

# トンネルと地下 12

vol. 39  
no. 12  
2008

Tunnels and Underground

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)  
酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け  
岩盤対応型大断面シールドによる道路トンネルの施工  
最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断  
高品質吹付けコンクリートによる単一覆工構造に関する研究

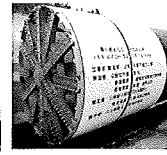
日本トンネル技術協会誌

## トンネル開発技術に

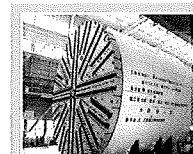
## 60余年のヒストリー!



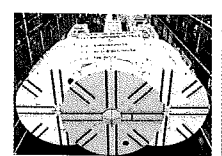
2006  
(ドバイLRT用シールド)  
ドバイの交通網の発展に貢献



2004  
(大断面SENSI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バイオニアとして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  
本体価格1,500円

雑誌06619-12



4910066191283  
01500

**信頼の品質**

**技術提案に好適!!**  
**デンカの特種混和材**

デンカの酸性液体急結剤  
初期強度発現がバツグン

**《デンカクリアショット》**

酸性液体急結剤 **デンカナトミックLSA**  
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**

- ・脅威の低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない
- ・粉体急結剤と同様の吹付け性状
- ・湧水、低温にも強い

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

**《粉じん低減剤》**

**デンカクリアップ2**

- ・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
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け  
**デンカナトミックTYPE-5**

高強度吹付け  
**デンカナトミックTYPE-10**

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**

- ・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

覆工コンクリート  
ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材  
**デンカパワーCSA**  
有機無機複合型被膜養生剤  
**デンカクラッコフ**  
コンクリート補強用合成繊維  
**STRUX 85/50**

- ・高品質な覆工コンクリートが得られます

◆トンネル関連製品

- ・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
- ・デンカライフセッター・・・吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・FTN-30・・・吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・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

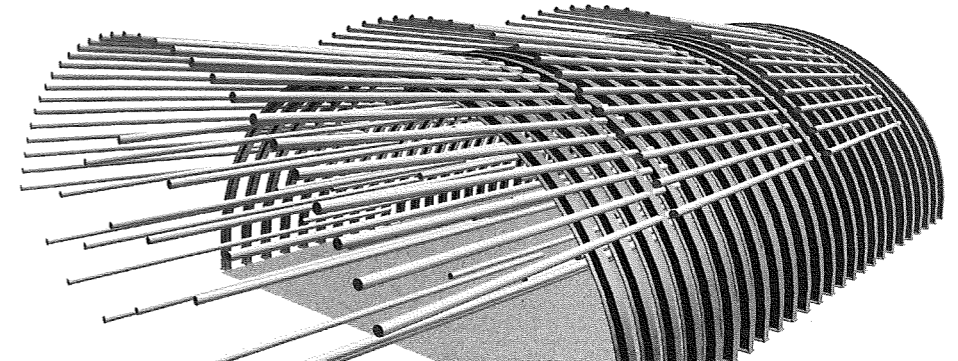
**DENKA**

電気化学工業株式会社  
セメント・特混事業部  
東京都中央区日本橋室町2-1-1  
電話 03-5290-5558

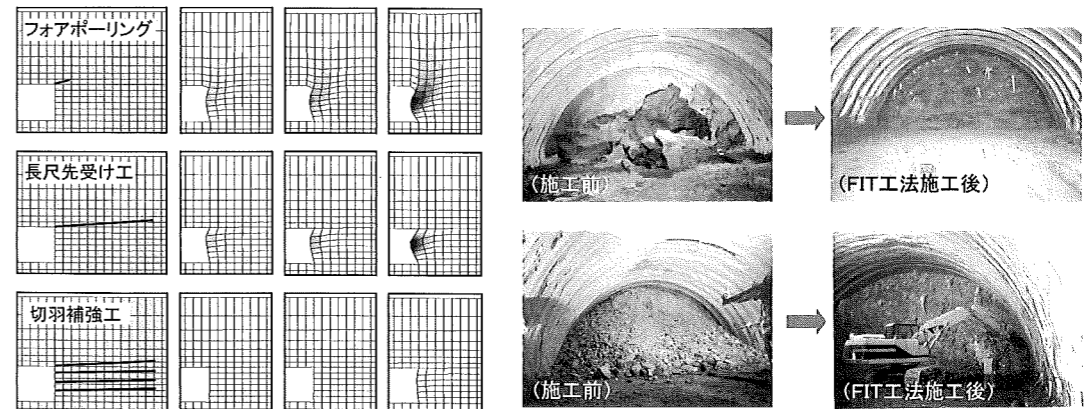
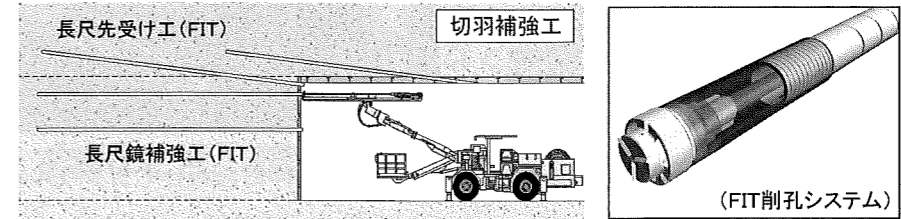
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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)

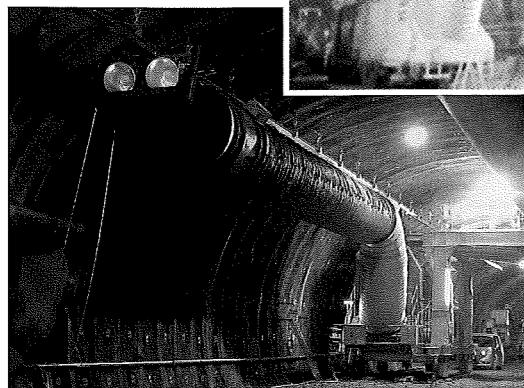
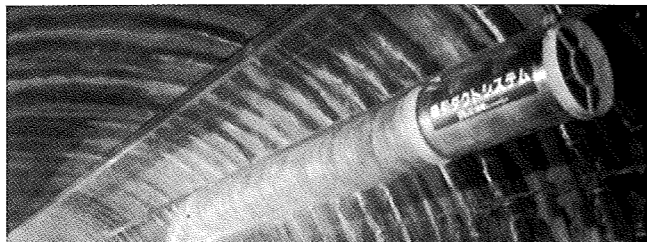
**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233  
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/>

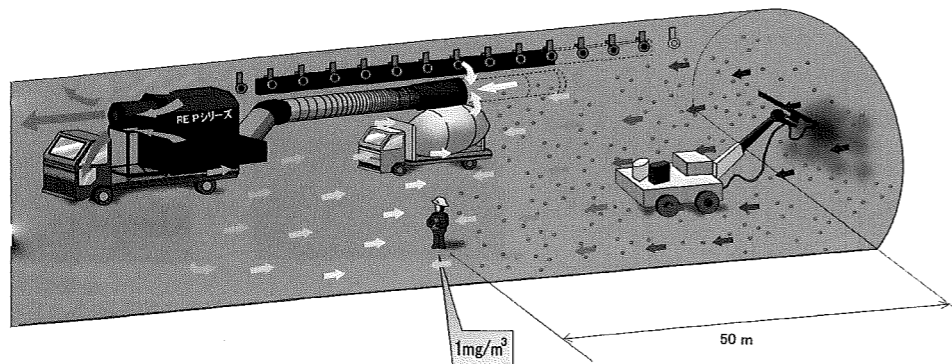
# 吸引ダクトシステム

**業界初** 吸引ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕  
 粉じん障害防止規則を大幅に満たす 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應。操作にお手間をとらせません。
- ・最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウン。
- ・適應径はφ600～φ1650、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。



**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 COI聖坂ビル  
 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



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は最小値78dB(A)、アリエルは当社比-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。

**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 COI聖坂ビル  
 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

# TFTのトンネル資材

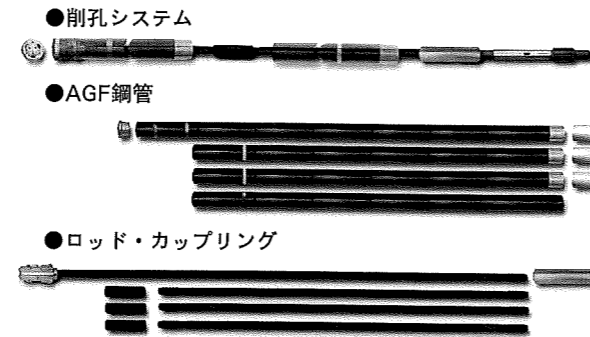
## ▼ AGF工法

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

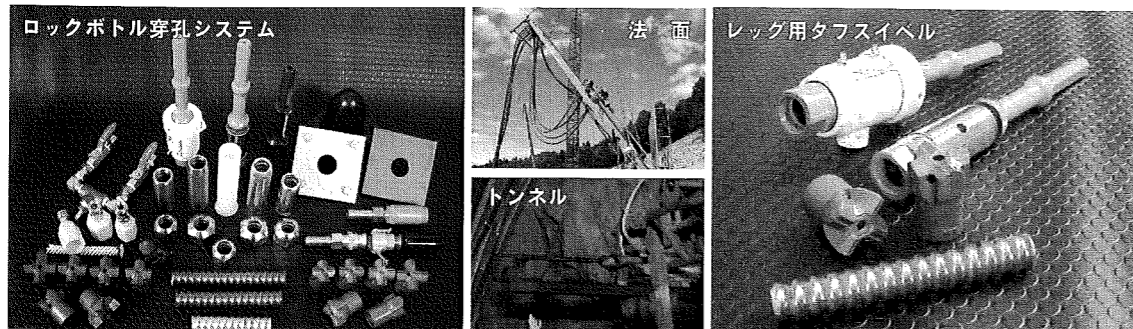


## ▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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)

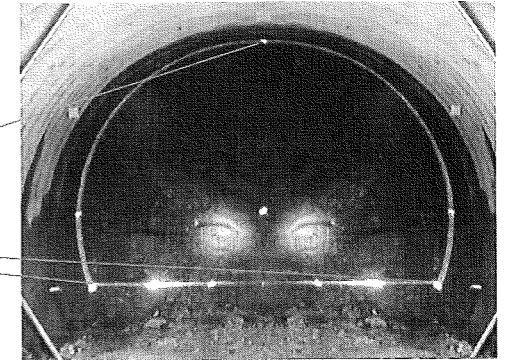


**TFT** 株式会社 **ティーエフティー**  
Tube Forming & Technological  
 〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号  
 Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

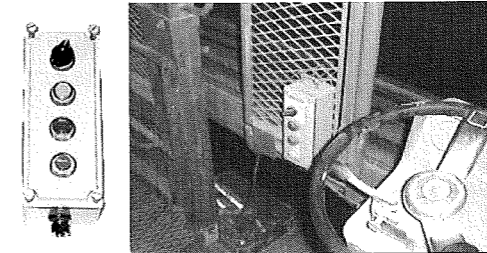
# レーザーマーキングシステム

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

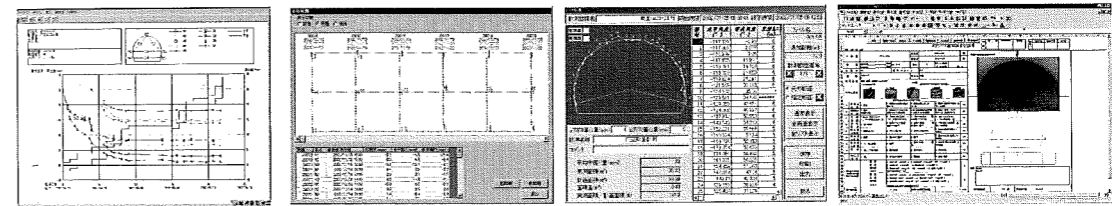


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

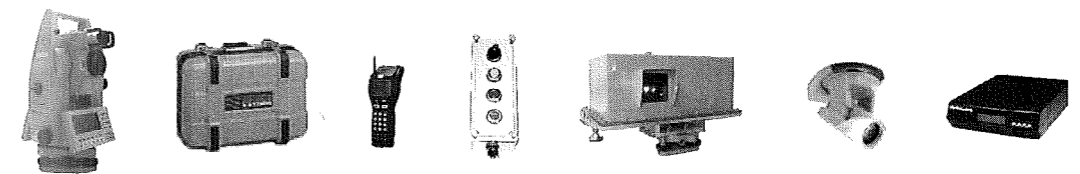


ジャンボに取付けて使用可  
AC200V対応

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

## 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。

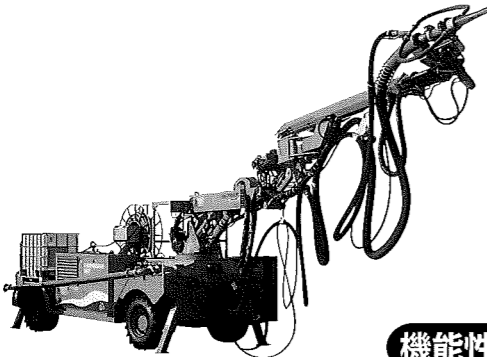


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

### 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)

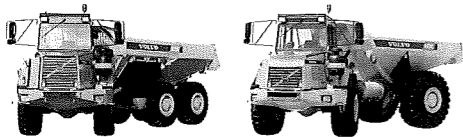
## トンネル関連製品

### 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)

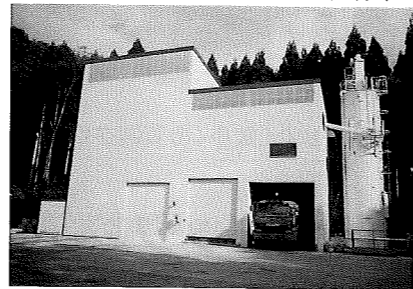


Volvo East Asia (Pte) Ltd

その他、トンネル施工機械全般

### バッチャプラント

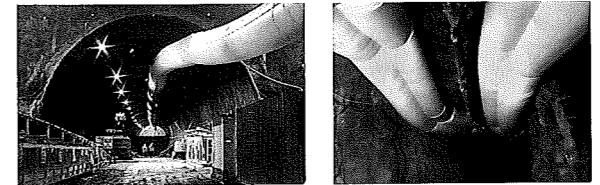
(全自動式, 3槽クラム式, 簡易型, 特殊型)



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

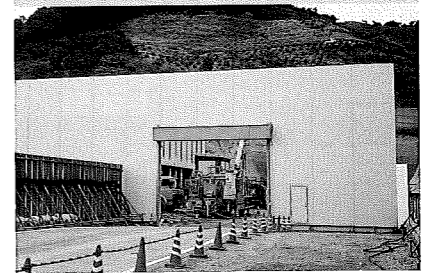
## 騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



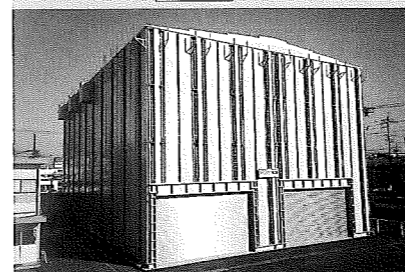
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



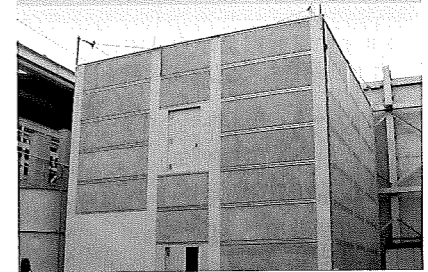
適応性の優れた防音パネル

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 株式会社トユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

**東友エンジニアリング株式会社**

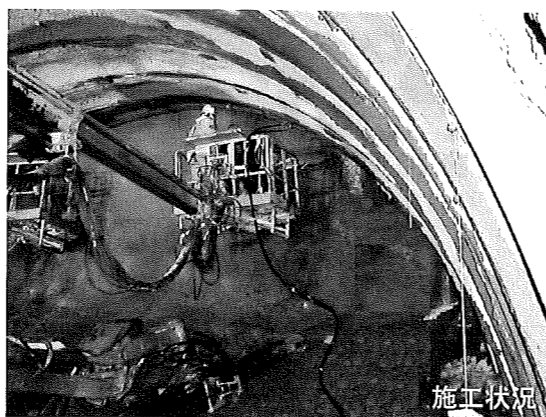
<http://www.toyu.co.jp>

〒102-0073 東京都千代田区九段北 3-2-5 TEL: 03-3234-8901 FAX: 03-3234-8900  
株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974  
トユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

## 補助工法・注入材のことならティーエムシー

### ■AGF-OFP工法

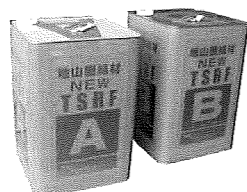
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

### ■各種注入材

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

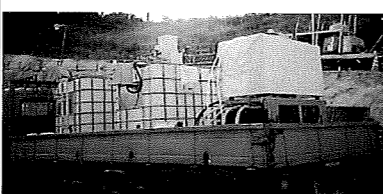


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

## 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。

**TMC** 株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>  
お問い合わせ・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 愛知県春日井市島居松町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
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL : 0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリューションビル1F	TEL : 0942-40-8151

# 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.oricaminingservices.com](http://www.oricaminingservices.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。

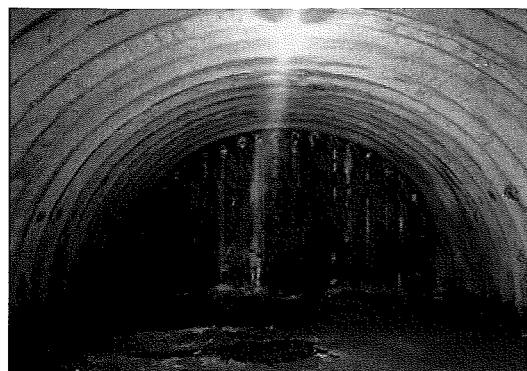
オリカは、鉱業および建設業界、ならびに当社のお客さまへのコミットメントをお約束します。

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

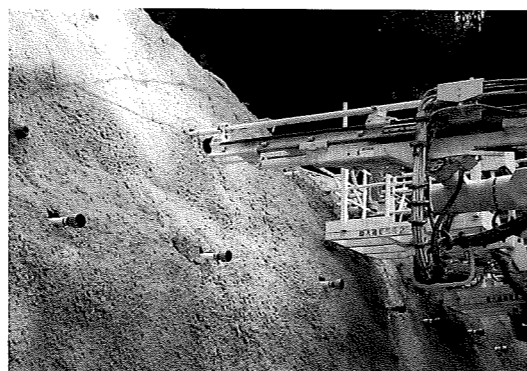
**ORICA**  
MINING  
SERVICES

# 日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として、数多くの実績を築いてきました。この豊富な施工実績を基にした技術対応力で、バックアップ体制をとっています。さらに、豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため、「AGF工法～小口径二重管削孔システム」まで、地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます。



(施工例)断面内からの無拡幅AGF工法



(施工例)鏡面への小口径二重管削孔システム

## AGF工法のバリエーション

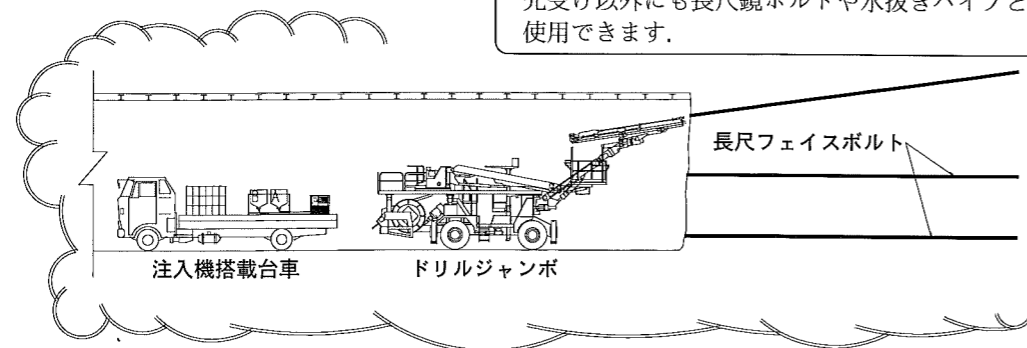
プロトタイプ  
無拡幅タイプ  
最小拡幅タイプ

## 小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1mm～60.5mmまで対応ができ、鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます。

先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます。

施工性や経済性を追及して、注入式フォアポーリングとAGF工法の間を埋める工法!



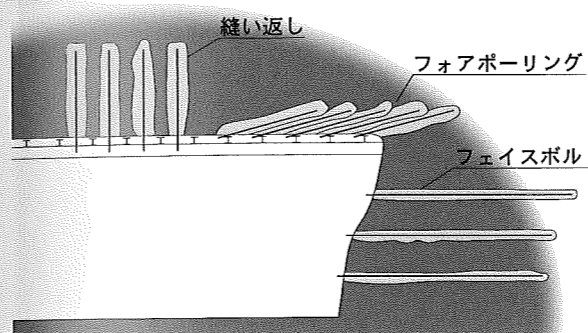
## 注入材のバリエーション

- シリカレジン注入材
  - ・スーパーSRF(標準タイプ)
  - ・スーパーSRF(Sタイプ)
  - ・スーパーSRF(低粘度タイプ)
- ウレタン注入材
  - ・ガンバンスーパーS
- 無機系注入材
  - ・シリカセーフ



(施工例)固結状況

## 注入ボルトのバリエーション



注入式フォアポーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして、

- ・PUボルト
- ・KATアンカー
- ・GPRマルチタイプロックボルト

等があり、地山条件や使用目的に応じて選択できます。

## 主要営業品目

- ・スーパーシート(防水シート)
- ・ツイストロックボルト
- ・異形ロックボルト
- ・KAT自穿孔ロックボルト
- ・GRPマルチタイプロックボルト
- ・各種注入材
- ・アルカリフリー型液体急結剤AFK-777J
- ・各種AGF工法
- ・Small-P工法/パノラマ工法
- ・注入式フォアポーリング
- ・濁水処理設備
- ・建設資材全般

# KATECS

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.co.jp/>

技術営業部

TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164

東京支店

TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648

九州営業所

TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

中部営業部

TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164

関西営業所

TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

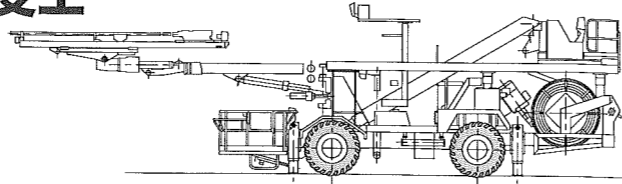
北海道地区(株)エイチ・アール・オー

TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

## 環境対応型長尺鋼管先受工

### TOHO AGF System

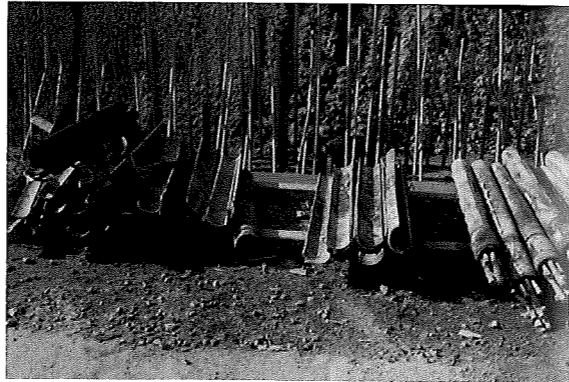
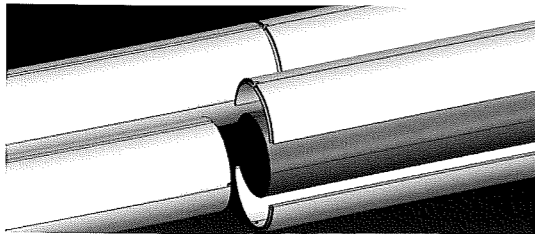
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Filling Method



### AGF-Me工法

- ・トンネル掘削時に露出した末端管を容易に切除可能
- ・硬化注入材と鋼管を容易に分別処理して、鋼管はリサイクルへ
- ・豊富なサイズ、114.3mm・101.6mm・76.3mm・60.5mm

最後端部に接続される鋼管は、縦貫通スリット管を用いることにより、掘削時に露出した鋼管を折り曲げ除去するだけで、内部の硬化した注入材と鋼管とを分離して、分別処理を簡便に行えるようにした環境対応型長尺鋼管先受工です。



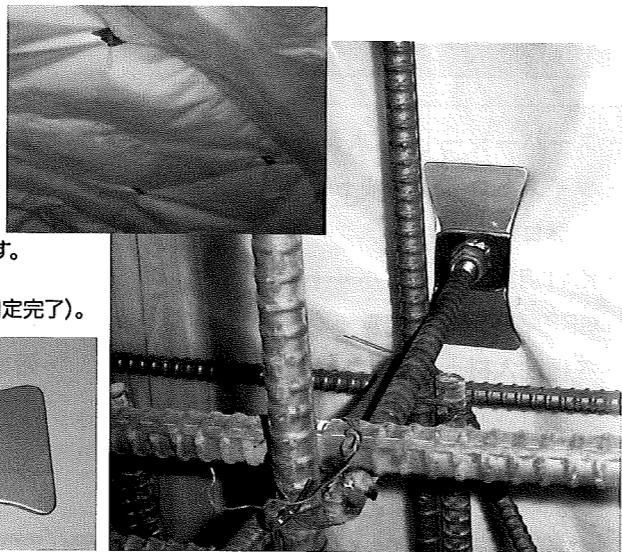
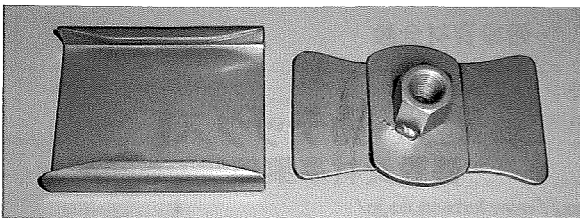
### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

- ・防水シートへの穴あけ不要
- ・一人で容易に取り付けが可能
- ・外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

1. 支保工へ溶接したグリッパーに防水シートを当てます。
2. 回転プレート押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



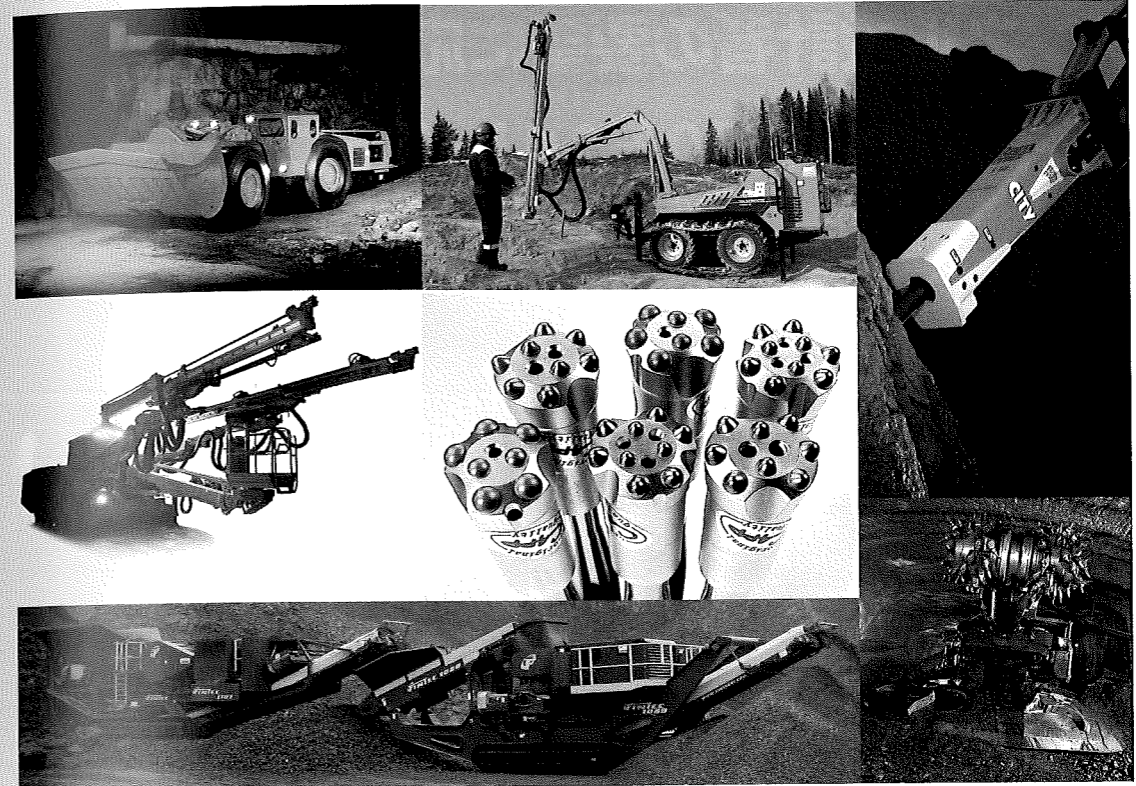
**東邦金属株式会社** 東京営業部  
TOHO KINZOKU Co., LTD

〒105-0003  
東京都港区西新橋3丁目2番1号 共同ビル(西新橋)10F  
Tel: 03-5401-6211 Fax: 03-5401-6218  
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

**株式会社 トーキョーオール**

〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: 044-333-0012 Fax: 044-333-0321  
(お問い合わせ先)

SANDVIK



### Productivity in Action

サンドビック マイニング アンド コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。私たちの製品は、鉱山機械、建築機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客様の生産性、収益性を改善する斬新なソリューションを絶えず提案し続けます。

**サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社**

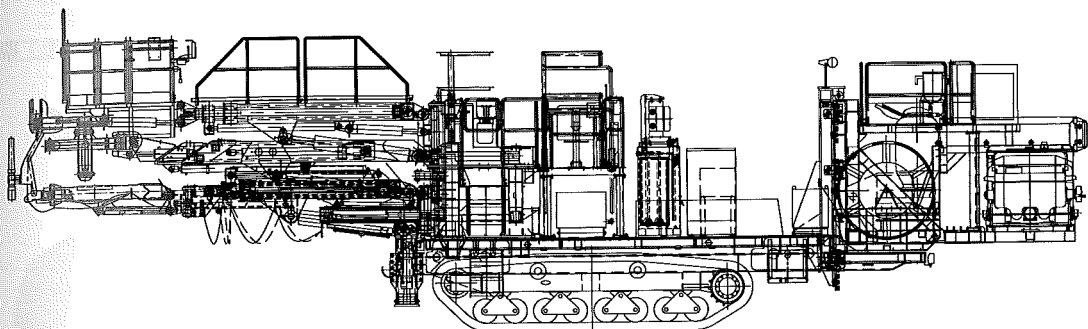
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階 TEL: 045-478-0682 / FAX: 045-478-0661

URL <http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/>

# スコープオンに新型(Ⅱ型)一般断面に適合

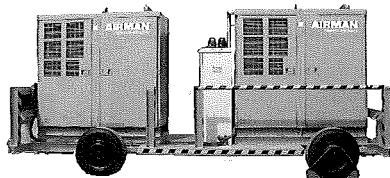
特許申請

Ⅰ型 フル規格適合(C/P搭載)



- ・断面55㎡～90㎡対応
- ・車体幅 2700mm/m
- ・ポンプ式 アリバー式兼用

コンプレッサー牽引台車(別途)



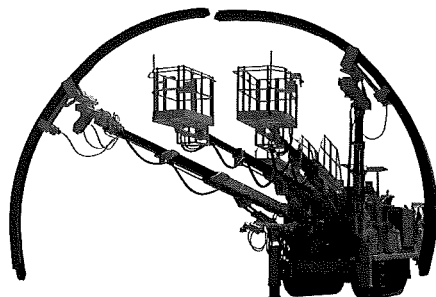
## スコープオンⅡ型外観



現場に納入したⅡ型

## スコープオンⅠ型

- ☆オフロード法認
- ☆排ガス三次規制認可予定



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

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画あり  
URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>

## 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

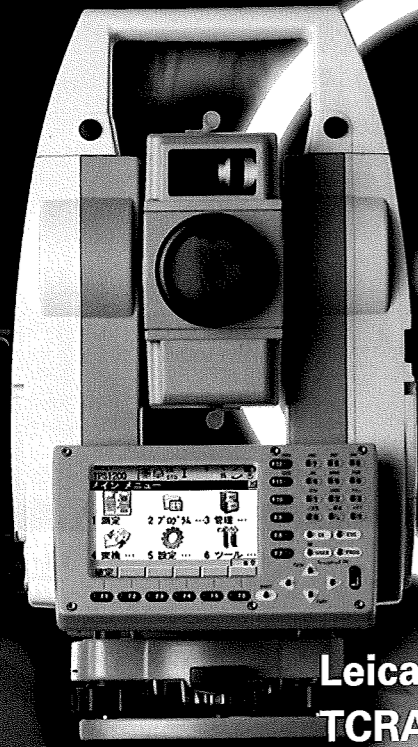
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

常設展示

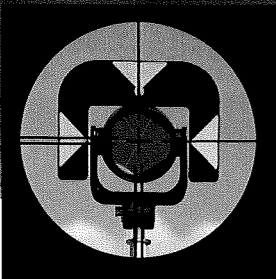


# ユニバーサル測量システム

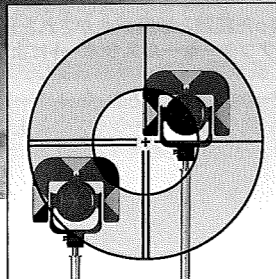
## トンネル設計者の要望に応え、さらに進化 ライカTPS1200+シリーズ、ついに登場



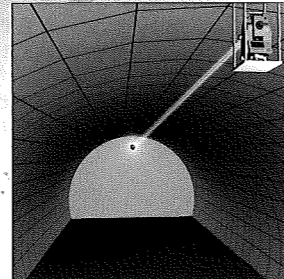
Leica TPS1200+  
TCRA+1205



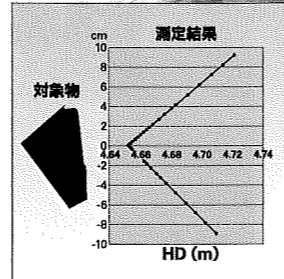
**精度が向上した自動視準**  
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで、自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



**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 PinPoint R1000によりノンプリズム測距1000m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**  
PinPoint R1000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

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  
Tel. 03-5940-3020 Fax. 03-5940-3056  
<http://www.leica-geosystems.co.jp>

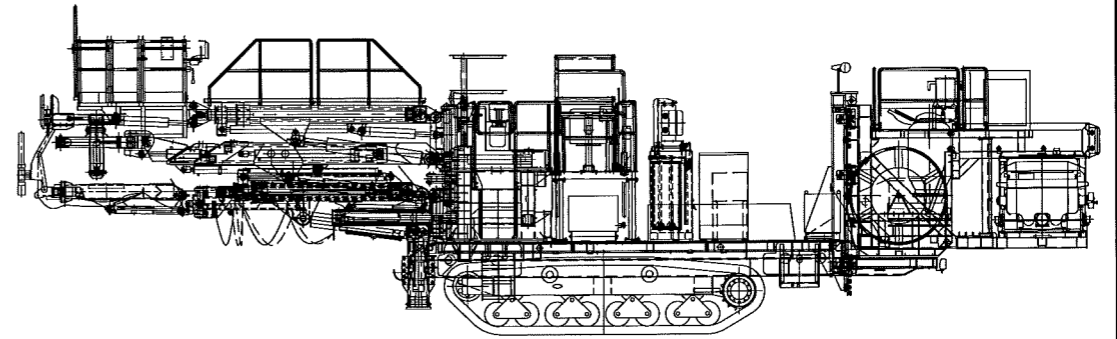
- when it has to be right

Leica  
Geosystems

# スコーピオンに新型(Ⅱ型)一般断面に適合

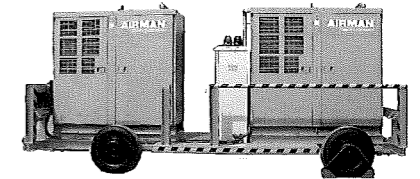
特許申請

Ⅰ型 フル規格適合(C/P搭載)



- ・断面55㎡～90㎡対応
- ・車体幅 2700mm/m
- ・ポンプ式 アリバー式兼用

コンプレッサー牽引台車(別途)



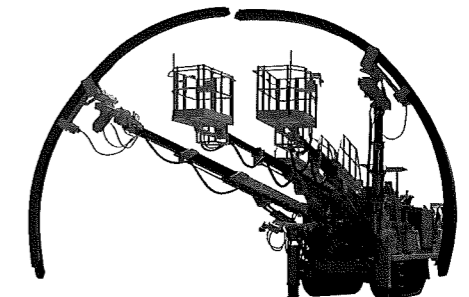
## スコーピオンⅡ型外観



現場に納入したⅡ型

## スコーピオンⅠ型

- ☆オフロード法認
- ☆排ガス三次規制認可予定



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

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画あり  
URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>

## 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

## 常設展示



# 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

接続はカンタン

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。

※特許・意匠出願中

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

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

MITSUBISHI  
 三菱マテリアル

DIABIT

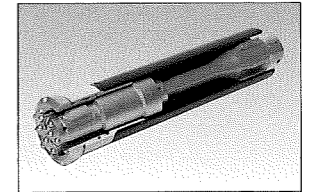
## 三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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
- ・独自のロッピ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ピード削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

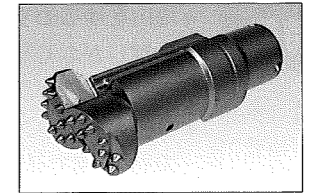
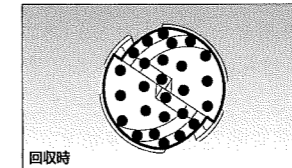
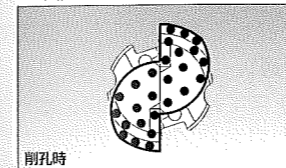
ビット構造



### ●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

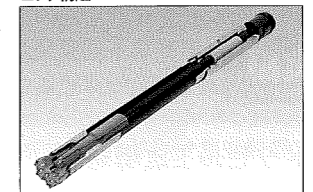


### ●スモールP (Small-P) システム

#### ●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
- ・独自のロッピ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ピード削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

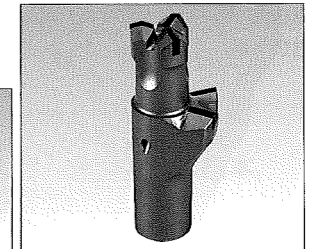
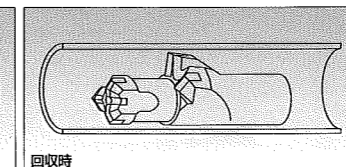
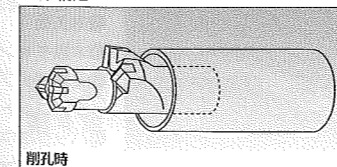
ビット構造



### ●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
- ・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



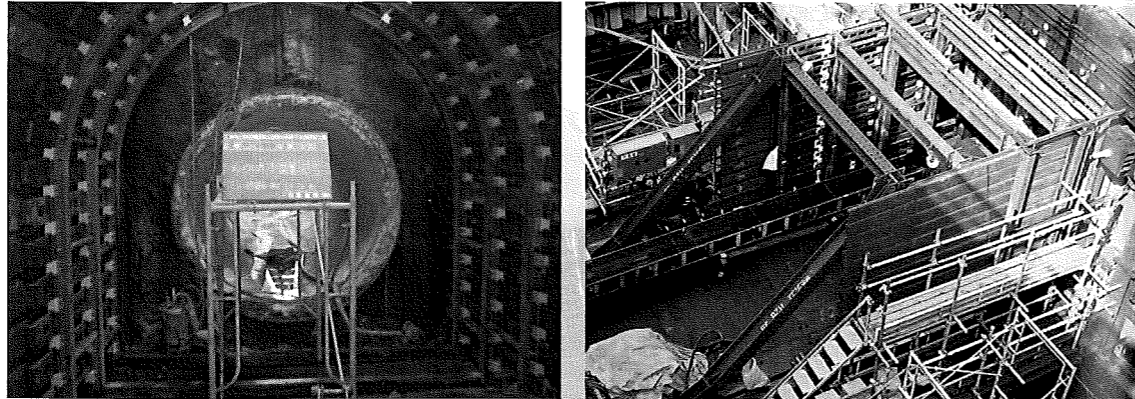
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

三菱マテリアル

●東京支店 ☎(03)5819-5263 ●大阪支店 ☎(06)6355-1053 ●九州営業所 ☎(092)573-7372 ●海外グループ ☎(0584)27-5011  
<http://mrt.mitsubishicarbide.com/>

アーストンネル掘削工法に最適

# SS-メッセル工法 Stabilizer System Messer



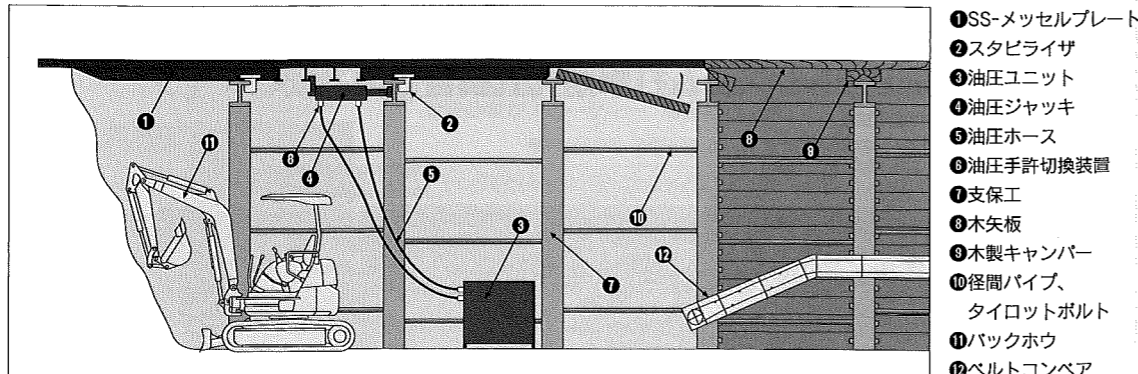
## 特徴

- 地山をゆるめず任意の断面形状のトンネル掘削ができます。
- 余掘りがなく切羽の掘削と一次覆工がSS-メッセルを介して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が一体となり、正確に推進する機構になっているので、安全で確実に掘進することができます。
- 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

- 線路下横断構造物工事。鉄道・道路・下水道・共同溝・地下連絡通路などトンネル工事に多数の実績をもっています。

SS-メッセル工法概略図



 **株式会社シーテック**  
URL <http://www.sietech.co.jp>

〒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

## 新刊案内

# トンネル発破技術のバイブル わかりやすい トンネルの発破技術

監修 山田隆昭 B5判 76頁 定価 1,500円+税(送料別途)

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで!  
振動や騒音の環境問題を詳述!!

