

# トンネルと地下 8

vol. 39  
no. 8  
2008

Tunnels and Underground

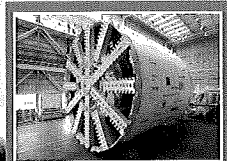
高水頭未固結砂岩層の大崩落とその克服  
大断面4連アーチカルバートの合理的な施工  
埋設物直下の既設地下鉄存置杭を凍結工法で撤去  
大口径P&PCセグメントの施工  
青函トンネルの覆工の長期的挙動に関する研究

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!



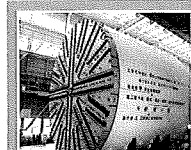
2006

(トハイLRT用シールド)  
ト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



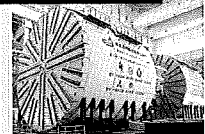
2003

(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業地中建設株式会社として生まれ変わりました。

### 三菱重工業地中建設(株)のシールド式トンネル掘削技術

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

定価 1,575円 雑誌06619-8  
本体価格1,500円



4910066190880  
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**

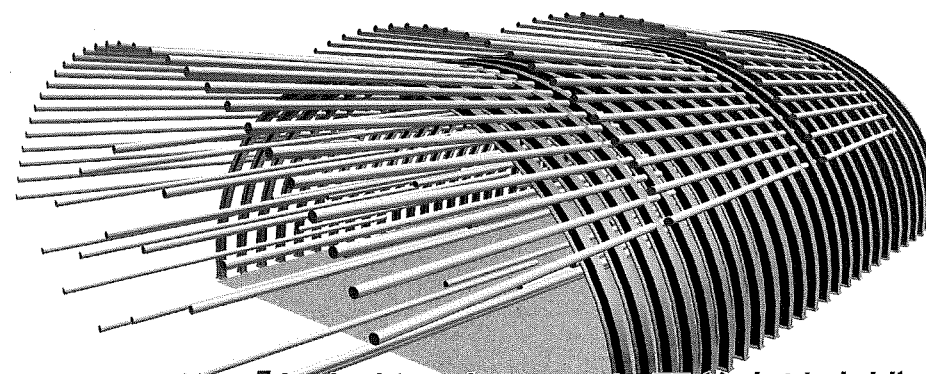
電気化学工業株式会社

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

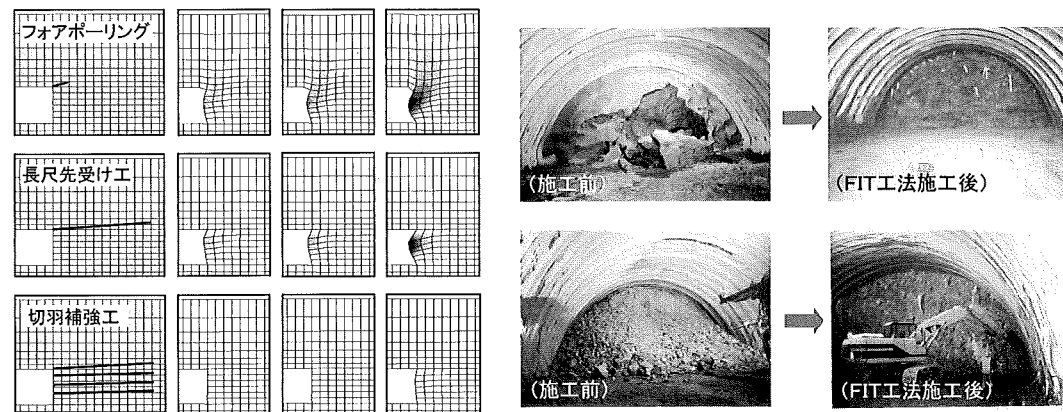
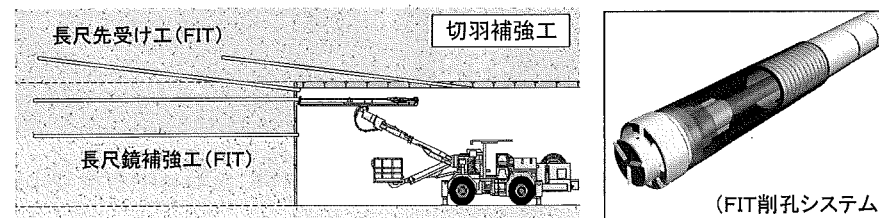
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

**FIT** 工法  
 FRP INJECTION TUBE



最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」



(数値解析による切羽補強効果の検証例)

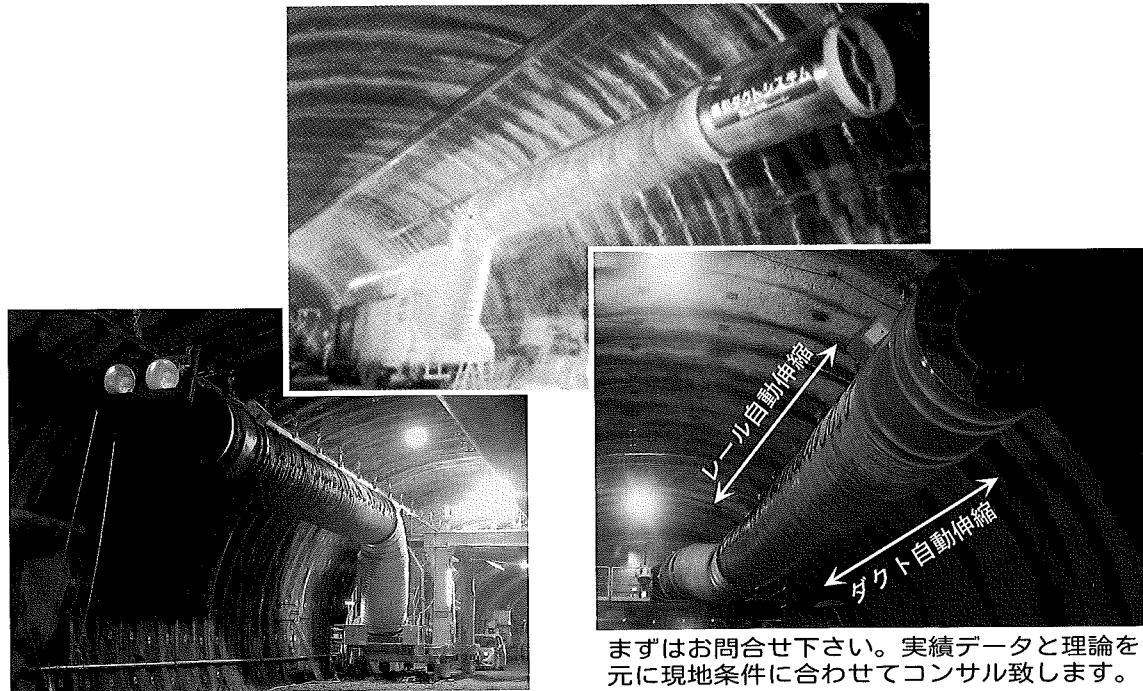
**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

東京土木営業部 TEL(03) 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/>

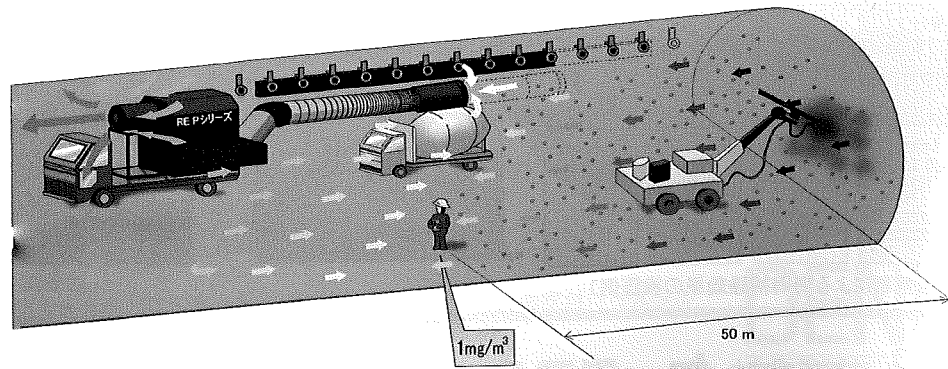
# 吸引ダクトシステム

**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応。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。
- ・適応径は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

あつめさむい 静かなアリエルです



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。

今時、静かなのは当たり前!!

**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

## 吹付けコンクリートシステム



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

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

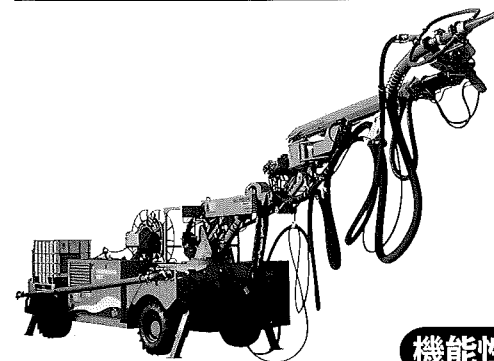


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

### プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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



### コンパクトで群を抜く使いやすさ!

機能性、機動性の基に理想的な機械化を実現!

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

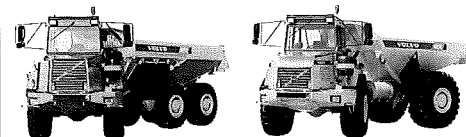
### トンネル関連製品

#### 吹付けコンクリートシステム

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

一体型吹付機・特殊型吹付機  
設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

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

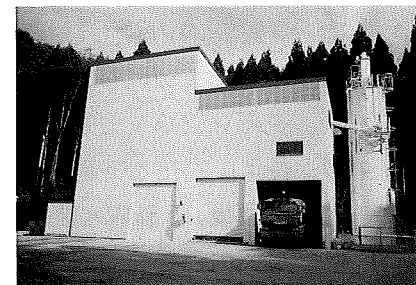


Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

#### バッチャプラント

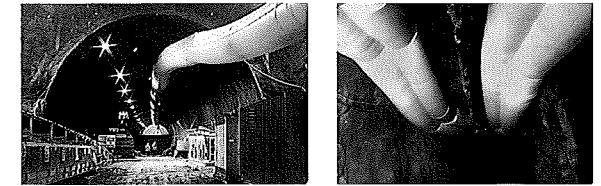
(全自動式、3槽クラム式、簡易型、特殊型)



設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

## トンネル換気システム

**ABC**  
VENTILATION SYSTEMS

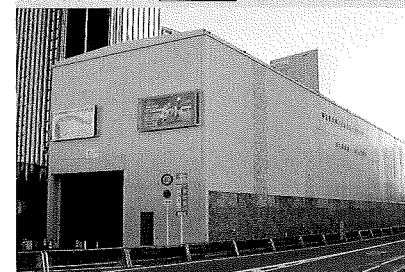


- ファスナー式風管
- ツイングダクト風管
- スパイラル風管
- 帯電防止型風管

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

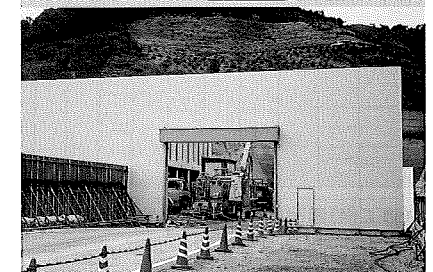
## 騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



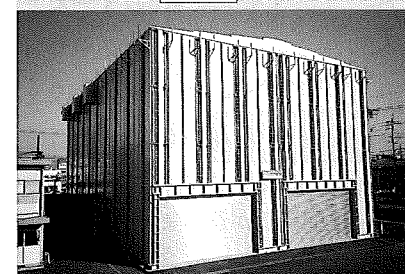
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



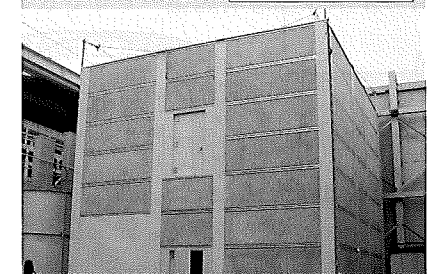
適応性の優れた防音パネル

エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献する TOYU GROUP

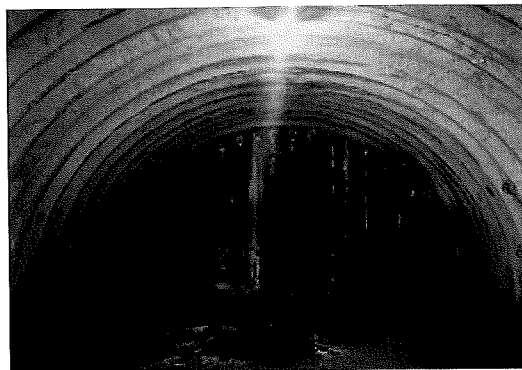
**東友エンジニアリング株式会社**

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

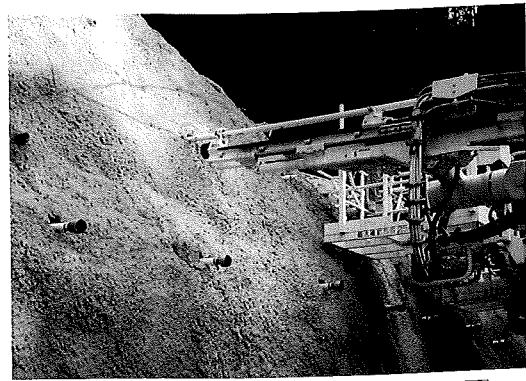
〒102-0073 東京都千代田区九段北 3-2-5 TEL: 03-3234-8901 FAX: 03-3234-8900  
株式会社トーユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974  
トーユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

# 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

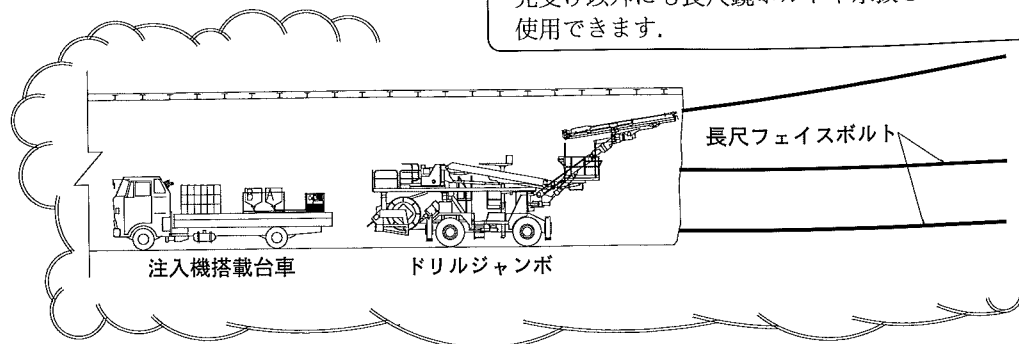
プロトタイプ  
無拡幅タイプ  
最小拡幅タイプ

## 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、注入式フォアボーリングとAGF工法の間を埋める工法！



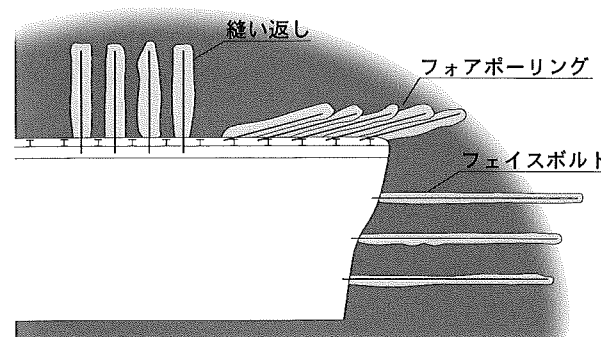
## 注入材のバリエーション

- 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



注入式フォアボ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
- ・注入式フォアボーリング
- ・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/>

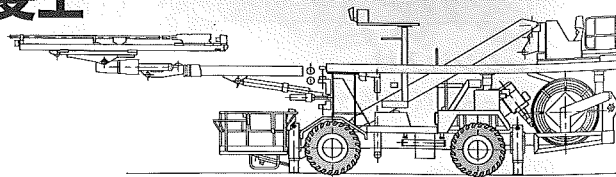
技術営業部  
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164  
東京支店  
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648  
九州営業所  
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846

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

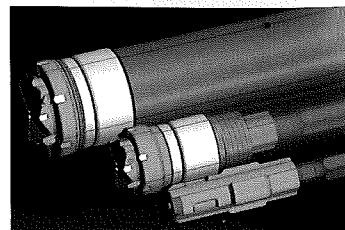
### TOHO AGF System

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

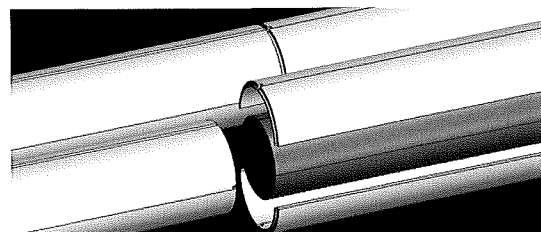


### AGF-Me工法

- ・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。



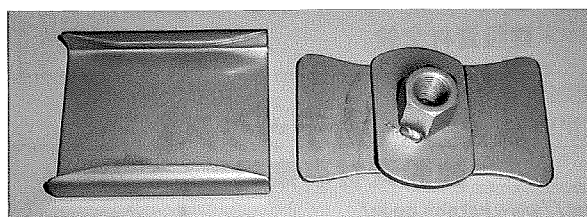
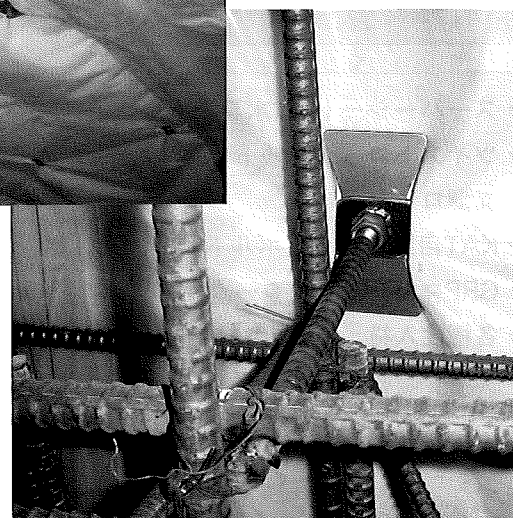
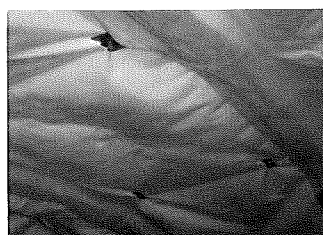
### 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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. 回転プレートを押し込みます。
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)。



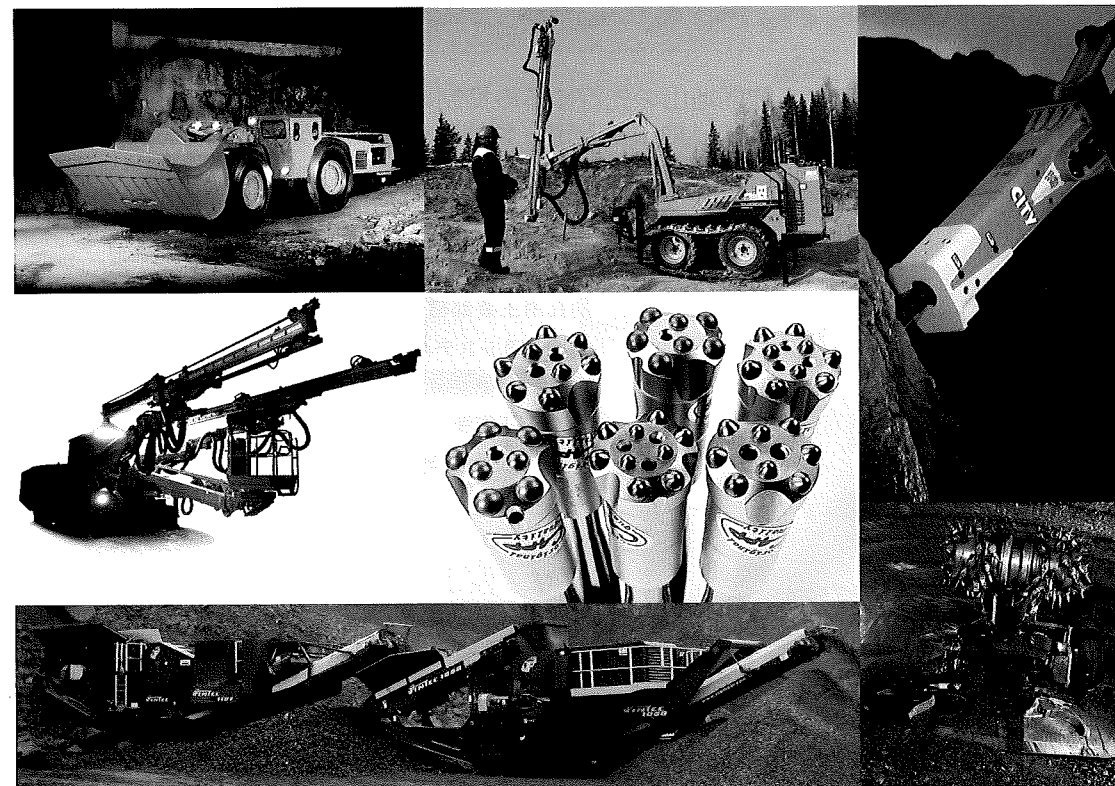
**東邦金属株式会社** 東京営業部  
TOHO KINZOKU Co., LTD

〒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 TEL045-478-0662/FAX045-478-0661

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

# TFTのトンネル資材

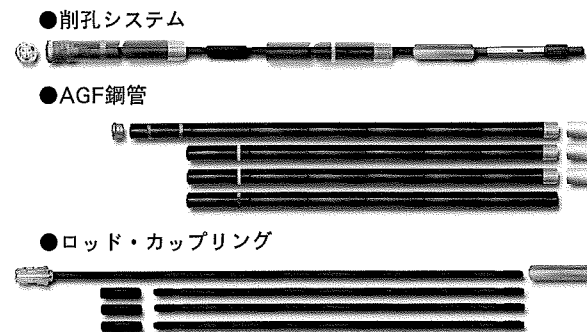
## ▼ AGF工法

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

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



### 削孔用主要部材

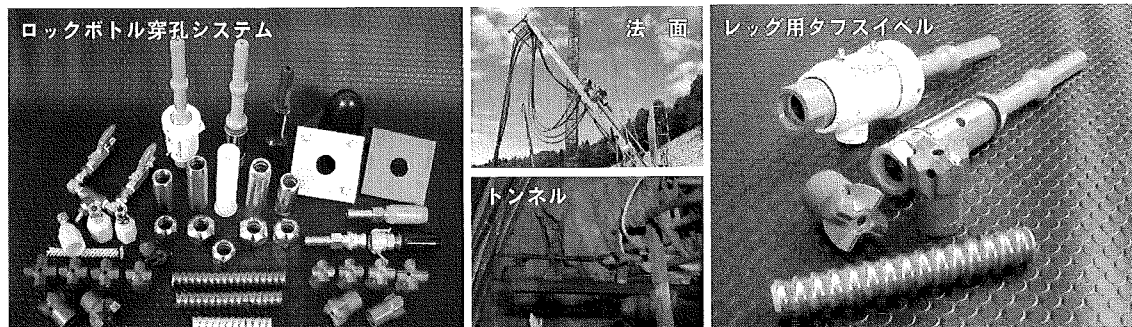


## ▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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

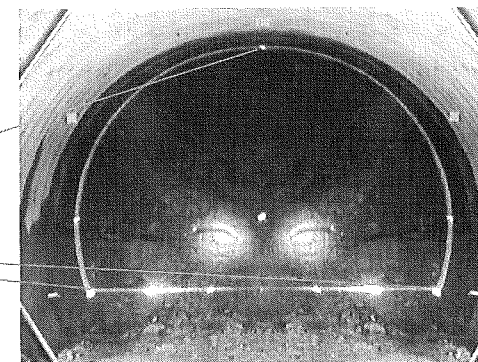
〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

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

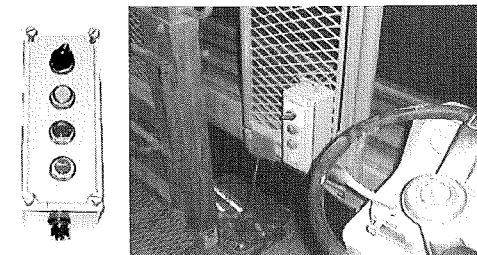
# レーザーマーキングシステム

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

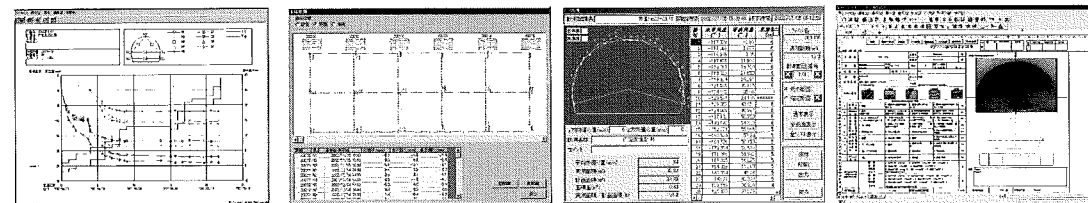


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

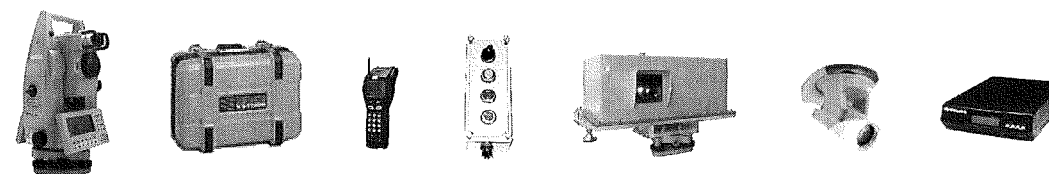


ジャンボに取付けて使用可  
AC200V対応

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

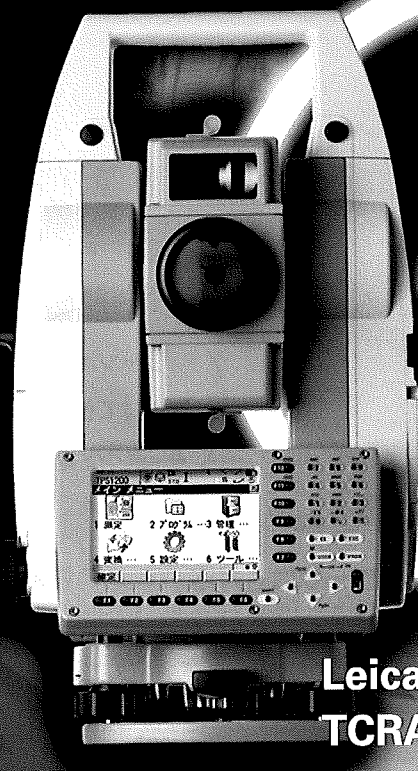
〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社

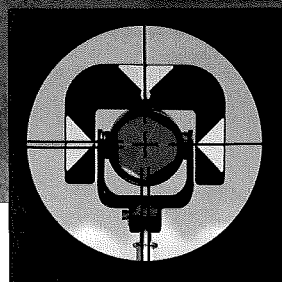
伊藤忠建機株式会社

株式会社 レント

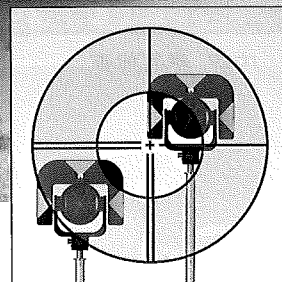
ユニバーサル測量システム  
トンネル設計者の要望に応え、さらに進化  
ライカTPS1200+シリーズ、ついに登場



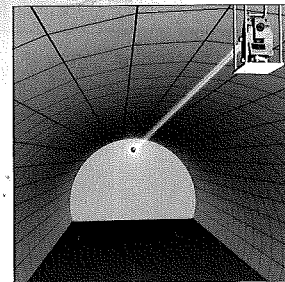
Leica TPS1200+  
TCRA+1205



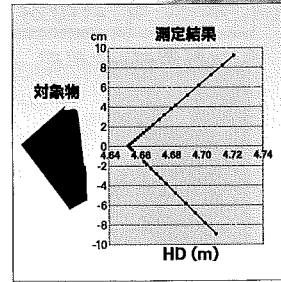
**精度が向上した自動水準**  
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで、自動水準の内部処理スピードや精度が向上。



**自動水準視野が変更可能**  
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

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。

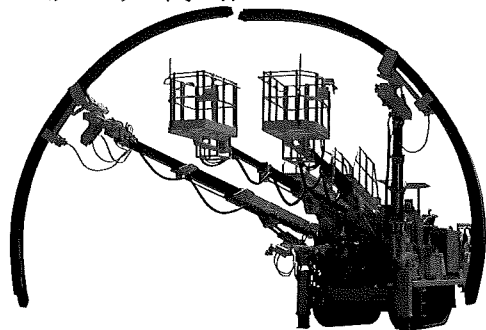
オリカは、鉱業および建設業界、  
ならびに当社のお客さまへの  
コミットメントをお約束します。

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

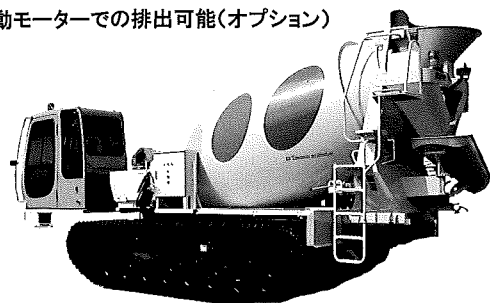
## 当社取扱機種ラインナップ

SCORPION スコーピオン (特許申請中) ゴムクロ・ミキサー車 (特許申請中)  
 ゴムクローラー式一体型エレクター



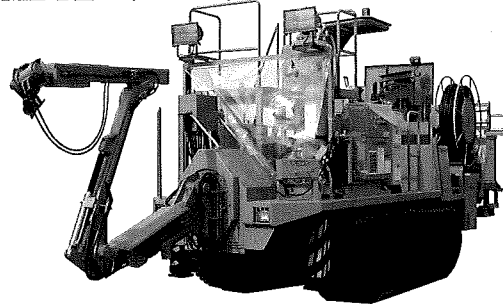
エレクター2基 バスケット2基 ロボット 吹付機  
 コンプレッサー 急結剤補給装置(オプション) 搭載のマルチ機  
 二次対策適合機(オフロード法対応予定)

車両年次検査不要  
 悪条件の路盤を克服  
 電動モーターでの排出可能(オプション)



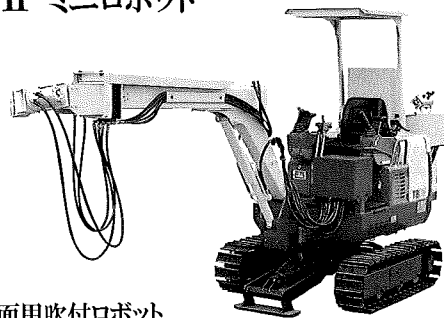
二次排ガス規制適合機

MBTL ミニビートル



小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機

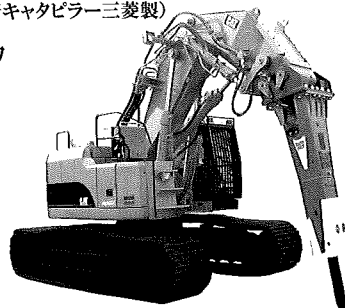
MR-II ミニロボット



小断面用吹付ロボット  
 避難坑、連絡坑の吹付けに最適

REGA325C (新キャタビラー三菱製)

油圧ショベル・ブレーカ



ローダーフロント

超小旋回ベースマシン  
 ローダーフロントブームでの水平移動

大型3tブレーカー仕様 ランマーG90

油圧回路へのダスト侵入を防止  
 破壊力抜群

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

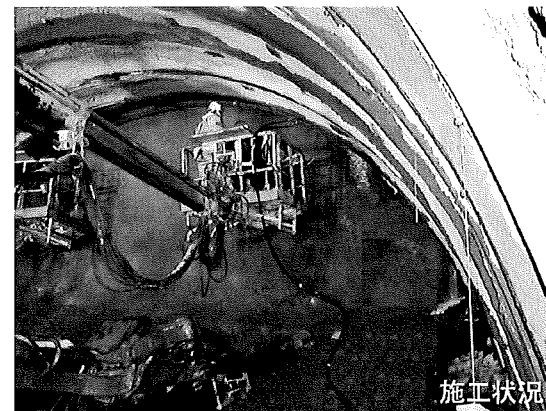
常設展示



## 補助工法・注入材のことならティーエムシー

### ■AGF-OFP工法

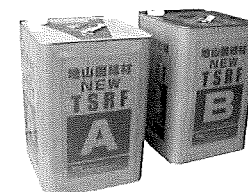
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

### ■各種注入材

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

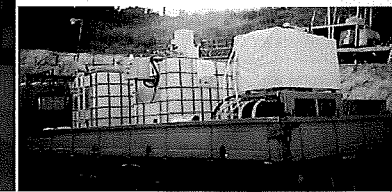


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

## 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/>  
 お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

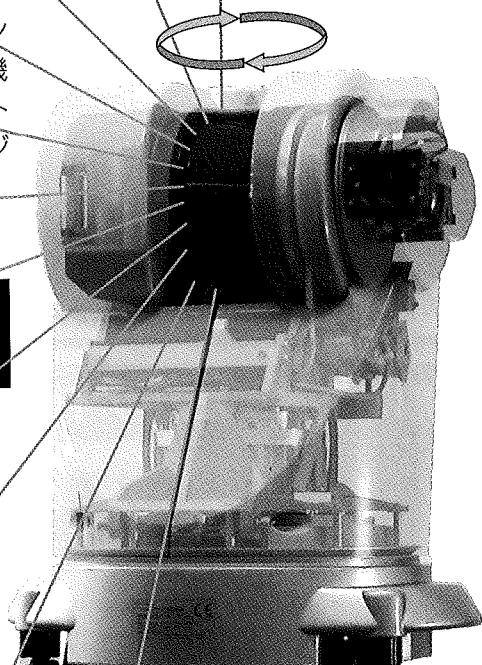
本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL : 03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL : 022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL : 0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL : 072-966-6280
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL : 0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 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

# Callidus™ レーザースキャナー

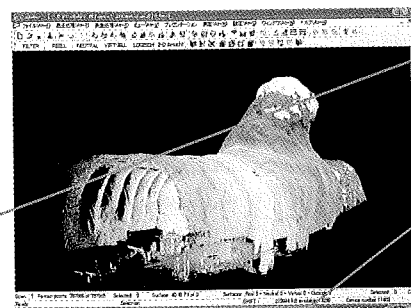
## 3次元トンネル断面計測機

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

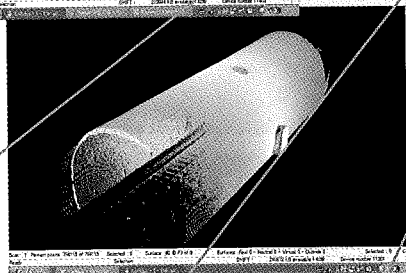
全周360°を10分でスキャン



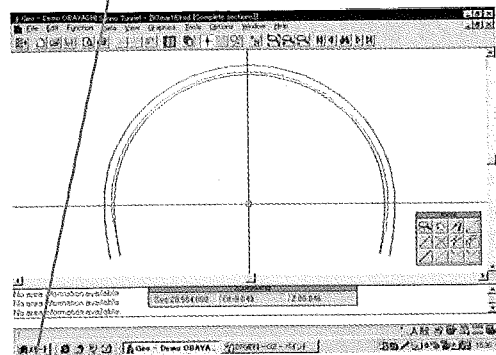
(1) 直径約8mのトンネルの場合



特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。



### データ解析および製図「GEOWIN」

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

■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ

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

■ 製造元 トリンブルジャパン株式会社

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

MITSUBISHI  
三菱マテリアル

DIABIT

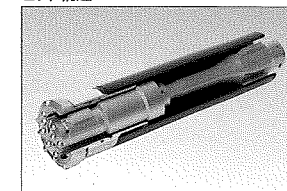
### 三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合により回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスピード削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

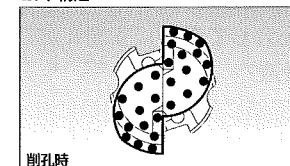
ビット構造



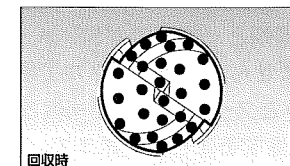
#### ●スーパーメックスビット (SMB) 打撃削孔式拡張径タイプ

- ・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

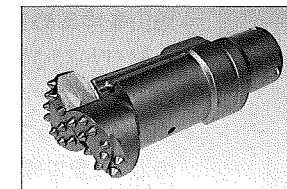
ビット構造



削孔時



回収時

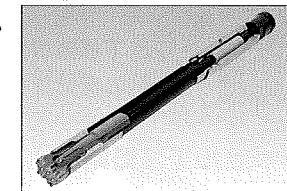


#### ●スモールP (Small-P) システム

##### ●小孔径(2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ

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

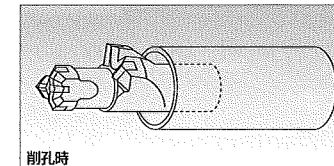
ビット構造



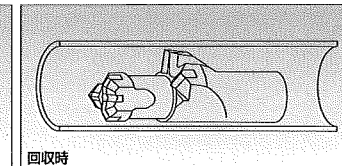
#### ●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

- ・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

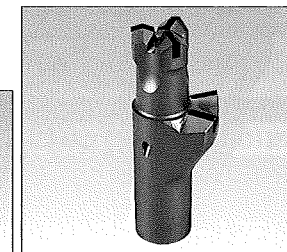
ビット構造



削孔時



回収時



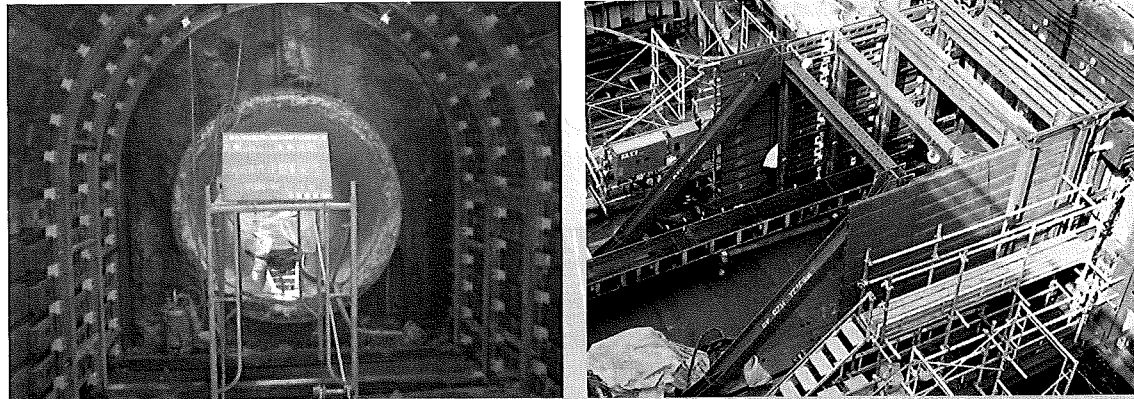
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

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

アーストンネル掘削工法に最適

# SS-メッセル工法 Stabilizer System Messer



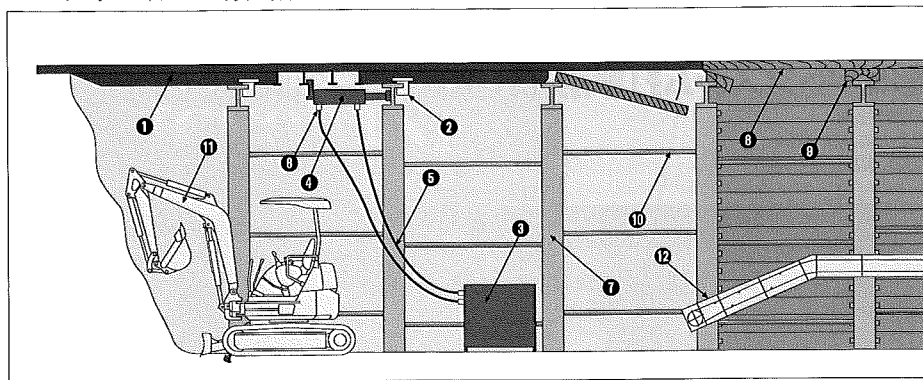
## 特徴

- 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



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

**SIETECH 株式会社シーテック**  
URL <http://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

# 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

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

## 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



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、カナフレックスの「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

