

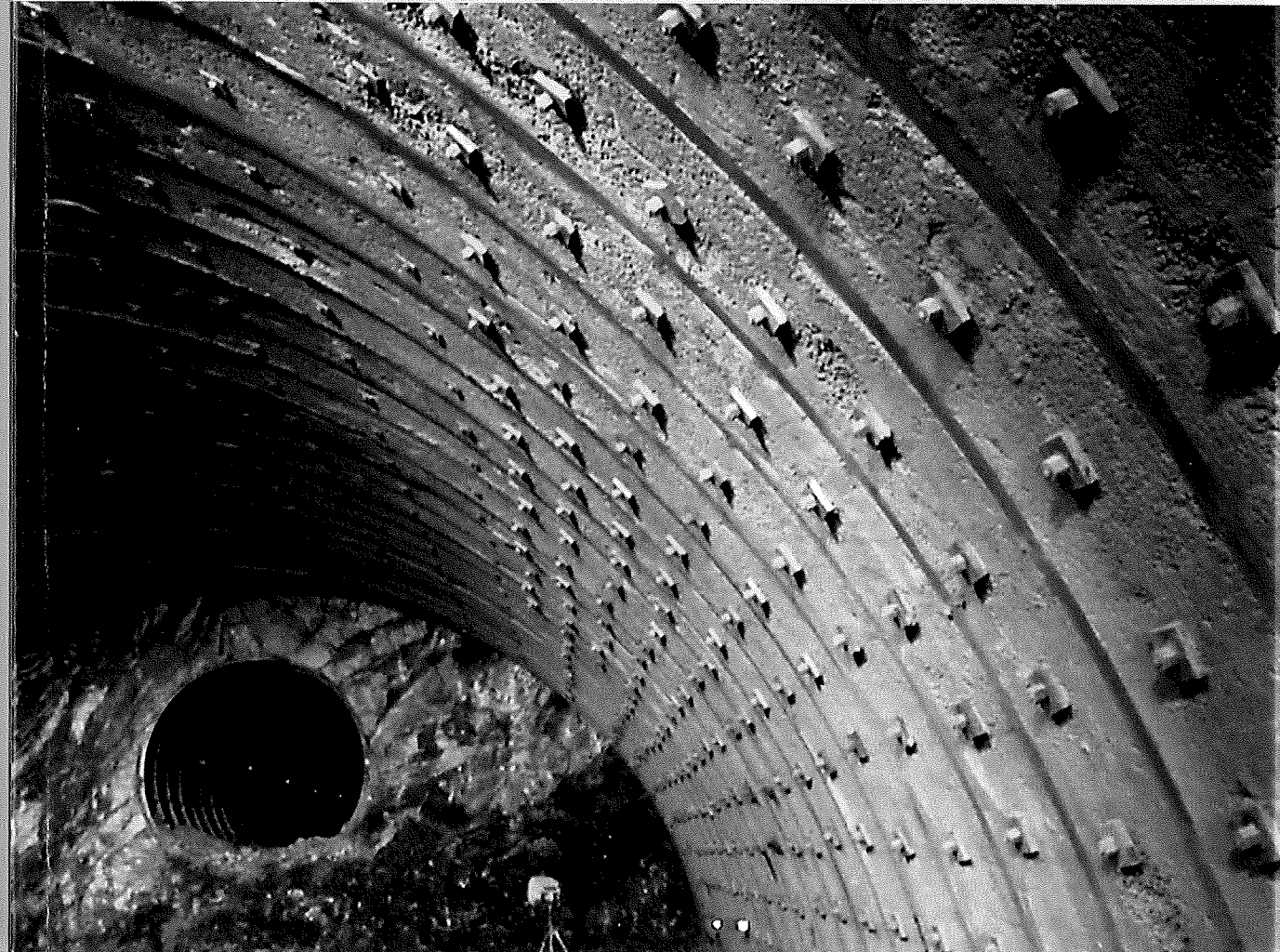
# トンネルと地下 **2**

vol. 39  
no. 2  
2008

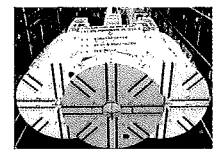
Tunnels and Underground

小土かぶり未固結地山でのトンネル掘削  
大断面トンネルを多様な施工技術で掘削  
既設地下重要構造物下を二種類のシールド工法で克服  
計測管理により構造物に近接してシールドを施工  
セグメントリング継手の損傷分析と対策

日本トンネル技術協会誌

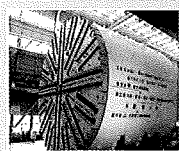


## トンネル開発技術に 60余年のヒストリー。



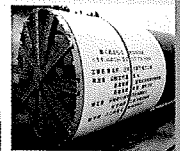
1995

〈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



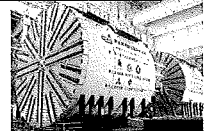
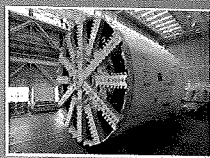
2004

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



2006

〈ドバイLRT用シールド〉  
ドバイの交通網の発展に貢献



1993

〈世界最大級の泥水式シールド〉  
東京湾横断道路工事で活躍



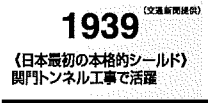
1989

英仏海峡トンネルT-5工区貫通式  
完成にわく関係者たち



1939

〈日本最初の本格的シールド〉  
関門トンネル工事で活躍



世界中で  
1677台の  
実績!

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

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

### 三菱重工地中建機(株)のシールド式トンネル掘削技術

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

定価 1,575円  
本体価格1,500円

雑誌06619-2



4910066190286  
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**

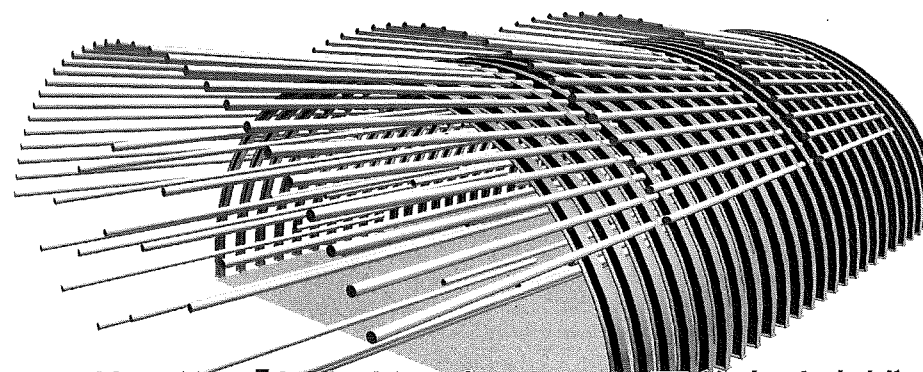
電気化学工業株式会社

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

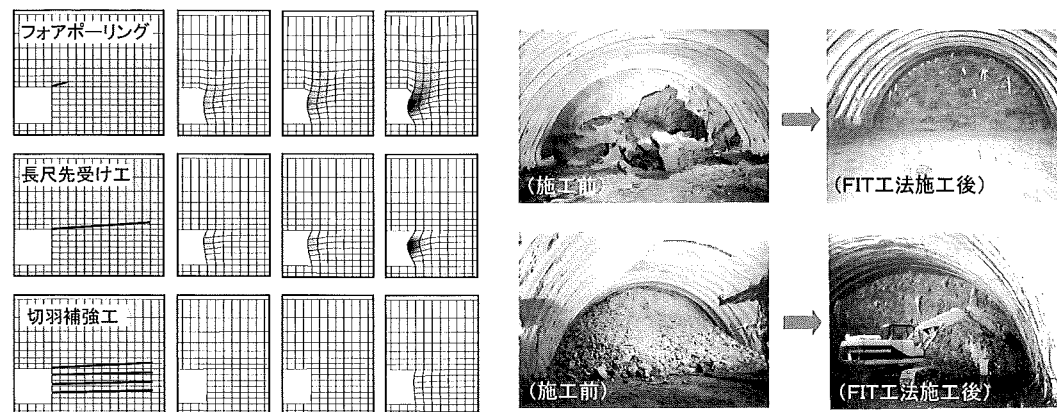
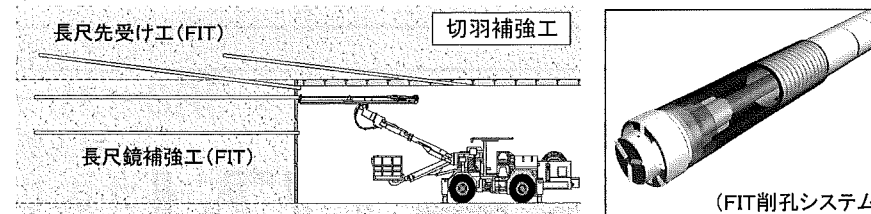
全方位 GFRP 管長尺補強システム

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

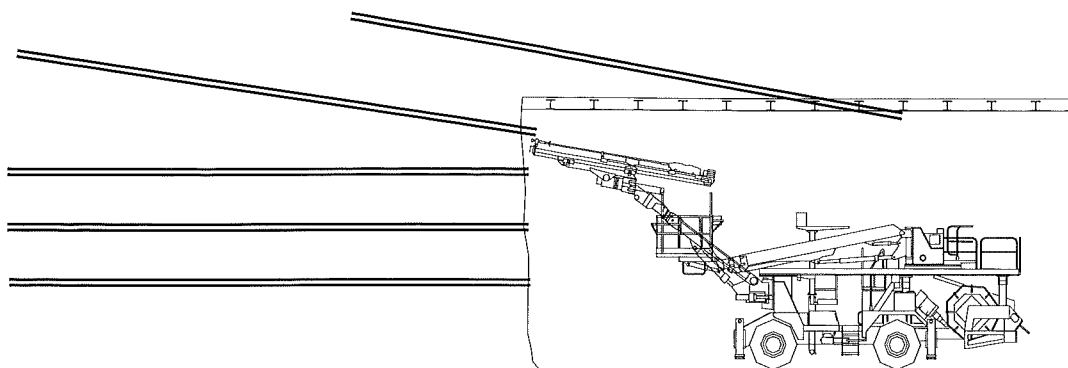
東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233  
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755  
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

全方位切羽補強工法

# パノラマ工法

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



アルカリフリー型液体急結剤

# AFK-777J

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

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



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

# トンネルの補助工法

注入式長尺先受工法

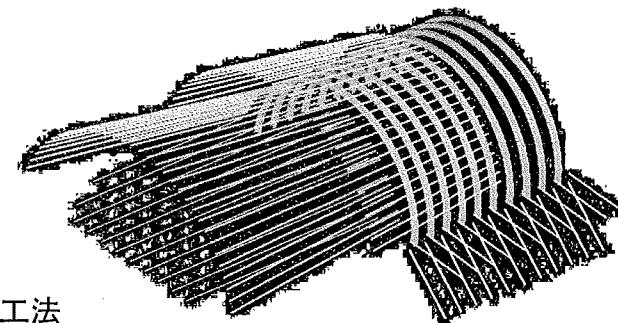
- AGF工法
- AGF-P工法
- AGF-S工法
- AGF-WOO工法
- AGF-E工法

小口径長尺先受工法

- SMALL-P工法
- FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法

- パノラマ工法



発泡型シリカレジン

スーパーSRF

無機系注入材

シリカセーフ

株式会社 カテックス 建設資材事業部

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

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

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

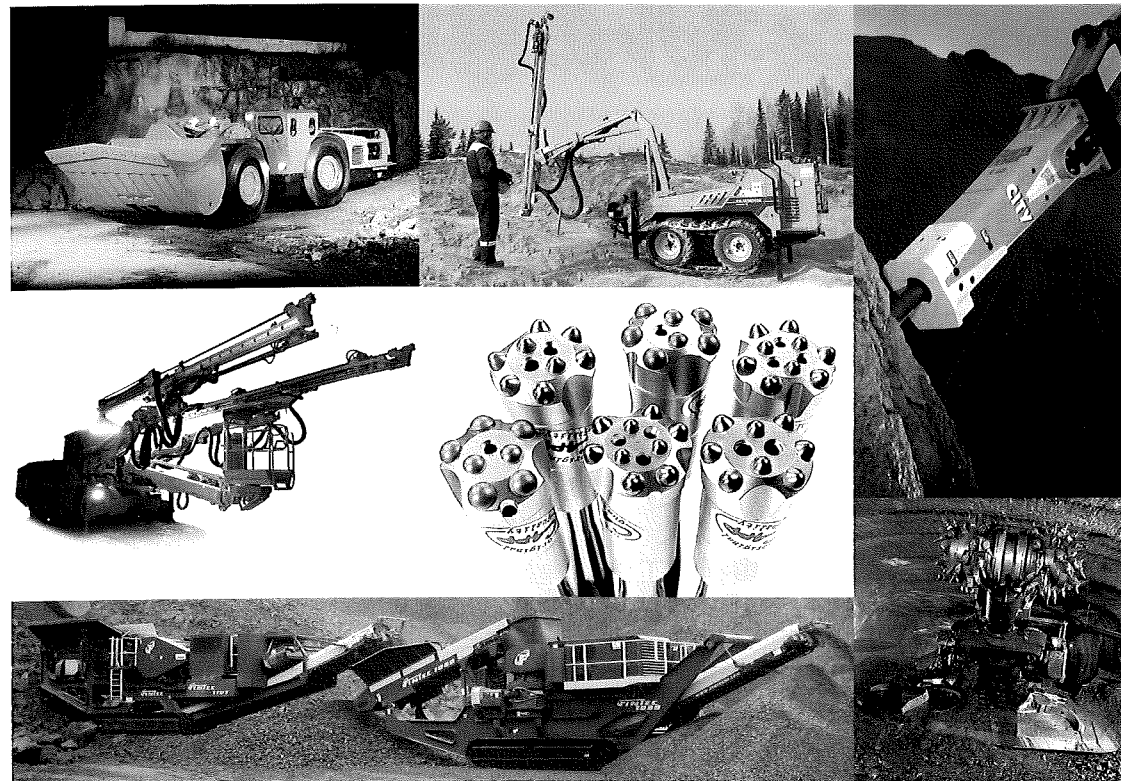
東京支店  
〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号  
第2麻生ビル2階  
TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648

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

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

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

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**

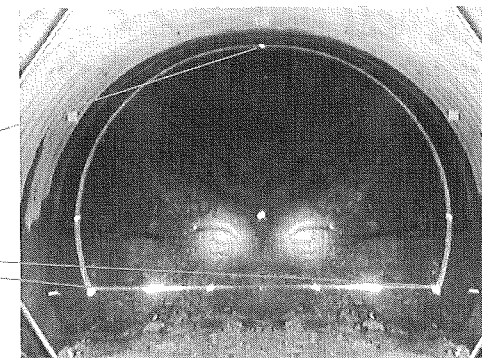
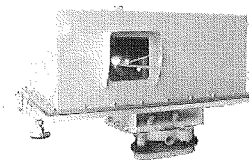
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階 TEL045-478-0862/FAX045-478-0861

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

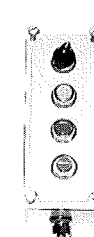
# レーザーマーキングシステム

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

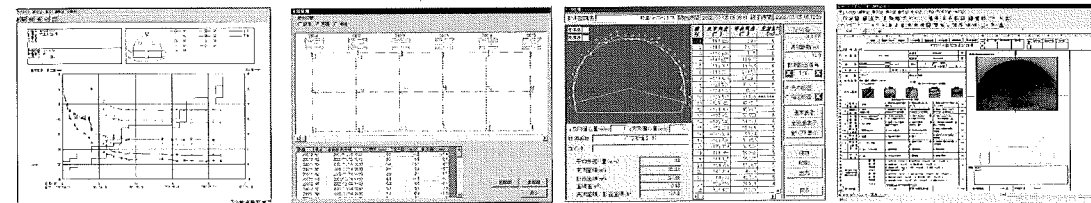


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

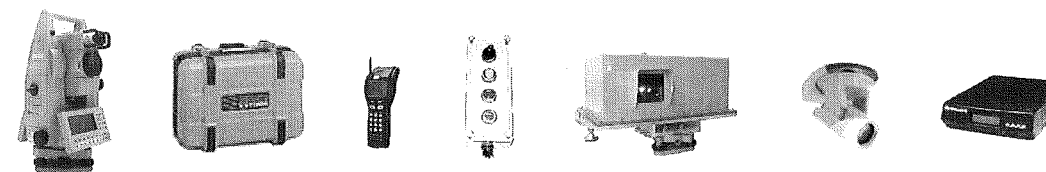


ジャンボに取付けて使用可  
AC200V対応

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〕

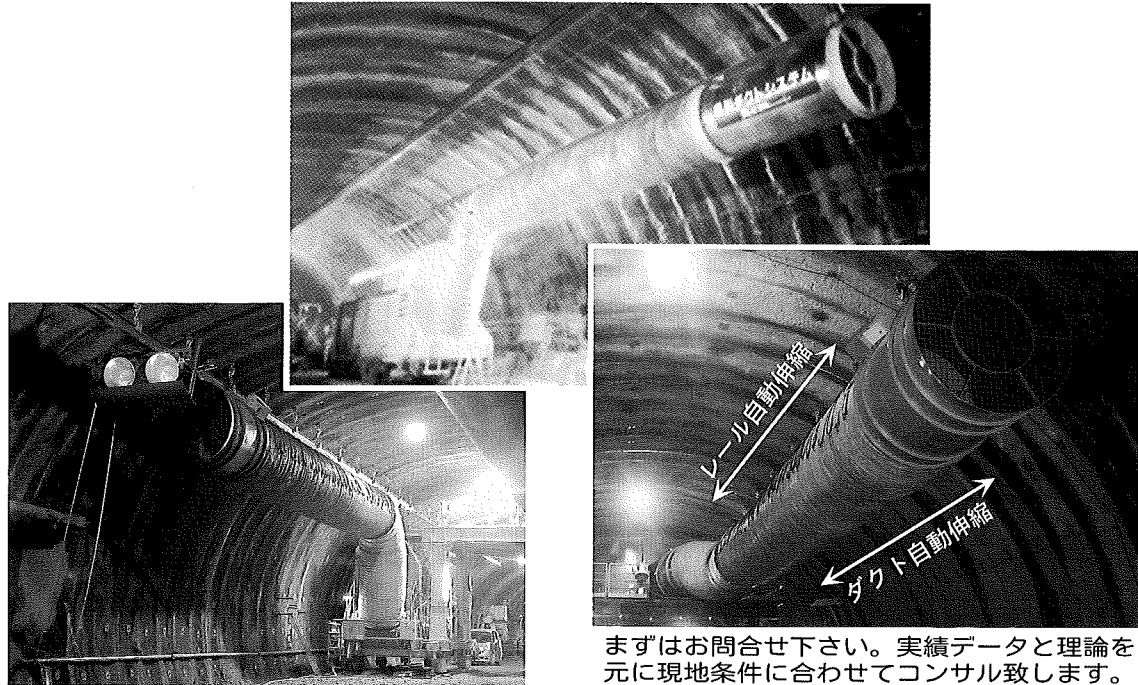
古河ロックドリル株式会社

伊藤忠建機株式会社

株式会社レント

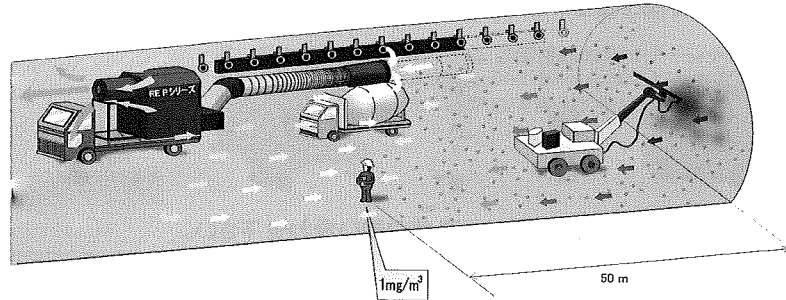
# 吸引ダクトシステム

**業界初** 吸引ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕  
ガイドラインをクリア 1mg/m<sup>3</sup>達成!!



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

- ・発生源粉塵対策の決定版。
- ・ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- ・掘削工法や作業サイクルに適合、操作にお手間をとらせません。
- ・最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ・適応径はΦ600～Φ1500、負圧-2kPa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可、移動照明を使用することで切羽作業効率、安全性が大幅にアップ。その他の口径・延長はご相談下さい。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary

**株式会社 流機** エンジニアリング

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

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 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

あーりえーるの 静かなアリエルです



今時、静かなのは当たり前!!

ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。  
シールド、都市NATMなどの都市環境や

大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。

必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

- 超低騒音: エアロMAX 最小値78dB(A)、アリエル 当社比-5dB
- 省エネ: インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人-△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
- 高効率: 固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
- 制御: ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。  
(特許 第1742880 ダストセンサーによるインバータ制御)
- 使い易さ: 軽量、INV高調波対策も万全、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。  
高価なフリッカ対策設備も不要。
- コンサルティング: 長年にわたって経験して参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×2～200kW×2の幅広い品揃えで対応します。  
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary

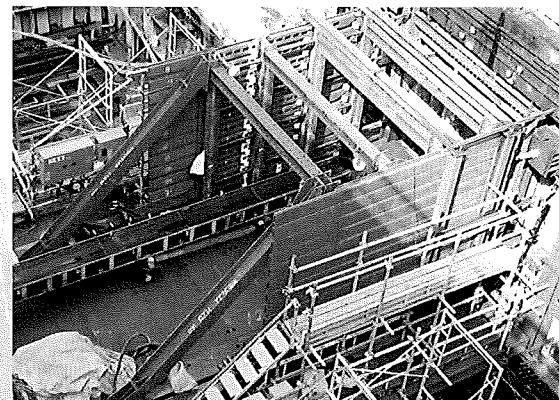
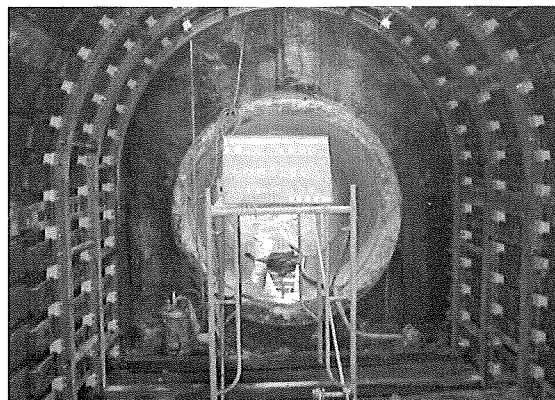
**株式会社 流機** エンジニアリング

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

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 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

# アーストンネル掘削工法に最適

## SS-メッセル工法



30年の実績(工法指導致します)

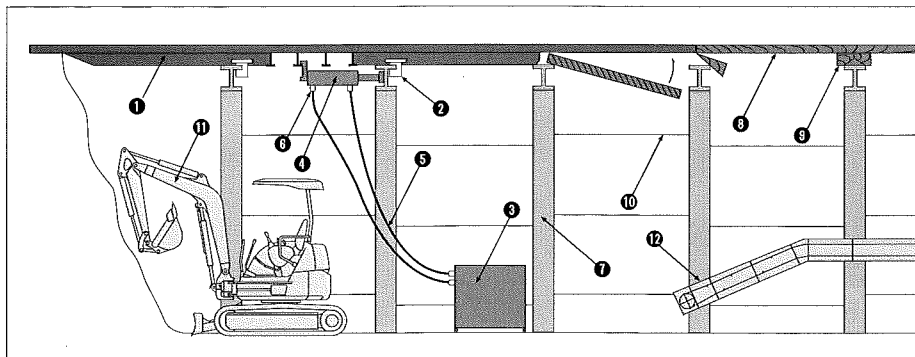
### 特徴

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

### 実績

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

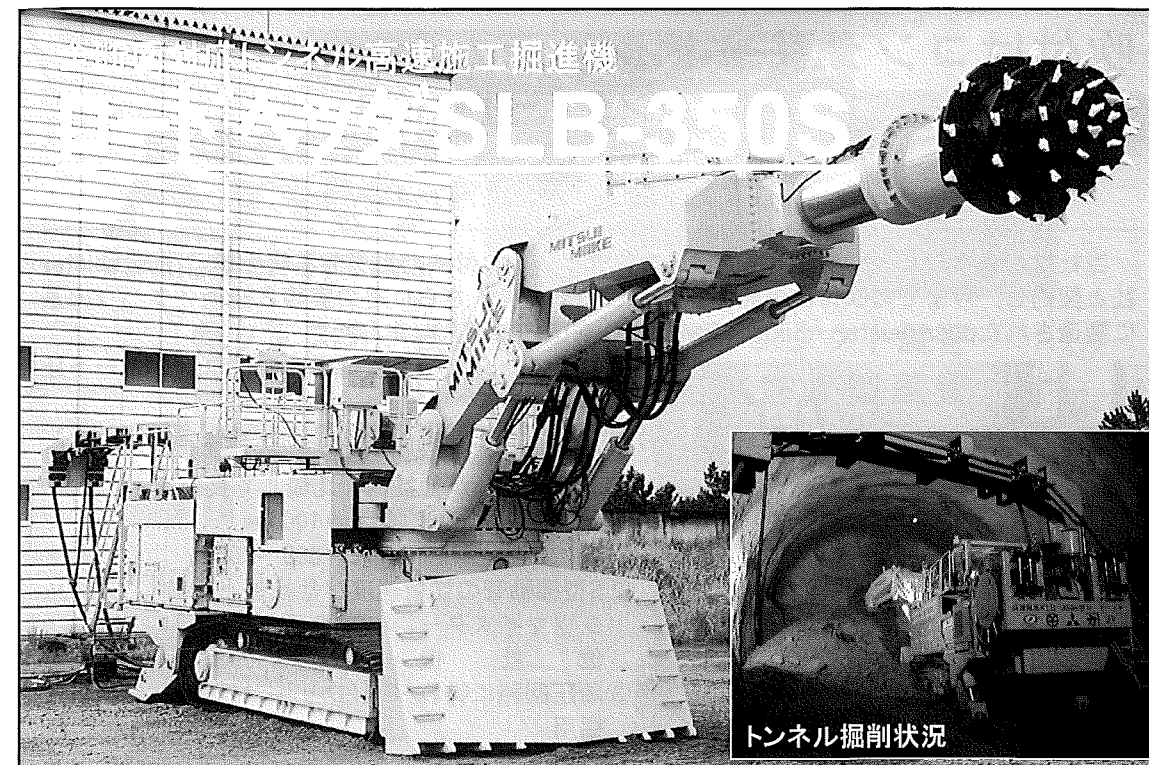
### SS-メッセル工法概略図



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

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

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

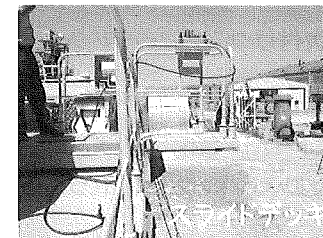


## 大断面トンネルの高速施工を目指して

### 特徴

- 国内最大の350kW・4/6P定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても充分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ※1,2 ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッダ単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。  
※2 播磨・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。



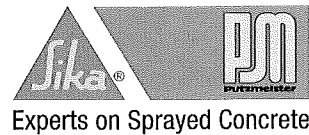
販売・レンタル 及びメンテナンス **三井三池株式会社** 本社/〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目11番7号西日暮里ワイエムビル  
TEL.03-3241-4711 FAX.03-5615-1180

札幌営業所 TEL.011-817-5220 / 大阪営業所 TEL.06-6308-1090 / 福岡営業所 TEL.0944-59-6201

製造元 **株式会社三井三池製作所** 本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館  
産業機械部 TEL.03-3270-2006 FAX.03-3245-0203

<http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail [koken@mail.mitsumiike.co.jp](mailto:koken@mail.mitsumiike.co.jp)

## 吹付けコンクリートシステム



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

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

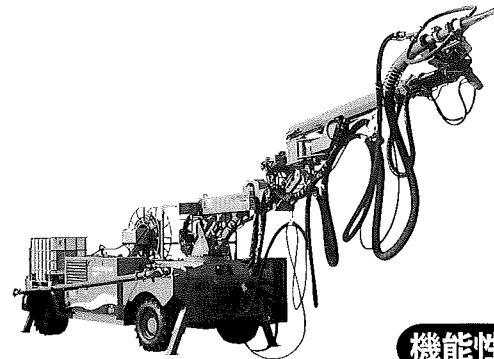


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

### プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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



### コンパクトで群を抜く使いやすさ!

機能性、機動性の基に理想的な機械化を実現!

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

### トンネル関連製品

#### 吹付けコンクリートシステム

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

一体型吹付機・特殊型吹付機  
設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

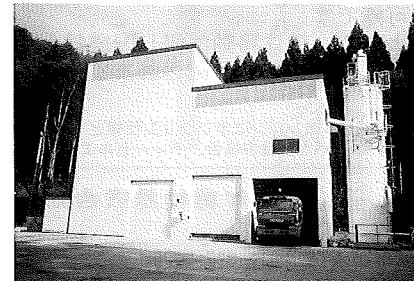
**VOLVO** ダンプトラック  
(A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

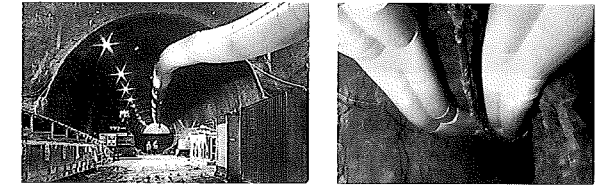
バッチャプラント  
(全自動式、3槽クラム式、簡易型、特殊型)



設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

## トンネル換気システム

**ABC**  
VENTILATION SYSTEMS



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

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

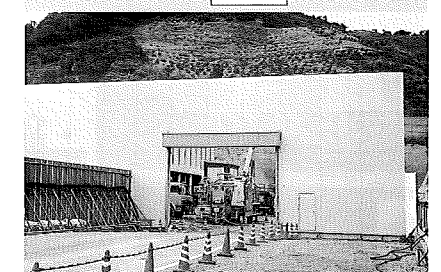
## 騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



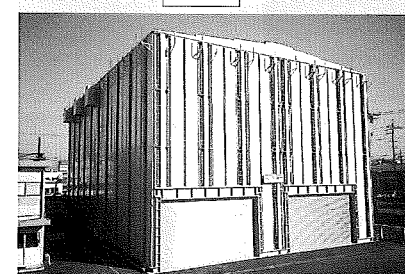
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



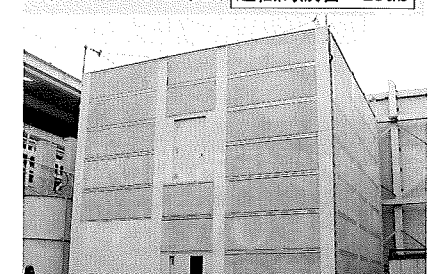
適応性の優れた防音パネル

エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

**東友エンジニアリング株式会社**

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

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

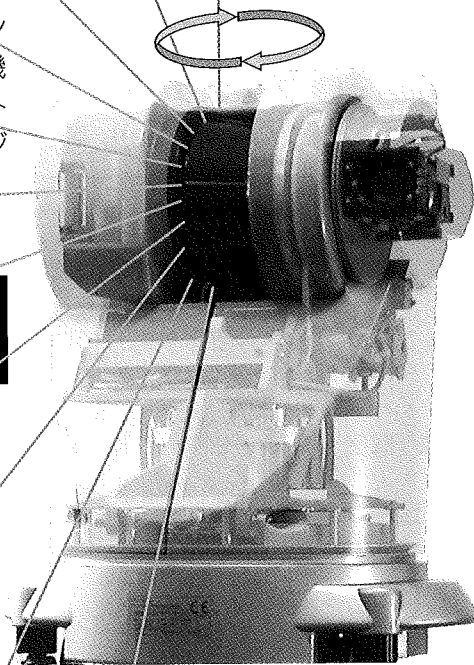
# Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

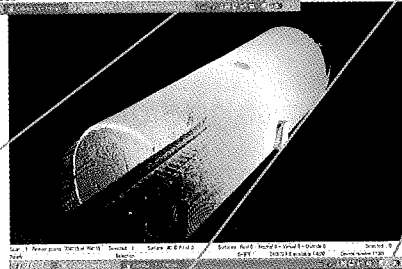
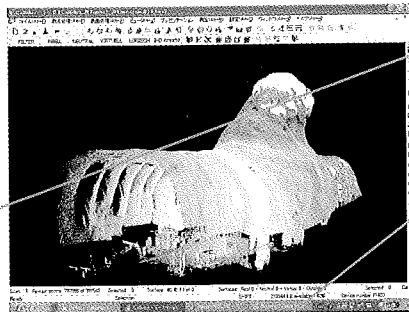
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m<sup>(1)</sup>の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



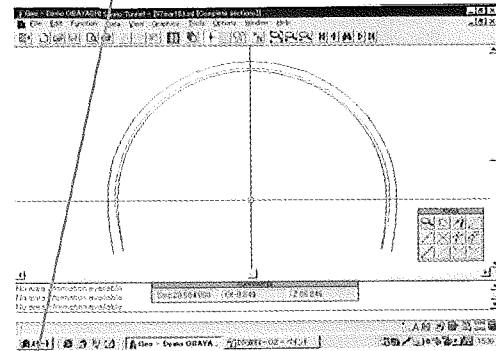
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

## データ解析および製図「GEOWIN」

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



### 販売・レンタル 株式会社ソーキ

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

### 製造元 トリンブルジャパン株式会社

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

# Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

## カナレックスML

- 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。
- 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。
- 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。
- 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ**

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



## ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる ワンタッチ継手付ハンドホール

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ercial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

# TFT のトンネル資材

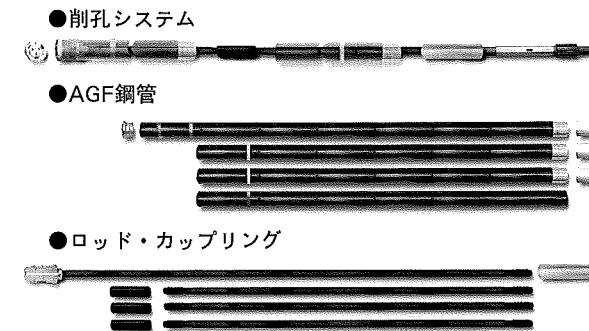
## ▼ AGF工法

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

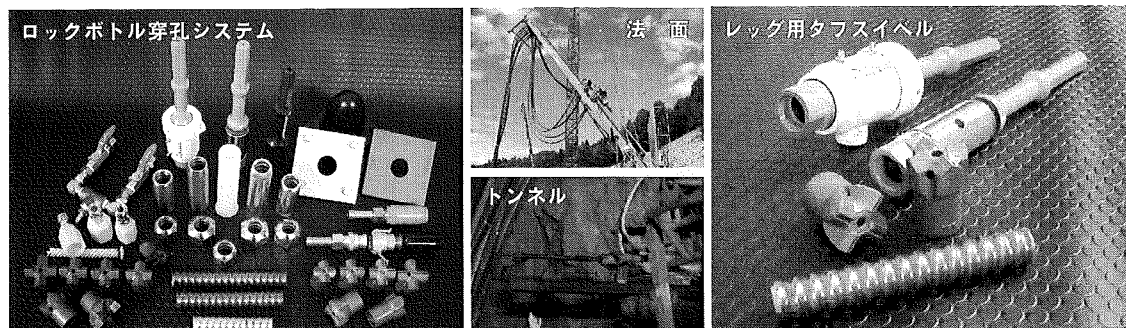


## ▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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

新社屋完成

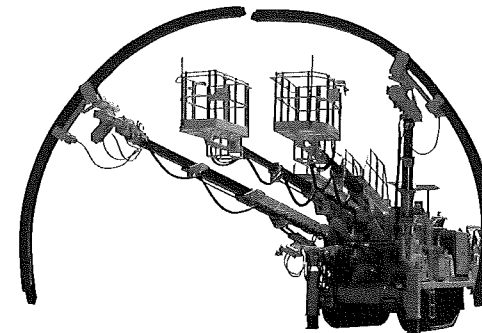
常設展示



## 当社オリジナル機ラインナップ

### SCORPION スコーピオン

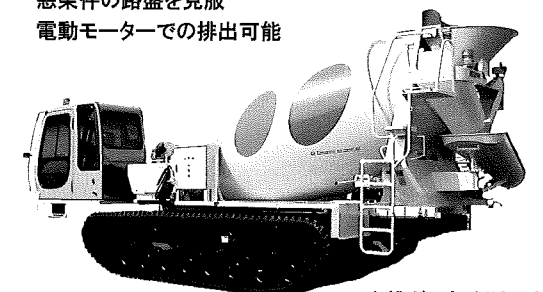
ゴムクローラー式一体型エレクター



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

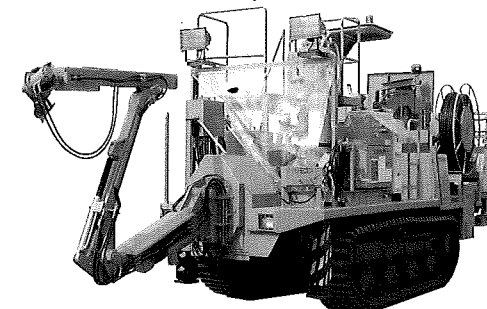
### ゴム・クロミキサー車

車両年次検査不要  
悪条件の路盤を克服  
電動モーターでの排出可能



二次排ガス規制適合機

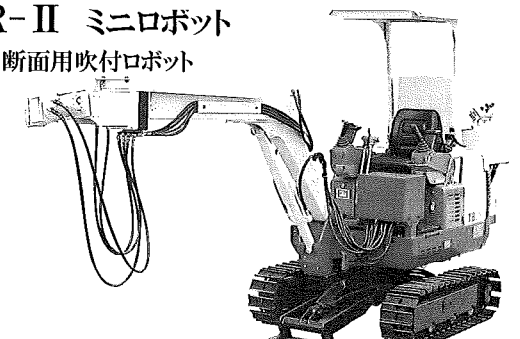
### MBTL ミニビートル



小断面(20m<sup>2</sup>)適用可能一体型吹付機

### MR-II ミニロボット

小断面用吹付ロボット



避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい

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

機械図、動画あり

## 株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0506 長野県東御市祢津字元会下1080-9

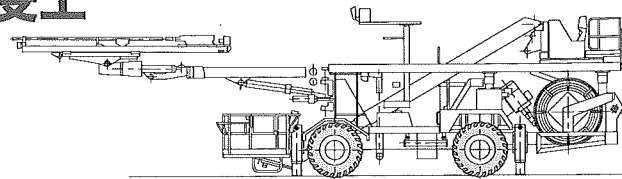
TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999

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

## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

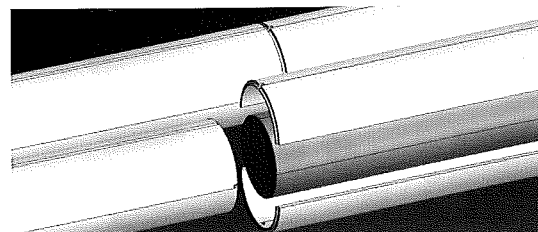
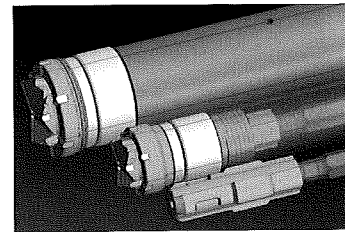
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



