体は、中世代白亜紀後期の貫入岩体である花崗岩類の田上花崗岩が分布する(図-2)。この花崗岩は、沢部や深部では、全体的に中硬質~硬質な岩盤として分布するが、斜面部では、表層から数十m程度風化が進み、マサ状の脆弱な岩盤である。トンネル中央付近の約300m間には、熱水貫入による変質を受けたと推定される変質花崗岩が分布し、全体に圧砕され、軟質、脆弱な風化・変質岩、断層、亀裂密集帯と局部的に安山岩の岩脈が認められる。切羽集中湧水は、全延長を通してない。

### 4 TBM導坑掘削

#### 4-1 TBM仕様

計画掘進速度の確保、地質不良部での確実な掘進、TBM導坑掘削の本坑断面への掘削影響域の抑制などを考慮し、第二東名高速道路岡部トンネルで使用したφ5.0m改良オープンタイプTBMを改良、転用した。下り線工事で使用したTBMの主要諸元とTBM全景を表-1、写真-1に示す。

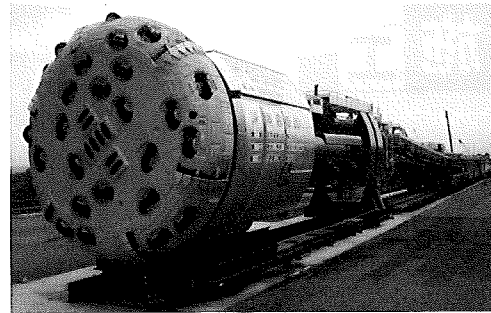


写真-1 φ5.0mTBM全景

表-1 TBM主要諸元

①TBM型式	改良オープンタイプ
②掘削外径	φ5.0m
③本体重量、機長	2,820kN, 15.845m
④カッタ	
・カッタ径	17インチ(インナ)
・カッタ数	35個(センタ8, インナ25, ゲージ2)
⑤カッタ駆動装置	
・電動機出力	170kW×6
・トルク	2,400~990kN-m
・回転数	1.5~10rpm
・駆動方式	インバータ駆動方式
⑥スラスト装置	
・総推力	9,000kN
・スラストジャッキ	4,500kN×2
・伸長速度	max 15cm/min
・ストローク	1,600mm
⑦メイングリッパ装置	
・総押し付け力	20,000kN
・シュー張出量	左右各300mm
・接地圧	max 2.75N/mm <sup>2</sup>
⑧支保装置	モルタル吹付けシステム、エレクト
⑨換気設備	排気方式、500m <sup>3</sup> /min級送風機
⑩集塵機	乾式、330m <sup>3</sup> /min 1台
⑪ざり搬送方式	連続ベルトコン方式(ベルト幅610mm)
⑫軌条	単線(22kg/mレール, RG=762mm)
⑬測量設備	自動追尾型トータルステーション
⑭前方探査	先進ボーリング(鉦研工業, RPD-100)

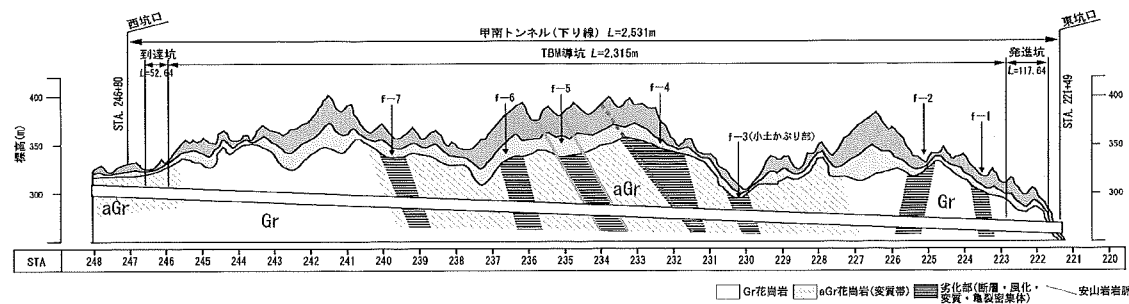


図-2 地質縦断面

#### 4-2 支保システム

先行した上り線TBM導坑掘削では、トンネル中央付近の地質不良部において、天端崩壊とメイングリッパ反力不足などが生じた。また、オープンタイプTBMの支保施工位置は、切羽より掘削径の約1倍の約5m後方となり、掘削外力の再配分は支保施工以前にはほぼ終了し、不安定で固結度の低い岩塊や岩盤ブロックなどは、ルーフサポート上に剥落、崩落する。TBMが前進し、この崩落箇所がTBM導坑掘削面として現れるようになると、ルーフサポート上の岩塊などは、TBM導坑内に崩落、抜け落ち、崩落域は深部に進展する。このことから、TBM導坑の支保構造は、薄肉ファイバー入りモルタル吹付けと鋼アーチ支保工の組み合わせによる標準支保パターン(表-2)を基本にするが、自立度の低い崩壊性地山の支保構造として、崩落岩塊などが仮受けでき確実なTBM掘進を可能にする簡易ライナを設計する(表-3)。

#### 4-3 地山等級判定方法

TBM工法は、切羽鏡にTBM本体がいるので、この位置での地山等級判定は難しい。メイングリッパを盛り替え、TBMが前進すると、ルーフサポートおよびサイドサポート後端から徐々に掘削面が現れる。このことから、掘削面の自立度や地山性状がトンネル品質と力学的安定確保に大きく影響するので、これらを主要パラメータとして地山等級判定基準(表-4)を定める。切羽観察は、支保を施工する位置で行い、目視で地山等級を判定し、適切な支保パターンを選択、実施する。切羽補強などの補助工法実施の判定は、TBM機械データの活用とともに、切羽天端の自立度、切羽鏡の安定性などの目視観察で判断する。

#### 4-4 施工方針

TBMの高速掘進性を活かし確実なTBM掘進確保のための施工方針は、以下のとおりである。

(1) 本坑掘削を考慮し、標準支保パターンでの施工を基本とする。標準支保パターンで地山を保持できない場合やルーフサポート上の岩塊などを簡易ライナで受け替える方がトンネル品質と安全の確保上有利な場合は、簡易ライナを選択す

表-2 標準支保パターン(TBM導坑)

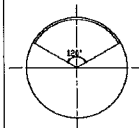
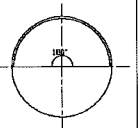
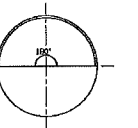
地山等級	C I-T	C II-T	D I-T
1掘進長	1.5m	1.5m	1.0m
支保構造概要	 ファイバー入りモルタル吹付け 120° t=20mm	 ファイバー入りモルタル吹付け 180° t=20mm 鋼リング支保工 (@1.5)H-100	 ファイバー入りモルタル吹付け 180° t=30mm 鋼リング支保工 (@1.0)H-100

表-3 簡易ライナ基本仕様

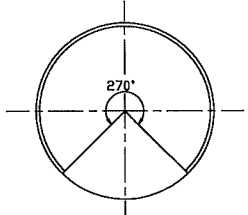
ライナタイプ	開口拡張型鋼製ライナ	
適用地質	崩壊性地山(D II-T)	
構造概要	 [-100をフレーム部材とし、上部270°は厚さ3mmのスクリンプレートで覆い、その下部は開口する。ライナーピースは、エレクトを用いてTBM機内で組み、拡張し、リング間はボルトで接続する。メイングリッパ載荷部背面の空隙は、吹付けモルタルを充填する。	
設計荷重	上載荷重34kN/m <sup>2</sup> (ライナ幅5m)	
仕様	外径	4,697mm
	幅	1.00m
	主桁高	100mm
	ピース数	5種類6ピース
	材質	SS400
重量	575kgf	
適用性と効果	①掘削面の自立度が低く、モルタル吹付けや鋼リング支保工などで周辺地山を保持するのが困難である。 ②TBMルーフサポート上に抜け落ちた岩塊などは、簡易ライナで受け替え、背面地山中に残置することにより、掘削影響域の深部進展を抑制する。 ③地山崩落防止として注入式フォアボーリングなどの補助工法を併用してTBM掘進するより稼働率が向上し、経済的である。	

表-4 地山等級判定基準(TBM導坑)

崩落度				断面区分			
規模	崩落岩塊	深さ(m)	範囲(度)	CI-T	CII-T	DI-T	DII-T (簡易ライナ)
なし	—	—	—	○			
小規模	単体	0.1~0.3	部分的		○		
中規模	複数	0.3~0.5	90~120			○	
大規模	複数	0.5~	120~				○
地質性状				比較的堅硬であるが割れ目が細かく入っており、小塊状を呈しており、その間隙には薄い粘性土をはさんでいるが、固結度は比較的高く、切羽は自立する。	全体的に強い風化作用を受けており、切羽の自立性は悪いが、補助工法なしで掘削可能である。	全体的に強い風化作用を受けており、切羽の自立性は悪く、補強工法などを必要とする崩壊性地山である。	

る。  
 (2) 切羽鏡が自立する地山では、地山等級判定基準にもとづいて、地山性状に応じた支保パターンを選定する。先抜けを伴うルーブな切羽では、注入式の補助工法を適用し、岩盤固結によるアーチ部周辺地山の自立を確保する。また、本坑掘削までの間に、簡易ライナ背面地山の崩落箇所が深部に進展し、本坑支保構造体の安定に悪影響を及ぼすことが予想される場合は、簡易ライナ背面の空隙・空洞充填工を実施する。

(3) 地質不良部の特定、簡易ライナ継続施工の判定に、TBM機械データを活用し、これの有効性を確認する。

(4) TBM機械能力の上限に近い状態でのオペレーションを基本とし、稼働率を向上させる。地質不良部では、地山性状と力学特性に応じた低回転速度・低スラスト推力のオペレーションとし、切羽鏡の自立を確保する。

(5) 切羽前方探査は、水抜きを兼ねた先進ボーリングによる方法を採用し、補助工法の注入式長尺鋼管フォアパイリングの削孔を兼ねたパーカッションタイプボーリングマシンをTBM本体と後続台車の連結部に装備する。

4-5 TBM機械データによる地山性状把握

切羽観察に先がけて、あらかじめ地山等級などがTBM機械データなどで予測できれば、適時に、適切な支保パターンが選べるようになる。また、簡易ライナを使用すると、掘削面の目視観察によ

る地山等級判定は難しいので、簡易ライナ背面の地山性状とその変化の様子を数値化できれば、簡易ライナ継続施工の判定ができるようになる。この方法として、TBM機械データの一部を用いて、1m進行ごとに、掘削エネルギー $E_i$ として式(1)で数値化し、地山等級との対応で適用性を確認する。

$$E_i = \{1,000 \times F + 2\pi \times (N \times 1,000 \times 1,000 \times T) / V\} / A \quad (1)$$

ここで、 $E_i$ は単位体積の地山を掘削するのに要するエネルギー値(N/mm<sup>2</sup>/mm)を表し、TBM機械データからのFはスラスト推力(kN)、Vは掘進速度(mm/min)、Nはカッターヘッド回転速度(rpm)、Tはカッターヘッドトルク(kN・m)、Aは掘削断面積(mm<sup>2</sup>)を表す。

4-6 施工結果

4-6-1 工程と掘削進行

2004年6月15日より東坑口側から西坑口に向けて、TBM掘進を開始し、11月20日に到達した(表-5)。貫通精度は、鉛直方向-36mm、水平方向-23mmの偏差である。最大日進は54m、最大月進695m、初期掘進開始時から到達までの平均月進は463mである。当初計画では、上り線実績を踏まえて、地山等級Cは全体の約82%を想定していたが実績は約66%となり、地山等級DIとDIIの区間延長はそれぞれ5%と12%ほど増えたが、計画掘削期間6.5か月と計画平均月進356mを上まわり、高精度・高速掘進を記録した(表-6)。

表-5 計画・実績工程(TBM導坑)

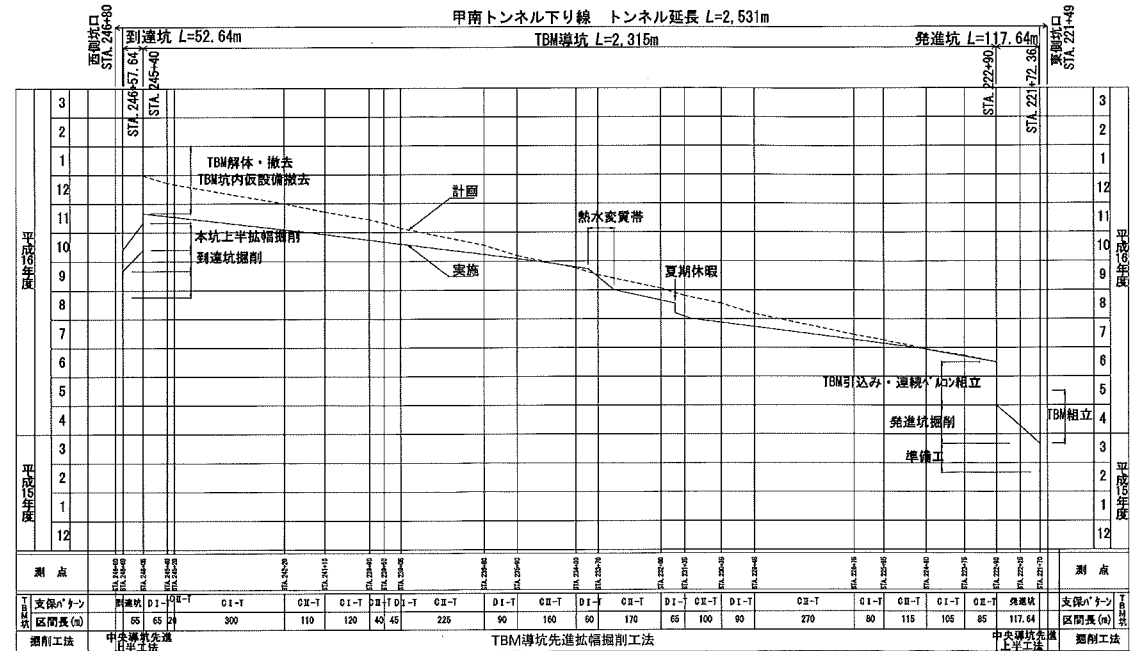


表-6 区間延長と月進行(TBM導坑)

断面区分	延長と進行	
	当初計画	実績
	区間延長(m)	掘削進行(m/月)
CI-T	605.0	627
CII-T	1,295.0	663
DI-T	415.0	429
DII-T(簡易ライナ)	272.0	232
延長計	2,315.0	2,315.0
平均月進行	356.0	463

4-6-2 施工状況

地山等級Cの切羽鏡面を写真-2に、地山等級DIIのTBM導坑内全景を写真-3に示す。地山等級Cでは、切羽は自立し、ディスクカッター刃先の岩盤圧砕跡が切羽鏡面に残る。地山等級DIIでは、天端の先抜けや切羽崩壊などが頻繁に発生し、カッターヘッドチャンバ内からの注入式フォアパイリング(L=2.0m)の岩盤固結による天端からアーチ部にかけての注入改良と簡易ライナの併用により、TBM掘進速度は低下したが、確実な掘進ができた。また、DII区間では、簡易ライナはルーフサポート内でエレクトを用いて仮組みし、油圧ジャック



写真-2 掘削面(CI-T)



写真-3 開口拡張型鋼製ライナ(DII-T)

キで拡張の後ライナピース間を固定、構築した。オープンタイプTBMでは、簡易ライナの内面にメイングリッパを押し付けるので、背面空隙部にファイバー入りモルタル吹付け材を充填し、グリッパ力の岩盤伝達と簡易ライナの過大変形を抑制した。

4-6-3 機械データと考察

延長2,315mのTBM導坑掘削により、2,315個の機械データを取得した。機械能力に関する地山等級別純掘進速度を図-3に、カット回転速度と純掘進速度の関係を図-4に示す。また、地山等級別掘削エネルギー値を図-5に、TBM坑壁からコア取りした供試体の一軸圧縮強度( $q_u$ : N/mm<sup>2</sup>)とこの位置での掘削エネルギーに対する比( $E_i/q_u$ )を図-6に示す。

これらから、以下のことがいえる。

(1) TBMオペレーション

改良オープンタイプTBMの純掘進速度の平均

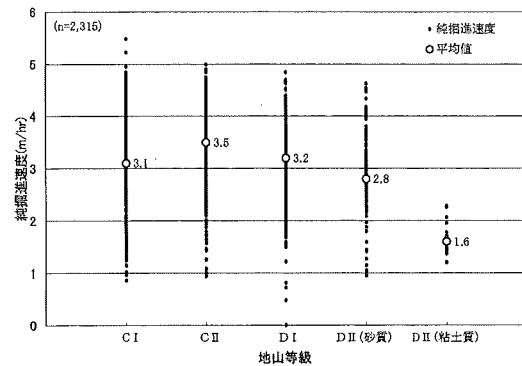


図-3 地山等級別純掘進速度

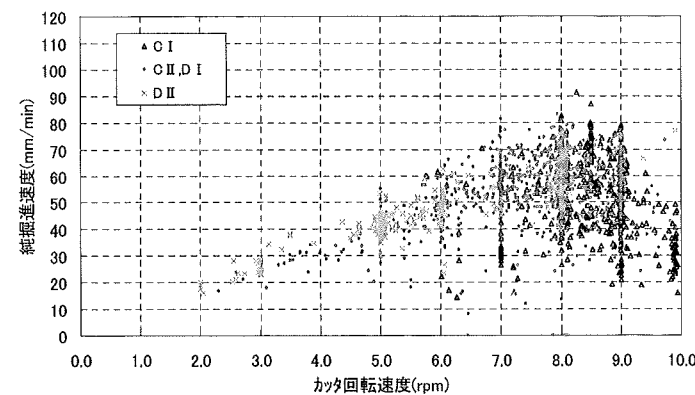


図-4 カット回転速度と純掘進速度

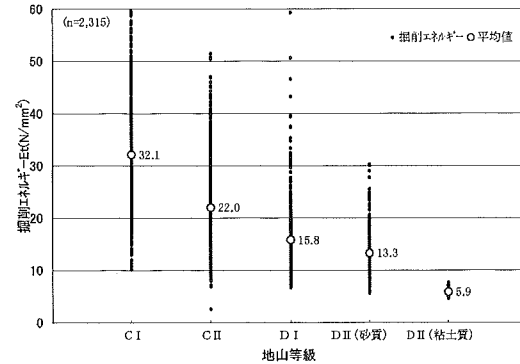


図-5 地山等級別掘削エネルギー値

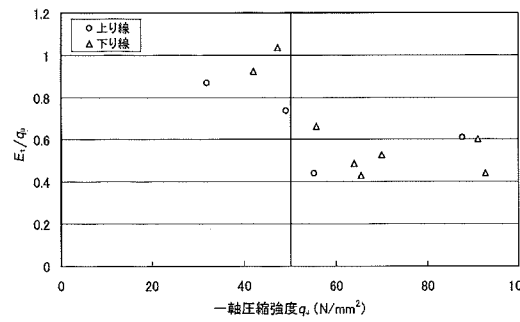


図-6  $q_u$ と $E_i/q_u$

値は、地山等級Cで約3.1~3.5m/hr、Dで約1.6~3.2m/hrである。カット1回転あたりの純掘進長は、大きくばらつくが、C Iを除くと、おおむね約0.6~1.0cm/回転である。C Iは、約0.2~0.9cm/回転である。

(2) 地山等級と岩盤性状

掘削エネルギー値は、岩盤材料の硬軟特性を表しており、地山等級との対応で明らかな相関がみられる。他工事の新第三紀堆積岩<sup>1)</sup>では、地山等級C Iの掘削エネルギーの平均値は20 N/mm<sup>2</sup>であるが結晶質岩の田上花崗岩は32N/mm<sup>2</sup>と高くなり、ばらつきも大きい。切羽自立度が低かった地山等級D IIでは、砂質の13.3N/mm<sup>2</sup>は堆積岩の10N/mm<sup>2</sup>より若干高くばらつきも大きい。粘土質の5.9N/mm<sup>2</sup>は新第三紀堆積岩断層粘土の値と同等レベルになり、切羽自立判定の目安になる。