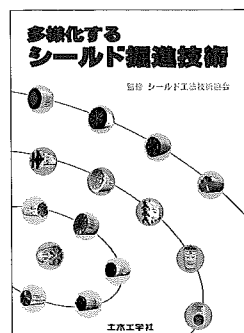
営業所 札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島  
直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

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

## 〔掲載工法〕

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(株)土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807

【好評発売中】

# シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 約280頁 本体価格4,660円 送料 340円

〔推薦の言葉〕

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

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

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

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

## 主要目次

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

株式 土木工学社

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

きりーとーりー線

## 《ご注文票》

シールドトンネルの新技术 \_\_\_\_\_ 冊 申込みます。

所在地 〒 ( )

事業所名

部 課 名

申込者名

㊞

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。

- タイヤ間との隙間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

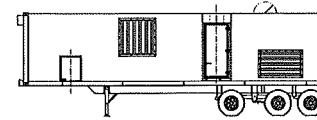
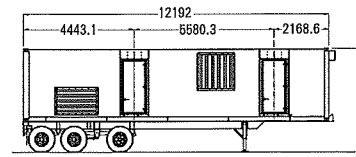
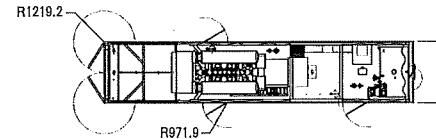
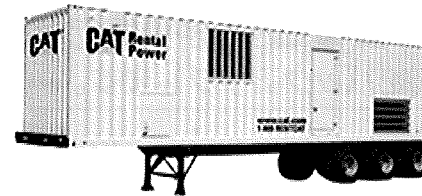
0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)  
30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

【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

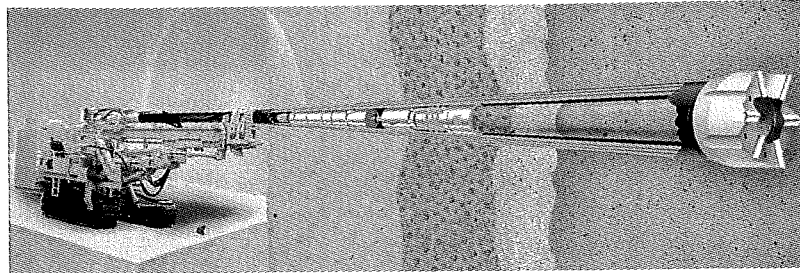


		2000KVA	2000KVA
		50	60
周波数	Hz	50	60
出力	KVA	2,000	2,281
出力	kW	1,600	1,825
電圧	V	400	440
電流	A	2,887	2,993
燃料		軽油	軽油
容量/燃料タンク	L	4,730	4,730
燃料消費量	L/h	260	307
燃料消費量(75%負荷時)	L/h	—	—
全長	mm	13,500	13,500
全幅	mm	2,439	2,439
全高	mm	4,115	4,115
乾燥質量	kg	40,370	40,370
整備質量	kg	33,636(車台含む)	33,636(車台含む)

**株式会社ケイリー**  
k|lea  
仙台: TEL.022-359-5331  
東京: TEL.03-3661-5651  
大阪: TEL.06-6838-1372  
URL <http://www.klea-cat.com>

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

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

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

### ブロック理論と岩盤工学への応用

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

### 建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著  
A5判 474頁 税込6,300円 送料340円

### 建設工事の地質診断と処方

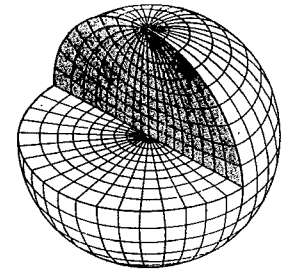
石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

### 岩盤地下空洞の設計と施工

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

### 山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 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

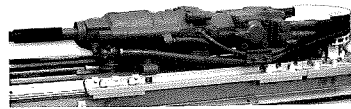
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と  
全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

**JTH2200R/3200R**

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

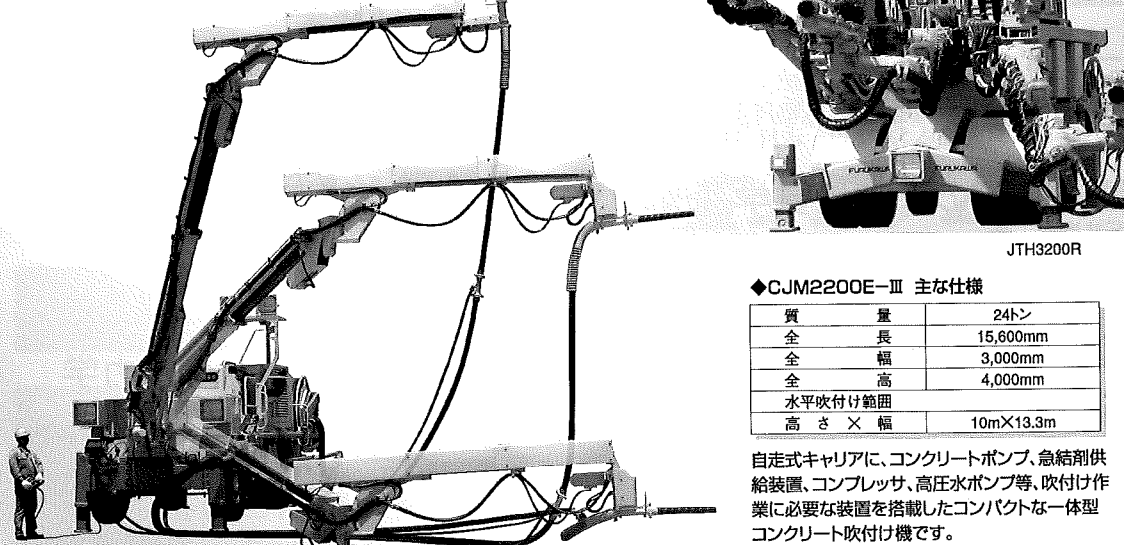
新世代型油圧ドリフタHD210II搭載。



◆主な仕様

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

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



JTH3200R

◆CJM2200E-III 主な仕様

質量	24トン
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、急結削供給装置、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。

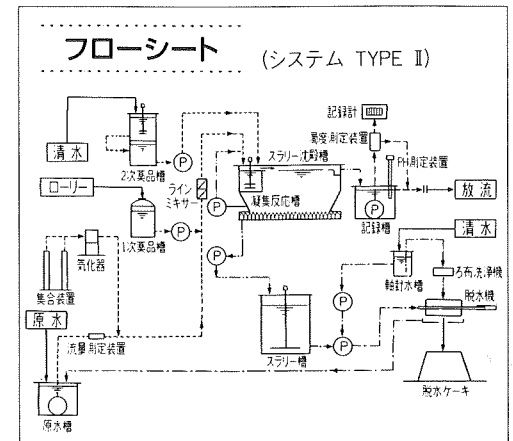
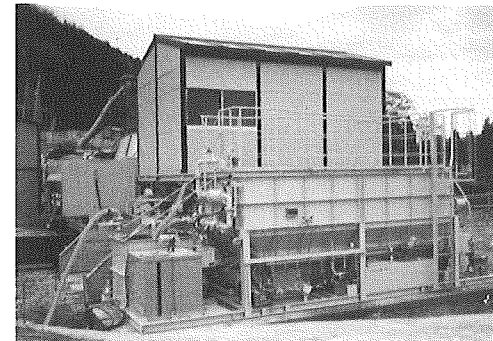
△ 古河機械金属グループ

**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

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

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

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

シックナー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

#### 技術者に求められるものとは

桑原 彌介 .....5

### ■研究

#### 青函トンネルの覆工の長期的挙動に関する研究

土谷 幸彦・倉川 哲志・工藤 健 .....47

### ■施工

#### 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 .....7

#### 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 .....15

#### 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 .....25

### 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 .....37

### ■連載講座

#### 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 .....59

### ■現場だより

#### 「食とセメントの宝庫、洞爺丸の眠る町」北斗市より

中世古教司 .....36

### ■資料

#### トンネル千夜一夜(44)

小野田 滋 .....34

#### トンネルジャーナル

編集部 .....58

#### 土木情報

編集部 .....46

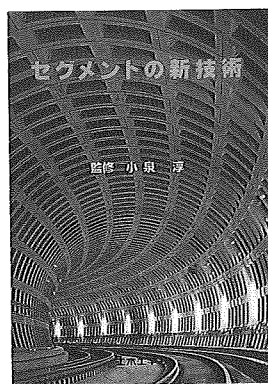
#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....70

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....71



## 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。

#### 【表紙説明】

#### 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—



第二京阪道路国守工事は、延長220mの区間を開削工法により、ブロックの縦断方向長15m、横断方向幅約60mと大規模な4連アーチカルバートを構築するものである。部材厚は、従来工法のボックスカルバートよりも合理的な断面を実現したが、支持地盤の変形特性などに敏感であり、事前検討と慎重な施工が要求された。写真は、施工中の現場全景である。  
〔写真提供：西日本高速道路(株)〕(本文15頁参照)

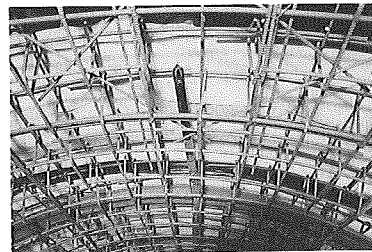
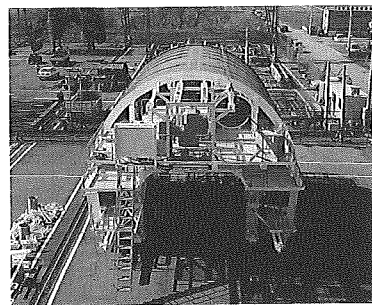
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

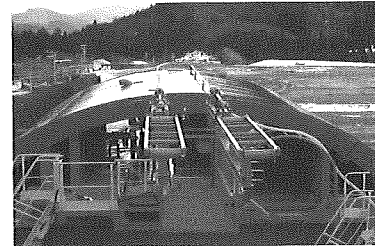
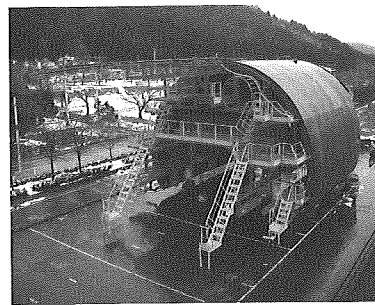
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



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

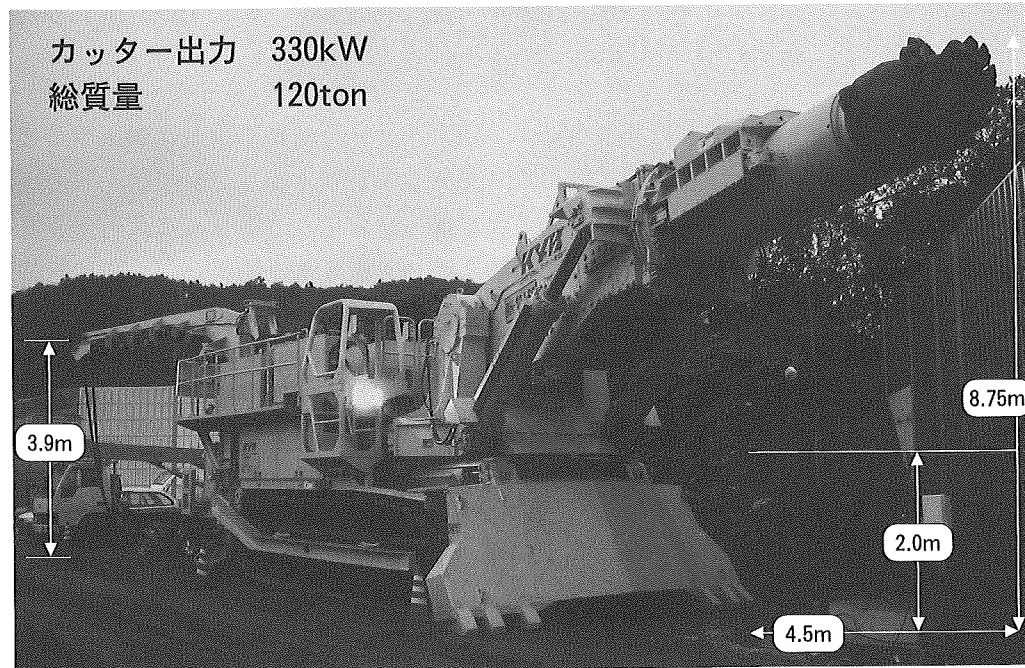
### 〔幹 事〕

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 株式会社アオバ取締役会長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	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16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: 日本鋳機株式会社)

本社・営業  
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル 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前2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

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

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

今田 徹

東京都立大学名誉教授

定塚 正行

日本シビックコンサルタント株式会社  
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋 良文

東京都下水道局技術開発担当部長

橋本 定雄

(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱 建介

株式会社アオバ取締役会長

### 〔委員〕

木谷 日出男

財団法人鉄道総合技術研究所  
防災技術研究部部長

坂根 良平

東京都下水道局建設部設計調整課長

佐山 順二

東京電力株式会社電力流通本部工務部  
設備渉外・調整グループ課長

清水 満

東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所  
立体交差課長

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

田村 聡志

東京都水道局建設部工務課長

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

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

野邑 敏行

東京都交通局建設工務部計画改良課長

真下 英人

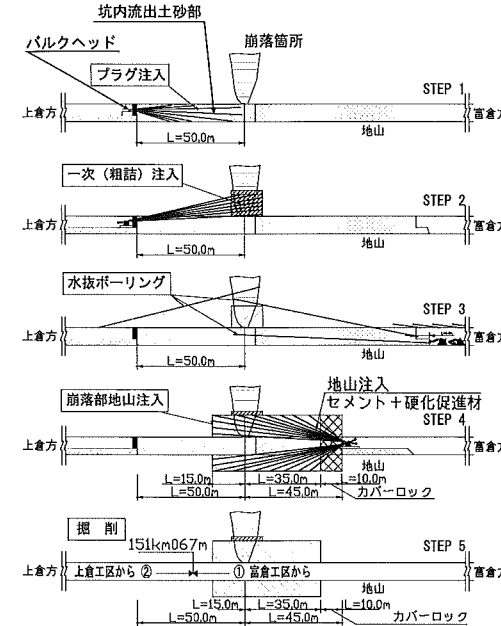
独立行政法人土木研究所  
基礎道路技術研究グループ  
上席研究員(トンネル担当)

掲載頁  
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)—

鉄道・運輸機構 都築 保勇

飯山トンネルは長野県と新潟県を結び、22kmを超える北陸新幹線の代表的な長大トンネルである。このトンネルを掘削するにあたり、平成15年9月に起点(長野)方の工区において未曾有の大崩落事故が発生した。土かぶり190mもある地表が大規模に陥没し、坑内には推定30,000m<sup>3</sup>の土砂が流入した。本稿では、このトンネルを再掘削が可能な状況となるまでの復旧対策(高水頭地下水の水位低下、崩落部および周辺地山の補強)からトンネル貫通(再掘削時の施工管理、掘削方法)に至るまでを報告する。



図は復旧計画ステップ

状況となるまでの復旧対策(高水頭地下水の水位低下、崩落部および周辺地山の補強)からトンネル貫通(再掘削時の施工管理、掘削方法)に至るまでを報告する。

Overcoming Large-scale Collapse of Unconsolidated Sandstone with High Water Head—Iiyama Tunnel (Kamikura section / Tomikura section), Hokuriku Shinkansen—

By Yasuki Tsuzuki, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Iiyama Tunnel is an exemplary tunnel of great length spanning over 22 km on the Nagano Shinkansen Line linking Nagano and Niigata Prefectures. While excavating this tunnel, an unprecedented large-scale collapse occurred at Nagano section in September, 2003. There was a large-scale cave-in at the surface which had a 190 m overburden and an estimated 30,000 m<sup>3</sup> of earth flowed into the tunnel.

This report details the procedures from the restoration measures (drainage of high groundwater, grouting for ground) taken in order to get to the point where it was possible to re-excavate this tunnel to the arrival at tunnel penetration (construction management at the time of re-excavation, excavation method).

掲載頁  
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—

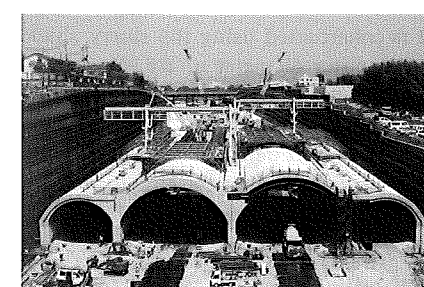
西日本高速道路(株) 田口 敬介

第二京阪道路国守工事は、延長220mの区間を開削工法によりカルバートを構築するものである。本工事の大きな特徴は、大断面の4連アーチカルバートが採用されていることである。4連アーチカルバートは、ブロックの縦断方向長15m、横断方向幅約60mと大規模な構造物である。一方、部材厚は、従来工法のボックスカルバートよりも合理的な断面を実現しているが、支持地盤の変形特性などに敏感であり、事前検討と慎重な施工が要求された。また、各部材厚は、土かぶりから非常に厚く、セメント水和熱に起因する有害なひび割れの発生も懸念された。ここでは、4連アーチカルバートの施工について、これらの問題点に対する取り組みを、施工概要を交え報告する。

Rational Construction of Four Spans Large Arch-Culvert—Kunimori Section, Dainikeihan Road—

By Keisuke Taguchi, West Nippon Expressway Company Limited

The construction works of Kunimori section on the Dainikeihan Road involves the construction of culvert of



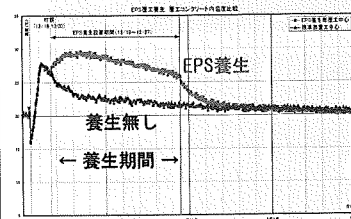
写真は現場全景(大阪方より京都方)

220 m long using the cut-and-cover method. The major characteristic of this structure is four spans large arch-culverts. The structure is divided into ten construction units of 15 m long in max. and 60 m wide. Meanwhile, the member thickness realizes a more rational dimensions than the traditional box culverts, however, it is susceptible to soil properties in the supporting ground therefore prior analysis and careful works is required. Further, there was concern about harmful cracks that might occur at massive member caused by the heat of cement hydration. This report details initiatives for problem issues in four spans arch-culvert construction and an outline of these works.

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。



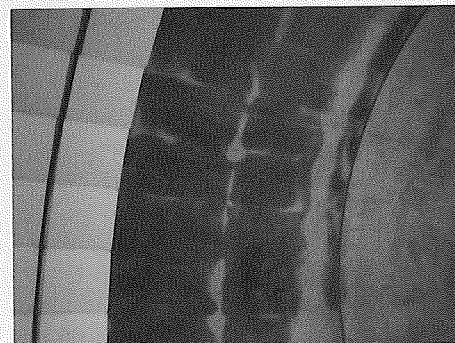
温度測定結果

	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	計画中
国土交通省	1	3
NEXCO	2	1
地方自治体		3



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**

FUDO TETRA  
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



QJ 01466/ISO 9001:2000

## 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—

中之島高速鉄道(株) 長瀧 元紀

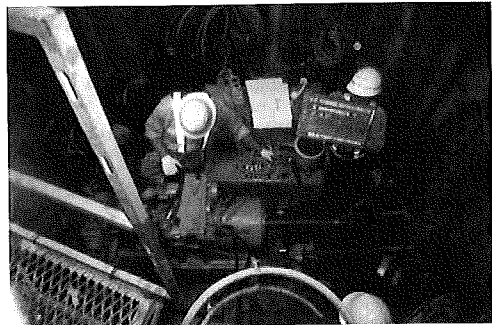
中之島線(中之島駅~天満橋駅間  $L=2.9\text{km}$ )は、第3セクターである中之島高速鉄道(株)が施設を建設・保有し、京阪電気鉄道(株)が運行する路線で、中之島西部地区の再開発に伴い増加する輸送需要に対応し、大阪の一大都市拠点である中之島と観光・文化都市である京都を結び広域交通ネットワークの充実を図ることを目的としている。

本稿は、中之島線建設工事のうち、大江橋駅~なにわ橋駅間約440mを泥土圧式シールドで施工した第4工区において、地下鉄御堂筋線直下を掘進するため支障となる鋼矢板を凍結工法を用いて撤去した施工管理実績について報告する。  
Removal of Left Sheetpiles beneath Underground Installation by the Ground Freezing Method—4<sup>th</sup> Section, Nakanoshima Line—

By Motoki Nagataki, Nakanoshima High Speed Railway Company.

Nakanoshima Line (Nakanoshima Station-Tenmabashi Station,  $L=2.9\text{km}$ ) is constructed and possessed by the 3rd sector of the Nakanoshima High Speed Railway Company, and operated by Keihan Electric Railway Co., Ltd. This line is to meet transport demands that are increasing along with redevelopment around the western district of Nakanoshima, aims to enrich the regional transportation network that links Nakanoshima, the center of metropolitan Osaka and Kyoto, city of tourism and culture.

This report details construction management results in the removal works of sheetpiles by the ground freezing method that was hindering the excavation beneath the Midosuji Line in the 4th sector of an approximately 440 m long construction by slurry shield between Oebashi and Naniwabashi Stations.



写真は立坑内凍結管設置状況

## 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—

大阪府 永本 隆行

大阪国際空港内雨水貯留施設管路施設築造工事は、大阪国際空港ターミナル、駐車場の冠水や周辺住宅街の床上浸水などの浸水被害を軽減するために、大阪国際空港内に、国土交通省および大阪府の共同事業として貯留量約45,000 $\text{m}^3$ の雨水貯留設備を建設するものである。

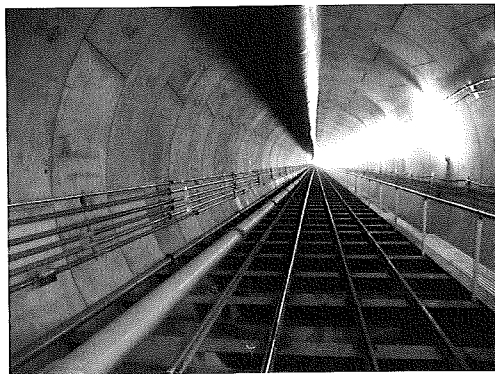
貯留管工事は、泥土圧シールド工法で施工し、セグメント外径 $\phi 6,300\text{mm}$ 、仕上がり内径 $\phi 5,750\text{mm}$ 、延長1,814mの覆工をP&PCセグメント工法により構築するものである。本稿では、過去最大径のP&PCセグメント工法の施工上の諸課題やその対策について報告する。

Large P & PC Segment Works—Construction Works for Rainwater Storage under Osaka International Airport—

By Takayuki Nagamoto, Osaka City

MLIT and Osaka prefecture jointly construct rainwater storage facilities under Osaka International Airport of a 45,000  $\text{m}^3$  (approx.) capacity in order to reduce flood damage such as flooding in the Osaka International Airport terminals and inundation above floor level in residential areas in the vicinity.

The storage tunnel is constructed using the slurry shield and a 1,814m length with outer diameter of  $\phi 6,300\text{mm}$ , inner diameter of  $\phi 5,750\text{mm}$ . The lining is constructed using the P&PC segment method, integrating segments in one piece by introducing prestress. This report details various issues and their countermeasures in construction using the P&PC segment method with the largest ever diameter.



写真はP&PCセグメント施工区間全景

## 青函トンネルの覆工の長期的挙動に関する研究

鉄道・運輸機構 土谷 幸彦

海底トンネルでは、無尽蔵の水と水圧に対する施工時の対策および構造物完成後の維持管理方法の検討が重要な課題となる。とくに、供用中の海底トンネルにおいて、構造物の健全性が確保されず出水などの事故を招いた場合、人命を失う事故につながる危険性が高く、社会基盤の安全性を大きく損なううえ、構造物の復旧が不可能となる事態も予測される。しかし、供用開始後のトンネルの挙動については未解明な部分が多く、海底下のトンネルも一般のトンネルと同様、過去の変状トンネルなどの実績を踏まえた対症療法的な維持管理を実施しているのが現状である。

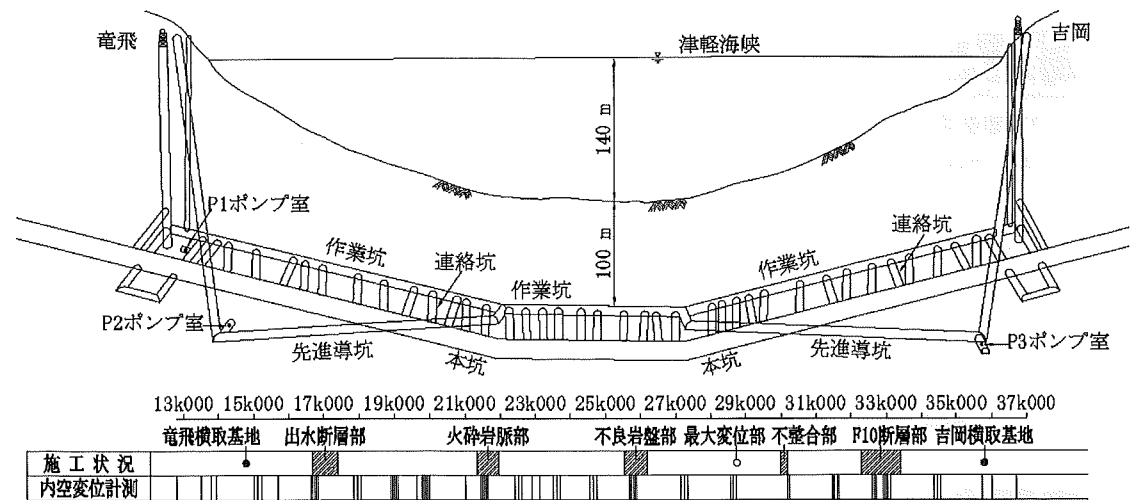
本研究では、1988年以降、青函トンネル本坑において行われている長期計測結果に着目し、計測結果を整理、分析し、覆工の長期挙動のメカニズムに関する検討を行い、海底下のトンネル覆工に対する健全度評価手法を提案した。

Research on the Long-term Behaviour of Lining Concrete of Seikan Tunnel

By Yukihiko Tsuchiya, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

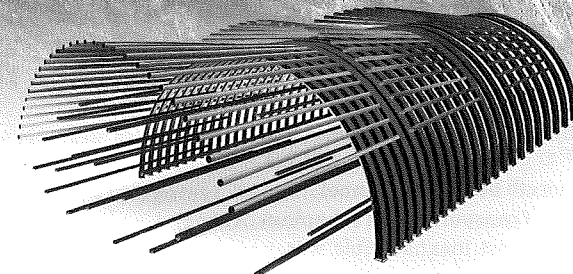
In undersea tunnels, important issues are measures against inexhaustible water supply and water pressure during construction and examination for techniques of maintenance of operating tunnels. In particular, if a situation such as flooding occurs in the undersea tunnel in the operating line, the probability of human casualty is very high, and it results in the great threat to the safety of the social infrastructure. However, there are so many uncertain things in the operating tunnel that the maintenance of existing tunnels relies on the experiences of past deformed tunnels. Accordingly the same idea is employed to the undersea tunnels.

In this paper, the long-term measurement records since 1988 in the Seikan Tunnel are interpreted, the long-term behavior of this tunnel is examined. Consequently a proposal is made of a new idea on maintenance of the undersea tunnel.



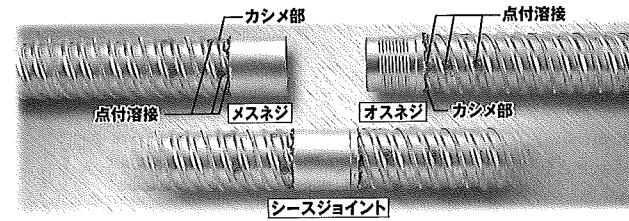
図は青函トンネル縦断面図(海底部)および内空変位計測位置

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



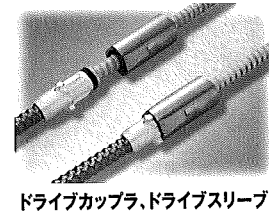
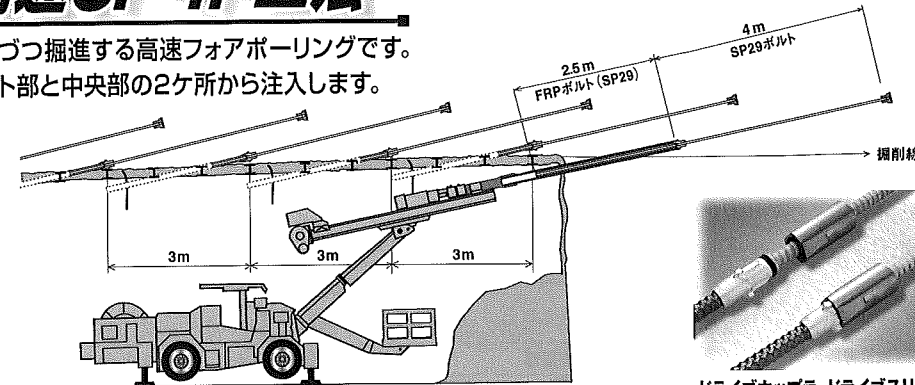
## FIXチューブ工法

※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。

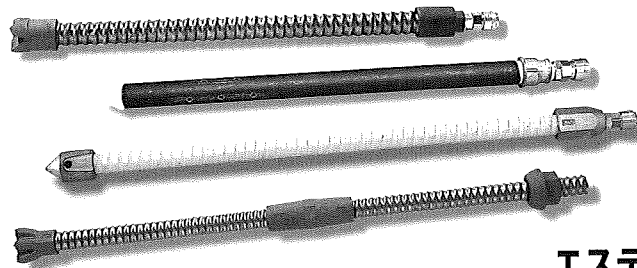


## 高速SP-IF工法

※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

## 技術者に求められるものとは



日本交通技術(株)代表取締役社長(本協会評議員)

桑原 彌介

わが国は技術立国と言われ、これを支えてきたのが広範囲にわたる各分野の技術者達である。われわれにとってもっとも馴染みの深いトンネル技術者を含む土木技術者にはじまり、主要輸出産業である自動車、船舶、工作機械関連の技術者、IT時代を支えているシステムエンジニア、宇宙ロケット関係から身近にある町工場の特殊技能技術者など数多くの技術者が活躍している。また国土交通省など各官庁にも技官と呼ばれるかなりの技術者がいる。

このようにいく多の技術者がそれぞれの場で与えられた使命を全うすべく日夜努力し、この国の発展を支えてきたが、社会的に見ても組織内でも、必ずしも正当に評価されていない一面があることは誠に遺憾である。これはこの国の歴史的な経緯が背景となっていることも考えられるが、技術者自身のあり方にも一因があると思われる。

そこで国鉄・清算事業団・建設コンサルタントに身を置いてきた一人のエンジニアとして、先人の知恵も拝借しつつ、自省の意味も込め、あるべき技術者の姿について、技術者に求められるものは何かについて考えてみたい。

まず技術者以前に一人の人間として求められる資質をあげてみたい。誠実であること、思いやりがあること、人情味(温かさ)があること、謙虚であり素直であるとともに、包容力があり、場合によっては親分としての資質(俠気)も必要であろう。このような資質が備わっていることが、人の痛みがわかり、人から頼られる人物としてその持てる技術力を十分に発揮するための基本条件であると思われる。

次に一人の社会人としての心構えを考えてみたい。常に信念を持って事に臨み、人をいわずに差別することなく、公平・公正でなければならない。いかなる困難からも逃避することなく責任感と勇気(度胸)、気概(気魄)を持ち続け、情熱を持って忍耐強く対処・対応することが重要である。また、約束は守り、言ったことは確実に実行し、守れない約束はしないということも当たり前であるが、社会人としての基本的な要件といえる。技術者としての社会的評価の向上を目指すならば、以上のような心構えを持っていることが必要である。

次に技術者として要求される基本的能力について見てみよう。これは非常に幅広く多岐にわたるが、まず第一にコミュニケーション能力をあげたい。単なる言語能力でなく、交渉力・説得力・対応力とも言えるが、これが欠けるといくら技術的に秀れていても技術力を発揮し、その技術を社会に還元(実現)することができず、せつかくの技術力が宝の持ち腐れとなってしまうおそれがある。コミュニケーション能力が高ければ人と容易に打ち解けられ、相手の気持ち(考え方)が理解でき、自分の意志(意図)や熱意を相手に正確に伝えることが可能となり、技術者にとっては必要欠くべからざる基本的な能力と言える。

次に判断力が挙げられる。技術者として常に限られた予算と時間という制約条件のもとで判断が求められることが多い。その判断が的確・妥当であるためには、必要な情報を収集し(情報力)、これを論理的に分析し(論理力)、先を見通す(先見力)とともに、深く洞察し(洞察力)、適切なタイミングで決断しなければならない。この一連のプロセスにおいて自分なりの価値観(尺度・モノサシ)を持って周囲の状況に安易に流されることなく、考え方や行動がブレない姿勢を貫き通すことが技術者としての信頼感や求心力につながっていくことは言うまでもない。

また技術屋は、視野が狭い(専門バカ?)と世間から言われることがあるが、必要に応じ、国際情勢、政治の動き、経済の動向などにも関心を持ち、大局的な見地からマクロ的に全体を把握し、方向性を考える大局観も必要な能力の一つと言える。

決断したことはタイミングを失することなく、速やかに実施に移す行動力が次の段階に要求される技術者としての能力であることは当然であるが、熟慮のうえ、一度決定した場合でも状況(境界条件)の変化により、既定方針を見直し、方向転換しなければならないケースもしばしば発生する。このような場合には別の最適解を見出すため、それまでの方針に固執することなく柔軟に対応し(柔軟力)、必要な修正を加える(修正力)ことは当然である。

スペシャリストを目指そうが、ゼネラリストを目指そうが、技術者として技術力向上のため日夜研鑽することは当然であるが、国際的にも評価される21世紀を担う日本人として、常に自己規制に努め、恥を知る人間であり、ものあわれを理解でき、惻隱の情(思いやり)、卑怯を憎む心を持ち続ける意識が大切であることを申し添えたい。

最後に一人の人間として生きていくうえでもっとも大切なバランス感覚を挙げたい。すなわち、人は生まれてきたからには世の中に役に立つ人間であるべきであるという原則にもとづいての一人の社会人(職業人・技術者)としての役割、そして自由な一人の男として自分の世界を確保するという意識、さらに家庭人(夫・父親)としての果たすべき応分の役割。難しい面もあるが、この三つの役割(ミッション)をバランスよくこなしていくことが充実した人生を過ごすために肝要であることを、土木界をリードしていく若きエンジニアの皆さんに送りたい。

## 施工

# 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)—

鉄道・運輸機構東京支社工事第四課長((前)北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所長) 都 築 保 勇

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局工事第二課係長 黒 岩 清 貴

鉄建・りんかい日産・守谷JV飯山T(上倉工区)作業所次長 福 入 博 文

熊谷・日本国土・大本JV飯山T(富倉工区)作業所工務主任 杉 本 憲 一

## 1 飯山トンネルの概要

飯山トンネルは北陸新幹線(長野・金沢間)の長野県飯山市を起点とし、新潟県妙高市、上越市を結ぶ延長22km225mの長大トンネルである。当該トンネルは起点方より上倉、富倉工区など6工区に分割し、平成10年6月に富倉工区を皮切りに着手され、平成19年12月に飯山トンネルの全体の掘削が完了した。

本稿では、平成15年9月に高崎起点151km087m(上倉工区)において発生した飯山トンネルの崩落状況とその原因、および崩落部復旧から掘削、貫通にいたるまでの報告をする。

## 2 飯山トンネル起点方の地質概要

飯山トンネル付近の地質は新第三紀から第四紀前期にかけて浅海域が隆起し、次第に陸化した過程の堆積物である。北部フォッサマグナと呼ばれる地帯に位置し、褶曲構造が発達し、構造運動による変形が顕著である。地層はトンネル縦断方向に対し垂直に近く立っている。崩落したトンネル起点方の地質は、第四紀更新世の北畑崩壊堆積物、屋敷層(砂、砂礫、シルト、凝灰角礫岩)と、また、

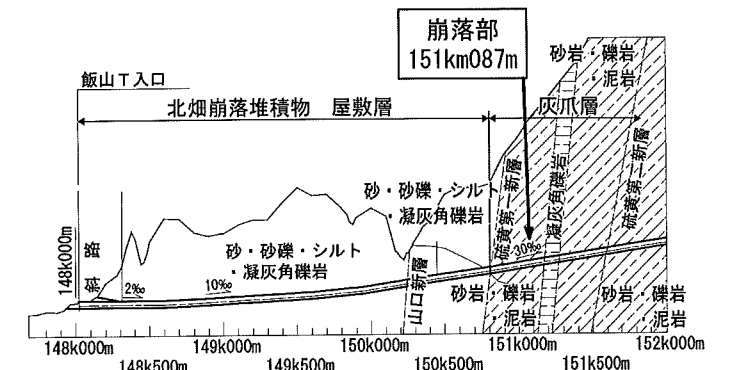


図-1 地質概要

第四紀更新世から新第三紀鮮新世に属する灰爪層(砂岩、礫岩、泥岩)よりなる(図-1)。

## 3 トンネル崩落事故

平成15年9月11日未明、北陸新幹線高崎起点151km087m(上倉工区)でトンネル崩落事故が発生した。土かぶり190mの地表面が直径約50mの範囲で陥没する未曾有の大崩落事故となった。

### 3-1 崩落経過と状況

崩落は4回、断続的に発生した。

第1回目は9月11日AM3:00頃、151km087m上左半肩より約1.5m<sup>3</sup>/分程度の湧水とともに崩落が発生した。

その後、第2~4回目にわたる崩落で土砂が切

### 第4回崩落 2003/9/11 22:05

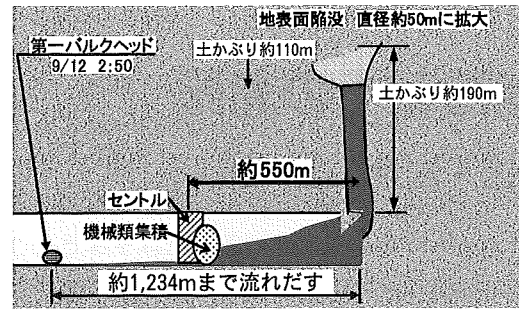


図-2 第4回崩落状況概念図

羽後方1,234m付近まで達し、設置してあったツインヘッドなど機械類も流出土砂とともに切羽から550mまで押し流された。

地上部は、土かぶり190mの地表が直径約50m、深さが約11~29mも陥没した。坑内への流入土砂は地上陥没部の状況と坑内流出状況からおおよそ30,000m<sup>3</sup>に達すると推定された(図-2)。

## 4 トンネル崩落の原因

トンネル崩落部の復旧を行うにあたり、地質調査ボーリングにより陥没部周辺の地質構造を確認し、復旧計画策定を行うこととした。その際、かねてより組織されていた、飯山トンネル他特別委員会(委員長; 足立紀尚・京都大学名誉教授)に本崩落事故に関する審議をお願いし、崩落の原因について一定の見解をいただくこととした。

### 4-1 崩落部調査

地質調査ボーリングとして、地上から斜めボーリング4本(●)、鉛直ボーリング3本(○)を実施した。ボーリング孔には陥没箇所周辺の地下水位、地山の挙動を計測するために、No.4~7には孔内水位計を、No.3に孔内伸縮計を設置し、復旧時の計測管理を行うこととした(図-3)。

### 4-2 原因の推定(上倉工区、富倉工区における地質構造)

地質調査結果をもとに、飯山トンネル他特別委員会において、地質工学およびトンネル工学的な知見にもとづき検討を行い、トンネル崩落の原因は「F1、F2断層沿いの泥岩などにより遮へいさ

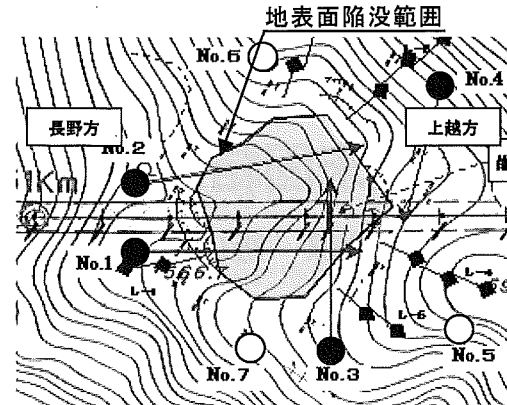


図-3 地質調査ボーリング(陥没部付近より)