山岳トンネルといえば、何を思い出すであろうか。「貫通発破」を思い出す方が多いのでは。発破の響きとともに岩が壊れ、外の光が差し込み、風が流れる。この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である。しかし、意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である。近年、機械の性能の向上に伴い、TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが、硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており、発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である。また、発破も時代とともに進歩しており、火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり、電気雷管も耐静電気性のもとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。また、2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により、含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり、爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された。これにより、含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的になされている。

本書は、「トンネルと地下」に連載した「発破技術の現状」に若干の加筆、整理をして書籍化したものである。本書は、若いトンネル技術者にも発破技術が理解できるように、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げるとともに、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく説明している。これだけまとまった発破技術の書籍が少ないため、ぜひ、多くの技術者に参考書として手元において愛読していただきたい。

### 〈主要目次〉

- 第1章 現状と展望、第2章 火薬類の基礎知識、第3章 発破技術の基本、  
第4章 新しい発破技術、第5章 発破と環境問題、資料

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・電話番号を明記の上、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  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

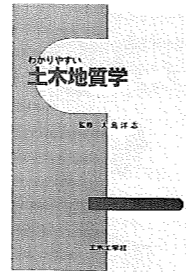
# 土木工学社の地質学書

〔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・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

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

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

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 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

マックス・シェルレ 著

# 推進工法の理論と実際

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金城英夫 監修

B5判 437頁 税込 8,925円 送料450円



本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorrieb」の翻訳本である。挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している。研究・開発、計画・設計、あるいは、施工に携わる多くの実務者に最適。

### 〈主要目次〉

- 第1章 推進工法の技術
- 第2章 推進工法の機械・器具
- 第3章 推進管に作用する荷重とその計算方法
- 第4章 推進工法の計画、設計および施工
- 第5章 管布設の欠陥と損傷

### 推薦のことば

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については1960年にはわが国の普及率は15%に過ぎなかったが、今日では60%近くになっている。当初、年間1500kmしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間15000kmになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

私たちは、野田氏(訳者)の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を共に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

中本 至・石橋信利・金城英夫

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、下記の申込書に部数・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 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

### 《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒 - )

事業所名

TEL

部課名

申込者

㊞

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

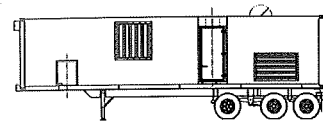
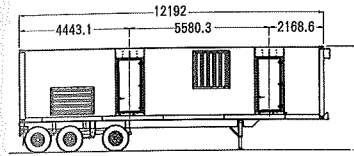
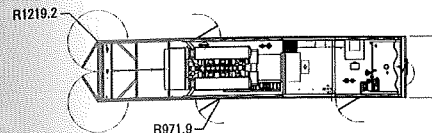
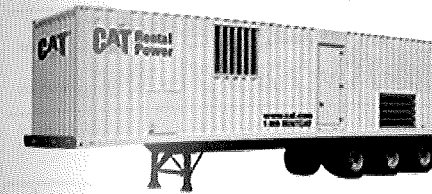
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)  
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

【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)

# 大型発電機レンタル



		2000KVA	
		50	60
周波数	Hz	50	60
出力	KVA	2,000	2,281
出力	kW	1,600	1,825
電圧	V	400	440
電流	A	2,887	2,993
燃料		軽油	軽油
容量/燃料タンク	L	4,730	4,730
燃料消費量	L/h	260	307
燃料消費量(75%負荷時)	L/h	—	—
全長	mm	13,500	13,500
全幅	mm	2,439	2,439
全高	mm	4,115	4,115
乾燥質量	kg	40,370	40,370
整備質量	kg	33,636(車台含む)	33,636(車台含む)

**k|lea**

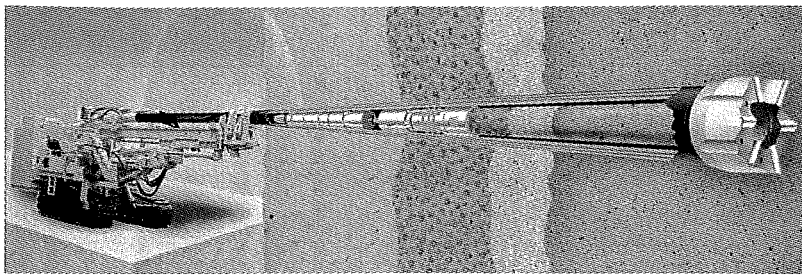
株式会社ケイリー  
仙台: TEL.022-359-5331  
東京: TEL.03-3661-5651  
大阪: TEL.06-6838-1372

URL <http://klea.catrent.com>

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

## トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

### パーカッションワイヤーラインサンプリング工法



■ 特長

- ①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、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 〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15  
TEL (03)3366-3111(大代表) FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先 :

TEL.

FAX.

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

### 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

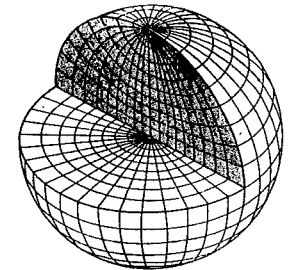
石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

### 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

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



### わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著  
B5判 286頁 税込6,116円 送料340円

### 岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著  
A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

### 地質工学概論

菊地宏吉 著  
B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

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

**FURUKAWA**  
ROCK DRILL

**FRD**  
FURUKAWA

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。

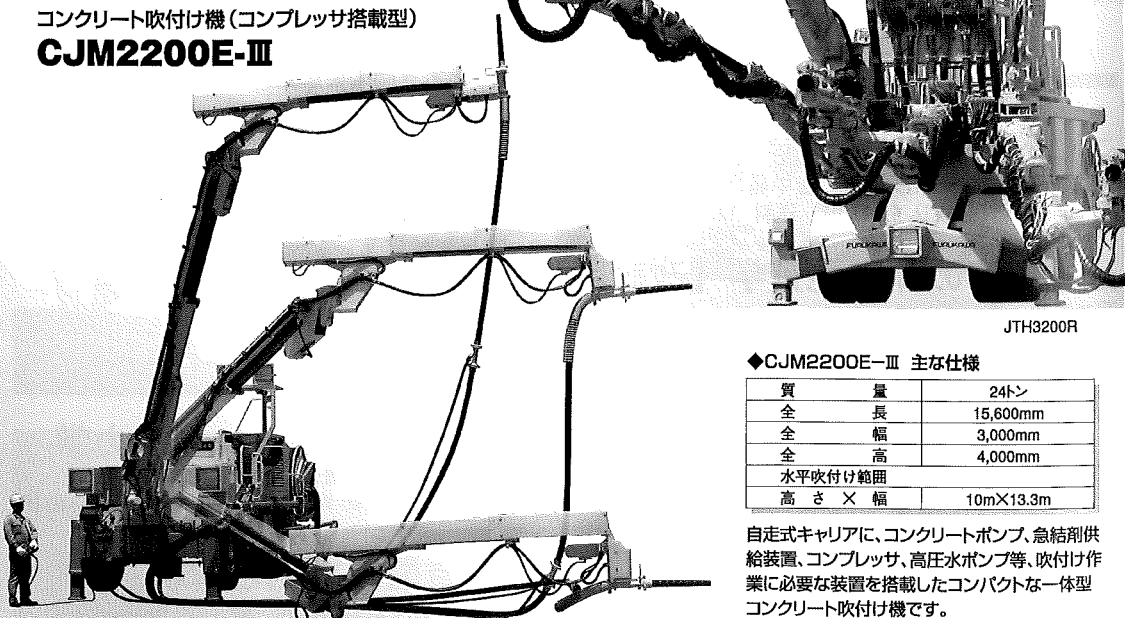
新世代型油圧ドリフタHD210II搭載。



◆主な仕様

	JTH2200R 2ブーム、2ケーブ	JTH3200R 3ブーム、2ケーブ
質量	35.5t	43t
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**



JTH3200R

◆CJM2200E-III 主な仕様

質量	24t
全長	15,600mm
全幅	3,000mm
全高	4,000mm
水平吹付け範囲	
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。

写真は吹付け姿勢の合成写真です。

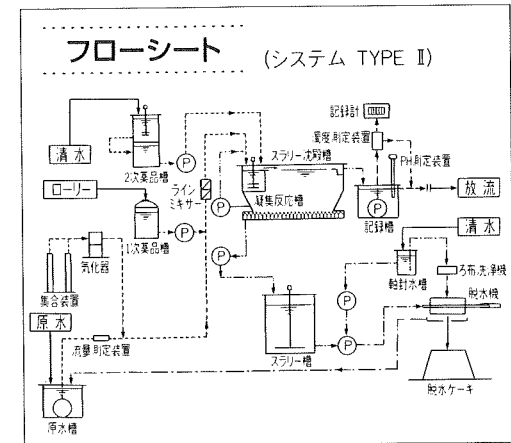
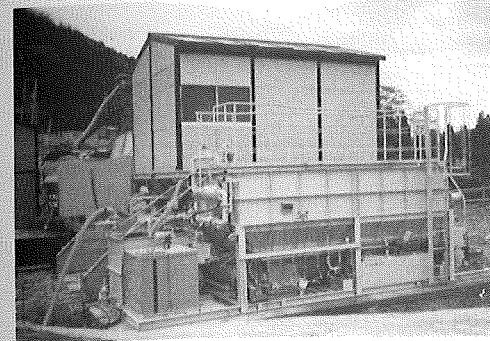
△古河機械金属グループ

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

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 027-326-9611 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

# TWS型シリーズ 濁水処理装置

## コンパクトながら 大きな処理能力



### 特長

- 基礎、土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。
- 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。複式汚布型の脱水機を採用していることから汚布等の消費費が少ない。  
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
- 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。
- 運転管理が容易である。  
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

脱水機は、全自動無人化タイプを採用している。処理水の水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。

- 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。

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

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

詳細資料請求、お問い合わせは

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

Waste Water Treatment System

■巻頭言

子々孫々への遺産

朝倉 俊弘.....5

■研究

高品質吹付けコンクリートによる単一覆工構造に関する研究

登坂 敏雄・阿部 敏夫.....45

■施工

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)

—東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群—

登坂 敏雄・玉井 達毅.....7

酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け

—東北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑—

前川 秀人・五十嵐 高・藤井 宣・平野 健吉.....15

岩盤対応型大断面シールドによる道路トンネルの施工

—阪神高速道路 8号京都線 稲荷山トンネル—

足立 幸郎・高磯 徹・東出 明宏・北岡 隆司.....21

最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断

—中之島線 第6工区—

西村 幹夫・定藤誠一郎・山下 晋由・大江 郁夫.....33

■連載講座

山岳トンネル先進ボーリング入門(4)

—施工計画の基本および得られる情報と効果(1)—

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会.....55

■現場だより

「自然豊かな港まち」蒲江町より

吉岡 敏弘.....14

「心やすらぐ」美食の郷」御食国・若狭小浜より

水島 正信.....41

■資料

トンネル千夜一夜(48)

小野田 滋.....42

土木情報

編集部.....44

トンネルジャーナル

編集部.....54

文献紹介

編集部.....64

工法・技術・製品ニュース

編集部.....65

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会.....66

海外文献速報

JTA国際委員会.....68

「トンネルと地下」平成20年・年間総目次

編集部.....73

■会報

会報

日本トンネル技術協会.....77

【表紙説明】

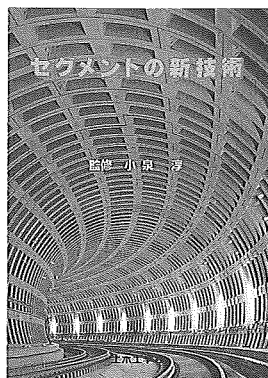
酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け  
—東北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑—



トンネル工事では粉じんの発生量が多く、トンネル内における作業環境の管理に新たな対応が求められている。東北中央自動車道栗子トンネル西避難坑工事(山形側NATM施工)では、国内初の実証事例となる酸性液体急結剤を用いたスラリー化された複合急結剤による低粉じん吹付けコンクリートの吹付けシステムを採用した。

写真は、低粉じん吹付けコンクリートの吹付け状況。

(写真提供：東日本高速道路(株)) (本文15頁参照)



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 千290円

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

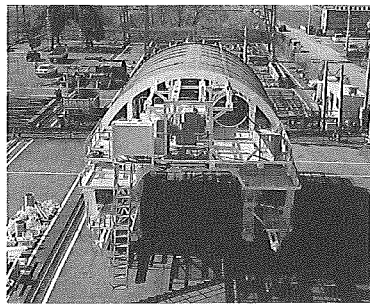
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 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

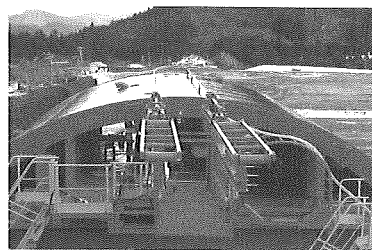
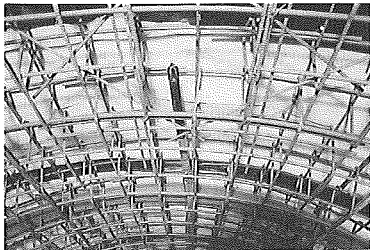
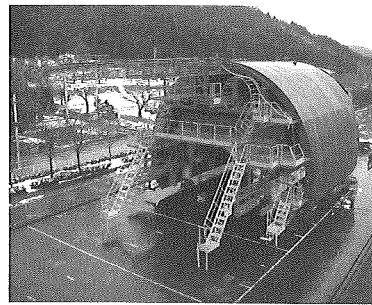
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



特願 2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

### 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)5836-0531  
仙台営業所 (022)259-2239  
九州営業所 (092)713-5265

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

## 総務委員会広報小委員会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

### 〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

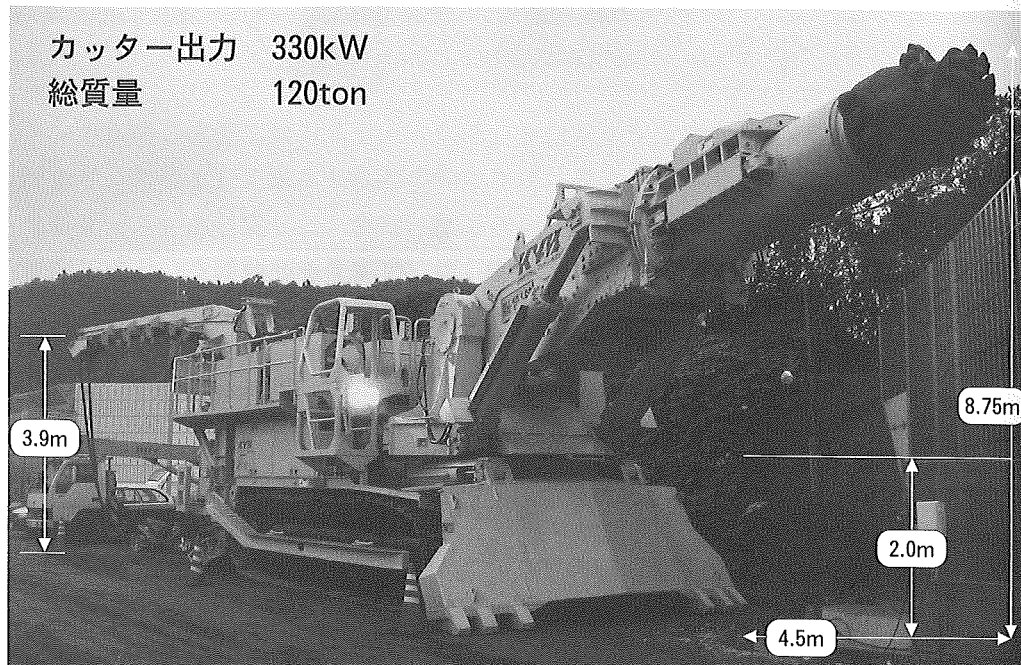
### 〔幹 事〕

池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	長 島 芳 雄 株式会社竹中土木常務取締役
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長	濱 建 介 (元)日本鉄道建設公団理事
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	福 家 佳 則 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 トンネルグループ長
城 間 博 通 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	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部技術統括部 トンネル技術グループ部長
高 瀬 昭 雄 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	山 道 哲 二 株式会社大林組東京本社生産技術本部 統括部長
千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部部長	領 家 邦 泰 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室部長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ10.5m（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: 日本鉸機株式会社)

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	高橋 良文 東京都下水道サービス(株)管路部長
定塚 正行 日本シビックコンサルタント株式会社 参与・技師長(山岳トンネル担当)	橋本 定雄 (元)東京都公営企業管理者下水道局長
	濱 建介 (元)日本鉄道建設公団理事

### 〔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	中本 忠道 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
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	西村 聡 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 第二工事事務所所長
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	野邑 敏行 東京都交通局建設工務部計画改良課長
城間 博通 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	巖 滋之 東京都下水道局建設部設計調整課長
田村 聡志 東京都水道局建設部工務課長	真下 英人 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ長

掲載頁  
7

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)  
—東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群—

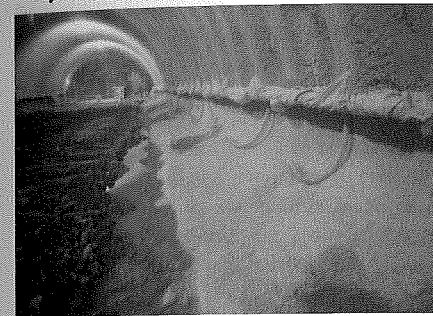
鉄道・運輸機構 登坂 敏雄

未固結土砂地山を主体とした東北新幹線八戸・七戸間の13本のトンネルでは、対象となる地質が未固結な砂質土と粘性土が主体であったため、切羽における自立性の低下や緩み領域の増加、地表部への影響、地下水の変化などが問題であった。本稿を含めた3編では、東北新幹線八戸・七戸間トンネル群において、切羽安定および沈下抑制を目的として採用された掘削工法や補助工法について、各工法の特徴や施工で確認された対策効果、今後の工法選定に向けた留意点などについて報告する。

本稿(2回目)では、採用された各種補助工法のうち、「長尺鏡ボルト」、「サイドパイル・フットパイル」、「根固めコンクリート」について報告する。

Auxiliary Methods for Earth Tunnel in Aquifer with Small Cover (2)—Tunnels between Hachinohe and Shichinohe, Tohoku Shinkansen—

By Toshio Tosaka, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真は根固め吹付けコンクリート施工状況(錦ヶ丘トンネル)

The 13 tunnels between Hachinohe and Shichinohe on the Tohoku Shinkansen, which were constructed in unconsolidated sandy or cohesive ground, had issues such as decline in faces stability, extension of loose zone, effects on surface and changes in characteristics of underground water. This series of three reports gives information such as excavation and auxiliary methods employed with the aim of stabilizing faces and controlling deformation in these tunnels, the specification, and effects of each method as well as notes for future selection of methods.

This report (2/3) contains information on "reinforcement bolts for tunnel face", "reinforcement piles for floor and side wall" and "reinforced concrete of support legs".

掲載頁  
15

酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け  
—東北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑—

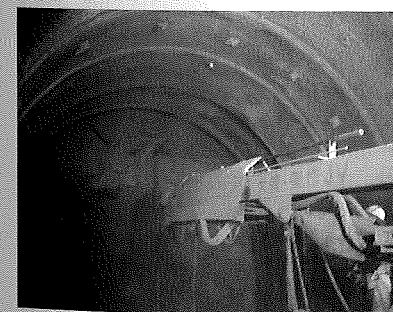
東日本高速道路(株) 前川 秀人

トンネル建設工事では粉じんの発生量が多く、トンネル内における作業環境の管理について新たな対応が求められていた。平成20年3月1日より「粉じん障害防止規則」が一部改正され、「ずい道等の建設の作業のうち、コンクリート等を吹き付ける場所における作業」を「粉じん作業」と規定し、「粉じんにさらされる労働者の健康障害を防止するための措置を講ずる必要がある」と強化されたところである。

本稿では、東北中央自動車道栗子トンネル西避難坑工事(山形側NATM施工)で採用した国内初の実証事例となる酸性液体急結剤を用いて、スラリー化された複合急結剤による低粉じん吹付けコンクリートの吹付けシステム概要と効果について述べる。

Low Dust Shotcrete using Acidic Fluid Accelerator and Powder Aid—West Evacuation Tunnel of Kuriko Tunnel, Tohoku Chuo Expressway—

By Hideto Maekawa, East Nippon Expressway Company Limited



写真はスラリー状急結剤による低粉じん吹付けコンクリートの吹付け状況

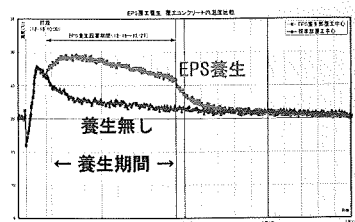
There is a high occurrence of dust during tunnel construction works and we required a new response to controlling the working environment within tunnels. A partial revision of "Dust Damage Prevention Regulations" took effect on 1st March, 2008 and this regulates "dust work" as "work in locations spraying concrete, etc. during construction work of tunnels, etc." and was strengthened with the statement that "there is a necessity to take measures in order to prevent health impairment in workers who are exposed to dust."

This report states the outline and effects of low dust shotcreting system using combined slurry accelerator made by acidic fluid accelerator employed in the west evacuation tunnel of Kuriko Tunnel(NATM).

新しいタイプの覆工コンクリート養生システム  
EPSパネル養生工法



EPSパネルの保温性、保湿性が効く。



温度測定結果

	養生無し	EPS養生
反発度(平均)	33.8	36.3
推定強度 N/mm <sup>2</sup>	24.9	28.1
強度比	1.0	1.13

強度測定結果  
(シュミットハンマー)

実績および計画

施主	実績	計画
国土交通省	1	1
NEXCO	2	2
地方自治体		4



EPSパネル取り外し直後の状態

- 温度測定結果より、保温養生効果を確認。
- シュミットハンマーテスト(材令28日)の結果より、強度の増進を確認。  
保温・保湿養生の効果。
- 弾性波レーダーによる鋼球接触時間測定結果より、表層の硬さ(弾性係数)の増大を確認。  
表面の乾燥収縮ひび割れに対する抵抗性の増大。

**株式会社 不動テトラ**

建設本部  
〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町7番2号  
TEL 03-5644-5025 FAX 03-5644-8576

特許登録番号第3977849号

**大栄工機株式会社**

〒526-0842 滋賀県長浜市春近町90番地  
TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765

【営業品目】  
各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売  
トンネル用機材一般/土木資材の販売  
鋼製支保工の製造販売

実施権許諾第10396号



## 岩盤対応型大断面シールドによる道路トンネルの施工

—阪神高速道路8号京都線 稲荷山トンネル—

阪神高速技術(株) 足立 幸郎

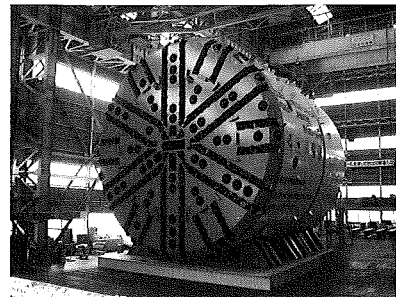
京都高速道路は、「京都市基本計画」にもとづき計画された自動車専用道路網で、5路線のうち、現在「新十条通」の整備が阪神高速8号京都線として進められている。東山連峰の南端に位置する稲荷山をトンネルで横断して結ぶ「山科～鴨川東間」は、山科区と京都中心部とを結ぶ全長約2.7km、2種2級の往復4車線道路で、開通すると幹線道路が従来の三条通、五条通に加え3路線となり、両地域間のアクセスが向上すると期待されている。

伏見工区トンネル工事は泥水式シールド工法で行われたが、路線は一部岩盤部に位置しており、また鉄道、琵琶湖疏水などと近接している。本稿は、岩盤掘進対策を中心に、本工事で行った近接施工や各工法の施工について報告するものである。

### Road Tunnel Construction using Large Shield for both Rock and Soil—Hanshin Expressway Route 8 Kyoto Line Inariyama Tunnel—

By Yukio Adachi, Hanshin Expressway Engineering Company Limited

Shin Jujo Dori (Hanshin Expressway Route 8, Kyoto Line) is one of five Kyoto Expressways that compose motorway network based on the “Kyoto Basic City Plan” with a length of 2.7 km and two lanes in each direction as the third major trunk road in Kyoto, and is expected to improve mobility between Yamashina and centre of Kyoto. Inari-yama tunnel on the Shin Jujo Dori is situated at the southern tip of the Higashiyama mountain range linking Yamashina to Kamogawa-Higashi



写真はシールド全景(岩盤掘進仕様)

Construction for the Fushimi Section of this tunnel was conducted with the slurry shield; however, part of the route was located in an area of bedrock and was adjacent to railway lines and Biwako Canal, etc. This report gives information on the adjacent construction and each construction method used in these works focusing on bedrock excavation measures.

## 最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断

—中之島線 第6工区—

中之島高速鉄道(株) 西村 幹夫

本工事は、現在の京阪天満橋駅から中之島駅(新設)に至る中之島線のうち、なにわ橋駅～天満橋駅間に約600mの鉄道トンネルを2機の泥土圧シールド(シールド外径φ=6.95m)で2本のトンネルを併設施工したものである。土佐堀川下の沖積～洪積の砂礫層を0.66～1.0D程度(D:セグメント外径=6.80m)の小土かぶりで河川を斜めに横過した前例のない工事である。

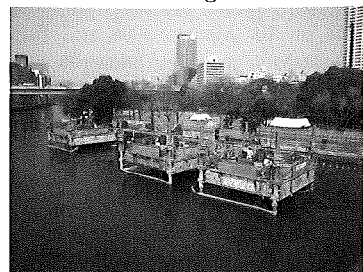
小土かぶりで併設施工を行うことから切羽圧の安定性、裏込め材の河川への逸走または噴発について懸念が生じたため、詳細な地質を把握し、FEM解析による地盤の安定性を確認したうえで、地盤の塑性化防止を目的とした薬液注入工を行い、シールド掘進を行うこととした。実施工では、薬液注入工の試験施工を行い、シールド掘進では、切羽圧、掘削土量、裏込め注入量について十分な管理を行い、無事に掘進を行うことができた。本稿では土佐堀川横過部において行った薬液注入工による河川横断部防護工およびその施工について工事報告を行う。

### Crossing a Minimum Cover of 4.4 m under Tosabori River with Shields—Section 6th, Nakanoshima Line—

By Mikio Nishimura, Nakanoshima High Speed Railway Company

This is twin excavated construction using two slurry shields (shield outer diameter φ=6.95 m) for a railroad tunnel of approximately 600 m between Naniwabashi and Tenmabashi Stations in the Nakanoshima Line. They bored about five meters (0.66 - 1.0D) under Tosabori River through alluvial - diluvial sandy gravel bed.

Due to conducting twin construction of shallow tunnels, there was fear concerning the stability of tunnel face and the leakage of backfill material into the river or collapse due to grouting pressure. After understanding the detailed geographical features and confirming the stability of the ground with FEM analysis, we decided to conduct chemical grouting with the aim of preventing ground plasticized before shield excavation. In this construction, we carried out trial construction with chemical grouting, and satisfactory control of face pressure, excavated materials volume and backfilling volume during operating shield. Thus, excavation was finished without problem. This is a construction report on the protection of Tosabori River using chemical grouting and the shield tunnelling under it.



写真は河川防護工全景

## 高品質吹付けコンクリートによる単一覆工構造に関する研究

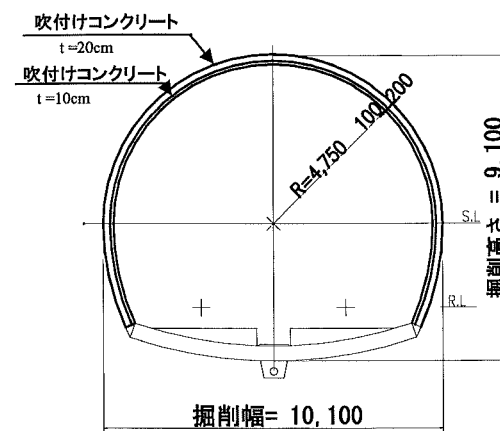
鉄道・運輸機構 登坂 敏雄

覆工コンクリートは、土かぶりの小さい地山など、一部、特殊な地山に限り、設計荷重は考慮されるが、一般的には力学機能を付加しない構造物として位置づけられている。したがって、条件さえ整えば覆工コンクリートは省略可能であり、その経済効果は大きいと考えられる。覆工コンクリートを除くためには、従来、仮設とした吹付けコンクリートを永久構造物として評価する簡便で確実な方法が必要となる。本研究では、日常管理として行われる現場計測を利用して、永久構造物として評価しうる方法を示している。そして、それを新幹線断面に適用し、具体的な適用範囲を示した。

### Research into Single Lining Structure with High Quality Sprayed Concrete

By Toshio Tosaka, Japan Railway, Construction, Transport, and Technology Agency

In general, lining concrete is dealt with as a member that supports no design load except of the tunnels under specific condition such as shallow tunnel. Consequently, it is possible to omit lining concrete if conditions allow and the benefit of this can be substantial. In order to exclude lining concrete, we need reliable and simple method to evaluate the sprayed concrete lining member as permanent structure, which is now regarded as temporary structure. This research shows the methods to evaluate the shotcrete lining as permanent structure, which using in situ measurements carried out as daily management. Additionally we apply this to Shinkansen tunnels and indicate its limit.



図は覆工の単一構造標準断面図

## 子々孫々への遺産

京都大学大学院工学研究科教授

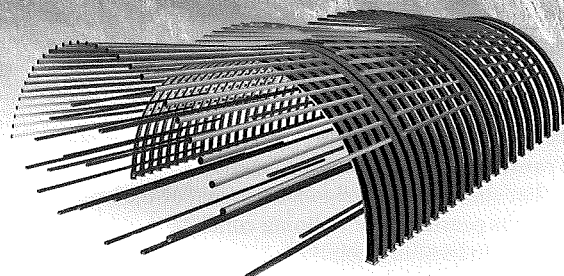
朝倉 俊弘



三十数年前に日本国有鉄道に入社し、9年前に大学に移って現在に至るまでの期間の大半をトンネルの維持管理に関する現地調査、実験や解析による研究、技術開発に費やしてきた。この間に1995年兵庫県南部地震では山陽新幹線六甲トンネルが大きな被害を受け、1999年には山陽新幹線福岡トンネル、北九州トンネル、室蘭本線礼文浜トンネルで相次いで覆工コンクリートの大塊が剥落するという事故が発生した。また、2004年新潟県中越地震では上越新幹線魚沼トンネルなどで大きな被害が生じた。これらの災害、事故を通じて、いったん完成すれば保守に手がかからないと漠然と考えられてきたトンネルについても、日常のより厳密な点検と必要に応じた補強、補修が重要であると認識されるに至った。また、地震時に被害を受けやすいのは、地質が不良で、かつトンネル構造に問題がある場合であることが明らかになり、建設時にトンネル構造を後顧の憂いのない状態に造り上げておくことが肝要であり、古いトンネルでは常時の変状対策をきちんと行っておくことが重要であることがわかってきた。

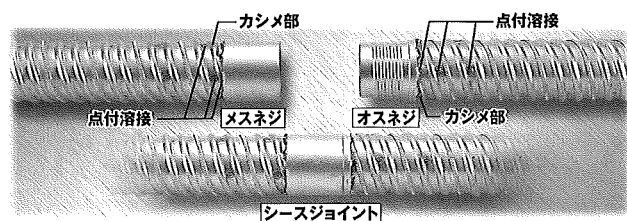
当時はそれぞれの災害や事故への対応で大変忙しい思いを余儀なくされたが、それでも内心では、「人身事故に至らず幸運であった。トンネルの維持管理の重要性が世の中に理解され、禍転じて福となれば、まさに天の配剤だ。」と不遜なことを考えていたものである。それまでは鉄道トンネルの維持管理にかけられる費用は毎年ほとんど一定で、もう少し予算を投入できないものかと忸怩たる思いでいたので、上述のような不謹慎なことを思ったわけである。ただ、喉元過ぎれば熱さを忘れる、のたとえではないが、時が経つにつれて事故や災

## ユニークな発想と高品質・自信の価格



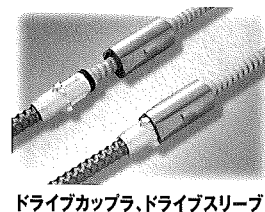
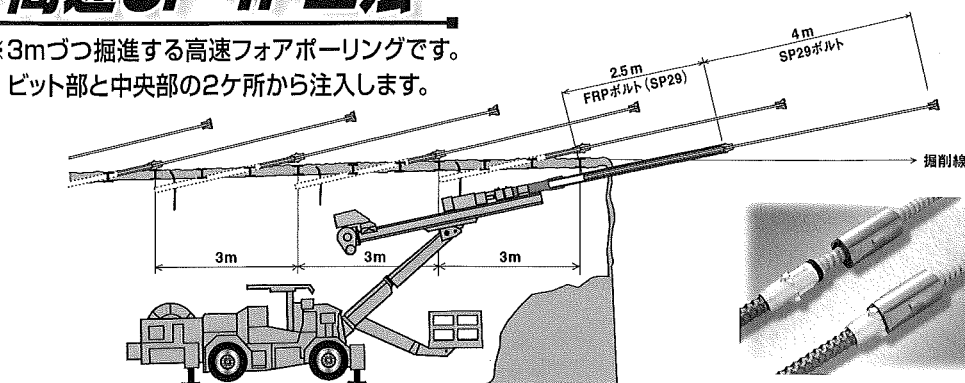
### FIXチューブ工法

※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。

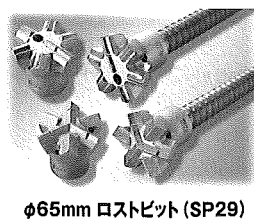
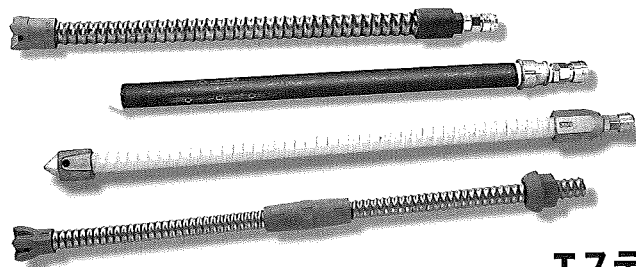


### 高速SP-IF工法

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

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

害で高まった維持管理への熱意も落ち着いてしまう傾向にあるように思える。

約20年前の建設白書であったと記憶しているが、当時の社会資本投資における維持管理費の割合が約2割で、これが2010年には5割に達し、2030年には7割に達する、との予測がなされていた。これによれば、上記のような事故や災害から得た教訓もあり、維持管理費が今頃は大幅に増大しているはずであるが、残念ながら予測は的中しているとは言いがたい。公共投資が削減される中で維持管理費はそれなりに投入されてはいるものの十分であるとは認められない。それどころか、コストダウンの掛け声のもと、異常な低価格入札もあり、新たに将来に禍根を残すようなトンネルが建設されてはいないだろうか、と懸念されるほどである。莫大なる赤字国債と同様、健全性に問題のある構造物は次世代への誠に申し訳ない負の遺産である。

現在、計画が進行中の中央新幹線はリニアモーターカーを前提としているため、平面線形が直線的になり、トンネル区間の多い路線となるであろう。是非とも定期的な点検と軽易な補修以外に維持管理費を要さないような、夢の鉄道に相応しい立派な構造物に支えられた新幹線として実現できるよう、全力で応援したいものである。そうであってこそ次世代に胸を張って残せるプレゼントとなるであろう。

中国では、宴席における乾杯用の挨拶の常套句として「子々孫々まで」という言葉がよく用いられる。若いときにはあまり実感を伴わないままに拝借し真似ていたが、齢を重ねて子供たちが成人し、可愛い孫が生まれてその行く末に思いを馳せるとき、改めていい言葉だと噛みしめている。

私一人で世の中全体を変えることなど及びもつかないが、せめて一大学教員として、一鉄道技術者として、一トンネル技術者として、負の遺産を減らし、便利で安全で安心な遺産を増やすべく、為し得ることに微力を尽くしたいと考えている。

## 施工

# 小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)

—東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局技術管理課長 登坂 敏雄

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第一課 玉井 達毅

## 1 はじめに

東北新幹線八戸・新青森間のうち、青森県東部の上北丘陵地に位置する八戸・七戸間のトンネル群(13本：合計延長17.9km)は、表-1に示すように延長の約80%が20m以下の小土かぶりトンネルである。掘削対象地山が、第四紀更新世の海成段丘群の未固結の砂層が主体で、シルトや火山灰層が介在していることから、掘削時の切羽の安定性の確保が重要課題であった。また、トンネル群の

表-1 東北新幹線八戸・七戸間におけるトンネル

トンネル名称	全延長(m)	土かぶり20m以下の延長(m)	主な地表構造物
南部山	267	170	スケートリンク
高館	1,280	1,280	国道45号
市川	925	925	国道45号, 百石自動車道
五戸	1,090	430	
錦ヶ丘	1,370	1,370	
館野	780	780	主要地方道
柴山	920	920	
六戸	3,810	3,810	主要地方道, 十和田観光電鉄, 三本木幹線用水路, 県道
三本木原	4,280	1,200	
牛鍵	2,065	2,065	県道, 主要地方道
有野部	250	250	
上北	625	625	
赤平	220	220	県道
合計	17,882	14,045	

直上および周辺には、国道や主要地方道、電鉄、用水路などが存在し、トンネル掘削においては、これらの既設重要構造物への影響を極力抑制する必要があった。

このような施工条件から、本トンネル群(図-1)の施工にあたっては、表-2に示すように切羽の安定性の確保および地表面沈下の抑制を目的として種々の補助工法が採用されてきているが、本稿(その2)では、採用された各種補助工法のうち、「長尺鏡ボルト」、「サイドパイル・フットパイル」および「根固め吹付けコンクリート」について、工法の特徴、確認された効果および今後の工法選定に向けた留意点などについて報告する。

なお、本報告は本稿(その2)を含めた3編で構成されており、平成20年10月号では、その1として、トンネル群の地形・地質、路線選定の経緯、トンネル施工における課題などのほか、採用された補助工法のうち「圧入式短尺鋼管先受け工法」、「鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法)」、「パイプルーフ工法」について報告しているので参照されたい。

## 2 長尺鏡ボルト

### 2-1 工法の概要

長尺鏡ボルトは、切羽の自立性向上、切羽前方

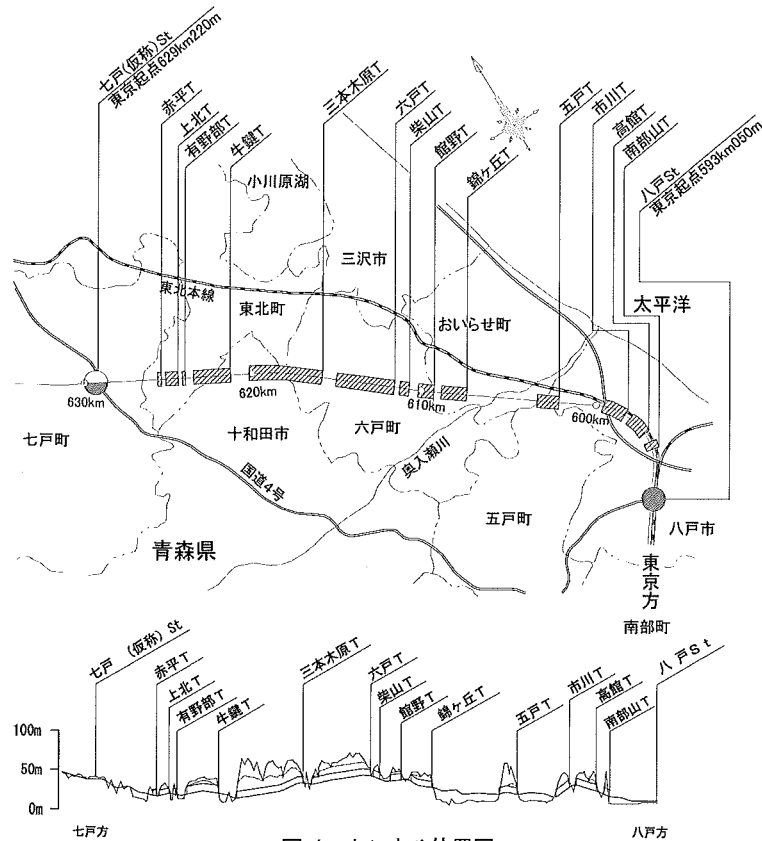


図-1 トンネル位置図

表-2 採用された掘削工法および対策工

工 法	掲載号
フォアボーリング	—
圧入式短尺鋼管先受け工法	Vol.39, No.10
鋼管鋼板圧入打撃工法(SSPB工法)	Vol.39, No.10
長尺フォアパイリング	—
パイプルーフ工法	Vol.39, No.10
鏡吹付けコンクリート	—
鏡ボルト	—
長尺鏡ボルト	Vol.39, No.12
サイドパイル, フットパイル	Vol.39, No.12
根固め吹付けコンクリート	Vol.39, No.12
仮インバート	—
地下水位低下工法	Vol.40, No.1
地山補強	—
地山改良工法	Vol.40, No.1
注入工法	—
多段ベンチカット工法	Vol.40, No.1
プレキャストアーチカルバート	—
シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)	—

の崩落や先行沈下の抑制を目的として、六戸トンネルにおいて採用した工法<sup>1)</sup>である。

六戸トンネルでは、地上に重要構造物が存在するなど、トンネル掘削による先行変位を抑制する必要がある箇所において、長尺鏡ボルトを適用した。長尺鏡ボルトの諸元はφ76mm、長さ18m(1シフト12m、ラップ長6m)のGFRP管である。図-2に長尺鏡ボルトの詳細図、写真-1に施工状況を示す。

2-2 対策による効果

長尺鏡ボルトを採用した区間では、掘削挙動を抑制することでトンネルの掘削に伴う先行変位を抑制することができた。図-3に、長尺鏡ボルトを採用した区間(土かぶり約17m)における地表面沈下量を示す。掘削当初に短尺鏡ボルトを採用した区間では、地表面沈下量が50mm以上

となることがあったが、長尺鏡ボルトによって上半切羽到達時の先行変位が10mm、最終的な地表面沈下量も30mm程度に抑制された。

ただし、とくに軟弱な地質不良箇所においては、上下半掘削時に大きな沈下が生じる場合があるので、沈下量を小さくするためには、他の沈下抑制対策を併用する必要がある。

2-3 工法の特徴および選定上の留意点

長尺鏡ボルトは、六戸トンネルが重要構造物(鉄道、幹線用水路、県道)と交差する箇所において、掘削に対する補助工法として長尺フォアパイリングに代えて採用された。その結果、沈下抑制効果を期待した仮インバート吹付けによる早期閉合と併用することで、地表面沈下を最大40mm以下に抑えることができた。これは、切羽前方の地山を補強することで、先行変位が抑制された効果と考えられる。

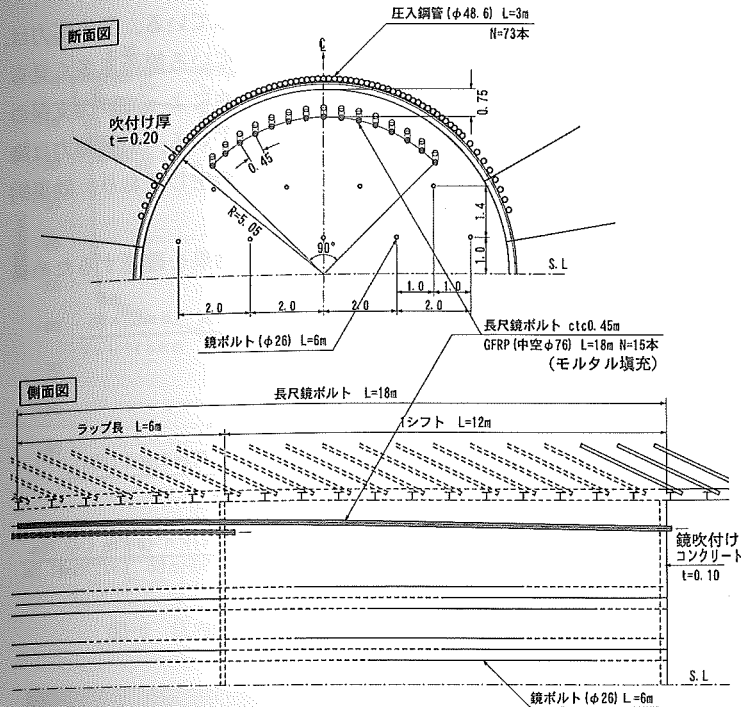


図-2 長尺鏡ボルト詳細図

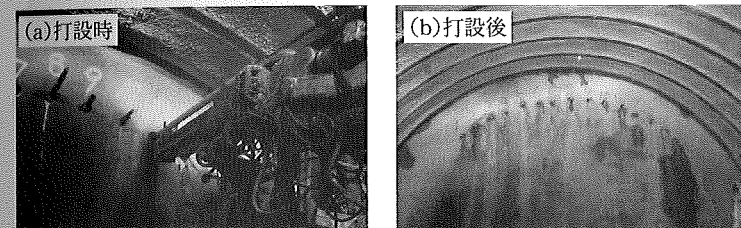


写真-1 長尺鏡ボルト施工状況(六戸トンネル)

