

# トンネルと地下 8

vol. 38  
no. 8  
2007

新吹付けシステムで低粉じん化を実現  
発破技術のIT化と新支保による大断面施工の効率化  
半蔵門線渋谷駅をアンダーピニングして新駅を構築  
耐火型合成セグメントの火災時構造安定性に関する研究  
下水道シールド工法の改善と標準化の経緯

日本トンネル技術協会誌

## トンネル開発技術に

## 60余年のヒストリー！

**2006**  
(ダブルLRT用シールド)  
ドバイの交通網の発展に貢献

**2004**  
(大断面SENS工法シールド)  
東北新幹線三本木原トンネル  
工事の建設で活躍

**2003**  
(超大断面・大深度・長距離  
掘削用シールド)  
神田川・環状七号線地下調整池  
の建設で活躍

**1995**  
(3心円泥水式駅シールド)  
地下鉄12号線環状部飯田橋駅  
工区建設工事で活躍

**1993**  
(世界最大級の泥水式シールド)  
東京湾横断道路工事で活躍

**1989**  
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式  
完成にわく関係者たち

**1939**  
(日本最初の本格的シールド)  
関門トンネル工事で活躍

世界中で  
1677台の  
実績！

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして60余年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。豊かな21世紀を育むために、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

※平成19年4月1日より、三菱重工のトンネル事業は三菱重工地中建機株式会社として生まれ変わりました。

### 三菱重工地中建機(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工地中建機株式会社 本社 明石市二見町南二見1番地 TEL.078-672-4575  
東京事務所 東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092  
神戸事務所 神戸市兵庫区和田宮通七丁目1番14号 TEL.078-672-2850

定価 1,575円 雑誌06619-8  
本体価格1,500円



4910066190873  
01500



# 世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

安全性・経済性・高品質

## デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

### 一般吹付け・高品質吹付け デンカナトミックTYPE-5

- ・NATMトンネル万能タイプ
- ・信頼の実績
- ・優れた急結性
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・湧水に強い
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

### 高強度吹付け デンカナトミックTYPE-10

- ・安定した初期強度・長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

### 瞬結吹付け・初期高強度吹付け デンカナトミックTYPE-10S デンカΣショットS

- ・脅威の初期強度発現性(10分・3N/mm<sup>2</sup>)
- ・優れた長期強度発現性
- ・急結剤による強度低下がない
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

### 優れた低粉じん吹付け

### 《デンカスラリーショット》 デンカナトミックUS-32 デンカナトミックUS-50 《デンカスーパースラリーショット》 デンカナトミックUSS デンカナトミックLSA

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・湧水、低温に強い
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

#### ◆トンネル関連製品

- ・FTN-30・・・吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・デンカライフセッター・・・吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・デンカクリアップ・・・吹付けコンクリート用粉じん低減剤
- ・デンカPFモルタル、PFモルタルTYPE-K・・・小断面・TBM用吹付けモルタル
- ・デンカES/ES-L・・・無公害なセメント系土質安定用急硬材
- ・デンカコロイダルセメント/コロイダルスーパー・・・微粒子、超微粒子セメント
- ・デンカPモル・・・注入式ロックボルト定着材
- ・デンカCG-1000、CG-2000・・・可塑性モルタル用混和材
- ・デンカパワーCSAタイプS/タイプR・・・コンクリート用膨張材
- ・デンカハードロックII・・・アクリル系接着剤(ひび割れ注入、シート接着)

# DENKA

電気化学工業株式会社

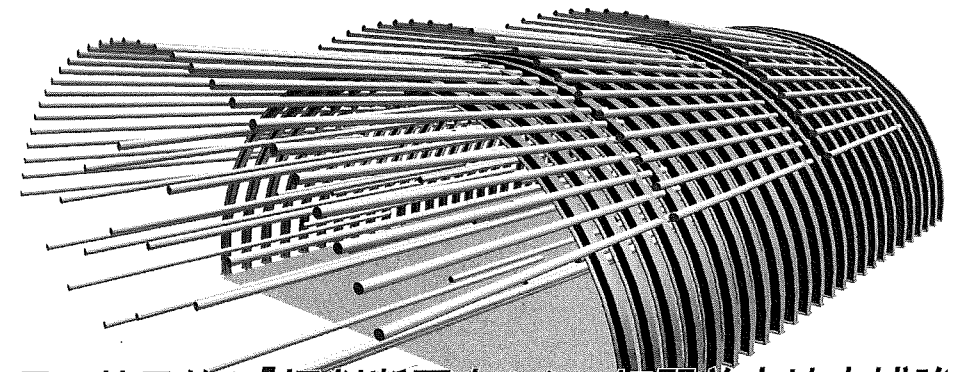
特殊混和材事業部  
東京都中央区日本橋室町2-1-1  
電話 03-5290-5558

## 全方位 GFRP 管長尺補強システム

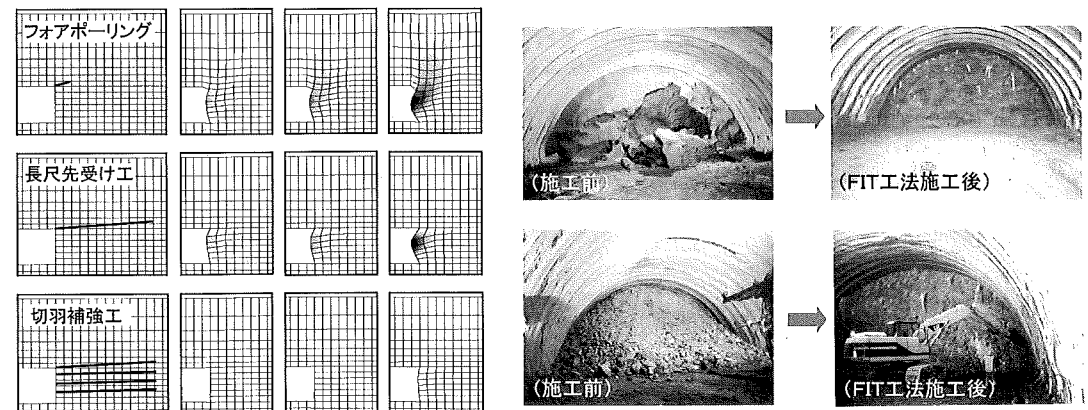
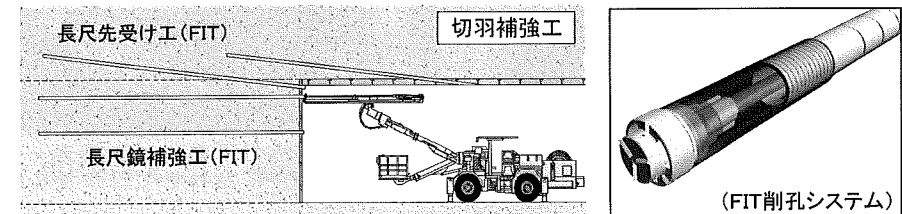
NETIS登録  
(No. CB-030065)  
施工実績 150 件以上

# FIT 工法

FRP INJECTION TUBE



## 最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」



(数値解析による切羽補強効果の検証例)

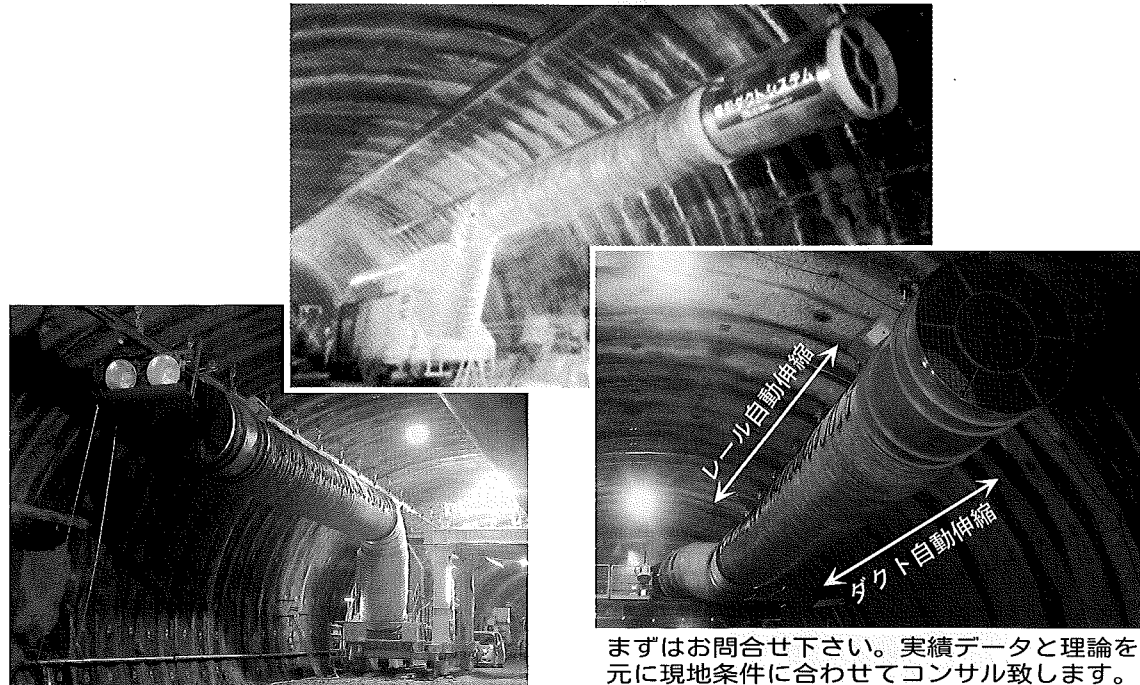
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部 TEL(03) 3798-8511 FAX(03) 3798-8516  
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755  
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

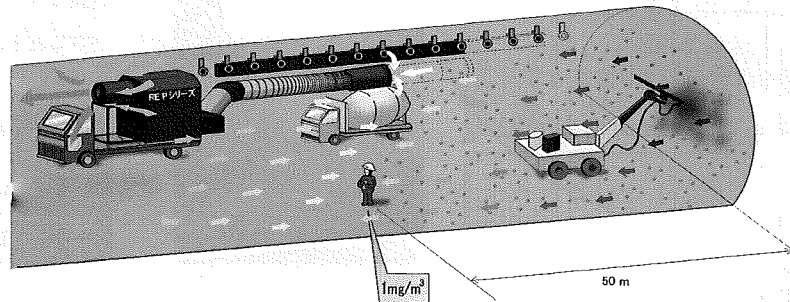
# 吸引ダクトシステム

**業界初** 吸引ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕  
ガイドラインをクリア 1mg/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合。操作にお手間をとらせません。
- ・最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ・適応径はΦ600～Φ1500、負圧-2kPa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。移動照明を使用することで切羽作業効率、安全性が大幅にアップ。その他の口径・延長はご相談下さい。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary

**株式会社 流機 エンジニアリング**

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

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂  
TEL: 03 (3452) 7400(代) FAX: 03 (3452) 5370  
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1  
テクノセンター TEL: 0296 (37) 7680(代) FAX: 0296 (37) 7681

# 超低騒音・三軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

あつえもりの 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: 長年にわたって経験し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の幅広い品揃えで対応します。  
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

30th Anniversary

**株式会社 流機 エンジニアリング**

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

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂  
TEL: 03 (3452) 7400(代) FAX: 03 (3452) 5370  
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1  
テクノセンター TEL: 0296 (37) 7680(代) FAX: 0296 (37) 7681

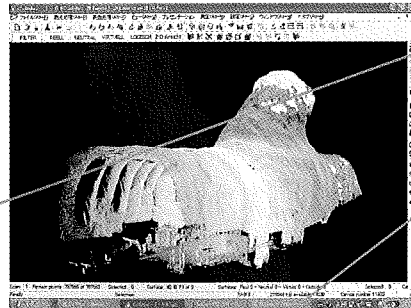
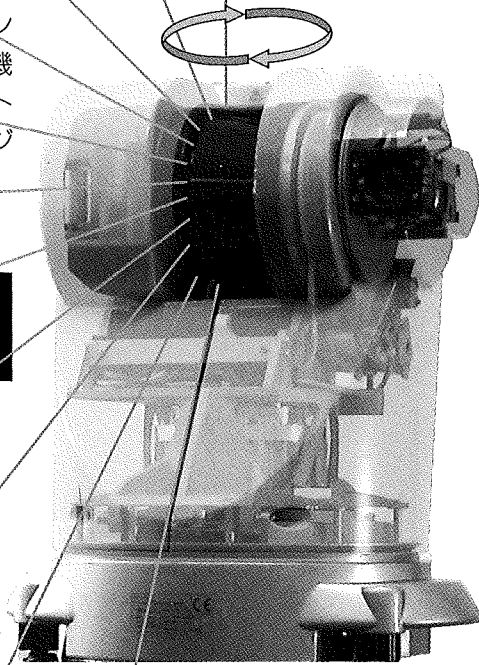
# Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

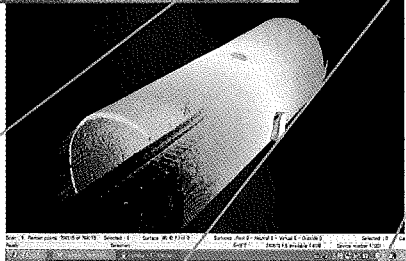
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m<sup>(1)</sup>の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

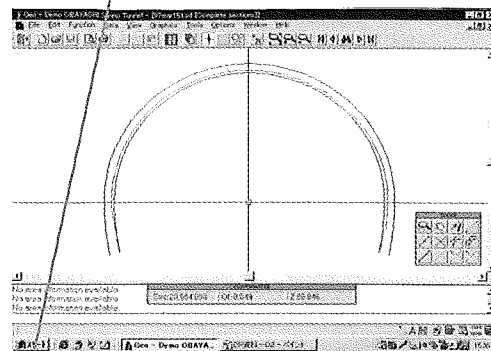
全周360°を10分でスキャン



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

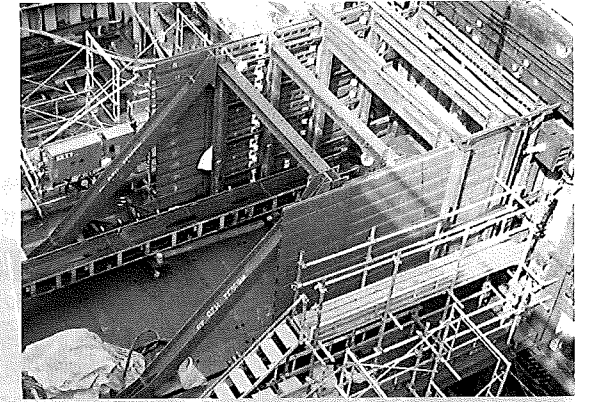
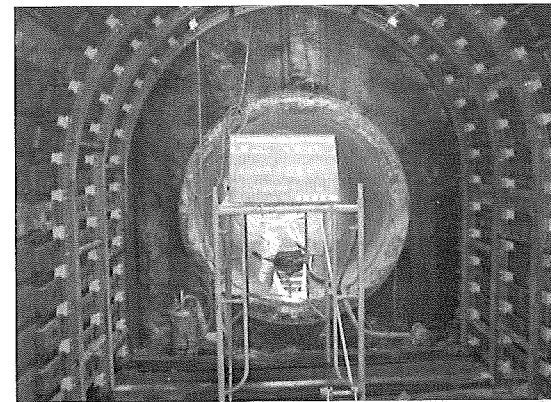
〒550-0025 大阪市西区九条南4-2-4  
TEL: 06-6586-1707 FAX: 06-6586-1277  
URL: <http://www.sooki.co.jp/>

■ 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

# 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)

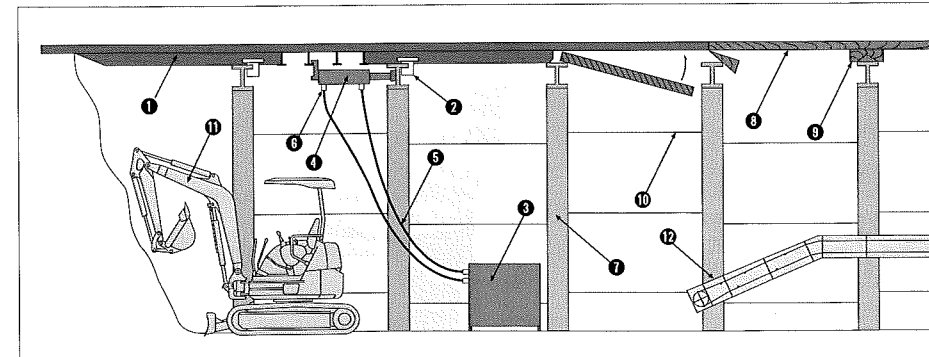
### 特徴

- 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・曲線掘進に適応します。
- 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

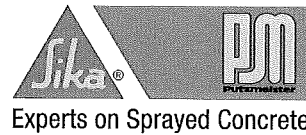


- ① SS-メッセルプレート
- ② スタビライザ
- ③ 油圧ユニット
- ④ 油圧ジャッキ
- ⑤ 油圧ホース
- ⑥ 油圧手許切換装置
- ⑦ 支保工
- ⑧ 木矢板
- ⑨ 木製キャンバー
- ⑩ 径間パイプ、タイロッドボルト
- ⑪ バックホウ
- ⑫ ベルトコンベア

 **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

## 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。

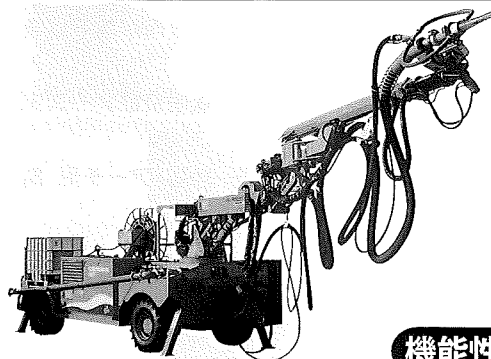


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

### 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

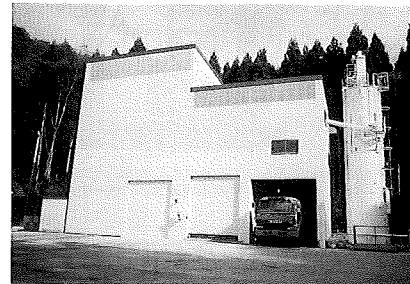
**VOLVO** ダンプトラック  
(A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

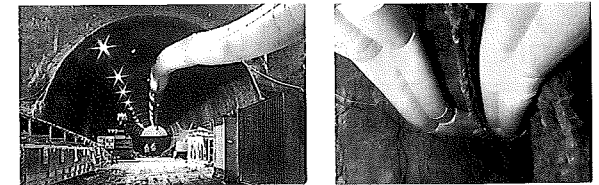
バッチャプラント  
(全自動式、3槽クラム式、簡易型、特殊型)



設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

## 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

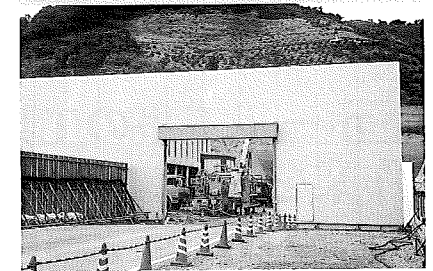
## 騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



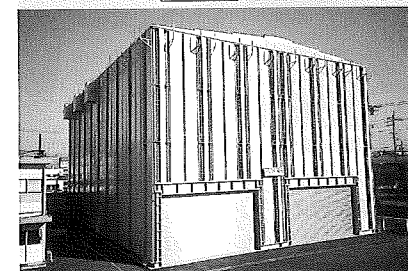
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



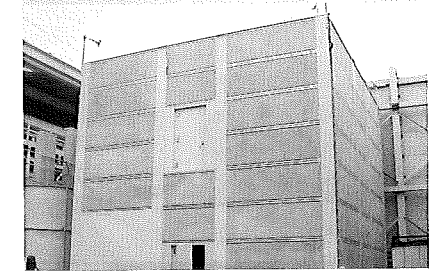
適応性の優れた防音パネル

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 株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献する TOYOU 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  
株式会社トーユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974  
トーユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

# 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

### 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。

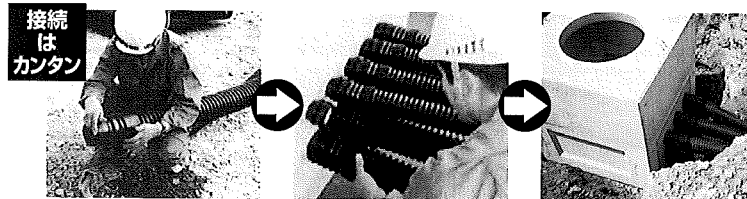
### 4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ

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



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 テレビ朝日系「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・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・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

拡大された能力。  
継続的なお客さまへの  
コミットメント。



www.oricamining.com

オリカ・マイニング・サービス  
——産業爆薬、起爆システムおよび  
高度な爆破ソリューションの  
世界的リーダー企業。

オリカは、ダイノ・ノーベルのアジア、  
中南米、欧州、中東およびアフリカ事業  
を買収しました。当社は、お客さまとの  
関係の維持、ならびに統合プロセス全般  
における滞りのない移行の実現に努めて  
います。

当社は、オリカとダイノ・ノーベルの  
最良部分を活用し、お客さまの最終利益  
拡大をお手伝いいたします。

皆さまには、さらなる技術投資、  
◇供給のより高い安定性に向けて、  
より広範囲の製品およびサービス、  
ならびに拡大された製造施設/サプライ  
ポイント・ネットワークへのアクセス、  
◇爆薬、技術サービス、ANおよび起爆  
システム製品の信頼できるデリバリー  
——をご期待いただけます。

オリカは、鉱業および建設業界、  
ならびに当社のお客さまへの  
コミットメントをお約束します。

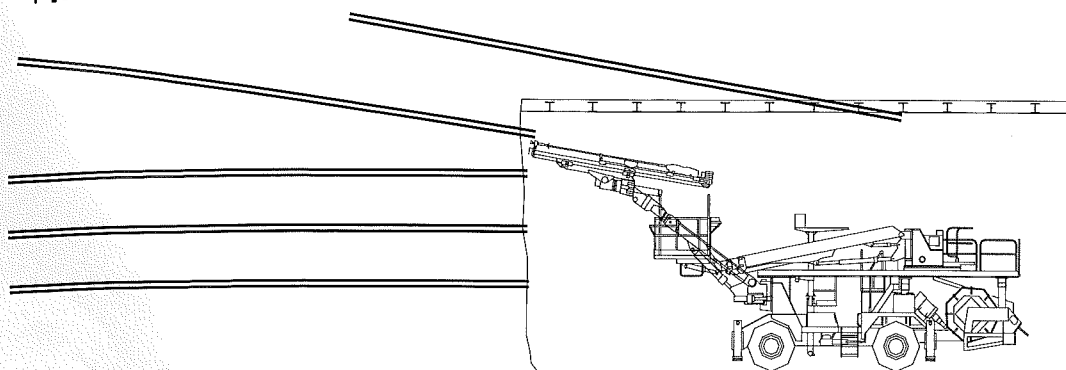
オリカジャパン株式会社  
〒105-0001  
東京都港区虎ノ門3丁目7-11  
虎ノ門三須ビル7階  
Tel: 03 5777 4681 Fax: 03 5777 4682



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

# トンネルの補助工法

注入式長尺先受工法

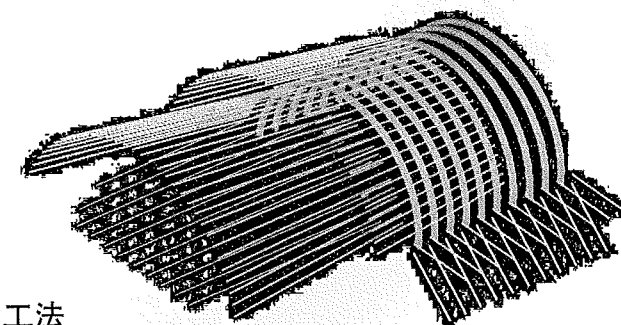
- AGF工法
- AGF-P工法
- AGF-S工法
- AGF-WOO工法
- AGF-E工法

小口径長尺先受工法

- SMALL-P工法
- FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法

- パノラマ工法



発泡型シリカレジン

スーパーSRF

無機系注入材

シリカセーフ

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  
第2麻生ビル2階  
TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648

関西営業部  
〒550-0015 大阪市西区南堀江4丁目1番18号  
十川産業西堀江ビル7階  
TEL 06-6578-3235 FAX 06-6578-3237

九州営業部  
〒816-0932 福岡県大野城市瓦田623-4  
リバーサイド大野城A号  
TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846

北海道地区(株)エイチ・アール・オー  
〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号  
TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

# トンネル測量システム

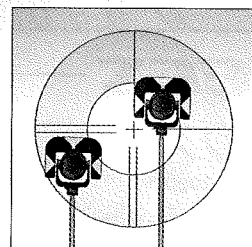
## トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。 ライカTPS1200シリーズついに登場。



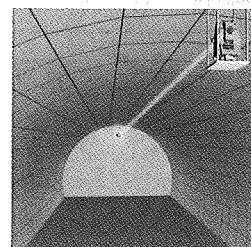
TCRA1200



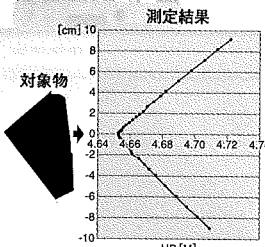
**精度が向上した自動視準**  
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



**自動視準視野が変更可能**  
制御コマンドを使用して視野を1/3にすることにより、プリズムが近くに並んだ状態でも測定可能。



**ノンプリズムの距離延長**  
新特許技術PinPointR300によりノンプリズム測距範囲500m<sup>2</sup>まで可能。これにより、器械のターニング回数が減少。※対象物反射率90%のとき



**ノンプリズム精度の向上**  
PinPointR300ノンプリズム測定なら、測定対象物の正確なデータ取得が可能。

ライカ ジオシステムズ株式会社

<http://www.leica-geosystems.co.jp>

Leica  
Geosystems

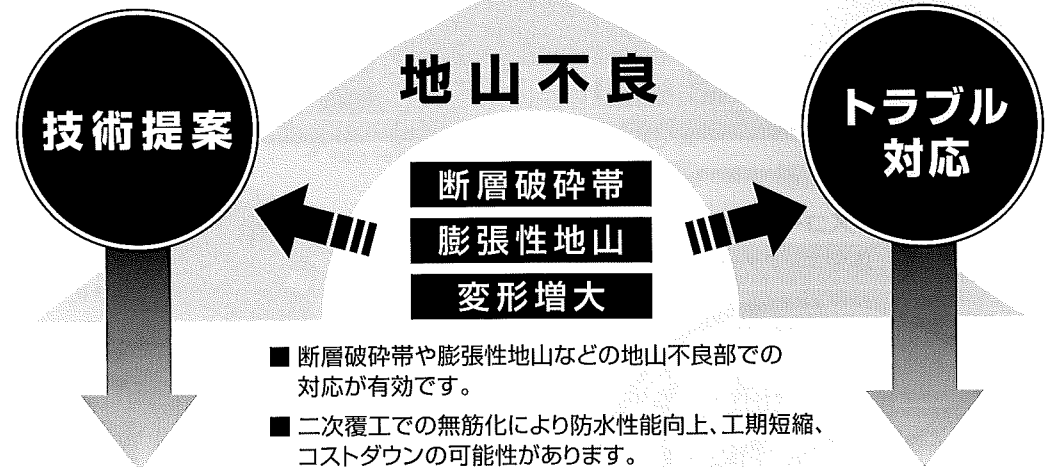
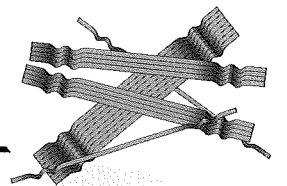
本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート  
 テクニカルセンター 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F  
 大阪支店 〒540-6131 大阪府中央区城見2-1-61 Twin21 MIDタワー31F  
 福岡営業所 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多階成ビル6F  
 札幌出張所 〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F  
 社 会 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート  
 Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056  
 Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059  
 Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733  
 Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221  
 Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102

BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

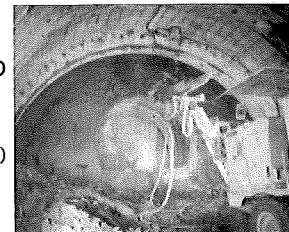
コンクリートをより強く、よりしなやかに。

## タフグリッブ コンクリート補強用鋼繊維



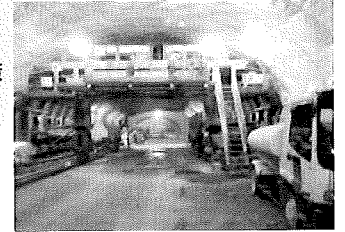
### 一次吹付

- 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

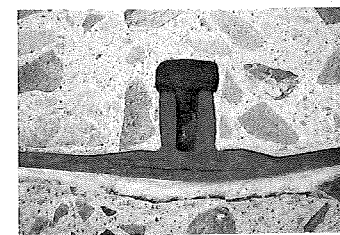
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

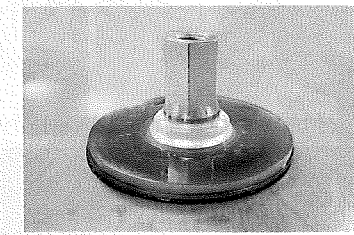
## ナトミックシート トンネル用防水シート

### 高い防水性



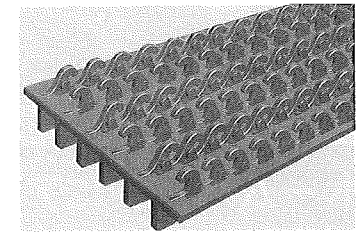
ウォーターバリア

### 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

### 容易な施工性



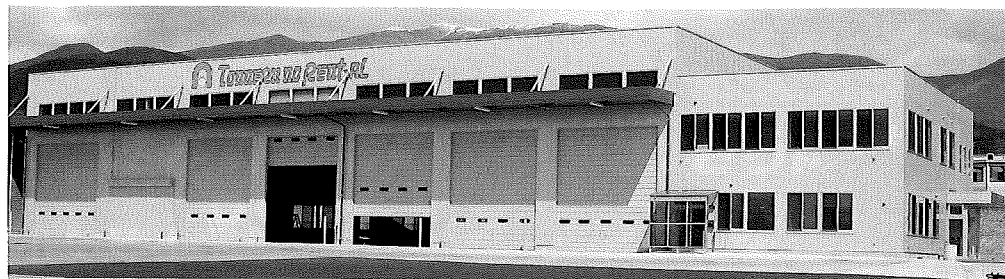
クイックバー

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

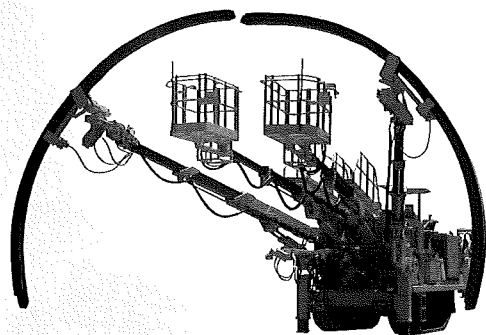
# 新社屋完成

# 常設展示



## SCORPION スコーピオン

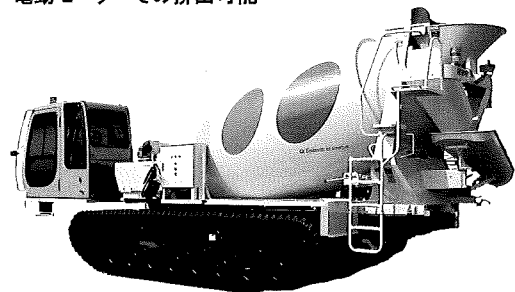
ゴムクローラー式一体型エレクター



エレクター2基 バスケット2基 ロボット 吹付機  
コンプレッサー 急結剤補給装置(オプション) 搭載のマルチ機

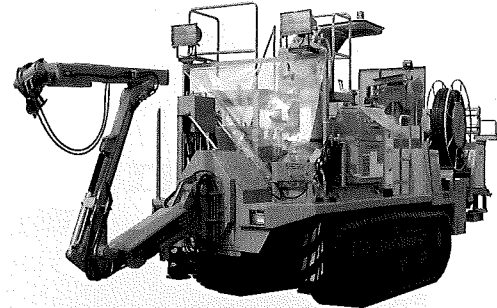
## ゴム・クロミキサー車

車両年次検査不要  
悪条件の路盤を克服  
電動モーターでの排出可能



二次排ガス規制適合機

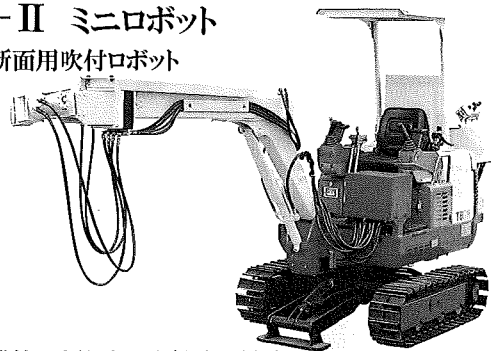
## MBTL ミニビートル



小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機

## MR-II ミニロボット

小断面用吹付ロボット



避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい

URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>

機械図、動画あり

# 株式会社 トンネルのレンタル

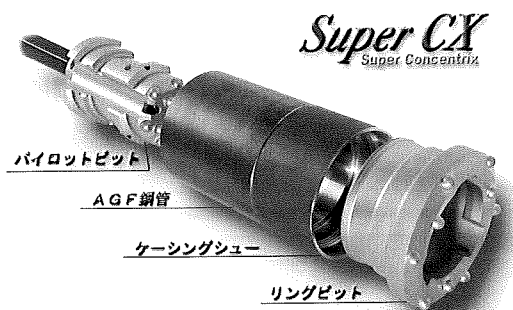
〒389-0506 長野県東御市柵津字元会下1080-9  
TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999  
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

# TFT のトンネル資材

## ▼ AGF工法

トンネル工事において軟弱地山の先行ゆるみ抑制のためAGF鋼管を打設し、その後注入をおこなうことにより地山を安定させ掘削を可能にする工法で、「AGF-φ工法」等があります。

当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。



削孔用主要部材

●削孔システム



●AGF鋼管



●ロッド・カップリング

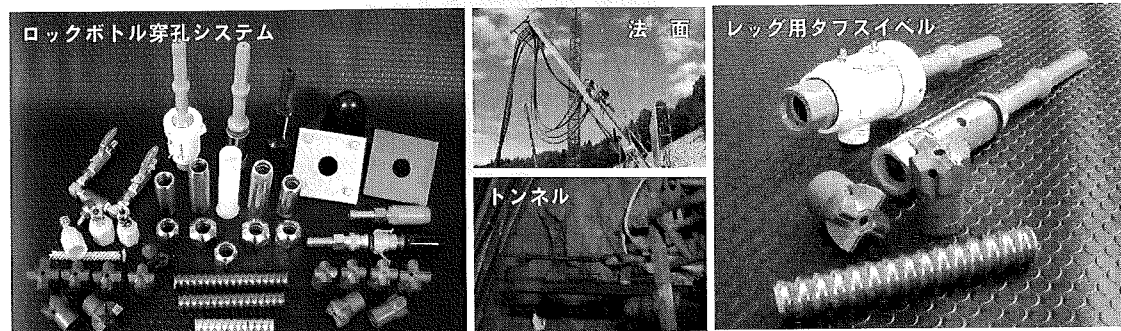


## ▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

トンネルのフォアパイリング用ボルトから法面用ロックボルトまで幅広く使用されています。どんな削孔機でも施工でき、しかも小型削岩機も使用可能であり足場費の低減が図られます。

また削孔ビットもφ45~φ65mmと広く準備されています。

品名	外径mm	断面積mm <sup>2</sup>	引張荷重	降伏荷重	せん断荷重
TF22	31.5	375	235kN (24Tf)	196kN (20Tf)	125kN (12.7Tf)
TF26	31.5	420	274kN (28Tf)	215kN (22Tf)	176kN (18.0Tf)



# TFT 株式会社 ティーエフティー

Tube Forming & Technological

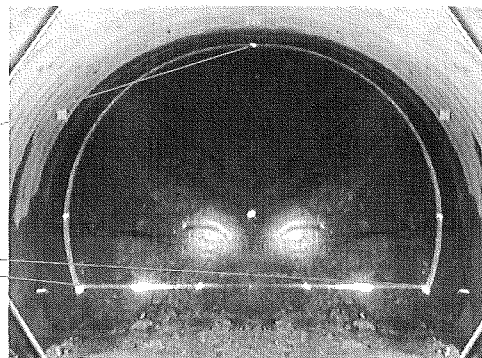
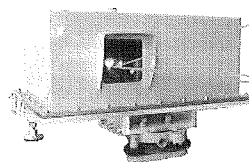
〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

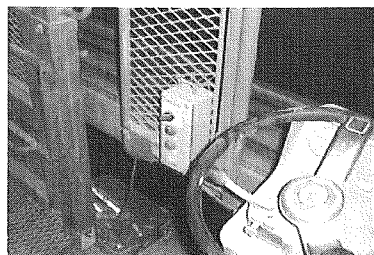
# レーザーマーキングシステム

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

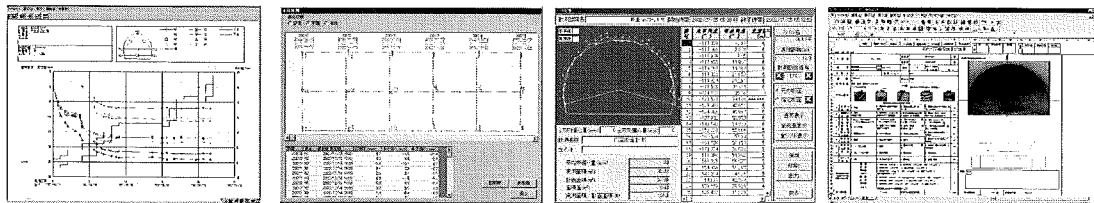


現場環境に耐え得る  
頑強なコントローラー

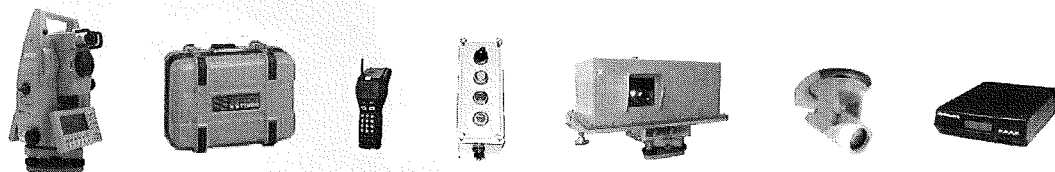


ジャンボに  
取付けて使用可  
AC200V対応

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

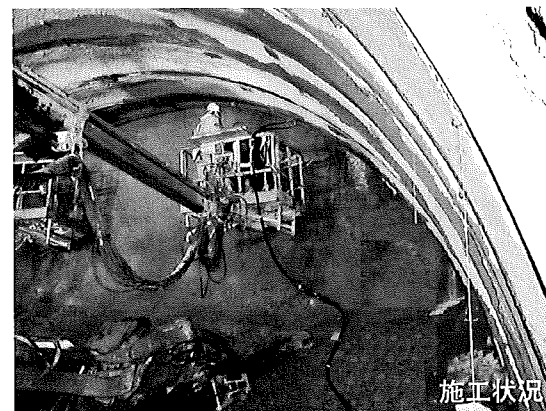
〔販売元〕

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

## 補助工法・注入材のことならティーエムシー

### ■AGF-OFP工法

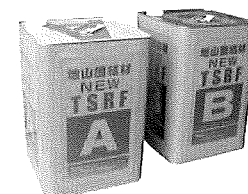
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

### ■各種注入材

NEW-TSRF  
(シリカレジン)  
NEW-TBU  
(ウレタン)



※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

## 環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景



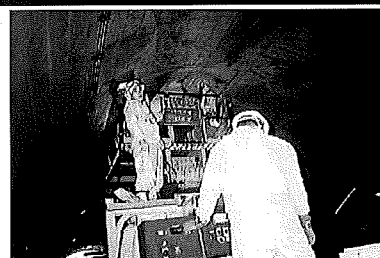
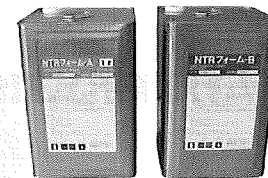
当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

## トンネル補修もティーエムシーにお任せください

これからますます需要増加が見込まれるトンネル補修工事。当社では、補修工事で使用される空洞充填材も取り扱っております。

NTRフォーム12(12倍発泡)  
NTRフォーム30(30倍発泡)  
NTRフォーム40(40倍発泡)

※強度等詳細は当社ホームページにてご確認ください。



上記の各種注入材の他、ドリルジャンボ、集塵機をはじめ各種機械も取り扱っております。お気軽にお問い合わせください。



株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>

お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL : 03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL : 022-286-5111
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	TEL : 0568-56-4288
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	TEL : 072-966-6280
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリョーションビル1F	TEL : 0942-40-8151
小牧物流センター	〒485-0825 愛知県小牧市大字下末1636-9	TEL : 0568-44-7786

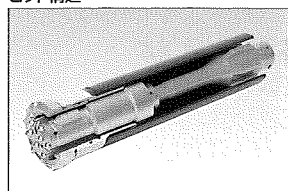
**三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム**

■用途 注入式鋼管先受け工法・脚部補強・水抜き・フェイスボルト・パイプルーフ・基礎工・アンカー

●**ウルトラメックスビット (UMB) 打撃削孔式リングロストタイプ**

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合により回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスビット削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

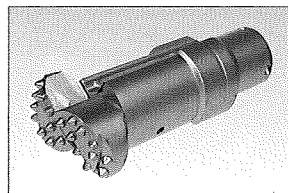
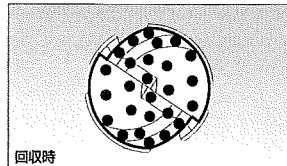
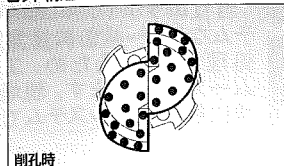
ビット構造



●**スーパーメックスビット (SMB) 打撃削孔式拡張径タイプ**

- ・国内外で多くの使用実績を誇るヘッド全可動式拡張径タイプ
- ・ヘッド全可動式が可能とする安定した削孔性能
- ・ヘッド全面を取り替える為、高いコストパフォーマンスを実現
- ・軟・中硬岩に幅広く対応

ビット構造

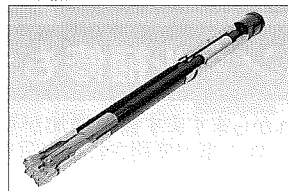


●**スモールP (Small-P) システム**

●**小孔径 (2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ**

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合によりインナーの回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスビット削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

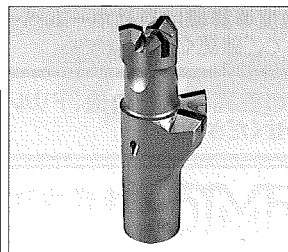
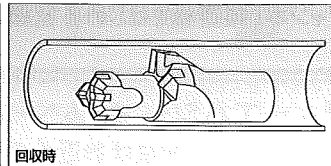
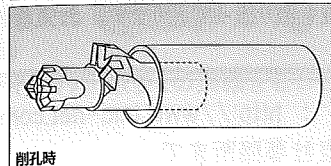
ビット構造



●**かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ**

- ・軟質層等軟岩用簡易拡張径
- ・独自の形状・構造の為、使い易い
- ・シンプル形状の為、製品剛性が高い

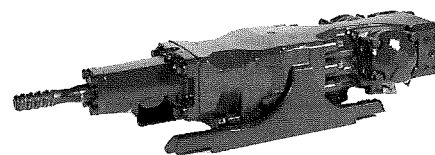
ビット構造



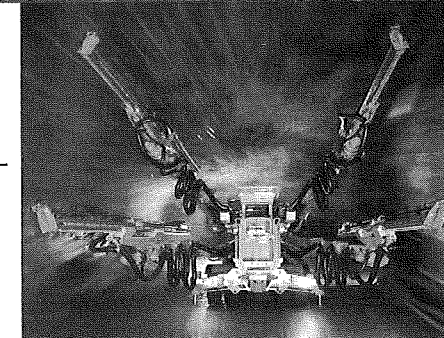
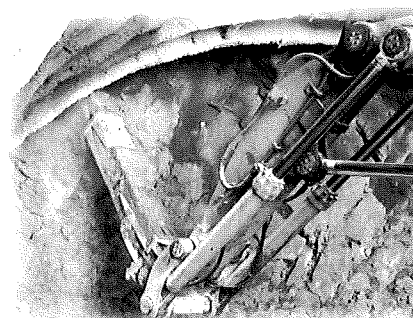
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。



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



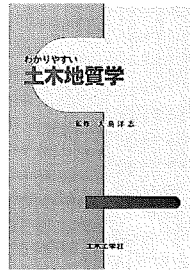
# 土木工学社の地質学書

[好評発売中]

## わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 円340円



### 主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

### [その他の既刊図書]

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

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

地下水の科学 P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著 大西有三 監訳

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

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

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

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

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

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

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

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

株式会社 **土木工学社**

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

トンネル工事からパンクを追放

# 坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)

30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

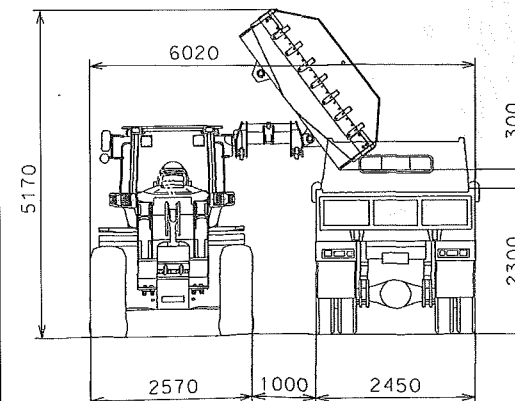
【営業品目】 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/各種中古車/触媒/線路 (中古)

**中濃産業株式会社**  
代表取締役 土田 義 式

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

2.3m<sup>3</sup>の後継機種!!