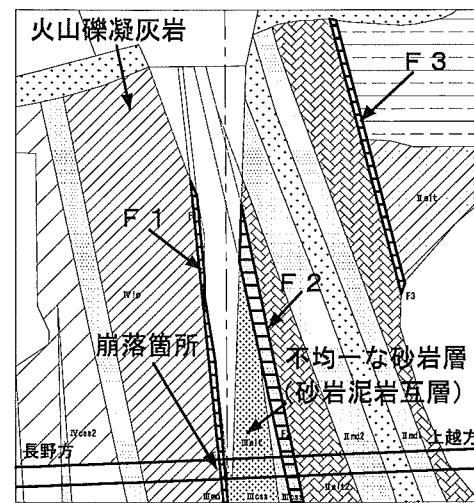


図-4 陥没部付近地質縦断面図

れた高水頭の地下水が、トンネル掘削により薄くなった断層を最初に破壊し、二つの断層に挟まれた未固結で粒度の荒い砂らなっている砂岩層(以降、「IIIcss」)が泥岩およびF1断層を地下水とともに突き破り崩落した」と推定し、この考えをもって崩落部復旧対策を検討することとした(図-4)。

## 5 崩落部復旧

### 5-1 上倉工区からの復旧

地上の陥没した箇所は、積雪による上載荷重の増加、春先の融雪による陥没部への集水および安全管理上の観点から、陥没部に蓋をかけるようにエアミルク(比重0.6程度)を流し込んだ。

上倉工区の坑内は、セントルの解体や掘削機械類の撤去後、坑内土砂の撤去を行った。

セントルから切羽に向けて土砂を撤去するにあたり、陥没部と坑内流出土砂の土圧バランスを計算し、注入などを行わず、単純に撤去できる範囲を決定した。

その結果、下半は崩落箇所より約190mまで撤去を行うこととした。また、上半は、崩落箇所より50m付近までの土砂撤去を行い、バルクヘッドとして、厚さ1mの土のうと、2.5~4.0m厚のコンクリート壁を構築することとした。

### 5-2 崩落部の復旧計画

崩落部の復旧は、上倉工区と富倉工区との連携により、トンネルを貫通させる必要があることから、次の基本方針にもとづき復旧計画(図-5)を立てた。

基本方針として、①上倉工区は崩落箇所から50mまでの区間に崩落部周辺の地山注入のリーク止めとしてプラグ注入と、②崩落部周辺への1次注

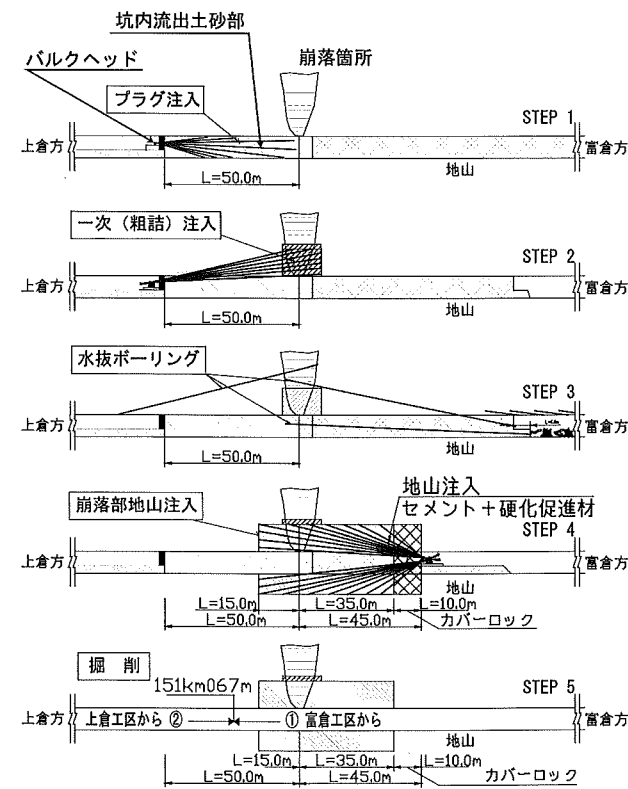


図-5 復旧計画ステップ

入を行い、③上倉および富倉両工区から水抜きボーリングで十分に水位を低下させた後に、④富倉工区から崩落部周辺の地山注入を行う。その後、⑤富倉工区より崩落箇所近傍の地山への注入状況を確認しながら崩落部(151km087m)を通過し、151km067mまで掘削を行うこととした。上倉工区は富倉工区が到達後、バルクヘッドから151km067mまでのプラグ注入区間について土砂撤去を行うこととした。

### 5-2-1 プラグ注入(図-5; STEP 1)

プラグ注入は坑内に流入した土砂の土圧バランスを考慮して残した部分に対し、崩落部から50m区間に実施した。その目的は次のとおりである。

- ① 崩落部からの垂直方向にかかる可能性がある土圧に対し、安定を図る。
- ② 富倉工区から行う地山注入の注入材の上倉工区の坑内流入土砂へのリーク防止を図る。

### 5-2-2 1次地山注入(図-5; STEP 2)

陥没部周辺に設置したNo.4~6孔内水位計(図-3)の水位状況から崩落部は依然として高い水頭(トンネル天端から100m程度)を有し、崩落の原因となった被圧されたIIIcss(未固結砂岩層)が存在すると想定されており、注入削孔時に土砂が噴発する可能性が高いと考えられた。そこで、富倉工区から注入を行う際に、土砂が注入孔内へ流入しない程度の崩落部地山改良を目的として、上倉工区側より崩落部周辺(天端の120°範囲)に対して、単管ロッド注入(注入材:LW)にて粗詰めの1次地山注入を行うこととした。

### 5-2-3 水抜きボーリング(図-5; STEP 3)

151km087m付近はトンネル天端から100m程度の高い水頭を有していることから、富倉工区から注入切羽地点まで確実に近づくためのカバーロック長を確保するため、帯水していると推定されたIIIcss(未固結砂岩層)に向け上倉工区、富倉工区から水抜きボーリングを行い、水位を下げることにした。

その結果、上倉工区からの1本、富倉工区からの2本の水抜きボーリングにより、トン

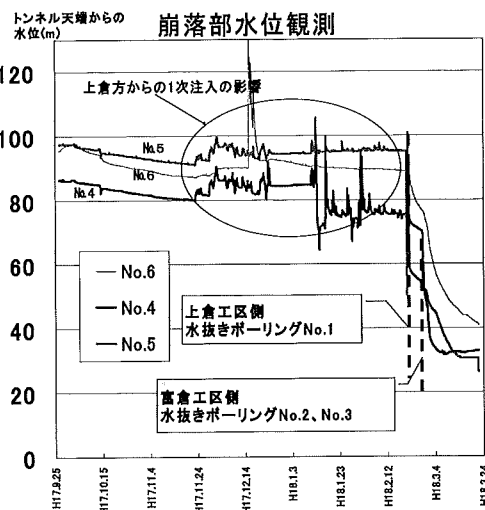


図-6 水位グラフ

ネル天端から100mあった水頭を35mまで減少させることに成功し、予定していた注入切羽地点まで到達することができた(図-6)。

5-2-4 崩落部地山注入(富倉工区)(図-5; STEP 4)

(1) 注入範囲

崩落部周辺で行った地質調査によれば、崩落部周辺は崩落部切羽近傍に存在するF1断層周辺で大きく地質構造が乱れており、F1, F2断層に挟まれた形でIIIcss(未固結砂岩層)が分布している。

注入の範囲としては、崩落部前後のカバーロック長も考慮し、F1, F2断層を含む50m間(151km072~122m)と設定することとした(図-7)。

また、地山注入の改良厚さは、注入の設計施工指針(日本鉄道建設公団編)<sup>1)</sup>(図-8参照)によれば、トンネル半径比と周辺応力の関係から、注入範囲とトンネル半径の半径比が2程度を超えても、周辺応力、支保力に大きな差異が見られず2程度が標準とされているが、当該崩落部においては断層が存在し高水頭であることから、青函トンネルや中山トンネルでの実績を考慮して、

$$R_0/R_i=3.0$$

$R_0$ : 注入範囲の半径,  $R_i$ : トンネル半径を改良厚さとした。

(2) 注入材の選定

崩落部の周辺状況は、地質調査などから緩んだ状態にあるため、地山状態を元の地山程度に復旧

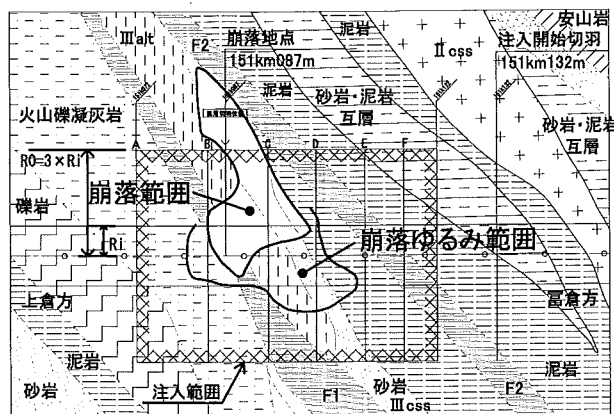


図-7 想定地質図と注入範囲

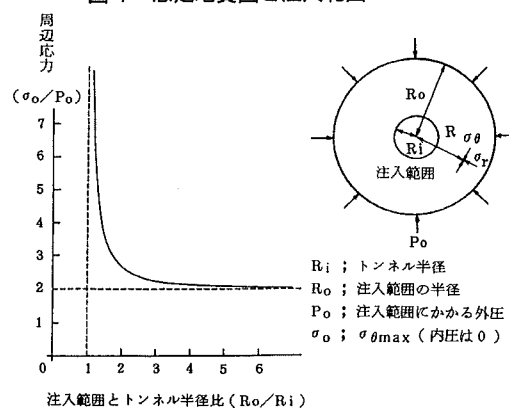


図-8 注入範囲とトンネル壁面での接線応力の関係

し、崩落部のトンネル掘削時および貫通後の安全性確保が重要である。そのため、崩落箇所復旧のために使用する注入材は、ある程度の強度を有するとともに、将来にわたり安定して効力を発揮する耐久性を有した注入材を選定することが必要である。

また、崩落部周辺は、IIIcss(未固結砂岩層)とF1, F2断層などの粘性土層が複雑に介在する構造であり、注入は不透水層も含めた隙間をねらったものとなることから、微細な隙間にも浸透する微粒子系の注入材が必要である。

これらの要件を考慮しつつ注入材に求められる条件をまとめると、以下のとおりである。

① 固結強度

地山の一体化を図るため、固結強度が高い注入材であること。クラック充填や隙間充填および割裂状態では、注入材はホモゲル状態

で存在するため、ホモゲル強度が高いセメント系の材料を選定。

② 長期耐久性

トンネル完成後も崩落前の地山程度の強度が確保されること。

③ 細かいクラックや微細な隙間への高い浸透性があること。

④ 注入材の逸走、ブリージングなどの問題をクリアするため、ゲルタイムが調整できる注入材であること。

以上より当該工区においては、当該地質に適応できるかの試験施工での確認を行った後、緩結性懸濁型注入材(微粒子セメント+硬化促進材; ゲルタイム10分以上)を採用することとした。

(3) 注入工法

注入工法は、上倉工区からの1次注入の状況に鑑み、崩落部での削孔孔壁の自立性の悪さ、IIIcss(未固結砂岩層)、粘性土層への注入の信頼性などを考慮し、二重管ダブルパッカー工法を採用した。なお、注入対象地山が火山礫凝灰岩、IIIcss(未固結砂岩層)、泥岩など複雑な地質構造であることを考慮し、削孔にはロータリーパーカッション方式を用いることとした。

(4) 削孔による地質確認

削孔時に発生する削孔スライムから、崩落部周辺の地質状況を確認することとした。その結果、注入の範囲の50m間(151km072~122m)の地質は、起点方より火山礫凝灰岩、泥質礫混じり(崩落部)、IIIcss(未固結砂岩層)、泥岩となっており、地層走行は約30°、傾斜はほぼ垂直方向であることが確認された。また、削孔がIIIcss(未固結砂岩層)に達すると、大量の湧水に伴い多量の土砂が噴発し、高い水頭を持った層であることが確認できた。

(5) 注入工とその結果

注入孔は孔の間隔を3.0mとし、全部で305本の配孔とした。その注入孔に順番に番号をつけ、奇数孔を1次注入、偶数孔を2次注入とした。

1次注入では最初に崩落部に向かって重点的に注入することとした(0次注入)。また、2次注入では、1次注入の状況(削孔時の土砂の噴発、湧

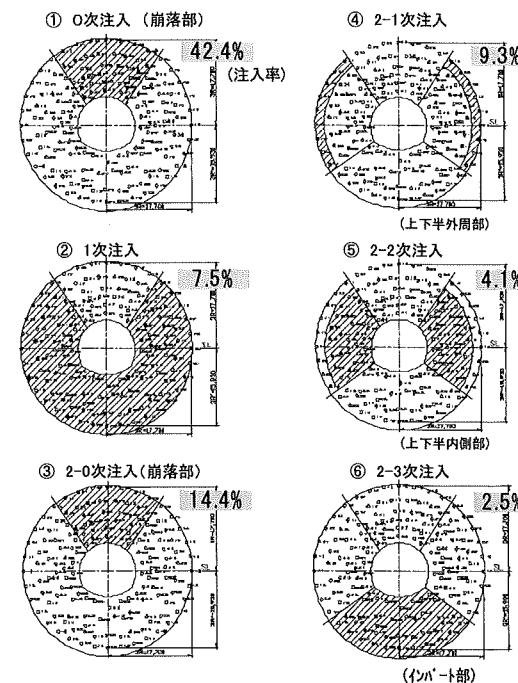


図-9 注入施工ステップ

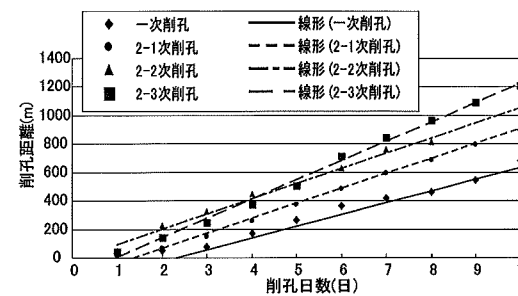


図-10 施工速度の変遷

水状況、のみ下がり、注入量(P-Q)を勘案したうえで、注入の効果を確認するため(図-9のとおり)、「③崩落部、④上下半外周、⑤上下半内側、⑥インバート部」に分割して、段階ごとに注入の状況を確認しながら施工を行った。

注入率の変遷は、崩落部に注入材がとくに入る傾向にあり、注入が進むにつれ注入率が減り注入材が充填されていく状況がわかった。

また同時に、削孔作業時間も注入が進むにつれて短くなり、削孔時の土砂噴発や削孔からの湧水量も注入の進捗に伴って減少し、土砂噴発に関しては最終的に確認されなくなった。このことから地山に注入材が充填され、地下水の水みちをふさ

表-1 注入効果確認項目

事柄	施工箇所	確認事項
確認ボーリング	5本(うち3本:コアボーリング)	コアの採取率の確認 ジャーミング、孔壁保持の確認
ノミ下がり	ノンコアボーリング2本で実施	注入削孔時の1,2次孔との比較
湧水状況(湧水量, 湧水圧測定)	確認ボーリング, 全5本で実施 削孔時は2mごと+ケーシング抜管時湧水が存在する場合は, 湧水圧を測定	注入削孔時の1,2次孔との比較
ボーリングコアの確認	コアボーリング3本で実施	注入材の分布状況などを確認
孔内水平載荷試験	コアボーリングの3本で実施 一般的な地質(泥岩, 砂岩, 火山岩凝灰岩)実施	地山の变形係数を求め, 一般的な地山と比較する. 改良後の目安 $E > 98\text{MN/m}^2$
透水試験(簡易ルジオン試験)	ノンコアボーリングの2本で実施 注入の前後で実施 砂層, 泥岩層, 礫岩層で実施 3か所/本	注入前後の透水性の改善効果の確認
室内試験	コアボーリング3本のコアで実施	圧縮強度(一軸圧縮試験に加え, 針貫入試験を併用), 弾性係数などを確認 改良後の目安 $q_u > 0.94\text{MN/m}^2, E > 98\text{MN/m}^2$

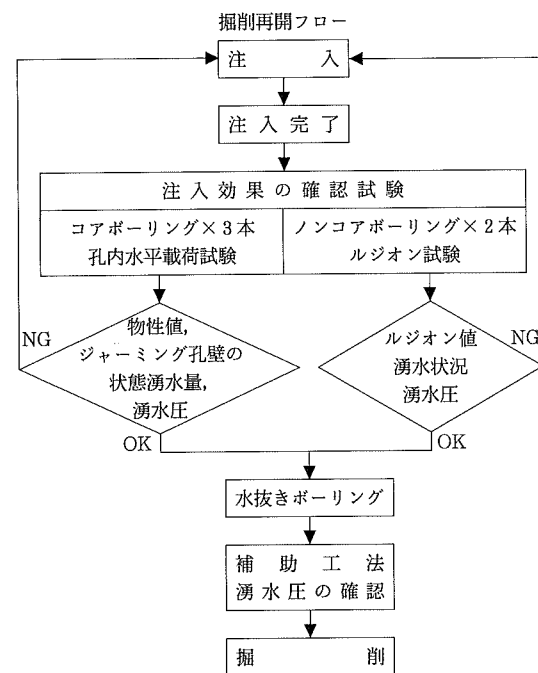


図-11 注入効果確認判定基準

いだと推定した(図-10).

(6) 注入効果確認

注入効果の判定は, 注入目的, 効果の期待度を

表-2 効果確認結果抜粋

	試験目標値	確認結果*
砂層	ルジオン値	1.85
	変形係数 $98\text{MN/m}^2$	101
泥質礫混層(崩落部)	$q_u$	0.68
	ルジオン値	0.55
火山礫凝灰岩層	変形係数 $98\text{MN/m}^2$	150
	$q_u$	0.94
火山礫凝灰岩層	ルジオン値	0.94
	変形係数 $98\text{MN/m}^2$	237
	$q_u$	0.94

\*確認結果は平均値

考えて総合的に判断する必要がある。注入効果の確認方法として, ①注入の施工状況の監視により推定する方法, ②土質調査による方法を検討した(表-1)。

また, 掘削再開にあたっては, 注入効果確認判定基準を設け, これにより判断をすることとした(図-11)。

注入効果確認判定を行った結果, IIIcss(未固結砂岩層)に該当する部分で, ルジオン値が高く(透水性が高い), 強度が目標値にならないことを確認したため, IIIcss(未固結砂岩層)のトンネル天端120度部分に対して限定的に補足注入を行うこととした。補足注入は, IIIcss(未固結砂岩層)に対して実施した注入管理(圧力など)の結果から懸濁型注入材の限界と考え, 止水性を目的とした溶液型注入材を選定した。補足注入後, 3本の確認ボーリングを行い, その効果確認の結果, 掘削再開可能と判断した(表-2)。

5-3 掘削(図-5; STEP 5)

(1) 掘削補助工法など

富倉方からの掘削再開に際しては, 掘削再開フローに従うこととした。注入効果の確認の結果, とくに砂層においては溶液型注入の実施により止水性は向上したものの目標の強度が得られていないことから, 天端防護のため補助工法を採用することとした。補助工法は注入範囲と同区間において, 長尺先受け工(鋼管長12.5m), トレヴィチュー

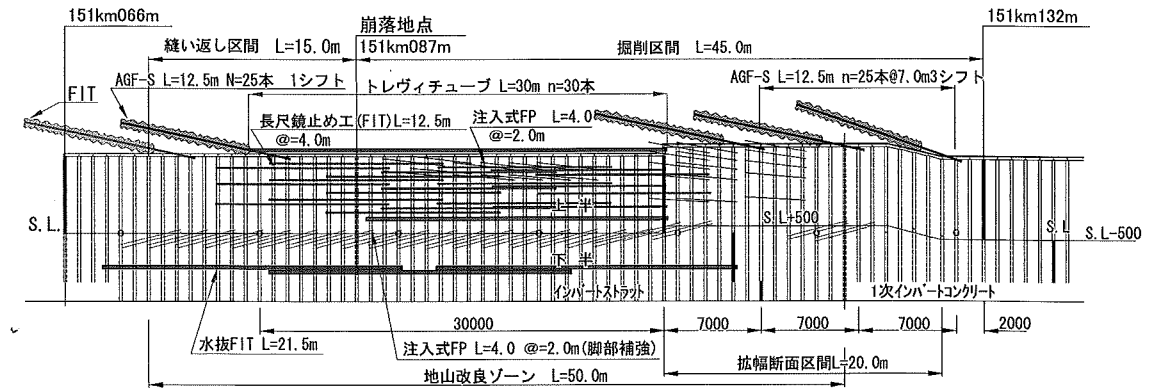


図-12 掘削補助工法

ブ工法(鋼管長30.0m)を採用した。この工法の採用により, 崩落部を含んだ緩み範囲である天端の30m区間を一度にカバーでき, さらに打設のための手間が省かれるため, 一気に切羽を進めることが可能である(図-12参照)。

なお, 注入結果では止水性の確保がなされたと判断できたが, トンネル上の水位は依然として30m程度の水頭を持っていたため, 掘削前の水抜きボーリングや掘削中の断面内からの短尺水抜きボーリングを随時行い, 水位, 水圧(管理基準値: 0.1MPa)の確認をしながら掘削することとした。

(2) 掘削管理基準値の設定

掘削管理基準値の設定は, 桜井春輔・神戸大学教授の「直接ひずみ制御法を用いた管理方法」<sup>2)</sup>を参考として, 応力とひずみの関係から得られる近似式に, 崩落部と同様と推定した既掘削部分の地山の一軸圧縮強度を用いて限界ひずみ量(1式)を算出し, その限界ひずみから限界変位量(2式)を算出した。

$$\epsilon_{Ue} = 8.0 \cdot \sigma_c^{-1/3} \text{ (上限値)} \quad (1)$$

$$U_r = \epsilon_\theta \cdot r \quad (2)$$

$\epsilon_{Ue}$ : 上限値の限界ひずみ

$\sigma_c$ : 一軸圧縮強度

$r$ : トンネル半径

$U_r$ :  $r$ におけるトンネルの変位

さらに, 内空変位量は掘削の進行により増大することとなるため, 既掘削部の掘削初期(切羽距離0.5D)の計測値をもって最終変位量を推定することとした(図-13)。

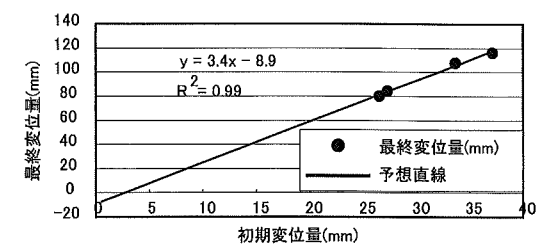


図-13 初期変位と最終変位量



写真-1 未固結状の砂岩層

その結果, 初期変位量(切羽距離0.5D)が45mmの場合を管理限界値と定めて, 掘削管理を行うこととした。

(3) 崩落状況と崩落の原因

平成19年6月中旬, 富倉方からの掘削でIIIcss(未固結砂岩層)を捉えた。IIIcss(未固結砂岩層)は褐色でほぼ水はなく自立性が悪い状態であった。切羽にフェノールフタレインをかけると真っ赤に反応し, 注入材がよく充填され止水されていることがわかった。他の層では湧水がほとんど確認されていないことから, このIIIcss(未固結砂岩層)

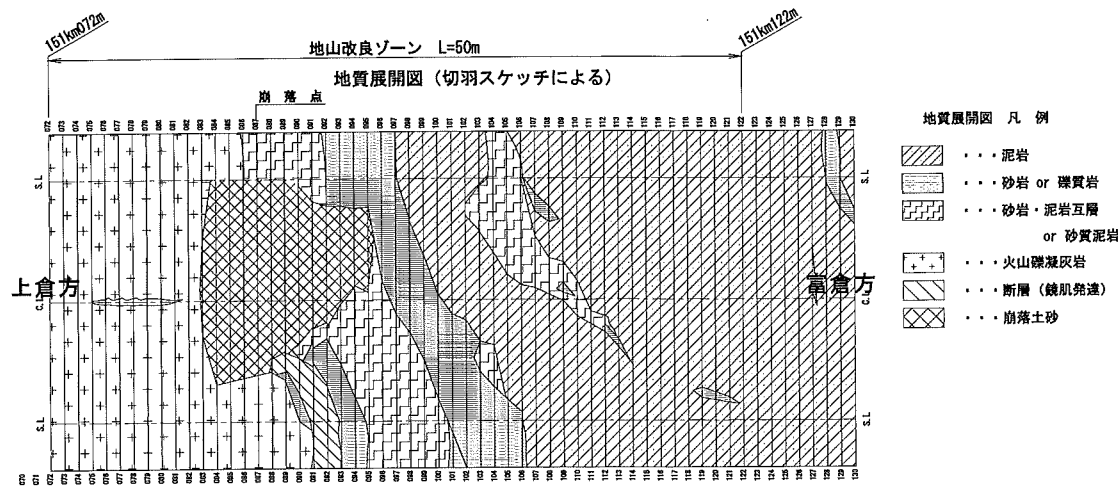


図-14 崩落部破壊状況展開図

に高水頭の地下水が溜まっていたと考えられる(写真-1)。

また、ここより起点方では泥岩と顕著な鏡肌を持つF1断層が確認され、崩落の原因は、F1断層沿いの泥岩などにより遮蔽されていた高水頭の地下水が掘削により薄くなったF1断層を破壊し、Ⅲcss(未固結砂岩層)とともに突き破ったという当初の推定は正しかったと考えられた。

平成19年7月初旬、富倉方からの上半掘削が崩落部である151km087mを通過し、掘削計画予定の151km067mまで無事到達した。

掘削中の切羽観察の結果、崩落土砂はⅢcss(未固結砂岩層)が存在する151km096mから切羽天端右肩に出現し、151km086mの上倉方最終建て込み支保工は飴のように破壊されていた。その後、富倉方の残りの下半掘削、インバートストラット施工を経て、上倉方からの流入土砂撤去により、平成19年7月26日、両工区が無事貫通した。崩落部周辺の地山の状況展開図を図-14に示す。

(土木工学社図書案内)

## 岩盤の計測と解析 工博 鈴木 光著

A5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

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

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

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

## 6 おわりに

掘削によって確認されたⅢcss(未固結砂岩層)やF1断層は、当初推定したとおりに狭い区間に出現しており、崩落前にこのような状況を予見することの難しさを感じた。しかしながら、事故による損失は経済性だけでなく、時間的にも関係する人々に与える精神的影響が甚大なものであると痛感し、事故を未然に防ぐことの重要性、そのための技術の研鑽も大切なことであると感じた。

今回の復旧に際して、ご指導、ご協力いただいた足立委員長を始めとする飯山トンネル他特別委員会委員の方々、復旧工事に関係するの方々に対して厚くお礼を申し上げます。

## 参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団：注入設計施工指針，1986.12.
- 2) 桜井春輔：トンネル工事における変位計測結果の評価法，土木学会論文集，No.317，pp.93-100，1982.

# 施工

## 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—

西日本高速道路(株)関西支社枚方工事事務所寝屋川工事区工事長 田口 敬介

西日本高速道路(株)関西支社枚方工事事務所寝屋川工事区 水野 希典

鹿島建設(株)・(株)熊谷組・みらい建設工業(株)特定建設工事共同企業体所長 中野 計

鹿島建設(株)・(株)熊谷組・みらい建設工業(株)特定建設工事共同企業体工事課長 内村 祥史

## 1 はじめに

第二京阪道路国守工事は、延長220mの区間で、地中連続壁、グラウンドアンカーを用いて開削し、大断面のカルバート構造物を施工する。本工事の大きな特徴は、わが国でも例を見ない大断面の4連アーチカルバートが採用されていることである。国守工事の4連アーチカルバートは、縦断方向の長さが、15mと10mの2種類のブロック割りを行い、全10ブロック、総延長140mの施工を行う。横断方向幅は、約60mと平面的にも大規模である。一方、部材厚は、アーチアクションによる部材軸力の効果から、最大土かぶり15.7mの荷重条件下で、従来工法のボックスカルバートよりも合理的な断面を実現している。

しかしながら、合理的な断面であるゆえ、上載荷重の条件変化、支持地盤の変形特性のバラツキなどの外的要因に敏感な構造であり、詳細設計時の設計条件と実施工で相違が生じた場合には、部材応力の超過などの問題が懸念されるという側面も併せ持つ。また、各部材厚は、アーチスラブ、底板および外壁で1.4m、アーチスラブの連結部(以下、「アーチ付け根」と呼ぶ)は、アーチスラブ間を剛結するため非常にマッシュな形状をしており、セメント水和熱に起因する有害なひび割れ

の発生が懸念された。

そこで、支持地盤のバラツキに関する問題については、原位置試験で得られた結果から構造物照査を迅速に実施できる施工管理方法を確立することによって対応した。また、温度ひび割れによる耐久性低下の問題については、3次元FEMモデルを用いた温度ひび割れ解析と試験施工を実施し、パイプクーリング工法などのひび割れを制御可能な対策工法を選定し適用した。本稿では、これらの合理的な大断面4連アーチカルバートの技術的課題に対する取り組みと、移動式セントルなどの施工設備を多数投入し、急速施工を行っている当工事の施工概要について記述する。

## 2 工事概要

### 2-1 第二京阪道路国守工事の概要

第二京阪道路は、京都と大阪を結ぶ延長約28.3kmの広域幹線道路である。6車線の自動車専用道路と2～4車線の一般道路から構成される。本道路は「緑立つ道」の愛称で親しまれ、環境、景観に配慮した道路である。国守工事は、大阪府北東部、淀川左岸の寝屋川市域に位置する(図-1)。付近一帯は、閑静な住宅街が広がる丘陵地で、道路は、この丘陵地帯を延長780mのNATMトンネルおよび開削トンネルで横断する。このうち国守

工事は、開削トンネル区間の延長220mで地中連続壁、グラウンドアンカーを用いて地盤を掘り下げ、4連アーチカルバートとボックスカルバートを構築する。ボックスカルバートは、地表面まで壁を立ち上げ、採光のための開口を設ける特殊区

間に適用される。主要工事数量を表-1に示す。

### 3 地質概要

当工事の施工箇所は、海拔35~48mの丘陵地帯で、表層は段丘層(洪積層)が被覆し、その下に大阪層群の礫、砂、粘土の互層が厚く堆積する。構造物の支持地盤は、 $N=30\sim50$ の砂層(Os2)である。地下水は、GL-7m付近に存在する表層の自然帯水と、以深の各大阪層群砂層に若干の被圧を伴う帯水層が存在する。

### 4 構造概要

4連アーチカルバートは、底版および上床版をアーチ形状とすることで、上載荷重および地盤反力に対し、アーチアクションによる部材軸力の効果を発揮することで、ボックスカルバートと比べると、薄い部材厚を実現している。また、大断面の剛結4連形式となっており、縦断方向のブロック長(10m, 15m)に対し幅(約60m)の大きな構造である。埋め戻し形状は、横断方向両端部で約10mの高低差があり、最大土かぶりは15.7mである。詳細設計では、この偏荷重を考慮し断面寸法および配置鉄筋を決定している。構造一般図を図-2に示す。

### 5 施工概要

#### 5-1 打設ロット割り

近接する閑静な住宅街に配慮した作業時間の制約から、施工部位は、底版、側壁、アーチ付け根、

アーチスラブの4部位に分割した。打設ロット割りを図-3に示す。

は65mである。

#### 5-3 コンクリート配合

コンクリート配合を表-2に示す。コンクリートは、普通セメントを使用し設計基準強度は30N/mm<sup>2</sup>である。アーチスラブの鉄筋量は、260kg/m<sup>3</sup>と過密であり、コンクリートの充填性を確保するため、スランブを12cmとすることで対応した。

また、外壁と側壁については、温度ひび割れ抑制を目的として膨張コンクリートを採用した。

#### 5-4 施工設備

##### 5-4-1 移動式スライドセントル

供用開始時期および作業時間の制約から、4連アーチカルバートの構築では、工期短縮が重要な命題となる。本工事では、移動式スライドセントルを、側壁、アーチ付け根およびアーチスラブに全16基を投入した(写真-1,2)。作業の高効率化を目的として、各セントルを連続的に活用して(図-4)、工場

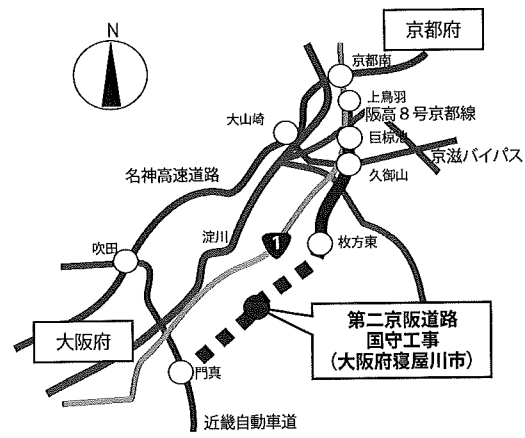


図-1 工事位置図

表-1 主要工事数量

項目	仕様	数量
掘削		306,000m <sup>3</sup>
埋め戻し	流動化処理土含む	93,700m <sup>3</sup>
地中連続壁	TRD, 全旋回	15,819m <sup>2</sup>
グラウンドアンカー	除去式φ135, φ165	2,510本
カルバート工	4連BOX-C延長	65m
〃	4連アーチカルバート延長	140m
コンクリート	30-12-20N	54,544m <sup>3</sup>
鉄筋	SD345	11,702t
移動式セントル	側壁, アーチ付け根, アーチ	16基
クレーン設備	移動ジブクレーン, 橋型	4基

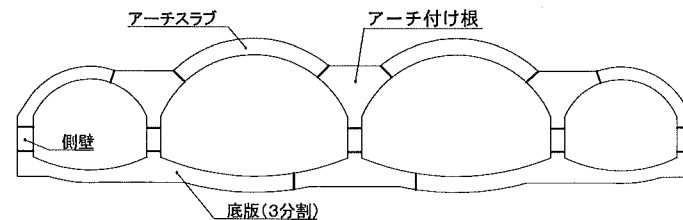


図-3 打設ロット割り

表-2 コンクリート配合(30-12-20N)

W/C	s/a	単位量(kg/m <sup>3</sup> )							セメント種別	
		W	C	細骨材		粗骨材				混和剤 高性能型 AE減水剤
				海砂	砕砂	4020	2015	1505		
50	40.5	166	332	425	295	-	654	436	2.822	N

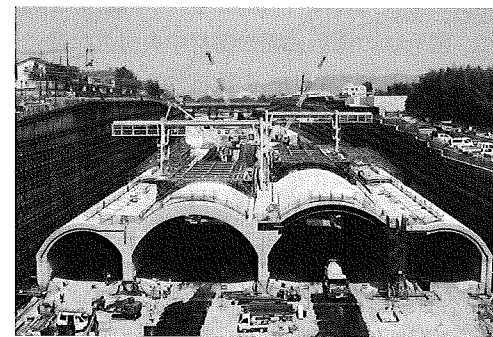


写真-1 現場全景(大阪方より京都方)

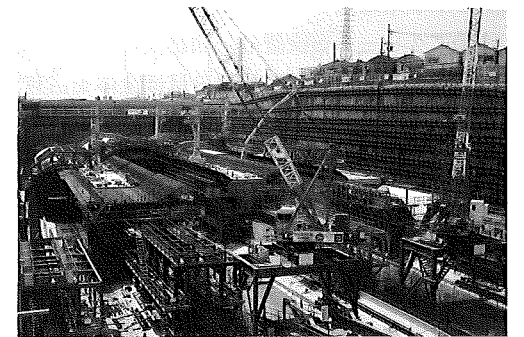


写真-2 施工設備配置(京都方より大阪方)

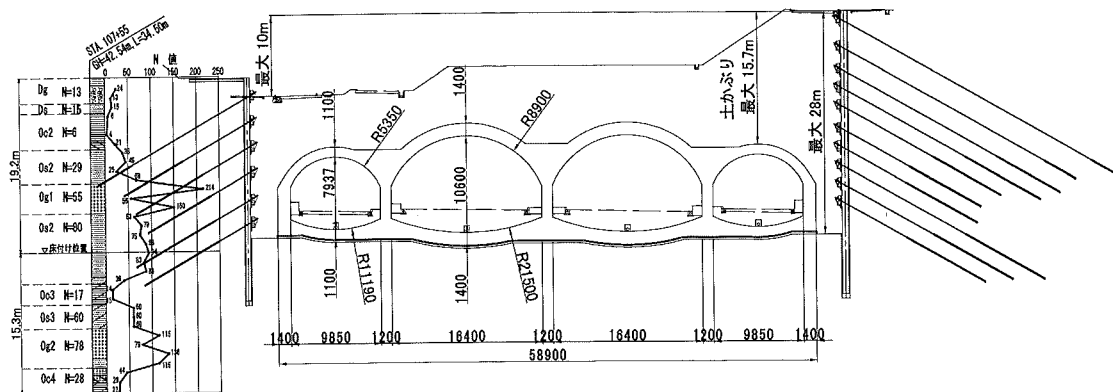


図-2 構造一般図

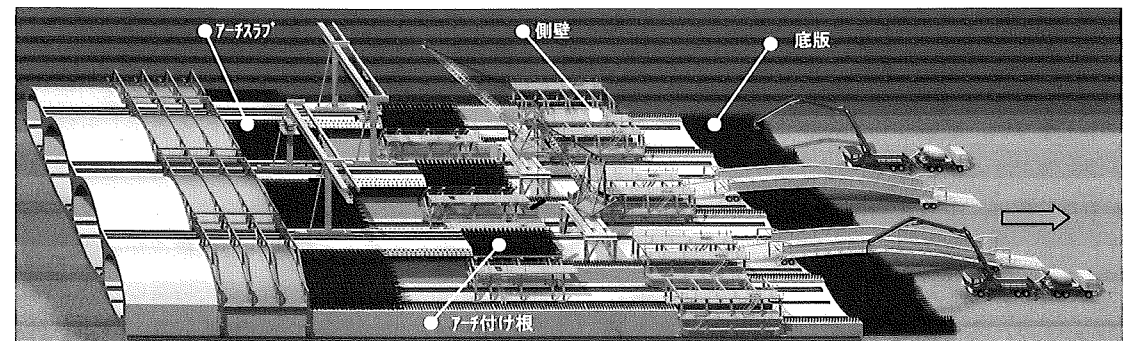


図-4 施工設備配置

の流れ作業のように各部位の構築をするので、現場を見渡すと、底版からアーチスラブまでの構築を同時に見ることが出来る。

アーチスラブの施工では、上曲面の蓋型枠として外セントルを用いる。外セントルは、両端部の急傾斜部にメタルフォームを配置し、残りの範囲は人力コテ仕上げを実施した。また、コンクリート打設、締め固めを実施するため、開閉式の蓋を有する打設開口(□45cm×45cm)を75cmピッチで設けている。

5-4-2 インバート栈橋

工事用道路の付帯設備として大規模なインバート栈橋を2基投入した。インバート栈橋を用いることで、底版の防水作業および鉄筋作業の施工区間を跨いで工事用車両が通行でき、作業中の底版より奥に、鉄筋、生コンクリートなどの資機材搬入が可能となる。インバート栈橋は、底版の進捗に合わせ、電動チルホールと滑車を用いて移動する。

5-4-3 揚重設備

本工事では、インバート栈橋および完成した底版上を工事用道路として使用する。工事用道路上に移動式クレーンを設置し、鉄筋などの揚重作業を行った場合には、道路幅員のほぼ全体を占有するため、資材搬入の滞りあるいはクレーン稼働率の低下が避けられない。そこで、工事用道路の常時確保とクレーン作業との両立が可能な、揚重設備を計画した。側壁、アーチ付け根の施工では、クレーン架台をフレーム構造とし、クレーン直下を工事用車両が通行できるジブクレーン台車を採用した。また、アーチスラブでは、完成したアーチ付け根上に工事用道路に影響を与えない橋型クレーンを採用した。

5-5 埋設型枠を用いた底版工期短縮策

本工事では、底版からアーチまでの各部位を同時期に施工する。よって、ブロックごとの施工サイクル日数は、もっとも所要日数が多い部位の日数となる。例えば各部位の所要日数が、底版45日、側壁15日、アーチ付け根32日、アーチスラブ32日と仮定する。この場合、日数が最大となる底版45日が、ブロックごとの施工サイクル日数となり、