(3) 力学パラメータ推定

一軸圧縮強度 $q_u \geq 50$ N/mm<sup>2</sup>では、ディ

スクッター刃先部での圧砕引張によるチップングにより、岩盤掘削がなされたと推察され、 $E_i \approx 0.5 q_u$ となる。 $q_u < 50$ N/mm<sup>2</sup>では、ディスクカッター刃先部での圧砕による岩盤掘削がなされ、 $E_i \approx 0.9 q_u$ となり、掘削エネルギー値と一軸圧縮強度の高い相関が示された。

4-7 まとめ

改良オープンタイプTBMを転用、改良し、薄肉の標準支保パターンに簡易ライナを加えた4タイプの支保構造を設計し、TBM坑の地山等級判定基準にもとづいて施工した。

その結果、①TBM導坑延長の約12%は簡易ライナ掘進であるが、平均月進463m、鉛直偏差-36mm、水平偏差-23mmで貫通した。② $\phi 5.0$ m改良オープンタイプTBMの純掘進速度の平均値は、地山等級Cで約3.1~3.5m/hr、Dで約1.6~3.2m/hrである。③花崗岩での掘削エネルギー値は、これによる力学パラメータ推定の可能性は高く、地質不良部での切羽自立度の判定に有効である、などが得られた。

5 本坑拡張掘削

5-1 支保構造と地山等級判定

甲南トンネル下り線工事のトンネル支保構造は、坑口部と小土かぶり区間を除くと、表-7に示すように、旧JH標準のC I-B-P、C II-B-P、D I-B-Pと効率的支保のC I-c-P、C II-a-Pおよび脆弱地質のD II-B-Pであり、SS590相当の高規格鋼アーチ支保工、圧縮強度が36N/mm<sup>2</sup>の高強度吹付けコンクリート、耐力170kN以上の充填式ロックボルト

を標準の主要支保部材としている。また、地山等級C IIの高効率施工を目指したC I-c-Pは、鋼アーチ支保工の代替として、フリクションタイプ鋼管膨張型ロックボルトと薄肉高じん性の高強度繊維補強吹付けコンクリートを主要支保部材<sup>2)</sup>にしている。D II-B-Pは、TBM導坑掘削時に、TBM切羽は先抜け、崩壊し、補助工法と簡易ライナで施工した区間に対応し、支保パターンは坑口部と同様であるが、補助工法として注入式長尺鋼管先受け工を採用する(表-8)。支保パターン判定基準は、表-9に示すように、旧JH標準<sup>3)</sup>に上り線工事の実績を反映させたものを適用する。

5-2 施工方針

TBM導坑の先行掘削により、自立度の高い地山等級Cが分布する範囲と地質不良部D IIの出現位置と規模は既にわかっているため、高効率施工のための施工計画方針は、以下のとおりとした。

- ① 東西両坑口側からの本坑拡張掘削とし、上半掘削、下半断面交互掘削、インバート半

表-8 長尺鋼管先受け工仕様

タイプ		無拡張タイプ長尺鋼管 フォアパイリング
1	シフト長	m 9.00
打設範囲	deg.	上半アーチ部第一円弧(100度)
打設間隔	mm	450
打設本数	本/シフト	33
鋼管仕様	鋼管長	m 12.640
	規格、材質	$\phi 114.3$ , $t=6$ mm, STK400
注入	注入材	岩盤固結材 (シリカレジン4倍発泡)
	計画注入量	kg/m/本 10(先行孔), 12.5(後行孔)

表-7 トンネル支保構造仕様

鋼アーチ支保工		吹付けコンクリート(cm)(C I-c-P, C II-a-P: マルチパターン)			ロックボルト(C I-c-P: 上半は鋼管膨張型)					
なし	C I-B-P				1.5	2.0	6.0	4.0		
なし	C I-c-P						6.0			
上半	H-125			C II-a-P	1.5	1.5	6.0	6.0		
上下半	HH-154			C II-B-P	1.2					
上下半	HH-154						D I-B-P	1.2	1.2	
上下半	HH-200						D II-B-P	1.0	1.0	
吹付け厚(cm)		15			20	25	周方向	延長方向	上半	下半
繊維補強(上半)		SFRS	PETFRS	プレーン			(m)	(m)	ボルト長(m)	

表-9 支保パターン判定基準

支保パターン	切羽評価点								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
B-B-P									
CI-B-P									
CI-c-P									
CII-a-P									
CII-B-P									
DI-B-P									
DII-B-P									

岩判定の目安   
  平均的な範囲   
  硬質・塊状岩の範囲

断面同時施工，1打設スパン長12.5mの覆工コンクリート工は，同時施工とする。東側上半掘削の主要施工機械を表-10に示す。

- ② バルク状含水爆薬の集中装填による爆破効率の向上とこれの機械装填により装薬時間と切羽張り付き作業時間を短縮する。
- ③ 鋼アーチ支保工のない地山等級CIでは，高度化したElectronic Delay Detonator / Smooth Blasting工法を採用し，掘削面を平滑に仕上げ，掘削面周辺岩盤の爆破損傷域を抑制する。また，鋼管膨張型ロックボルトと高強度再生PET(ポリエチレンテレフタレート)繊維補強吹付けコンクリートを採用し，早期のグランドアーチ形成と支保部材の高耐力化により，トンネル支保構造系の力学的安定を確保する。
- ④ 地質不良部では，注入式長尺先受け工の補助工法を採用し，トンネル品質の確保と確実な施工を可能にする。
- ⑤ 施工完了している上り線と下り線TBM導坑を用いた坑道換気方式を採用し，効率的で良好な坑内作業環境を確保する。

5-3 計測工要領

トンネル支保構造仕様の検証と次施工の判断に資するトンネル挙動特性の把握を目的にして，計測工を計画する。計測工Aは，自動追尾機能を備えたトータルステーションを核とする三次元自動測量・計測システムのPam-NETを用いて，測点の鉛直・水平方向変位量を6~12時間ごとに自動測定する。計測断面は，トンネル進行方向6~20

表-10 主要施工機械(東側)

用途	機械名称	能力, 出力	台数
掘削, 補助	油圧ホイールジャンボ	3B, HD150kg級	2
	全自動コンピュータジャンボ	2B, HD210kg級	1
	バルク含水爆薬機械装填機	Max.10kg/min	4
	油圧ショベル	0.7m <sup>3</sup> 級	1
	油圧ブレーカ	1.5t級	1
鋼アーチ支保工 建込み	支保工エレクタ	2t級	1
ずり 搬出	ホイールローダ	3.1m <sup>3</sup> +2.3m <sup>3</sup>	2
	ダンプトラック	30t	4
吹付けコンクリート工	コンクリート吹付け機	30m <sup>3</sup> /h	2
	トラックミキサ車	4.5m <sup>3</sup>	4
ロックボルト工, 長尺鋼管フォアパイリング工	油圧ホイールジャンボ	3B, HD150kg級	2

m間隔に設け，1断面あたりの測点数は，天端，左右肩，上半左右脚，左右SLの7点である。

5-4 施工状況

2005年2月より西坑口側から，約1か月後の2005年3月より東坑口側から延長2,435mの本坑拡張掘削を開始した。2006年2月27日，トンネル中央付近で，12か月の掘削期間を要し，無事故・無災害で貫通した。地質良好区間と不良部の施工状況は，以下のとおりである。

(1) 地山等級CI

Pam-NETのもとで稼働する2B全自動コンピュータジャンボ，3Bホイールジャンボなどを上半切羽に2台配置し，高度化したEDD/SB発破とバ

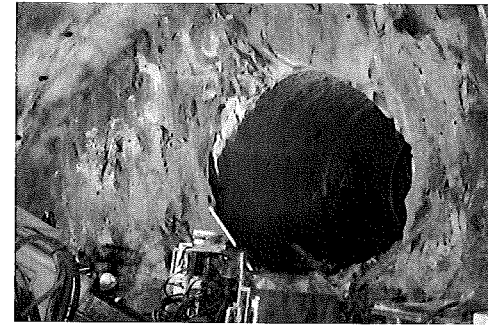


写真-4 拡張掘削切羽状況 (CI-B-P)

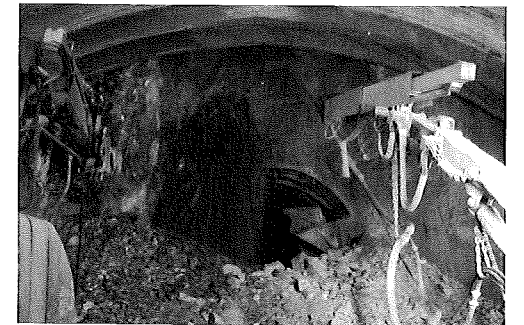


写真-5 地質不良部切羽状況 (DII-B-P, 砂質)

ルク含水爆薬機械装填を実施した(写真-4)。これにより，掘削面を平滑に仕上げ，余掘り量を少なくし，サイクルタイムを短縮できた。上半掘削進行は8~10m/dayを確保，最大月進180m(CII)を記録し，高効率施工ができた。

(2) 地質不良部

補助工法施工単位の1シフト長を9mとする無拡張タイプ注入式長尺鋼管フォアパイリングのDII-B-Pによる上半掘削は，簡易ライナでTBM掘進した延長272mのうち，切羽注入補強した延長約30m間に地層の走行・傾斜を考慮し，6シフトを計画した。この区間の上半切羽は，写真-5に示すように，頻りに崩壊し，掘削面の約1~2m先までは不安定であったが，注入式長尺先受け工の岩盤固結による掘削面の自立確保と簡易ライナの切羽補強効果により，掘削断面外への先抜けと切羽の大崩壊には至らず，計画進行どおりの確実な施工ができた。

5-5 施工結果

本坑掘削時の地山性状と力学特性は，TBM導坑の先行掘削により，既に明らかになっているので，地質，地下水に起因するトラブルはなくなり，合理的で確実な施工を可能にした。ここでは，これらの成果について述べる。

(1) 地山等級推定と区間延長

旧JH切羽評価点法で地山等級を判定する本坑断面区分は，TBM機械データからの掘削エネルギー値とともに，崩落度と地質性状を主要パラメータとするTBM導坑断面区分との対応で，表-11の

表-11 本坑支保パターン見直し

TBM導坑断面区分	CI-T	CII-T	DI-T	DII-T	DII-T (注入補強)
1掘進長(m)	1.5	1.5	1.0	1.0	1.0
掘削エネルギー値 E <sub>1</sub>	<25	<17.5	>17.5	<10	
本坑断面区分	CI-c-P	CII-a-P	CII-B-P	DI-B-P	DII-B-P
1掘進長(m)	2.0	1.5	1.5	1.2	1.0
補助工法					注入式長尺先受け工

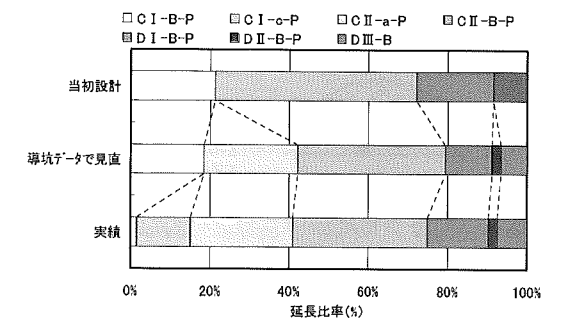
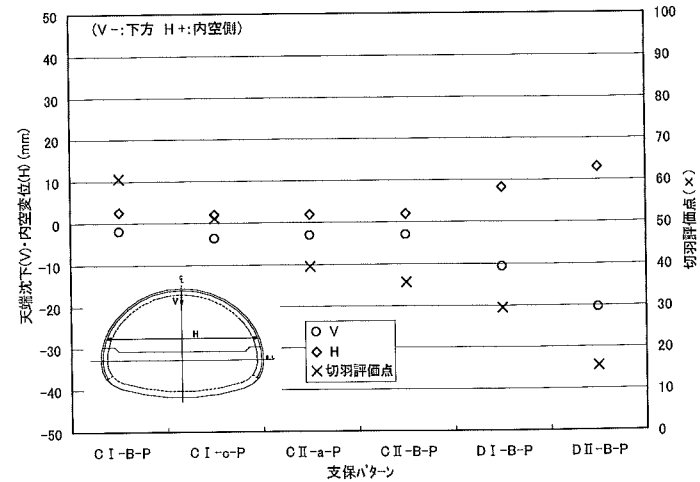


図-7 支保パターン別延長比率(本坑)

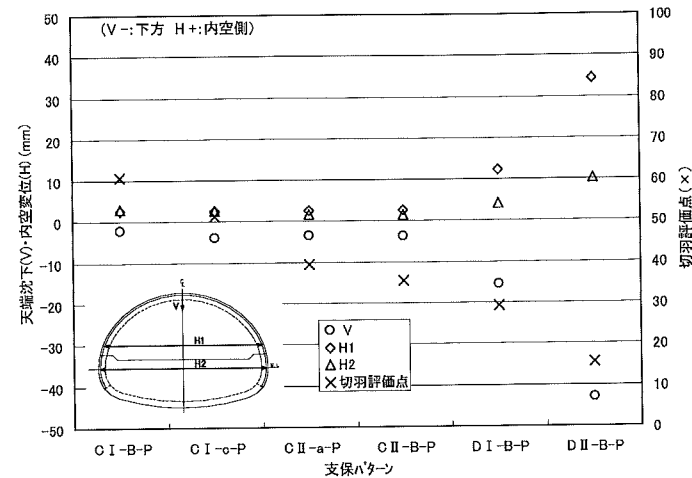
ように規定する。また，本坑支保パターン別延長比率の実績値は，当初設計およびTBM導坑実績データにもとづいて本坑地山等級を見直したものととも図-7に示す。

これらから，以下のことがいえる。

- ① 上り線TBM導坑実績で見直した当初設計時に対する実績値は，CIとDIはそれぞれ6%と4%の減，CIIとDIIは9%と2%の増である。
- ② TBM導坑データで見直したものに対する本坑実績は，CIとCIIで3%と1%の減，DIは4%の増である。また，DIIは修正ど



(1) 上半掘削



(2) 上・下半掘削

図-8 支保パターン別測点変位平均値

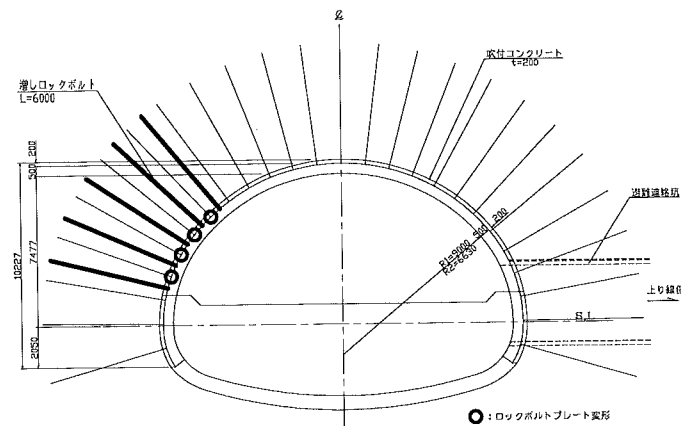


図-9 下り線変状位置と補強工(交差部補強区間の手前約10m間)

おりとなり、最大4%の予測誤差の範囲で施工ができた。

③ TBM導坑の先行掘削により、各支保パターンの延長および位置がほぼ正確に想定できるため、施工方法と工期を確定することができた。

(2) 大断面トンネルの挙動特性

計測工Aの計測断面数は156である。上半と上・下半掘削後の支保パターン別測点変位の平均値および切羽評価点との対応を図-8に示す。これから、以下のことがいえる。

- ① 上・下半掘削後の内空変位の平均値は、切羽評価点が35以上では、2~3mm内空側に変位する。天端沈下の平均値は、-4mm以下の沈下である。切羽評価点が20以下になると、天端沈下は-42mm、内空変位は34mmとなり急激に増加する。
- ② 下半掘削による変位増分は、切羽評価点が30以上では小さいが、20を下まわると、天端沈下は上半掘削時の約2倍、内空変位は約3倍に大きく増加する。

(3) 変状部の挙動特性

下り線本坑の避難連絡坑との交差部補強区間では、避難連絡坑側の片側右半断面に、補強ロックボルトを配置している。この交差部補強区間の手前約10m間において、避難連絡坑の反対側下り線本坑上半左脚部周辺のロックボルトは、下半切羽通過時に、ロックボルトプレートの一部は変状し、頭部は破断、脱落した(図-9)。この変状区間の支保パターンはD I-B-P、切羽評価点は30である。下り線本坑上半左脚部測点は約-80mm沈下し、トンネル支保構造系は不安定になった(図-10)。この安定化策として、大断面トンネルで

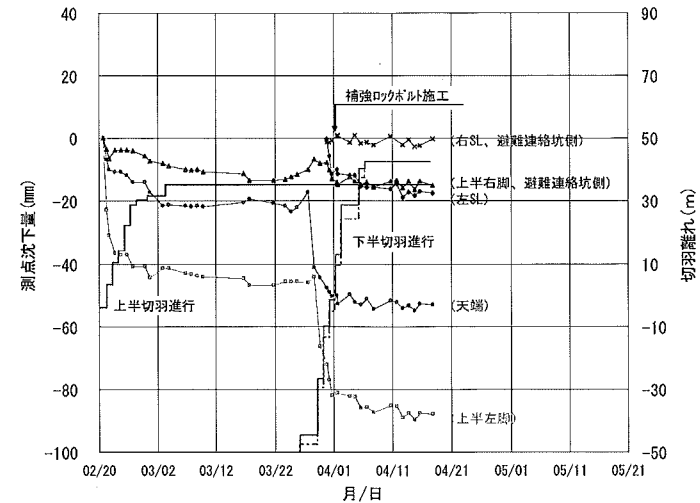


図-10 沈下量経時変化(変状区間, D I-B-P)

の補強事例を参照し、変状側上半脚部周辺の約40度範囲に、増しロックボルトを打設し、密配置することにより、トンネル支保構造系の力学的安定を確保した。

5-6 まとめ

先行TBM導坑掘削で得られた地質情報などを本坑掘削計画に反映させ、標準支保構造3パターンに効率的支保構造2と地質不良部の1を加えた6パターンを設計し、先行上り線実績を反映させた地山等級判定基準にもとづいて施工した。

その結果、①本坑地山等級をTBM導坑実績で見直すと、D IIの実績は修正どおりであり、最大4%の予測誤差の範囲で施工ができ、工程は確定する、②高度化したEDD/SB発破とバルク含水爆薬機械装填の適用により、上半進行8~10m/dayを確保し、高効率施工ができる、③地質不良部に注入式長尺先受け工の補助工法を採用することにより、トンネル品質の確保と確実な施工を可能にした、④結晶質岩の大断面トンネルの挙動特性として、切羽評価点が30以上の地山等級Cでは、トンネル支保構造系は上半掘削時に安定し、±10mm以下の変位量で収束する。切羽評価点が25を下まわると不安定になり、変位量は最大±60mmに倍加する、⑤地山等級Dの区間で、非対称構造の交差部補強を行うと、堆積岩の場合と同様の支保部

材の変状が発生し、同様の補強工で安定化できる。などの大断面トンネルの特性が明らかになった。

6 おわりに

変質花崗岩帯を貫く大断面トンネルをTBM導坑先進掘削工法で施工した。先行したTBM導坑掘削では、ここで適用した中口径TBM施工技術の完成度は高く、高精度・高速掘進と地質不良部での確実な施工が可能であることを実証した。本坑掘削では、TBM導坑の先行掘削により地質良好部と不良部の出現位置と規模、性状は

明確となり、これらを本坑掘削計画に反映させることにより、工程と品質が確定し、高効率施工が具現化でき、長大トンネルの施工方法としての有効性は高いことが示された。

今後は、さらなる施工方法の高度化を進め、発展させるとともに、ここで得られた計測データを整理、分析し、大断面トンネルの挙動特性としてとりまとめ、別の機会に報告する予定である。

最後に、本工事にあたり「大断面トンネルの効率的な設計・施工に関する検討委員会(旧日本道路公団関西支社)」足立紀尚委員長をはじめ委員会委員ならびに関係各位より、貴重なご意見をいただいたことをここに記して、感謝する次第である。

参考文献

- 1) 小林隆幸・佐藤 淳・楠本 太：TBMで大規模断層破砕帯に導坑を貫く、トンネルと地下、Vol.33, No.8, 2002.8.
- 2) 奥隅豊栄・木村厚之・楠本 太：新支保パターンで施工した大断面トンネルの力学特性、土木学会第61回年次学術講演会、第Ⅲ部門、2006.9.
- 3) (財)高速道路技術センター：トンネル施工における切羽評価点の取り扱い、現場監理講習会、2001.12.
- 4) 小林隆幸・佐藤 淳・楠本 太：脆弱地質での大断面トンネルの挙動特性、第33回岩盤力学に関するシンポジウム、2004.1.