1.9m<sup>3</sup> CAT938G



**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

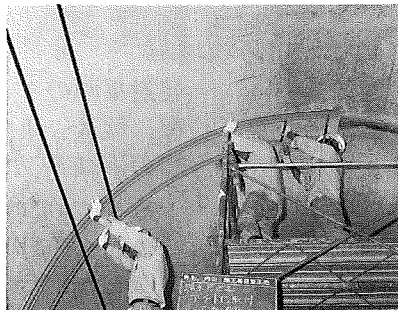
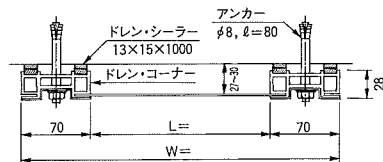
URL <http://www.klea-cat.com>

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

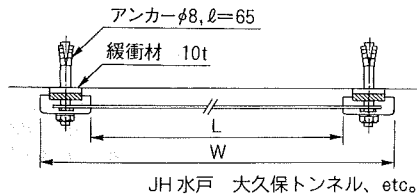
## アーチ・ドレン導水樋

■特徴

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

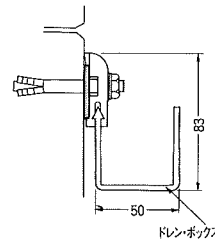


## コンクリート剥落対策に アーチ・パネル



JH水戸 大久保トンネル、etc。

## 水平導水樋に サイド・ドレン



■特徴

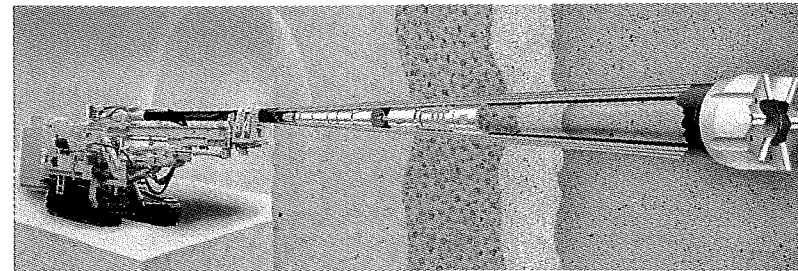
- ・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

## ニホン・ドレン工業株式会社

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

# 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らぬ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。



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

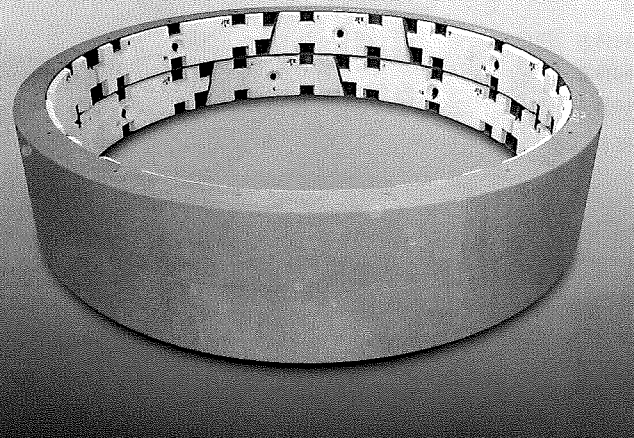
お問い合わせ先：工事営業本部

TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522

http://www.koken-boring.co.jp

## ● JFE コンクリート中詰め鋼製セグメント

JFE



近年、都市部においてライフラインの地下化が進み、これらの施設が主として道路下の浅深度地下利用のための過密化・多層化してきたので、大深度シールド工法による地下開発の要望が高まっています。

### ● コンクリート中詰め鋼製セグメントとは

鋼枠に、予め工場でコンクリートを中詰めしたセグメントで、接合目地をコーキングすることにより、二次覆工を省略することが可能です。

### ● 高水圧下でも高い止水性

外面が鋼枠で覆われているため、高い止水性を有しています。

### ● 諸条件に対応可能

鋼製セグメントを基本としているため、重荷重部や曲線部などの諸条件に、柔軟な対応が出来ます。

## JFE 建材 株式会社 地下土木商品営業部

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-10-15 (JL日本橋ビル)  
〈東京〉TEL: 03-5644-1266 FAX: 03-5644-1235  
〈大阪〉TEL: 06-6444-7626 FAX: 06-6444-7633

URL <http://www.jfe-kenzai.co.jp/>

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

### ブロック理論と岩盤工学への応用

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

### 建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著  
A5判 474頁 税込6,300円 送料340円

### 建設工事の地質診断と処方

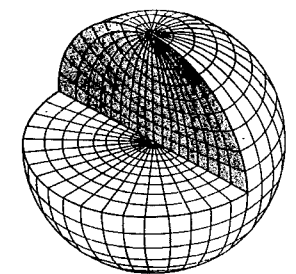
石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

### 岩盤地下空洞の設計と施工

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

### 山岳トンネルの新技术

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



### わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著  
B5判 286頁 税込6,116円 送料340円

### 岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著  
A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

### 地質工学概論

菊地宏吉 著  
B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

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

**FURUKAWA**  
ROCK DRILL



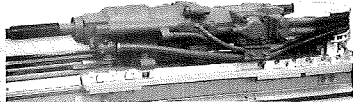
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と  
全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

**JTH2200R/3200R**

新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ  
工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

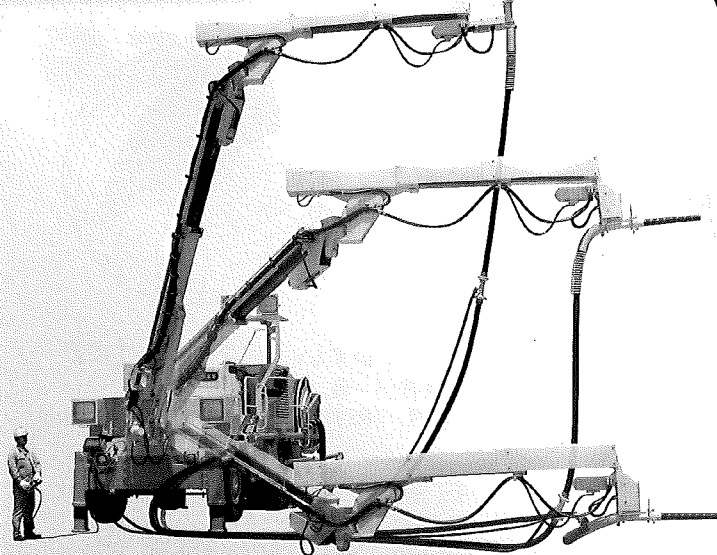
新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5トン	43トン
全長	14,270mm	14,760mm
全幅	2,690mm	3,140mm
全高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高さ	8.49m	8.84m

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)  
**CJM2200E-III**



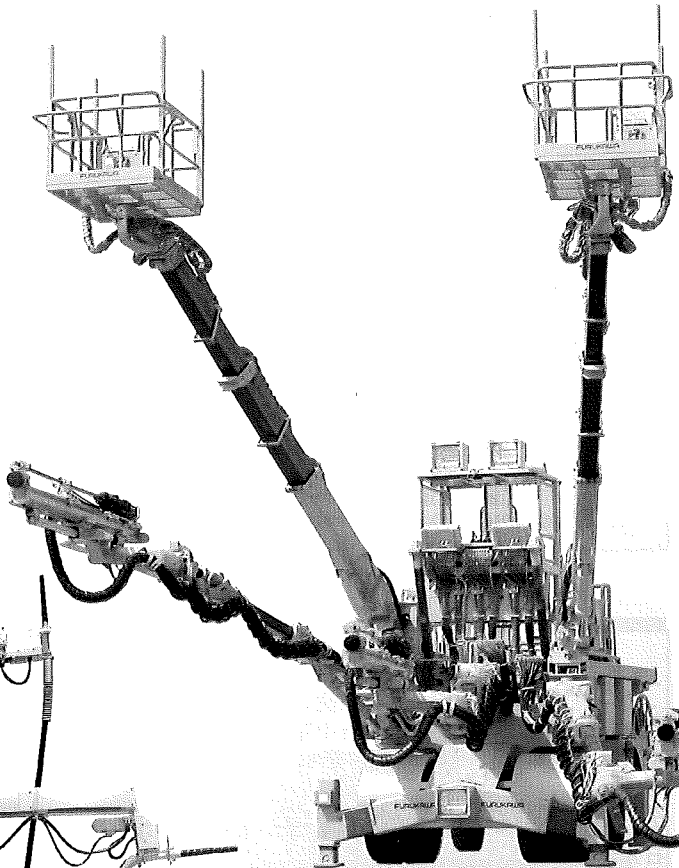
写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E-III 主な仕様

質量	22トン
全長	15,600mm
全幅	3,000mm
全高	4,000mm
吹付け範囲	
高さ×幅	10m×13.3m

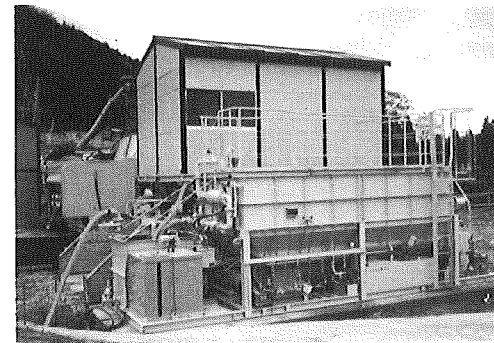
自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付け機です。

JTH3200R

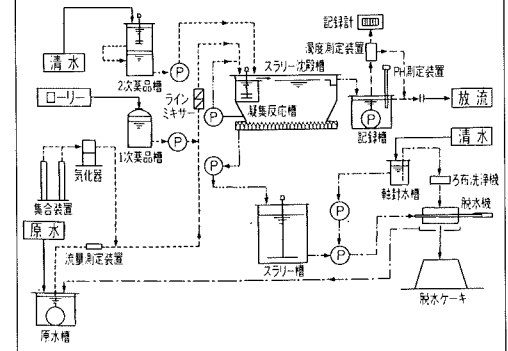


**TWS型シリーズ 濁水処理装置**

コンパクトながら  
大きな処理能力



フローシート (システム TYPE II)



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  
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

△古河機械金属グループ

**FRD 古河ロックドリル株式会社** <http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/>

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話: (03) 3231-6966  
札幌支店 011-861-3261 東北支店 022-384-8991 関東支店 027-322-5953 名古屋支店 0568-77-7700  
関西支店 06-6475-8221 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

### ■巻頭言

#### 土木技術者への期待

神原 裕一 .....5

### ■研究

#### 耐火型合成セグメントの火災時構造安定性に関する研究

足立 幸郎・藤井 康男・青山 哲也・川村 彰誉 .....41

### ■解説

#### 下水道シールド工法の改善と標準化の経緯

坂根 良平・高久 節夫・桐谷 祥治・守屋 洋一 .....51

### ■施工

#### 新吹付けシステムで低粉じん化を実現

—東北新幹線 八甲田トンネル折紙工区—

木村 裕俊・綿貫 詠一・橋高 豊明・安井 啓祐 .....7

#### 発破技術のIT化と新支保による大断面施工の効率化

—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 .....17

#### 半蔵門線渋谷駅をアンダーピニングして新駅を構築

—東京メトロ副都心線—

高橋 聡・小川 和久・林 宏延 .....31

### ■連載講座

#### シールド工事の施工に関するQ&A(2)

JTA都市トンネル小委員会 .....59

### ■現場だより

#### 「歴史の要衝地」佐敷より

平岡 元 .....16

### ■資料

#### トンネル千夜一夜(32)

小野田 滋 .....28

#### 土木情報

編集部 .....30

#### トンネルジャーナル

編集部 .....50

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....70

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....71

#### 海外文献速報

JTA国際委員会 .....74

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....78



## コンパクトシールド工法 (平成14年度土木学会技術開発賞受賞)

コンパクトシールド工法研究会 事務局

〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティB棟  
株式会社大林組 東京本社 土木技術本部内

TEL: 03-5463-9632 FAX: 03-5463-9633

E-mail: compact@compact-shield.com

URL: http://www.compact-shield.com

幹事長 中村 隆良

#### 【表紙説明】



新吹付けシステムで低粉じん化を実現  
—東北新幹線 八甲田トンネル折紙工区—

東北新幹線八甲田トンネル折紙工区の斜路は、開業後の保守用連絡通路として使用する  
ため、非鋼繊維入りの吹付けコンクリートで補強することとしたが、本坑での軌道関  
連工事と競合し、坑内環境の悪化を防止するため施工方法の検討が必要であった。

このため、エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤供給装置を汎用台車に搭載した  
一体型吹付け装置による吹付け工法(ALSS吹付け工法と称す)を開発し、粉じん発生量  
の少ない良好な作業環境を実現した。写真は、ALSS吹付け工法による坑内状況である。

(写真提供: 鉄道・運輸機構)(本文7頁参照)

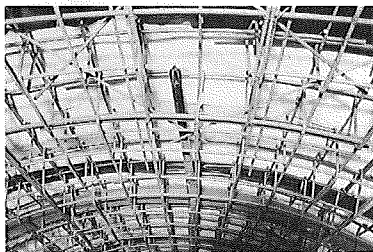
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

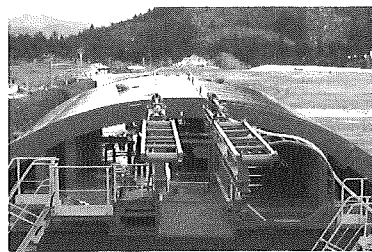
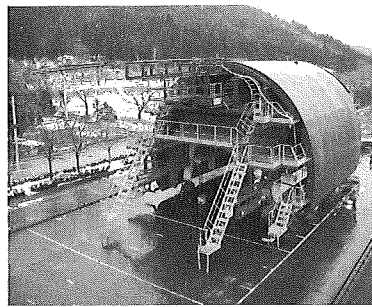
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



### 効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。



**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO.,LTD

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

本社営業部 (058) 323-2001  
東京支店 (03) 3262-1285(代)  
仙台営業所 (022) 259-2239  
九州営業所 (092) 713-5265

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

## 会誌 W G 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〕

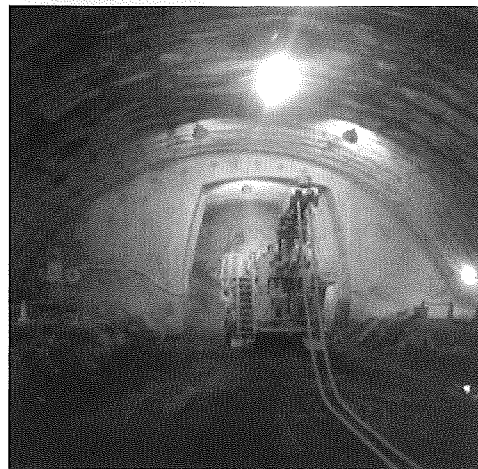
伊 藤 範 行 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 グループ長	端 則 夫 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長	濱 建 介 株式会社アオバ取締役会長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 尾 勝 弥 飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長
鈴 木 明 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部部长	山 田 隆 昭 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長役
長 島 芳 雄 株式会社竹中土木常務取締役技術・生産本部長	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	山 口 啓 二 株式会社熊谷組代表取締役副社長
西 松 裕 一 東京大学名誉教授	

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



## 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: 日本範機株式会社)

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6番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東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6番地2 TEL 059-234-4111

## 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

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)

高橋 良文

東京都下水道局技術開発担当部長

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〕

木谷 日出男

財団法人鉄道総合技術研究所  
防災技術研究部部長

坂根 良平

東京都下水道局建設部設計調整課長

佐山 順二

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

清水 満

東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所  
立体交差課長

田村 聡志

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

西村 聡

東京地下鉄株式会社建設部  
新宿工事事務所所長

野邑 敏行

東京都交通局建設工務部計画改良課長

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)

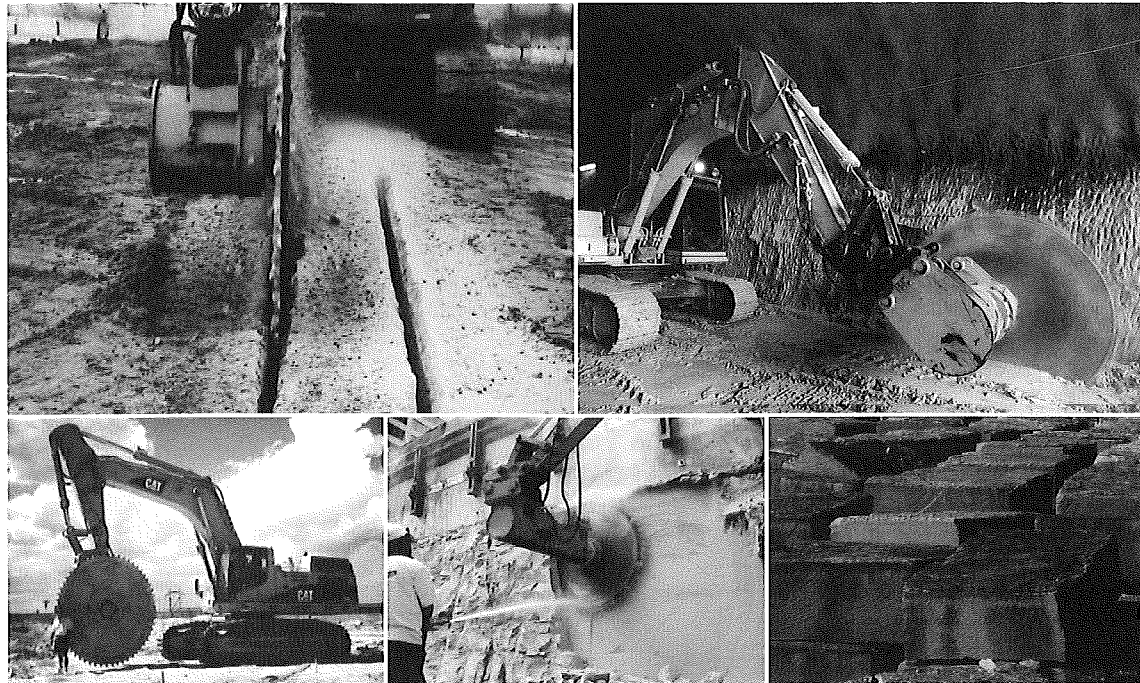
山田 隆昭

株式会社高速道路総合技術研究所  
道路研究部トンネル研究担当部長役



# Rock Saw

Denver, U.S.A.



- ① ロックソーは巾75mm、深さ0.35~1.52mの硬岩細溝切削用カッターです。
  - ② 油圧ショベルに取り付け、その油圧源で駆動します。カッター出力55hp、500hpの2種類があります。水平、垂直方向、油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます。
- ロックソーに関するお問い合わせは下記連絡先まで。  
webサイトもご訪問下さい(www.rocktoolsinc.com)

## 岩盤切削用 C P C ビット

(シー) (ピー) (シー)

- ① ビット先端の超硬チップは炭化タングステン(WC)とコバルト(Co)の焼結合金です。
- ② ビット損耗の主なるものに超硬チップの破損と磨耗があります。チップは
- ③ WC粒子が大きいと耐破損強度は大きくなるが耐磨耗性能が低くなり、  
Co含有量が少いと硬く耐磨耗性能が高くなるが耐破損強度は小さくなる、  
WC粒子、Co量の組み合わせにより最良最適ビットが出来上がります。
- ④ WC粒子には、細粒、中粒、粗粒、超粗粒があります。商業ベース的には粗粒が限度でした。
- ⑤ CPCは商業ベースで供給出来る超粗粒WCの開発に成功しました。
- ⑥ WCの主要産出国は中国です。China Pacific Carbideは米国に本社、中国に生産拠点を置く超硬合金メーカーです。

ビットに関するお問い合わせは下記連絡先まで。

(連絡先) **オオヤマ & Co.**

〒121-0813 東京都足立区竹の塚1-27-9

TEL/FAX: 03-3885-0864 E-mail: ohyama2630@lake.ocn.ne.jp

掲載頁  
7

### 新吹付けシステムで低粉じん化を実現 —東北新幹線 八甲田トンネル折紙工区—

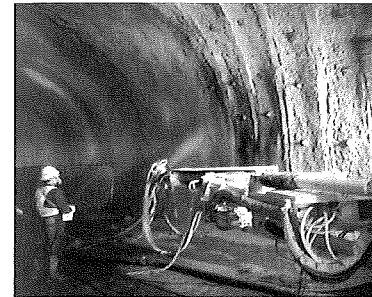
鉄道・運輸機構 木村 裕俊

東北新幹線八甲田トンネル折紙工区の斜路は、将来とも保守用連絡通路として使用するため、非鋼繊維入りの吹付けコンクリートで補強することとした。作業にあたっては、本坑内での軌道関連工事と競合し、坑内環境の悪化を防止するため施工方法の検討が必要であった。

本稿では当該工事の概要とともに、エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤供給装置を汎用台車に搭載した一体型吹付け装置による吹付け工法(ALSS吹付け工法と称す)の施工概要と、通常のエア吹付けとの比較でわかった粉じん発生量の低減効果などについて報告するものである。

#### Implement Low Dust Generation in a New Shotcrete System—Tohoku Shinkansen Hakkoda Tunnel Origami Section—

By Hirotohi Kimura, Japan Railway Construction, Transport, and Technology Agency



写真はALSS吹付け工法

It was decided to reinforce the working inclined drift for Origami section of the Hakkoda tunnel in the Tohoku shinkansen with steel-fiber shotcrete, as it will be used as a service tunnel in the future. This work conflicted with the track work, and hence it was necessary to consider a construction method to prevent worsening of air quality in site.

In addition to an overview of this section, this article also provides an overview of the new shotcrete system (also known as ALSS) using a spray device combined with slurry setting accelerator delivery and airless spray system mounted on a multi-purpose carriage, and reports on the reduced dust generation as compared to the normal shotcrete.

掲載頁  
17

### 発破技術のIT化と新支保による大断面施工の効率化 —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) 奥隅 豊栄

第二名神高速道路甲南トンネル下り線工事は、TBM導坑先進幅掘削工法を採用し、φ5.0m TBM導坑の先行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3パターンに効率的支保2パターンと地質不良部の1パターンを加えた6パターンを設計し、支保パターン判定基準を定めて幅掘削した。また、安全、安心、快適な切羽作業環境創造のための施工技術のIT化と機械化を進め、大断面トンネルを安全、高効率に施工した。

本稿では、TBM導坑先進幅掘削工法の有効性、結晶質岩における効率的支保構造系の支保効果と力学的安定性および挙動特性が判明し、切羽作業の機械化、情報化施工技術の有効性が示されたので報告する。

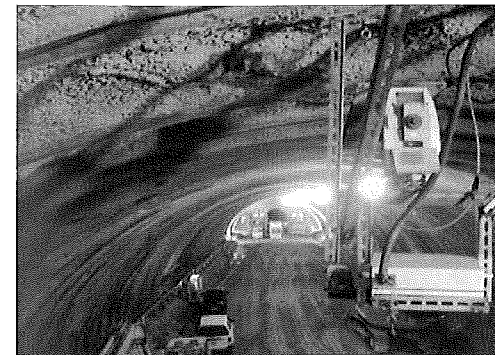
#### Smart Blasting Technology and Efficient Excavation of Large Cross-section with a New Supporting—Konan Tunnel Outbound in Second Meishin Expressway—

By Toyohide Okuzumi, West Nippon Expressway Company Limited

The Konan tunnel outbound construction in Second Meishin expressway adopts TBM pilot drift excavation methodology. We reflected the geological information obtained by the pilot drift of φ5.0m TBM into the

reaming plan, and designed supportings of 6 patterns—three patterns of standard support, two patterns of effective support, and one pattern for unsuitable soil, and excavated by following the support pattern decision standards. Also, we promoted the use of IT and machines in the construction activity of the cutting face works in a safe manner, and constructed the large cross-section tunnel safely and efficiently.

This article reports about the effectiveness of TBM pilot drift excavation methodology, support efficiency, the behavioral characteristics and the mechanical stability of effective support structure in crystalline rock, and also on the effectiveness of mechanization and promoting IT on the cutting face works.

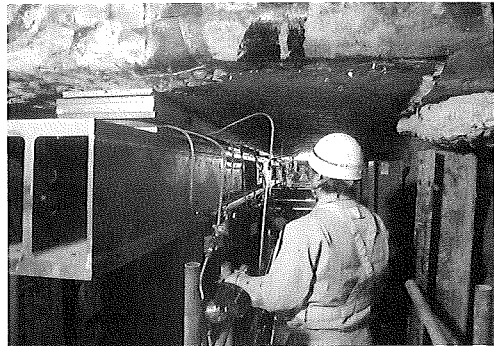


写真は三次元自動測量・計測システムの目

東京地下鉄(株)は、現在地下鉄副都心線(池袋～渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており、平成20年6月の開業を目指している。渋谷駅は、将来相互直通運転を行う東急東横線との接続駅であり、2面4線のホームを有し、構築最大幅36m、平均掘削深31mの大規模な駅となる。当駅は地下鉄半蔵門線と交差するため、アンダーピニングを必要とする。同時に、乗換えの利便性を考慮した連絡通路を施工した。半蔵門線のアンダーピニングは下受け桁+支持杭方式で行い、連絡通路工事は鋼製導棒に直接荷重を負担させる方式を採用した。本稿では、二つの異なる下受け工の施工結果を紹介するものである。

Construction of a New Station by Underpinning Shibuya Station on Hanzomon Line - Tokyo Metro Fukutoshin line -

By Satoshi Takahashi, Tokyo Metro Co., Ltd.



写真はプレロード状況

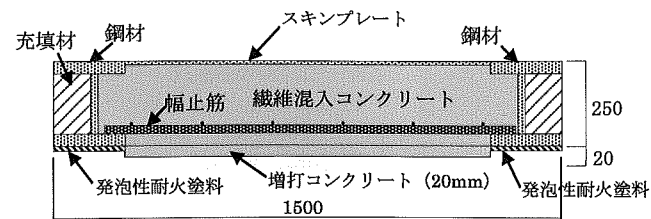
Tokyo Metro is constructing Fukutoshin line (8.9 km between Ikebukuro and Shibuya), and aims to start service in June 2009. Shibuya station is a connecting station with Tokyu Toyoko line, with which direct operation is planned in the future, and it is expected to be a large-scale station with 2 platforms and 4 tracks, maximum width of 36 m and average excavation depth of 31 m. Since this station intersects under Hanzomon line, underpinning was essential. We also constructed a walkway considering the convenience of transfer. Underpinning of Hanzomon Line was done with beams and bearing pile, and for the walkway we adopted a method of directly loading on steel box shells for pilot drifts. This article introduces the construction result of two different underpinnings.

阪神高速道路(株)、清水建設(株)、新日本製鐵(株)の三社はセグメント自体が耐火性能を有する耐火型合成セグメントを対象とし、解析および実大実験によって火災時のトンネル全体の構造安定性に関する研究を共同で行った。解析は非定常熱伝導解析およびその結果を用いた材料物性の温度依存性を考慮した弾塑性変形解析を行った。実験は実大規模の供試体を使用し、火災時の部材内部温度変化による部材膨張と閉構造であるトンネルの構造的拘束に起因する付加断面力を再現できる載荷荷重制御を実施した。この結果、解析および実験により、耐火型合成セグメントは火災時および火災後もトンネル構造の安定性を保有することを確認できた。

Research Regarding Structural Stability of Fire-Resistant Composite Segment in Fire

By Sachio Adachi, Hanshin Expressway Company Limited

Hanshin Expressway Corp., Shimizu Corp., and Nippon Steel Corp. conducted a joint research regarding the structural stability of the entire tunnel in fire, targeting fire-resistant composite segment where the segment itself was fire resistant, through analysis and full-scale experiments. We conducted elasto-plastic deformation analysis considering temperature dependency of the materials using non-constant heat conduction analysis and its result. For the experiment, we used a full-scale test specimen, and applied load of reproduced section force originating from the structural constraints of the tunnel, which is a closed structure, and the expansion of materials as a result of changes in the internal temperature of the materials in fire. As a result, we could confirm that fire-resistant composite segment supports the structural stability of the tunnel in fire and even after it.



図は耐火型合成セグメント構造概要図

東京都下水道局の主要枝線工事に用いているシールド工法は、現場ごとにシールドやセグメントを製作し、現場打ちコンクリートによる二次覆工を施工している。このため、施工に多額の費用と長時間を要している。

そこで、これらのシールド工法の施工条件や現状のシールド技術の見直しを行い、コスト縮減と工期の短縮を図る改善を行った。

改善内容は、今後東京都で使用が多いと思われる仕上がり内径2,600mm以下の中小口径シールドの必要条件を整理・検討して標準化を図り、転用使用が可能な「コンパクトシールド工法」と、それに用いる4分割3ヒンジ溝付インバート構造のセグメントを開発し、実用化した。また、従来の標準コンクリートセグメントにセグメントと同一品質の防食層500mmを付加した二次覆工一体型セグメントも開発して実用化した。

本稿は、これらの見直しと改善に伴う実験などの技術報告と試行工事の内容である。

Process of Improvement and Standardization of Sewerage Tunnels by Shield Method

By Ryohei Sakane, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

In the main branchline construction project by the Bureau of Sewerage, the shield and the segment are produced for each project, and secondary lining is done using cast-in-place concrete. For this reason, the construction requires a huge cost and a long time.

Hence, we reviewed the current shield tunnelling technology and construction conditions of the sewerage tunnels, and made improvements considering reduction in cost and time.

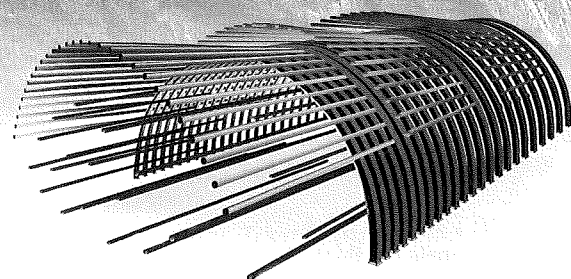
We examined the requirements for sewerage shield tunnels with the finished internal diameter less than 2,600 mm, the usage of which is expected to increase in Tokyo, and standardized them, and developed and applied reusable "compact shield method", and lining system composed of one grooved invert segment and the other three segment connected with three hinged and one fixed used for it.

This article consists of the technical reports of the experiments and trial construction during development.



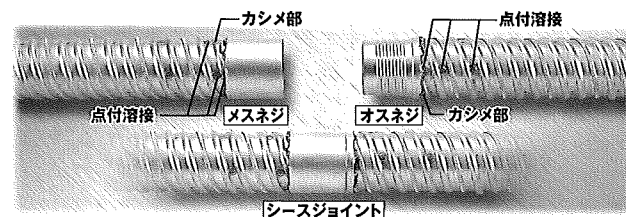
写真はコンパクトセグメントの搬送と仕上がり状況

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



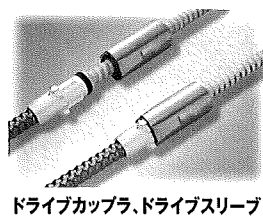
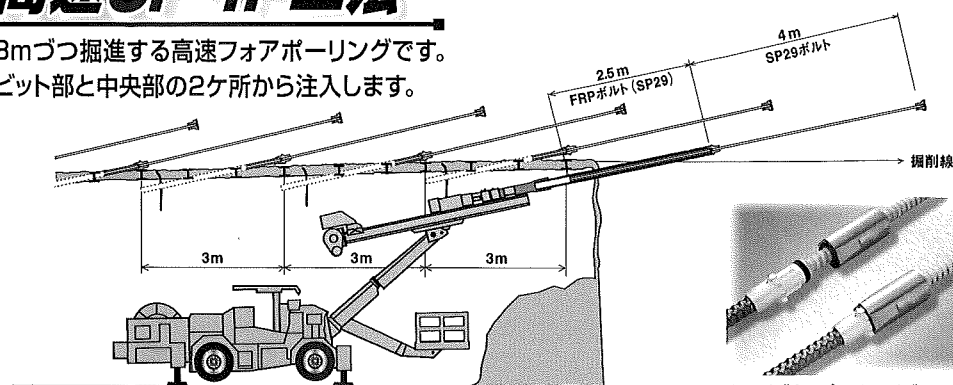
## FIXチューブ工法

※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。

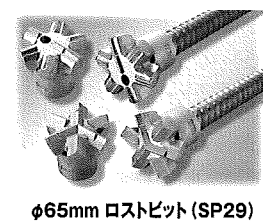
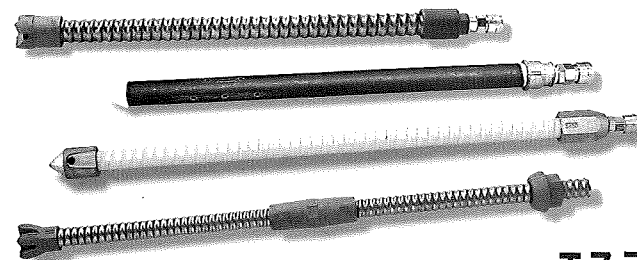


## 高速SP-IF工法

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



## 自穿孔ボルト&注入管



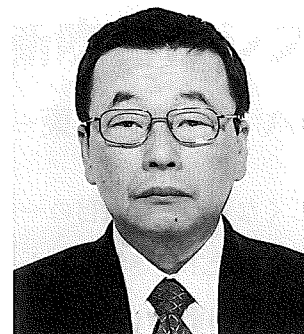
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

**STE**  
**エステ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

## 土木技術者への期待



(株)奥村組代表取締役副社長執行役員(本協会理事)

神原 裕一

最近の公共工事の入札は、総合評価落札方式で発注される工事が増え、価格と品質の両面で優れた技術提案が実施され、同時に環境面への配慮やリサイクルなど省資源への配慮、さらには建設される構造物の耐久性向上による維持管理費の削減など、多様なニーズを満たすことが以前よりもますます重要視されている。

山岳トンネル工事における総合評価落札方式では、覆工コンクリートの品質確保や耐久性向上、施工に伴う騒音・振動・排水などの環境対策や資機材運搬時の交通の確保や安全対策などの課題が、都市トンネル工事では、合理的な断面、急速施工、周辺環境の保全などが技術的な課題として取り上げられる。これらに対して、入札する企業は、これまでに培ってきた技術やノウハウを駆使し、優れた技術提案を行った業者が評価される。このような技術競争により、構造物の品質の向上、工事周辺環境の改善、工期の短縮、コスト低減などが可能となり、優れた技術力を有する企業の社会的評価が向上することが期待できる。一部で、求められる技術性能以上の過剰な技術提案をせざるを得ない場合も見られるが、いずれにせよ、工事の受注と実施に際して、技術力の重要性がますます高まっていることは確かである。

一方、入札価格の面では、最近、少し平静さを取り戻したものの、予定価格を下回る低入札工事が増えており、現場に従事する土木技術者には、品質、工期、安全、環境面の管理に加え、より厳しい原価管理が求められている。低入札のしわ寄せの大部分が現場に振り向けられ、現場技術者の負担は従来に比べ大幅に増え、厳しい状況の中で日々悪戦苦闘しているのが現状であろう。現場技術者には、母店から十分な支援を行ったうえで、困難な状況を克服し、さらにレベルアップした土木技術者に育って欲しいと切に願っている。

さて、これまでの技術を支えてきた団塊の世代が今年から大量に定年を迎え、2007年問題としてクローズアップされている。今後数年の間に団塊の世代が続々と定年退職し、豊富な

経験と高度な技術力を有する技術者が減り、技術の向上・継承が難しくなることは衆目の一致するところである。また、大学の理工系学部の人気が低迷し、さらには土木関連学科からのゼネコンへの就職希望者も減少傾向にあると聞いている。このような状況下で、厳しい施工条件の工事をスマートに遂行できる有能な土木技術者の確保と育成が、これからの大きな課題であり、この課題の解決なくしては業界あるいは企業の発展はあり得ない。

そのための効果的な解決策と言われれば難しいが、土木技術者としてゼネコンに身を投じた立場から2～3の思いを述べたい。

第一に有能な人材を確保しなければならない。そのためには、建設業に従事する技術者の苦勞が十分評価され、諸々の面から報われる体制を築き、建設業技術者としての社会的評価の向上を図ることが必要であろう。欧米ではシビルエンジニアの評価はかなり高いと聞いている。また、建設技術者が魅力ある仕事であることを若い世代に積極的にPRすることも必要と考える。

第二に、建設業の若手技術者に対する技術継承が重要である。最近では、若手技術者が現場にでる機会が少ないか、または回避する傾向も見られる。しかし、土木の基本は現場であり、トンネルであれば、切羽に立って地質を見ながら地道な努力を重ねることが大切であり、このことを若い世代に伝えるべきである。また、熟練技術者の暗黙知をできる限りマニュアル化することも必要であり、定年後の団塊の世代が若手技術者へアドバイスする制度も有効と思われる。

第三に、若い技術者のモチベーションをいかに高めるかである。若い技術者同士で失敗談などを含めてざっくばらんに意見交換を行う場があってもいいのではないのか。最近、建設業界は生き残りを懸けた厳しい競争下にあり、技術情報の交換や技術交流にやや消極的になる雰囲気が感じられる。しかし、建設業界の発展を考えればお互い意見交換して相互の技術力を高めることも意義あることではないだろうか。本協会では、若手技術者の交流の場を設けており、今後ともこのような輪が広がることを期待したい。

## 施工

# 新吹付けシステムで低粉じん化を実現

—東北新幹線 八甲田トンネル折紙工区—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局技術管理課長 木村 裕 俊

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局技術管理課 綿貫 詠 一

(株)奥村組技術本部東京土木技術部山岳トンネル・ダムグループグループ長 橋高 豊 明

(株)奥村組東北支店土木部課長代理 安井 啓 祐

## 1 はじめに

山岳トンネル工事では、吹付けコンクリート作業時の粉じん発生量を抑制し、坑内の作業環境を改善することが技術課題であり、各分野で技術開発がなされている<sup>1)~3)</sup>。それらの中で、圧縮空気を使用しないエアレス吹付けシステムとスラリー急結剤供給装置の融合を図る技術開発も進められており、粉じん発生量やコンクリートはね返り量の低減効果、および施工性や品質の改善といった課題についても報告されている<sup>4)</sup>。

東北新幹線八甲田トンネル折紙工区の斜路は、新幹線開業後の保守用連絡通路として使用するため、壁面補強と剝離防止を目的として非鋼繊維補強吹付けコンクリートを計画した。本坑内での軌道関連工事と作業が競合し、吹付け工事の粉じんによる坑内作業環境の悪化を防止するため、施工方法の検討が必要となった。

このため、施工性を配慮して吹付け作業工程を確保しつつ、粉じん発生量を抑制した作業環境を実現することとした。そこで、エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤を組み合わせる自走式台車に搭載した一体型吹付け機械(以下「ALSS一体型吹付け機」と称す)を開発し、当該工事に適用した。その結果、粉じんの少ない良好な作業環

境下で、計画どおり作業を進めることができた。

本稿では、当該工事の概要、ALSS吹付け工法の概要と通常の圧縮空気による吹付け工法(以下「エア吹付け工法」と称す)と比較した粉じん発生量の低減効果などについて報告するものである。

## 2 工事概要

東北新幹線八甲田トンネルは、八戸・新青森間のうち青森県七戸町から同青森市までの全長26km455mの長大トンネルで、陸上複線トンネルとしては世界最長となる。工区は6工区に分割して発注され、折紙工区は八戸方から第4番目に位置する。工事用運搬通路としての折紙斜路の交点か

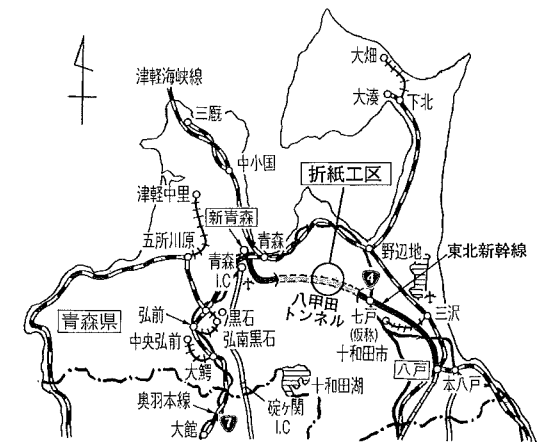


図-1 現場位置図

ら八戸方に3,100m, 新青森方に1,300m, 合計4,400mの延長である。起点側工区境付近が八甲田トンネル全体の勾配サミットとなっており工区全体が新青森方へ向かって1.0%の下り勾配となっている。図-1に八甲田トンネルの位置図を、図-2に折紙工区の概要図を示す。

斜路延長は1,331.8mと八甲田トンネルではもっとも長い斜路となっている。並行する県道から折

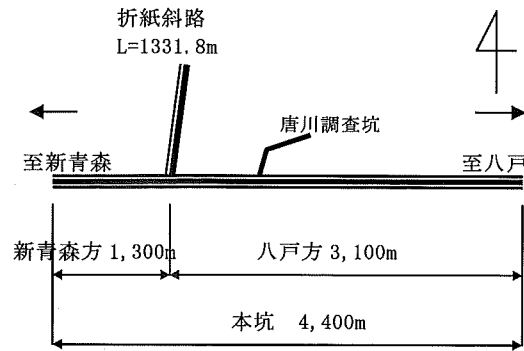


図-2 折紙工区概要図

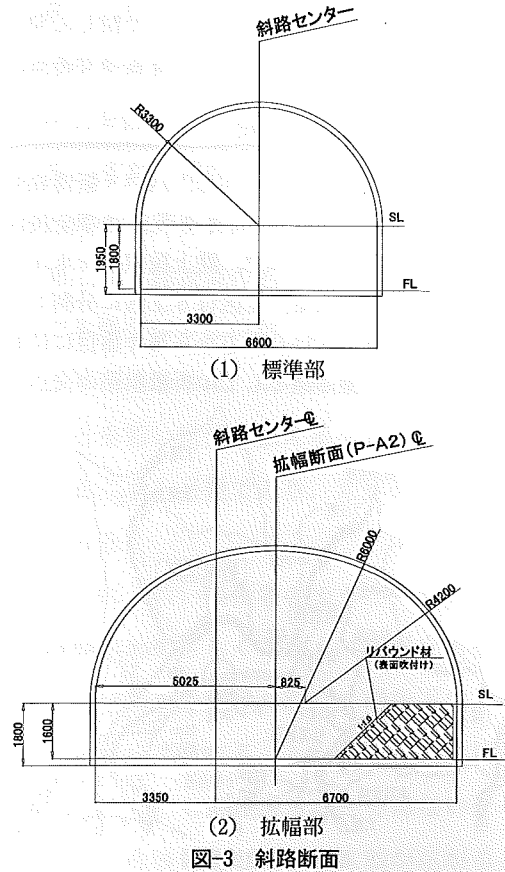


図-3 斜路断面

紙斜路坑口までの利便性に優れ、斜路坑口から本坑へ向かって1.1%と比較的緩やかな下り勾配である。

この工事は、湧水を側壁下部へ集める導水工と非鋼繊維補強吹付けコンクリートからなり、湧水箇所にあらかじめドレーン材と金網を敷設したのち、厚さ10cmの非鋼繊維入り吹付けコンクリートを施工するものである。