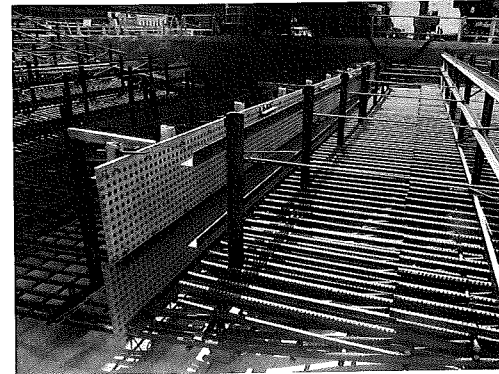


写真-3 底版埋設型枠設置状況

その他の部位は次ブロックへの移動ができず手待ちとなる。したがって、各部位の施工日数を揃え、手待ちを解消することが、工期短縮の必須条件となる。

底版は、鉄筋などの資材量が多いことに加え、1日あたりコンクリート打設量の制約から3分割での施工となり、必要施工日数が最大で工程上のネックとなった。そこで、底版の工程短縮を目的として、モルタル韌性ボードを型枠面版に利用し、本体内に埋設可能な打ち継ぎ型枠(写真-3)を開発した。凹形状の面版表面と部材中央付近に設けた段違いによりせん断力への抵抗性を確保した。型枠の組み直し手間、打ち継ぎ処理手間、鉄筋組立作業の手待ちなどを解消し、底版の所要日数の約20%を短縮した。この結果、手待ちを解消し、1ブロックあたりの施工サイクル日数を32日(暦日)とした。

6 支持地盤の管理

6-1 支持地盤が部材に与える影響

4連アーチカルバートの2次元フレームモデルを用いて、地盤反力係数の大小や地盤反力係数の横断方向の変化を与え感度解析を実施した結果、感度が高く、構造物の発生応力に対する影響が大きいことが判明した。具体的には、地盤反力係数が設計値よりも小さい場合には構造物の応力が増加する傾向があり、また、支持地盤の左右で、バラツキが大きい場合についても同様の傾向が見られた。一例として、設計時と見直し時(現場試験

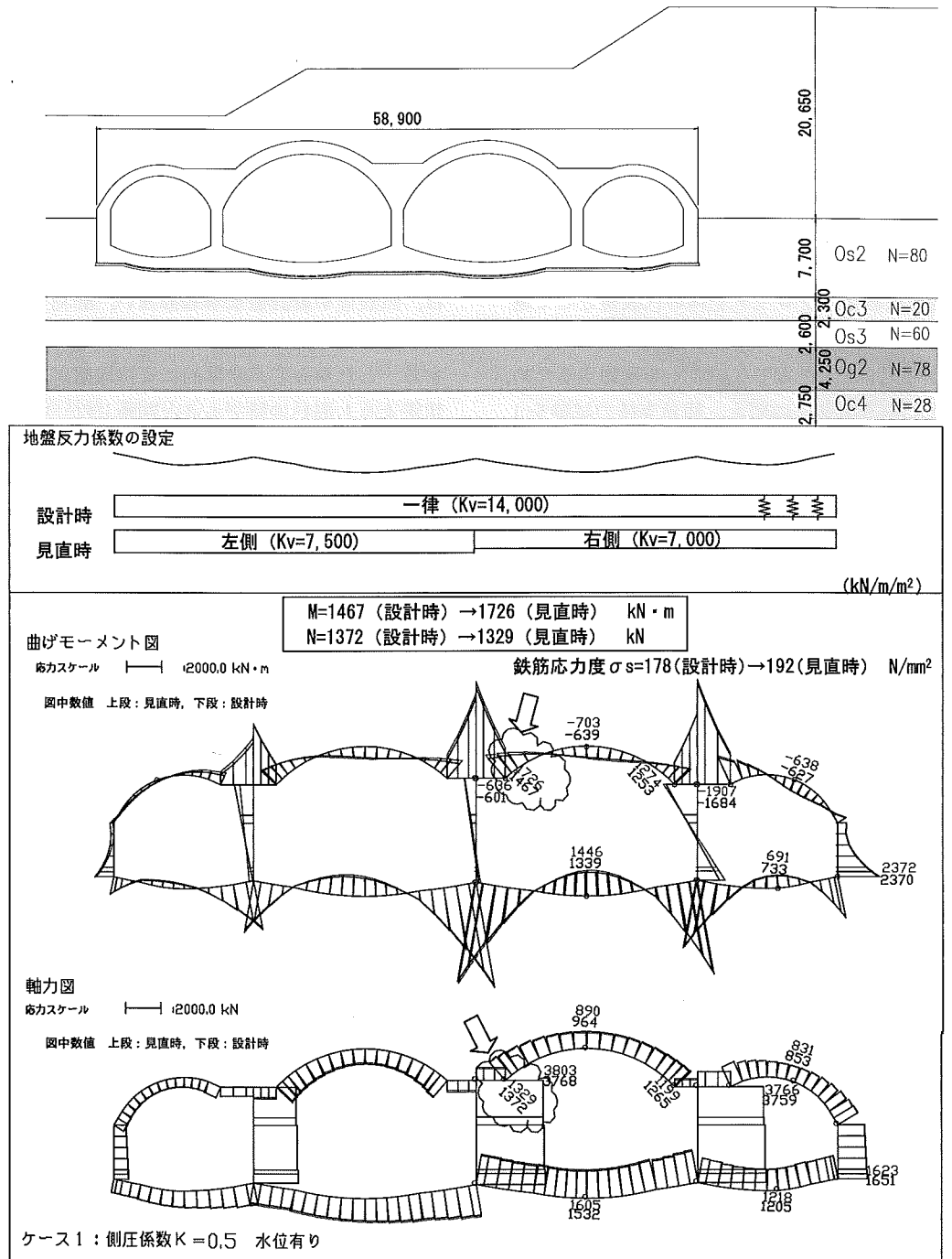


図-5 地盤反力係数の違いによる断面力の比較

後)の地盤反力係数から算定した断面力の比較を図-5に示す。鉄筋応力が $\sigma_s=178 \rightarrow 192 \text{ N/mm}^2$ に増加し、支持地盤の影響を敏感に受けていることがわかる。

6-2 支持地盤の管理方法

6-2-1 平板載荷試験

1ブロックあたり横断方向2か所の平板載荷試験を実施し、床付け地盤の変形係数および横断方

向の差異を確認する。試験位置を図-6に示す。試験による変形係数が、設計値を下回る場合、図-7に示すように平板载荷試験結果を表層地盤の変形係数として、深さ10m範囲を考慮した地盤反力係数を左右2か所で算定し、構造物の発生応力を照査する。

6-2-2 簡易支持力試験

1ブロックで2か所しか実施しない平板载荷試験の変形係数が、ブロック全体の代表値として適切であること、また、ブロック全体で地盤の変形係数のバラツキが過大でないことを確認するため、目視による土層確認に加え、簡易支持力試験を1ブロックあたり27か所実施して変形係数の分布を把握した(図-6、写真-4)。簡易支持力試験器(キャスポル)は、国土交通省で施工管理の合理化を目的に開発され、重錘を地盤上に自由落下させた際の衝撃加速度から粘着力、内部摩擦角などの地盤定数を測定可能な、軽量かつ取り扱いに優れ

た試験器である。

バラツキの許容値は、土質調査結果から大阪層群土層の変形係数の標準偏差(1σ)の値を採用した(図-8)。なお、バラツキが許容値内にある場合、構造物は許容応力度を満足することが確認されている。

6-2-3 支持地盤試験結果

試験結果の一例を表-3に示す。平板载荷試験では、試験値が設計値よりも小さい。簡易支持力試験結果のバラツキ(1σ)は、管理値(1σ<sub>α</sub>)を満足する。したがって、全体的に支持地盤が設計での想定よりも弱い地盤であると判断した。そこで、試験結果から地盤反力係数を再設定し、構造物の応力度照査を実施し、許容応力を満足しない場合には、鉄筋径のランクアップなどの対策を実施した。

簡易支持力試験と平板载荷試験結果との相関図を図-9に示す。簡易支持力試験による変形係数は、

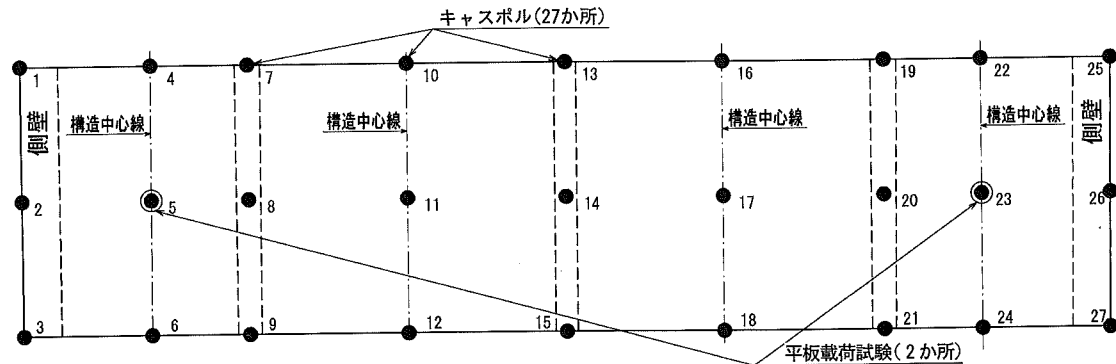


図-6 試験位置図

当初設計		試験後	
▽床付け面			
Os2	$\alpha E=224000$ kN/m <sup>2</sup>	Os2	$\alpha E=52201$ kN/m <sup>2</sup>
Oc3	$\alpha E=64800$	Oc3	$\alpha E=64800$
Os3	$\alpha E=168000$	Os3	$\alpha E=168000$
Og2	$\alpha E=218400$	Og2	$\alpha E=218400$
Oc4	$\alpha E=78400$	Oc4	$\alpha E=78400$

表層(Os2層)の変形係数に平板载荷試験結果を適用

この範囲の変形係数および層厚を用いて地盤反力係数を算定

図-7 試験結果を反映した地盤反力係数の算出

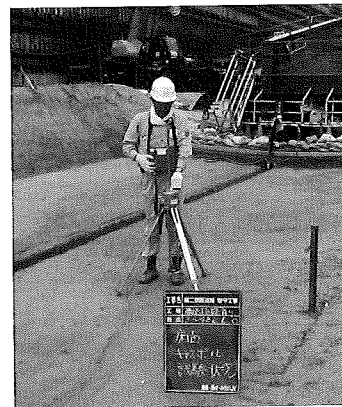


写真-4 簡易支持力試験状況

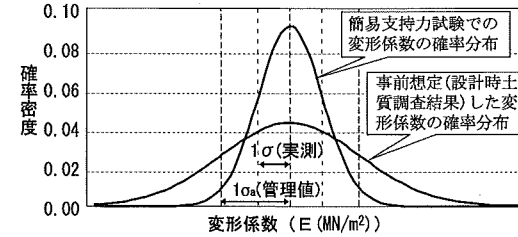


図-8 支持地盤のバラツキ評価方法

表-3 試験結果の一例(1BL)

管理方法	計測値		管理値(設計値)
	左側	右側	
平板载荷試験 $E_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	52,201	34,100	224,000
簡易支持力試験 $1\sigma$ (kN/m <sup>2</sup> )	3,980		32,000

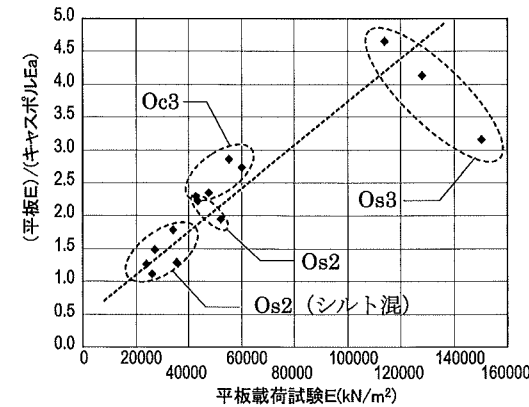


図-9 簡易支持力試験と平板载荷試験の相関

Os3層ではバラツキが大きい、その他の土層では変形係数を十分な精度で測定できている。

7 コンクリートのひび割れ対策

7-1 ひび割れ対策の必要性

4連アーチカルバートにおいて、アーチ付け根およびアーチスラブは、主たる外力である上載土荷重を支持する重要な構造部材である。また、完成後は常に地下水に浸漬されるため、初期欠陥を重点的に制御し、耐久性を確保する必要がある。このように重要部位と位置づけるアーチ付け根は、非常にマシブな構造であり、コンクリート硬化時の水和熱による温度上昇に伴うひび割れ発生がもっとも懸念される部位でもある(図-10)。そこで、3次元FEMモデルによる温度応力解析と、

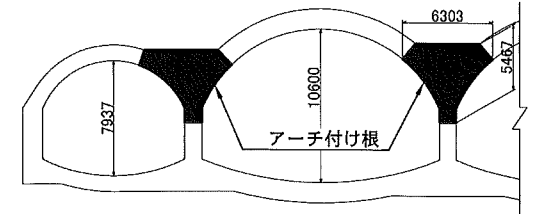


図-10 温度ひび割れが懸念されるアーチ付け根

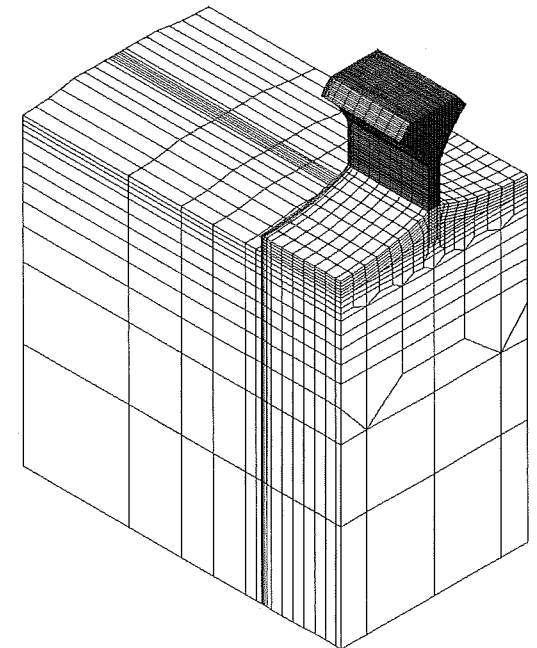


図-11 温度応力解析に用いた3次元FEMモデル

試験施工を併せて実施し、本構造物に最適なひび割れ対策を適用した。

7-2 温度応力解析

7-2-1 無対策での解析結果

温度応力解析に用いた3次元FEMモデルを図-11に示す。解析ケースは、春夏秋冬の四季を想定した4ケースに設定した。解析では、ひび割れ指数の値からひび割れ発生確率を予測するが、構造物に発生するひび割れ幅を0.2mm以下に制御できるひび割れ指数を算定すると1.24となり、この値を許容ひび割れ指数に定めた。ひび割れ幅は、コンクリート標準示方書に示される鉄筋比とひび割れ指数およびひび割れ幅との関係から算出した値である。ひび割れ対策を実施しない(無対策)場合の解析結果を図-12に示す。図示のとおり、無対

策の場合の最高温度は、夏期の打設ケース(外気温27.3℃)で、部材内部の最高温度が70℃以上で、外気温と40℃を超える差が現れた。ひび割れ指数は、中心部および表面での低下が著しい。無対策の場合では、許容ひび割れ指数1.24を満足せず、温度ひび割れ対策が必要である。ここで、許容ひび割れ指数は、目標ひび割れ幅を0.2mmと設定し、配置鉄筋比を用いることで算定した値である。

7-2-2 解析を実施する対策工の選定

対策工の選定結果を表-4に示す。当工事に適用可能な対策工を、効果、費用、工期の観点で比較し、パイプクーリング工法および膨張コンクリートの2案を解析対象として選定した。

7-2-3 対策工の解析結果

対策工の解析結果を図-13に示す。パイプクーリングは、直径2.7cmのSGP管をモデル化した。

通水温度は、外気温-5℃で設定した。膨張コンクリートは、見かけの線膨張係数を $8.3 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ とし解析を行った。一般的には、見かけの線膨張係数は $7.0 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ を用いるが、形状面で拘束が低く、ケミカルプレストレス

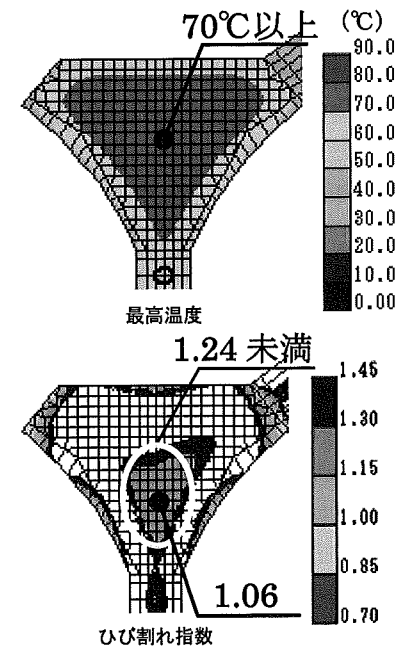


図-12 解析結果(無対策)

が十分に得られないことを想定し $8.3 \times 10^{-6} (1/^\circ\text{C})$ (実績調査値の平均値)を用いた。

膨張コンクリートは、最高温度が無対策と同様

表-4 対策工の選定結果

目的	対策工	効果	工費	工期	判定
反応熱の強制低下	パイプクーリング	◎	△	◎	○
	低熱セメント	◎	○	×	×
反応熱の抑制	高炉セメントの使用	×	○	△	×
	単位セメント量低減	△	◎	△	考慮済み
引張応力への抵抗	膨張材使用	○	△	◎	○
	補強鉄筋	○	△	○	× 過密鉄筋
外部拘束応力の低減	ブロック長低減	○	△	△	考慮済み
	誘発目地	◎	○	◎	× 曲線不可

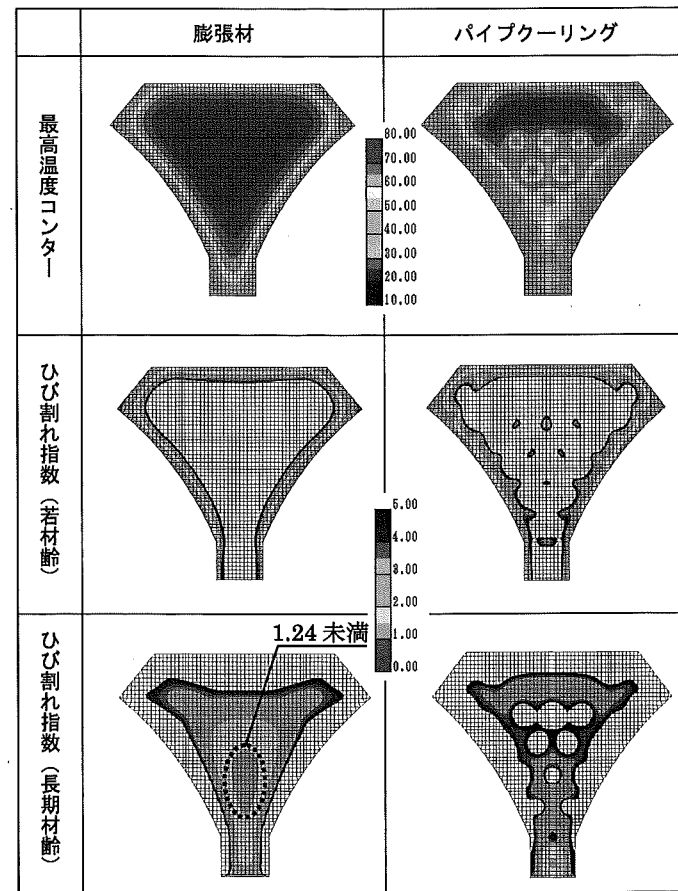


図-13 解析結果(対策工)

に70℃以上となる。若材齢時に表面のひび割れ指数が1.24を下回り、長期材齢で、部材中央で1.24を下回る(赤線の範囲内)。この結果からひび割れ制御効果は認められるものの、貫通ひび割れの発生が予測される。

パイプクーリングの解析では、中心部の温度は60℃前後となり、温度抑制効果が確認できる。若材齢時には同様に表面のみひび割れ指数の低下を示す。しかし長期材齢時には、ひび割れ指数はほぼ2.0以上となり、内部のひび割れは制御できる。

以上の結果から、アーチ付け根の対策工としてはパイプクーリングが有効であると言える。ただし、解析条件には線膨張係数などの仮定値があり、また、鉄筋比を用いてひび割れ幅に換算する方法が、壁状構造物の実験結果によるものであり今回構造物とは形状が異なることから、解析だけで対策工の選定に至ることはできなかった。

7-2-4 試験施工

最終的なひび割れ対策の選定を目的として、実構造物による試験施工を実施した。試験施工では、側壁、アーチ付け根を対象とする。同一形状の構造物に、膨張コンクリートとパイプクーリング工法を適用(図-14)し、実際に発生したひび割れ幅を観測しひび割れ制御効果を確認して対策工の選定を行った。

試験施工の結果、発熱温度は、両対策ともに解析値と実測値との間で良く一致した。コンクリート内部の最高温度は、膨張材75℃に対しパイプクーリングが55℃となり、20℃の温度低減効果が確認できた。

側壁では、解析値の1.6~1.9倍の実測ひび割れ(表-5)が確認でき、制御効果は両対策間で同等で

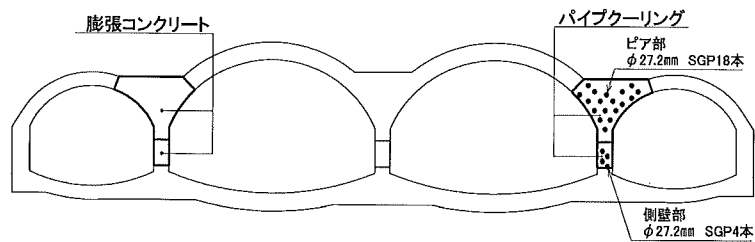


図-14 試験施工実施断面図

表-5 実測ひび割れ幅と解析値との比較(側壁)

対策工	解析値		実測ひび割れ幅(mm)	ひび割れ幅の比率(実測/解析)
	ひび割れ指数	ひび割れ幅(mm)		
膨張材	1.43	0.16	0.30	1.9
パイプクーリング	1.37	0.19	0.30	1.6

表-6 実測ひび割れ幅と解析値との比較(アーチ付け根)

対策工	解析値		実測ひび割れ幅(mm)	ひび割れ幅の比率(実測/解析)
	ひび割れ指数	ひび割れ幅(mm)		
膨張材	0.91	0.30	0.35	1.2
パイプクーリング	0.94	0.29	0.15	0.5

ある。アーチ付け根では、膨張材で解析値の1.2倍、パイプクーリングで0.5倍の実測ひび割れ(表-6)で、パイプクーリングが有効である。側壁では、部材厚が薄く内部温度も低くなり、内外温度差に起因する内部拘束が小さく、また、拘束度も高く膨張効果が有効に作用したことが考えられる。断面が大きいアーチ付け根では、予測のとおり形状面で拘束が低く、ケミカルプレストレスが十分に得られないこと、また、内外温度差による内部拘束力を低減できるパイプクーリングの効果が有効であったことが推察される。

試験施工の結果から、側壁には膨張材を、アーチ付け根にはパイプクーリングを対策工として採用した。

8 まとめ

4連アーチカルバートの施工は、平成19年3月に底版に着手し、平成20年7月現在、約85%の施工が完了している。当初懸念されていた、支持地盤の変形特性に関する問題については、設計と実測が相違した場合も、各ブロックごとに構造照査を行い、適切な対策を講じることができた。今後の埋め戻しの工程でその成果が明らかにされると考えている。

また、温度ひび割れ対策につ

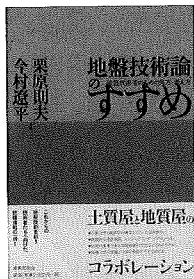
いては、壁およびアーチ付け根ではぼ施工が完了し、対策工によるひび割れ制御が実証されている。

### 9 おわりに

合理的な4連アーチカルバート構造の施工方法確立にあたり、ご指導をいただきました4連めがねトンネル施工検討委員会および4連アーチカル

バート施工検討分科会をはじめとする関係機関、関係者の方々に謝意を表します。今後も、第二京阪道路の供用に向け、全力で高品質の構造物の施工を工期遵守かつ安全に進めてまいります。今後も関係者の皆様のご指導、ご協力をお願い申し上げます。

#### 【新刊図書】



## 地盤技術論のすすめ

地盤技術者のものの見方・考え方

栗原則夫・今村遼平 著

A5判 256頁 本体2,800円 鹿島出版会 2008年4月刊

地盤技術者には、土木工事に有用な地形・地質を体系化した学問である土木地質学あるいは地質工学の専門家と、土質力学ないし地盤力学の応用を学問とする地盤工学の専門家がいる。この両者を噛み合わせることによって地盤技術の方法を作り上げてきたが、その多くはいわゆるノウハウや暗黙知の状態にとどまっており、一般の人たちにわかりやすいように整理、体系化されていない。

本書では、この異なる立場からの“ものの見方・考え方”を提示し、①両者の融合はどうあるべきか、②経験的な設計過程を論理的に明示し、本来の設計法を浮き彫りにする、③地盤技術の基本であるフィールドワークの方法、を考察している。

#### 主要目次

- 第1章 自然科学と技術の方法
- 第2章 地盤技術者のものの見方・考え方
- 第3章 地盤技術者の地盤の見方—認識論—
- 第4章 地盤技術者の設計の考え方—設計論—
- 第5章 土質工学と地盤工学の現状と問題点
- 第6章 地盤技術から見た地盤工学のあり方
- 付録 問題解決の論理学

# 施工

## 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—

中之島高速鉄道(株)計画部計画課長 長 瀧 元 紀  
 京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部工事担当主任 定 藤 誠一郎  
 鹿島建設(株)関西支店土木部技術グループ次長 坂 野 一 典  
 鹿島・間・不動テトラ・飛島共同企業体工事課長 橋 本 和 晃

### 1 はじめに

中之島線(中之島駅~天満橋駅間 L=2.9km)は、第3セクターである中之島高速鉄道(株)が施設を建設・保有し、京阪電気鉄道(株)が運行する路線である(事業スキーム：償還型上下分離方式)。平成15年3月より工事に着手し、平成20年秋の開業を目指して地下鉄道建設工事を鋭意進めている。

中之島線建設の目的は、中之島西部地区の再開発に伴い増加する輸送需要に対応することと、大阪の一大都市拠点である中之島と、観光・文化都市である京都を結ぶなど、広域交通ネットワーク

の充実である(図-1参照)。

本稿は、中之島線建設工事のうち、大江橋駅~なにわ橋駅間約440mを泥土圧式シールド工法にて施工した第4工区において、地下鉄御堂筋線直下を掘進するため支障となる鋼矢板を凍結工法を用いて撤去したので、その施工管理実績について報告する。

### 2 工事概要

#### 2-1 工事概要と周辺の状況

本工事のシールド区間は、大江橋駅~なにわ橋駅間440mを掘削外径φ6.95mの泥土圧式シールド

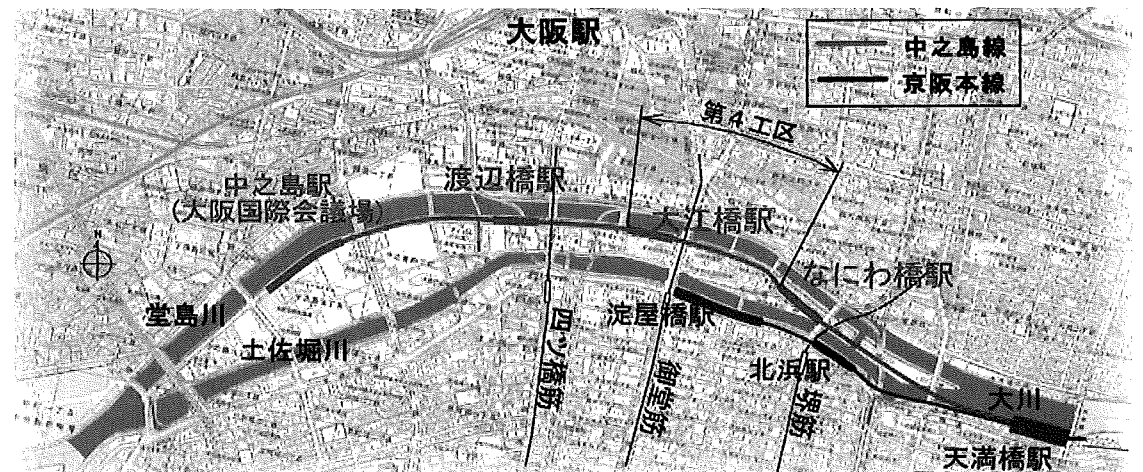


図-1 全体平面図

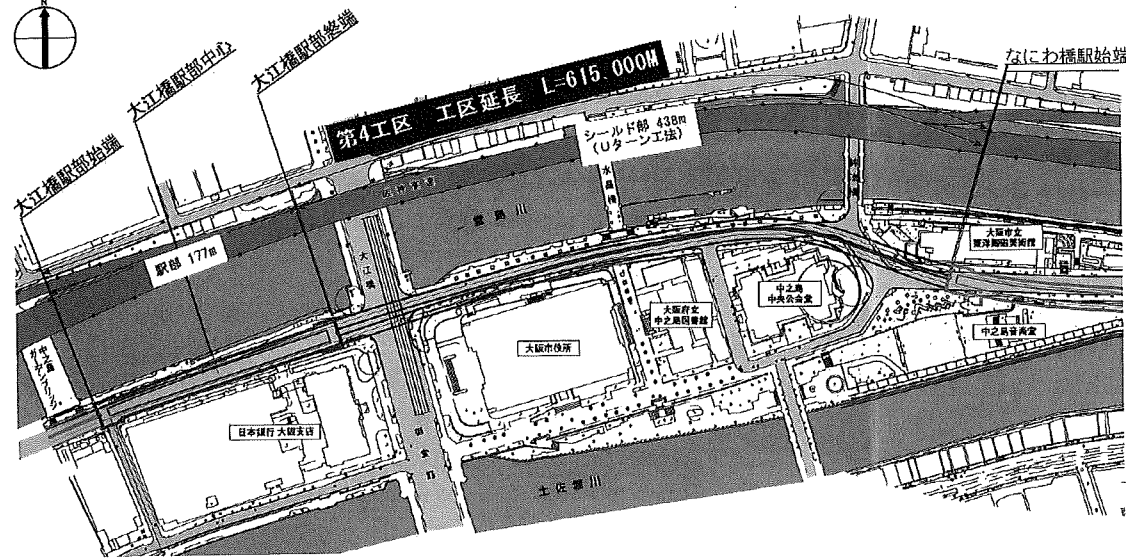


図-2 4工区シールド区間

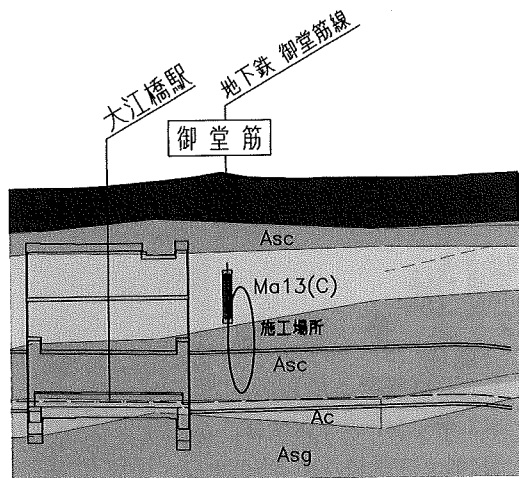


図-3 土質縦断面

ドで施工する区間である。シールドトンネルは、大江橋駅から東に発進させたシールドをなにわ橋駅立坑で転回させて、大江橋駅に向けて再発進させる単線並列トンネルである(図-2参照)。

＜施工概要＞

- セグメント外径 φ6.7m
- シールド最小離隔 1.1m
- セグメント材質 ダクタイルセグメント
- 土 かぶり 18.4~20.3m

シールドトンネルは、地下鉄御堂筋線直下を離隔約3mで通過するが(図-3参照)、そのシールド通過場所において、御堂筋線建設当時のものと思

われる鋼矢板が存在していることが建設当時の資料などから確認できた。

2-2 地質概要

シールドトンネルと御堂筋線交差部の地質は、沖積砂質土優勢層(Asc2層)と沖積粘性土層(Ac層)であり、その上に軟弱な沖積粘性土層(Ma13層)が堆積している(図-3参照)。

粒度試験から推定される透水係数は、Ma13(C)層から下の土層で10<sup>-2</sup>cm/sオーダーと高い透水性を示していた。

3 存置鋼矢板の存在と撤去工法の選定

3-1 事前調査の実施

大阪市交通局より提供していただいた御堂筋線の存置鋼矢板位置図をもとに、磁気探査とチェックボーリングにより鋼矢板の位置および深さを確認するための事前調査を実施した。調査の結果、存置鋼矢板は計6か所あることが判明した。このうち存置鋼矢板⑥は、シールド線形外のため影響がなく、存置鋼矢板④、⑤については、シールド線形を変更することでこれをかわした(図-4参照)。

存置鋼矢板①~③については、シールド線形を横断する形で存在していたため、撤去する必要があり、このうち、存置鋼矢板①、②については、

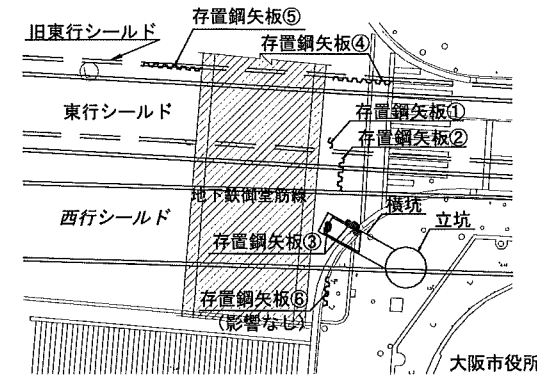


図-4 御堂筋線交差部存置鋼矢板

表-1 工法比較表

	案①	案②	案③
立坑工	深礎工法 φ4,500	深礎工法 φ3,500	ケコム・深礎 φ2,500
立坑防護工	SJM	SJM	(水中)
横坑工	推進工法 φ2,000	素掘り 1.8×1.8	推進工法 φ2,000
横坑防護工	MJS	凍結工法	薬液注入
安全性	○	◎	×
施工性	○	◎	×
地下鉄への影響	△	○	○
総合評価	○	◎	×

全旋回工法によって地上からの撤去を実施した。

3-2 工法選定

存置鋼矢板③は埋設物の直下にあり、地上からの撤去が不可能であったため、立坑+横坑方式による撤去方法の比較検討を行った。検討の結果、立坑は深礎工法とし、横坑防護は地中障害物の影響を受けずに改良でき、安全性、施工性に優れている凍結工法とした(表-1)。

4 凍結工の実施に向けての計画

4-1 施工フロー

図-5に、存置鋼矢板③の撤去フローを記す。

4-2 事前調査(地下水流向・流速調査)

凍結工法を実施するうえでもっとも問題となるのが、地下水の流向・流速である。これらについては、「加温法」、「テレビ法」の2種類で測定を実施し、ともに潮位の影響を受け測定結果にばらつきが見られたが、GL-17.5mで深(Asc2層以

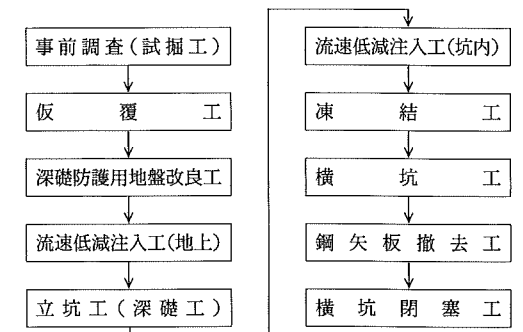


図-5 存置鋼矢板③の撤去フロー

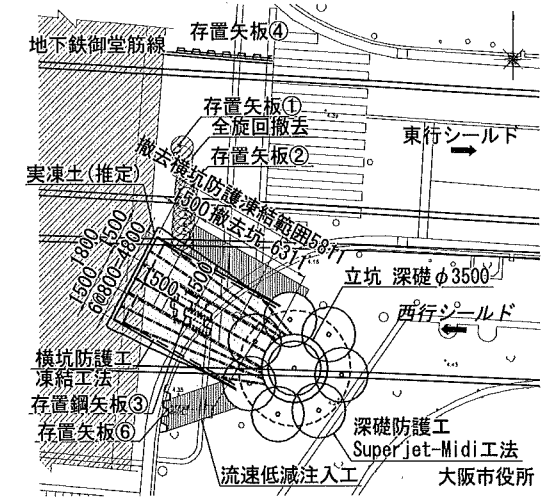


図-6 矢板撤去計画平面図

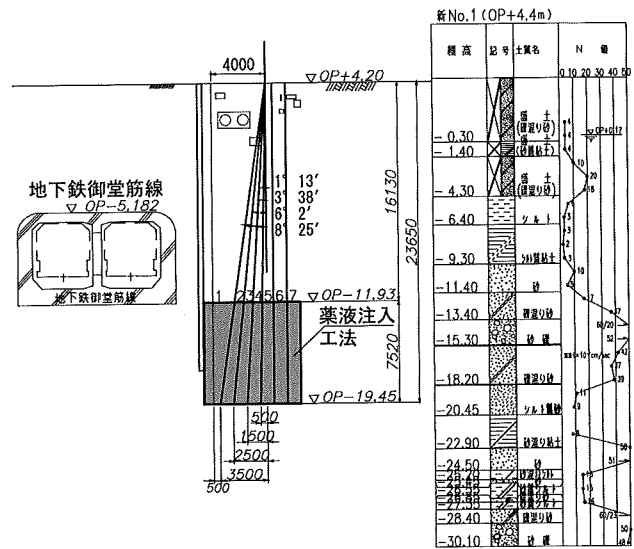
深)にておおむね堂島川と同じ方向に流れている地下水の存在が確認できた。地下水の流速は100m/day程度以上と非常に速いものであることがわかり、地下水の流速を低減させる処置が必要となった。

4-3 地下水流速低減工

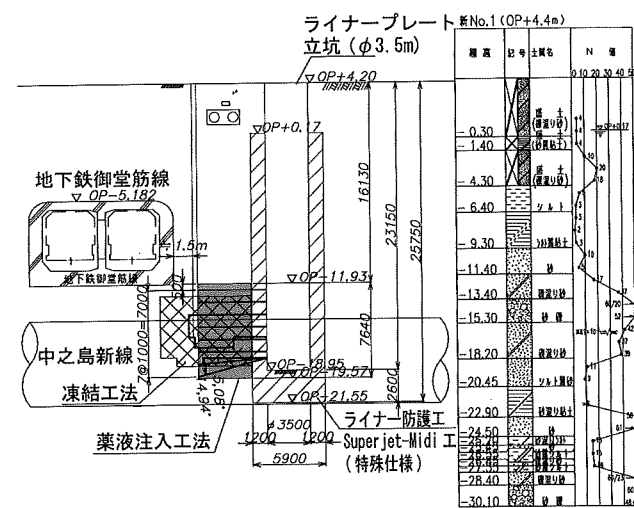
地下水の流速を低減するため薬液注入工による遮水壁を形成することとした。施工範囲は、地下水が堂島川と同じ方向(図-6の右⇒左)に流れていることを考慮して、立坑と御堂筋線躯体との間を遮断するような形とした。埋設物の有無により、北側は地上からの斜め打ち、南側は立坑内からの水平注入を行った。改良深さは、凍土造成範囲から上下1mを上端下端とした(図-7)。

4-4 深礎工・深礎防護工

制限された占用範囲において、昼夜施工するた



(1) 斜め打ち部



(2) 水平注入部

図-7 流速低減注入断面図

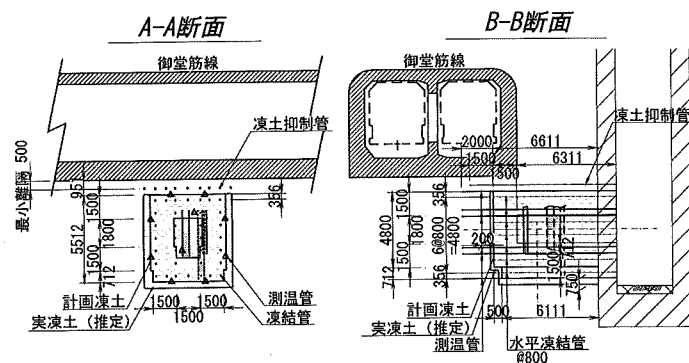


図-8 横坑工断面図

め小規模機械での施工が可能な深礎工を採用した。直径は3.5m、深さは22.5mである。

立坑の施工に先行して、高圧噴射攪拌工法(Superjet-Midi工法)にて防護工を行った。側部の有効改良厚さが1.2mとなるよう改良径φ2.8mを7本円周上に施工し、底部は2.6mの改良厚さを確保できるよう直径3.5m 1本を施工した(図-6, 8)。