### 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。



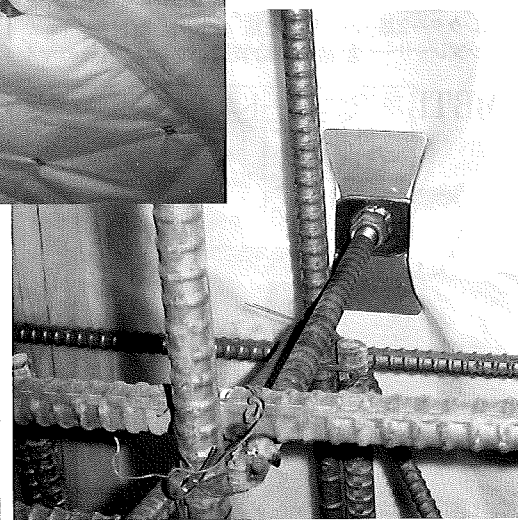
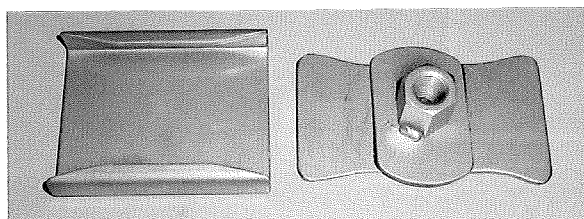
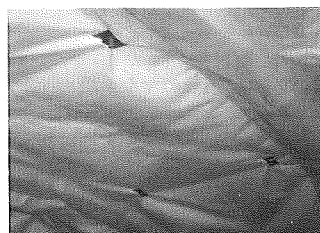
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### 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 トーキソール**

〒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)

# 拡大された能力。 継続的なお客さまへの コミットメント。

[www.oricamining.com](http://www.oricamining.com)

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

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

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

皆さまには、くさなる技術投資、  
◇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。

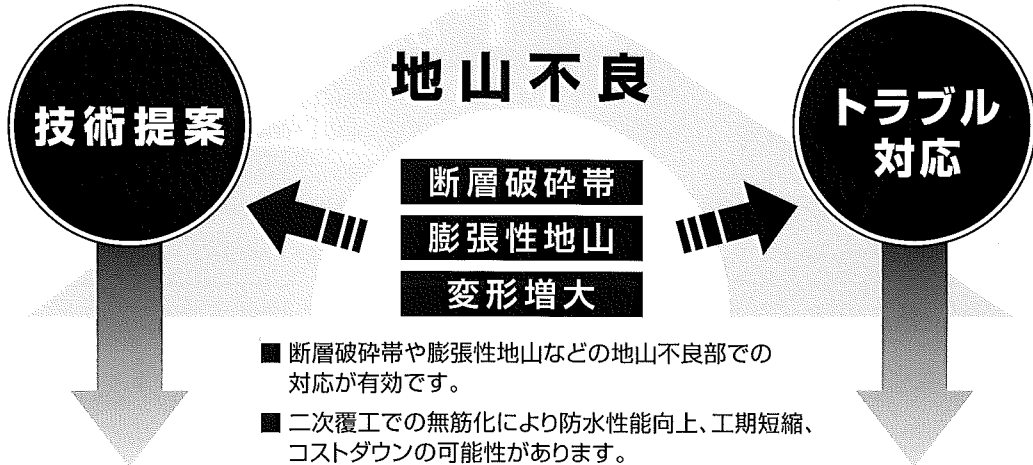
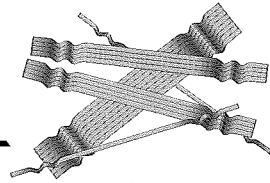
オリカは、鉱業および建設業界、  
ならびに当社のお客さまへの  
コミットメントをお約束します。

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

コンクリートをより強く、よりしなやかに。

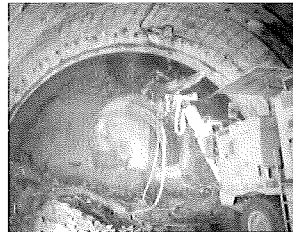
**タフグリップ** コンクリート補強用鋼繊維



- 断層破碎帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
- 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

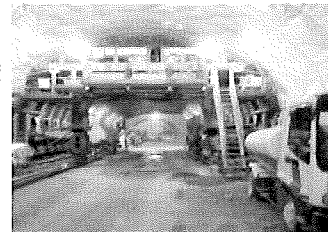
**一次吹付**

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



**二次覆工**

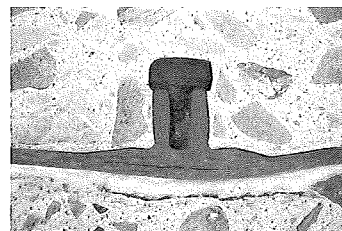
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



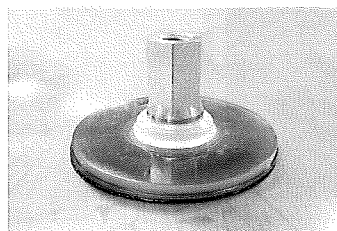
防水への信頼性・施行性の向上へ

**ナトミックシート** トンネル用防水シート

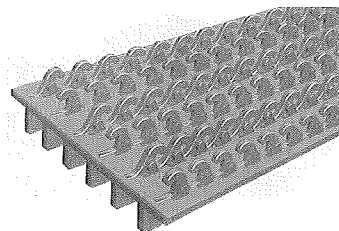
- 高い防水性
- 豊富な品揃え
- 容易な施工性



ウォーターバリア



吊鉄筋金具



クイックバー

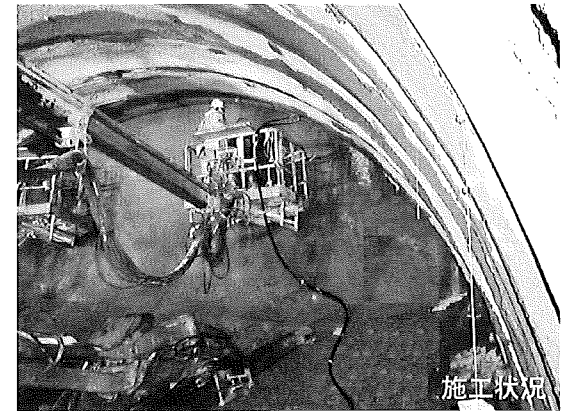
**株式会社ブリヂストン**

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

**補助工法・注入材のことならティーエムシー**

**AGF-OFP工法**

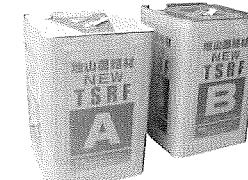
当社が提案するAGF-OFP工法(注入式長尺先受工法)は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



施工状況

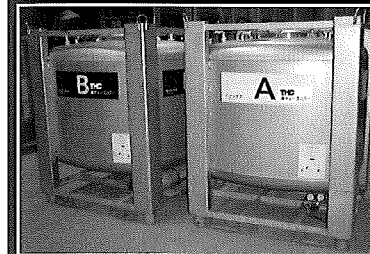
**各種注入材**

- NEW-TSRF (シリカレジン)
- NEW-TBU (ウレタン)

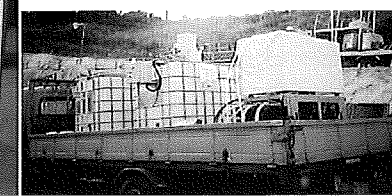


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

**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

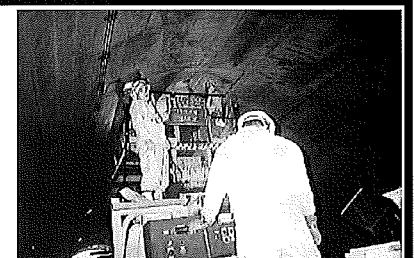
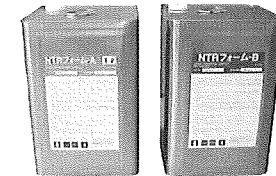


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

**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 愛知県春日井市島居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL : 0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL : 072-966-6280
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL : 0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリューションビル1F	TEL : 0942-40-8151

トンネル測量システム

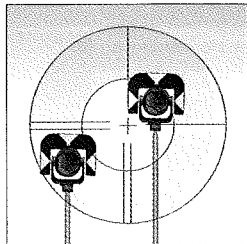
トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。  
ライカTPS1200シリーズついに登場。



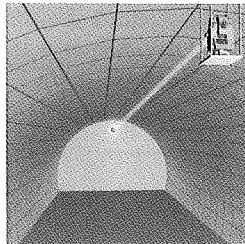
TCRA1200



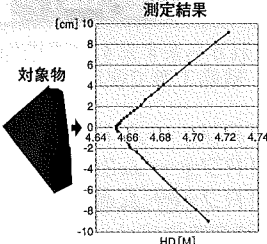
**精度が向上した自動視準**  
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



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



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

ライカ ジオシステムズ株式会社

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

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



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

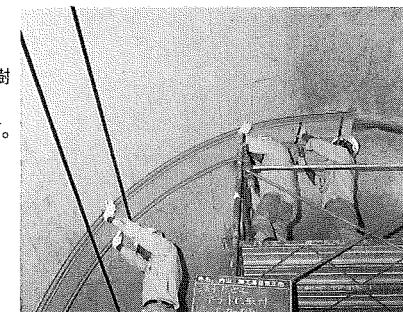
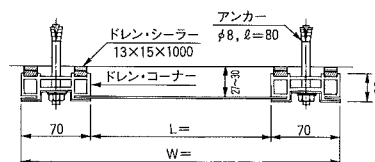
**中濃産業株式会社**  
 代表取締役 土田 義 式

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

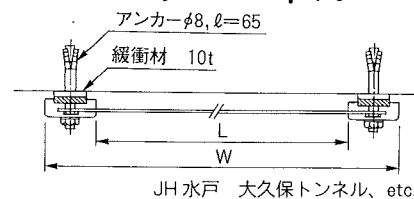
トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

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

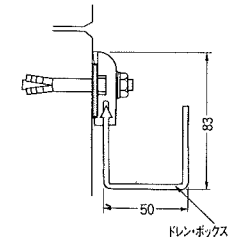


コンクリート剥落対策に  
アーチ・パネル



水平導水樋に

サイド・ドレン



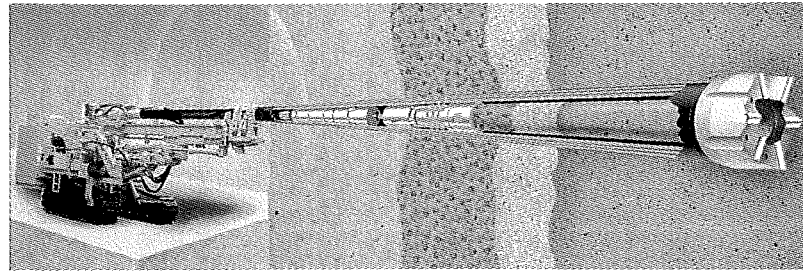
- 特徴
- ・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
  - ・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

ニホン・ドレン工業株式会社

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

# トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

## パーカッションワイヤーラインサンプリング工法



### ■ 特長

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

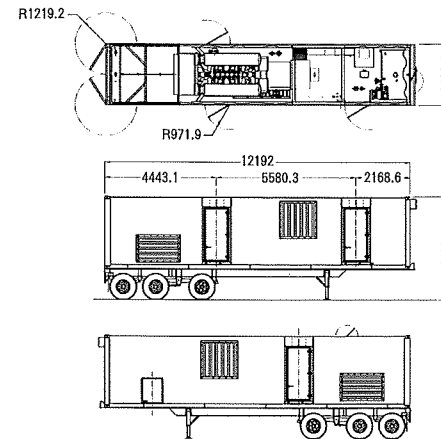
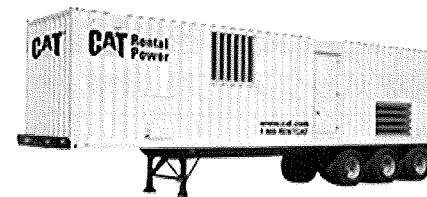


**KOKEN 鉦研工業株式会社**

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

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

# 大型発電機 レンタル



		2000KVA		2281KVA	
		50	60	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)		

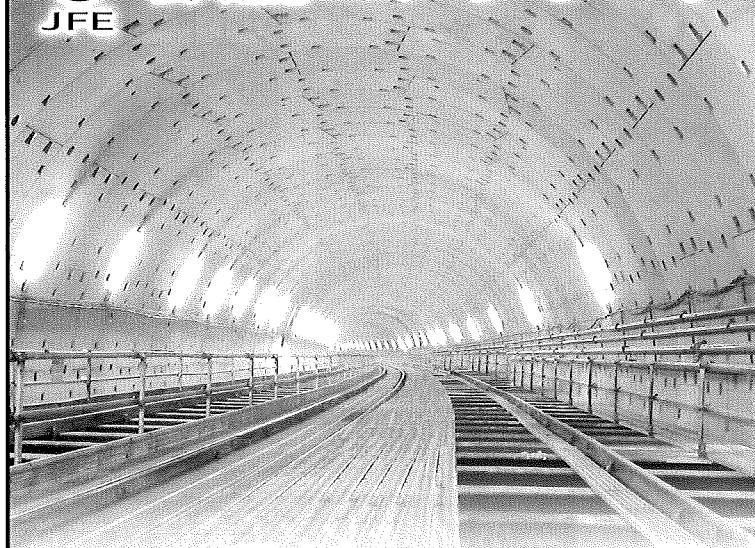


株式会社ケイリー  
仙台：TEL.022-359-5331  
東京：TEL.03-3661-5651  
大阪：TEL.06-6838-1372

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

# 鉄筋コンクリートセグメント

JFE



都市部においてライフラインの地下化のためシールド工法による地下開発の要望が高まっています。当社のコンクリートセグメントは販売開始以来幅広い用途への納入実績があり、高い信頼を頂いております。

- 諸条件に対応可能です
- 経済性に優れています
- 高精度・高品質を有しています

**JFE 建材 株式会社** セグメント商品販売チーム  
〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-10-15 (JL日本橋ビル)  
URL <http://www.jfe-kenzai.co.jp/>

〈東京〉 TEL : 03-5644-1266  
FAX : 03-5644-1235  
〈大阪〉 TEL : 06-6444-7626  
FAX : 06-6444-7633

(好評発売中)

# わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修  
B5判 209頁 本体価格2,500円 千340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

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

株式会社 **土木工学社**

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

**FURUKAWA**  
ROCK DRILL



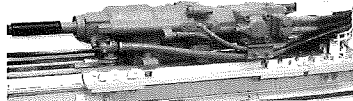
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と  
全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

**JTH2200R/3200R**

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

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。

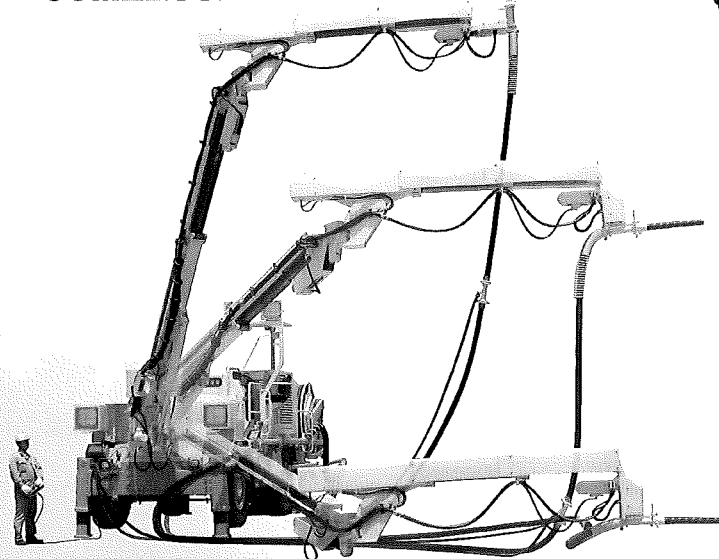


◆主な仕様

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

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)

**CJM2200E-III**



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E-III 主な仕様

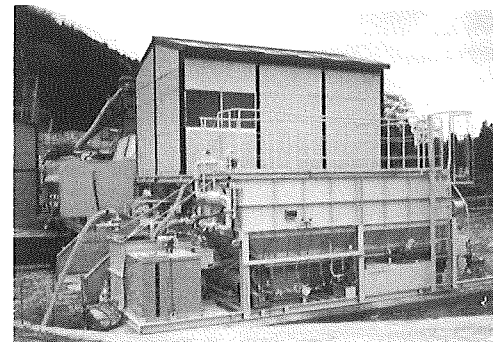
質量	22トン
全長	15,600mm
全幅	3,000mm
全高	4,000mm
吹付け範囲	
高さ×幅	10m×13.3m

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

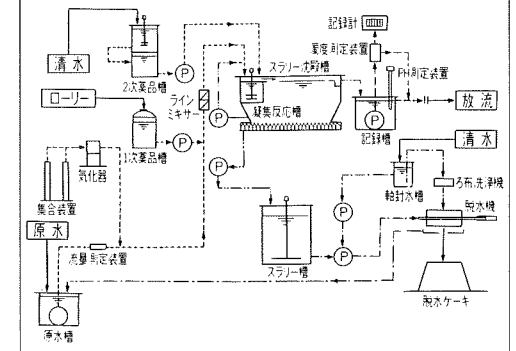
JTH3200R

**TWS型シリーズ 濁水処理装置**

コンパクトながら  
大きな処理能力



フローシート (システム TYPE II)



特長

1. 基礎、土工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が少なくなる。  
又、加圧型脱水方式の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

△ 古河機械金属グループ

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

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

### ■巻頭言

#### 間口を拡げる

小山 幸則 .....5

### ■研究

#### セグメントリング継手の損傷分析と対策

山崎 剛・小泉 淳 .....47

### ■施工

#### 小土かぶり未固結地山でのトンネル掘削

##### —東北新幹線 高館トンネル—

清水 健志・三浦 貴幸・野田 軍治・小沼 宏嗣 .....7

#### 大断面トンネルを多様な施工技術で掘削

##### —第二東名高速道路 金谷トンネル—

岩本 英将・岸本 光弘・安井 義則・吉田 安利 .....15

#### 既設地下重要構造物下を二種類のシールド工法で克服

##### —西大阪延伸線(阪神なんば線) 第3工区—

久保田晃司・仲田 義弘・重光 達・小倉 宗敬 .....31

#### 計測管理により構造物に近接してシールドを施工

##### —大阪市深江中浜下水道幹線—

山本 智 .....39

### ■連載講座

#### シールド工事の施工に関するQ&A(8)

JTA都市トンネル小委員会 .....59

### ■現場だより

#### 「長岡の奥座敷」蓬平町より

松田 健 .....14

#### 「旧雲石街道のまち」可部より

越智 辰彦 .....27

### ■資料

#### トンネル千夜一夜(38)

小野田 滋 .....28

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....71

#### 土木情報

編集部 .....30

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....72

#### トンネルジャーナル

編集部 .....58

#### 海外文献速報

JTA国際委員会 .....73

### ■会報

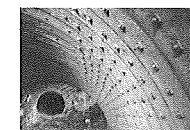
#### 会報

日本トンネル技術協会 .....76

#### 【表紙説明】

#### 大断面トンネルを多様な施工技術で掘削

##### —第二東名高速道路 金谷トンネル—



金谷トンネルでは全体の約8割が地山等級DⅠ～DⅡに分類され、このうちD級区間では、上半肩部から脚部にかけてのロックボルトのプレート変形あるいはボルトの破断といった変状が顕著に見られたため、合理的な支保パターンを設定し施工を行った。写真はPC鋼棒パターン打設状況である。

(写真提供：中日本高速道路(株))(本文15頁参照)



## セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

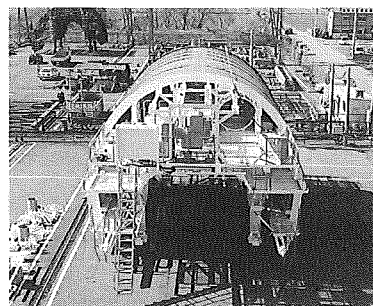
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

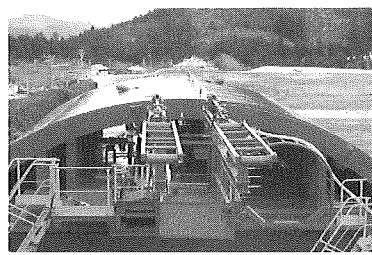
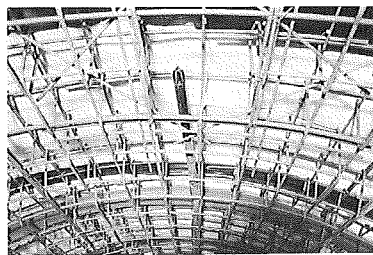
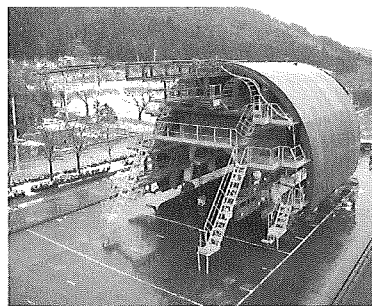
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



### 効果・特徴

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



**岐阜工業株式会社**  
GIFU KOGYO CO.,LTD

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

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

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

## 会誌 W G の 構 成 (五十音順・敬称略)

### 〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔幹 事〕

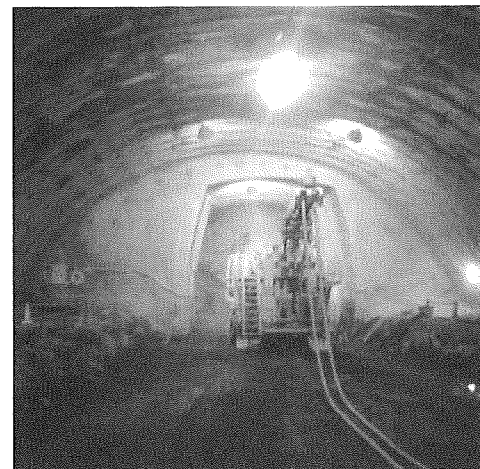
池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官	千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部部長
伊 藤 範 行 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 グループ長	長 島 芳 雄 株式会社竹中土木常務取締役
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長	端 則 夫 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	濱 建 介 株式会社アオバ取締役会長
城 間 博 通 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長	松 原 利 之 飛鳥建設株式会社土木事業本部技術統括部 トンネル技術グループ部長
鈴 木 明 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	山 道 哲 二 株式会社大林組東京本社生産技術本部 トンネル技術部部長

## 編 集 顧 問 の 構 成 (五十音順・敬称略)

伊吹山 四 郎 攻玉社工科大学短期大学名誉学長	林 博 西松建設株式会社専務取締役
島 田 隆 夫 鉄建建設株式会社社友	松 本 崇 義 (元)東京都理事
高 橋 彦 治 伸光エンジニアリング株式会社技師長	丸 安 隆 和 東京理科大学教授
田 島 利 男 NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット トンネル担当	山 口 啓 二 株式会社熊谷組代表取締役副社長
西 松 裕 一 東京大学名誉教授	

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



## 主な特長

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

**KYB カヤバシステム マシナリー株式会社**

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: 日本鋳機株式会社)

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東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

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

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

### 〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

### 〔編集参与〕

今田 徹

東京都立大学名誉教授

定塚 正行

日本シビックコンサルタント株式会社  
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋 良文

東京都下水道局技術開発担当部長

橋本 定雄

(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

津金 昭一

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

西村 聡

東京地下鉄株式会社建設部  
新宿工事事務所所長

野邑 敏行

東京都交通局建設工務部計画改良課長

真下 英人

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

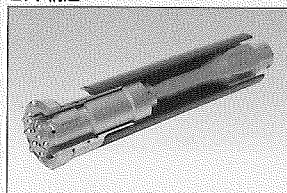
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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

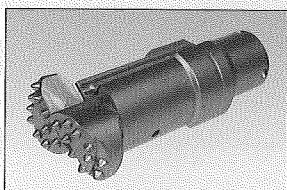
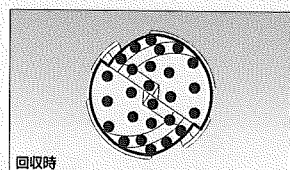
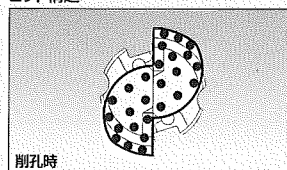
ビット構造



●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タイプ
- ・ヘッド全可動式が可能とする安定した削孔性能
- ・ヘッド全面を取り替える為、高いコストパフォーマンスを実現
- ・軟・中硬岩に幅広く対応

ビット構造



●スモールP (Small-P) システム

●小孔径 (2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ

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

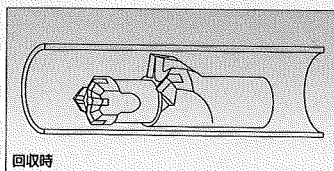
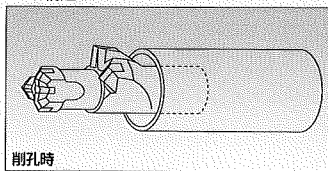
ビット構造



●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

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

ビット構造



※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

東北新幹線高館トンネルは、八戸駅より約3.4km北に位置する延長1,280mの山岳トンネルで、地山は全線にわたり小土かぶり・高水位の未固結砂質土層となっている。

本トンネルの施工の特徴は、国道交差部におけるAGF工法と、小土かぶり部における地山改良工法の採用である。地山改良工法は、本坑掘削に先立ち地上からトンネル天端付近まで開削し、トンネル周囲の地山を浅層混合機(パワーブレンダー)により改良するものである。本トンネルでは当初、地下水位低下工法を用いたが、細粒分の混入により十分な排水ができず、水位の低下に多くの時間を要することが見込まれた。そのため、補助工法として止水効果と地山改良効果を伴う地山改良工法を実施することとした。

Shallow Tunnel Excavation in Unconsolidated Ground-Takadate Tunnel, Tohoku Shinkansen—

By Kenji Shimizu, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Takadate tunnel on the Tohoku Shinkansen is a mountain tunnel of total length 1,280 m at a distance of north approximately 3.4 km from Hachinohe station. All along the tunnel, the ground is unconsolidated sandy soil with high groundwater level and small overburden.



写真は改良状況

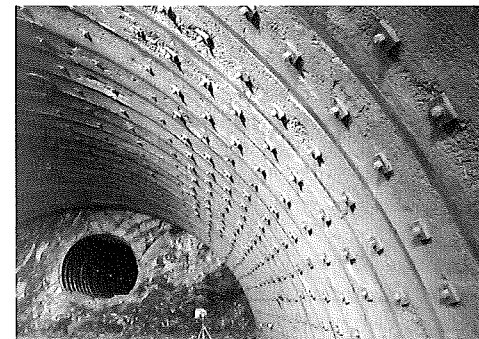
A characteristic feature of this tunnel is that AGF method used under the national highway, and ground stabilization method used at section with small overburden. Ground stabilization method involves reinforcing the ground around the tunnel using a power blender, by cutting till the roof of the tunnel before tunnelling. Dewatering method was initially used, but because of the fine-grained fraction, the drainage was not sufficient, and it was estimated to take a long time to reduce the water level. Hence, as a supplementary measure, we adopted the ground stabilization method that cuts off the water and stabilizes the ground.

第二東名高速道路のトンネルは、3車線を想定して断面を設定していることから掘削断面積が190m<sup>2</sup>に達する大断面となっている。第二東名でもっとも延長の長い金谷トンネルでは全体の約8割が地山等級DI~DIIに分類され、このD級区間では、上半肩部から脚部にかけてのロックボルトの座金変形あるいは破断といった変状が顕著に見られたため、合理的な支保パターンを設定し施工を行った。また、本トンネルでは県道、倉真川の真下を小土かぶりでも通過する区間、上下線合わせて最大約6,000ℓ/minの湧水が生じた区間、大きな偏圧がかかる東側坑口部と施工が難しい箇所があったが、多様な技術を用い安全かつ合理的に施工することができた。本稿では、金谷トンネルにおけるこのような条件下で行ってきた施工実績について記述する。

Excavation of Large Tunnel using Various Technologies—Kanaya Tunnels, Second Tomei Expressway—

By Hidemasa Iwamoto, Central NEXCO

All tunnels on the second Tomei Expressway have a large excavated cross-section of 190 m<sup>2</sup> for a three-way lane. The Kanaya tunnel, the longest one in second Tomei expressway having 80 % of its area featuring in DI to DII on the rock mass grade, started exhibiting certain damages such as deformation and break of the washer of rock bolts. So we set a rational support pattern and carried out the construction. This construction had several difficult sections—section shallowly passing under the state highway and Kurumagawa, section with the maximum water inflow of 6,000 litre/min, section of the eastern portal with a high asymmetrical earth pressure, but we employed various technologies to realize a safe and rational construction. This article gives the result of the construction in Kanaya tunnel under severe conditions.



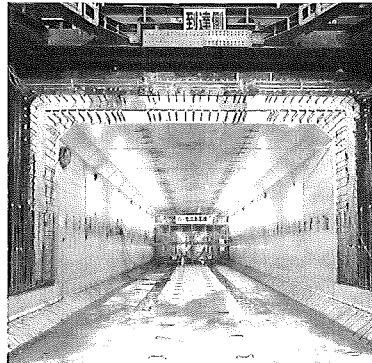
写真はPC鋼棒パターン打設状況

阪神なんば線(西大阪延伸線)は、阪神西九条駅と近鉄難波駅を結ぶ鉄道路線である。施工場所は大阪市中心部であり、重要なインフラ施設が非常に多く、各工区とも狭隘な施工条件の中で種々の技術を用い工事を進めている。その中で、既設構造物や輻射した埋設管などに近接した二つのシールド工法の施工事例を報告する。一つは、輻射する埋設管などのために開削工法が適用できず、引上線開削部の一部を大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法)にて施工を行った。この新しい非開削工法の適用により、埋設管に対してほとんど影響なく施工することができた。二つ目は、泥土圧シールドの近接施工であり、引上線躯体と最小離隔0.8mで交差し、かつ、FFUの土留め壁芯材を直接切削した。また、既存の地下鉄と離隔約2mで交差し、慎重な施工管理をしながら掘進を行っている。

Boring under Existing Important Structures using Two Types of Shield—Hanshin Namba line 3rd segment—

By Koji Kubota, Nishi-Osaka Railway Company

Hanshin Namba line is a railway line connecting Hanshin Nishi-kujo station and kintetsu Namba station. The



写真はハーモニカ工法部構築完了

construction is taking place in central Osaka, where there are numerous important infrastructures, and each segment is being constructed using various technologies in a severely restricted space. In this article, we report about the case studies of two shield constructions that were close to existing structures and buried pipes. We could not use the cut-and-cover method due to embedded pipes, and hence we constructed a part of the lead tracks using integrated small shields method (harmonica method). By using this new trenchless tunnelling technology, we could construct with negligible impact on the buried pipes. The second case-study relates to slurry shield, it intersected under the lead tracks at a minimum distance of 0.8 m, and drilled through retaining materials of FFU. Also, tunnelling two meters beneath the existing subway lines is in progress while seriously managing.

大阪市は、明治27年から近代的な下水道整備を開始し、昭和50年代にはほぼ全市域に下水道が整備された。しかしながら、市域の大部分が淀川などの土砂の堆積などによってできた沖積平野であり、上町台地などの一部を除いて市域の約90%がポンプ排水に頼らなければならない地形となっていることや、都市化の進展に伴い雨水が一時に下水管に流入し、たびたび浸水している。そこで、昭和56年から、おおむね10年に1回の大雨(1時間60mmの降雨量)を対象に下水道整備を進めた結果、平成18年度末現在の雨水対策整備率は約78%となった。

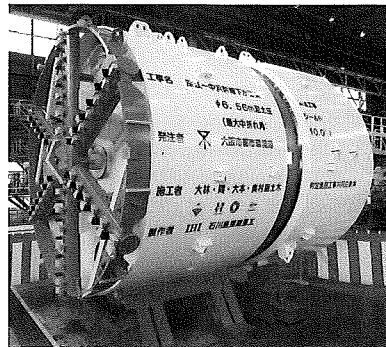
本稿では、本市東部の抜本的な浸水対策として整備を進めている深江～中浜下水道幹線と、その施工時における計測結果について紹介する。

Construct a Shield Tunnel Close to an Existing Structures by Monitoring in tunnelling—Fukae Nakayama Sewer Main, Osaka city—

By Satoshi Yamamoto, Osaka Public Works Bureau

Osaka city started modern sewage system since 1894, and by 1975, sewage system was in place in nearly the whole of Osaka. However, inundation frequently happened, because of the city mostly composed of alluvial lowland except certain plateau relied on drainage pumps, or urbanization that causes flash stormwater to exhaust sewer system. Starting from 1981, we have been taking countermeasures against a torrential rainfall that occurs approximately once in ten years (60 mm or more in one hour), and the percentage of this project complete as of end-2006 was 78%.

This article introduces the drastic measures taken in the Fukae-Nakahama sewer main against inundation in the eastern part of the city, and the result of monitoring of tunnelling taken for.



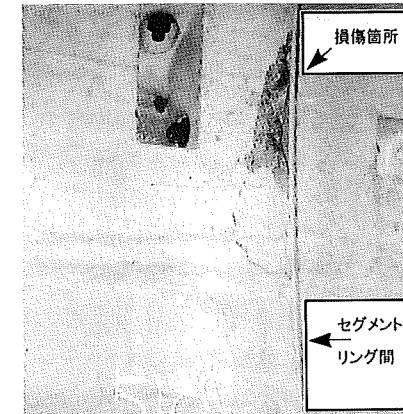
写真はシールド

シールドのテール長は、軸方向挿入型のkeyセグメントの採用、セグメント幅の拡大および長距離・高水圧対応としてテールシール3段などの採用により長くなってきている。反面、テールクリアランスは、大きく変化していない。このため掘進時において、シールドのテールシールからの競り力の伝達によりセグメントのリング間にせん断力が作用し、リング継手部が損傷する現象が見られた。リング継手の損傷を防止し長期的に健全な覆工品質を確保することが、セグメント覆工のみによる建設費のコストダウンを指向するうえできわめて重要であると考え、鉄筋コンクリート製ボックス継手を事例に損傷原因の究明と対策について研究し、シールドテールからの競り力によるセグメントリング継手の損傷抑制方策を提案したものである。

Damage Analysis and Countermeasures of Segment Joint

By Takeshi Yamazaki, Toden Town Planning Co., Ltd.

The length of the shield tail has been lengthened by using key segments to be inserted in the axial direction, installing triple tail seals for increasing the segment width and tunnelling length and depth. On the other hand, the tail clearance of shield has not changed significantly. Because of this, at the time of driving, we observed damages of the segment joint, when the transmission of the contact force from the shield tail led to the shear force between the segments. It is absolutely essential from the point of view of cost reduction due to omission of secondary lining to secure the lining quality in the long term by preventing damage to the segment joint. Hence, we researched the causes and countermeasures with RC joint as a case study, and have proposed measures to reduce the damage to the segment joint through contact force of the shield tail.