# 土木情報 No.401

今日の主な入札結果 (8月12日～9月3日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
水資源機構	豊川用水二期大清水支線南大清水(その2)	日下建設	220
緑資源機構	緑資源幹線林道滝雄厚和線第3工区T	岩倉建設	444
中国地整	出雲バイパス千家地下道外	松江土建	490
九州地整	熊本3号乙千屋T	丸昭・味噌JV	375
〃	新若戸道路沈埋T部(1・2号函)築造	東洋・りんかい日産・未来建設工業JV	2,690
〃	主要地方道筑紫野大宰府線T新設	鉄建・松本JV	595
北開・札幌	空知中央地区茶志内北幹線用水路外	荒井建設	316
〃	〃 茶志内3号幹線用水路外	清水建設	410
北開・留萌	富士見地区第3号排水路外	大豊建設	310
北開・室蘭	勇払東部(二期)地区厚幌導水路富里北工区	伊藤組土建	228
東日本高速	北海道横断自動車道占冠T東	前田・日特JV	4,143
北海道	道道枝幸音威子府線道路改良(歌登T)	岩田・荒井・安田JV	1,389
福島県	荷路夫1号T	福浜・大・錦・林JV	1,990
群馬県	森林居住環境整備事業忍山T	佐田・野村JV	495
都・財務局	大井北発進立坑設置	大本組	2,220
都・水道局	練馬区石神井三丁目地先から同区南田中四丁目地先間配水本管新設	株木建設・太進工業JV	705
都・下水道局	江東区南砂二丁目付近再構築	保土ヶ谷工業	303.3
〃	新宿区戸山二丁目, 新宿六丁目付近再構築	清水建設	838
〃	豊島区駒込五丁目, 北区西ヶ原四丁目付近再構築	福田組	462
〃	墨田区江東橋五丁目, 江東区毛利一丁目付近再構築	新日本工業	309.8
都・新都市建設公社	日の出町公下肝要地区外枝線布設18-公1	土志田建設・明成工業JV	257.2
〃	町田市公下上小山田町, 下小山田町汚水枝線	東海興業	253.03
〃	八王子市美山町1370番地先外下水道築造52(公15工区)	新開工業・土屋建設JV	314.59
神奈川県	相模川流域下水道伊勢原厚木幹線改築	鴻池・国土開発・小島JV	1,295.24
静岡県	飯田富山佐久間線緊急地方道災害防除事業(佐久間第3,4T)	ハザマ	163
大阪府	寝屋川流域下水道大東門真増補幹線(第2工区)下水管渠築造	三井住友・地崎・木原JV	4,580
〃	淀川右岸流域下水道高槻島本雨水幹線(第1工区)下水管渠築造	浅沼・新井JV	2,248
広島県	広島水道用水供給事業広域配水支線・休山東部幹線布設替(2工区)	佐藤工業・増岡組JV	1,298
鳥取県	町道日下部見槻T	大豊建設・こおげ建設JV	788
山口県	県道山口宇部線道路改良(小郡T)	飛鳥・フジタ・藤本・栗本JV	3,549
沖縄総合事務局	那覇港道路(空港線)沈埋T築造	鹿島建設	3,120
札幌市	札幌駅前通公共地下歩道1工区	東急・伊藤組土建・岩倉・中山組・荒井JV	2,688
〃	〃 2工区	三井住友・岩田・田中組・佐藤・札建工業JV	2,590
仙台市	福室第3号雨水幹線11	丸鹿	282.8
〃	〃 12	高工	298
平塚市(神奈川県)	馬入雨水貯留管築造その1	戸田・伊達JV	1,018.8
名古屋市	本宮新町幹線下水道築造(その2)	清水・奥村・銭高JV	1,430
〃	大山系導水路春日井市八田町3丁目から柏井町4丁目地内間導水路管改良	鴻池組	271
〃	春日井市松河戸地内東北部共同溝1,800ミリ春日井送水幹線入溝(その1)	日本国土開発	395.79
〃	〃 (その2)	奥村組	248
〃	春日井市松河戸から守山区川東山内間東北部共同溝1,800ミリ春日井送水幹線入溝(その3)	鹿島建設	357
豊田市(愛知県)	市道浄水駅歩行者道線地下通路築造(その2)	小田急・中澤JV	298
大東市(大阪府)	東部排水区(第30工区)	奥村組	445
明石市(兵庫県)	瀬戸第2号雨水幹線布設	アイサワ工業	195
福山市(広島県)	瀬戸・水呑幹線下水道築造	アイサワ・三谷JV	547.4
東広島市	八本松1・3号汚水幹線建設(東18・19の1)	機動建設工業・明成JV	418.5

## 施工

### 地下深部約100mの堆積軟岩中に大規模試験空洞を掘削

— 余裕深度処分埋施設本格調査のうち試験空洞掘削工事 —

日本原燃(株)開発設計部課長((現)東電設計(株)地下環境技術部地下施設GM) 富田 敦 紀  
 日本原燃(株)開発設計部主任 蛸 名 孝 仁  
 余裕深度処分埋施設本格調査調査坑掘削工事鹿島・大成・清水共同企業体所長 福 田 勝 美  
 鹿島建設(株)技術研究所岩盤・地下施設グループ長 戸 井 田 克

#### 1 はじめに

余裕深度処分埋施設は低レベル放射性廃棄物のうち比較的放射能の高い廃棄物を埋設する施設である。余裕深度の基本的な考え方は「人間が廃棄物に接触することのないような深度を確保すること」を要件としており、「例えば50～100m程度」としている。日本原燃(株)は余裕深度処分埋施設の基本設計を目的とした調査を実施している。その調査の一環として青森県六ヶ所村の敷地内で

空洞の力学的安定性および掘削影響領域(Excavation Disturbed Zone: EDZ)の把握などを目的とした試験空洞の掘削を実施した(図-1参照)。調査工事の工程は、表-1に示すとおりであり、アクセス坑の掘削は2003年3月から開始した。2004年4月には試験空洞壁面から20mの離隔をとった位置に計測坑(A, B, C)を掘削し、試験空洞掘削時の掘削影響領域を把握するための調査に必要な計測設備を設置した。試験空洞は2004年10月に先進導坑の掘削を開始し、2005年6月に掘削工事が終了した。

その掘削実績を以下に報告する。

#### 2 試験空洞調査工事の概要

##### 2-1 試験空洞の諸元

試験空洞の縦断面図、横断面図を図-2に示す。空洞形状は幅17.7m、高さ16.2mの三心円形状で、空洞延長は71.2mである。

##### 2-2 地質概要

試験空洞沿いの地質断面図を図-3に示す。試験空洞周辺の主な地質は新第三紀中新世の海成堆積岩からなる鷹架層で、試験空洞は軽石凝灰岩層内に位置している。

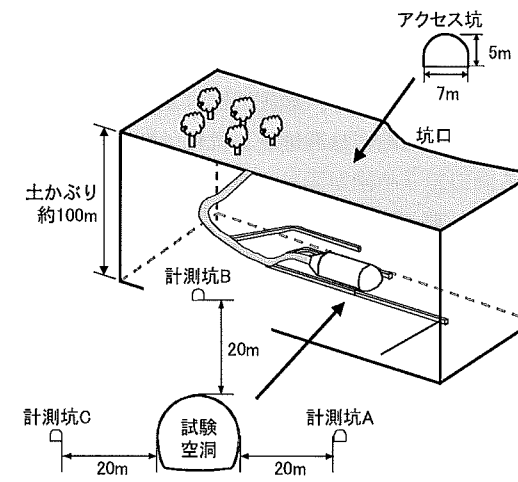


図-1 試験空洞周辺俯瞰概略図



表-2 計測管理基準値の設定根拠

管理項目	内空変位・天端沈下量	岩盤変位計壁面変位	吹付け コンクリート 応力	鋼製支保工 応力	RB軸力計 計測値	RB定着部岩盤の区 間ひずみ(変位計深 度3.5~5.5m区間)
レベル I	レベルIIの70%として 設定	レベルIIの70%として設定	レベルIII ×1/2	レベルIIの 発生応力の 70%として 設定	レベルIIの70% として設定	軽石凝灰岩の室内試 験における限界ひず み(軸ひずみ)の下限 値で設定
レベル II	ベースケース*の解析 結果にもとづく予測値 より設定(計測開始時 期を考慮に入れた内空 変位発生量を各測線別 、各ステップごとに設定)	ベースケース*の解析結果 にもとづく予測値より設定 (計測開始時期、計測長相 当の区間変位を考慮に入 れた壁面変位発生量を各測線 別、各ステップごとに設定)	(レベルI +レベルIII) ×1/2	支保設計に 用いた高規 格鋼製支保 工降伏点 (400MPa) の1/1.5以内 として設定	支保設計に用 いたRB:ねじ り鋼棒 STD510 (TD24)の降伏 荷重(180kN)の 90%として設定	軽石凝灰岩の室内試 験における限界ひず み(軸ひずみ)の平均 値で設定
レベル III	リスクケース*の解析 結果にもとづく予測値 より設定(計測開始時 期を考慮に入れた内空 変位発生量を各測線別 、各ステップごとに設定)	リスクケース*の解析結果 にもとづく予測値より設定 (計測開始時期、計測長相 当の区間変位を考慮に入 れた壁面変位発生量を各測線 別、各ステップごとに設定)	支保設計に用 いた高強度吹 付けコンクリ ートの許容圧縮 応力度	支保設計に用 いた高規 格鋼製支保 工降伏点 (400MPa) の95%とし て設定	支保設計に用 いたRB:ねじ り鋼棒 STD510 (TD24)の降伏 荷重(180kN)の 95%として設定	軽石凝灰岩の室内試 験における限界ひず み(軸ひずみ)の上限 値で設定

\*岩盤物性値の平均値を解析物性値としたケースをベースケース、下限値を解析物性値としたケースをリスクケースとした

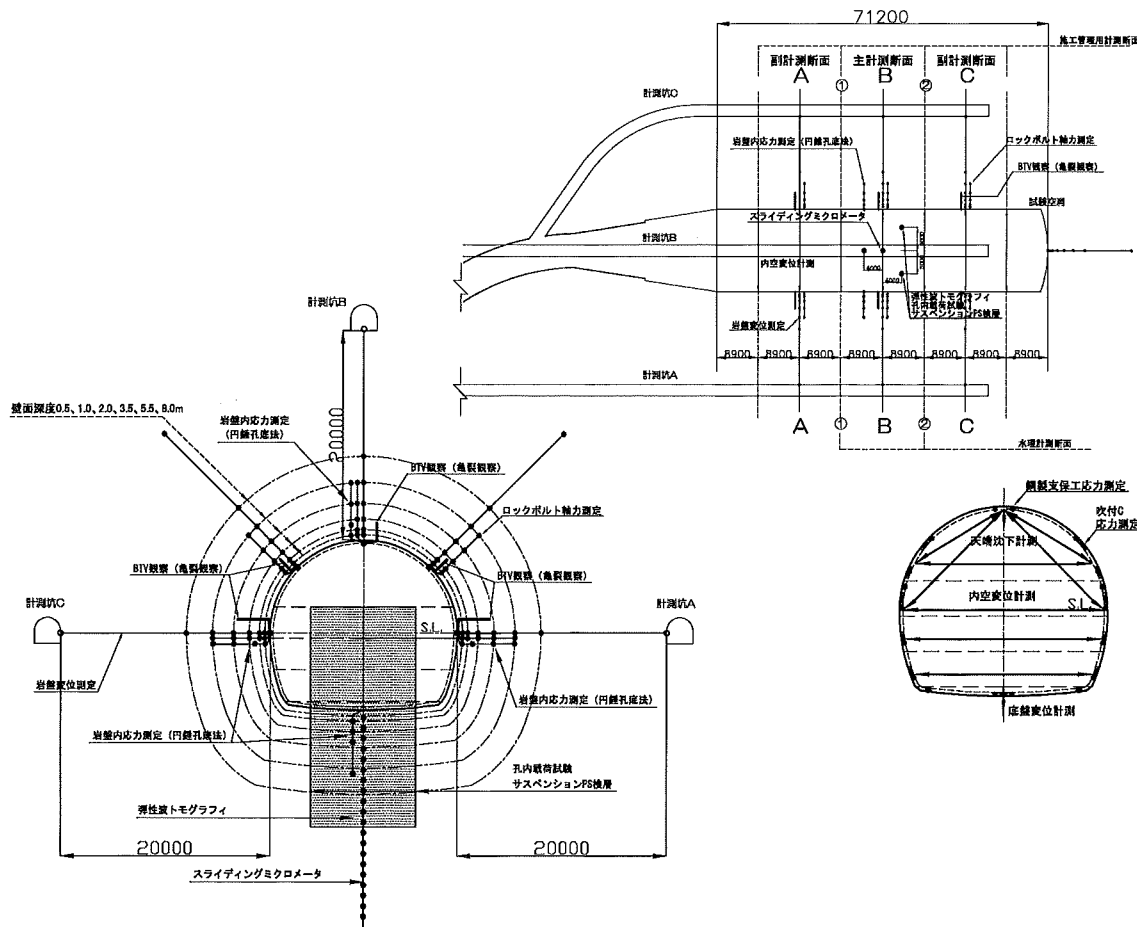


図-6 計測配置図

17.8mの離隔(試験空洞幅:1D相当)で副計測断面(A, C断面)を設置した. 岩盤変位計(6段式)およびロックボルト軸力計(5段式)の計測深度は坑

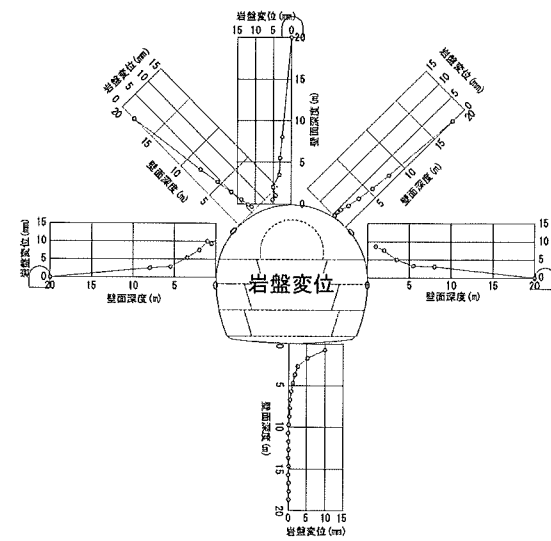


図-7 変形挙動および支保工応力

壁から0.5, 1.0, 2.0, 3.5, 5.5, 8.0mとした. そのほか, 施工管理用の補助計測断面として8.9m間隔(0.5D相当)で内空変位, 天端沈下測定を実施した. なお, ①, ②断面は空洞掘削による地下水環境の変化を計測する断面である.

ステップ管理計測は, 弾性波トモグラフィ, ボアホールテレビ(BTV)割目観察, 岩盤内応力測定など, 工事の進捗段階で実施するものであり, 日常管理計測により得られる岩盤変位や支保部材の応力に加えて周辺岩盤の損傷領域や岩盤応力を把握することで, 設計値との照査や検証を行った.

### 3-3 空洞掘削時の挙動にもとづく設計の変更

#### 3-3-1 空洞掘削時の変形挙動および支保工応力

主計測断面Bの変形挙動および支保工応力を図-7に示す. インバート掘削終了時点での壁面変位はアーチ部(壁面深度0.5m); 5.2mm, 左側壁部(壁面深度0.5m); 9.3mm, 右側壁部(壁面深度1.0m); 8.7mm, インバート部(壁面深度1.0m); 10mmであり, 安定している. また, インバート掘削終了時点での鋼製支保工の最大応力は天端空洞側で162.3MPa, 吹付けコンクリートの最大応力は天端で14.7MPaであり, 許容応力度を十分下回ることを確認した.

#### 3-3-2 空洞形状および加背割りの変更

当初設計における加背割りは図-8中の破線に示

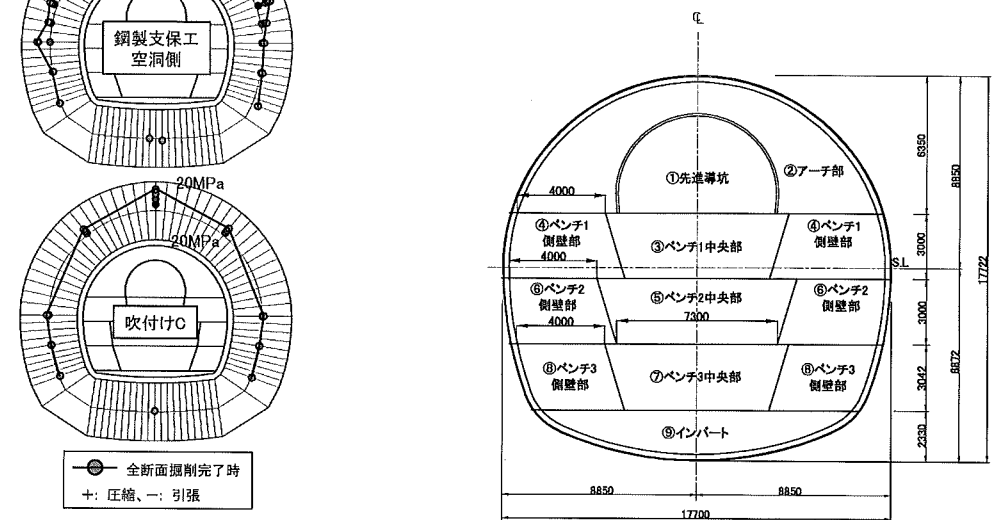


図-8 当初設計の空洞断面と加背割

すとおりであり、非線形弾性FEM解析により空洞掘削による最終変位の抑制および支保の健全性が確保できるように空洞形状および加背割りを設定した。

アーチ切り掘削およびベンチ1掘削時点の状況を写真-1、ベンチ2中央部掘削の状況を写真-2に示す。

アーチ切り掘削およびベンチ1とベンチ2の掘削時点で空洞挙動が当初予測に比べて小さく、変

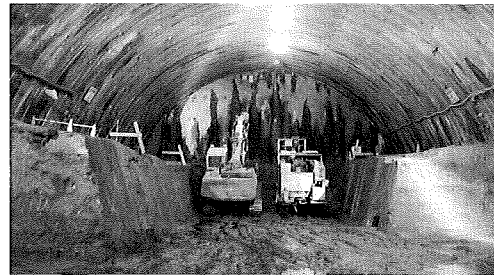


写真-1 ベンチ1中央部掘削時の状況

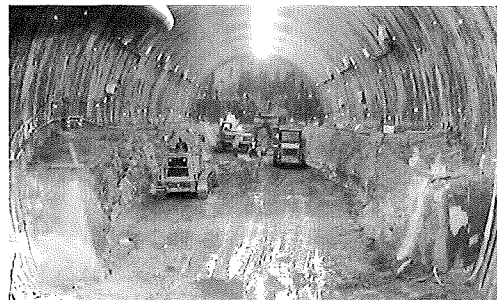


写真-2 ベンチ2中央部掘削時の写真

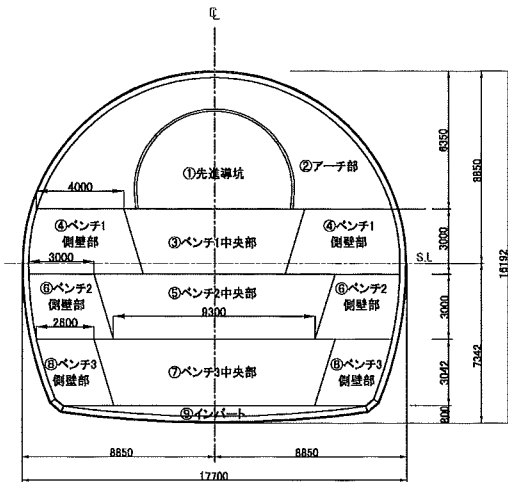


図-9 変更設計の空洞断面と加背割り

形の収束性も良く安定していたことから、掘削時の挙動データにもとづく逆解析などにより岩盤物性を見直して、下記のような設計変更(図-9参照)を行い、経済性、施工効率、施工安全性の向上を図った。