#### 4-5 横坑工

凍結工により凍土造成を行った後、存置鋼矢板を撤去するため、立坑から横方向に掘削を行った。事前調査で判明した存置鋼矢板の位置、深さを考慮して掘削断面を決定した。

横坑工としては、幅1.8m、高さ1.8m、奥行き約6.3mとし、存置鋼矢板部では、底部を約0.8m掘り下げる計画とした(図-8)。

### 5 凍結工の計画

#### 5-1 大阪市交通局との協議

安全性、施工性、地下鉄への影響度などを考慮して凍結工法に決定したが、凍結工法による地下鉄躯体への影響を最小限に止めるべく種々の検討を行った。

##### 5-1-1 管理値の設定

###### (1) 解析モデル

地下鉄御堂筋線を剛性一様な梁にモデル化し、2次元フレーム解析を行った。土質データのN値より算出した地盤バネを地下鉄躯体上面に設置し(図-9)、荷重は躯体全幅に作用するモデルとした。

###### (2) 地下鉄御堂筋線躯体剛性

躯体高さ  $h=6.8\text{m}$  幅  $B=10.6\text{m}$   
 頂版厚  $h=0.7\text{m}$  底版厚  $h=1.2\text{m}$   
 側壁厚  $h=1.0\text{m}$  中壁厚  $h=0.6\text{m}$   
 ・断面積  $A=32.098\text{m}^2$   
 ・断面二次モーメント  $I=16.0707\text{m}^4$   
 なお、躯体の健全度は100%とした(図-10)。

以上の解析モデルを用いて、御堂筋

表-3 大阪市交通局との協議事項一覧

検討事項と対策	
①凍土造成不良を防止すること	i)凍結管設置精度の確認 ii)冷却液の温度を測定し循環確認 iii)冷却液漏れの有無確認 iv)地下水流速低減注入の実施
②余剰凍土の成長を抑制すること	i)抑制管を凍土と地下鉄躯体の間に設置 ii)測温管を地下鉄躯体下まで延長
③凍上・解凍沈下を予測すること	i)凍上・解凍沈下量の予測実施 ii)地下鉄躯体の沈下・隆起・傾斜計測
④横坑掘削開始前に凍土造成状況および設備不良の有無を確認	i)凍土造成状況の確認 ii)掘削前の設備点検

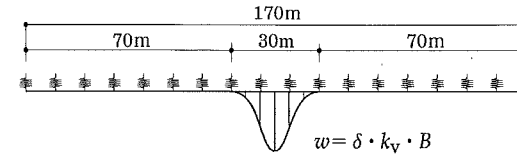


図-9 解析モデル

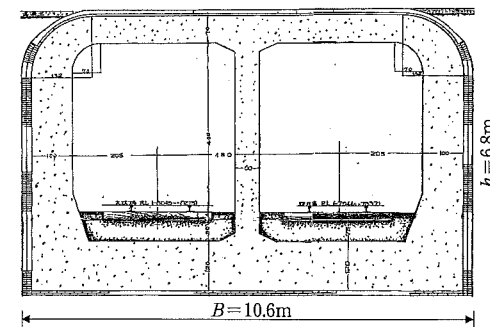


図-10 御堂筋線躯体断面図

表-2 管理値

	鉛直変位(mm)(累積)	
	薬液注入工	凍結防護工
1次管理値(管理限界値の50%)	3.5	3.8
2次管理値(管理限界値の75%)	5.3	5.7
管理限界値	7.0	7.6

線躯体の曲げ耐力から逆解析すると許容隆起量は表-2のとおりである。

##### 5-1-2 その他協議事項

地下鉄御堂筋線直下での凍結工ということで、リスク管理が非常に重要であったため、事前にさまざまなリスクを想定し、それに対する対策を施工計画、施工管理に反映させた。協議事項として主要なものを示す(表-3)。

#### 5-2 凍結工施工計画

##### 5-2-1 施工フロー

図-11に、凍結工の施工フローを記す。

##### 5-2-2 凍結範囲

横坑掘削時の地山防護として凍結工法を採用したが、その凍結範囲については以下のような考えで決定した。

###### (1) 凍土掘削範囲

凍土掘削範囲の設定にあたっては、事前調査によって確認した存置鋼矢板の位置をもとに掘削範囲を次のように決定した。

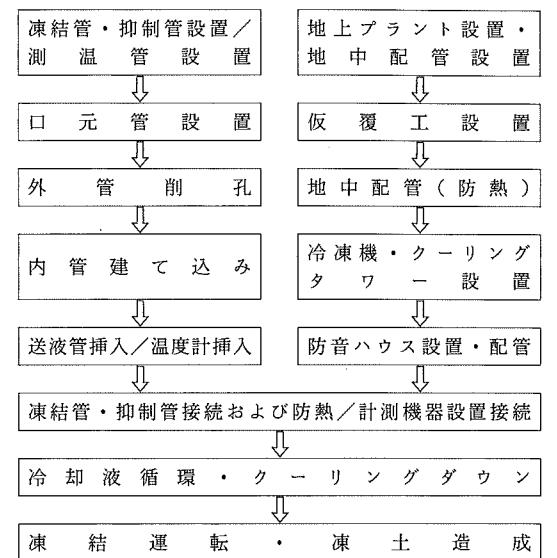


図-11 凍結工の施工フロー

掘削幅1.8m、掘削深さ1.8m、2.637m(図-12)

###### (2) 凍土設計強度

凍土の強度については、表-4に示す値の平均値を凍土の設計基準強度とした。

許容応力度については、表-5に示すとおりで、砂質土、設計凍土温度-10℃、安全率2.0として算出した値である。

しかしながら、図-13に示すように、凍土強度は地下水の塩分濃度により大幅に低下することが知られている。今回、地下水の塩分濃度を測定し

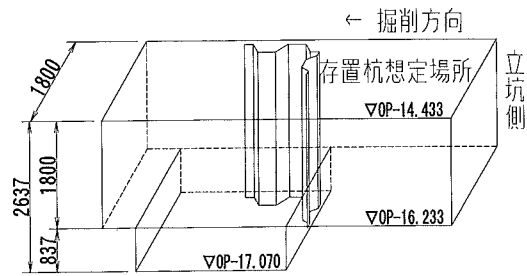


図-12 凍土掘削範囲

表-4 凍結地盤の強度<sup>1)</sup>

(1) 標準値

土質	-10℃			-20℃		
	一軸圧縮強度	曲げ引張強度	せん断強度	一軸圧縮強度	曲げ引張強度	せん断強度
粘性土	2.0~4.0	1.5~2.0	1.5~2.0	4.5~6.0	2.0~3.0	2.0~3.0
砂質土	4.0~7.0	2.0~3.0	2.0~3.5	6.0~10.0	3.0~4.5	3.0~5.0

単位(MN/m<sup>2</sup>)

(2) 設計基準強度

	砂質土 (F <sub>s</sub> =2.0)		
	一軸圧縮強度	曲げ引張強度	せん断強度
-10℃	2,750	1,250	1,370

単位(kN/m<sup>2</sup>)

低減率  $\alpha = 55/180 = 0.31 \rightarrow 31\%$   
(塩分がない場合の凍土強度の31%となる)

表-5 凍土許容応力度(塩分あり)

	砂質土 (F <sub>s</sub> =2.0)		
	一軸圧縮強度	曲げ引張強度	せん断強度
-10℃	853	388	425

単位(kN/m<sup>2</sup>)

た結果、4,400mg/kg(0.44%)の塩分が含まれていることが判明したため、凍土強度の設定において塩分による影響を考慮した結果、表-5のようになった。

以上を設計条件として、横坑上部、側部、底部で両端固定梁として計算した結果、曲げ応力から凍土の造成における必要厚さは、1.5mとなった。

5-2-3 凍結管・抑制管・測温管計画

(1) 配置計画

凍結管は、計画凍土妻部での頂部、側部、底部と横坑側部に凍結管列(@800mm)ができるよう立坑から放射線状に配置した。

凍土造成は、始めに管列が造成され、その後、管列間の造成となる。

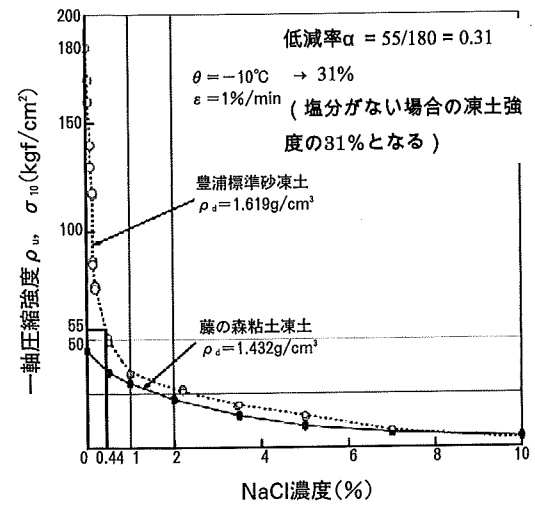


図-13 凍土強度と塩分濃度の関係<sup>2)</sup>

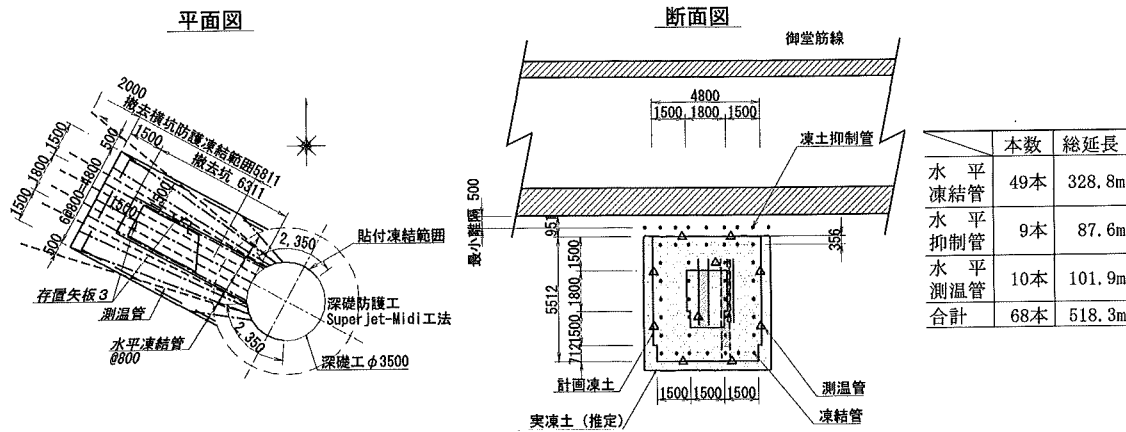


図-14 凍結管・抑制管・測温管配置図

抑制管は、御堂筋線躯体下0.5mのところを9本設置し、計画凍土妻部より1.5m延長した。温ブレイン液(冷却液と同じもの)を循環させること

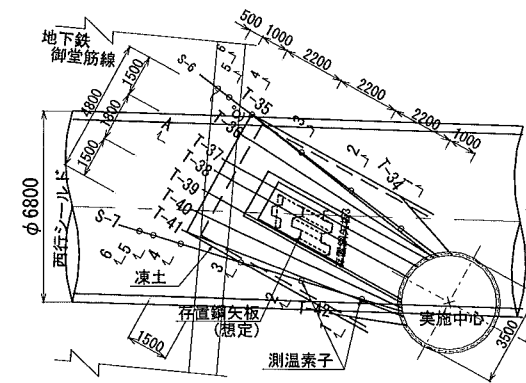


図-15 温度素子配置図

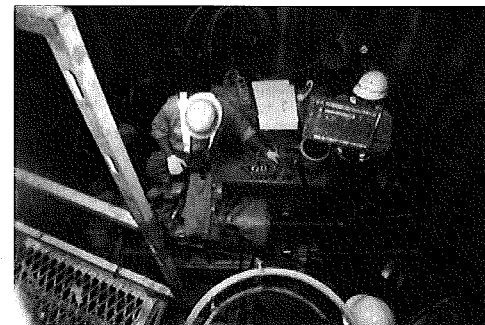


写真-1 立坑内凍結管設置状況

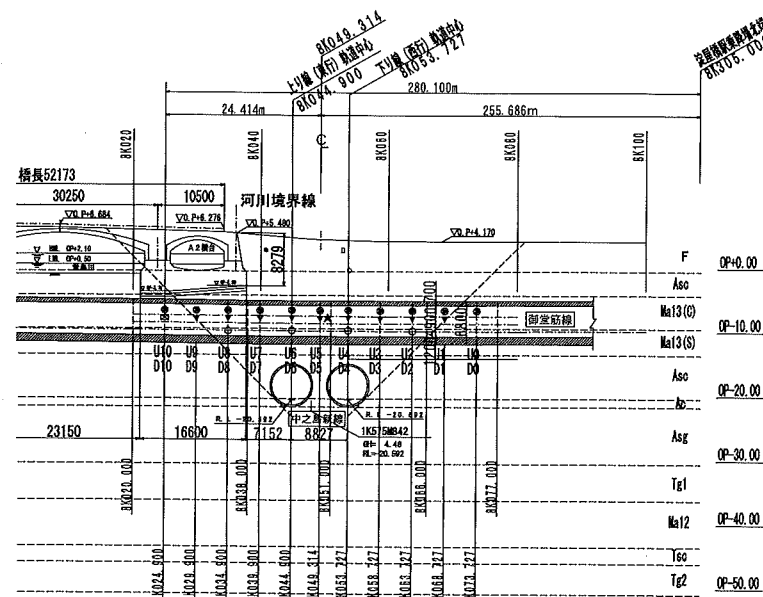


図-16 御堂筋線計測機器設置断面図

で地下鉄への余剰凍土造成を抑制した。

測温管は、計画凍土の頂部、側部、底部および横坑側部の凍土造成が把握できるよう配置した。凍土妻部を基準に配置しているため、立坑側は凍土の内側に入っている。地下鉄躯体下での凍土の余剰造成を監視するため、妻部から2.0m延長した。

測温管内には6個の温度素子があり、配置は図-15に示すとおりである。

断面1~4の4断面は計画凍土の造成を把握するため、断面5,6は余剰凍土を把握するために設置した。

(2) 施工管理

表-3の協議事項一覧の①に示されているように凍土造成不良が起きないように細心の注意を払いながら施工を行った。

5-2-4 凍結凍上量および解凍沈下予測

凍上量の算定は、戸部ら<sup>3)</sup>の三次元凍上変位計算法の式を使用した。

凍結対象土層は、砂礫層(OP-13.4~-15.3m, 層厚1.9m)と考えている。通常、砂層および砂礫層は凍上が発生しないと言われているが、今回、この土層において細粒分含有率Fc=11.2%という

結果がでたため、凍結凍上率  $\eta = 0.33\%$  としている。

田中ら<sup>4)</sup>の研究報告によると、凍結による体積膨張は、土に含まれる細粒分量(Fc:細粒分含有率)との相関関係がありFc>7%の地盤において凍上するとされている。三次元凍上変位計算法によると凍上量は1.66mmという結果となった。

御堂筋線躯体の隆起量については、5-1-1で述べた解析モデルに凍上量(1.66mm)を強制変位として与えて解析を行った。

その結果、凍結による御堂筋線躯体の隆起量は0.6mmという結果がでた。

### 5-2-5 地下鉄御堂筋線計測管理

地下鉄御堂筋線への影響を測定するため、地下鉄躯体内に計測器を設置した。計測範囲は東西両シールドから45度に上げた影響線の範囲で、5mピッチに御堂筋線の上り線、下り線両方に11か所の測点を設けて設置した。計測器としては、水路式鉛直変位計、水路式水平変位計、全方位傾斜計の3種類である。

## 6 凍結工の施工実績

### 6-1 凍結工実績

#### (1) 凍土造成状況

凍土造成状況の把握は凍結管内を循環している冷却液の温度や測温管で計測している地山温度によって造成状況を把握した。

図-17, 18に計画凍土妻部(4-4断面)での凍結開始7日後、14日後の凍土造成状況図を示す。7日目では閉塞されていなかった凍土が、14日後には

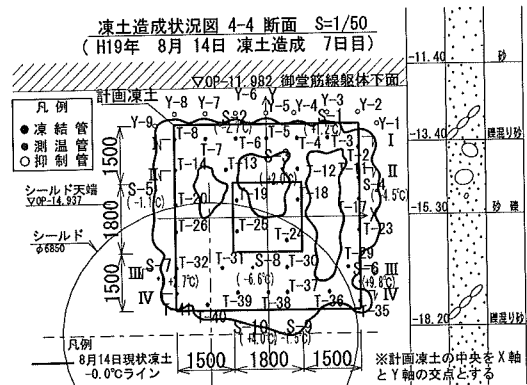


図-17 凍結開始7日後の凍土造成状況

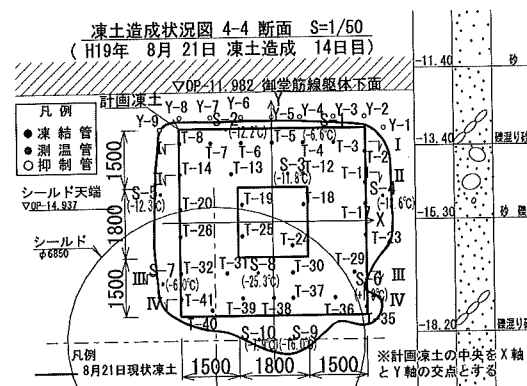


図-18 凍結開始14日後の凍土造成状況

一様に形成され閉塞されている。

#### (2) 地盤内温度経時変化

図-19に測温管No.4での凍土内温度経時変化を示す。測点3~6は立坑側からの番号となっている。立坑側に近いほど、凍結管間隔が小さいため温度の下がり方が大きい。測点5, 6は計画凍土の外に位置するため温度変化が緩やかである。

8月8日に凍土造成を開始して、所定の凍土が造成できていることを確認した後、8月19日に鏡切りを行い、横坑掘削を開始した。

### 6-2 地下鉄御堂筋線計測実績

#### 6-2-1 躯体内計測

地下鉄御堂筋線の変位を図-20に示す。凍結工による隆起は、最大鉛直変位で+0.5mmとなり、これは予測していた+0.6mmとほぼ同じ値となっており、予測は妥当であった。

なお、解冻沈下については、今回、凍結運転停止直後にシールドが通過したこと、シールド通過によって凍土がほとんど掘削されたことにより

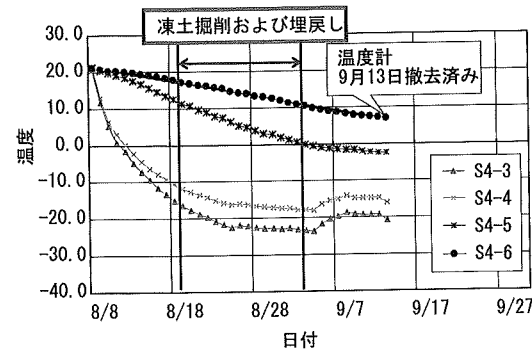


図-19 凍土内温度経時変化(測温管No.4)

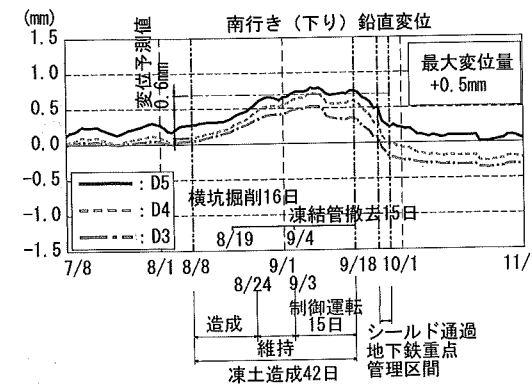


図-20 御堂筋線鉛直変位経時変化

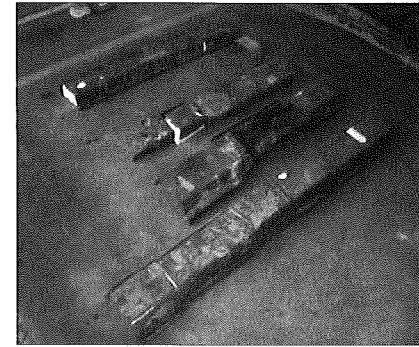


写真-2 鋼矢板撤去状況

明らかではない。

#### 6-2-2 構内クラック調査

御堂筋線躯体内部のクラック、漏水状況を事前と事後で調査を行った。事後調査において、一部漏水補修のモルタルが剝離している箇所があったが、これは経年変化によるものと考えられ、凍結工法による変状はとくになかった。

### 6-3 その他施工実績

#### 6-3-1 凍結管・抑制管・測温管設置

凍結管外管(90A)の設置は、φ3,500、深さ22.5mの深礎内での困難な作業であった。水平削孔では、障害物に当たり位置変更を余儀なくされたケースもある。地下水が多く作業は難航した。

#### 6-3-2 凍結運転

凍結運転は、配管にバイパスを作って事前にクーリングダウンを行ったため凍結管設置完了後すぐに凍土造成に入ることができた。ただし、地中温度が高く(通常20度以下であるが、ここでは最高で23度あった)冷凍機をフル稼働する必要があった。

#### 6-3-3 横坑掘削・鋼矢板撤去

立坑内は気温-5度の寒冷地並みの作業環境であった。作業箇所が狭小なため、横坑掘削はすべて人力掘削となり、長時間の坑内作業が不可能であったため、3班体制で昼夜連続作業を行った。

鋼矢板撤去については、調査結果とは矢板の向きが異なっていたが、予想どおり4枚の鋼矢板を撤去することができた。うち1枚については下端深度が深く凍土掘削範囲内では全撤去することができなかったが、その後、シールド掘進にて取り込まれ排出された。

## 7 おわりに

本工事は、地下鉄御堂筋線という大阪でもっとも重要な都市交通機関の直下にて、凍結工法を行い存置鋼矢板を撤去した工事であった。

流速低減注入工、凍結工法による御堂筋線躯体への影響を最小限に抑えることが最重要課題であったが、本稿で述べたような施工計画、施工管理を実施したことにより、管理限界値7.6mmに対して隆起を0.5mmに抑えることができた。また、鋼矢板を撤去することができシールド掘進も問題なく無事に御堂筋線下を通過することができた。

存置鋼矢板①~③撤去工事とすると事前調査を含めて約3年間の長丁場であった。その間、本工事を施工するにあたり貴重な指導・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、大阪市交通局をはじめとする関係各位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ある。

## 参考文献

- 1) 日本建設機械協会編：地盤凍結工法—計画・設計から施工まで、1972。
- 2) 土質工学会：土の凍結—その理論と実際—, pp.257-260, 1994。
- 3) 戸部暢・秋元攻：三次元凍土変位計算法, 土木学会第34回年次学術会議講演会概要集, III-123, 1979。
- 4) 田中益弘・中飯勇・柏木智文：土の細粒分含有率と凍土率の相関について(2), 第35回地盤工学研究発表会, 2000.6。



■牧ノ原トンネルの概要

今回は、前号で紹介した奥平清貞の卒業論文『隧道修繕工事』に取り上げられた4か所の鉄道トンネルのうち、牧ノ原トンネルの変状についてより詳しく紹介してみよう。

牧ノ原トンネルは、東海道本線・金谷～菊川間に位置し、1889(明治22)年に延長999mの第1線(のちの下り線)が開通、1901(明治34)年に延長1,059mの第2線(上り線)が開通した単線並列のトンネルである。トンネルの内空幅は、第1線が4.3m、第2線が4.6mで、どちらのトンネルも坑門は石積み、覆工は煉瓦積みで、トンネルの線路中心間隔は約15mであった(西口付近はやや狭く約13m)。

このうち、修繕を要したトンネルは下り線側で、ベルギー式掘削(日本式掘削とほぼ同じであるが、アーチの覆工を先に畳築する)により1887(明治20)年5月に東西の坑口から導坑の掘削に着手し、同年9月に中段、下段の切り抜げに着手、翌年9月に覆工が完成した。また、上り線側のトンネルは、1900(明治33)年11月に導坑の掘削に着手し、翌年11月にインバートを含む覆工が完成した。

■牧ノ原トンネルの変状記録

奥平論文で注目すべきは、「竣工後ノ状況」の



図-1 変形の模式図と符号の凡例

章において、トンネルの変状をパターン化し、変状の傾向を把握しようとして試みている点である。奥平は、トンネルの変形モードを図-1のように仮定し、内空側に変形している場合を「+」、外側へ変形している場合を「-」と符号化して図示した。変形の測定方法は具体的に示されていないが、測量中心線と実際のトンネルの中心線との誤差を測定し、側壁脚部、起拱線(スプリングライン)、アーチ肩部、アーチ天端がそれぞれ設計断面に対してどの方向に、どの程度変位しているかを把握しようである。したがって、施工誤差などを考慮すれば精度はそれほど高くなかったと考えられるが、変位が「三吋」(約76mm)を超えるかどうかによ

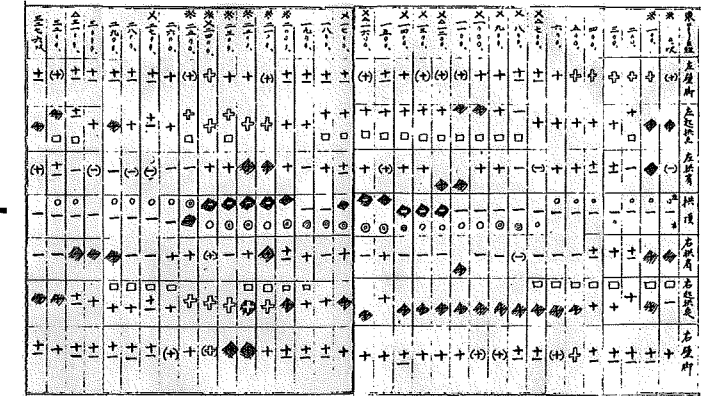


図-2 トンネルの変状展開(それぞれの符号が変状の種類や程度を表している)

て符号の表現を変えているので、全体の傾向を把握するには十分だったのだろう。

図-2は、100フィート(約30.5m)ごとに測定した結果を、一種の展開図として表に整理し直したもので、その結果、1)東口～600フィート区間(0～183m)までは左側の側圧と右側アーチ部からの偏圧が認められること、2)700～2,500フィート区間(213～762m)は、アーチ右側から強大な偏圧が作用し、とくに1,400～2,300フィート区間(427～701m)では偏圧が著しく、2,100～2,500フィート区間(640～762m)では左右の側圧も強大であること、3)2,600～3,200フィート区間(792～975m)は、アーチの右側からの偏圧が大きいことなどが明らかとなった。そして、1902(明治35)年から現在までの間は、東口～100フィート付近(0～30m)と、2,000～2,500フィート付近(610～762m)で変状が増大したと指摘した。

■変状原因の推定と対策工の提案

奥平は、これらの調査結果をもとにしてトンネルの変状原因について考察を試み、周辺の地質(古第三紀の頁岩)は不安定であるが、それがトンネルに影響を及ぼしているかどうかは確認できないとし、原因を施工上の問題に求めた(後年の調査では、断層擾乱帯による地圧が変状の原因と判定されているが、地質調査が十分でなかった当時としては、やむを得ない結論だったのだろう)。

そして、1)掘削方法や施工順序が地質の性状に適合していなかったこと、2)掘削と畳築工が併行作業でなかったこと、3)支保部材の強度と覆工の厚さが地圧に対して十分でなかったこと、4)インバートの施工が遅れたことや側壁との接続が強固でなかったこと、5)上下線の線路中心間隔が狭すぎたことなどを原因として列挙した。

とくに、ベルギー式掘削工法は、牧ノ原トンネルのように時間経過とともに風化・弛緩(ゆるみ)が促進される地質では不適切であると、「若シ建設ノ際ク地質ノ性格ヲ察シ、支保材ノ堅強ナルモノヲ用ヒタランニハ、損傷ハ比較的輕減セラレ得ヘキモノト思量ス」と述べた。また、施工順序では、大部分の区間でアーチの覆工を先に巻いたが、この方法ではアーチの脚部に変形を生じやすいため、側壁を先に巻いて脚部を堅牢にしてからアーチを巻くべきだとした。そして対策工事として、煉瓦の巻き直しと覆工厚の増加、インバートの追加施工、側壁脚部への花崗岩の起拱石による根固め、排水溝の設置などを提言した。

このように、当時の変状トンネルの調査は、あくまでも定性的なものにとどまり、変形量や変状の程度によって定量化するまでには至らなかった。しかし、トンネルに関する工学的な知識に乏しく、経験も十分でなかった当時の技術レベルで、ここまで精緻に考究していたことは、評価されるべきだろう。



# 「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

北斗市は北海道南部で函館市の西側に位置し旧上磯郡上磯町と旧亀田郡大野町が2006年2月に合併して誕生した人口約5万人の若い町である。北斗市の南東地域は平野部、北西地域は山岳地帯が占め、また、市の南側は函館湾に面しているため、農業・漁業の一次産業が非常に盛んである。

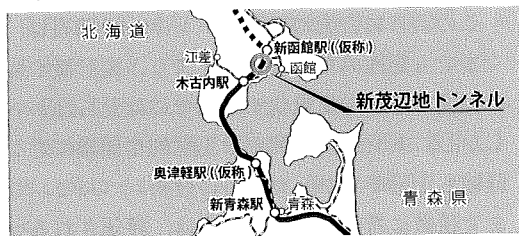
われわれ工事関係者には北海道外からの赴任者も多く、とても甘みのあるトウモロコシ、ジャガイモ、色々な山菜、透き通ったイカ刺しとホッキ貝など、農海産物の美味しさに驚嘆しているところである。

また、工業部門では太平洋セメント(株)上磯工場があり、明治23年北海道セメントとして操業開始した120年近い歴史を持つセメント工場である。工場背後には「石灰石の埋蔵量が無尽蔵」と言われている我朗鉦山を擁し、年間のセメント生産量は391万t(平成17年度)に達するという。

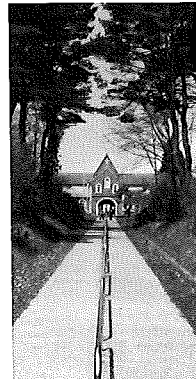
歴史的には、洞爺丸台風とトラピスト修道院を忘れてはならない。

世界3大海難事故(タイタニック号遭難に次ぐ世界第2位との説もある)に数えられるこの事故は、昭和29年9月26日、台風15号の影響による暴風雨で遭難した青函連絡船洞爺丸が座礁、転覆した。洞爺丸台風による青函連絡船海難事故は洞爺丸ほか4隻の遭難を数え、洞爺丸だけでも1,100余名、青函連絡船全体で1,400名以上の犠牲者を出すに至った。洞爺丸の転覆地点は北斗市七重浜であり、この地点を望む海岸には洞爺丸犠牲者の慰霊碑が建立されている。

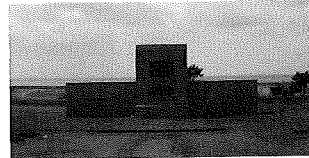
この海難事故が、戦前から計画のあった青函トンネル構想を現実化に導く大きな一因となったことは周知の事実である。



位置図



トラピスト修道院



洞爺丸慰霊碑



坑口全景

トラピスト修道院は男子修道院であり、労働と祈りに徹し一生を神にささげ、厳しい戒律のもと現在もほぼ自給自足の生活をしている。三木露風はこの修道院の講師を務めており童謡で有名な「赤とんぼ」は大正10年ごろここで書かれている。

この北斗市を横断するかたちで建設が進められているのが北海道新幹線、「新青森-新函館(仮称)間」である。当工事は、新茂辺地トンネル(全長3,155m)の東側工区(延長1,915m)を担当している。

工事は平成19年8月に本格着工し、同年11月初頭からトンネル掘削に着手、年内で202mの掘削進行を見て年末年始休暇に入ったが、同年12月29日に道南地方を季節はずれの暴風雨が襲い、坑口隣接部で斜面崩壊が発生し坑口部が埋没する事態となった。この復旧作業には、本年4月中旬までの4か月弱を要したが、現在は無事掘削を再開し進捗状況は順調に推移している。

この間、地元の皆様方のご協力と発注者および、関係各位のご指導に対し深くお礼申し上げる次第である。今後、インバート工、二次覆工の施工も順次開始となり、9月には最盛期を迎えるが、地元の皆様の合言葉である「北の大地に新幹線を」の実現を無事故・無災害で達成すべく、平成22年9月の竣工まで企業体、協力業者全員が一丸となって一生懸命努力していく所存である。

(北海道新幹線、新茂辺地トンネル(東)熊谷・東急・札建共同企業体副所長)

# 施工

## 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—

大阪府北部流域下水道事務所建設課工務グループ技師 永本隆行  
清水・銭高・東洋・鉄健・佐伯建設共同企業体所長 米田武志  
清水建設(株)土木技術本部シールド統括部主査 田中大三  
清水建設(株)土木技術本部シールド統括部主査 入田健一郎

### 1 はじめに

大阪国際空港は、豊中市と池田市の低地帯に位置しており、この地区では、近年の都市開発などにより雨水流出量が増大し、空港およびその周辺地区に浸水被害が多発していた。

そこで、これらの浸水被害を軽減するため、大阪国際空港内の排水区域や流出係数の見直しを行い、猪名川流域排水区域における降雨確率年対応のレベルアップ(1/5⇒1/10)のため、一次的に必要な水量を貯める雨水貯留施設の整備事業が計画された。

本工事は、この整備事業の中核工事であり、大阪国際空港敷地沿いに延長約1,840m、貯留量約45,000m<sup>3</sup>の貯留施設をシールド工法で構築するものである。

本稿では、P&PCセグメント工法においてセグメント外径が過去最大径(φ6,300mm)の工事における施工上の諸課題およびその諸対策などの施工結果について報告する。

### 2 工事概要

#### 2-1 工事概要

工事名称：猪名川流域下水道大阪国際空港内雨水貯留施設管路施設築造工事

施工場所：大阪府豊中市蛸池西町3丁目～池田市空港2丁目

工期：平成17年3月23日～平成20年2月28日

発注者：大阪府北部流域下水道事務所  
施工者：清水・銭高・東洋・鉄建・佐伯建設共同企業体

工事内訳：

管路施設部

- 延長：1,841.03m
- 掘削外径：φ6,450mm
- セグメント外径：φ6,300mm
- 仕上がり内径：φ5,750mm
- 土かぶり：13.0～16.0m
- 工法：泥土圧シールド工法
- セグメント：P&PCセグメント  
施工延長：1,553.6m
- SSPCセグメント(急曲線部)  
施工延長：269.6m

躯体構築工

発進および到達立坑：各1基

中間人孔：2基

図-1に雨水貯留施設の概要図を、図-2に貯留管路標準断面図を示す。

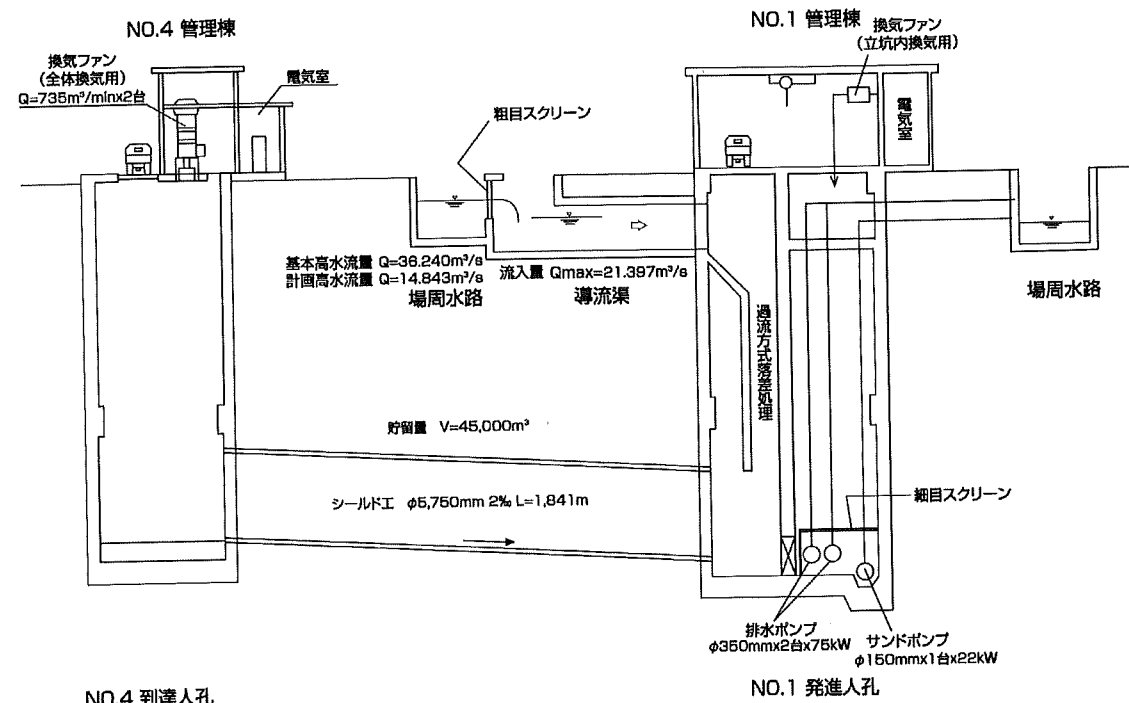


図-1 雨水貯留施設概要図

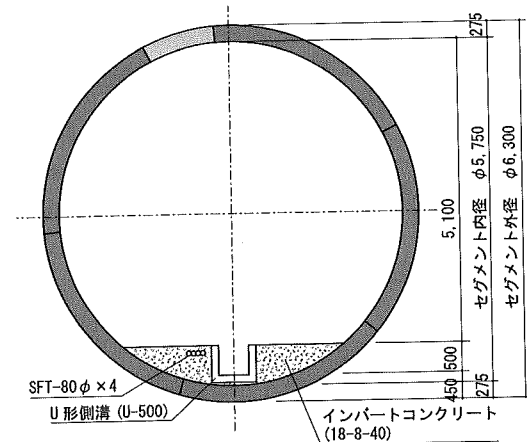


図-2 貯留管路標準断面図

2-2 土質条件

大阪国際空港周辺は、北摂山地・千里丘陵に囲まれ西側には猪名川が流れる。主に最終間氷期以降での海面の海進・海退によって形成され、地質構造的には千里丘陵を構成している大阪層群を基盤としている。大阪平野を囲む山地においては基盤岩類が露出し、伊丹台地・千里丘陵などの丘陵地形から平野部中心部にむかって、基盤岩を覆うように大阪層群、段丘堆積物、沖積層の順に新し

い堆積物が覆う構造となっている。自由水位はDsg層中に存在している。その水位は、GL-3.5~-6.8m付近である。掘削対象地盤は、段丘堆積物下位の大阪層群の粘性土層および砂質土層である。図-3に路線地質柱状図を示す。

2-3 路線線形

- 縦断勾配 2‰(上り)
- 平面線形 曲線半径=40m 5か所  
総曲線長 238.2m
- 曲線半径=100m 5か所  
総曲線長 193.1m
- 曲線半径=200m 1か所  
総曲線長 25.9m

路線平面図を図-4に示す。直線部が路線の79.4%を占めており、曲線半径40mを除く全線にP&PCセグメントを使用した。

2-4 シールド仕様

シールドは泥土圧式シールドで、急曲線(R=40m)に対応すべく、中折れ角度を大きく設定できるX形球面中折れ装置と余掘り装置(コピーカッタ)を装備した。長距離施工(1.8km)および掘削