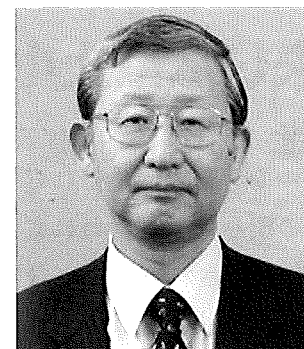


写真はリング継手に発生した損傷

## 間口を拓ける

(財)地域地盤環境研究所東京事務所長

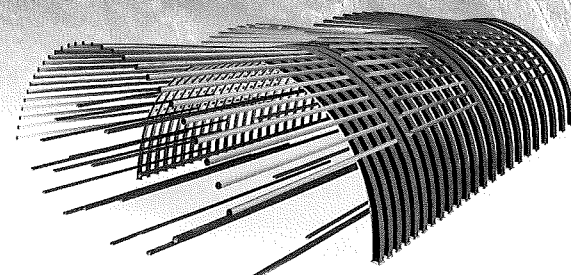
小山 幸則



「トンネル」という言葉で括ってしまうにはあまりに広範なものを含んでいるのが、トンネルである。山岳トンネル、シールドトンネル、開削トンネル、さらには沈埋トンネルなどの特殊トンネルを列挙していくと、これらは全くの異分野と呼んでも過言ではなく、医学の世界で内科と外科、さらには精神科などの関係と似ていなくはない。これらのトンネルの技術は、一つの工法に限って見ても、幅広い個別技術に支えられた総合技術であると言える。そのトンネルの分野で活躍されている技術者、研究者がどのような方々であるかと言うと、最初からトンネル工学の専門家であるから携わるようになったのではなく、大学で土木工学、資源工学、地質学などを専攻して社会に出てトンネルを担当させられた結果として、あるいはそれぞれに別の専門領域、例えば地質学、土質力学、構造力学、コンクリート工学、機械工学等々の知識を持って、この分野の課題の解決に当たるようになり、そのままトンネルの分野に留まり活躍を続けたために、トンネル屋と呼ばれるようになったのだと思われる。トンネルは専門を問わず、どのような分野からでも入りやすい技術領域となっているのであろう。

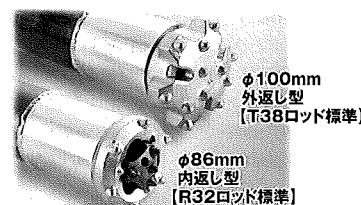
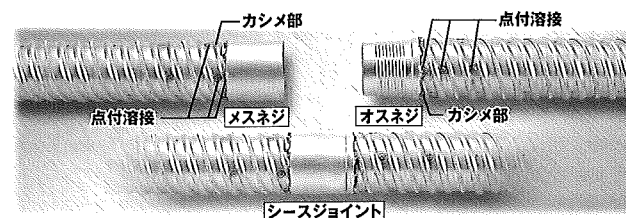
また、トンネルは現場からの情報抜きで理論だけで話をするには現象があまりにも複雑であるため、経験が物を言う世界でもある。したがって、しばらくトンネルの世界に身を置いていると、トンネルについて一<sup>いっかげん</sup>嘉言を持つに至る。しかし、一人のトンネル屋が経験できる工事は限られているため、その見識が経歴に引き摺られがちである。その昔、難しいトンネル工事を施工する場合には、トンネル会議なるものが開かれトンネルの大家と自他共に許すトンネル屋が集まったが、それぞれの経験した難工事をどのように克服したかを一方的に述べるだけで議論にならなかったなどという逸話も漏れ聞くところである。それでも技術的な理由で未完のまま終わったトンネルがほとんどなかったのは、多くの難しい課題に対して苦勞を重ねつつ正解を得てきたからであり、諸先輩の努力に大いに敬意を表さなければならないであろう。

## ユニークな発想と高品質・自信の価格



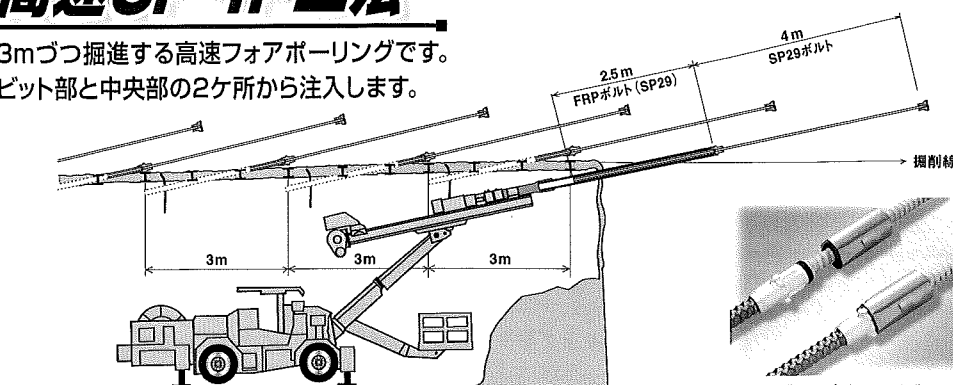
### FIXチューブ工法

※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。

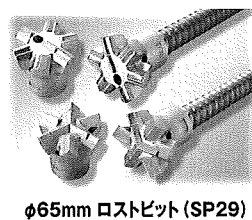
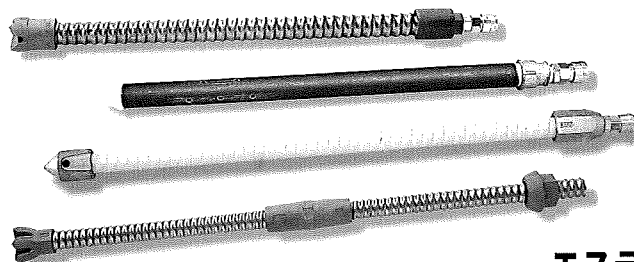


### 高速SP-IF工法

※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

20年程前までは、このように広範囲で複雑多岐にわたるトンネルの分野では、それぞれの工法の適用範囲が暗黙のうちに認識されており、トンネル屋の棲み分けが行われていたように思われる。ところが、NATMが都市部の土砂地山にも適用されるようになると、シールド工法との競合が生じるようになり、境界領域における工法はどうあるべきかが盛んに議論されるようになった。土木学会のトンネル工学委員会でも検討グループを設けたが、残念ながら両工法に通曉したトンネル屋が少なく、それぞれの現状を整理するに留まった。その後も、検討が進められ、理解が深まり設計法や荷重評価の違いを明確にすることはできたが、両工法を統一的に評価でき多くのトンネル屋が納得するようなトンネル工学の体系を確立するには至っていないのが現状ではなかろうか。

さて、最近のトンネルに対するニーズは多様化複雑化しており、とくに都市部の道路トンネルでは、高水圧下の未固結地山に超大断面の空間を非開削で建設することが求められ、さらには大深度地下の開発でもこのようなニーズが増大するものと思われる。このような状況を背景に種々の技術開発が活発に行われている。提案されている工法を見ると、NATMとシールドの境界領域で論じられていた範囲を超えて、種々の工法が渾然一体となっているものも少なくない。このようなトンネルは施工法に応じて生じる現象をどのような力学モデルで表現するか、またそれにもとづいて設計法をどう組み立てるかということが、大きな課題である。従来のトンネル設計法の枠内で安全側に考えていくことも間違いとは言えないが、それは一つの正解ではあっても最適解にはならないのであろう。対象となる工事規模から考えても、より最適解に近い解を得ることは、経済合理性に適うことは勿論であるが、多くのトンネル屋が納得する統一的なトンネル工学の体系を作り上げることにもつながるであろう。多くの方々が挑戦されることを希望し、また私自身も蠅螂の斧を振ってみようかという気にさせる、久々にトンネル屋を奮い立たせる魅力的な課題ではなかろうか。

いずれにしてもこのような課題の解決には、まず広範なトンネル分野に通曉し、各工法の本質を正確に理解し比較することから始めて、そこからトンネルの力学を再構築していくことが不可欠であると思われる。斯く言う私も遅ればせながらトンネル屋としての間口をもっと拡げなければならないと思っている次第である。

## 施工

# 小土かぶり未固結地山でのトンネル掘削

—東北新幹線 高館トンネル—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第二課課長 清水 健 志  
 鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第二課担当係長 三浦 貴 幸  
 鉄道・運輸機構東北新幹線建設局八戸鉄道建設所所長 野田 軍 治  
 戸田・佐伯・森・畑中東北幹、高館トンネル他特定建設工事共同企業体高館トンネル作業所工事主任(監理技術者) 小沼 宏 嗣

## 1 はじめに

東北新幹線高館トンネルは、八戸駅より約3.4 km北に位置する延長1,280mの山岳NATMトンネルである。地山は全線にわたり高水位の未固結砂質土層で、土かぶりは0~18m(平均約7m)である。地上部はおおむね山林ないし田畑であるが、工区起点付近に国道と土かぶり約10mで交差する箇所がある。

本トンネルでは、まず国道交差部の施工に際し、切羽安定のために地下水位を低下させるスーパーウエルポイント工法を用いたが、地山性状の問題による揚水効率の低下から、掘削の安定性を考慮した水位を確保することが困難となった。このため、地山改良を併用した工法を検討した結果、AGF鋼管と薬液注入工を実施した。

一方、国道交差後の小土かぶり部においても同様の問題があるが、国道交差部で用いた方法では坑内からの作業により掘削速度が低下し、また、施工コストの増大も懸念された。そこで、工期的にも経済的にも有利な工法を再検討した結果、本坑掘削前に地上からトンネル天端付近まで開削しトンネル周面の地山をセメント系固化材により改良する地山改良工法を採用した。

本稿では、高館トンネルにおける国道交差部お

よび小土かぶり部の対策工について、その概要と施工にあたっての検討事項、効果などについて以下に述べることとする。

## 2 高館トンネルの概要

### 2-1 工事概要

トンネル延長：L=1,280m  
 トンネル径：10m(内空67.9m<sup>2</sup>)  
 トンネル掘削：NATM(機械掘削・上半先進ショートベンチカット・タイヤ方式)  
 掘削工期：30か月  
 地表面の条件：トンネル起点より200m付近で国道と交差、その他は山林・田畑

### 2-2 地形・地質

八戸市の地形は、天狗袋・高館の高位～中位の段丘が広く発達し、その縁部に低位段丘が、また、馬淵川や五戸川などの河川流域や海浜部には沖積低地が分布する。高館トンネルは、標高40~50mの高館段丘下に位置し、土かぶりは0~18m(平均約7m)となっている。

地質は、新第三期鮮新世～第四期更新世にかけて堆積した八戸火山灰層、高館火山灰層、高館段丘砂層、野辺地層の凝灰質砂層、凝灰岩層などにより構成される(図-1)。



な薬液注入工を実施した。薬液注入は、国道直下を坑内から、国道部前後を地上部から実施し、砂質土や粘性土の地盤性状に鑑み、瞬結と浸透注入の両方が可能な二重管ストレーナー工法を採用した。注入範囲は幅を12mとし、高さは注入範囲の残留水位を想定したが、地下水の影響を小さくするため注入施工時もスーパーウエルポイントによる揚水を継続することとし、その都度地下水位高さに合わせて注入高を変更した。使用薬液は、トンネル上部に水を含んだ砂・礫で止水および自立が要求されるため、溶液型水ガラス系無機薬液のシリカライザーを使用した(図-4)。

施工結果としては、流砂によるトラブルもなく、地盤沈下も管理値内(国道路面管理基準値30mm)に抑えられ、AGF鋼管とあわせて地山安定に対する効果は十分に発揮できたと考えられる。しかし、これら補助工法の作業により国道交差部の施工に9か月もの時間を要し、さらに薬液注入工の費用も多大なものとなった。

#### 4 小土かぶり部の対策工

##### 4-1 概要

国道交差部以降約1,000mは全般に小土かぶり区間であり、トンネル天端部の砂層(ts層)が断面内に出現しはじめ、その割合が工区終点にかけて徐々に増加する(図-1)。このts層は均等粒径で細粒分が少なく、帯水しており流砂が生じやすい。さらに、ts層とnos層の層境は強度の低いシルト層が介在している。このことから、本区間では切羽安定のための補助工法が不可欠であるが、対策延長が長く、薬液注入やAGF工法では費用と時間を多く要することが予想された。また、この地層では地下水位低下工法の効果が低いため、他の補助工法の検討を行った結果、地山改良工法を採用した。

地山改良のための工法としては、地上部から攪拌翼を挿入して改良材と地山を混合する機械式深層混合処理方法と、地表面をトンネル天端付近まで開削し改良材と地山をトレンチャー型攪拌混合機で混合する浅層混合処理工法がある。本工区の

場合、平均土かぶり7mであるため、深層混合処理では地表からトンネル周辺部まで余分な掘削が必要となり、機械も大型となる。一方浅層混合処理は、地上からトンネル天端付近まで開削するために地表面の占有面積が広くなり地上権設定範囲を超えることとなるものの、地表部(田畑・森林)の地権者の同意も得られ借地を行うことで対応できた。また、工程上は坑外作業による先行対策であるため、坑内薬液注入と比べトンネルサイクルタイムにも影響しない。よって、薬液注入や深層混合処理と比べ、浅層混合処理のほうが開削・埋め戻しなどを含めたトータルコストや工程面でも

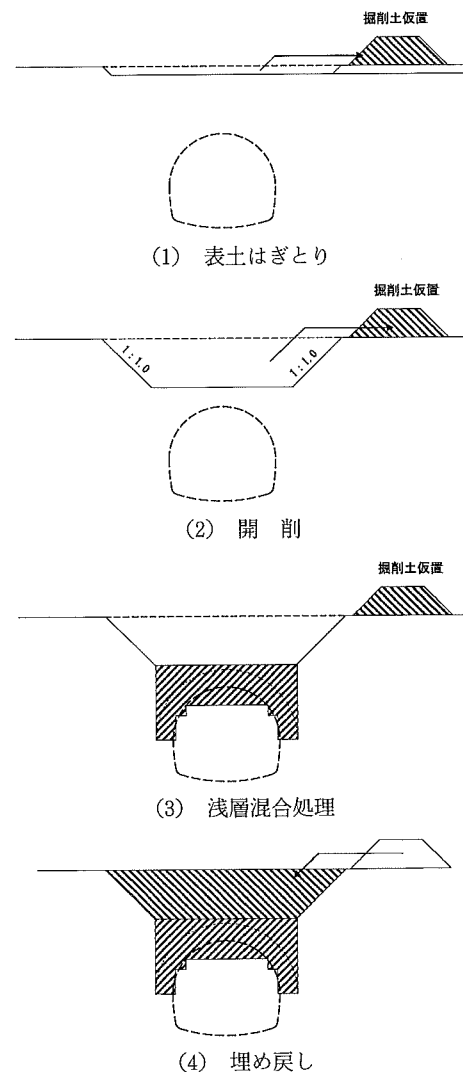


図-5 地山改良工法の流れ

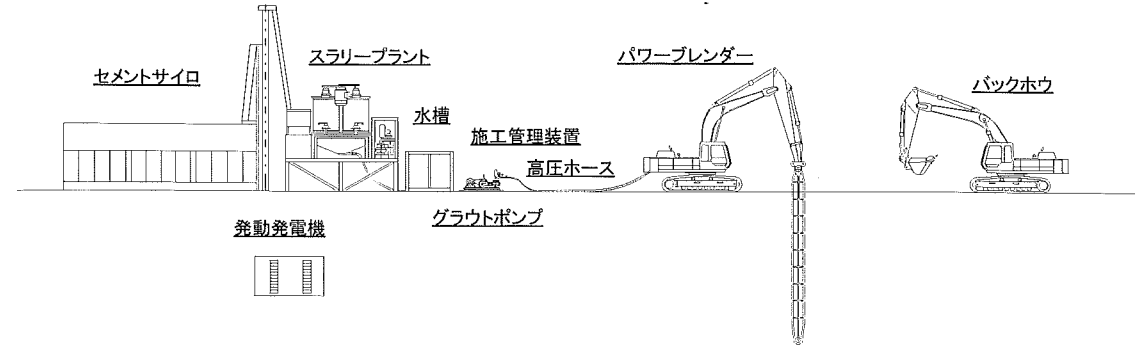


図-6 浅層混合機(パワーブレンダー)施工システム

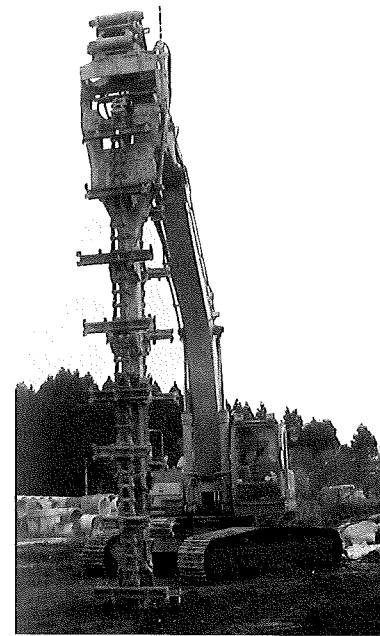


写真-1 浅層混合機(パワーブレンダー)

経済的であると判断した(図-5)。

##### 4-2 地山改良工法

本工法は、地表面からトンネル天端上方まで開削した後、パワーブレンダーと呼ばれる浅層混合機により地山をセメント系固化材と混合し(浅層混合処理)、予定されるトンネルの周囲の地山を改良した後、再度地表面まで埋め戻し、その後トンネルを掘削するものである。この方法により地山の固結と止水の両方の効果を得られ、切羽からの薬液注入よりも安価かつ工期の短縮が図られる。

浅層混合処理は、プラント部にてセメント・セメント系固化材などの改良材をスラリー状に練り混ぜ、パワーブレンダーを用いて地中に噴射し原

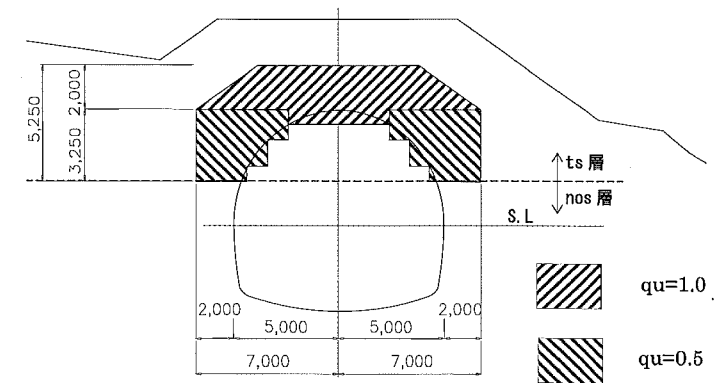


図-7 解析対象トンネルの改良状況

地盤と改良材を強制的に攪拌混合し固化するものである。パワーブレンダーはバックホウなどのベースマシンにトレンチャー型攪拌混合機を装備したもので、トレンチャーに装着された攪拌翼で原地盤を切削し、改良材と攪拌混合し均一な改良地盤を形成する(図-6)。

浅層混合処理はトンネル延長5mごとに区割りし、トンネル横断方向10mごとに実施した。

本工区で使用した機器は、改良材製造プラントのほか、専用のバックホウ(1.2m<sup>3</sup>)とトレンチャー型攪拌混合機で、深度8mまでの改良能力を有する(写真-1)。

##### 4-3 改良体の設計・管理

改良体の設計にあたっては、先行している東北新幹線のほかトンネル工事で地山性状が類似する工区での地山改良解析を参考に、改良強度および改良範囲を決定した<sup>1)</sup>。また、改良体の施工にあたっては事前に室内混合試験で地山性状に合わせて改良材混合率を決定し、施工後には試料採取に

より改良効果の確認を行った。  
4-3-1 改良強度・範囲の設計

地山改良解析を行ったトンネルでは、鉛直方向でトンネルS.L.+2.0mから天端+2.0m、断面方向で両掘削側面+2.0mを改良範囲とし、トンネル天端より上方を改良強度1.0N/mm<sup>2</sup>(一軸圧縮強度)の改良盛土、下方を改良強度0.5N/mm<sup>2</sup>の浅層混合改良としている(図-7)。

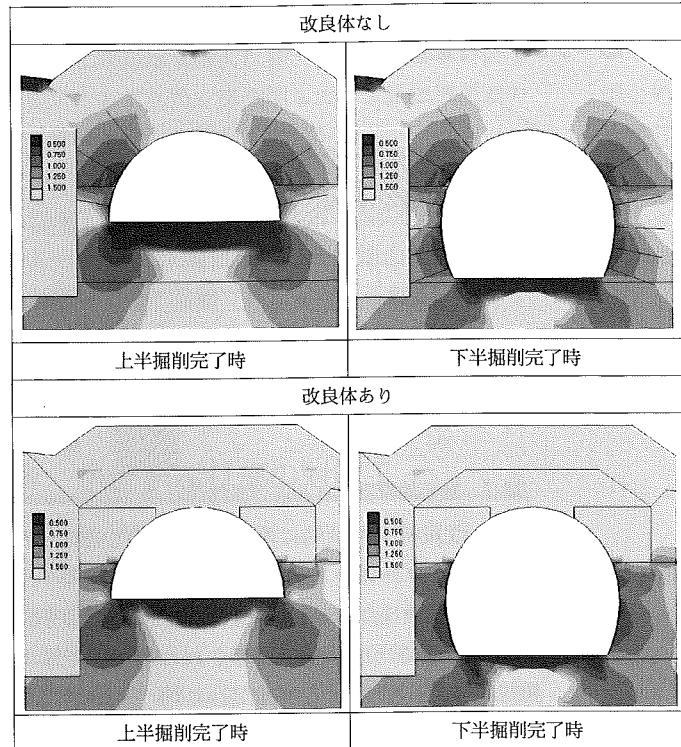


図-8 有限要素解析による安全率分布

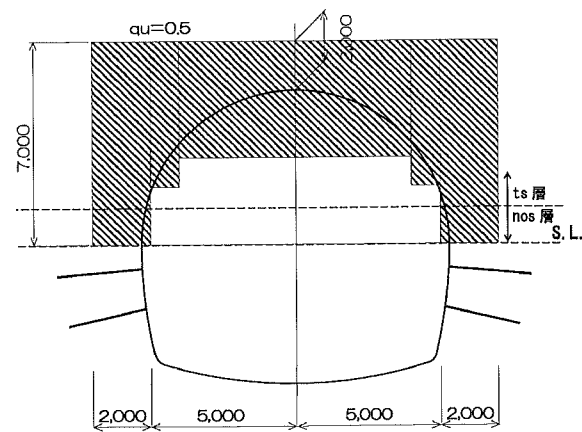


図-9 高館トンネルの改良範囲

この改良体による掘削時の解析として、線形有限要素法により掘削完了時の応力分布を求めている。さらにこの応力分布にモルクーロンの破壊条件を当てはめて安全率分布を求めた(図-8)。

この結果、改良体より下方の非改良部では安全率が1.0を下回る箇所があり、上半掘削時に脚部が不安定となることが予見される。そのため、S.L.付近まで改良範囲を拡大する必要があると判断し、本工程ではS.L.からトンネル上半部の周囲2mを改良範囲とした。

また、改良強度としては、改良部分の安全率が改良盛土部(改良強度1.0N/mm<sup>2</sup>)と浅層改良部(同0.5N/mm<sup>2</sup>)ともに1.5以上であり十分な安定性を示しており、とくに浅層改良部での改良効果が著しいことから、本工程の改良体施工は全般に0.5N/mm<sup>2</sup>の浅層改良でも十分な安定性を確保できると判断した(図-9)。

4-3-2 室内配合試験

改良材の混合量は、室内配合試験により決定した。現場での目標設計強度0.5N/mm<sup>2</sup>に対し、室内目標強度は2倍の1.0N/mm<sup>2</sup>(材齢28日)とし、材齢7日換算で1/1.5の0.667N/mm<sup>2</sup>とした。室内試験では改良材の添加量を120kg/m<sup>3</sup>、170kg/m<sup>3</sup>、220kg/m<sup>3</sup>の3種の供試体による一軸圧縮試験の結果から強

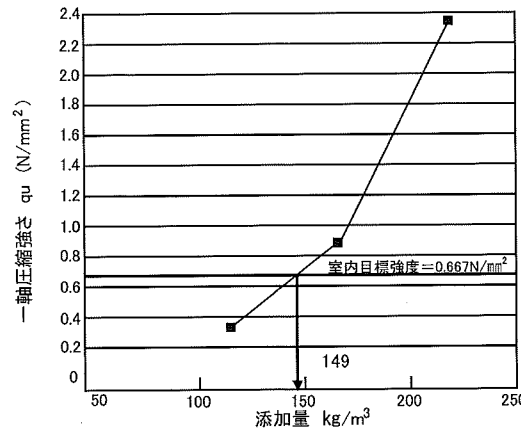


図-10 添加量と強度の関係

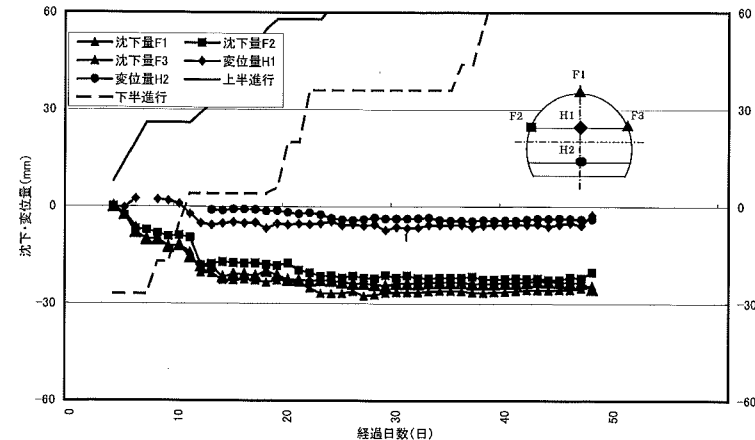


図-11 地山変位

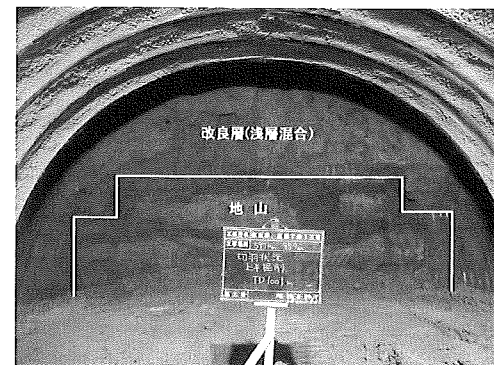


写真-2 切羽状況



写真-3 改良状況

度0.667N/mm<sup>2</sup>となる添加量を求め、結果、添加量を149kg/m<sup>3</sup>とした(図-10)。

4-3-3 改良効果の確認

施工後の改良効果の確認として、モールド付き試料採取器により改良体の上位・中位・下位の各所から供試体を2本ずつ採取し、一軸圧縮強度試験(7日・28日)を行った。測定頻度は改良体500m<sup>3</sup>ごとに1回とした。その結果、すべての供試

体で現場目標改良強度0.5N/mm<sup>2</sup>を上回り、地山が十分に改良されていることを確認した。

4-4 施工結果

トンネル掘削時のA計測結果は、内空変位が沈下量よりも概して少なく、未固結砂質土地山によく見られる全体的な沈下(とも下がり)を示すものであった。変位量としては、天端沈下が最大16mm、内空変位は最大10mm程度で、おおむね管理レベルI~IIに収まっている(図-11)。

一方、切羽状況は、上半掘削時は天端部が地山改良により安定しており、遮水機能も向上していたため掘削が容易となった(写真-2)。

下半掘削時は一部箇所改良部の下端で湧水による流砂が発生した。次作業のインバート掘削への影響も考慮して別途薬液注入で対応し、止水を行った。このため、同様に流砂の影響される範囲を想定し、次の改良スパンからは浅層改良深さを拡大した区間もあった。このことにより、掘削に支障するほど地山が大きく変状することはなく、全般的に安定したトンネル施工が可能となった。

5 おわりに

地山改良工法は、地上部からの対策が必要となるため、地上部での制約が多い都市部などでの採用は困難といえるが、当現場のような未固結砂質土地山の改良方法としては確実で安全で低コストな工法であり、適切であったと考える。今後、浅層混合機の能力が向上し、さらに深い箇所の改良が可能となれば、開削部を削減でき、また改良範囲も拡大できるため、さらに適用範囲が広く、また信頼性の高い補助工法とできると考えている。

参考文献

- 1) 北川隆・飯田廣臣・蓼沼慶正・奥津一俊・玉井靖広：低土被り土砂地山における地山改良工法の検討，構造工学論文集，Vol.50A，2004.3.



# 「長岡の奥座敷」蓬平町より

松田 健

当現場(仮称)萱峠トンネルは、新潟県長岡市の山間に位置し、新潟県柏崎市を起点とし福島県を経て栃木県に至る国道352号幹線道路にある。トンネル延長は、L=1,184m、平成13年10月に着手、14年9月より掘削開始、現在の掘削延長は715mとなっている。

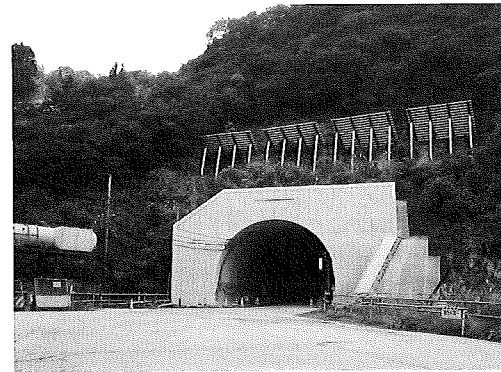
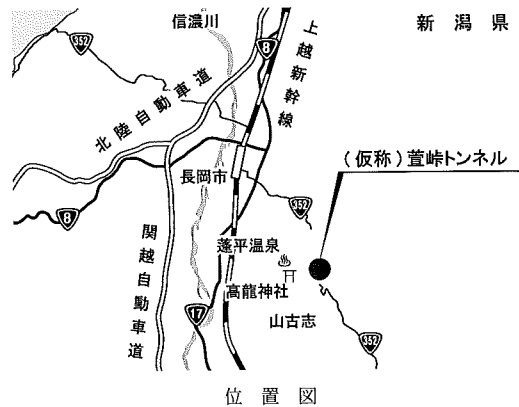
豪雪地帯のために、冬季間の工事が不可能となり12月より翌年の4月末まで休工、春の雪解けを待って工事再開となる。

国道352号沿線は、越後三山只見国定公園、尾瀬ヶ原などの多くの観光地を有し観光振興に貢献する道路として期待されているとともに、豪雪地での生活道路確保を含め地域住民にとって一日でも早い路線の開通が望まれている。

長岡市は新潟県のほぼ中央に位置し、新潟市に続き第二の都市であり、古くから関東、北陸方面への交通の要所として栄えたところである。

江戸時代、譜代大名牧野氏治世の長岡藩は、7万4千石の城下町として繁栄したが、明治初頭、北越戊辰戦争で、明治新政府軍との激しい戦火を交え、長岡の城と町は焦土と化した。その後復興をとげ、明治、大正、昭和と歩んできた。太平洋戦争においては、アメリカ軍による焼夷弾空襲攻撃を受け、再び町は焦土化した。二度に及ぶ戦禍をくぐり抜けてきた歴史を持っている土地である。

さらに、記憶に新しい2004年10月23日夕方5時過ぎに発生した新潟県中越大地震においては、長岡市はも



坑口

とより周辺市町村においても住宅の全壊、半壊、交通網の寸断、ガス水道電気などのライフライン寸断など人的、物的に甚大な被害を受けた。

とくに山間地である旧山古志村、小千谷市、川口町の被災が大きく、地震による大規模地すべり、道路の陥没、集落の孤立が発生して自衛隊などによる救助作業が行われた。

当現場においては、中越大地震の震源地に非常に近い位置にもかかわらず、たまたま休工であったことから職員、作業員が現場に閉じ込められ被災することなく、人的被害もなかったが、事務所内は足の踏み場もないほど書類が散乱していた。また、トンネル内および現場設備の一部で補修・整備はあったものの被害としては少ない状況であった。

あれから3年いろいろ多方面での復興・復旧事業が進められ、旧山古志村の錦鯉発祥地の棚田池の復旧生産、国の重要無形文化財の「牛の角突き」地元開催など徐々にではあるが震災前の生活に少しでも近づけようと地域住民の方々が頑張っている。

また、現場近くには、長岡の奥座敷と呼ばれ、南朝の武将が古傷を癒したといわれる「蓬平温泉」、竜神を祀って建てた金運、商売繁盛の神様「高龍神社」がある。近くにこれらたれば一足伸ばしてみたらいかがだろうか？

(福田・加賀田・大石特定共同企業体萱峠トンネル作業所長)

# 施工

## 大断面トンネルを多様な施工技術で掘削

### —第二東名高速道路 金谷トンネル—

中日本高速道路(株)横浜支社掛川工事事務所工事長 岩本英将  
中日本高速道路(株)横浜支社掛川工事事務所工事長 岸本光弘  
奥村組・大日本土木・太平工業JV所長((株)奥村組) 安井義則  
鹿島・竹中土木・青木あすなろJV所長(鹿島建設(株)) 吉田安利

### 1 はじめに

第二東名高速道路(以下、「第二東名」という)金谷トンネルは、静岡県掛川市倉真~島田市大代(旧榛原郡金谷町)に位置する(図-1)標高532mの

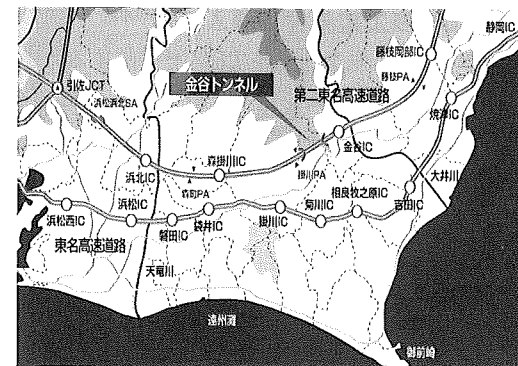


図-1 位置図

栗ヶ岳を東西に貫く上り線4,527m、下り線4,667mの第二東名高速道路で最長の双設トンネルである(図-2)。地質は、トンネルのほぼ中央部を境界として西側が新第三紀中新世の倉真層群(泥質岩)、東側が古第三紀漸新世の瀬戸川層群(砂岩・頁岩互層)という異なった特徴を持った地質から構成されており、倉真層群の戸綿泥岩を中心とする脆弱区間に亀裂の発達した瀬戸川層群を加えたD級地山がトンネル全長の78%となっている。このD

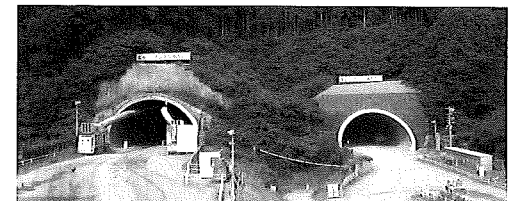


写真-1 金谷トンネル西側坑口

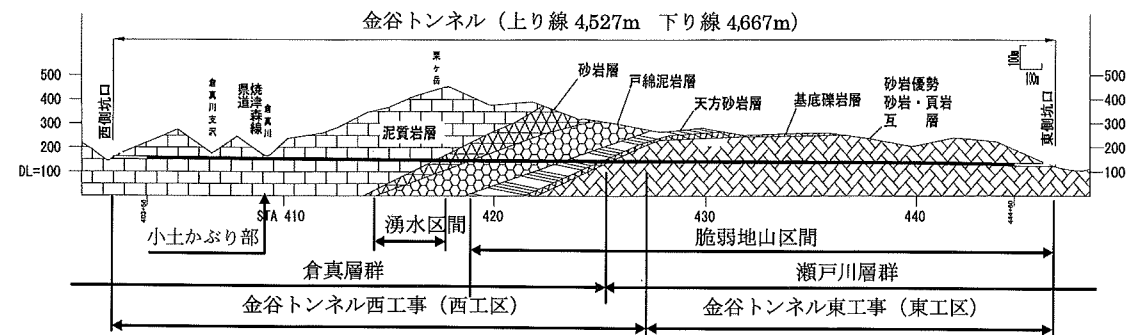


図-2 金谷トンネル地質縦断面図

級地山区間では、上半肩部から脚部にかけてのロックボルトのプレート変形あるいはボルトの破断といった変状が顕著に見られたため、ロックボルトにPC鋼棒を採用するなど合理的な支保パターンを設定し施工を行った。また、本トンネルでは県道、倉真川の真下を小土かぶりで通過する区間、上下線合わせて最大約6,000 l/minの湧水が生じた区間、大きな偏圧がかかる東側坑口部と施工が難しい箇所があったが、多様な技術を用い安全かつ合理的に施工することができた。

本稿では、本トンネルにおいて前述の条件下で採用・導入した技術の施工実績について述べる。

## 2 工事概要

本トンネルは掘削断面積が約190m<sup>2</sup>に達する大断面となっていることから、掘削工法はTBM導坑先進拡幅掘削工法を採用した。さらに、上半掘削時には(トンネル高さ/掘削幅)=0.4という扁平形状となり、支保工施工時の効率化や支保に対する荷重条件などを考慮し、従来より高強度の支保部材を採用した(図-3)。

## 3 TBM の施工

### 3-1 TBM施工実績

TBM導坑は1台のTBMにより上下線総延長8,271mを掘削した(下り線：1999年1月～2000年7月、上り線：2000年12月～2002年2月)。本トンネルでは、脆弱な地山への対応、高速施工という観点からTBM仕様および施工方法を検討し、順掘りとなる下り線導坑を先行施工した。TBMは施工性やTBM導坑内からの事前補強などを考慮して直径5mのフルシールドタイプとした。表

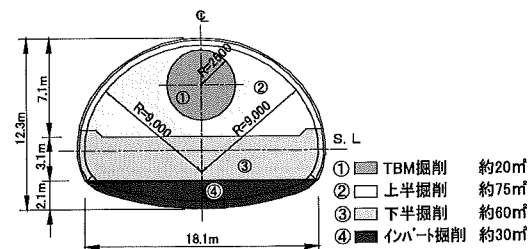


図-3 トンネル断面図



TBM仕様 ・形式：フルシールド型 ・全長：L=9m  
 ・掘進ストローク：1.5m  
 ・総スラスト力：16,268kN  
 ・メイングリッパ：19,600kN

写真-2 TBM本体

表-1 TBM導坑の施工実績

地山区分	上り線延長 (m)	下り線延長 (m)	総延長 (m)	掘削速度 (m/月)
C I	133	147	280	442
C II	983	792	1,775	465
D I	2,989	3,227	6,216	226
計	4,105	4,166	8,271	—

※掘削速度は、上下線実績の平均

-1に、TBM導坑の施工実績を示す。

### 3-2 TBM施工における導入技術

本トンネルの先進導坑をTBMで掘削するにあたり導入した主な技術を以下に紹介する。

#### 3-2-1 TBMナビゲータ自動測量システム

自動測量システムは自動追尾機能付き測量機を用いて、位置、距離をリアルタイムに測定できる。ナビゲータは、この自動測量システムと合わせて掘削時の機械データ(カットトルクほか)を自動的に収集、演算、表示、保存を行い、TBM操作に有益な情報をオペレーターにフィードバック

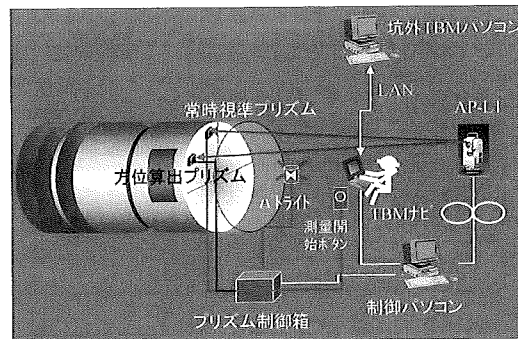


図-4 TBMナビゲータ自動測量システム

し活用できるシステムになっている(図-4)。

#### 3-2-2 連続ベルコンへのベルトスケール

連続ベルコンにベルトスケールを設置し、ずり量の監視を行った。これをTBMナビゲータ自動測量システムと併用することにより、TBM拘束対策として定量的な掘進管理が行え、ずりの量管理などの機械データにより地質状況を把握することができた。

#### 3-2-3 拡張式TBM鋼製ライナー

瀬戸川層群のような崩落性地山においては、TBM後胴内でエレクターにより組み立てられ、TBMの前進と同時に拡張し地山に密着させ支保機能を発揮させる拡張式鋼製ライナー(図-5)を採用した。

これによって支保作業の安全性向上と安定掘進が可能となった。

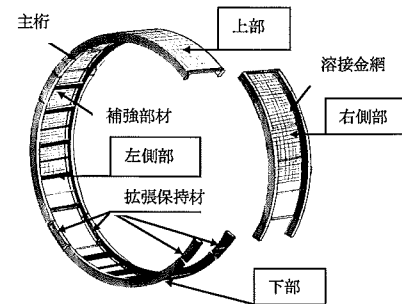


図-5 拡張式TBM鋼製ライナーの構造

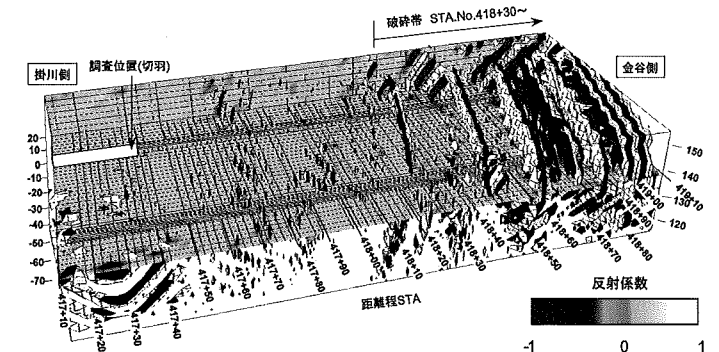
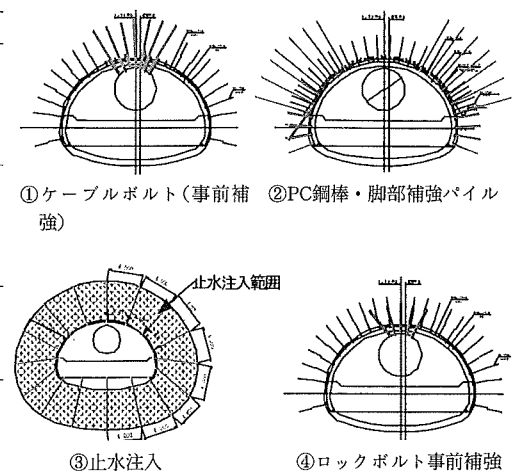


図-6 反射トモグラフィ結果の例

表-2 地質確認や切羽安定効果、施工効率の向上

地質	地質確認効果	切羽安定効果	施工効率の向上、その他
瀬戸川層群	亀裂の発達した区間の把握	TBM 導坑内からのケーブルボルト(8m)による事前補強(①)	ケーブルボルトのベアリングプレート定着部の技術開発による先行支保としての活用
脆弱な区間	地山強度比が低い区間の把握	拡幅掘削時のAGFによる天端崩落対策の採用	脚部補強パイルによる脚部補強やPC鋼棒の採用などの支保パターン採用(②)
湧水区間	約3t/分の集中的湧水区間の把握	水抜き効果による切羽安定	止水注入による坑内流量の抑制(③)
泥質岩区間	亀裂によるキーブロックの把握	ロックボルト(4m)による事前補強(④)	1掘進長の増(D地山における1.2mの確保)



保工の選定が可能となり、推力やトルクなど地山条件に応じた掘削運転方針を決め施工を行った。また、反射トモグラフィによって得られたデータは、TBM先進導坑の掘削データとともに本坑の支保工の合理的な設計におおいに活用することができた。

### 3-3 本坑拡張掘削への反映

TBM先進導坑の施工データにもとづいて、当該トンネルにおいて行った拡張掘削時の地質確認や切羽安定効果、施工効率の向上などの効果を、表-2に示す。

## 4 本坑拡張掘削の施工

### 4-1 本坑拡張掘削の実績

#### 4-1-1 安全性・安定性の向上

本トンネルでは、地山の応力状況の不確かさや亀裂による不連続面の影響、扁平断面による天端崩落などが大きな問題となることから、切羽の安定性や支保設計の妥当性、安全性の向上などを目的にTBM導坑先進拡張掘削工法を採用した。TBM先進導坑掘削後、島田市側および掛川市側の東西の両坑口から下り線を上半先進により先行掘削し、その後同様に上り線の掘削を行った。表-3に本トンネルの本坑拡張掘削の掘進速度を示す。

表-3 本坑拡張掘削(上半)の施工実績

地山区分	上り線延長 (m)	下り線延長 (m)	総延長 (m)	掘削速度 (m/月)
CI	-	44	44	155
CII	1,024	960	1,984	151
DI	1,199	2,216	3,415	89
DI(s)	-	165	165	62
DIa	126	517	643	71
DII	1,340	251	1,591	70
DII(s)	34	-	34	68
DIIa	358	-	358	64
DIII	413	481	894	45
合計	4,494	4,634	9,128	-

※インデックスaはケーブルボルトによる事前補強あり  
 ※インデックス(s)は大規模な追加補強あり  
 ※延長には坑門部を含まない

本トンネルは、全体の78%がD地山で、とくに脆弱なDIIが22%と不良地山の占める割合が高かったが、TBM先進導坑を採用したことにより、安全かつ確実に経済的な施工が可能となったと評価している。

安全性については定量的・客観的な評価は困難であるが、工事に従事したトンネル工事関係者へ行ったアンケートでは以下のような意見があった。

- TBM先進導坑から地質の状況、岩の強度、破碎帯の存在、ライナーの変形、湧水の状況が目視確認できたため、危険予知ができ、安全に対する対策が事前にとれた。
- 発破に関して、TBM先進導坑があることによって芯抜き発破が必要なく、上半先進工法に比べて、切羽直近での作業時間を短縮でき、飛石なども少なく比較的 safety に作業を進めることができた。
- TBMの水抜き効果で、湧水が多いところでも切羽背面に水がまわることによる切羽の崩壊が低減され、安全に作業できた。