- ① インバート部の曲率を大きくする。
- ② ベンチ中央部の幅を7.3mから2.0m拡大する加背割りとする。

### 4 試験空洞施工時の特徴的事例

#### 4-1 空洞壁面での割目および剥落の発生

##### 4-1-1 先進導坑、アーチ切り掘削時における剥落の状況

アーチ部掘削、すなわち先進導坑掘削時およびアーチ切り掘削時には天端付近に図-10に示すような剥落が生じた。その数は先進導坑掘削時に13か所、アーチ切り掘削時に38か所で認められた。剥落は天端に集中し、楕円状に薄く剥がれる形状のものが多かった。

また、剥落と岩質との関係については岩質境界および比較的軽石の少ない凝灰岩中に生じている傾向にあった。

当サイトの地圧特性は水平方向の地圧が卓越していることから、アーチ天端部で岩盤応力の集中が予測され、ベンチ掘削の過程で破壊が岩盤深部へ進展、拡大して大規模な崩落を誘発する懸念があった。このため、早期に靱性のある材料で坑壁を補強することとし、アーチ部の吹付けコンクリートは鋼繊維補強吹付けコンクリート300mmに変更した。

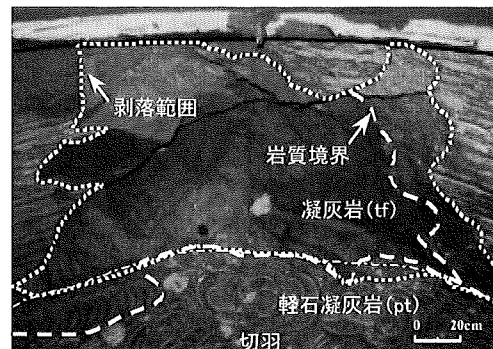


図-10 天端付近の剥落状況

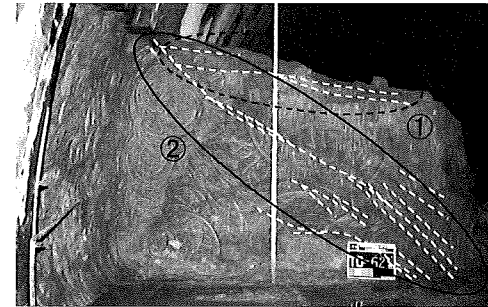


図-11 ベンチ掘削時の側壁ブロックの割目状況

#### 4-1-2 各ベンチにおける割目の発生状況

各ベンチ中央部の掘削中から後にかけて共通してベンチ側壁部に空洞軸方向に連続した割目が発生する傾向が認められた(図-11参照)。この割目の特徴として、1段上のベンチ底盤からおおむね0.5~1.0m程度の範囲に分布するベンチ側壁部上部に認められる傾斜角の緩い割目(図-11中①)と、ベンチ側壁部の法尻から1段上のベンチ脚部に向かって延びる割目(図-11中②)が発生した。

#### 4-1-3 掘削により周辺岩盤に生じる割目の発生状況

空洞の各掘削箇所において、BTV割目観察および地質観察をもとに、掘削によって新たに生じた周辺岩盤中の割目を調査した。

図-12はこれらの割目の坑壁からの離間距離および坑壁面のなす角度で整理したものである<sup>2)</sup>。割目の坑壁からの離間距離はアーチ部で最大1.0mの深度、ベンチ1側壁部で0.4mの深度、インバート部で2.0mの深度である。これらのうちBTVにより観察されたものについては、空洞のベンチ掘削過程で割目の増加、深部への進展の有無を追跡調査したが、掘削の過程で開口幅の増加、進展は認められなかった。ほとんどの割目は、坑壁面とのなす角度が30°以下と低角度である。この低角度割目の発生原因は掘削に伴う拘束圧の減少(一軸化傾向)によるSplitting破壊によるものと想定される。なお、剥落・割目などの破壊現象のメカニズムは空洞掘削時の応力状態を模擬した要素試験およびシミュレーション解析により検証を行っている<sup>3)</sup>。

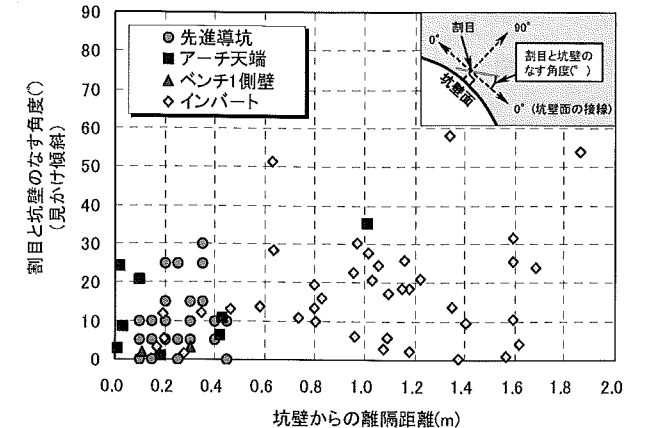


図-12 割目と坑壁のなす角度と坑壁からの離間距離の関係

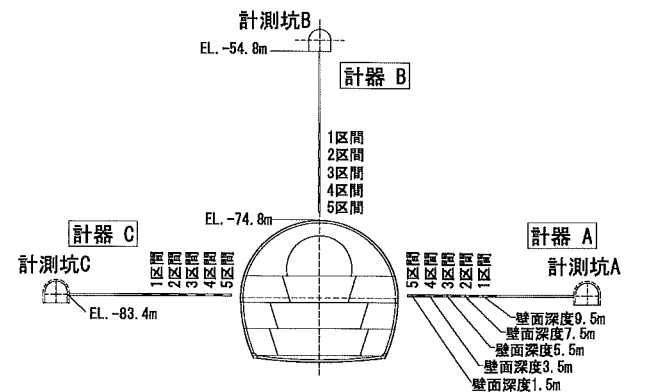


図-13 間隙水圧測定区間の配置

#### 4-2 空洞掘削時の周辺岩盤中の間隙水圧挙動

##### 4-2-1 水理計測概要

図-6に示した①および②断面において、試験空洞掘削に伴う周辺岩盤の水理挙動を把握するために多段式間隙水圧測定や各種透水試験などを実施した。多段式間隙水圧計は、図-13に示すとおり、試験空洞掘削前に各計測坑から空洞上部と空洞左右に設置し、空洞壁面から1.0~2.0m区間、3.0~4.0m区間、5.0~6.0m区間、7.0~8.0m区間、9.0~10.0m区間で計測している。

##### 4-2-2 掘削時の特徴的な間隙水圧挙動

図-14は②断面(TD76)近傍のベンチ1側壁を掘削中の計測器Cの間隙水圧経時変化であり、図-15は②断面(TD76)近傍のベンチ2側壁を掘削中の計測器Cの間隙水圧経時変化である。これらの図には間隙水圧の経時変化だけでなく、その間の

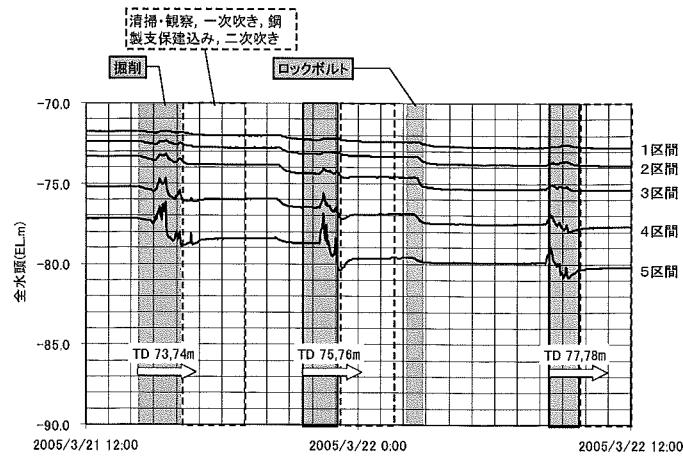


図-14 ベンチ1側壁掘削時の間隙水圧挙動

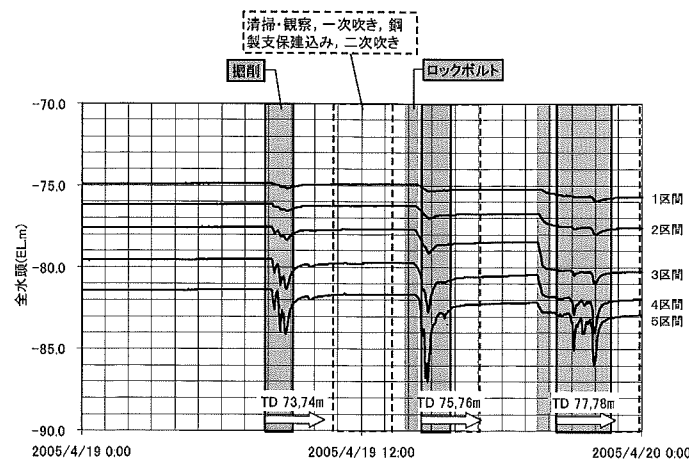


図-15 ベンチ2側壁掘削時の間隙水圧挙動

施工作業内容も併記した。

これらより、空洞掘削時の間隙水圧は大局的には漸減しているが、掘削作業に連動した一時的な挙動に関して以下に示す知見が得られた。

- ① ベンチ1側壁掘削時には掘削作業を開始すると間隙水圧が一時的に上昇し、掘削作業を終了すると再びもとの間隙水圧に戻る傾向が認められる。
- ② ベンチ2側壁掘削時にはベンチ1側壁掘削時とは逆に掘削作業を開始すると間隙水圧が一時的に低下し、掘削作業を終了すると再びもとの間隙水圧の値に回復する傾向が認められる。

上記①、②の現象は軟岩地盤の特徴的な挙動で

あることから、岩盤と地下水の連成挙動を考慮できる三次元土・水連成有限要素解析により挙動要因を解析的に検証している<sup>4)</sup>。その結果、ベンチ1側壁掘削時には、計測器近傍の岩盤に圧縮応力が作用する形となり、その結果として間隙水圧が一時的に上昇する。ただし、排水条件となる掘削壁面にも近いため、直後に過剰間隙水圧が消散し、間隙水圧はもとに戻ったものと考えられる。一方、ベンチ2側壁掘削時には、計測器は掘削位置の上部にあり、その周辺岩盤は掘削除荷に伴って体積ひずみが増加(膨張)するため、間隙水圧が一時的に低下する。ただし、周辺岩盤からの地下水供給に伴い、間隙水圧はすぐに回復したものと考えられる。一連の間隙水圧挙動をみると空洞壁面近傍は非排水と排水の遷移状態であるが、より排水条件に近い状態であると言える。また、間隙水圧の変動量は空洞近傍の有効応力の値に比べて小さいことから、これらの挙動が力学的安定性に与える影響は小さいものと考えられる。

#### 4-3 掘削終了後のクリープ挙動

試験空洞支保閉合(2005年6月15日)から1年後の2006年6月15日までのB断面における岩盤変位の増分はアーチ天端部で0.0mm、左側壁で0.3mm、右側壁で0.2mm、インバート部で1.2mmであった。掘削完了後からの増分変位は非常に小さく安定している。

### 5 おわりに

本試験空洞は余裕深度処分埋施設調査の一環として、地山強度比の小さい堆積軟岩に大規模な空洞を掘削したものである。本報告では空洞掘削時の施工実績と堆積軟岩地盤の特徴的な掘削時挙動実績を示した。

・空洞掘削時にはアーチ部天端およびベンチ1

側壁で割目の発生や坑壁の剥落が認められたが、BTVによる割目観察ではベンチ掘削の過程で割目の進展・拡大は認められていない。  
・BTVによる割目の調査結果ではアーチ部で岩盤内深度1.0m、側壁部で岩盤内深度0.4m、インバート部で岩盤内深度2.0m程度であった。

その他、掘削に伴って発生する掘削影響領域を評価することを目的として各種計測<sup>6),9)</sup>を実施しているが、その結果も割目調査結果と調和的であった。以上より、岩盤力学の観点から掘削影響領域を塑性化した領域として定義すると、塑性化領域はアーチ部、側壁部で1.0m程度、インバート部で3.0m程度であると言える。また、堆積軟岩であることから長期的なクリープ挙動が懸念されたが、最終支保閉合後も顕著な増分変位は認められず安定している。今後は試験空洞掘削により得られた挙動データをもとに、余裕深度処分埋施設設計を進める予定である。

最後に、試験空洞の設計・施工にあたっては、日本トンネル技術協会にて組織した余裕深度処分埋施設設計施工特別委員会(主査：足立紀尚・京都大学名誉教授)にてご審議いただき、貴重なご意見を頂戴した。ここに記して関係委員、関係者の方々に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 富田敦紀・高橋一憲・小川浩司・横山幸也：軟岩地盤における円錐孔底ひずみ法の現場適用性に関する一考察，第34回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.267-272，2005。
- 2) 富田敦紀・大槻英夫・戸井田克・岸田潔・足立紀尚：空洞掘削時の応力状態を考慮した要素試験による堆積軟岩空洞掘削時の破壊現象の一考察，第35回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.213-218，2006。
- 3) Tomita, A., Ohtsuki, H., Toida, M., Kishida, K. and T. Adachi: Estimation of Mechanical Behavior of Soft Rock Under Low Confining Stress, In Proceedings of the Golden Rocks 2006, The 41st U.S. Symposium on Rock Mechanics, ARMA/USRMS 06-956, 2006.
- 4) 富田敦紀・蛭名孝仁・森川誠司・田部井和人・岸田潔・足立紀尚：堆積軟岩空洞掘削に伴う空洞周辺岩盤間隙水圧挙動に関する解析的検討，第35回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.225-230，2006。
- 5) 蛭名孝仁・富田敦紀・白鷺卓・戸井田克・岸田潔・足立紀尚：堆積軟岩における空洞掘削に伴う周辺岩盤の変形特性変化，第61回土木学会年次学術講演会，III-009，pp.17-18，2006。
- 6) 岩見忠輝・富田敦紀・白鷺卓・戸井田克・岸田潔・足立紀尚：堆積軟岩における空洞掘削前後の空洞周辺岩盤内応力，第61回土木学会年次学術講演会，III-008，pp.15-16，2006。

E. フック・E. T. ブラウン共著

## 岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・齊藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

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

## トンネル ジャーナル

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

## 宮崎雨水貯留幹線が完成

千葉市がJR蘇我駅周辺の浸水対策として03年から進めていた宮崎雨水貯留幹線が完成した。

同幹線は、既存水路の流下能力を超える前に雨水を貯留するもので、泥土圧シールドにより内径5.05m、延長1,542m、貯留量25mプール100杯分にあたる30,900m<sup>3</sup>を市道下に設置。施工は、清水・三井住友・東起業・西武JV。

## 「八十里越道路」

## 9号トンネルが県境を突破

国土交通省北陸地方整備局が進めている、新潟県と福島県を結ぶ「八十里越道路」の県境をまたぐ9号トンネルが県境を突破した。

同トンネルは、両県境をまたぐ延長3,173mの長大トンネル。冬期は、4mを超える豪雪で休工となる。新潟県側から片押しで施工し、大量湧水を伴う膨圧性地山を先行ボーリングで地質を探索しながらの難工事で、02年度の着工から1,702mを掘削し5年かけて福島県に到達した。

## 中九州横断道で4km超のトンネルを計画

九州地方整備局は、中九州横断道を構成する「阿蘇大津道路」で延長4km超のトンネルを計画。

阿蘇大津道路は、熊本県阿蘇市車馬峠を起点に同県大津町大字古城までの延長約5km。そのほとんどが阿蘇山の外輪山を通過するため、トンネルの割合が高い。掘削に際しては、多量の湧水が想定され、両押しでの施工は難しく、片押しでの施工となる見込み。また、同県では豊富な地下水を水源として利用しているため、工事の水が地下水に入り込まない工夫も必要。工法としてNAT

Mを想定し、高度な工事となるため新技術の活用も考えている。

## 農用道路に2,000m超のトンネルを計画

緑資源機構近畿北陸整備局は、岐阜県の美濃東部区域を進めている農用地総合整備事業の一環として、農用道路(延長約23.5km)を8工区に分けて整備している。このうち、東白川村と白川町を結ぶ3工区で「3工区農用道1号トンネル」を計画している。

同トンネルは、延長2,070m、幅員8mの2車線トンネル。計画では、北側の東白川村方面からNATMの片押しで掘削する予定。発注は第3四半期、工期は29か月を予定。

## 崩落した広島を送水トンネルで復旧工事が完了

広島県管水道の送水トンネルが8月25日に崩落し、呉市や江田島市への送水がストップして、3万2,000世帯あまりに送水できない状態となった。同県では、8月27日から復旧工事を開始し、9月11日に完了した。

当初、崩落延長は45mとみられていたが、その後の現地計測の結果、10.5mと判明。当初の予定よりも復旧が早まった。

トンネルは、1965年ごろ築造された、縦、横それぞれ約2mの馬蹄形で、覆工は鉄筋コンクリート。復旧工事は、①支保工を設置、②薬液注入、③崩落した岩を掘削、④コンクリートを吹付け、⑤ウレタンを注入、⑥復旧用機材の撤去、という手順で行われた。

## 原爆投下時の「トンネル工場」を一般公開へ

長崎市原子爆弾被災資料協議会が、長崎市平野町の長崎原爆資料館であ

り、被爆建造物の三菱長崎兵器製作所住吉トンネル工場跡のトンネル2本を2009年4月からの公開を目指し整備する。

トンネル工場は、1944年から激しくなる空襲を避けるために、長崎市住吉町と赤迫一丁目の約300mを6本のトンネルでつないだもので、このうち、被爆当時、魚雷を造る工場として使用されていた一、二号トンネルをひび割れの補修、補強工事を実施し、外からトンネルの中が見られるよう入り口に柵の門や説明板、歩道などを整備する予定。

## 知見八鹿線「珍坂トンネル」が貫通

兵庫県豊岡市と養父市発注の知見八鹿線道路整備事業(総延長2,772m)の一環として進めている兵庫県豊岡市日高町知見と養父市八鹿町馬瀬を結ぶ珍坂トンネルが9月9日に貫通した。

同トンネルは、延長1,563mで、今後は県に引き継ぎ、トンネル照明や舗装工事を行う。完成すれば県道として県下最長のトンネルとなる。

## 日本海沿岸東北自動車道三瀬トンネル貫通

東日本高速道路(株)発注の日本海沿岸東北自動車道(温海～鶴岡間:L=26km)改築事業に伴う三瀬トンネル(延長544m)が貫通した。

現在、この地域で主要幹線道路として機能している一般国道7号は、新潟県と庄内地方を結ぶ唯一の路線となっており、日本海沿岸東北自動車道は一般国道7号の代替機能を有する重要な路線であり、安全確実な交通が確保され緊急医療活動や防災活動の向上に寄与するほか、交通圏の拡大により地域経済の発展・活性化などの効果が期待される。