一方、新幹線工事全体の工程確保のため、軌道関連工事にも着手する必要があるため、斜路壁面補強工と本坑の軌道関連工事とを同時期に施工する計画とした。そこで、良好な作業環境を確保するため、粉じん発生量を抑制するための対策が課題となった。また、建設廃棄物の排出抑制を目的に本工事で生じたはね返り材(リバウンド材)を工事用待避所に安全に積み置くこととした。

図-3に折紙斜路の標準部断面と待避場所である拡幅部断面を示す。

### 3 ALSS吹付け工法の概要と導入経緯

#### 3-1 エアレス吹付けシステム

エアレス吹付けシステムは、吹付け機製作メーカーがすでに開発を進めている技術である。図-4に示すように、ポンプ圧送されたコンクリートをコンクリート投入管

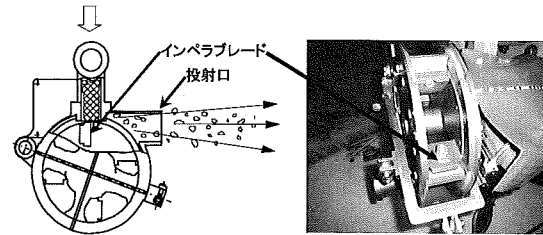


図-4 インペラヘッドと回転部

表-1 エアレス吹付けシステムの仕様

項目	規格・寸法
定格 投射量	16m <sup>3</sup> /hr
インペラブレード実用回転数	2,000r.p.m
インペラ径	300mm
投入管径および投射口寸法	65mm, 80×104mm
駆動用油圧ユニット	油圧ポンプ55kW

インペラヘッド内部にある羽状のインペラブレードの回転打撃力で投射するものである。本システムの主な仕様を表-1に示す。

#### 3-2 スラリー急結剤

スラリー急結剤は、専用の粉体急結剤を圧縮空気でスラリー化ノズルに圧送し、水と混合して連続的にスラリー化する。スラリー化ノズル通過後Y字管でコンクリートと合流し、吹付けられる。スラリー急結剤とコンクリート合流部を図-5に示す。

また、プラントであらかじめコンクリートに急結剤を添加・混合することで、ゲル化時間とゲル状態保持時間を調整し、付着急結性と強度発現を確保するとともに、スラリー化を促進して、粉体の拡散を抑え、粉じん量を低減させる。

#### 3-3 二つの技術の組み合わせと課題

エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤の組み合わせとしては、すでにマニピュレータ先端にインペラヘッドを取り付けた吹付けロボット、コ

ンクリートポンプ、油圧ユニット、急結剤供給装置などが単独で試験施工が行われ、粉じん量やはね返り量の抑制効果が確認されている。

今回、斜路壁面補強工の実施にあたって、エアレススラリー吹付けシステムに着目したものの、この分離タイプをそのまま使用した場合、各装置を搭載した台車の数が多く、準備・片付けが煩雑となる。

軌道関連工事との輻輳による作業時間の制約からも、より機動的で取り扱いやすい機械に改造する必要があった。また、将来大断面トンネルの掘削切羽に応用できるようにするためには、関係するすべての装置を自走式の汎用台車に搭載した新たな一体型吹付け設備の開発・製作が不可欠であると判断した。これら二つの技術を組み合わせた設備を図-6に示す。

#### 3-4 ALSS一体型吹付け機の開発

平成18年6月以降、分離タイプの実証実験を再度実施し、粉じん発生量の低減効果が大きいこと

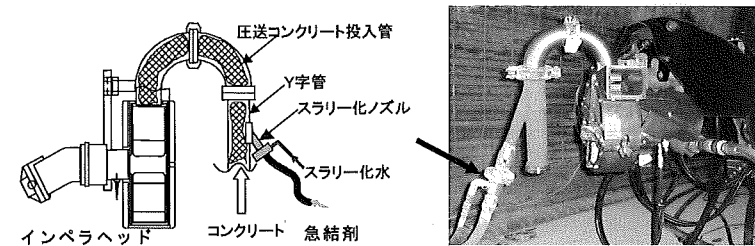


図-5 コンクリート投入管部

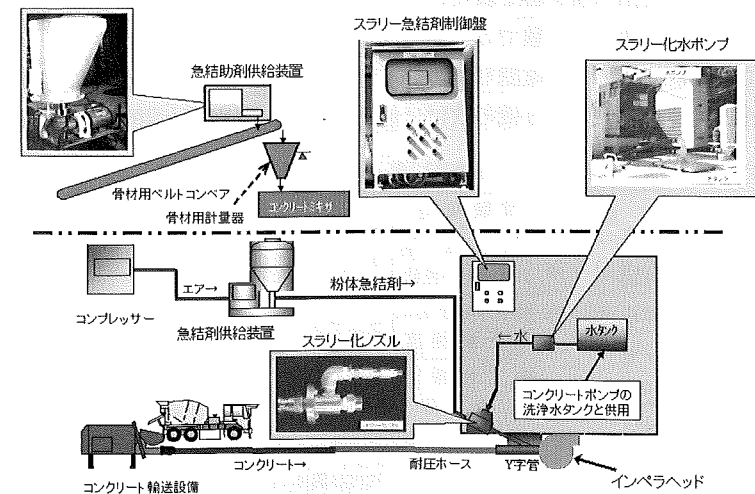


図-6 エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤の組み合わせ(機器分離)

を再確認した。今回得られた知見を改良に生かせば、既設斜路での吹付け工事はもとより、大断面トンネルの掘削切羽でも使用が可能になるシステムであると考え、製作に着手した。写真-1に製作したALSS一体型吹付け機の全容を、表-2に各機器名称を示す。

各設備の改良点とそのねらいを以下に示す。

#### (1) 吹付け作業可能範囲の拡大

アーチ部、左右の側壁、脚部、鏡面、鋼製支保工の背面への吹付けが可能になるようマニピュレータ部を改造した。

#### (2) インペラヘッドほかへの負担軽減

マニピュレータ先端付近にスラリー化用のホースやノズル類

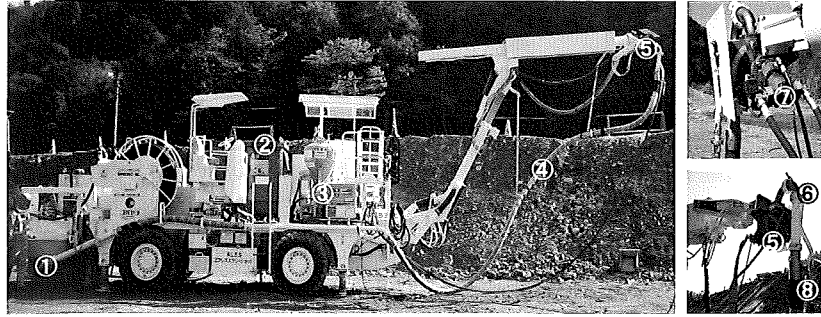


写真-1 ALSS一体型吹付け機

が集中することから、将来トンネル切羽での使用を想定し、損傷要因を取り除くこととした。

コンクリートで充満したホース重量がインペラヘッドに過度な負担を与えることを防止するため、ブームの機械的耐久性を増したうえでホースをブームから吊り下げた。

インペラヘッドへのコンクリート投入管を自在に回転できる構造とした。

(3) 台車への各装置の配備

使用した汎用台車は、エア吹付け工法で一般に使用されている台車と同じで、通常搭載しているコンプレッサに代えてインペラ駆動用油圧ユニットを搭載した。スラリー化のための制御盤や水ポンプ、供給装置も配備し、制御盤へのアクセスを可能にした。

(4) 付着急結性と強度発現性の確保

スラリー急結剤の添加量をコンクリートの吐出量に合わせて自動調整し、急結剤の凝結時間を考慮してスラリー化ノズルとY字管の位置・形状を調整することで、安定した付着急結性と強度発現性を発揮できるようにした。

(5) 安全装置の強化

インペラヘッドは毎分2,000回と高速回転するため、インペラヘッドカバーの不測の開放や目詰まり清掃時の誤作動により大きな事故につながる可能性がある。その対策として、インペラヘッドカバーのわずかな開きや閉塞時の過度な圧力により自動的に回転を停止させるセンサーを配備し検知できるようにしたほか、コントロールボックスでも緊急停止できる二重の安全機能を備えた。

(6) 圧送距離の短縮

今回は、非鋼繊維を混入した初めてのケースであることから、コンクリートの目詰まり防止対策として、コンクリートポンプからインペラヘッドまでのコンクリートホースの延長を極力短くし、スムーズに圧送できるようにした。

表-2 機器名称

番号	機器名称
①	コンクリートポンプ
②	油圧ユニット
③	急結剤供給装置
④	コンクリートホース
⑤	インペラヘッド
⑥	コンクリート投入管
⑦	インペラ駆動用油圧モータ
⑧	スラリー化ノズル

4 適用確認試験

4-1 試験目的

施工に先立ち、折紙斜路の坑口ヤードで適用確認試験を実施した。試験内容はALSS吹付け工法でのコンクリートの品質と仕上がりを確認するとともに、粉じん発生量やはね返り量についてエア吹付け工法と比較し、その優位性の確認も行った。

4-2 試験項目および内容

今回実施した適用確認試験の試験項目および内容を表-3に示す。吹付けコンクリート圧縮強度試験では、24時間後および7日後、28日後の強度を確認した。施工性確認試験は、ALSS一体型吹付け機の吹付け能力の確認、吐出量と急結剤添加量

表-3 試験項目および内容

試験項目	内容
フレッシュコンクリートの性状	スランプ, 空気量, 温度測定
吹付けコンクリート圧縮強度	ブルアウト試験, コア供試体圧縮強度試験
施工性確認(定性評価)	脈動の有無, 急結剤の混合状態, 付着性状の目視観察
はね返り率	コンクリート, 非鋼繊維のはね返り率測定
粉じん発生量	吹付け箇所から50m後方で粉じん濃度測定

の安定性の評価、急結剤の性能評価をねらいとして実施した。斜路坑口ヤードでの確認試験の状況を写真-2に示す。

4-3 使用材料と実施配合

表-4に試験に使用した材料を、表-5に実施配合を示す。非鋼繊維の混入率は、壁面補強への適用に配慮して体積換算1%(9.1kg/m<sup>3</sup>)とした。配合決定にあたり、所定の強度発現とトラブル防止

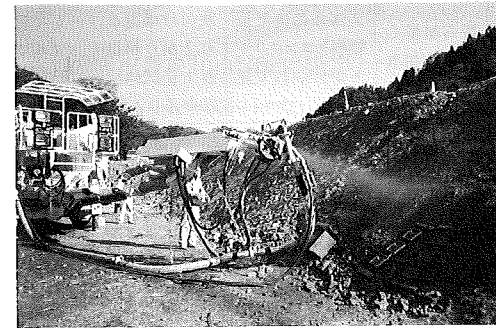


写真-2 斜路坑口前ヤードでの確認試験

表-4 使用材料

材料(記号)	種類	備考
セメント(C)	普通ポルトランドセメント	密度=3.15g/cm <sup>3</sup>
細骨材1(S1)	つがる市屏風山産山砂	密度=2.61g/cm <sup>3</sup> , FM=2.05
細骨材2(S2)	青森市滝沢山産砕砂	密度=2.65g/cm <sup>3</sup> , FM=3.20
粗骨材(G)	青森市滝沢山産砕石	G <sub>max</sub> :13mm, 密度=2.70g/cm <sup>3</sup>
非鋼繊維(PPF)	ポリプロピレン製繊維	PP-1種, 密度=0.91g/cm <sup>3</sup>
急結助剤(SD)	デンカFTN-SD2	ALSS吹付け工法に使用
混和剤1(SP1)	高性能減水剤FTN-30	ALSS吹付け工法に使用
混和剤2(SP2)	AE減水剤WRDA-L15	エア吹付け工法に使用
練り混ぜ水	地下水	
急結剤1(US32)	デンカナトミックUS-32	ALSS吹付け工法に使用
急結剤2(T-5)	デンカナトミックTYPE-5	エア吹付け工法に使用

表-5 ALSS吹付け工法およびエア吹付け工法実施配合

配合	スランプ (cm)	W/C (1) (%)	W/C (2) (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )										急結剤 T-5 (kg/m <sup>3</sup> )	
					W	C	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	G	PPF	SD	SP <sub>1</sub>	SP <sub>2</sub>	US-32		スラリー化水
ALSS(430)	18±2	48.9	54.5	70.0	210	430	358	848	529	9.1	0.215	3.87	—	30.1	24.1	—
ALSS(400)	18±2	50.0	55.6	70.0	200	400	369	874	545	9.1	0.200	4.00	—	28.0	22.4	—
ALSS(380)	18±2	52.6	58.2	70.0	200	380	372	881	551	9.1	0.190	4.75	—	26.6	21.3	—
エア吹付け	15±2	58.3	58.3	63.0	210	360	329	779	664	9.1	0.200	—	3.60	—	—	25.2

※W/C(1):フレッシュコンクリートの水セメント比(スラリー化水の添加前)

※W/C(2):吹付けコンクリートの水セメント比(スラリー化水の添加後)

※配合欄の( )内の数字は、単位セメント量を示す。単位は、kg/m<sup>3</sup>。

のため次の点に留意した。

- ① 非鋼繊維の混入による目詰まりを回避するため、スランプを18cmとした。
- ② 単位セメント量430kg/m<sup>3</sup>を標準とし、これよりセメント量の少ない2ケースと合わせて3ケースとした。なお、同430kg/m<sup>3</sup>のケースをALSS(430)、同400kg/m<sup>3</sup>をALSS(400)、同380kg/m<sup>3</sup>をALSS(380)と称す。
- ③ エア吹付け工法のW/Cを超えない範囲で、ALSS吹付け工法のW/Cを調整した。
- ④ ALSS吹付け工法の場合の細骨材率(s/a)は、材料分離抵抗性に配慮してエア吹付け工法より高めに設定した。
- ⑤ 単位水量は200~210kg/m<sup>3</sup>程度に調整した。
- ⑥ ALSS吹付け工法の急結剤はセメント量の7%をスラリー化水と混ぜて添加した。急結助剤はコンクリート練り混ぜ時にセメント量の0.05%(急結剤の7%)を添加した。エア吹付け工法の急結剤添加量も、セメント量の7%として添加した。
- ⑦ ALSS吹付け工法での高性能減水剤の添加量は、単位セメント量が少なくなるのと反比例してセメント量の0.9, 1.0, 1.25%とした。
- ⑧ スラリー化水は、急結剤の重量比80%とした。

4-4 試験方法と試験結果

4-4-1 フレッシュコンクリート試験  
通常の現場試験と同様に実施した。

表-6 フレッシュコンクリート試験結果

配合	スランプ範囲 (cm)	試験結果			
		スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	外気温 (°C)
ALSS(430)	18±2	20.0	4.0	18.0	16.0
ALSS(400)	18±2	18.5	4.7	19.0	17.0
ALSS(380)	18±2	19.5	4.4	20.0	20.0
エア吹付け	15±2	15.0	4.7	12.0	16.0

表-7 吹付けコンクリート圧縮強度試験結果

配合	スランプ範囲 (cm)	W/C (1) (%)	W/C (2) (%)	強度試験結果 (N/mm <sup>2</sup> )		
				24hr	材齢 7日	材齢 28日
ALSS(430)	18±2	48.9	54.5	8.8	22.4	28.6
ALSS(400)	18±2	50.0	55.6	8.6	18.3	30.2
ALSS(380)	18±2	52.6	58.2	8.3	17.1	29.8
エア吹付け	15±2	58.3	58.3	8.6	22.8	27.9

スランプ・空気量は、それぞれ吹付け作業開始前に測定した。試験結果を表-6に示す。測定値は、スランプ・空気量ともに許容範囲内であり、コンクリート温度については打設時間の違いで差があるものの、評価には支障がないものと判断した。

4-4-2 吹付けコンクリート圧縮強度試験

吹付けコンクリート圧縮強度試験については、初期強度として $\sigma_{24hr}$ をJSCE-G 561「引抜き方法による吹付けコンクリートの初期強度方法(プルアウト試験)」にもとづいて試験した。長期強度については、JIS A 1107「コンクリートからのコアの採取方法及び圧縮強度試験方法」にもとづいて実施した。圧縮強度試験結果を表-7に示す。プルアウト試験による $\sigma_{24hr}$ では、いずれの配合においても、鉄道・運輸機構で定めている高品質吹付けコンクリートでの初期強度8N/mm<sup>2</sup>を上回る数値となった。また、 $\sigma_{28}$ はいずれも設計基準強度の18N/mm<sup>2</sup>を上回っており斜路壁面補強工へ適用は可能と判断した。

4-4-3 施工性確認試験(定性評価)

ALSS一体型吹付け機の性能、施工性の確認を行うこととした。それぞれの配合の吹付けにおいて、ノズル先端での脈動、急結剤の混合状態、付着急結性状について目視観察により確認した。定

表-8 施工性確認試験 定性的評価基準

評価	評価項目		
	脈動の有無	急結剤混合状態	付着急結性
○	コンクリートの吐出にむらがない	ノズルの先で急結剤の白筋が見えない	吹付けコンクリートの盛り上がり早く、プルアウト供試体採取時にピンが直ぐに埋没する
△	多少むらがある	多少急結剤の白筋が見える	吹付けコンクリートの盛り上がりは遅いが、プルアウト供試体採取は可能
×	むらが多くホースが激しく揺れる	ノズルの先で急結剤とコンクリートが分かれて見える	吹付けコンクリートに盛り上がりがなく、プルアウト供試体採取に時間がかかる

表-9 施工性確認試験 評価結果

配合	施工性評価結果		
	脈動の有無	急結剤混合状態	付着急結性
ALSS(430)	○	○	○
ALSS(400)	○	○	○
ALSS(380)	○	○	△
エア吹付け	○	△	△

性的な評価基準を表-8に、評価結果を表-9に示す。

ALSS(430)、ALSS(400)の場合は、いずれの評価項目も良好な結果を得た。しかし、ALSS(380)の場合、ベースコンクリートの急結剤添加量が相対的に少ないことから、材料がやや分離傾向にあり付着急結性に劣る状況が見られた。このほか、一体型吹付け機の制御盤に表示されたコンクリートポンプの面圧が比較的低い値で安定していたことやコンクリート吐出量がほぼ一定の値を示していたことから、いずれの配合でもコンクリートや急結剤が安定して供給されたことがわかった。

非鋼繊維の混入も安定しており、連続稼働しても無理なく作業できることを確認した。さらに、コントロールボックスの操作性については、従来のものと変わらない操作追随性を有することが確認された。

4-4-4 はね返り率試験

実施にあたっては、土木学会が推奨する試験方法(案)<sup>9)</sup>を参考に、以下の方法で実施した。

(1) コンクリートはね返り率

あらかじめ路盤に回収用シートを敷き、コンク

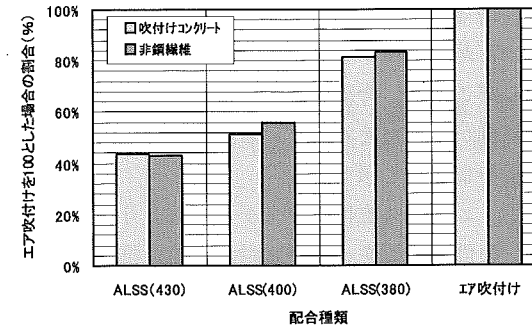


図-7 はね返り率試験結果

リートの吐出量を10m<sup>3</sup>/hrに設定して連続6分間(吹付け量計1.0m<sup>3</sup>)吹付けた。斜路坑内の吹付け対象箇所(天端・側壁)全周に吹付けて、はね返ったコンクリートを回収し容量を計測した。はね返り率は、回収したコンクリート容量をコンクリート実吐出量より求めた「コンクリート+急結剤」容量で除して求めた。

(2) 補強用非鋼繊維はね返り率

上記(1)で回収したコンクリートを水洗いして非鋼繊維を集め、乾燥後に計量した質量を実吹付けコンクリート量より求めた非鋼繊維の質量で除して、非鋼繊維のはね返り率を求めた。

(3) 試験結果

エア吹付け工法に比べて、単位セメント量が多くなるほど相対的にはね返り率が小さくなる傾向となっている。これはセメント量が多いほどコンクリートの粘性が大きくなり、急結剤の絶対量も増えるため付着急結性の効果が増したものと考えられる。ALSS(380)の場合は、セメント量が相対的に少なくはね返り率が高くなっている。これは、現場観察でもベースコンクリートで材料が分離気味であったことや付着急結性が劣っていたことを反映した結果と考えられる。図-7にはね返り率試験結果を示す。

4-4-5 粉じん濃度の測定

粉じん発生量の測定については、「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン」(厚生労働省が平成12年12月策定)で示された粉じん濃度等測定方法に準じて実施した。測定器は「光散乱式粉じん測定器(P-5L: 柴田科学)」を用

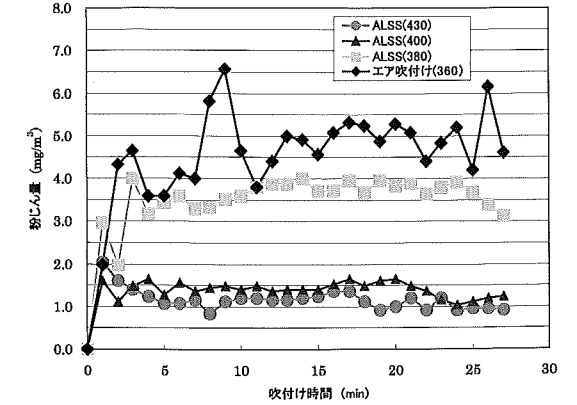
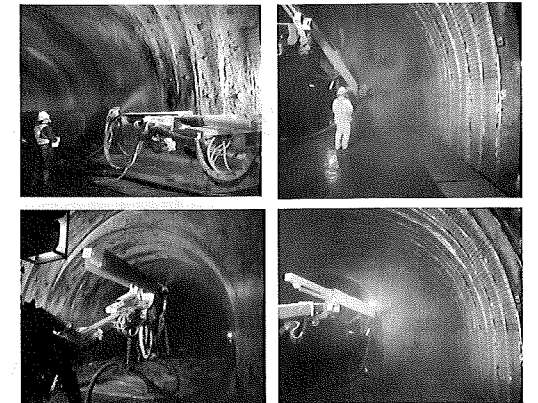


図-8 粉じん量測定結果(吹付け箇所から50m風下)

(1) ALSS吹付け工法 (2) エア吹付け工法



※(2)の壁面には、裏面湧水処理材が施してある。

写真-3 斜路内吹付け状況

い、質量濃度換算係数(K=0.04)を用いて粉じん濃度に換算した。試験を行った斜路内は本坑から軌道関係工事の車両が入りし、本坑と試験場所との間に隔壁を設けられなかった。そのため、自然換気状態で測定を行った。粉じん濃度の測定位置は吹付け箇所から風下へ50m離れた地点の中央1か所とした。測定時の風向はいずれも本坑から坑口方向であり、風速は1.0~1.6m/secとほぼ一定であった。

測定開始(作業開始)から3分程度の不安定な時間を除くと、ALSS(430)では0.8~1.4mg/m<sup>3</sup>、ALSS(400)では1.0~1.6mg/m<sup>3</sup>とエア吹付け工法に比べて粉じん濃度の低減効果大きいことがわかる。ALSS(430)とALSS(400)とはほとんど差はないが、単位セメント量の減少に伴って粉じん

濃度が増大する傾向が見られ、とくにALSS(380)ではALSS(400)に比べて粉じん濃度が大きく増加している。これは、単位コンクリート量に対するセメント量や急結剤量が少なかったため、その影響がでているものと考えられる。図-8に各ケースごとの粉じん濃度測定結果を示す。

また、ALSS吹付け工法は、エア吹付け工法に比べて時間経過による粉じん濃度のばらつきが少ない。これは、ALSS吹付け工法の方がエア吹付け工法に比べて、より安定して急結剤がコンクリートに混練され効果を発揮していると考えられる。

写真-3に試験実施時の坑内の状況を示す。ALSS吹付け工法では目視でもかなり粉じん発生量が抑えられていることがわかる。

## 5 折紙斜路での実績

折紙斜路の壁面補強吹付けコンクリートの施工は、平成18年9月下旬から12月初旬までの約2.5か月間で施工した。当初はエア吹付け工法で着手していたが、ALSS吹付け工法の適用確認試験を経て10月中旬より本格的に導入した。

ALSS吹付け工法に着手してから数回にわたり部品の不具合・電気系統の異常など比較的軽易なトラブルが見られたが、その都度改良を加えて使用し、大きな問題は発生しなかった。

また、折紙斜路は湧水量が多くその範囲も広いことから、付着性に劣る背面導水シートの面積が大きかった。当初計画では吹付けコンクリートの余吹き率が170%を超えると予測していたが、最終的には、総設計吹付け量2,060m<sup>3</sup>に対して3,020m<sup>3</sup>(そのうち、ALSS吹付け工法での施工実績は1,580m<sup>3</sup>であった)を施工して、余吹き率は147%であった。

## 6 今後の課題と展開

今回、既設斜路の壁面補強工として比較的大量の吹付けコンクリートの施工を実施することができたため、ALSS一体型吹付け工法の実証試験と実施工への適用を確認することができた。その結果、粉じん発生量の大幅な抑制が可能となった。

現段階では、大断面トンネルの掘削切羽での適用にはまだいくつかの問題も残るが、今回の実績を積んだことは、今後の作業環境改善に向けて大きな意義があったと考えている。以下に、得られた成果をまとめて示す。

- ① エアレス吹付けシステムとスラリー急結剤の供給装置を一体型吹付け台車に搭載した自走式設備を開発し、昼夜連続吹付けという厳しい作業条件下に適用した結果、大きなトラブルもなく1,500m<sup>3</sup>以上の吹付けコンクリートの施工実績ができた。
- ② 今回、単位セメント量が430kg/m<sup>3</sup>、400kg/m<sup>3</sup>の配合で、強度、施工性、付着急結性、急結剤混合状態いずれも良好であった。これより、ALSS吹付け工法の場合、単位セメント量は400~430kg/m<sup>3</sup>程度が適当と考えられる。
- ③ 今回の実証実験では、ALSS吹付け工法の粉じん発生量はエア吹付けの1/5以下であり、粉じん発生量抑制効果に優れた工法であることを確認した。
- ④ ALSS吹付け工法はエア吹付け工法に比較し、コンクリートのはね返り率が改善され、付着急結性能に優れることを確認した。

以上の成果をもとに今後は、インペラヘッド消耗部品の改良、大断面トンネル掘削切羽に応用できる設備への改良、切羽での大量出水時にも対応できる機能の付加、耐久性・安全性確保への改良、コスト低減など多くの課題を克服して坑内環境の大幅改善の実現を目指していきたいと考えている。

最後に、ALSS吹付け工法の採用にあたり多大な協力をいただいた折紙工区JV関係者、機器・資材メーカーの関係者各位に心より感謝したい。

## 参 考 文 献

- 1) (社)日本トンネル技術協会：現場技術者のための吹付けコンクリート・ロックボルト，2005.3.
- 2) 門倉智・浜田哲也：エアレス吹付け機による鋼繊維吹付けコンクリートに関する研究，石川島播磨技報 Vol.44, No.2, pp.156-163, 2004.3.
- 3) 黒坂聡介・佐藤秀和・大沼正浩：低粉じん型吹付け

コンクリート工法の小断面トンネルへの適用，土木学会東北支部技術研究発表会(平成16年度)VI-2, pp.772-773, 2004.3.

4) 野間達也・浅田浩章・末松幸人・藤田政勝：エアレス吹付けとスラリー急結剤の組合せによる現場施工

について，土木学会第61回年次学術講演会論文集(平成18年9月)VI-177, pp.353-354, 2006.9.

5) 土木学会：コンクリートライブラリー 吹付けコンクリート指針(案)[トンネル編]，p.14, 2005.6.

6) 前掲5)，pp.106-108.

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



## 「歴史の要衝地」佐敷より

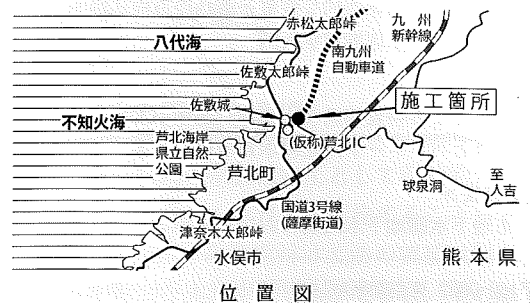
平岡 元

佐敷の位置する熊本県葦北郡芦北町は、熊本県の南部に位置し、総面積233.71km<sup>2</sup>の約80%に緑豊かな山々が連なり、本町最高の大関山(標高902m)を源とする清らかで豊富な水が不知火海に注ぐ、人口2万1千人の町である。西方に開けた芦北海岸は天草の島々を望み、県立自然公園指定の美しいリアス式海岸を形成し、温暖な気候は、甘夏みかんやデコボンの産地として知られている。

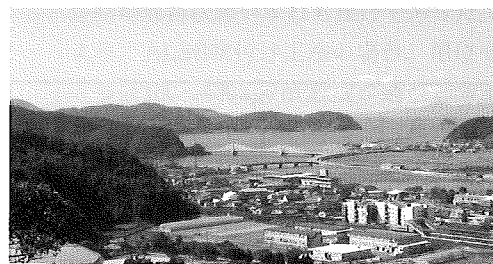
佐敷地区は、天然の良港を持ち、また薩摩街道と人吉に至る相良往還が通っていたところで、交通の要衝の地として古くから栄えた土地であった。そのため南北朝のころから江戸時代の初めまで、八代の名和氏、人吉の相良氏、そして豊臣配下の加藤清正などが佐敷をめぐる激しい攻防をくり広げた。佐敷城は16世紀後半に築城され、一時は加藤清正の領地となった場所でもある。しかし、残念なことに元和元(1615)年の一国一城令で破壊され、石垣が残っていない状態であったが、現在では石垣などの復元が進んでおり、往時を忍ばせるようになっている。

佐敷付近の道の歴史としては、遙か江戸時代以前からの薩摩街道、明治から昭和中期まで使われた国道3号の旧道、そして現在の国道3号と三つの時代に大きく分かれる。これらの時代を通じて芦北地方には難所として知られた赤松太郎峠・佐敷太郎峠・津奈木太郎峠が連なっている。この三つの峠は三太郎峠と総称され、古くから旅人を苦しめていた。

明治時代に入り険しい三つの峠は、赤松太郎峠が掘り割りとされ、佐敷太郎峠は旧佐敷隧道、津奈木太郎峠は津奈木隧道として掘られ、明治・大正・昭和と三



佐敷城跡



佐敷城跡から見る不知火海

代にわたって九州の南北をつなぐ基幹道路の役割を担ってきた。

昭和40年代になると、九州にもモータリゼーションが始まり、この三太郎峠の曲がりくねった旧国道は新たに国道3号として平坦な道路に造り替えられ、新たな佐敷トンネル・津奈木トンネルが掘られ、現在では芦北地方は、文化と歴史、美しい自然と調和した観光都市として発展を目指している。

そして三つの時代に続く4番目の道の歴史として南九州西回り自動車道の建設が、現在行われている。

当現場は、南九州西回り自動車道日奈久芦北道路の終点側の芦北町花岡地区に位置し、花岡トンネル(497m)を施工している。現場付近は佐敷城から見渡せる芦北町の閑静な農村地帯となっており、作業時の振動・騒音に十分に留意する必要がある。2基の防音扉、防音ドームなどを現在施工中である。

トンネルの掘削にあたっては、地域住民のご理解とご協力を得ながら、日々の努力で無事故・無災害で竣工するよう、職員ならびに協力業者一丸となり工事を進める所存である。

(大豊建設(株)花岡トンネル作業所長)

# 施工

## 発破技術のIT化と新支保による大断面施工の効率化

—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・飛鳥建設・銭高組共同企業体所長 大 矢 隆 二  
 清水建設・飛鳥建設・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担当部長 楠 本 太

### 1 はじめに

第二名神高速道路甲南トンネル下り線工事は、φ5.0mTBM導坑の先行掘削で得られた地質情報などを本坑拡幅計画に反映させ、標準支保3パターンに効率的支保2パターンと地質不良部の1パターンを加えた6パターンを設計し、支保パターン判定基準を定めて拡幅掘削した。また、安全、安心、快適な切羽作業環境創造のための施工技術のIT化と機械化を進め、大断面トンネルを安全、高効率に施工した。

本稿では、TBM導坑先進拡幅掘削工法の有効性、結晶質岩における効率的支保構造系の支保効果と力学的安定性および挙動特性が判明し、切羽作業の機械化、情報化施工技術の有効性が示されたので報告する。

### 2 工事概要

甲南トンネルは、滋賀県甲賀市に位置し(図-1)、トンネル延長約2,500m、掘削幅19m、掘削高12m、掘削断面積約180m<sup>2</sup>の大断

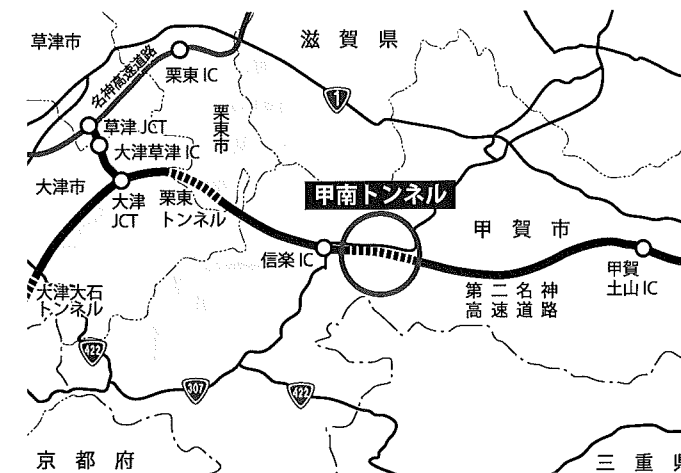


図-1 甲南トンネル位置図

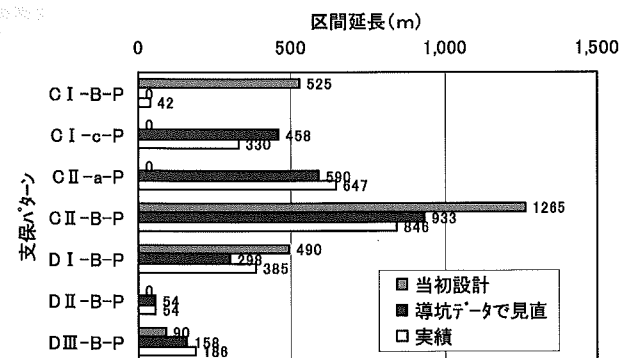


図-2 支保パターン別施工延長

面トンネルであるので、TBM導坑先進掘削工法を採用した。この下り線工事は、2003年8月に着手し、2004年11月にTBM導坑が西側本坑内で貫通、2006年2月に上半掘削を完了、2006年11月に覆工コンクリート工を完了した。

支保パターン別施工延長を、当初設計時、TBM導坑実績で本坑支保パターン見直し時、旧JH切羽評価点法で判定した実績値とともに、図-2に示す。

### 3 地質概要

山地構成岩体は、中世代白亜紀後期貫入岩体の田上花崗岩が分布する。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。土かぶり厚は約100m程度であり、切羽集中湧水は全延長をとおしてない。

### 4 支保構造概要

トンネル支保構造は、表-1に示すように、旧JH標準のCI-B-P、CII-B-P、DI-B-Pと効率的支保のCI-c-P、CII-a-Pおよび脆弱地質のDII-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。

地山等級CIIの高効率施工を目指したCI-c-Pは、TBM導坑の先行掘削により掘削面の自立度と岩盤性状および地質構造が明らかになっているので、掘削面周辺に分布する岩盤ジョイントはフリクションタイプシステムロックボルトで縫い付け、掘削自由面周辺の不安定な岩塊や岩盤ブロックなどは高強度吹付けコンクリートで地山に保持、ブロッキングする薄肉支保構造系とすることが、トンネルの力学的安定確保にもっとも有効と考えた(図-3)。このCI-c-Pでは、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レート)繊維補強吹付けコンクリートを主要支保部材とし、鋼アーチ支保機能を代替させている。

DII-B-Pは、TBM導坑施工時にTBM切羽が先抜け崩壊し、補助工法と簡易ライナで施工した区

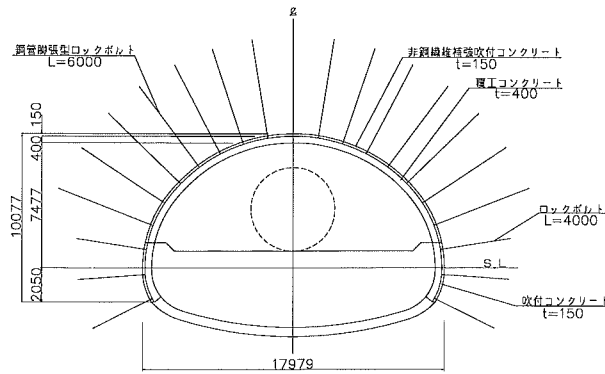


図-3 新支保パターン概要(CI-c-P)

表-1 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)				ロックボルト	
	CI-B-P	CI-c-P	CII-a-P	DI-B-P	DII-B-P	
なし						6.0
なし						6.0
上半 H-125			CII-a-P			4.0
上下半 HH-154				CII-B-P		1.5
上下半 HH-154					DI-B-P	6.0
上下半 HH-200					DII-B-P	6.0
吹付け厚(cm)	15      20      25				周方向(m)	延長方向(m)
繊維補強(上半)	SFRS	PETFRS	ブレーション		ボルト長(m)	

(CI-c-P: 上半は鋼管膨張型)

間に対応させる。支保性能は坑口部と同様、補助工法として注入式長尺鋼管先受け工を採用する。

効率的支保CI-c-Pの支保部材性能、仕様・規格などを以下に示す。

支保パターン判定基準は、旧JH施工管理要領に先行施工した上り線工事の実績を反映させたものを適用する(表-2)。

#### 4-1 鋼管膨張型ロックボルト

上半断面15本のシステムロックボルトは、打設直後から不連続性岩盤の縫い付け効果が期待できる高耐食メッキZAM加工鋼管のφ36mmフリクションタイプ鋼管膨張型ロックボルト(Rust Proofing Expansive Rock Bolt; 耐力170kN以上、膨張時φ54mm、加圧水圧25N/mm<sup>2</sup>)を採用する。下半断面4本は、標準的なモルタル充填全面定着型ツイストボルトである。

#### 4-2 高強度再生PET繊維補強吹付けコンクリート

吹付けコンクリートは、ロックボルト間の不安

表-2 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
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  
\* 先行上り線実績

表-3 高強度繊維補強吹付けコンクリート品質管理基準

項目	単位	基準値
材齢3時間における平均強度	N/mm <sup>2</sup>	2
材齢1日における強度	N/mm <sup>2</sup>	10
材齢28日における強度	N/mm <sup>2</sup>	36
スランブ	cm	18±2
粗骨材の最大寸法	mm	10
単位セメント量	kg	450
単位急結剤量(対セメント量)	%	10

定岩塊などの保持による周辺岩盤の自立安定確保を主な支保機能とし、スラリー状急結剤による吹付けコンクリート配合決定のための品質管理基準は、旧JH基準(表-3)に準拠する。再生PET短繊維材は、繊維長30mm、換算直径0.7mm、密度13.2kN/m<sup>3</sup>、引張強度477N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数23,000N/mm<sup>2</sup>のものを使用し、高強度PET繊維補強吹付けコンクリートの繊維混入率は0.75%である。

### 5 施工方法

#### 5-1 施工方針

発破時の掘削面周辺岩盤の損傷域を抑制することにより、周辺岩盤の安定度は高くなるので、EDD/SB(Electronic Delay Detonator/Smooth Blasting)工法を採用する。SB孔を除く払い助孔などは、爆薬の機械集中装填が可能なバルク含水爆薬を使用する。SB孔の穿孔は、2ブーム全自動コンピュータジャンボ(L2C, HD-210kg級)と3ブームホイールジャンボ(L3, HD-150kg級)を上半切羽に2台配置し、三次元自動測量・計測システムを用いて穿孔管理する(図-4、写真-1)。切羽鏡面自立の確保、グラウンドアーチ形成の促進、発破効率の向上をねらって、TBM導坑周辺の中央部を深く掘り込んだ自立度の高い凹面形状の曲面切羽を採用する。

これらの採用理由は、以下のとおりである。

- ① EDD/SB発破により、周辺岩盤の損傷域を抑制し、自立度を高めるとともに、掘削面を平滑に爆破掘削することにより、当たり、余掘りを減らす。
- ② バルク含水爆薬機械装填による集中装薬と曲面切羽の採用により、発破効率を高め、穿孔数を減らし、切羽張り付き作業時間とサイクルタイムを短縮する。

#### 5-2 SB孔穿孔

ノミ後を残すSB発破では、SB孔の穿孔精度が低いと、掘削面に沿っての当たりや余掘りが多く発生する。このため、左右両隣のSB孔軸は、放射状に等間隔を保ち、孔尻位置がそろそろ穿孔口元位置と差し角度、穿孔長の管理が必要である。

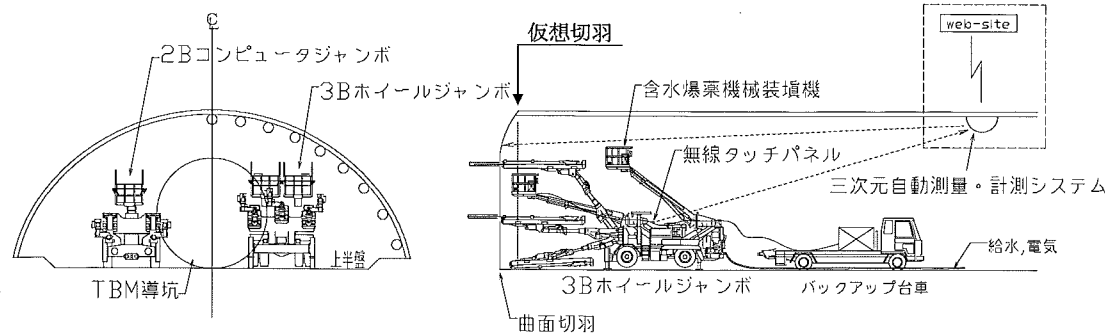


図-4 三次元自動測量・計測システムによるSB孔穿孔概念

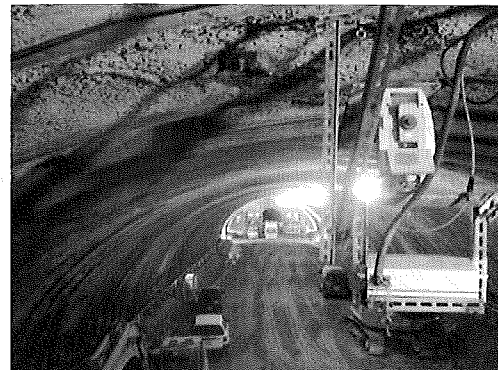


写真-1 三次元自動測量・計測システムの目



写真-2 コンピュータジャンボオペレータパネル

このSB孔と一つ内側の払い助孔の穿孔は、コンピュータジャンボによる自動穿孔と三次元自動測量・計測システムのレーザーマーキング機能を用いた手動穿孔の2方法で行う。

### 5-2-1 コンピュータジャンボによるSB孔自動穿孔

SB孔の自動穿孔は、全自動コンピュータジャンボ<sup>2)</sup>で行う。

穿孔手順と要領を以下に示す。

#### (1) 準備作業

事務所のコンピュータに、トンネルライン(トンネル線形座標X, Y, Zを2.0m間隔で作成)、レーザーライン(ジャンボの位置測定用として、任意2点のレーザー座標X, Y, Z)、ドリルプランを入力する。ドリルプランの発破パターン作成では、SB孔とその一つ内側の払い助孔について、穿孔口元位置、穿孔長、差し角度を入力する。穿孔順序は、2本のブームを各発破孔に割り振り、ブーム同士が当たらないよう定める。これらの基本デー