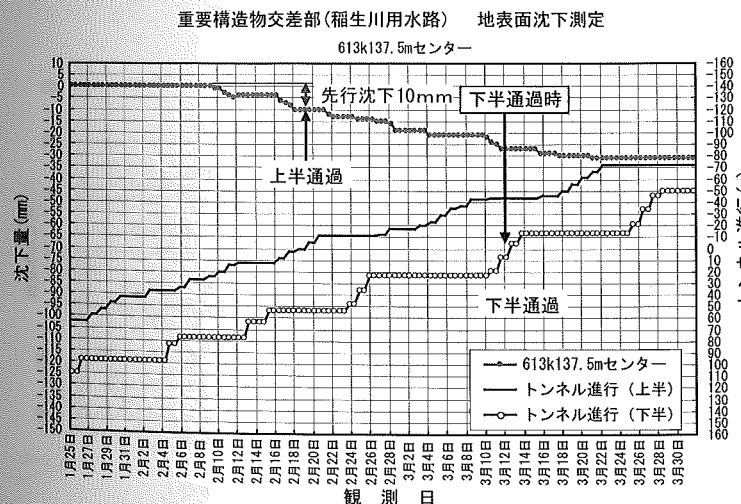


図-3 地表面沈下量(トンネルセンター)

今後は、長尺鏡ボルトの作用メカニズムを明らかにすることで、打設の位置や配置、シフトやラップ長などの設計方法について検討が進められることが期待される。

3 サイドパイル・フットパイル

3-1 工法の概要

サイドパイル・フットパイルは、トンネル脚部付近の地質が軟弱な場合に、沈下抑制を目的として、五戸、錦ヶ丘、三本木原、牛鍵の4トンネルで採用した工法<sup>2)</sup>である。

サイドパイル・フットパイルは、φ65~76程度、長さ2.75~5.5m程度の鋼管を水平方向あるいは下向きに打設し、沈下を抑制する工法である。

図-4にサイドパイルの詳細図、写真-2に施工状況を示す。

サイドパイルは、鋼管を圧入することで比較的地山剛性の低い箇所に適用できるため、支持層がトンネル周辺にない場合、ロックボルトの引抜き耐力が得られない地山の場合にロックボルトに変えて採用された。また、フットパイルは上半脚部の地山の支持力が小さく、支持層がトンネル下方にある場合の追加の沈下抑制対策として採用され、効果が確認されている。

3-2 対策による効果

サイドパイル・フットパイルを採用した区間では、沈下を抑制することができた。ただし、粘性土地盤においてサイドパイル

ルを採用した区間では、沈下抑制効果が小さかった。図-5にサイドパイルの有無による坑内変位量の差異、図-6にフットパイルを採用した区間の坑内変位量を示す。

図-7に、サイドパイルの効果を確認するために行った鋼管の軸力、曲げモーメントの計測結果を示す。軸力のピークは鋼管の中間付近にあり、鋼

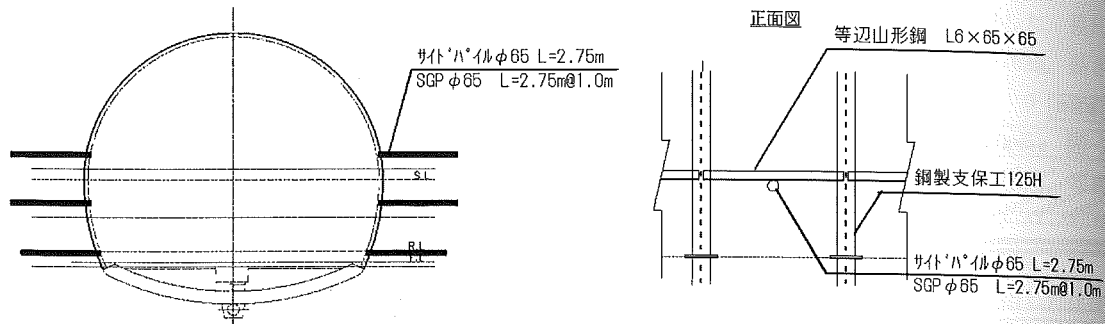
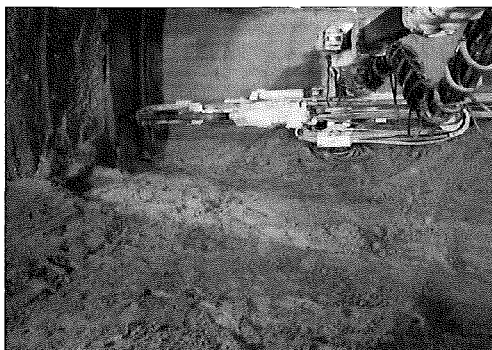


図-4 サイドパイル詳細図

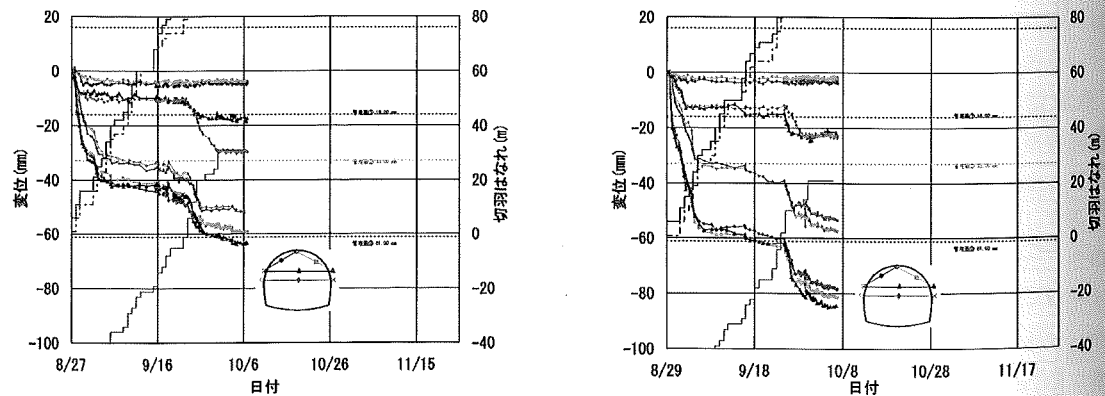


(1) 打設時



(2) 打設後

写真-2 サイドパイル施工状況(牛鍵トンネル)



(1) サイドパイルあり

(2) サイドパイルなし

図-5 坑内変位量(サイドパイル)

管長が適切であることを示している。発生応力は、曲げ応力が大きく、降伏している箇所も多く見られる。○は、鋼管の曲げ剛性によって一次支保の沈下を拘束する働きを表している。引張軸力は降伏耐力250kNの70%程度が発生しており、効果的に働いていることがわかる。

図-8に、フットパイルの効果を確認するために

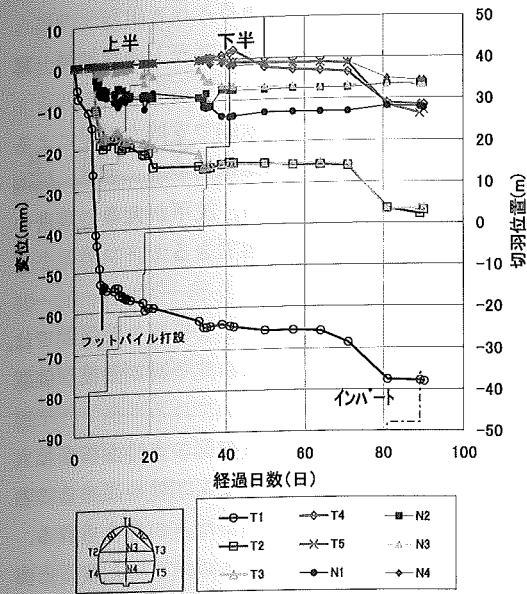


図-6 坑内変位量(フットパイル)

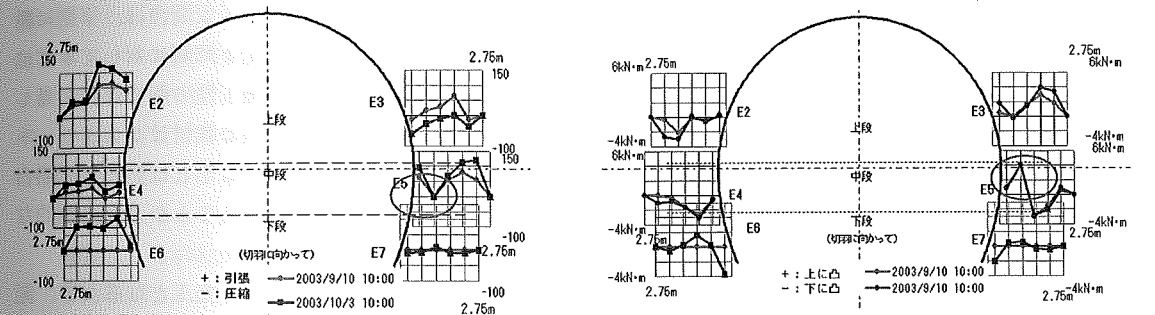
行った鋼管の軸力計測結果を示す。この計測結果から、フットパイルはある程度の荷重負担を行っていることがわかる。

また、脚部補強効果を大きくするには鋼管径を大きくする、ゆるみ範囲外まで打設する、軸力をうまく伝達する構造などを検討する必要があると考えられる。

### 3-3 工法の特徴および選定上の留意点

サイドパイル・フットパイルは、天端沈下と同等の脚部沈下が生じる“とも下がり”を抑制するための脚部沈下対策として、多段ベンチカット工法における上半・下半掘削時に鋼管が打設されている。

パイルの計測結果から、鋼管の軸剛性や曲げ剛性が発揮されていることが確認されたが、効果的なパイル本数の設計法については今後の課題といえる。



(1) 軸力(最大180kN)

(2) 曲げモーメント(最大4kNm)

図-7 サイドパイル計測結果

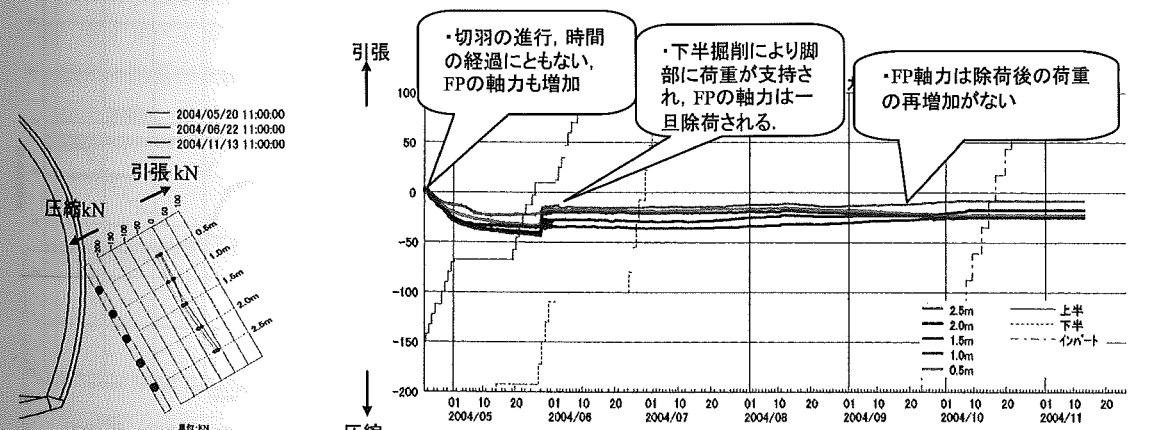


図-8 フットパイル軸力計測結果

### 4 根固め吹付けコンクリート

#### 4-1 工法の概要

根固め吹付けコンクリートは、上半脚部の地盤の支持力が小さい場合の沈下抑制対策として、錦ヶ丘、六戸、上北の3トンネルで採用された。

根固め吹付けコンクリートは、上半脚部に幅1m程度の吹付けコンクリートを施工し、支持面積を拡大するとともに、トンネル縦断方向の梁とし

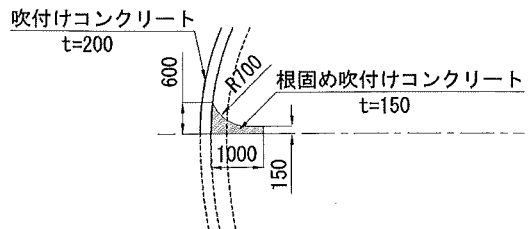


図-9 根固め吹付けコンクリート詳細図

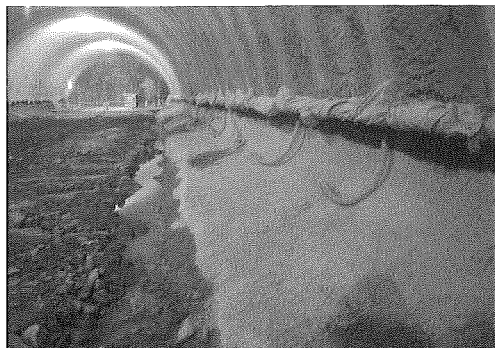
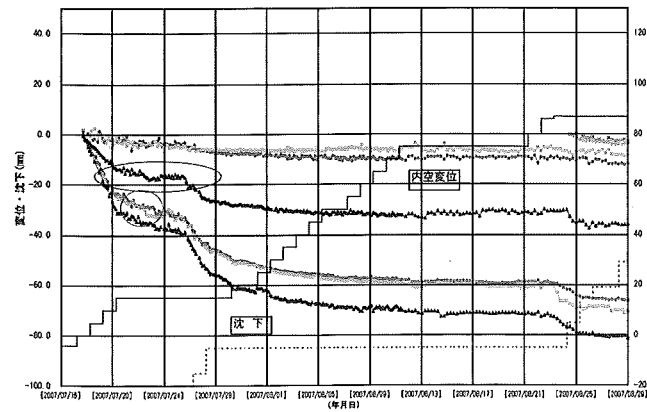
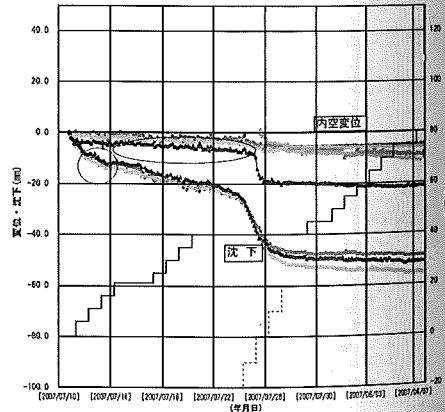


写真-3 根固め吹付けコンクリート施工状況(錦ヶ丘トンネル)



(1) 根固め吹付けコンクリートなし



(2) 根固め吹付けコンクリートあり

図-10 坑内変位量

て作用を期待する工法である。

図-9に根固め吹付けコンクリートの詳細図、写真-3に施工状況を示す。

上半脚部の地質条件が軟弱で支持力不足による沈下が生じる箇所において適用する。また、坑内の沈下計測結果を見ながら、沈下が大きい場合の応急的な対策としても適用できる。

#### 4-2 対策による効果

根固め吹付けコンクリートを採用した区間では、沈下速度が低下し、おおむね沈下抑制効果が確認されている。

その効果については、底盤部の支持面積を拡大することおよび縦断方向の支保剛性を高めることにより支持力不足を補う効果などが考えられる。

図-10に、根固め吹付けコンクリートなしとありの計測断面における坑内変位量を示す。

#### 4-3 工法の特徴および選定上の留意点

上半盤を全面吹付ける上半仮閉合は、早期に断面を閉合できることから沈下抑制に対して非常に効果があるが、経済性や施工性の面で採用が難しい場合がある。一方、根固め吹付けコンクリートは、施工性がよく、不十分な形とはいえ断面閉合の形に近づけることができることから、合理的な補助工法といえる。

吹付けコンクリートによる施工となるため、泥濘化した上半盤においても地山と支保工を直接一体化させることが可能である。したがって、同様

の目的で採用されるウイングリブ付き鋼製支保工と比較しても、応力の伝達効果が優れていると考えられる。

### 5 まとめ

東北新幹線八戸・七戸間トンネル群では、地下水を多量に有する未固結の洪積砂層を、土かぶり10~20m程度(一部2~3m)で、約17.9kmにわたって掘削を行ってきた。このような連続トンネルを短期間で掘削することから、近年土砂地山へ標準的に適用されている長尺フォアパイリングだけに頼ることなく、安全性や経済性の両面から合理的な施工の実現を目指してきた。

本報告では、八戸・七戸間トンネル群における切羽安定、沈下抑制を目的とした掘削工法や補助工法について総括した。本稿(その2)では、総括した掘削工法、補助工法の中から、鏡面の補強を目的とした長尺鏡ボルト、脚部の補強を目的としたサイドパイル、フットパイル、根固め吹付けコンクリートを抽出し、実際の施工結果をフィードバックしたうえで各工法に関する知見を整理した。

- ① 長尺鏡ボルトは、切羽前方の地山を事前に補強することで、掘削時における地山挙動を抑制し、その結果として坑内変位や地表面沈下が軽減された。ただし、軟弱な地質不良箇所においては、上下半掘削時に大きな沈下が生じる場合があるため、先受け工や脚部補強工などの補助工法と併用する必要がある。
- ② サイドパイル・フットパイルは、トンネル脚部の地質が軟弱な場合に、沈下抑制の効果があった。本工法は、鋼管を地山に圧入する

ことから、地山の剛性が低い箇所に適用することができ、引き抜き耐力が得られない地山においてロックボルトの代替として有効であった。

③ 根固め吹付けコンクリートは、上半脚部において地盤の支持力が小さい場合に沈下抑制の効果があった。本工法は、吹付けコンクリートによる施工となることから、施工時に顕著な沈下が生じた場合の応急対策として適用することが可能である。

小土かぶり未固結地山における想定外の地山性状、トンネルの合理的な設計・施工の追求により、施工当初は数回にわたる切羽崩落が発生することもあった。しかしながら、東北新幹線トンネル施工技術委員会(委員長:足立紀尚・京都大学名誉教授)における施工および新技術の検討結果を現場へ即座に活用することで、無事掘削を完了することができた。

最後に、本稿を含めた3編の報告は、同委員会における検討結果を再整理したものである。委員長、委員各位および関係者の皆様に、この場をお借りして心より感謝の意を申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 大塚勇・谷卓也・平野逸雄・佐原圭介・後藤光理: 低土被りトンネルにおける長尺鏡止めボルトの軸力および曲げモーメントの計測, 第60回土木学会年次学術講演会, pp.433-434, 2005.9.
- 2) 北川隆・磯谷篤実・奥津一俊・川口隆徳: 地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削, 東北新幹線 牛鍵トンネル, トンネルと地下, Vol.35, No.4, pp.7-14, 2004.4.

続 きみ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メイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



# 「自然豊かな港まち」蒲江町より

吉岡敏弘

まずは、下の位置図を見ていただきたい。大分県南部の宮崎県との県境の町が佐伯市蒲江である。この蒲江の南部に位置する葛原に浦之迫トンネル南工事の現場はある。

綺麗な海、豊富な海産物、緑の木々が生い茂る自然の豊かな所で、まさに「東洋の楽園」とは少し言い過ぎだろうか。

しかし、車社会の現代における生活には、交通事情が幾分不便であり、その不便さを解消して九州中央にアクセスする高速道路(東九州道)建設がわれわれの仕事である。

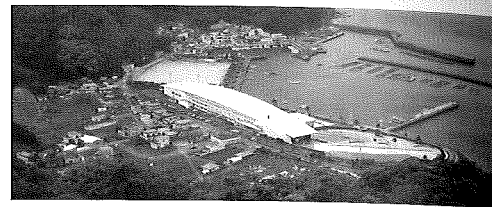
東九州自動車道は、北九州を起点に大分県、宮崎県を経て、鹿児島市に至る延長436kmの高速自動車道で、このうち佐伯ICから宮崎県北側IC間が新直轄事業となっている。この間の葛原地区でわれわれは、浦之迫トンネル南新設工事(延長848m)の施工を担当している。

この道路の開通により、まず沿線地域では、日豊海岸国定公園に指定されているリアス式海岸など観光地へのアクセスがスムーズになり、地域への観光支援となる。また、佐伯市内および延岡市内に至る所要時間が大幅に短縮され高度な医療サービスが利用できること、さらに、都市圏の消費者に、より新鮮な水産品を提供できるなどの効果が期待されている。

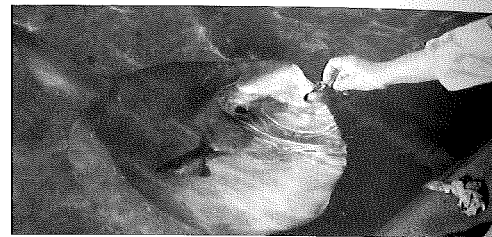
この地域は冒頭に述べたとおり、誠に自然が豊かであり、夜になれば野生の鹿が軒先にまで遊びに来るほどだ。あまりの多さに各家の入り口には鹿避けのネットを常設しているありさまで、したがって、このような自然の環境下(静かな環境)でのトンネル掘削では、発破・重機などの騒音に配慮することはもとより、地



位置図



浦江マリンカルチャーセンター



マンボウ飼育状況

域住民との相互理解がもっとも重要だと考えている。トンネルの坑口では環境対策として、防音シート設置および防音扉に錘付き遮音板設置等の工夫をしている。次に、蒲江の地域における話題を紹介しよう。

まずは、右上写真の浦江マリンカルチャーセンター。ここには日本一の100m海水プールがあり、シーズンオフの間は、マンボウを飼育展示している。マンボウは右下写真に示すように、非常に愛らしく人の手から餌を食べる。多いときは数十匹のマンボウを見ることができる。

また、葛原地区にはカマエカズラの自生地がある。このカマエカズラは4月下旬から5月上旬に開花し黒紫色の花房を茎から直接ぶら下げ、幻想的な雰囲気醸し出す。

機会があれば是非一度立ち寄りてはいかがだろうか。トンネルの施工は、平成20年7月末現在、約70mの掘削作業と30mのインバートコンクリートの施工を完了しており、トンネル掘削作業を、来年末の完成に向け昼夜体制で継続している。

今後も地域住民の方々との連携を深め、トンネルが無事故・無災害で貫通できるよう努力していきたいと考えている。

((株)鴻池組浦之迫トンネル南新設工事事務所所長)

# 施工

## 酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け

—東北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑—

東日本高速道路(株)東北支社山形工事事務所工事長 前川 秀人  
(株)横浜コンサルティングセンター管理技術者 五十嵐 高宣  
大豊建設(株)・矢作建設工業(株)特定建設共同企業体 藤井 宣  
電気化学工業(株)特殊混和材事業部担当課長 平野 健吉

### 1 はじめに

トンネル建設工事では粉じんの発生量が多く、トンネル内における作業環境の管理について新たな対応が求められていた。

平成20年3月1日より「粉じん障害防止規則」が一部改正され、その中で「ずい道等の建設の作業のうち、コンクリート等を吹き付ける場所における作業」を「粉じん作業」と規定し、「粉じんにさらされる労働者の健康障害を防止するための措置を講ずる必要がある」と強化されたところである。

掘削時に発生する粉じんは散水による抑制効果が得られやすいが、吹付けコンクリートによる粉じん発生抑制は、材料に依存するため、粉じん発生量とはね返りが少なく、高品質な吹付けコンクリートの開発が急務であった。

本稿では、東北中央自動車道栗子トンネル西避難坑工事(山形側NATM施工)で採用した国内初の実証事例となる酸性液体急結剤を用いて、スラリー化された複合急結剤による低粉じん吹付けコンクリートの吹付けシステム概要と効果について報告するものである。

### 2 栗子トンネルの概要

新直轄区間にある東北中央自動車道栗子トンネル避難坑は、国土交通省より東日本高速道路(株)が受託して施工している工事で、福島県福島市から山形県米沢市に至る延長28.3kmのうち福島県と山形県の県境部に位置している延長約9kmの長大山岳トンネルである(図-1)。

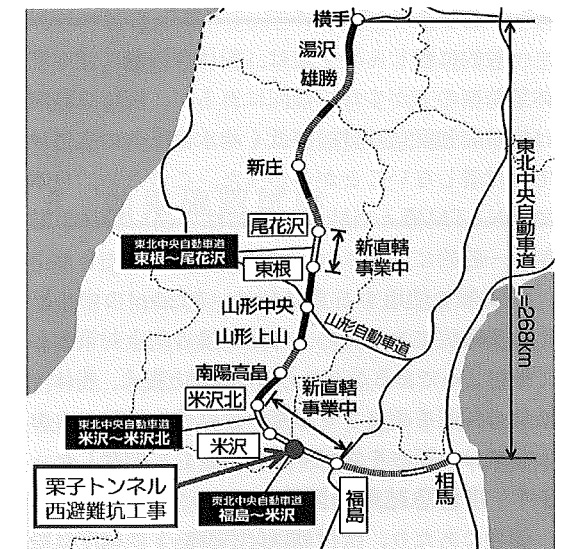


図-1 位置図

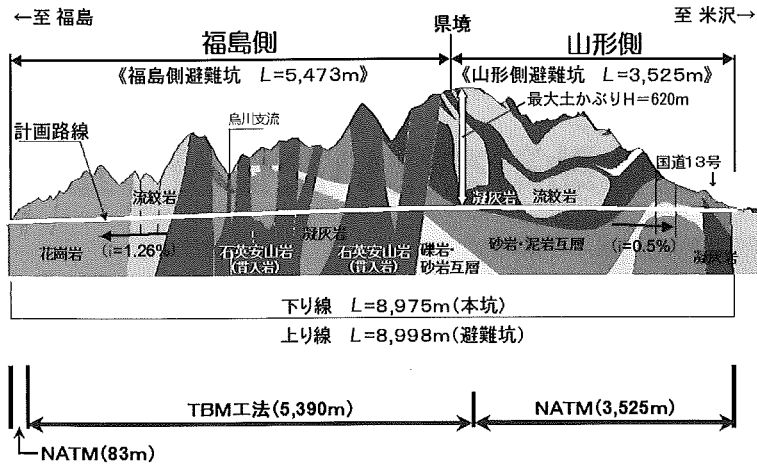


図-2 地質縦断面図

栗子トンネルは完成すれば山岳道路トンネルとしては日本で3番目に長いトンネルとなる。

本トンネルは、本坑に先立ち避難坑を施工しており、福島側はTBM掘削にて、山形側はNATM掘削での施工を行っている(図-2)。

概略の地質は、福島側が花崗岩、石英安山岩、流紋岩を主体とした火成岩系であるのに対し、山形側は凝灰岩、砂岩・泥岩互層の堆積岩系が主体である。山形側の地質において当初、流紋岩が出現する予測であったが、掘削においては確認されていない。

### 3 低粉じん吹付けの開発経緯

一般的に粉じん発生量は、粉体急結剤に比べ液体急結剤の方が少ない傾向にあるが、液体急結剤は短時間強度(急結性)が低く湧水箇所への吹付けでは付着しないことが多かった。このため、日本ではNATM導入当時より急結性の高い粉体急結剤が一般的に使用され、開発が進められてきた。

本工事で使用する急結剤は、約20m<sup>2</sup>の中小断面の避難坑であるため、作業環境の向上対策として低粉じんであることが必須の課題と捉え、粉体・液体の長所を両立させる高い急結性と低粉じんおよび低はね返りを満足する材料として開発した。

#### 3-1 複合急結剤の開発

開発にあたり、吹付けコンクリートの強度は粉じんを抑制する効果の高い液体急結剤に着目し、

液体急結剤の量に対する特性を把握するとともに、粉体急結剤を基準としたモルタル凝結性状試験により確認した。

比較した急結剤はセメント量(C)に対し、粉体急結剤(CA)のみ6%、液体急結剤(AF)のみ10%、12%、14%、酸性液体急結剤+粉体助剤(以下、「複合急結剤(AF+CSA)」という)を8%+2%、8%+4%、8%+6%の7種類である。複合急結剤(AF+CSA)に使用した

酸性液体急結剤と粉体助剤は、液体急結剤と粉体急結剤の特性を考慮し新たに開発した急結剤であり、酸性液体急結剤のpHはレモン水程度の弱酸性である。

試験の結果、液体急結剤(AF)の場合、急結剤の添加量を増加させても高い急結性が得られず、12%と14%の性状はほぼ同等の結果となった。原因としては、液体急結剤のみでは添加量の増加に伴い急結成分のほかに水分も供給され強度が上がらないためであった。

複合急結剤(AF+CSA)の場合、上記の液体急結剤の特徴を踏まえ、添加量を8%に一定とし粉体急結剤の量を調整することにより短時間凝結効果が得られた。図-3にモルタル凝結性状試験結果を示す。

試験結果より、複合急結剤(AF+CSA)8%+4%以上を用いれば粉体急結剤(CA)と同等の性能が得られることが確認された。

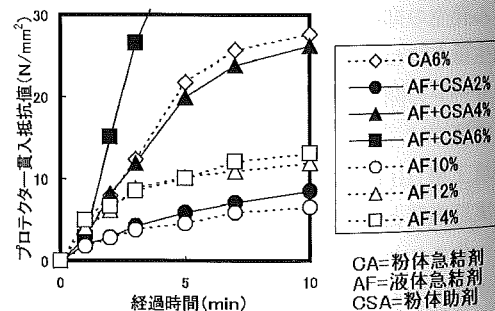


図-3 モルタル凝結性状結果

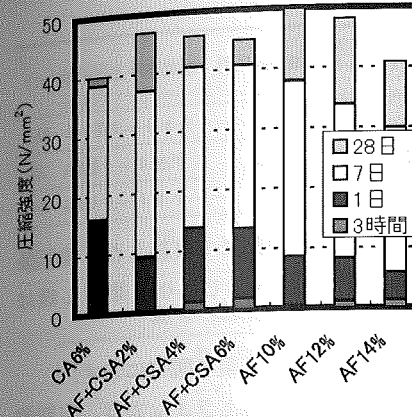


図-4 各種急結剤でのモルタル圧縮強度結果

#### 3-2 強度発現性

圧縮強度の試験では、液体急結剤(AF)のみの場合と比較して、複合急結剤(AF+CSA)は1日までの初期強度発現性に優れており、長期強度も粉体急結剤(CA)のみより上回る結果となった。

図-4に各種急結剤でのモルタル圧縮強度試験結果を示す。試験結果より、長期強度では液体急結剤のみの10%と12%が高い強度を発現しているが、初期強度の発現が低い。吹付けで望まれる特性は低粉じんであることだけではなく、地山を早期に抑える効果であるため、初期強度の発現が低い急結剤では有効的ではない。その点、複合急結剤は初期強度も得られておりバランスが得られた材料であることが確認された。

### 4 吹付けシステムの概要

実施工へ適用するための機械的システムについて述べる。

#### 4-1 急結剤供給システム

本システムは、従来の粉体急結剤吹付けで行われている「ほぐしエア」と呼ばれるエア供給を行わずに、液体急結剤にエアを添加する。ベースコンクリートは急結剤添加位置までコンクリートポンプにて圧送することが必要である。吹付けシステム概略図を図-5に示す。

#### 4-2 急結剤のスラリー化

##### 4-2-1 混合性・安全性の向上

酸性液体急結剤と粉体助剤を混合スラリー化

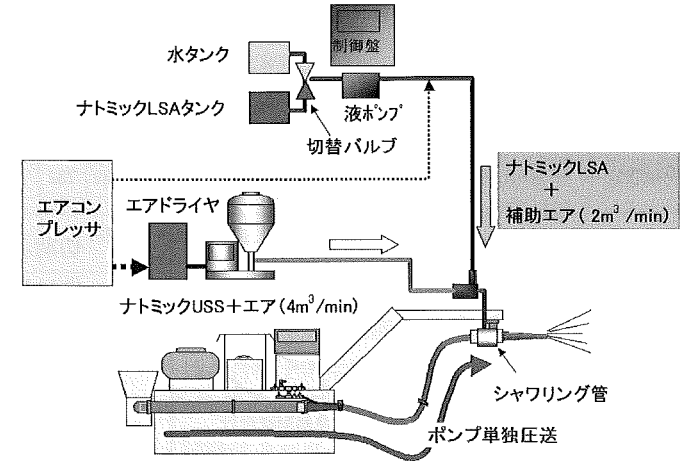


図-5 システム概略図

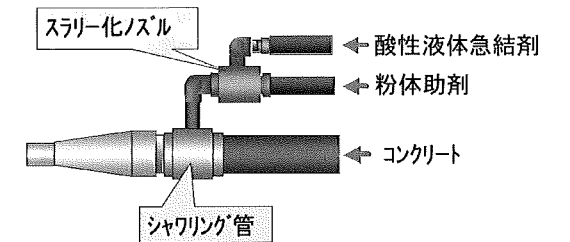


図-6 急結剤混合システム概略図

(以下、「スラリー状急結剤」という)することにより、ベースコンクリートとの混合性が改善され、吹付け時の総エア量低減を実現した。スラリー化に従来の水ではなく、酸性液体急結剤を使用することで粉じん発生要因となる総粉体量を減らすとともに、飛散粉じんによるアルカリ薬傷などの危険性が軽減し、人体への安全性を向上させた。

急結剤混合システムの概略図を図-6に示す。

### 5 効果確認試験

#### 5-1 比較試験の実施

通常の粉体急結剤吹付け(粉じん低減剤使用)とスラリー状急結剤吹付けの比較試験を当現場内で行った。比較項目は粉じん濃度、リバウンド率、強度発現性について実施した。配合を表-1に示す。なお、配合Aは通常の粉体急結剤吹付け、配合Bはスラリー状急結剤吹付けである。

#### 5-2 粉じん濃度の比較

各配合について一定量(3.5m<sup>3</sup>:21min.)の吹付

表-1 配合

配合種類	スランプ(cm)	W/C(%)	s/a(%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				粉じん低減剤(kg/m <sup>3</sup> )	急結剤・助剤(kg/m <sup>3</sup> )	
				W	C	S	G			
配合A	10±2	61	57	220	360	973	773	-	0.36	ナトミックT-5 25.2
配合B	18±2	49	60	196	400	1,039	732	6	-	ナトミックLSA 32
										ナトミックUSS 16

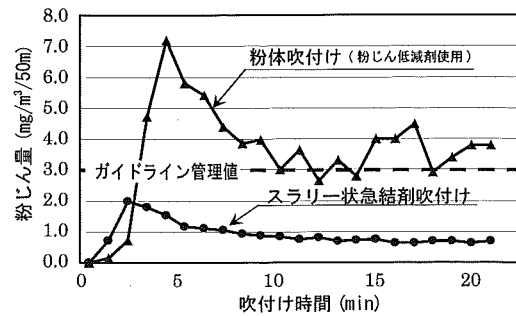


図-7 粉じん濃度測定結果



写真-1 通常の粉体急結剤吹付け状況



写真-2 スラリー状急結剤吹付け状況

けを行い、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(以下、「ガイドライン」という)に準じ光散乱方式にて粉じん濃度測定を実施した。粉じん計は柴田科学社製P-5Lを用いて、

切羽より50m地点の中央部にて実施した。換気条件は500m<sup>3</sup>/minの送気方式であり、集じん機は使用していない。

比較試験時の濃度測定結果を図-7に示す。

平成12年に示されたガイドラインでは、定期測定される粉じん濃度の目標レベルを3mg/m<sup>3</sup>以下にすることが示されているが、今回比較したスラリー状急結剤吹付け(配合B)については、ガイドライン管理値をクリアできることが確認できた。

粉じん濃度比較試験時の坑内状況を写真-1,2に示す。写真は、シャッタースピードや照明など、同一条件で撮影を行ったものである。

### 5-3 リバウンド率の比較

測定は掘削後に一次吹付けを行ったあと、各配合について3分間、側壁からクラウン部まで一様に吹付けを行い、あらかじめ設置したシート上に落ちた重量を測り、単位吹付け量あたりに換算して、リバウンド率を求めた。なお、配合A・Bの吐出量には若干の変動があるため、試験以外の吹付け時間(重量計測などのインターバルを除く)を合算し、平均吐出量を算出した。試験結果を表-2に示す。リバウンド率は約5%の差が生じたことより、付着性能についてスラリー状急結剤(配合B)吹付けの優位性を確認できた。

### 5-4 強度発現性の比較

強度の発現性は、初期強度と長期強度について比較を行った。初期強度試験はプルアウト試験(JHS702吹付けコンクリートの初期強度試験)にて、長期強度試験はベースコンクリートをモールド採取した供試体と、コア採取型枠に吹付けてφ45mmにコア抜きした供試体の両方についてJIS A 1108コンクリートの圧縮強度試験結果にて比較を行い、急結剤添加による強度発現への影響を確認した。強度結果を表-3および図-8に示す。

表-2 リバウンド試験結果

配合	総時間 (min)	測定時間 (min)	総吹付け量 (m <sup>3</sup> )	測定時の吹付け量 (m <sup>3</sup> /3min) (kg/3min)	リバウンド量 (kg)	リバウンド率 (%)
配合A	20.2	3.0	3.5	0.52	247.5	20.3
				1,222		
配合B	20.0	3.0	3.5	0.53	193.9	15.3
				1,271		

表-3 長期強度試験結果

配合	28日強度(N/mm <sup>2</sup> )		強度比 (%)
	ベース (モールド採取)	吹付け硬化体 (コア採取)	
配合A	28.4	20.7	72.9
配合B	44.0	37.0	84.1

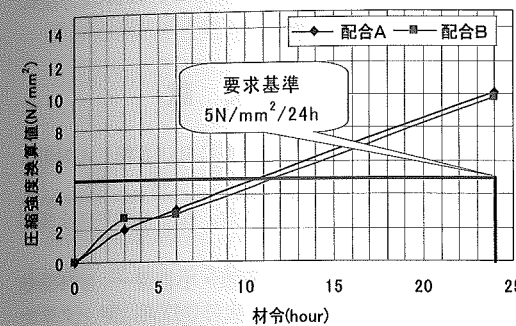


図-8 初期強度試験結果

表-4 湧水箇所付着性確認結果

付着の可・不可	放水量/放水位置		
	30ℓ/min	250ℓ/min	
	吹付け箇所上部	吹付け箇所	
	可能	可能	不可



写真-3 湧水対応性確認状況

結果から判断すると、初期強度発現や長期強度への影響は急結剤による違いはないものと判断される。

### 5-5 湧水箇所付着性の確認

湧水に対する吹付けコンクリートの付着状況を確認するために、湧水を再現し試験を行った。

模擬湧水は3m程度離れた場所より切羽に立てかけた合板上部に放水することで再現し、放水位置から約50cm下部に吹付けを行った。

試験は3パターンを想定した。

パターン①: 30ℓ/min

パターン②: 250ℓ/min

パターン③: 直接250ℓ/min

パターン③は多量出水を想定し吹付け部に直接放水した。コンクリートの付着状況を表-4に示す。写真-3はパターン②湧水量250ℓ/minの吹付け状況である。試験結果では、多量出水時箇所に直接吹付けしても付着しない可能性はあるものの、ある程度の湧水に吹付けする場合には付着可能であることが確認できた。なお、パターン①: 30ℓ/minの湧水状態で作成・採取したコア供試体ではσ<sub>28</sub>圧縮強度37N/mm<sup>2</sup>の測定結果が得られ、長期強度については湧水による影響は見受けられなかった。

## 6 吹付けシステムの改善点

### 6-1 実施工をとおして

工事が開始されてからトンネル進捗も98%を超え無事故・無災害を継続している。また、中小断面トンネルにおいては努力目標と位置づけられる吸入性粉じん量について、ガイドライン目標値3mg/m<sup>3</sup>をおおむねクリアできる成果が残せている。かつて経験した吹付け状況からは作業環境改善がなされたと考えるが、この新工法をさらに進化させるために、今後の課題について述べる。

### 6-2 ポンプ圧送方式

ポンプ圧送を採用しているため、極少単位時間あたりのコンクリート吐出量に変動がある。その

ため、ノズルマンの熟練度合いにより、吹付け仕上がり面に極端な凹凸が生じることがある。覆工コンクリートの品質管理においては、吹付け面の平坦性確保が重要であるため、施工初期段階におけるノズルマンの技術確立が重要である。

コンクリート吐出量の変動に対して急結剤添加量は、添加装置のシステム上、常に一定であるため、急結剤添加率に差が生じることになる。添加率のバラつきは初期強度発現性を始めとした、品質・安全に影響を及ぼす可能性があるため、添加率の安定化が重要である。

当現場では、ノズルワークの勉強会などを開き、仕上がりに対する技術向上に取り組んでいる。また、ベースコンクリートの吐出量を安定させるため、日常のスランプ管理に力を入れ、仕上がり面の平滑性と急結剤添加率の安定に留意した施工を心がけている。

### 6-3 急結剤添加率の安定化に向けて

本システムにおいて、一定の添加率を確保することが重要であることは先にも示したが、コンクリート吐出量に合わせた急結剤添加システムの開発は、添加タイミングなど機構自体が複雑となり実用的ではない。よって、コンクリートの脈動を小さくし供給量を安定化させることが、吹付け面の仕上がりムラ問題も解決できることから現実的と考える。今回は搭載していないが、ポンプ圧送

時の脈動防止対策としてストロークにインターバルの少ない機械が開発されているため、今後の吹付けでは脈動が少ないポンプを使用すれば、更に安定した吹付けが可能と思われる。

## 7 おわりに

本現場で使用した吹付けは、トンネル作業に対するより良い作業環境の対策として、新工法であるスラリー状急結剤吹付けを採用した。粉じん濃度低減効果は実施工においても実証済みであるため、今後はガイドラインの上限値である3mg/m<sup>3</sup>をクリアできれば良いということではなく、さらなる坑内環境改善とシステムの改良対策、高性能な急結速度に対するノズルマンの育成方法について取り組んでいきたい。

### 参考文献

- 1) 厚生労働省：ずい道建設工事における粉じん対策に関するガイドライン，2000。
- 2) 厚生労働省労働基準局：省令，粉じん障害防止規則等の一部改正，2008.2。
- 3) 中島康宏・室川貴光・石田積・小菅啓一：液体急結剤-粉体急結剤を複合した吹付け技術，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，2006。
- 4) 野間達也・大下武志・堀内喜久雄・赤坂雄司・坂口武：粉じん低減を目的とした実大模擬トンネルでの吹付け実験，トンネル工学研究発表論文，2006。

## 『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、原則として刷上りがりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
  3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会が審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  5. 原稿は、原則として返却いたしません。  
(注：「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

# 施工

## 岩盤対応型大断面シールドによる道路トンネルの施工

### —阪神高速道路8号京都線 稲荷山トンネル—

阪神高速技術(株)維持事業部調査点検課長((前)阪神高速道路(株)京都建設部調査設計・審査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)神戸建設部企画グループチーフ((前)同京都建設部伏見工事事務所チーフ) 高 磯 徹  
 大林・佐藤・西武建設工事共同企業体所長 東 出 明 宏  
 (株)大林組大阪本店土木営業第一部副部長((前)大林・佐藤・西武建設工事共同企業体副所長) 北 岡 隆 司

### 1 はじめに

京都高速道路は、2001年1月制定の「京都市基本計画」にもとづき計画された自動車専用道路網である。都市計画決定がされている京都高速道路5路線のうち、「油小路線」はすでに開業し、現在「新十条通」の整備が阪神高速8号京都線として進められているところである。