## 研究

## シールドトンネルの長期荷重に関する研究

東京電力(株)工務部課長 有泉 毅  
東電設計(株)第二土木本部公共施設部課長代理 金子 俊輔  
東京電力(株)工務部地中送電グループ課長 塩治 幸男

## 1 はじめに

シールド工法は、わが国では、1919年の工法適用を皮切り<sup>1)</sup>に、1960年代には都市トンネルの一般工法として定着し、これまでに膨大な地下インフラを構築している。現在、この既設シールドトンネルの多くが、建設から長年月が経過している状態にある。その中で、とりわけ軟弱粘性土地盤に構築されたシールドトンネルについては、種々の変状が発生していることが報告されており、周辺地盤の地下水位低下に伴う圧密沈下やトンネル坑内への漏水による影響と考えられる変状が、地下鉄シールドトンネルで報告<sup>2)</sup>されてきている。また、同様に長期経年シールドトンネルを抱えている英国においても、長期の地盤挙動変化とトンネル覆工変形の関係について報告<sup>3)</sup>されている。

上記と同様の変状が、建設から十数年程度経過した時点で軟弱粘性土地盤に設置された地中送電用シールドトンネルに発生しており、本稿では、このトンネルを例に実施した、軟弱粘性土地盤のシールドトンネルに働く長期荷重に関する研究を紹介するものである。

このシールドトンネルに発生した変状は、山崎<sup>4)</sup>が詳細に報告している。まとめると、シールドトンネルへの長期荷重が時間経過とともに増大して、リングが縦に潰れる変形が大きくなり、セグメントに曲げひび割れの発生が顕著となったものである。

このような変状の生じたシールドトンネルに関して、今後どの程度荷重状態が変化し、現状のトンネルの残存耐力から、荷重増分に対する補強対策の必要性、補強が必要な場合は、実施時期・実施方法といった補強の設計技術を含めた一連の維持管理技術に合理的な検討方法の確立が望まれる。また、同種の軟弱粘性土地盤に今後建設されるシールドトンネルの設計手法についても確立する必要がある。

本稿では、実応力場で長期荷重変化を実証した遠心模型実験を説明し、この実験結果をフィッティングした土/水連成解析をもとに、この長期荷重に対する設計方法について記載する。

## 2 遠心模型実験

シールドトンネルに作用する荷重状態を検討する場合、直接的に現場計測で評価するのが望ましいが、既設シールドトンネルの場合、正確に計測することは非常に難しいと考えられる。

一方、模型実験については、重力場(1G場)の実験が古くから行われているが、近年では遠心場で多くの実験が行われている。重力場の実験では、大型の土槽を用いたとしても実験できる地盤の範囲はせいぜい2～3m程度であり、全体をモデル化できず、部分模型とならざるを得ない。これに対して、遠心模型実験では、模型が小さくなるためモデル化に制約は受けるが、模型地盤中の応力分布が実物と相似になり、地盤の応力～ひずみ関

係も実物と同じになる。また、圧密に関しては、時間軸が $1/n^2$ ( $n$ :遠心加速度)に短縮されるため、長期にわたる圧密沈下現象を短時間で観察することが可能になる。以上のことから、本研究では遠心模型実験を用い、長期荷重発生の実証ならびに発生メカニズム解明に関する検討を行った。

2-1 実験モデルの設定

本研究の遠心模型実験は、土槽中のシールドトンネルの土圧が、トンネル周辺地盤を圧密沈下させた場合、長期的に変化する荷重状態となるか実証する実験である。この周辺地盤に圧密を起こさせる排水条件は、図-1に示す既設シールドトンネル自体の漏水を模擬したトンネル排水状態と、地下水位の変動すなわち広域的地下水汲み上げを模擬した全体排水状態として、2つの単純化したモデルを設定した。

土槽地盤とトンネルモデルならびに排水システムを図-2に示す。トンネル排水条件では、ポーラスストーンで製作したトンネルモデルから排水管

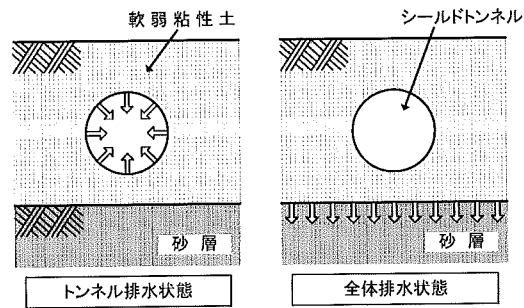


図-1 排水条件のモデル化

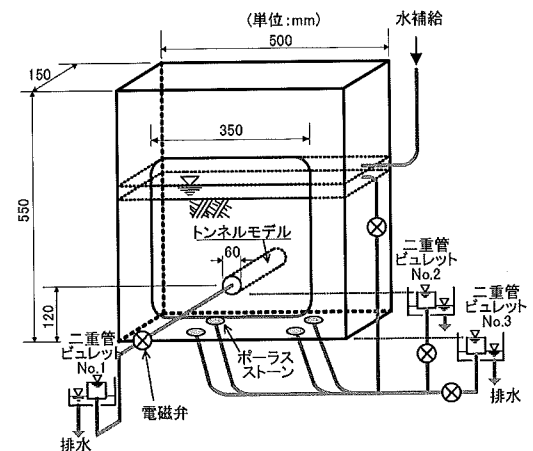


図-2 実験土槽の排水システム

を通してバルブ制御により排水され、二重管ビュレットNo.1を用い、トンネルモデル下端で排水境界面の水頭を固定している。全体排水条件では、地盤模型底部に設けたポーラスストーンから排水され、水頭は二重管ビュレットNo.2で一旦トンネル下端に固定し、以後二重管ビュレットNo.3で底面に固定した。

計測器の配置を図-3に示す。トンネルに作用する土圧は、8方向に土圧計を配置し、計測した。

軟弱粘性土地盤は、カオリン粘土ASP-170で模擬した。また、遠心加速度は実現場のトンネル径と模型トンネル径の相似則から、67Gとした。このことから、実験時間は24時間としているが、実現場では約12年の時間経過を示すことになる。

実験条件・結果の詳細については、有泉ら<sup>9)</sup>の論文に記載されている。

2-2 実験結果

トンネル排水条件ならびに全体排水条件について、トンネルモデルに設置した土圧計の排水開始から24時間経過までの経時変化を図-4に示す。ここで、図の縦軸には、各実験条件の排水開始前の土圧計計測値(EP0)に対する任意の時間の計測値(EPn)の比率を、トンネル土圧変化率として正規化した値を示している。なお、排水前の土圧分布については、鉛直方向には全土かぶり相当、水平

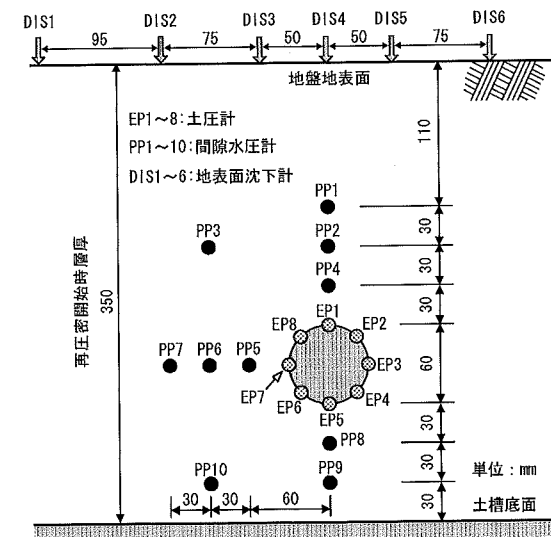


図-3 計測器配置

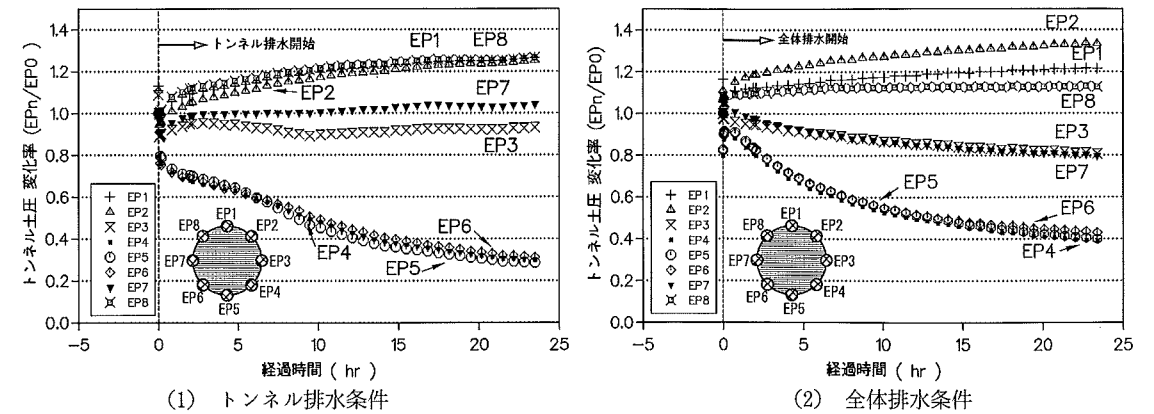


図-4 トンネル作用土圧の経時変化

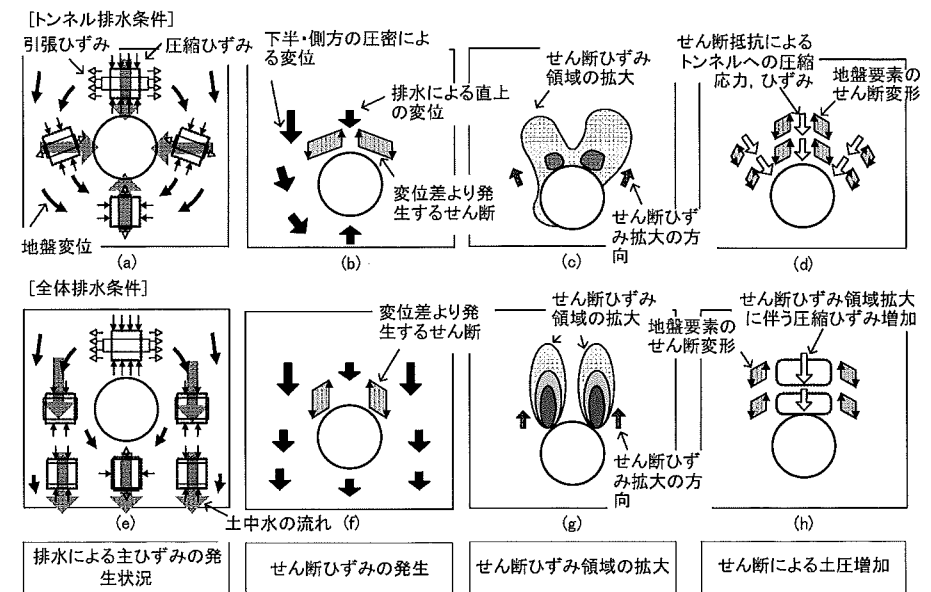


図-5 各排水条件における土圧増加メカニズム

方向には側方土圧係数0.8程度の計測値を示していることを確認している。この実験結果から、次項が確認できる。

- ① 両排水条件とも、排水の開始から急激にトンネル作用土圧が変化することを実証できた。
- ② これまで影響が検討されてきた全体排水条件に加え、トンネル排水条件においても作用土圧の変化が起こることを実証した。
- ③ 上部3点は両条件とも、約1.3倍程度まで増加する。つまり、鉛直圧として土かぶり圧の1.3倍という大きな荷重がトンネルに載荷される。

2-3 作用土圧変化メカニズム

遠心模型実験結果のトンネル周辺地盤の変形状態から、主ひずみ・せん断ひずみなどを分析し、両条件において排水に伴ってトンネル作用土圧が変化するメカニズムについて、とくにトンネル上方の土圧が増加する現象を図-5に示す。

トンネル排水条件では、トンネルに向かって排水が生じ、圧密はトンネルから放射状に拡がり、トンネル下方の地盤は水平方向に圧縮する。トンネル側方の地盤は、圧密の半径方向の引張ひずみとともにトンネル下方へ回り込むような変位が生じる。トンネル上方では、このような下方からの

地盤の動きに伴い、鉛直方向に圧縮され、この圧縮ひずみは、一次元圧密によるひずみより大きなものとなって現れる。次に、トンネル直上部と側部との地盤の変位差は、トンネル肩部に大きなせん断ひずみゾーンを形成する。圧密がさらに進むと、この大きなせん断ひずみゾーンが、トンネル肩部上方へと発達していき、トンネル上部に増加圧縮力すなわち付加荷重として加わっていくものである。全体排水条件においても、同じ現象によりトンネル上部荷重が増加していく。

### 3 実験のフィッティング解析

長期荷重変化を予測する数値解析手法を確立するため、前記の遠心模型実験結果をシミュレートすることにより適用する解析手法の妥当性を検証した。

#### 3-1 土/水連成解析

本研究では、解析対象が地下水位低下に伴う軟弱粘性土地盤の圧密問題であり長期的荷重の変化を取り扱うことから、土/水連成FEM解析を用いることとした。また、軟弱粘性土地盤の実挙動を可能な限り再現するため、わが国の軟弱粘性土地盤における圧密を対象に実績のある応力～ひずみ関係式として、関口・太田<sup>6)</sup>が提案した弾塑性モデルを用いた解析コード：DACSTAR<sup>7)</sup>を用いることとした。

遠心模型実験のフィッティング解析に必要な粘土地盤とトンネルモデルの弾塑性・弾性パラメータは、表-1のように設定した。

なお、解析条件・結果の詳細については、有泉<sup>8)</sup>の論文に記載している。

#### 3-2 解析結果

土/水連成FEM解析を用いて、遠心荷重実験のトンネル作用土圧の経時変化を、各排水条件についてフィッティング解析を行った結果を、図-6に示す。また、図-7には地盤中の間隙水圧の経時変化に対する解析結果を示している。

表-1 解析パラメータの設定

対象	解析物性値	設定値	設定方法
カオリン粘土地盤	$\Lambda$	非可逆比 0.924	$K_0$ 圧密試験、標準圧密試験における $\lambda$ 、 $\kappa$ の平均値 $\lambda = 0.201$ , $\kappa = 0.015$ $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$ (1)
	$M$	限界応力比 1.61	軽部の式に、 $\Lambda = 0.924$ を代入 $M = 1.75 \Lambda$ (2)
	$D$	ダイラタンシー係数 0.042	$D = (\lambda - \kappa) / [M(1 + e_0)]$ (3) $e_0 = 1.75$ (遠心再圧密終了時の含水比 $w = 67\%$ から $e_0 = G_s \cdot w = 2.617 \times 0.67 = 1.75$ )
	$\nu'$	有効ポアソン比 0.37	$\nu' = K_0 / (1 + K_0)$ (4) $K_0 = 0.59$ ( $K_0$ 圧密試験結果)
	$k$	透水係数 $3.5 \times 10^{-4}$ cm/min	$k = \gamma_w \times c_v \times m_v$ (5) $\gamma_w$ : 遠心場の水の単位体積重量(67G) $c_v, m_v$ (標準圧密試験結果)
トンネルモデル	$k$	透水係数 3.1cm/min	ポーラストーンの透水試験値に、遠心加速度67Gを乗じた

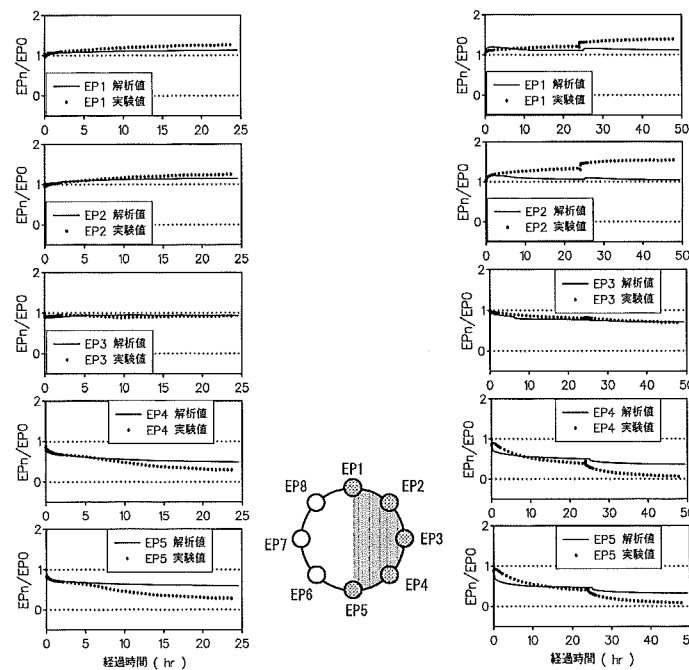


図-6 遠心模型実験と解析結果比較(トンネル作用土圧)

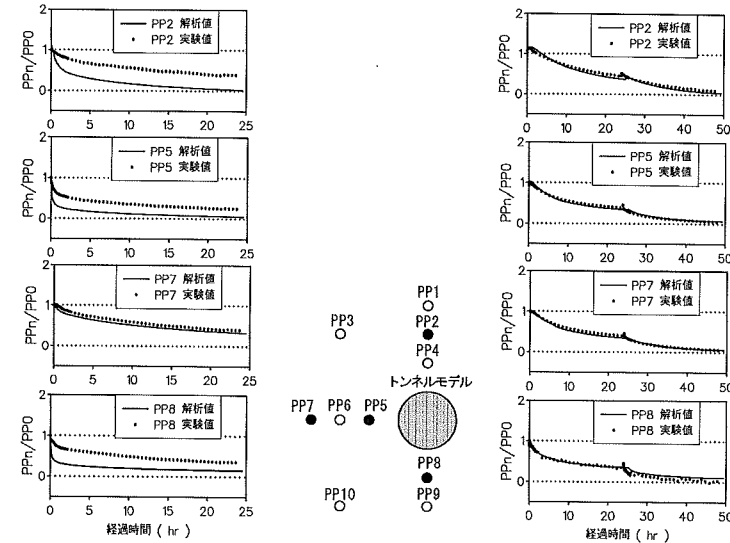


図-7 遠心模型実験と解析結果との比較(間隙水圧)

これらに示すように本研究で用いた解析手法は、排水に伴う土中水や地盤変形挙動を非常によくシミュレートできる解析手法であることを確認した。

### 4 長期荷重に対する設計手法

前記の長期荷重の予測に土/水連成解析を用いたシールドトンネル覆工の設計手法について、以下に解説する。

現在、シールドトンネル覆工の設計は、土木学会において限界状態設計法にもとづくシールドトンネル示方書の改訂が進められているところであるが、許容応力度設計法による設計が主流になっている。しかし、本研究で対象としている長期荷重は、全土かぶり荷重を超える大きな荷重を扱うため、トンネル覆工のコスト縮減を考える場合、

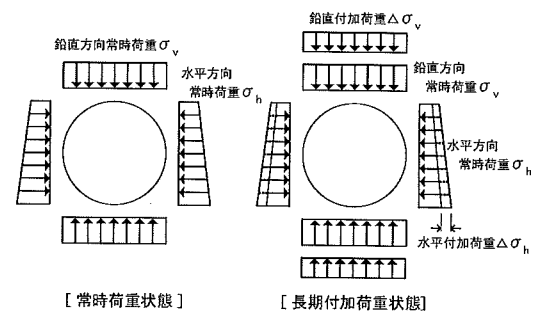


図-8 長期付加荷重の設定イメージ

線形計算を前提とした許容応力度設計法では、適用に限界がある。このため、継手の非線形性とセグメント本体構造材料の非線形性を採り入れた非線形構造解析を用いた限界状態設計法の適用が必要である。