タはPCカードに記録し、ジャンボキャビン内オペレータパネル(写真-2)のカードスロットルに挿入し、ジャンボのコンピュータに入力する。

#### (2) ジャンボ位置決めと仮想切羽位置入力

三次元自動測量・計測システムの無線リモコンでレーザーラインを選択し、ジャンボ位置決め用レーザーラインを切羽に照射する。ジャンボのガイドセルに中間ターゲットと切羽位置距離測定を兼ねたプリズム付きターゲットをセットする。ガイドセルを移動させながらレーザーラインにターゲットを合わせ、ジャンボの位置決めと切羽位置の距離程を測定する(図-5)。ジャンボ位置決め用レーザーライン2か所の座標値X, Y, Zと切羽距離程をジャンボのコンピュータに入力し、トンネルライン上の切羽位置(仮想切羽)を定める。

#### (3) 発破孔の穿孔

SB孔と一つ内側の払い助孔の自動穿孔を優先する。これの完了後に、マニュアルモードに切り替えて、払い助孔を手動穿孔する。

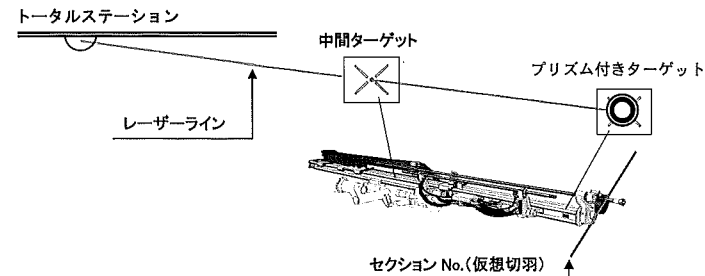


図-5 ジャンボ位置決めと切羽距離測定

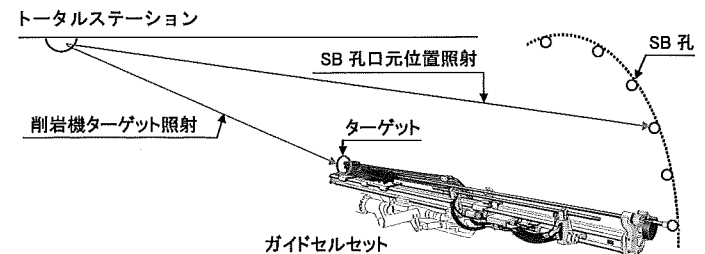


図-6 SB孔手動穿孔時ガイドセルセット概要

### 5-2-2 ホイールジャンボによるSB孔手動穿孔

SB孔口元位置と穿孔方向を規定する2点の座標値(SB孔口元座標と削岩機ターゲット座標)からなるSB孔発破パターンを、三次元自動測量・計測システムのデータベースに入力する。

SB孔口元位置は、凹凸のある切羽鏡面にレーザー照射し、この位置に人力でスプレーマーキングする。SB孔の差し角を考慮したガイドセルの手動セットは、無線リモコンでSB孔番号を選択し、三次元自動測量・計測システムのレーザーマーキング機能を用いて照射し、ガイドセルを移動させながら削岩機ターゲットをレーザー光にあわせる(図-6)。

SB孔の一つ内側の払い助孔では、専用定規を用いて、抵抗線長を確保しながらスプレーマーキングし、手動穿孔する。

### 5-3 バルク含水爆薬機械装填

#### 5-3-1 変遷

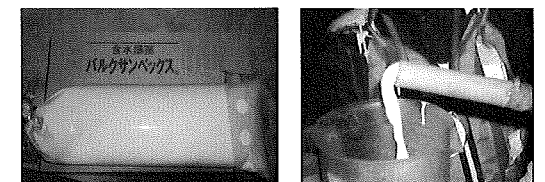
切羽崩落災害対策として、切羽張り付き作業時間の短縮を目的に、2003年12月、バルク含水爆薬機械装填システムの採用を決めた。2004年4月に、TBM発進坑で試験発破を実施し、機械装填システムの適用性を試験した。2004年10月からの本坑西側上半掘削と同時に、3ブームホイールジャン

ボのバスケットに、一体型装填機(Ver 1.0)を搭載し、機械装填を開始した。2005年6月からは、爆薬の威力を向上させた新爆薬のBSV-2に切り替えると同時に、セパレート型装填機(Ver 2.0)も採用した。

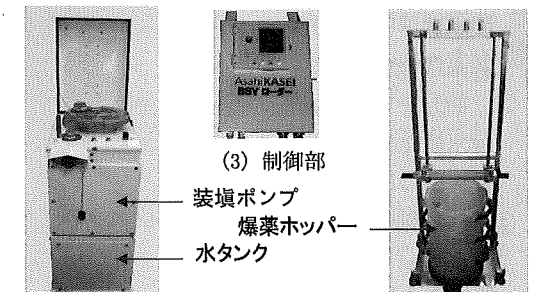
2005年9月からは、セパレート型装填機(Ver 2.0)の改良型であり実用機であるセパレート型装填機(Ver 3.0)<sup>3)</sup>1台を採用し、東西両切羽を合わせて、セパレート型装填機(Ver 2.0)7台とセパレート型装填機(Ver 3.0)1台の計8台による機械装填を実施し、2006年2月27日に上半掘削を完了した。

#### 5-3-2 システム概要と特徴

安全性が高く、作業性の良いバルク含水爆薬機械装填システムは、バルク含水爆薬(BSV-1, BSV-2)、装填ポンプと水タンクからなる装填機(Ver 3.0)、制御部、爆薬ホッパーと移替装置および遠隔装填用装填ホースとパイプの5要素で構成される(写真-3)。



(1) バルク含水爆薬(BSV-2)



(2) 装填機(Ver 3.0) (3) 制御部 (4) 爆薬ホッパーと移替装置



(5) 装填ホースとパイプ

写真-3 バルク含水爆薬機械装填システム(Ver 3.0)

表-4 バルク含水爆薬機械装填システム(Ver 3.0)仕様

項目	仕様・性能	
装填機	ポンプ部重量	約100kg
	ポンプ動力	空気圧
	装填能力	Max.10kg/min
	操作方法	無線リモコンによる遠隔操作
爆薬ホッパー	性能	脱着式、樹脂製
	爆薬容量	定格20kg
装填ホース	長さ、外径	4~6m, 26mm
装填パイプ	長さ、外径	2m, 22mm(先端34mm)

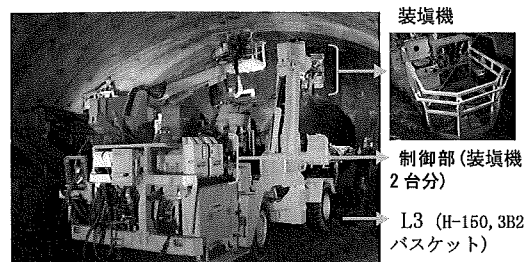


写真-4 機械装填システムジャンボ搭載状況

バルク含水爆薬(BSV-2)の比重は0.8~0.9, 爆速は4,000~4,500m/secであり, 1袋10kgでフィルム包装され, 2袋を段ボール箱に収納する。

この機械装填システム(Ver 3.0)の性能・仕様を表-4に, ジャンボ搭載状況を写真-4に示す。また, このシステムの特徴を, 以下に示す。

- ① 作業性に優れ, 装薬スピードは格段に向上し, 切羽張り付き作業時間は大幅に短縮する。
- ② 切羽から1~2m離れた親ダイ, 増ダイの連続装填を可能にし, 突き押し, しゃがみ装薬作業が軽減される。
- ③ 油分を含まないスラリー爆薬であるので, 耐水性に富み, 後ガスも良好である。また, 残火薬の取り扱いが容易である。
- ④ 静電気が発生しないので, 電気雷管が使用できる。
- ⑤ ジャンボマンケージへの搭載により, 機械の入れ替えなしに, 穿孔と装填作業が続けられる。
- ⑥ 装薬孔へのバルク含水爆薬の密装填により, 高効率発破が可能となり, 穿孔数減が期待できる。

### 5-3-3 装填方法

バルク含水爆薬機械装填作業の流れを, 以下に示す。

- ① 機械装填システムをジャンボ本体とマンケージに搭載する。
- ② 取扱所で, 移替装置を用いて, フィルム包装のバルク含水爆薬を爆薬ホッパーに移し替える。
- ③ 火薬運搬車で, 爆薬ホッパー, 装填ホースとパイプを切羽へ運搬し, 装填ポンプに取り付ける。
- ④ 装填作業  
孔掃除後に, パイプ先端に親ダイを装着し, これを孔尻まで挿入する。無線リモコンの定量装薬ボタンを押し, 定量のバルク状増ダイを密装填しながらパイプを引き抜く。
- ⑤ 残火薬の装填  
装薬孔を2~3孔残して, 装填ポンプから爆薬ホッパーを取り外し, 水配管に切り替える。装填ポンプ内とホース内の約2kgの残火薬は, 水タンク内の水で押し出し, 装薬孔に装填する。
- ⑥ 残火薬の取り扱い  
爆薬ホッパーは, 取扱所に返納し, 残火薬重量を計量する。1発破の消費量を帳簿に記載する。

## 6 施工結果

### 6-1 上半掘削状況

掘削の当初は, コンピュータジャンボによるSB孔自動穿孔の方が掘削面は平滑であったが, 坑夫の熟練度が向上するにつれ, SB孔手動穿孔もコンピュータジャンボのように平滑な爆破掘削ができるようになった。この穿孔方法による上半掘削では, 掘削面の平滑な爆破掘削により, 余掘りと当りは低減し, サイクルタイムは短縮でき, 上半掘削進行は8~10m/dayを確保, 最大月進180mを記録し, 無事故・無災害の高効率施工を可能にした。また, 曲面切羽とBSV-2爆薬の集中装填による掘削では, 硬質岩でも確実な起砕は

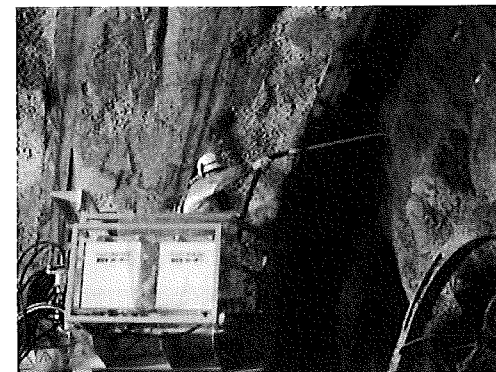


写真-5 装填機(Ver 2.0)による装薬状況

可能であり, 上半掘削ざりサイズは紙巻き含水爆薬と同程度である。

### 6-2 バルク含水爆薬機械装填

#### 6-2-1 施工延長

バルク含水爆薬機械装填状況を写真-5に示す。バルク含水爆薬は, BSV-1と高威力のBSV-2を採用した。それぞれの施工延長を図-7に示す。

機械装填に関するデータは, 本坑西側上半掘削を開始した2004年10月から上半掘削完了までとし, 機械装填システムはVer 1.0, Ver 2.0, この改良型Ver 3.0の3タイプを含んでいる。

#### 6-2-2 穿孔数

1発破あたり穿孔数の実績を, 図-8に示す。BSV-2での穿孔数の平均値は, C Iで1.14孔/m<sup>2</sup>, C IIで0.81孔/m<sup>2</sup>, D Iで0.59孔/m<sup>2</sup>である。標準に対する比率では, C Iで0.67倍, C IIで0.51倍, D Iで0.54倍となり, すべての地山等級で標準を下まわる。

#### 6-2-3 装薬量

1発破あたり装薬量の実績を, 図-9に示す。BSV-2での装薬量の平均値は, C Iで0.86kg/m<sup>3</sup>, C IIで0.67kg/m<sup>3</sup>, D Iで0.51kg/m<sup>3</sup>である。標準に対する比率では, C Iで0.96倍, C IIで0.96倍, D Iで1.02倍となり, D Iを除いて, 若干標準を下まわる。

#### 6-2-4 装薬・爆破時間

装填機4台による1発破あたり装薬・爆破時間の実績を, 標準の装薬・爆破・換気時間から5分を控除したものととも図-10に示す。この平

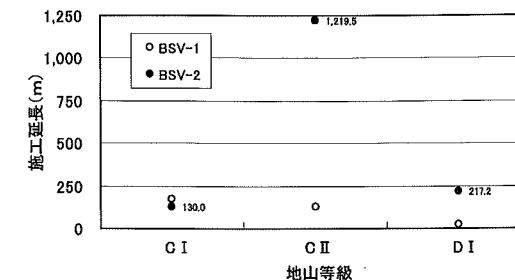


図-7 施工延長(BSV爆薬)

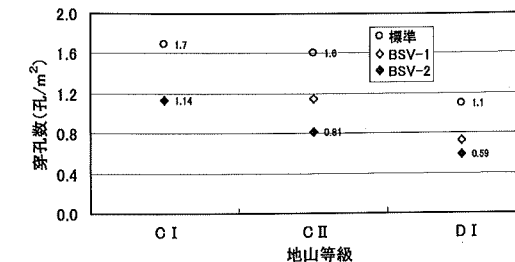


図-8 1発破あたり穿孔数

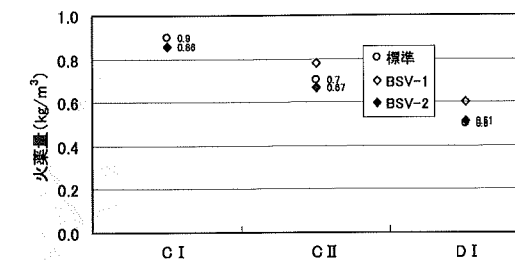


図-9 1発破あたり装薬量

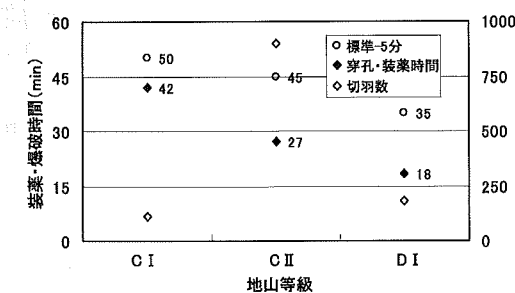


図-10 1発破あたり装薬・爆破時間

均値は, C Iで42分, C IIで27分, D Iで18分である。標準に対する比率では, C Iは0.84倍, C IIは0.60倍, D Iは0.51倍となり, 標準(装薬・爆破・換気時間-5分)の約0.51~0.84倍に短縮される。

#### 6-2-5 完成度

切羽作業従事者27人に, 「安全性」「作業性」な

どについてアンケート調査したところ、機械装填システムの採用により、「装填作業は楽になり、作業の安全性は向上した」、「1掘進長が1.5mを超えるとその効果は高い」などがわかった。また、「次のトンネルでもバルク含水爆薬機械装填システムを使用してもよい」は有効回答数の89%を占め、このシステムの有効性と適用性は高いことが確認された。

6-3 計測結果と考察

6-3-1 計測工概要

トンネル支保構造系の支保効果と力学的安定性の確認および挙動特性の把握を目的に、計測工A, Bを実施した。

計測工Aは、切羽通過時に、トンネル軸方向6~20m間隔で、1断面あたり5測点を設け、初期

値をとり、12時間ごとに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・計測システムを用いて自動測定する。計測工Bは、CI-B-PとCI-c-Pに、それぞれ1断面ずつ設ける。計器の配置概要と計器仕様を、図-11に示す。

6-3-2 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。下半掘削後の上半変位量を図-12に、下半掘削後の天端沈下量の掘削エネルギー値<sup>1)</sup>との対応を図-13に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 地山等級Cでは、支保構造の違いによる有意な変位差はなく、2車線道路トンネルの場合と同程度の約10mm以下である。
- ② 切羽評価点が20を下まわると、天端沈下、内空変位ともに急激に増加し、支保構造系は

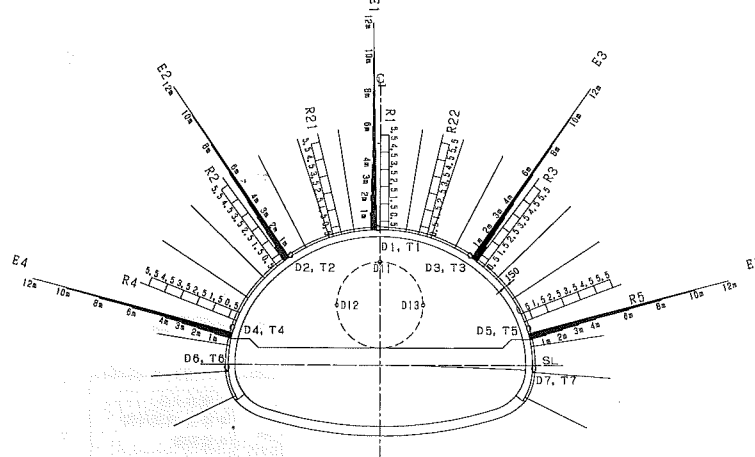
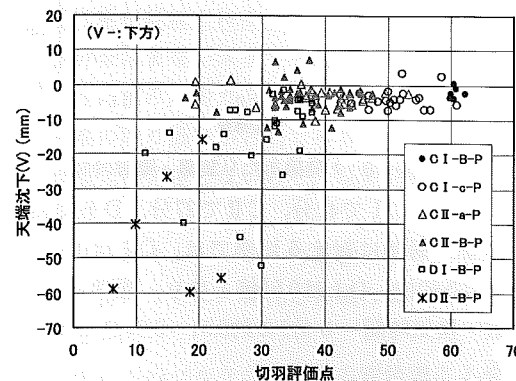
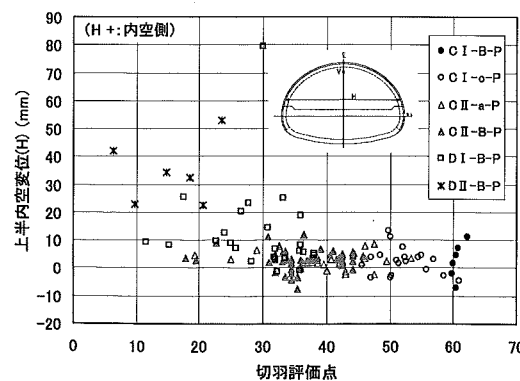


図-11 計器配置概要

計 器	最小読み取り値
トータルステーション (5測点/断面)	0.1mm
地中変位計 (8点/測線), 5測線	E 0.05mm 以下
コンクリート有効応力計 (7点/断面)	T 0.1N/mm <sup>2</sup> 以下
鋼管膨張型RB軸力計 (6点/測線)	R 0.2kN 以下



(1) 天端沈下(下半掘削後)



(2) 上半内空変位(下半掘削後)

図-12 計測値と切羽評価点

不安定になり、第三紀層堆積岩の場合と同様の挙動特性<sup>1)</sup>を示す。

- ③ TBM導坑施工時の掘削エネルギー値が20 N/mm<sup>2</sup>以上では、本坑変位量は10mm以下である。地山等級がDで15N/mm<sup>2</sup>を下まわると、天端沈下は急激に増加し、支保構造系は不安定になる。

6-3-3 周辺地山の挙動特性

CI-c-Pの地中変位測定結果の半径方向ひずみを、切羽2m進行時、上半収束時、下半収束時について、図-14に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 掘削の影響範囲は、掘削面から掘削幅の約0.3倍、掘削幅の6m範囲内にとどまり、半径方向ひずみは約0.2%以下の伸びと小さく、切羽2m進行時にその大半が発生し、上半脚部測線を除き、おおむね収束する。

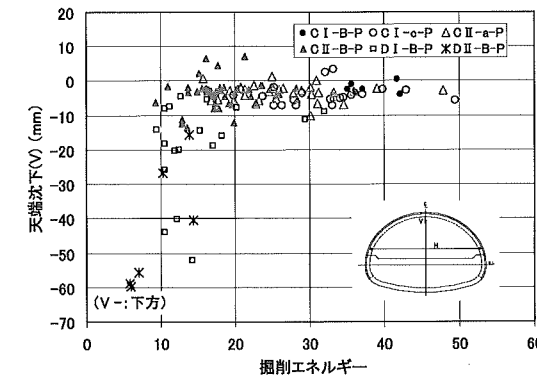


図-13 TBM掘削エネルギーと天端沈下(下半掘削後)

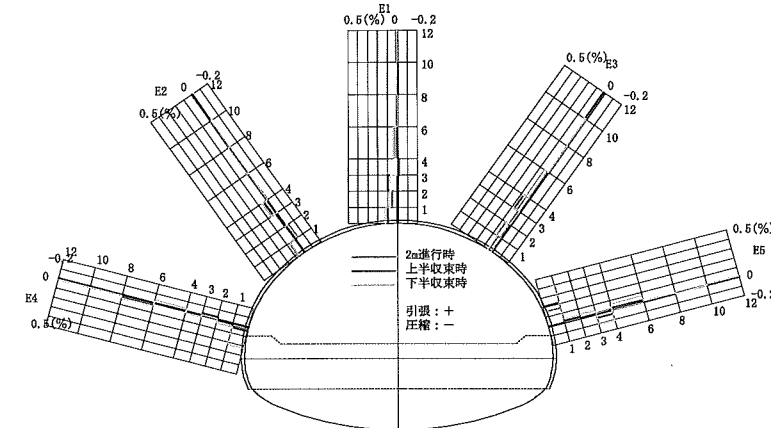


図-14 半径方向地中ひずみ(CI-c-P)

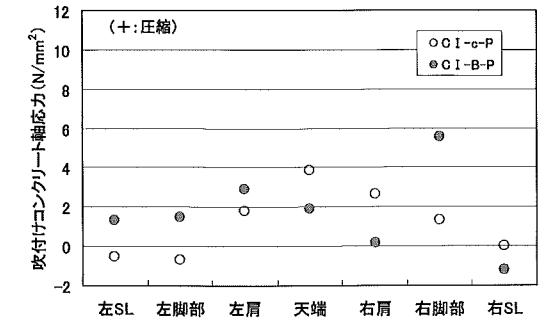


図-15 吹付けコンクリート軸応力(下半掘削後)

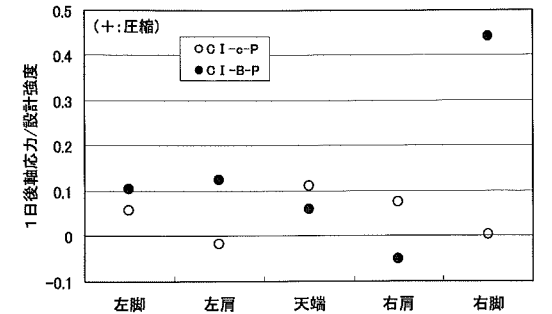


図-16 吹付けコンクリート軸応力比(1日後、切羽距離8m)

- ② 掘削面での発生変位量 $\delta$ は、 $\delta = 6,000 \times (0.001 \sim 0.002) = 6 \sim 12 \text{mm}$ となり、計測工Aからの測定変位値と合致する。

6-3-4 吹付けコンクリートの補強効果

地山等級Cの吹付けコンクリート軸応力度を、CI-c-P, CI-B-Pの2断面について、図-15に示す。また、施工1日後設計強度に対する吹付けコンクリート軸応力測定値の比を、図-16に示す。

これから、以下のことがわかる。

- ① 吹付けコンクリート軸応力の最大値は、右脚部を除くと、アーチ部に生じ、2.5~3.9N/mm<sup>2</sup>の圧縮であり、設計強度36N/mm<sup>2</sup>に対して、十分に余裕を持って安定する。
- ② 吹付けコンクリート施工1日後すなわち上半切羽8m進行時の吹付けコンクリート

ト設計強度(10N/mm<sup>2</sup>)に対する測定軸応力の比は、CI-c-P、CI-B-Pともに0.12以下であり、掘削の初期段階では、吹付けコンクリートへの作用外力は小さい。また、吹付けコンクリート仕様の違いが支保性能や変形特性などに及ぼす影響は小さい。

### 6-3-5 ロックボルトの補強効果

鋼管膨張型ロックボルト軸力分布を、図-17に示す。これから、以下のことがわかる。

- ① 鋼管膨張型ロックボルト軸力の最大値は、右肩部の深度4.5mで、144kNの引張である。天端部の深度2.5mでは、94kNの引張である。これ以外は50kN以下と小さい。これと同じ断面に打設した全面定着型ロックボルトのR21、R22では、25kN以下の引張となり、鋼管膨張型に比べて小さく、滑らかに発生する<sup>9)</sup>。
- ② 鋼管膨張型ロックボルトは、打設後の切羽2m進行時に、全軸力の50~80%以上が発生し、上半切羽が4m進行すると、ほぼ収束傾向を示す。
- ③ CI-c-Pの鋼管膨張型ロックボルト軸力の深度方向変化は激しいが、半径方向地中ひずみの変化は滑らかで小さい。

### 6-3-6 CI-c-P、CII-a-Pの適合性

CI-c-Pにより、切羽評価点が55を下まわる地山において、1掘進長2.0mで、延長330mの施工を可能にした。また、鋼アーチ支保工サイズをH

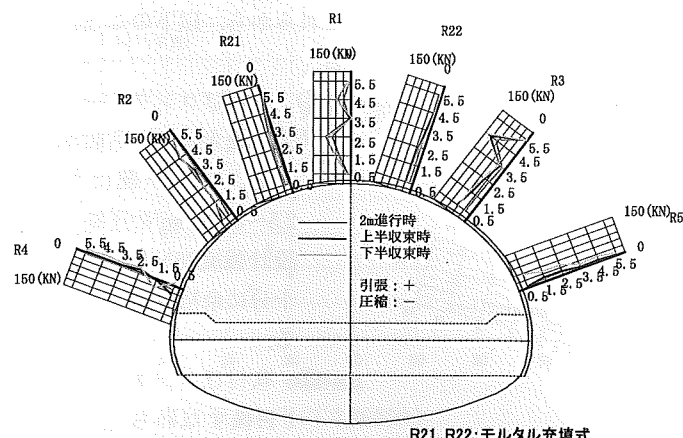


図-17 鋼管膨張型ロックボルト軸力分布(CI-c-P)

-125とするCII-a-Pは、切羽評価点20~50に適用し、標準支保パターンCII-B-Pの施工延長845mと同程度の延長647mを施工した。これら2タイプの支保構造系は、標準支保パターンと同様の挙動特性を示し、力学的安定は確保でき、支保構造仕様の違いによる変位量の有意な差はみられない。

## 7 おわりに

フリクションタイプシステムロックボルトと高強度再生PET繊維補強吹付けコンクリートを主要支保部材とする効率的な支保構造を設計し、これを含めた6支保パターンで大断面トンネルを施工した。また、ITを駆使したEDD/SB工法、曲面切羽、バルク含水爆薬機械装填などを採用し、安全、快適な切羽作業環境創造と高効率施工をめざした。

その結果、①結晶質岩における効率的支保構造系の支保効果と力学的安定性および挙動特性が明らかになった。②穿孔・装薬作業のIT機械化により、切羽作業性と安全性は向上し、切羽張り付き作業時間は短縮され、これらの適用性と有効性は高いことが示された。

今後は、さらなる支保構造系の高効率化、施工方法の総合化を進め、発展させるとともに、得られた計測データを数値解析手法で分析、考察し、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、「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JH関西支社)」の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) 奥隅豊栄・大矢隆二・木村厚之・楠本太：TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工，トンネルと地下，Vol.37, No.11, pp.27-37, 2006.11.
- 2) アトラスコプロ(株)：全自動コンピュータジャンボカタログ，L3C-2B, L2C,

技術資料。

- 3) 旭化成ケミカルズ(株)：バルクサンベックスRシステムカタログ，技術資料，2006.
- 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講演論文集，2004.1.

ジウム講演論文集，2004.1.

- 5) 奥隅豊栄・大矢隆二・木村厚之・上岡真也・楠本太：TBM導坑先進掘削した大断面トンネルの力学挙動特性，第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，2007.1.

## わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来、トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって、トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

〔目次〕 ○従来のトンネル力学の考え方/トンネル力学の発展、NATM以前の考え方/ゆるみ高さの推定、ゆるんだ地山の釣り合い、沈下量の差により変わる土圧、切羽の安定、地山の分類による支保の設計、NATMの考え方/せん断破壊説、変形による圧力の低減、地山のゆるみ防止、アンカーボルトによる地山の補強、地山挙動の時間依存、せん断破壊説による設計法、経験的設計法、地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計、NATM力学についての問題点、○弾性論による解析/弾性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾性解、円形トンネルの弾性解析、地表面に近いトンネル、だ円形のトンネル、球形空洞周りの応力と変位、○弾塑性論による解析/弾塑性学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析、○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締めり、地山のゆるみ、再圧密を考えた考察、○その他の検討/二次覆工の役割とひび割れ、安全率、支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析、力学的に好ましい、または好ましくないトンネルの設計および施工法、有限要素法、トンネルと地下水



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



## ■北陸トンネルの建設と温泉

北陸本線の敦賀～今庄間にある長さ13,870mの北陸トンネルは、わが国で最初に延長10kmの壁を越えた鉄道トンネルとして、1957(昭和32)年11月に着工し、1962(昭和37)年6月10日に開通した(写真-1)。立坑・斜坑を利用した工期の短縮、複線トンネルにおける全断面工法の採用、底設導坑先進上部半断面工法の確立など、その後の長大山岳トンネルの発展に大きく貢献したことは、ここで改めて説明するまでもない。

その北陸トンネルの直上の新保地区には、新保鉱泉と称する個人営業の旅館があり、ハイキングコースに近いこともあって、多い日は1日200人

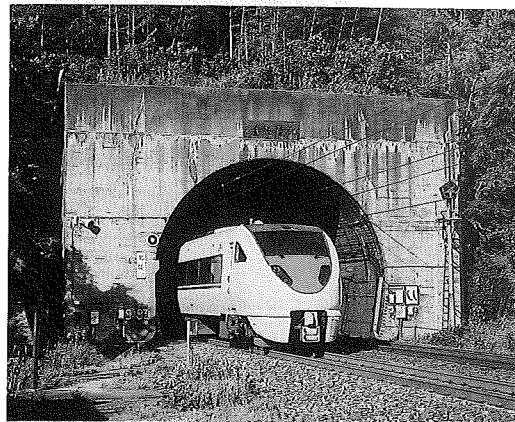


写真-1 現在の北陸トンネルの敦賀方坑口

もの利用客があった。しかし、北陸トンネルの工事によって源泉の枯渇が懸念されたため、国鉄では湧水状況について監視を続けていた。

果たして1960(昭和35)年3月4日10時ごろ、敦賀方坑口から約6.3kmの地点に達していた第二工区の底設導坑が、花崗岩と古生層の砂岩の接触帯を掘り進めていたところ、硫黄臭を伴った異常出水があり、8m<sup>3</sup>/分の湧水とともに坑道が埋没してしまった。そして、4日後には新保鉱泉が枯れ、廃業に追い込まれたのである。

坑内の湧水の温度は、はじめ20℃ほどであったが、やがて最高30℃まで上昇し、温泉であることが確認された。水質分析の結果、トンネル内の湧水と鉱泉の成分が一致したため、事は補償問題へと発展することとなった。国鉄側では、営業休止期間中の補償費を一時金として支払うこととしたが、復水の望みはほとんどないと判断された。

## ■トンネル温泉の誕生

一方、トンネル内で発見された温泉の利用をめぐっては、敦賀市が積極的な動きを見せ、トンネルが完成に近づいた1962(昭和37)年1月、観光開発と市民の健康増進のためにこれを利用したい旨を、福井県と国鉄に対して陳情した。

湧泉水の利用にあたっては、トンネル内で発見された温泉がだれの所有物であるかが論争となっ

た。敦賀市側は、温泉法では「温泉をゆう出させる目的で土地を掘削しようとする者」は、都道府県知事に申請すると定めており、国鉄は温泉を目的として北陸トンネルを掘ったわけではないので、所有する権利はないと主張した。とはいえ、温泉を外へ導くためには、鉄道用地内を通らざるを得ないため、国鉄側の承諾が必要であり、双方の意見を重ねた結果、特認として国鉄に温泉権が認められることとなった。

次に争点となったのは、この権利を敦賀市側が買い取る際の評価額であった。そこで、大学や不動産関係の専門家に評価を依頼したが、根拠となる算定基準はなく、当事者同士で決めるのが妥当とするあいまいな回答であった。このため、分湯量にもとづいて権利金を定めていた下呂温泉の例を参考として、温泉地指数、湧水量、温度などを評価し、1962(昭和37)年2月に960万円で敦賀市側と分湯契約を締結した。国鉄では、このうち798万円を新保鉱泉に支払い、補償問題は円満に解決した。トンネル内の取水施設から湧泉水を導く延長約6kmの導水管は、敦賀市の負担によって敷設され、さらに1km離れた温泉の建設地へと導かれた。

温泉は「敦賀トンネル温泉」と名付けられ、観光施設にめぐまれなかった敦賀市は、これで芦原温泉や加賀温泉と並ぶ一大温泉地が誕生すると喜び、地元の飲食店や土産物店は、関西・中京方面からの観光客に大いに期待した。また、芸者のいない敦賀市では、その養成に頭を痛めるほどであったと伝えられるが、残念ながら温泉地としての知名度はそれほど伸びず、関係者の心配も杞憂に終わったようである。

## ■敦賀トンネル温泉に入る

敦賀市内を望む敦賀市吉河の高台周辺には、北陸トンネルからの湧泉水を利用しているホテルや保養所、病院施設などがいくつかあるが、一般客も利用できるのは、敦賀きらめき温泉リラ・ポート(入湯のみ)と、北国グランドホテルの2軒である(写真-2)。このうち、北国グランドホテルは、

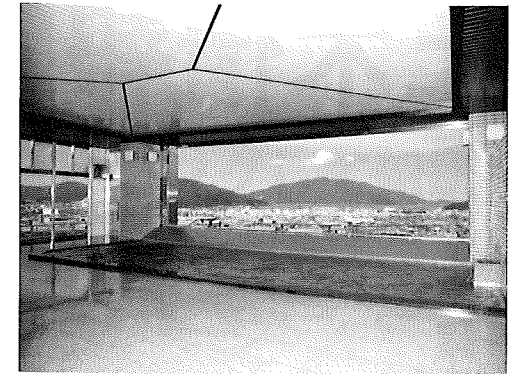


写真-2 敦賀市内を一望する敦賀トンネル温泉(北国グランドホテル)

成分	禁忌症および適応症
1. 泉質 硫酸塩カルシウム・ナトリウム・マグネシウム・硫酸水素ナトリウム・硫酸水素カルシウム・硫酸水素マグネシウム・硫酸水素鉄(II)・硫酸水素鉄(III)・硫酸水素銅・硫酸水素鉛・硫酸水素錳・硫酸水素マンガン・硫酸水素亜鉛・硫酸水素バリウム・硫酸水素ストロンチウム・硫酸水素セシウム・硫酸水素ラジウム・硫酸水素ヨウ素・硫酸水素セレン・硫酸水素テルル・硫酸水素ホウ素・硫酸水素硼素・硫酸水素炭素・硫酸水素窒素・硫酸水素酸素・硫酸水素水素・硫酸水素ヘリウム・硫酸水素リチウム・硫酸水素ベリリウム・硫酸水素スカンジウム・硫酸水素チタン・硫酸水素バナジウム・硫酸水素クロム・硫酸水素マンガン・硫酸水素鉄・硫酸水素コバルト・硫酸水素ニッケル・硫酸水素銅・硫酸水素亜鉛・硫酸水素バリウム・硫酸水素ストロンチウム・硫酸水素セシウム・硫酸水素ラジウム・硫酸水素ヨウ素・硫酸水素セレン・硫酸水素テルル・硫酸水素ホウ素・硫酸水素硼素・硫酸水素炭素・硫酸水素窒素・硫酸水素酸素・硫酸水素水素・硫酸水素ヘリウム 2. 泉温 37.0℃ 3. 泉圧 1.0気圧 4. 湧水量 1000ℓ/分 5. 湧水速度 1000ℓ/分 6. 湧水温度 37.0℃ 7. 湧水pH 9.9 8. 湧水硬度 1000mg/L 9. 湧水総硬度 1000mg/L 10. 湧水硫酸根 1000mg/L 11. 湧水カルシウム 1000mg/L 12. 湧水ナトリウム 1000mg/L 13. 湧水マグネシウム 1000mg/L 14. 湧水硫酸水素ナトリウム 1000mg/L 15. 湧水硫酸水素カルシウム 1000mg/L 16. 湧水硫酸水素マグネシウム 1000mg/L 17. 湧水硫酸水素鉄(II) 1000mg/L 18. 湧水硫酸水素鉄(III) 1000mg/L 19. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 20. 湧水硫酸水素鉛 1000mg/L 21. 湧水硫酸水素錳 1000mg/L 22. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 23. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 24. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 25. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 26. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 27. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 28. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 29. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 30. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 31. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 32. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 33. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 34. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 35. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 36. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 37. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 38. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 39. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 40. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 41. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 42. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 43. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 44. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 45. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 46. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 47. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 48. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 49. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 50. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 51. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 52. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 53. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 54. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 55. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 56. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 57. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 58. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 59. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 60. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 61. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 62. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 63. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 64. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 65. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 66. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 67. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 68. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 69. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 70. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 71. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 72. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 73. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 74. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 75. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 76. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 77. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 78. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 79. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 80. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 81. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 82. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 83. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 84. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 85. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 86. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 87. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 88. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 89. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 90. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 91. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 92. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 93. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 94. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 95. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 96. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 97. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 98. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 99. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 100. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 101. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 102. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 103. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 104. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 105. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 106. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 107. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 108. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 109. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 110. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 111. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 112. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 113. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 114. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 115. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 116. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 117. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 118. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 119. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 120. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 121. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 122. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 123. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 124. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 125. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 126. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 127. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 128. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 129. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 130. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 131. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 132. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 133. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 134. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 135. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 136. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 137. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 138. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 139. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 140. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 141. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 142. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 143. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 144. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 145. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 146. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 147. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 148. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 149. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 150. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 151. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 152. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 153. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 154. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 155. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 156. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 157. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 158. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 159. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 160. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 161. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 162. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 163. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 164. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 165. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 166. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 167. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 168. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 169. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 170. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 171. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 172. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 173. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 174. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 175. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 176. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 177. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 178. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 179. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 180. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 181. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 182. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 183. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 184. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 185. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 186. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 187. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 188. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 189. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 190. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 191. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 192. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 193. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 194. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 195. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 196. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 197. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 198. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 199. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 200. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 201. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 202. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 203. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 204. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 205. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 206. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 207. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 208. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 209. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 210. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 211. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 212. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 213. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 214. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 215. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 216. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 217. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 218. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 219. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 220. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 221. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 222. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 223. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 224. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 225. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 226. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 227. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 228. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 229. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 230. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 231. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 232. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 233. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 234. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 235. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 236. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 237. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 238. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 239. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 240. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 241. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 242. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 243. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 244. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 245. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 246. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 247. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 248. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 249. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 250. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 251. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 252. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 253. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 254. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 255. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 256. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 257. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 258. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 259. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 260. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 261. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 262. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 263. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 264. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 265. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 266. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 267. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 268. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 269. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 270. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 271. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 272. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 273. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 274. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 275. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 276. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 277. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 278. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 279. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 280. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 281. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 282. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 283. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 284. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 285. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 286. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 287. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 288. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 289. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 290. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 291. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 292. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 293. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 294. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 295. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 296. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 297. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 298. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 299. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 300. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 301. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 302. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 303. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 304. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 305. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 306. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 307. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 308. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 309. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 310. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 311. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 312. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 313. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 314. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 315. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 316. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 317. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 318. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 319. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 320. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 321. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 322. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 323. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 324. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 325. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 326. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 327. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 328. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 329. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 330. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 331. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 332. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 333. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 334. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 335. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 336. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 337. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 338. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 339. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 340. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 341. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 342. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 343. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 344. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 345. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 346. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 347. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 348. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 349. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 350. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 351. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 352. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 353. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 354. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 355. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 356. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 357. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 358. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 359. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 360. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 361. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 362. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 363. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 364. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 365. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 366. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 367. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 368. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 369. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 370. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 371. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 372. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 373. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 374. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 375. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 376. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 377. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 378. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 379. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 380. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 381. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 382. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 383. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 384. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 385. 湧水硫酸水素ニッケル 1000mg/L 386. 湧水硫酸水素銅 1000mg/L 387. 湧水硫酸水素亜鉛 1000mg/L 388. 湧水硫酸水素バリウム 1000mg/L 389. 湧水硫酸水素ストロンチウム 1000mg/L 390. 湧水硫酸水素セシウム 1000mg/L 391. 湧水硫酸水素ラジウム 1000mg/L 392. 湧水硫酸水素ヨウ素 1000mg/L 393. 湧水硫酸水素セレン 1000mg/L 394. 湧水硫酸水素テルル 1000mg/L 395. 湧水硫酸水素ホウ素 1000mg/L 396. 湧水硫酸水素硼素 1000mg/L 397. 湧水硫酸水素炭素 1000mg/L 398. 湧水硫酸水素窒素 1000mg/L 399. 湧水硫酸水素酸素 1000mg/L 400. 湧水硫酸水素水素 1000mg/L 401. 湧水硫酸水素ヘリウム 1000mg/L 402. 湧水硫酸水素リチウム 1000mg/L 403. 湧水硫酸水素ベリリウム 1000mg/L 404. 湧水硫酸水素スカンジウム 1000mg/L 405. 湧水硫酸水素チタン 1000mg/L 406. 湧水硫酸水素バナジウム 1000mg/L 407. 湧水硫酸水素クロム 1000mg/L 408. 湧水硫酸水素マンガン 1000mg/L 409. 湧水硫酸水素鉄 1000mg/L 410. 湧水硫酸水素コバルト 1000mg/L 	

# 土木情報 No.410

今日の主な入札結果 (6月10日～7月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北海道開発局	北海道横断自動車道浦幌町炭山第2T	宮坂建設工業	930
"	" 白糠町底路T	岩田地崎建設・田中組・堀口組特定JV	366
北陸農政局	九頭竜川下流(二期)農業水利事業十郷2号用水路その2	東急建設	378
"	" " その3	東急建設	456
"	" " その4	東急建設	395
中国四国農政局	吉野川下流域農地防災事業北部幹線水路(宮川内谷川サイホン)	アイサワ工業(株)	258.1
東北地整	日本海沿岸東北自動車道温海T	間組・西武建設JV	3,588
"	一般国道45号岩泉T	ハザマ	2,789
関東地整	八ッ場ダム仮排水T	大成建設	715
北陸地整	北部排水T 2期	会津土建・滝谷建設工業JV	350
"	能越自動車道七尾T	西松建設	3,200
首都高速道路	(高負)YK23工区(2)YK24工区(1)(3)トンネル・立坑外及び長島大竹線高架橋下部	五洋建設	3,180
都・下水道局	台東区駒形一丁目、雷門二丁目付近再構築	森本組	599.5
"	" 浅草五丁目、今戸二丁目付近管渠改良	日正建設興業	100
"	豊島区上池袋一丁目、北大塚三丁目付近再構築	足立建設工業	414
"	" 池袋三丁目付近管渠改良	大達土木	168.8
"	文京区大塚五、六丁目付近再構築その2	東亜グラウト工業	178.5
"	" 小日向二丁目付近再構築	明治土木	168.08
"	多摩川上流幹線その16	木本建興	113.39
"	荒川区東尾久一、二丁目付近管渠改良	大隈建設	135.25
"	千代田区飯田橋四丁目、富士見二丁目付近管渠改良	小樽工業	248.79
"	菊川幹線再構築その2	奥村組土木興業	340
"	江東区木場三丁目、東陽一丁目付近管渠改良	アイシン工営	148.38
"	浮間水再生センター板橋坂下ポンプ室稼働に伴う管渠整備その6	真柄建設	458
"	世田谷区給田一丁目、代田六丁目付近ほか管路耐震化	日本ヒューム	125.5
都・水道局	中央区銀座二丁目から同区新富二丁目地先間配水本管(700mm)布設替	戸田建設	380
"	杉並区下高井戸四丁目地先から同区浜山三丁目地先間配水本管(1350mm)用トンネル及び立坑築造	竹中土木・保土ヶ谷工業JV	1,650
"	" 井草五丁目地先から同区井草三丁目地先間配水本管(1500mm)新設(シールド)	竹中土木・保土ヶ谷工業JV	1,760
"	江東区越中島三丁目地先から同区古石場三丁目地先間外1箇所配水本管(800mm)布設替	勝村建設	633
"	八王子市野田町46番地から町田市相原町2781番地先間送水(1500mm)用トンネル築造	奥村組土木興業・協和エクシオ・清水組JV	2,000
"	大谷口給水所(仮称)配水池及びポンプ棟並びに到達立坑築造	竹中土木・名工建設・東武谷内田建設JV	3,370
"	千代田区神田佐久間河岸地先から同区岩町三丁目地先間配水本管(700mm・800mm)布設替	りんかい日産建設	277.7
"	目黒区碑文谷四丁目地先から同区南二丁目地先間配水本管(800mm)新設(仮称)折敷地T本体	中洲工務店・栄新工業JV	435
岐阜県	地下鉄東西線本体仙台駅工区	市川・新井・大山JV	800
仙台市	"	大成建設・大豊建設・りんかい日産建設・橋本JV	4,232
"	" 薬師堂工区	佐藤工業・不動テトラ・アイサワ工業・伊藤組土建JV	5,250.38
"	" 卸町工区	飛鳥建設・不動テトラ・アイサワ工業・奥田建設JV	7,550.98
水戸市	都第3号、都市下水路新設	株木建設・豊島工務店JV	127.9
"	都第4号、	アイサワ工業・共同建設JV	128.5
川崎市	宿河原2号雨水幹線その1	真成・月野JV	230
横浜市	第二戸塚高区線口径800mm配水管撤去	大成建設	176
長岡市	浸水補東1号西神田雨水管渠築造	河田建設・吉原建設JV	194.37
"	浸水補1号蔵王処理分区浸水対策下水道(貯留管)	しなの産業・三泰建設JV	179.86
"	浸水補西1号三ッ郷屋排水区雨水管渠築造	しなの産業	121.96
久米米市	公下合川・善導寺汚水幹線管渠布設その7	日特・笠俊JV	104.7