#### 4-1-2 経済性の向上

第二東名の標準設計では、TBM先進導坑のあるトンネルでは水抜き効果や切羽の安定効果が期待できることから、1掘進長をTBM先進導坑の

表-4 金谷トンネル掘削で使用した施工機械

作業	東工事	西工事
掘削	190kg級 3ブームホイールジャンボ×1台 190kg級 3ブームホイールジャンボ×1台	190kg級 3ブームクロラジャンボ×1台 210kg級 2ブームクロラジャンボ×1台
爆薬	含水爆薬、電気雷管	含水爆薬、電気雷管
コソク	1.3t油圧ブレイカー×1台	1.4t油圧ブレイカー×1台
ずり積み・運搬	0.7m <sup>3</sup> バックホウ×1台 4.0m <sup>3</sup> ホイールローダ×1台 30tダンプトラック×5台	0.8m <sup>3</sup> バックホウ×1台 3.1m <sup>3</sup> ホイールローダ×1台 25tダンプトラック(ベッセル着脱式)×4台 ベッセル缶(15m <sup>3</sup> )×15缶
吹付け機械	16m <sup>3</sup> /h 吹付けロボット×2台	30m <sup>3</sup> /h 吹付けロボット×1台
支保工建て込み	4.0t車(運搬車) エレクタージャンボ×1台	8.0t車(運搬車) エレクタージャンボ×1台
作業架台	シート台車×1台 鉄筋台車×1台 セントル×1台	シート台車×1台 鉄筋台車×1台 セントル×1台

ないトンネルの標準設計より長くして経済性を追及している。本トンネルでは、地山区分CIIで1.5m、DIで1.2m、DIIで1.0または1.2mと1ランク上位の掘進長で施工を行った。

### 4-1-3 施工機械の組み合わせ

本トンネルでは、上半掘削にあたって、表-4に示すような機械編成で施工を行った。東・西工事ともにずり運搬を除いて、施工機械はほぼ同規模の機械編成を採用している。第二東名では上半断面積が約100m<sup>2</sup>程度確保できることから、この施工機械の組み合わせによって妥当な作業能力が確保できたと評価している。ずり運搬については西工

事は掘削延長が東工事より約500m長い2.5kmであることや、ずり処理先となる掛川パーキングエリアが坑口部の集落への騒音など環境配慮が必要であったことから、ベッセル式ダンプを採用した。

### 4-1-4 D級地山の支保パターン

本トンネルでは瀬戸川層群の砂岩・頁岩の互層および倉真層群の泥岩が中心であり、DI~DIIが全体の78%を占めていることから、切羽評価による地山区分を細分化し情報化施工による独自の支保パターンを設定した。DIおよびDII地山の代表的な支保パターンを表-5に示す。

これらの支保パターンでは、初期変位の抑制と

表-5 代表的な支保パターン(DI, DIIパターン)

支保パターン		DIIa	DI	DII
工区		東工区	西工区	
鋼製支保工 降伏応力 440N/mm <sup>2</sup>	サイズ	HH-200	HH-154	HH-200
	ウイングリブ	あり	なし	あり
吹付けコンクリート厚さ(mm) $\sigma_{28}=36\text{N/mm}^2$		250	200	300
ロックボルト(本数)	事前補強	222kN	7	-
	上半	290kN	6	13
		PC鋼棒	12	6
	下半	170kN	-	-
PC鋼棒		6	6	8
変形余裕量(mm)		200	100	200

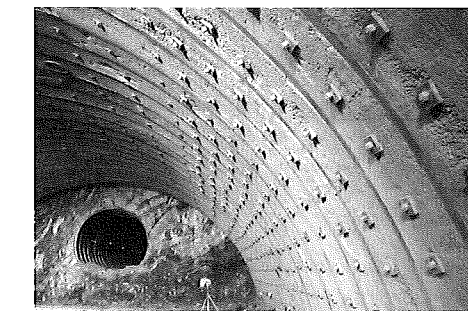
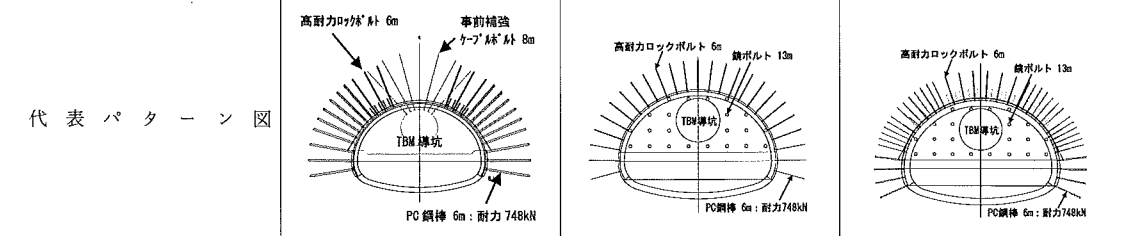


写真-3 PC鋼棒パターン打設状況

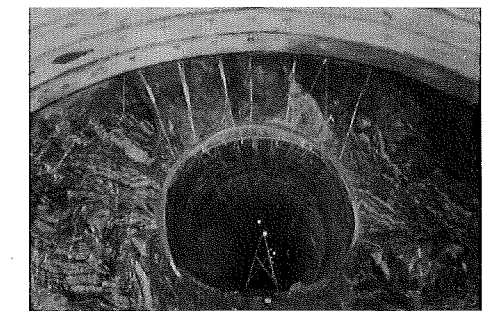


写真-4 ケーブルボルト設置状況

支保耐力の向上を目的としたPC鋼棒や拡幅掘削時の天端崩落防止によるトンネルの安定を目的としたケーブルボルトを支保工材として用いた。PC鋼棒パターン打設状況およびケーブルボルト打設状況を、それぞれ写真-3, 4に示す。

#### 4-2 小土かぶり区間での施工

本トンネルでは上・下線で西坑口より約720mの地点(図-2)において県道焼津森線、倉真川下部を横断する。この横断時の土かぶりは、県道焼津森線通過時は最小約21m、倉真川下部通過時は最小11mと非常に小さく、掘削時の地山の安定性や発破の振動・騒音による近隣家屋や住民の日常生活などへの影響が懸念されていた。

倉真川を横断する小土かぶり区間は、標準パターンによるグラウンドアーチの形成が不可能な範囲としてDⅢパターンが設定されていたが、以下のような問題があったため、補助工法や振動・騒音抑制工について検討を行った。

##### ① 地山の安定性

- ・切羽の崩落
- ・発達した亀裂による天端崩壊
- ・河川水のトンネルへの流入
- ・近隣家屋および県道焼津森線の沈下、変状

##### ② 振動・騒音

- ・近隣家屋における日常生活への支障
- ・近隣家屋および構造物の変状

このような問題点を解消するため、亀裂地山の崩壊防止に注入による改良効果が期待される無拡幅AGF-Pによる先受け補助工法を採用するとともに、発破による振動・騒音を抑制するため制御発破を実施した。発破振動値は、構造物に被害を及ぼさないと判断される0.5kine(cm/sec)を管理値に設定して、この管理値以内に収まるように1段あたりの最大装薬量を10, 5, 3, 2kg/段と民家に対する発破距離によって4パターン実施した。また、保安要員によって24時間体制にて県道の交通制限、監視を行った。結果として問題なく施工することができた。

#### 4-3 湧水区間での施工

上下線TBM掘削に伴い、倉真層群泥質岩層と

戸綿泥岩層との層境付近において湧水が発生した(下り線:最大約3,000ℓ/min, 上り線:最大約2,800ℓ/min)。坑内への地下水流入量の大幅な低減を目的として、TBMおよび本坑拡幅掘削の実績からとくに湧水が多かった区間(下り線270m: STA414+45~STA417+15, 上り線290m: STA414+85~STA417+75)(図-2, 写真-5)に対してポストグラウトによるトンネル外周に難透水層を形成する湧水低減工を行うこととなった。

施工にあたっては、セメント系の注入材を用いてすべての一次注入孔に対してルジオン試験を行



写真-5 湧水低減工施工前湧水状況

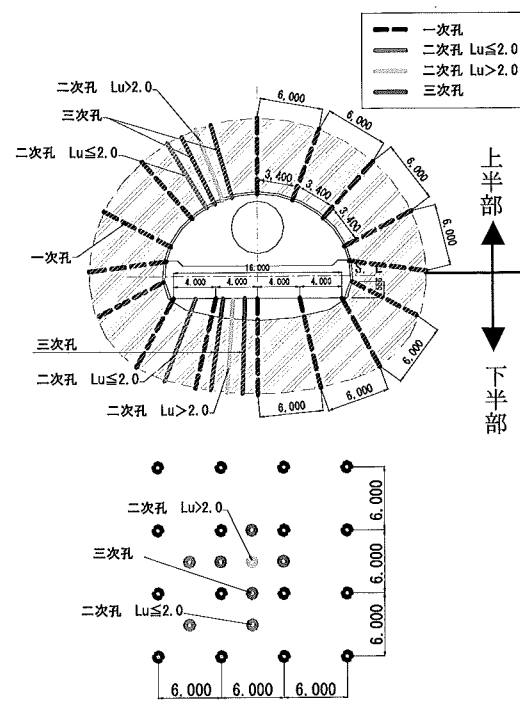


図-7 湧水抑制注入施工概要図

い、目標値(2.0Lu以下)を満足しない地山に対して湧水低減注入を行った。以降、目標値を満足するまで何度もルジオン試験と注入をくり返し行い、湧水低減対策を施した。改良厚さは他工事の実績などから7.0mと設定し、図-7に示すように削孔ピッチを6.0mで上半部と下半部とに分けて行った。なお、削孔は2ブームホイールジャンボを使用し、下半施工では削孔径φ64mm・削孔角度θ=60~90°で、上半施工では削孔径φ51mm・削孔角度θ=28°で削孔を行った。

このポストグラウトによる湧水低減対策は、掘削による緩みが生じた後の注入であり、より確実に効率的な湧水低減注入が行えた。なお、湧水区間での支保のロックボルトについてモルタルの定着材が使用できない箇所については、鋼管膨張型ロックボルトを採用している。

#### 4-4 脆弱地山区間での施工

##### 4-4-1 急激な変状に対する対策

本トンネルは、全体の約8割が地山等級DⅠ~DⅡに分類される地質条件であるため、支保工には高強度の支保部材を選定し、安全かつ合理的に施工できるように随時支保パターンの検討を行ってきた。しかし、トンネル掘削時には、初期段階(切羽離れ0.5D以内)で沈下量が40mmを超えたり、内空変位の変位速度が10mm/日を超えるような急激な変状が発生する区間が頻発した。施工中に発生した急激な変状については、ロックボルトの増し打ち、吹付けコンクリートの増し吹付け、サイドパイル・脚部補強パイルの施工およびインバートの早期閉合といった対策を講じた。以下にそれらの対策工について記す。

##### (1) 沈下対策

上・下線ともに、地層が褶曲した箇所では、事前補強あるいはPC鋼棒の採用、ウイングリブ付き支保工の採用といったさまざまな対策を行っている。しかし、このような対策を講じても200mmを超す大きな脚部沈下・内空変位を生じる区間にはサイドパイルおよび脚部補強パイルの補助工法を行った。サイドパイル・脚部補強パイルの施工箇所では、施工後のA計測の結果により、沈下が

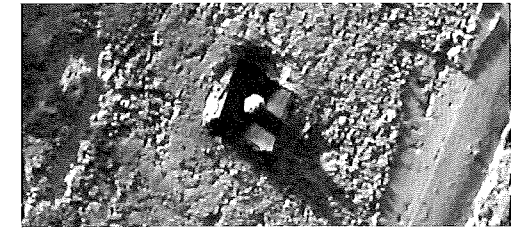


写真-6 ロックボルト破断状況



写真-7 吹付けコンクリートのクラック発生状況

抑制されている様子が伺え、その有効性が確認された。

##### (2) 変位対策

トンネル掘削に伴う急激な変位の影響により、ロックボルトが破断し、吹付けコンクリートにクラックが発生する箇所が頻発した(写真-6, 7)。ロックボルトの破断や吹付けコンクリートのクラック発生は、支保構造に大きな欠陥を生じ、変位の増大を助長する。したがって、このような箇所においては、PCボルトの増し打ちや吹付けコンクリートでの増し吹付けを行い、支保構造の強度を大きくすることで変位の抑制を図った。また、これらの補強でも変位がとまらない場合は、インバート早期施工による全断面閉合を実施した。

##### (3) 縫い返し施工

事前補強ボルトやPCボルトを採用した高強度支保工による施工を行い、計測にもとづく補助工法の実施を行ったにもかかわらず、変位量の増大によって設計覆工厚を確保できない区間が生じていた。それらの区間に対しては、縫い返しの施工を行った。

なお、覆工厚について設計覆工厚500mmに対して450mmしか確保できない区間は、覆工コンクリートの強度を設計の30N/mm<sup>2</sup>から40N/mm<sup>2</sup>に変更し補強鉄筋を増加させることで縫い返しの施工量を

減少させた。

実績として、覆工強度を変えることで60%程度の縫い返し面積を低減でき、安全性と経済性を向上させることができた。

### 4-4-2 切羽崩落対策

#### (1) 東工区における切羽崩落対策

東工区の瀬戸川層群は頁岩と砂岩の互層から構成されており、亀裂が発達した剥落の危険性が高い不良地山となっている。その中でもとくに本坑拡張時の切羽において崩落の発生が懸念される不良地山区間では、本坑拡張前にTBM導坑からケーブルボルトによる事前補強工を施工した(写真-4)。

事前補強の設計にあたっては、①拡張掘削時に6mのパターンボルトの打設範囲をカバーできること、②拡張掘削によって切断される範囲をできるだけ短くすること、③直径5mのTBM導坑内から効率的な施工ができることなどを考慮した。事前補強を施工した場合の支保パターンを図-8に示す。ケーブルボルトの施工は後充填方式とし、定着材としては流動性と可塑性を有するプレミックスモルタルを使用した。

事前補強の効果の照査にあたっては、検証断面として6か所にB計測断面を設置して計測値を分析した。各断面でばらつきは見られたが、ケーブルボルトには切羽到達時点で80~150kNの軸力が発生していることが確認できており(図-9, 10)、切羽が到達した瞬間から吊り下げ効果による切羽崩落の抑制に加え、内圧効果を発揮することで切羽の安定性の向上に寄与しているものと判断している。

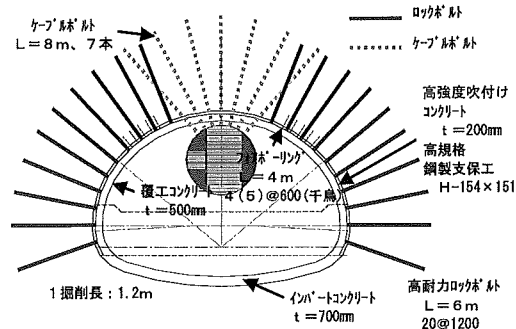


図-8 ケーブルボルトを用いた支保パターン

#### (2) 西工区における切羽崩落対策

西工区の倉真層群では土砂状に風化した泥岩層が比較的安定した泥岩に挟在して出現し崩落するケースが多く、瀬戸川層群では東工区と同様に頁岩と砂岩の互層であることから大きい岩塊で剝離し崩落するケースが多かった。下り線での施工では不良地山区間での切羽崩落(写真-8)が頻発したため、切羽の状況に応じて鏡吹付け工の厚さ(5~10cm)、鏡ボルト工の可否を判定する管理フローを用いて掘削サイクルに切羽崩落対策工を採り入

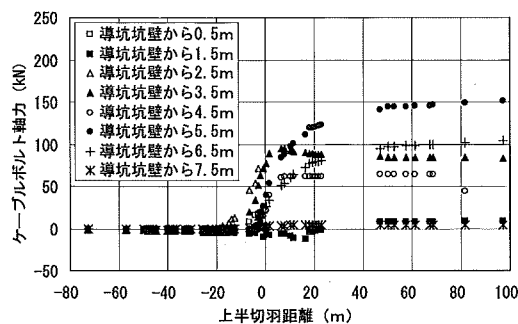


図-9 ケーブルボルト軸力と上半切羽距離(断面②)

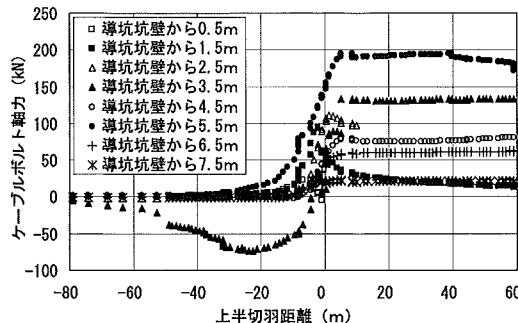


図-10 ケーブルボルト軸力と上半切羽距離(断面⑤)

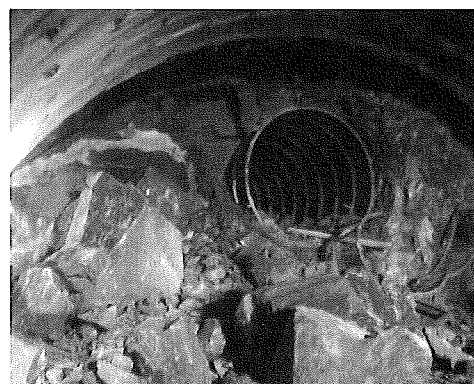


写真-8 切羽崩落状況(倉真層群)

れた。また、上り線での施工ではTBM坑内での地質観察結果などから事前に崩落の危険性のある箇所については、長尺鏡ボルト(ボルト長6~13m)を支保パターンに取り入れ施工を行った。

### 4-5 偏圧・小土かぶりの坑口部の施工

#### 4-5-1 坑口法面对策

東工区の下り線坑口部では地形的制約からトンネルルートが斜面に平行になっており、偏圧・小土かぶりといった条件下で掘削せざるを得ない状況であった。下り線STA448+54~447+00(以下、「坑口対策区間」という)では偏圧に起因するトンネルの脚部沈下、谷側への押し出し、法面のすべり挙動が発生したことから、動態観測を強化するとともに、地すべり対策工、脚部沈下対策工を施

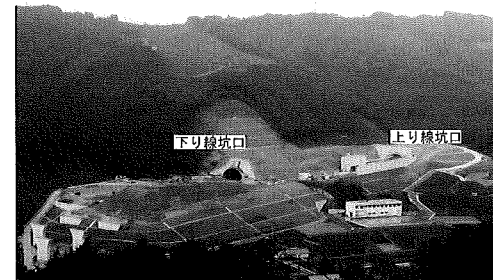


写真-9 坑口対策区間遠景

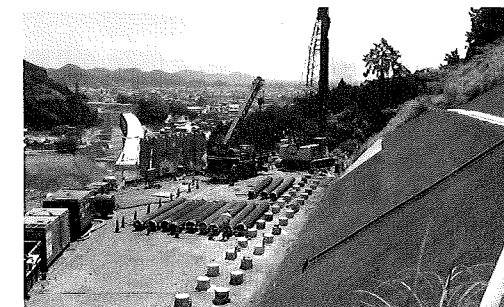


写真-10 地すべり抑制杭の施工状況

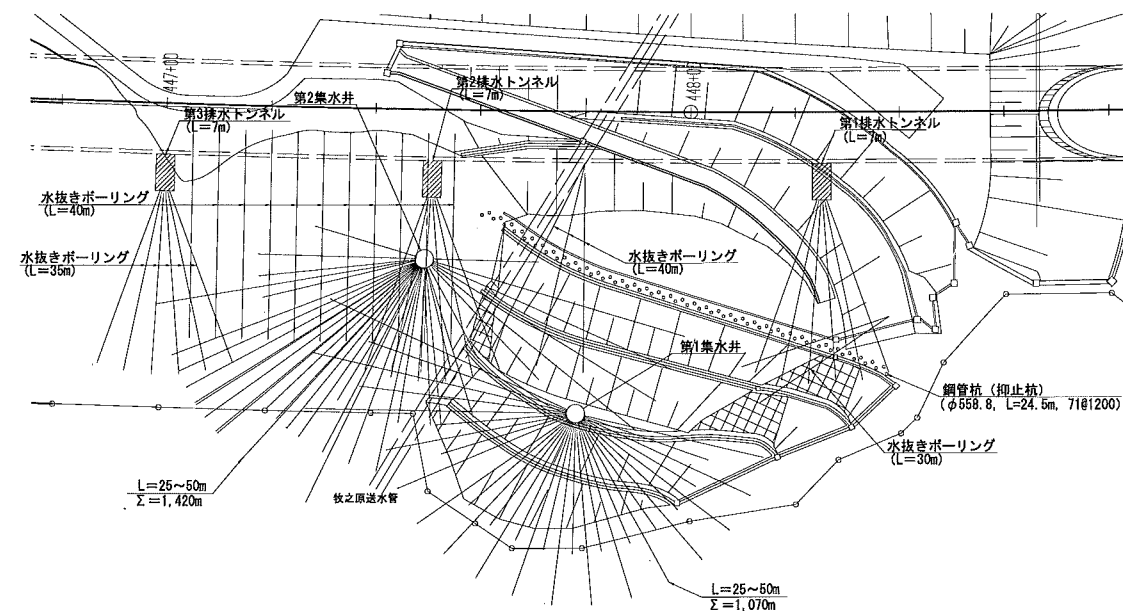


図-11 地すべり対策工の施工状況

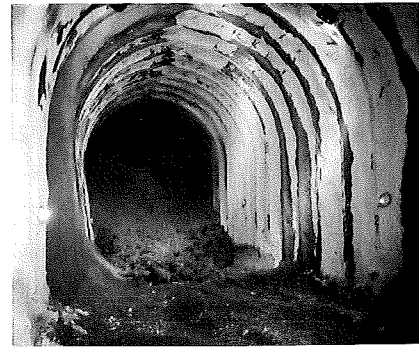


写真-11 中央導坑切羽崩落状況

水抜きボーリングおよび鋼管杭の施工状況を写真-11、写真-10に示す。今後、仮押さえ盛土を撤去し、地山の挙動が落ち着いていることを確認した後に覆工コンクリートを施工する予定である。

4-5-2 坑口脚部沈下対策

坑口対策区間では砂岩・頁岩ともにかなり風化が進んだ状況であり、砂岩は土砂状を呈するとともに頁岩部分は粘土化が進んでおり、脆弱な地質条件となっていた。本区間では全体的な工程との関連でTBM導坑先進掘削工法を採用することができなかったが、このような地質の悪条件を踏まえ、事前の地質の確認、トンネルの先行補強の実施を念頭において中央導坑先進掘削工法により施工を行った。中央導坑では切羽の小崩落が発生したが(写真-11)、切羽の状況に応じてグラスファイバー材料によるフォアボーリングおよび鏡ボルトを施工することで、崩落を最小限にとどめることができた。

また、本線掘削において、地山の風化は上半脚部にまで及んでいたことから最大200mm程度の大きな脚部沈下が発生した。一般部と同様に天端沈下と脚部沈下が同程度発生すると下がりの挙動を示していたが、偏圧の影響により、トンネルが谷側に押し出されるような挙動が加わっていた。

トンネルの変位を抑制することが法面全体の安定性確保にも寄与すると考えられることから、対策工としては、上半脚部の脚部補強パイル、サイドパイルを基本として、必要に応じて上半仮インバート、下半での脚部補強パイル、サイドパイル、

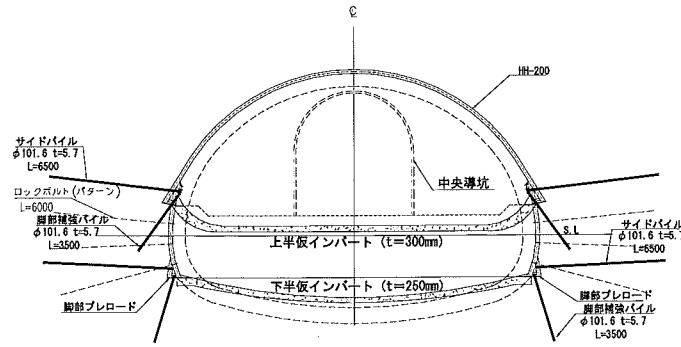


図-12 対策工施工パターン(STA447+82)

仮インバートを追加施工した。下半の鋼製支保脚部には支保軸力の地山への効率的な伝達を目的としてプレロードシェル(モルタル注入、圧力0.3MPa)を導入した。対策工の施工パターンを図-12に示す。

計測の結果、上半および下半において施工した補強パイルによる沈下抑制効果を確認することができた。また、パイル施工位置が切羽に近いほどその効果が大きいこと、上半仮インバート、上半脚部補強パイル・サイドパイルは下半掘削時にも沈下抑制効果を発揮することが確認できた<sup>7)</sup>。

4-6 その他施工技術

4-6-1 防水シート張りの機械施工

従来の人力施工(2m幅)によるシート張りを機械化施工(写真-12)による作業の合理化と安全性確保を図るため、6m幅のシートを着貼機に張り付け、マジックテープで固定する工法を採用した。これにより、現場圧着が少なくなり品質の向上が図られた。

4-6-2 大型自走台車による大型アーチセトル移動

下り線から上り線へのアーチセトル(幅17m、高さ12m、長さ12.5m、重量210t)の移動に際し、①レールを敷設しての通常移動、②セトルの解体・トラックによる運搬・再組み立て、③大型自走台車による移動を比較した。その結果①のレール案がもっとも経済的であったが、連絡道路が水平距離80m、高低差5m(8%勾配)であることから、最終的には安全性、確実性が優位でかつ短時間で移動可能な大型自走式キャリア案を採用した。



写真-12 防水シート張り機械施工



写真-14 大型アーチセトル移動状況



写真-13 大型自走台車

この台車(写真-13)のサスペンションは600mmのストロークがありセルフで荷の積み下しができ、路面に凹凸があっても均等に輪過重がかかる構造となっており、1.5日で移動できた(写真-14)。

4-6-3 磁歪法によるトンネル支保工応力測定

脆弱地山区間において支保応力などの計測を実施していない箇所にて想定していない変状が生じたため、下半・インバート施工時における支保構造の健全性を確認するためにも上半掘削完了時での支保工発生応力を推定する必要があった。そこで、始めから計器を設置しなくても応力を測定できる磁歪法により支保工応力測定を実施した(写真-15)。

本トンネルは高規格支保工が対象であるため、まず室内で曲げ試験を実施し、出力電圧を応力に変換するための応力感度曲線を設定した。そして、現地に建て込んである鋼アーチ支保工の出力電圧を測定し発生応力を推定した。

今回採用した磁歪法はあらかじめ計器を設置しなくても簡易に応力を測定でき、計測ケーブルなども不要となるため、非常に有用な計測手法であった。



写真-15 磁気プローブ(計測器)

表-6 ベースコンクリートの配合

水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 kg/m <sup>3</sup>				混和剤
		水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
42.0	56.0	190	450	918	718	5.4

4-6-4 高炉セメントB種を用いた高強度吹付けコンクリート

高強度吹付けコンクリートの主材料であるセメントの種別は普通ポルトランドセメントが主流であるが、材料リサイクル、低アルカリ化、耐化学抵抗性などが期待できる高炉セメントB種を用いた吹付けコンクリートを試験施工を踏まえて実施に適用した。

高強度吹付けコンクリートに高炉セメントB種を使用した試験施工を実施(表-6)し、以下の結果を得た。

- ① 初期強度の低下抑制のために水セメント比を低くすることで、スランプ18cmでは搬送抵抗が大きく閉塞や脈動が起きるが、減水剤によりスランプフローを50~55cm程度にすれば、施工性は改善される。
- ② 材齢24hまでの初期強度、4週の長期強度は基準強度を十分満足し、跳ね返り率や粉塵量は標準配合より少なくなる傾向となった。

③ 細孔測定の結果で標準配合より組織が緻密であることがわかり、透水性やイオンの拡散性が小さいと判断できる。

以上の結果を踏まえ、下り線東坑口部329mおよび上り線1,386m区間で高炉セメントB種を用いた高強度吹付けコンクリートを施工した。

## 5 おわりに

1999年1月の工事着手後、2000年8月に下り線TBM導坑、2002年2月に上り線TBM導坑、2003年8月に下り線本坑貫通について2007年1月に上り線本坑が貫通した。本トンネルは第二東名高速道路では最長のトンネルであり脆弱な地質条件を克服し着工8年で上下線との貫通に至った。

本トンネル工事においてTBM導坑先進掘削工法や高強度支保工の採用およびそれに付随する工事に対して多様な技術展開に積極的に取り組む工事全体を通して合理的な施工を行うことができたと考えている。

## 参考文献

- 1) 岩本英将・河合朝仁・大志万久芳・吉田安利：大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服、トンネルと地下、Vol.37, No.3, pp.15-22, 2006.3.
- 2) 岩本英将・岸本光弘・安井義則・吉田安利：第二東名高速最長トンネルの脆弱地山をこうして掘った！—第二東名高速道路 金谷トンネル—, 土木学会誌, Vol.92, No.10, pp.72-75, 2007.10.
- 3) 吉田武男・吉田安利・岡崎隆雄・森孝之：前方探査

に基づく脆弱地山TBM拘束対策の実績、トンネル工学研究論文・報告集, Vol.12, pp.345-350, 2002.11.

- 4) 八木弘ほか：高土被りの泥岩地山における大断面トンネルの変形挙動、土木学会トンネル工学研究論文・報告集, Vol.13, pp.247-252, 2003.11.
- 5) 八木弘・橋本昌朗・吉田安利・萩原智寿：大断面トンネルにおける変形挙動の特性とPC鋼棒の支保材料としての適用性について、トンネル工学論文集, Vol.14, pp.83-94, 2004.11.
- 6) 八木弘・米倉文雄・浅野剛・安井義則：事前補強ケーブルボルトによるトンネル安定性と支保効果に関する検証、トンネル工学論文集, Vol.14, pp.95-106, 2004.11.
- 7) 八木弘・米倉文雄・浅野剛・安井義則：扁平大断面トンネル坑口部における脚部沈下対策工の施工と効果の検証、トンネル工学報告集, Vol.15, pp.145-152, 2005.12.
- 8) 八木弘・河合朝仁・橋本昌朗・吉田安利・玉村公児：大断面双設トンネルにおける既存調査・施工実績データを用いた後行トンネルの脆弱地山支保パターンの設定と施工、トンネル工学報告集, Vol.16, pp.91-98, 2006.11.
- 9) 八木弘・岩本英将・山本哲人・浅野剛・安井義則：計測結果に基づく大断面トンネルの合理的支保パターンの提案について、トンネル工学報告集, Vol.16, pp.127-134, 2006.11.
- 10) 本庄正樹・八木弘・日置洋平・吉田安利・玉村公児：双設トンネル脆弱地山区間における後行トンネルの変状予測と先行トンネルの覆工への影響、トンネル工学報告集, Vol.17, 2007.11.
- 11) 八木弘・日置洋平・山本哲人・吉田安利・安井義則：第二東名金谷トンネルの施工実績からみた大断面トンネルの設計・施工の評価、トンネル工学報告集, Vol.17, 2007.11.



## 「旧雲石街道のまち」可部より

越 智 辰 彦

広島市の北方15kmに位置するここ可部は現在、広島市のベッドタウンである。また、出雲・石見からの街道が太田川の水運に変わる結節線として古くから栄えた町でもある。

可部を代表する施設として、可部の起源とされる市場集落を造った熊谷氏が築いた高松城の跡地がある。城郭には山頂近くに「本丸」「二の丸」「馬場」「与助の丸」「明堂寺」などと呼ばれる規模の大きい郭が配置されており、東、西、南の尾根には、階段状に数多くの郭が残されている。

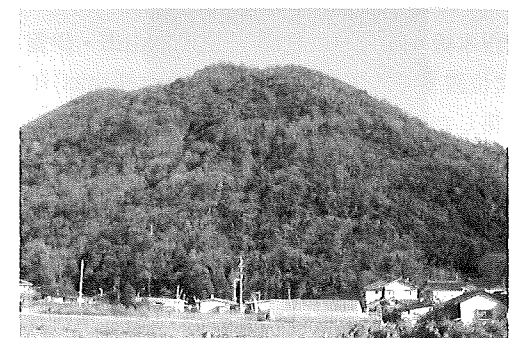
JR可部線とはほぼ並行して走る国道54号線は、広島市を南北に貫く幹線道路である。祇園大橋から古市までの間に幅員15mの新国道が完成したのは、モーターゼーションの到来に先駆けた1960年のことであった。しかし、70年以降急速に進んだ広島市北郊の住宅団地の開発とマイカーの普及によって、新国道の通行車両はたちまち慢性的な交通渋滞を生み出した。それから20年あまりたってようやく太田川より数百mのところには祇園新道が開通し、高架式の新交通システムの完成とあわせて、この地域の様相は大きく変わろうとしている。新しい交通体系が整備されると、人や車の流れをあてこんだ大型店舗が進出し、周辺はにわかに活気づく。その一方で、かつてのメインストリートは昔ながらの商店街がひっそりと軒をならべる裏通りと化してしまう。ここ最近あちこちで見かけられる光景だが、可部周辺に残された旧道の風景に私は興味をそそられる。

国道54号線において、人口増加に伴う通勤・通学交通の増加や広島県北部、山陰地域から広島都心部への通過交通などにより、広島県安佐北区可部付近では、慢性的な交通渋滞を呈するとともに、交通事故も多発し、都市活動に重大な影響を及ぼしている。

大林トンネルはこれらの問題を解消するために計画され、平成13年に事業着手し、現在、新太田川大橋～



可部バイパス完成予想図



三入高松城跡

市道山倉線間まで開通している可部バイパスの整備中区間にあり、バイパス北端部に位置する389mのトンネルである。

施工箇所周辺の地質は中生代のジュラ紀以前の堆積岩類、中生代白亜紀の堆積岩類、流紋岩類、中世代白亜紀～新生代古第三紀の花崗岩類が分布し、当該地の基盤を形成している。しかし、両坑口は崖錘性堆積物および土砂流堆積物からなっている。工事は広島側からの片押し施工で機械掘削を行い、坑口付近は天端部の安定対策として注入式長尺鋼管フォアパイル工 (AGF) を採用する予定である。

地域住民のご理解とご協力を得ながら、発注者および関係各位のご指導のもと、無事故・無災害での竣工を目指して作業所全員一丸となって工事に鋭意取り組む所存である。

(東亜建設工業(株)大林トンネル作業所長)

E. フック・E. T. ブラウン共著

## 岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450)

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



## ■白石直治と加太トンネル

関西本線・加太<sup>かぶと</sup>～柘植間(三重県亀山市・伊賀市)に位置する加太トンネルは、1890(明治23)年に開業した延長928mの単線鉄道トンネルで、関西<sup>かんせい</sup>鉄道によって建設された(関西鉄道は、1907(明治40)年に国有化されて関西本線となる)。関西鉄道では、その建設にあたって白石直治・東京帝国大学土木工学科教授を招聘し、工事に万全を期した。白石は、工期を短縮するために立坑を用いたが、これはわが国の鉄道トンネルとしては初めての試みであった。

今回は、加太トンネルを完成させた白石直治と、立坑の現状について紹介してみたいと思う。

## ■白石直治の生涯

白石直治は、このシリーズの第18回(2006年6月号)で紹介した白石多士良の父で、1857(安政4)年に土佐藩(高知県)で生まれ、1881(明治14)年、東京大学土木工学科を卒業して農商務省に入省し、1年後には東京府土木課へ転じた。1883(明治16)年に文部省から海外留学を命じられ、アメリカ・ニューヨーク州のレンセラー工科大学へ入学、さらにフェニックス橋梁会社、ペンシルバニア鉄道で実習を重ね、ヨーロッパを経由して1887(明治20)年に帰朝し、東京帝国大学工科大学土木工学

科教授に迎えられた。

白石は、教授職の傍らで官許を得て関西鉄道の囑託となり、四日市～草津間の工事に従事したのち、1890(明治23)年、33歳で大学を去って関西鉄道社長となった。関西鉄道では、将来の広軌化を予測して、柘植以西のトンネルをドイツの建築定規にもとづく広軌断面で建設するなど、従来の鉄道にはないアイデアを取り入れ、官設鉄道の東海道本線のライバルとして名阪間の覇を競った。

1898(明治31)年には関西鉄道を辞して、九州鉄道、若松築港、猪苗代水力電気の経営に関与したほか、1912(明治45)年には衆議院議員となり、さらに1919(大正8)年には土木学会会長に就任したが、持病の腎臓病のため同年2月に61歳で急逝した。白石の葬儀は、キリスト教式で行われ、青山墓地へ埋葬された(写真-1)。

## ■加太トンネルの施工

わが国のトンネル工事における立坑は、すでに田邊朔郎によって1885(明治18)年に着工した琵琶湖疏水で深さ45.5mと22.7mの2本が掘削されて

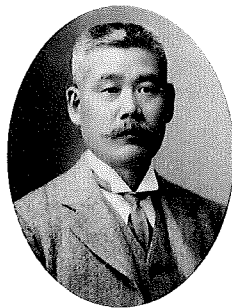


写真-1 白石直治(1857～1919)

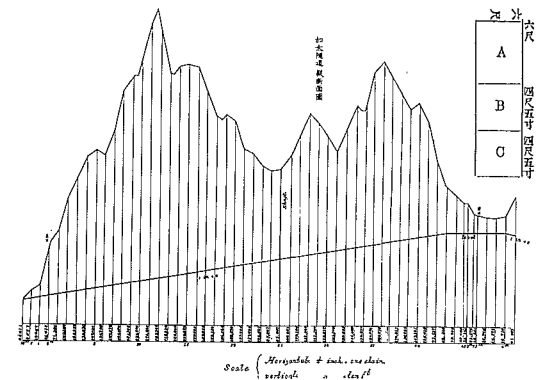


図-1 立坑の位置と平面略図(右上)

いたが、加太トンネルはこれに次ぐものとして、1889(明治22)年1月に着工した。

立坑の詳細については、白石自身による「関西鉄道工事略報」(『工学会誌』第7輯・第84巻(1888)所載)の中で触れられているが、これによれば立坑はトンネルのほぼ中央にある谷部に設けられ、本坑アーチまでの深さは約24.4mであった。立坑は現在のような円形断面ではなく、図-1に示すような縦15尺(約5.0m)×横6尺(約2.0m)の長方形断面で、木枠によって3室に区分されていた。それぞれの立坑は、A坑に水替え用蒸気ポンプのパイプ類(スチームパイプ、デリバリーパイプ、エギゾーストパイプ)を、B坑およびC坑をエレベータ(捲揚器)として用いた。このうち、蒸気ポンプは外国製品であったが、捲揚器と捲揚器用汽罐は石川島造船所で製作された。

加太トンネルは、1890(明治23)年12月に竣工し、同月25日に開業したが、当時、全国の鉄道トンネルの長さでは5位にランクされた。

## ■立坑の跡を訪ねる

今から20年ほど前のある日のこと、『工学会誌』に書かれていた加太トンネルの立坑のことが気になり、その跡地を確認するために現地を訪れてみたことがある。国土地理院の地形図と、『工学会誌』に掲載された縦断面図を頼りに立坑の位置とおぼしきあたりを探索したところ、果たして林道から少し入った森の奥に、7m×4.5m程度のコンクリートでできた楕円形の蓋と(写真-2)、高さ



写真-2 立坑を塞いでいる蓋

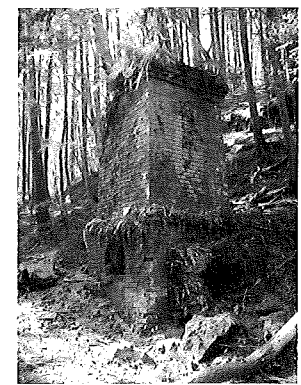


写真-3 煉瓦造の塔状の構造物

4m程度の煉瓦積み煙突のような構造物(写真-3)を発見することができた。

後日、現地を管理する保線区のOBの方に話をうかがったところ、コンクリートの蓋が立坑の位置で、現在でも蓋の下には立坑が埋まっているはずとのことであった。また、煉瓦の構造物は、立坑の方向に耐火煉瓦の側溝などが埋もれていることから、立坑の付属施設であると推定されたが、今のところ具体的な用途は明らかでない。いずれにしても、鉄道トンネルとしてはわが国最初の立坑が、百年以上の歳月を経てこのような形で残っていることは奇跡的である。