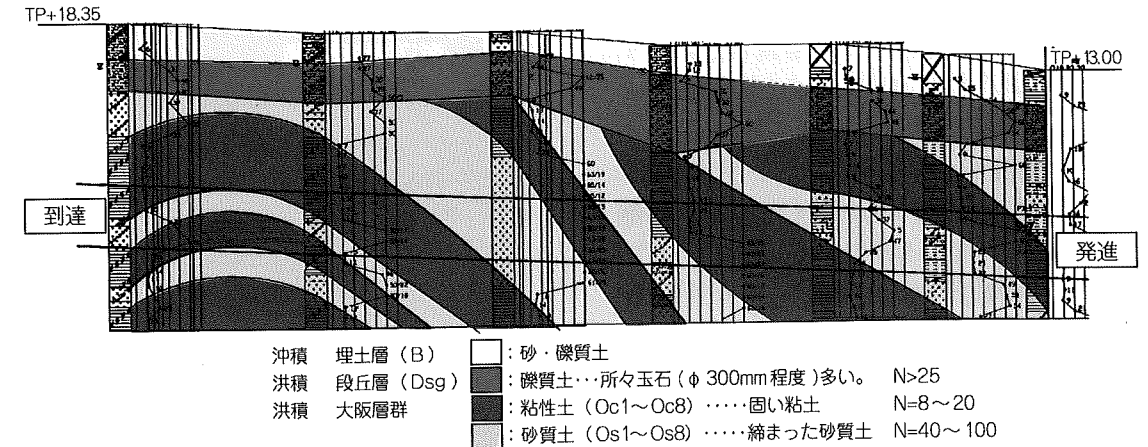


図-3 路線地質柱状図

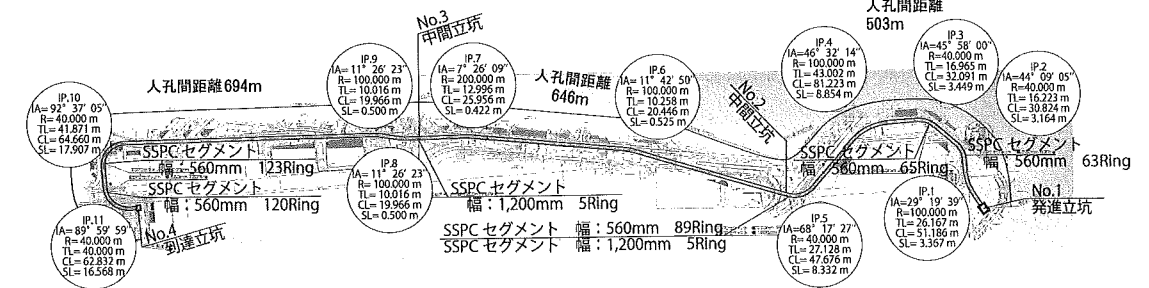


図-4 路線平面図

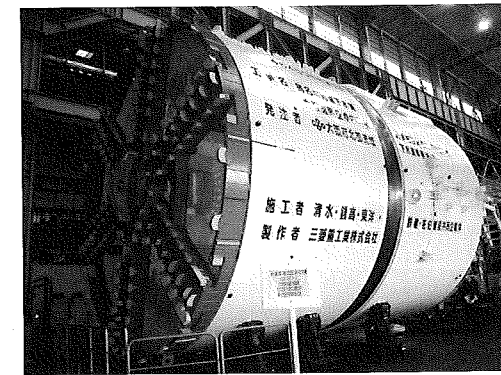


写真-1 シールド

対象地盤の砂および固結粘性土に対しては、開口率(68%)を大きくとるためにスポークタイプのカタとし、特殊大型先行ビットを取り付けた(写真-1)。

本工事で採用したP&PCセグメント組み立て作業の効率化を図る対策は以下のとおりである。

- ① 真円度を確保するため、セグメント上半部に仮保持装置を設置した。

表-1 シールド仕様

カット関係		シールドジャッキ関係	
カット支持方式	中継支持方式(バランツタイプ)	推力	2000kN
回転数	1.14rpm	ストローク	1750mm
カット駆動方式	電動モータ駆動	ジャッキ本数	20本
掘削トルク	常時:5618kN・m最大:6741kN・m	ジャッキ伸長スピード	5.0cm/min(全数作動時)
所要トルク	1788.10kN・m	所要推力	16754.9kN(全数作動時)
安全率	3.14	安全率	2.71
トルク係数	20.900³(常時)25.10³(最大)	中折ジャッキ関係	
コピークッタ関係		推力	2500kN
コピークッタ形式	油圧ジャッキ方式	ストローク	670mm
装備数	2基(内1基は、予備)	装備数	14本
オーバカッタ量	180mm(シールド外形基準)	中折角度	左右6.5度、上1度
コピークッタジャッキ推力	200kN	セグメント仮保持装置関係	
コピークッタジャッキストローク	200mm	形式	油圧ジャッキ式
エレクタ関係		形式	油圧ジャッキ式
形式	リングギヤ門形式	押上力	70kN
旋回駆動方式	電動モータ駆動	押上ストローク	100mm
回転角度	左右 各220°	スライドストローク	800mm
回転数	1.1rpm	装備数	2基
回転取扱質量	約3600kg(セグメント1ヒース最大)	スクリュコンパヤ関係	
吊上力	48kN	形式	特付スクリュ
押上力	70kN	回転数	2.0~10.5rpm
スライドジャッキストローク	600mm	回転トルク	44.7kN・m
サポータジャッキストローク(A)	80mm	排土量	123m³/h(η=100%)
サポータジャッキストローク(B)	100mm	取込土砂サイズ	φ250×L520
グリッパースライド量	前500mm・後100mm	形状保持装置関係	
形状保持装置関係		形式	門形下継ぎ継ぎジャッキ式
形式	門形下継ぎ継ぎジャッキ式	拡張力	200kN×2
拡張力	200kN×2	拡張ストローク	600mm
拡張ストローク	600mm	装備数	2基

- ② 形状保持(強制真円)装置をシールド後部に設置した。
- ③ 減速比の大きい旋回モータを採用し、エレクタの微調整を可能とした。
- ④ エレクタグリッパ部にセグメントサポートを採用しセグメントのピッチング操作を可能とした。
- ⑤ PC鋼より線を収納した搬送用リールを把持できるエレクタ装置とした。
- ⑥ バランサーを採用しPC鋼緊張ジャッキ・切断器などをシールド前胴に収納することを可能とした。

シールドの仕様を表-1に示す。

### 2-5 セグメント仕様

セグメントは、曲線半径=40mの急曲線区間には合成セグメント(SSPCセグメント、セグメント幅=560mm)を、その他の曲線区間および直線区間にはP&PCセグメント(セグメント幅=1,200, 1,000mm)を使用した。計画の基本条件は以下のとおりである。

- ① セグメント内径：φ5,750mm
- ② 線形の最小曲率半径：R=40m
- ③ 内水圧対応型セグメント
- ④ 二次覆工省略型セグメント
- ⑤ 耐震性に優れたセグメント
- ⑥ 軸方向挿入型のKセグメント

#### 2-5-1 P&PCセグメント概要(Prestressed & Precast Concrete Segment)

P&PCセグメント工法とは、トンネル横断方向(セグメントピース間)および縦断方向(セグメントリング間)にプレストレスを導入することで、セグメント継手面を圧縮状態に保ちトンネル断面を縮小する工法である。プレストレスの導入は、シースが埋めこまれたコンクリート製セグメント(写真-2)に、リング状に仮組みされたセグメントの内面からアンボンドPC鋼より線を挿入し、緊張・定着することにより行う。これにより、高い内水圧が作用するトンネルにおいても、構造的な安定性が確保され、一般に通常のRCセグメントと比較してセグメント桁高を薄くすることが可能

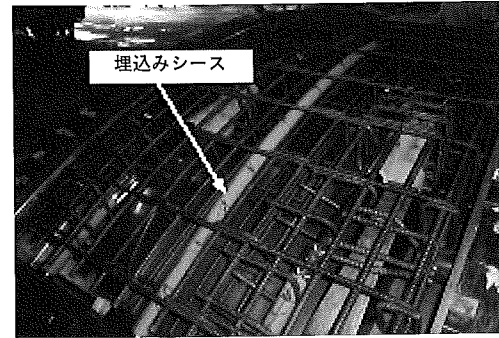


写真-2 P&PCセグメント

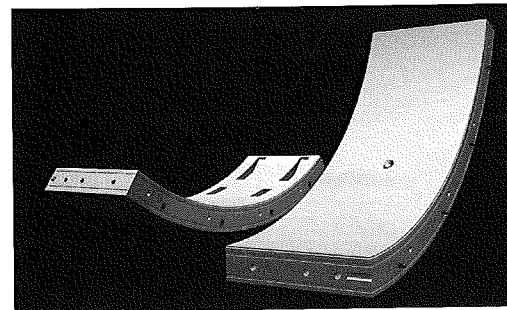


図-5 P&PCセグメント

となる。このため、一般的には、セグメントのリング単価は高価となるが、掘削断面が小さくなることによるコストメリットが生じることになる。なお、本工事では横方向のみにPC鋼材の緊張によりプレストレスを導入し、縦断方向はプレストレスの導入は不要であるのでマルチブレード継手を用いた。

本工事で採用したP&PCセグメントの主な仕様は以下のとおりである。

P&PCセグメント(図-5)

内径	φ5,750mm(外径 φ6,300mm)
幅	1,200mm, 1,000mm
桁高	275mm, 6分割
PC鋼材	アンボンドPC鋼より線(1T 17.8mm)： 円周方向 セグメント幅1,000mm 3本 セグメント幅1,200mm 3ないし4本
鉄筋	主鉄筋：SD345 D19
コンクリート	設計基準強度：48N/mm <sup>2</sup>

- 継手構造 セグメント継手：  
プレストレス+突き合わせ継手  
リング継手：  
マルチブレード継手
- 施工延長 幅1,200mm：1,348.8m  
幅1,000mm：204m

### 3 P&PCセグメントの施工結果

#### 3-1 施工上の課題および対策

本工事以前のP&PCセグメント工法の施工実績は表-2のとおりで、最大径でもφ3.5m程度である。本工事は過去の実績を大幅に上回るφ6,300mmであり、使用するアンボンドPC鋼より線の直径、1リングあたりのPC鋼材の長さ、プレストレス力導入量、グラウト充填量など3mクラスと比較するとそれぞれ大幅に増大した。そこで、PC鋼材の切羽への運搬、リングへの挿入、緊張、グラウト充填などにおいて、従来の施工法では対応できず、大口径のP&PCセグメントに対応できる施工方法を確立する必要があった。以下に本工事での施工上の課題およびその対策について述べる。

#### 3-2 PC鋼材(プレグラウトPC鋼より線)の切羽への運搬・リングへの挿入

##### 3-2-1 PC鋼材の運搬・挿入方法における課題

今までの施工実績では、アンボンドPC鋼より

表-2 P&PCセグメント工法施工実績

No.	セグメント外径(mm)	施工延長(m)	発注者
1	2,950	50	大阪府
2	3,550	204	大阪府
3	2,750	247	横浜市
4	3,120	928	相模原市
5	3,450	800	大阪市
6	3,450	600	大阪市

表-3 PC鋼線重量表

セグメント外径(mm)	PC鋼線径(mm)	長さ(m/本)	重量(kg/本)
3,450	15.2	11.5	14.0
3,450	12.7	11.4	9.9
6,300	21.8	20.8	51.6

線を定尺(余長含む)に切断し、緊張・定着のためにPC鋼より線を露出させる端部処理を施し、木製ドラムに巻き取り搬送していた。セグメント外径が3m程度の場合、PC鋼より線の径、円周長ともに小さく、PC鋼より線の重量が10kg/本程度と軽いため、人力により容易に扱うことが可能であった。しかし、外径が6m以上となった本工事では、PC鋼より線の重量が1本あたり約50kg、長さは20m以上であり、人力による取り扱いが不可能と判断した(表-3)。

##### 3-2-2 PC鋼材の運搬・挿入方法の改善

PC鋼より線の挿入は、エレクタの旋回などの作業スペースの制約を受けたシールド後胴部で行うため、運搬および挿入を一体としたコンパクトなPC鋼材搬送装置が必要となり、写真-3に示すPC鋼材搬送リールを開発した。

これによりPC鋼材製作工場で端部処理され簡易包装されたアンボンドPC鋼より線を、地上にてPC鋼線搬送装置に収納することで、セグメントと同様な方法で坑内への搬入が容易に行えた(写真-4, 5)。

また、PC鋼材搬送リールには、巻き取られたPC鋼材が直線に戻ろうとする力に対し、PC鋼材の跳ねを抑える安全機構を盛り込んだ。

この装置の開発で、PC鋼より線は出荷荷姿で切羽までの運搬が可能となったほか、人力によらず円滑に運搬・リングへの挿入を行うことが可能となりサイクルタイムの短縮に大きく貢献した。

しかし、セグメント製作時のポリエチレンシー

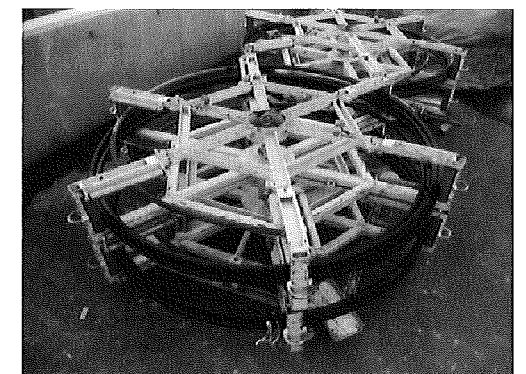


写真-3 PC鋼材搬送リール

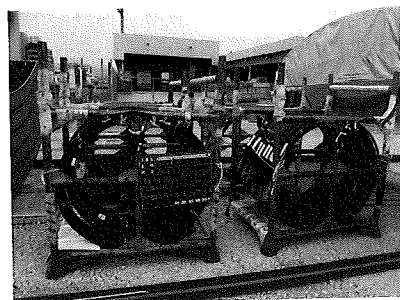


写真-4 PC鋼より線荷姿



写真-5 搬送リール設置状況

ス設置出来形によって、PC鋼材の挿入時間に差が発生し、今後の課題と考えられる。

### 3-3 アンボンドPC鋼より線の緊張作業

#### 3-3-1 PC鋼より線の緊張力

設計断面に必要なプレストレスを導入するには、ジャッキ端での緊張導入力とPC鋼材伸び量を緊張計算により事前に算定する必要があるため、以下に示す①～③の摩擦損失量について、それぞれ確認試験を行った(図-6)。

- ① PC鋼材とシース間の摩擦損失
- ② 緊張ジャッキおよび定着具の摩擦損失
- ③ Rチェアー\*の摩擦損失

緊張計算は、設計断面に必要なプレストレスを確保するために必要な端部緊張力と伸び量を算定するものである。①のPC鋼材とシースの摩擦係数を用いて緊張計算を行い、Xアンカー位置(定着端)での必要導入緊張力380kNを算定した。②、

\*ジャッキの緊張スペースの確保と緊張中の定着ウェッジ位置の保持を目的とした曲がった筒状の治具

トンネルと地下

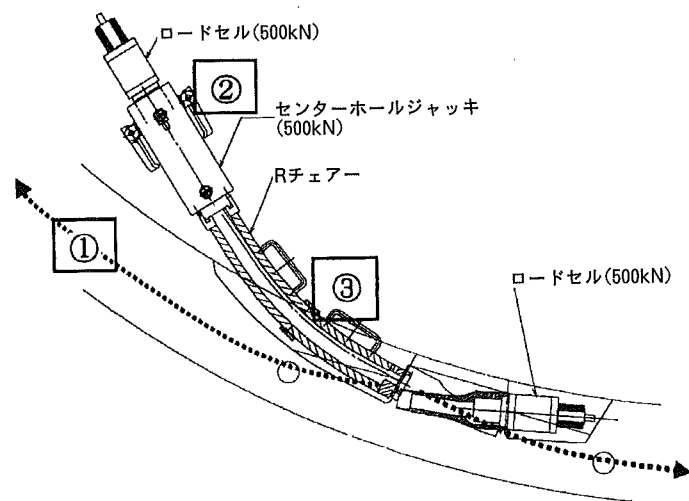


図-6 PC鋼線摩擦損失測定

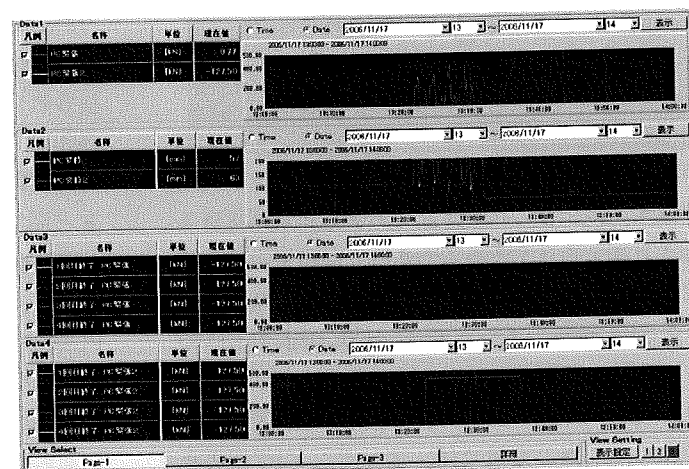


写真-6 PC鋼線緊張管理モニター

③の損失(5.5%+2.0%≒8.0%)および現場余裕量(安全率3%)を加算することにより、ジャッキ位置での導入緊張力を423kNと設定した。現場の管理では、この導入緊張力とそのときのPC鋼より線の伸び量121mmの両方を満足することを管理点とした。

#### 3-3-2 アンボンドPC鋼より線の緊張作業

緊張用のシングルストランドジャッキ重量は60kgと重かったため、バランスに吊り下げて作業することで施工性を向上させた。

#### 3-3-3 PC鋼より線の緊張管理

P&PCセグメントの緊張管理は、導入緊張力とPC鋼より線の伸び量を独立して管理する手法で、

「荷重計から推定される緊張力」と「伸びから推定される緊張力」の差を、1本あたりで10%、5リング(PC鋼より線本数:15~20本)で3.2%を許容誤差として施工に反映した。

PC鋼より線の緊張作業(1リングあたり幅1.0mでは3本、幅1.2mでは3ないし4本)は、シールド推進のサイクル工程に含まれることから、約2時間ごとに緊張作業が行われることとなる。そのため、セグメント間に所定のプレストレスを確実に導入するのは当然ながら、1本あたりの緊張管理時間を低減することが工期短縮に直結する。初期掘進I(1~35リング)および初期掘進II(36~70リング)の2回にわたり導入緊張力の誤差を調査したところ、管理許容値の10%/本以下であることが確認できたため、緊張管理の自動化を試みた。この自動化は、緊張作業の記録を、リアルタイムで事務所内の管理サーバーへ転送・保存し、緊張管理図を自動作成するシステムを構築することにより実現できた。これにより、緊張サイクルタイムの短縮とトレーサビリティ(緊張履歴)の確保を達成した。またPC緊張管理データを、掘進データと同画面で一括管理できるようにした(写真-6)。

表-4 グラウト配合および管理項目

配	<ul style="list-style-type: none"> <li>・水セメント比44%</li> <li>・高炉セメント</li> </ul>
合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ノンブリーディング高粘性型混和剤(高炉用)の使用</li> </ul>
管理項目	<ul style="list-style-type: none"> <li>・目標コンシステンシー (JPルート流下時間)16~23秒</li> <li>・圧力管理 安全面を考慮に入れてポンプ吐出圧1.0MPa以下</li> </ul>

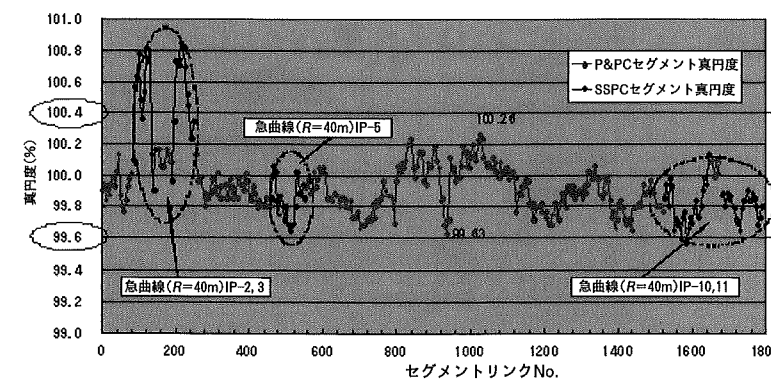


図-7 セグメント真円度測定結果

### 3-4 P&PCセグメントにおけるグラウト充填

P&PCセグメント工法の国内実績は、いずれも小・中口径クラスでの事例であり、6mクラスに及ぶ大口径P&PCセグメントでのグラウト充填事例がない。そこで、今回の工事では実施工に先立ち、6mクラスの実物大グラウト充填試験を行い、確実な充填性が得られる使用材料・配合・注入方法の決定、および施工時の品質管理項目の設定を行った。充填試験結果より、実施工でも、一般的にPCグラウトに用いられる高粘性タイプを採用できることが確認できた。採用したP&PCセグメントのグラウト配合および管理項目を表-4に示す。

### 3-5 P&PCセグメントの真円度

図-7はP&PCセグメントの掘進終了後にセグメントの真円度を測定した結果である。

組み立て後の真円度は、±0.4%以内であった(最大値=100.28%、最小値=99.63%)。当初計画ではセグメント出来形管理を変位量±40mm、真円度を±1.0%にて実施したが、400リング掘進した時点で管理値を変位量±15mm、真円度を±0.4%にて修正した。

## 4 マルチブレード継手

本工事では、横断方向にアンボンドPC鋼より線を挿入しプレストレスを導入したが、縦断方向については下記の理由によりマルチブレード継手(図-8、写真-7)にてセグメントリングを締結する

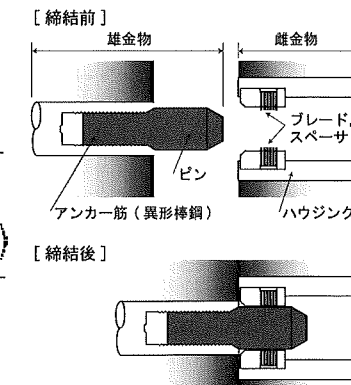


図-8 マルチブレード継手

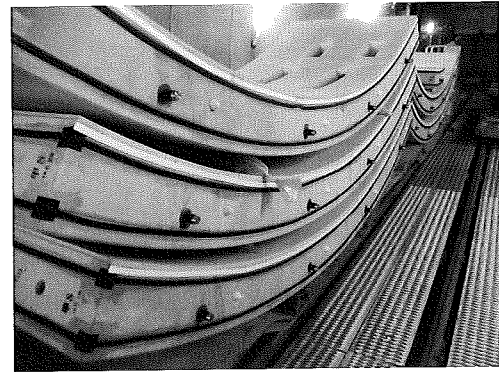


写真-7 マルチブレード継手

こととした。

- ① 構造的に縦断方向のプレストレスを導入する必要がない。
- ② 耐震性に優れている。
- ③ 施工性が格段に良い。
- ④ 内面平滑性の確保。

## 5 一次覆工施工結果

### 5-1 サイクルタイム

今回の直線部における幅1,200mmでのP&PCセグメント区間のリングあたりの平均施工サイクルタイムは、おおよそ以下のとおりであった。

掘進	25分
セグメント組み立て(緊張含む)	20分
合計	45分

セグメント組み立てのサイクルタイムは、当初作業員の作業不慣れなどもあり、かなり時間を要したが、数々の改善を行った結果作業員の習熟の向上もあり、最終的に15分程度まで短縮できた。また、リング間継手にマルチブレード継手を採用したことにより、セグメント組み立て時間短縮に貢献し、掘進のサイクルタイム短縮の効果はかなりあったと考えている。

表-5 実施工程表

	平成17年			平成18年			平成19年			平成20年				
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
現地踏査	[Bar chart showing site investigation activities]													
動態観測・事業損失工	[Bar chart showing dynamic observation and business loss work]													
シールド準備工	[Bar chart showing shield preparation work]													
初期掘進工(P&PCセグメント)	[Bar chart showing initial tunneling work]													
本掘進工(P&PCセグメント)	[Bar chart showing main tunneling work]													
急曲線(SSPCセグメント)	[Bar chart showing sharp curve tunneling work]													
急曲線部補助工法	[Bar chart showing auxiliary methods for sharp curves]													
シールド解体工	[Bar chart showing shield dismantling work]													
インバート・軌条撤去工	[Bar chart showing invert and track removal work]													
発進立坑築造工	[Bar chart showing launch shaft construction work]													
到達立坑築造工	[Bar chart showing arrival shaft construction work]													
No.2 中間人孔築造	[Bar chart showing No.2 intermediate manhole construction]													
No.3 中間人孔築造	[Bar chart showing No.3 intermediate manhole construction]													
No.1 管理棟築造(建築)	[Bar chart showing No.1 management building construction]													
No.4 管理棟築造(建築)	[Bar chart showing No.4 management building construction]													

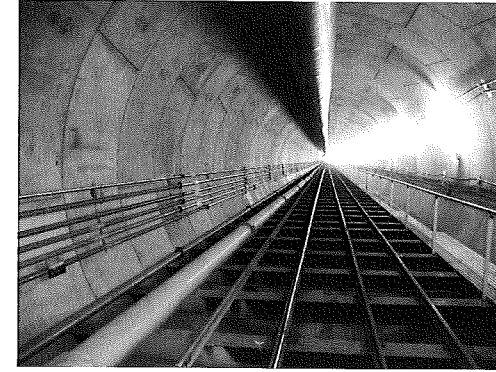


写真-8 P&PCセグメント施工区間全景

のない日進量を確立することができた。表-5に実施工程を、写真-8に施工区間全景を示す。

## 6 おわりに

本工事は、平成18年4月に初期掘進を開始し、同年7月から本掘進を行った。当初想定された施工上の問題は、本稿で述べた対策を実施することにより解決でき定常的にサイクル施工を行うことができた。

シールドは、平成19年3月下旬に到達し、平成20年2月に工事の竣工を迎えた。

最後に、未経験の大口径P&PCセグメント工法に対する品質・安全・施工性の確立化を図る命題に対し、設計・施工において多大なるご指導、ご協力をいただいた関係各位の皆様へ深く感謝申し上げます。次第である。

### 参考文献

- 1) 先端建設技術センター：P&PCセグメント工法，先端建設技術・技術審査証明報告書。
- 2) シールド工法技術協会：P&PCセグメント工法。
- 3) 土木学会・日本下水道協会編：シールド工用標準セグメント。
- 4) 土木学会：シールドトンネルの施工時荷重，トンネルライブラリー第17号，p.44

### 5-2 シールド施工の日進量および工程

今回の施工では、初めてのP&PCセグメントの使用ということで、関係者による事前の作業手順の確認や説明会を開催して、準備を行ったものの、当初はなかなか日進量は伸びなかった。しかし、作業の熟知、慣れ、および作業改善によって1日12~14リングのペースを確保し、平均14.4m/日、最大で19.2m/日を達成することができた。

P&PCセグメントは、セグメント組み立てに緊張作業に伴い、ボルト継手構造を有する一般的な鉄筋コンクリートセグメントに比べて、組み立て工程が増えるが、今回述べたようなさまざまな対策により、従来の同規模の標準セグメントと遜色

## 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。



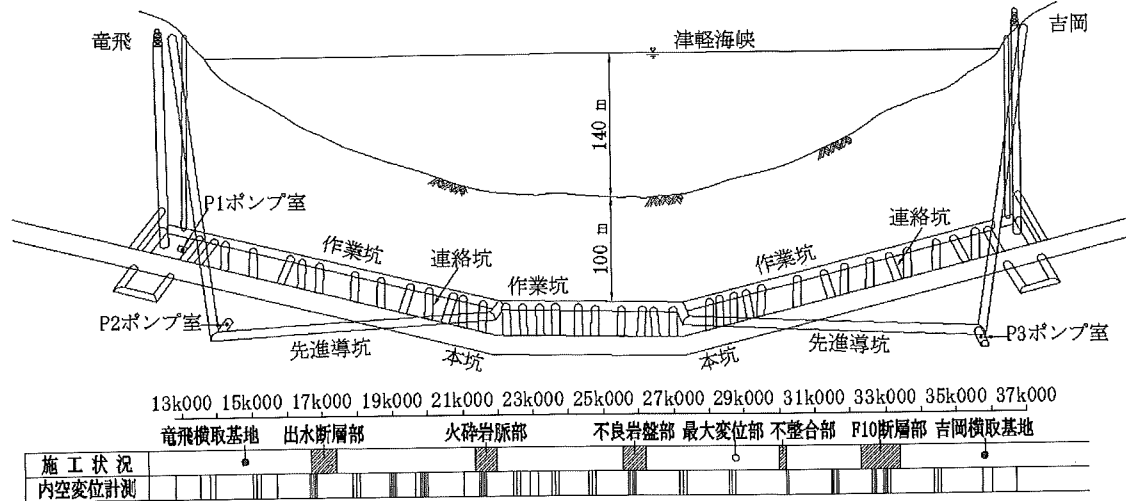


図-1 青函トンネル縦断面図(海底部)および内空変位計測位置

を安全に保つため、トンネル覆工の挙動、周辺地山の性状変化、湧水量と成分の変化、注入材や覆工の材質変化、地震などの諸要因の計測を行い、開業以降、20年に及ぶ経年変化のデータを蓄積してきた。

とくに、海底部の構造物本体はトンネルの建設主体である鉄道・運輸機構が担当しているが、これは建設過程で得られた技術的ノウハウの活用が要求されることによる。

本研究では、こうした長期計測結果に着目し、青函トンネルの本坑を対象とした計測結果を整理、分析するとともに、海底トンネルの覆工の長期挙動のメカニズムに関する検討を行った。

具体的には、海底トンネルにおいて、トンネル周辺の透水係数の低下により湧水量が減少するとともに、注入域や覆工背面への作用荷重が増加すると、内空断面が縮小し、覆工に問題が生じる可能性がある。こうした問題に対し、海底トンネルの覆工の健全度評価方法を提案し、青函トンネルの評価と今後の維持管理に関する留意事項を整理するものである<sup>2)~4)</sup>。

### 3 長期計測結果

本章では、青函トンネルの長期計測のうち、列車運行上重要となる本坑における坑内湧水量測定、内空変位測定結果を紹介する。

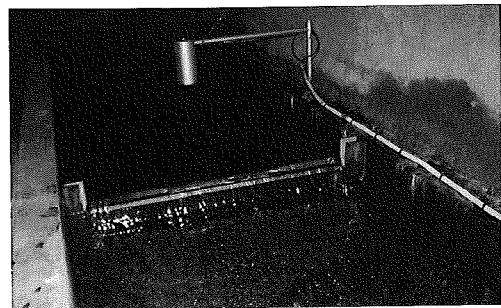


写真-1 湧水検知装置(超音波流速計)

#### 3-1 坑内湧水量測定

海底トンネルの湧水は、もっとも重要な監視項目の一つである。トンネル湧水は、地震などの外的要因、地山内の流水経路や間隙水圧あるいは覆工・注入材料の状態などの影響を受けて変化していく。したがって、トンネル周辺の地山状態やトンネルの覆工状態などの健全性を把握するために、湧水量、湧水圧などの面から監視していく必要がある。

とくに、青函トンネルの湧水量については、水没に対する危険性を考慮して、排水基地のポンプ揚水量で全湧水量を把握するとともに、約2kmごとに設置された超音波流速計(写真-1)で区間ごとの湧水量を監視している。

図-2は青函トンネルの揚水量を示しており、青函トンネルの総揚水量は、1988年11月の26.2m<sup>3</sup>/minから、2005年3月には21.4m<sup>3</sup>/minへと約18

m<sup>3</sup>/min

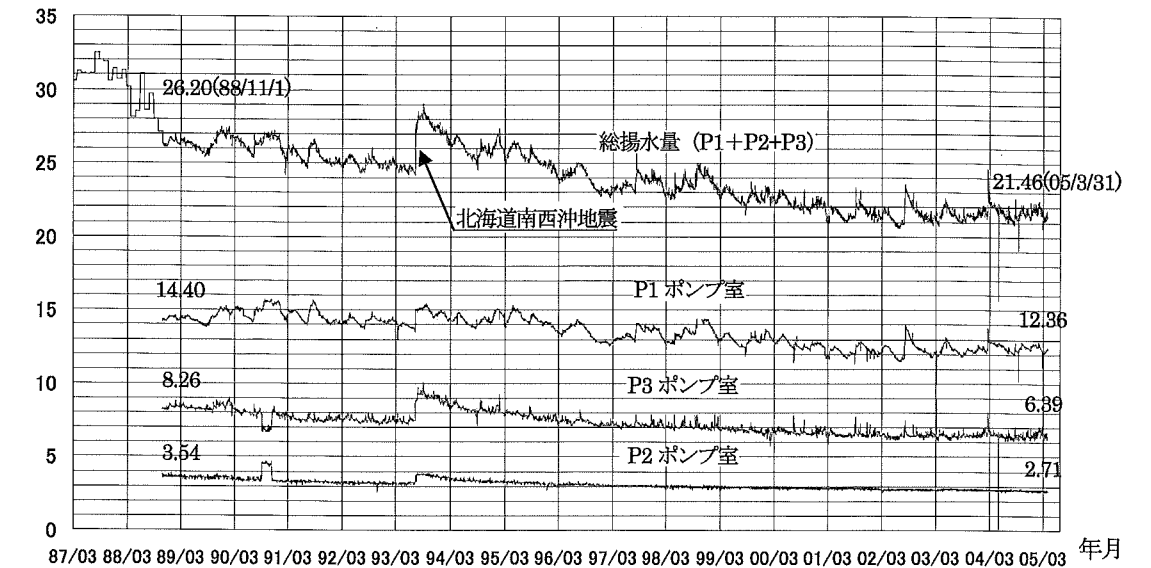


図-2 揚水量の経時変化

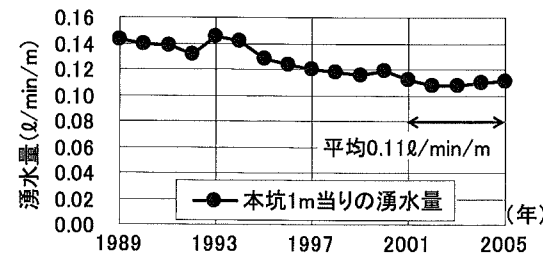


図-3 本坑1mあたりの湧水量

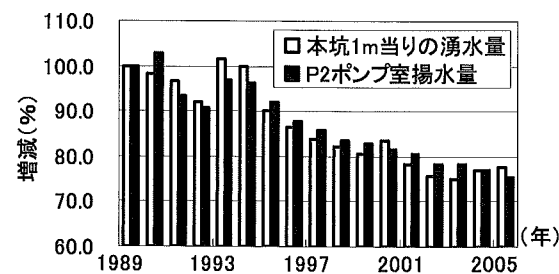


図-4 本坑1mあたりの湧水量およびP2ポンプ室揚水量の増減

%減少している。

図-3は、湧水検知装置の測定結果から、海底部における本坑1mあたりの湧水量について、年間平均値を求めたものである。図-4は、図-3で示した本坑1mあたりの湧水量および海底部の湧水を揚水するP2ポンプ室の揚水量について、1989年

を基準として各年の割合を示したものである。

これらより、トンネルの湧水は減少傾向にあり、測定開始から2~3割減少しているものと考えられる。

#### 3-2 内空変位測定

トンネルの内空断面の変位測定は、直接的な測定であり、トンネルの健全度を判定するうえで、もっとも信頼性の高い指標となる。

青函トンネルの場合、1988年3月以降、本坑77断面、1断面あたり4測点において、1~4回/年の頻度で長期にわたり実施してきた。

図-5に本坑の内空断面測定結果の一例を示す。また、図-6は測定開始から2004年2月までに発生した本坑の上半内空変位量の分布をまとめたものである。

図-6に示すように、本坑の測定結果では、77断面中、96%の内空変位量が-3mm以下(平均-0.84mm)である。また、2004年2月から2005年2月までの上半内空変位速度が全断面で-1mm/年以下であることを確認しており、一般的な鉄道トンネルでは、内空変位速度が-1mm/年以上の場合には、監視を含めた対策工が必要と判断される<sup>5)</sup>ことから、青函トンネルの構造物はよい状態と判断

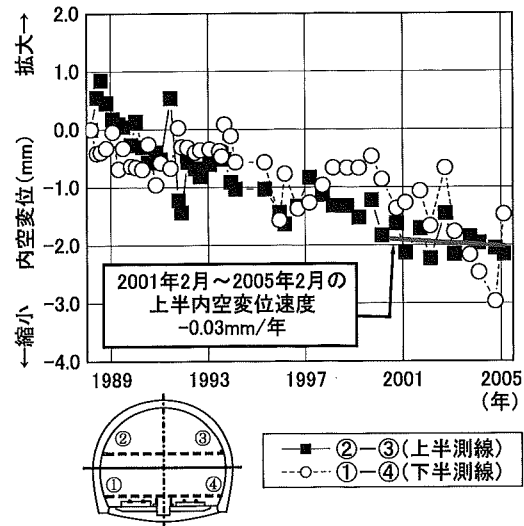


図-5 内空変位測定結果(16km799m, 出水断層部)

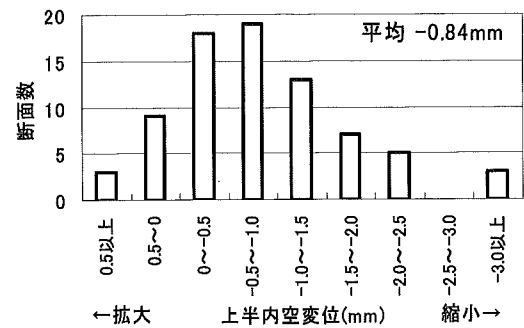


図-6 上半内空変位量の発生状況

できる。

しかし、図-5に示すように、発生変位量は小さいものの断面が縮小し続け、変位量が増加する傾向が認められる。

## 4 挙動メカニズムの検討

### 4-1 検討の流れとモデル

第3章に示したとおり、青函トンネルでは、坑内湧水量が減少し、内空変位が増加していることがわかった。

坑内湧水量、内空変位はそれぞれ異なる断面で計測しており、1断面として単純に議論できないが、湧水量が減少し、覆工に内空変位が発生する現象は、以下の挙動メカニズムによるものと想定し、検討を行った。

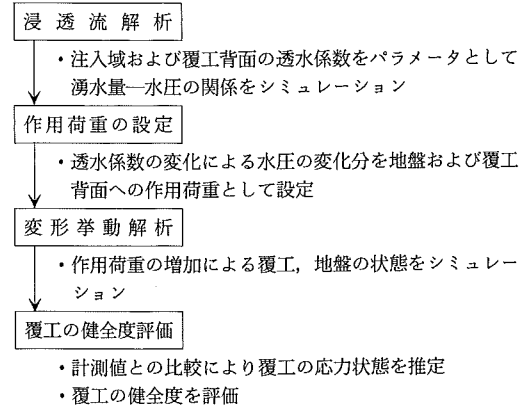


図-7 検討の流れ

① 坑内湧水量が減少する原因として、トンネル周辺の透水係数の低下が考えられる。そこで、透水係数が低下する位置として、次の二つのCaseを想定する。

- Case 1: 注入域の透水係数が低下する場合
- Case 2: 注入域に変化はなく、覆工背面の導水機能が低下し、覆工背面で透水係数が低下する場合

② 坑内湧水量が減少することで、トンネル周辺の水圧分布が変化し、水圧分布の変化により、トンネル周辺に対する作用荷重が増加する。

③ 結果的に、覆工への作用荷重が増加して、内空変位やひずみが増加する。

想定した挙動メカニズムにもとづき、図-7に示す検討の流れにしたがって、数値解析を実施する。まず、坑内湧水量とトンネル周辺の水圧分布について、浸透流解析によるシミュレーションを行った。

次に、この解析結果により、覆工施工時からの水圧分布の変化量を求め、地盤および覆工背面への作用荷重を設定する。

さらに、作用荷重を設定することで、内空変位と覆工応力について、変形挙動解析によるシミュレーションを実施した。

以上の解析結果と計測値との比較により、湧水量の変化が覆工に与える影響を把握し、ひび割れ発生時の覆工の断面力図(M-N図)を利用するこ

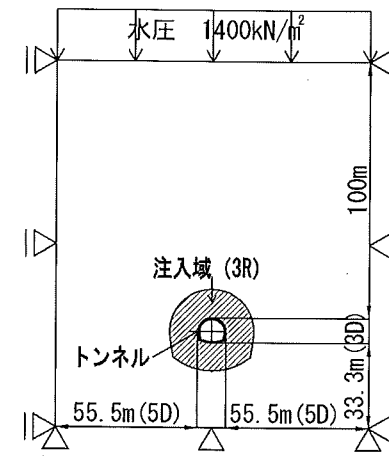


図-8 検討モデル

表-1 解析条件(浸透流解析)

水圧の作用位置	海底面(モデル上端)、水頭140m
地山の透水係数	$k=1.0 \times 10^{-4}$ cm/sec
注入域、覆工の透水係数	パラメータ

表-2 解析ケース

ケース	状態	透水係数(cm/sec)		
		地山	注入域	覆工背面
-	覆工施工時		$10^{-6}$	$10^{-1}$
CASE 1-1	注入域の透水係数の低下	$10^{-4}$	$10^{-6} \Rightarrow 10^{-7}$	$10^{-1}$
CASE 1-2			$10^{-6} \Rightarrow 10^{-8}$	
CASE 1-3			$10^{-6} \Rightarrow 10^{-9}$	
CASE 2-1	覆工背面の透水係数の低下	$10^{-6}$	$10^{-6}$	$10^{-1} \Rightarrow 10^{-6}$
CASE 2-2				$10^{-1} \Rightarrow 10^{-7}$
CASE 2-3				$10^{-1} \Rightarrow 10^{-8}$
CASE 2-4				$10^{-1} \Rightarrow 10^{-9}$