## 施工

# 半蔵門線渋谷駅をアンダーピニングして新駅を構築

—東京メトロ副都心線—

東京地下鉄(株)鉄道本部工務部構築物構造改善担当部長 高橋 聡  
 鹿島建設(株)東京土木支店渋谷JV工事事務所所長 小川 和久  
 鹿島建設(株)東京土木支店渋谷JV工事事務所工事課長 林 宏延

### 1 はじめに

東京地下鉄(株)は現在地下鉄副都心線(池袋～渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており、平成20年6月開業予定である(図-1)。

完成後は起点の新線池袋において東京メトロ有楽町線を経て東武東上線、西武有楽町線・池袋線と、終点の渋谷駅において東急東横線と相互直通運転を行う予定であり、東京都北西部および埼玉県南西部から神奈川県横浜方面をつなぐ大動脈が完成することになる。

本稿は副都心線建設工事のうち、渋谷駅における地下鉄半蔵門線のアンダーピニングおよび連絡通路工事について報告するものである。

### 2 渋谷駅

#### 2-1 駅の概要

副都心線渋谷駅は、半蔵門線、その他既設路線との連絡を考慮し、渋谷駅東口の明治通りと宮益坂との交差点に位置している(図-2)。

この駅は平成24年度を目途に東急東横線との相互直通運転を計画している接続駅であり、3層3径間の始端停接部と3層(一部4層)5径間のホーム部(2面4線)を有し、平均掘削深さ31m、構築最大幅36mの大規模な駅となる(図-3)。なお、渋谷駅は副都心線と東急東横線との共同駅となることから、ホーム中心より池袋方を東京メトロが、代官山方を東急電鉄が建設を行っている。既設地

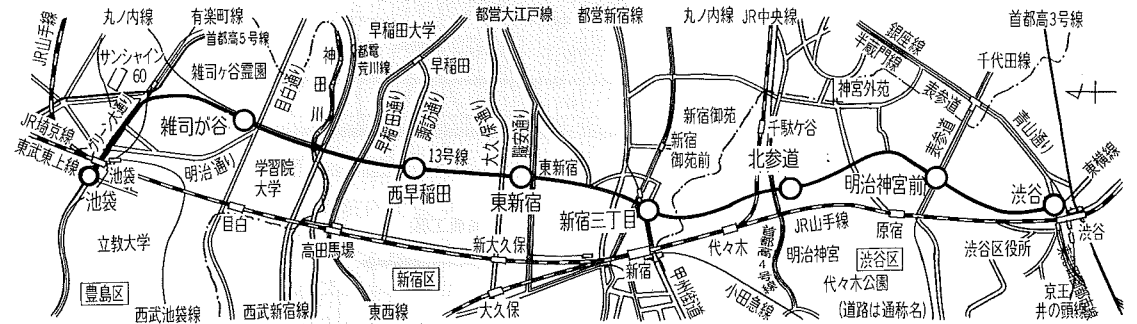


図-1 副都心線路線平面図

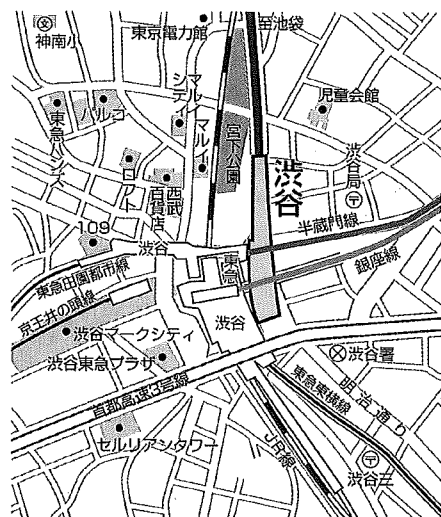


図-2 副都心線渋谷駅付近平面図

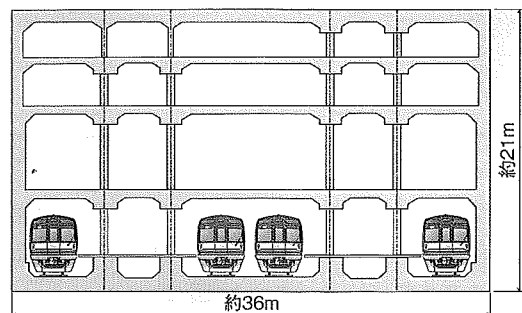


図-3 副都心線渋谷駅断面図

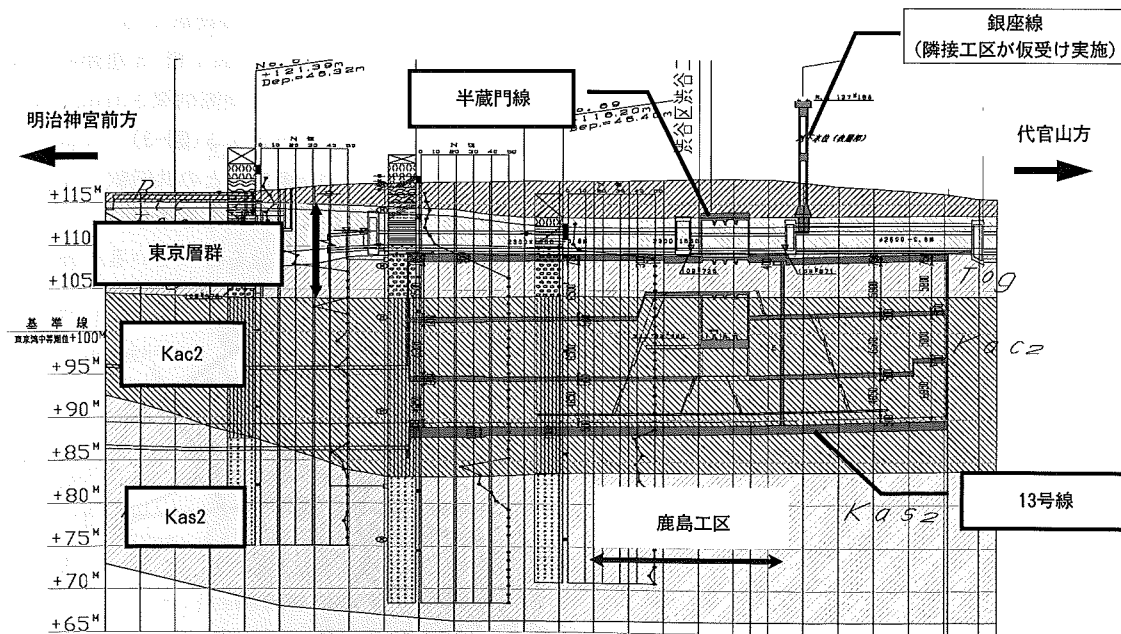


図-4 地質縦断面図

下鉄との交差は、宮益坂道路下を半蔵門線、宮益坂と国道246号線(青山通り)間の地上部に高架で銀座線が交差している。

### 2-2 地形および地質概要

図-4に地質縦断を示す。当施工範囲では沖積層は存在せず、過圧密の関東ローム層、東京層群(互層)、上総層群粘性土(kac2:土丹,  $q_u=2MN/m^2$ )、非常に高い被圧水を持った上総層群砂質土(kas2)という洪積層で構成されている。なお、今回のアンダーピニング・連絡通路工事は、基本的には単一土丹層内における施工となる。

## 3 半蔵門線アンダーピニング工事

### 3-1 アンダーピニング対象物

半蔵門線渋谷駅は、高さ16m(土かぶり5m)の地下3階RCボックスカルバート直接基礎構造となっているが、東急田園都市線の相互乗入れ駅であることから、電気・機械設備などの駅施設物が大規模となり、ボックスカルバートの幅も28mと大きく、副都心線と交差する36m分のアンダーピニング総重量は、240MN(土かぶり荷重を含む)である。図-5, 6にアンダーピニング形状を示す。

今回の施工は、非常に硬質である地盤の特徴を

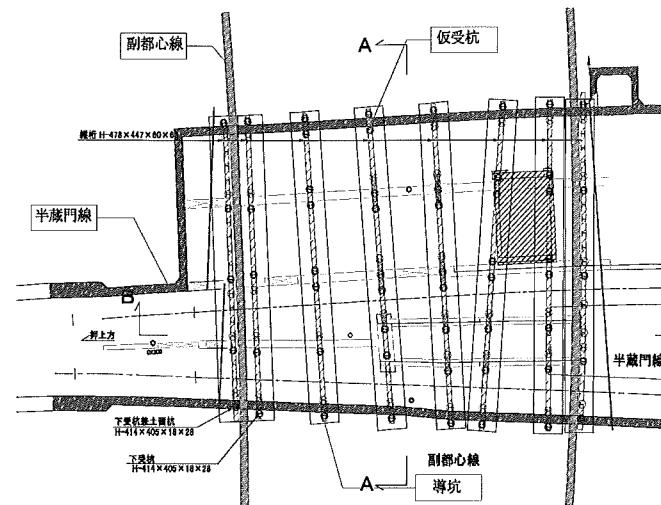


図-5 アンダーピニング平面図

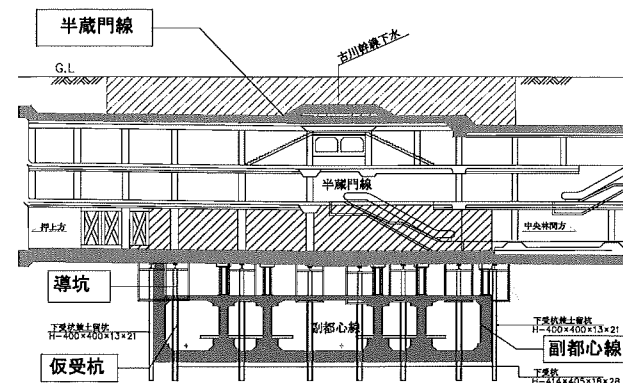


図-6 アンダーピニング断面図

- STEP 1 準備工 ※半蔵門線側部  
既存排水管盛替え
- STEP 2 導坑掘削工
- STEP 3 仮受け杭打設工 ※下受け杭鉛直載荷  
試験
- STEP 4 仮受け工
- STEP 5 抜き掘り掘削工
- STEP 6 土留めアンカー工
- STEP 7 床付け掘削工
- STEP 8 構築工

図-7 施工手順図

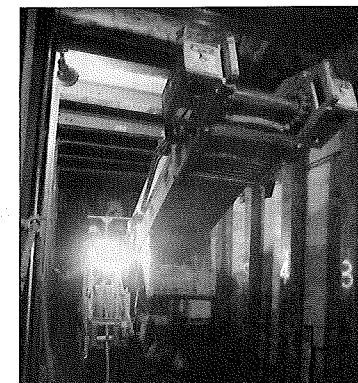


写真-1 掘削中のシャフロダ

### 3-3 施工

#### 3-3-1 導坑トレンチ掘削

導坑掘削寸法は、半蔵門線への影響を極力抑えるため、幅3m(内空2.6m)×高さ4mと坑内BH杭を施工するうえでの最小限寸法とした。掘削機はベルトコンベヤ内蔵型電動掘削機(通称:シャフロダ)を採用し、施工効率向上のみならず、狭隘導坑内での旋回時の巻き込まれ防止や排ガス解消など、安全・環境面の向上も図った。施工は、約2mを1サイクルとし、掘削完了後土留め支保工(H-200×200)を1m間隔に架設し、側面の土留めは横矢板で行った(写真-1)。

なお、1列の導坑掘削に伴って開放されるボックスカルバート重量は、導坑両端の地山で負担し、導坑自体には作用しないものとして設計した。

生かし、下受け部8列の導坑トレンチ掘削・下受け支持杭打設・これをつなぐ鋼製縦桁架設・経済的なフラットジャッキ使用によるアンダーピニング方式を採用した。

なお、半蔵門線下床桁の変形抑制のため、アンダーピニング工事に先立ち、半蔵門線軌道階における梁・柱で構成されるフレーム内を、RCおよび鋼材で補強した。

#### 3-2 施工手順

掘削幅36mのアンダーピニング区間に対して、幅3mの導坑を8列掘削し、導坑内で仮受け杭打設～縦桁架設～プレロードまでの一連の作業を順次行う。隣接導坑内におけるプレロード完了後に、導坑間の抜き掘りを行う。以上の施工手順を図-7に示す。

### 3-3-2 仮受け支持杭打設

狭隘な作業スペースでも施工可能なBH工法は、正循環のため、底部にはスライムが溜まりやすく孔壁にマッドケーキが付着しやすいことから、支持力に関しては信頼性が高いとはいえない工法である。本工事では、営業線の受替え支持杭として使用するため、確実な支持力が必要であった。そこで、仮受け杭(φ700)打設は、削孔対象地盤が自立性の高い単一土丹層であるという好条件を生かした改良BH工法を採用した。施工手順は、まず、短めのウィングビットを用い、泥水を使用して、ビット先端が設計深度となるまで一次削孔を行う。次に、特殊ビットに付替え、清水を使用して先細り部分を削り取る。このとき、根入れ深度から高速回転で再削孔を行うことにより、根入れ

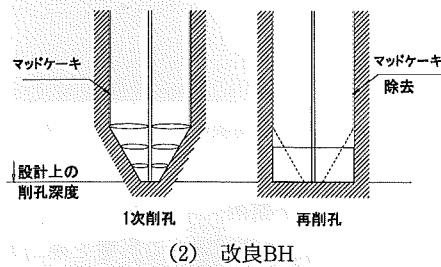
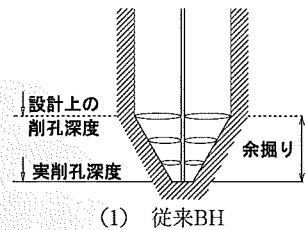


図-8 改良BH削孔方法

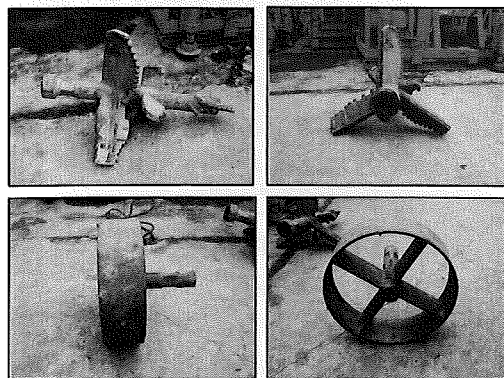


写真-2 ウィングビット(上)と特殊ビット(下)

部分のマッドケーキおよびスライムを除去する(図-8, 写真-2)。以上の方法により、受替後の支持杭沈下を抑制することができた。

### 3-3-3 縦桁架設

縦桁については、杭荷重の均一化ならびにプレロード工に使用するフラットジャッキの水-樹脂交換時の一時的なジャッキダウンを考慮し、アンダーピニング荷重を等分布载荷した単純梁モデルから、仕様をH-458×417×30×50とした。

縦桁架設は、トッププレート(t=22mm)による杭頭処理後、導棒上梁を下方に盛替え、同梁にローラコンベヤを設置し、導坑坑口に架設した電動ウ

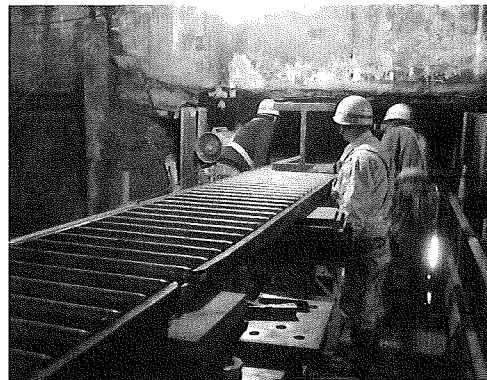


写真-3 縦桁引き込み

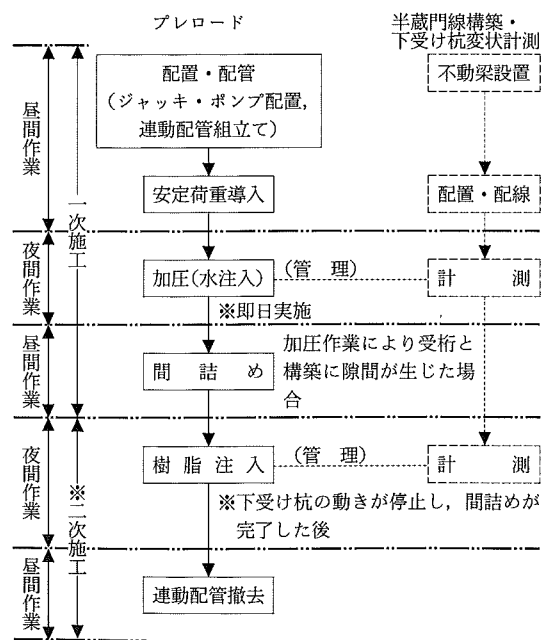


図-9 プレロード施工フロー図

表-1 プレロード加圧作業時管理基準

管理項目	管理値	備考
導入圧力	各ジャッキごとに設定	変位管理基準値に達した時点で終了
躯体鉛直変位	一次管理値 3.5mm 二次管理値 5.0mm	半蔵門線軌道階設置各沈下計

表-2 ステップごとの半蔵門線構築挙動

	A線 (表参道方)		B線 (田園都市線方)	
	最大値	最小値	最大値	最小値
導坑掘削開始前	1.8	0.8	2.3	0.8
プレロード開始前	2.2	1.2	2.2	0.3
プレロード完了	2.7	1.1	3.5	0.3
抜き掘り完了	2.6	1.1	2.2	-0.8
樹脂置換完了	2.8	1.1	2.1	-0.7
掘削完了	2.4	1.1	0.6	-2.3
副都心線下床版完了	1.6	0.3	0.7	-3.3

隆起(+) 沈下(-)

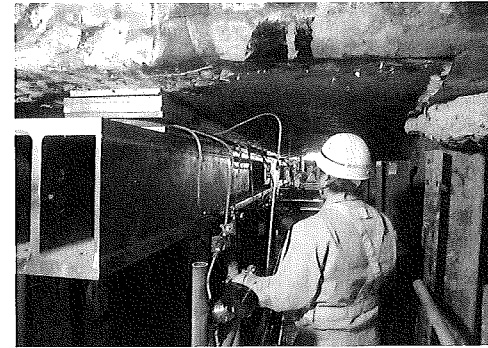


写真-4 プレロード状況

インチで縦桁の引き込みを行った(写真-3)。引き込んだ縦桁は、添接プレートで隣接桁と固定し、杭頭プレートとボルト接合した。引き込みの際に必要な半蔵門線躯体との隙間は、鋼製金物とライナープレートで間詰めを行った。

### 3-3-4 プレロード工

プレロードの施工フローを図-9に示す。フラットジャッキ内に充填した樹脂の硬化時点でプレロードの1サイクルが完了するが、水から樹脂への置換については、導坑間の抜き掘り完了後、半蔵門線躯体の挙動の安定を確認した後にいった。

プレロード荷重は、死荷重の100%とし、電動ポンプによる水圧によりジャッキアップを行った。プレロードは導坑ごとに一度に行った。写真-4にプレロード施工状況を示す。

### 3-4 半蔵門線変状計測結果

#### 3-4-1 計測項目

プレロード時の計測管理項目、計測器、管理基準値を表-1に示す。

#### 3-4-2 プレロードによる杭および半蔵門線構築変状

フラットジャッキのストローク25mmに対して、プレロード時の沈下量が20mmを超えた杭が存在する杭群は、全45組中3組あった。プレロードによる半蔵門線構築の変異は、最大で1.3mmの隆起と非常に小さく、構築表面に異状は見られなかった。

#### 3-4-3 副都心線下床版完了までの半蔵門線構築変状

表-2に副都心線下床版完了までの半蔵門線構築の挙動を示す。すべての段階で一次管理値以内で

あった。

### 3-5 アンダーピニング考察

半蔵門線軌道内の変位を一次管理値以内に収めることができ、本工事のフラットジャッキによる仮受け工は計画どおり成功したと考える。良好な地盤と剛性の高いアンダーピニング構造物という好条件にも恵まれ、従来の油圧系ジャッキ使用によるアンダーピニングに比べ経済的な受替えを果たすことができた。

## 4 連絡通路工事

### 4-1 連絡通路の概要

この工事は、半蔵門線構築下に、軌道方向に沿って、幅14m×高さ4.5m×延長75mのカルバートを築造し、副都心線と半蔵門線のホームをラッチ内で接続するものである。

なお、連絡通路とホームは、エレベータ、階段、エスカレータで接続する(図-10)。この工事においても、半蔵門線のアンダーピニングが必要となるが、半蔵門線構築が大規模で剛性が大きいこと、ならびに副都心線本線導坑掘削時の地山状況から、4本の導坑掘削を利用したトレンチ工法にて行うこととした。

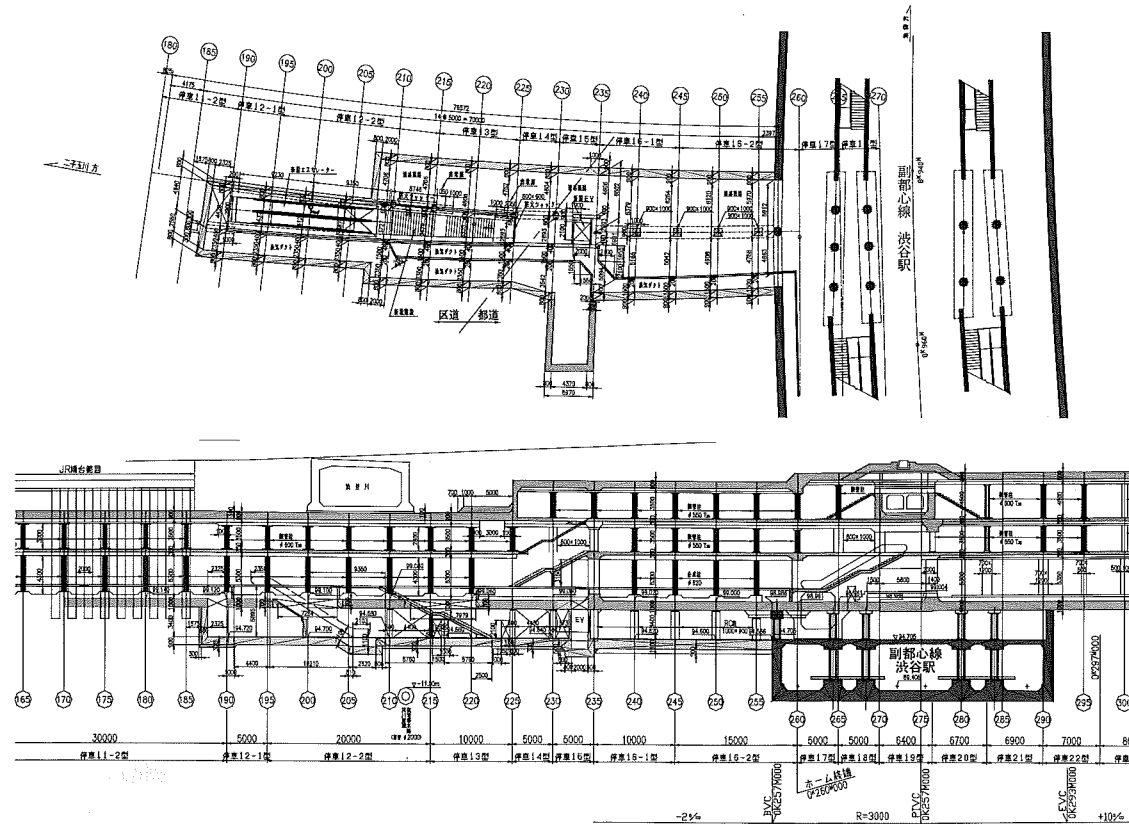


図-10 連絡通路平面図・縦断面図

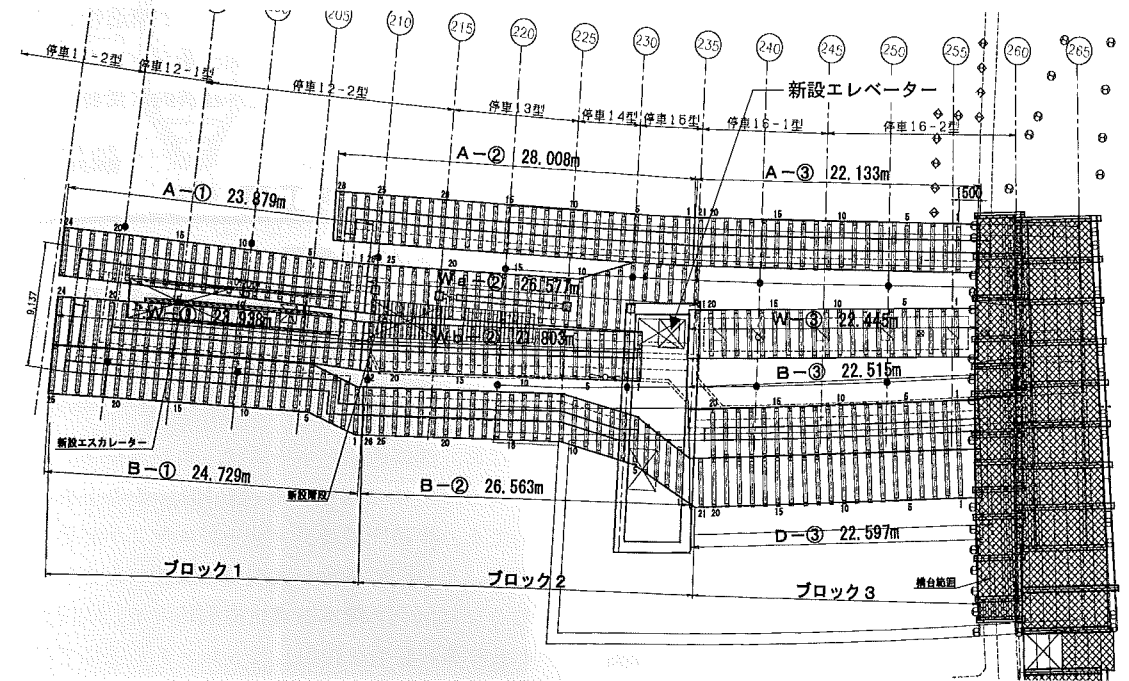


図-12 導樁配置平面図

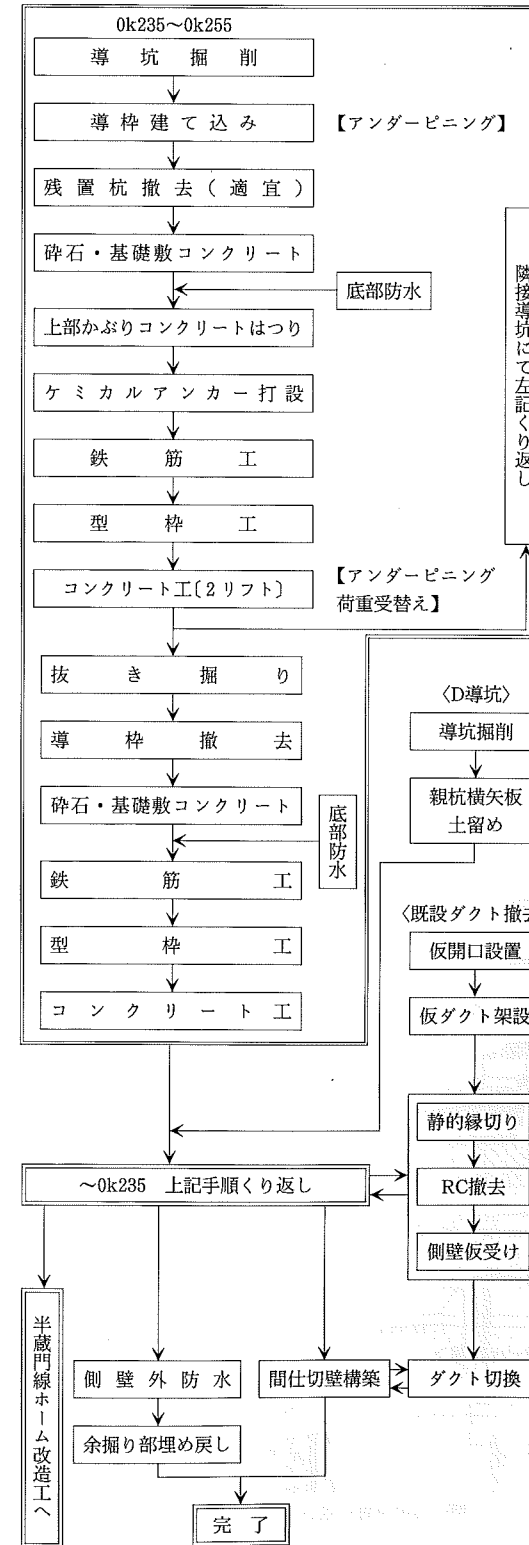
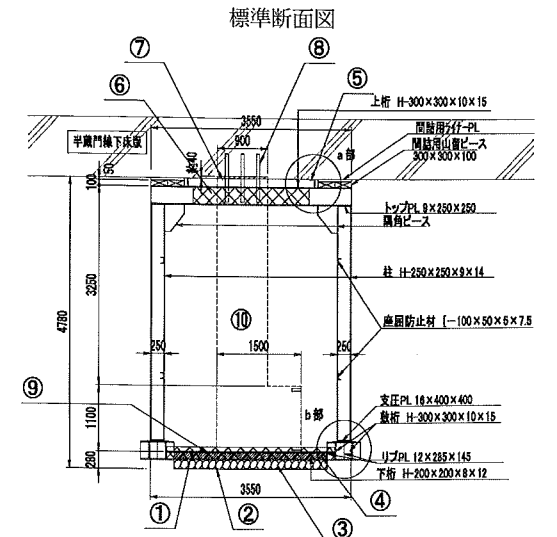


図-11 施工順序図



- 〈構築工施工手順〉
- ① 下桁撤去
  - ② すき取り掘削
  - ③ 砕石敷き均し10cm
  - ④ 基礎敷きコン打設15cm
  - ⑤ 上桁振れ止め設置(L=100×100)
  - ⑥ 上桁撤去
  - ⑦ 半蔵門線底版被りコン除去
  - ⑧ ケムアンカー打設
  - ⑨ 底部防水
  - ⑩ 構築工

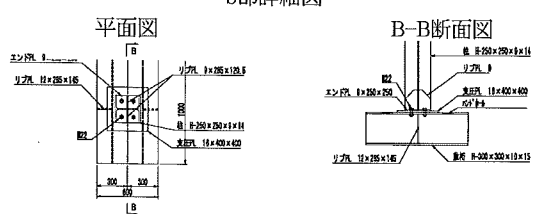
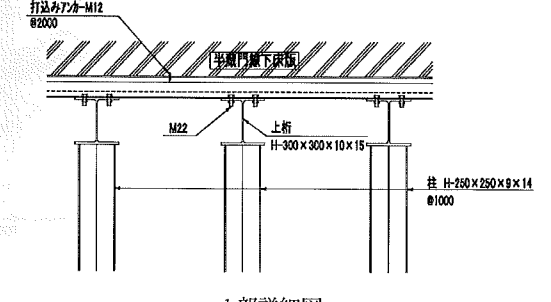
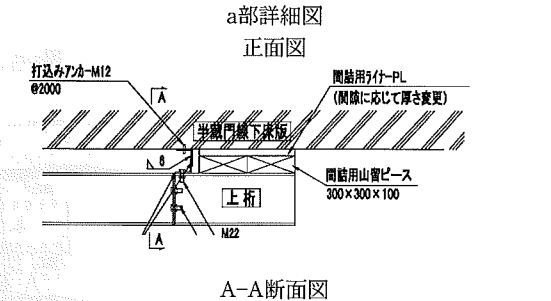


図-13 導樁一般図

4-2 施工手順

連絡通路施工の主な工種は、掘削工、構築工、防水工、既設ダクト撤去工である。施工手順を図-11に示す。

4-2-1 掘削工

掘削工は、導坑掘削と導枠建て込みを1mピッチで行った。

図-12に導枠平面配置図を、図-13に導枠一般図を示す。シャフロードによる粗掘り後、ミニバックホーで整形を行い、架台(H-300)を所定の位置にセットする。支柱(H-250)を建て込み、その上に桁(H-300)を設置する。上桁と半蔵門線構築との間にはライナープレート差し込み、

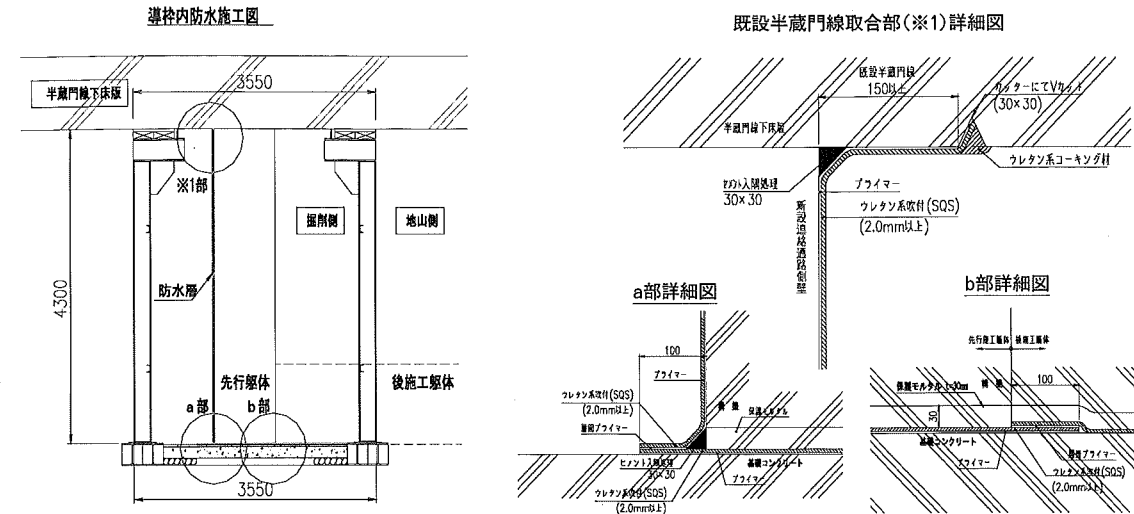


図-14 防水詳細図

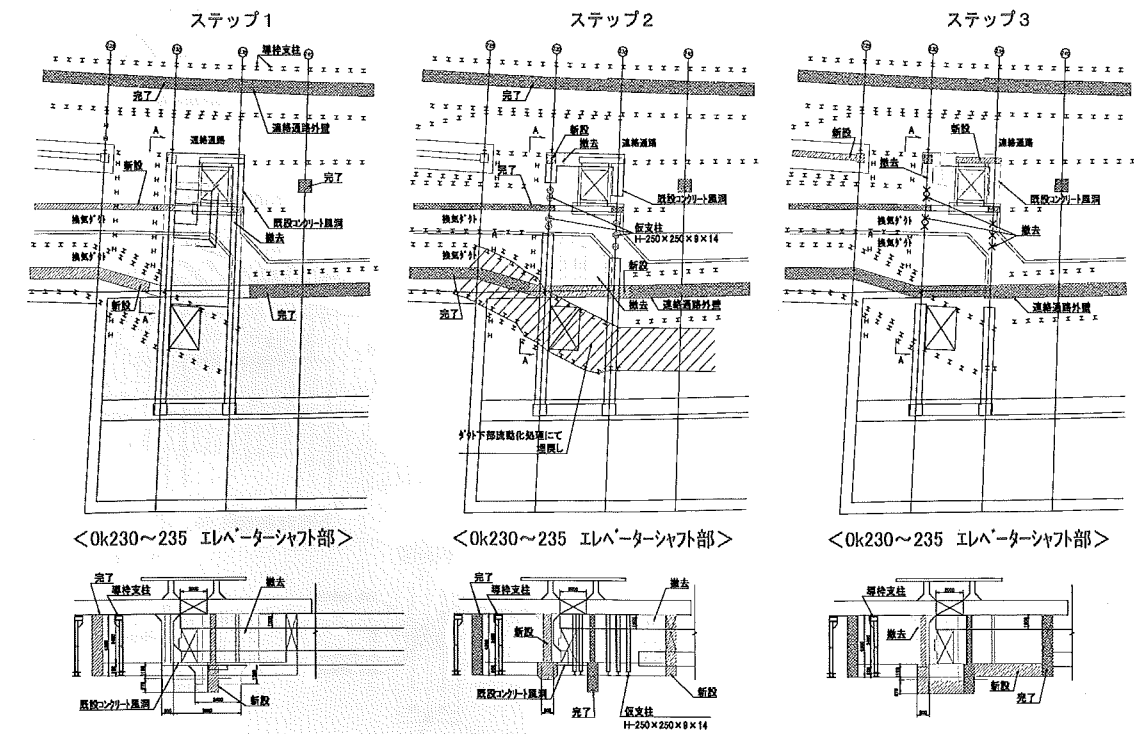


図-15 既設ダクト撤去順序図

ハンマーで叩き込む。

なお、掘削途中に出てきた半蔵門線建設時の残置杭は、そのつど切断撤去した。

4-2-2 構築工

構築工では、壁および柱を先行施工し、半蔵門線荷重の受替えを行った。このため、連絡通路下床部は通常より多くの施工継手が発生するが、基本的にすべて機械式継手を採用した。なお、施工性、打継ぎ部の品質を考慮し、壁上部1mには膨張材を添加した高流動コンクリートを圧入充填した。

4-2-3 防水工

構築は導坑ごとの分割施工となるため、多くの施工継手が発生する。そこで、膜厚が薄く、シームレスな防水として、ウレタン吹付け防水を側部および底部に採用した。防水の詳細を図-14に示す。

4-2-4 既設ダクト撤去工

連絡通路構築範囲に、常時の給気機能と火災時の排煙機能を備えたコンクリート製ダクトがあり、長期の機能停止ができないため、ダクト内に鋼材で仕切り板を設け、供用ダクト部分との絶縁を行っ

表-3 アンダーピニング形式

	副都心線本線部	連絡通路部
アンダーピニング部材	仮支持杭(H-414×405)	導枠支持杭(H-250×250)
支持地盤の確認	スライム処理の出来栄が不明確→改良BH杭でも、多少の沈下は生じる	目視可能。不陸はセメントで是正→基本的には柱の沈下はない
アンダーピニング荷重の推移	掘削の進捗に伴い増加→切り抜け掘削により負担過重が大幅に変化	次導枠架設前(1作業後)が最大→管理が容易で、アンダーピニング方法の見直しが可能
仮杭・支柱の最大荷重	440t	140t
設計上のアンダーピニング部材変形量	杭長12m分のひずみ(8.5mm)→あらかじめ杭を縮ませておく必要がある	支柱4m分のひずみ(3.0mm)→掘削に伴う浮き上がりにより相殺されると判断

表-4 導枠仕様

	副都心線本線部	連絡通路部
導枠の寸法	4.00(H)×2.90(W)@1,000 →仮受け杭(BH杭)マシン寸法から決定	4.43~6.60(H)×3.55(W)@1,000 →構築高さおよび底版配筋寸法から決定
導枠掘削の方向	半蔵門線直角方向 →設計上導枠には鉛直荷重は作用しない	半蔵門線直角方向 →導枠には鉛直荷重が作用する
導枠要求性能と柱仕様	側部地山の土留め→H-200×200	半蔵門線(+土かぶり)荷重を支持 →H-250×250, 柱上部に支圧板としてH-300
標準断面図		

表-5 施工サイクル

副都心線本線部	導坑掘削→支持杭打設→縦桁架設→プレロード(アンダーピニング)→切り抜け掘削(導枠撤去)→躯体構築→支持杭撤去
連絡通路部	導坑掘削→導枠間詰(アンダーピニング)→躯体構築→隣接躯体構築→切り抜け掘削(導枠撤去)→底版残り構築

たうえで、随時RCの撤去を行った。施工にあたっては、排煙・防塵・防火に留意し、送風機の増強、頻繁な清掃、可燃物の確実な除去を行った。なお、ダクトの壊し・撤去は、構内・軌道への振動・騒音を抑えるため、ワイヤーソーを用いた。図-15に既設ダクト撤去手順を示す。

#### 4-3 副都心線本線部と連絡通路部における半蔵門線下受け方式の相違点

連絡通路部のアンダーピニングに際し、連絡通路床付け深さは、半蔵門線底版下より最大で5.6mしかないため、副都心線本線部で用いた支持杭によるアンダーピニングは行わず、構築深さに応じて支柱長を長くした鋼製導棒に、直接アンダーピニング荷重を負担させることとした。よって、アンダーピニング形式、導棒仕様、施工サイクルが異なるので、これらを表-3~5に示す。

### 5 おわりに

今回は、各種の好条件に恵まれ、従来工法より合理的な(簡素な)方法で、要求品質を十分満たす

仮受け杭の施工が可能となり、良好なアンダーピニングを実現できた。

今後、大深度地下利用に伴い、固結度が高い地盤を対象とすることが増加すると思われるが、施工環境を十分分析し、従来工法の単純な足し合わせを避けることで、より合理的な施工を実現したいと考えている。

現在、副都心線渋谷駅工事は土木構築が完成し、軌道、電気、建築工事を順次行っている段階である。本工事が、今後の類似したアンダーピニング工事の参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) (社)地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説、第1回改訂版、2002.5.
- 2) (財)鉄道総合技術研究所：アンダーピニング設計・施工の手引き、1987.9.
- 3) 高橋聡・今井龍男・吉田敬・小川和久：地下鉄13号線渋谷駅建設工事における既設大断面駅のアンダーピニング工事、トンネル工学報告集、Vol.15、2005.12

## 『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、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  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)

## 研究

# 耐火型合成セグメントの火災時構造安定性に関する研究

阪神高速道路(株)京都建設部調査設計グループアシスタントマネージャー 足立 幸郎  
阪神高速道路(株)神戸建設部工事企画グループグループ長 藤井 康男  
清水建設(株)関西事業本部土木技術部課長 青山 哲也  
新日本製鐵(株)建材開発技術部土木加工建材技術グループマネージャー 川村 彰 誉