そのうち、東山連峰の南端に位置する稲荷山をトンネルで横断して結ぶ「山科～鴨川東間」は、山科区と京都中心部とを結ぶ全長約2.7km、2種

2級の往復4車線道路である。これが開通すると、幹線道路が従来の三条通、五条通に加え3路線となり、両地域間のアクセスが向上すると期待されている。本区間は全長2.7kmのうち、約2.5kmがトンネル構造であり、東行線と西行線の二つのトンネルからなっている。山科側の約1.5km区間は(山岳トンネル工法)NATM、伏見側の約300m区間は開削工法で施工が行われ、その間の約900m区間がシールド工法による施工区間になっている(図-1)。

本稿は、伏見工区トンネル工事の施工内容とシ-

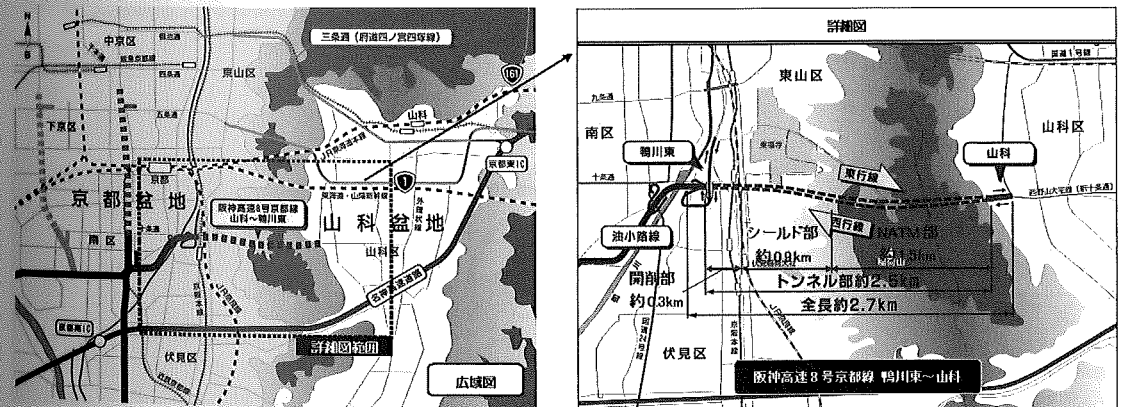


図-1 「新十条通」概要図

ルド工事についての施工結果を報告するものである。

## 2 工事概要

### 2-1 工事概要と周辺の状況

「伏見工区トンネル工事」は、仕上がり内径φ10.1mの双設シールドトンネルによって、琵琶湖

表-1 工事概要

工事名	伏見工区トンネル工事
発注者	阪神高速道路(株)
施工者	大林・佐藤・西武建設工事共同企業体
工事場所	京都市伏見区深草相深町～同区稲荷山
道路区分	第2種第2級
設計速度	60km/h
車線数	片側2車線×2
仕上がり内径	φ10.1m
シールド延長	約855m×2
シールド	φ10.82m 岩盤対応型泥水式シールド
セグメント	コンクリート中詰め鋼製セグメント(嵌合方式) 外径: φ10.6m, 厚さ: 250mm, 幅: 1.5m

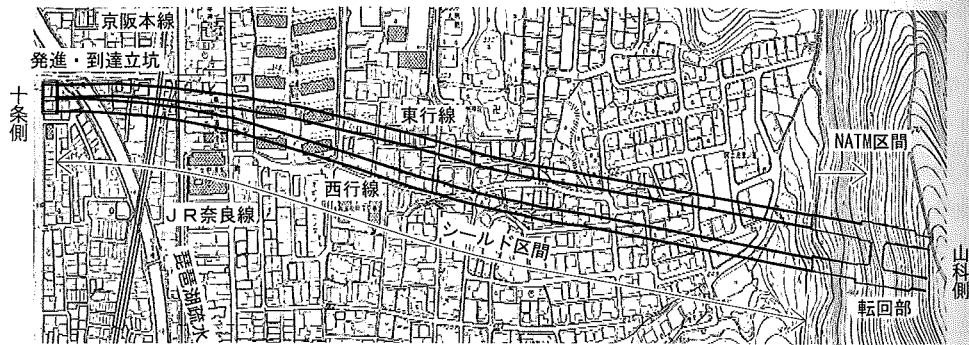


図-2 全体平面図

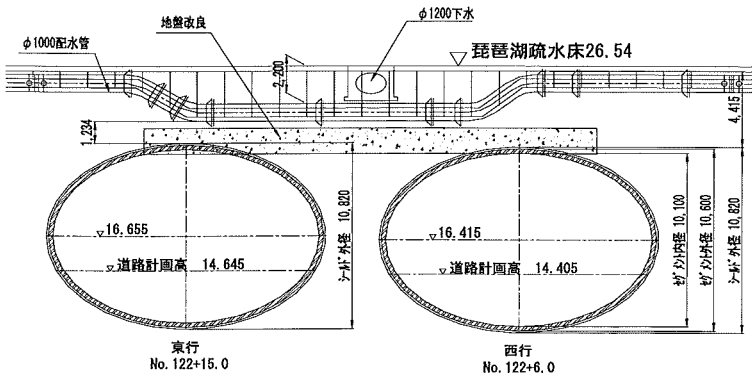


図-3 琵琶湖疏水横断面図

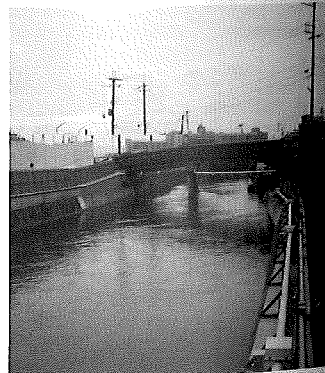


写真-1 琵琶湖疏水

疏水横の立坑と稲荷山直下のNATMトンネル端部を結ぶもので、工事は主にこのシールドトンネル工事とNATM拡幅断面部の覆工工事で構成されている(表-1)。

シールドトンネルは、西行線と東行線の2本あるが、シールド組立工や発進工の施工性、地上設備用地などといった用地条件より、西行線を十条側から掘進し、既設NATMトンネルに到達後、NATM拡幅断面内でUターンし、東行線を山科側から掘進する施工順序とした。全体平面図を図-2に示す。

立坑付近には、京都市の重要な水源である琵琶湖疏水(流量14t/sec)、京都・大阪を結ぶ京阪電鉄本線ならびに京都・奈良間を結ぶJR奈良線が存在する。琵琶湖疏水直下での離隔は4.4m(0.4D)に過ぎず、京阪電鉄本線、JR奈良線でも12.2～13.6m(1.2D)と近接施工となる。これら構造物はいずれも市民生活に欠かせない重要なものであるため、掘進にあたっては、その健全性を従来と変

わず維持することが重要課題の一つとして挙げられていた。JR奈良線以東は、約500mにわたってトンネル直上が民家の密集地帯となっており、ハイレベルの掘進管理が要求される路線となっている。

### 2-2 地質概要

想定地質縦断図を図-5に示す。

路線の土かぶり発進部の最小約4.8mから転回部の約70mまで大きく変化する。

シールドの掘進する地質は、発進立坑から約160m区間は硬質の洪積粘性土層と洪積砂礫層の互層、その後の約520m区間は大阪層群の砂礫層、粘性土層の互層となっているが、残りの175m区間は頁岩とチャート主体の破砕帯を含む丹波層群である。

発進立坑から300m地点より東側の約400m区間については、民家密集地帯であることからシールド発進時点で地質調査が行われておらず、土砂と岩盤の層境部もはっきりしなかった。そこで、既設NATMトンネル側からの水平ボーリングによ

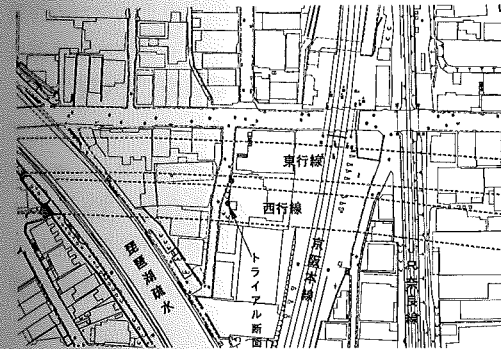


図-4 鉄道横断部平面

り地質調査を行い、おおよその位置を推定した。また、この時に採取したコアを用いて行った圧縮強度試験により、岩盤部の一軸圧縮強度を最大80 N/mm<sup>2</sup>と設定して、以降のシールドの設計などに反映した。

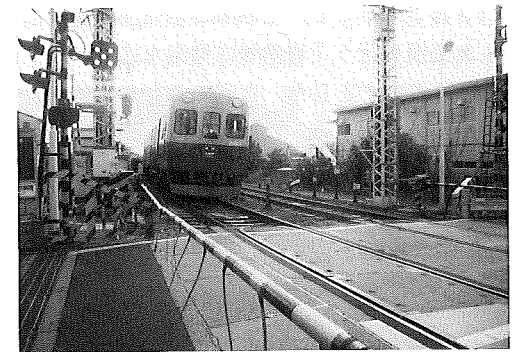


写真-2 京阪本線

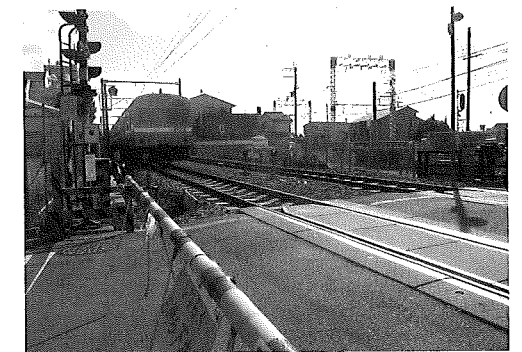


写真-3 JR奈良線

凡例	区分	地質時代	地層名	記号	構成		
土砂地盤	新生代	第四紀	盛土	Bk	粘土～砂礫		
			崖錐堆積物	Dt	粘土～砂礫		
			沖積層	Ac	粘土		
				Ag	砂～砂礫		
			洪積層	Dc	粘土		
				Dg	砂～砂礫		
	第四紀～新第三紀	大阪層群		Oc	固結粘土		
				Og	よく締まった砂～砂礫		
			岩盤	中生代	丹波層群	T	頁岩, 砂岩, チャート

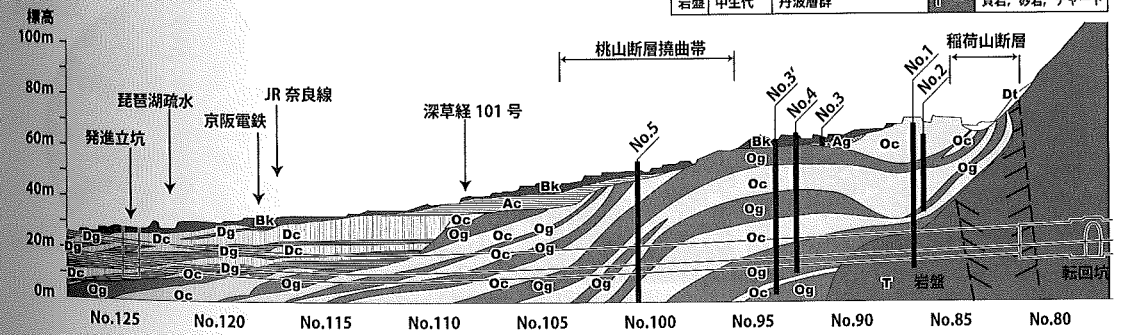


図-5 想定地質縦断図

### 3 シールドの特徴と岩盤掘進対策

#### 3-1 シールドの特徴

本工事の掘削対象地盤は上述のように、洪積層、大阪層群の土砂部ならびに破碎帯を含む岩盤部に大別される。そこで、土砂部と岩盤部の層境部でビット交換を行う「岩盤対応型泥水式シールド」を採用することとした。今回のシールドの主な特徴は以下のとおり。

- カッタヘッドは岩盤掘削を考慮してセミドーム型を採用し、中間支持方式とした。
- 岩盤掘削用に17インチディスクカッタ(φ432mm)を一軸圧縮強度80N/mm<sup>2</sup>の岩盤に対応できるように68個配置した。これらのディスクカッタ取付け場所に、土砂地盤掘進時には強化型先行ビットを設置し、チャンバ内からの交換が可能な構造とした。
- 余掘り装置として、土砂部用にコピーカッタ

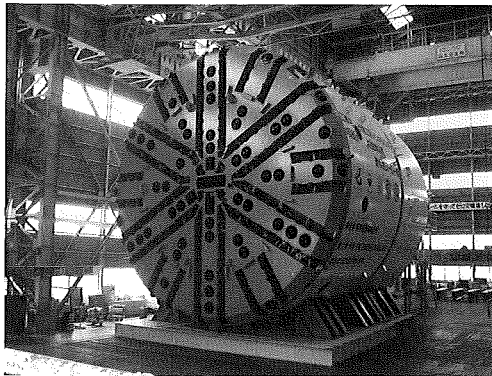


写真-4 シールド全景(岩盤掘進仕様)

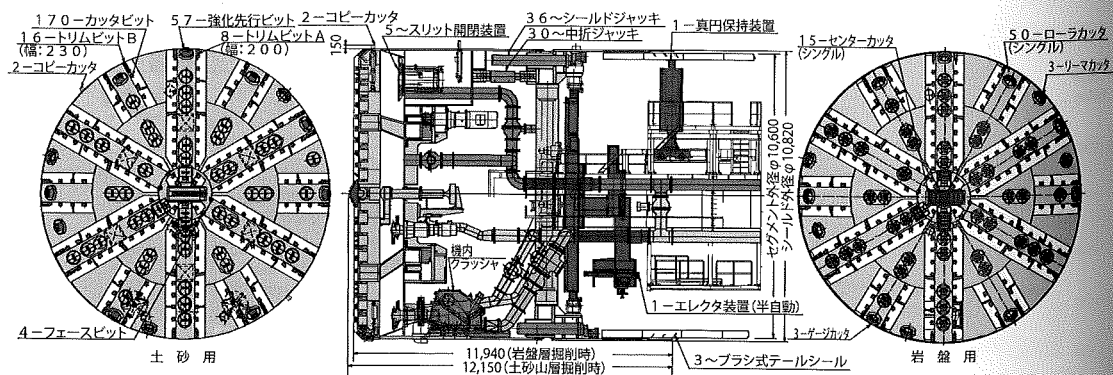


図-6 シールド構造図

- を2基、岩盤部用にリーマカッタを3基装備した。いずれも油圧ジャッキにより伸縮する。
- 岩盤掘削を考慮して、カッタ駆動にはインバータ制御電動機(75kW×18台)を採用し、カッタ回転速度を0.5~1.9rpmの範囲で調整できる方式とした(岩盤部1.9rpm、土砂部0.5rpm)。
- 岩盤掘削時の礫破碎用にシールド内および後方台車に水中クラッシャを各1台装備した。
- 岩盤掘削時および縦断勾配変化部での方向制御を目的として、最大中折れ角度1.0°のV型中折れ機構を装備している。なおビット交換時には、前胴および中胴を中折れジャッキにより100mm後退させてカッタヘッド前面に隙間を設けるため、ビット交換が容易となる。
- 岩盤掘削時の姿勢安定を目的としてフロントグリッパ装置を前胴部に8基、ビット交換時に行うカッタヘッド後退用の反力確保のためのリアグリッパ装置を後胴部に8基装備している。
- 長期停止時および岩盤部でのチャンバ内作業時の山留め装置として、チャンバ内上半部にスリット開閉装置を5基装備している。
- セグメントが後述のようにボルトレスタイプのため半自動式のエレクトラを採用し、セグメントの自動供給装置と組み合わせて、セグメントの供給から粗位置決めまでを自動で行うとともに、セグメントの吊り金具自動回収装置も装備している。

シールド構造概要図を図-6に示す。

#### 3-2 推進工法を用いたビット交換用防護工

西行線の掘進では、掘削対象地盤が土砂から強度の高い岩盤に移行するため、層境部で土砂用ビットから岩盤用のローラカッタに交換する必要があった。このビット交換作業は作業員がシールドチャンバ内で行うことから、交換地点の地山に薬液注入工による防護工を行うことが必要であった。通常、防護工は地上から施工するが、当工事では地上部が民家密集部で施工場所が確保できないことから、到達側である既設NATMトンネルの端部から水平注入用の導坑を推進工法によって築造する工法を採用した。さらに、導坑の設置位置がシールド掘削予定断面内となるため、注入作業終了後、シールドの掘削に支障とならないように推進管を引抜かなければならなかった。図-7に導坑の基本計画図を示す。

導坑の内径はφ3,000mmで、推進工法により約

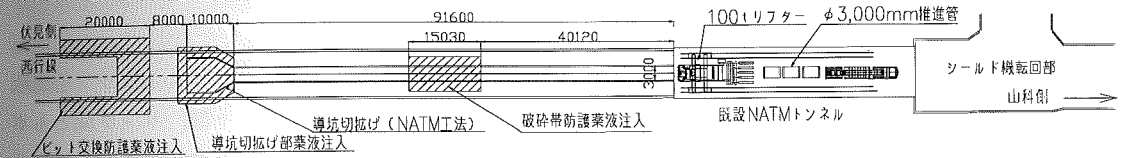


図-7 導坑基本計画図

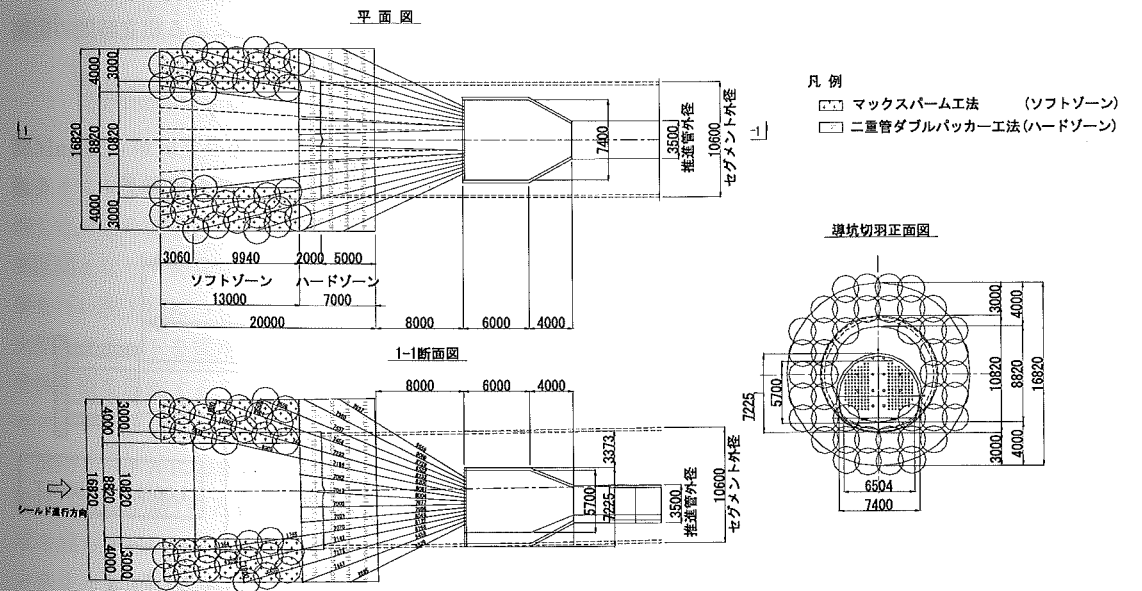


図-8 ビット交換防護工図

92m推進した後、NATMにより切上げを行って注入作業用の空間を確保した。推進工法に用いた岩盤対応型推進機を写真-5に示す。

推進機は外径φ3,520mmの大口徑推進機で15.5インチのディスクカッタを22基装備している。また、計画総推力5,377kNに対して、元押し設備として2,000kNジャッキを4台設置し、さらに中押し設

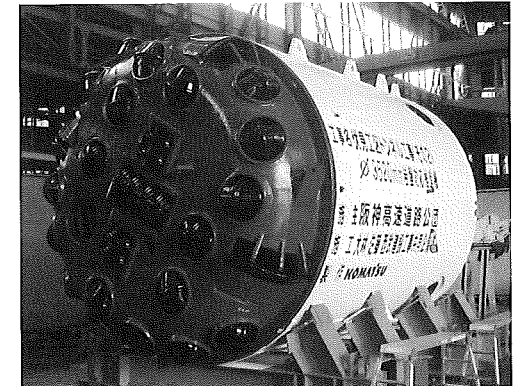


写真-5 岩盤対応型推進機

備を4段配置した。

今回の工事では、推進管設置のおよそ半年後に推進管の引抜きが予定されていたため、滑材について以下の点に留意した。

- ・約100mの長距離推進を可能とする材料であること。
- ・長時間放置しても劣化や脱水をおこさず、硬化もしないこと。
- ・万一、劣化や脱水が起こっても再注入により置き換え、充填が可能なこと。

検討の結果、特殊粘土スラリー(A液)と珪酸(B液)の2液型材料を採用することとした。

防護工の改良範囲については、止水を主目的とした「ソフトゾーン」と地盤強化と止水の両面を目的とした「ハードゾーン」に分けて設定した。ソフトゾーンはシールドのスキンプレート部からチャンバ内への地下水の流入を防ぐことを目的とし、ハードゾーンはチャンバ内でのビット交換作業を行うことから切羽の地盤の自立確保および止水を目的としている。

引抜き力の算定にあたっては、推進時の推進力の算定式を準用し、推進時の実績と同種工事の実績も参考にして次のように設定した。管に作用する荷重はゆるみ荷重とし、管と土との摩擦係数については推進時の実績(0.1)より経時による地山の締め付けを考慮して0.2とした。推進管引抜き設備の概要図を図-9に示す。先頭の推進機残置部とNo.1推進管については、推進機の隔壁から元押しジャッキまでの間をPC鋼棒4本にて接続し、

延長=92m

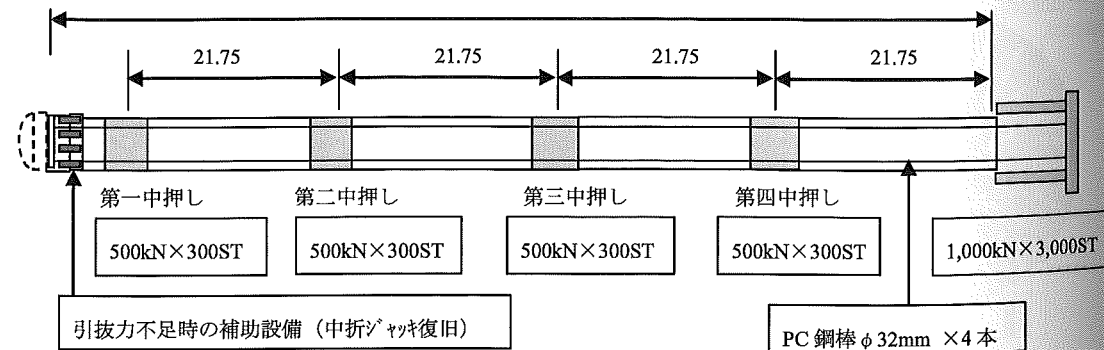


図-9 推進管引抜き設備概要図

元押しジャッキの引抜き力を伝達させることとした。

引抜き力の最大値は引抜き初期時に記録された3,200kNであり、その後滑材(ベントナイト)を注入することにより低下し、最終的には平均して1,000~1,500kN程度の引抜き力で推移した。推進管の引抜きは4本/日程度で進捗し、引抜いた跡には裏込め注入材を加圧充填して、シールドの掘進に対応した。

## 4 セグメント

### 4-1 NMセグメント

本工事では「NMセグメント」と呼ばれる合成セグメントを採用した。NMセグメントは鋼材で囲まれた鋼枠の中に高強度コンクリート(42N/mm<sup>2</sup>)を打設して一体化したもので、鋼・コンクリートの合成構造となっており、非常に剛性の高いセグメントである。このため、本工事の場合、RCセグメントでは桁高500mmとなるのに対してNMセグメントでは250mmですむため、掘削断面積の減少に伴う全体工事費のコストダウンを実現している。継手はセグメント間、リング間ともボルトレス方式で鋼枠部分が嵌合構造となっており、過去の実績においても高い止水性と、組立時の省力化による組立時間の短縮と安全性の向上が確認されている。

### 4-2 耐火型NMセグメント

今回の施工では、東行線の立坑から150m区間に、わが国で初となる耐火型NMセグメントを適

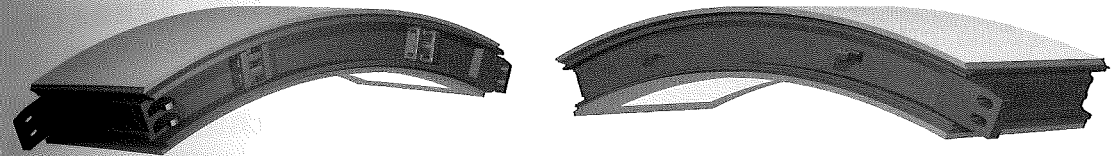
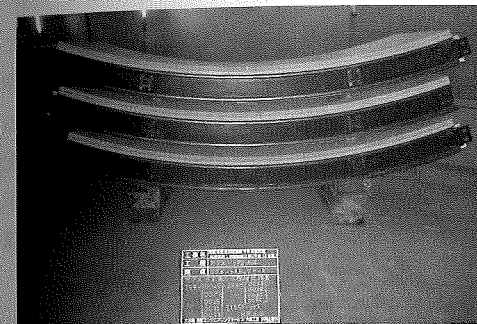


図-10 NMセグメント

表-2 NMセグメント仕様

セグメント外径	φ10,600mm
セグメント内径	φ10,100mm
セグメント厚さ	250mm
セグメント幅	1,500mm
セグメント分割数	10分割(軸方向挿入型)
セグメント重量	35.8~37.3 t/リング(1.1~4.2t/ピース)



断面図(耐火型)

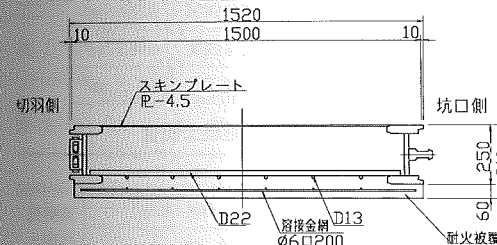


写真-6 耐火型NMセグメント

用した。この区間は、シールド到達時には後方台車区間となり、通常なら後方台車解体後に耐火工事をし、次工程につなげなければならないが、耐火型セグメントを採用するとこの工程を省略でき、全体工程を短縮することができることから、このセグメントを採用した。

道路トンネルにおける火災に対する要求性能は、後述(5-2に記載)のとおりであるが、これらの要求を満たすNMセグメントの耐火仕様には、「コンクリートタイプ」と「不定形耐火物タイプ」の2種類があり、本工事ではコンクリートタイプを

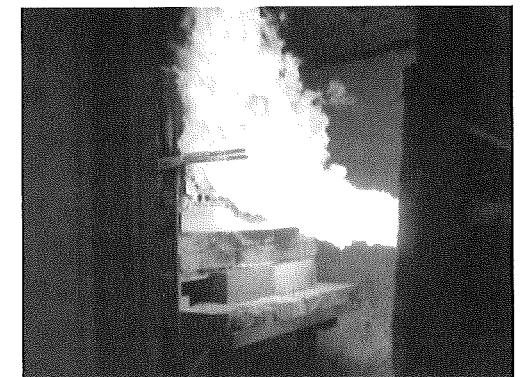
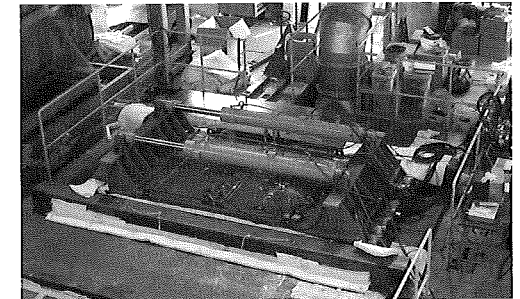


写真-7 耐火試験状況

採用した。セグメントピース内面すべてをカバーする、厚さ60mmのPP繊維(ポリプロピレン繊維)入りコンクリート層は、いわゆる耐火層となっており、万一火災が発生しても、セグメント構造部の健全性を確保することができる。PP繊維は、繊維径18μm、長さ12mmと比較的細いものを使用し、混入量は0.2vol%とした。

採用にあたっては、耐火性をはじめとして、耐久性などの項目の実験を行ったが、耐火性については、(独)建築研究所において、RABT曲線によって供試体による加熱実験を行った。実験は爆裂現象において厳しい条件となる負曲げモーメント350kNm、軸圧縮力7,000kNを載荷した状態で行った。その結果を図-11, 12に示す。この実験からコンクリート温度は表面から60mm以深で規定温度である350℃以下になることがわかり、また60

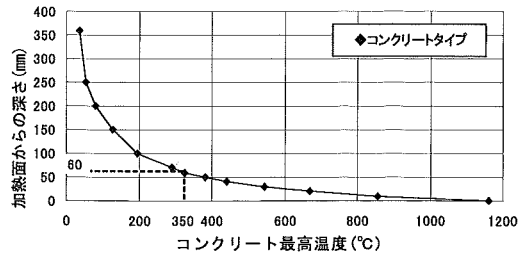


図-11 深さによるコンクリート温度分布

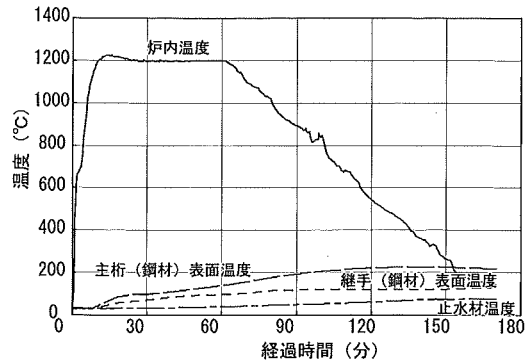


図-12 経過時間と各部温度

mmの耐火被覆を行った場合、NMセグメントの鋼製部材である主桁、継手鋼材やシール材温度がいずれも規定温度内になることがわかった。これより耐火被覆部厚を60mmとし、本工事セグメントに適用することとした。

## 5 掘進と路床工・耐火工の同時施工

### 5-1 流動化処理土を用いた路床工

当工事では、現場から排出される産業廃棄物削減や工期短縮を目的に、掘進と並行して余剰泥水を用いた流動化処理土工を行った。路床材に流動

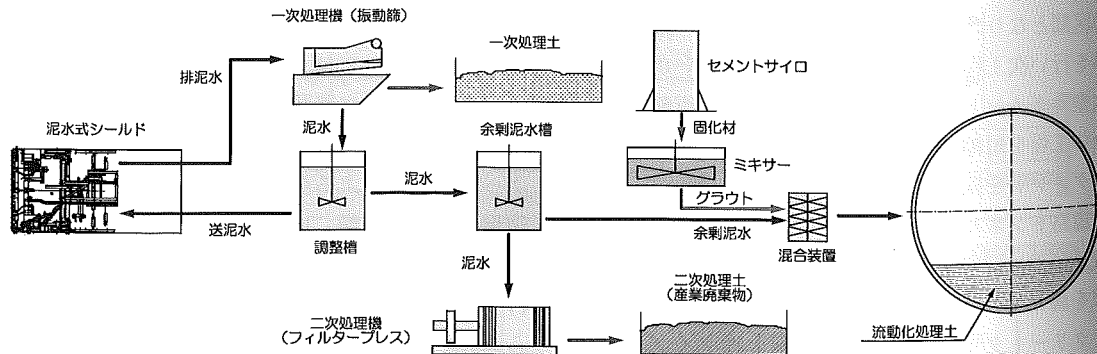


図-13 流動化処理土施工フロー図

化処理土を適用する場合の基本要件性能として、表-3に示す各項目について強度を設定した。

これらをすべて満足し、さらに型枠脱型時の必要強度を考慮し、流動化処理土に求める強度特性を以下のように設定した。

- ・設計強度： $\sigma_{28} \geq 2.0 \text{ N/mm}^2$
- ・型枠脱型時の必要強度： $\sigma_{16h} \geq 0.04 \text{ N/mm}^2$

流動化処理土の施工フロー図を図-13に示す。当工事では、坑内に中継ポンプを設置することなく流動化処理土の長距離圧送(1km)を可能とするため、泥水と固化液を2系統で別々に圧送し、打設場所で混合装置により混練する2液施工方式を採用した。

施工に際しては、現場で採取した泥水を用いて配合試験を行い、強度特性およびブリージング率1%未満(極めて精度の高い充填性が要求される場合や車道下に用いる場合に相当)を満足する配合の中からもっとも経済的な配合として表-4に示す配合を決定した。この結果、全体の処理泥水量

表-3 インパルト部の要件性能のまとめ

(1)路床として必要な強度	1.2 N/mm <sup>2</sup>
(2)交通荷重に対し必要な強度	0.33N/mm <sup>2</sup>
(3)上部層施工時に必要な強度	0.66N/mm <sup>2</sup>
(4)耐久性から必要な強度	2.0 N/mm <sup>2</sup>

表-4 流動化処理土配合

流動化処理土 1 m <sup>3</sup> あたり					
A液(固化液)			B液(泥水)		流動化処理土 比重
固化材(高炉B種)	水	混和剤	泥水(比重1.20)	増粘剤	
325	163	1.63	866	20	1.38

の約7%の減量化を図ることが可能となった。

### 5-2 耐火吹付けモルタル

シールドトンネルの構造部材であるセグメントは、部材厚が薄く常に大きな圧縮応力を受けており、火災により一部が損傷するとトンネル自体の

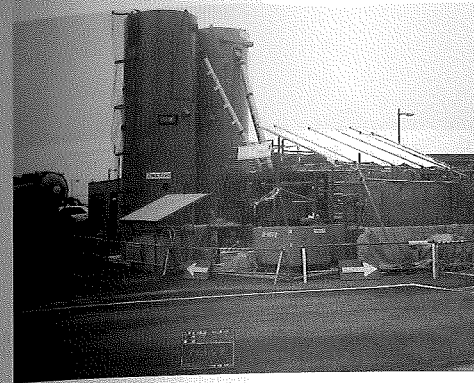


写真-8 流動化処理プラントおよび打設状況

崩壊につながりかねない。道路トンネルではセグメントを火災の熱から守るために、耐火対策を採っている。この耐火対策を施す場合、表-5に示す性能が要求される。

本工事では、これら要求を満たす湿式耐火モル

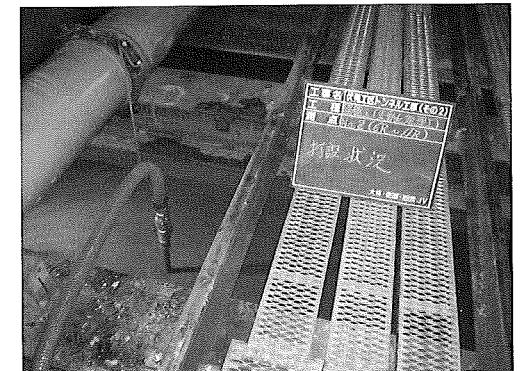


表-5 耐火性能の概要

項目	要求性能
耐火性(火災時)	最高温度はコンクリート350°C、鋼材300°C以下。地山側止水材の機能を保持する。有毒ガスなどが発生しない。
耐火性(火災後)	セグメントに有害な変形・損傷が発生しないこと。小規模火災に対する抵抗性を有する。
施工性	施工時にローリングなどが発生しても対応できること。
耐久性	排気ガス・車両走行による振動に対する耐久性を有すること。車両衝突時でも第三者に被害が及ばないこと。
維持管理	部分的な補修や交換が容易であること。

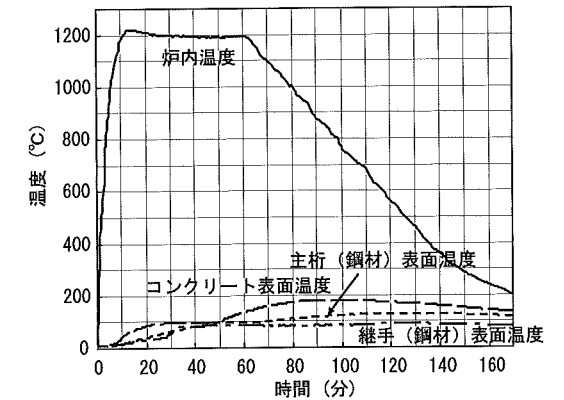


図-14 設計時間-温度曲線(RABT曲線)

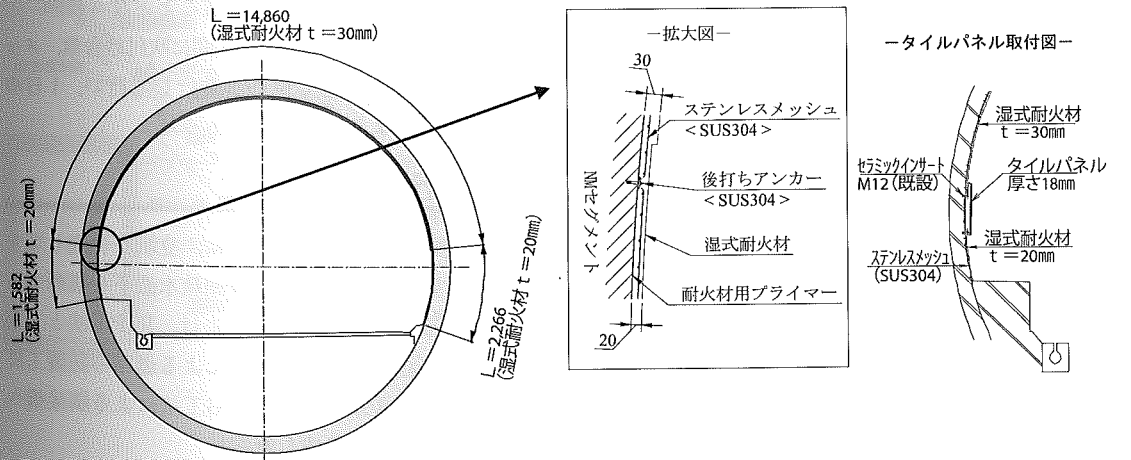


図-15 湿式耐火吹付け工施工断面およびタイルパネル取付図

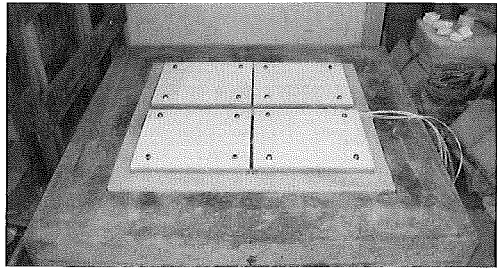


写真-9 側壁部用耐火実験供試体

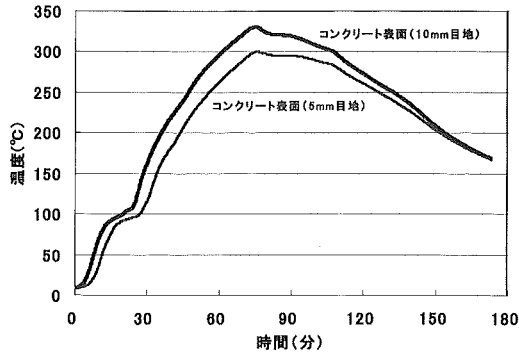


図-16 側壁部耐火実験結果

タルをセグメントに吹付ける工法を採用した。

材料・工法選定にあたっては、RABT(60)曲線を用いた材料の性能検討および施工性、経済性などを考慮した工法検討を行った。その結果を図-14に示す。実験には、NMセグメントと同様の構造形式の供試体に、一般部の吹付け厚さである30mmの耐火モルタルを吹付けたものを使用した。この結果、コンクリート表面温度ならびに鋼材部の温度はいずれも200℃以下に抑えることができた。

湿式耐火吹付け工の施工断面を図-15に示す。当工事では全周に吹付けを行い、その厚さを一般部では30mm、側壁部では20mmとしている。これは側壁部に設置したタイルパネル(厚さ18mm)と耐火モルタルとの空隙が耐火空気層となるため、写真-9に示す供試体を用いた耐火実験で検証した結果をもとに設定した。実験は、タイルパネルの施工誤差を勘案し、目地の間隙が5mm、10mmの場合について実験を行った。実験結果を図-16に示す。

なお、耐火材の剥落対策として、吹付け前にプライマーを施工するほかフェイルセーフのためス



写真-10 吹付け状況

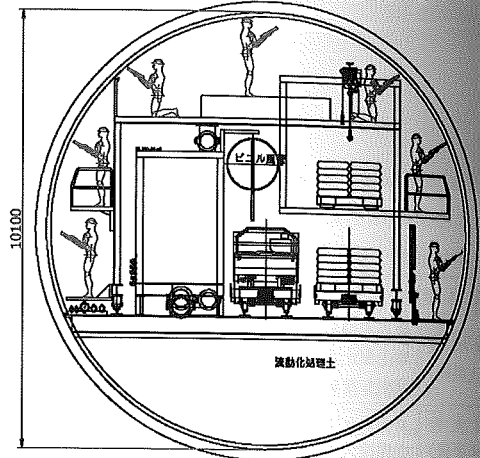


図-17 吹付け台車

テンレスメッシュを耐火材の中に設置する構造とした。また、全体工程短縮のため、トンネル完成後に施設工事として設置する照明灯具や誘導線、水噴霧配管などを添架する施設用共通金物も耐火吹付け工に合わせて設置することとなった。

施工は、掘進が完了した区間に吹付け台車、メッシュ台車を設置して掘進と並行して行い、1日の進捗はおおよそ9m程度であった。

### 6 近接施工

周辺の状況で述べたように、立坑を発進してすぐに重要構造物である琵琶湖疏水直下を横断することから、立坑発進到達部には、RJP工法と二重管ダブルバッカー注入工法による通常の防護工に加え、トンネルの南北にCJG工法による隣接橋への影響遮断壁を造成した。

また疏水管理者との協議の結果、掘進にあつ

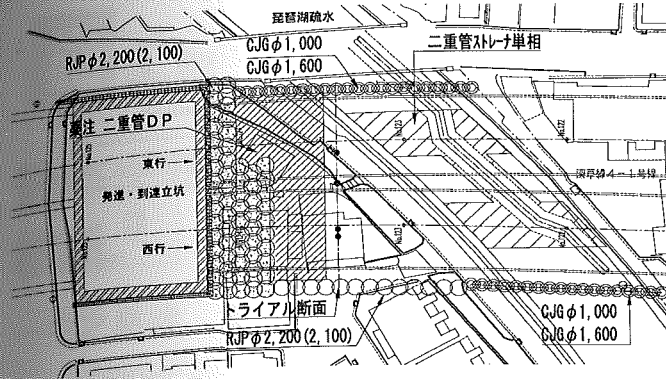


図-18 防護工平面図

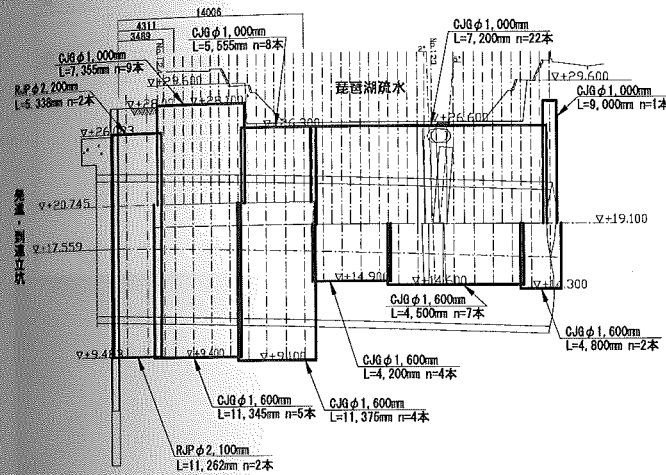


図-19 防護工縦断面図(北側)