#### 4-1 提案する設計法

ここでは、図-8に示す常時荷重に付加される長期荷重を、長期付加荷重と定義し、図-9に示す設計検討方法を提案する。

手順1～3で常時荷重に対する設計照査を行う。次に、手順4～8で、土/水連成解析を行い、ト

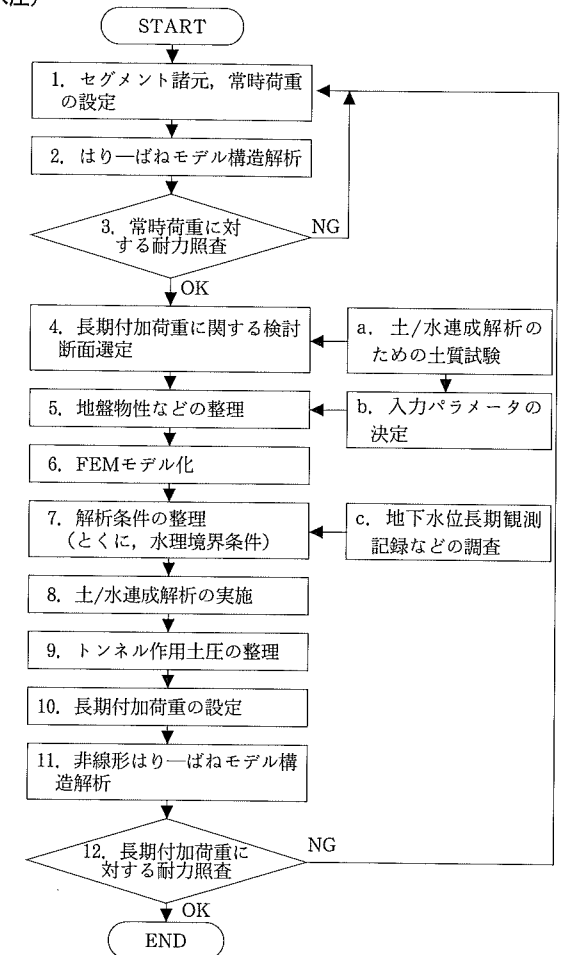


図-9 長期荷重の詳細設計フロー

ンネル作用土圧の排水前の荷重状態からの増分荷重を整理し、長期付加荷重を設定する。さらに、常時荷重を載荷した非線形構造解析に、長期付加荷重を加え、断面力を算出し、例えばセグメントの終局耐力に対し照査を行い構造物の安全性を確認し、安全性が下回る場合、配筋量の設定・セグメント厚の増加などの条件を再設定し、再照査を行うものである。

4-2 提案設計法の適用例

ここでは、建設時のセグメント設計ではなく、既設シールドトンネルに長期荷重が載荷された場合のトンネル補強を検討した維持管理時の設計を、図-10に示す。この場合、セグメントの断面性能

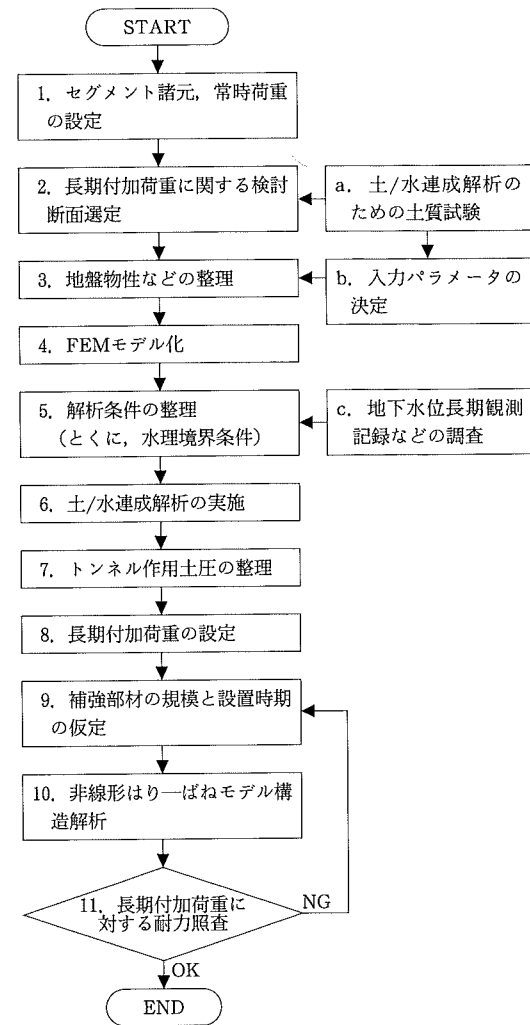


図-10 維持管理時の設計フロー

は決まっており、長期付加荷重に対して手順9～11で補強規模・設置時期を検討するものである。

土/水連成解析に用いる地盤の解析パラメータについては、表土・沖積砂・沖積粘性土で構成される地盤を例に、原地盤の土質試験などから表-2に示すような設定方法で設定する。

また、解析条件として、水理境界条件については、ここでは「トンネル排水条件」として、図-11に示すように、初期状態を静水圧状態で、排水時はトンネル周辺地盤の水頭をトンネル位置まで低下させる。

トンネル構造物の維持管理における補強と構造物の性能の関係は、図-12に示すようなトンネル

表-2 解析パラメータ設定例

地層	解析物性値	設定方法
表土	$E$ 変型係数	三軸CD試験結果
	$\nu'$ 有効ポアソン比	一般値
	$k$ 透水係数	沖積粘性土相当を仮定
沖積砂	$E$ 変型係数	三軸CD試験結果
	$\nu'$ 有効ポアソン比	一般値
	$k$ 透水係数	現場透水試験結果
沖積粘性土	$\Lambda$ 非可逆比	$K_0$ 圧密試験、標準圧密試験における $\lambda, \kappa$ の平均値 $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$ (1)
	$M$ 限界応力比	三軸CU試験で得られた $\phi'$ の平均値 $M = 6 \sin \phi' / (3 - \sin \phi')$ (2)
	$D$ ダイラタンシー係数	$D = \lambda \Lambda / [M(1 + e_0)]$ (Ohta, 1971) (3) $e_0 = 1.478$ (物理試験結果)
	$\nu'$ 有効ポアソン比	$\nu' = K_0 / (1 + K_0)$ (4) $K_0 = 0.46$ ( $K_0$ 圧密試験結果)
	$k$ 透水係数	$k = \gamma_w \times c_v \times m_v$ (5) $c_v, m_v$ (標準 $K_0$ 圧密試験結果)

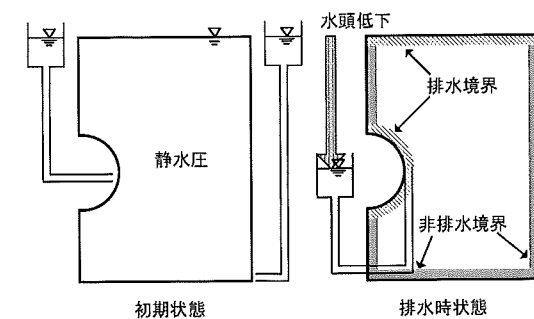


図-11 水理境界条件

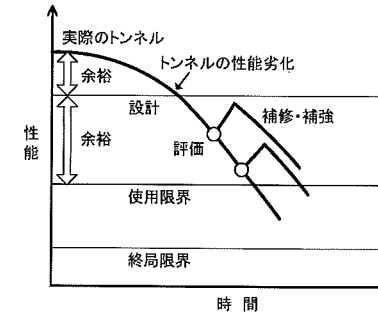


図-12 トンネル構造物の性能と維持管理の関係

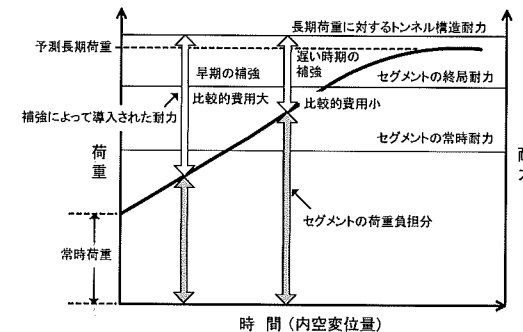


図-13 長期付加荷重に対する補強時期の考え方

の性能劣化に対し、どの時期に、どの程度の補修・補強が適しているか検討するモデル<sup>9)</sup>が提案されている。しかし、本研究で対象としたトンネルの場合、トンネル構造物の劣化(ここでは、塩害の影響やコンクリートの中性化などの劣化)は、ほとんどなく、トンネル作用土圧の変化に対する補強の検討であるため、図-13に示す関係図が考えられる。ここで、第1縦軸(左側)を荷重とし、第2縦軸(右側)は、それに対する耐力として、横軸を時間経過(荷重増加に対する内空変位ともいえる)とした。初期には常時荷重に対してセグメントの常時耐力は、安全なように設計されているが、長期荷重が図のようにセグメントの終局耐力を上回る大きな荷重増加が予想される場合、ある時点で補強を行いトンネル全体構造の耐力がそれを上回るように設計しなければならない。ここで重要なのは、長期荷重に対して照査検討する時期が、図-13の横軸のどの時点か把握し、トンネル覆工の残存耐力がどの程度か評価することである。

補強導入時期は、図示のように、早期に補強した場合、セグメントの荷重負担分は、遅い時期に

実施する補強より小さくなるが、補強材の負担分は大きくなるため補強費用としては遅い時期に実施するよりも大きくなる。逆に、遅い時期に補強を実施した場合、補強材の負担は小さくなるが、セグメント本体は常時耐力を超え、大きい負担となる。このように補強時期と補強規模は、LCC (Life Cycle Cost)を考慮し、決定することになるが、その判断はさまざまな要因を含んでいるため高度な意志決定問題となる。また、大荷重がある時点で載荷される巨大地震荷重では、発生が十分に考えられる場合、即座に十分な耐力を保有するように設計する必要がある。これに対し長期付加荷重に対する設計は、時間的に緩やかに変化していくため、時間的に段階的な補強の実施も可能である。このため、この荷重のかかり方を考慮し、初期の設備投資を抑えて、計測監視を行い、さらに変動が継続する場合に追加補強するという考え方も可能である。

5 おわりに

本研究では、遠心模型実験を実施し、実応力場で広域的地下水位低下ならびにトンネル覆工からの漏水という条件で、トンネル作用土圧の変化(長期付加荷重)が生じることを実証した。また、関口・太田が提案した地盤の弾塑性モデルを用いた土/水連成解析で、トンネル周辺地盤の挙動ならびにトンネル作用土圧の変化をシミュレートできることを明らかにし、長期荷重に対する一連のトンネル覆工の設計法を構築した。

この長期荷重の問題は、現象が時間的に緩やかに進むため、今まで大きく取り上げられていなかった問題である。また、現象が長期にわたり進展することから、地盤の地中変位やトンネル作用土圧の変化と地下水位の関係など、実現場で計測した事例もなく、水理境界条件の妥当性検証など多くの課題もあり、今後も継続的な検討が必要であると考えられる。

また、図-14はわが国のセグメントシールド材の使用経緯<sup>10)</sup>を示したものであるが、変状の発生した地中送電用シールドトンネルの施工時期は、図

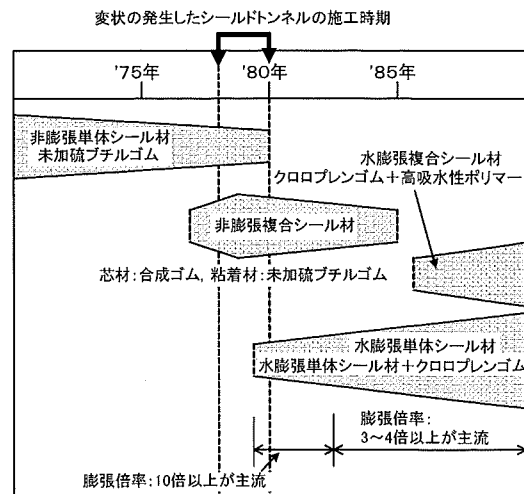


図-14 シール材の使用経緯

示のように1970年代後半である。ここでは、当時としては主流の非膨張複合シール材を用いているが、現状では十分止水性能を発揮しているとは言いがたく、この面で長期荷重の発生要因として対策が必要である。すなわち、有効な既設シールドトンネルの止水性能回復技術確立も重要な課題であると考えられる。

参考文献

1) 土木学会トンネル工学委員会技術小委員会トンネル荷重検討部会：都市トンネルとシールド工法の境界領域—荷重評価の現状と課題—, 2003.10.

2) JTA保守管理委員会：建設・保守管理へのフィードバック(3), トンネルと地下, Vol.29, No.7, pp.75-84, 1998.7.

3) Mair, R. J. : 2006 Rankine Lecture, Tunnelling and Geotechnics - New Horizons, 2006.6.8.

4) 山崎剛・有泉毅・五十嵐寛昌：シールド掘進に伴う地盤変状入門(14)シールド新時代に向けて(その2)—維持管理における新たな技術的課題—, トンネルと地下, Vol.35, No.1, pp.65-71, 2004.1.

5) 有泉毅・五十嵐寛昌・金子俊輔・永谷英基・山崎剛・日下部治：周辺地盤の圧密沈下に伴う既設シールドトンネル作用荷重の変化メカニズム, 土木学会論文集, No.750/III-65, 2003.12.

6) Sekiguchi, H. and Ohta, H. : Induced anisotropy and time dependency in clays, Proceedings of Specialty Session 9, the 9th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp.229-239, 1977.

7) Iizuka, A. and Ohta, H. : A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp.71-87, 1987.

8) 有泉毅・金子俊輔・塩治幸男・山崎剛・日下部治：軟弱粘性土地盤の圧密に伴うシールドトンネルの長期荷重に関する解析的研究, 土木学会論文集, No.799/III-72, 2005.9.

9) 小西真治・亀村勝美：トンネル維持管理へのリスクマネジメントの適用法, トンネルと地下, Vol.35, No.12, pp.49-56, 2004.12.

10) (社)日本トンネル技術協会：セグメントシール材による止水設計手引き, 1997.1.

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ご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては13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)

連載開始

発破技術の現状(1)

—現状と展望—

「発破技術の現状」連載講座小委員会

① はじめに

山岳トンネルといえば、読者の方々は何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは、発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとっては基本事項である。発破技術も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のものとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。

さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。装薬においても、ANFOの機械装充填技術などが実用化されている。また、2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により、含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり、爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された。これにより、含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的にな

「発破技術の現状」連載講座小委員会

委員長	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
委員	伊藤 範行	鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部 グループ長
	金田 勉	(株)大林組東京本社土木技術本部 技術第二部技術部長
	千葉 隆	清水建設(株)土木技術本部 地下空間統括部部長
	長島 芳雄	(株)竹中土木取締役技術本部長
	野田 英宏	旭化成ジオテック(株)産業火薬事業部 企画部技術企画グループ課長
	長谷部健司	古河ロックドリル(株)営業本部 国内営業部特機部長
	端 則夫	大成建設(株)土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
	松尾 勝弥	飛島建設(株)土木本部 トンネル統括部長

されている。

発破技術に関しては、本誌の連載講座で「新しい発破技術」(1984年4~7月)として紹介しているが、20年以上も前のことである。このため、若いトンネル技術者にも発破技術が理解できるように、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げるとともに、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく説明することとし、本連載講座を「発破技術の現状」というタイトルで紹介することとした。

② 火薬類および発破技術の最近の動向

2-1 ダイナマイトと電気雷管

普段、火薬類に携わっていない方々でもニトロ

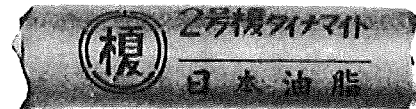


写真-1 2号えのきダイナマイト(1980年代製)

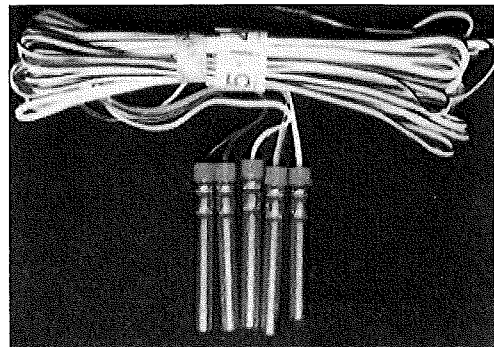


写真-2 電気雷管

グリセリンやダイナマイトの名前は聞いたことがあるであろう。

幼少のころ、液状のニトログリセリンを1滴ポタリと落とし小爆発を起こすさまを描いた映画やアニメがあったように思う。それぐらい感度の高い当時「<sup>きぐるいあぶら</sup>気狂い油」とも呼ばれていたニトログリセリンをけい藻土に混ぜて使用に耐えうる安全性を持たせたものがいわゆるダイナマイトであり、1864年に誕生した。

ダイナマイトの登場により、爆薬の効率性を人間が手に入れる一方、それを安全に起爆させるものとして雷管の開発がより一層進んだ。

ダイナマイトが登場した当時はいわゆる工業雷管に導火線を付けてマッチなどで導火線に点火するというスタイルが一般的であった。

しかし、導火線の速燃や立ち消えなどによる暴発・飛石事故はなくなり、遠隔点火のニーズが高まりだした1950年代に「離れた場所から発破器で安全に起爆できる」電気雷管が登場した。

現在でも日本の雷管消費量の約90%は電気雷管であり、世界でも幅広く使用されている。

## 2-2 鈍感爆薬(ANFO, 含水爆薬)の登場

ダイナマイトの誕生からおよそ100年が経過した1950年代に火薬業界に革命が起きた。まずはアノホ爆薬(以下、ANFO)の登場である。

ダイナマイトに比べると爆力は弱い鈍感であ

表-1 ビットくり当て試験データ

爆薬名	発火率	備考
含水爆薬	0/1,831	岩盤の穿孔に爆薬を装填し、ビットを遠隔操作でくり当てる試験。
ダイナマイト	26/120	

写真-3 ANFO  
(重袋包装)

写真-4 含水爆薬

り、さらにその安価さから世界の火薬市場を一変させた。

しかし、ANFOは耐水性がなく、また発破後ガスも悪いため、トンネルなどの地下空間で使用するには不向きであった。

ANFOのすぐ後に誕生したのが、いわゆる「夢の爆薬」と言われた含水爆薬である。

含水爆薬は耐水性・威力・後ガスすべてにおいて優れた爆薬であるが、「夢の爆薬」と言われる一番の理由は「安全性：消費上はとくにノミ当てに対する安全性」が格段に向上した点にある。

その安全性を示すデータとして、表-1<sup>2)</sup>のようなビットくり当て試験データがある。

日本においても1900年代後半まではトンネル工事における爆薬の主流はダイナマイトであったが、含水爆薬の登場により、現在ではほぼすべてのトンネルが含水爆薬に切り替わっている。

## 2-3 新しい雷管の登場

爆薬を遠隔で安全に起爆できるようにした電気雷管であるが、一方、漏洩電流や誘導電流、静電気などの「発破器以外の電気」でも暴発する危険性がある。

現在では、一定以上の耐静電気性(2,000pF)を有する電気雷管がJIS規格で定められており、また、電気雷管使用時の消費者の保安意識も向上しているため、日本ではここ十数年電気雷管の暴発

による事故は発生していない。しかし、依然、雷や漏洩電流などの予期せぬ電気には細心の注意をする必要がある。

一方、その電氣的不安を払拭する雷管が1980年代に登場した。いわゆる導火管付き雷管(別名、非電気式雷管)である。導火管付き雷管は、電気を一切使用しないで爆薬を起爆させることが可能な雷管であり、その後、日本にも導入されはじめ、雷の多い鉱山や静電気の発生するANFOの機械装填時に主に使用されている。

また、近年のシミュレーション技術や高速度撮影技術の発達により、高速で進展する破壊現象を捉える研究も進んでいる。その成果として、起爆のエネルギーをコントロールすることにより発破振動を軽減することや亀裂の進展方向を制御することが可能なこともわかってきた。

1980年代より、起爆時間を任意かつ高精度に制御することが可能なIC雷管が登場し、並行してその用途開発の研究も盛んに行われた。すでに、日本においてもトンネルのスムーズプラスティングや振動軽減でIC雷管が実用化されている。