## 1 はじめに

道路トンネルにシールド工法を採用する事例が増えつつある。とくに近年は一次覆工の施工性と信頼性向上などの技術的背景をもとに、コスト縮減のため二次覆工が省略される傾向にある。その場合、一次覆工のみで耐火性を確保する必要がある。従来の耐火工はパネルや吹付けモルタルなどセグメント内面に耐火被覆材を設置し、セグメント本体の温度上昇を抑制するものである。しかし、より合理的な構造としてセグメント本体が耐火性を有する構造も考えられる。

阪神高速道路(株)、清水建設(株)、新日本製鐵(株)の3社は、共同でセグメント自体が耐火性能を有する合成セグメントとして、有機繊維混入コンクリートを使用し、鋼材部には発泡性耐火塗料を塗布した構造を対象とし、この構造が火災時および火災後に外力支持能力を維持できることを確認する目的で研究を行った。この成果として、解析および実大規模の実験により対象構造が、合成セグメントとして火災時にもトンネル構造として崩壊せず、トンネル構造安定性が確認できたので報告する<sup>1)</sup>。

## 2 検討の概要

解析は、部材性能の温度依存性を考慮

した熱応力変形解析により実施した。熱応力変形解析の結果からトンネルの変位が極端に大きくなるということが確認でき、トンネルは大変形や崩壊はせず構造安定性を確保できると判断した。

実験は、加熱による部材膨張とトンネルの構造的拘束および地盤に起因する拘束による付加断面力を再現し、実規模で実施した。この結果、加熱による部材の大変形、主部材である鋼材の座屈や、部材の大きな断面欠損がなく構造安定性が確保できると判断した。

## 3 構造概要と耐火性

耐火型合成セグメントは図-1に示すように合成セグメントのコンクリートに有機繊維混入コンクリート(繊維混入量0.2vol%<sup>2)</sup>、写真-1参照)を使用し、鋼材部には発泡性耐火塗料を塗布(厚さ4mm)した構造である。さらにコンクリートを2cm増厚することにより保護層を確保した。

コンクリート部材は火災加熱を受けると、加熱

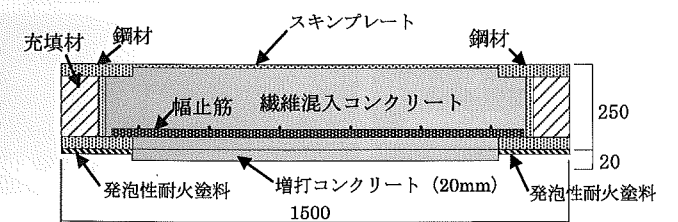


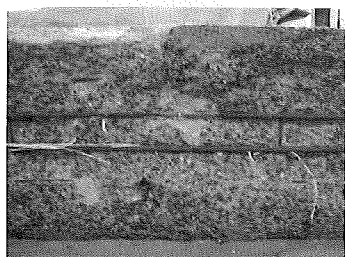
図-1 耐火型合成セグメント構造概要図

によるコンクリート表面の熱膨張が拘束されるなどして生じる圧縮力と、コンクリート中の水分が気化して生じる水蒸気圧によって破壊すると考えられている。このような現象を爆裂という。爆裂の発生は断面欠損や鉄筋露出などによる著しい耐力低下、それに伴う火災後の補修・補強の大規模化、あるいは火災時における避難・消火・救助活動の安全性低下など問題が多い<sup>9)</sup>。コンクリートに有機繊維を混入することにより、火災時に有機繊維が焼失して細かな空隙ができ、水蒸気圧を緩和し、爆裂現象を抑制することができる(写真-2参照<sup>9)</sup>)。

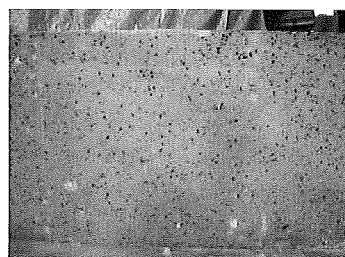
一方、鋼材も高温にさらされると著しく耐力が低下する。大規模トンネル火災で想定される1,000℃以上の高温下では常温時の5%以下の鋼



写真-1 有機繊維



(1) 通常コンクリート: 爆裂発生

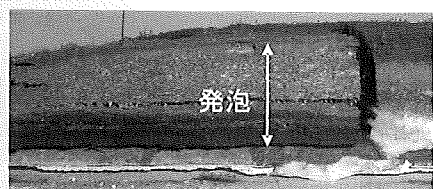


(2) 有機繊維混入コンクリート: 爆裂なし

写真-2 加熱実験結果



(1) 加熱前



(2) 加熱後

写真-3 発泡性耐火塗料

材強度となり<sup>9)</sup>火災時のトンネル構造の安定性が著しく損なわれる。発泡性耐火塗料は高温時に主成分のポリリン酸アンモニウムが発泡して断熱層を形成する耐火被覆材であり、鋼材の温度上昇を抑制することができる(写真-3参照)。

## 4 トンネル全体の安定性に関する解析

### 4-1 解析方法

#### 4-1-1 解析手順

トンネル全体の安定性に関する解析は、セグメント内部温度を計算する熱伝導解析とトンネル覆工断面の構造挙動を解析する熱応力変形解析を連成して行った。以下に熱伝導解析手法、熱応力変形解析手法およびトンネル覆工断面の解析モデルについて概要を述べる。

#### 4-1-2 熱伝導解析

熱伝導解析は、差分法<sup>7),8)</sup>を適用した非定常熱伝導解析プログラム<sup>9)</sup>を用いて行った。差分法では、解析対象断面を微小要素に分割し、要素内は一律温度として取り扱い、解析時間を微小時間間隔に分割したくり返し計算により各要素の温度を算出する。その際、微小時間間隔内では要素の温度は一定とする。解析における前提条件は以下のとおりとした。

- ① 加熱面および非加熱面の熱伝達：放射熱伝達<sup>10)</sup>および対流熱伝達による熱エネルギーの収支を取り扱う。加熱面における放射熱伝達については、コンクリート表面の放射率を0.9、火災の放射率を0.9とした合成放射率0.82を採用する。
- ② コンクリートと鉄筋の熱常数：温度依存性を考慮したEUROCODE 4<sup>11)</sup>のモデルを適用する。
- ③ コンクリートの温度停滞：コンクリートの温度は、その上昇過程において、含水分の潜熱によ

て100℃近傍で停滞する。本解析では、100℃で温度上昇の停滞が起こるものとする。また、コンクリート中の水分は温度変化によって移動するが、本解析ではコンクリート中の水分移動はないものとする。要素内の含水分が0%になった次の時間段階から再度温度上昇するものとする。

#### 4-1-3 熱応力変形解析

熱応力変形解析には、弾塑性熱応力変形解析プログラム<sup>12),13)</sup>に、鉄筋の力学的性質としてEUROCODE 4を、コンクリートの力学的性質としてMSモデル<sup>10),14),15)</sup>を導入したプログラムを用いた。

当該解析では、前提条件として平面保持の仮定が成り立つものとし、時間積分直接剛性法によるくり返し計算によって、非定常計算を行うものである。そのため、部材内部温度の時間変動は、熱伝導解析と同様に段階的なものとし、区分された微小時間間隔内では要素の温度は一定として取り扱う。また、部材断面を微小要素に分割するとともに、部材の材長方向についても複数の要素に分割する。

くり返し計算の収束の判定は、部材を材長方向に分割した各節点における力の釣合いによって行う。すなわち、節点に作用する外力と部材断面の各要素の応力を積分して求めた内力の和との差によって、時間段階ごとに収束を判定する。

収束計算過程における不釣り合い力分の増分変位の算定は、部材断面の各要素の剛性(要素のひずみ履歴を考慮した応力-ひずみ曲線における接線の勾配)を積分して求めた接線剛性と不釣り合い力から算定する。算定された不釣り合い力分の増分変位は収束計算過程において節点変位に逐次累加する。

#### 4-1-4 解析モデル

トンネル断面は図-2に示すようにトンネルの対称性を考慮して1/2断面を対象とし、地盤バネを考慮したうえで自重、外荷重を各節点に作用させた。部材(セグ

メント)の断面は、図-3に示すように微小要素に分割した。

#### 4-1-5 荷重条件

道路用シールドトンネルで合成セグメントが採用された事例<sup>6)</sup>を参考にし、トンネル外径はφ10,600mm、内径φ10,100mm、セグメント厚250mm+20mm(耐火保護層)、セグメント幅1.5mとした。作用荷重は表-1のとおりとし、荷重は図-4に示すように作用するものとした。

#### 4-1-6 加熱条件

トンネル火災を想定した時間温度曲線は、ドイツにおける道路トンネルの設備と運用における指針で制定された図-5に示すRABT加熱曲線に準じ、5分間で常温から1,200℃まで升温し1,200℃を55分間維持した後、170分間で常温まで降下させる時刻歴とした(以下「RABT加熱」と称す)。

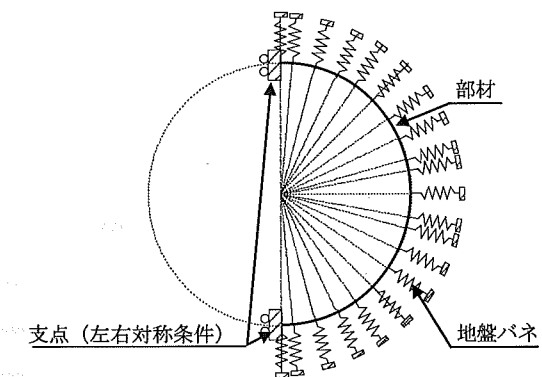
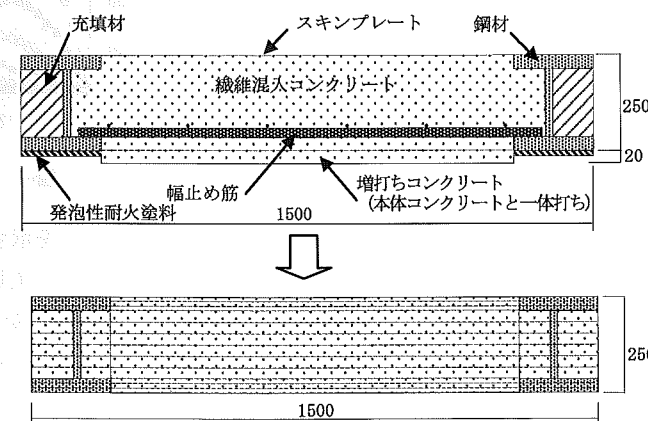


図-2 解析モデル



\*構造解析に必要な増打分と耐火塗料は省略

図-3 部材要素分割図

表-1 荷重条件

		単位幅あたり ( /m)
土 かぶり	H(m)	40.725
地下水水位	H <sub>w</sub> (m)	38.725
鉛直土圧	P <sub>vc</sub> (kN/m)	155.91
頂部側方土圧	q <sub>e1</sub> (kN/m)	62.36
底部側方土圧	q <sub>e2</sub> (kN/m)	62.36
頂部水圧	P <sub>w1</sub> (kN/m)	387.25
底部水圧	P <sub>w2</sub> (kN/m)	490.75
自重	g(kN/m)	7.0
地盤反力係数	k(kN/m <sup>2</sup> )	6,086 4,155
側方土圧係数	λ	0.40

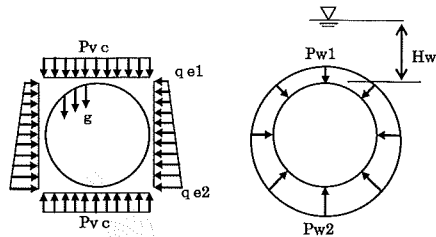


図-4 荷重作用図

また、小規模火災が長時間継続した場合を想定し、5分間で400℃に達し、10日間400℃の加熱を維持する火災も解析対象とした(以下「小規模長時間加熱」と称す)。加熱範囲は路面より上部の範囲とし、加熱範囲を一様に加熱した。

4-2 熱伝導解析結果

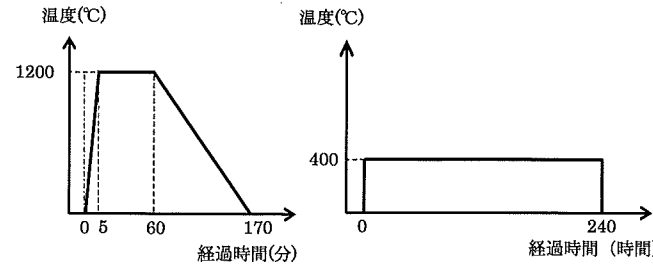
図-6に「RABT加熱」を受けた場合の鋼材部温度分布を示す。1,200℃の加熱を直接受ける計算点30の温度に着目すると、耐火塗料の効果により300℃以下に抑えることができている。図-7にRABT加熱を受けた場合のコンクリート内部温度を示す。

一方、小規模長時間火災では、耐火塗料は灰化に伴い耐火性能を期待することができなくなり定常状態に収束し、加熱側で約350℃となった。

4-3 熱応力変形解析結果

ここではRABT加熱の結果を中心に述べる。図-8~10に変形・曲げモーメント・軸力算定結果

トンネルと地下



(1) RABT曲線 (2) 小規模長時間加熱

図-5 時間温度曲線

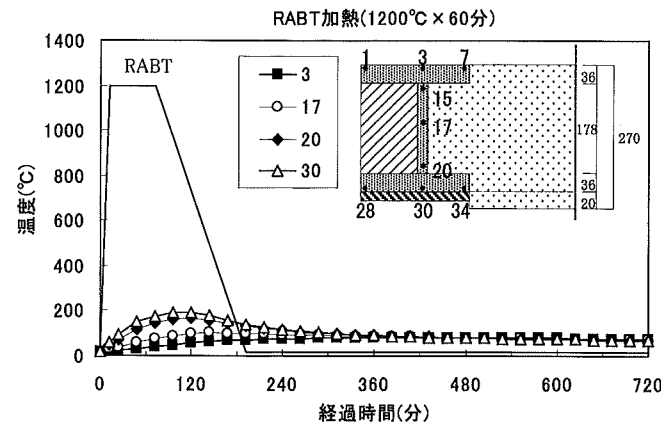


図-6 熱伝導解析結果(鋼材部)

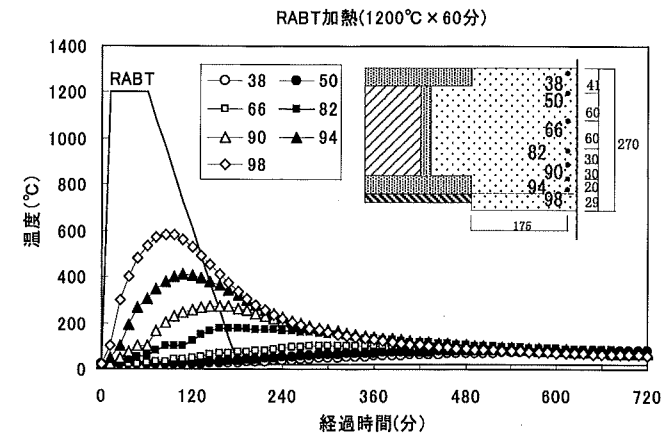


図-7 熱伝導解析結果(コンクリート部)

を示す。トンネル構造としての安定性は、大変形が生じていないことをもって確認する。

図-8よりRABT加熱に対しトンネル断面の変形は収束しており最大変位は10mm程度であり、トンネル断面は崩壊しないことが確認できた。また、図-9, 10より加熱を受けても軸力の変化は小さいが、負の曲げモーメント(トンネル内面側が圧縮)

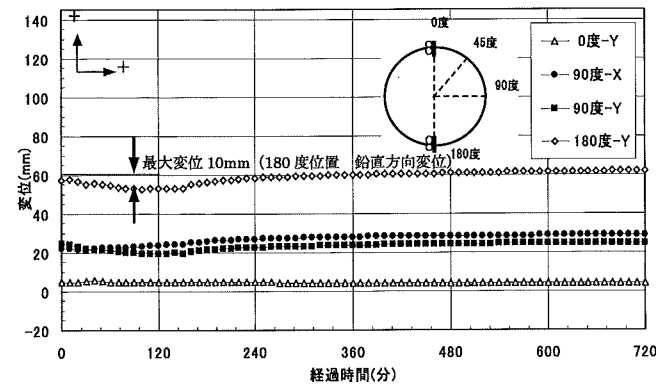


図-8 変形経時変化図

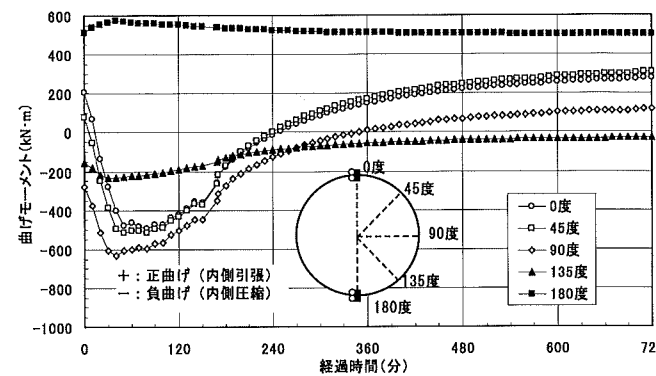


図-9 曲げモーメント経時変化図

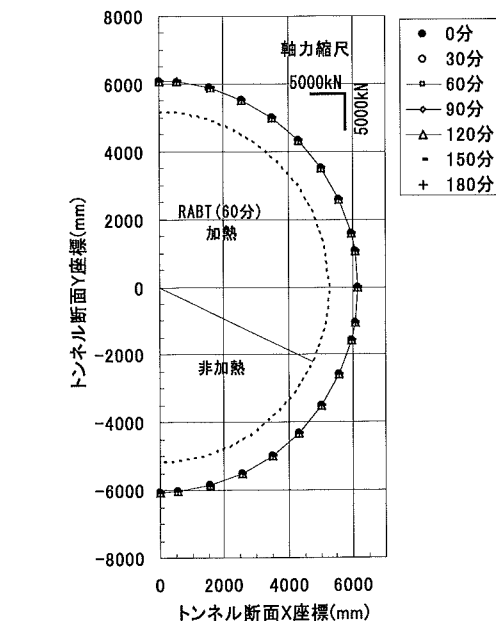


図-10 軸力図

各時間の軸力算定値はほぼ同様であり、場所による軸力の変化はあまりない

が顕著に増大していることが特徴的である。加熱時の負曲げ最大値は、トンネルスプリングライン位置(90度)で加熱後40分に発生しており、常時発生断面力の約2倍の値となっている。これは、加熱による部材膨張と閉構造であるトンネルの構造的拘束および地山拘束に起因するものと考えられる。

小規模長時間加熱については、変位が最大で20mm程度となった以外は同様の結果が得られた。

5 セグメントの耐火性能確認実験

5-1 目的

今回対象のセグメントが加熱により部材の大変形、主部材である鋼材の座屈や部材のコンクリートの爆裂に伴う断面欠損を生じることなく、構造安定性が確保できることを確認する目的とした。

5-2 実験方法

5-2-1 実験の考え方

火災時の部材温度上昇により部材は膨張しようとする。図-11に示すように加熱面側(トンネル内面側)の温度上昇が地山側の温度上昇よりはるかに大きい部材は加熱面側に凸となるような変形をしようとする。しかしながら、閉構造であるトンネルの構造的拘束や地山による拘束により変形が拘束されるため図-12に示すような内部応力状態となり付加断面力が発生する(図-13, 14参照)。「4-3 熱応力変形解析結果」から付加断面力(負

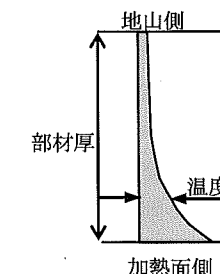


図-11 加熱時の内部温度分布概念図

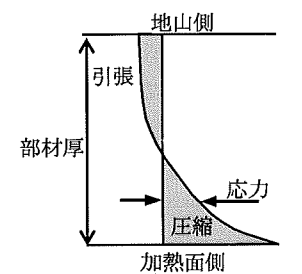


図-12 加熱時の内部応力分布概念

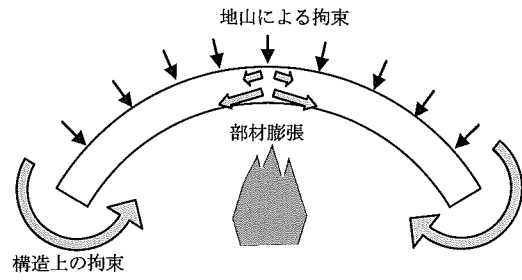


図-13 付加断面力発生概念図

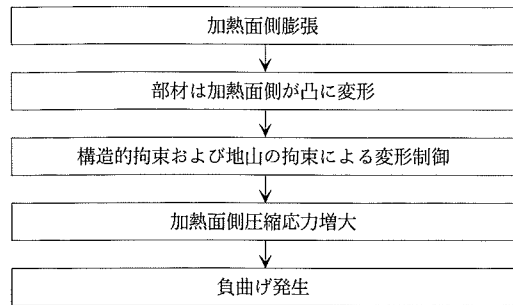


図-14 付加断面力発生フロー図

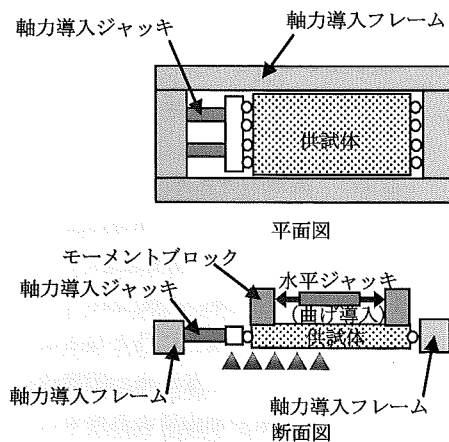


図-15 実験設備概念図

の曲げモーメント)の大きさは常時発生断面力の約2倍となっている。

5-2-2 実験設備

セグメントの耐火性能確認実験を実施するにあたっては土水圧などにより発生する常時の断面力に加え、加熱および拘束の影響によって発生する付加断面力を考慮することが不可欠である。そこで、実験設備は図-15に示すように水平ジャッキ(曲げモーメント導入用)と軸力導入ジャッキを装備し、常時断面力と付加断面力を考慮できる設備とした。写真-4に実験設備全景を示す。

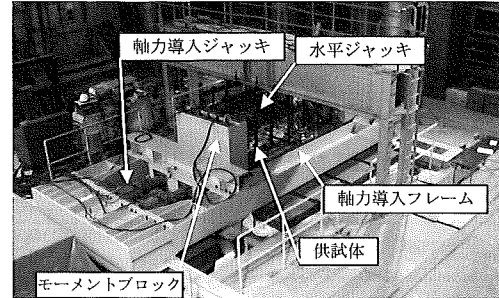


写真-4 実験設備全景

5-2-3 荷重制御方法

加熱により負曲げ(トンネル内面側が圧縮)が増大することから実験対象部位は負曲げ最大点であるトンネルスプリングラインとした。常時荷重(土水圧、自重など)によって発生する断面力として、表-1で示した荷重条件によって算出された軸力4,900kN、曲げモーメント-375kN・m(加熱側が圧縮)を導入した。さらに、加熱中の付加断面力(負曲げが増大するが軸力はほぼ一定)を再現するための荷重方法を把握する目的で、実験供試体を模擬した解析を実施した。

その結果、供試体中央部の変位を一定に保つよう変位制御することにより安全側の付加断面力を考慮できることが把握できた。実験においては水平ジャッキと軸力導入ジャッキの制御により、供試体への導入軸力を一定に保ちつつ供試体中央部の変位を一定に保ち、加熱に伴う付加断面力を再現した。

5-2-4 加熱方法

加熱は解析条件と同様、RABT加熱とした。

5-3 実験供試体

供試体は、本体部供試体と継手部供試体の2体とし、実セグメントと同規模となる幅1,500mm、厚さ250mmとした。本体部供試体の長さは4,200mm、継手部供試体の長さは2,100mm×2とした。供試体形状は火災時の応力状態を再現すればよいので荷重を行いやすい平板とした。

コンクリートの配合は表-2に示すように実セグメントと同様とし、爆裂防止用の有機繊維(ポリアセタール)を0.2vol%混入した。コンクリートの28日圧縮強度は、54~58N/mm<sup>2</sup>であった。

表-2 コンクリートの示方配合

スランプ(cm)	空気量(%)	W/B(%)	s/a(%)	単 位 量(kg/m <sup>3</sup> )					繊維混入量(%)	
				水 W	結合材(B)		細骨材 S	粗骨材 G		混和剤 Ad
					セメント	膨張材				
3±1.5	1.5±1.5	38.5	39.0	150	370	20	716	1,142	2.54	0.2



写真-5 継手部供試体

鋼材部には4mm厚の発泡性耐火塗料を塗布した。継手部供試体を写真-5に示す。

5-4 計測項目

計測項目は、供試体内部温度、炉内温度および変位とし、その目的は、部材内部温度の解析値との整合、加熱条件の妥当性、変形度合いの把握、断面力導入ジャッキの制御などとした。供試体内部温度および炉内温度は熱伝対により測定した。

温度計測平面位置を図-16に、その断面位置を図-17に示す。

コンクリート温度計測、鋼材温度計測とも2か所で行った。コンクリート温度計測は1か所あたり12測点に熱伝対を、鋼材温度計測は1か所あたり7測点に熱伝対を設置した。また、継手部供試体には継手面2か所(6測点/箇所)に熱伝対を設置した。炉内温度は供試体加熱面から100mm離れた位置8測点に熱伝対を設置した。鉛直方向変位は16か所、水平方向変位は8か所を変位計にて測定した。

5-5 実験結果

本体部供試体の実験結果を図-18~21、写真-6、7に示す。加熱条件の妥当性、付加断面力の再現状況、部材内部温度の解析値との整合性、構造の安定性について以下に述べる。

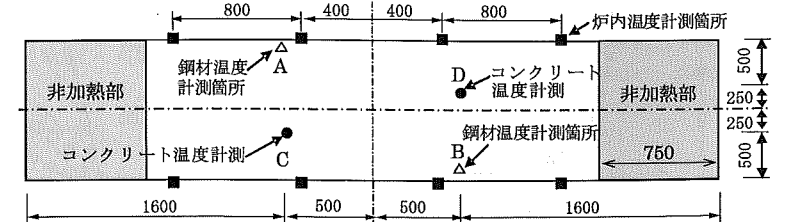


図-16 温度計測平面位置図

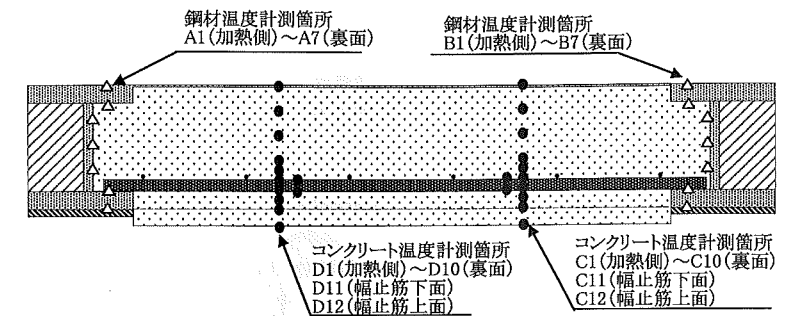


図-17 温度計測断面位置図

図-18に示す炉内温度測定結果より、設定どおりの加熱を行うことができたと考える。今回の実験では、供試体中央部の変位が一定となるようにジャッキを制御し、加熱時の付加断面力の再現を試みた。

図-19にトンネル断面の弾塑性熱応力変形で得られた付加断面力の計算値と導入断面力の実験値を示す。同図より、この方法によって加熱および拘束条件による付加断面力を定性的にも定量的にもおおむね再現することができたといえる。

図-20, 21に示すように鋼材温度およびコンクリート温度の解析結果と実験結果はおおむね一致した。

写真-6, 7に示すように加熱により一部コンクリートの剥離が見受けられたもののコンクリートの爆裂現象は発生せず、加熱中、加熱後とも大きな変形や主部材である鋼材の座屈は確認されずセグメントは崩壊しないことが確認できた。継手部用供試体についても同様の実験結果が得られた。

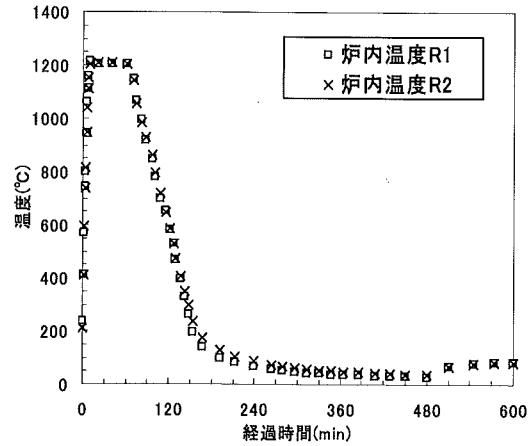


図-18 炉内温度

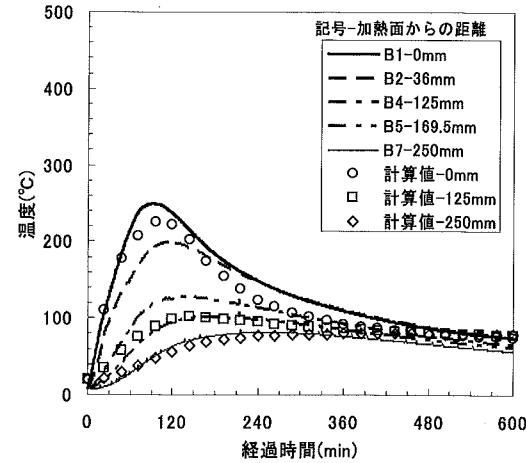


図-20 鋼材温度

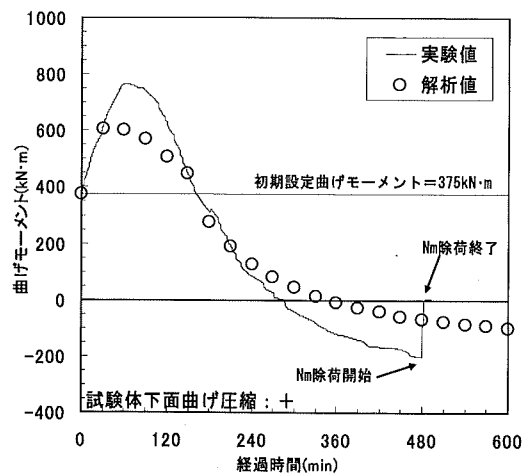


図-19 導入断面力

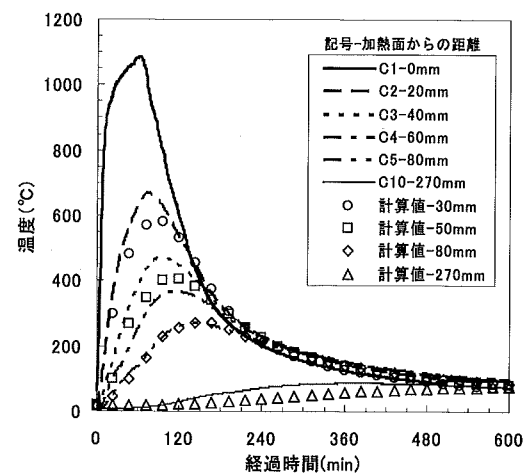


図-21 コンクリート温度

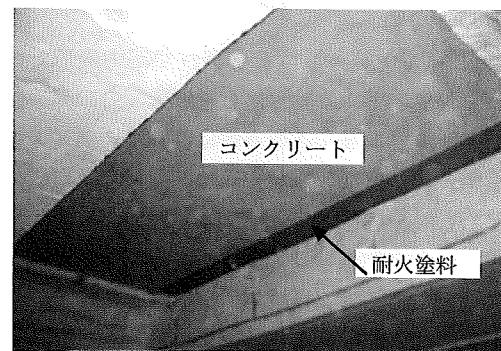


写真-6 加熱前状況

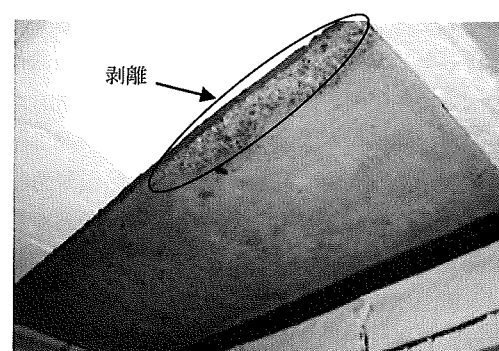


写真-7 加熱後状況

## 6 ま と め

6-1 トンネル全体の安定性に関する解析  
有機繊維混入コンクリートを使用し鋼材部に発

泡性耐火塗料を塗布した合成セグメントを対象とし、RABT加熱(1,200°C-60min)および新たに設定した小規模長時間加熱(400°C-10days)に対し、弾塑性熱応力変形解析手法を用いて、トンネル全

体系安定解析を実施した。その結果、大規模短時間加熱および小規模長時間加熱に対しトンネルの変形は10~20mmとなり、崩壊することなく、トンネル構造の安定性を確保することが確認できた。

### 6-2 セグメントの耐火性能確認実験

地盤およびトンネルの構造的拘束により火災時に発生する付加断面力を再現した実大耐火実験を実施した(RABT加熱)。その結果、火災時に発生する付加断面力を再現することができた。耐火型合成セグメントは火災中および火災後ともに大きな変形や主部材である鋼材の座屈はなく、セグメントは崩壊せず耐荷安定性を確保することが確認された。

最後に、耐火性能確認実験の実施にあたり、増田秀昭・(独)建築研究所主任研究員にご指導をいただいた。ここに記して謝意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 阪神高速道路(株)・清水建設(株)・新日本製鐵(株)：合成セグメントの高機能化に関する共同研究・開発報告書，2006.3.
- 2) 後藤徹・森田武・関伸司・林裕悟・中川拓也：短繊維樹脂コンクリートを用いた耐火セグメントの研究，土木学会，トンネル工学論文集，Vol.15，2005.12.
- 3) 阪神高速道路公団・清水建設(株)：開削トンネルの耐火性能に関する検討業務報告書，2004.3.
- 4) 阪神高速道路公団・清水建設(株)：開削トンネルの耐火性能に関する検討業務(その2)報告書，2005.3.
- 5) 日本建築学会：構造材料の耐火性ハンドブック，2004.11.
- 6) 阪神高速道路公団京都建設事務所・(株)建設技術研究所：京都市道高速道路1号線 新十条通都市トンネル工区施工法等検討業務報告書，2001.3.
- 7) 若松孝旺：火災時における建物部材の内部温度算定に関する研究(第一報)，算定式の誘導，算定条件および算定要素，日本建築学会論文報告集，No.109，1965.
- 8) 若松孝旺：火災時における建物部材の内部温度算定に関する研究(第二報)，算定式の解法，日本建築学会論文報告集，No.111，1965.
- 9) Morita, T., Wakamatsu, T., Uesugi, H., and Saito, H.: Analyses of Composite Beams and Frames at Elevated Temperature, Fire Safety Science, Proceedings of the Third International Symposium on Fire Safety Science, 1991.
- 10) 田嶋仁志・岸田政彦・神田亨・森田武：火災高温時におけるシールドトンネルRC覆工断面の変形挙動解析，土木学会，土木学会論文集，Vol.62，No.3，pp.606-618，2006.9.
- 11) European Committee for Standardization: EUROCODE 4, Design of Composite Steel and Concrete Structures, Part 1.2 Structural Fire Design, CEN/TC250/SC4, Second Draft, 1992.
- 12) Koike, H. and Uesugi, H.: FIRES-FRAME I, A Computer Program for the Fire Response of Steel Structures of Tall Buildings, Chiba University, 1988.5.
- 13) 上杉英樹・小池浩：高層鉄骨架構の熱応力解析(その1)，日本建築学会構造系論文報告集，No.381，pp.73-79，1987.11.
- 14) Schneider, U., Morita, T. and Franssen, J-M.: A Concrete Model Considering the Load History Applied to Centrally Loaded Columns under Fire Attack, Fire Safety Science, Proceedings of the Fourth International Symposium on Fire Safety Science, 1994.
- 15) Morita, T., Schneider, U. and Franssen, J-M.: Influence of Stress History Function in the Schneider-concrete-model under Fire Attack, Fire Safety Science, Proceedings of the Fifth International Symposium on Fire Safety Science, 1997.

続 き の 庭 に も 温 泉 が 出 る  
その後の温泉開発と建設の考え方

石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円(〒210円)

株式会社 土木工学社

〒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

## トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

## 栗駒大湯トンネルが貫通

湯沢市皆瀬の国道398号大湯道路・栗駒大湯トンネル(154m)が貫通し、現地で7日に貫通式が行われた。同トンネルは片側1車線で車道の幅は6m。県が昨年9月から工事を進めていた。大湯道路は同市皆瀬の大湯温泉から県道・仁郷大湯線(栗駒道路)との交差点までの約6km区間。供用開始は来年秋の見通し。

## 山古志羽黒トンネル開通

中越地震の災害復旧工事として、長岡市山古志地域の東西を結ぶため新設された県道「羽黒トンネル」(521m)が開通する。あわせて地震で被災した既存のトンネルは舗装工事などのために通行止めとなる。両トンネルは9月末に全通の見込み。それ以降は新設が上り専用、既存が下り専用となる。新設のトンネルは既存のトンネル横の手掘り隧道を拡幅して昨年11月に貫通した。車道幅は4.75mで、既存トンネルの工事終了まで片側交互通行とする。

## 一宮トンネルが貫通

高知自動車道の4車線化工事で、高知市一宮の上り線「一宮トンネル」(365m、2車線)が貫通した。これで高知IC一川之江JCT間(57.7km)に計画されている上り線のトンネル計25本(開通済み14本)すべてが貫通。平成20年度中に同区間の完全4車線化が完成。開通する見込みとなった。

## 澁峽トンネル貫通

和歌山県北山村小松を起点として、新宮市熊野川町玉置口まで整備が進められている奥澁道路の未整備区間で新田戸トンネル(仮称)の貫通式が行われた。

同トンネルは延長2,049m、幅員7

m。平成20年7月の供用予定。

工事は順調に進み、無事故で予定より1か月早く貫通を迎えた。奥澁道路は、国道169号のうち、交通不能区間および幅員狭小区間を解消することを目的に計画された延長6.3kmの道路。これまでに約4kmが供用されており、約2.2kmの未完成部分を残すのみとなっている。

## 日向第二トンネル貫通

2010年供用開始を目指す東九州自動車道門川一日向(約14km)の一部となる日向第二トンネル(全長498m)の貫通式が、日向市の現地で行われた。

同トンネルは、日向市日知屋一富高の延長約1.8kmを3本のトンネルと橋で結ぶ工事の一つ。昨年7月から約11か月間をかけて掘削され、3本のなかで最初に貫通した。土工区間にはトンネル掘削残土を利用して

いる。残りの2本は、現在掘削中の本谷トンネル(239m)および今年度着工予定の西川内トンネル(304m)。

## 全国初の大深度地下使用認可

神戸市が計画している大容量送水管整備事業(芦屋市境～奥平野浄水場)の西端に位置する奥平野工区(布引～奥平野)において、「大深度地下使用法」の適用について兵庫県知事が認可した。平成13年4月1日の同法施行後、全国初の適用となる。

対象となる事業箇所は、延長2.4km(内径2.4m、セグメント外径3.35m)のうち、①同市中央区再度筋町および諏訪山町地内の延長109m、深さ40.0～49.5m、②中央区北野町1丁目および加納町2丁目地内の延長159.5m、深さ40.0～58.5m。

同工区は、起終点の立坑間が公共道路で直線的に連続しておらず、道

路下のみ占有では大きく迂回するルートとなる一方、市営地下鉄および新神戸トンネルを下越しする必要から、もともと深い線形を余儀なくされる区間であった。大深度地下使用法を適用し、一部私有地の地下を使用することにより直線的なルートとすることで工期の短縮、工事費の縮減および施工性の向上を図る計画とした。

神戸市水道局では、阪神淡路大震災を契機として六甲山を通る2本の送水トンネルに加え、新たに市街地を通る大容量送水管を平成8年度から整備している。本事業は送水ルートに六甲山と市街地に分けることにより、災害時の危機を分散する。さらに、大口径の送水管を地下深くに設置することにより、高い耐震性と大きな貯留能力を備え、震災時の応急給水や早期復旧が可能となる。

## 8月は道路ふれあい月間

平成19年度の「道路ふれあい月間」推進標語最優秀賞が決定した。

また明日

元気に会おう

この道で

(埼玉県 西澤実月(7)さんの作品)道路ふれあい月間とは、国土交通省が毎年8月に実施している、道路愛護思想の普及運動。推進標語を広く一般から募集し、5,911作品のなかから選ばれた。

この月間中、全国各地で道路清掃活動の実施、道の駅などにおけるキャンペーン、打ち水イベントへの後援などをとおして、道路の役割および重要性に理解を求める。

また、期間中の8月10日は、大正9年の同日、日本で最初の道路整備の長期計画である第1次道路改良計画が実施されたことにちなんで、「道の日」となっている。

## 解説

## 下水道シールド工法の改善と標準化の経緯

東京都下水道局建設部設計調整課長 坂根良平  
東京都下水道局建設部設計調整課管路事業調査担当係長 高久節夫  
コンパクトシールド工法研究会技術担当 桐谷祥治  
コンパクトシールド工法研究会技術担当 守屋洋一

## 1 はじめに

東京都下水道局がこれまでに整備した下水道管渠は約15,000kmである。これらの管渠築造に昭和37年に初めてシールド工法を採用して以来、シールド工法は幹線や主要枝線の築造に多く用いられ、下水道の早期普及に大きく貢献した。

そのシールド工法による管渠築造工事も、普及概成後の管渠の老朽化対策や流下能力向上などのための再構築事業では、都民がその利益を直接的に感じにくいため、立坑工事の騒音・振動、土砂・資材運搬用の大型車両の長期間通行などに理解が得られず、事業が遅延することが多々ある。

今日の再構築事業では、多くの埋設物を避けるため、敷設位置が深くなるとともに、生活道路や幹線道路の使用上の制約があるため、非開削工法のシールド工法は、ますます重要になっている。

## 2 シールド工法と二次覆工の現状

シールド工法は、このような利点がある一方で、コスト、工期、施工環境などの改善すべき課題を抱えている。そこで、今後ともシールド工法を積極的に用いていくにあたり、工期短縮やコスト縮減に大きな影響を与えるシールド工法の掘進技術と二次覆工についての改善策について検討を行った。

## 2-1 シールドと掘進技術の現状

## 2-1-1 シールドは一現場一機

東京都下水道局の過去のシールドの使用状況を

振り返ると、一現場一機の原則が貫かれてきた。

その主な理由の一つは、施工者が多様な土質条件に対して最適なシールドの形式と仕様を、工事ごとに求めた結果と考えられる。二つ目は、工事ごとに仕上がり内径、荷重条件および施工条件が異なっていることが大きな要因である。

この結果、工事ごとにシールドの形式と仕様が異なり、現場間の転用使用が困難となっている。

## 2-1-2 多数の後続台車

一般的シールドでは、写真-1のように、運転や駆動に必要な諸機器が後続台車として坑内の片側に50～80m程度で配置され、坑内空間が制限される。この制限された空間を利用してセグメントが搬送されるため、セグメントの分割数を増やすとともに幅も狭くする必要があり、掘進効率化を低下させている。

## 2-1-3 仮組みセグメントによる発進方法

仮発進方法は写真-2のとおり、トンネル本体に

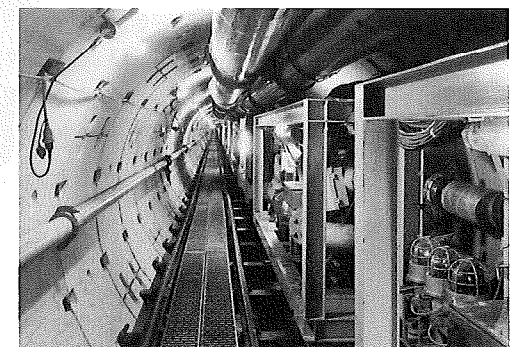


写真-1 後続台車状況

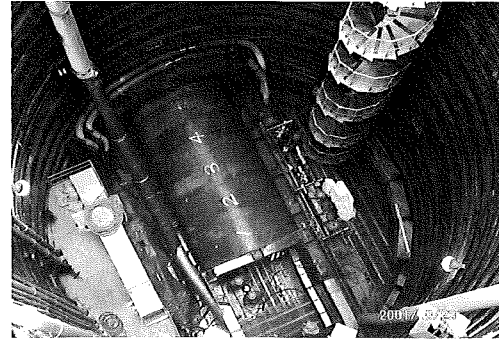


写真-2 仮発進状況

使用するセグメントを立坑内に仮組みし、シールドジャッキで反力を取りつつ推進する。その際、立坑の大きさや反力壁の関係でセグメントなどの資機材や掘削土の搬出入は、仮組みセグメントの上部の狭い空間で行われる。このような狭い空間で仮発進を行うため、セグメントの仮組みや解体作業には危険を伴うことが多くなる。