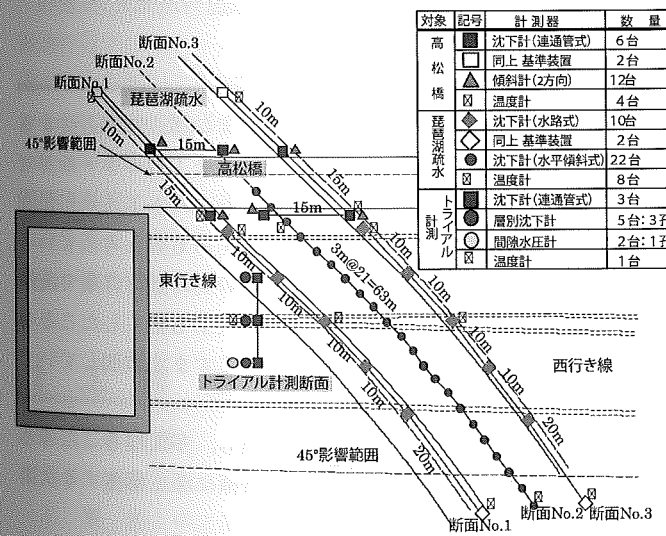


図-20 琵琶湖疏水部計測器配置図

ては、疏水本体の計測とともにトライアル計測を行うこととなった。これを受けて、琵琶湖疏水の底版と護岸、東行シールド北側直近の琵琶湖疏水を渡河している橋梁(高松橋)については自動計測器を設置した。図-20に疏水横断面部付近の計測器配置図を示す。

先行トンネルである西行線掘進に際しては、トライアル計測の結果をもとに切羽泥水圧、裏込め注入量・注入圧を設定した。掘進の結果、琵琶湖疏水河床版、琵琶湖疏水護岸での最終的な沈下量はそれぞれ3.2mm、0.1mmとなり(図-21)、一次管理値(±12mm)を十分下回る値であった。一方、東行線掘進でも西行線の掘進管理値を反映させ、琵琶湖疏水河床版、琵琶湖疏水護岸での最終沈下量は1.8mm、5.2mmとなり(図-22)、一次管理値以下に抑えることができた。なお高松橋については影響遮断壁の効果もあり、掘進による影響はみられなかった。

## 7 シールド掘進

### 7-1 掘進実績

シールド掘進の平均進捗は、西行線が月進145m、東行線が月進265mであった。西行線と東行線で月進に違いが生じたが、これは掘進時間の制限などによって、西行線は片番、東行線は両番で掘進したことによる。

西行線270Rおよび東行線170R付近での掘削時にシールドジャッキ推力が極端に上昇した。これはこの付近に存在する砂層とシールドとの間の摩擦力上昇、いわゆる胴締め現象が原因と推定されたため、リーマカッタを使用して摩擦力を減少させ、正常な掘進状態にすることができた。

また掘進中、長径400mmを越す巨礫

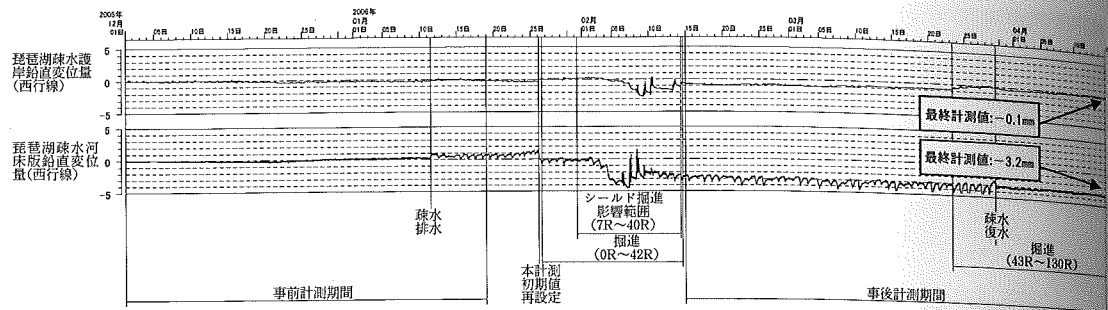


図-21 琵琶湖疏水鉛直変化量経時変化図(西行線)

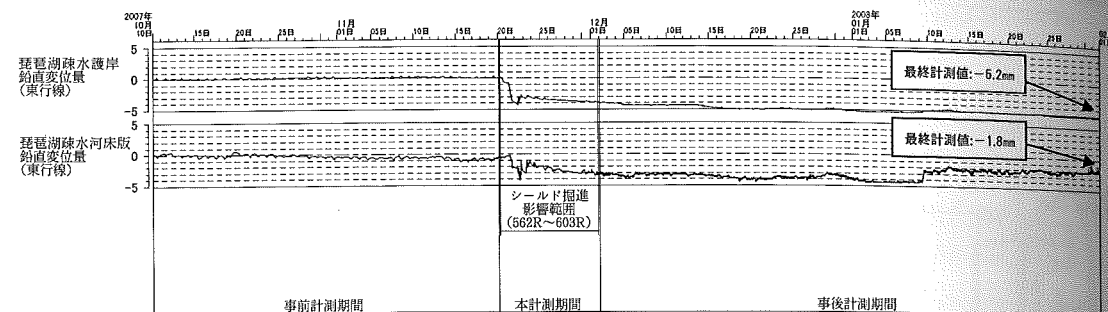


図-22 琵琶湖疏水鉛直変化量経時変化図(東行線)

表-6 施工数量

品目	西行線	転回部	東行線
フィッシュテール	1個	—	1個
強化型先行ビット	54個	78個	34個
センターカッタ	15個	—	15個
ローラーカッタ	50個	26個	27個
ゲージカッタ	3個	2個	3個
カッタビット	—	86個	—

がチャンバ内に入りこみ、排泥管閉塞を発生させたが、岩盤掘進用に装備したφ600mmの取込み管によって巨礫を排出し、機内クラッシャで処理することによって通常の掘進状態に回復することができた。

### 7-2 ビット交換

当工事では、岩盤、土砂を効率的に掘進するため、地山に応じてローラーカッタ、カッタビットなどを脱着、増設、交換した。実施位置は西行線、東行線の各路線途中に設けられた防護区間およびシールド転回部の合計3か所である。

施工数量およびビット磨耗状況を表-6および写真-11に示す。

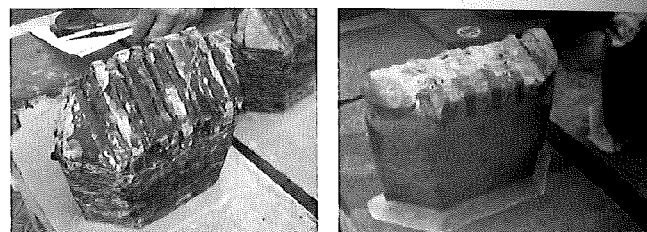


写真-11 ビット磨耗状況

## 8 おわりに

本工事のように、さまざまな構造物が近接するなかで、土砂地盤および岩盤を1台のシールドで連続して施工した実績は、シールド工法適用範囲の更なる拡大に大きく貢献するものと考えている。また、シールド掘進作業との同時並行作業で流動化処理土による路床工や耐火工も施工したことも工期短縮の観点から今後、ますます増加していくものと考えられる。

最後に本工事の施工に際し、多大なるご指導とご協力を頂いた関係者の皆様に深く感謝する次第である。

# 施工

## 最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断

### —中之島線 第6工区—

中之島高速鉄道(株)計画部調整課係長 西村 幹夫  
 京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部主任 定藤 誠一郎  
 西松・大豊・森本・オリエンタル白石共同企業体工事主任 山下 晋由  
 西松建設(株)土木設計部課長代理 大江 郁夫

## 1 はじめに

本工事は、京阪<sup>てんまほし</sup>天満橋駅から中之島駅(新設)に至る全長約2.9kmの地下鉄建設工事のうち、なにわ橋駅~天満橋駅間約600mを2機の泥土圧シールドにより鉄道単線トンネルを併設して構築する工事である。路線全体の特徴は本誌2008年3月号(Vol.39, No.3)に記載したので、ここでは割愛する。到達部(天満橋駅)が半地下構造であることから、到達付近では本トンネルの土かぶりは小さく、横過する土佐堀川で大阪府の横過基準に規定されている1.5Dかつ5.0m以上の土かぶりを確保できない計画であった。そこで、十分な事前協議の後、薬液注入工による対策工を提案し、河川管理者の承認を得て、泥土圧シールド工法にて1.0D以下の小土かぶりで河川下に2本のトンネルを併設施工した。

## 2 工事概要

### 2-1 工事内容

工事内容を以下に示す。  
 工事名：中之島新線建設工事のうち土木工事(第6工区)

発注者：中之島高速鉄道(株)

工事場所：大阪市北区中之島1丁目~中央区北浜東

工期：平成15年4月1日~平成21年3月25日

シールド：φ6.95m泥土圧シールド×2機

平面線形：最小曲率半径 R=250m

縦断線形：-10~+40%

施工延長：西行き線 L=535.9m、東行き線 L=607.0m

土かぶり：4.4~24.2m

セグメント：外径 φ<sub>o</sub>=6,800mm、内径 φ<sub>i</sub>=6,300mm  
 DCセグメント(標準型) 767リング  
 DCセグメント(中荷重型) 59リング  
 DCセグメント(重量型) 115リング

### 2-2 地質概要

トンネル施工位置は、大阪市の中央を南北に連なる上町台地の西側に位置し、上町台地を形成した上町断層と派生断層である桜川<sup>とうきよく</sup>撓曲に隣接して

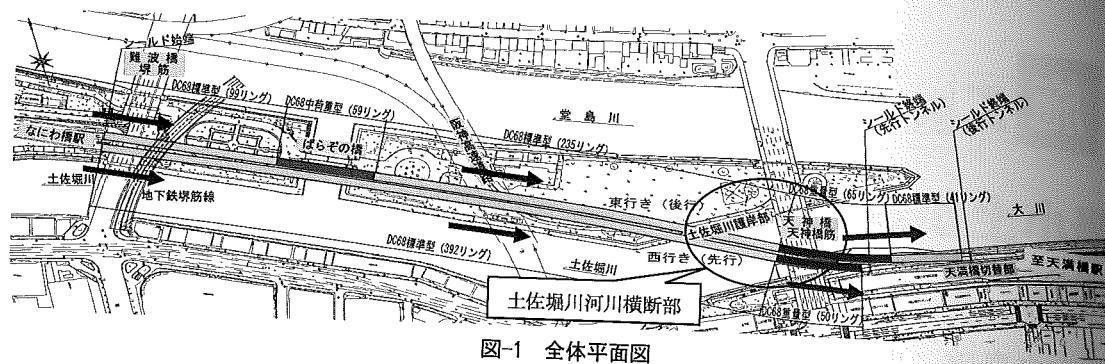


図-1 全体平面図

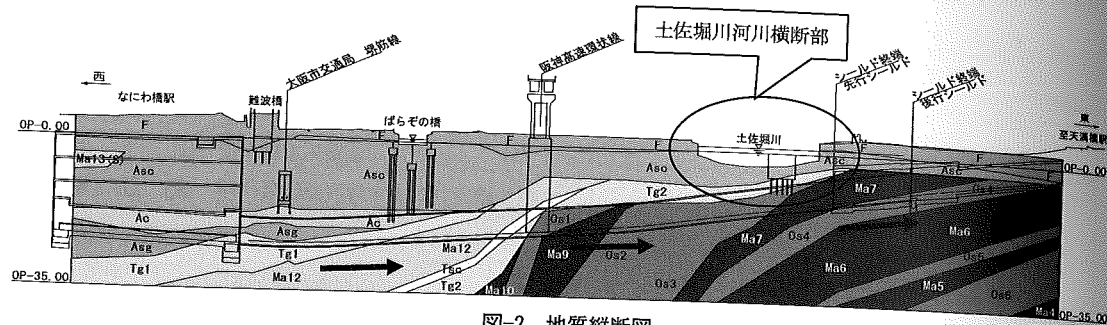


図-2 地質縦断面図

表-1 各地質の特徴のまとめ

地質年代	地層名	地質記号	記事
完新世	沖積層	砂質土優勢層	Asc
		粘性土層	Ac
		砂・礫互層	Asg
第四紀更新世中期	上部洪積層	第1礫質土層	Tg1
		Ma12層	Ma12
		砂・泥互層	Tsc
		第2礫質土層	Tg2
	大阪層群	第1砂質土層	Os1
		第2砂質土層	Os2
		第3砂質土層	Os3
		第4砂質土層	Os4

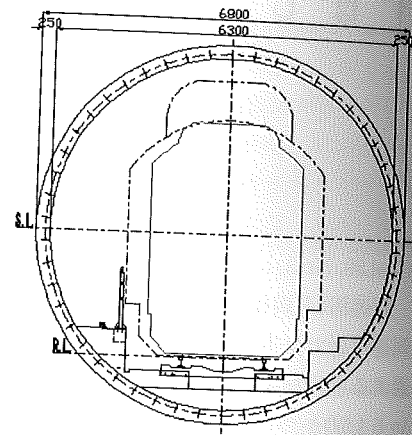


図-3 トンネル標準断面図

いるため、複雑な地層分布となっている。図-1に平面図を、図-2に工事発注後の追加調査結果を踏まえた地質縦断面図を、表-1に各地質の特徴を示す。

土佐堀川河川横断部では、シールド上部に、比較的緩い礫層であるAsc層とTg2層が出現する。

### 2-3 トンネル標準断面とセグメント

トンネル標準断面図を図-3に示す。

本工事では、上町断層を対象とした耐震設計の結果、コルゲートタイプDC(ダクティル鋳鉄)セグメント( $\phi=6,800\text{mm}$ )を全線に採用した。2-1節に示すように種別は3タイプあるが、河川横断部では土かぶりが小さいこと、到達部直前の隣接工区内でトンネル上部にある河川護岸を大規模掘削して上載荷重が除荷される計画であることから、3タイプのDCセグメントのうち、浮力対策として重量型セグメントを使用した。この重量型セグメントは1リングあたりの総重量が18,227 t/Rと、標準型セグメントの13,045 t/Rより5 t余り重いものである。

## 3 河川横断における課題とその対策

### 3-1 河川横断における課題

本工事の河川横断は計画河床(OP-3.00m)に対して最小土かぶりが4.4mであり、河川管理者である大阪府の河川横断基準(5mかつ1.5D以上の土かぶりを確保すること)を満たすことができなかったため、設計段階から中之島新線土佐堀川横断技術検討委員会(委員長:足立紀尚・京都大学名誉教授)を設立して検討を行った。その結果、密閉型である泥土圧シールド工法にすることにより河川横断は認められたが、シールドの施工について十分な検討を行うことが留意点として残った。

そこで、工事発注後、土佐堀川河川内において4本の追加土質調査を実施し、より正確な地質縦断面図(図-2)を作成したうえで、課題を整理した。

#### (1) 地中障害物

当該地盤では、径の大きい礫、古い橋の残置杭、旧護岸のガラなどが地中障害物として予想され、シールド掘進時にはスクリーコンベヤや土砂圧送ポンプに悪影響が生じる可能性があることから、シールドに工夫が必要と考えた。

#### (2) 切羽管理

土かぶりが小さいことから、土圧管理の上限値と下限値の幅が小さく厳密な管理が必要となる。このため、土圧の計測、土量管理、地山崩壊の把握など、きめ細かな管理ができるよう、シールドに工夫が必要と考えた。

#### (3) 裏込め注入工

0.66~1.0D程度の小土かぶり(最小4.4m)であるため、裏込め材が河床に逸走ないしは噴発する懸念がある。また、併設する2本のトンネルに作用する浮力により、トンネル周辺地盤に上向きの力が作用するため、裏込め注入工による影響と相まって地盤が不安定化する懸念がある。このため、十分な検討が必要と考えた。

### 3-2 シールドの工夫(課題(1),(2)への対策)

本工事の工法は泥土圧シールド工法で、シールド外径は $\phi=6.95\text{m}$ であった。河川横断に対する特殊装備を以下に列挙する。

#### 3-2-1 スクリーコンベヤ・バルクヘッドゲート

土質調査の結果、河川横断部での掘削対象土質であるTg2層にて $\phi 300\text{mm}$ 程度の礫を確認したため、先端をリボンスクリューとした。また、スクリー上面にハッチを設け、礫を除去できる構造とした。さらにハッチ開放時にチャンパ内の土砂が機内に流出することを防止するために、バルクヘッドゲートを設置した。実施工では約250mmの礫、ガラ、船舶のスクリューの残骸を確認したが、

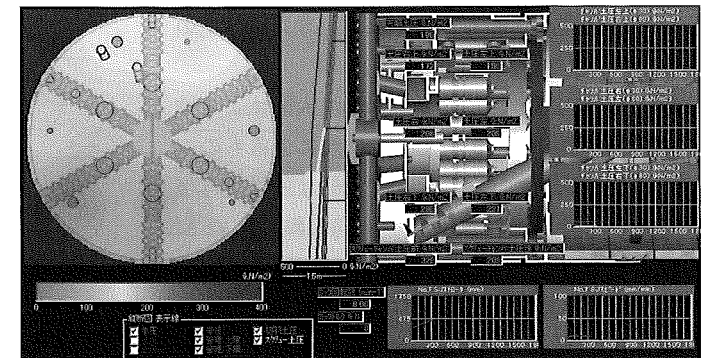


図-4 チャンパ内可視化システムモニター

スクリーコンベヤが閉塞することはなかった。

### 3-2-2 土圧計・チャンバ内可視化システム

チャンバ内の塑性流動化をより正確に確認するために、バルクヘッド上中下段の左右に計6個の土圧計を装備した。その内、3個は交換型としたが実施工では交換することはなかった。また、掘進中得られる土圧計の値を可視化するために、チャンバ内可視化システムを開発導入した(図-4)。

### 3-2-3 CV1バルブ

停止中の切羽土圧の低下を防止するためにCV1バルブを設置して、実施工においても常時使用した。

### 3-2-4 地山探査装置

油圧ジャッキ貫入式の地山崩壊探査装置を設置した。実施工では、地山の崩壊などは確認されなかった。

### 3-3 事前解析と補助工法の採用(課題(3)への対策)

FEMによる事前解析で地盤の塑性化状況を認識し、シールド天端から河床まで塑性化している場合には裏込め材が逸走する危険性があるため、門形の地盤改良工を採用することとした。

#### 3-3-1 解析方針

裏込め注入圧および浮力が地盤に及ぼす影響の程度を予測する目的で河川横断部のFEM解析を行った。解析方針を以下に示す。

① シールドトンネル周囲は砂質土層が主体であることから、シールド掘進に伴う周辺地盤の塑性の評価は有効応力で行うのが適切と考えた。このため、解析は砂質土層を有効応力、粘性土層を全応力として取り扱う見掛け上の有効応力解析とした。

② シールド施工に伴う裏込め注入圧による地盤への影響は、3次元的效果によるものである。本解析では、この3次元的效果を再現するため、トンネル縦断方向の軸対称FEM解析とトンネル横断方向の2次元FEM解析を組み合わせた解析とした。

③ 裏込め注入圧は、「水圧+0.1MPa」とした。トンネル位置地盤は帯水砂質土層であり、

解析上、水圧は入力していないため、有効裏込め注入圧は0.1MPaとした。

#### 3-3-2 解析ステップ

##### (1) 解析フロー

解析フローを図-5に示す。

##### (2) 応力解放率 $\alpha$ の算出

原設計では、2次元FEM解析において、全応力解析での応力解放率を10%としている。

本検討では見掛け上の有効応力解析を行うことから、全応力解析で10%相当の変位となる有効応力解析時の応力解放率 $\alpha$ を求めた結果、 $\alpha=38\%$ を得た。

なお、見掛け上の有効応力解析は、砂質土は土水分離、粘性土は土水一体として、図-6のように粘性土層の上下面に地下水圧を作用させた。

##### (3) 裏込め注入圧の有効率 $\beta$ の算出

###### 1) 軸対称3次元FEMモデル

トンネル軸芯を回転軸とした軸対称モデルとした<sup>1)</sup>。

モデルの左から右へシールドが進行する状態をモデル化し(図-7参照)、掘進を模擬してシールド長+1リング分の地盤要素を除去し、セグメン

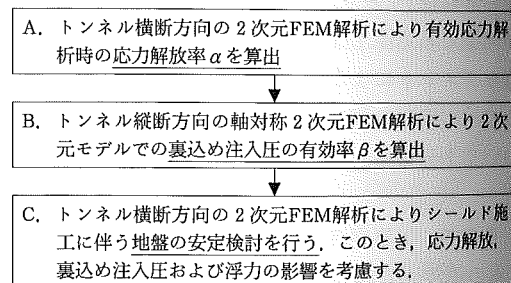


図-5 解析フロー図

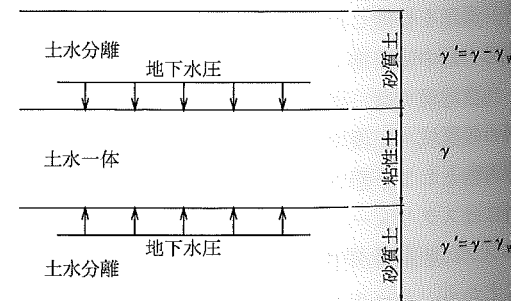


図-6 見かけの有効応力解析概略説明図

トを設置し、セグメント1リング幅(=1.2m)分に注入圧(0.1MPa)を載荷させた。このとき、シールド位置の地盤要素も削除するが、応力解放は行わないこととした。また、切羽部の支承条件は鉛直ローラーとした。なお、本検討では、裏込め注

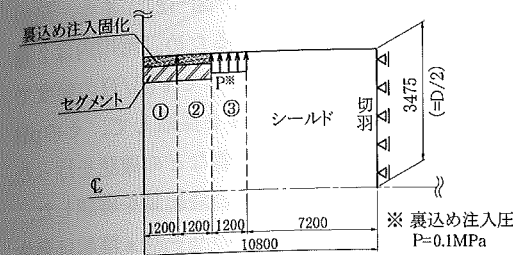


図-7 軸対称3次元モデル

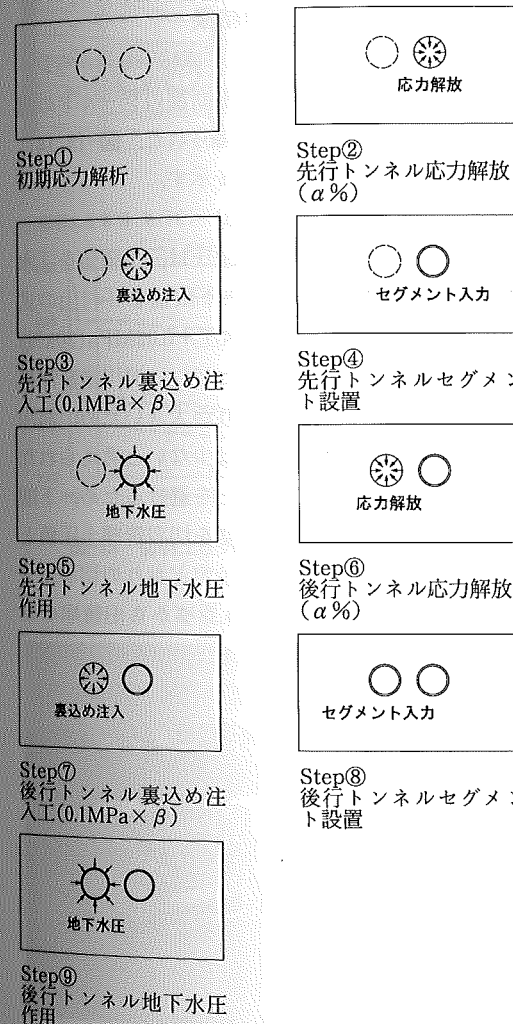


図-8 解析ステップ図

入圧荷時の地盤変位に着目することから、初期応力解析は行わないこととした。そして、1リング掘進、セグメント設置、裏込め注入圧を載荷することを、地盤変位が収束するまでくり返し行い、変位量 $\delta_1$ を算出した。

##### 2) 2次元FEMモデル

2次元FEM解析にて、裏込め注入圧0.1MPaを作用させた場合の河床位置最大鉛直変位量 $\delta_2$ を算出した。以上の結果から、裏込め注入による3次元効果を2次元に換算した裏込め注入圧の有効率 $\beta = \delta_1 / \delta_2 = 37\%$ を得た。

##### (4) 2次元FEM解析

図-8に解析ステップを示す。

#### 3-3-3 解析結果

##### (1) 解析モデル

図-9に2次元FEMモデルを、表-2に解析モデルの諸元を示す。

##### (2) 要素安全率による対策工の効果確認

解析結果のうちモール・クーロンの破壊基準で算定したStep⑨の要素安全率を図-10に示す。

無対策のモデルでは、要素安全率が1.0を下回る領域がトンネルから上方に広がり、河床につな

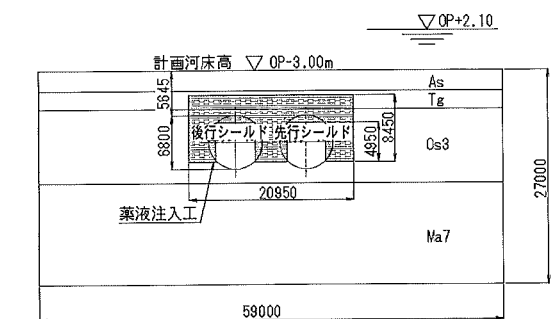


図-9 2次元解析モデル図

表-2 解析モデル諸定数のまとめ

土層	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (deg)	$E_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu$
As	18	8	0	33	17,500	0.30
Tg	19	9	0	32	16,500	0.30
Os	19	9	0	40	28,500	0.30
Ma7	17	-	86.9	0	18,200	0.45

※薬液注入後の粘着力を $C=80\text{kN/m}^2$ とした。また、参考文献2)をもとに変形係数は、原地山の1.5倍とした。

がることが判明した。一方、補助工法として薬液注入工を門形に改良したモデルの場合には、シールド周囲の要素安全率が1.0を上回る領域でカバーできた。これらのことから、薬液注入工の効果により裏込め材の逸走の懸念がなく地盤の安定性を確保できることを確認できた。

## 4 施工結果

### 4-1 補助工法(薬液注入工)

#### 4-1-1 試験注入工

前述の検討の結果決定した河川防護工(2重管複相式ストレーナー工法)の効果を確認するために、試験施工を行い、以下の項目を計測した。

- ① 粘着力：参考文献2)をもとに、 $N$ 値で改良地盤の強度増加を確認することとした。目標 $N$ 値( $N'$ )は $N' = 7\sqrt{N}$ とした( $N$ は原地山での $N$ 値)。
- ② 変形係数：坑内水平載荷試験にて、変形係数を確認することとした。目標変形係数は原地山の1.5倍である。

試験注入工の結果を図-11、表-3に示す。

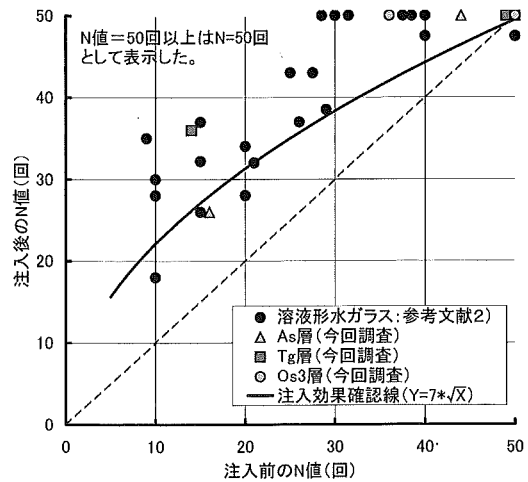


図-11 砂質土のN値の変化

表-3 解析で用いた変形係数と実測値の比較

土層	FEM解析改良部 (kN/m <sup>2</sup> )	改良部試験値 (kN/m <sup>2</sup> )	試験値/解析値
Tg層	24,800	41,300	1.67
Os3層	42,800	51,700	1.21
As層	26,300	31,400	1.19

### 4-1-2 本施工

本施工は平成17年12月～平成19年5月までの期間に、河川防護工460万ℓ、既設護岸防護工80万ℓ、計540万ℓの注入を行った。総注入量の約80%が河川内での施工であり、スパット台船・フロート台船を使用した(写真-1、図-12)。また、河川内への薬液の流出を確認するため、河川内は2重管にて施工し、日常管理として1回/日の頻度でシールド直上部の河床の砂を採取して、そのpHおよび目視で裏込め材の付着などの確認を行った。また、レベル測量で、河床の隆起量を確認した。結果として、河床への薬液のリーク・隆起は発生せず、無事に施工を終えた。

### 4-2 シールド掘進管理結果

河川防護工の施工を終え、平成19年3月からシールドの掘進を始めた。河川横断部のシールドの掘進に関しては以下の結果が得られた。図-13、14に先行トンネルの管理グラフを示す。

#### 4-2-1 切羽管理土圧(図-13)

河川横断部における管理土圧は、上限値を「水圧+0.1MPa(100kN/m<sup>2</sup>)」、下限値を「村山の式から換算した切羽土圧<sup>9)</sup>+水圧+0.02MPa(20kN/m<sup>2</sup>)」として計画をした。ただし、河川横断部掘進区間への進入部は土かぶりが大きいため、河川内への加泥材の噴出の恐れは少ないと考えられたが、大きな圧力がかかることを避けるため、下限値+0.03MPa(30kN/m<sup>2</sup>)程度を切羽管理土圧値とした。その結果、おおむね設定どおりの切羽圧で管理できた。ただし、417リングから旧護岸のコンクリートガラが混入し、若干ではあるが切羽圧にばらつきがでたため、毎リング掘削終了後にスクリーコンベヤ直後にあるP0ポンプホップの清掃を行い、影響を最小限とした。

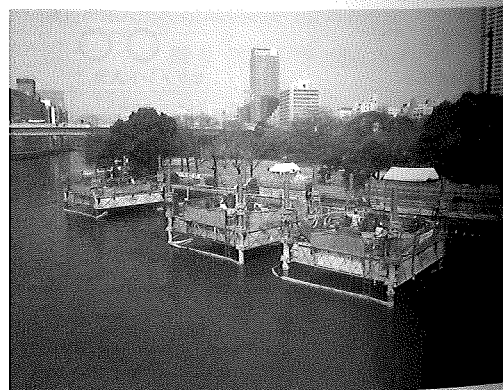


写真-1 河川防護工全景

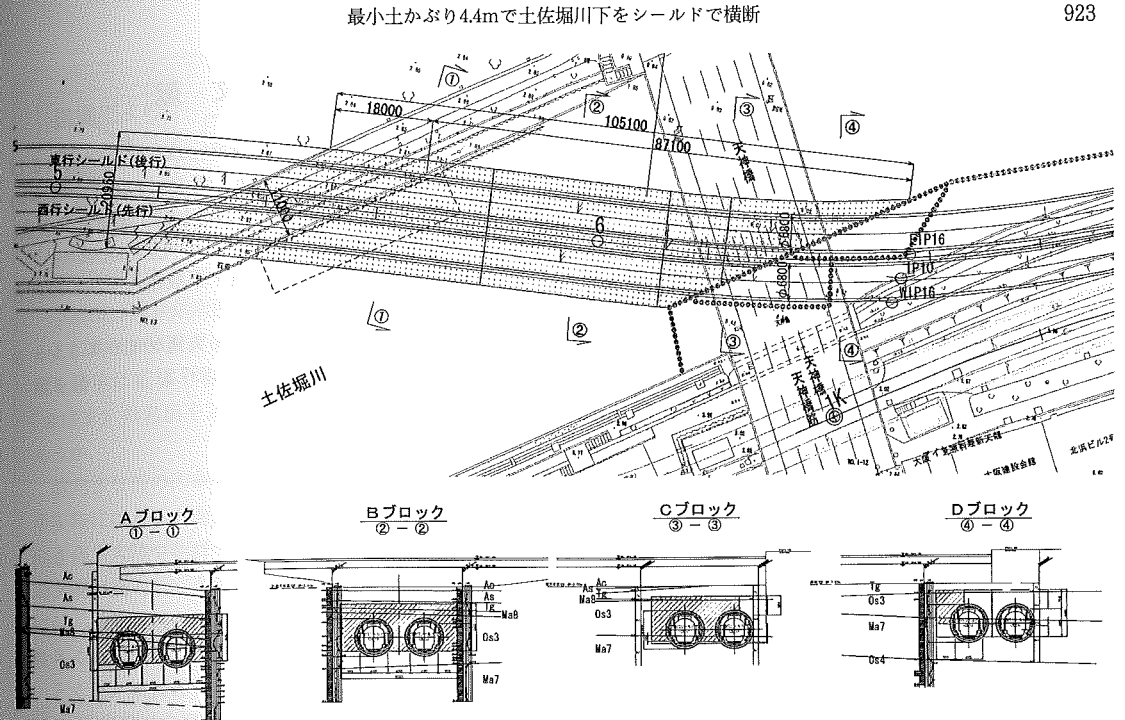


図-12 河川防護工全体図

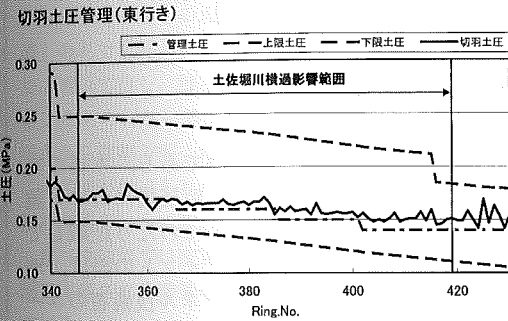


図-13 切羽土圧の管理実績(先行トンネル)

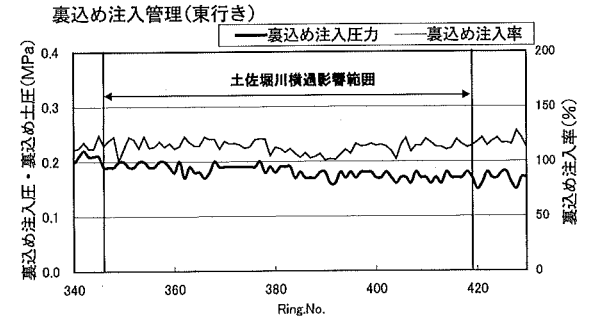


図-14 裏込め注入工の管理実績(先行トンネル)

ンクリートガラが混入し、若干ではあるが切羽圧にばらつきがでたため、毎リング掘削終了後にスクリーコンベヤ直後にあるP0ポンプホップの清掃を行い、影響を最小限とした。

#### 4-2-2 裏込め注入工(図-14)

裏込め注入材は、エア系材料とした。河川横断部の圧力上限設定値として「水圧+0.1MPa」とし、掘進管理データをもとに見直しを行うこととした。河川横断部では、補助工法があったため注入率は100～120%程度と小さめであった。

#### 4-2-3 掘削土量

流量計とγ線密度計で計測した結果、同一土質

に対しては過去10リング平均の±5%以内で施工できた。

#### 4-2-4 その他

土佐堀川右岸・左岸護岸の変位計測を行ったが、変状は小さく、施工を終えた。

## 5 おわりに

本工事は小土かぶりでの河川横断、複雑に変化する土層におけるシールド掘進、各種重要構造物との近接施工など厳しい施工条件下での工事であった。

しかし、本稿で述べたように、各種検討・掘進

管理を実施したことにより、河川横断部の河床などに対しての影響を抑え、無事に到達することができた。

最後に、本工事を施工するにあたり貴重なご指導ご助言をいただいた、中之島新線技術委員会の足立紀尚委員長および委員の方々、構造物管理者をはじめとする関係各位の方々に深く感謝の意を表するとともに、本稿が同種工事の一助となれば幸いです。

参 考 文 献

- 1) 橋本正・高見邦幸・中廣俊幸・八谷誠：切羽およびテールボイドの影響を考慮したシールドトンネルの地盤変形解析について、第23回土質工学研究発表会、pp.781-782, 1988.6
- 2) 柴崎光弘・下田一雄：最新・薬液注入工法の設計と施工、山海堂、1985.9
- 3) (社)地盤工学会：地盤工学・実務シリーズ3 シールド工法の設計から施工まで、1997.2

# 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 285頁 本体価格4,660円 円340円

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している。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・設計例も紹介し、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。

〔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○シールド掘進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定 4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変状防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際 付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画



〒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



## 「心やすらぐ美食の郷」御食国・若狭小浜より

水島正信

小浜市は福井県南西部、若狭湾のほぼ中央に位置する人口約32,000人の街である。最近では、某大統領候補を勝手に応援することを宣言したことで、初めて「おばま」の名前を耳にされた方も多いのではないだろうか。

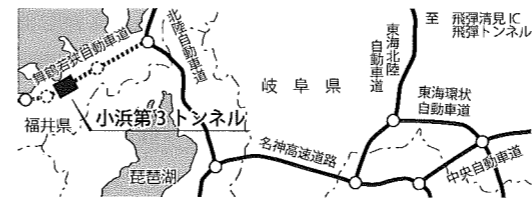
前向きな街の印象であるが、この地方の歴史は古く、平安時代に入ると海上交通の要地となり、海を隔てて向き合う大陸や朝鮮半島をはじめ、日本各地から多くの文物が流入し、京都と強く結ばれてきた地で、市内には、平安時代の仏像や鎌倉時代に創建された寺院が数多くある歴史の町でもある。

とくに、奈良時代以降、海の幸の宝庫として「御食国」(天皇家に食料を納める国という意味)という重要な役割を担ってきた。そのため、特産品としては鯖・カレイ・タイなどの海産物が多い。中でも鯖は「鯖街道」の名でも知られるように、代表的な特産品の一つで、焼いてよし、糠漬(地元では「へしこ」)でよしとこたえられない美味しさである。「鯖街道」は若狭地方から京都方面へ海産物を運んだ道の総称であるが、この名前が付けられたことから、若狭からの鯖が京都の台所をいかに賑わせていたかが伺える。

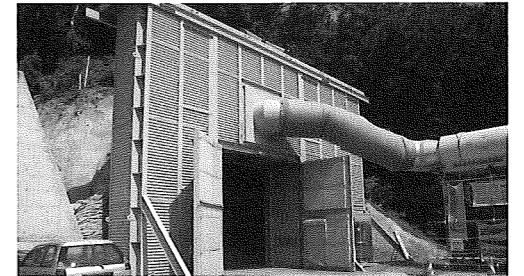
食べ物以外では塗箸が特産品である。ちなみに、全国で生産される塗箸の80%以上が若狭地方で生産されている。

また、小浜の歴史を物語るエピソードの一つを紹介したい。室町時代初期(1408年)に、將軍足利義満への贈り物を積んだ南蛮船が小浜港に到着した。その船には贈り物として象や孔雀、オウムなども積まれていて、小浜は日本で初めて象が上陸した街でもある。

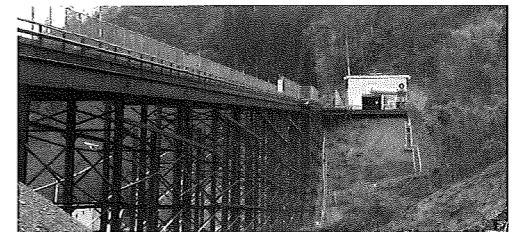
さて、そんな小浜市街を通る舞鶴若狭自動車道は、延長約162kmのうち、111.5kmが供用中で、平成26年



位置図



防音扉



入坑口全景

度の全線開通が予定されている。開通すれば関西圏から北陸圏にまたがる、物流や文化交流を担う広域ネットワークとして、まさに、現代の「鯖街道」としての役割が期待されている。

小浜第3トンネルは、小浜市の市街地から東へ約5kmに位置する、トンネル延長427m(工事延長912m)の高速道路トンネルである。本トンネルの施工にあたっては、工事周辺に希少動物のクマタカの営巣が確認されたため、坑口への高性能防音扉の設置や、場内照明にカバーを掛けるなどの対策を実施して周辺環境への配慮を行った。また、両坑口とも急峻な斜面に位置し、とくに入坑口部は高低差15mの栈橋を使用しての施工となったため、ずり搬出や資機材の搬入にあたっては、運転者教育の徹底など転落事故防止に努めた。

トンネルは昨年12月から掘削を開始し、本年7月初旬に無事貫通することができた。現在はインバート、覆工コンクリートを構築中であるが、より快適で高品質な現代の「鯖街道」を目指して、発注者・関係各位のご指導のもと、来年2月の無事故・無災害での竣工を目指し作業所一丸となって奮闘中である。

(東急建設(株)小浜第3トンネル作業所長)



## ■折渡トンネルのシールド

わが国で初めてシールド工法を用いた折渡トンネル(羽越本線・羽後岩谷～折渡間)については、この連載の第2回(2005年2月号)で、シールドの設計者である田中豊(1888～1964:鉄道省、帝都復興院を経て東京帝国大学教授)の業績とともに紹介したが、その一部が、このたび筆者の勤務する鉄道総合技術研究所(東京都国分寺市)で保存・展示され、マスコミにも取り上げられた。今から90年近くも前に製作されたシールド掘削機が、どのようないきさつによって鉄道総研で保存されることになったのか、誌上を借りてここに紹介してみたい。

## ■折渡トンネルの改築工事

1917(大正6)年に着工し、1924(大正13)年に完成した延長1,438mの折渡トンネルについては、すでに連載の第2回で触れているため詳細は省略するが、膨張性地山を克服するため、わが国で最初のシールド工法を採用することとなり、外径7.37m、長さ3.66m、重量86トンの手掘り式円形シールドが、鉄道院総裁官房研究所の田中豊により設計され、横河橋梁製作所((現)横河ブリッジ)で製作された(写真-1)。

それから半世紀ほどのち、羽越本線・酒田～秋

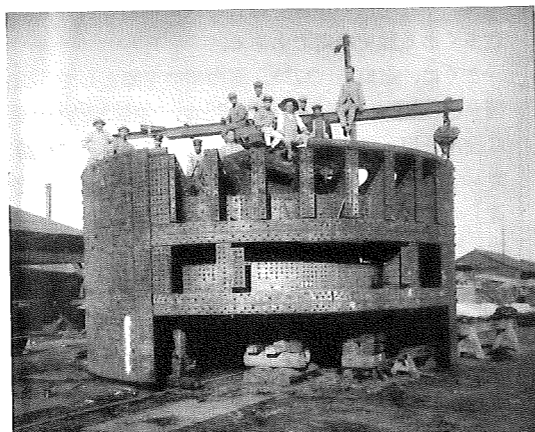


写真-1 横河橋梁製作所で仮組中の折渡トンネル用シールド(横河ブリッジ所蔵)

田間の複線・電化工事のため、新たに新折渡トンネルを掘削することとなり、1969(昭和44)年6月に着手した。新トンネル(現在の上り線)は、在来の折渡トンネルの東側に約30～100mの離れでほぼ並列して建設されたが、旧トンネルと同様に膨張性の泥岩に悩まされ、支保工の沈下量は60～90cm、側壁の押し出し量は30～70cmにも達した。このため、上半根固めコンクリートによる支保工の沈下防止、中間ストラット(鋼管)による上半支保工の補強、掘削断面の変更(馬蹄形→円形または卵形)などの対策工が実施された。延長1,705mの新折渡トンネルは、1971(昭和46)年に完成し、同年11月より線路を切り換えて使用を開始した。

一方、使用を休止した旧折渡トンネルは、建設時のシールドの姿勢制御が困難であったため、トンネル断面が偏心した状態のままであったが、電化断面の確保と併せてこれを改築・整正することとなった。トンネルの断面は、旧トンネルや新トンネルにおける工事経験にもとづき、円形断面を採用することとし、膨圧に備えて支保工もH-175を使用した。