鉄道トンネルにおける立坑は、その後いくつかのトンネルで用いられたが普及せず、本格的な採用は、1942(昭和17)年開業の関門トンネル(本誌2007年10～12月号参照)や、1962(昭和37)年開業の北陸トンネルの建設まで待たなければならなかった。

# 土木情報 No.416

今日の主な入札結果 (12月10日～1月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北陸農政局	九頭竜川下流農業水利事業十郷1号用水路国道8号線・県道横断部接続	奥村組	1,126
関東地整	八王子南バイパス浅川T(その2)	清水建設・前田建設工業JV	2,150
近畿地整	第二京阪(大阪北道路)倉治地区連続函渠その他	飛鳥建設	741.8
九州地整	東九州道(蒲江～県境)浦之迫T南新設	鴻池組	1,608
東日本高速道路	北海道縦貫自動車道森	三井住友建設	2,069
首都高速道路	SJ11工区(4)上層T接続	大成建設・フジタ・戸田建設JV	455
阪神高速道路	遠里小野第2工区開削T	清水・奥村JV	3,590
群馬県	流域下水道建設事業(管渠築造)太田・大泉幹線第9-2工区	大沢建設	230
都・財務局	環2地下T(仮称)築造(19-環2新橋第一工区)	清水建設・小田急建設・さとうベネックJV	1,882
都・水道局	世田谷区鎌田四丁目地先から同区鎌田三丁目地先開配水本管(1600mm・600mm)移設及び新設	株木建設	543.7
〃	千代田区日比谷公園1先外1か所配水本管(1000mm～600mm)新設	前田建設工業・熊谷組JV	171.8
〃	練馬区南大泉四丁目37番地先から同区東大泉七丁目6番地先開配水小管布設替	東財建設	237.44
都・下水道局	第二谷田川幹線	清水建設	625
〃	落合川雨水幹線その2	日特建設	385
〃	第二立会川幹線その2	鹿島・飛鳥・三井住友JV	1,422
新潟県	国管渠8-1-25-1号西川流域下水道(西川処理区)西川6号幹線管渠築造(推進その1)	佐藤企業	155.39
〃	〃 8-1-25-2号 〃 〃 (推進その2)	本間組	155.35
〃	19関連2-1号一般国道352号道路災害関連事業(仮称)椎谷T	植木組・本間組JV	1,249
〃	緊地改6-3号主地柏崎高浜堀之内線緊急地方道(仮称)濁沢3号T	加賀田組・中越興業JV	754.9
岐阜県	梅谷T(垂井工区)	岐建・西濃・佐竹JV	753
愛知県	新川東部流域下水道事業きよ布設(六ツ師工区)・師勝東部幹線	中部土木	302
和歌山県	紀の川中流流域下水道(那賀処理区)那賀幹線管渠(シールド)	真柄・浅川特定JV	461.69
〃	国道425号(仮称福井1号T)道路改築	奥村組・関特定JV	1,430
島根県	(主)津和野田万川線輝Ⅱ工区地方道路交付金(改良)(仮称)新昭和T	大畑建設・半田組・日新建設JV	2,010
〃	浜田川総合開発事業付替県道(下流工区)1号T(仮称)	半田組・河野建設JV	619
〃	仮排水路T	今井・トガノJV	449
牛久市	19市単公下第1号, 下町雨水幹線管渠布設	株木建設・桂建設JV	104.5
宇都宮市	公下築造第204工区(西川田川1-1号幹線)	宇都宮土建・山本JV	228.27
横浜市	都筑処理区今宿西幹線下水道整備(その2)	宮本土木	370.66
〃	〃 新井雨水幹線下水道整備(その3)	加藤組	143
〃	南部処理区根岸地区下水道再整備(その17)	石田建設	161.38
〃	港北処理区新羽末広幹線(太尾・駒岡区間)第二工区下水道整備(その2)	鹿島建設・佐藤工業・松尾JV	5,860
〃	西部処理区東中田第二雨水幹線下水道整備	三ツ和総合建設業協組・芦沢JV	967.05
〃	栄処理区下倉田第二幹線下水道整備(その3)	白崎建設	100.26
川崎市	江川1号雨水幹線その3	西武建設・坪井工業・真成JV	957
藤沢市	国補第3工区亀井野雨水1号幹線築造	大日本土木・森山JV	265
〃	国補第1工区藤沢西部貯留管築造	大日本土木・森山建設・湘南建設JV	1,119.8
静岡市	362号(大原工区)道路改良(仮称・大原第1T)	不動テトラ・静鉄・石福JV	826.2
名古屋市	第6次南陽西部汚水幹線下水道築造	機動建設工業	126.98
〃	福屋汚水幹線下水道築造	大旺建設	114.7
〃	第3次荒田町幹線下水道築造	大旺建設	173.4
大阪市	夢洲4区域内下水道整備(雨水管)	ショベル工業	284.2
〃	南部幹線(住之江-2)800mm配水管改良	田村建設	167.2
明石市	谷八木第4号雨水幹線(1工区)布設	紙谷工務店	100.96

## 施工

### 既設地下重要構造物下を二種類のシールド工法で克服

—西大阪延伸線(阪神なんば線) 第3工区—

西大阪高速鉄道(株)計画部部长 久保田 晃 司

阪神電気鉄道(株)西大阪線延伸推進室建設工事事務所係長 仲 田 義 弘

大成・前田・五洋特定建設工事共同企業体西大阪延伸線3工区工事作業所所長 重 光 達

大成・前田・五洋特定建設工事共同企業体西大阪延伸線3工区工事作業所課長 小 倉 崇 敬

#### 1 はじめに

西大阪延伸線(阪神なんば線)は、阪神西九条駅と近鉄難波駅を結ぶ鉄道路線で既存鉄道との新たな鉄道ネットワークを形成するとともに、阪神・近鉄の相互直通運転により神戸・奈良間の広域流動に資する路線でもある。

本路線は、高架式である阪神西九条駅を起点とし、安治川を橋梁で横断した後、中央大通り(市道築港深江線)までの区間において地下に移行し、その後、地下式である近鉄難波駅西方の折り返し線に至る建設延長3.4kmの路線であり、地下区間には九条駅、ドーム前駅、桜川駅を、また桜川駅西方に折り返し用の引上線を構築している(図-1)。

構造形式としては、地上部がRCラーメン高架橋、PC桁、鋼桁などの高架構造とU型擁壁構造であり、地下部は、前述の3駅および引上線がRC函型構造、駅間ずい道部が単線併設シールドトンネル(ダクタイルまたはRC)である。

工事場所は大阪市内中心部であり、種々のインフラ施設が近接する狭隘な施工条件であるが、種々の最新技術を用い工事を進めている。

本稿では、このような工事のなかで、既設構造

物や輻輳した埋設管に近接したシールド工法の施工に関して第3工区の施工事例を報告する。

#### 2 第3工区工事概要

第3工区工事は、桜川駅西側に延長227mの引上線を開削工法で建設するとともに、ドーム前駅から桜川駅までの線路部(527m×2)をシールド工法(泥土圧式;単線Uターン方式)で施工するものである(図-2)。

図-3に土質柱状図を示す。土質の特徴としては、引上線部は沖積粘性土層(Ac層: N値=1~5)に位置し、本線シールドは、ドーム前駅付近において洪積砂礫層(Dsg1層)が主体となるが、掘進部の大半はこの軟弱な沖積粘性土である。

引上線の構造は外形10.0m×7.55mの一連のボックスカルバートであり、当初は全線開削工法にて構築する計画であったが、区間内にある交差点部において、複数の埋設管が横断しているために開削工法が適用できず、その箇所を大断面分割シールド工法(ハーモニカ工法)にて施工を行った。

一方、シールドトンネルは泥土圧式掘削機を用い、セグメントは外径6.8mのダクタイルセグメントを使用している。掘進はドーム前駅より発進

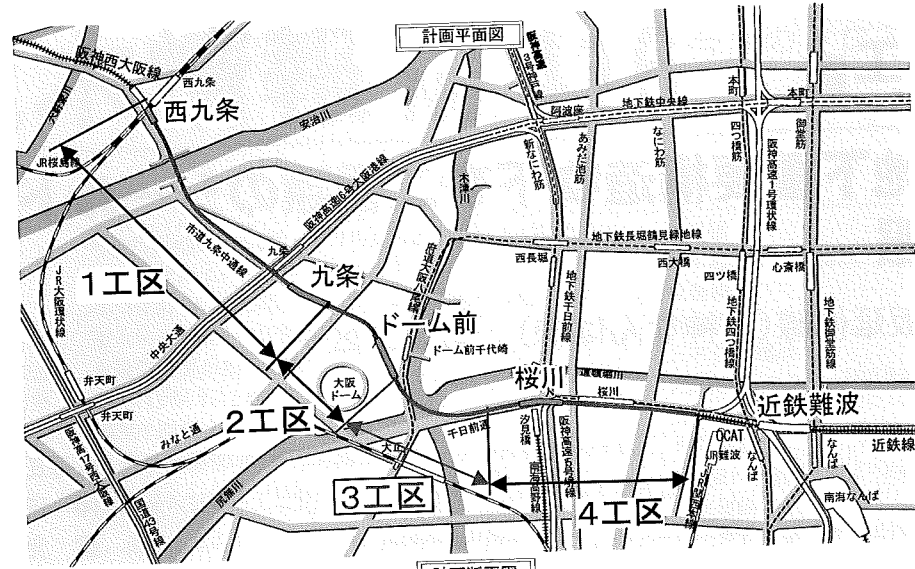


図-1 西大阪延伸線(阪神なんば線)建設工事計画図

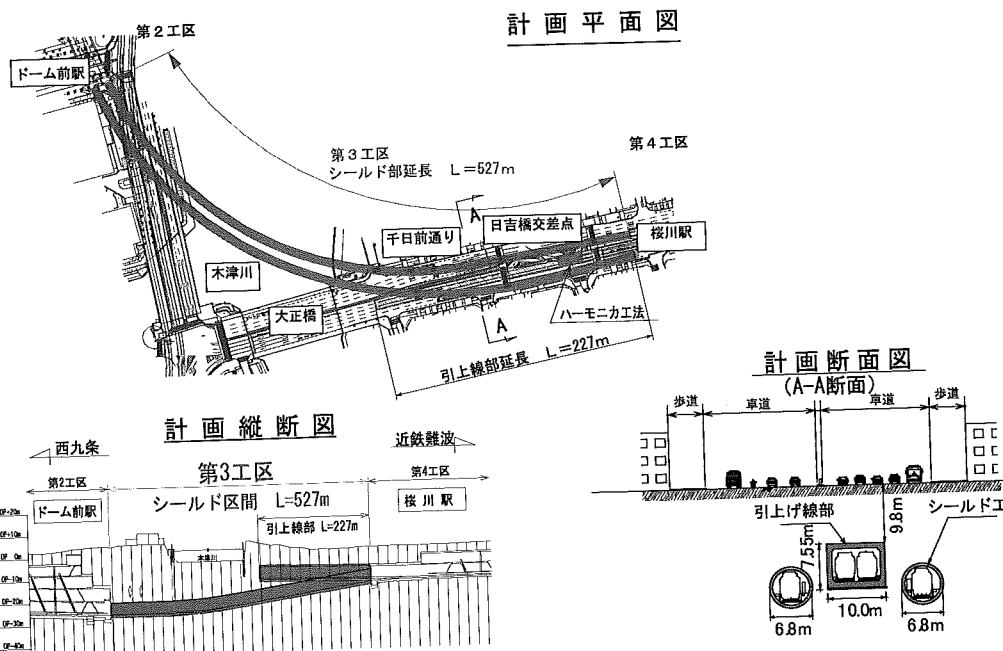


図-2 第3工区工事計画図

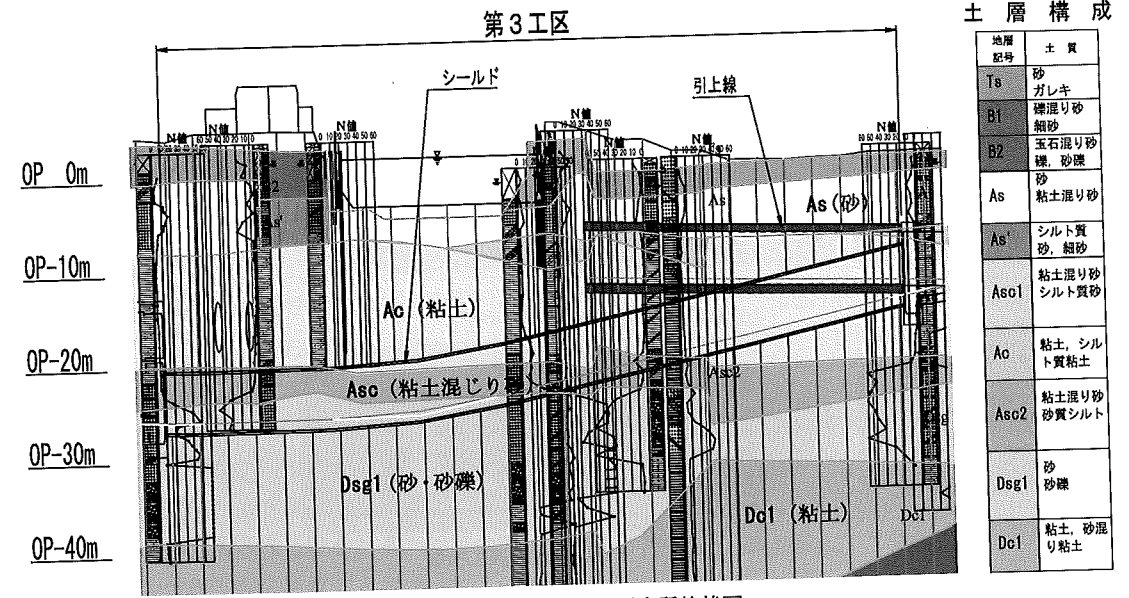


図-3 第3工区工事箇所土質柱状図

土層構成

地層記号	土質
Ts	砂
B1	粘混り砂
B2	玉石混り砂
As	粘土混り砂
As	シルト質砂
Aso1	粘土混り砂
Aso	粘土、シルト質粘土
Aso2	粘土混り砂
Dsg1	砂
Dc1	粘土、砂混り粘土

し、地下鉄7号線(長堀鶴見緑地線)や木津川の下部を通過し、千日前通りにて引上線直下を通過したのち桜川駅に到達し、そこでUターンした後、再びドーム前駅まで掘進を行う。この区間は、地下鉄7号線・木津川護岸・引上線躯体といった近接構造物が多く、さらに、引上線交差部では開削工事のための土留め壁(柱列式連続壁)の芯材が支障するため、直接切削可能な部材を採用した。

以下に詳細を述べる。

### 3 ハーモニカ工法の施工

#### 3-1 ハーモニカ工法の施工概要

日吉橋交差点部周辺では、躯体上部を種々の埋設物が横断しており、中でも下水道と躯体との鉛直離隔は約1.9mである。また、下水道函が躯体と近接して平行に埋設され、かつ、将来施工する本線シールドも近接する。

このような条件のもとで施工方法を検討した結果、

- ① 開削工法では施工ができない
- ② 本線シールドと並列する下水道函のため、立坑が躯体外側に1m程度と制限される
- ③ 横断下水道などの埋設物への影響を少なくする

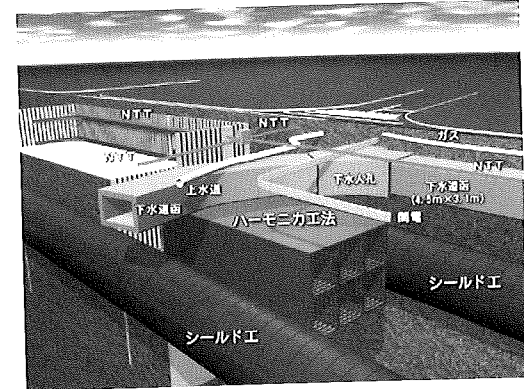


図-4 日吉橋交差点部埋設管状況

などの理由からハーモニカ工法を採用した。ハーモニカ工法とは、矩形の大断面トンネルを複数の小断面に分割し、小型の掘削機械によりくり返し掘削した後、小断面トンネルを一体化し、その内部に構造物を作り上げる工法である。掘削を完了した坑口の形状が、ハーモニカの吹き口に似ていることから「ハーモニカ工法」と命名されており、東京での地下道の事例<sup>1)</sup>に続き2例目である。

施工手順は図-5に示すように、まず始めに掘削機械で下段中央の基準トンネルを掘削し、引き続き左右の隣接トンネルおよび上段トンネルを順次掘削する(STEP 1~3)。トンネル間の隙間に止水処理をした後、トンネルの部材(スキンプレー

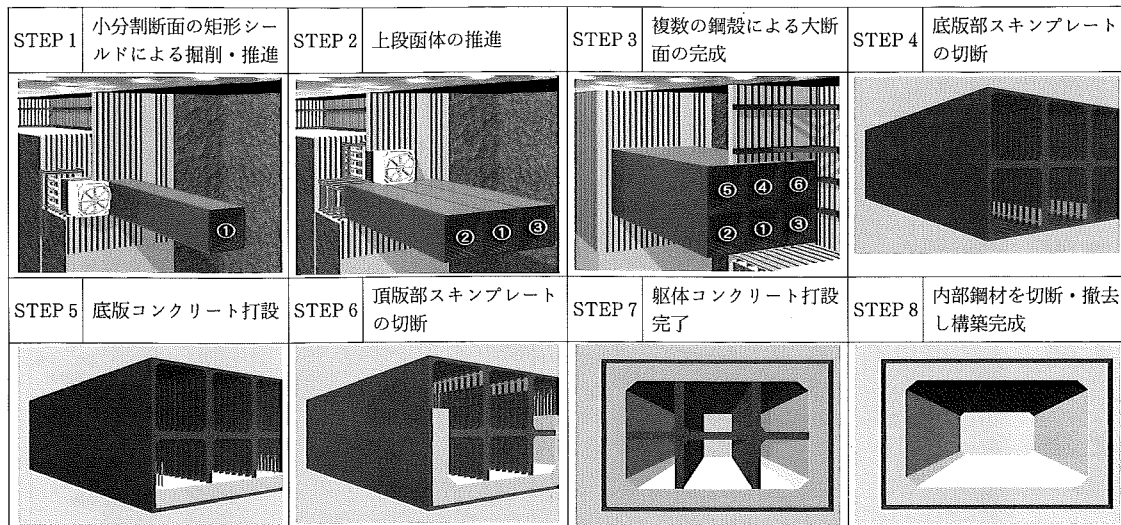


図-5 ハーモニカ工法施工手順

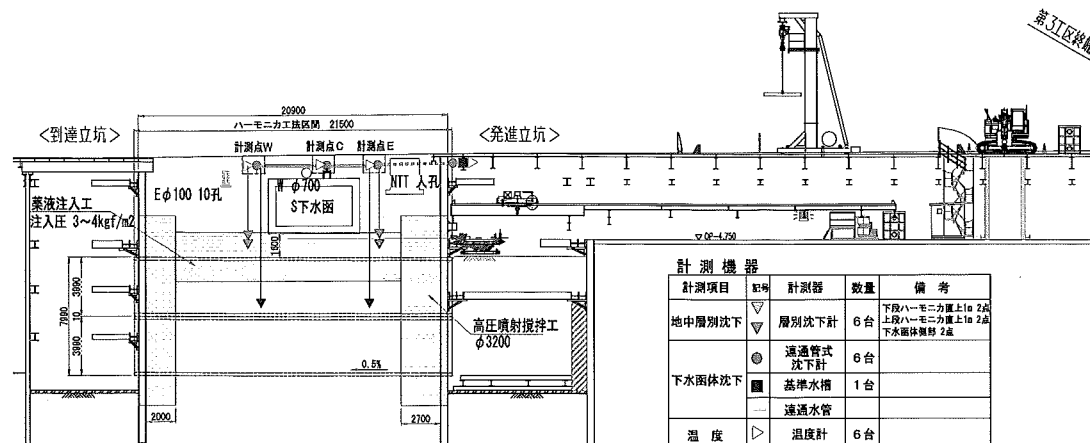


図-6 ハーモニカ工法施工概要・沈下計測計画

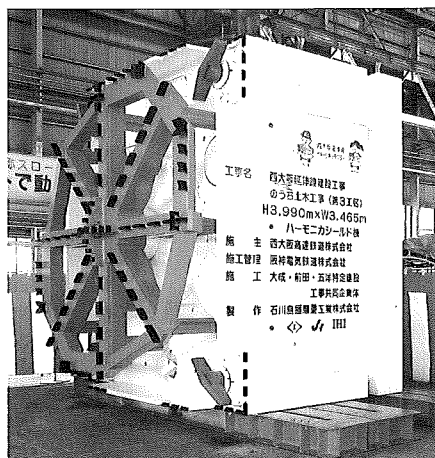


写真-1 ハーモニカシールド

ト・縦リブ)を部分的に解体しながら鉄筋を組み立て、コンクリートを打設し大断面のトンネルを構築する(STEP 4~7)。コンクリートの養生後、内部のトンネル部材(主桁・縦リブおよびスキンプレートを)切断・撤去し仕上げを行う(STEP 8)。

掘削機械は密閉型の土圧式シールドを使用し、揺動式のカタおよび矩形の4隅にコーナークタを装備した。また、方向制御ジャッキを装備し、左右・上下ともに0.5°の中折れを可能とした。推進設備は、2,500kNジャッキを8本設置し、総推力20,000kNとした。

トンネルの覆工体は、鋼製とした(以下、「鋼殻」)。隣接する鋼殻間には、熱押鋼材で製作され

た継手部を設け、この継手部には鋼殻のガイド、および止水部などの機能も持たせた。

図-6にハーモニカ工法計画縦断面図を示す。

3-2 ハーモニカ工法の実績

推進速度は、地山掘削時で最大5m(2 Ring)/日の進捗であった。推力の実績は、19,000kN程度 of 設計値に対し最大推力は13,000kNであった。最大推力は到達後の最終押し出し時に発生しており、地盤改良体および裏込め注入の周面摩擦の影響であろうと思われる。推進時の推力は切羽前面抵抗力とほぼ同程度であった。

推進時の沈下については、下段部①の函体推進時に、函体の直上1.0mの位置で20mmの沈下が発生した。この変位量をFEM解析(二次元弾性の平面ひずみ)にて逆解析を行った結果、応力開放率は25%程度という結果であった。

図-7に推進全期間にわたる下水道函の沈下量を示す。施工時は、補助的に薬液注入工を実施しながら推進したが、下水道函沈下量は2~5mmであり、許容値以内に抑えることができた。

コンクリートの打設割りは、図-8に示すように、底版・側壁・頂版の3分割とし、頂版部は高流動コンクリートを使用した。使用する高流動コンク

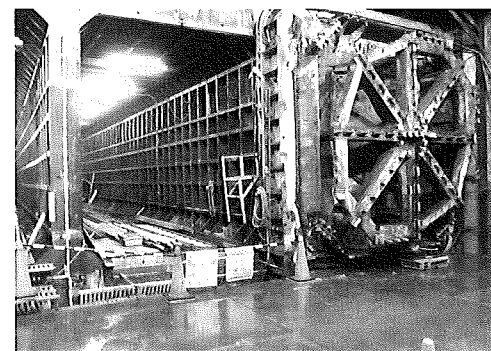


写真-2 下段部③部シールド到達状況

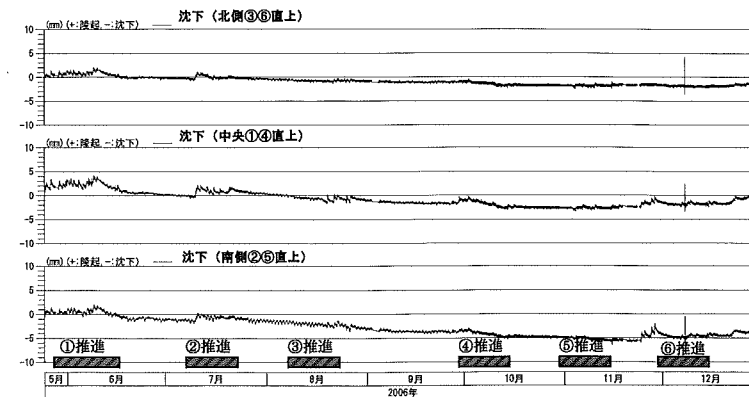


図-7 下水道函沈下計測結果

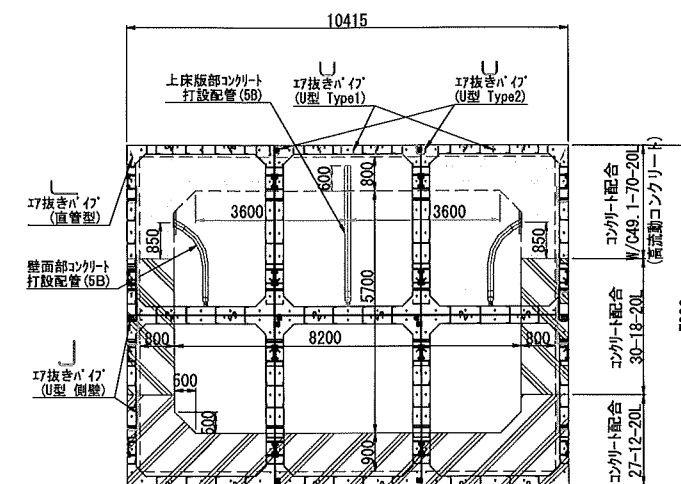


図-8 ハーモニカ部躯体コンクリート打設計画

リートは、頂版部の上面鋼殻までの充填の程度が直接確認できないので、確実な充填が可能な流動性と分離抵抗性が必要である。そのため、自己充填性ランク1および品質保持時間90分を要求性能とした。

配合は表-1に示すとおりである。

頂版部のコンクリートは、1区画あたりの打設量を30m<sup>3</sup>程度として、頂版部の延長方向を2.5mごとの小区画に分割した。

また、確実に充填するために、エア抜き管を設置し、充填センサーを配置して打設時の確認を行った。

コンクリート打設後、内部の鋼殻を切断撤去し、撤去跡にエポキシ樹脂系ライニング仕上げを行った。

表-1 高流動コンクリート(上床版)配合表

目標品質		水結合材比 W/C(%)	水粉体比 W/P(%)	単位量(kg/m³)							SP種類	使用量 (C×%)
充填ランク	スランプフロー			W	C	Ls	S1	S2	G	BP		
ランク1	70±5cm	49	27.2	172	350	283	520	223	753	0.3	SP8HVL	1.05

C : 低熱ボルトランドセメント(密度=3.22g/cm³)  
 Ls : 石灰石微粉末(密度=2.70g/cm, 比表面積=4,050cm²/g)  
 S1 : 海砂(密度=2.57g/cm³, FM=2.55)  
 S2 : 砕砂(密度=2.57g/cm³, FM=2.90)  
 G : 石灰石(密度=2.69g/cm³, 実績率=60%)  
 BP : 不溶性ポリマー(β-1,3 グルカン)  
 SP : 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸塩系)

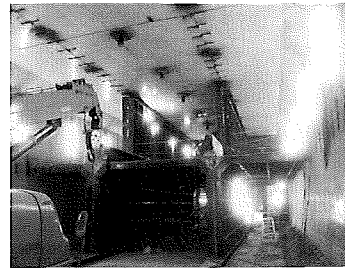


写真-3 コンクリート打設後鋼殻切断撤去状況

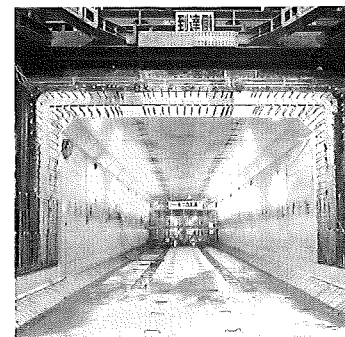


写真-4 ハーモニカ工法部構築完了

## 4 シールド工事の施工

### 4-1 引上線交差部の施工

#### 4-1-1 施工時の問題点と対策

引上線との交差部は図-9, 10に示すとおり、土留め壁との支障部を北面から掘進した後、開削工法で構築して間もない引上線下を通過し、南面の土留め壁支障部を掘進する。この交差部の問題点は以下の2点である。

- ① 土留め壁の芯材がシールドに支障する
- ② 引上線～シールド間の地盤は、引上線構築時の掘削による剛性低下が懸念され、シールド掘進時の地盤の安定性に問題がある

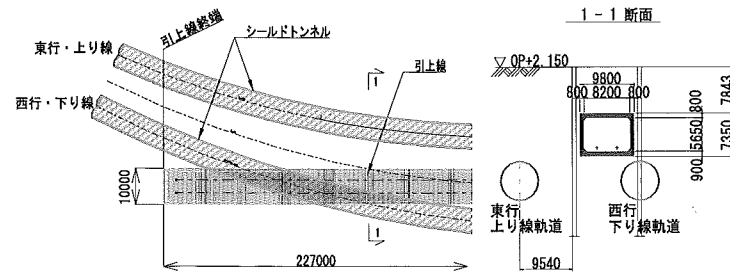


図-9 引上線・シールド交差部計画図

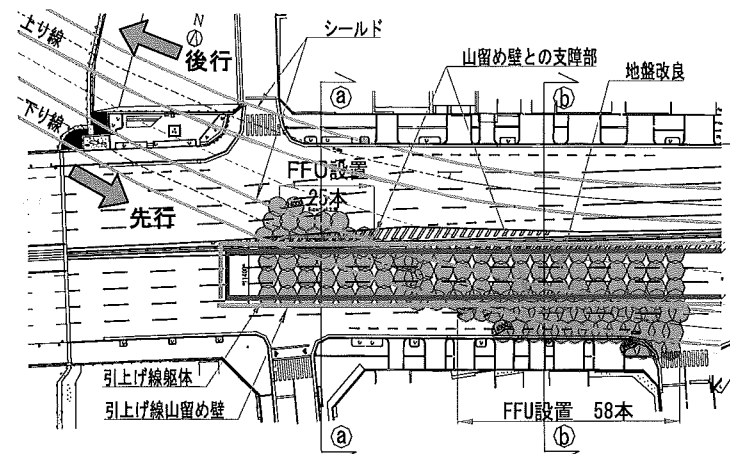


図-10 引上線・シールド交差部地盤改良計画図

掘進時の地盤の安定性に問題がある

これに対し、引上線をはじめ、その他の構造物に対する影響を小さくするために以下の対策を実施した。



写真-5 FFU部材

#### (1) 土留め壁芯材の支障部

芯材はシールドにて直接切削する必要があったため、適用可能な材料の中で比較的切削性が良いFFU部材を採用し、写真-5に示すように、芯材(H-588×300)にボルト接合し、土留め壁施工(TRD工法)時に建て込んだ。

このFFU部材は、硬質発砲ウレタン樹脂をガラス長繊維で強化したものであり、通常の芯材(H形鋼)に比べて剛性・強度とも小さい( $E=8.4 \times 10^8 \text{N/mm}^2$ ,  $\sigma_{ba}=36 \text{N/mm}^2$ )。これを芯材根入れ部に採用することから、土留め壁としての安定を図るために、先行地中梁として地盤改良(高圧噴射工法: SJ工法)を行った。

また、当該地盤は軟弱粘性土( $N$ 値=1~5)であり、切削性を向上させることと、切削速度の低下により土砂の取り込み過多などが発生した場合の地表面・埋設管への沈下などの影響を小さくするため、FFU背面側に地盤改良を行った。

#### (2) 引上線～シールド間の地盤

開削工法による引上線構築時の地盤の残留応力と剛性低下を検討するために、掘削過程を追った非線形2次元FEM解析を実施した。その結果、当該地盤は軟弱な粘性土であり、掘削の影響により塑性化し不安定な状態となり、シールド掘進によりさらに塑性化が進むため、掘進時の排土異常やマシン姿勢制御が難しくなる可能性が考えられた。そこで対策として、地盤の安定性確保と引上線構造物への影響回避を目的として、当該地盤に地盤改良(SJ工法)を実施した。

### 4-1-2 シールド掘進時の実績

交差部の掘進実績は表-2のとおりである。FFU切削時の掘進速度は、一般部の40%程度に落としていたものの、推力・カッタトルクともに若干大きかった。また、部分的に大きく割れたFFU部材がスクリーンにて土砂と一緒に搬出されたため、それを除去しながらの掘進となり日進量は低下したが、引上線躯体や埋設構造物などに対する悪影響はなく掘進することができた。

シールド下部通過時の引上線の変状については、躯体内部に水盛式沈下計を設置して変状確認しながら掘進を行った。沈下計データを図-11に示すが、引上線躯体の沈下量は、地盤改良による対策を施した場合の沈下解析結果の4.6mmに対して1.5mmという小さな値であった。

### 4-2 営業線地下鉄直下の施工

シールドと地下鉄7号線(長堀鶴見緑地線)との交差部の平面・断面形状を図-12に示す。既存地下鉄構造物(ダクタイルセグメント)との離隔は約2.0mであり、その部分には地下鉄建設時に地盤改良(高圧噴射改良工法)が施工されているが、シールドの線形変更などにより若干ずれた位置にあった。シールド掘進に際しては、この地盤改良体を切削する必要があったため、掘削機に同時注入管を設置すると、余掘りが大きくなり沈下発生要因となるため、裏込め注入はセグメントからの注

表-2 交差部掘進実績

	掘進速度 (mm/分)	推力 (kN)	カッタトルク (kN・m)	進捗量 (m/日)
FFU部掘進時	15	16,000	1,100	3.75
躯体下部通過時	35	14,000	900	6.25

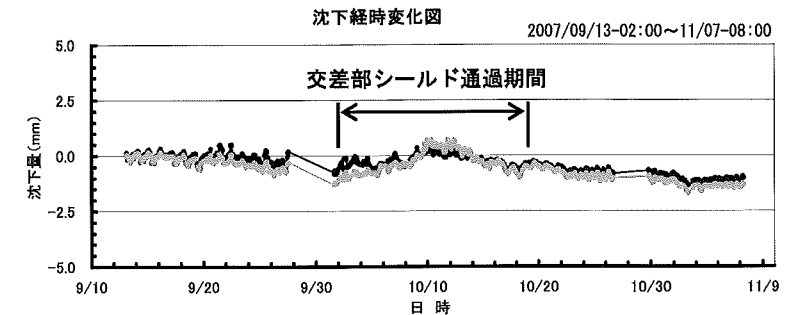


図-11 シールド通過時引上線計測結果

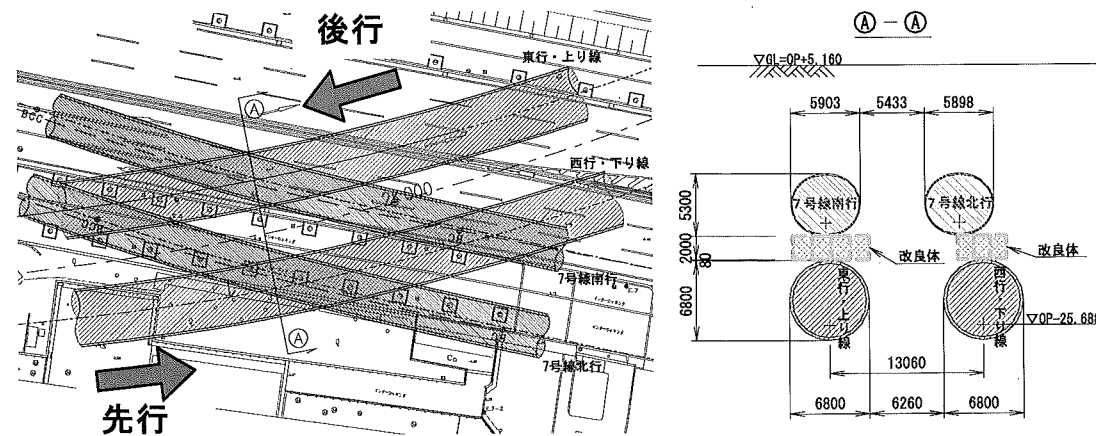


図-12 シールド・地下鉄7号線交差部平面図、断面図

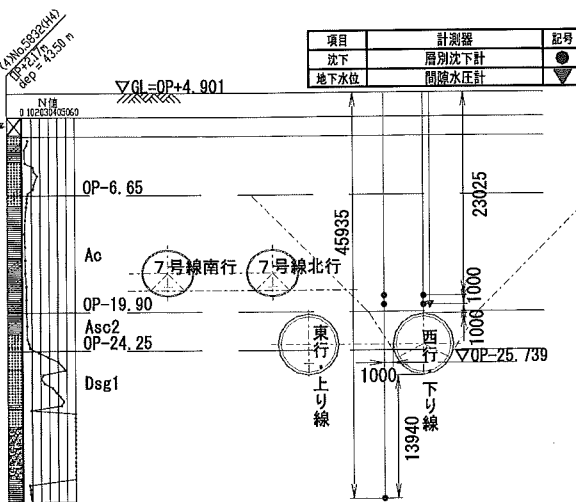


図-13 地下鉄交差前トライアル計測計画図

入形式とした。また、地下鉄への影響範囲に入るのが、発進して約30mの所であり、直前2断面においてトライアル計測を行い、掘進管理値を確認し掘進を行った。

現在、西行き線の掘進が終了し(2007.11.10現在)、今後Uターンを行ってから再び地下鉄線の直下を掘進することとなる。今後も、確実な施工管理を行いながら地下鉄への影響を極力小さくして掘進していく予定である。

### 5 おわりに

本工事のような都市部における地下鉄建設工事では、重要構造物に対する近接施工は数多く、今回紹介したハーモニカ工法やシールド掘進時の既存構造物の防護工などが、今後の地下構造物の施工に際しての参考になれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 森本眞禎・小友剛・三木洋人・小柳善郎：国内初のハーモニカ工法による重要構造物近接箇所での地下連絡通路，東京ミッドタウンプロジェクト，トンネルと地下，Vol.38，No.7，pp.35-43，2007.7.