これらの日本のトンネルで使用されている火薬類について、詳細を本連載講座の第2章で紹介す

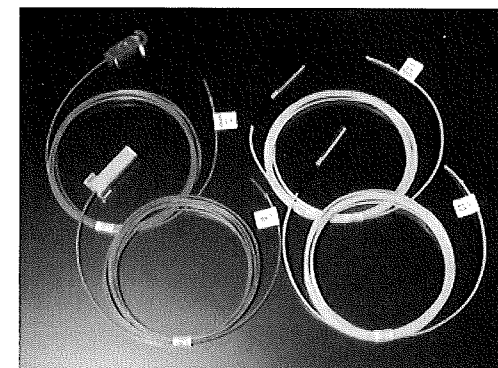


写真-5 導火管付き雷管

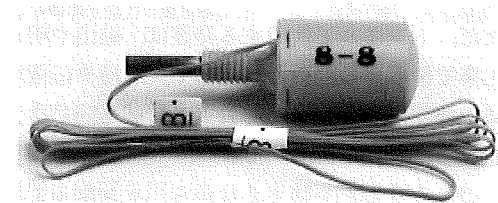


写真-6 IC雷管

る。

## 2-4 基礎的な発破技術

発破をするものにとって、「発破キーをひねる瞬間」は何回やっても緊張するものである。

発破はよく経験工学と言われるが、とくに日本のトンネルのように毎回岩盤が変化するような山を相手にする場合には、どんな発破をすれば一番よいか判断するのは、いつも山の状態を見ている現場の方々にはかなわない。

そんな経験的な要素の強い発破ではあるが、火薬をどこにでも仕掛けてよいわけではない。いかに効率よくきれいに岩盤を起砕するか、いかに飛石を出さず低振動・低騒音とするかなどの基礎的な発破技術と経験が組み合わさって初めて「よい発破」ができると思われる。

本連載講座の第3章では、火薬類を消費するうえでの必要な許可・申請業務や、既に確立された基礎的な発破技術であるVカットや平行削孔による心抜き発破、トンネル最外周を平滑に掘削するスムーズプラスティングについて紹介し、さらに過去に行われた長孔発破についてもそのメリットやデメリットなどについて紹介する。

## 2-5 最近の発破技術

近年のトンネル掘削方法は、各々のサイクル施工の段階で、機械化・自動化が進められてきており、唯一機械化・自動化が遅れているのが発破の装薬・結線作業であると言われていた。

現在でも主流な装薬・結線方法は、紙巻き包装された含水爆薬を木製の込め棒で手装填し、電気雷管の脚線を手により結線する方法である。

しかし、近年のトンネルの作業効率向上と安全作業環境の創造などの要求とともに、ドリルジャンボや削岩機および爆薬とこれの機械装填技術が高度化され、コンピュータ制御されるようになり、発破作業の機械化、自動化が急速に具現化されてきている。

日本においても10年ほど前からANFOの機械装填や紙巻き含水爆薬の機械装填が始まり、現在ではそれらは既に実用化されている。

さらに近年では、バルク状や粒状の含水爆薬の

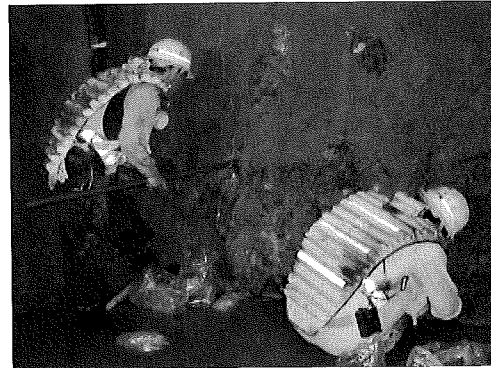


写真-7 従来火薬類の装填作業

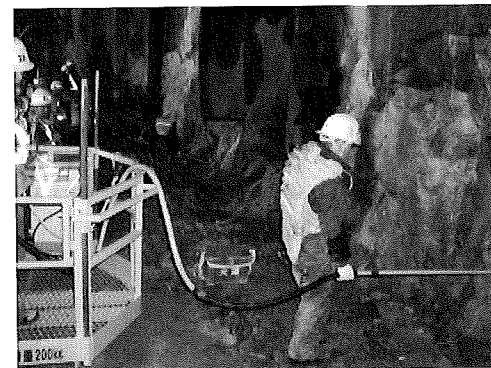


写真-8 爆薬の機械装填作業

機械装填システムも登場し、実施工や試験施工が行われている。

本連載講座の第4章では、全自動および半自動ジャンボの概要やその用途、およびANFOや含水爆薬の機械装填システムについて紹介する。さらに一部の海外では「爆薬を現場で製造しながら機械装填するサイトミキシング」も行われており、これらのシステムの紹介と日本における適用性についても記すことにする。

今後は「安全性・作業性の良さ」から、ますますトンネルにおける装薬の機械化は進んでいくものと推定されるが、機械装填のもう一つの大きな特徴である、「爆薬密装填による掘削の効率化」により、穿孔数削減効果やサイクルタイムの短縮というメリットが具体化されれば、ますますトンネルの発破作業の機械化は加速していくと思われる。

2-6 海外状況

近年では日本のゼネコンも海外へ進出する場面

が増加しており、海外の火薬類を使用する場面も増えてきた。

また、穿孔や装薬についても日本と違いそれぞれ専門で行っているところも多く、その雇用形態もさまざまで大変興味深い。

日本のゼネコンや海外の火薬メーカーから得られた海外事情について、一現場のスポット情報ではあるが、表-2で紹介する。

③ 環境問題への対策

個々のトンネル建設工事が及ぼす環境への影響を捉えたとき、地球環境に及ぼすことは、ほぼ皆無であり、きわめて局所的な地域環境に対し、大気汚染や、水質汚濁、振動・騒音(低周波空気振動を含む)、土壌汚染、地盤沈下といった事象を発生させ、それを最小限にするための技術(対策)が要求される。

とくに、発破作業による環境への影響項目としては、振動・騒音が主となる。そしてその振動・騒音は、発生源ではきわめて大きく、衝撃的で継続時間が短いという特徴をもち、この特徴が、その対策を容易にもし、また、難しいものにしている。

そして、これら振動・騒音は、人間を含む生物への影響といった観点でとらえたときには、個体差が大きくあり、一概に数値で云々することは難しく、その対策も複雑なものとなる。さらに自然界にいる生物への影響、周辺で飼育されている家畜への影響などをとらえようとしたときには、人の口を介しての表現となることから、より一層難しくなる。

その一方で、構造物への影響といった観点でとらえたときには、数値で述べるのが可能であり、生物に対する対策と比較して、明確な対策を立案することができる。

ただ、トンネルで使用する発破は、鉱山や明かり工事で使用する発破と比較して、規模や伝播経路に大きく違いがあり、それらの発破と同じ次元で述べるには難がある。

このようなことを踏まえながら、トンネル工事での発破が及ぼす環境への影響に関して、第5章

表-2 海外事情

国名	現場名	使用火薬類	作業形態	日本と異なる事情など
インドネシア	ムシ地下発電所工事	含水爆薬(インドネシア製) 電気雷管(インド製)	穿孔・装薬・支保作業は同一班。ただし、機械の運転は技能の問題があり専任で対応。	トンネル掘削が少ないため掘削の専門協力業者がおらず、機械のメカニック・リースも充実していない。
中国	ジナン道路トンネル	含水爆薬と導火管付き雷管(いずれも中国製)	穿孔・装薬とずり出しはそれぞれ専任。	穿孔は手掘り。1回の穿孔長は約4.2m(穿孔数は124孔)。1日の進行は7m以上。
アイルランド	ダブリンポート道路トンネル	含水爆薬(フランス製)、 非電気式雷管(スウェーデン製)	発破作業時の装薬・結線・発破のみ専門会社。その他作業は日本同様、同一班ですべて行った。	契約形態は常備であり、それによるところはあがるが、日本の進行歩掛りよりかなり悪い。休憩時間や長期休暇は交替で必ず取得するため、メンバーが固定しないこともあり、進行が上からないことの一つと思われた。
スロバキア	ンティナ高速道路トンネル	含水爆薬と電気雷管(いずれもスロバキア製) 現場製造は法規上不可能	ずり出し以外同一班で行う。発破はBlasting Masterが1名選任され、発破に関するすべての権限と責任を有する。	検査は24時間常駐のエンジニアが行う。そのエンジニアの判断により、例えば切羽ごとにロックボルトの本数が変更されることもある。火薬の法規上、スロバキアの火薬取り扱い免許を持たない場合には、発注者や企業体職員であっても切羽から200m以内には近づくことができない。
インド	プルリア揚水発電所工事	含水爆薬と導火管付き雷管(インド製)	ジャンボやクローラードリルを使用する場合、穿孔、装薬・発破、ずり出し、吹付けがそれぞれ専任。レグによる人力穿孔の場合、穿孔と装薬・発破が同一班となり、あとは同様。また、スロバキア同様、発破はBlasting Masterの指示下で行われる。	電気雷管を使用する場合には、電気設備から50m以上離れないと装薬できない。また、工事管理はエンジニアによる立会が必要。
ベトナム	ダイニン水力発電所放水路トンネル	含水爆薬と導火管付き雷管(ベトナム製)	穿孔とずり出しはそれぞれ専任。装薬、支保工設置、吹付け、ロックボルトは同一班。	契約形態は常備作業。濁水処理プラント設置義務はない。
香港	イーグルネスト高速道路トンネル	親ダイ: ペントライト <sup>※1</sup> (25g品, 輸入) 増ダイ: パルクエマルジョン(現場製造) 雷管は導火管付き雷管(輸入)	穿孔と装薬・発破、ずり出しはそれぞれ専任。	日本同様、発破振動・騒音の規制があり、導火管付き雷管で多段発射御発破を行っている。

※1: ペントライト: 爆速は 7,400m/s であり、ダイナマイトや含水爆薬と比較して高爆速であり、小薬量でも確実に増ダイを起爆することが可能である。

※情報提供協力: 鹿島建設(株)、清水建設(株)、大成建設(株)、西松建設(株)、Orica Limited.

にて、その特徴～対策について詳細に述べる。

また、その他、発破によるトンネル掘削が及ぼす地球温暖化への影響(CO<sub>2</sub>発生量)や、トンネル掘削に発破を用いることによる課題といったものについても記述する。

④ 将来の展望

火薬は千年以上前から使用され、ダイナマイトの発明から既に百年以上が経過している。ダイナマイトは発明されて以降、あまり姿を変えずに使

用され続けてきており、このように発明以降その姿を変えない製品もめずらしいが、それだけ人類に利用され続けているといえる。

しかし最近では、建設工事において発破公害が問題となる事例が増え、発破を用いないで掘削する方法に対する需要が日増しに高まっている。このため発破に代わって、機械や膨張性破砕剤による方法などが研究開発され、実績をあげてきている。将来には、発破を用いない方法が主流となる時代がくるかもしれない。しかし、現在と近い将来においては、硬質岩盤の掘削では、能率性・経済性の面から発破掘削が必要不可欠で、とくにトンネル掘削では発破掘削が主流となっている。このような状況のなか、装填技術や作業の安全性と省人化を図る自動化・機械化技術の開発が進められ、これに伴って爆薬自体や火工品の改良も進んでいる。

爆薬利用の技術の歴史をふりかえてみると、事故の教訓にもとづく安全面からの検討が主体で、安全が確認された時点で、新しい効率化を目指した技術改革がなされるという経過をたどっている。とくに爆薬の製造技術ではこの傾向が著しい。

火薬類は安全性に対する注意が必要であったことから、消費現場における利用技術、すなわち発破技術に関しても、他の産業部門における技術革新ほど進展が著しくなかった。しかしながら、ANFOから含水爆薬の発明に至る爆薬の安全性の高さ、導火管付き雷管などを含む火工品など、近年の進展は著しく、新しい機械化の波に火薬類の技術が十分に対応していけることを示唆している。

現在ロボット化は、各産業において実用段階に入っており、建設業界においてもこれは例外ではない。建設業界でも建設機械の大型化・高能率化は進み、明かり工事では大型機械による掘削工事が主流となっている。

これに対し、トンネル工事・地下空洞掘削工事などにおいて、機械のみの掘削作業は、空間の大きさ・岩盤の堅固さなどに制約がある。そこで、爆薬の爆発エネルギーをより有効に効率よく利用

する工法の開発、すなわち、機械の有効利用と火薬類の使用による効率的な掘削工法開発が進められすでに実用化されているものもある。

例えば、コンピュータで自動制御されるドリルジャンボは、あらかじめプログラミングされたパターンに従って精度良く切羽断面に穿孔することが可能であり、それにより余掘りを少なく効率的に掘削することができる。さらに同時に切羽前方の探査データ収集やドリリングのサイクルデータを記録するなどの装置が併用できる機械もある。

また、ANFOや含水爆薬の機械装填システムも、遠隔操作により作業員の切羽拘束時間の短縮がはかれることや、密装填による発破効率の向上などの利点により、使用実績も増してきている。

今後の大きな夢としては、全自動ドリルジャンボに搭載された爆薬自動装填機が、次から次へと穿孔された発破孔にコンピュータ指令で装薬していく。もちろん、これらの爆薬はエマルジョン系またはスラリー系の含水爆薬である。従来ネックとされていた親ダイに関しては、増ダイ装薬の合間にコンピュータ指令により投入されるが、この親ダイには脚線もなく、小さな受信器付きの特殊な雷管が内蔵されているだけである。爆薬自動装填機が装薬と併行して込め物も装填してしまうため、穿孔と爆薬・込め物の装填はわずか1～2孔の遅れで完了する。全自動ドリルジャンボは作業終了の指令で所定位置に退避し、防護措置を自動的に実施した後、発破準備通報・警戒通報など必要な指令を行った後、発破指令を発して無線遠隔操作で、穿孔内に装填されている受信器を作動させて爆薬を起爆する。発破終了後、全自動ドリルジャンボより作業開始の指令信号を受信しただけで処理作業機がコンピュータ指令により出勤し、手際よく処理をし、同様に無線制御の運搬車がずり出し作業を次から次へと実施、作業終了と同時に全自動ドリルジャンボと交替し、ロックボルト打設を開始する……。こういった一連の作業はすべて遠隔操作で実施され、離れた中央情報管理室のモニターテレビで監視しながら必要ときに修正指令を出す程度である。以上のような無人化

施工は、おそらく近い将来実現可能と確信している。

もう1つの夢としては、切羽において始めて爆薬として利用が可能になるものである。これに伴い輸送方法は大きく変化する。安全性の高いいくつかの薬剤を一般の運搬車(タンクローリーなど)で切羽まで個別に運び、切羽でそれらを混合することで初めて爆薬として利用することができる。この結果、作業所においては、保管・盗難・輸送などに生じる事故の危険性を回避することが可能となる。

話は変わるが、現在岩盤を破碎するために用いられる爆薬の「エネルギー特性とその効率」について考えてみたい。

例えば、1kgの爆薬の持つエネルギーは1kgのガソリンの約1/10程度であると言われている。しかし、爆薬はその特性から単位時間あたりに瞬間的に放出するエネルギーという点ではガソリンの約180万倍と他に類を見ないエネルギーの放出性能を持っている<sup>3)</sup>。

では、爆薬のエネルギーがすべて破壊に利用されるかというところではない。例えば発破時に振動に転換される割合については0.1～20%の範囲で数例の報告があり<sup>4)</sup>、さらに音、熱、光などにも変化していることを考慮すると、爆薬のエネルギーのうち、破壊に利用されている分はある割合に限られていることが推定される。

また、この破碎以外に転化するエネルギーの中

でも振動と音については、トンネルの施工において近隣の住民や家畜に対する影響が大きく、防音・振動対策が必要となる場合が多い。このようなことから、将来発破のエネルギーの大半が岩盤破碎エネルギーに変えられる爆薬が開発されれば、低騒音・低振動・高効率化を実現した掘削が可能になる。

このほかにも発破技術は、老朽化したビルや橋梁などの改修・解体工事にも利用されており、また、岩石砂漠で発破を用いて人工的に岩石を微細化し、植林の対象となりえない岩石砂漠地帯を緑化が可能な地域として人工的に創り出すなどの研究もなされている。

いずれにしても、火薬類の持つ大きな爆発エネルギーを、目的に添って、安全かつ効率的に使用できることが重要である。今後、火薬類はさらに多様化する用途に応じて変革をしていくものと思われるが、将来的にも人類に必要な技術となっていることを期待したい。

## 参考文献

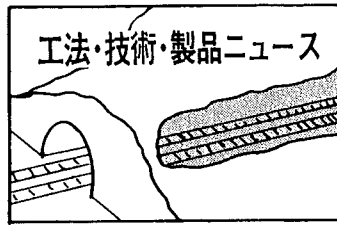
- 1) (社)火薬学会：火薬ハンドブック、共立出版、p.9、1987。
- 2) (社)火薬学会：エネルギー物質ハンドブック、共立出版、p.95、1999。
- 3) R. グスタフソン著、和田満穂監訳：新しい発破技術、森北出版、p.8、1981。
- 4) (社)日本トンネル技術協会：トンネル爆破技術指針、p.137、1982.2。

## 訂正

Vol.37, No.10に誤りがありましたので、訂正をするとともにお詫び申し上げます

55頁	62頁
〔誤〕	〔誤〕
西松建設(株)土木設計部設計課副部長 三戸憲二	写真の下 水戸憲二氏
〔正〕	〔正〕
西松建設(株)土木設計部副部長 三戸憲二	写真の下 三戸憲二氏

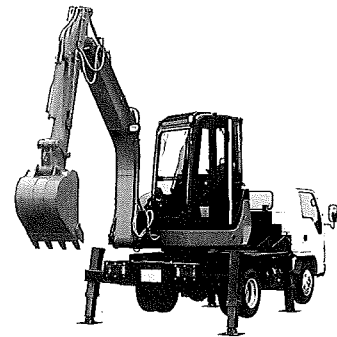
## 工法・技術・製品ニュース



### トラックバックホウ

日立建機は、TB50トラックバックホウを発売した。

同機は、小型トラックの荷台をはずした部分に、ミニショベル(バケット容量0.22m<sup>3</sup>)の足回りをはずした本体を架装したユニークな形状。運搬トラックからの積み降ろしの手間が省け、現場間移動もスピーディ。さらに、トラックの駐車スペースも不要なため、狭隘な市街地での工事に最適。



### A0サイズ対応 最新カラスキャナ

コンテックスは、A0サイズに対応したフルカラスキャナのラインアップを一新し「COUGAR G600」、「CHAMELEON G600」、「HAWK-EYE G36」の3機種を発売した。

特徴として、①エナジースター登録、グリーン購入法適合、RoHS(電子・電気機器における特定有害物質の使用制限)対応など環境問題に配慮、②最大メディア厚15mm、③48bitカラーキャプチャ、④安定したメディア搬送を行う多点ドライブ

機構、④WindowsとMacintosh両プラットフォーム対応、⑤PDFファイルを含む50種類以上のファイルフォーマット、⑥完全自動の3Cメンテナンスシステム、などである。



### 泥水式シールド工事で 建設汚泥を30%低減

戸田建設は、国土交通省発注の東日本橋共同溝で泥水式シールド工事によって発生する建設汚泥を、同社が開発した小面積立坑システムの「固形回収システム」を採用することで計画発生量の約30%を低減した。

同システムは、N値10以上の粘性土地山を固形状に切削、分離回収し普通土として再利用できるシステム。

### 150mのパイプルーフを築造

鹿島・鴻池JVは、近畿地方整備局が進めている「9号京都西立体千代原トンネル本体工事」で国内最長となる延長150mのパイプルーフを施工した。

パイプルーフ区間は、土かぶり3.5m、30~50cmの玉石混じりの砂礫で、地下埋設物が錯綜する厳しい条件。検討の結果「アングルモルスーパー工法」によるパイプルーフ工法を選択。パイプルーフは、水平部(φ812.8mm)19本、垂直部(φ1,016mm)17本の計36本。高精度で安全な施工をするため、推進機に反射型方向誘導装置や薬液注入装置を装備。さらに、シールド掘進管理システムを推進工事に改良するとともに、