今回保存・展示されたシールドの一部は、この断面改築の際に見つかったもので、シールド工法の施工終点のあたりを掘削したところ、厚さ約5cmのラス張りモルタルの内部から、シールド本体がその姿を現した。

## ■シールドの発掘と保存

当時の工事記録(稲葉紀昭・安藤登喜雄:膨張性泥岩地帯のトンネル改築, 鉄道土木, Vol.15, No.2, 1973)によれば、発見されたシールドは、路盤と側壁下部が欠落しており、あたかもアーチ部分を支える支保工のような状態で埋めもどされていたとされる。これは、シールドが計画断面よりも上向きで掘り進んだため、路盤部分を掘り下げて断面を確保したためと推定された。当初は、シールド部分も含めて断面を改築する予定であったが、掘削機を存置したままでも何とか電化断面を確保できることや、コンクリートが詰まっていた撤去が難しいなどの問題もあり、左側壁上部の刃先の一部を切り出すのみとした。ちなみに、折渡トンネルの改築工事は1972(昭和47)年に完成し、同年10月1日より下り線のトンネルとして使用を開始した。

こうして半世紀ぶりに発見されたシールドの刃先部分は、当時、神田須田町にあった交通博物館へ寄贈され、鉄道百周年を記念して、1972(昭和47)年から一般に公開された。その後、昭和50年代までは館内に展示され、国鉄に入社間もない筆者も、このころに現物を見た記憶があるのだが、館内が手狭になるとともに、いつしか姿を消してしまった。

結局、博物館に居場所がなくなってしまったシ-

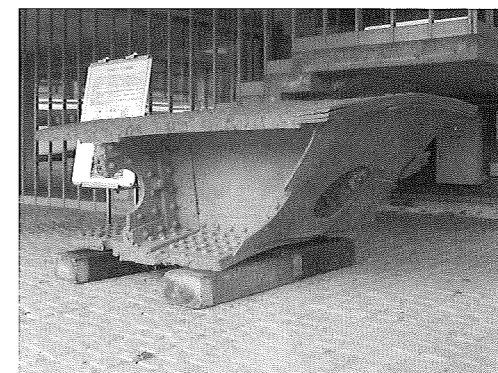


写真-2 鉄道総研で保存・展示された折渡トンネルのシールドの一部

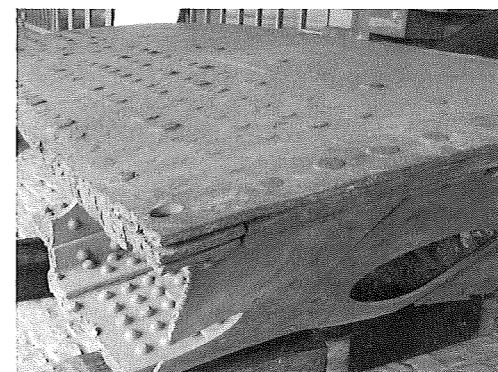


写真-3 皿鋸を用いて表面を平滑に仕上げたスキンプレート部分

ールドは、1985(昭和60)年頃に国鉄鉄道技術研究所へと引き取られたが、研究所でも展示する機会を失ったまま、実験施設の片隅で眠り続けていた。そして、2008(平成20)年9月、関係者の努力が実って鉄道総研の敷地内にある講堂の玄関脇に保存・展示され、ようやく日の目を見ることとなったのである(写真-2)。

展示されたシールド掘削機は、長さ2m、幅1.2mほどの大きさで、塗装なども当時のままである。3枚の鋼板を重ねたスキンプレートは、皿鋸を用いて地山側の表面を平滑に仕上げられており、製作時の苦勞の跡を偲ぶことができる(写真-3)。

かつて、鉄道総研の前身である総裁官房研究所で設計されたわが国最初のシールドが、そのゆかりの地に保存されたことは意義深く、わが国のトンネル技術の原点を示す貴重な遺産として、後世に伝えたい。

# 土木情報 No.426

今日の主な入札結果 (10月10日~11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	深川留萌自動車道留萌市藤山2号T	岩倉建設	747
関東農政局	大井川用水(二期)農業水利事業菊川左岸幹線水路1号・2号暗渠その1	掛川土建	141
"	" " 掛川幹線水路整備その7	梅林建設	150
"	神流川沿岸農業水利事業新児玉幹線その4	日起建設	174.8
関東地整	付替県道5号T	鹿島建設	876.9
中国地整	萩・三隅道路青海第1T外	大成建設	3,441.5
"	尾道・松江自動車道麻志T	大成建設	2,362
"	東広島・呉道路広石内T	大成建設	1,081
鉄道・運輸機構	九州新幹線(西九州), 俵坂T(西)他	前田・松尾・下JV	4,618.37
東日本高速道路	常磐自動車道鞍掛T補修	ケーエフシー	406
中日本高速道路	東名高速道路杉久保地区函渠工	間組	1,170
"	第二東名高速道路本宮山T	大林組	6,500
"	舞鶴若狭自動車道野坂岳T	銭高組	2,466
阪神高速道路	三宝第4工区(その2)開削T	大林組	2,592.68
青森県	(仮称)茂浦T	大日本土木・工藤由・ホリエイ・澤田JV	1,005.75
都・財務局	中央環状品川線五反田換気所下部	間・日本国土・西武JV	5,124
"	下水道管布設(20埋-1)	丸磯建設	298.5
"	" (20埋-2)	イチフジ	263
"	街路築造工事に伴う道路構造物設置(20北南-西東京3・2・6富士町)	熊谷・光JV	700
"	" ( " 東伏見)	佐藤工業・大日本・成和リニューアルJV	2,388
都・水道局	港区新橋四丁目23番地先~21番地先間配水管(900mm~300mm)移設	清水・青木あすなる・さとうベネックJV	206
"	金町浄水場高度浄水施設(三期)築造に伴う場内連絡管(2600mm)新設	熊谷・日本国土・奈良JV	2,360
都・下水道局	溜池幹線整備	森本組	784
"	鮫洲ポンプ所雨水貯留池その5	鹿島建設	281
"	中野区弥生町一丁目付近枝線立坑設置	鹿島建設	452
神奈川県	(県土経1-39)H20相模川流域下水道右岸処理場放流渠改築その1(公共)その16	日栄建設	209.66
愛知県	新川東部流域下水道事業管きょ布設(片場工区)	イチテック・秋吉・丸中JV	1,125
三重県	主地紀宝川瀬線地方道路交付金(桐原T・仮称)	日本土建・日本土木工業JV	733
"	道行竈地区県営ふるさと農道T	日本土建・中島JV	737
和歌山県	紀の川中流域下水道(那賀処理区)桃山幹線管渠(シールド)	久本・小池JV	516
"	" ( " )那賀幹線管渠(シールド)	村本・浅川JV	505
福岡県	県営広域営農団地農道整備事業京築3期地区H20起工第4号T	西松・石山・大幸JV	1,388.86
仙台市	高速鉄道東西線荒井T工区	ハザマ・五洋・徳倉・橋本JV	6,057.04
越谷市	調整池整備(地下貯留工)	池中建設	117.5
品川区	戸越幹線貯留管中流部整備(シールド工)	五洋・浅川JV	1,450
横浜市	栄処理区平戸第二雨水幹線下水道整備(その3)	不動テトラ・南海長村JV	449.2
"	南部処理区井土ヶ谷地区下水道再整備(その14)	岳南建興	147.37
"	都筑処理区本村地区下水道整備(その26)	岡田建設	106.46
川崎市	登戸1号雨水幹線その4	藤木・吉孝JV	468
横須賀市	5工区平成排水区汚水第1幹線築造	東海興業	126.9
名古屋市	守山区喜多山二丁目から大森一丁目地内間東北共同溝1800mm春日井送水幹線入溝	日本国土・安井JV	600
"	守山区大森一丁目から元郷一丁目地内間東北共同溝1800mm春日井送水管入溝	大和小田急・村上JV	512.62
"	山崎川左岸雨水幹線下水道築造(その2)	大鉄・服部JV	483
"	狩留家地区下水道築造20の32号	鉄建・広成JV	1,251
広島市	中部BP第2幹線(1工区)	鹿島・カナックJV	1,293.14
高松市			

## 研究

# 高品質吹付けコンクリートによる単一覆工構造に関する研究

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局技術管理課長 登坂 敏雄  
(株)レールウェイエンジニアリング技術部担当部長 阿部 敏夫

### 1 はじめに

一般に、トンネル空間を保持するのは、トンネル周辺の地山が持つ支保機能であり、この地山の支保機能を有効に発揮させるために、吹付けコンクリート、ロックボルトおよび鋼製支保工などの支保工が地山の状況に応じて施工される。その後、覆工コンクリートが施工されるが、内空変位測定などのデータにもとづき、地山の変位が収束したことを確認したうえで施工されることから、基本的に覆工コンクリートは外部荷重を受け持たない構造物である。

したがって、支保工としての吹付けコンクリートの機能が覆工コンクリートと同等ならば、覆工コンクリートを省略して、吹付けコンクリートを永久構造物とすることは可能と考える。覆工コンクリートが省略できれば、覆工コンクリートの施工費のみならず、トンネルの掘削断面を小さくできることから掘削費の縮減や全体工期の短縮によるトンネルのコスト縮減に多大な貢献を果たすことができる。本稿では、このような覆工コンクリートを省略する形態を「覆工の単一構造」と呼ぶ。

わが国における覆工の単一構造の適用例としては、鉄道トンネルには事例がない。作業用トンネルにその事例が見られるのみである。鉄道以外では、道路トンネルおよび水路トンネルに事例が見られる。

本稿では、覆工の単一構造の適用にあたり、評価方法および標準的な設計について述べている<sup>1),2)</sup>。

### 2 覆工の単一構造化に対する基本的な考え方

#### 2-1 吹付けおよび覆工コンクリートの構造

トンネルで山岳工法を採用する場合、覆工コンクリートは、特殊な条件下を除き多くは設計計算を行わず、経験則から定めた基準などにより施工される。新幹線建設においては、鉄道・運輸機構が制定した『山岳トンネル設計施工標準・同解説』にもとづき、覆工コンクリートの標準巻厚は、一般地山で30cm、特殊地山では30cm以上と定められている。実務においては、特殊な条件下を除き、ほぼ30cmの巻厚で施工されている。この場合の覆工コンクリートは無筋コンクリートで施工され、打設時期は原則として計測により変位の収束が確認された後、となっており、力学的機能を付加させない構造物としての意味合いが強い。

覆工コンクリートの設計荷重が考慮されるのは、都市トンネルに多い土かぶり小さい未固結の地山、地形的に大きな偏圧が想定される場所などの特殊な条件下のトンネルに限られ、それらは本研究では覆工の単一構造化の対象から除外する。

一方、吹付けコンクリートは、ロックボルト、鋼製支保工とともに掘削時の荷重を直接受ける重

要な支保メンバーである。吹付けコンクリートの厚さは地山等級により異なり、標準で5~20cm程度と定められている。

### 2-2 吹付けコンクリートの健全性の評価手法

吹付けコンクリートを永久構造物として用いる場合、従来の掘削による荷重を受け持つ一次支保としての機能と永久構造物としての覆工コンクリートの機能を併せ持つ必要がある。このため作用荷重に対して十分な耐力を有し同時に覆工の単一構造体の安全性を評価する簡単な管理手法が必要となる。

そこで筆者らは、ほぼ20~30mごとに測定されるトンネル内空変位の結果と目視観察によって得られた、吹付けコンクリートがダメージを受けた箇所との関連を求めることとした。

使用する内空変位データは、上半切羽直近から比較的安定した測定ができる天端沈下とスプリング付近の水平内空相対変位とした。

まず、坑内の吹付け面の観測結果から吹付けコンクリートが、クラックあるいは肌落ちなどのダメージを受け始めたと考えられる天端沈下量と水平内空相対変位量を入力値として逆解析を行う。解析結果から吹付けコンクリート応力と弾性係数の比 $\sigma/E_c$ が求められる。ここで、吹付けコンクリートに作用する最大応力を吹付けコンクリートの破壊強度とすることにより、これに見合う吹付けコンクリートの構造体としての見掛けの弾性係数 $E_c$ が定まる。この $E_c$ を用いることにより任意の天端沈下量と水平内空相対変位量に対する吹付けコンクリート応力を求めることができる。

これらから、許容応力度に対する天端沈下量と水平内空相対変位量を求めることにより、覆工の単一構造に対する適用範囲を決定できる。

単一構造の適用範囲は、従来行われてきた日常管理の中で決めるため、新たな計測などの判断業務が発生しない。

2-3 覆工の単一構造の適用方法と標準設計  
新幹線トンネル断面を例に覆工を単一構造とした時の標準断面図を、図-1に示す。覆工の単一構

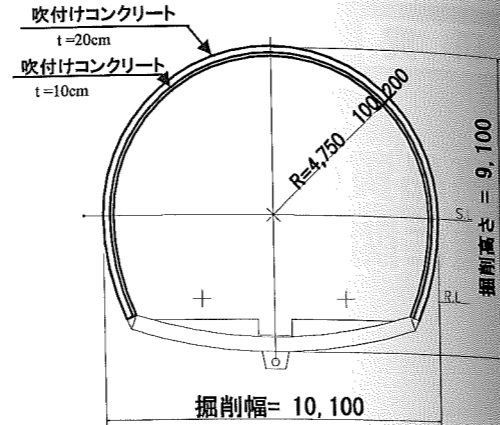


図-1 覆工の単一構造標準断面図

造は、側壁およびアーチ部分が対象となりインバート部は含まない。掘削断面は、従来の標準断面に比べて幅で40cm、高さで20cm程度縮小される。掘削時の支保の考え方はNATMの標準施工と同様である。吹付けコンクリートは通常の吹付け厚さで施工される。掘削終了後、変位の進行がないことを確認した後、覆工の単一構造では、10cm程度の仕上げ吹付けを施工し安全率の向上を図る。

覆工の単一構造の適用する手順は、トンネルの事前調査が終わり施工計画の段階の判断で、地山が良好であり膨張圧あるいは偏圧の恐れがなく内空変位が適用範囲内に十分収まることが見込まれる場合は、縮小断面で掘削される。しかし、当初から覆工の単一構造を見込むには、地質に不確定要素があるなど、判断材料が不十分と考えられる場合には、通常の掘削断面で掘削される。この場合、掘削終了後の計測の結果で、変位が適用範囲内に収まり、しかも、目視観察で適用が可能と判断される場合は、単に覆工を省略することになる。いずれの場合も大きなコスト縮減が図られる。

## 3 高品質吹付けコンクリートの物性

### 3-1 強度特性

鉄道・運輸機構は1997年以來、トンネル工事において、高品質吹付けコンクリートHQSC(High-Quality Shot Crete)をトンネルの支保部材として採用してきた。現在までにHQSCは120を超え

る現場に適用され使用されている。

強度特性を表-1に示す。日常管理に使用するため、現場から直接採取した約9,000個のコア試験結果を見ると、設計基準強度18MPaに対して平均強度は27.2MPaと大きな値を示す。また、変動係数は平均8.6%と小さく安定した強度特性を示している。これを土木学会の基準に当てはめると設計基準強度は23.3MPaと高い強度となることがわかる。

### 3-2 長期耐久性

吹付けコンクリートを永久構造物として使用するためには、長期耐久性を検討する必要がある。しかし、長期にわたる使用実績が少ないため、耐久性を検討した事例が極端に少ない。ここでは、青函トンネルで現在も継続実施されている、現地からのサンプリングによる確認試験から耐久性を検討する。

現在、営業線が走行する本坑には、覆工コンクリートが施工されているが、サービストンネルの

表-1 日常管理強度の実績

種別	目標強度	平均強度	標準偏差	設計基準強度*
3時間	1.5	2.4	0.5	1.7
24時間	8.0	11.1	1.5	8.7
28日コア	18.0	27.2	2.4	23.3
28日管理	18.0	34.1	3.0	29.0

単位：(N/mm<sup>2</sup>)

\*：土木学会定義

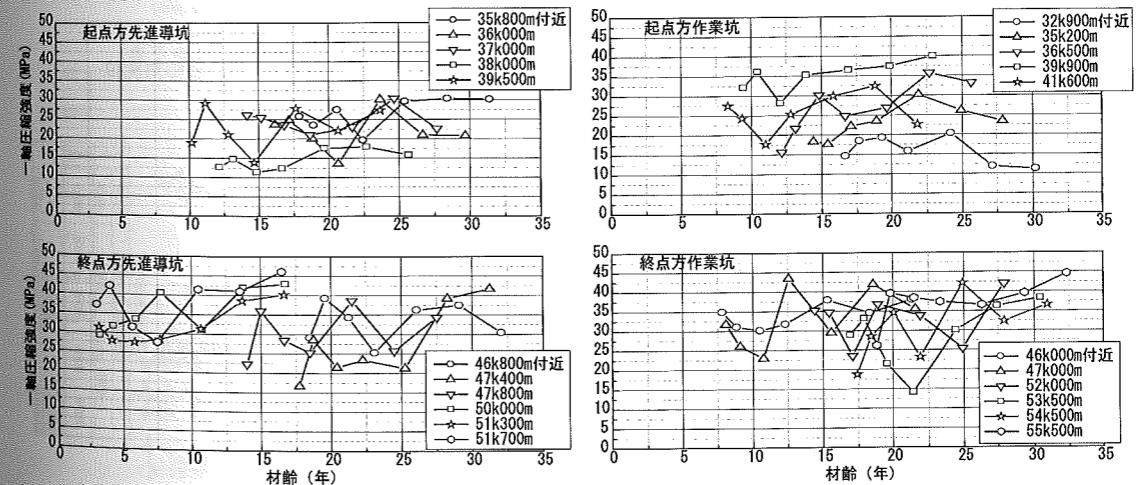


図-2 吹付けコンクリートの長期耐久性試験結果

先進導坑と作業坑については、覆工コンクリートが省略され、吹付けコンクリートを永久覆工としている。このため、耐久性試験は両坑を利用し実施されている。

坑道ごとにまとめた一軸圧縮試験の結果を図-2に示す。試料は昭和44年に施工された箇所もあり、一番長い材齢は32年を超えている。

試験結果から強度は、坑道ごとに使用材料の違いがあればつきが認められる。しかし、各坑道の力学的な長期耐久性を見ると、いずれも経年による一軸圧縮強度の低下はなく、耐久性が維持されていることがわかる。

施工箇所が海底下と良好とは言えない環境下において、吹付けコンクリートは長期耐久性を維持している。ここで長期耐久を検討した青函トンネルの吹付けコンクリートは、わが国にNATMが導入される以前からのものであり、現状では、吹付け材料および配合とも大きく改良が加えられ、前章で述べたように高品質吹付けコンクリートとして安定した強度特性のもと広く使用されている。

## 4 支保構造体としての変位特性と健全性

通常の地山管理に用いられる計測Aは、主に天端沈下とスプリング付近の水平内空相対変位測定を中心に複数の内空変位測定を組み合わせて用い

られる。これらは掘削切羽近傍では支保および補助工法の適否、覆工コンクリートについては打設時期などの判断材料として使われている。このため計測は地山の性状にかかわらず20~30mの比較的短い距離間隔で、しかも変位が収束されるまで計測される。このような関係から、ここでは吹付けコンクリートの本設構造物への適用範囲を検討する基礎資料としてこれを用いることとした。

ここで用いた計測データは、現在建設が進められている北陸新幹線、長野~富山間でもっとも長い延長22,225mの飯山トンネルのうち掘削が終了している21,498mのデータを使用している。

#### 4-1 地質および施工概要

飯山トンネルの地質は図-3に示すが、新第三紀~第四紀下部更新世に形成された新潟堆積盆地で、北部フォッサマグナが海進・海退をくり返しながらい積した堆積層の一部である。

トンネルに出現した地質のうち、最下部を構成する寺泊層は、暗灰色の泥岩を主体とする、まれに中粒砂質凝灰岩を挟む海盆底堆積物である。椎谷層は、主として暗灰色の軟質泥岩からなる海盆底-陸棚斜面の堆積物である。西山層は、灰緑~暗灰色の塊状泥岩で構成される。灰爪層は、新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて堆積したとされ、細~中粒砂・砂質シルト・砂泥互層からなる。小国層は、礫岩・砂岩・泥岩・火砕岩で構成され、堆積環境が海成から陸成へと変化している。

このように、地質は、長大トンネルということもあり、一様ではなく変化に富む。また、土かぶり

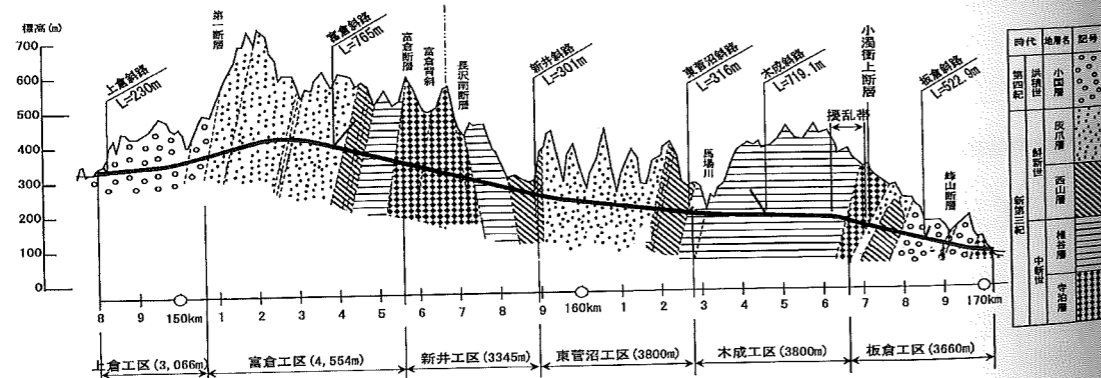


図-3 飯山トンネル地質縦断面図

りも0~最大332mと小さな土かぶりから大きな土かぶりまで存在する。このような多様な施工環境を反映して、測定データも水平内空相対変位で、数十mmの小さな変形量から500mmにも及ぶ大きな変位まで計測され、データを整理するうえで好ましい環境を与える。吹付けコンクリートの健全性を内空変位で評価する場合、施工法の影響を受けると考えられる。例えば、上半支保の脚部の沈下が小さいサイロット工法と脚部の沈下が通常の現象として起こる上半先進工法とでは、評価が異なることが考えられる。ここで用いた施工法は、ミニあるいはショートベンチカット工法が主体となっている。吹付けコンクリートの厚さについては、15cmと20cmで施工されたものが大半を占め、ほぼ同数程度の割合となっている。

#### 4-2 吹付けコンクリートの健全性

図-4に水平内空相対変位と天端沈下の関係に坑壁の観察から評価された吹付けコンクリートの健

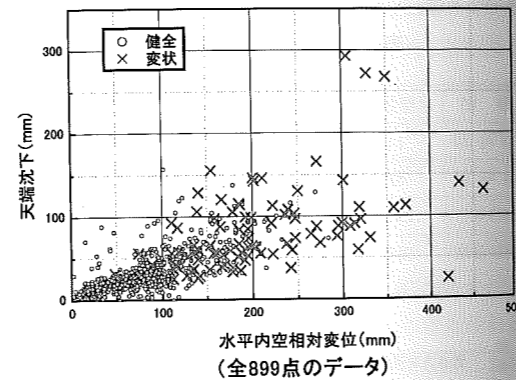


図-4 天端沈下と水平内空相対変位

全度を示している。図中○印は健全と報告されたデータであり、×印は吹付けコンクリートにクラックなど何らかの変状が報告された箇所を示している。図から明らかなように吹付けコンクリートには内空変位が大きくなるに従い変状が現れることがわかる。しかし、健全な範囲と変状を示す範囲に明確な境界はなく、内空変位が進行するにしたがって吹付けコンクリートは徐々に健全性を失い変状状態へと移行する様子がわかる。これらの点を明確にするため、内空変位を区間分けし、その範囲の全データに対する変状状態の比率を求めた。また、吹付けコンクリートの変状は、天端沈下に起因する場合と水平内空相対変位に起因する場合とがあり、両者は分離し整理する必要がある。

データの整理にあたり、水平内空相対変位と天端を比較して、前者が大きいグループと後者が大きいグループに分類した。この時、坑壁変位で見

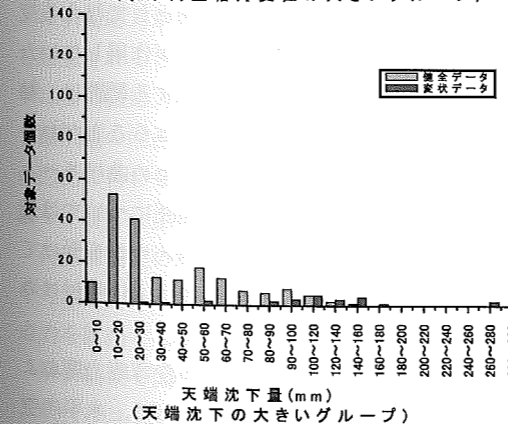
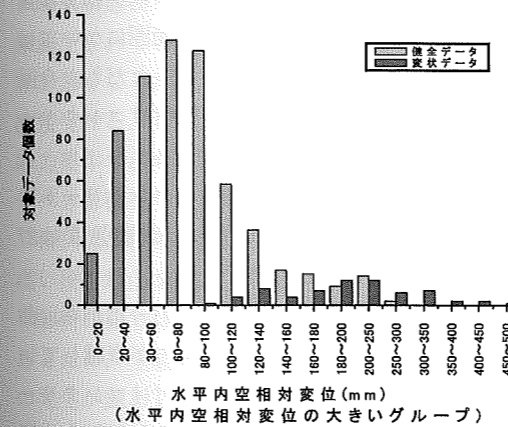


図-5 内空変位と吹付けコンクリートの変状

た場合、水平内空相対変位は天端沈下の2倍になる点を考慮して分類整理した。

それぞれの結果を図-5に示す。

図から水平内空相対変位で100mm、天端沈下で50mm以内は、ほぼ健全なデータで占められることがわかる。坑壁変位で見ると水平内空相対変位は天端沈下の2倍となることを考慮すると健全性が失われる点はほぼ一致する。さらに、データの多い水平内空相対変位で詳細を確認すると次のようである。

吹付けコンクリートがダメージを受けるのは、100mm以下では数%に止まるものが、それを超えると変状の確率は急激に増加し、300mmを超えるとほぼ全数変状状態へと移行する。これらの結果から吹付けコンクリートの健全性は水平内空相対変位で100mmまでは保たれると評価できる。

ここでの結論は、新幹線トンネル断面による計測結果から評価している。断面および形状が異なる場合は、数値解析を利用し再評価することが考えられるが、現状では、それぞれについて本稿で示す計測による評価が必要と考える。

### 5 単一構造としての適用範囲

#### 5-1 物性評価

支保構造物としての吹付けコンクリートの物性は、材齢28日の単体の物性に比べて低く評価する必要がある。

これは、変位の発生が一部、時間依存性の強い特殊な地山を除き、掘削点から比較的短い距離で収束することに起因する。支配的な変位の発生が鏡面から2D程度までと考えると、新幹線トンネル断面でも2~5日程度で掘削される場合が多く、吹付けコンクリートは極若材齢時にその変位の影響を受ける。また、乾燥収縮などによる見掛けの剛性の低下もある。

さらに、トンネルはショートベンチなどの分割断面で掘削される場合が多いが、脚部の沈下による「とも下がり」あるいは閉合前の抵抗力が小さいことによる変位が通常の現象として現れることなどが、構造物としての吹付けコンクリート

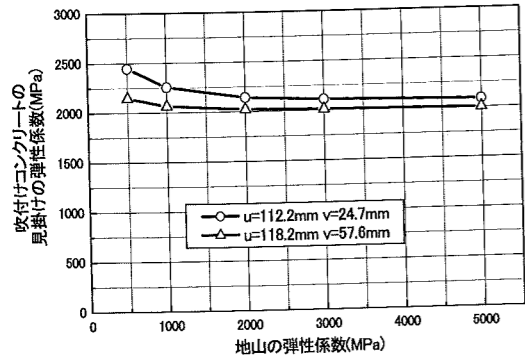


図-6 地山の弾性係数と吹付けコンクリートの見掛けの弾性係数

の剛性は低く評価する必要がある。

ここでは、単一構造として用いる吹付けコンクリートの剛性を、強度と内空変位および変状の関係から求める。

吹付けコンクリートがダメージを受け始めた実際のデータを用いて、そこで最大応力が破壊強度27MPaに達したと仮定し、逆解析によりそれに見合う見掛けの弾性係数を図-6のように求めた。

この図から、内空変位が同一であっても、吹付けコンクリートの弾性係数は周辺地山の剛性が増すにしたがって小さくなる傾向を示すことがわかる。しかし、その減少幅は小さく、しかも、覆工の単一構造を適用する地山は、比較的良好な地山に限定される点を考慮すると、吹付けコンクリートの剛性は、周辺地山の剛性の影響を考慮する必要はなく内空変位のみで評価できることがわかる。結果的に吹付けコンクリートの健全性も周辺地山の剛性の影響を受けずに評価される。

覆工の単一構造の適用範囲の決定に用いる、吹付けコンクリートの見掛けの弾性係数は、比較的剛性の低い地山の場合でも2,500MPa程度に見込めばよく、現実的な適用範囲を硬岩として考えるなら、吹付けコンクリートの見掛けの弾性係数は2,200MPa程度となる。いずれにしても大きな差はないことがわかる。

### 5-2 覆工の単一構造の適用範囲

飯山トンネルの計測結果から、トンネルの内空変位が100mmを超えると変状が現れ始め300mmを超えると変状へと移行する。このため、変状の始

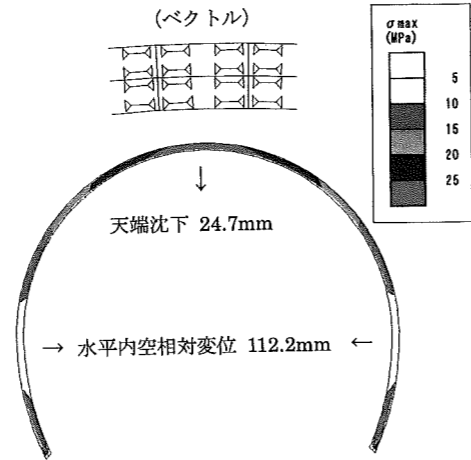


図-7 吹付けコンクリートの応力分布

る時点で吹付けコンクリートがダメージを受けるとすることにより安全側に設定される。さらに許容応力度を設定し、これにより設計することで安全率の確保を考えた。

覆工の単一構造体の範囲にインバート部分は含まない。また、端部の応力集中の範囲については応力の検討の対象範囲から除いた。ただし、今回の調査結果ではこの範囲を含み吹付けコンクリートの変状状態を調査し判断している。

適用範囲の計算に用いた吹付けコンクリートの見掛けの弾性係数は2,200MPa、破壊強度は27MPa、許容応力度は23MPaとした。

解析結果を図-7に示す。図の応力分布から、曲げモーメントの影響は少なく、軸力が卓越している様子がわかる。このことは、吹付けコンクリートは形状が薄く、さらに適用範囲として与える変位も小さい。しかも、極端な偏圧が作用しないため、覆工の単一構造体として適用する範囲は、軸力が卓越する安定した応力状態になることがわかる。ただし、端部には応力集中のため曲げモーメントの発生が認められる。この範囲については最終的に目視観察で確認し、もしダメージを受けている場合は、その部分のみ最後の仕上げ吹付けの際に吹き直す程度で良いと考える。

次いで、吹付けコンクリートが許容応力度および破壊強度に達する分布を求めるため、水平内空相対変位および天端沈下の変位量を変化させ、解

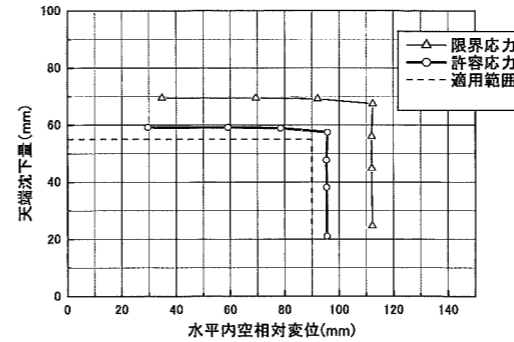


図-8 覆工の単一構造の適用範囲

析的に適用範囲の設定を試みる。解析結果を示すと図-8のようである。図から覆工の単一構造体の許容応力度に対する適用範囲は、水平内空相対変位と天端沈下で、それぞれ90mm、55mm以内と設定できる。

## 6 平滑性に対する検討

永久構造物としての吹付けコンクリートは、従来施工されてきた覆工コンクリートに比べて、厚さが薄くなるため、トンネル壁面の凹凸の影響を直接受ける。このため、この凹凸によって生じる応力集中などの問題が吹付けコンクリートに考慮すべき影響を与えないか調べておく必要がある。

検討は、覆工コンクリートを省略する可能性が高い硬岩地山を対象とした。

解析結果では、解析対象が比較的良好な地山であるため、全般にわたり大きな変位および塑性域の発生が認められない。また、吹付けコンクリートに引張応力がどのように作用するのか、もっとも懸念される場所であるが、吹付けコンクリートには引張応力の発生が認められなかった。

掘削面の凹凸に対する検討は、吹付けを掘削面の凹凸に合わせ、一定の厚さで仕上げる場合と表面を平滑に仕上げる二つのケースについて行った。荷重は前述の解析結果における壁面の応力発生を考慮し、モデル側方からその分布に合わせて節点力を該当する節点に与えた。

解析結果を図-9に示す。

吹付けコンクリートを地山の凹凸に沿い厚さを変化させずに施工したケースでは、地山条件を変

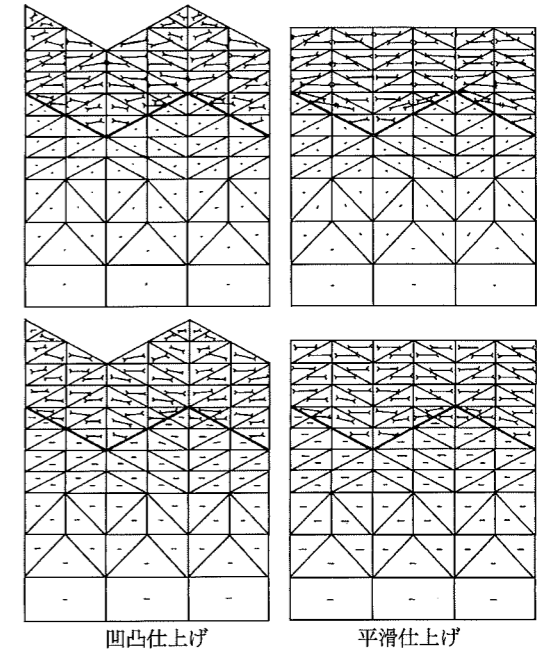


図-9 凹凸による吹付けコンクリート応力分布

えたいずれもが凹凸による応力集中の影響を受け表面まで応力の乱れが認められる。これに対して、地山の凹凸は同一であるが、吹付け表面を平滑に仕上げたケースでは、地山との境界面で極局部的に応力の乱れが認められるものの全体的に均一に応力が分布する様子がわかる。

このことから、吹付けコンクリートは、表面を平滑に仕上げることによって、地山自体の凹凸の影響を考慮する必要がないことがわかる。なお、平滑さは、通常の施工で仕上げられる程度で良いと考える。

## 7 脆弱な地山に対する適用性

覆工の単一構造が適用されるのは、吹付けコンクリートの安定性が保たれる小さな変形量に規制される。このように変位がさほど大きくならない場合は、脆弱でも均一な地山に対する問題は少ない。むしろ良好な地山と脆弱な地山が接し偏圧となる場合や脆弱な地山で塑性あるいはゆるみが発生し、境界域で急激な変位の増大が発生する場合に問題が生じるのは容易に想像される。

このような状況を想定し、ケース1は全体が均

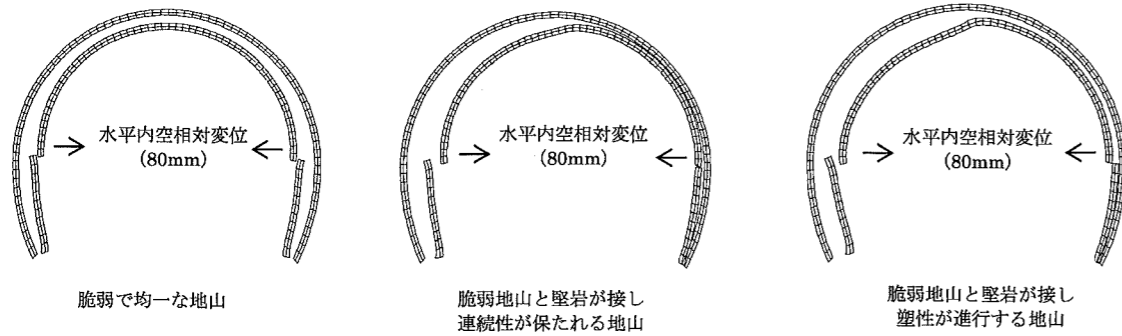


図-10 脆弱な地山による吹付けコンクリート変位分布

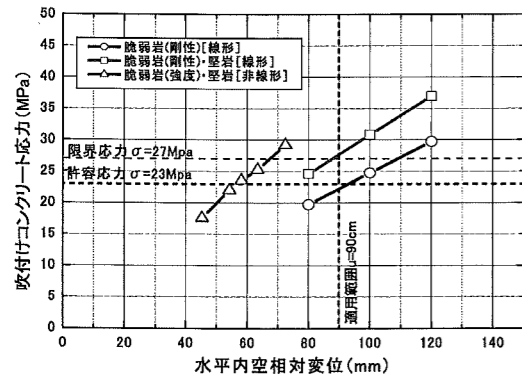


図-11 脆弱な地山における吹付けコンクリート応力一で軟らかい地山, ケース2は堅岩と脆弱な地山が接する場合で吹付けコンクリートに対して偏圧となるが, 連続性は保たれる地山, ケース3は, ケース2と同様に堅岩と脆弱な地山が接する場合で, 脆弱な地山がせん断破壊を起こし連続性が失われる地山とした.

このような問題に対して, ケース1および2は変形量も小さいことから弾性問題として取り扱う。しかし, ケース3のように地質境界で急激な変位増加がおこるような問題に対しては, 不連続挙動を表現できる解析が必要である。ここでは, せん断剛性がせん断ひずみの増加に伴い低下することにより, 連続体モデルで不連続性を表現できる構成則を適用することとした。

解析結果の水平内空相対変位と最大吹付けコンクリート応力の関係を図-10, 吹付けコンクリート変位分布を図-11にそれぞれ示す。

ケース1の比較的柔らかくて均一な地山では, 適用限界である水平内空相対変位の90mmに対して,

吹付けコンクリートは堅岩と同レベルで許容応力度以内に収まる。また, ロングベンチカット工法を想定しているため, 変位分布は上半と下半で変位に差があるが, 全体に均一に変位が進行し, 応力も最大となる天端付近を中心に急激な変化がなく比較的低い応力状態で安定する。このことから, 小さな変位で規制することもあり同一変位に対して, 堅岩, 脆弱岩による違いは少なく, 均一な地山であれば問題なく対応できることがわかる。

ケース2の脆弱な地山と堅岩が接する場合, 吹付けコンクリートに偏圧が作用する場合の解析では, 均一な地山と比較すると同一変位に対して, 応力は多少高くなり, 変位の適用限界で限界応力度を多少越える。変位分布で見ると, 地層の境で変位が大きくなり, 応力もこの変位に従い増加することがわかる。解析結果は, ほぼ限界応力度以内に収まり, 最終的には目視などの確認により対応が可能と考えられる。

ケース3の脆弱な地山と堅岩が接する場合, 塑性やゆるみが進行する場合の解析では, 比較的小さな内空相対変位で許容応力度を超えている。

変位分布で見ると地質境界で大きく変位が増加し, それに従い応力も増加する様子がわかる。したがって, このような塑性が進む地山に対しては, 覆工の単一構造は適用できないこととなる。

### 8 ま と め

本研究では, 覆工コンクリートを省略することによる経済的なメリットが大きいことから, 簡便で確実な評価手法が必要と考え, 日常管理として

測定する現場データから直接評価しうる手法および運用の方法を示した。本研究で得られた結果を以下に要約する。

- ① 吹付けコンクリートの長期耐久性は, 青函トンネルにおける材齢30年を超える試験結果から長期耐久性を維持している。
- ② 現場計測データの分析から水平内空相対変位で100mmまでは健全を保つと評価できる。
- ③ 支保構造体としての吹付けコンクリートの見掛けの弾性係数は, 2,200~2,500MPa程度と評価できる。
- ④ 覆工の単一構造の提供範囲は, 逆解析の結果から, 水平内空相対変位で90mm, 天端沈下で55mm以内と考えることができる。また, 適用にあたっては目視観察が必要となる。
- ⑤ 凹凸モデルによる数値解析の結果から, 吹付けコンクリートの表面を平滑に仕上げるこ

とで, 地山の凹凸の影響を受けない。

- ⑥ 塑性あるいはゆるみが進行する地山では, たとえ変位が許容範囲内においても適用できない場合がある。
- ⑦ 覆工の単一構造の適用範囲は逆解析の結果から, 水平内空相対変位で90mm, 天端沈下で55mm以内と考えることができる。また, 適用にあたっては目視観察による確認が必要であることを指摘した。

### 参 考 文 献

- 1) 登坂敏雄: 高品質吹付けコンクリートによるトンネル覆工の単一構造化に関する研究, 京都大学博士論文, 2007.12.
- 2) 登坂敏雄・阿部敏夫・朝倉俊弘: トンネル覆工の単一構造化における現場計測による検証と適用に関する研究, 土木学会論文集, 部門C, Vol.63, No.4, pp.1079-1090, 2007.