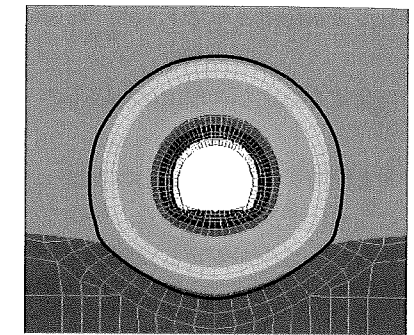
とで、健全度評価を試みた。

検討に際しては、図-8に示す検討モデルを設定した。モデルでは、水深140m、土かぶり100mとし、注入域は標準的な3Rとした。

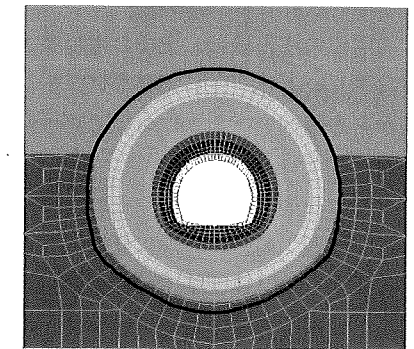
### 4-2 浸透流解析

ここでは、坑内湧水量とトンネル周辺の水圧分布について、FEMを用いた浸透流解析で求めた。解析条件を表-1に、注入域および覆工背面の透水係数をパラメータとした解析ケースを表-2に示す。

解析では青函トンネル中央部を対象とし、モデル上端に水頭140m分の水圧を作用させ、地盤の透水係数は、黒松内層における岩盤の一般的な値



覆工施工時



CASE1-2 (注入域の透水係数の低下)

※図中の — は注入域を示す

図-9 水圧分布の例(覆工施工時およびCASE 1-2)

( $k=1.0 \times 10^{-4}$  cm/sec)とした。注入域の透水係数は、過去の検討を参考に、地盤の透水係数の1/100( $k=1.0 \times 10^{-6}$  cm/sec)とし、覆工部分の透水係数については、覆工背面の導水機能が健全な場合を想定し、十分に大きな値( $k=1.0 \times 10^{-1}$  cm/sec)とした。上記の基本ケースに対し、注入域および覆工部分の透水係数を低下させることで、坑内湧水量の減少をモデル化した。

浸透流解析の結果得られた水圧分布の例を図-9に示す。

注入域外側で水圧が高く、トンネルに向かって水圧が低くなる。また、透水係数が低下するとトンネル周辺の水圧は増加している。

### 4-3 作用荷重の設定

本検討では、浸透流解析により計算した水圧分布から、変形挙動解析で用いる作用荷重を設定している。図-10に作用荷重の模式図を示す。具体的には、浸透流解析により得られた覆工施工時の水圧と坑内湧水量が減少した時の水圧の差から、

透水力を計算し、分布荷重としてトンネル周辺に作用させた。

こうした作用荷重を設定した理由は、以下のとおりである。

- ① トンネル掘削時には、周辺地山および一次支保により土水圧を支持しており、一次支保の変位が収束し、地山が安定した時点で、内側に覆工が施工される。
- ② 覆工背面の導水機能のため、覆工に直接水圧が作用しない設計となっている。
- ③ トンネル周辺の注入域は、土圧の増加をきたすような著しい劣化を生じていない。また、施工実績からも青函トンネルにおける膨張性地山の割合は少ない。

以上より、トンネル掘削時の変位やそれに伴う周辺地山の応力は、覆工の維持管理に直接関係しないものと考え、さらに、覆工施工後は膨張圧などの地圧はなく、作用荷重の増加の原因は水圧の

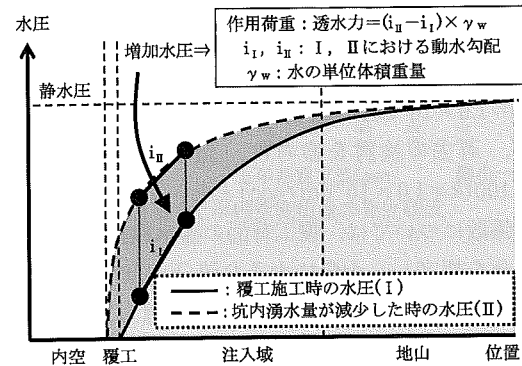
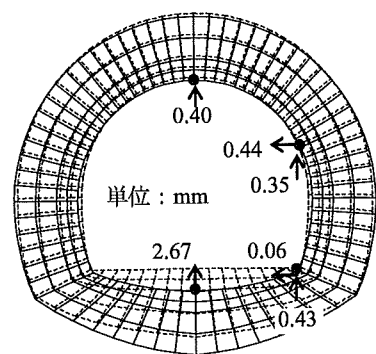
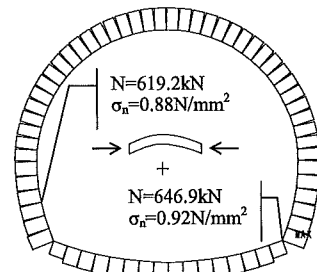


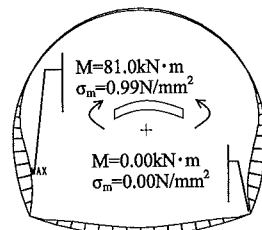
図-10 作用荷重の模式図



(1) 変位図



(2) 軸力図



(3) 曲げモーメント図

図-12 変位図および断面力図の例(CASE 1-2)

みと考えた。

4-4 変形挙動解析

設定した作用荷重から、トンネルの変形挙動を求めた。解析条件を表-3に、また、解析におけるトンネルの構造モデルを図-11に示す。青函トンネルは、無筋コンクリートの覆工であり、図のように、打ち継ぎ目にあたる隅角部をピン結合として検討している。

変形挙動解析の結果得られた覆工の上半内空変位量と断面力の例を図-12に示す。坑内湧水量の減少に伴う作用荷重の増加により、トンネルは縮小する方向に変形し、側壁部に大きな曲げモーメントが生じる。

表-3 解析条件(変形挙動解析)

	変形係数 E (MN/m <sup>2</sup> )	側圧係数(ポアソン比) k(\nu)
凝灰岩	200	1.0 (0.49)

部材	解析モデル	変形係数 E (kN/mm <sup>2</sup> )	断面積 A (m <sup>2</sup> )	断面二次 I (m <sup>4</sup> )
覆工	ビーム	22	0.70	2.858E-2
インバート	ビーム	22	0.50	1.042E-2

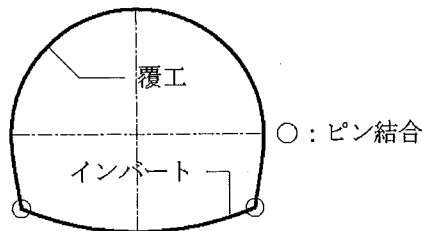


図-11 構造モデル図

表-4 解析結果

ケース	状態	坑内湧水量 (ℓ/min/m)	上半内空変位 (mm)
CASE 1-1	注入域の透水係数の低下	0.085	-0.80
CASE 1-2		0.0086	-0.88
CASE 1-3		0.0010	-0.92
CASE 2-1	覆工背面の透水係数の低下	0.72	-0.02
CASE 2-2		0.38	-0.46
CASE 2-3		0.069	-1.44
CASE 2-4		0.0075	-1.66

最後に、浸透流解析および変形挙動解析により得られた坑内湧水量と上半内空変位量のまとめを表-4に示す。

現在測定されている坑内湧水量(0.11 ℓ/min/m)や上半内空変位量(平均-0.84mm)は、Case 1-1とCase 1-2またはCase 2-2とCase 2-3の中間値であり、現在の覆工の状態を解析で再現することができた。

5 覆工の健全度評価

5-1 断面力曲線による評価

図-13に示すように、ひび割れ発生時の断面力曲線を導入し、解析により得られた断面力と比較した。なお、断面力曲線は、『変状トンネル対策工設計マニュアル』(鉄道総合技術研究所, 1998)にもとづき作成した。

図の■~□, 注入域の透水係数が、10<sup>-7</sup>cm/sec(Case 1-1)から10<sup>-9</sup>cm/sec(Case 1-3)に低下する場合、断面力の増加は小さい。このため、坑内湧水量の減少が注入域の透水係数低下に起因する場合は、覆工の健全度は確保されるものと考えられる。

図の●~○に示すように、覆工背面の透水係数が、10<sup>-6</sup>cm/sec(Case 2-1)~10<sup>-9</sup>cm/sec(Case 2-4)に低下する場合、断面力の増加は大きい。このため、坑内湧水量の減少が覆工背面の透水係数低下に起因する場合は、覆工背面に大きな荷重が作用し、ひび割れなどの変状が生じるものと考えられる。

現在の坑内湧水量や上半内空変位量から判断す

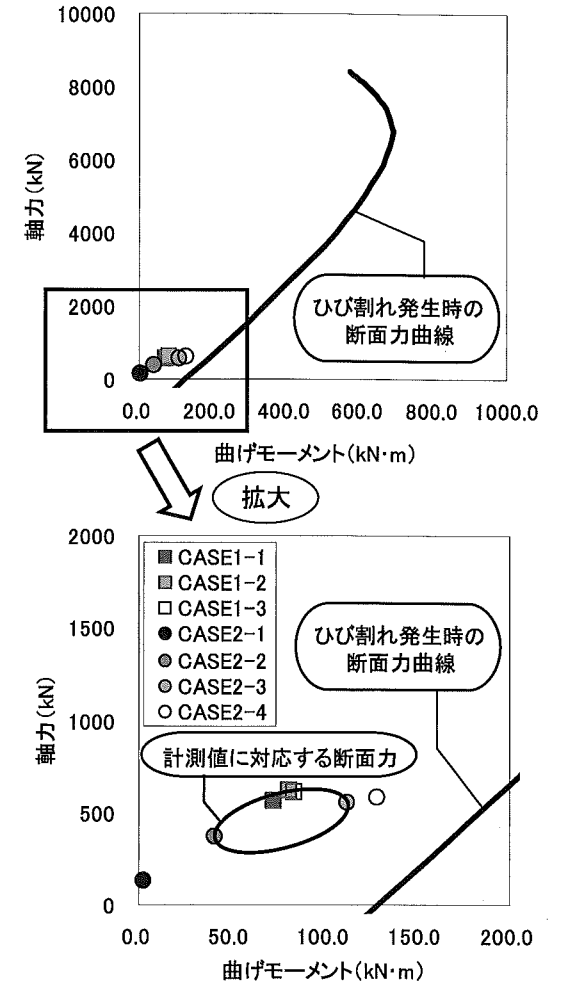


図-13 ひび割れ発生時の断面力曲線と発生断面力

ると、計測値に対応する断面力は図-13に示す範囲にあると考えられ、覆工は健全な状態にあるといえる。しかし、Case 1-3やCase 2-4のように、坑内湧水量の急激な減少が見られる場合には、坑内点検や監視などを実施し、覆工背面に荷重が作用していると考えられる場合には、作用荷重の低減対策をとることが必要である。

5-2 ひび割れ安全指標の設定

海底トンネルの維持管理にあたり、ひび割れ発生までの指標を定量化した事例はなく、坑内湧水量と内空変位に着目し、覆工の状態を定量的に評価する手法を新たに提案した。

具体的には、図-14に示すように、解析結果とひび割れ発生時に対する断面力曲線から、以下の

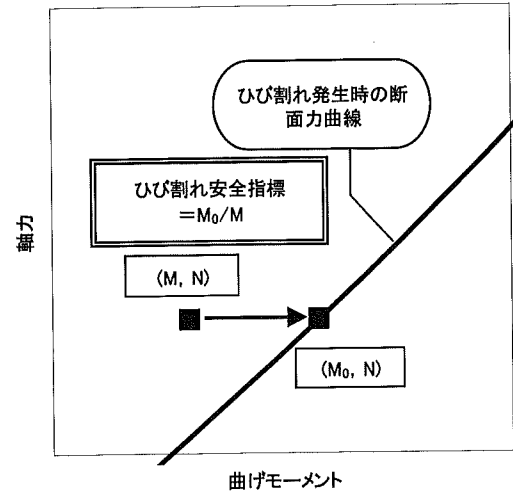


図-14 ひび割れ安全指標模式図

ひび割れ安全指標を設定し、ひび割れ発生までの余裕を定量化した。

ひび割れ安全指標 =  $M_0/M$

$M$  : 解析により得られた曲げモーメント

$M_0$  : ひび割れ発生時の断面力曲線による曲げモーメント

なお、ひび割れ安全指標については、さまざまな設定方法が考えられるが、本研究で対象とした荷重条件では軸力の増加よりも曲げモーメントの増加の割合が大きいことから、もっとも安全側(ひび割れ安全指標が小さくなる)となる方法で設定した。

また、この指標は覆工のひび割れの発生に対する指標である。ひび割れが発生したからといって、直ちにトンネル構造が不安定化するわけではなく、通常は、計測や監視を強化し、必要に応じて対策の検討を行うこととなる。

### 5-3 坑内湧水量とひび割れ安全指標

坑内湧水量とひび割れ安全指標の関係を図-15に示す。

坑内湧水量の減少原因が、注入域の透水係数の低下のみに起因すると考えると、現在の坑内湧水量の測定値に対応する覆工の状態は図-15の○の位置である。今後さらに湧水量が減少しても、ひび割れ安全指標は十分大きな値であることから、ひび割れは発生しない。

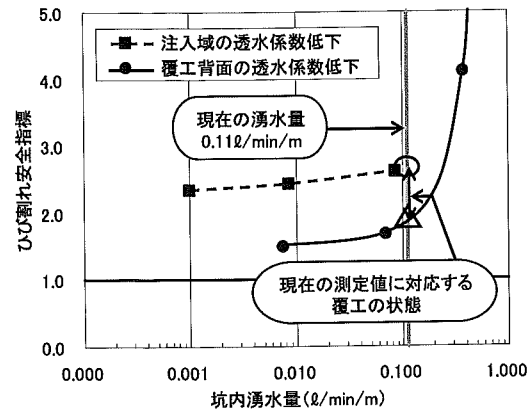


図-15 坑内湧水量とひび割れ安全指標の関係

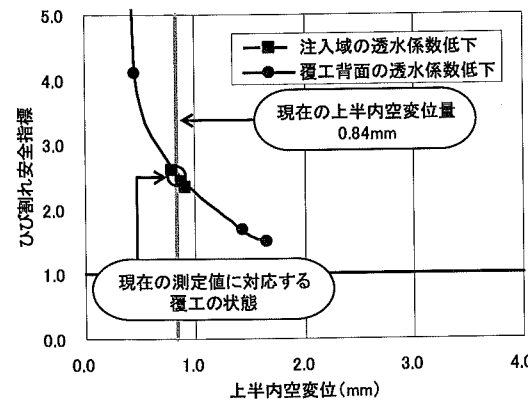


図-16 内空変位量とひび割れ安全指標の関係

一方、坑内湧水量の減少原因が、覆工背面の透水係数の低下のみに起因すると考えると、現在の坑内湧水量の測定値に対応する覆工の状態は図-15の△の位置であり、今後さらに湧水量が減少していくとひび割れ安全指標は1に近づき、ひび割れが発生する可能性がある。

### 5-4 内空変位量とひび割れ安全指標

内空変位量とひび割れ安全指標の関係を図-16に示す。

坑内湧水量の減少原因が、覆工背面の透水係数の低下のみに起因すると考えると、ひび割れ安全指標は小さな値となり、ひび割れなどの変状が生じる可能性がある。

現在の上半内空変位量の測定値に対応する覆工の状態は図-16の○の位置であり、覆工にクラックの発生も確認されていないことから、覆工は健全な状態であると考えられる。

### 5-5 注入域の水圧と覆工の現状

浸透流解析により得られたトンネル水平方向の水圧のグラフを図-17に示す。

注入域の透水係数が低下することで湧水量が減少する場合は、注入域内の水圧が変動しない。これに対し、覆工背面の透水係数が低下することで湧水量が減少する場合は、湧水量の減少とともに、注入域内の水圧は著しく変化する。

図-18は作業坑における1999年からの水圧測定結果である。これは、作業坑の側壁から10m, 15m, 20mの3本のボーリングを実施し、水圧を測

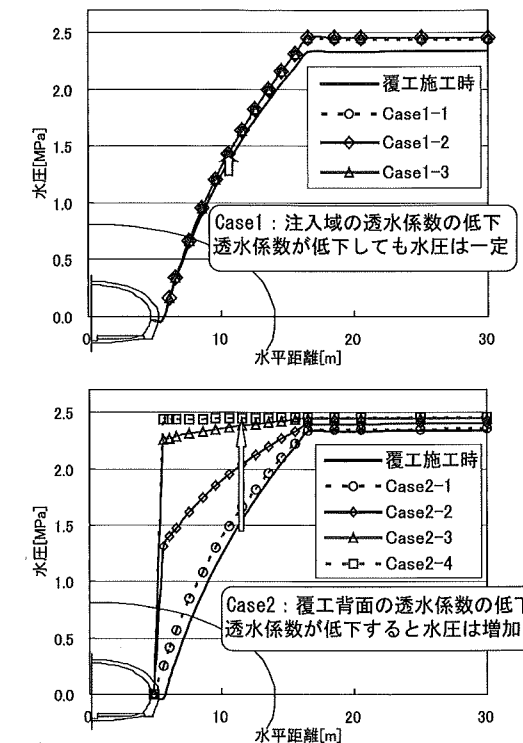


図-17 トンネル水平方向の水圧のグラフ

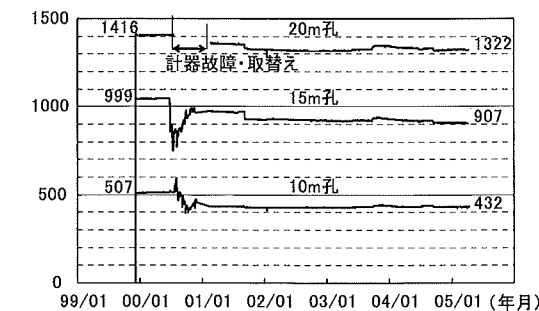


図-18 水圧の経時変化

定しているものである。図のように注入域内の水圧の変動は小さいことから、現状の覆工の状況は、注入域の透水係数が低下した場合(Case 1)に近い状況にあると考えられる。

### 5-6 地山剛性とひび割れ安全指標の変化

ここまでの青函トンネルの解析では、比較的条件の悪い凝灰岩を対象に地山の变形係数を  $E=200\text{MPa}$  として解析を行った。ここでは、地山剛性の違いによるひび割れ安全指標の変化を検討するため、 $E=100\text{MPa}$  および  $E=50\text{MPa}$  とし試算を行った。結果を図-19, 20に示す。

变形係数が小さくなるとひび割れ安全指標は低下し、变形係数が  $E=100\text{MPa}$  以下では、ひび割れ安全指標が1を切る結果となった。地山剛性が小さいトンネルは、透水係数の変化の影響を強く受けやすいため、構造体としての安全性が小さいものと考えられる。

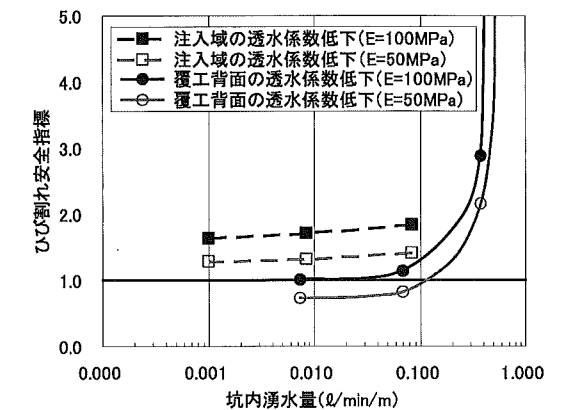


図-19 坑内湧水量とひび割れ安全指標の関係

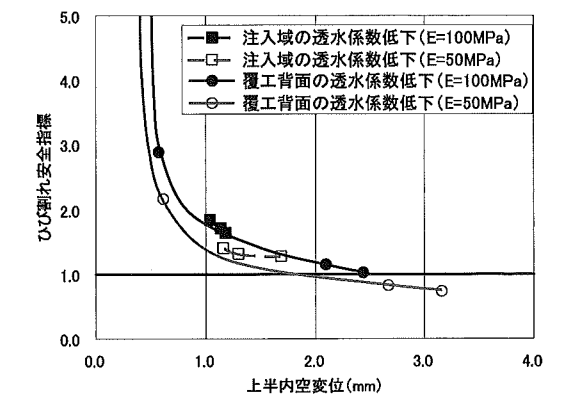


図-20 内空変位量とひび割れ安全指標の関係

## 6 ま と め

本研究では、湧水の影響によるトンネルの覆工の安定性を確認するため、青函トンネルにおける覆工の挙動メカニズムに関する数値解析を実施し、覆工の健全度評価を行った。

以下にまとめを示す。

- ① 青函トンネルを想定し、浸透流解析と変形挙動解析を組み合わせたシミュレーションを行い、湧水量の変化がトンネルの挙動に及ぼす影響を検討した。まず、浸透流解析により坑内湧水量と周辺地山の湧水圧の関係を検討し、次に、この結果にもとづく水圧の変化を地盤および覆工背面への作用荷重として設定し、変形挙動解析を実施した。この手法により、現在のトンネルの状態を解析的に再現することができた。
- ② ひび割れ発生時の断面力曲線を健全度評価の目安とし、解析により得られた断面力と比較することで、青函トンネルの覆工の健全度を評価した。
- ③ さらに、覆工にひび割れが発生する状態に対する安全率として、「ひび割れ安全指標」という概念を導入し、坑内湧水量の減少や内空変位の増加の危険性を定量化した。
- ④ 青函トンネルの検討では、注入域の透水係数が低下した場合には覆工の健全度は確保されるが、覆工背面の導水機能が低下した場合には覆工の健全度に問題を生じる可能性がある。覆工背面の導水機能が低下した場合には、水抜き工などを実施し、作用荷重を低減する措置をとる必要がある。
- ⑤ 作業坑における計測結果では、注入域内の水圧計測の変動が小さく、シミュレーションにおける注入域内の水圧変化の傾向と比較すると、現在の状態は、注入域の透水係数が低下した場合(Case 1)に近い状況と考えられる。
- ⑥ 地山剛性が小さい場合には、周辺地山の透水係数の低下による影響が、覆工にひび割れとして現れやすく、地山剛性が小さいほどト

ンネルとしての安全性が低下していくことが考えられる。

以上を踏まえ、海底トンネルの維持管理手法について提案を行う。ここでは、青函トンネルのように高水圧の下に設置されるトンネルで、注入域を有する海底トンネルを考えている。

- ① 一般に、変状発生後からの検査では、トンネルの状態について正確に把握することが難しい。このため、建設直後に必ず内空変位などの初期値を計測しておく必要があり、適切に計測断面の間隔を設定し、定期的に内空変位を測定することが必要である。
- ② トンネルの位置する路線の重要度を加味する必要があるが、海底トンネルでは、湧水量については常時監視することが望ましい。また、延長が長くなる場合、より多くの場所で一定区間ごとに湧水量を把握する必要がある。
- ③ 海底トンネルにおける水圧の影響を確認するためには、計測結果に応じた浸透流解析と変形挙動解析によるシミュレーションを実施することが有効である。とくに、覆工にひび割れが発生する状態に対する安全率として、「ひび割れ安全指標」という概念を導入し、坑内湧水量の減少や内空変位の増加の危険性を定量化することが重要である。
- ④ 海底トンネルの覆工には、背面に水圧を作用させないことが重要であり、通常のメンテナンスにおいては、排水溝や導水管などの定期的な清掃などの排水機能の維持が重要である。
- ⑤ 海底トンネルにおける湧水の影響を確認するためには、覆工背面の地山における湧水圧の測定が非常に重要である。  
維持管理において、湧水の影響を検討する際に、青函トンネルでの研究成果はその他の海底トンネルにも役立つものと考えられる。  
青函トンネルにおける坑内湧水量や内空変位は、現在も変化しており、今後も計測を継続し、列車運行の安全性確保と構造物の維持管理に努めていく必要がある。

## 参 考 文 献

- 1) 足立紀尚・田村武：高圧湧水下のトンネル工における水抜孔の効果と注入域の適正規模，土木学会論文報告集，No.280，pp.87-98，1978.
- 2) 土谷幸彦・倉川哲志・工藤健・小西真治・小島芳之・東畑郁生：海底トンネルの覆工の長期挙動と評価に関する研究，土木学会論文集C，Vol.63，No.3，pp.825-834，2007.
- 3) 土谷幸彦：青函トンネルの覆工の長期挙動と健全度評価手法に関する研究，東京大学博士論文，2007.12.
- 4) Y. Tuchiya, T. Kurakawa, T. Matsunaga and T. Kudo: Research on the Long-term Behavior and the Evaluation of the Lining Concrete of the Seikan Tunnel, Soils and Foundations(投稿中)
- 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，pp.158-162，2007.1.

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 円340円
第II巻 地下水環境学	価格4,485円 円340円
第III巻 地下水と地質	価格3,873円 円340円

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

### <第I巻 主要目次>

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

### <第II巻 主要目次>

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

### <第III巻 主要目次>

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

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16マイジャー神楽坂  
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

アンダーパス技術協会  
第3回定時総会開催

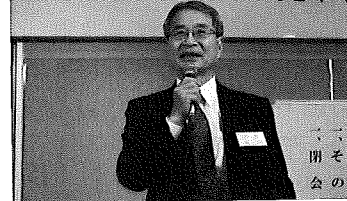
アンダーパス技術協会は去る6月18日アルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、植村誠会長は、「昨年度は大規模工事が多く、協会にとってはよい年であった」とあいさつした。

総会では平成19年度事業報告・決算報告、平成20年度事業計画・予算を審議し、満場一致で承認された。その後、役員改選が行われ、現職の役員が再任された。

総会終了後、工法PR用DVDのサンプルが事務局より披露され、今年度は工法の普及活動にさらに力を入れていくとの説明があった。

## 技術協会 定時総会



## 遊井名田トンネル 貫通式

東北地整が整備する東北横断自動車道釜石秋田線遊井名田トンネルで、6月4日、貫通式がとり行われた。平成19年10月16日からトンネル本体に着手し、このたび無事貫通を迎えたもの。

同トンネルは、延長L=592mのNATMトンネルで、覆工の品質向上を目指し、コンクリートの養生はトンネルバルーンを用いるなどした。

## 瀬田・御嶽トンネル貫通

長崎県が整備する対馬市上県町瀬田、佐護を結ぶ国道382号に建設中の「瀬田、御嶽トンネル」の貫通式が6月16日行われた。瀬田トンネル

は全長166m、御嶽トンネルは1,200mの山岳トンネル。

供用開始は2009年春を予定し、開通により、現道3.7kmが2.1kmに短縮され、安全性向上や時間短縮効果が見込まれている。

## 柏島トンネル貫通式

高知県が整備する高知県幡多郡大月町一切の県道柏島一二ツ石線L=約1.55kmに位置する、柏島トンネル(152m)の貫通式が、6月20日現地で行われた。

## 付替県道6号トンネルの貫通式

関東地整湯西川ダム工事事務所がダム建設工事の一環として建設を進めてきた、県道黒部西川線の付替県道6号トンネル(L=1,194m)がこのほど貫通し、6月24日に貫通式が行われた。

同トンネルは、平成18年3月2日から平成20年12月2日の工期で工事を進め、平成20年4月10日に貫通、現在までに坑口部までの処理が整ったことに伴い同日トンネル終点側坑口部において貫通式が行われた。

付替県道(11.5km)のトンネル計画10本の中で最長のトンネルで、掘削断面積A=54.6m<sup>2</sup>を、発破NATMにより掘削した。

## 阿寒トンネルが貫通

北海道開発局が整備する北海道横断自動車道本別一釧路間(延長65km)の阿寒トンネル(1,173m)で7月8日、貫通式が同トンネル内で行われた。

同トンネルは泥岩主体の地山を発破NATMにより釧路側から片押し施工を行い、このたび貫通したもの。

## 東京メトロ副都心線が開業

平成13年6月15日に着工した東京

地下鉄副都心線が丸7年の歳月を経て、6月14日、開業した。

同線は、池袋～渋谷間8.9kmに途中、雑司が谷、西早稲田、東新宿、新宿三丁目、北参道、明治神宮前の6駅を通る新規建設路線と、既設路線である有楽町線、有楽町新線の池袋～和光市間からなる。

新設区間では、駅間の工区を、渋谷～新宿三丁目複線シールド、新宿三丁目～西早稲田では単線シールドによるUターン施工、西早稲田～池袋では単線シールドとして9機のシールドを投入して掘削された。

また、駅部では、西早稲田駅で駅シールドによりUターン工法を用いて施工し、雑司が谷駅では単線親子シールドを用い、駅部掘削後、子機により雑司が谷～池袋駅間を施行した。その他の駅部は開削工法により施工されている。

同線は平成24年度には、渋谷駅で、東急東横線と相互直通運転を開始する予定で、完成すれば、横浜から埼玉県西部を結ぶ大動脈となる。

## 東九州自動車道津久見～佐伯間が開通

西日本高速道路が整備を進めてきた、東九州道津久見IC-佐伯IC間(13.0km)が6月28日開通した。

同区間は、尺間山トンネル(2.6km)ほかトンネルが4か所、橋梁が17本など、構造物区間が多く、それぞれ路線の36%、32%を占める。

今回の開通に伴い、同道が大分県南地域まで延伸され、九州縦貫自動車道・九州横断自動車道とともに広域的なネットワークを形成し、アクセスの向上が図られる。

同区間の完成予定であった9月30日から早期に開通が可能となったことから、10月30日まで「早期開通割引」を期間限定で実施している。

## 連載講座

## シールド工事の施工に関するQ&amp;A(最終回)

JTA都市トンネル小委員会

Q 45. 泥水式シールド工法で、土質別に泥水比重と粘性の適正値を教えてください。また、比重および粘性が高すぎたり低すぎた場合にどのような不具合が発生するか教えてください。

A.

## (1) 泥水の役割

泥水式シールド工法は、地山の条件に応じて比重や粘性を調整した泥水を切羽およびチャンバ内に加圧し、その泥水圧によって切羽の土水圧に対抗させ切羽の安定を図りながら地山を掘削するものです。掘削した土砂はチャンバ内で送泥水と攪拌し、坑外へ流体輸送します。排泥水は坑外の泥水処理設備によって、泥水と土砂に分離し、泥水は、比重、粘性の調整を行った後、再び送泥水として循環利用します。

泥水式シールド工法における泥水の役割は以下のとおりです。

## 1) 切羽の安定

① 切羽面に泥膜を形成し、泥水圧を有効に作用させ、切羽に作用する土圧および地下水圧を抑えます。

② 切羽面からある程度の範囲の地盤内に浸透し、切羽地盤に粘着性を与えます。

## 2) 掘削土砂搬送

流体輸送中に掘削土砂の沈降を防止し、掘削土砂の流体輸送を容易にします。

以上により、泥水性状は、切羽の安定に対しては高比重、高粘性の方が望ましいのですが、反面、流体輸送設備および泥水処理設備の負荷が大きく

表-1 泥水管理(比重、粘性)の参考値

土質	粘性土	砂質土	礫質土
項目			
粘性(FV)	22~25秒	25~35秒	25~40秒
比重	1.10~1.20	1.15~1.25	1.20~1.30

FV: ファンネル粘性

なるため、掘削対象土質や粒度組成に応じて適正な泥水管理を行う必要があります。

## (2) 泥水比重と粘性について

切羽の安定に有効な泥水の物性は、比重、粘性、ろ過特性および砂分量ですが、通常、現場では、比重と粘性を管理するのが一般的です。

## 1) 比重と粘性の適正値

比重と粘性の適正値を数値化するのには難しいので、土質別の泥水管理の参考値を表-1に示します。

切羽の安定している粘性土においては、流体輸送、泥水処理の容易さから、比重、粘性の管理値を低く設定しているようです。また、透水係数が大きい砂質土や礫質土においては、逸泥などにより泥膜が十分に形成されないため、適切な土粒子分を含有させて目詰り効果を持たせるとともに、比重、粘性の高い泥水が必要となります。

## 2) 比重

泥水の比重は、粘性と相関を持ち限界沈殿流速および泥水圧の設定に関係します。現場での比重測定はマッドバランス(写真-1)により測定するのが一般的です。また、処理設備の稼働状況により砂分が完全に回収できない場合、見掛けの比重は高くなりますので、砂分量の確認が必要です。

## 3) 粘性

泥水の粘性は、土粒子保持による切羽の安定および地山への浸透距離に関係します。泥水の粘性

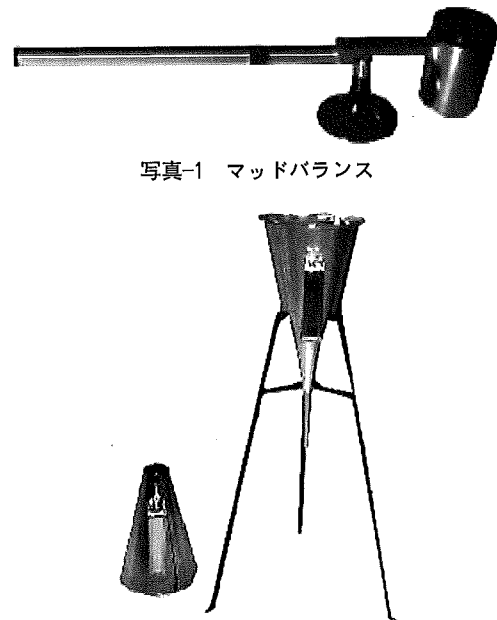


写真-1 マッドバランス

写真-2 ファンネル粘度計

は、ファンネル粘性(FV)およびイールドバリュール(YV)などで表されます。ファンネル粘性は測定が比較的簡単であるということもあり、泥水性状を知る目安として、一般的に使われています。ファンネル粘度計(写真-2)は漏斗型粘度計で、粘度の測定は、漏斗より500mlの泥水が流出する時間を測る方法であり、水の場合では18.5±0.5秒です。

イールドバリュール(YV)は、回転粘度計(ファンネルVGメーター)による回転数600と300の読み値から、次式<sup>2)</sup>により算定します。

$$YV(N \cdot s/m^2) = 0.479 \times (2 \times T_{300} - T_{600})$$

$T_{300}$  : 回転数300rpmのときの読み値

$T_{600}$  : 回転数600rpmのときの読み値

イールドバリュール(YV)は流体が運動を続けるのに必要な力で、泥水のろ過特性、沈降などの指標となる重要な値です。ただし、YVの計測は煩雑なため、ファンネル粘性で代用されることが多いですが、崩壊性の砂層および砂礫層(透水係数 $1 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ 程度)掘削には用いられていることがあり、参考値としては5~10(N・s/m<sup>2</sup>)の範囲で管理している場合があります。

4) 泥水品質管理

泥水性状は、掘削地盤の変化に大きく影響され、

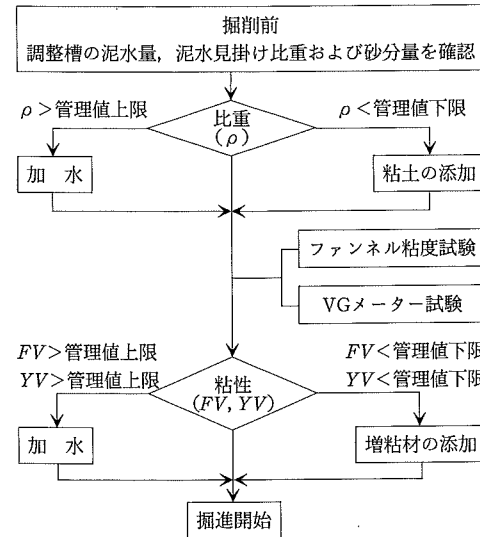


図-1 泥水管理フロー

品質が変化するので、常に物性を計測し、測定値が所定の管理基準値から外れたときは、必要に応じて粘土、増粘材などの材料の添加、加水による泥水の希釈などを行い所定の品質を保ちながら、掘進します。通常、泥水の調整は1リング掘進ごとに行いますが、工事条件によっては掘進中でも調整します。

図-1に泥水管理フロー<sup>2)</sup>を示します。

(3) 比重、粘性が高すぎたり低すぎた場合の不具合について

1) 比重、粘性が高すぎた場合

処理設備に負荷がかかり、処理が困難となったり、流体輸送の送排泥ポンプの負荷が高くなり、切羽水圧および送排泥流量を保持できなくなるため、掘削土砂がチャンバ内および排泥管内で閉塞することがあります。

また、粘性土層を掘削する場合、泥膜を介さなくとも泥水圧が地山に直接作用するため、泥水性状に関係なく、切羽の安定は図れますが、排泥水の比重、粘性が高くなり、面板のスリットおよびチャンバ内に粘性土塊が付着して閉塞し、掘進不能になるおそれもあります。この場合、泥水の対策としては、比重・粘性の低い泥水を使用するのが一般的ですが、泥水に分散剤を添加し、付着を防止する方法もあります。

2) 比重、粘性が低すぎた場合

砂層および砂礫層においては、土粒子による地山間隙の目詰まり効果が期待できないため、逸泥量の増加、泥膜形成の遅れなどを生じ、切羽の崩壊につながります。また、掘削土砂が沈降し、流体輸送が困難となります。

(4) おわりに

泥水式シールド工法では、切羽泥水圧の管理とともに泥水の品質管理が重要です。切羽の状態は、目視で確認することができないので、切羽の安定を判断するために、シールド負荷(カットトルク、シールドジャッキ推力)の計測、掘削土量や逸泥量の推移を含めた計測などにより、切羽状況を間接的に確認して、その掘削地盤に応じた泥水性状の適正值を決定する必要があります。掘進中はその適正值にもとづいた適切な泥水性状に保つことが重要です。

(文責：小山正幸/戸田建設(株))

参考文献

- 1) 平岡成明：地中連続壁の安定液，山海堂，1991.8.
- 2) シールドトンネルの新技术研究会：シールドトンネルの新技术，土木工学社，1995.1.