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
  2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
  3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  5. 原稿は、原則として返却いたしません。  
(注：「現場だより」の投稿は受付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(代)

# 施工

## 計測管理により構造物に近接してシールドを施工

—大阪市深江中浜下水道幹線—

大阪市建設局下水道河川部管渠担当課長 山本 智

### 1 はじめに

大阪市の、明治27年から近代的な下水道整備を始め、それ以来、市の重要施策として下水道を整備してきたことから、昭和50年代にはほぼ全域に下水道が整備された。しかしながら、市域の大部分が淀川などの土砂の堆積などによってできた沖積平野であり、上町台地などの一部を除いて市域の約90%がポンプ排水に頼らなければならない雨に弱い地形となっていることや、都市化の進展に伴い、農地や空き地が減少して家屋などが密集し、また道路が舗装されるなど、降った雨の大半が地面に浸透しない状況となっているため、雨水が一時に下水管に流入し、浸水が生じることがある(図-1)。

そこで、昭和56年から、おおむね10年に1回の大雨(1時間60mmの降雨量)を対象に下水道整備を進めてきており、抜本的な浸水対策として、市内各所で大規模な下水道幹線の建設やポンプ場の新增設を進めているところである(図-2)。その結果、平成18年度末現在の雨水対策整備率は約78%となっている。

本稿では、本市東部の抜本的な浸水対策として整備を進めている深江～中浜下水道幹線と、その施工時における

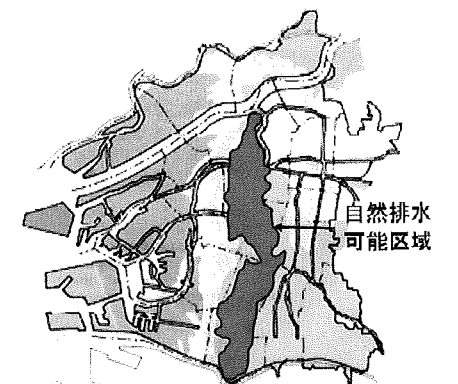


図-1 大阪市地形図

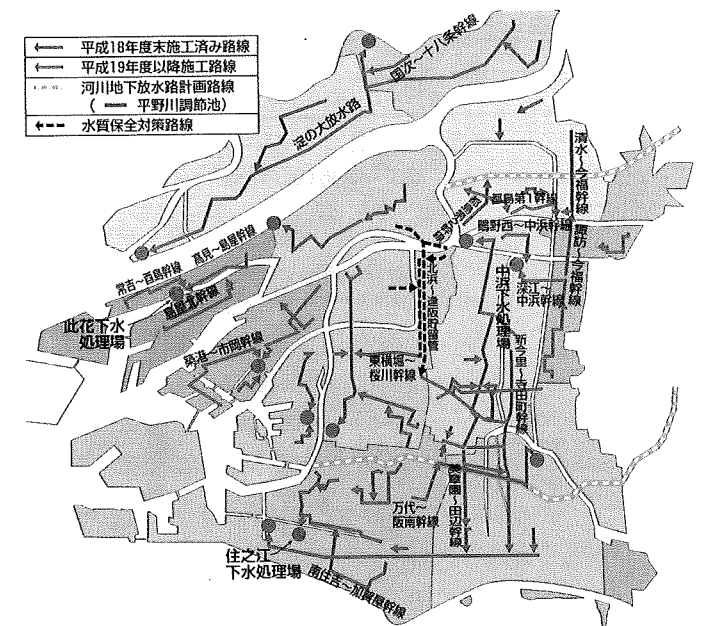


図-2 浸水対策主要幹線位置図

計測結果について紹介する。

## 2 深江～中浜下水道幹線の概要

### 2-1 路線概要

深江～中浜下水道幹線は、生野区、東成区、城東区などの本市東部における抜本的な浸水対策として建設しているもので、深江橋交差点付近を起点として国道479号線を北進し、諏訪2丁目以西へ折れ、放出下水処理場の前を経て今里筋で北へ折れ、中浜下水処理場の中浜立坑で、先行して完成している鳴野西～中浜幹線と合流して、中浜下水処理場内に現在建設中のポンプ場へ流入し、第2寝屋川へ放流する計画となっている(図-3, 4)。ポンプ場の全体計画は、毎秒45m<sup>3</sup>の雨水を放流する計画であるが、寝屋川総合治水計画と整合させる必要があることから、当面は毎秒19m<sup>3</sup>の雨水を放流できるポンプを設置することとしている。上流部の国道479号線部分約500mの区間は、深江

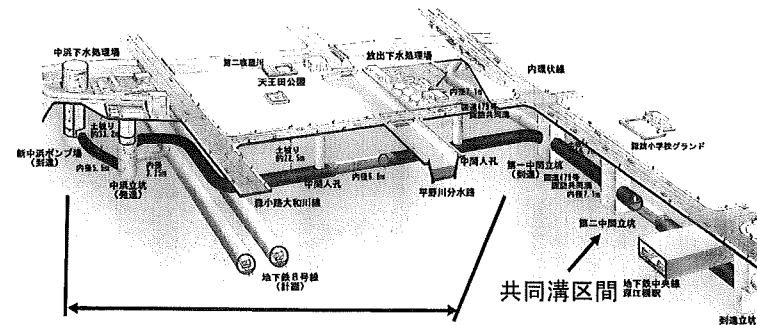


図-3 深江～中浜下水道幹線パース



図-4 深江～中浜下水道幹線平面位置

共同溝内に内径4,500mm相当の断面を確保しており、平成17年度末にすでに完成している。現在施工中の区間は、諏訪2丁目から中浜下水処理場内ポンプ場までの区間で、内径5.5m、延長約1.7kmの施設について平成15年度から建設を進めている。なお、中浜立坑で合流する鳴野西～中浜幹線は、既に平成17年度末に完成しており、中浜立坑部分に貯留水ポンプを設置して雨水の仮貯留を実施することにより、城東区北部の浸水の緩和に役立っている。また、下水処理場のネットワーク化の一環として、深江～中浜下水道幹線内のインバート部に送水管および汚泥圧送管を布設する(図-5)。これにより、施設の建設コストの削減を図っている。

### 2-2 工事概要

中浜下水処理場内ポンプ場から共同溝の区間は、掘進距離が約1.7kmと長距離で、土かぶりも約24～30mと深い位置に埋設することから、シールド工法により施工している。このシールド工事は、中浜下水処理場内に建設された中浜立坑から西向きに建設中の中浜ポンプ場までの区間約0.2kmを掘進後、中浜立坑から再度東向きに約1.5kmの区間を掘進するもので、すでに1次覆工が完成しており、現在共同溝との接続工事中である。シールド掘進部分の土質は、洪積粘性土と洪積砂礫層で、比較的良好な地

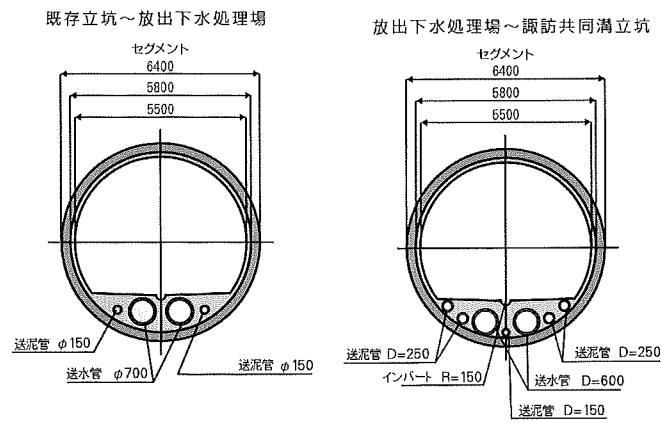
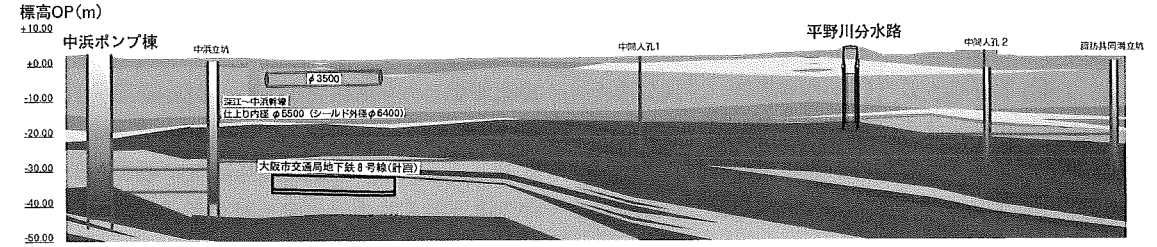


図-5 標準断面



凡例

B	盛土・表土層
Ac	粘性土層
Asc	沖積砂質土・粘性土互層(粘性土優勢層)
Asc	沖積砂質土・粘性土互層(砂質土優勢層)
Dc	洪積粘性土層
Dsc	洪積砂質土・粘性土互層(粘性土優勢層)
Dsc	洪積砂質土・粘性土互層(砂質土優勢層)
Dsc	洪積砂質土・砂礫土層

図-6 土質縦断面

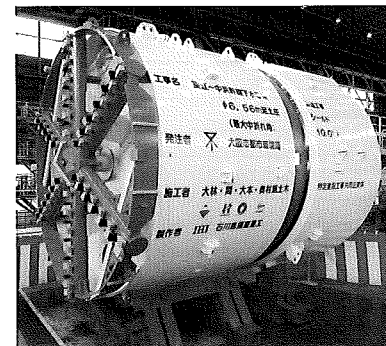


写真-1 シールド

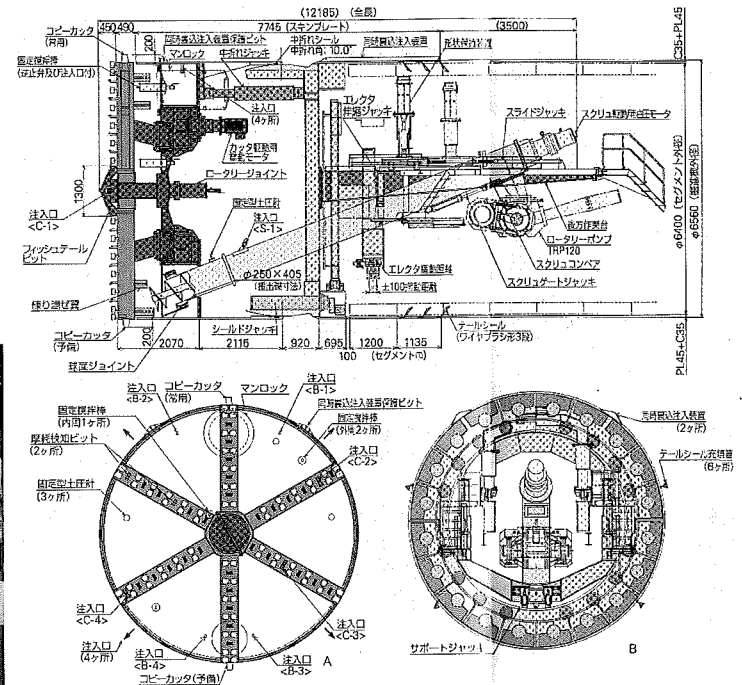


図-7 シールド構造図

盤であるが、その上部の土層は沖積粘性土と沖積砂質土の互層となっている(図-6)。また、中浜下水処理場内に発進基地として建設している中浜立坑は、周辺民家との距離が少なく、振動・騒音対策には万全を期す必要があることから、設備による騒音が比較的小さい土圧式シールド工法を採用している。掘進途中では、曲線半径25mの急曲線で左右にS字掘進することから、シールドは中折れ式とした(写真-1、図-7)。

## 3 計測計画と結果

シールド掘進途中では、地下鉄今里筋線のシールドトンネルや、平野川分水路の護岸矢板と、これにかかる左専道大橋の橋台の杭などに近接した

施工となる。このことから、これらの重要構造物に近接する場所では、対象となる構造物の影響を把握するため、事前に影響解析を実施するとともに、施工中の変位計測を実施した。

### 3-1 地下鉄近接部

#### 3-1-1 施工概要

地下鉄シールドトンネルとの近接部分については、最小離隔約3.8mで地下鉄上部を掘進することとなる(図-8)。さらに、この区間は幹線道路である今里筋で、左右に曲線半径25mの急曲線施工が必要となる。地盤は、掘進部分は全体に洪積層ではあるが、シールド上部に沖積層が存在することから、地下鉄トンネルへの影響と同時に、地表

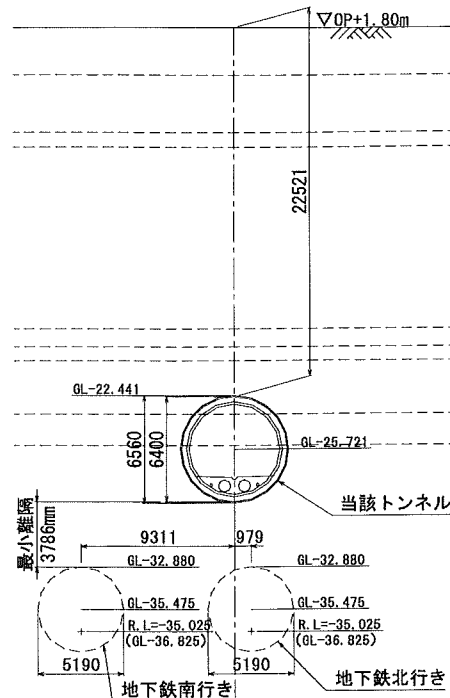


図-8 地下鉄近接部断面図

への影響も予想された。

一般にはこのような急曲線区間の施工にあたっては、地上から地盤改良を行うが、施工場所が交通量の多い幹線道路で、地下埋設物が輻輳していることなどから、地盤改良を施工することが非常に困難である。そのため、セグメントの剛性を高める(表-1)ことにより、全体の変位量を抑えてセグメントならびにシールドに働く曲線外側の地盤反力を低減させる考え方でセグメントを設計するとともに、余掘り部分の崩壊防止のために高粘性の可塑性充填材(粘土30Pa・s)をシールド側部から注入した。

表-1 セグメント比較表

	一般部標準型	R=25m部高剛性型
セグメント幅	300mm	300mm
主桁本数	2本	2本
主桁厚	16mm	25mm
リング間ボルト仕様	M24(4.6)	M27(10.9)
リング間ボルト本数	42本	84本

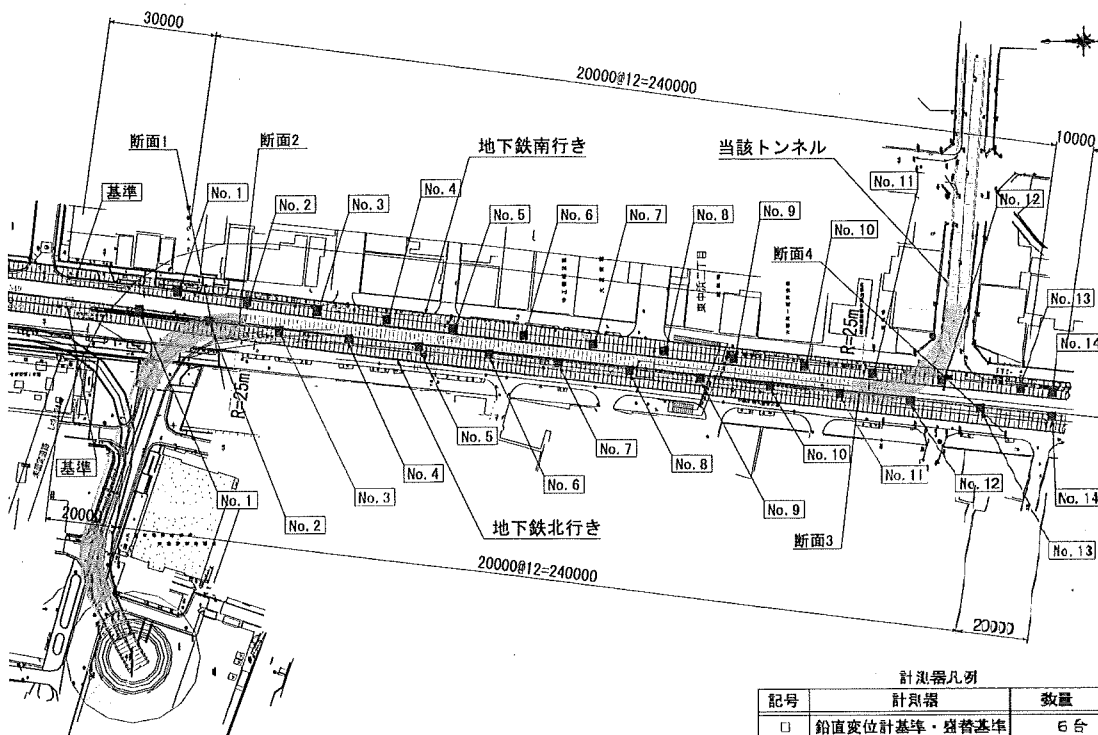


図-9 地下鉄計測配置平面図

施工前に、応力解放率10%、変形係数 $E=7,000+500N$ (砂質土),  $210C_u$ (粘性土)の条件でFEM影響解析した結果、地下鉄トンネルへの影響予測値は、曲線部で2.5~2.9mm、並列部で2.4~2.6mm(1次管理値7mm)の隆起となった。なお、応力解放率については近傍工事実測値からの逆解析の値を参考に設定し、変形係数は経験式によるものとした。

3-1-2 計測結果

地下鉄トンネルはシールド工法によりすでに完成しており、平成18年12月の開業に向けて試運転

中であった。そこで、北行き南行きそれぞれの地下鉄トンネル内に10mピッチで水路式鉛直変位計を設置し、自動計測を行うこととした(図-8, 9)。

また、補助的に定期的な手動三次元計測を実施し、自動計測の妥当性の確認もあわせて実施した。

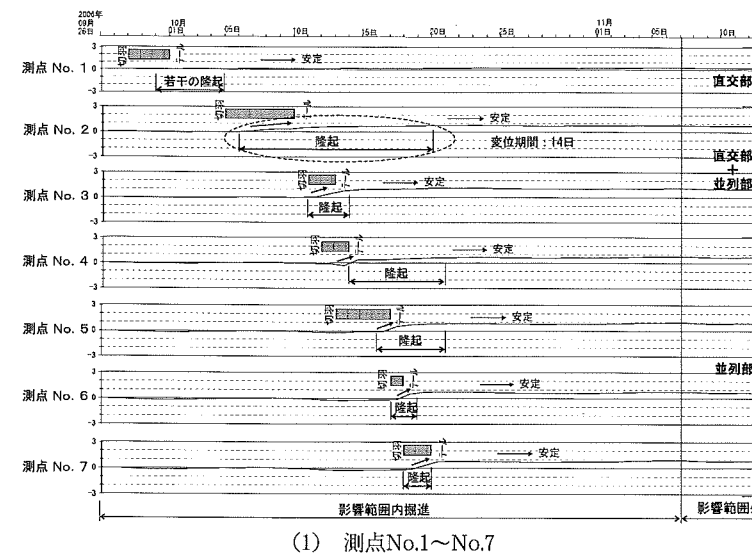
図-10に地下鉄(北行線)各測点の経時変化図を、表-2にシールドが影響範囲に入った9月26日と影響による変位が収束したと考えられる11月13日の各測点の計測結果を示す。

計測結果は、シールドの掘進に従って地下鉄トンネル浮き上がり方向の変位が発生し、その変位

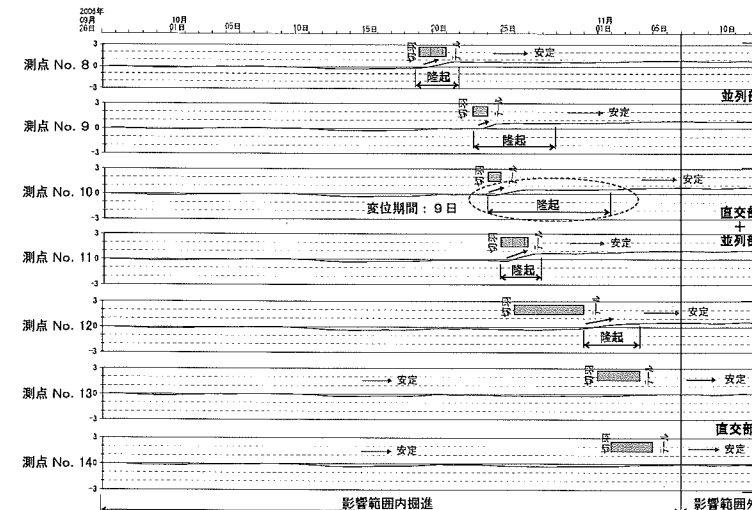
表-2 計測結果

(単位: mm)

測点No.	9/26	11/13	差
1	0.0	0.3	0.3
2	0.0	0.8	0.8
3	0.0	1.0	1.0
4	0.0	0.7	0.7
5	-0.1	0.9	1.0
6	-1.0	0.7	0.8
7	0.0	0.9	0.9
8	0.0	0.8	0.8
9	0.0	0.9	0.9
10	0.0	0.8	0.8
11	0.0	1.1	1.1
12	0.0	0.6	0.6
13	0.0	0.1	0.1
14	0.0	-0.1	-0.1
1	0.0	0.2	0.2
2	0.0	1.4	1.4
3	-0.1	1.7	1.8
4	-0.1	2.3	2.4
5	-0.2	1.3	1.5
6	-0.1	1.2	1.3
7	0.2	1.5	1.7
8	-0.1	1.0	1.1
9	-0.2	0.9	1.1
10	-0.2	1.0	1.2
11	-0.3	1.6	1.9
12	-0.2	0.1	1.3
13	-0.1	-0.3	-0.2
14	-0.1	-0.3	-0.2



(1) 測点No.1~No.7



(2) 測点No.8~No.14

図-10 地下鉄(北行線)経時変化図

量は曲線部で0.8~2.4mm, 並列部で0.7~1.7mmとなった。曲線部で相対的に大きな変位量が発生した原因は、余掘り量が多いことや、鋼製セグメントを使用したことから掘削前後の重量差が多いことなどが考えられる。変位の収束には、並列部でシールド通過後2~7日, 曲線部で3~14日を要した。曲線部で収束までに長期間を要した原因は、急曲線施工に伴う余掘り量が多いことから変位量も大きくなったことや、急曲線部では幅300mmのセグメントを使用したため、切羽からテールまでの通過に時間を要したことが考えられる。また、地表部への影響は最大で5mm程度の沈下であり、影響解析値とおおむね同じ値であった。

3-2 河川交差点

3-2-1 施工概要

平野川分水路の護岸矢板とこれにかかる左専道

大橋の橋台の松杭に近接施工する(図-11, 12)。とくに、松杭とは最小離隔約1.5mとなることから、これらの構造物へのFEM影響解析を行った。設計段階での影響解析の結果では、シールド工法施工による護岸矢板と橋台の変位は、鉛直変位で2.3mm, 水平変位は0.5mmであり、1次管理値(鉛直変位, 水平変位とも3mm)以下に収まるとの結果であったため、管理者と協議の結果、防護工事は実施せず護岸天端と橋台天端の沈下計測による管理を行うこととしていた。

しかしながら、より近接した場所での土質データを得られたこと、および、前述した地下鉄上部掘進区間での実施工データを得たことから、土層構成変形係数および応力解放率の見直しをし、再度解析を行った(表-3)。再解析の結果、鉛直変位で6.5mm, 水平変位で1.1mmと二次管理値(鉛直変位

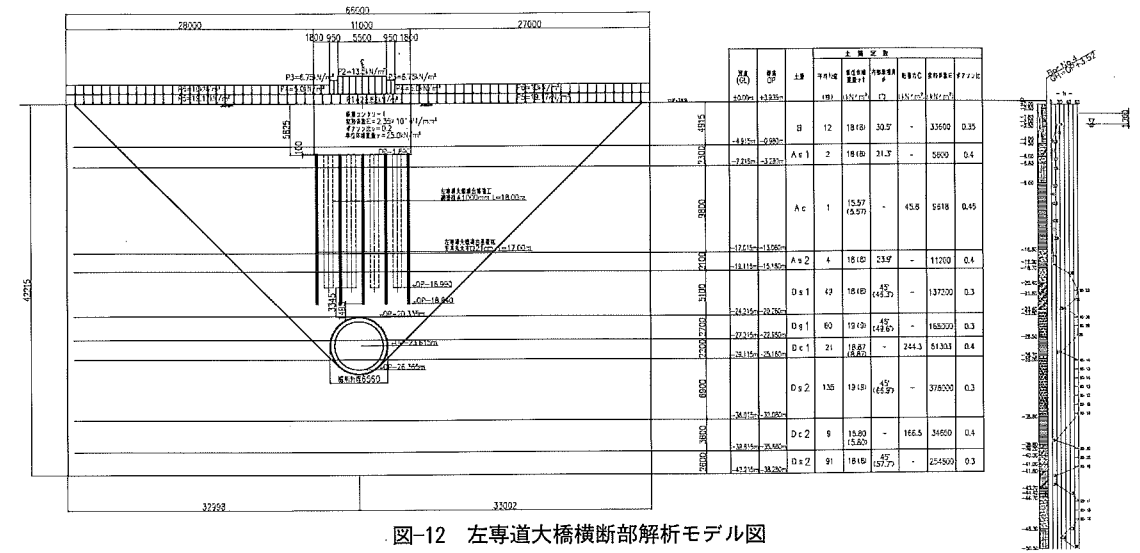


図-12 左専道大橋横断面部解析モデル図

表-3 土質データ比較表

Bor.No.	変形係数E(kN/m <sup>2</sup> )	
	当初	変更
B	33,600	8,400
As1	5,600	2,100
Ac	9,618	7,980
As2	11,200	—
Asc	—	19,950
Ds1	137,200	—
Dg1	168,000	32,000
Dc1	51,303	—
Dg2	378,000	32,000
Dc2	34,650	35,700
Ds2	254,800	32,000
Dc3	—	46,200

Eの算定式		
沖積砂質土	2,800N	700N
洪積砂質土	2,800N	7,000+500N
粘性土	210C	210C
開放率	15%	10%
計測位置	橋台	橋台
解析値	2.3mm	6.5mm
実績値	—	6.0mm

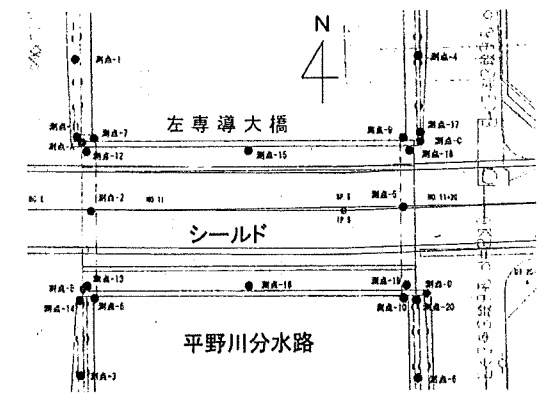


図-13 左専道大橋平面図

表-4 レベル測量による各測点の最大変位量

(単位: mm)

測点	沈下量	測点	沈下量	測点	沈下量	測点	沈下量
No 1	-2	No 6	-2	No11	-1	No16	-6
No 2	-4	No 7	-4	No12	-4	No17	-3
No 3	-2	No 8	-4	No13	-4	No18	-5
No 4	0	No 9	-5	No14	-3	No19	-6
No 5	-5	No10	-5	No15	-5	No20	-3

早強タイプ(ゲルタイム20秒以内→10秒以内)への変更を行った。

3-2-2 計測結果

計測は、鉛直変位の測定として、左専道大橋の道路に8点, 平野川分水路の擁壁上に8点, 橋台上に4点の20点でレベル測定器により計測した

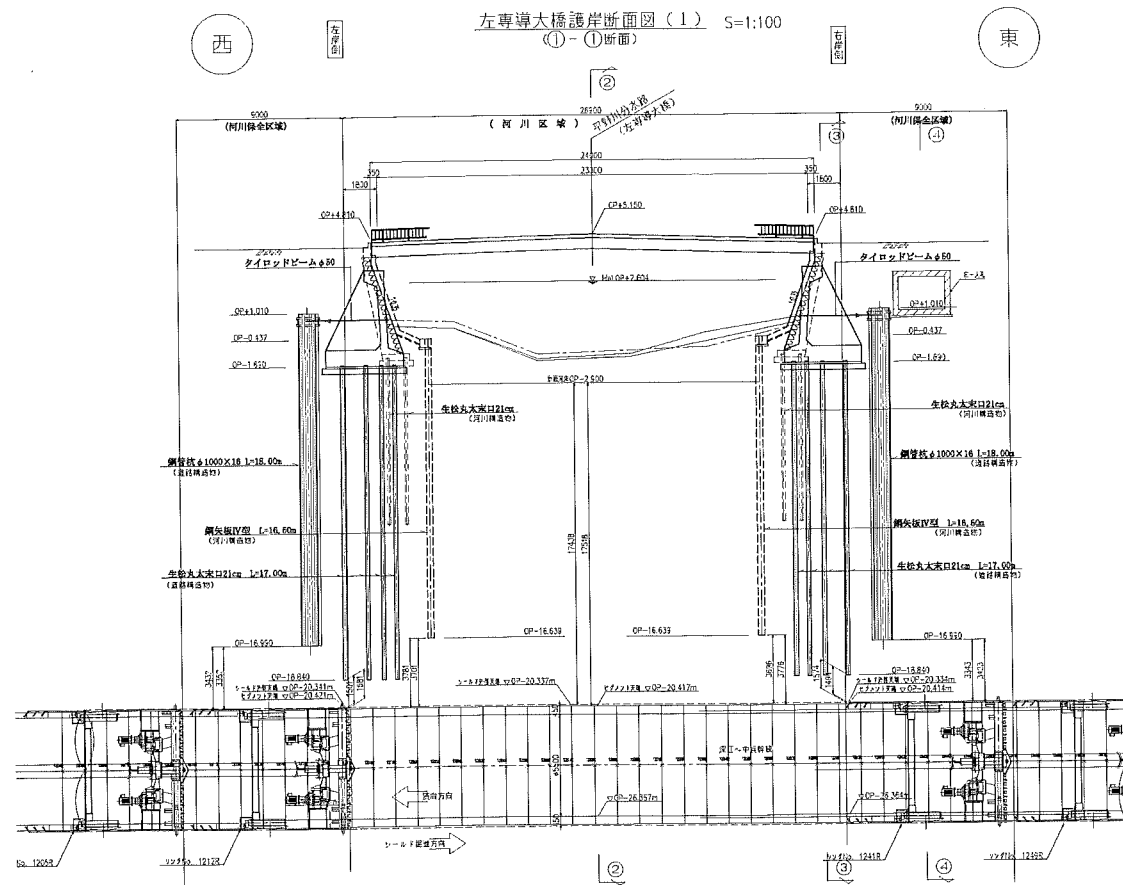


図-11 左専道大橋部断面図

表-5 三次元測量による各測点の最大変位量  
(単位: mm)

測点	X座標	Y座標	Z座標
A	-1.4	-1.0	-4.7
B	+1.1	-2.6	-4.2
C	-1.4	-1.5	-5.4
D	+0.7	+0.9	-5.3

(図-13, 表-4).

また、橋台の水平・鉛直変位を確認するために、橋台高欄部に4点の計測点を設置し、三次元光波測量を行った(表-5)。

計測結果は、一部で最大で6mmの沈下と予測どおりの結果となったが、二次管理値(6mm)以内で収まっており、また河川保全区域通過後には沈下は収束している。これは、可塑性充填材や早強タイプの裏込め材の採用により、解析値未満の変位に抑制できた結果と考えられる。

## 4 おわりに

本工事では、厳密な調査、実施工結果を考慮した事前解析および、的確な計測管理を行うことで、従来必要とされていた急曲線部での地盤改良をセグメントの構造を工夫することなどにより削減するなど、コスト削減を図ることができたうえ、周辺地盤への影響は最小限に抑えることができたと考えている。今後、他のシールド工事での検討においても、今回の施工結果を参考に効率的な設計に努めていくこととしている。

## 参考文献

- 1) 大林組・中央復建コンサルタンツ：上越し直交・並列シールドによる既設構造物の挙動に関する一考察，第42回地盤工学研究発表会，2007.7.
- 2) 大林組・中央復建コンサルタンツ：シールドの急曲線施工対策と近接施工結果，第62回年次学術講演会VI，2007.9.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

## 地下水の科学

各B5判  
全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

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

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

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

## 研究

# セグメントリング継手の損傷分析と対策

東電タウンプランニング(株)代表取締役 山崎 剛  
早稲田大学理工学術院創造理工学部社会環境工学科教授 小泉 淳

## 1 はじめに

最近のシールドトンネルの覆工は、工事費低減の観点から、二次覆工を省略する方向が指向されてきている。

施工中のセグメント覆工の品質確保は、二次覆工の省略により、より高い要求になる。

とくに深部になると地圧に比し地盤強度が大きくなり、作用土圧が小さくなることが予想される反面、水圧は深さに応じて確実に高くなることから、セグメントに作用する軸力が卓越し、曲げモーメントが相対的に小さくなる。このように設計上軸力が卓越する外荷重条件でのセグメントの桁高は、コンクリート圧縮強度が高いことも相まって、土かぶりのわりに薄くなる傾向になる。

これに対してシールドは次に示す条件により、カット駆動設備や推進ジャッキ設備の容量が増大し、施工時にシールドからセグメントに作用する荷重の影響評価が重要になることが理解され、セグメントの品質確保上、重要な設計部分になる。

- ① 深部になれば強度の高い地盤を掘削することから、カットトルクの増大、ひいてはカット駆動装置や前胴鋼構造部の重厚化を招きトップヘビーなシールドとなる。
- ② 高地下水圧によりシールド鋼殻部の板厚など鋼構造部の重厚化を招き重いシールドとなる。
- ③ 高地下水圧により、切羽水圧が増加し、シールド推進力の増大を招く。
- ④ ①、②に記したシールド重量の増大と、③

の切羽水圧増大の影響を受けてシールド推進設備が大きくなる。その結果、掘進時に推進ジャッキからセグメントが受ける反力による影響が顕在化する。

さらに、テールシールドが付いているテール先端(以降、「テールエンド」と呼ぶ)に着目すると、高地下水圧により裏込め注入圧も必然的に高くなり、裏込め注入材のテールシールドへの浸入・硬化、さらにはテールシールドの柔軟性の低下が想定される。これによりシールド、テールシールドおよびセグメントの3者間での作用、反作用力の増大が考えられ、ひいてはテールシールドの損傷、セグメントの損傷などに至る危険性についても設計・施工面で考慮しなければならなくなる。

以上のことから、セグメント設計における施工時荷重の影響は、トンネルの深部化に、深部環境下でコストダウン方策として採用される長距離化・高速化の傾向が相まって、顕在化してくることが理解される。

工事の注文者側から見れば最終的にトンネル製品としてはセグメントのみが構造物としての引き渡し対象になることから、とくに二次覆工を省略する場合のセグメントに与える施工時荷重の影響評価は、取引製品としての品質確保上、きわめて重要となる。

本稿は、施工時荷重に対する設計の一つとして、まず電力洞道用のシールド工事においてセグメントリング継手に発生した損傷現象の究明を行い、次にシールドテールから受けるせん断力作用機構の解明を経て、最後にシールドとの競り力による

セグメントリング継手部の損傷抑制方策を記述したものである。

## 2 工事实績から見たシールドとセグメント間での競り発生環境の変遷と分析

シールドテールとセグメントの幾何学的関係を図-1に示す。テールエンドがリング継手を通過するときにおける、テールとセグメントリング継手面の離隔すなわち競りやすさ( $\eta$ )は、(1)式に示すように、シールドテール長(TE)とテールクリアランス( $\delta$ )に関係しており、テール長が長いほど、テールクリアランスが小さいほど、 $\eta$ が小さくなり競りやすくなることがわかる。なお、(1)式は概略の式であり、厳密にはセグメントのテーパ量などが関係してくる。

$$\eta = \frac{ST2 - ST1}{b} (TE - ST1 - SL) + \delta / \cos \theta$$

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{ST2 - ST1}{b} \right) \quad (1)$$

ここで、

- ST1, ST2 : リング継手がテールを抜ける掘進リングのジャッキストローク
- $\delta$  : リング継手がテールを抜ける掘進リングのテールクリアランス

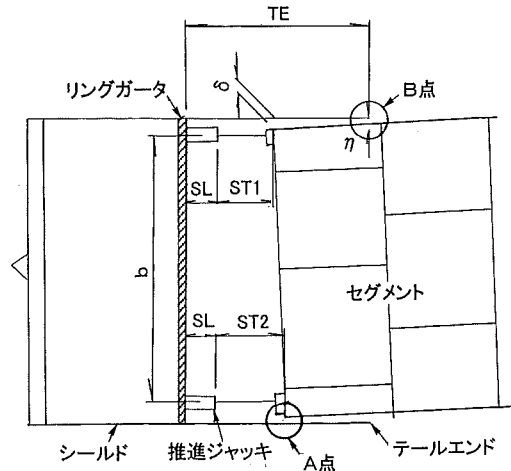


図-1 シールドテールとセグメントの幾何学的関係 (概念図)

TE : シールドテール長  
テール長に関係する要因は、次に示す3項目となる。

- ・セグメントの組み立て余裕長さ
- ・セグメントの幅
- ・テールシール取り付け部の長さ

次にこれら要因の時代変遷について考察する。

### 2-1 軸方向挿入型のkeyセグメントの採用

従来のkeyセグメントは、トンネル半径方向より組み込む形式となっていた。ところが、このkey形状では、半径方向に脱落しやすいこと、加えてkeyセグメントから施す裏込め注入の場合、脱落の危険性を増し過去にトラブルも見られたことから、以後keyセグメントは、楔型に移行している。これによりkeyセグメントをトンネル軸方向に切羽側から挿入しなければならないため、セグメントの組み立て余裕長さが長くなった。

### 2-2 セグメント幅の拡幅化

セグメント幅は、従来90cmが標準であったものが、セグメントコストの低減、掘進組み立てサイクルの短縮および漏水箇所となる継手面の数量低減をねらいとして、トンネル径に応じ、1.0~1.5mで設計されることが定着化している。

### 2-3 テールシール段数の増大

長距離・高水圧の要求に対応して、高水圧については主にシール段数の増加で、長距離については主にテールグリスの的確な注入やシールの交換などにより対応するようになってきている。

裏込め注入方式については、シールドテールからや、テール通過直後のセグメントからの、ジャッキ速度に合わせた注入が多くなり、裏込め効果は改善された反面、裏込め材がテールに浸入する危険性が高くなり、ワイヤブラシの柔軟性の低下やテールクリアランスの狭隘化を招き、長距離掘進における弱点となる場合がでてきている。

### 2-4 競り環境の比較

以上に示した、テール長を増大させる要因の現状について、東京電力におけるシールド工事实績をもとに評価した。

- ① セグメントの組み立て余裕長さは、軸方向

挿入型keyセグメントの採用により、従来の半径方向挿入型の平均100mmに比べ、平均で450mmとなり、約350mm増大している。すなわちこの分テール長が増大していることになる。

- ② セグメント幅は、直径3~5m程度においては900mmに比べ、拡幅させた1,200mmが適用されるようになってきており、300mm分テール長が増大していることになる。
- ③ テールシールの3段構造の採用により、従来の2段構造に比べ、平均で約350mmテール長が増大している。
- ④ したがってテール長は、従来平均で1,600mmであったものが、上記①~③の条件がすべて重なると平均で2,600mmとなり、約1,000mm増大していることが理解される。これらを概念図で示したものが図-2である。

これに比べテールクリアランスは、曲線線形などにより左右されるが、東京電力の実績によれば

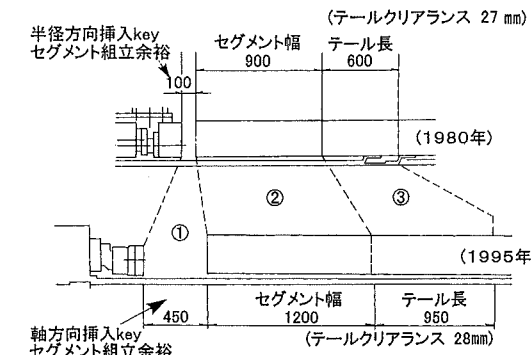


図-2 テール長増大の要因を示す概念図

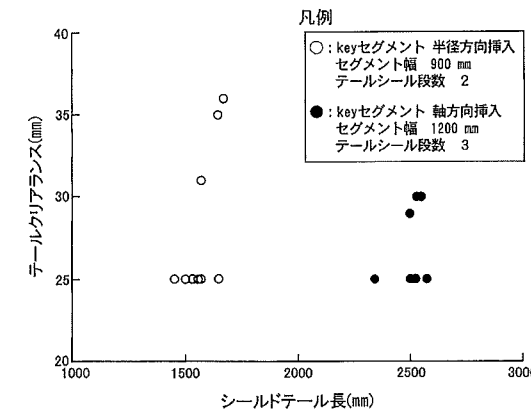


図-3 テール長とテールクリアランスの実績関係

従来の範囲で25~35mm、平均26.8mmであったものが、最近の範囲でも25~30mm、平均27.5mmとなっており、ほとんど変化していない結果となっている。テール長とテールクリアランスの関係を実績で見たものが図-3である。

テールクリアランスが大きければ、掘進時の姿勢制御により発生する、シールドとセグメントの競る可能性が緩和できる。しかしながら、テールシール部は掘進時に、テールクリアランスを維持し、摺動しつつも水密性を確保しなければならないきわめてデリケートな構造になっているため、少しのテールクリアランスの増大がテールとセグメント間の水密性の低下につながりかねない危険性を秘めている。このようなことから、テールクリアランスの増大は、慎重にならざるを得ない背景があったものと推察する。

まとめると、設計思想、施工環境の変化からテール長が長くなる反面、それに併せたテールクリアランスの増大は見られず、競りやすい環境になってきている。

## 3 セグメントリング継手の損傷分析

### 3-1 損傷状況

鉄筋コンクリート製(以下、「RC製」とする)ボックスタイプのリング継手において、写真-1に示すように、セグメント表面に半月状の剥離が発生した。当初は剥離形状から見て、セグメント表面における薄層剥離と考え、リング間接合面の内側のエッジ部分に緩衝材を貼って見たが改善効果は得られなかった。

そこで剥離面に沿って浮き上がり部を剥したところ、図-4に示すように、リング間接合面付近のボルトを起点として、ラップ状に突き上げられ剥離していることが判明した。これらの損傷原因を追求するため同種の剥離が比較的広範囲にわたって見られた、代表的な3工事4区間(表-1;この4区間をA, B, C, Dブロックと称して以下の文章、図表類に用いている)を対象に分析することとした。

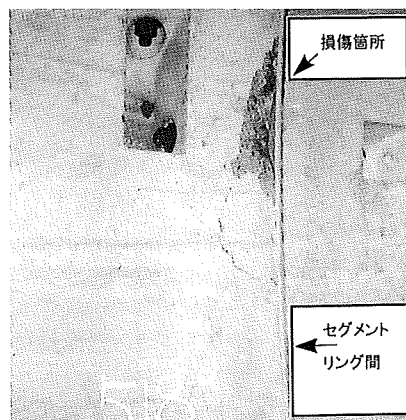


写真-1 リング継手に発生した損傷

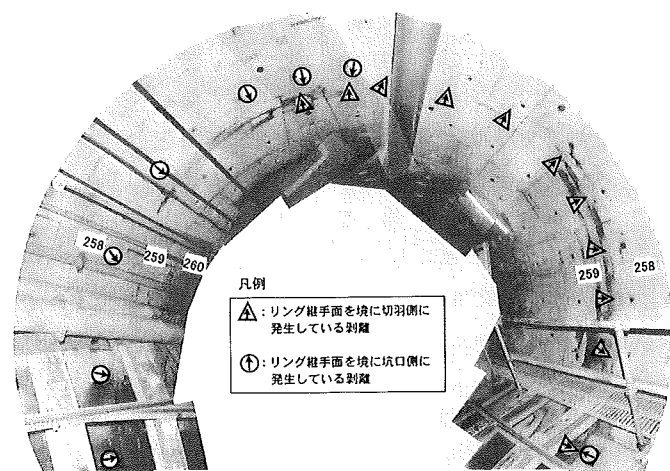


写真-2 リング継手損傷箇所の分布(向う切羽)

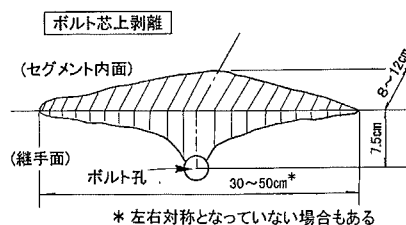


図-4 リング継手に生じた損傷調査結果

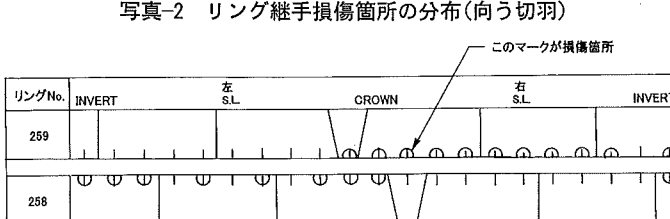


図-5 リング継手損傷位置の展開図

表-1 損傷分析対象工事における調査区間と条件

	Aブロック	Bブロック	Cブロック	Dブロック
	K管路工事	K管路工事	T管路工事	S管路工事
	縦断直線 勾配区間	縦断直線 勾配区間	縦断直線 勾配区間	縦断直線 勾配区間
調査リングNo. (リング数)	239~268 (30)	521~542 (22)	367~384 (18)	9~35 (27)
平面線形	R=右200m	直線	直線	R=左150m
縦断線形	-3.0%	-3.0%	0.15%	0.20%
切羽土質	泥岩(土丹)		洪積砂層	洪積砂層
N 値	≧50		2~≧50 (平均10)	14~50 (平均27)
E(MPa)	90~810		9.5(N≦20) 22(N>20)	19
c(kPa)	1,200~2,700		12~38	8
φ(°)	7~32		31~38	35

3-2 損傷分析状況

損傷位置は、写真-2、図-5に示すK管路工事Aブロック曲線区間のセグメントの展開図例(リングNo.258とNo.259のリング継手部)に示すように、クラウン位置を境に切羽に向かい、右側については切羽側のNo.259、左側については坑口側のNo.