鹿島が開発した沈下抑止充填材「ボイドキーパー」を推進工用滑材として初適用した。

### 地下空洞に起因する陥没 などの防災対策工法を開発

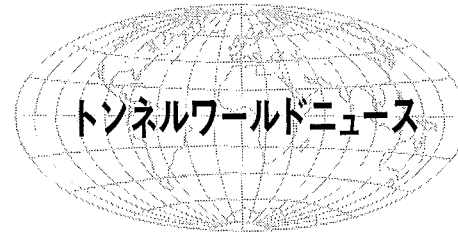
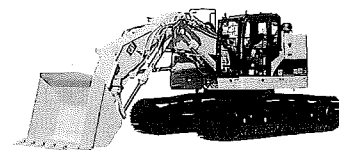
飛鳥建設は、廃坑、採石場跡や防空壕といった地下空洞に起因する陥没や沈下などの災害防止対策の一つとして多くの実績を上げている地下空洞「限定充填工法」で、空洞高さ1~3m程度の亜炭廃坑や水路、3mを超える採石場跡へ適用範囲を広げた。

同工法は、地表面で施工する道路などの建設予定範囲に限定した地下空洞の充填工法で、地下空洞の性状調査、隔壁構築、充填効果確認などをすべて地上から行うことができる。従来の工法では、充填材に特殊水ガラスを添加したものが使われていたが、大空洞では、境界外に流出する充填材量が多くなる課題があり、同工法ではNATMの吹付けコンクリートで用いる急結剤を適用することで、急硬性を付与し、流動性の低下と自立性の向上を図った。

### トンネル仕様油圧ショベル

新キャタピラ三菱は、坑道内の破碎・掘削作業で高い生産性を発揮する後方超小旋回型油圧ショベルCAT®328D LCR「REGA」トンネル使用機を発売した。

同機は、CAT325C「REGA」トンネル仕様機をモデルチェンジした中型機で、後端旋回半径1,900mmで、狭い坑内でも優れた作業性能を発揮。燃料タンクを400ℓに増やし、長時間作業も余裕を持ってこなす。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

### ロンドン・ドックランド軽量鉄道 (DLR)のトンネル群の第1歩

イーストロンドンのDLR(Docklands Light Railway)の2.5kmの延伸事業(事業費4億2千万USドル)は2月28日、大きな第1歩を踏み出した。テムズ川を横断する直径5.3m、長さ1.8kmとなる双設トンネルの掘削のためのLovat社製EPBM(土圧系シールド)が、この日発進立坑内に投入された。

Amec社(Amec社は、王立スコットランド銀行とともに50%比率の合弁事業としてWoolwich Arsenal Rail Enterprises(WARE)社を立ち上げている)から派遣された技術者は、現在4月早々の発進に向けて、4分割された機械を組み立てている状況である。

Lovat社の機械は、最初に厚さ1mのガラス繊維補強された低強度部分の立坑側壁を通して掘削し、5.5%の勾配でテムズ層層に向かう。その後、深さ35mの位置で全面に分布する軟質な石灰岩を通過し、テムズ川の下を横断する。さらに、川の南岸に位置する到達立坑に向かって砂層内を登っていく予定である。1本目の掘削は、最大日進42mの施工速度を期待して、所要6か月間で計画されている。9月の貫通に続いて機械は取り出され、川を横断して発進立坑に運ばれた後、年の変わり目のころに2本目のトンネル掘削に向けて始動する予定である。

EPBMは、8ピースに分割されたセグメントにより覆工を構築する。この覆工に用いるセグメントは、現場に特別に建設された製造用地において、Buchan Concrete Solutions社によって製造され

たものである。掘削土は、スクリーコンベヤを経てContinental Conveyors社供給の連続コンベヤに排出される。その後、現場から台船により指定された埋立地に運搬される。トンネル掘削は、15か月間(2本合計)の予定である。

この延伸事業のためのPPP(官民協働事業)、設計、エンジニアリングおよび施工の契約は、2005年6月にWARE JVに与えられた。

2009年には開業される予定であり、JVは、30年を超える営業権と長期維持管理の責任を負う予定である。

この延伸事業は、ロンドンの交通機関整備5か年計画(事業費160億USドル規模)の一部をなすとともに、ロンドンオリンピック(2012年開催)に向けた新しい交通ネットワークの一部となるものである。

(T&TI '06.3 担当:谷川隆之・佐藤工業(株))

### Waterloo & City lineの 増強工事の開始

Metronet Railと請負者Balfour Beatty Rail社は、ロンドンでWaterloo~City駅間の地下鉄に対する5か月にわたる輸送力増強工事に着手した。この地下鉄はWaterloo駅とロンドンの金融街との間の重要な通勤幹線である。

4月1,2日の週末、500tの移動式クレーンが地下の車庫から地上まで20両の客車を揚重するために、道路が閉鎖された。その列車は1993年に新車として中に降ろされたが、改修のために北イングランドDoncasterのWebtecに低床の運搬車で輸送された。

Metronetの最高経営者Andrew Lezala氏は「この事業は、ロンドン地下鉄とその乗客に、より早く円滑でスマートな地下鉄を9月1日に提供する事業であり、Waterloo~City間の地下鉄に対する4,000万£の投資の始まりである。われわれは昼夜作業で軌道を更新し、ラッシュアワー時に4~5本の列車を増発する新しい運転指令システムを導入し、また、5か月間の閉鎖によって、列車と駅のプラットフォームを改装することがで

きる。」と語った。

列車の揚重と軌道と信号機の工事を担当施工する契約者Balfour Beatty Rail London Underground Services社の管理指導者のRichard Adams氏は「これはわれわれにとって特別な日であり、9月1日のプロジェクトを成功に導くものである。」と語った。

列車の撤去後、資機材の搬出入のために、Clayton Equipment製の4台のバッテリー機関車(鉄道を記念してWalter, Lou, Anne, Kittyと名づけられた)が投入された。

Waterloo駅から市の中心のBank駅までテムズ川の下を毎年960万人の通勤者を輸送する107年を経たWaterloo~City線の事業は、ネットワークの3分の2の維持と、アップグレードするために、

London UndergroundとMetronetのPPP(官民連携事業)の一部として実行される。

列車の改修に加えて、スピードアップから駅の改装まで行う。具体的には、以下のとおりである。

- ・列車の増発：ラッシュアワー時の20~25%の増発(2007年前半までの何箇月かにわたって徐々に増発する)。
- ・所要時間の短縮：軌道の改修による駅間の速度を上げることによる時間短縮。
- ・乗り心地の向上：新しい軌道による。
- ・より信頼できる列車：駅への別系統の電力供給は、24時間のメンテナンスを可能にする。
- ・より洗練された駅プラットフォーム：新しい路線別色表示、案内表示、乗り換え案内。

(T&TC '06.4 担当：藤原武司・大成建設(株))

【好評発売中】

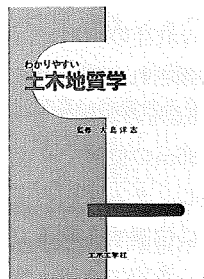
わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

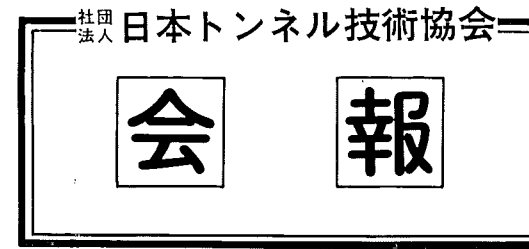
本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

〔主要目次〕

- 序編 トンネルと地質の関わり
- 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学
- 第II編 トンネル工事と地質条件
- 第III編 地質調査法
- 第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方



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



耐震設計特別委員会幹事会：9/11(蔣宇静幹事長ほか12名)計画案を検討

同 打合せ会：9/28(今田徹委員長ほか7名)作業内容を確認

新埋戻し材対策特別委員会：9/12(赤木寛一委員長ほか22名)試験結果報告ほか

計 7回開催 137名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：9/6(大島洋志主査ほか13名)10月号の会誌と3か月計画を検討

ホームページWG：9/13(伊藤文雄主査ほか7名)広報内容を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

文献WG：9/5(大久保誠介主査ほか17名)海外文献を査読

ニュースWG：9/26(平澤泰作主査ほか7名)海外ニュースを査読

計 4回開催 48名出席

合計 11回開催 185名出席

1. 会員の現状

	8月25日現在	9月25日現在
正 会 員	2,222名	2,287名
団 体 会 員	338名	405名
個 人 会 員	1,884名	1,882名
名 誉 会 員	1名	1名
計	2,223名	2,288名

2. 委員会の開催状況(9月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

共通技術小委員会：9/25(豊島英明委員長ほか11名)

活動方針を検討

安全環境小委員会：9/26(花安繁郎委員長ほか13名)

活動計画を検討

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：9/28(中島泰彦主査ほか19名)原稿を検討

北陸新幹線低土盛りトンネル研究特別委員会：9/4

(田村武委員長ほか46名)解析結果を検討

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第1回 国際フォーラム 「道路・鉄道トンネルの安全」	2007. 4. 23~25	リスボン (ポルトガル)	Tunnel Management International トンネルマネジメントインターナショナル社 <a href="http://www.tmi-intelligence.com">http://www.tmi-intelligence.com</a>
第33回ITA総会およびコンgres 「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5~10	プラハ (チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 <a href="http://www.wtc2007.org">http://www.wtc2007.org</a>
第34回ITA総会およびコンgres 「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 22~27	ニューデリー (インド)	CBIP International Tunnelling Association 灌漑・水力中央委員会 国際トンネル委員会(ITA) <a href="http://www.cbip.org">http://www.cbip.org</a>

\* 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)日本トンネル技術協会 TEL:03-3553-6174

## 4. 平成18年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
<b>(見学会)</b>			
大阪市地下鉄現場研修会	2006. 4. 17	16	大阪府
横浜市地下鉄現場研修会(駒林工区)	2006. 5. 30	28	神奈川県
東京地下鉄13号線現場研修会(新宿工区)	2006. 6. 2	24	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2006. 6. 20	25	東京都
名古屋地区高速道路現場研修会	2006. 8. 25	13	愛知県
北関東自動車道蓬田トンネル現場研修会	2006. 9. 8	25	茨城県
東京地下鉄13号線現場研修会(南池袋工区)	2006. 9. 15	18	東京都
横浜市地下鉄現場研修会(日吉駅工区)	2006. 10. 3	32	神奈川県
京都高速道路伏見工区トンネル現場研修会	2006. 10. 20	25	京都府
<b>(発表会)</b>			
第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」	2006. 11. 29	200	東京都：下記参照
第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」	2006. 11. 30	200	〃
<b>(講演、講習会)</b>			
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2006. 9. 28, 29	23	青森県
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2006. 11. 1, 2	30	東京都

詳細は、協会ホームページ(<http://www.soc.nii.ac.jp/jta>)を参照ください。

## 第58回(山岳)、第59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下記により開催することといたしました。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お願い申し上げます。

なお、本研修会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか、土木学会トンネル工学委員会後援事業でもありますことを申し添えます。

## — 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」(案内図参照)

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

**開催日：**第58回(山岳)施工体験発表会 平成18年11月29日(水)

第59回(都市)施工体験発表会 平成18年11月30日(木)

**定員：**各200名

**参加費：**第58回、第59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、ご了承ください。

〒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：**上記申し込みののち、郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者名記入のうえ、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、住所等は必ず記載してください。

下記申し込みにかかわる個人情報につきましては、ほかに利用するものではありません。

第58回、第59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。)				
氏名	年齢	歳	TEL	— —
会社名				
所属役職				
会社住所	〒 —			

## 第58回(山岳)施工体験発表会

開催日：平成18年11月29日(水)

プログラム：

- 司会 〈事業委員会委員〉 飛鳥建設(株)土木本部トンネル統括部長 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 台湾新幹線プロジェクトにおける山岳トンネル施工  
(株)大林組土木技術本部技術第二部技術副部長 松野 徹
- 9:40 地山変化に応じて補助工法仕様を変更した含水未固結地山中のトンネル施工(高丘トンネル北工区) 前田・五洋・北野・中野JV高丘トンネル作業所工事課長 日野 泰宏
- 10:10 NATM(発破工法)における騒音対策(東九州自動車道長野トンネル東工事) 戸田建設(株)名古屋支店工事主任 中藤 英樹
- 10:40 休憩
- 10:45 付加帯地山における双設トンネルの施工(盛岡北山トンネル) 前田建設工業(株)東北支店盛岡北山トンネル作業所副所長 北村 秀之
- 11:15 大変形地山における新たな支保構造(POWERボルト工法施工) (株)奥村組峰山トンネル工事所管理技術者 山田 亮志
- 11:45 発破掘削による活線拡幅トンネルの施工(国道193号線「木沢トンネル」) 大成建設(株)木沢トンネル作業所工事課長 崎山 透
- 12:15 昼食
- 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室長 端 則夫
- 13:15 ベトナム国ダイニン水力発電所の施工(ベトナム国初のTBM施工) 鹿島建設(株)ベトナム・ダイニン出張所工事課長 末吉 功一

- 13:45 含水未固結地山におけるトンネル掘削(真里谷第4トンネル)  
(株)間組真里谷トンネル作業所工事・設計主任 稲葉 秀雄
- 14:15 東広島バイパス中野トンネルにおけるフライアッシュ混合吹付けの施工実績  
清水建設(株)土木技術本部技術第二部 石橋 正弘
- 14:45 休憩
- 14:50 シンガポール初の大断面都市NATMによる3車線道路トンネル工事  
佐藤工業(株)フォートカニングトンネル作業所 鈴木 仁志
- 15:20 供用中の高速道路における小断面避難連絡坑掘削(北陸自動車道日野山トンネル)  
(株)フジタ北陸支店日野山トンネル作業所担当課長 根本 裕次
- 15:50 早期閉合による超近接トンネルの施工(豊見城トンネル)  
(株)熊谷組・(株)大米建設共同企業体工事主任 成富 裕樹
- 16:20 山岳工法におけるウォータータイトトンネルの施工(新宇治川放水路トンネル)  
飛島建設(株)四国支店石丸トンネル作業所 石原 力也
- 16:50 閉会

### 第59回(都市)施工体験発表会

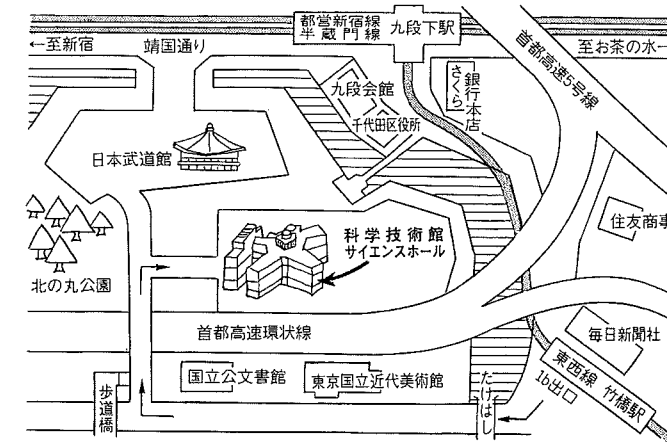
開催日:平成18年11月30日(木)

プログラム:

- 司会 <事業委員会委員> 東亜建設工業(株)土木部門技術部長 久多羅末吉治
- 9:30 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
- 9:35 建設汚泥発生量の低減についてのVE提案とその実績(東日本橋共同溝)  
戸田建設(株)東日本橋共同溝作業所所長 小山 正幸
- 10:00 長崎県・中島川広域基幹河川改修工事(左岸バイパス)環境・景観に配慮した新オープンシールド工法  
前田建設工業(株)技術本部ものづくりセンター副部長 秋山 直一
- 10:25 13号線新宿工区でのシールド機水中到達とUターン施工  
清水建設(株)土木東京支店土木第三部13号線新宿シールド工事主任 安井 克豊
- 10:50 地下立体交差の新技术「ハーモニカ工法」の施工実績  
大成建設(株)東京支店六本木土木作業所工事課長 小柳 善郎
- 11:15 業平橋ポンプ所放流渠の施工(急曲線・急勾配シールドトンネル)  
東京都下水道局北部建設事務所工事第一課工事第二係 平野 保次
- 11:40 昼食
- 司会 <事業委員会委員> 東京地下鉄(株)建設部沿道調整課長 中島 誠三
- 12:40 単線シールド断面から複線NATM断面への地中拡幅施工と都市部における洪積埋没谷の施工  
清水・大日本・不動・馬淵建設共同企業体主任 川島 恵介
- 13:05 地下鉄13号線高田単線シールド工事の大型埋設物近接施工に伴う影響  
東京地下鉄(株)建設部早稲田工事事務所技術課長 村松 泰
- 13:30 重要施設の隙間を掘り進む開放型矩形シールド(大阪地下鉄8号線)  
(株)フジタ大阪支店土木部8号線作業所 芳崎 貴彦

- 13:55 閑静な住宅地における急曲線施工を伴うシールド工事の施工(名古屋市上下水道「緊急雨水整備事業」)  
熊谷・三井住友・株木特別共同企業体副所長 春名 俊二
- 14:20 都心幹線道路下の大規模換気所の大深度施工(首都高環状新宿線要町換気所)  
(株)間組関東土木支店要町作業所副所長 大西 亮
- 14:45 休憩
- 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
- 14:55 Uターンを伴うシールドにおける連続コンベアによる掘削土搬出(横浜環状鉄道中山~日吉間)  
(株)大林組土木技術本部技術第五部 田中 善広
- 15:20 東京地下鉄半蔵門線渋谷駅のアンダーピニング  
鹿島建設(株)東京土木支店第一土木統括事務所営団渋谷JV工事課長 林 宏延
- 15:45 大口径P&PCセグメントの施工(大阪空港シールド)  
清水建設(株)大阪支店土木部大阪空港シールド工事主任 佐藤 研史
- 16:10 上下線同時施工による営業線シールドの二次覆工(横須賀線東京トンネル改良工事)  
東鉄工業(株)東京土木支店横須賀トンネル工事所所長 小柳祐太郎
- 16:35 閉会

[案内図]



## 12月号予告[12月1日発売予定]

- 地下鉄振動の現場測定および模型実験
- 線路下横断工事における安全性向上の取り組み
- 道道夕張新得線道路改良 赤岩トンネル
- 地下鉄13号線 雑司ヶ谷駅
- インドプルリア揚水発電所

### 【連載講座】

- 発破技術の現状(2)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆本号には「甲」のつく道路トンネルの報文が2件紹介されています。ひとつは国道289号の「甲子トンネル」、もうひとつは第二名神高速道路の「甲南トンネル」です。とくにトンネルとはあまり関係はありませんが「甲」の字について簡単に調べてみましたので紹介します。

◆「甲」はかつての学校の成績評価として「甲・乙・丙・丁」や焼酎の分類として「甲類・乙類」などとして、等級や種類を示すときに多く使われてきました。これは中国から伝わった十干(じっかん)によるものです。十干は「甲(こう)・乙(おつ)・丙(へい)・丁(てい)・戊(ぼ)・己(き)・庚(こう)・辛(しん)・壬(じん)・癸(き)」の要素からなり、「甲」が一番上位となります。

◆十干は2つずつの要素を五行(木・火・土・金・水)に当てはめ、さらに陰陽に割り当てられています。日本ではこの「陽・陰」を「兄(え)・弟(と)」としています。「甲」は五行の「木」で、「陰陽」の「陽」となり、「木の兄」で「きのえ」と読み、「木」の「陰」の「木の弟」は「乙」で「きのと」と読みます。この、「陽・陰」を表す「兄弟(えと)」は「干支」の呼称の由来となったと言われます。

◆漢字1字を簡単に調べてもこれだけの歴史があります。また、別の切り口で調べれば別の歴史もあるでしょう。「漢字」や「ひらがな」は西洋にない東洋(日本)の独特の文化です。インターネットの普及で本離れの昨今ですが、西洋にない「漢字」や「ひらがな」の文化を、誇りを持って守っていきたいものです。

(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37巻 第11号 [通巻435号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成18年10月20日 印刷

平成18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

●営業本部高機能建材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル8F 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