Q 46. 埋設物や障害物探査について質問します。探査方法の種類別に適応範囲と特徴や精度などを教えてください。

A. 埋設物や障害物の調査は、既存の資料調査と現地調査に分けられます。既存の資料調査は事前調査ともいわれ、埋設物についてはそれを管理している管理者の図面などで、障害物については過去の工事資料などから、位置、規模および深さなどの確認を行うものです。ここでの確認作業が正確にできれば、後の作業は比較的容易になります。現地調査は試掘やボーリングによる直接確認と物理探査による間接確認に分けられます。直接確認の調査は掘削地点のみの情報は得られますが、そ

表-1 埋設物や障害物調査に使用される物理探査

ボーリング孔の利用	分類	用途	適用範囲	精度	
なし	地中レーダ探査	パルスレーダ	地層構造、埋設物、地中障害物、空洞など	2~3 m	±20cm
		ステップ式連続波レーダ		10m	±数十cm
	電磁探査	金属埋設物、地質構造	2~3 m	±20cm	
あり	ボア・ホール・レーダ法	地下障害物の状況、地盤の性質	10~20m	±数十cm	
	弾性波速度検層	地下障害物(金属)の状況、地盤の性質	数十m		
	磁気探査				

注)適用範囲と精度については、用途に応じた機器についてのメーカー発表の参考値である<sup>2),3)</sup>。

の周囲を調べるには物理探査を併用します。

埋設物や障害物の調査として使用されている物理探査を表-1に示します。ここでは、物理探査を地表から実施する探査とボーリング孔を利用する探査に分けています。この中で、主に用いられている地中レーダ探査とボア・ホール・レーダ法および磁気探査について紹介します。

(1) 地中レーダ探査

1) 概要

地中レーダ探査は、地中における電磁波の反射・屈折・透過現象を利用して、それらの伝播時間から埋設物や地盤構造の位置・形状を画像化する探査です。この探査は、埋設物、障害物、空洞、地層境界および岩盤亀裂などの調査に使用され、もっとも普及している探査の一つです。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であること、高分解能(精度±20cm程度)であること、そして、計測対象は金属、非金属を問わず空洞も計測可能であるので適用範囲が広く、画像によって可視化することができることです。適用上の問題点としては、高周波数の電磁波を使用するので地中での減衰が大きく、探査可能深度が現状では2~3m程度であること、粘土地盤では測定精度が低下すること、また地下水面下や金網・鉄筋などがある法面などの探査は難しいことです。探査可能深度については、最近、連続波レーダ探査技術が開発され10m程度まで実用が可能になっています。

3) 調査結果の例

道路下の埋設物調査では、送・受信アンテナの間隔を一定に保ち、一定速度で移動しながら計測しますが、この方法の実施イメージを図-1に示します。また、図-2に地層構造、埋設物および空洞の各測定パターン<sup>3)</sup>と実際に測定された埋設物の調査結果を示します。地層構造については、その境界、埋設管や埋設物については上に凸の双曲線形、空隙については水平線、空洞については双曲線形と水平線がそれぞれのパターンで濃淡表示されます。実際に測定された埋設物の調査結果では、深さ2m付近に地中埋設物による反射波が表れて

(2) ボア・ホール・レーダ法

1) 概要

地中レーダ探査が地表から浅い位置(地表より2~3m程度)にある埋設物などを調査の対象とするのに対して、ボア・ホール・レーダ法は、地表から深い位置(地表より数十m程度)にある埋設物などを調査の対象としてボーリング孔を利用する探査です。この探査の原理は、ほぼ地中レーダ探

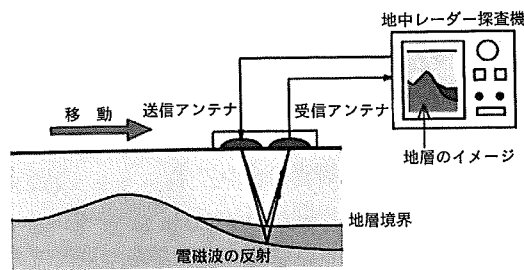
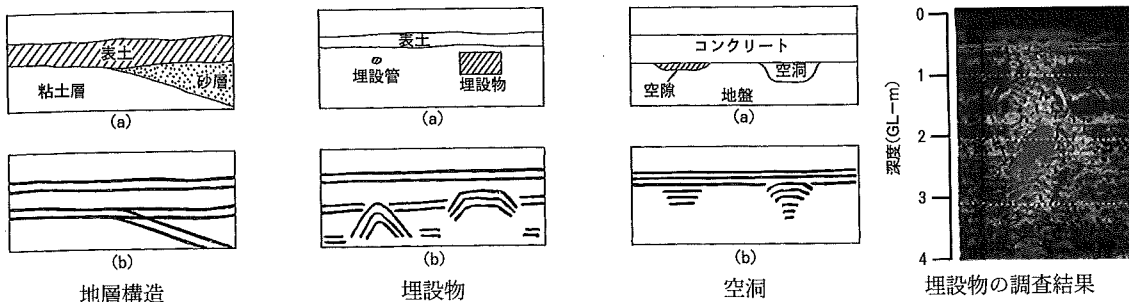


図-1 地中レーダ探査実施イメージ



注): (a)は概略断面図, (b)は測定パターンを示す。

この図は物理探査ハンドブック(物理探査学会)<sup>3)</sup>より抜粋して掲載

図-2 地層構造、埋設物および空洞の各測定パターンと実際に測定された埋設物の調査結果

査と同じで、地中における電磁波の反射・屈折・透過現象を利用して、それらの伝播時間や振幅減衰から埋設物や地盤構造の位置・形状を画像化します。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、精度は±数十cmであること、そして、鋼製障害物の根入れ深度の調査には表-1に示した速度検層や磁気探査も適していますが、木杭や杭間隔の調査に適用できる技術はボア・ホール・レーダ法のみであることです。さらに、地下の障害物や地盤の性質の調査および地下水理の環境計測などに有効な探査です。適用上の問題点としては、地下障害物を調査する場合、ボーリング孔を利用するのでその近傍の情報のみしか得られず、その存在がある程度わかっていることを前提としていることと、地盤中の電磁波は減衰が大きく、適用範囲が10~20m程度となることです。

3) 測定法の種類と調査結果の例

この探査の各種測定法<sup>4)</sup>と解析結果例を図-3に示します。この探査は、送・受信アンテナを直径100mm程度のボーリング孔に入れ、電磁波を地中に発信し受信するもので、送・受信アンテナを同じボーリング孔に入れて測定する反射法と、別々のボーリング孔に入れて測定する透過法および電磁波トモグラフィ法があります。

反射法は、地中の電気的性質が異なる境界面で反射した電磁波を受信し、その電磁波の反射した方向と往復時間から障害物や地層の亀裂・断層な

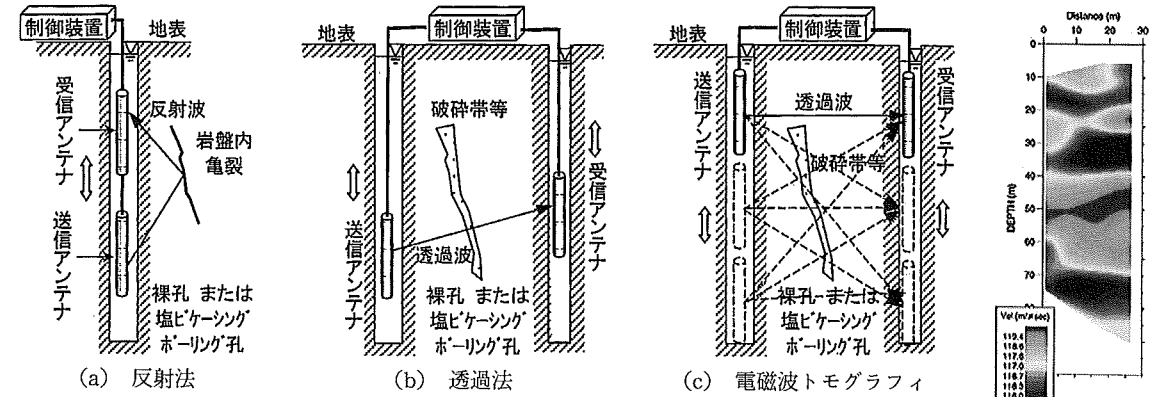


図-3 ボア・ホール・レーダ法の各種測定法<sup>4)</sup>と透過法の解析結果例

どを見つけるものです。ボーリング孔の近傍の調査に多く用いられます。

透過法は、地中を透過してきた電磁波の伝播時間と振幅減衰といった二つの異なる計測情報を利用して、ボーリング孔間の障害物・地質情報を2次元断面に画像化します。

電磁波トモグラフィ法は、透過法と方法は変わりませんが、電磁波の減衰が大きいため受信点から離れるに従い分解能は極度に低下するので、より多くの受信点で計測を行い精度を高めている方法です。

電磁波の速度と減衰にもっとも影響するのが地盤中の地下水で、ボア・ホール・レーダ法を使った探査は、地下水に富む亀裂などの地盤の弱い部分の検知には非常に優れています。通常弱い地盤は速度が遅く、減衰が大きくなります。図-3の解析結果例では色の薄い部分が良質な岩盤を、濃い部分が弱い岩盤を示しています。深度40mに岩盤境界があり上部より下部が良質なものになっています。

(3) 磁気探査

1) 概要

磁気探査は、鉄が磁化して極を持つことを利用して、この極を捉え、解析することにより位置を求める探査法です。調査対象は鋼製埋設物や鋼製障害物のみに限られます。

2) 特徴と適用上の問題点

この探査の特徴は、計測が非接触かつ高速であることと、精度は±数十cmであること、そして、

鋼製の基礎杭や土留め壁の根入れ深度、位置、規模などの確認が比較的簡易なデータ処理でできることです。適用上の問題点としては、地下障害物を調査する場合、その存在がある程度わかっていることを前提としていることと、鉄道・工場・幹線道路など都市部では磁場測定に人工磁気ノイズをもたらす要素が多く、測定精度が低下することです。

3) 測定法の種類と調査結果の例

磁気探査は、地表から浅い位置(地表より2m程度)にある埋設物などを調査の対象とする水平磁気探査と、地表から深い位置(地表より数十m程度)にある埋設物などを調査の対象としてボーリング孔を利用する坑内磁気探査があります。

水平磁気探査は、磁気センサを人が持って歩行して移動させる方法が一般的です。水平探査で探知できない深い位置の探査は坑内磁気探査で行います。磁気測定は、ボーリング孔内に磁気傾度計を挿入し、連続した磁気記録を測定して得られた磁気異常波形を解析することにより埋設位置および磁気量を求めます。図-4に磁性的変化と残留鋼製埋設物の磁気波形を示します。鋼製埋設物などによる磁界は、その上端、下端部分で変化しますが、その途中部分でも、材質(特性)の変化、構造(厚み)の変化、損傷などにより磁性が変化します。地中に残留された鋼製埋設物の残留磁気による磁気異常波形が図中の磁気記録に示されていますが、この波形によって埋設位置を確認することができます。

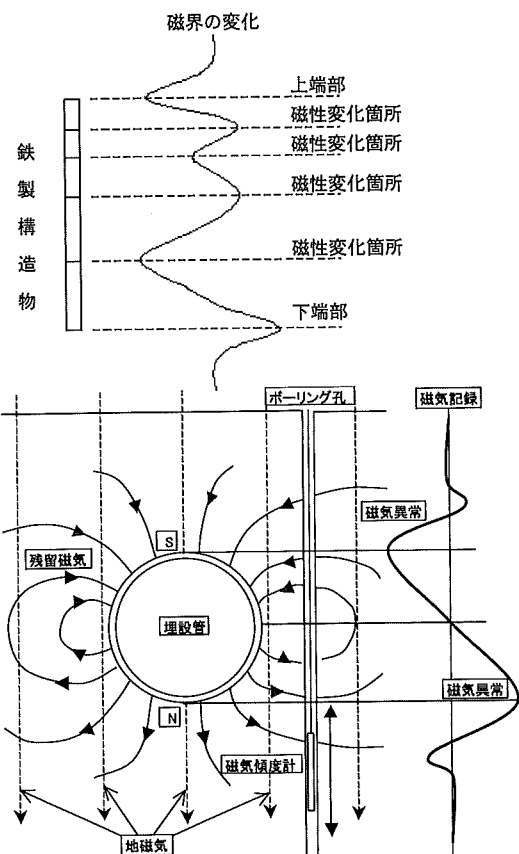


図-4 磁性の変化と存置鋼製埋設管の磁気波形

(4) まとめ

さまざまな期待をもって物理探査を適用しても、調査の精度をすぐに飛躍的に高めることは難しいと思われま。むしろ、既存技術をトンネル向けに最適化することが優先されるべきでしょう。それには、事前の調査を確実なものにするために、過去の資料の整備体制を充実させることやコアチューブを埋設位置まで設置してカメラ撮影する<sup>9)</sup>などの必要に応じた調査法を取り入れ使用していくことが必要です。また、物理探査などの間接確認技術の向上は、今後も期待されるどころです。

(文責：五味信治/りんかい日産建設(株))

参考文献

- 1) 日本物理探査(株)：物理探査手法技術紹介, <http://www.n-buturi.co.jp/technology/geophy/>
- 2) 川崎地質(株)：技術資料, <http://www.kge.co.jp>

- 3) 物理探査学会：物理探査ハンドブック，手法編，1998.
- 4) 物理探査学会物理探査要領作成委員会：物理探査適用の手引き(とくに土木分野への適用)，2000.3.
- 5) マイクロサンプリング調査会：テクノ・ウォーターホールズ, <http://www.microsampling.org/waterholes.html>

Q 47. NOMSTによる発進・到達で振動が起きたと聞きましたが、どのような状況で発生するのですか、また、対策はありますか？

A. NOMSTは施工実績が200件近くなり、シールド発進・到達の直接切削工法として普通工法に位置づけられるようになってきました。この間、各種条件で、施工を担当した各社がNOMSTの技術的な検討や施工を行い、適用性を拡大してきました。NOMST研究会は、施工結果の詳細なデータを得るために実績調査を実施し、施工上の留意点を整理して、「NOMST発進・到達工の手引き」<sup>10)</sup>としてまとめています。今回の質問に対して、上記の調査結果をもとに振動発生要因を考察し、とくにNOMSTの施工で留意すべき項目を記述します。

(1) 騒音・振動の発生の現状

NOMST施工実績調査の回答件数は29件で、シールド工法別には泥水式21件、土圧式8件、また立坑形式別ではケーソン6件、柱列杭9件、連壁14件です。

1) 切削方数

図-1は、仮壁の種類別の切削に要した方数を表しています。昼夜で10方(5日間)以下が多いですが、16方(8日間)以上のケースもあり、掘進速度の低下や閉塞などの問題がありました。この中には切削不良によると思われる騒音・振動の発生事例が多く含まれています。また、連壁の種類には鋼製、ソイルモルタル、RCがありますが、トラブルが発生している種類はRC連壁で、切削性に問題が多いためと考えられます。

2) 切り込み深さ

ビットの切り込み深さ(図-2参照)の確保は、安定した切削にはとくに重要なことです。ビット先

端の形状は曲線半径1mm程度で製作しているため、この半径以上の切り込み深さを確保する必要があります。

図-3は、切削時のシールド切り込み深さ(掘進速度をカット回転数とNOMST用先行ビットのパス数で除したもの)の分布を示しています。切り込み深さ0.5mm以下のものは切削性が悪く、掘進速度が低下したことを表しています。ここでもRC連壁の事例は多いようですが、ケースにより切り込み深さにばらつきが大きく出ています。

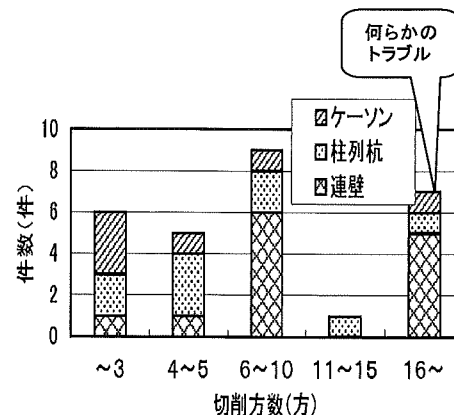


図-1 立坑形式と切削方数の関係

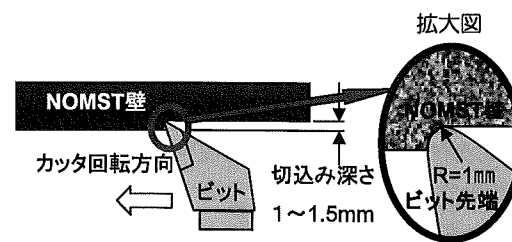


図-2 切り込み深さ

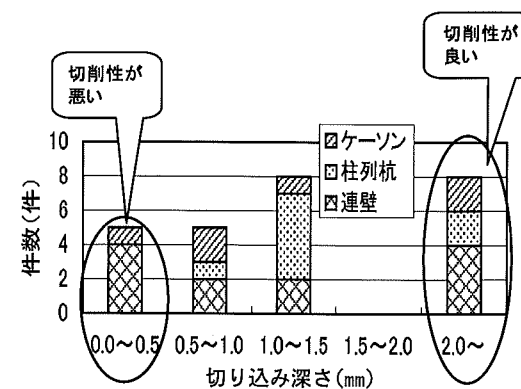


図-3 立坑形式とシールド切り込み深さの関係

今回の調査結果では、切り込み深さが1.0mm以下の場合、かつ立坑形式が連壁の場合に騒音・振動の発生がみられました。掘進速度が極端に遅い場合(掘進速度0.5mm/min以下)には、ビットが同じ箇所を切削し、その結果ビット摩耗を進行させているだけにしか過ぎません。したがって、NOMSTの効率的な切削を行う場合、切り込み深さを確保する掘進速度が必要であり、最低でも切り込み深さを1mm以上確保する必要があります。例えば、パス数が2パスで、カット回転数が1.0rpmのシールドでNOMSTを切削する場合には、掘進速度を2mm/min以上確保して施工する必要があります。

したがって、NOMSTでは1mm/min以下の掘進速度での切削が基本であると一般的に言われていますが、切り込み深さとの関係を保てば、掘進速度を1mm/min以下にする必要はありません。

3) 振動の意識調査

図-4は、施工担当者の振動に対する意識調査の結果です。振動の対策が必要と感じるレベルか感じないレベルかで分類しています。これは振動の大きさを問わない形式の意識調査ですが、RC連壁では多くの担当者は振動対策が必要と考えています。また、対策が必要と答えたRC連壁はすべてが矩形立坑で、円形立坑の担当者は不要と考えています。円形の場合、立坑壁体は圧縮力が卓越し構造的に安定するほか、矩形に比べ剛性も大きく変形が小さいためと考えられます。

4) ビット摩耗と振動

調査前、振動発生はビット摩耗に伴って到達時に多い、または、中小口径ではなく大口徑に限ると推測していましたが、発進と到達での振動発生比率、さらにはシールド外径別の振動発生比率には違いが認められませんでした。シールド外径別には違いがないことは日本トンネル技術協会の「発進・到達実態調査報告」のアンケート<sup>9)</sup>の結果からも示されています(図-5参照)。一方、極端に掘進速度を落とした事例を除くと掘進後のビット摩耗が認められなかったとの調査結果もあり、ビット摩耗が振動の主原因ではないと考えられます。

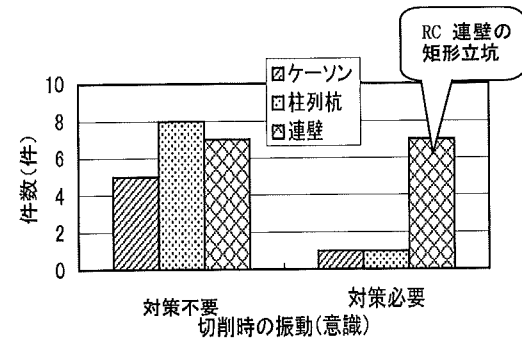


図-4 振動対策の意識調査結果

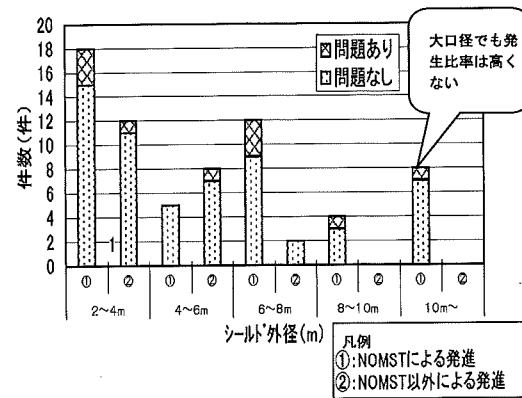


図-5 NOMSTとNOMST以外の直接切削工法における振動発生の有無

## (2) 振動発生の要因調査

振動発生の要因を特定するのは困難ですが、聞き取り調査結果をまとめると以下ようになります。

- ・ケーソンやRC連続壁で、NOMST部の現場打ちコンクリートに石灰石の骨材が使われなかったこと。
- ・NOMST用先行ビット間隔を大きくしたため掘り残し部が撤去されず、ティースビットに当たったこと。
- ・NOMST用先行ビットとティースビットの高低差が少なくティースビットでも切削していたこと。
- ・先行ビットのチップの欠けやチップの脱落により未切削部ができたこと。
- ・NOMST用先行ビットの数を増やしたためトルクが大きくなり、掘進速度を上げられなかったこと。

- ・先行ビットのパス数を増したため切り込み深さを確保できなかったこと。
- ・シールド発進時、反力部材の剛性が低く変位が大きかったこと。
- ・到達掘進時、到達壁反力受けの強度剛性が低く変位が発生したこと。

## (3) NOMST施工の留意事項

切削性の良否は振動の発生を防止するポイントです。とくに、大口径のRC連壁矩形立坑の場合には振動レベルが大きいと考えられ、切削性を向上させるための慎重な検討が必要です。

### 1) 立坑構築の留意事項

ケーソンやRC連壁で、NOMST部を現場打ちコンクリートとする場合、骨材に良質な石灰岩を用いてください。良質な石灰岩の入手が困難な場合は、プレキャスト材やモルタルの使用なども検討してください。

### 2) シールドの留意事項

NOMST用先行ビットの幅、間隔および先行量は、未切削部が剝離しやすい配置とします。ビット間隔は掘り残し部の幅をビット幅程度とし、先行量は掘り残し部の幅程度を確保した場合、切削性が良い結果が得られています(図-6参照)。ティースビットは背面肉盛り厚とピンタイプのガタに注意してください。この厚さを過度に大きくするとチップ先端がNOMST壁に直接当たらずに溶接部の背面で壁を擦ることになります。ビットの数と配置は切削トルクをチェックし装備トルクをもとに決めてください。パス数は推進時のビット切り込み深さが確保できるパス数としてください。

また、NOMST切削時では、安定した低推進速度での制御を可能とするため、シールドジャッキの油量を通常掘進の1/10~1/20程度まで制御できる専用の油圧制御装置が必要です。

### 3) 施工時の留意事項

施工にあたっては、シールドのトルクや推力の変化に注意し、切り込み深さを考慮した掘進速度を確保してください。また、掘進速度が小さいとビットの切り込み深さのばらつきが大きくなり、振動が発生しやすくなるため仮壁の固定とシールド

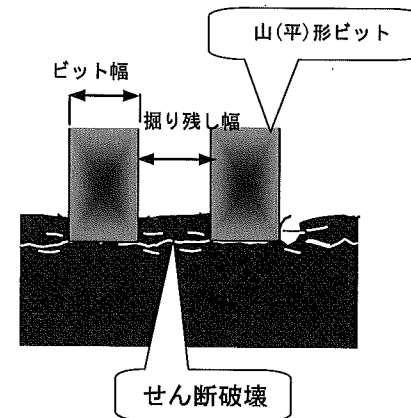


図-6 ビットの切削概念

の固定が重要となります。大口径での振動発生の主要因は壁の固定に問題があると思われ、とくに到達時の反力材の変形防止工による剛性確保が重要です。

## (4) まとめ

NOMSTによる発進・到達では、仮壁とシールドを固定したうえでビットの切削性を確保し、掘り残し部を適切に処理することで振動を最小に抑えることができます。また、日本トンネル技術協会の「発進・到達実態調査報告」によると10m以上の大口径施工結果より、8件中7件は振動もなく無事切削が終了されていることを付記いたします。

(文責：早川淳一/佐藤工業(株))

## 参考文献

- 1) NOMST研究会：NOMST発進・到達工の手引き，2006.6.
- 2) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.36，No.2，pp.55-61，2005.2.

## 連載講座を終えるにあたって

2007年7月より約1年にわたって連載してきました「シールド工事の施工に関するQ&A」講座は、今回をもって終了いたします。この間、本講座をご愛読いただきました読者の皆様に感謝申し上げます。

この講座は、シールド工法に関する皆様の日

常疑問に感じている点について解説し、Q&A方式にまとめたものです。回答は、現場の第一線で活躍されている技術者にお願ひし、若い技術者が現場ですぐ役に立つ、わかりやすい内容といたしました。

シールド工法は、今では日本の特殊工法ではなく、世界的に都市トンネルの代表工法と位置づけられています。シールド工法に関する技術者は、安全性確保と適応性拡大に、常に試行錯誤と創意工夫で対応してきました。このQ&Aを通じて、シールド工法の施工ノウハウを「技術の伝承」の一環として残すことができると考えております。同時に、この連載が今後のシールド技術の発展進歩に少しでも寄与できれば幸いです。

今回、施工Q&Aを始めるにあたって、関係者からいただきました質問すべてを取り上げることはできませんでした。また、内容的にも限られた誌面で記述するのは難しく、説明不足な箇所や幹事会で議論を尽くせなかった項目もあったのでは、と危惧いたしております。

最後に、熱心に討議いただきましたWG委員、ならびに執筆者の方々に感謝いたします。(文責：中島泰彦/Q&A施工WG主査・(前)東京都下水道局)

## Q&A連載講座掲載項目(掲載年月)

### 1. 発進準備工

- (1) 発進基地の工法別、径別の最小および標準面積 (2008年2月号 Q26)
- (2) 発進、到達時における地盤改良工法の種類と得失 (2007年10月号 Q12)
- (3) 発進準備工の計画および施工上の留意点 (2007年9月号 Q8)

### 2. 掘進設備

- (4) シールド仮設備の配置計画上のポイント (2008年2月号 Q27)
- (5) 土砂搬出の方法と得失 (2007年7月号 Q2)

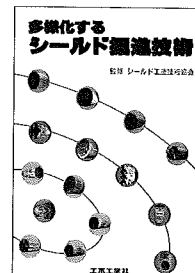
### 3. 測量

- (6) シールドの長距離化に伴う坑外測量の新しい

- い方法と留意点 (2007年7月号 Q3)
- (7) 中間立坑や測量観測孔がない場合の坑内測量方法 (2008年4月号 Q35)
- (8) 掘進管理測量における自動測量の現状, 精度, 信頼度 (2008年2月号 Q28)
- 4. 掘進管理
- (9) 土質条件に応じたシールドの姿勢制御のポイント (2008年1月号 Q21)
- (10) 掘進指示書作成のポイント (2007年8月号 Q4)
- (11) 工法別(泥水式, 泥土圧)の掘削土量管理の方法, ポイント (2008年3月号 Q31)
- (12) 泥水式シールドにおける流体制御 (2007年8月号 Q5)
- (13) 密閉式シールドでの切羽圧の設定方法の考え方と留意点 (2007年9月号 Q9)
- 5. 一次覆工管理
- (14) セグメントのクラック・欠けの防止および補修の方法 (2008年3月号 Q32)
- (15) セグメントの防水工の種類とその特性 (2007年10月号 Q13)
- 6. 裏込め注入管理
- (16) 裏込め材料の種類と得失 (2007年11月号 Q14)
- (17) 同時裏込め注入装置の長所・短所および留意点 (2008年3月号 Q29)
- (18) 土質に対する裏込め注入管理上の注意点 (2008年4月号 Q33)
- 7. 泥水式シールドの泥水管理
- (19) 泥水式と土圧式で, どのような場合にどちらが有利となるか (2008年6月号 Q40)
- (20) 土質別泥水比重と粘性の適正値および泥水管理上の不具合 (2008年8月号 Q45)
- (21) 泥水式シールド工法の逸泥や噴発に対する対処方法 (2008年6月号 Q41)
- 8. 土圧式シールドの添加剤管理
- (22) 泥土圧シールド工法の添加剤の目的と選定 (2008年1月号 Q22)
- (23) 土圧式シールド工法でのポンプ圧送が可能

- な地山条件と添加材 (2007年11月号 Q15)
- 9. 環境対策
- (24) 泥土圧シールド工法での建設汚泥の判断基準 (2007年11月号 Q16)
- (25) シールド掘進時の低周波音対策と効果 (2008年5月号 Q36)
- (26) シールド掘進に伴う地盤変状のメカニズムとその防止対策 (2008年3月号 Q30)
- 10. 急曲線対策
- (27) 急曲線施工における補助工法の必要性和有効な方法 (2008年7月号 Q43)
- (28) 急曲線での施工管理方法 (2008年7月号 Q44)
- (29) 中折れ装置を装備する基準とその使用・管理方法 (2007年7月号 Q1)
- (30) 急曲線施工時の必要余掘り量の考え方とその使用時期 (2007年11月号 Q17)
- 11. 近接施工
- (31) 既設構造物に近接して施工する場合の対策の要否の判定 (2008年5月号 Q37)
- (32) 近接施工による既設構造物の挙動予測解析 (2008年1月号 Q23)
- (33) 近接する既設構造物への影響を防止する対策方法 (2008年6月号 Q39)
- (34) 近接施工における現場計測管理 (2007年9月号 Q10)
- 12. 大深度・長距離施工
- (35) 大土かぶりシールドにおける計画の留意点 (2007年8月号 Q6)
- (36) カッタービットの摩耗予測方法と摩耗低減方法, 交換方法と留意点 (2008年4月号 Q34)
- (37) 地中接合方法と施工上の留意点 (2007年9月号 Q7)
- 13. 障害物対策
- (38) 埋設物や障害物探査に対する探査方法と適応範囲 (2008年8月号 Q46)
- (39) 礫地盤で想定されるトラブルの要因と留意点 (2008年2月号 Q25)
- (40) 基礎杭の事前撤去方法 (2007年12月号 Q18)

- (41) 障害物をシールドで切削撤去する工法 (2007年12月号 Q19)
- (42) 到達工
- (42) 発進・到達で仮壁撤去工法と仮壁切削工法の得失 (2007年10月号 Q11)
- (43) NOMSTによる発進・到達時の振動の発生要因と対策 (2008年8月号 Q47)
- (44) Uターンなどシールドを引き出す場合の坑口設備と補助工法 (2007年12月号 Q20)
- (45) 到達坑口からの漏水対策 (2008年1月号 Q24)
- 15. トラブル等
- (46) 同時裏込め注入管を使用する場合の問題と対処方法 (2008年5月号 Q38)
- 16. 思い込み等
- (47) NOMSTによる発進方法で地盤改良は必要か (2008年7月号 Q42)



# 多様化するシールド掘進技術

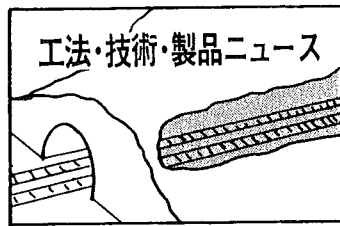
監修 シールド工法技術協会  
B5判 141頁 本体価格2,500円

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, 適用での留意点などが, 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



### 工法・技術・製品ニュース

#### TDRショット工法を道路トンネル補強工事に初適用

飛鳥建設は、福岡北九州高速道路公社発注の「北41工区トンネル改築工事」における坑口部補強工事に同社保有技術であるTDRショット工法をトンネル工事に初適用した。同工法は、橋梁、立坑、水路トンネルなどの補修・補強工事で多くの実績を積んでいるが、道路トンネル補強工事では初適用。

同工法は、中性化や塩害などの劣化外力により損傷を受けたコンクリート構造物を高品質モルタルの湿式吹付けによって断面修復する工法で、高品質な無機系材料を使用することで従来のポリマセメントモルタルを用いる断面修復工法と同等以上の品質を確保し、さらに硬化促進剤を用いることで、高い厚付け性能を実現し、施工性を向上させるもの。

同社の技術研究所で行った室内実験から、既設コンクリートと高性能吹付けモルタル(TDRモルタル)の複合部材でありながら、終局状態まで一体となって機能し、一体打ちコンクリートと同等の曲げ、せん断耐力が得られることを確認している。

補強工事は、高速道路供用下で、高所作業車上の限られた作業空間や、時間制限のある車線規制内での作業となり、厳しい条件下での施工だったが、TDRショット工法の特徴である硬化促進剤の厚付け効果により、施工の効率化が図られた。

同工事は、奥田トンネル(652m)および黒川トンネル(190m)の老朽化に伴う補修・補強工事で、両トン

ネルとも昭和30年代前半に構築され、施工後50年以上が経過していた。そのため、坑口部の面壁やトンネル内の覆工の補強が必要な状況であった。

#### オフロード法対応の 8トンクラス油圧ショベル 後方超小旋回機を新発売

新キャタピラー三菱は、都市部の工事や林業、解体、産廃、トンネルなど、さまざまな現場で使用され、また大型機の搬入が困難なスペースの限られた現場でも生産性と汎用性を発揮する8トンクラスの油圧ショベル後方超小旋回機CAT 308D CR「REGA」(バケット容量0.28m<sup>3</sup>、運転質量7.85t)を発売した。

同機は2001年発売のCAT 308C CRのモデルチェンジ機。今回のモデルチェンジでは、10月から当該クラスの規制が始まるオフロード法の適合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も適合(申請中)する優れた環境性能を備え、エンジン出力の向上、新油圧システムの採用などにより、従来機を上回る時間あたり作業量を実現した。また、新搭載のエコノミーモードにより経済性も大きく向上させた。さらに、信頼性や耐久性、メンテナンス性、居住性も向上するなど、幅広い用途に対応可能なベースマシンとした。

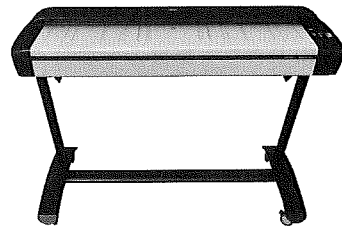


#### A2サイズからB0 オーバーサイズに完全対応

コンテックス スキャニング テクノロジーは、最新のシリーズ「HDシリーズ(13モデル、A2サイズか

らB0 オーバーサイズに対応)」を国内市場に投入した。

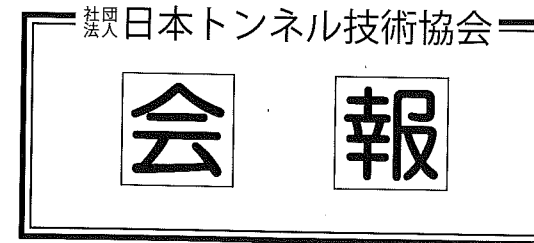
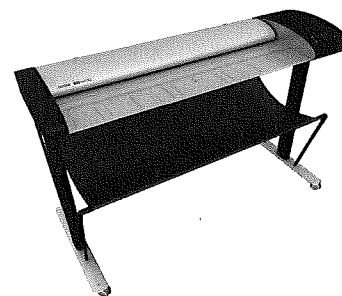
同シリーズは、現在のビジネス環境にマッチする筐体色を採用するとともに、スキャニングに重要とされる生産性や画質、高精度、原稿への対応力など、さまざまな面で優れた性能と特徴を持たせることで、大量にある原図のデジタル化や特殊な大判サイズのスキャニングのみならず、破損しやすい原稿や厚手原稿のスキャニングのニーズなど、同シリーズの導入により業務に効率化と新たな付加価値をもたらすと期待される。



#### 大判イメージング ソリューション

コンテックス スキャニング テクノロジーは、導入のしやすさと取り扱いやすさを追及した大判スキャナSDシリーズ4モデルを発売した。

同シリーズは大判スキャナではクラス最高の光学解像度1200dpiを備え、CIS(密着イメージセンサー)方式を採用した新しいシリーズ。建設業における技術資料や図面、地図などのデジタル化を推進するとともに、ファイリングや、大判サイズまでのプリント・コピーの内製化のニーズに応える。



### 1. 会員の現状

	6月25日現在
正 会 員	1,962名
団体会員	351名
個人会員	1,611名
名 誉 会 員	1名
計	1,963名

### 3. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第34回ITA総会およびコンGRESS 「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 19~25	ニューデリー (インド)	CBIP(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) <a href="http://www.cbip.org">http://www.cbip.org</a>
第35回ITA総会およびコンGRESS 「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

### 4. 平成20年度催物開催現況

催 物 名	開 催 日	人数	場 所
(見学会)			
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	20	神奈川県
都下水道現場研修会	2008. 7.30	20	東京都
首都高速中央環状新宿線現場研修会	2008. 8.19	20	東京都
福岡市下水道現場研修会	2008. 9.12	20	福岡県
北海道新幹線トンネル他現場研修会 (施工体験発表会)	2008.10. 9~10	30	北海道
第62回(山岳) 「周辺の環境条件を配慮し、新技術を駆使したトンネル工事」	2008.10.23	200	東京都
第63回(都市) 「都市部の特殊条件下でのトンネル工事」 (講演、講習会)	2008.10.24	200	東京都
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)			
第11回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)			

## 9月号予告[9月1日発売予定]

- 北陸新幹線 新親不知トンネル
- 徳島南環状道路 法花トンネル
- 大阪市営地下鉄8号線
- 京都府桂川流域雨水対策事業 いろは呑龍トンネル

### 【連載講座】

- 山岳トンネル先進ボーリング入門(1)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆7月5日、東海北陸自動車道の未開通区間25kmが開通し、これにより東海北陸自動車道185km(小矢部砺破JCT~一宮JCT)の全線が開通となりました。この未開通区間には、掘削開始から貫通まで9年半を要し、国内屈指の難工事となった飛騨トンネルの10.7kmが含まれています。飛騨トンネルの開通により関越トンネルに次ぐ日本第2位の道路トンネルが誕生となりました。

◆飛騨トンネルの施工報告は、これまでに本誌で5回採り上げていますので工事内容につきましてはご存知の方も多いかと思います。飛騨トンネルの工事と言えば「大量湧水」や「不良地山」をキーワードに思い浮かべる方が多いのではないのでしょうか。本誌に過去に掲載した「大量湧水の写真」や「支保工がぐしゃっと曲がった写真」は土木技術者でなくても工事の大変さがわかっていただけるような印象の強い写真でした。トンネルの施工報告の編集を専ら仕事にしているわれわれでも「こんなところで本当に工事ができるのかな」、「安全に工事が終わられるのかな」など施工報告の写真を見ながら思ったものでした。幸いにして「死亡事故ゼロ」で貫通され、工事に携わった方の安全管理に感服するとともに開通に際しましてお祝いを申し上げたいと思います。

◆現在、編集委員会では「飛騨トンネル開通記念特集号」を企画しております。数箇月後には内容の濃い「飛騨トンネルの施工記録」を読者の方にご紹介できると思いますのでご期待ください。

(I.Y)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

## トンネルと地下

第39巻 第8号 (通巻456号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成20年7月20日 印刷

平成20年8月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://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。

## 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のとなり安全性は格段に向上している。また、起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し、振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している。さらに、近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から、発破の機械化、自動化が進められている。削岩機においては、自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている。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

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

### 推薦のことは

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実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

### 《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

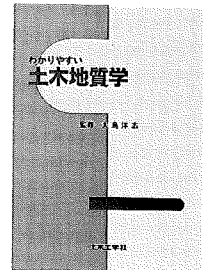
申込者



## 土木工学社の地質学書

[好評発売中]

# わかりやすい 土木地質学



大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 送料340円

### 主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

- 1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

### 第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

### 第II編 トンネル工事と地質条件

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

### 第III編 地質調査法

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

### 第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

### 〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学 P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著 大西有三 監訳

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

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

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

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

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

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

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

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

株式会社 **土木工学社**

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

**TAIKU**



# CL301E型 カッターローダ

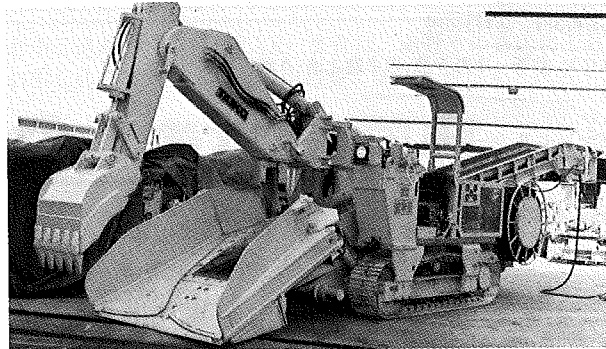
**強力な掘削**  
最大掘削高さ6.6m

**特長**

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

**トンネル掘進機の本命・カッターローダ**  
山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

## RL型タフローダ



RL10

## 油圧式ズリ積機

アタッチメントとして  
カッターヘッド  
油圧ブレーカ搭載可能

型式	RL16	RL10	RL5-1
適用ズリ取断面	10~32m <sup>2</sup>	7~30m <sup>2</sup>	4~14m <sup>2</sup>
油圧パワーパック	53kW	45kW	31kW
ベルトコンベア能力	150m <sup>3</sup> /H	150m <sup>3</sup> /H	70m <sup>3</sup> /H
質量	16.5トン	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

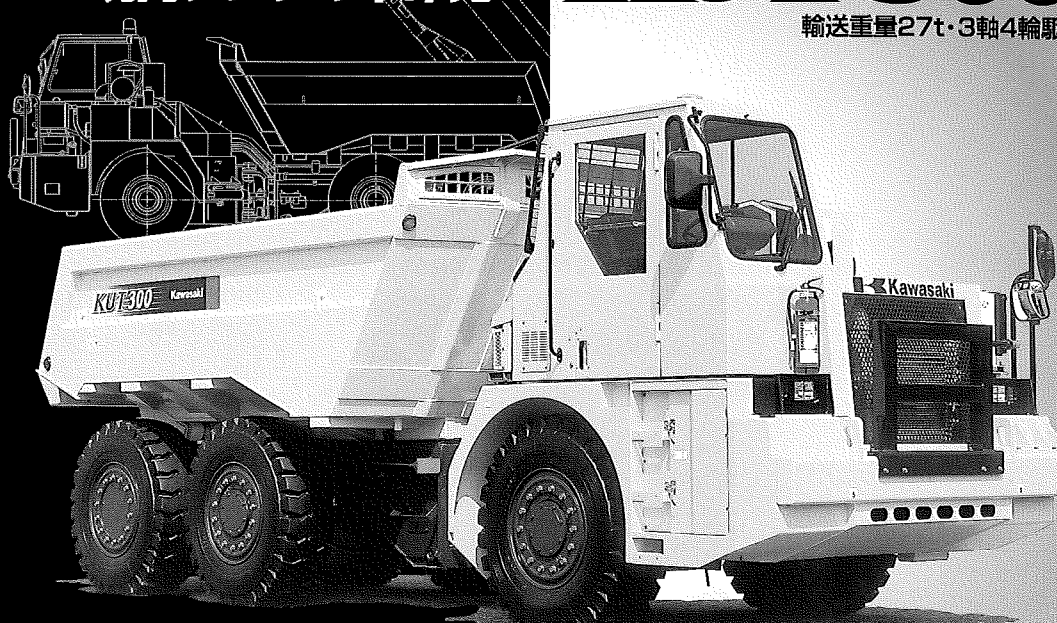
本社 〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号 ☎(03)3741-3131(代表) FAX(03)3741-6457

Kawasaki

# KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動

コンパクトで大出力  
坑内ダンプの革命児!!



**コンパクト**

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

**大出力**

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

**クリーン**

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

**安全**

- 安全性  
・4段階調整式リターダ  
・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m <sup>3</sup> )
80ZV	2.5
90ZV	3.2

ズリ積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■ロードホールダンプ

モデル名	バケット容量(m <sup>3</sup> )
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/>