258に発生しており、クラウンを中心に発生位置が分かれていることが理解される。この全体的な挙動に加え、リング継手1か所の損傷は、ボルトが隣接するセグメントボックスの顎部を突き上げることで発生していることを考えあわせると、損傷は、何らかの外力によりNo.258とNo.259リング全体が相対的にせん断変位(ずれ)を発生したことで生じたものであることが推察できた。

しかしながら損傷の発生が観察された組み立て後の状況は、数リング後方であり、そのときには大きなせん断変位は確認されなかった。

次に、損傷位置の発生分布をリング全体のせん断変位で説明することの一般性について検討を行った。

各工事における損傷多発区間での損傷箇所の分布傾向と掘進方向を図-6に示す。上段および中段における図の横軸は、セグメントのクラウンを中心に展開した位置を示している。上段の図の縦軸

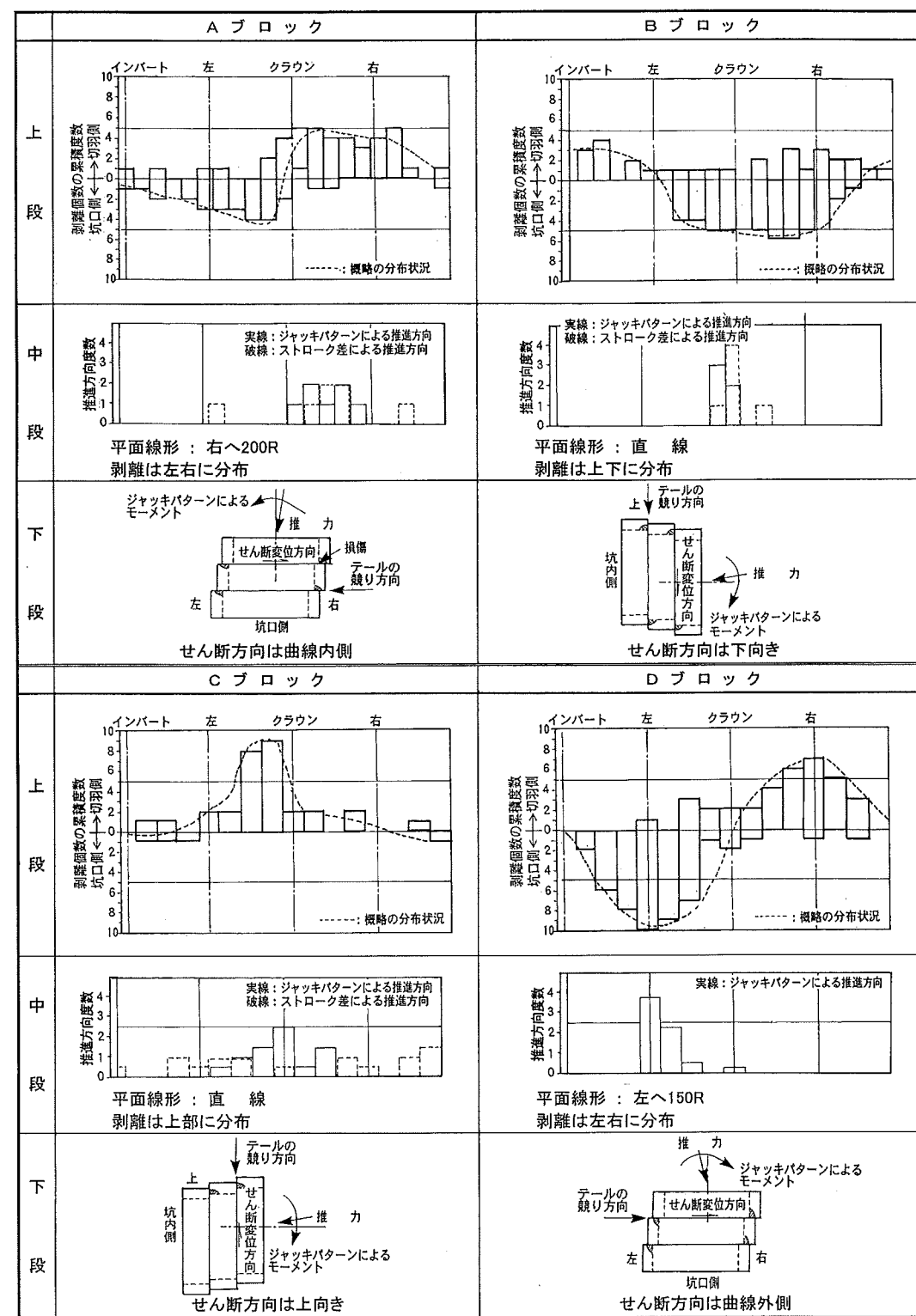


図-6 リング継手の損傷分析結果

は損傷箇所多発区間のリングにおいて展開した、継手位置ごとの損傷数の累積を示したヒストグラムである。中段の図の縦軸は、損傷多発区間のリング推進中のジャッキパターンおよびジャッキストローク差から、それぞれ算出した掘進方向のヒストグラムである。下段の図は、上段の損傷発生分布から推察されるセグメントリングのせん断変位方向と中段の掘進方向度数から推察されるシールドの掘進方向である。図-6から次に示す事項が理解される。

① 切羽側リング継手と坑口側リング継手の剝離個数の頻度は、損傷箇所のヒストグラムによれば、おおむね平面的なずれの場合(A, Dブロック)についてはクラウン、縦断的なずれの場合(B, Cブロック)については側壁部(左・右)を中心とする対称分布を示していることが理解される。これよりセグメントリング全体が相対的にせん断変位したことが予測できる。

② 掘進方向度数のヒストグラムからは、損傷区間の掘進方向が理解され、既往工事に見られるセグメントの平面的な左右せん断変位方向または縦断的な上下せん断変位方向のそれぞれについて掘進方向と整合していることがわかる。

③ ①, ②を総合的に評価すると、セグメントリングのせん断変位方向と掘進方向の関係は、図-6の下段に示すようになる。

### 4 セグメントリング継手の損傷原因

図-6のセグメントリング間のせん断変位(ずれ)を発生させたせん断力が、何の要因により発生したのかを検討する。せん断

力を発生させる要因としては、曲線部や大幅な姿勢制御などで、推進ジャッキ選択位置が偏りこれによって発生するジャッキストローク差により、セグメントのトンネル軸とシールドの推進方向が異なる場合、次のものが考えられる。

- ① ジャッキ推力のセグメントトンネル軸直角方向成分が、セグメントにせん断力として作用する。
- ② シールドのテールシール部を介してセグメントに作用する競り力によるせん断力が、テールからセグメントに作用する。せん断方向は、セグメントトンネル軸直角方向となる。

このうち、①については推進方向のセグメントトンネル軸直角方向すなわちセグメントリングをせん断させる方向と、損傷箇所の分布から推察されるセグメントリングのせん断方向が整合していなければならない。しかしながら図-6のA, Cブロックの下段から理解されるように、推進方向から導かれるせん断方向成分とセグメントのせん断

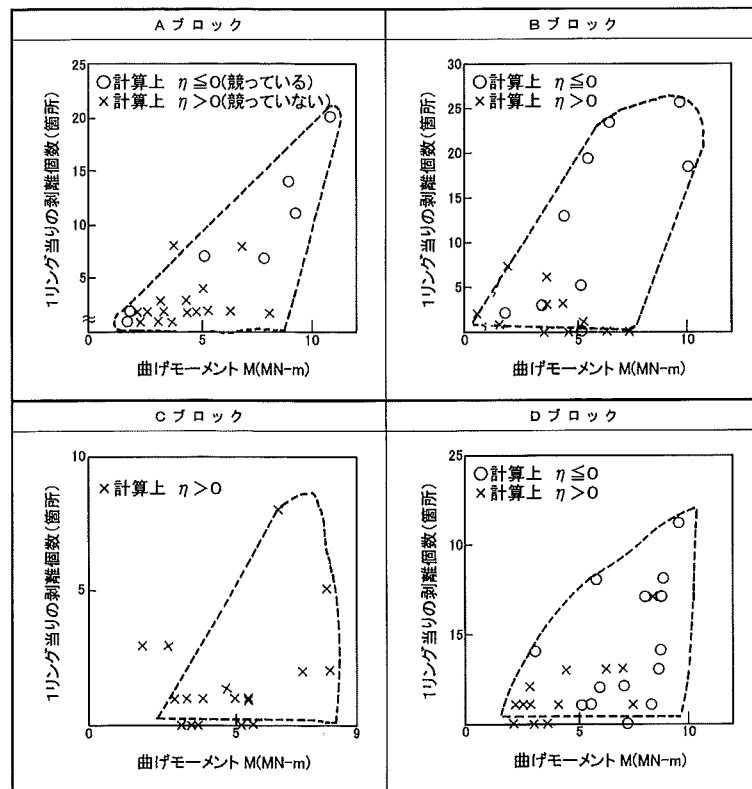
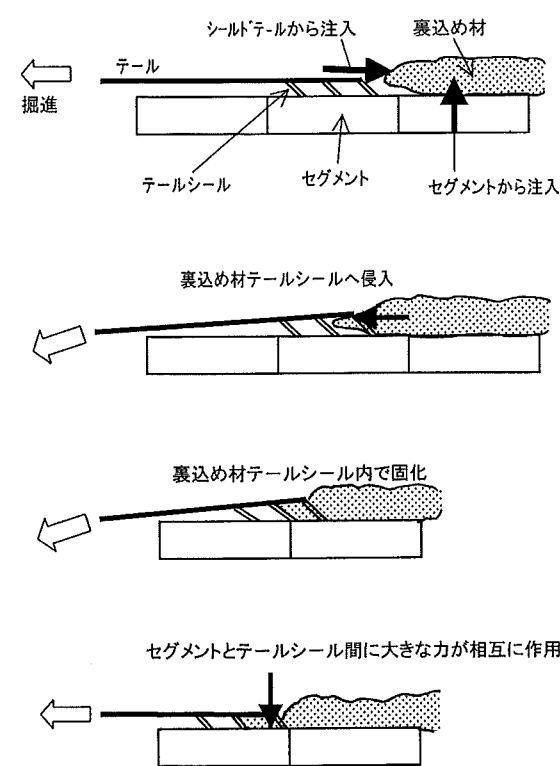


図-7 推進ジャッキの偏圧による曲げモーメントと剝離個数の関係



- ① 直線部における通常の掘進状態
- ② 裏込め注入位置としては、テールに付けた注入管より注入する方法と、セグメントから注入する方法があるが、いずれもテールボイド発生速度に合わせて同時に注入する
- ③ 曲線部などテールクリアランスが大きくなった状態での掘進状態で、裏込め材がテールシールやテールクリアランス内に侵入
- ④ 裏込め材の侵入し易くなる要因としては、曲線部でのクリアランス拡大、縮小径セグメントによるクリアランス拡大、深部高水圧に対応した高い裏込め注入圧の作用が考えられる(疲労的なもの)
- ⑤ テールシール内に浸透した裏込め材が固化する
- ⑥ 裏込め材がテールシールに絡み付いて、シールの柔軟性が低下していく
- ⑦ テールクリアランスが大きくなる状況から、直線部に戻った場合、テールクリアランスが小さくなる
- ⑧ この時、柔軟性のあるテールシールであればそのクリアランスに順応できるのであるが、裏込め材の侵入・固化により膨らんで硬くなったテールシールは狭くなったクリアランス内で圧縮される形になる
- ⑨ その結果、シールドテールからの競り力が伝わり易くなり、セグメントが損傷し易くなる
- ⑩ 更にこの状態で推進すると、相当の摩擦力がテールシールに伝わり、最悪の場合テールシールの脱落に至る

図-8 テールシールが掘進中に損傷していく過程の概念図

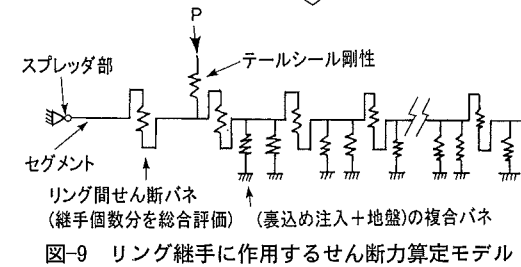
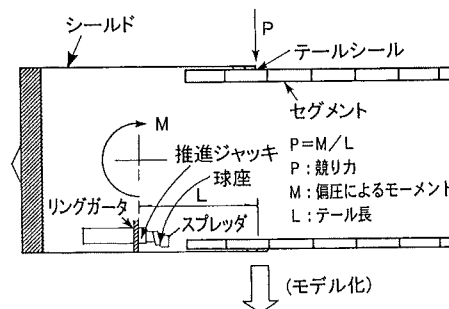


図-9 リング継手に作用するせん断力算定モデル

変位方向が一致していない場合も見られる。これらの理由から、損傷原因の主要因としては、②に示すシールドテールからの競り力の伝達によりセ

グメントに作用するせん断力の可能性が高いものと判断した。

②を主要因とすることを前提にして、推進ジャッキの使用パターンによって発生する曲げモーメント(M)と、1リングあたりの剝離発生個数の関係について検討を行った。曲げモーメント(M)は、シールドの推進方向から予測したシールド中心を通る回転軸から、各ジャッキ中心に至る距離に当該ジャッキの推力を乗じてジャッキごとの回転軸回りのモーメントを求めた後、それらを総計することにより決定した。

検討結果は、図-7に示すとおりである。図-7から競り力発生原動力となる推進ジャッキの偏圧による曲げモーメントと剝離発生個数の間にはおおむね、曲げモーメントが増加すれば剝離個数も増加する傾向がありそうなのが理解される。さらに、 $\eta \leq 0$  すなわち計算上競った状況と判断されたデータ(凡例で○)に限って見た場合は、それ

らの傾向が顕在化してくることがわかる。

これらのことから、筆者らはリング継手剥離の発生原因としては、競り力の伝達が重要な主要因として考えられるものと判断した。

## 5 セグメントリング継手の損傷抑制対策

セグメントリング間に発生した損傷原因の主要因として推察される、シールドテールからテールシールを介して、セグメントに作用する競り力を、抑制させる対策について検討した。

損傷抑制対策は次に示す2項目に大別して検討した。

- ① シールドテールからの競り力を抑制する方を講じておく。
- ② 万一、シールドテールからの競り力が作用した場合においても、セグメントリング継手に大きな損傷が出ないような構造にしておく。

### 5-1 シールドテールからの競り力の抑制

競り力の伝達位置としては図-1に示すように、テール内側(A点)とテールエンド(B点)で競る場合とが想定されるが、A点でのクリアランスは施工中に目に見えるかたちで管理が可能であることから、この点については十分な施工管理で解消できると考え、抑制対策からは除外した。

セグメントに作用するテールエンドにおける競り力は、伝達系で考えると、シールドテールエンドでの姿勢制御に伴い発生する移動量を、テールシールが柔軟に吸収できれば、問題のないきわめて小さい値となる。

しかしながら、長距離施工や高水圧下での施工においては、裏込め注入材のテールシールへの浸入が否めない状況にあり、徐々にではあるがテールシールの柔軟性の低下および劣化、テールシールの損傷、さらなる裏込め注入材の浸入などのくり返しにより、当初設計で想定したテールクリアランスが確保できず、セグメントに作用する競り力は増大していく傾向になる。

これらのことから、競り力の抑制方策として次の配慮を行うことが望ましいと考える。

### 5-1-1 テールエンドでのクリアランスの確保

テールエンド部分(B点)のクリアランスは、今回の施工実績から逆算すると、現場によってもばらつきはあるが、おおむね標準偏差が $\sigma=10\sim13$ mmであった。ここで、このバラツキが正規分布に近似すると仮定して、5%の危険率( $1.64\sigma$ )で幾何学的に競らないようにするためのテールエンド部分のクリアランスは、16.4~21.3mmとなることから、おおむね20mm程度必要になると予測する。

したがって、テールクリアランスは、曲線部におけるテールエンドのクリアランスが最小でも20mm確保できるような値を、直線部で設定しておく必要がある。

この結果、得られる直線部のテールクリアランスが、実績に照らし合わせて見て、著しく大きくなる場合は、地下水圧の大きさにもよるが、テールシールの耐水圧低下の要因にもなることから、一方の対策として直線部のセグメント幅を縮小させることによるシールドテール長の縮小などの検討も併せて実施する必要がある。

現状では、テールクリアランスとテールシールの耐水圧の関係に関する研究成果はあまり公表されておらず、十分に把握されているとはいいがたい。今後は、両者の関係把握とともに、高水圧下でテールクリアランスが大きくなっても耐水圧性能を有する新たなテールシール構造の開発も必要になると考える。

### 5-1-2 テールシールの柔軟性確保

テールエンド部分のクリアランスが幾何学的に確保されていたとしても、裏込め材などがテールシールに浸入、固化した場合においては、シールの柔軟性が維持できずに、競り力が伝達される可能性もある。このことから、裏込め注入の設計・施工および浸入防止方策として実施されるテールグリスの施工管理を徹底することがきわめて重要なポイントとなる。とくに急曲線施工で、テールクリアランスが大きくなる縮小径鋼製セグメントを使用した後の直線部施工においては、裏込め注入の浸入現象が顕在化し、曲線終了後の直線部RCセグメント箇所、競り力がきわめて大きく

なる場合があるので細心の配慮が必要である。

テールシールに裏込め注入が浸入、固化し始めると、シールの柔軟性が低下し、競り力をセグメントに伝達しやすくなってしまふ。これとともに、テールシール内で裏込め材が固化しているため、シール(ブラシ)の厚さ方向に対する収縮性がなくなり、テールクリアランスに収納しきれなくなるケースが発生する。この場合、シールドテールとセグメント間に厚くなったテールシールが挟み込まれる状況となり、摩擦力、結果として推進力を増大させ、テールシール自身がシールド掘進中に損傷し、脱落していく。テールシールがシールド掘進中に損傷していく過程の概念図は、図-8に示すとおりである。

### 5-2 競り力が伝達した場合の致命的な継手破壊の抑制

競り力の伝達に関しては、施工技術面によるところが大きいため、シールド掘進時に競り力がセグメントに伝達しないように施工することを基本とすべきである。

しかしながら、一方で今まで述べてきた損傷事例は、複数の工事、すなわちいずれも高度なシールド施工技術を有する複数の施工会社が実施している現場で散発的に生じていることから、複雑に変化する施工環境においては、豊富な施工実績を持つ施工会社であっても、施工時に競り力の伝達を完全に抑制することは極めて難しいことが伺える。

このような背景から、セグメントの設計面からも、前述した抑制対策に併せて、万一シールドテールからの競り力がセグメントに作用した場合においても、セグメントリング継手に大きな損傷が出ないような構造にしておく配慮も必要であると考えた。

競り力がセグメントに伝達した場合におけるセグメントリング継手の健全性評価方法について次に記述する。

#### 5-2-1 設計の基本的な考え方

設計は、セグメントリング継手に作用する競り力を起因とするせん断力と、リング継手の持つせん断耐力(多様なリング継手の種類にかかわらず)

との照査により実施する。

ここでの基本思想は、万が一競り力が伝達し、かつ競り力については機械力の最大を想定、すなわちまれにしか作用しないことを想定している。このことから、継手部強度は、終局耐力が適当ではないかと考えている。

#### 5-2-2 リング継手に作用するせん断力の算定

セグメントのリング間に作用するせん断力は、筆者の一人である小泉により提案された「急曲線施工用セグメントの設計法」の中の競りがある場合に用いられたテール構造モデルを参考に構築した、図-9に示す解析モデルによって算定する。

解析モデルは、トンネル軸方向とし、セグメントを梁、梁を支える支承として裏込め注入が硬化している部分については裏込め注入と地盤反力を考慮したバネ支承、裏込め注入が硬化していない部分については未固結相当のバネ支承をいれるか、バネ支承を考慮しないかなどの工夫を行い設定する。またセグメントをモデル化した梁の端部、すなわちシールド推進ジャッキのスプレッド部分については、鉛直および水平方向は固定し回転方向はヒンジとする支承条件を設定する。

競り力は、シールドテールエンド部分から作用すると想定して、鉛直荷重(以下、 $P$ とする)をテールシールの剛性を考慮したバネを介して、セグメントをモデル化した梁に伝達させる。

競り力を想定した鉛直荷重( $P$ )は、シールド推進時の姿勢制御時において、推進ジャッキの使用パターンによって発生する偏心量と推進力から算定される曲げモーメント( $M$ )をテール長( $L$ )で除すことによって算定する。具体的にテール長は、推進力がシールドジャッキからシールド鋼殻部に伝達されるリングガーダの位置と、テールエンド間の長さとなる。厳密な $P$ の算定には、このほかにシールドを支える周辺地盤の硬軟および余掘りの大きさなどに起因するシールド周辺の地盤反力による競り力の減衰効果も考慮しなければならないが、ここでは境界条件の精緻な把握が実際面で困難なこと、実用面から複雑化を避けたいこと、から省略している。

セグメントリングに作用するせん断力は、競り力が導入される位置近傍のリング間せん断バネに作用する断面力より求める。次にこのせん断力から個々のリング継手に作用するせん断力を算定して、継手のせん断耐力と比較することで健全性を評価するものである。

ただし、上述した設計照査を行うにあたっては、次に示す課題がある。これら課題は現状では解明された状況にはなく、模索の状況にあることは否めない。当面は既往現場の実績を理解している経験豊富な技術者の判断で当初設計を行い、当該現場でのフィードバックをくり返しなが、補正係数なども導入し、簡便でより確からしい設計法として実務に定着化させていくべきであるとする。

① 曲げモーメント( $M$ )は、最大値を想定する場合においては、もっとも偏心量の大きくなる完全な片押しの場合でかつ推進力は個々のジャッキが最大推進力を発揮した場合である。ただし、その場合においては、競り力を想定した鉛直荷重( $P$ )を過大に見積もる可能性があることから、掘削径、地質および線形などが類似した既往工事における掘進データから、推進ジャッキの偏心量と推進力を分析、評価して、設計に用いる曲げモーメントを設定することが、より望ましい姿となる。

② テールシールの剛性は、実験により設定することが適当であるとするが、現場においては掘進延長に伴い、裏込め注入の浸入、固化により、徐々に硬化していく状況にある。このように、テールシールの剛性は、施工中に刻々と変化していくもので特定することはきわめて難しいことを理解しておく必要がある。テールシールの剛性の変化は、セグメントに作用するバネ定数の変化に見立てて、実機の縮尺モデルで、有泉・五十嵐ら<sup>2)</sup>によって、実験、評価されているものの、決定的なテールシール剛性変化の評価手法の構築には至っていない。それだけ難しい分野といえよう。結果として、彼らはより実用的な対策として、柔軟性を保ちつつ、裏込め材の浸入を

許さないために、事前に柔軟性の高い発砲ウレタンをワイヤブラシの中に浸入させておく、新しいテールシールを開発している。

③ リング間に作用するせん断力から、個々のリング継手せん断力は、例えば「はり-ばねモデル」による計算法から算定することも考えられる。

厳密には、上記課題を解決しないと、設計法が構築されたとは言えない。しかしながら、実績をもとにして、リング継手に作用するせん断力は、上述した設計法を簡素化した次式によっても概略把握できるものとする。ただし、補正係数( $\alpha$ )については、損傷事例や施工実績などの蓄積などにより定める。現時点では情報は少ないながらも、筆者らが損傷の現象を再現させるために実施した数値解析からの同定によれば、大掴みであるが $\alpha=40\sim 50\%$ 程度になる模様である。

$$\begin{aligned}\tau_u &\geq \tau = S/n \\ &= \alpha_1 \cdot P/n \\ &= \alpha_1 \cdot (\alpha_2 \cdot M / L) / n \\ &= \alpha \cdot \{(M / L) / n\}\end{aligned}$$

ここに、

- $\tau_u$  : リング継手のせん断耐力
- $\tau$  : リング継手の作用せん断力
- $S$  : リング間に作用するせん断力
- $n$  : リング継手の個数
- $\alpha_1$  : テールシール、セグメント軸剛性、地盤反力の剛性などの影響による低減係数
- $P$  : シールド競り力
- $\alpha_2$  : シールドに作用する地盤反力による、曲げモーメントの低減係数
- $M$  : ジャッキの偏圧状態から算定する曲げモーメント
- $L$  : テール長
- $\alpha$  : 競り力伝達にかかわる補正係数  
( $= \alpha_1 \cdot \alpha_2$ )

## 6 おわりに

本稿で述べた内容は、従来であればややもすれば施工での上手、下手で済まされてしまいそうな

課題であるかもしれない。しかしながら、今までセグメント覆工の高剛性化、高速化、高水圧化(深部化)、長距離化およびコストダウンとして個々に進めてきた方策が重畳してしまい、競りやすい環境を生み出してしまったことは否めない。加えて大深度、二次覆工省略と今後はますますセグメント覆工に求められる環境も変化しつづける状況にある。このような背景を受けて、筆者らは施工時荷重の一つとして今後は顕在化するであろう競り力に着目し、工事の注文者にとって最終的に財産となる覆工の品質確保を目指して検討を行ったものである。

今回報告のセグメント継手構造は、RC製である。過大なせん断力が作用した場合の継手部損傷現象や変形性状は、多様な継手構造各々で異なる

(例えば、RCセグメントの鋼製ボックス継手では定着筋沿いのひび割れ、鋼製セグメントでは主筋の面外変形など)ものの、今回報告の作用メカニズムや対策の考え方については普遍であることから、本稿の考え方を個々の継手において展開することにより、少しでも競りによる損傷環境が改善されれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 小泉淳・村上博智・石田智朗・高松伸行：急曲線施工用セグメントの設計法について、土木学会論文報告集, No.448/Ⅲ-19, pp.111-120, 1992.
- 2) 有泉毅・五十嵐寛昌・今立文雄・吉村宗男・貝沼憲男：高耐久性新型テールシールの開発、土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集, Vol.7, pp.313-318, 1997.

## 研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては38頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

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

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

首都高速道路中央環状線  
山手トンネル開通

首都高速中央環状線のうち首都高5号池袋線の熊野町jctと首都高4号新宿線の西新宿jct間の延長6.7km区間が開通した。

開通日午前より行われた開通式典には、国土交通大臣やタレントの近藤雅彦氏らが出席し、開通を祝った。

今回開通する区間は、沿道環境に配慮し、そのほとんどが山手通りの地下30mを通るトンネル(山手トンネル)となっている。トンネルは主としてシールド工法で施工されたが、シールド径の縮小やUターン施工などのコスト削減に努めた。

新宿線の渋滞が大幅に緩和されるなど、首都高速全体でピーク時の渋滞が約2割削減されることにより、経済効果として、おもに時間短縮効果による年間約930億円、環境改善効果として、二酸化炭素の排出が約6万t削減されるとしている。

今回開通区間以南の首都高3号渋谷線の大橋jctまでの4.4km区間は2009年度中に開通の予定、また、同品川線9.4km区間は2013年度の開通を目指している。

徳島南環状線法花トンネル貫通

四国地整徳島河川国道事務所が整備を進めている国道192号徳島南環状道路の法花トンネル(仮称)が、約3年の工事期間を経て貫通し、同トンネル内で、工事施工業者主催の貫通式が執り行われた。

同トンネルは、徳島市内の交通混雑緩和を目的に事業を進めている国道192号徳島南環状道路(L=9.5km)の一環として、平成16年3月に着手された、同市上八万町広田〜寺山を結ぶL=637.0mのNATMトンネル。徳島県立文化の森総合公園の直下

を通過し、また、全延長40%の約250mが盛土区間で、最小土かぶり3mとなっているため、掘削にあたっては、建物などに影響を与えないよう、多種の補助工法が採用され、とくに小土かぶり区間では、導坑掘削を先行し、上半先進ベンチカット工法による機械掘削工法が採用された。

今後は、残るコンクリート打設工事などを行い、同トンネルの平成20年2月の完成を図るとともに、大木IC〜大野IC(徳島市上八万町下中筋〜八万町大野)間の早期の暫定供用を目指す。

徳島南環状線は、徳島市中心部の渋滞緩和を図る環状道路の一つ。同市国府町観音寺の国道192号から眉山南西を通り、国道55号までの9.5kmをつなぐ。このうち、192号から国府町延命までの2.6kmが暫定開通。国道438号と55号間で工事が進められている。

中国最長のトンネル  
太行山トンネルが貫通

中国最長のトンネル、太行山トンネル(全長27.8km)がこのほど貫通した。石太(河北省石家荘-山西省太原)旅客専用鉄道の建設が大きく前進したことによる。

「石家荘-太原旅客線」は「第11次5か年計画」の重点プロジェクトであり、全長189.93kmで、2005年6月に着工し、2008年の年末までに完成する予定。完成後の年間の旅客輸送量は1,500万人、貨物輸送量は4,000万tと見込まれる。山西、河北両省の経済協力および国家重点物資の輸送において極めて重要な役割を果たすと期待されている。

推進工法で世界最長記録達成

豊橋市上下水道局が、現在、下水道整備を行っている大岩・二川地区

で、平成18年度から旧東海道を進めていた梅田第1汚水幹線の推進工法による下水道工事が完了した。

今回おこなわれた推進工事は延長約1,448mで、埼玉県内の同様工事1,265mや、中国の黄河横断工事1,259mを抜き、推進工法における世界最長距離となった。

豊橋市では、下水道事業第7次拡張事業により大岩・二川地区の汚水整備を行っており、同工区の掘削工事に入り、今年5月から実際に推進工法で掘り始め、8か月間を要し予定地点に到達した。

今後周辺地区の梅田川北部180haの支線整備を平成22年度まで順次行い、水質汚濁の状況にある梅田川の水質改善などが期待される。

大阪港臨港道路沈埋トンネルの  
名称決定『夢咲トンネル』

大阪市および近畿地整大阪港湾・空港整備事務所では、大阪港の夢洲と咲洲を海底で結ぶ(仮称)夢洲トンネルの正式名称を一般募集していたが、この度、同トンネルの正式名称を「夢咲トンネル」に決定した。

大阪市と大阪港湾・空港整備事務所の共催により、平成19年11月26日から12月13日の間にこのトンネルの正式名称を募集したところ106通の応募があり、トンネル名称選定委員会を経て、応募があった名称の中から、理解しやすさ、読みやすさ、整合性、近隣周辺地域構造物との比較、浸透性、知名度、応募数の多寡などを勘案した結果、「夢咲トンネル」と決定した。

選定理由としては、①未来の大阪港の「夢が花咲く」重要な役割のトンネルになるように、②夢洲と咲洲の頭文字をとって、簡単で覚えやすい美しい名前である、などが挙げられた。

建設特撮

シールド工事の施工に関するQ&A(8)

JTA都市トンネル小委員会

Q 25. 礫地盤で想定されるトラブルの要因と留意点について教えてください。

A.