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。

株式会社 土木工学社

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

## トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

## 局地的な大雨に関する下水道管渠内工事等安全対策の手引き(案)の公表

国土交通省は、10月10日「局地的な大雨に対する下水道管渠内工事等安全対策の手引き(案)」を公表した。同省では、8月に発生した下水道補修工事での事故を踏まえ、局地的な大雨に対し、雨水が流入する下水道管渠内における工事等を安全に実施するために必要な対応策について検討することを目的として、8月21日に安全対策検討委員会を設置、議論を重ねてきた。

同案では、実施すべき安全対策として、現場特性の事前把握、予防対策としての中止基準・再開基準の設定、迅速に退避するための対応策の確認、日々の安全管理の徹底などを挙げている。

## 2008年度推奨土木遺産

土木学会は10月15日、今年度の推奨土木遺産を発表した。

今回選ばれた土木遺産は23で、銀座線・浅草駅～新橋駅間、心斎橋駅舎ほか御堂筋線の地下駅群などが含まれる。

## 中之島線開業

大阪府、大阪市、京阪電気鉄道などが出資する中之島高速鉄道が建設を進めてきた中之島線が10月19日開業した。

中之島線は京阪本線天満橋駅から中之島駅までの2.9kmを、途中、なにわ橋駅、大江橋駅、渡辺橋駅を結びながら走る地下鉄道。全体を7工区に分割し、駅部を開削工法、駅間は単線並列のトンネルをシールド工法で施工した。

駅間シールドは、全5機が投入され、天満橋なにわ橋間では2機のシールドによる同時施工が行われ、その

他の駅間では、Uターン工法により掘進を行った。同路線は、河川沿いにあること、既存の3地下鉄路線や地下埋設物、構造物基礎など支障物件が多くあることなど、厳しい施工条件だったが、計画通り工事が進められ、開業を迎えた。

開業により、地域の交通ネットワークの充実による利便性の向上、中之島地区の再開発への寄与など、さまざまな整備効果が期待されている。

中央新幹線  
地形・地質調査報告書

鉄道・運輸機構とJR東海は、『中央新幹線(東京都・大阪市間)地形・地質等調査報告書』を作成し、国土交通省に提出した。

同報告書では、甲府～名古屋間を、南アルプス下を貫通するルートと2本のう回路について、調査を行い、いずれのルートも技術的には施工可能と結論づけている。

中央環状新宿線大橋  
シールド貫通

首都高速道路が整備する中央環状新宿線のうち最後のシールド区間である大橋シールドトンネルが貫通した。

同トンネルは、山手通りの松見坂立坑から大橋ジャンクションに位置する大橋立坑まで延長約430mのトンネルで、泥水式シールド工法により構築された。一部の区間では、首都高速3号渋谷線、国道246号、東急田園都市線などの重要構造物の下部を掘進する厳しい施工条件であった。

シールドは、外径φ12.940m、重量約2,000tと大規模で、外径φ12.650mのセグメントを鋼殻681リング、ダクティルを345リングで覆工を構築、掘削土量は約148,000m<sup>3</sup>に及んだ。

## 上野地下歩道が来年3月開通

東京都が整備する上野中央通り地下歩道が、来年3月16日に開通すると発表された。

同道は、東京都台東区にある京成上野駅と都営大江戸線上野御徒町を結ぶ320mの地下歩道で、これにより上野～御徒町間にある8駅が結ばれ地下歩行者ネットワークが形成されることになる。

## 仮設地下通路が開通

西武鉄道は、東京都ともに行っている石神井公園駅周辺の立体交差事業の進捗に伴い、11月22日から石神井公園駅の仮設地下道の使用を開始した。高架化工事の関係で現在の南北にある改札口とホームを結ぶ跨線橋を撤去するため、代替として仮設地下道を設置するもの。

この仮設地下道は、現状の機能である改札口とホームを結ぶだけでなく、駅をはさんだ南北間で自由な往来ができる通路を新たに設けるため、踏切待ちなどが軽減されることなどによる、地域の安全性と利便性に配慮した施設となっている。

## CSRレポート2008を発行

横浜ゴムは、横浜ゴムグループの経済、環境、社会側面の活動を総括的に紹介した2008年度版のCSRレポートを発行した。前年は「環境・社会報告書」としていたタイトルを、同社のCSR(企業の社会的責任)活動の情報開示を主とする目的で「CSRレポート」と変更している。

同書では省エネ型コンベヤベルト「エコテックス」の使用による消費電力25～30%の削減や、廃タイヤを利用した道路舗装材による騒音を9割カットに成功するなど、環境側面における取り組みを紹介している。

## 連載講座

## 山岳トンネル先進ボーリング入門(4)

## —施工計画の基本および得られる情報と効果(1)—

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会

## ① ま え が き

今回は、先進ボーリングでどんな情報を得られるのか、またその情報はどのような役に立つのか、といったことを整理して、実際に施工計画するうえでの留意点を2回にわたってまとめます。

## ② 先進ボーリングで得られる情報と効果

コストと安全がトンネル施工の最重要課題です。事前地質情報の精度は、1:1,000～25,000など大縮尺のスケールが多く、1:1の施工時には、どうしても確認が必要になる場合があります。これらの地質情報が、コストや安全に大きく影響するためです。

東北地方のあるトンネルの例を紹介します。貫通間近のトンネル中央部において、弾性波速度の低速度帯を確認しようと、トンネル切羽から先進ボーリングを行ったところ、孔壁崩壊で掘進不能になったことがあります。ケーシングやカッターが回収不能とはなりましたが、それ以上の情報を得られました。

土かぶり度が200m程度の新第三紀の泥岩、凝灰岩でしたが、低速度の原因は断層破砕帯であり、かつ破砕部の一軸圧縮強度が500kN/m<sup>2</sup>、地山強度比は0.1以下のため、大きな押し出し性状を有することを、この削孔できなかったボーリングが教えてくれたわけです。

そこで、FEM解析などで掘削工法や補助工法

を検討し、中央導坑先進工法を採用しました。導坑を先行掘削することで、いなし効果が得られ、本坑掘削時は大きな変位を発生させないことが、得策と考えました。はたして、導坑には非常に大きな変位がありましたが、本坑の方は、想定する変位内に抑えることができ、無事貫通させることができました。

この区間を先進ボーリングなしで、本坑掘削を進めたら、大変形に本坑の支保は耐えられず、さらに難工事となったでしょう。失敗した先進ボーリングが、用意をする準備を与えてくれた例です。暗闇の中を手探りで進むのは、あまりに危険です。小さな懐中電灯でも、足元を照らせば少しは役に立つでしょう。先進ボーリングの役割は、その懐中電灯に似ていると思われませんか？

## 2-1 リスクマネジメントとしての先進ボーリング

長大トンネル区間を含む路線計画のような大きなプロジェクトは、事業期間が長期にわたるため、その間に社会経済情勢および国民の価値観の変化、技術進歩などにより、需要・必要性が変化し当初想定していた効果が発揮されない場合があります。その場合、結果として社会的損失を生じ、その損失が結局国民に帰属するため、事業者が事業化計画(FS)の意思決定には、その事業の必要性、有効性、効率性、実現可能性を総合的に評価することが求められています。

とくに、意思決定には効率性のウェイトが強く、指標として費用対便益比(B/C)や純利益(NPV)

といった工費や工期といった値で表します<sup>1)</sup>。

さてトンネルの場合、事前調査の限界もあり、後の事業実施段階において、事業の設計や工法の変更の必要が生じ、費用やスケジュールに悪影響を与える場合が、少なからずあるようです。これにより、サービスの提供(供用開始時期)が遅れるなどの社会的損失を発生させることとなっています。

こうした「不確実性」が多く存在する長大トンネルが、プロジェクト全体の意思決定に対して、大きな影響力を持っていますが、このような社会的損失を発生させるような変動原因を「リスク」と捉えるならば、事業者の意思決定には「リスク」を事前に評価してマネジメントすることが必要です。つまり、工費や工期といった効率性の指標を実施段階で守っていくことが、最終的な事業の評価に直結しているわけです。

トンネルの場合、予期せぬ不良地山に遭遇して難工事となり、工費・工期が大幅に増加することもあると思います。この不良地山の性状を可能な限り早期に把握して、切羽が到達する前に対策することが結果的にもっとも経済的で安全なのは、諸先輩の言を待つまでもなく、自明の理でしょう。

事業者のなかには事前調査の成果を見て、先進ボーリングの必要性に少し疑問を持つ方もいるかもしれませんが、確かに不安要素がない調査結果からは、採用が難しいかもしれません。しかし、さまざまなリスクの顕在化により、コストの増加やスケジュールの遅延が事業自体の成否を左右します。このため、事前調査を1:1の実際のスケールで検証していくことが、リスクマネジメントのひとつであると考えている事業者の方々も少なくありません。

もちろん、実際に切羽に立つ施工者は、安全面から無防備で不良地山に遭遇する危険性を熟知していることから、この思いがさらに強いことでしょう。

2-2 設計と施工のはざま

2-2-1 切羽前方地山の知りたい性状

トンネルの掘削の難易や、土圧などの地山の挙動に関係する地山条件には、

- ① 岩石そのものの硬軟および固結度
- ② 風化、変質の程度
- ③ 節理、層理、片理などの不連続面の間隔、幅、形状、充填物の状態
- ④ 褶曲、断層・破碎帯などの地質構造およびそれに起因する地山の応力状態
- ⑤ 土かぶり
- ⑥ 地下水の影響

などがあります<sup>2)</sup>。  
当初設計では、地形判読、地表地質踏査、弾性波探査、電気探査、地表からのボーリングなどの事前調査を参考にして行った地山分類で、全体工期や工費を算定します。上記の条件がいかに精度良く当初の地山分類に反映されているかが、最大の課題であるものの、「掘ってみなければ、わからん」と思われている方が多いかもしれません。しかし、応用地質学や調査技術の進展により、精度に課題は残すものの問題のある特殊性地山(断層、褶曲、未固結、膨張性、山はね、地熱、ガス、大量湧水など)の性状は、事前に問題性を把握できるようになりつつあります。

2-2-2 施工で知りたい情報

そして、施工時にもっとも知りたい情報は、コストと安全にかかわる事象でしょう。どこで山が悪くなるか、どこで、どの程度の水がでるか、とくに水に関しては第1回目(第3,4章)で紹介されているように、施工の難易は地下水の影響がもっとも大きいといえます。「水を制するものは、トンネルを制す」というのが、山岳トンネルに長くかかっているわれわれ執筆陣共通の認識です。

これらの情報をもとに、切羽が到達する前に十分な準備時間を持って対策の検討ができれば、効率性や安全性に大きく寄与できます。このため、施工中の調査として「前方探査技術」の重要性が認識されてきました(表-1参照)。このなかで、もっとも普及しているのが先進ボーリングです。

2-3 先進ボーリングで得られる情報

ボーリング削孔が可能であれば、イコールではないもののトンネル掘削が可能でしょう。まして、地下水位を少しでも下げられれば、施工に対して

表-1 前方探査技術の現状と評価(施工中の坑内から実施する調査技術)<sup>3)</sup>

概要	調査手法	ボーリング・調査坑の活用										物理探査					
		ボーリング調査		調査坑の施工	孔内観察・画像処理	各種孔内試験・検層	各種試料試験	各種原位置試験	穿孔検層法	地温測定	地山先行変位測定	坑内比抵抗探査	坑内簡易弾性波探査	坑内水平弾性波探査	表面波探査法	電磁波反射法	
		ノンコア	コア														
基本	探査内容	切羽の地山状況	穿孔情報	コア採取	各種地山情報	孔内の地山状況	各種物理量ほか	破壊エネルギー	地山温度	地山先行変位	比抵抗分布	弾性波速度	弾性波反射面ほか	表面波伝播速度	電磁波反射面など		
項目	探査可能距離(m) <sup>1)</sup>	鏡	ボーリング・調査坑の深度					80	数m	20	数m	数m	100	30	10		
	準備・作業時間 <sup>2)</sup>	◎	△	△	△	△	△	△	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
	解析時間 <sup>3)</sup>	◎	◎	△	△	△	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎		
調査項目	地質状況の変化	破碎帯などの位置	○	◎	◎				◎			○		○	○		
		同上、走向・傾斜	◎			◎			△					○	○		
		同上、規模(幅など)	○	◎	◎				◎			○		△			
		地下空洞の有無	○	◎	◎	◎			◎			△			○		
		ガスの賦存位置	○	○	◎				△								
	地下水	帯水層の位置		○	○	◎				○	○		○		△	△	○
		帯水層の透水性	△			△		◎	◎								
		同上、水圧	△			△		◎	◎								
		地質の状態	不連続面の間隔	◎		◎	◎	◎									
			不連続面の状態	◎		◎	◎	◎									
風化・変質	◎		○	◎	◎	◎	◎	◎	○			○	△	△	△		
力学的性質	地山強度	△	△	△	○		◎	◎	◎	○			○	△	△		
	変形係数	△					◎	◎	◎			○		○	△		
	異方性	△					◎	◎	◎								
	緩み領域	△	△	△	△	○	◎	○	◎	○		△	◎	○			
実用化のレベル <sup>5)</sup>		◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○	△	△	△	◎	○	○	△

\*1 探査可能距離 同一技術でも岩質などの地山条件によって差異が生じる。

\*2 準備・作業時間 ◎:1, 2時間程度, ○:半日程度, △:1日以上掘削休止

\*3 解析時間 ◎:ほぼリアルタイム, ○:数日以内, △:1週間以上

\*4 調査項目に関する評価 ◎:信頼性の高い情報となる, ○:傾向をつかめる情報となる, △=参考になる程度の情報となる

\*5 実用化のレベル ◎:実用化技術・慣用技術, ○:試行段階の技術, △:実験段階の技術

も一助となります。そして、得られる情報としては以下のように、さまざまな情報があります。

2-3-1 コア観察・RQD

ノンコアで高速に掘削するケースと、コアを採取するケースは、その目的・岩質・延長などによって選ぶわけですが、表-1に示したように設定した

支保パターンや補助工法の妥当性を確認するため、破碎帯の位置や地質の状態を知りたい場合は、採取したコアが持つ情報量が必要でしょう。

2-3-2 穿孔エネルギー・削孔検層

油圧式削岩機の穿孔データを利用した切羽前方探査法です。削岩機から得られる穿孔エネルギー

(フィード圧, 打撃圧, 回転圧, ダンピング圧, フィードシリング油量(穿孔距離・速度に換算))から, 地山の硬軟が定量的に把握でき, 断層破碎帯の出現位置などを推定するのに有効です。地山判定や補助工法の採用といった判断にも使用している例が増えてきました。

### 2-3-3 湧水量・湧水圧

先進ボーリングの最大の役割ではないでしょうか。天端や切羽の自立性は地下水が大きく影響しますし, 大量の湧水は著しく掘削の作業効率を落とします。事前に湧水対策(水抜きボーリング, 水抜き坑など)を準備するためには, 前方の地下水の状況を把握することが不可欠です。そして, ボーリング孔から流れ出る水の量や水圧, そして水温を測っておくことが望まれます。場合によってはpHや電気伝導度, 水質なども重要な情報となることもあります。

### 2-3-4 孔内検層・孔内水平載荷試験

ボーリング孔を使った検層や試験も可能です。切羽が到達する前に, 孔内水平載荷試験で地盤の変形特性を算定し, 破碎帯などの脆弱な地山に対する支保構造を検証する例も多いでしょう。電気検層は水の問題がありますが, 速度(PS)検層や温度検層で地熱分布を判定したり, 地下水の賦存状態の判定に用います。いずれも測定機器を孔内に挿入しますが, 水平ボーリングなので延長が長い場合は, 工夫が必要になります。

### 2-3-5 弾性波トモグラフィ

金原ら<sup>9)</sup>は, 先進ボーリングを用いた弾性波トモグラフィで, 実際の地質状況を比較的详细に把握できることが確認できたとしています。施工事例で紹介する飛騨トンネルにおいても, 同手法を用いて地質解析を行いました。

### 2-4 先進ボーリングの効果

先進ボーリングで得られる効果のもっとも大きな点は, 完全には回避できないものの, コストやスケジュールのリスクをミニマムにして, かつ安全に寄与することではないでしょうか。

完全ではないというのは, 例えば青函トンネルの「出水断層」<sup>9)</sup>のように, 先進ボーリングの死

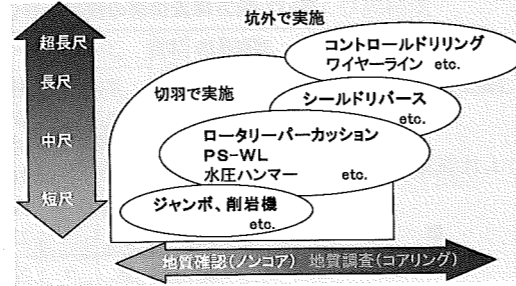


図-1 目的別ボーリング工法概念

角にあった場合は, 調査坑を水没させるような大事故も, 防ぎきれないこともあります。

すべてを解決するのはまだ困難ですが, トンネル坑内からの地震波による切羽前方探査技術(例えばTSP(Tunnel Seismic Prediction)やHSP(Horizontal Seismic Profiling)と呼ばれている)と組み合わせて, 探査精度の向上を目指しています。

### 2-5 先進ボーリングの施工計画

それでは, 先進ボーリングを実際に計画するときにはどんなことに注意すれば, より効率的で安全に寄与できるでしょう。第1回の5章や8章で述べたように, 施工する位置や目的で, そのボーリングの種類や施工計画は大きく異なります。

図-1は, 第2回で記載したボーリング工法の一部ですが, 切羽の進行を阻害しないことに配慮しているため, 削孔延長が長くなるとボーリング座の拡幅が必要になります。また, 目的によって地質の硬軟, 水量程度の確認であれば, コア採取より短尺や中尺での高速施工性を重視しています。

次章以降では, これら掘進する延長・工法別に施工計画の基本と得られる情報について, 代表例として坑外から実施する長尺ボーリングのコントロールドリリング, 切羽から実施する長尺としてシールドリバース, 中尺のロータリーパーカッション, 短尺のジャンボや削岩機による各工法について述べます。

## ③ 坑外から実施する長尺ボーリング

トンネル工事において正確に地質や地下水の情

報を把握することは, 施工を合理的かつ安全に行ううえで非常に大事なことです。しかし, 地表から行う従来の鉛直ボーリングによる調査ではトンネルレベルの連続的な地質情報を得ることは困難ですから, 坑内から行う先進ボーリングが多用されています。この先進ボーリングの詳細は次号に譲ることにしまして, 今回は近年採用され始めた工法で, 坑外から傾斜ボーリングで掘進を開始しトンネルレベルで掘進方向のコントロールを行い, トンネルに沿わせるという新しい掘進方法を紹介します。

第3回の7章でも紹介したとおり, 現在の技術では坑外から合理的にトンネルレベルの調査が可能な①WLによる方法と②外管追従による方法が有力と考えられます。

ただし, これらの工法が採用できる条件としては下記3点が必要となります。

- ・調査の無駄を少なくするため, 土かぶりが100m程度を限界としたボーリングヤード。
- ・大型トラックによる搬入が可能な道路。
- ・200m<sup>2</sup>程度のボーリングヤード。

以下, この二つの工法について施工計画の基本と得られる情報について個々に紹介します。

### 3-1 施工計画の基本

#### 3-1-1 WLによるコントロールボーリング<sup>6)</sup>

第3回で紹介しましたが, 当工法はノルウェーの特徴的な地形であるフィヨルド下にトンネルを施工する場合の調査を目的として開発された優れた技術です。

しかし, 北欧特有の硬岩地域で使用するために開発されたためか, 孔曲がりやをコントロールする箇所はある程度の一軸圧縮強さ(10MPa)以上が必要とされるという小さな弱点があります。

以下にコントロールを行う手法を含めて, 施工計画の基本を紹介します。

#### (1) このボーリングの目的

これはトンネル掘削作業を支障することなく先行して地質情報や地下水情報を得ることを目的とするボーリングです。トンネル縦断方向で, 土かぶりが100m程度以下で機材の搬入路も確保され, さらにボーリングヤードも確保できることが必要とされます。

#### (2) 削孔位置と方向

前記の条件を満たす位置を選定し, 縦断的には傾斜20~45度の範囲で掘進計画を立てます(図-2, 3参照)。

このとき, 最終的な縦断位置を必ず計画しているトンネル断面の5m以上下位になるように設定することが望まれます。これは山の高さや地下水位および地下水の貯留形態にもよりますが, 口元高さ+α高(地下水位まで)までの地下水は水抜きができ, トンネルにかかる水圧を緩和することが可能となるからです。

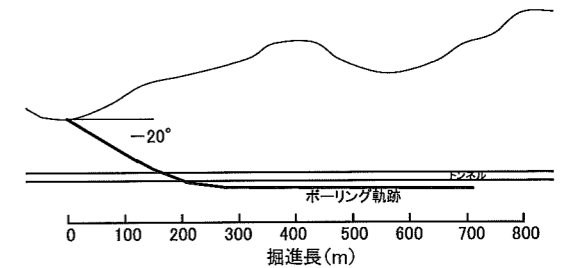


図-2 縦断方向のコントロール計画

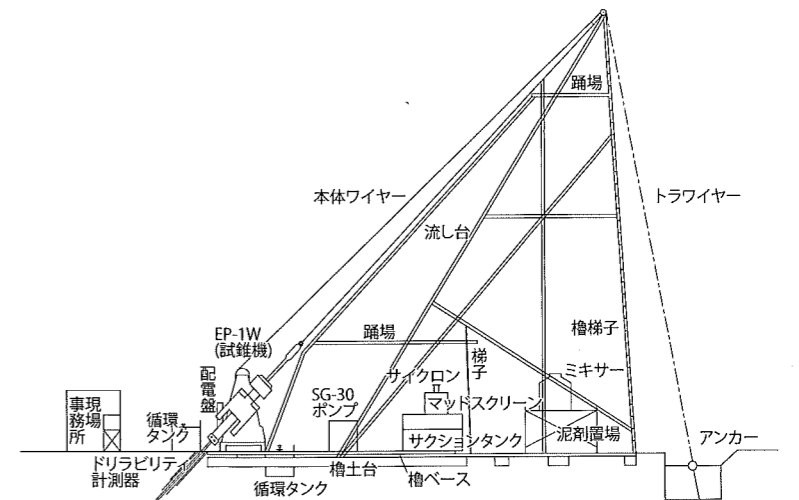


図-3 仮設概要

平面位置はボーリング軌跡がトンネル断面内を通過しないように計画する必要があります。掘進の対象となる地質が堆積岩の場合で前方地質の確認を効率的に計画した場合は、地層の走向を考慮し、より早く先方の地層を把握できる位置(トンネルの左右どちらか)に計画します。一方、前方の水抜きに主体を置く場合は、縦断方向に対して地形の高い方に計画します。これは一般に地下水は地形的に高いところから低いところに向けて流動していることからです。

土かぶり100mと仮定した場合、コントロールを開始する位置が60~70mの地点になります。この間のコアを必要ないと判断した場合には、エアハンマーを使用してノンコアで急速掘進を行うのが合理的です。

前に戻りますが、図-2の例は長大トンネルで行った先進ボーリングです。当初1,100mの掘進を計画したところ、断層破碎帯の出現でジャミング状態となり、731.8mで掘進を断念しました。このような場合、地上から鉛直ボーリングで断層破碎帯の詳細を追加調査するべきであったと反省しきりです。

(3) 掘進方法

穿孔機は油圧フィード型のスピンドルを掘進傾斜にセットして用います。掘進ツールはWL用のドリルヘッドを基本形として考案されたコントロール用の特殊なツールを用います。

当工法はコアを採取しながら孔方向を自在にコントロールすることが可能ですからコントロール区間の地質情報も得ることが可能です。コントロール掘進用のビットはアウトチューブ先端から飛び出す形状で偏心的に取り付けられています。コントロール時には送水圧力によりパッカーを膨張させアウトチューブの回転を抑止し、偏芯ブッシングの位置を固定することによって、掘進方向を設定します(図-4参照)。都市トンネルで使用するシールドが地山に向けてグリッパを押しつけながら方

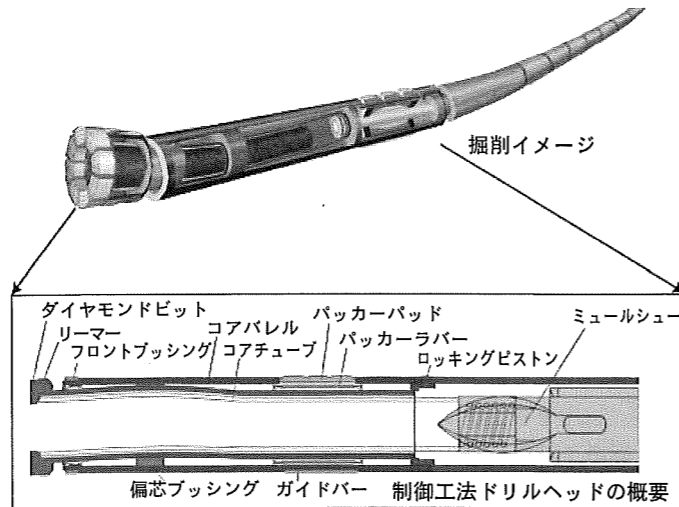


図-4 コントロールを行うドリルヘッド概要

向制御している機構と似た原理を想像すれば理解しやすいでしょう。

このコントロールボーリングの主要な特長は以下のとおりです。

- ・従来のWL工法の機械装置を使用し、通常掘進とコントロール掘進の両方で連続したコア採取が可能。
- ・電子式方位測定装置により、掘進の方向が容易に設定でき確認が可能。
- ・コントロール掘進用ドリルヘッドに内蔵された方位記憶装置による一掘進工程ごとの方向のコントロールが可能。
- ・泥岩や砂岩など軟岩以上の一軸圧縮強さがある箇所ではコントロールが可能。

(4) 掘進プログラム

一般的なWLツールは、ビット径でいうと大きい順にPQ(122mm), HQ(97.5mm), NQ(75.31mm), BQ(59.56mm), AQ(47.63mm)などがありますが、現在コントロール用にドリルヘッドが開発されているのはNQとBQです。したがって目的のトンネル下位でトンネルレベルに合わせる最初のコントロールはNQで行い、BQはその後の修正用に確保しておく必要があります。

また、NQ、BQのそれぞれでコントロールを行った後、目的の深度まで掘進するためにNQをHQに、BQをNQに拡張して掘進を行うことも考慮し

て計画をすることが重要です。

3-1-2 外管追従によるコントロールボーリング

当工法は掘進方向をコントロールしながら、しかも途中で脆弱な地質が出現してもケーシングパイプを追従させることで対応が可能のようにし、できるだけ急速施工でしかも長尺ボーリングを目的とすることからノンコアボーリングとして、平成12年に開発されました。

(1) このボーリングの目的

当工法の開発経緯は、トンネルの計画段階から調査対象があって開発を試み、そのため地形条件(仮設条件)の適した場所から調査対象区間までの約1,000mを掘進し、主に地下水の状況を把握することを目的としたものです。

(2) 削孔位置と方向

先端の掘進機構にダウンホールモータを使用することから、先に述べたWLによる方法よりも大口径となりケーシングパイプの剛性も高くなること、さらにケーシングパイプには回転を与えずダウンホールモータで引っ張っていくシステムであることからコントロールの角度に制約が生じます。したがって、WLによる方法と比較するとコントロールの半径が大きくなることから、極力土かぶりの小さい施工位置を選定する必要があります。

コントロールの計画は、ケーシングパイプに無理をかけないことを重視し、掘進長100mに対して5度程度でたてるのが無難です。

(3) 掘進方法

穿孔機はシールドリバースで使用するトップドライブ型となるため口元からの掘進角度が20度以下とします。

口元から20~30mは表土や風化帯であることが多いので、このような場合はトリコンビットなどで掘進し、8インチ以上の口元管を挿入してセメンテーションで固定をします。

最初にコントロールが必要となる深度までは、その時点の地質に適したビット(エアハンマーやトリコンビット)を使用し、コントロール箇所から

ダウンホールモータでの掘進を行います(写真-1参照)。

ダウンホールモータは、水圧で先端を駆動させるシステムであることからボーリングロッドおよびケーシングパイプは非回転となります。したがって、ケーシングパイプを追従させるためのキー

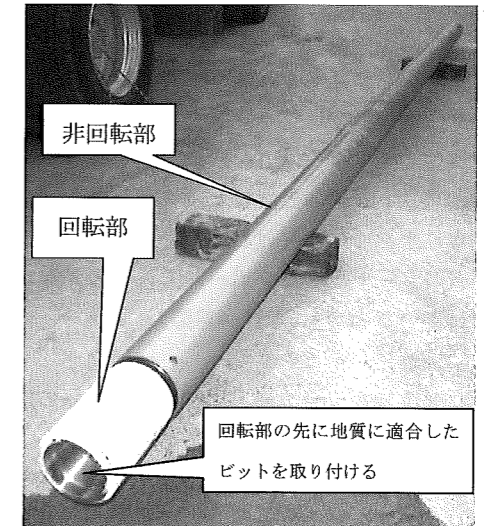


写真-1 ダウンホールモータ

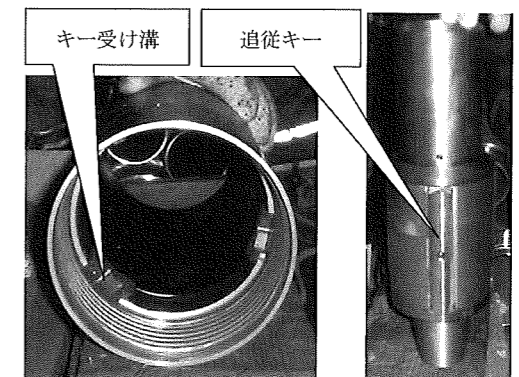


写真-2 ケーシング追従用キー機構

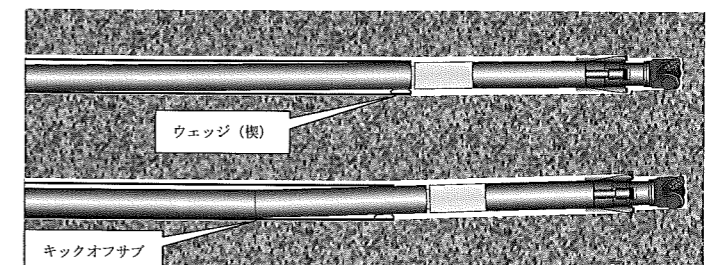


図-5 コントロールの概要

(写真-2参照)が必要となり、さらにコントロールをするためのウェッジ(楔)の設置を行います(図-5参照)。また、コントロールを容易にするためダウンホールモータにはキックオフサブのシステム(角度調整をする機構で孔芯の偏向により角度を任意に選択できる)を備えています(写真-3参照)。

当工法で重要な要素は、ケーシングパイプを非回転で追従させることであり、そのためには掘進径をケーシング径より大きくする必要があります。ビット交換のたびにケーシングパイプを抜管したのではケーシング(孔壁保護)の役割を成しませんから、ビット交換のときはビットがケーシングの内径より小さくならなければなりません。そこで掘径式のビットをダウンホールモータの先端に取り付けているのです(写真-4参照)。

#### (4) 掘進プログラム

ダウンホールモータの汎用性のある口径には、120.6mm, 88.9mm, 73mmがあります。

以下に1,000m以上の掘削計画を行う場合の掘進プログラムを例として紹介します。

##### ・1 段目：0～30m

トリコンビット(244.5mm)掘進

ケーシング径：216.3mm(掘削後挿入設置)

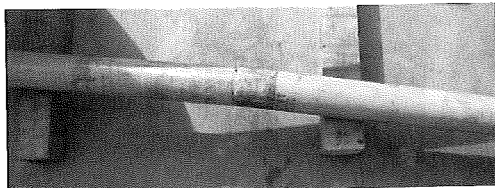
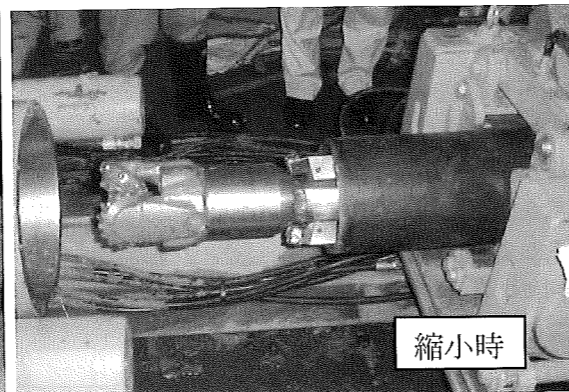


写真-3 キックオフサブ



掘径時



縮小時

写真-4 掘径ビットの掘径・縮小状況

- ・2 段目：30～300m  
ダウンホールモータ(120.6mm)掘進  
掘径時のビット径：184.0mm  
ケーシング径：177.8mm(追従型)
- ・3 段目：300～700m  
ダウンホールモータ(88.9mm)掘進  
掘径時のビット径：146.0mm  
ケーシング径：140.0mm(追従型)
- ・4 段目：700～1,000m+ $\alpha$   
ダウンホールモータ(73mm)掘進  
掘径時のビット径：112.0mm  
ケーシング径：105.0mm

### 3-2 得られる情報と効果

#### 3-2-1 WLによるコントロールボーリング

WL工法(コア採取)でトンネルに沿う箇所の調査が可能ことから地質の詳細な情報が得られます。インナチューブを抜管した状態であれば湧水量の把握も可能となり、さらに口元管が設置されていれば湧水圧力の測定も可能となります。

当工法を採用することでの最大の効果は、坑外からトンネルレベルの調査が可能となることで、坑内作業との競合がないために、トンネル工事本体の工程に影響を与えないことです。

#### 3-2-2 外管追従によるコントロールボーリング

ノンコアを基本としていることから得られる地質の情報はスライム鑑定となります。

当工法は急速施工で超長尺を目的としていることから、たとえスライムからでも早く地質概要を得ることが重要です。また、トンネルの長期的な

水抜きボーリングとしての大きな目的を持っていることから、土かぶりの小さな箇所から実施し、極力トンネル断面の水圧を低下させることが重要となります。

(文責：武藤直樹・国際航業(株)/北原秀介・鉄道・運輸機構)

### 参考文献

- 1) 国土交通省国土交通政策研究所：社会資本整備におけるリスクに関する研究，国土交通政策研究，第4号，2001.6.
- 2) (社)日本道路協会：道路トンネル技術基準(構造編)・同解説，77p，2003.11.
- 3) 大島洋志監修：わかりやすい土壌地質学，土木工学社，149p，2007.4.(第4版)
- 4) 金原俊也・吉沢貞人・河村精一・山本松生・西野治彦：先進ボーリングを利用した弾性波トモグラフィの有効性，土木学会年次学術講演会講演概要集，第3部，Vol.46，pp.682-683，1991.
- 5) 大島洋志：私の地質工学随想，64p，2002.3.
- 6) 北原秀介・谷藤吉郎・対馬教夫・上野光：コントロールボーリング(ワイヤライン制御工法)による高精度トンネル地質調査事例，日本応用地質学会，平成17年度研究発表会講演論文集，pp.83-86，2005.10.

## 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/塑性力学の基礎、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



## 研究・開発

## 文献紹介



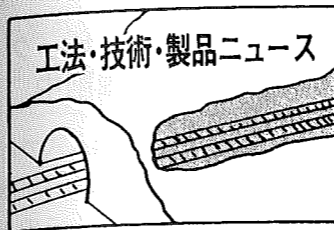
- での事故事例及びヒヤリ・ハットに関する報告書(中間報告), 建設の施工企画, No.701, 2008.7.
- 山口英樹: H-CROSS工法の開発, 地中の併設トンネルを機械的に連結, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 木下茂樹: 扁平型断面シールド工法の開発, ビームカッタシールド機の掘削機構と掘削性能実験, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 森充広・齋藤豊・高岩庸博・稲垣正晴: 農業用水路トンネルの機能診断への電磁波レーダ法の適用, 水土の知, Vol.76, No.9, 2008.9.

## 施 工

- 石塚一郎: 台湾高雄地下鉄CR4工区建設工事, 大都市中心部にて内径140mの円形連続壁構築, 建設の施工企画, No.700, 2008.6.
- 網野巖: シンガポールでの長距離シールド工事, 建設の施工企画, No.700, 2008.6.
- 赤曾部俊則・宇都善和: 寺畑前川調節池整備工事(自動化オープンケーソン工法)について, 土木技術, Vol.63, No.6, 2008.6.
- 水野直利・山田勝英・村山秀幸: 超硬質岩盤を泥土圧シールドで掘進, 公共下水道脇の島汚水幹線管きょ埋設工事, 土木技術, Vol.63, No.6, 2008.6.
- 小山文男・橋本敦史・村上道隆: トルコボスボラス海峡横断鉄道トンネルの施工, 沈埋トンネル部基礎地盤水中均しロボット, 建設の施工企画, No.700, 2008.6.
- 上杉知・山岡努: 横浜市営地下鉄グリーンライン建設工事の概要, 平成20年3月30日開業を迎えて, 土木技術, Vol.63, No.7, 2008.7.
- 大峰秀之: 直下地下切替工法「STRUM」の施工事例紹介, 市街地において終電車から始発電車の短時間に営業線を地下化切替, 建設機械, Vol.49, No.7, 2008.7.
- 地下鉄技術の集大成で都心の制約を克服, 日経コンストラクション, 2008年7月11日号, 2008.7.
- 推進工事で地中から障害物を撤去, 千住地区下水道管敷設工事(東京都), 日経コンストラクション, 7月25日号, 2008.7.
- 金子知永: 世界最長1スパン1,448mの超長距離推進施工, 月刊下水道, Vol.31, No.9, 2008.8.
- 太田和忠: トンネル技術を駆使し進める中央雨水1号貯留幹線, 月刊下水道, Vol.31, No.9, 2008.8.
- 日比野一也: 推進工法への期待と課題, 月刊下水道, Vol.31, No.9, 2008.8.
- 豊田要: 1スパン1kmの内圧超長距離, ホーバス推進管φ1,500について, 月刊下水道, Vol.31, No.9, 2008.8.
- 伊藤大輔・三鬼尚臣・富来正: 大量の掘削土を垂直スクリーで搬送する, 大断面泥土圧シールドにおける省スペース対応型土砂搬送システム, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 高橋秀樹・鈴木嘉昌: PPファイバーショット工法の開発と実施工, 高強度繊維補強吹付けコンクリートのシールド二次覆工への適用, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 林裕悟・鹿島竜之介・島厚夫: F-NAVIシールド工法による高速施工の事例紹介, 掘削・セグメント組立同時施工での施工実績, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 広野和正: 長距離推進における同径側面地中接合推進工事, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 木田博光・江森道雄・山田敏博: 両発進立坑における長距離・高速掘進シールドの施工実績, 2台同時掘進で月進800mを可能にするセグメント受入れと供給, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 正源司寛・山内智晴: 回収型掘進機「やどかり君」の既設構築到達, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 金井孝行・西尾仁: 鋼製柱運搬建込装置の開発と導入, 狭隘な地下トンネル内で鋼製柱を安全かつ迅速に運搬・建込み, 建設機械, Vol.44, No.8, 2008.8.
- 塩原正夫・岸本光弘・吉田安利・安井義則: 脆弱地山における超大断面長大道路トンネルの掘削, 第二東名高速道路金谷トンネル, 土木技術, Vol.63, No.8, 2008.8.
- 石丸裕: 龍門(核四)計画循環冷却水放水路工事, 外洋における没水型鋼管矢板井筒工法による水中放水口並びに放水路トンネルの建設, 建設の施工企画, No.702, 2008.8.
- 谷澤正和: 急曲線長距離推進工事の施工事例について, 月刊推進技術, Vol.22, No.8, 2008.8.
- 今村太輔・塚貴臣: 軟弱地盤における大口徑パイプラインの基礎, 水土の知, Vol.76, No.9, 2008.9.

## 維 持・管 理

- 森山智明・田口芳範・藍郷一博: 中越沖地震により被災した鉄道トンネルの復旧工事, 基礎工, Vol.36, No.9, 2008.9.



## 高周波誘導加熱による除去式アンカーの長期耐久性を確認

飛鳥建設は, 高エネルギー加速器研究機構と共同研究で開発した「IH(誘導加熱)除去式アンカー」について, 長期耐久性試験施工を行い, 設置後約1年弱の残置期間の経過後, 所定の耐久性能を維持していることを確認したと発表した。

同アンカーは, アンカー設計の最適化・アンカー除去効率などの向上を目的に「高周波誘導加熱技術を利用した除去式アンカー」として開発し, 平成19年9月の試験施工で地中での切断および引き抜きを実証していたが, このたび1年弱存置したPC鋼より線を緊張状態で, 切断することに成功した。切断したPC鋼より線は人力で引き抜き撤去した。

今回良好な試験施工結果を得たことから, 今後さらに, 装置全体のコンパクト化を図り, 合理的・確実な除去式アンカー工法として改良を重ねるとしている。

## 湿式吹付け工法を下水道シールドトンネル覆工に適用

飛鳥建設は, 電気化学工業とエムシーエムと共同で開発した覆工構築工法「TDRショットライニングシステム」を東京都品川区発注の「目黒川右岸低地部排水施設整備工事」に適用したと発表した。

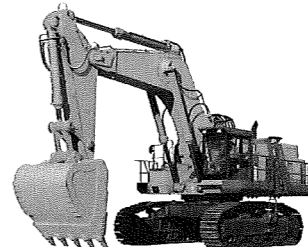
同工法は, 飛鳥建設が保有するTDRショット工法(劣化コンクリートの断面修復工法)を発展させた技術で, 下水関連施設において用いられた鋼製セグメントに対し, 無機系

モルタルを吹付け・充填後, 覆工表面を耐硫酸モルタルを湿式吹付け施工したのち, 左官仕上げを行うもの。

## 120tクラスの最新鋭機

日立建機は, 大型油圧ショベルEX1200<sub>0</sub>を発売した。

同機はエンジン出力567kWで, EPA(米国環境保護局)排ガス2次規制に対応, 掘削力・走行力・旋回力, さらにトラックリンクのサイズアップにより, 重作業に耐え得る機械の長寿命化などを図った。また, 安全性や居住性の向上, メンテナンスの簡素化などフルモデルチェンジを行いグローバル市場対応の大型油圧ショベルとなっている。



## 後方超小旋回型ミニショベル5機種をモデルチェンジ

日立建機は, 2.7~5tクラスの後方超小旋回型ミニショベルをモデルチェンジしZX U<sub>3</sub>シリーズとして発売した。発売したのは, ZX27U<sub>3</sub>(0.08m<sup>3</sup>), ZX30U<sub>3</sub>(0.09m<sup>3</sup>), ZX35U<sub>3</sub>(0.11m<sup>3</sup>), ZX40U<sub>3</sub>(0.14m<sup>3</sup>), ZX50U<sub>3</sub>(0.16m<sup>3</sup>)(写真)(機種(バケット容量))の5機種。新型エンジンを採用し, 最新の排ガス規制をクリア。フロント構造物の改良やメンテナンス性の向上を図るなど, 使いやすさを一層向上させた。



## 小型ホイールローダ2機種発売

キャタピラー・ジャパンは, 小型ホイールローダ2機種をモデルチェンジし, 発売を始めた。

発売したCAT 924Hz(バケット容量1.9m<sup>3</sup>)とCAT 924H(同1.9m<sup>3</sup>)は, それぞれ異なる特長を持つフロント作業機を装着。924Hzは除雪をはじめ, 生コンや砂利・砕石プラントなどバケット作業を主とする現場に, 924Hはねじれ剛性に優れた箱型断面構造のアームを装着しており, ハイリフト作業に対応する。

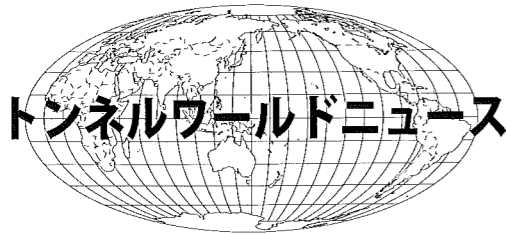


## 小型ホイールローダをフルモデルチェンジ

キャタピラー・ジャパンは, 優れた生産性や操作性, 機動性を生かし, 除雪作業を中心に, 農業や産廃, 道路工事など, さまざまな現場で活躍する小型ホイールローダCAT 910H(バケット容量1.3m<sup>3</sup>)を発売した。

同機は, オフロード法適合のエンジンを搭載するとともに, 国土交通省低騒音型建設機械に適合。また, フロント作業機能にはリフトアームの上げ下げ時にもバケットアングルをほぼ一定に保つパラレル機能を追加することで, フォークを装着した際の作業性能を向上させた。





(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## 中国四川省導水路トンネル用の TBMカッタヘッド(320t)が完成

英国を拠点とする重工会社のDavyMarkham社は、径12.4mのRobbins社製TBMに備え付ける320tのカッタヘッドを製作し、船積みで出荷した。カッタヘッドは、船積みや現場搬入の作業性を考慮して、六つに分割して製作されている。

カッタヘッドは、中国四川省のYalong川に建設される出力480万kWのJinping II水力発電所の新設工事に用いられ、中国史上でTBM掘削の中でも屈指の巨大プロジェクトにおいて重要な役割を果たすことになる。

Jinping II水力発電所は2010年の完成が予定され、完成すると地域でも有数の発電規模となり、上海や北京といった都市部に電力を供給することとなる。現在、Robbins社は、事前に発破掘削で構築された地下発進基地において、TBMの組み立て作業を行っている。DavyMarkham社は、230万USドルの契約を受け、カッタヘッドの荒削り作業のために新たに開発した切削工具を使用し、通常5倍の速さでの切削を可能とした。また、最新のカーバイド製Uドリル技術を採用し、通常8倍の速さでの穴加工を行った。

Robbins社製TBMは、水力発電所のタービンに圧力水を供給する延長17.4kmの導水路トンネルを掘削する予定であり、この導水路トンネルは世界でも有数の長さとなる。現地でのTBM組み立て作業完了後、大理石・頁岩・石灰岩を貫く4本の導水路トンネルのうち、1本目のトンネル掘削が今年中に開始される予定である。

(WT '08.6 担当:伊藤 彰・(株)間組)

## Simplico水力発電所でサンドビック のドリルジャンボにより掘削中

ブラジルのSimplico水力発電所は流入式であり、その導水路トンネルは世界的に見ても長い水路トンネルである。発破掘削方式により、このトンネルを6切羽で掘削している。

延長は6,030m、上半の高さは7.5m、幅は15mであり、計画では、この掘削幅が全トンネルの標準幅である。T3トンネルの下半の高さは7.2mであり、最終的には15.7mの高さになる。

4本のトンネルの地質は一軸圧縮強度が200Mpaの片麻岩である。ここ数箇月、掘削は呑み口側と吐き口側の坑口からと、本坑の総延長の1/3と2/3の位置に接続した横坑から本坑を上下流に向けて切羽を立てて掘削をしており、平均日進は6mである。

この工事の工期は36か月であり、施工業者はOdebrecht社とAndrade Gutierrez社の共同企業体である。この企業体はサンドビック社製の3ブームのドリルジャンボを合計5台(2台はDT11、3台はDT8)使用している。それに加え、同社製の4.3mロッド(R38-Hex32-R32)とφ51mmビット(R32)とシャンク(R38)を含む錐鋼品を使用している。

DT8は高さ7m幅8mの横坑で使用した。現在、ドリルジャンボは5台中4台が稼働している。

1発破での平均掘進長は約2.85mである。通常、約2.5時間で穿孔長3mの装薬孔を135孔穿孔する。発破パターンは芯抜き部に16孔(うち、φ51mmからφ102mmに拡幅させた3つのパーンホールを含む)、踏まえ部に14孔、外周部に39孔であり、残りを中心から5.05m、6.25m、8mの円周上に穿孔する。

掘削は1日約3サイクルである。その内訳(2.5時間の穿孔)は、1.5時間の装薬、40分の発破・換気、2時間以上のコソクとずり出しである。各サイクルでは約264m<sup>3</sup>のずりが発生する。

ビットの寿命は穿孔長で300mであり、6~7回研磨を行っている。この工事でのサンドビック

社製のシャンクの平均寿命は5,000m、H32ロッドは2,500mである。

この工事はミナスジェライス州とリオデジャネ

イロ州の州境付近で行われており、2010年完成予定である。

(T&TI '08.6 担当:大村洋史・大成建設(株))



## 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

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、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としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

### 〔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・カット・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

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



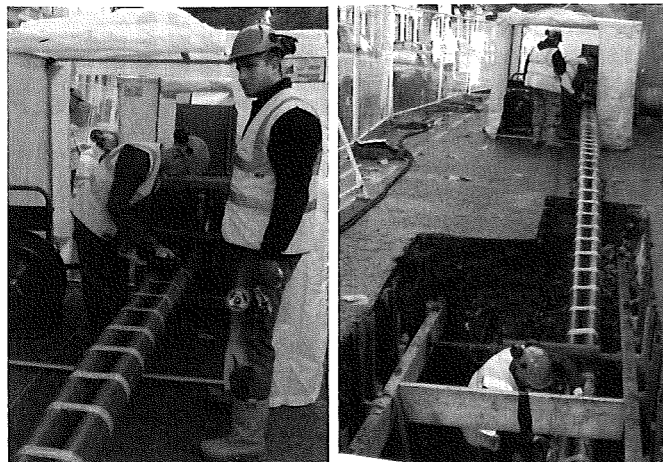
(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

二重の“ポリエチレン”が、送水管の改良作業でデビュー/Dual 'Poly' debut driving water-pipe revamp work

Trenchless World, September, 2007, pp.18-19.