しかし、発注者および施工者とも、この方式がシールド工法の常識と理解し、特段の改善処置などを施すことはなかった。

### 2-2 二次覆工の現状

下水道シールド工法における二次覆工には、次のような重要な役割がある。下水を円滑に流すための一次覆工の蛇行・勾配の調整および内面の平滑性の確保、そして防水・止水、汚水が流下することに伴う腐食環境から一次覆工セグメントを守ることなどの機能である。

この機能を確保するため、従来は現場打ちコンクリートで二次覆工を実施してきた。しかし、この二次覆工の施工には、次のような課題がある。

#### 2-2-1 二次覆工の施工期間

二次覆工は、円形の鋼製型枠を設置してコンクリート打設し、コンクリートが一定の強度を発現するまで養生して型枠を移動する。この工程を坑内でくり返すことによって工事が完了するため、施工には長期間を必要とする。

#### 2-2-2 コンクリートの品質確保

現場打ちコンクリートは、生コン工場よりミキサー車で搬入するため、道路事情などによりコンクリートが変化し、品質に差が生じる場合がある。

また、締め固め不足や湿潤養生が不足すると、ひび割れが発生し、品質の確保に課題がある。

#### 2-2-3 二次覆工の必要厚さ

掘進に伴う施工誤差は、下水道に不可欠な内面平滑性を確保する必要から二次覆工で調整している。このため、二次覆工厚さが施工誤差の分だけ不均等になり、品質に問題が生じる。とくに、トンネル上部へのコンクリート充填が難しく、二次覆工の施工技術として、長い間の課題である。

#### 2-2-4 施工環境の改善と安全性の確保

長期間にわたり、コンクリート運搬車の騒音、振動が発生するため、立坑周辺住民より苦情などが発生しやすい。

また、鋼製型枠の坑内移動は、狭い空間で行うため、安全対策に課題がある。

## 3 シールド工法の改善

このような現状のシールド工法の改善を図るために次のように取り組んだ。

### 3-1 中小口径シールドの転用使用

今後の再構築事業で用いられる仕上がり内径2,600mm以下の中小口径シールドを、一現場一機から転用使用に転換するため、転用に必要なる条件を、次のように整理し、標準化を図った。

第一は、シールドの形式である。東京都区部で使われる大部分のシールド形式は密閉型の泥水式または土圧式である。両形式とも多種の土質に適用が可能であり、現在ではその差はほとんどない。

一方、東京都の再構築事業における施工条件は、中小口径、中程度の土かぶり、狭隘な発進用地などである。高水圧、大深度などの特殊な条件を除けば両形式とも適用可能である。そこで、発進用地が狭隘である条件を考慮し、掘削残土の処理が比較的容易な土圧式を標準とした。

第二はシールドの寸法、仕様である。シールドの必要外径は、必要仕上がり内径や工事ごとの荷重条件によるセグメントとスキンプレートの厚さ、テールクリアランスなどより決定する。そこで、今後の再構築事業で多く用いられるシールドの仕上がり内径を検討して表-1のように整理し、転用

使用の標準口径とした。

### 3-2 後続機器の内包とシールド仕様の標準化

シールドの主な仕様には、カッタ形式・装備トルク・装備推力・中折れ機構・エレクトラ機構などがある。そこで、東京都区部の再構築事業が実施される地域の土質や土かぶりなどの施工条件にもとづき、転用使用を前提に標準化を図った。

さらに、セグメントの分割を少なくし、かつ、幅広セグメントを用いて、組立の効率化を図るため、セグメント搬送に支障となる写真-1の後続機器をシールドに内包することを検討した。図-1は、後続機器を内包するためシールドに中胴を追加するとともに、各胴間に中折ジャッキを装備し、新たな中小口径用シールドとして開発した「コンパクトシールド」である。

3分割したシールドに後続機器を内包した結果、後方の坑内部分に有効なスペースが確保でき、セグメントを大きく分割しても運搬が可能となった。また、シールドの3分割により、転用使用時にシールドの搬入、搬出および運搬も容易になった。

### 3-3 シールド到達方法の改善

シールドの転用使用では、到達立坑で引抜き作業が発生する。シールドを引抜くと、坑口でシールドとセグメント外径に差が生じ、その差にエントランスパッキングが追従できない場合、出水など

表-1 中小口径シールドの標準口径

仕上がり内径	1,800mm	2,000mm	2,600mm
セグメント外径	2,100mm	2,300mm	2,950mm
シールド内径	2,174mm	2,374mm	3,026mm
シールド外径	2,230mm	2,430mm	3,090mm

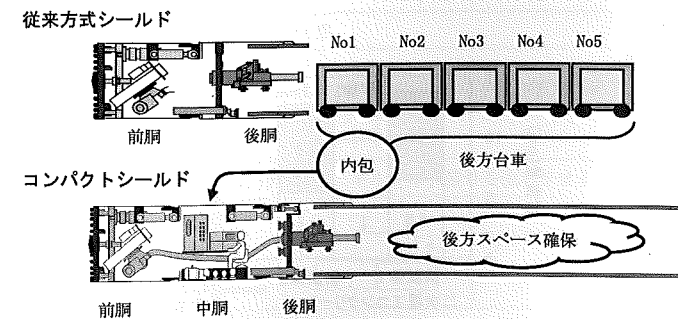


図-1 後続台車の内包化イメージ

のトラブルを引起す。これを防止するため、図-2のような後胴のスキンプレートの一部を切り離して残置することで、引抜き時の安全性が確保できる方法を採用した。残置部のスキンプレートは転用現場ごとに新たに製作することになるが、その製作費用はシールドの転用使用によるコスト縮減額の中で対応できることも確認した。

### 3-4 センターホールジャッキ方式による仮発進

従来の仮発進方式を効率化して安全に施工するため、写真-3に示すセンターホールジャッキによる仮発進方式を採用した。

本方式はシールドジャッキに代わり、センターホールジャッキでシールドを推進させるため、シールドジャッキが前胴、中胴になくても仮発進が可能となる。また、仮組みセグメントが不要となり、シールド後方の作業空間が大きく確保でき、施工時の安全性が高い方法になる。さらに、シールド外径が異なる場合でも転用使用できるようジャッキ類、反力支柱および移動式支圧壁を標準化した。

以上の結果、中小口径シールドを標準化し、極力転用使用することとした。

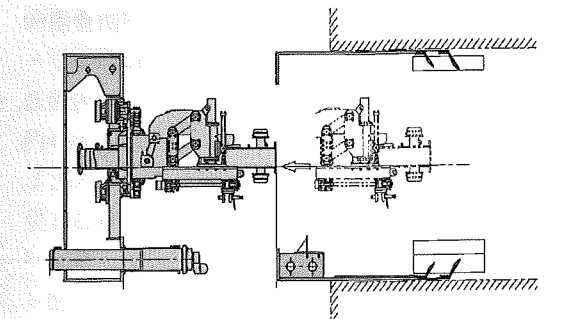


図-2 シールド後胴残置イメージ

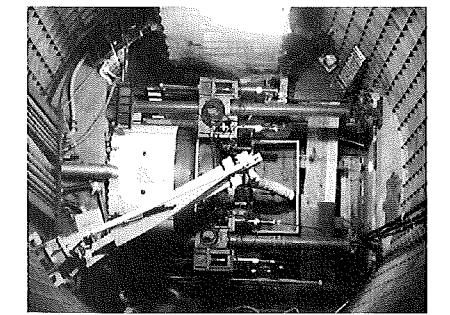


写真-3 センターホールジャッキ発進方式

## 4 二次覆工の改善

東京都区部の下水道の約8割は、常に汚水が流れ、雨天時には雨水も流れる合流式下水道である。これらの管渠は、老朽化や不等沈下により汚水が滞留すると硫化水素ガスなどが発生する厳しい環境で、下水道シールド工事用標準セグメント<sup>1)</sup>を用いた場合、セグメントを保護するための二次覆工は不可欠である。

そこで、これらの厳しい環境下でも法定耐用年数50年に耐えられる二次覆工の構造や施工のあり方について検討した。

### 4-1 二次覆工一体型セグメントの導入

二次覆工の工期を短縮するために、現場での二次覆工のあり方や作業手順の改善などを検討した。

その結果、セグメントの製作時に従来の標準コンクリートセグメントの内側に無筋コンクリート50mmを付加して防食機能を持たせ、現場での二次覆工を行わないこととした。そこで、標準セグメントに防食層50mmを付加したもの(以下「二次覆工一体型セグメント」という)を基本とした。

しかし、従来から桁高の小さい鋼製セグメントを用いる仕上がり内径2,600mm以下に、防食層50mm分桁高が大きくなった二次覆工一体型コンクリートセグメントを用いると、セグメントの坑内搬送、回転、組立が困難になる。このため、仕上がり内径2,600mm以下の二次覆工一体型セグメントとして、セグメントが写真-5のように搬送できる4分割3ヒンジ溝付きインバート構造(以下「コンパクトセグメント」という)を開発して導入を図った。

### 4-2 二次覆工コンクリートの品質の確保

下水道管内は厳しい腐食性環境にあるため、防食層としての無筋コンクリートの耐久性を確認する必要がある。

耐久性の確認は、硫化水素ガスなどが発生する当局の水再生センターの濃縮汚泥槽の気相部(平均硫化水素ガス濃度約90~100ppm/年)で、表-2に示すコンクリート供試体を暴露し、3、6、12か月ごとに各供試体の質量変化や、中性化の進行を

EPMA(X線マイクロアナライザ)などで測定した。

その結果、図-3のとおり防食層に用いる二次覆工と同一品質のセグメント用コンクリートは、従来の現場打ち二次覆工用コンクリートの約2倍の耐久性があることを確認した。

この実験結果と過去の既設管渠の腐食調査より、防食層はセグメント用コンクリートを用いて厚さ50mmを確保すれば、一般的な下水道管渠内の環境(比較的低濃度の状態での平均硫化水素ガス)では、法定耐用年数50年の耐久性を確保できると判断した<sup>2)</sup>。

### 4-3 二次覆工の必要厚さ

今日、シールド工法の掘進管理や測量などの技術は格段に飛躍した。このため、一次覆工時の蛇行や逆勾配などの施工誤差はほとんどなくなった。

この結果、二次覆工で一次覆工の施工誤差を調整する必要がなくなり、防食に必要な厚さのみの50mmとした。

### 4-4 施工環境の改善と安全性の確保

二次覆工一体型セグメントの採用により、現場での二次覆工がなくなり、二次覆工に要する時間が大幅に短縮されることから、立坑周辺の住民への影響は改善され、施工性も向上する。

表-2 実験供試体コンクリートの概要

	二次覆工コンクリート (現場打ち)	防食層コンクリート (セグメント用)
配合強度	24.0N/mm <sup>2</sup>	42.0N/mm <sup>2</sup>
コンクリート強度	35.1N/mm <sup>2</sup>	54.5N/mm <sup>2</sup>
セメント量 <sup>a)</sup>	319kg/m <sup>3</sup>	340kg/m <sup>3</sup>
単位水量	175kg/m <sup>3</sup>	138kg/m <sup>3</sup>
水セメント比	55%	41%

※普通ポルトランドセメント

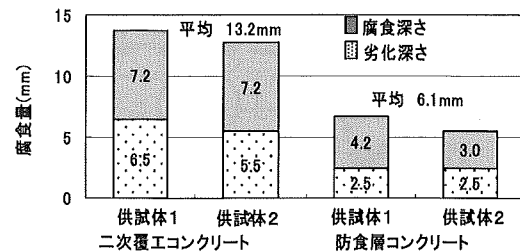


図-3 腐食量の測定結果(12か月)

### 4-5 防食層の安全性の確認

二次覆工機能を一体化した二次覆工一体型セグメントとコンパクトセグメントは、施工時のシールドジャッキ推力が防食層に影響するため、シールドジャッキ推力による防食層のひび割れ発生に対する安全性の確認が新たな課題として生じた。

そこで、表-3のように施工時に起きる目開きや目違いなどによる影響を確認するため、標準セグメントと二次覆工一体型セグメントを、500kNのジャッキ3本を用いて載荷するシールドジャッキ推力試験により実施した。その結果、防食層は初期ひび割れおよび鉄筋応力度の抑制効果があり、ひび割れに対する安全性は、標準セグメントより二次覆工一体型が高いことを確認した。

### 4-6 内面平滑性の確保とその対応

二次覆工一体型セグメントの導入により、従来は二次覆工によって確保した内面平滑性を、今後は一次覆工セグメントの組立時に確保することとなる。そのため、継手ボックスの削除、セグメント

表-3 ジャッキ推力試験ケース

ケース	試験方法	現場でのイメージ	載荷比
1			P1:P2:P3=1:3:1
セグメント中央が支点になり、両端が曲げられる状態。			
2			P1:P2:P3=1:1:1
セグメント両端が支点になり、中央が曲げられる状態。			
3			P1:P2:P3=1:1:1
目違いによる、片持ち状態。			
4			P1:P2:P3=-:-:1
目違いによる、片持ち状態。ボルトに引張りを生じさせる。			
5			P1:P2:P3=4:-:-:1
目違いによる、片持ち状態(スパン長)。			

把持部(注入孔兼用)の平滑化、セグメント間の溝の処理、施工時の架設用治具の改良などが必要になり検討の結果、表-4のように各々の改良を行った。

### 4-7 コンパクトセグメントの開発

標準化した中小口径シールドは、作業空間が従来の一次覆工時の作業空間より、二次覆工の厚さ分500mm狭くなり、セグメントの組立や搬送などで不利になる。

このため、防食層を付加して厚くなったセグメントを効率的に組立てるため、セグメントの分割数と継手箇所数を少なくする必要があった。そこで、コンパクトシールドに用いるセグメントは図-4のような構造とした。

#### 4-7-1 4分割3ヒンジ構造

セグメント間の締結は、セグメント継手を省略して面を突き合わせる4分割3ヒンジ構造とした。

この3ヒンジの静定構造により、輻輳する都市内トンネルなどの近接施工に対して、安定性の向上を確保した。また、リング継手は写真-4の挿入式ロータリー継手を開発した。

#### 4-7-2 溝付きインバートの一体化

セグメントは、溝付きインバートとした。その目的は、点検時の歩行を容易にして維持管理性の向上を図るとともに、施工誤差が生

表-4 内面平滑のための改良した項目と内容

	従来方式	二次覆工一体型
リング継手	ボルト式(非平滑)	挿入式(平滑)
セグメント継手	ボルト式(非平滑)	嵌合式(平滑)
注入孔蓋	頭部が凸型	頭部が平型
コーキング	二次覆工で併用	貼付型コーキング
架設治具	継手金物で固定	注入孔蓋に固定

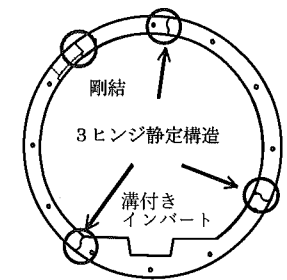


図-4 コンパクトセグメント

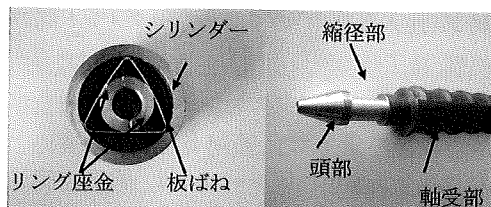


写真-4 挿入式ロータリー継手

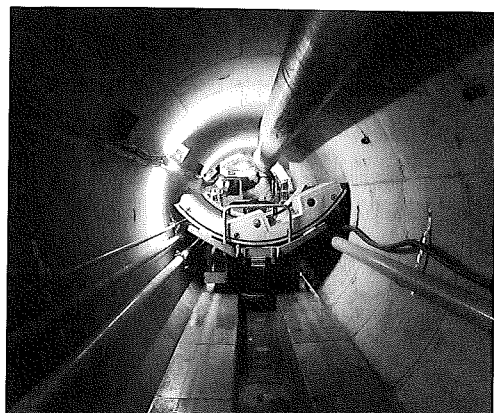


写真-5 コンパクトセグメントの搬送と仕上がり状況  
 じた場合、溝底の高さを修正することで水の流れを円滑にするためである。また、坑内搬送台車などはその溝を利用するタイヤ式として、施工時のまくら木やレールをなくした。セグメント仕上がり内径の適用範囲は表-1による。また、写真-5に仕上がり状況を示す。

## 5 試行工事および結果

二次覆工一体型セグメント、コンパクトシールドおよびコンパクトセグメントについて、それぞれ

表-5 転用使用の施工実績(仕上がり内径φ2,000mmコンパクトシールド工法(泥土圧))

回数	1	2	3
工 事 件 名	台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事	江東区大島四、五丁目付近再構築工事	港区赤坂六、九丁目付近再構築工事
工 期	平成13年3月～平成16年1月	平成15年1月～平成17年10月	平成16年10月～平成18年3月
施 工 延 長	1,283.0m=302.95+980.05	1,389.3m=1,202.90+185.40	508.6m
発 進 方 式	両発進方式	両発進方式	片発進方式
曲 線 半 径	最小半径30m	最小半径30m	最小半径15m
土 質	シルト、砂質シルト、細砂	シルト	シルト混じり細砂(上総層)
土 か ぶり	5～6m	8～9.4m	19～37m
仮 発 進 方 法	元押しジャッキ方式	センターホールジャッキ方式	
土 砂 搬 送 方 法	ずり鋼車式		

れ3現場を試行工事と位置づけて実施した。二次覆工一体型セグメントの試行は、実現場における防食層のひび割れの確認と既存の継手の内面平滑性の確保を重点に実施した。とくに、コンパクトシールドおよびコンパクトセグメントの試行工事は、シールドの転用使用、セグメントの組立性、内面平滑性などについて表-5のような実施した。

### 5-1 二次覆工一体型セグメント

#### 5-1-1 継手

継手の施工性、セグメントの内面平滑性などを比較するため、既存のボルト式継手と挿入式継手の試行を行った。その結果、既存のボルト式継手は、内面平滑性の面からボルトボックスへのモルタル充填に時間と費用を必要とした。

また、挿入式継手は施工性と内面平滑性を確保できるが、価格がボルト式継手の価格と充填費用の合計額を上回り、費用の面に課題が残った。

セグメントのひび割れについては、ボックス式継手のボルトボックスを中心にひび割れが発生した。原因は、セグメントの目違いと防食層の厚みによりジャッキ推力が偏心し、ボルトボックス周辺に応力が集中作用したためと推測された。このため、2～3リングごとに組立精度を計測するとともに、ジャッキスプレッドの作用角度と作用位置などをその都度調整して解決した。

#### 5-2 コンパクトセグメント

コンパクトセグメントは図-4のとおり、セグメント継手はヒンジ型で、リング継手は写真-4の挿

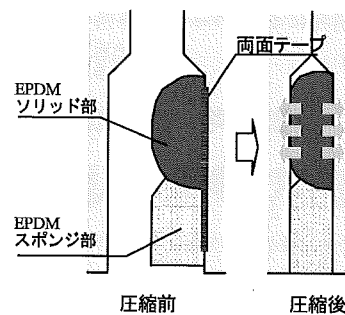


図-5 貼付型コーキング材概要

入式継手であり、内面平滑性は確保できた。

また、セグメント間に生じる溝のコーキングも1回目の試行では手詰めで行ったが2回目以降は図-5の貼付型コーキング材を開発して用いたため、内面平滑性の確保が容易になった。

### 5-3 コンパクトシールド

中小口径のシールドとして標準化したコンパクトシールドの試行結果は、次のとおりである。

- ① 三つの現場の土質は各々異なっていた。そこで、転用時にカタヤスキプレートなどの損耗などを調査したが、土との摩擦による損耗は極少量で、転用使用には問題とならなかった。
- ② 表-5の「回数3」の現場は曲線半径が小さいため、中折れジャッキを改造して対応した。今後は当初から予測される曲線半径に対応可能な中折れジャッキを装備すれば標準化に対しては問題がないと判断できた。
- ③ 分割数の少ない4分割のセグメントは、写真-5のように横向きに搬送するが、R=15の急曲線でも問題なく搬送ができた。
- ④ 各現場での発進、回収は、順次効率的に各胴を発進させて、各胴とも1日で回収できた。
- ⑤ センターホールジャッキ方式の転用使用は現場の立坑幅の違いなどの調整が十分に可能であり、転用に対する問題はないと確認した。

### 5-4 工期の短縮

二次覆工一体型セグメントおよびコンパクトセグメントの導入で工期は次のように短縮した。

二次覆工一体型セグメントの試行3現場では、工期の短縮は大幅であった。これまでの二次覆工

の日進量の実績は直線部で約9m/日である。今回の試行工事は二次覆工を実施しないため、おおよそ施工延長を9mで割った日数が工期の短縮となった。

例えば仕上がり内径4,000mm、施工延長2,800mの幹線のシールド施工部分での二次覆工を実施しないことによる工期短縮は、曲線部分の一部を従来の二次覆工で施工したにもかかわらず従来工法の約1/2程度で、日数にして330日であった。

また、コンパクトシールドのシールド施工部分の試行工事の結果も同様であり、1件目と2件目での工期短縮は約1/2程度であったが、3件目の試行では、急曲線が連続しており、二次覆工部分が多かったため、際立った縮減は図れなかった。

さらに、コンパクトセグメントのシールド施工部分にかかる他の工程部分では、3現場全体で約30%程度の工期短縮が図れた。その内容はシールドの投入、仮発進、引き上げ、再投入、再引き上げ、転用のための整備など、1件目の投入から3件目のシールド残置までの全工程を、従来工法の現場ごとにシールドを製作し、3現場を施工した場合と比較したものである。

### 5-5 コストの縮減

二次覆工一体型セグメントでは、防食層を付加し、かつ完全内面平滑型とするため、材料費、継手費および型枠費などが従来よりも増加する。そのため、試行工事では二次覆工の施工費用自体は減になるものの工事費全体ではコスト縮減効果は小さかった。

一方、コンパクトシールドでは、シールドを転用使用することからシールドの補修費が必要になるものの製作費が全体をとおして大幅に削減できた。

また、3現場全体でのコスト縮減効果は、仮発進方法の改善やレール・まくら木などの坑内設備が省略できたこともあり、約10%程度であった。

## 6 おわりに

東京都区部の下水道再構築事業は、今後とも都市の基盤を維持するために不可欠な事業である。

今回、この事業に必要なシールド工法の改善を行うことで、工期短縮とコスト縮減の見通しが立った。今後は、シールドの転用使用をより進めて、更なるコスト縮減と工期の短縮を図るとともに、多様化する都民のニーズに応えつつ、効率的な下水道の再構築事業を推進していく。

最後に、今回の二次覆工一体型セグメントの実用化にかかわった「二次覆工一体型セグメント検討委員会」の委員各位をはじめ、各試行工事なら

びに技術開発にかかわった関係各位の協力に感謝いたします。

### 参 考 文 献

- 1) 土木学会・日本下水道協会共編：シールド工専用標準セグメント，2001.
- 2) 東京都下水道局：二次覆工一体型セグメント設計・施工指針，2005.

## 建設情報

# シールド工事の施工に関するQ&A(2)

JTA都市トンネル小委員会

Q4. 掘進指示書作成のポイントを教えてください。

A. 掘進指示書はシールド切羽安定を保持するとともに、所定の線形を確保しながら、掘進を進める指南となるものです。具体的には、日々の測量結果と掘進管理表をもとに、トンネル作業員に対してシールドの押し方とセグメントの組み方を周知させるものと言い換えてもかまいません。

掘進指示書の作成に先立ち、準備すべきものとして、掘進管理表が必要です。掘進管理表とは、シールド掘進における設計計画書に相当するもので、設計図書に示された平面線形、縦断線形から路線全体のセグメントの割付を明示した管理表です。掘進指示書は測量結果と掘進管理表を参考にしながら、施工区分(昼勤、夜勤)ごとに作成する必要があります。トンネル作業員は掘進指示書を確認しながら、シールド掘進を進めます。同時に掘進記録を作成します。

掘進記録は、掘進指示書で示された情報(インプット)を実作業でどのように反映(アウトプット)したかを示すものです。すなわち、「掘進管理表」、「掘進指示書」、「掘進記録」はシールド掘進管理の根幹を形成する記録であり、「三位一体」という概念でとらえておくべきものでしょう。

以下にそれぞれの作成のポイントを示します。

#### (1) 掘進管理表(設計計画書)

掘進管理表の必要項目として、①セグメント番号、②セグメント種別、③セグメント長、④セグメント延長、⑤縦横断線形、⑥シールド方向角、⑦シールド高さ、⑧セグメント方向角、⑨セグメ

ント高さなどが挙げられます。

掘進管理表は設計図書の計画路線図を参考に作成します。表-1に掘進管理表の一例を示します。

#### (2) 掘進指示書

掘進指示書は原則的に施工区分(昼勤、夜勤)ごとに作成するものと理解すべきです。例えば、昼夜間施工の場合、昼間施工の測量結果と掘進記録内容を反映させながら、夜間施工の担当者へ掘進指示を伝達する情報と考えてもよいと思います。カーブ施工時や蛇行量の多い場合は、必要に応じてその都度作成します。

掘進指示書の必要項目として、①シールド姿勢情報(方向角、ピッチング、ローリング、ジャッキストローク差、使用ジャッキパターンなど)、②線形管理(中折れ量、余掘り量、コピーカット範囲など)、③切羽管理(設定切羽圧)、④掘進速度、⑤推力・カットトルク上限値、⑥組立セグメント種別(スタンダード、テーパー)、⑦セグメント情報(方向角、勾配)、⑧裏込め注入(注入圧、注入量)、⑨添加材注入(注入圧、注入量：土圧式の場合)、⑩送排泥流量(泥水式の場合)などが挙げられます。また、備考欄などを設けて、特記事項、引き継ぎ・連絡事項をメモしておくことも必要です。

#### (3) 掘進記録

掘進記録は掘進指示書に従って、シールドオペレーターが実施した掘進内容を記録するための情報です。記入する内容としては、掘進指示書の項目に対応していることが原則です。最近のシールドは自動計測システムを導入し、掘進データがパソコン管理として保存されるシステムが主流化し

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



## 建設工事の 保安地質学 〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,800円 円340円

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。



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



シールドの姿勢制御は、掘削地山の性質に依存するものですが、もうひとつ、シールド固有の「癖」を把握しておくことも必要です。泥水式、土圧式による型式や構造の違いによるもの、あるいは、シールドメーカーに起因するものなどが挙げられます。具体的には、左右どちらに曲がりやすいか、上下しやすいか、あるいは各計器の持つ感度差などが考えられます。このような「癖」を早期に見抜くためには、初期掘進時に測量を頻繁に行うことが大切です。

これまで、シールドの姿勢制御を中心に述べてきましたが、切羽安定を確保するための切羽圧管理、テールボイド沈下を防ぐための裏込め注入に関する記録も大変重要です。切羽安定管理や裏込め注入の見直しにつきましては、本連載講座の中でも紹介してゆきますので詳細はそちらをご参考ください。

掘進指示書と対応する掘進記録は、トンネル供用後も価値あるデータベースとして保存しておくことをお奨めします。

前にも述べましたが、施工すべき路線線形を正確に確保するためには、シールドおよびセグメントの測量は必要に応じて、頻度を増やすことが重要であり、進捗が遅れているからと怠ってはいけ

“品質のよいトンネル”を実現することはできません。掘進指示書は各現場でさまざまな形式・工夫・個性が盛り込まれていると思いますが、日々の掘進の中でヒューマンエラーをいかに防止するかという点に配慮することが、もっとも根本的なポイントです。

(文責：山口英・水谷英徳/五洋建設(株))

**Q5. 泥水式シールドにおける流体制御について教えてください。**

A. シールド工法において、地盤の変状を抑えるためには切羽圧力を一定に保持することが非常に重要です。泥水式シールド工法は泥水を循環しながら、その送りと戻りのバランスによりチャンパ内の圧力を制御しているため、流体制御についてはもっとも慎重を期す必要があります。以下に、①流体輸送のポイント、②送泥流量、排泥流量の設定方法、③中継ポンプの計画、④礫層に対する計画、⑤流量計、密度計の計測方法と精度、⑥土質別および土質急変部での制御方法、⑦閉塞時の対処方法、⑧トラブル事例、などについて述べます。

**(1) 流体輸送のポイント**

流体輸送の目的は次の2点に分類されます。

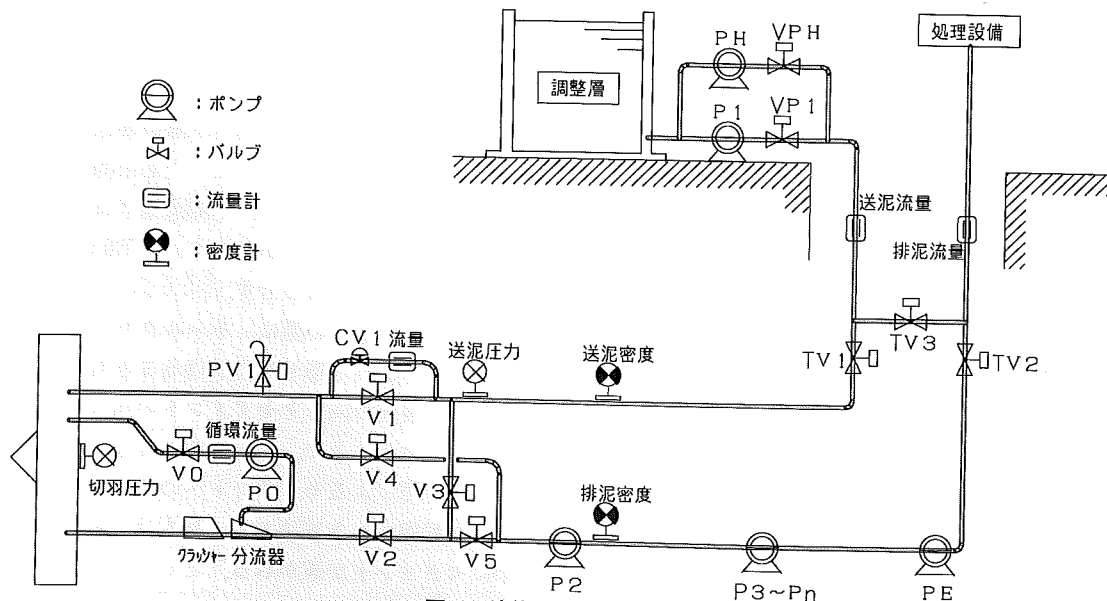


図-1 流体輸送システム例

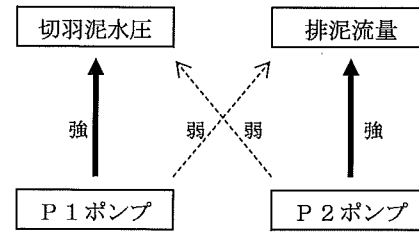


図-2 流体制御相関図

- ① 切羽泥水圧保持を目的とした送泥水輸送
- ② 掘削土砂を地上に移送するための排泥水輸送

ここで通常、送泥水輸送ポンプはP1ポンプと呼ばれ地上に設置され、排泥水輸送ポンプはP2ポンプと呼ばれ切羽後続台車部に設置されます(図-1参照)。この2台は可変速のポンプであり、P1ポンプは切羽泥水圧を制御するようにコントロールし、P2ポンプは排泥流量を制御するようにコントロールします。

この二つの制御系は独立したのではなく、きわめて関連が高いものであり、例えばP2ポンプの回転を変速させることにより切羽泥水圧を変化させることは可能ですが、それ以上に排泥流量が変化することになります。このようなことから、より相関関係の強いP1ポンプと切羽泥水圧、P2ポンプと排泥流量を独立的に関連づけて制御するのが一般的となっています(図-2参照)。

P1およびP2ポンプはVSモーターによって可変速するのが一般的ですが、低回転では制御ができないため、少なくとも最高回転数の30%程度以上でコントロールする必要があります。なお、最近ではインバータタイプのモーターも使われておりますが、この場合は0%からの低回転コントロールが可能です。

**(2) 送泥流量、排泥流量の設定方法**

流量については限界沈殿流速をもとに排泥流量と送泥流量を設定します。流量の設定手順を以下に示します。

**1) 配管径の決定**

排泥管径は最大粒径や排泥濃度などにより決定しますが、送泥管は圧力損失を少なくするため排泥管よりひとまわり大きくするのが一般的です。

表-1 シールド径と配管径、流量の例

シールド外径 (mmφ)	配管径(インチ)		流量(m <sup>3</sup> /min)	
	送泥管	排泥管	礫なし	礫あり
2,000~3,500	6B	4B	1.3	1.6
3,000~6,000	8B	6B	3.4	3.8
5,000~7,500	10B	8B	6.5	7.3
7,000~10,000	12B	10B	12.0	13.0

シールド径と配管径の関係の例を表-1に示します。  
2) 排泥流速の検討

管内を液体と掘削された土砂が混合されて流れる場合、その流速が遅いと固形粒子が管内に沈降するため、ある程度以上の流速を保つ必要があります。これを限界沈殿流速と呼び、固体の粒子径と比重、泥水比重、および配管内径などをパラメータとしたDurandの式により算出されますが、一般的に2.5~3.5m/sec程度です。

$$V_L = F_L \sqrt{2gD \frac{\gamma_s - \gamma_0}{\gamma_0}} \quad (\text{Durandの式})$$

ここに、 $V_L$ ：限界沈殿流速

$F_L$ ：固体粒子径や濃度による定数

$D$ ：配管内径

$g$ ：重力加速度

$\gamma_s$ ：土粒子の真比重

$\gamma_0$ ：母液比重

この値に土質による係数 $\nu=1.1\sim1.3$ をかけて排泥流速を設定します。

**3) 流量の設定**

排泥流速に排泥管の断面積を乗じて排泥流量を設定します。送泥流量については必然的に排泥流量から掘削土砂流量を差し引いた値となりますが、最大時は排泥流量と同等となります。

**(3) 中継ポンプの計画**

排泥管の延長、曲管の数量、排泥流速、排泥比重、摩擦係数、立坑深さなどより排泥管必要揚程を算出し、その値からP2ポンプの揚程を差し引き、その値を中継ポンプ1台あたりの揚程で割ることにより、必要な中継ポンプの台数を算出します。ポンプの揚程については性能曲線表より算出しますが、この表は清水時の能力ですので泥水濃度による揚程減少率や揚量減少率を考慮する必要

があります。

#### (4) 礫層に対する計画

礫の出現が予想されている場合は排泥ポンプでの閉塞を避けるために礫処理設備(クラッシャなど)を設けるのが一般的です。礫処理設備はシールドのすぐ後方、後方台車の先端付近に設置されるため、排泥口からその位置までは管径を太くすることで対応します。そうした場合、その管径が太くなった部分の流速が低下するため、礫処理設備の前に循環ポンプを設置して、部分的に泥水を循環して流量を増すことにより流速を確保します。このポンプがP0ポンプと呼ばれています。

#### (5) 流量計、密度計の計測方法と精度

流量計と密度計は、掘削土量管理を行ううえで非常に重要な計器です。泥水式シールドの掘進管理は、この二つの計器の演算結果より得られた掘削土砂量をリアルタイムに把握しながらコントロールするものであるため、計器の狂いは土砂の取り込みをまねく可能性もあります。このために流量計と密度計は十分に調整する必要があります。その調整のタイミングは、①発進前、②掘削偏差流量に変化が見られた場合、③バイパス運転で掘削偏差流量が0に落ち着かない場合、④土質が変化したときなどですが、とくに変化のないときでも1か月に1回程度は調整した方が良いでしょう。以下に計測方法や調整方法などを示します。

##### 1) 流量計

電磁流量計の動作原理は、磁界の中を液体が流れるときに発生する起電力が流速に比例するというファラデーの法則を応用したものです。測定精度はスパン(一般的に4吋で2 m<sup>3</sup>/min, 8吋で10 m<sup>3</sup>/min)の±0.35%程度ですが、正しい精度を得るためには、①導電性の流体であること、②管内が満水であること、③流体が均質であること、④流体が非磁性であることが条件です。実際の施工においては流体が均一でないなどの状況により誤差は±1.0%程度のこともあります。

取り付け位置としては立坑部か後続台車部のどちらかに設置されます。

校正方法については、十分なバイパス運転を行

い泥水の中に固形分がなくなった状態で、送泥流量と排泥流量が一致するように調整を行います。

##### 2) 密度計

最近ではγ線密度計が主流であり、その原理はγ線の線源と検出器を配管を挟むように取り付け、配管と配管内の流体を通過した放射線を検出し、それを演算して密度を算出します。その測定精度はスパンの±1.0%程度とされていますが、流体の状況や振動などにより±2.0%程度のこともあります(一般的な比重スパン1.0~1.5の場合で0.01程度の誤差)。

取り付け位置としては一般的に後続台車部に設置しますが、長距離の場合は立坑下にも設置する場合があります。その理由としては後続台車部での密度差を切羽バイパス停止の目安とし、立坑部での密度差を全体のバイパス停止の目安とすることなどが挙げられます。

校正方法については、十分なバイパス運転を行い泥水の中に固形分がなくなった状態で、マッドバランスなどで測定した比重と一致するように送泥密度と排泥密度を調整します。

##### (6) 土質別および土質急変部での制御方法

礫の場合は砂に比べて沈降しやすいため排泥流量を若干大きめに設定する必要があります。Durandの式により算出された限界沈殿流速に乗ずる土質係数 $\rho$ は、シルト層で1.1程度、固結シルト粘土層で1.2程度、礫層で1.3程度です。

砂礫層などにおいては逸泥傾向があるため、掘削乾砂量や掘削偏差流量が粘性土やシルト層の場合と異なることがあります。掘削乾砂量や掘削偏差流量が変化した場合には、土質性状の違いによるものなのか、掘削状況の違いによるものなのかを適正に判断し、制御することが重要です。

最近では流体制御を自動コントロールとしているケースがほとんどと思われますが、礫層で閉塞傾向が見られる場合などは制御系のタイムラグなどにより切羽泥水圧の制御が間に合わない場合もあるため、状況に応じて手動でP2ポンプを制御する必要があります(通常の状態でもP2ポンプは手動制御としておいた方が、わずかな異常をすばや

く検知し、瞬間的な対応が可能です)。また、自動コントロールの場合、土砂の性状によって機器の適正な反応速度が異なることがあるため、ハンチング(制御量が周期的に変化して波打つ現象)により切羽泥水圧が安定しない場合は反応速度を調整することも必要です。

##### (7) 閉塞時の対処方法

簡単な閉塞時(半閉塞)はP2ポンプの回転を上げて解除する試みを行います。それで解除できない場合にはいったん掘進を停止して、どこで閉塞しているかを確認する必要があります。バイパス運転に戻した状態で、流量が正常となればチャンバ部あるいはクラッシャ部での閉塞であり、バイパス運転で流量が異常であればP2ポンプ以降での閉塞です。

また、機内バイパスを行うことによりチャンバ部とクラッシャ部のどちらかを見分けることができます。チャンバ部での閉塞については、流体を逆送して閉塞物を排泥口元から遠ざける対処をとりませんが、これで取り除かれるわけではないので、閉塞をくり返すことがあります。このような場合の対策として、予備排泥管を設けておくのが一般的です。

クラッシャ部やP2ポンプ部で閉塞している場合は、解体して閉塞物を取り除きます。

##### (8) トラブル事例

1) 事例①:調整槽の下限値を低く設定し過ぎたため、攪拌羽根により液面が波打った拍子に送泥ポンプがエアを吸い込み、送泥流量が0となり、切羽泥水圧が一気に低下したという例があります。その際には直ちに非常停止し、手動で送泥することで、短時間で切羽泥水圧が復旧したため、とくに地盤変状などの問題は見られませんでした。

対策:調整槽の下限値の設定においては、液面の変動なども考慮して余裕をみて設定する必要があります。

2) 事例②:切羽保持用のバルブ(cv1)が摩耗して、全閉状態でも通水状態となり、休日中に切羽に泥水を補給し続ける状態となった事例があります。そのときは当直者が切羽泥水圧の上昇に気付

き手動操作に切り替えました。

対策:休日中も切羽泥水圧や調整槽の水位を十分に監視する必要があります。

3) 事例③:掘進断面の土質に礫が存在しない工事であり、クラッシャを装備しない状態で発進部のコラムジェットの改良体を掘進中、排泥ポンプ部の全閉塞により、いく度となく切羽泥水圧が急上昇し、エントランスコンクリートが破壊した事例があります。

対策:流体輸送システムのバイパスセット部には緊急圧抜きバルブが装備されていますが、瞬間的な全閉塞に対応できるほどの吐出量や俊敏性は持っていません。発進中の閉塞による圧力の上昇に対しては、煙突状の上部開放式圧抜き配管(ホース)を複数個エントランスに取り付ける対策が有効です。この方法であれば、配管の端部の高さを変えることで自然に圧力上限値を調整することが可能です。

(文責:河越 勝/(株)熊谷組)

## 参考文献

- 1) 寺崎弘三・平野信美:各論 泥水による流体輸送, 基礎工, 1982.5.

### Q6. 大土かぶりシールドにおける計画の留意点を教えてください。

A. 大土かぶりシールドにおいては、シールド、セグメントに作用する土水圧が大きくなります。このため、シールド発進時、掘進時、セグメント組立時、シールド到達時において、土水圧荷重に対抗して水密性を図り、地山の崩壊、出水を未然に防ぎ、地表面沈下など周辺に影響を及ぼさないように施工する必要があります。また、大深度立坑を利用して資機材の搬入をくり返し行うため、セグメントなどの資機材搬送の効率化、安全性向上を図ることも重要です。

以下に、大土かぶりシールドにおける計画の留意点を、①シールド、②セグメント、③シールド発進、到達、④セグメント搬送システム、について説明し、また施工事例について述べます。

## (1) シールド

シールドを製作するにあたり、大土かぶりである地山の土水圧、地質の変化を十分考慮して余裕を持った設計検討を行います。その結果、シールドのジャッキ推力、トルクなどの仕様を決定するとともに、カットビット、カットディスク、スキンプレートなどの各部材の構造設計、軸受け部などの水密設計を合理的に実施します。

高水圧下のシールド掘進でとくに問題となるのは、シールドテール部からの湧水です。このため、シールドにワイヤーブラシを設置し、その間のテールシーラー充填により、セグメントとのテールボイドからの泥水および裏込め注入材の混入、固화를防ぎます。ブラシ間のテールシーラーの充填を掘進速度に見合うように量管理し、シールド方向制御を行って極端な姿勢変化を生じないようにします。これにより、テールブラシの損傷、せりによるセグメントのクラックをなくすことができ、高水圧でのシールドの水密性を高めることが可能となります。

シールド本体の安全性については、掘進中の施工データをコンピュータ画面表示した掘進管理システム(写真-1参照)を利用し、管理値を設定して施工を行います。中央制御室にすべてのデータを集中させ、シールド制御、流体輸送、泥水処理などの管理単位ごとの画面を設定して、切羽崩壊、

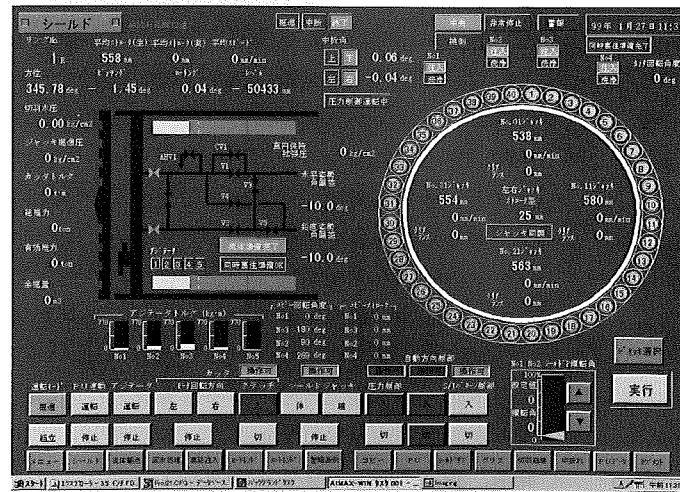


写真-1 掘進管理システム画面

閉塞、線形逸脱などの異常の有無を確認します。このシステムの導入により、効率よく精度の高い施工が行えるとともに安全に施工ができます。

## (2) セグメント

セグメントは、大土かぶりシールドの場合大きな土水圧荷重に対抗し、高水圧による漏水を防ぐことから、本体および継手の強度剛性をできるだけ高めるほうがよいようです。このため、RCおよび合成セグメントなどの採用をはじめ、継手に高剛性継手の導入、ボルトレス継手が用いられる場合もあります。さらに、セグメントの設計には、シールド掘進時の施工時荷重を考慮するものとし、ジャッキ偏芯によるモーメント荷重、セグメントとシールドのせり、裏込め注入圧、テールシール注入圧に対しての十分な検討が必要となります。

大土かぶりシールドでは、シールドのジャッキ推力が過大となるため、セグメント組立精度が悪く目開き、目違いが生じることがあります。この場合は、応力集中によりクラック・欠けが発生し、漏水につながる可能性が高くなるため、セグメント組立には、真円度などの組立精度を向上させることが重要となります。とくに、大口径トンネルの場合では、シールドエレクタに自動組立システムが多く採用されており、その結果、セグメント組立の真円度向上と高速化を可能にし、目開き、目違いをなくして、クラック・欠けのない漏水を起こさせないセグメント組立ができます。

セグメント継手の止水にはシール材が重要な役割を果たします。これは水膨張性シール材料を選定して、目開き、耐水圧などの設計条件を設定し水密設計、耐水圧試験を行って性能を確認します。施工は、シール材を溝内中央に正確に貼り付け、シール材を傷つけないで組み立てを行う必要があります。シール材の加工は、最近ではセグメントピースの形状に合わせたシール材をエンドレス状で製作する額縁加工を採用し、シール材の機能を高める工夫も

行われています。

## (3) シールド発進・到達

高水圧でのシールド発進・到達は、立坑内への出水の危険性をもっとも高いため、施工にあたっては、各種止水のための地盤改良、止水装置による補助工法を採用する必要があります。地盤改良工法は、薬液注入工、高圧噴射攪拌工法などの各種工法がありますが、水圧0.5MPa程度以上の高水圧下では、シールド発進、到達は地山の強度と止水効果を高めるために信頼性の高い凍結工法を選定する場合があります。

シールド到達は、シールドを立坑内に引き込む場合はとくに高水圧により止水が困難となったり、地盤改良による止水領域がシールドの坑内移動に伴って剥離し湧水する可能性があるため、立坑内水張り、茶筒方式の止水装置などを設置するなど止水対策を2重3重に考慮する必要があります。

## (4) セグメント搬送システム

大深度立坑を利用して資機材の搬出入をくり返し行うため、セグメントなどの資機材搬送の効率化、安全性の向上を図ることが重要です。そのため、地上から立坑内、トンネル坑内切羽まで自動運転するシステムを導入する場合があります。これは地上のドーリー(搬送台車)、立坑内のリフト、トンネル坑内のバッテリーロコなどの自動化により、シールド掘進、セグメント組立のサイクルタイムを確保して、セグメントなど資機材搬送を効率よく安全に行うことができます。

セグメント搬送システムを構築するにあたり、施工サイクルを満足するようにそれぞれの機械の速度、能力の検討を行います。とくに、リフトは立坑深度が大きくなるほど昇降速度の確保が必要となり、高速化を行えない場合は昇降する回数を減らすため複数のセグメントピースを搬送することになり、大きな揚重能力が必要となります。また、システムを順調に稼働させるため作業員、操作者への教育が必要になります。とくに、セグメント種類、投入順序などの手順、異常時の対応、復帰後の再運転などのルールについて操作者に周知させ、安全上の十分な配慮を図ることが重要です。

## (5) 大土かぶりシールドの事例

大土かぶりシールドにおける計画の留意点を、国土交通省外郭放水路第3、第4工区トンネル新設工事の例を引用しながら具体的に示します。

本工事は延長2.6km(中間立坑あり)、セグメント外径11.8m、土かぶり50m、水圧0.6MPaの高水圧が作用する洪水調節用大口径放水路トンネルです。

シールドのテールブラシは、高水圧が作用するため、緊急止水装置の設置も含めて4段のテールブラシを設置しました。テールブラシには発泡ウレタンを充填して一体化したウレコンシールを採用しました。このテールブラシはセグメントへの反力を高めることにより、止水性(耐水圧1MPa程度)、耐久性を大幅に向上することができます(写真-2参照)。

セグメントは、剛性の高いダクトイル鋳鉄製のDRC(Ductile and Reinforced Concrete)セグメントを使用し、継手はボルトレスを採用しました(図-1参照)。施工の結果、得られた真円度の測定

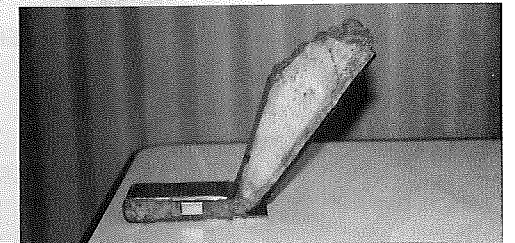


写真-2 テールシールブラシ(ウレコンシール)

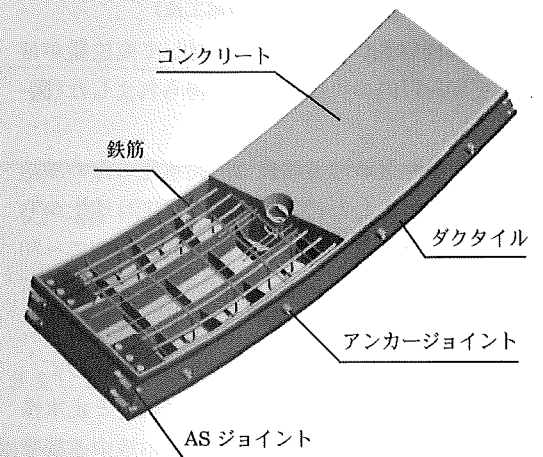
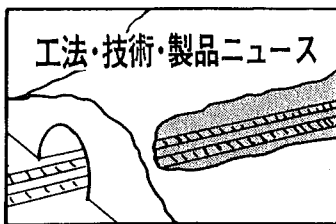


図-1 DRCセグメント



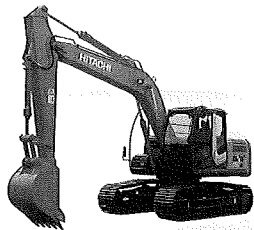


### 油圧ショベルに最新モデル登場

日立建機は、特定特殊自動車排出ガス基準に適合したZX160LC<sub>3</sub>油圧ショベル(標準バケット容量0.6m<sup>3</sup>、運転質量16.5t)を発売する。

同機は、ZAXIS-3シリーズの最新モデル。新型高出力エンジンと新油圧システムによる効率向上などによる生産性・経済性の向上、構造強化による耐久・信頼性の向上を実現した。国内の特定特殊自動車排出ガス基準適合や欧米の排出ガス3次規制に対応するなど環境・安全性へも配慮している。さらには、居住・整備性の改善など、油圧ショベルの全領域にわたって「基本性能の進化」を図っている。

また、機械の稼働情報やメンテナンス情報を蓄積するコントローラと通信装置を標準装備し、稼働情報や位置情報に加えて、点検・メンテナンス情報をインターネットで、オフィスや外出先へ提供することにより、機械を遠隔管理することが可能となっている。



### トンネル連絡坑の連結部構築工法

五洋建設とコプロスは共同で、並行する既設トンネル間に避難連絡通路などの構造物を構築する際、大規模な地盤改良を行わずに、トンネル

間を機械的に直接切削して連結部を構築する「H-CROSS(Horizontal Cutting Ring Of Shield System)工法」を開発した。2006年8月から開発をはじめ、五洋建設は施工方法の検討、コプロスが削進機の開発を担当した。今後防護工などの検証を進めながら実工事適用をめざし、積極的に提案していく予定。

従来、連結部を構築する場合、地下構造物間の地山を地盤改良や先受け工法で切羽周囲の補強を行った後、地山を掘削して連結部を構築していた。しかし、補助工費の大幅増や工期延長、地山掘削時の切羽崩落などによる危険性などの課題が指摘されていた。新開発の「H-CROSS工法」は、鋼製やRC製の既設構造物を切削できる生刃ビットを先端に備えた鋼管を回転させながら前方に押し出し、既設構造物側面と地山を直接切削して連結部を完成させる工法で、地盤改良が不要で補助工費が少なく、外殻先行施工のため安全性が高い。

なお、同工法を適用して、超軟弱地盤、断面積7.5m<sup>2</sup>(高さ2.5m、幅3.0m)の条件で10か所の連絡坑を構築する場合を試算したとき、凍結工法と比較して、工期、工費ともに30~40%の低減が見込まれるとしている。

### 繊維補強覆工を初適用

西松建設は、トンネル覆工をポリプロピレン(PP)短繊維を混入したコンクリートで行う「PPファイバライニング工法」を、トンネル工事3件に相次いで適用した。

初適用は、島田第一トンネル工事(中日本高速道路)で、コンクリートの品質は、旧JHトンネル施工管理要領に規定される曲げ靱性1.4N/mm<sup>2</sup>を30%以上上回り、繊維の分散性試験においても平均で0.3%と安定した結果が得られ、コンクリート硬化

後の繊維周辺のコンクリートの充填状況も良好としている。凍結融解抵抗性や長さ変化試験などの耐久性試験結果は、繊維を混入しないプレーンコンクリートと同等であることを確認済み。

同工法はもともと、ひび割れなどの変状が発生した山岳トンネルの耐荷力および機能強化のために、PP短繊維を混入した繊維補強コンクリートを、既設覆工内面に吹付ける薄肉補強工法として開発(土木研究所、戸田建設との共同)したもので、昨年、PP短繊維を混入した高強度コンクリートを吹き付けるトンネル補強技術「PPファイバショット工法」として鋼製セグメントの二次覆工などに適用していた。

今後は、橋梁、高架橋などのスラブや建築構造物の土間コンクリートへの適用も視野に入れて展開する。

### 複雑な環境振動を定量評価

飛島建設は、環境振動の伝搬影響や低減対策の評価技術を、解析からレポートまですべてPCで実行できる、「地盤環境振動推定システム」を開発した。

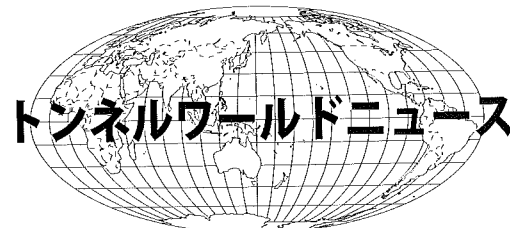
今まで高度・高コストだったレベルの振動解析技術をPCで一般的に利用できるようにし、地盤構造・性状の変化や、地中構造物の有無・物性や形状の変化を同時に考慮した結果を容易に定量評価できるようにした。

### コンクリート表面の

### ひび割れ幅評価手法の開発

ハザマとファーストは共同で、コンクリート表面のひび割れ幅を正確に測定できるひび割れ幅測定器を開発した。

同本測定器は、長さ10~15mmの区間のひび割れについて、400か所前後のひび割れ幅を連続的に測定し、統計的に処理してこの区間のひび割れ幅を表示するもの。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

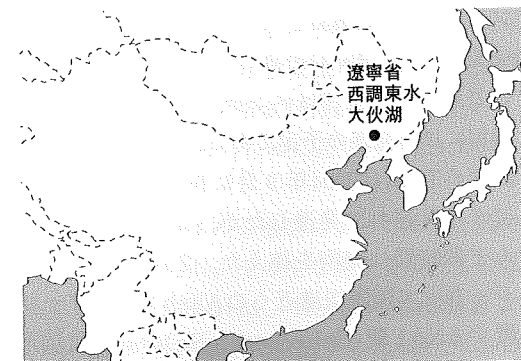
### Dahuofang(大伙)に ロビンス社TBM 2機

中国遼寧省Dahuofang(大伙)の導水路トンネルTBM工区は掘進延長の約半分の17kmまで掘進された。ロビンス社のTBM-1号機は翌月から引き続き予定されている残りの6.6kmへの掘進のため、マシンのメンテナンスで待機している。この掘削外径8.03mのTBMは2005年8月に2台発進した1台目で、一軸圧縮強度109MPaに及ぶ斜長石群・安山岩・閃長石群で構成される花崗岩層を掘進している。

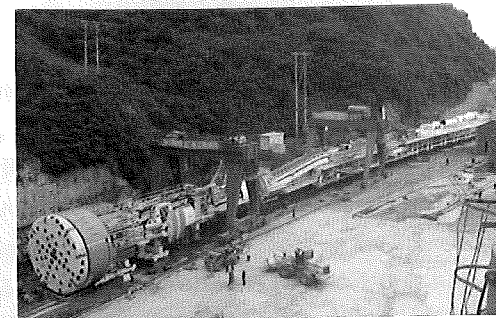
TBM-1号機が2006年終わりごろ、中間の作業坑を掘進中に「妹のTBM-3号機」は9月の終わりごろに、その作業坑口に到達していた。この2台のTBMは19inchの内取り付け方式のディスクカッターを装備している。さらに、カッターライフとカッター推力を補助する目的の外取り付け型のディスクカッターもオプションで装備できるようになっている。TBM-1号機は平均月進614mを記録し、最大月進は1,058mを打ちたてた。

一方、TBM-3号機は平均月進508m、最大月進860mであった。1号機より劣った理由は複合地質に対応したためであった。3号機は13.6kmの掘進中に19~70MPaとさまざまな圧縮強度の地質を掘進してきた。主な岩種は多孔質安山岩・火山性角礫岩・凝灰岩さらには砂岩、泥岩が介在する多孔質シルト岩などである(T&TI, February 2006, p.11掲載)。

ロビンス社はこの2台のTBM契約において、中国の導水路トンネル掘削では初めての採用となった連続コンベヤを含む本体および後続設備すべて



遼寧省 西調東水 大伙湖



Dahuofang導水路トンネルTBM

を提供した。また、この2台のTBMのカッターは900kWで通常のマシンの3倍以上も強力であった。さらに、この長距離のトンネル掘削にもかかわらず、ブースタドライブ(連続コンベヤの中間ドライブモータ)は1台で済んだ。

Dahuofangの導水路は世界最大の水路切替えトンネルプロジェクトで、延長85kmとなる。このロビンス社の2台のTBMに加えて、Wirth社のマシン(TBM-2号機)とREI社連続コンベヤ、Rowa社の後続設備で、2004年の12月に掘進開始し、ほとんどのトンネル掘削を終了していた。残っているトンネルは発破工法で掘削しているようだ。(T&TI '07.2 担当:篠原慶二・前田建設工業(株))

### イランのシーラーズで 2台のTBMが貫通

イランの南西部の都市シーラーズの地下鉄工事で、平行に掘削中の2台のNFM社マシンが2月下旬に最初の貫通を迎えた。直径6.88mの土圧バ

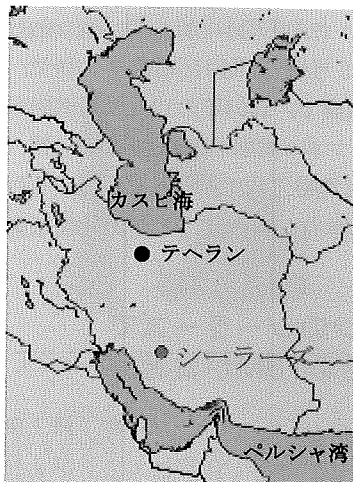
ランスシールドTBM 2台は一部分が構築されたNo.6 駅(Zahra Blvd)の立坑に、2月21、26日に相次いで到達し、現在はメンテナンス中である。4月初旬には再発進の予定である。

最初のTBMは2004年9月に掘削を始め、2台目は3か月遅れで発進したが、2台のTBMはほとんど同時期に掘削を終えた。2台のTBMは後にシーラーズ国際空港近くのAllahスクエアに位置するNo.1 駅(Gole Sorkh Sq)の発進立坑から掘削を開始した。

2台の延長4.7km以上に及ぶ掘削中に、請負者のBamrah社は2台目のTBMで117リングの最大週間進捗を、最初のTBMで21リングの最大日進を達成した。30cm厚のリング(5+1セグメント)はフランスのCBE社から供給された型枠を使用して製作され、最終的には内径6.0mのトンネルとなる。

トンネルの土かぶりは7.5~16.5mの範囲にある。地質はルートに沿って、シルト質粘土、シルト砂混じりの稠密な粘土質砂礫であり、固結した砂質シルト、シルト質砂、ならびに細粒状砂礫がレンズ状に数箇所存在している。

TBMは各々総延長14kmの掘削を行う予定であり、この新たな地下鉄路線は開削およびNATMによるトンネルなどからなっている。土木工事のコンサルタントは地元のOmran Mohit Zist社が



シーラーズ(ファールス州都)

担当する。

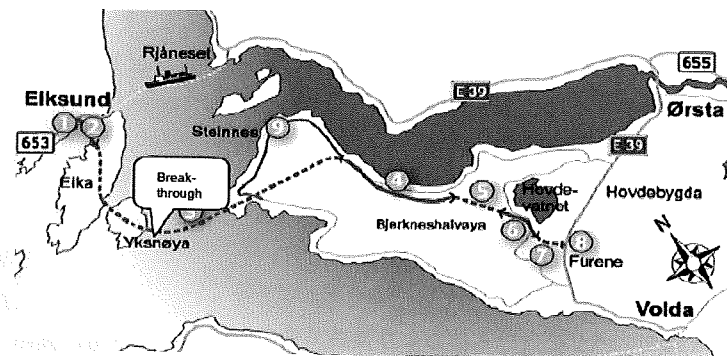
総延長24.1kmの路線はファールス州の州都シーラーズ(人口105万人、海拔1,500m)の南東から北西を結び、途中21の駅を経由する。シーラーズ都市鉄道機構(SURO)は当路線の2009年開業を計画している。

(T&TI '07.3 担当:小島宗隆・鉄道・運輸機構)

### 世界一深い道路トンネルの貫通

2007年2月1日、ノルウェーのEiksundにおいて、世界でもっとも深い道路トンネルが、最初の発破から951日後に海面下約245mの地点で貫通した。もっとも深い地点である海面下287mには2006年5月に到達しており、貫通した地点はそれよりも少し浅い地点にあたる。過酷で余裕のないトンネル掘削に続き、すぐに大規模な防水工と凍結防止対策が実施され、さらに路面工事と器材設置が行われた。このトンネルは、勾配が9.6%で3車線の区間から、勾配が7.6%で2車線の区間へ変化している。この勾配は、EUのトンネル勾配に関するガイドラインに定められる最大勾配5%をはるかに超えるものである。これは、ノルウェーがEUに加盟していないためであり、Hitra and Trondheimsleiaトンネルのように、10%という急勾配まで選択できる。

このプロジェクトでは、約660,000m<sup>3</sup>の岩石が発破された。これはトラック約50,000台に相当する量であり、スタジアムを約175mの高さまで埋める量にも相当する。岩盤の安定を図るため、約37,000本の“Ørsta CTボルト”という二重防食



構造のロックボルトと、約16,000m<sup>3</sup>の吹付けコンクリートが用いられた。

Møre and Romsdal州に位置する7,765mのEiksund海底トンネルは、世界でもっとも深い道路トンネルであり、ノルウェー本土とHareidlandet島をつなぎ、Eiksundsambandetの一部となる。

そのルートはEiksundの町を起点に、Eika小島とを結ぶ短い橋の後、7,776m(うち7,765mが発破工法)に及ぶ長いトンネルへと入る。海底に入ったトンネルは、Yksnøya小島とを結び、Vartdalsフィヨルドの下を深く通過し、本土のBerkneshalvøya半島とを結ぶ。

トンネル工事に関するその他特筆すべき事項は、以下のとおりである。

- 500万の発破孔
- 地面を調査するための45,000の探査孔(とくに水を探る目的で用いられた)

- 漏水阻止や軟弱地盤安定のための40,000の注入孔とこれに使用された1,600tのセメント
- 1,800回の発破のために用いられた1,300tの爆薬

Eiksundトンネルの横断によって本土と島の間の距離が縮められ、その主な恩恵を受けるのは、島に位置するHareid, Herøy, SandeおよびUlsteinの町と、本土に位置するØrstaとVoldaの市である。

Eiksund~Furene間の新しい道路“Rv 653”は、ノルウェー本土に位置する2本のトンネル、すなわち、Helghornのトンネル(1,160m)とMorakaasのトンネル(630m)を含め、全長が14,880mとなる。

(T&TC '07.03 担当:清田三四郎・鉄道・運輸機構)

E. フック・E. T. ブラウン共著

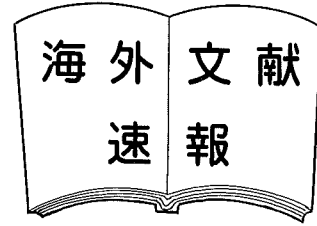
## 岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士小野寺透・工学博士吉中龍之進・斉藤正忠・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



(社) 日本トンネル技術協会 国際委員会

韓国の高レベル放射性廃棄物 (HLW) 処分システムの妥当性検証のための調査坑の概念開発/Concept development of an underground research tunnel for validating the Korean reference HLW disposal system

Tunnelling and Underground Space Technology, No.2, March, 2006, pp.203-271

韓国では4基のカナダ型重水炉, 15基の加圧水型原子炉が稼働しており, 韓国における全電力量

の40%を占めている。2003年の原子力エネルギー消費は6,000MTU(Metric Ton Uranium: ウラン1tを含む燃料)に達し, また, 2010, 2020年にはそれぞれ11,000, 19,000MTUに達すると予想されている。

燃料消費に伴い生成される高レベル放射性廃棄物を安全に処分するための長期研究開発プロジェクトとして1997年からKorea Atomic Energy Research Institute(KAERI)が始動している。

高レベル放射性廃棄物の処分場建設のためには, それに先立ち同地層における地層研究センター(URL)を用いた実現性, 安全性, 妥当性, 安定性の検証が不可欠である。

本論文では, 小規模なURLに最小限要求される事項あるいは概念的な設計方針を文献調査により抽出したうえで, 候補地において現地調査を実施しURLとしての妥当性について検証した。

図-1に高レベル放射性廃棄物処分場の概要図を示す。占有地下面積は4km<sup>2</sup>に及び, 各トンネルは幅6m×高さ7m×延長250mの馬蹄形トンネルである。

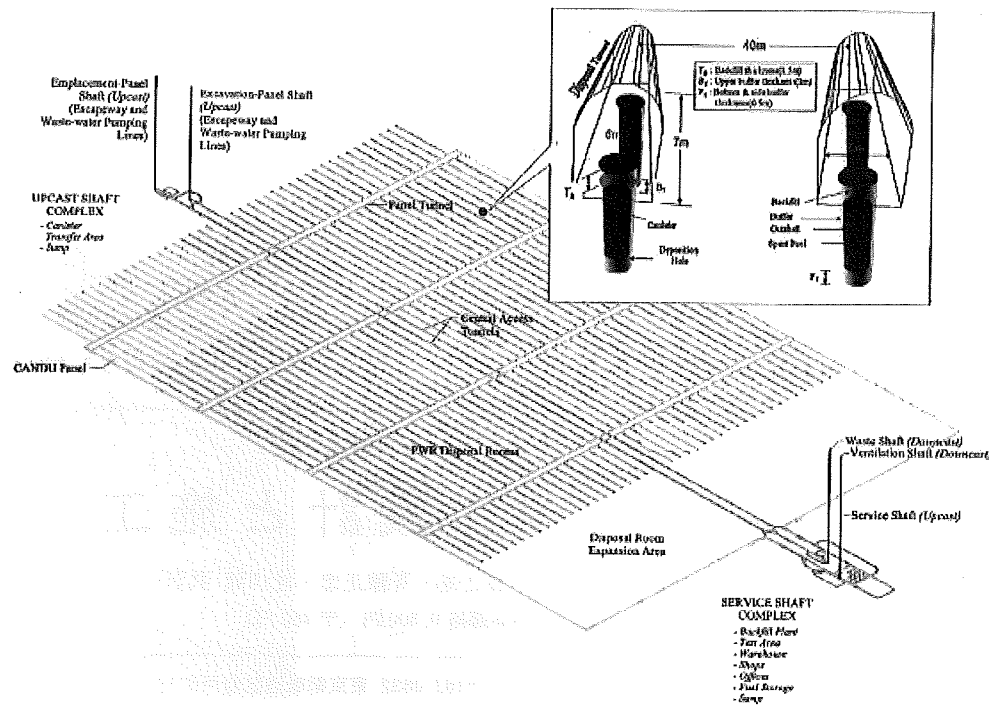


図-1 高レベル放射性廃棄物処分場概要図

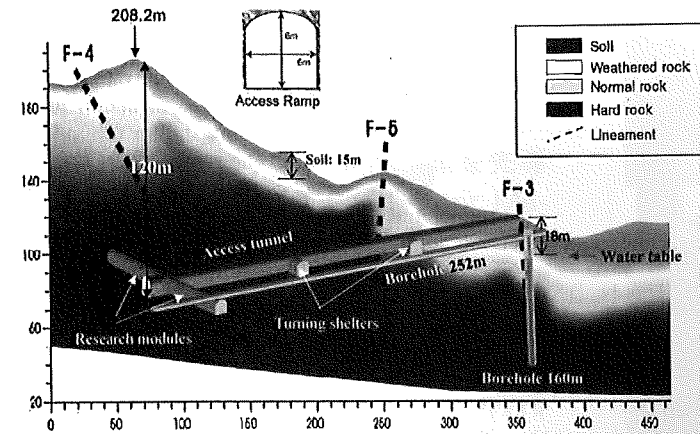


図-2 地層研究センター(URL)概要図

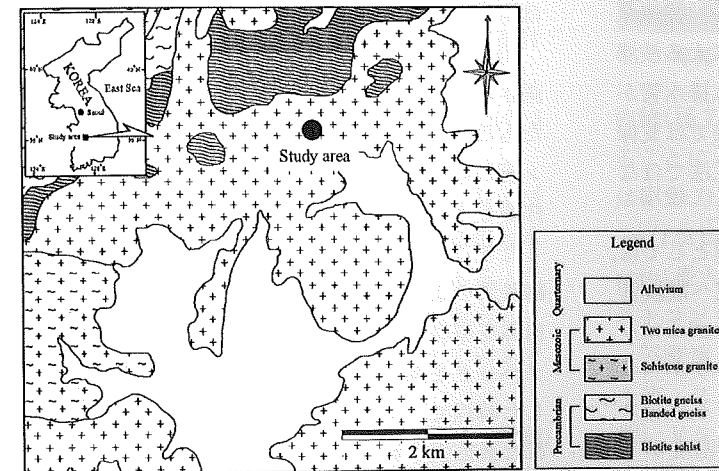


図-3 候補地の地質地質状況図

また, 図-2にURLの概要図を, 図-3に候補地の地質状況図を示す。

小規模URLに最小限要求される事項は文献調査から以下のようにまとめられた。

- ① 研究対象地は本処分場と同種の岩盤でなければならない。
- ② 研究対象地は深度100m以上でなければならない。
- ③ トンネルをボルトとメッシュのみで長期間放置することから健全な岩盤でなければならない。
- ④ 岩盤力学試験および透水試験を行える場所でなければならない。
- ⑤ さまざまなR&Dに耐えうる地質的, 化学的性質が調っていないとなければならない。

⑥ 経済的な施工が可能であること。

また, KAERIにおける概念設計が妥当か検証するために, 候補地において弾性波探査(屈折法), 比抵抗探査, ボーリング調査, また室内試験などを実施し, さらに小規模URLの構造安定性を照査するために, FLAC3Dを用いた数値解析を行った。

その結果, KAERIの花崗岩地山におけるURLは必要条件を満たしており, 以下の条件でのトンネル構築は妥当であることが確認された。

- トンネル勾配: -10%
- トンネルサイズ: 6m×6m
- トンネル長: 230m
- 研究箇所深さ: 120m
- トンネル方向: N56°W

(文責: 満尾淳氏・東急建設(株))

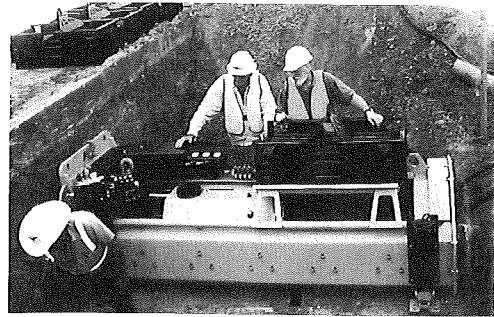
アルバータ州オコトクスの上下水道改良事業における新しい試み/Albertan town achieves sewer revamp 'the hard way'

By Ian Clark: Tunnelling & Trenchless Construction, May, 2006, pp.12-14

オコトクスはカナダ・アルバータ州カルガリーから18km南にある町であり, 現在の人口は15,000人であるが, 人口の増加率はカナダでも30位以内となっている。このため, 各公共施設の早急な改善が求められており, 上・下水道管の交換工事を実施する必要がある。

工事は, 既存の長さ450m・直径250mmの石綿セメントによる下水管を直径250mmの高密度ポリエチレン管に交換するものと, 長さ450m・直径150mmの給水本管を直径200mmの高密度ポリエチレン管に交換するものである。

既設の下水管と給水本管は, オコトクスにある

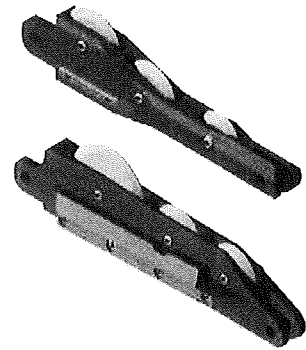


発進立坑

South Railway Streetに沿って敷設してあり、下水管は通りの北側、給水管は通りの南側に面している。South Railway Streetは住宅街と産業地域を結ぶ幹線道路となっているため、従来工法である開削工法の採用は、交通障害による渋滞を引き起こす恐れがある。さらに、雨水排水管が下水管直上1mの位置にあり、開削工法では支保工の配置が困難となることより、開削工法ではなくパイプバースティング工法を採用した。

パイプバースティング工法の施工手順としては、まずプルロッドを発進立坑より到達立坑へ既設管の内部を通して押し込む。到達立坑では、プルロッドの先端に刃のついたカッターヘッド、カッターヘッドにより切断した既設管を拡張し破砕するバースティングヘッド(これが代替管である高密度ポリエチレン管を牽引する)、およびスイベルにより構成された装置を取り付ける。プルロッドを発進立坑側に牽引することによりこれらが既設管を破砕し、破砕された既設管の破片は周囲の地盤に残置されたまま新設管が敷設される。本工事では、既設管の中心部225m地点に機械を設置する発進立坑、両端に到達立坑を構築し、また採用された装置はEarth Tool社のHammerhead Hydro Burst HB 125であり、牽引能力は125tである。

パイプバースティング工法の採用においても、既設下水管のたるみ部分を改修する必要がある。このため、既設管のたるみ部近辺では、破砕される前に開削後一定量の玉砂利と入れ替えた。既設管の破砕時には、牽引力によりバースティングヘッドは上向きとなり、砂利が管の下方に移動することによりたるみは修正され、またこの牽引力によ



石綿・铸铁管用カッターヘッド(上)と鋼管用カッターヘッド(下)

り直線性が保たれる。この修正を確認後、開削部は直ちに埋め戻された。

給水管については、既設管は铸铁管として計画され、施工当初はトラブルもなく順調に推移したものの、70m牽引した時点で高密度ポリエチレン管が破損している可能性が高いことがわかった。作業を中断し、破損したと考えられる部分を開削したところ、既設管は铸铁管ではなく鋼管のため铸铁管のように破砕せず、高密度ポリエチレン管自体を損傷させたことがわかった。このためカッターヘッドを鋼管用に変更したが、さらに85m進行した時点で、鋼管がカッターヘッドにより切り裂かれた後拡張されたものが破片として残り、ポリエチレン管を切り裂くという事態に至った。

工程が切迫していたため、この原因を究明し改善策を見つける時間は得られず、これ以上のポリエチレン管の損傷を防ぐために、残り90mと反対側の176mについては開削工法による施工に変更せざるを得なかった。

このようなトラブルには遭遇したものの、パイプバースティング工法の採用により交通渋滞を防ぎ、また近隣住民への影響も少ないことが明らかとなった。

開削工法とパイプバースティング工法を注意深く併用すれば、既設管のたるみ部を修正可能であり、また石綿管の飛散もなく環境面でも良好な結果が得られる。ただし、このような代替管敷設工事においては、計画時に既設管の材質を完全に把握し、最適な機械設備を決定したうえで実際の施

工に取りかかることが重要であることが明らかとなった。

(文責：野間達也・(株)フジタ)

### 超大型EPBMがマドリード再構築を先導 /'Mega' EPBMs lead the way for Madrid's renewal

By Manuel Melis, Manuel Amaiz:  
Tunnels & Tunnelling International,  
June, 2006, Vol.38, No.6, pp.23-25

マドリード市の環状道路M30は、1960~1980年代に建設され、交通渋滞、事故多発、住宅地の交通騒音公害、環境への影響が大きな問題となっている。このため、総予算57億米ドルのM30改善計画が官民共同事業(PPP)として計画された。

新M30となる南部バイパスは、全長3,600mの3車線双設トンネルである。

内径13.5mの路面下は、緊急車用2車線および換気に充て、2本のトンネル間には連絡通路8本を設け、うち3本は車両の通行が可能である。また各トンネルに換気立坑を設け、火災対策として路面より上部の壁面は100mm厚のコンクリートで被覆する。

トンネルの土かぶりには15~65m、地質は沖積層、砂質粘土、硬質粘土で構成されEPB掘削に適していることから、世界最大の15m級EPBMを使用するよう発注者より指定された。PCa製セグメントは、厚さ600mm、幅2m×弧長9mで完全ボルト締めである。インバート部は2車線用のセグメントを採用している。

EPBMの仕様は類似地質条件である地下鉄建設の経験にもとづいて決定され、Herrenknechtと三菱重工の2台が選定された。トンネル内径13.5mからリング外径14.65m、TBM径15mが決定した。同様に、最大推力250,000kN以上、所要トルク8,000tm以上、掘削速度65mm/分など十数項目の規格が定められた。EPBMが超大型(切羽面積181.5m<sup>2</sup>)のため、両社ともこれを高効率で稼働させる技術を開発した。

Herrenknecht機：カッターヘッドを内外二分し、

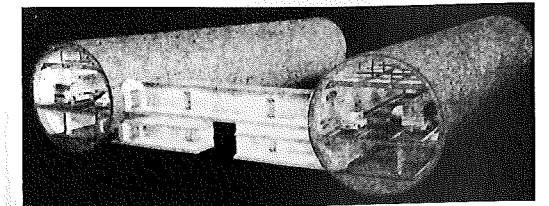


図-1 標準断面図(連絡横坑区間)

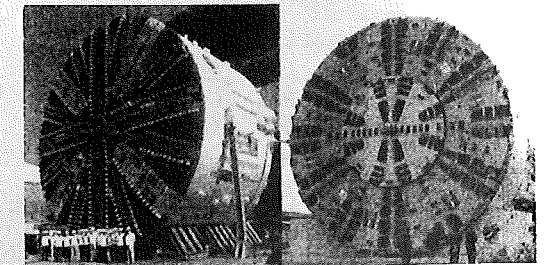


写真-1 三菱機(左)、Herrenknecht機(右)

内輪(径7m)を外輪より高速で逆方向に回転させることにより目詰まりを防止する。カッターヘッドは駆動力10.7MWであり、トルクは内輪が8,450tm/1.5rpm(最大10,890tm)、外輪が9,600tm/0.81rpm(最大12,527tm)である。ずり出しは3本のベルトコンベヤで行う。製作期間は12か月。

三菱重工機：カッターヘッド1基で、17"トリプルディスクカッタ44個、ナイフエッジビット226個、ドラッグビット420個、トリプルトリムビット16個、ダブルトリムビット16個、センターカッタ1個の構成である。385kW変速モーター28台により10MWが得られ、トルクは8,570tm/1.05rpm(最大12,700tm)である。低回転による目詰まりの危険を防止するため、カッタチャンバに2rpmで回転する油圧式攪拌装置を設けた。ずり出しは1,500mmスクリーコンベヤ1台で行う。製作期間は17か月。

南部バイパスはNesco/Dragados JVがHerrenknecht機により2005年11月に北側から掘削開始、12週で1,260m(630リング)の進捗である。南側はFCC/Dragados JVが三菱機により2006年3月に掘削開始、20m/日、360m/月以上を見込んでいる。連絡通路などは本坑掘削と同時(切羽後方100m)に進められている。

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))

会報

1. 会員の現状

	6月25日現在
正会員	2,189名
団体会員	407名
個人会員	1,782名
名誉会員	1名
計	2,190名

2. 委員会の開催状況(6月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

- 都市トンネル小委員会：6/20(安保委員長ほか13名) Q&A施工WG報告
- 同 Q&A施工WG：6/20(中島泰彦主査ほか16名) 原稿を検討
- 効率的掘削工法特別委員会：6/29(西村和夫委員長ほか23名)計画および方針を検討
- 計 3回開催 55名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
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(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling Association (国際トンネル協会) <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

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

- 広報小委員会：6/12(大塚正博委員長ほか8名)HPイメージ案を確認
- 同 打合せ会：6/26(土門剛委員ほか6名)HPの体裁を検討
- 会誌WG：6/7(大島洋志主査ほか10名)7月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

- 海外文献小委員会
- 文献紹介WG：6/19(大久保誠介主査ほか16名)海外文献を査読
- ニュースWG：6/20(小島宗隆主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会：6/5(桑原彌介委員長ほか14名)催物事業計画を検討

- 同 打合せ会：6/21(木戸義和委員ほか8名)ステップアップ研修会実施方針を検討
- 同 打合せ会：6/22(川澄邦康委員ほか5名)施工体験発表会応募概要を検討
- 計 8回開催 83名出席
- 合計 11回開催 138名出席

4. 平成19年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
プラハ国際トンネル会議技術調査	2007. 5. 3~13	18	オーストリア, チェコ, ドイツ
首都圏トンネル現場研修会	2007. 5. 30	14	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2007. 6. 14	19	東京都
上野地区地下構造物建設現場研修会	2007. 6. 28	17	東京都
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 7. 4	25	神奈川県
西大阪延伸線建設工事現場研修会	2007. 7. 27	20	大阪府
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 8. 24	20	神奈川県
(発表会)			
第60回(山岳)	2007. 9. 26	200	東京都
「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」			
第61回(都市)	2007. 9. 27	200	東京都
「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」			
「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」			
(講演, 講習会)			
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2007. 11. 1, 2	30	東京都
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	未定		

## 9月号予告[9月1日発売予定]

- 全断面早期閉合による合理的山岳トンネル工法
  - 供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策
  - 首都高速中央環状新宿線 代々木シールド
  - 大阪市地下鉄8号線(今里筋線) 4工区その1,2
  - SPR工法によるロサンゼルス下水道の更生工事
  - 「ITA総会および世界トンネル会議(プラハ)」報告
- 【連載講座】
- シールド工事の施工に関するQ&A(3)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆本号で掲載している東京メトロ副都心線渋谷駅の工事ですが、東京近郊の方なら馴染みが深い東急東横線内のPR広告で最近よく目にします。広告にも紹介されていましたが、コンコースに開けられた楕円の吹き抜けは建築家の安藤忠雄先生が手がけておられます。安藤先生といえば最近ではテレビ出演でもお馴染みですが、表参道ヒルズや東京ミッドタウンプロジェクトの設計を担当されたり、新東京タワーの監修をされたり、さらには2016年夏季オリンピックに立候補している東京都からは施設の基本プランを依頼されるなど多忙を極めて大先生です。そんな先生がデザインしている副都心線渋谷駅の吹き抜けは全長80m、幅24mの大空間で、地下1階のコンコースからホーム階の地下3階を見下ろすことができる斬新なデザインとなっています。太い円柱に囲まれた吹き抜けはあたかもギリシアの神殿をイメージさせるような荘厳さを持ち備えています。コンセプトは宇宙船が地下に潜ったイメージで「宇宙船」とキャッチフレーズがつけられ、どんな空間がお目見えするか今から楽しみです。来年6月の開業には全国の方が驚くようなスペースが披露されることでしょう。

(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38巻 第8号 (通巻444号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成19年7月20日 印刷

平成19年8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://wwwwsoc.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。

【好評発売中】

# セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削減はすべてに優先する至上命題となっており、シールド工事もその例外ではない。シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきた。

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編纂委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

### 〈セグメントの新技术〉

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 薄型化・高強度セグメント         | 18. シンプロセグメント         |
| 2. サンドイッチ型合成セグメント       | 19. WBセグメント           |
| 3. 矩形トンネル用合成セグメント       | 20. リングロックセグメント       |
| 4. NMセグメント              | 21. KLセグメント           |
| 5. 二次覆工省略型ダクタイルセグメント    | 22. コーンコネクターセグメント     |
| 6. リングシールド工法用セグメント      | 23. FRP-Key継手         |
| 7. コンクリート中詰め鋼製セグメント     | 24. ほぞ付きセグメント         |
| 8. DNAシールド              | 25. HOTセグメント          |
| 9. ガイドロックセグメント          | 26. インサート継手(その1:アーチ形) |
| 10. ウイングセグメント           | 27. インサート継手(その2:NF型)  |
| 11. ハニカムセグメント           | 28. CPIセグメント          |
| 12. CONEX-SYSTEM        | 29. PPCセグメント          |
| 13. スパイラルセグメント          | 30. FBRセグメント          |
| 14. コッター・クイックジョイントセグメント | 31. NRTセグメント          |
| 15. ワンパスセグメント           | 32. タイドアーチセグメント       |
| 16. ASセグメント             | 33. 遠心力締固めRCセグメント     |
| 17. マルチブレード式継手セグメント     | 34. 高流動コンクリートセグメント    |

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

### 《ご注文票》

セグメントの新技术 \_\_\_\_\_ 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・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

【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。

## 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位防止 ○ 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

きーりーとーりー線

《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 \_\_\_\_\_

㊞

**TAIKU**



# CL301E型 カッタローダ

**強力な掘削**  
最大掘削高さ6.6m

**特長**

1. カッタ駆動モータは、110kW電動機搭載
2. 散水装置により、ビット冷却と粉塵抑制
3. パワーコントロールにより、岩質等に応じて、自動的にドラム送り制御
4. ケーブルリールにより、電源ケーブルのさばきが容易
5. 走行移動用ディーゼルエンジン搭載

## トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

## RL型タフローダ



RL10

## 油圧式ズリ積機

アタッチメントとして  
カッタヘッド  
油圧ブレーカ搭載可能

型式	RL16	RL10	RL5-1
適用ズリ取断面	10~32㎡	7~30㎡	4~14㎡
油圧パワーパック	53kW	45kW	31kW
ベルトコンベア能力	150㎡/H	150㎡/H	70㎡/H
質量	16.5トン	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

本社 〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号 ☎(03)3741-3131(代表) FAX(03)3741-6457

Kawasaki

# KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動

コンパクトで大出力  
坑内ダンプの革命児!!



**コンパクト**

- クラス最小の車体寸法
  - ・全長7,980mm
- クラス最小の回転半径
  - ・5,850mm
  - (後・後輪リフトアップ時)

**大出力**

- クラス最大級のエンジン出力
  - ・212Kw/2,300min<sup>-1</sup>

**クリーン**

- 万全の環境対応
  - ・第2次排ガス基準クリア
  - ・セラミック製黒煙浄化装置

**安全**

- 安全性
  - ・4段階調整式リターダ
  - ・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.5
90ZV	3.2

ズリ積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■ロードホールダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
M7	2.0
M8	3.0
M9II	4.0
M10	5.0
M12	6.5
M14	7.0



**ONE FOCUS**  
Complete Solutions

Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社

建設機械ビジネスセンター

東京本社 〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1(世界貿易センタービル)  
☎(03)3435-6959 HPアドレス <http://www.khi.co.jp/kenki/>