ロンドンには、飲料水システムにより供給された最初の都市の一つである。それらの多くは、Victorian pipingによる。それらの給水本管の3分の1は、150年以上経過しており、約半分は1世紀以上経過している。そして、漏水が多く発生しており、ロンドンは国内2位の漏水量となっている。漏水量は、1日あたりオリンピックサイズプール300個分となっている。

ここ数年、Thames Water(テムズウォーター社)は、'Victorian Water Mains Upgrade Programme'(ビクトリア給水本管改修計画)に取



• PolyFoldは、写真のように丸いパイプを機械にてへこませて挿入し、接続して圧力(水を満たして)元通りの円形に復元させる。  
• このパイプは、径300~1,200mmまで適用できる。

りかかっている。いくつかのエリアにて、施工の半数以上に非開削の技術が使われている。

Maida Valeというロンドン中心のウェストミンスター居住区にて、この方法が使われた。ここでは、300mm径の老朽化した鋳鉄製の給水管が敷設されている。施工は、Laing O'Rourke Utilities Ltdが担当し、Insituformが下請け契約された。

Insituform Blueの施工は、三つのフェーズで全長1,065mである。それぞれ、高密度ポリエチレンのPolyFoldシステムが使われた。フェーズ1は、Warrington Crescentに長さ180mの2本の送水管を改良する。フェーズ2と3は、Warrington Crescentエリアの道路の下に705mの送水管を改良する。すべての作業は計画どおり終了した。

(文責：伴 享・佐藤工業(株))

トンネルのための革命的な交通管制システム/LASERVISION - A revolutionary traffic control system for tunnels

Australasian Tunnelling Society, October, 2007, No.4, pp.33-35.

“STOP”の信号をドライバーが無視してきた問題を解決するために、新しい交通管制システム—Laservision—が開発され、シドニー港トンネルに設置された。

このシステムは、“STOP”の警告をドライバーが無視できないように、レーザー光線と水スクリーンにより警告をトンネル入り口に視覚的に映し出すものである。

シドニー港トンネルは大きな災害に対する耐久性がないので、このシステムのような予防措置はトンネルの管理者にとって鍵となる対策であると考えられている。

このトンネル内では1年に約30件の衝突事故が発生するが、これらの処理費用は市民に跳ね返ってくる。一方通行のトンネル内で火災が発生したある事故では、何人もの運転手が警告を無視して火災地点に向かって運転を続け、煙に飲み込ま

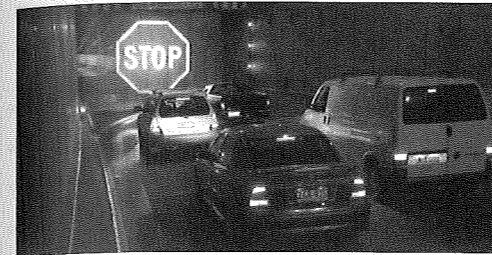


写真 LASERVISION

れた後、方向転換し、トンネル内に入って来る車に向かって逆走した。この事故がLaservision開発の引き金となった。

(文責：梨本 裕・前田建設工業(株))

TBMの掘削能力の予測/Predicting TBM excavability

By Z. T. Bieniawski, B. Celada, M. Galera : Tunnels & Tunnelling International, September, 2007, pp.25-28.

近年、硬質岩盤でのトンネル掘削工事をTBMで行うケースが増えている。TBMの仕様決定時に掘削能力を予測する必要があるが、これまでのRMR(岩盤等級)やQ値を適用するとパラメータが多くなり、予測が難しい。そこで、著者らは500を超える事例から、TBMの掘削能力を予測するための“岩盤掘削能力(RME)指数”を提案した。本指数は、五つのパラメータ(岩石の一軸圧縮強度、穿孔能力(DRI)、岩盤の不連続性、切羽の自立時間、湧水量)に与えられる点数の合計によって定められる(表-1)。

今回、最近の五つのトンネル事例のデータを用いて本指数とTBM(とくにオープン型とダブル・シールド型)の掘進速度(m/日)との関係を詳細に調べた。その結果、算出されたRMEとTBMの掘進速度との相関性は高く、RMEからTBMの平均掘進速度(ARA)を予測できることがわかった(図-1)。

さらに、TBMの掘進速度に与える要因として、①TBM運転員の技能、②トンネル掘削延長、③トンネル掘削径の三つが抽出される。TBM運転員の技能係数 $F_E$ は技量に応じて0.88~1.15の間で示すことができる。また、トンネル掘削延長が長い

表-1 RME 指数の算出法

岩石の一軸圧縮強度【0-25点】										
$\sigma_c$ (MPa)	<5	5-30	30-90	90-180	>180					
評価点	4	14	25	14	0					
穿孔能力【0-15点】										
DRI 試験値	<80	80-65	65-50	50-40	<40					
評価点	15	10	7	3	0					
切羽の不連続性【0-30点】										
地質の均一性	1 mあたりの不連続面数				傾斜					
	均一	混在	0-4	4-8	8-15	15-30	>30	垂直	傾斜	平行
評価点	10	0	2	7	15	10	0	5	3	0
切羽の自立時間【0-25点】										
時間	<5	5-24	24-96	96-192	>192					
評価点	0	2	10	15	25					
湧水量【0-5点】										
l/秒	>100	70-100	30-70	10-30	<10					
評価点	0	1	2	4	5					

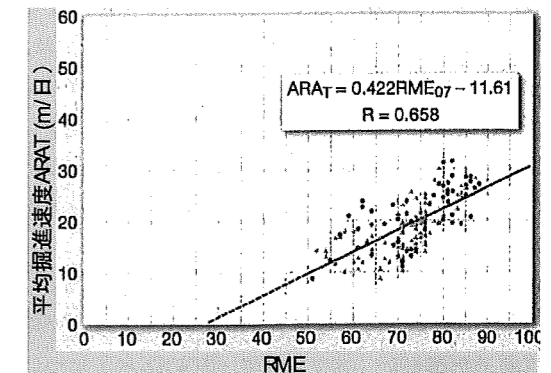


図-1 RME指数と掘進速度の関係

ほど掘削に関するパフォーマンスが向上するので、延長係数 $F_A$ として最大1.20を設定することができる。トンネル掘削径の影響係数 $F_D$ は掘削径8mの場合1.12、10mの場合1.00、12mの場合0.50と評価される。これらの影響を加味することで、次式に示すように理論掘進速度 $ARA_T$ から、実掘進速度 $ARA_R$ を予測することができる。

$$ARA_T = ARA_R / (F_E \times F_A \times F_D)$$

また、オープン型とダブル・シールド型の掘削効率をRMEで評価すると、 $50 < RME < 65$ の場合、ダブルシールド型の掘削効率が低いことがわかった。

(文責：河上清和・五洋建設(株))

## 吹付けロボットによる海底トンネルの防水工/Spray robots waterproof subsea tunnel

World Tunnelling, October, 2007.

支保の吹付けコンクリートの上に厚さ3mmのスプレイトタイプの防水膜を施工し、その上に保護の吹付けコンクリートをする防水システムの報告である。

このシステムはノルウェーのフィヨルドの下を通るノルドイトンネル(L=6,155m, A=64m<sup>2</sup>の2車線道路トンネル, 海面下150m, 最小土かぶり40m)で採用された。トンネルの設計はノルウェー道路局の標準による。地質は約5千万年前の溶岩堆積物で玄武岩層が主体である。かなりの部分の軸圧縮強度は80~90MPaであるが一部軟質で多孔質なところもあり支保のロックボルトが必要である。

防水工の当初設計はノルウェーの標準工法であるポリウレタンシートで工費は全体の10%程度であった。近くで施工した最初の海底トンネルでは、漏水減少に時間がかかり、開業後4年でエフロレンセンスなどの目詰まりにより漏水量は20%減少した。このため漏水に対する要求性能はm<sup>2</sup>・分あたり3滴から6滴に変更された。なお、気候はおだやかで凍結対策は坑口から200mとした。

シングルシェルにできること、シート防水より経済的であることからオーナーはスプレイトタイプの防水工を選んだ。スプレイトタイプの防水工についてはスイスおよびアメリカで良好な結果が報告されていた。この防水工は吹付けコンクリートとロックボルトの上にあるシングルシェルの一部となる。

この防水システムは吹付けコンクリートにサンドウイッチされた最小2mm, 平均3mmの防水膜である。相互の境界に不透水層ができる。写真-1に状況を示す。Aは吹付けコンクリート, Bは防水膜, Cは保護の吹付けコンクリートである。吹付けコンクリートとの結合強度は1~1.2MPaである。

防水膜は吹付け後すぐに乾燥がはじまる。この過程でセメントの水和反応と余剰水の蒸発がおきる。

この反応は非可逆的なのであとで浸水があつて

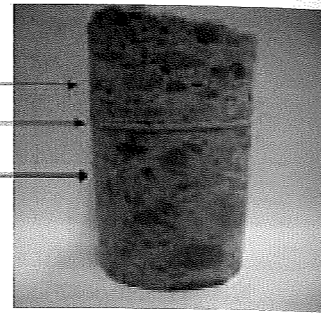


写真-1 コア写真

も防水性能は変化しない。防水膜は厚さ5mm以上だと乾燥が遅くなりその間に浸水があると防水性能に支障をきたす。

防水膜を正確に仕上げるためには吹付け面の平滑さと湿潤箇所の処理が必要である。そのために吹付けコンクリートの最大骨材寸法は4mmとし不陸があれば事前に追加吹付けをする。漏水は1分間3,4滴であればよいがそれ以上なら事前に処理する。

厚さを正確に吹付けるためにノズルの正確な移動と吹付け表面をスキャンできるロボットが開発された。これはレーザーを用いて下層の吹付け面のコンターを測定するもので、スキャナーは、吹付けノズルのすぐ後ろに装備される。このトンネルでは20cmごとの格子点が測定された(図-1)。吹付け機は乾式でノズル径は32mmで普通の吹付け機と同様である。水はニードルバルブで正確に調整される。トンネル断面が64m<sup>2</sup>なら3m分のコンターが測定できる。

ブームやノズルは自動で動くが水や材料の供給は手で調整する。

吹付け表面の平滑さとマニピュレーターの一一定の速度とスムーズな動きが正確な吹付け厚を可能にしている。作業班が装置の操作になれたら12時間で800m<sup>2</sup>の施工ができる。

防水膜の乾燥後(一般には10~14日後)に最小4cm厚のファイバー入り吹付けコンクリートが内側に施工される。乾燥状態は硬度を測定して決める。

施工についての仕様はすでに確立されている。また、厚さ管理測定方法や供用後の漏水に対する補修方法も決められている。

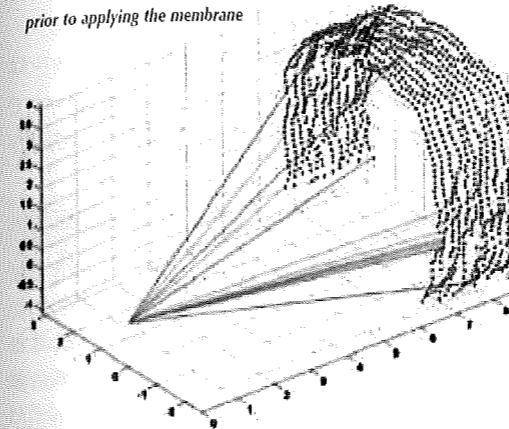


図-1 吹付け面の3次元測定結果

最後に当システムで重要なことは事前の表面処理(平滑化)である。また施工がうまくいかず水が浸入する可能性があるがこれは吹付け後1日で生じ、すぐわかるので局所的な注入などで対処する。注)防水層の配合などの表示はなく不明である。

(文責: 関本 昇・佐藤工業(株))

## TBMの掘削能力の予測 II /Predicting TBM excavability-Part II

By Z. T. Bieniawski, R. Grandori : Tunnels & Tunnelling International, December, 2007, pp.15-18

9月のパートIに続き、パートIIでは、エチオピアで現在建設中である3本のトンネルにおいて、RME(岩盤掘削能力)指標の活用状況について述べている。なお、パートIで説明した方式を、3本のトンネルに適用するにあたって、いくつかの点を変更したが、基本的な考え方は変えていない。

- Gilgel Gibe II導水トンネル: 長さ26km, 直径7m, 2機のダブルシールド型TBMを使用し, 両坑口から掘削。岩盤層は, 硬質な火山岩(玄武岩, 流紋岩, 粗粒玄武岩, 粗面岩)。
- Beles導水トンネル: 長さ12km, 直径8.1m, EPBダブルシールド型TBM1機を使用し, 放水口側から掘削。岩盤層は, 最初の10kmは火山岩(玄武岩, 凝灰岩), その先2kmはEPB運転モードを適用する軟弱な湖成堆積物。
- Beles放水路トンネル: 長さ7.2km, 直径8.07m,

ダブルシールド型TBM1機を使用し, 放水口側から掘削。岩盤層は火山岩が中心である。

上記トンネルにおけるRMEと掘削速度との関係のほか, 掘削速度に影響する要因(掘削径, 現場効率, 学習期間)を考慮し, TBMの平均掘削速度(ARA: ave. TBM rate of advance)を提案している。

$$ARA = 60 \times (RME/100) \times C_D \times C_E \times C_L + 0.23RME - 14.5$$

ここで,

ARA: 平均掘削速度(m/day)

RME: 当該のトンネルの実測または予測RME値

C<sub>D</sub>: 掘削径補正

$$C_D = 1.2058 - 0.0588D_e \quad (D_e = \text{掘削径})$$

C<sub>E</sub>: 現場効率

$$C_E = (0.5 + C_c + C_m + C_a)$$

C<sub>c</sub>: 施工者の経験, 0~0.2

C<sub>m</sub>: マンパワーの質, 0~0.15

C<sub>a</sub>: 輸送条件, 0~0.15

C<sub>L</sub>: 学習期間係数, 0.85~1.00(掘削延長に依存)

<計算例>

$$D_e = 7.0\text{m}, C_c = 0.2, C_m = 0, C_a = 0, C_L = 1$$

RME	40	50	60	70	80	90
ARA, m/day	8.04	13.68	19.31	24.95	30.58	36.22

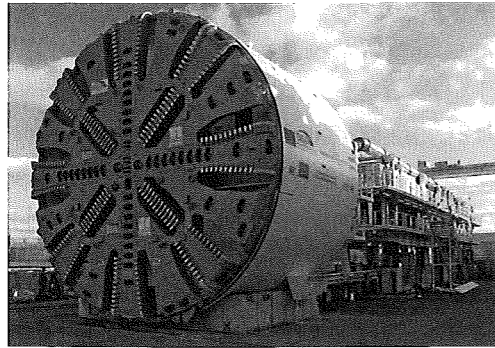
(文責: 畑生 浩司・鉄建建設(株))

## Brenner Base Tunnelに関する作業の経過報告/Report on the progress of the preliminary work for the Brenner Base Tunnel

By Prof. K. Bergmeister : TUNNEL, February, 2008, pp.16-25, 32-44.

Brenner Base Tunnelプロジェクトに関する数件の記事の紹介である。

Brenner Base TunnelはTrans-Europeanの輸送インフラの要となるトンネルであり, イタリア, オーストリア, ドイツを経由する全長55kmの鉄道専用トンネルである。トンネルの構造は, 333



mごとに連絡トンネルにより接続されたツインチューブ形状であり、チューブトンネル下方12mに調査トンネルを有している。

現在、準備作業としてプロジェクトの最適化を実施しており、工事に対するさまざまなコスト分析およびリスク分析を行っている。工事のトータルコストは、基本コストに加えてリスクに対するコストおよび物価安定を考慮したコストで構成されている。2006年12月時点でのコストは、60億ユーロ(1ユーロ：160円、約9,600億円)と試算された。プロジェクトの工程は、オーストリアとイタリアの認可が2008年、入札・開札が2009年、メイントンネル工事の着工開始が2010年、Brenner Base

Tunnelの完成が2020/2022に予定されている。本プロジェクトに関連するアクセストンネルはすでに施工中である。アクセストンネルの一つであるMünster-Wiesingトンネル工区について紹介する。Münster-Wiesingトンネルは長さが5.8kmであり、地質は、粘土、シルト、砂、透水性の高い砂礫で構成されており、地下水圧は3.6barである。トンネルルートの一部は、Inn Valley高速鉄道と在来の鉄道線に交差するため、高度な技術が必要である。TBMは、直径が13m、設備長さが106m、重量が2,600tfの大きさであり、オーストリアで使用されるもっとも大きなTBMである。TBMの設計水圧は5 barであり、3段のテールブラシを装備している。240tのカッターヘッドを駆動するモーターは2,500HP以上の能力を有している。掘削土量は765,000m<sup>3</sup>であり、掘削土砂は、流体輸送にて地上まで運搬されている。掘進はメンテナンスを除いて24時間稼働であり、2007年6月中旬より掘削が開始され、2007年12月中旬で、約1.4kmを掘進し、掘進スピードは12m/日である。

(文責：近 信明・(株)竹中土木)

### 研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては20頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

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

## 「トンネルと地下」2008年1~12月号総目次

〈平成20年・年間総目次〉

巻	月号	頁	著者
計画と地質調査		39 11	寺田光太郎
避難坑の設計と施工		39 11	佐野信夫・兼松亮
本坑TBMの計画		39 11	佐野信夫・小林伸次
本坑の設計と施工		39 11	川北眞嗣・領家邦泰
高圧大量湧水への挑戦		39 11	川北眞嗣・築地功
シングルシェルへの挑戦		39 11	森山守・大塚勇・小原伸高
安全・安心のためのトンネルの設備技術		39 11	東晋一郎・森吉應之・川村康史
飛驒トンネルの施工を終えて		39 11	鈴木幾雄・山田隆昭・寺田光太郎・松原利之・小林伸次
セグメントリング継手の損傷分析と対策		39 2	山崎剛・小泉淳
高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化		39 3	佐野信夫・馬場弘二・山田隆昭・西村和夫
温度制御噴霧式覆工コンクリート養生法の開発		39 4	山田浩幸・後藤裕一・水町実・坂本全布
繊維補強型RCライナーの継手部耐火性能評価		39 6	森山守・寺田光太郎
シールドを用いた場所打ち支保(SENS)の耐荷機構に関する研究		39 7	飯田廣臣・野々村政一・磯谷篤実
青函トンネルの覆工の長期的挙動に関する研究		39 8	土谷幸彦・倉川哲志・工藤健
重金属などを含む掘削残土の分別処理方法		39 10	服部修一・太田岳洋
高品質吹付けコンクリートによる単一覆工構造に関する研究		39 12	登坂敏雄・阿部敏夫
高地下水位・高透水性の硬質砂礫地盤における開削工法の検討		39 5	森研一郎・齊藤豪・佐藤友亮
下水道管路施設の改築・修繕計画のシステム化			
年頭所感	39 1	5	小森 博
間口を拓げる	39 2	5	小山 幸則
日本の活力を維持するために	39 3	5	小野 武彦
社会資本を造るということ	39 4	5	高山 博文
技術開発はエンドレス	39 5	5	長崎 光男
道路を管理する立場から見たトンネル	39 6	5	小川 篤生
技術進歩と海外市場	39 7	5	吉川 邦彦
技術者に求められるものとは	39 8	5	桑原 彌介
都市化(Urbanization)とトンネル技術	39 9	5	井上 年史
山岳トンネル技術への思い	39 10	5	熊谷紳一郎
飛驒トンネル完成、そして東海北陸自動車道全線開通にあたって	39 11	5	横田 耕治
子々孫々への遺産	39 12	5	朝倉 俊弘
海外トンネル工事			
ボスポラス海峡横断鉄道トンネルの施工	39 1	7	田口洋輔・小山文男・今石尚
スロバキア高速道路トンネルの施工	39 1	19	青木俊彦・Stefan CHOMA・端則夫・岩野政浩
マドリッド環状道路での大断面泥土圧式シールドの高速施工	39 1	29	的場一彦
アルジェリア東西高速道路(400km)の契約とトンネル施工	39 1	37	石田稔・小菅誠・濱田裕文・辻和彦
台北地下鉄新莊線CK570Bシールド工事	39 1	45	佐藤卓三・後藤徹・鹿島竜之介
オーストラリア パース市に地下鉄を掘る	39 1	53	赤羽清彦・山崎裕司・相川文宏
ラオス ナムツン2水力発電プロジェクトの導水路トンネル	39 1	61	仲野義邦
飛驒トンネルの建設を省みて	39 11	7	足立紀尚
飛驒トンネルの開通までの歩み			
飛驒トンネル開通記念			

.....谷秀樹・山本和広・水江功一 39 9 47

施 工

【鉄道トンネル】

小土かぶり未固結地山でのトンネル掘削〈東北新幹線  
高館トンネル〉.....

清水健志・三浦貴幸・野田軍治・小沼宏嗣 39 2 7

飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断〈北陸  
新幹線 長峯トンネル〉.....

依田淳一・都築保勇・張信一郎・明石太郎 39 3 7

九州新幹線筑紫トンネルの貫通〈周辺環境を考慮したルー  
ト選定と施工〉.....

.....佐々木幸一・芳賀康司・直江久永 39 4 7

側壁脚部に軟弱層を伴う地山を地表より改良〈東北新幹  
線 上北トンネル, 赤平トンネル〉.....

斎藤荘英・石山民一・田野彰一・芳賀宏 39 6 7

軌道直下に幅50mの大断面函体を構築〈京成電鉄千葉線  
稲毛〜みどり台駅間〉.....

山ノ内健志・川崎豊・吉田朝雄・百瀬昌 39 7 7

高水頭未固結砂岩層の大崩落とその克服〈北陸新幹線  
飯山トンネル(上倉工区・富倉工区)〉.....

都築保勇・黒岩清貴・福入博文・杉本憲一 39 8 7

糸魚川-静岡構造線に近い断層破砕帯を貫く〈北陸新幹  
線 新親不知トンネル〉.....

.....東光秋・小野正文・寺本哲・坂田和幸 39 9 7

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(そ  
の1)〈東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群〉.....

.....田村栄二郎・松長剛 39 10 7

小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(そ  
の2)〈東北新幹線 八戸・七戸間トンネル群〉.....

.....登坂敏雄・玉井達毅 39 12 7

【道路トンネル】

大断面トンネルを多様な施工技術で掘削〈第二東名高速  
道路 金谷トンネル〉.....

岩本英将・岸本光弘・安井義則・吉田安利 39 2 15

TBMで6kmの避難坑を高速施工〈日本海沿岸東北自動  
車道 温海トンネル避難坑〉.....

大友強一・芳賀伯文・松本茂美・水戸聡 39 3 15

システムチック養生台車による覆工コンクリートの品質  
向上〈鳥取自動車道 智頭用瀬トンネル南工事〉.....

辺見泰造・野々山栄治・溝手一憲・小野稔 39 4 17

補助ベンチ付き全断面掘削・早期閉合で都市トンネルを  
掘る〈岸谷生麦線(生麦方面行き)トンネル工事〉.....

寺山徹・津野和宏・内海貴志・蛭川愛志 39 5 7

TBM掘削における多量の湧水を清濁分離して処理〈東  
北中央自動車道 栗子トンネル東避難坑〉.....

成田明仁・春山英樹・永井宏・植中靖二 39 5 19

騒音・振動・低周波音をモニタリングし周辺環境への影  
響を抑制〈宇和島道路 石丸トンネル〉.....

.....清水正二・渡邊博・柳森豊・小林真人 39 5 25

蛇紋岩地山での変形抑制と新しい吹付け応力測定法への  
取り組み〈北海道横断自動車道 東占冠トンネル〉.....

.....安藤武義・小澤隆二・内田渉・谷卓也 39 6 17

小土かぶり大断面超近接双設トンネルの地山挙動〈新東  
名高速道路 今里第一トンネル〉.....

田中貞俊・池田克樹・志岐寛・石井孝広 39 7 15

大断面4連アーチカルバートの合理的な施工〈第二京阪  
道路 国守工事〉.....

田口敬介・水野希典・中野計・内村祥史 39 8 15

盛土上の公園直下を最小土かぶり3mで掘る〈徳島南環  
状道路 法花トンネル〉.....

門田隆志・鎌村禎英・高杉英則・八木田茂生 39 9 15

中央構造線擾乱帯を貫く〈三遠南信自動車道 三遠ト  
ンネル〉.....

.....秋田修・真弓英大・玉井昭雄・岡山徹 39 10 17

酸性液体急結剤と粉体助剤を用いた低粉じん吹付け〈東  
北中央自動車道 栗子トンネル西避難坑〉.....

前川秀人・五十嵐高・藤井宣・平野健吉 39 12 15

岩盤対応型大断面シールドによる道路トンネルの施工  
〈阪神高速道路8号京都線 稲荷山トンネル〉.....

足立幸郎・高磯徹・東出明宏・北岡隆司 39 12 21

【地下鉄トンネル】

既設地下重要構造物下を二種類のシールド工法で克服  
〈西大阪延伸線(阪神なんば線) 第3工区).....

久保田晃司・仲田義弘・重光達・小倉崇敬 39 2 31

複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理〈中之島  
線 第6工区).....

.....長瀧元紀・泉谷透・平手知・神谷拓生 39 3 31

都市部での大口径シールドの課題をさまざまな創意工夫  
で克服〈東京メトロ副都心線 新宿御苑工区).....

.....亀山勝・的場純一・渡辺重人 39 4 29

高度な技術を駆使して地下連続立体複々線化事業を推進  
〈小田急電鉄小田原線 代々木上原〜梅ヶ丘).....

.....中込芳雄・伊藤健治 39 5 37

最新の土木技術により既設鉄道を地下化〈東急東横線  
渋谷〜代官山).....

.....津守澄男・関高・山崎仁 39 6 27

太秦に伸びる古都京都の地下鉄〈京都市高速鉄道東西線  
二条〜太秦天神川間).....

.....古川衛・清水稔也・京谷百恵 39 7 25

埋設物直下の既設地下鉄存置杭を凍結工法で撤去〈中之  
島線 第4工区).....

長瀧元紀・定藤誠一郎・坂野一典・橋本和晃 39 8 25

大阪市営地下鉄今里筋線の建設工事と計測管理.....

.....吉田博・深海未歩 39 9 29

四つ橋線直下のシールド掘進と上部連絡通路の施工〈中  
之島線 第3工区).....

西村幹夫・定藤誠一郎・山下剛・天野健次 39 10 31

最小土かぶり4.4mで土佐堀川下をシールドで横断〈中  
之島線 第6工区).....

西村幹夫・定藤誠一郎・山下晋由・大江郁夫 39 12 33

【サービストンネル】

計測管理により構造物に近接してシールドを施工〈大阪  
市深江中浜下水道幹線).....山本 智 39 2 39

シールド工事における地域とのコミュニケーション〈東  
京都下水道 墨田区菊川一, 二丁目付近再構築工事)  
.....新谷康之・小川仁・望月健・早川淳一 39 3 39

高水圧下での急曲線貯留管の建設〈新羽末広幹線(太尾・  
駒岡区間) 第一工区).....

波多野純一・仲澤克彦・森井啓之・大畑裕 39 5 45

大深度立坑から東京航路を横断する水道シールド〈東京  
都水道局 東南幹線).....

原蘭一矢・対馬一郎・太田健視・赤坂茂 39 6 37

南海の珊瑚礁下を環境に配慮した推進工法で貫く〈奄美  
大島海水取水管築造工事).....

.....山本宇宙・勘如重樹 39 7 37

P&PCセグメント工法のPCグラウト施工〈さいたま市  
南浦和2号幹線(雨水貯留管).....

.....山口匡・吉田英信・堤和夫・柳井修司 39 7 43

大口径P&PCセグメントの施工〈大阪国際空港内雨水貯  
留施設管路施設築造工事).....

永本隆行・米田武志・田中大三・入田健一郎 39 8 37

泥土・泥水切り替え型親子シールドによる長距離掘進  
〈京都府 いろは呑龍トンネル(第2号・3号管渠).....

駒路勝男・福井重明・美馬健作・河田利樹 39 9 39

供用中の下水道管渠への側面地中接合〈江戸川左岸流域  
下水道シールド工事(市川幹線701工区).....

三室賢治・田代良守・角田繁俊・守屋洋一 39 10 43

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(7).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 1 69

シールド工事の施工に関するQ&A(8).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 2 59

シールド工事の施工に関するQ&A(9).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 3 57

シールド工事の施工に関するQ&A(10).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 4 57

シールド工事の施工に関するQ&A(11).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 5 63

シールド工事の施工に関するQ&A(12).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 6 55

シールド工事の施工に関するQ&A(13).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 7 61

シールド工事の施工に関するQ&A(最終回).....

.....JTA都市トンネル小委員会 39 8 59

山岳トンネル先進ボーリング入門(1)〈ボーリング・先  
進ボーリングの概要).....

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会 39 9 53

山岳トンネル先進ボーリング入門(2)〈ボーリング機器  
とその性能(1).....

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会 39 10 63

山岳トンネル先進ボーリング入門(3)〈ボーリング機器  
とその性能(2).....

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会 39 11 91

山岳トンネル先進ボーリング入門(4)〈施工計画の基本  
および得られる情報と効果(1).....

山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会 39 12 55

現場だより

「スイカと歴史の町」植木から.....

.....加賀原寛志 39 1 18

「佐用姫伝説」唐津にて.....小西 守 39 1 28

「長岡の奥座敷」蓬平町より.....松田 健 39 2 14

「旧雲石街道のまち」可部より.....越智辰彦 39 2 27

「西九州の観光都市」佐世保より.....

.....大久保政吉 39 3 27

「炭鉱そしてメロンの町」夕張市より.....

.....信田俊文 39 3 30

「河内木綿のふるさと」八尾より.....

.....岡田 豊 39 4 27

「万葉のロマン」熊本県芦北町より.....

.....伊藤典彦 39 4 28

「開府400年祭で賑わう水の都」松江市より.....

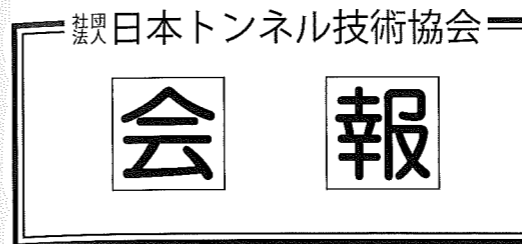
.....中山悦美 39 4 41

「風の町」蟹田より.....矢野勇一 39 5 18

「鯉乃国」中土佐町久礼より ……末松幸人 39 5 36  
 「琉球の国」沖縄県那覇市より …津中重彦 39 6 15  
 「本州一広大な町」岩手県岩泉町より ……  
 ……向田恵三 39 6 16  
 「日本最寒の地」幌加内町より …吉田久男 39 7 13  
 「酪農と酪のまち」釧路市音別町より ……  
 ……萬 正己 39 7 14  
 「甘い香りが漂う大笹生トンネル」より ……  
 ……大沼正浩 39 7 36  
 「食とセメントの宝庫、洞爺丸の眠る町」北斗市より …  
 ……中世古敦司 39 8 36  
 「歴史と水の国」三島より ……西海康弘 39 9 25  
 「手つかずの山と川のあるふれあいの里」いわき市三和  
 町より ……高野浩司 39 10 30  
 「杜の都」仙台市青葉山より ……浅川敏郎 39 11 16  
 「自然豊かな港まち」蒲江町より ……  
 ……吉岡敏弘 39 12 14  
 「心やすらぎ美食の郷」御食国・若狭小浜より ……  
 ……水島正信 39 12 41  
 『地下展』を見る ……小野田 滋 39 1 26

トンネル千夜一夜

鉄道トンネル最初の立坑を訪ねて〈関西本線・加太トン  
 ネル〉 ……小野田 滋 39 2 28  
 佐藤周一郎をめぐって(1)〈鮎山学科出身のトンネル技  
 術者〉 ……小野田 滋 39 3 28  
 佐藤周一郎をめぐって(2)〈川島芳子を叩いたトンネル  
 技術者〉 ……小野田 滋 39 4 42  
 湊川隧道と保存友の会(1)〈震災から甦った土木遺産〉  
 ……小野田 滋 39 5 34  
 湊川隧道と保存友の会(2)〈友の会の活動〉 ……  
 ……小野田 滋 39 6 34  
 明治時代の変状トンネル(1)〈奥平清貞の卒業論文をめぐ  
 って〉 ……小野田 滋 39 7 34  
 明治時代の変状トンネル(2)〈奥平論文に見る牧ノ原ト  
 ンネル〉 ……小野田 滋 39 8 34  
 明治時代の変状トンネル(3)〈牧ノ原トンネルの修繕工  
 事記録〉 ……小野田 滋 39 9 26  
 明治時代の変状トンネル(4)〈神保小虎と牧ノ原トン  
 ネル周辺の地質調査〉 ……小野田 滋 39 10 28  
 明治時代の変状トンネル(5)〈牧ノ原トンネルをめぐ  
 る2人の土木技術者〉 ……小野田 滋 39 11 14  
 保存された日本最初のシールド掘削機 ……  
 ……小野田 滋 39 12 42



1. 会員の現状

	10月25日現在
正 会 員	1,944名
団体会員	343名
個人会員	1,601名
名 誉 会 員	1名
計	1,945名

2. 委員会の開催状況(10月1日~31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

共通技術小委員会

ざり出し調査WG：10/2(朝倉讓主査ほか6名)調査  
 報告書を検討

都市トンネル小委員会幹事会：10/9(小岩敏男幹事  
 長ほか9名)連載講座Q&Aを編集

山岳トンネル小委員会

支保WG：10/9(深沢成年主査ほか19名)インバート  
 設置技術基準を検討

保守管理小委員会：10/7(林康雄委員長ほか16名)デー  
 タ活用事例を検討

3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第35回ITA総会およびコンgres 「都市と環境のための安全なトンネ ル工法」	2009. 5. 23~28	ブタペスト (ハンガリー)	Hungarian Tunnelling Association (ハンガリートンネル協会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) <a href="http://www.wtc2009.org">http://www.wtc2009.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

効率的掘削工法特別委員会：10/3(西村和夫委員長  
 ほか23名)中間報告を検討  
 同 打合せ会：10/16(領家邦泰委員ほか4名)吹  
 付け覆工取りまとめ方針を検討  
 同 同：10/27(相山孝司委員ほか8名)早期断面  
 閉合取りまとめ方針を検討  
 相鉄・JR・東急直通線特別委員会：10/10(小山幸  
 則委員長ほか36名)施工計画を検討  
 小土かぶりトンネル特別委員会：10/28~29(田村武  
 委員長ほか36名)現地視察ほか  
 耐震設計検討特別委員会幹事会：10/31(蔣宇静幹事  
 長ほか14名)解析ほかを検討  
 計 10回開催 181名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：10/6(大島洋志主査ほか14名)11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

海外文献WG：10/1(大久保誠介主査ほか14名)海外  
 文献を査読

海外ニュースWG：10/21(小島宗隆主査ほか6名)  
 海外ニュースを翻訳

対外広報WG：10/30(小島宗隆主査ほか5名)トン  
 ネル工事現況配布状況報告

計 4回開催 43名出席

合計 14回開催 224名出席

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6,300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メジャー神楽坂  
 電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072

## 4. 平成20年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
<b>(見学会)</b>			
名古屋市下水道現場研修会	2008. 6.19	15	愛知県
名古屋市地下鉄現場研修会	2008. 6.20	13	愛知県
交差点立体工事現場研修会	2008. 7.25	18	神奈川県
都下水道現場研修会	2008. 7.30	17	東京都
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2008. 8.19	18	東京都
福岡市下水道現場研修会	2008. 9.12	18	福岡県
北関東自動車道トンネル現場研修会	2008. 9.19	18	栃木県
北海道道路トンネル現場研修会	2008. 9.25~26	44	北海道
北海道新幹線トンネル他現場研修会	2008.10. 9~10	32	北海道
仙台東西線 青葉山トンネル他現場研修会	2008.10.17	18	宮城県
調布駅付近連続立体交差現場研修会	2008.10.31	23	東京都
東濃地科学センター施設研修会	2008.11.13	30	岐阜県
HEP&JES工法工事現場研修会	2008.12. 5	15	東京都
小田急下北沢地区複々線化工事現場研修会	2008.12.12	30	東京都
<b>(施工体験発表会)</b>			
第62回(山岳)	2008.10.23	131	東京都
「周辺環境条件を配慮し、新技術を駆使したトンネル工事」			
第63回(都市)	2008.10.24	89	東京都
「都市部の特殊条件下でのトンネル工事」			
<b>(講演、講習会)</b>			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2008.11. 6~ 7	30	東京都
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2008.11.20~21	30	栃木県

## 施工体験発表会発表者への表彰 第2回優秀者の発表

この表彰制度は、本会が主催する施工体験発表会(山岳)ならびに施工体験発表会(都市)での発表者の発表技術および意欲を高め、発表会に参加する者の資質向上を図るため昨年度から導入したものであり、今回第2回目として下記のとおり発表いたします。

第62回(山岳)施工体験発表会 開催日：平成20年10月23日(木)  
—周辺環境条件を配慮し、新技術を駆使したトンネル工事—

### 最優秀賞

地上構造物が存在する地すべり直下のトンネルの情報化施工 清水建設(株) 平野 宏幸

### 優秀賞

広域的地下水流動の保全を目的とした防水型トンネルの施工 大成建設(株) 瀧 治雄  
小土被りの住宅・市道直下でのトンネル掘削における沈下抑制対策  
(株)間組 多寶 徹

第63回(都市)施工体験発表会 開催日：平成20年10月24日(金)  
—都市部の特殊条件下でのトンネル工事—

### 最優秀賞

幹線国道直下における国内最長150mパイプルーフ工 鹿島建設(株) 小河 亮介

### 優秀賞

岩盤対応型泥水式シールド機による道路トンネルの建設 (株)大林組 東出 明宏  
大深度、高水圧下での超長距離推進工の施工 清水建設(株) 飯泉 勝

# 1月号予告[1月1日発売予定]

- 九州新幹線 博多駅
- 小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その3)
- 第二京阪道路 小路トンネル
- 地下鉄営業線内における石綿除去
- ITA総会報告  
【連載講座】
- 山岳トンネル先進ボーリング入門(5)  
\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆早いもので2009年も残すところあと1か月です。読者のみなさまにとってこの1年はどんな年でしたでしょうか。洞爺湖サミット、福田首相の突然の辞任に伴う麻生首相の誕生、北京オリンピック、力士の大塚事件、石油の高騰、サブプライム問題、リーマンショックなどあまりよい出来事はありませんでしたが、ノーベル賞に日本から3名の方が同時に受賞するという快挙がありました。野球界では、清原、桑田、野茂などの世代が引退し一つの時代が終わった気がします。

◆アメリカでは、次期大統領選が行われ、初のアフリカ系の黒人大統領となる民主党のオバマ上院議員が当選しました。同議員は、肌の色は関係なくみんな同じアメリカ人であることを強調し多くの国民に支持されました。厳しい経済状況の中でこそ生まれた大統領ではないでしょうか。アメリカ国民は「Change」を求めているのでしょう。

◆さて、わが国も麻生首相の解散宣言がいつ出るか、民主党に政権が変わるのか、国民の関心が高まっています。しかし、「誰がやっても変わらない」という声が多く聞こえ、今ひとつ両陣営も国民を引き付ける大きな政策を打ち出せずにいます。こういう時期だからこそ、内需拡大の政策を思い切って打ち出してもらいたいものです。裾野が広い建設業界や自動車業界の発展なくして経済の回復は望めないのではないでしょうか。「公共工事=無駄づかい」というイメージが強いなかだからこそ、「公共工事=経済発展」という図式を構築できる良いチャンスです。

◆来年は、まさに「Change」の年になることは間違えありません。がんばれ日本! 希望のもてる年になりますように。  
(K.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39巻 第12号 (通巻460号)  
ISSN 0285-631X  
Tonneru to chika  
平成20年11月20日 印刷  
平成20年12月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会  
会長 小森 博  
〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)  
TEL: 03-3553-6174  
FAX: 03-3553-6145  
<http://www.japan-tunnel.org>  
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。

**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

ずり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/>