(1) 礫地盤における課題と現状

密閉型シールドで、礫地盤や巨石が介在する地盤を掘削するためには、堅固で耐久性のあるシールドが必要となります。しかし、事前の土質調査にもとづいてシールドに十分な対策を施した場合においても、しばしば掘進が困難となるトラブルが発生することがあります。

以下に、シールド工法の特徴に触れ、シールド掘進で直面するトラブルの状況を挙げて、その要因と留意点について説明します。

(2) シールド工法の特徴

選定するシールド工法によって切羽の安定方法が異なっており、礫地盤や巨石に対する掘削と破碎、および掘削土の搬出方法においても異なります。このような地盤においてシールドの仕様を決定する際に、主にカットビットの形状・配置、カットトルク、推力などを十分に検討する必要があります。表-1に礫・巨石への対応方法の比較を

表-1 礫・巨石への対応方法の比較表

項目	泥水式シールド	土圧式(泥土圧)シールド	摘要
切羽の安定方法	・泥水圧+面板(ドーム型, フラット型)	・泥土圧+面板(ドーム型, フラット型) ・泥土圧+スポーク	
泥水・添加材管理	増粘材・逸泥防止材を添加した泥水の比重管理	添加材の濃度・注入量, 掘削土の塑性流動性確保	
礫・巨石への対応方法	カットスリット幅によって制限し, 破碎	取り込みが主体, 破碎も期待する	
カットヘッドの形式と開口率	・面板+カットスリット(10~30%)	・面板+カットスリット(30~40%) ・スポーク(60~80%)	開口幅によって取り込み礫径を制限する
カットビット(一次破碎)	ローラーカット+ティースビット	・ローラーカット+ティースビット ・シェルビット+ティースビット	ティースビットは切削・取り込み用
排泥・排土方式(機内)	排泥管(破碎礫径と管径検討)	リボンタイプスクリュコンベヤの採用 取り込み礫径と管径検討	スクリュコンベヤで巨石の排出が可能
輸送・搬出方法(坑内)	ポンプによる流体輸送, 排泥管(管径・流速)	バッテリー機関車+ずり鋼車による運搬	
クラッシュャー(二次破碎)	排泥ポンプ・排泥管に支障とならない大きさに破碎	圧送方式を採用する場合, 採用事例は少ない	
礫取り	流体輸送で破碎礫の沈降・閉塞を防止	必要に応じて使用 スクリュコンベヤ先端ゲートの検討	
カットトルク(T) α値	α=8~20 礫・巨石に対しては大きめのα値	α=10~25 礫・巨石に対しては大きめのα値	T=αD <sup>3</sup> (kN・m) D: シールド外径
総推力(F)	F=1,000~1,500kN/m <sup>2</sup>	F=1,000~1,500kN/m <sup>2</sup>	礫・巨石に対しては大きめの値

示します。ここで巨石とは300mm以上の礫を言います。

泥水式シールドは、泥水圧で切羽を安定させて掘削土を泥水とともに流体輸送します。カッタヘッドが面板形状になっており、カッタスリットで取り込み礫径を制限することで礫・巨石をカッタ前面で破碎し、流体輸送が可能となる礫径まで機内あるいは後続台車部でさらに二次破碎を行っています。

これに対して土圧式の泥土圧シールドは、添加材の働きによって掘削土を塑性流動性を有した泥土に変換し、その泥土圧によって切羽を安定させます。カッタヘッドの形状は、切羽面が大きく開放されたスポークタイプと巨石の大きさによって破碎を必要とする面板タイプを採用しています。

掘削土を排出する方法は、シールド外径、礫径、地下水圧などにより、軸付またはリボンタイプのスクリーコンベヤを選定し、巨石ではスクリーコンベヤを通過可能な礫径までにカッタで破碎して取り込むことを基本としています。

礫径が300mm以上の巨石では、その径より大きくなるに従って破碎がより厳しくなると考えられます。

### (3) 掘進が困難になっている時の掘進状況

トラブルが発生して掘進が困難になっている場合には、次のような状況が発生しています。

- ① カッタが回転不能になっている
- ② 掘削土が排出されない
- ③ 推力が増大して掘進できない
- ④ 掘進速度が極端(数mm/min)に低下している

### (4) 掘進が困難となる主な要因

掘進が困難となっている場合は、単独の要因によるものと複数の要因が複合してトラブルが発生することがあります。

要因を大別するとおおむね次のようになります。

- ① カッタビットの摩耗・損耗
- ② カッタヘッドやチャンバ内の土砂の固結
- ③ 切羽の不安定
- ④ 排泥・排土ラインの閉塞

#### 1) カッタビットの摩耗・損耗

とくに、外周カッタビットの摩耗・損耗によってシールド外周部の掘削が確保されなくなり、推力の増大を招き最終的には掘進が困難になる場合があります。

また、ビットの摩耗・損耗が進行すれば礫・巨石は十分に破碎されず、カッタスリットからの取り込みができなくなります。これによって、推力の増大や掘進速度の低下を招きます。

#### 2) カッタヘッドやチャンバ内の土砂の固結

粘性土が介在する砂礫層でカッタヘッドに土砂の固結が発生すると、ビットの切り込み量が小さくなることで掘削機能が低下します。また、固結によってカッタスリットの開口幅が小さくなることや、カッタスリット全体が閉塞されることがあり、掘削土砂の取り込みが困難となります。

さらに、カッタ中央部は回転速度が遅いことから土砂の固結が発生しやすく、推力増大の一因となります。

チャンバ内でも固結が発生することがあります。泥土圧シールドは、カッタ背面の練り混ぜ翼や固定翼の適正な配置によって掘削土の練り混ぜとともにチャンバ内の固結に対応しています。

泥水式シールドは、カッタの旋回と泥水の送泥と排泥による流動と排泥管取り込み口付近に設けたアジテーターやカッタの攪拌翼でチャンバ内の固結に対応しています。

#### 3) 切羽の不安定

透水係数の増大やバインダー分の減少および礫率の増大などによる地盤条件の急変によって切羽の安定が崩れることがあり、早期に対処しないと地山の崩壊をまねくことがあります。

このような場合、泥水式シールドでは、泥水が切羽へ逸泥して泥水圧が低下し、泥水が希釈されることで切羽の安定が損なわれてチャンバ内に土砂が堆積することがあります。

土圧式シールドでは、泥土の塑性流動性が失われることがあり、スクリーコンベヤからの噴発を伴うなど塑性流動性をなくした掘削土がチャンバ内に充満してカッタが回転不能となることがあ

ります。

特異な事例になりますが、切羽の崩壊によって上方の地盤から想定外の巨石などが掘削断面に落ち込む場合もあり、これに対応できなくなることがあります。

#### 4) 排泥・排土ラインの閉塞

泥水式シールドでは、機内の排泥管・クラッシャー・排泥ポンプ・坑内排泥管によって連続した排泥ラインが構成されており、掘削土を取り込んだ泥水を流体輸送します。この流体輸送ラインで破碎された礫が閉塞することがあります。

また、破碎礫によって排泥管内の摩耗が著しくなることがあるので、とくに曲がり管部では摩耗対策や点検が必要です。

泥土圧シールドでは、スクリーコンベヤ内で礫が閉塞することがあります。閉塞の状況は、バインダー分が洗い流された石垣状の閉塞状態や巨石がスクリーにはまり込むような閉塞が発生します。

### (5) トラブルを回避するための留意点

#### 1) 調査

シールドを計画するにあたって、地盤の粒度分布、 $N$ 値、透水係数、礫径、礫率、および礫の圧縮強度などの土質調査データを収集するとともに、当該地区の踏査を行い近隣の河川の状況や類似工事の調査を行って地盤条件や技術的な情報を収集する必要があります。

#### 2) 土質

ボーリング調査により確認された礫径について、多くの場合、採取された礫径の3倍程度を最大礫径と想定しています。

また、300mmを超えるような巨石が想定される場合には、大口径調査孔などの調査方法によって巨石の大きさやその出現頻度を事前に把握しておく必要があります。

掘削断面の礫地盤に粘性土が介在する場合や粘土混じり砂礫の場合では、カッタヘッドやカッタスリットおよびチャンバ内に掘削土の固結が発生しやすくなります。これに対して、泥土圧シールドでは添加材に粘性低下材を使用することで固結

が緩和されます。

これらの固結を除去する対策として、ジェット水などの噴射口を隔壁やカッタヘッドおよび隔壁の取り込み口に設けておくことも有効な方法です。

#### 3) シールドの選定と仕様の検討

礫率・巨石の頻度、圧縮強度、地盤の粒度分布などの地盤条件を十分に検討したうえで、シールド工法やシールドの仕様を選定します。シールド規模、施工延長に応じたカッタビットの選定、ビット配置、ビット交換対策、カッタスリットの開口幅や開口率、および過酷な地盤を掘削するための十分なカッタトルク・推力などの装備について詳

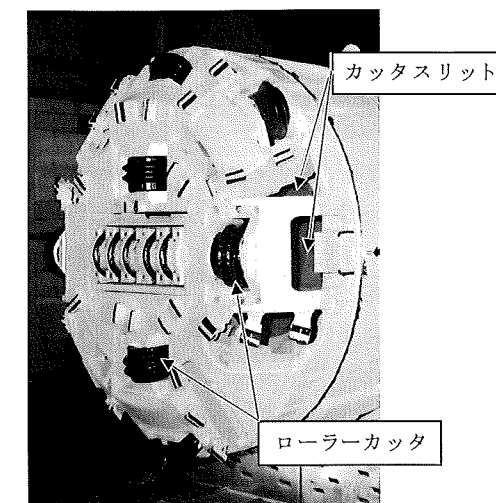


写真-1 礫用泥水式シールド

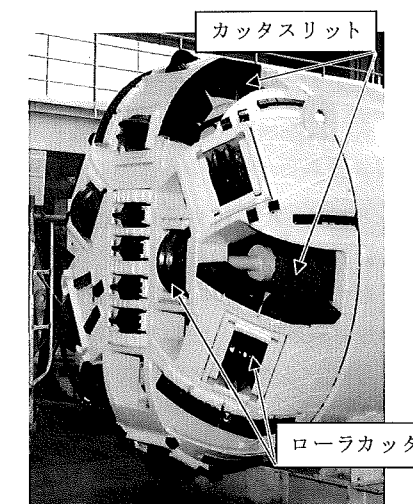


写真-2 泥土圧シールド(ドーム型)

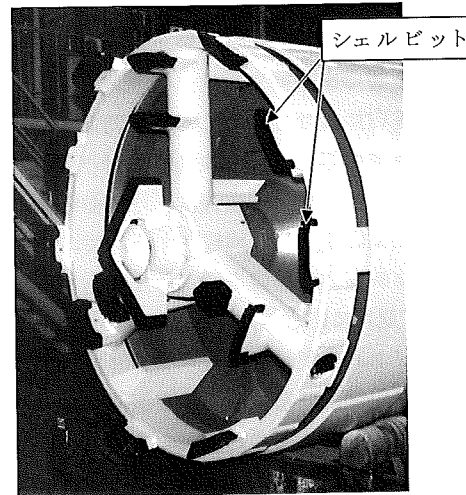


写真-3 泥土圧シールド(スポークタイプ)

細に検討する必要があります。

4) カッタビット

礫・巨石を効果的に破碎するビットとして、カッタヘッドに装備されるローラーカッタがあります。泥水式シールド、泥土圧シールドの双方で使用されています(写真-1,2参照)。

シェルビットは主にスポークタイプの泥土圧シールドのカッタヘッドに装備され、中心部に芯抜き掘削するフィッシュテールビットとともに切羽を段掘り状に掘削して礫・巨石を取り込みます。複数の差し刃で形成されたシェルビットは、礫の強度・形状によって巨石を大割れで破碎します(写真-3参照)。

5) 適正な掘進管理

礫地盤・巨石が介在する地盤で発生するトラブルを防止するためには、切羽を安定させて良好な掘進状態を維持することがもっとも重要です。

泥水式シールドでは、増粘材や逸泥防止材を考慮した泥水の配合計画と泥水の適正な圧力管理が重要です。

泥土圧シールドにおいては、掘削土を塑性流動化する添加材の選定、濃度、注入量の管理と適正な泥土圧管理が重要となります。

(6) おわりに

密閉型シールドの掘進中に発生するトラブルに対して、掘進開始後に対策を講じることは容易な

ことではありません。とくに巨石が介在する礫地盤の長距離掘進などの過酷な条件においては、シールド製作時に想定される要因に対して万全な対策を講じておき、適正な掘進管理を行うことで、大きなトラブルを未然に回避することができます。

(文責：武内秀行/大豊建設(株))

参 考 文 献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.

Q 26. 発進基地の工法別、径別の最小および標準面積を教えてください。

A. 発進基地の必要面積は、施工方法、施工環境、シールド径、掘削地山の性状などの各条件により施工設備およびその規模が異なるため、各工事別の面積となります。市街地では都市部の過密化に伴い発進立坑用地の確保が困難になってきています。

そのため、地上部だけで施工設備を配置できない場合、立坑内あるいは地下ヤードを利用したり、地上部を立体的に利用する場合があります。

以下に、発進基地必要面積について、現在、主流となっている泥水式シールド工法と土圧式シールド工法別に説明します。

(1) 発進基地の施工設備

発進立坑の施工設備は、一般的には資材置場(セグメント、配管材、レールほか)、掘削土搬出設備、材料搬入搬出設備、電力設備、給排水設備、裏込め注入設備、換気設備、中央制御室などが共通設備として必要となります。施工方法により、泥水式には泥水処理設備、土圧式は添加材プラントおよび泥土処理プラントが必要となります。

表-1に各設備のシールド径別(3, 6, 10m級)の必要面積(参考値)を示します。この数値は参考値ですので、実際の計画にあたっては、シールド工事の条件(施工環境、掘削地山の性状、発進基地の形状など)の検討により各設備およびその規模を設定する必要があります。

具体的な設備配置例として、図-1に泥水式シ

表-1 シールド施工設備必要面積(参考値)

工 法	施 設 名 称	3 m級		6 m級		10m級		
		泥水式	土圧式	泥水式	土圧式	泥水式	土圧式	
泥水式シールド工法設備	泥水処理施設	400	—	700	—	1,400	—	
	添加材プラント	—	40	—	40	—	80	
土圧式シールド工法設備	泥土処理プラント	—	50	—	50	—	100	
	資材置場	セグメント 80		200		400		
共 通 設 備	配管, レールほか	50		50		100		
	掘削土搬出設備	150		250		400		
	材料搬入・搬出設備	200		200		300		
	電力設備	40		40		60		
	給排水設備	30		30		30		
	裏込め注入設備	30		30		60		
	中央管理室	55		55		100		
	発進立坑, 安全通路ほか	200		300		500		
	そ の 他	泥水式シールド工法	1,000~1,500		1,500~2,000		2,500~3,500	
		土圧式シールド工法	700~1,200		1,000~1,500		1,800~2,500	

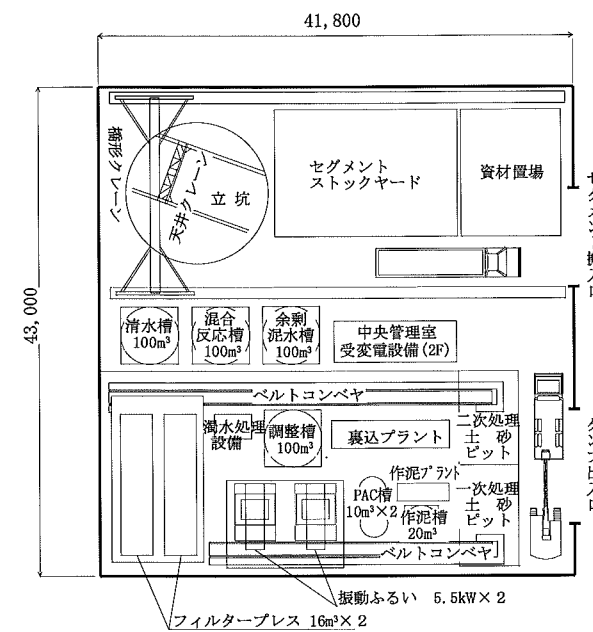


図-1 泥水式の標準設備配置図(例)(6m級, 1,800m²)

シールド工法によるシールド径6m級の発進基地標準設備配置図(例)を、図-2に土圧式シールド工法のものを示します。

(2) 省面積立坑システム

市街地では、用地の入手難から発進基地に十分な面積を取ることが困難な場合が多く、発進基地

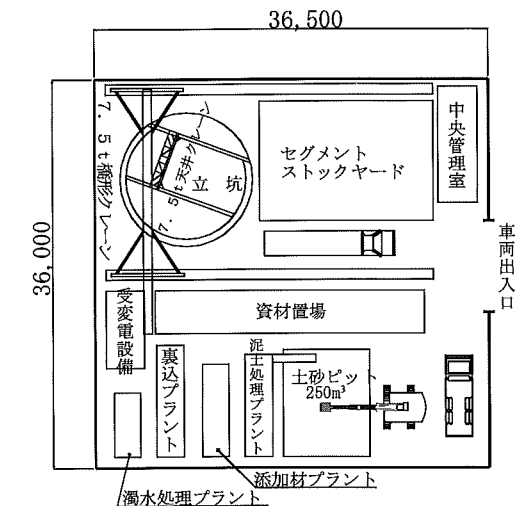


図-2 土圧式の標準設備配置図(例)(6m級, 1,300m²)

の面積を最小限にするために、特殊な設備を配置する省面積立坑システムがあります。

このシステムは、設備の処理効率の向上と小型化を行い、立坑などの空間を有効利用することにより、発進基地面積を泥水式シールドでは従来必要とされる面積の1/3(土圧式シールドでは1/2)にまでに縮小化(省面積化)する技術です。

このシステムの要素技術と各要素技術を使用し

表-2 要素技術一覧表

工法	技術名	技術内容	省面積効果(参考値)
泥水式シールド	固形回収システム	粘性土地山を固形状で切り出すことで、泥水への切削土の溶け込み量を少なくして、二次処理処理設備の負担を軽減し、小規模化できる。	泥水処理設備面積が約30%減となる。
	リアルタイム切羽安定管理システム	リアルタイム切羽安定管理システムを坑内に設置することによって、地上の作泥設備が必要なくなり、省面積化が図れる。	
	泥水濃縮システム	従来のフィルタープレスに代わる設備で、泥水処理能力が高く設置面積が小さくて済む。濃縮スラリーは、流体のため、貯留、搬送が容易である。	
	スラリー連続改質システム	濃縮スラリーを普通ダンプトラックで搬出できる性状に改質できる。オンラインで改質を行うため、設置スペースは小さい。	
土圧式シールド	土砂圧送設備	完全密閉型の掘削土搬送方式が可能であるため、立坑設備の配置が自在に行え、立坑基地の省面積化が図れる。	掘削土搬出設備の面積が約10%減となる。
	礫破碎設備	土砂圧送設備の排泥ライン上で、スクリュウコンベヤを通過する礫を圧送可能な粒径に破碎する機構を持つ設備で、砂礫層においても土砂圧送設備の適用を可能とする。	
共通	セグメントストックシステム	セグメントストックシステムはドーリー型と簡易型があり、セグメントの立体的な配置により、省面積化が可能となる。ドーリー型は立坑内に立体的にストックし、立坑下への運搬を自動化したシステムである。	立坑内に収納するドーリー型の場合、立坑上のストック面積はゼロで、簡易型の場合はストック面積の約40%減となる。
	自在移動型ターンテーブル	狭い発進立坑用地内への車両の搬出入において、基地内での転回が容易にできる。	
	スパン可変型天井クレーン	矩形以外の発進立坑用地でも自在に設備配置ができ、立坑用地を無駄なく利用することで省面積化が可能となる。	
	土砂貯留搬送システム	スクリュウコンベヤと土砂貯留槽で構成され、土砂貯留槽を立坑下に設置することにより、貯留搬送に関する設備の省面積化が可能となる。	

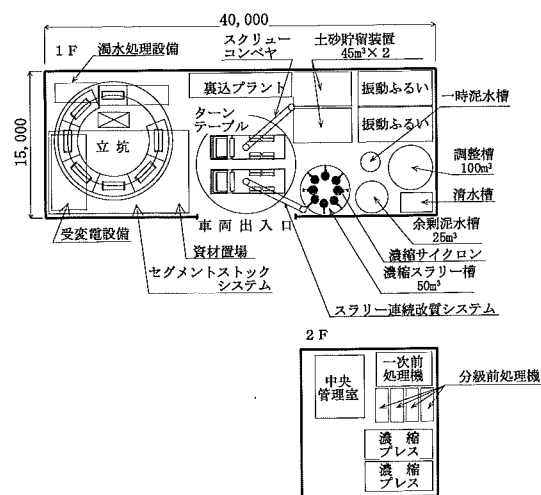


図-3 泥水式の設備配置図(例)(600m², 6m級)

た場合の発進基地面積の省面積効果(参考値)を表-2に示します。

設備配置例として、図-1, 2に示しているシールド工事と同条件で省面積立坑システムの要素技術を最大限に採用した場合の設備配置図(例)を図-3,

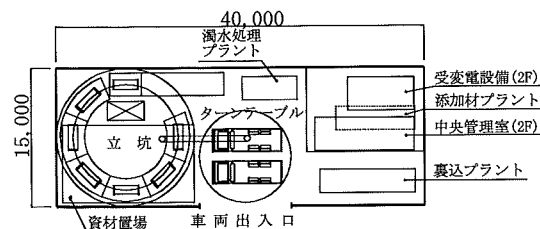


図-4 土圧式の設備配置図(例)(600m², 6m級)

4に示します。

現在、施工実績としては40事例ほどありますが、このシステムの採用にあたっては、施工環境、掘削地山の土質などを十分に調査し、経済性、環境影響などを検討のうえ、計画する必要があります。

(文責：小山正幸/戸田建設(株))

参考文献

- 1) (財)下水道新技術推進機構：シールド発進立坑用地の省面積システム技術マニュアル, 2004年度改訂版, <http://www.areasave.jp/>

Q 27. シールド仮設備の配置計画上のポイントを教えてください。

A. シールド工事の立坑は、発進、到達、中間、回転の種別があり、シールドトンネル完成後は、構築に利用されることがほとんどです。立坑は、その地点の土質、地下埋設物、交通量、近隣への影響、構築物の用途などを考慮し築造されます。したがって、その形状、構造も多岐にわたります。

シールド工事の設備を配置、設置するうえではこれらのことを踏まえ、経済的、効率的、かつ作業の安全確保を前提に計画する必要があります。ここでは、発進立坑(発進基地)の設備配置について述べていきます。

(1) 各工法の必要設備と選定時の留意点

シールド工事全体の施工設備は、いわゆる仮設備と呼ばれ、その分類は、大きくは施工に直接必要な設備と、工事用地周辺の環境に配慮した設備

に分けられます。仮設備全体の構成を表-1に示します。

1) 仮設備計画

仮設備の計画にあたっては、設備規模、および設備配置の決定が主要な項目となります。

設備規模の検討では、最大日進量、最大負荷量、立地、周辺環境・交通条件、安全面などを考慮して計画を行います。

仮設備計画フローを図-1に示します。

2) 発進基地の配置計画<sup>1)</sup>

施工に必要な設備は、発進立坑の上下のスペースに大部分が集中して配置されます。そこでの配置計画は、まず用地の大きさに制約がある場合は、下記のような対策が必要となります。

- ・設備容量の見直しや設備のコンパクト化
- ・発進基地の立体化や地下化
- ・立坑内、トンネル坑内や地下鉄のように開削駅部の利用

表-1 主要なシールド仮設備<sup>1)</sup>

項目	設備名称	資機材名
泥水式シールド工法	流体輸送設備	ポンプ・バルブ・配管類, 計測・制御装置, ホースドラム(礫:クラッシャー)
	泥水処理プラント	一次・二次処理, 作泥設備, 三次処理(濁水処理)
土圧式シールド工法	坑内掘削土砂搬出設備	ベルコン/二次スクリュウ+掘削土砂運搬車, 土砂圧送ポンプ
	立坑掘削土砂搬出設備	クレーン, 垂直ベルコン, 土砂圧送, ビット, トラバースなど
	固化処理設備	固化処理プラントのほか, 土砂ビット内での重機による攪拌もある
	添加材プラント	粘土・ペントナイト, 高分子, 気泡など材料によって異なる
共通設備	運転制御設備	泥水式シールド工法では流体輸送設備とセット, 土圧式シールド工法の場合, 簡易なものが多い
	掘削土砂ストック設備	土砂ホッパー, 土砂ビットなど(最低夜間分, ふけ率考慮)
	セグメント, 仮設材ストックヤード	荷降ろし・シール貼りスペース, レール, 枕木, 配管, その他
	クレーン設備	地上門型・天井クレーン(+立坑内天井クレーン), 深い場合:リフト
	坑内搬送設備	バッテリー機関車, セグメント台車, 軌道設備
	裏込め注入設備	地上プラント, 移送ポンプ, 坑内注入設備
	後続設備	セグメント搬送設備(ホイスト), 後続台車(マシン, 裏込め, トランス・ケーブルほか流体輸送/添加材)
	通信・監視・安全設備	電話, TVカメラ, 安全通路・昇降設備, ガス検知・警報設備, 消火設備ほか
	換気, 給・排水・濁水処理設備	換気設備, 給・排水ポンプ, バキュームポンプ, 濁水処理設備
	防音設備	防音ハウス, 防音壁, 防振設備(振動ふるい)
受変電・電気設備	キュービクル, 坑内トランス, 照明, 分電盤ほか	
発進設備	発進架台, 仮支保工・反力壁, 仮組みセグメント, 坑口・エントランスほか	
二次覆工設備	セントル, コンクリートポンプ, アジテータほか	

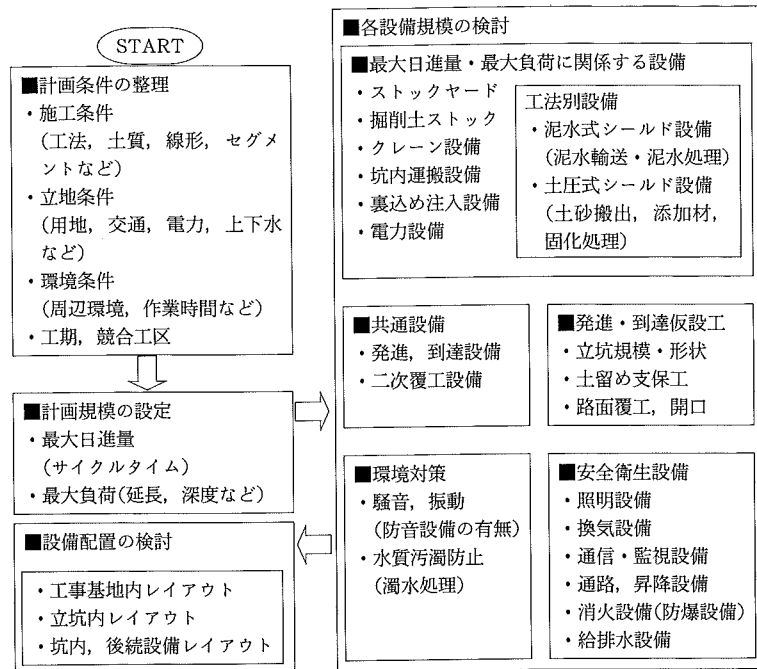


図-1 仮設備計画フロー

立坑周辺の分散化配置(泥水処理設備や裏込め・作泥プラントなどのパイプ輸送可能なもの)

立坑, 発進基地用地の形状が決まっている場合の配置計画は次のように行います。

- ① 最大日進量(平均日進量の1.5~2 倍程度見込みます), サイクルタイムを設定します。
- ② 日進量などからセグメント, 掘削土砂などのストック量を求め, それから必要面積を算出します。
- ③ 同様に泥水処理設備および濁水, 裏込めプラント, 受電設備などの主要な設備の規模, 必要面積を求めます(土圧式シールド工法であれば作泥プラントです)。また, 流体輸送設備も決定しておきます。
- ④ 立坑形状, 深度からセグメントなど材料のクレーン搬出入設備を決定します(土圧式シールド工法であれば掘削土砂搬出方式がメインです)。このとき, 坑内運搬設備, 立坑下のレイアウトも決定します。
- ⑤ 搬入する車両(トレーラー, ダンプなど)の寸法, 頻度を設定し, 立坑(または路面覆工

の開口)の位置, 道路幅などから出入口の位置, 幅などを決定します。

- ⑥ 発進基地ヤード平面図に, 以上を書き落とします。とくに重要なのは, クレーンによるセグメントの流れ(トレーラー→ストックヤード→立坑)と, ダンプの動線と掘削土砂ストック設備の位置です。空いたスペースにプラントなどの設備や通路, 配管, 事務所, 駐車場などを配置します。用地に収まらない場合は, 配置・動線・出入口の見直しをかけ, さらに設備の立体化も考えます。

- ⑦ 以上をくり返し, 最適な配置を考えます。なお, 防音ハウスが必要な場合には, 天井クレーンや柱の位置なども考慮する必要があります。

また, 騒音, 振動問題で作業時間が制約されることもあるため, 周辺環境への配慮を十分行う必要があります。具体的には, 騒音・振動源はできるだけ民家から離し, 防音壁・防音ハウスなどの防音設備を設けるなどの対策を行います。防音設備を設けた場合, 新たに日照, 景観, 電波障害などの問題が発生する可能性があるので注意が必要です。

(2) 立坑設備選定時の留意点

1) 立坑設備

立坑設備としては, 以下の設備があります。

- ・セグメント・資材投入用クレーン
- ・作業床
- ・軌道・トラバース
- ・バッテリー充電装置
- ・排水ピット
- ・バキューム・排水ポンプ
- ・昇降設備(エレベーター・階段)
- ・掘削土砂搬出設備(垂直ベルコンなど)

掘削土砂搬出設備以外は, 泥水式, 土圧式シールド工法に共通な設備です。

立坑下の設備は, 反力受け, 仮組みセグメント, 発進架台と輸送・掘削土砂搬出設備が輻輳する初期掘進時と, サイクルタイムを確保するための輸送・掘削土砂搬出設備からなる本掘進時では大きく異なります。また, セグメントなど資材の輸送設備だけからなる泥水式シールド工法と, そのほかに掘削土砂搬出設備が集中する土圧式シールド工法でも異なります。

2) 立坑設備選定の留意点

以下の設備については, 次のような留意点があります。

① クレーン設備

クレーン設備としては, 門型(橋型), 天井走行クレーンが一般的ですが, 用地が狭い場合は, タワークレーン, 立坑が深い場合には, 建設用リフトなどが使用されることがあります。

また, 立坑内の横移動用に, 立坑下にも天井走行クレーンが設けられる場合があります。

立坑が深い場合には, クレーンによる資材投入に時間を要するため, 掘進サイクルに影響がないよう揚重設備や立坑下のストック量を計画する必要があります。

② 昇降設備

昇降設備は, 階段, 螺旋階段, エレベーターなどがあり, 立坑構造, 深度などにより組み合わせられて使用されます。昇降設備は, 空間, 深さ, 昇降に必要な時間, 作業員の疲労度などを十分検討して選定します。また, 万一の場合の避難路としての役割を担うことを考え, その位置, 構造は, 他の立坑設備, プラント配置を考慮して決める必要があります。

③ 掘削土砂搬出設備<sup>2)</sup>

掘削土砂搬出設備は, 切羽からの掘削土砂を地上の土砂ホッパーなどに貯留するための垂直搬送装置です。選定にあたっては, 設備能力が直接シールド進捗に影響するため, 計画工程に見合った設備を選定する必要があります。

(3) その他の留意点

シールド工場の設備は, 表-1にあるとおり多岐にわたりますが, 補足として, 以下の留意点を説明します。

1) シールドセンターと開口部位置

用地が決まり, 各設備を計画する場合, シールドセンターと開口部(資機材投入口, 作業用出入口)位置のずれは, 施工上の大きな制約要素となります。市街地ではこの位置が一致していることはまれで, ずれが大きければ大きいほどサイクルタイム確保の手段が大切となります。このことと並行して, 切羽・坑内から立坑上へ各設備間いかに安全で効率よい作業動線を確保するか, さらに交通についても, 運行制約を考慮した動線確保などが設備計画に重要な事項と言えます。

2) 設備メンテナンス

シールド切羽を先頭に, 掘進により土砂を坑内から立坑上の土砂ストック設備へ搬送し, そこから土砂を搬出するまでは, 一つの掘進システムを形成していると考えられます。

各工法の設備選定は, サイクルタイム, コストほか各種要素を取り入れて選定・設置されますが, 通常シールド掘進工において, 発進から到達まで設備がトラブルなしで施工を終えるのはまれです。システムは1か所でも不備な状態があると正常な稼働が難しいものであり, このためメンテナンスの容易な設備と配置であること, 設備に過負荷をかけないこと, さらに使用状態の確認を常時行う必要があります。初期掘進時から使用する設備については, 稼働状況を把握し, 改善が必要な箇所については, 段取り替え時などに早めに行うことも大切です。

(文責: 犬伏義徳/東亜建設工業(株))

参考文献

- 1) (社)日本トンネル技術協会: トンネル技術ステップアップ研修会, シールドトンネル(改訂版), pp.159-160, 2005.
- 2) JTA都市トンネル小委員会: シールド工場の施工に関するQ&A (1), トンネルと地下, Vol. 38, No.7, pp.58-62, 2007.7.

**Q 28. 掘進管理測量における自動測量の現状、精度、信頼度を教えてください。**

A. 近年、シールド施工においては長距離・高速施工、急曲線・急勾配など厳しい施工条件が増加してきています。このような背景の中、施工精度の向上を目的にシールド掘進管理において自動測量システムが採用されてきています<sup>1)</sup>。

自動測量システムの利点を以下に示します。

① 測量作業時間の軽減

- ・測量作業時間
- ・測量結果の演算時間
- ・測量成果の作成時間
- ・測量のための入退坑時間

② 精度向上

- ・視準作業などにおけるケアレスミスの発生防止
- ・個人的な測量誤差の回避
- ・測量結果計算ミスなどの防止

③ 掘進制御、管理の効率化

- ・シールドの位置・姿勢のリアルタイム監視、制御
- ・掘進指示の迅速化
- ・事務所からの遠隔監視

掘進管理測量における自動測量には、“ジャイロコンパス+レベルセンサ”と“自動追尾式トータルステーション(以下、自動追尾式TS)”および“両者の組み合わせ方式”に大別されます。表

表-1 自動測量システムの比較

	ジャイロコンパス+レベルセンサ	自動追尾式トータルステーション
システム概要	ジャイロコンパスから得られるシールドの方向角およびレベルセンサから得られる高さのデータから、シールドの位置・姿勢をリアルタイムに演算し検出する。 ・水平蛇行量：ジャイロコンパス方位角から演算して算出 ・方位角：ジャイロコンパスより直接検出 ・鉛直蛇行量：レベルセンサより検出	坑内の基準点(既知点)に設置した自動追尾式トータルステーション(TS)より測量したシールドのターゲット座標(2点以上)から、シールドの水平・鉛直位置、方向角をリアルタイムに検出する。 ・水平蛇行量：TSの座標から演算して算出 ・方位角：2点のターゲットより演算して算出 ・鉛直蛇行量：TSの座標から演算して算出
使用機器	・ジャイロコンパス ・レベルセンサ ・シールドジャッキストローク計 ・ピッチング、ローリング計 ・演算用パソコン	・自動追尾式トータルステーション ・マシンターゲット(プリズム) ・ピッチング、ローリング計 ・演算用パソコン ・通信制御装置
概略図		
特徴	・ジャイロコンパスから得られるシールドの方向角と掘進距離(シールドジャッキストローク)により、シールドの蛇行量を演算(積分)する。 ・シールドの方向角からの演算となるため、シールドの横ずれの検出ができない。 ・周期誤差があり、演算した変位量に影響を及ぼす。 ・上記の誤差修正のため、チェック測量が必要となる。 ・レベルセンサの基準タンクは掘進に伴い、盛替えが必要となる。 ・ジャイロコンパスの精度：静止点誤差(静定精度)±0.2 deg	・シールドの方位角はマシンターゲットを2か所設置し、視準することにより測量する。 ・シールドの位置を自動追尾式トータルステーションで測量するため、蛇行量をリアルタイムかつ正確に把握できる。 ・シールド後方からの視準となるため、視野確保が必要となる。とくに、小口径シールドでは課題となる。 ・自動追尾式トータルステーションの盛替えが必要となる。とくに、急曲線施工時には盛替え頻度が多くなる。

-1に自動測量システムの比較を示します。このうち、“ジャイロコンパス+レベルセンサ”に関しては小口径から大口径まで幅広く採用され、従来から標準的に装備されています。

しかしながら、ジャイロコンパスでは周期誤差(静止点誤差)を持つことや、とくに急曲線施工時においてシールドの横滑りを検出できないことなどから測量誤差を生じる欠点があります。

ここでは、最新の情報として、機器の精度およびシステムの信頼性向上を背景に採用例が増加してきている“自動追尾式TSを用いた自動測量システム”について精度、信頼性および使用上の留意点などについて紹介します。

(1) 自動測量システムの現状(自動追尾式TSを採用したシステム)

近年では自動追尾式TSを用い、シールドの位置(座標値)を直接測量するシステムの採用が多くなっています。さらに、ジャイロコンパスではなく、複数のマシンターゲットによりシールドの位置に加え、姿勢を測量する方法も採用されています。

とくに地下鉄や道路トンネルに適用されるような中~大口径のシールドトンネルでは、坑内断面に余裕があることと急曲線区間が少ないため適用されやすく、その効果も高いものと考えられます。

一方、急曲線施工や小口径になると視準スペースの関係から掘進中の常時測量は難しくなりますが、チェック測量の頻度を低減できることなどの利点もあり、作業性(盛替えなど)、コスト面で課題はあるものの導入効果があると考えられます。

自動追尾式TSおよびマシンターゲットの設置状況の例を写真-1~3に示します。適用口径、工法およびその他の施工条件により設置位置を選択する必要があります。

(2) 自動測量システムの精度、信頼性

自動追尾式TSを用いた自動測量システムの誤差要因、および信頼性に関して以下に示します。

1) 誤差要因

自動追尾式TSを用いた自動測量システムの誤差には以下の項目が挙げられます(数値については一般的な値を示します)。

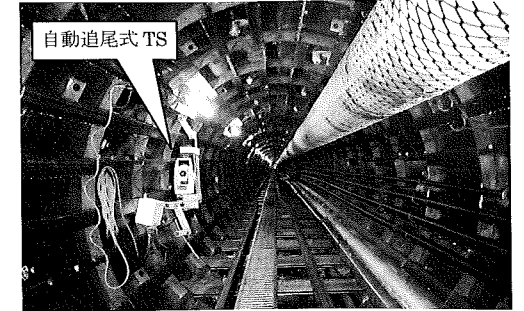


写真-1 自動追尾式TS設置状況(側部設置)(セグメント内径：φ2,000mm)

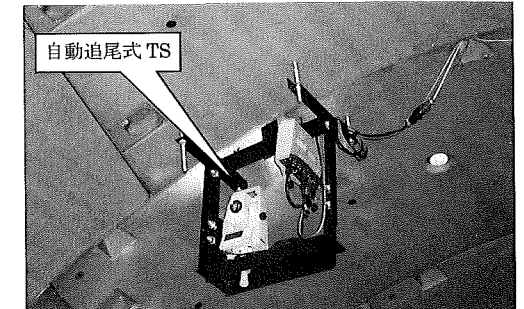


写真-2 自動追尾式TS設置状況(上部設置)(セグメント内径：φ6,700mm)



写真-3 マシンターゲット設置状況

① 自動追尾式TS

- ・機械的誤差：角度誤差(3秒)、測距誤差(3mm+2ppm)
- ・自動視準・追尾精度：ターゲット追尾誤差(2mm)

② マシンターゲット

- ・シールド内のマシンターゲット設置位置座

標の把握誤差

- ・マシンターゲットの2点間の設置離隔による誤差
- ③ その他(補正など)
- ・補正用のシールドのローリング・ピッチング計誤差
- ・マシンターゲット後胴設置時の中折れ角度による補正誤差

## 2) 信頼性

自動追尾式TSを用いた自動測量システムにおいて、ターゲットのプリズム鏡面を追尾するタイプでは、視準位置がプリズム内でずれる現象が発生していましたが、最近では、ターゲットからの信号を追尾するタイプのものもあり、追尾精度が向上しています。

信頼性の面においても、マシンターゲット2点(予備も含め全3点)のセットでの適用事例も増え、坑内基準点のチェックさえ定期的に行えば良好な結果が得られています。ただし、急曲線や急勾配施工時には、盛替え頻度が高くなります。

また、運転室にて蛇行量とシールドの姿勢がリアルタイムに得られるので、オペレータも方向修正が行いやすく、職員も掘進指示が出しやすい(リアルタイムでの蛇行修正が行える)などの利点が挙げられます。

さらに、「ターゲット間の誤差」や「後視点チェック時の誤差」などをシステム上でチェックできる機能を備えているシステムもあります。

## (3) 自動測量システムの使用上の留意点

自動追尾式TSを用いた自動測量システムを採用した場合においても、定期的に従来の測量によるチェックを行う必要があることは言うまでもあ

りません。

ここでは、自動追尾式TSを用いた自動測量システムの使用上の留意点を事前準備および施工中に分けて以下に示します。

### 1) 事前準備

- ・シールド計画時より、マシンターゲット取り付け位置を計画する(前胴を優先に計画する)。
- ・マシンターゲットは予備も含めて3点以上設置する。
- ・事前に自動追尾式TSの盛替え計画を立案する(計画的な盛替え時期の設定)。
- ・事前にマシンターゲット位置とシールドの初期位置およびシールドのピッチング、ローリングを測量し、チェック計算を行う。
- ・地下鉄や道路トンネルのように緩和曲線がある路線ではシステムへの基線入力(座標値)時に十分にチェックする。
- ・測量架台は堅固でなおかつ取り扱いが容易なものを考慮し製作する。

### 2) 施工中

- ・坑内基準点、器械設置点およびマシンターゲット位置は定期的にチェックする。
- ・入力する基準点座標は必ず二重、三重のチェックを行う。
- ・急曲線、急勾配になると器械の盛替え回数が増え、それにともない誤差も増大するので頻度を増したチェック測量が必要となる。

(文責：大橋茂樹・福居雅也/(株)奥村組)

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書、シールド工法・同解説、2006.7.

## 続 きの庭にも温泉が出る

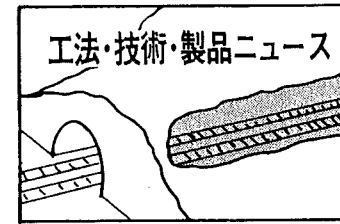
その後の温泉開発と建設の考え方

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



株式  
会社 **土木工学社**

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

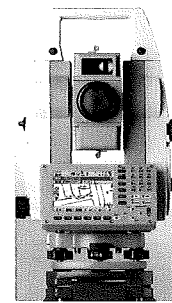


## トータルステーション新発売

ライカジオシステムズは、TPS 1200シリーズを刷新し、基本性能を大幅に向上させた新製品としてTPS1200+(プラス)シリーズの発売を開始した。

ノンプリズム測距機能は更なるレンジ化を進め、1,000mの測距レンジを実現。また測距精度も向上し以前のプリズム測距と変わらない測距精度2mm+2ppmの精度を誇る。一方プリズムターゲットを使用した距離測定においては1mm+1.5ppmの距離精度を持ち、測量用途だけでなく計測用途にも充分対応可能。

自動視準の位置精度においては、測距精度、測角精度、更には自動視準精度の融合により、±1mmと測量成果に直接結びつく精度を格段に向上させた。



## シールド直接発進到達工法の適用範囲を拡大

銭高組は、積水化学工業と共同で、シールド直接発進到達(SEW)工法の適用範囲の拡大を目的として、本工法の主材料であるFFU部材の耐力アップの研究開発を進めてきたが、

この度、耐力アップしたFFU部材の開発が終了し、より大深度、大断面への適用が可能となった。

FFU部材は、硬質発泡ウレタンをガラス長繊維で強化した構造部材で、耐久性などに優れる。これまでのSEW工法は、シールド直径7mまでだったが、FFU74(比重0.74)部材に代わるFFU100(比重1.0)部材を新たに開発し、実物モデルの荷重試験と継手試験によって曲げ強度がFFU74の約1.5倍有することを確認し、シールド直径を9~10mまでに適用範囲が拡大可能となった。

## 単孔連続式スロット削孔技術「スロットワン」を実用化

奥村組は、効率的な岩盤破碎工法であるSD(Slot Drilling)工法に用いる単孔連続式スロット削孔技術「スロットワン」を新たに開発し、道路トンネルでの実証工事で実用性を確認した。

「スロットワン」は、汎用のドリルに直径100mmの親子ビットを装着し、ロッドと並行に取り付けたガイドを既設孔に挿入した状態で隣接孔をラップさせて穿孔することで連続したスロットを簡単に効率よく形成する技術。これによって、SD工法の適用場面が広がるとともに、コストダウンが図れるとしている。

## 覆工コンクリート全断面連続締固めシステムを開発

奥村組は、山岳工法で施工されるトンネルの覆工コンクリートの締固め技術として引抜きパイプシートとコンクリートの圧力管理を特徴とするシステムを開発、現場適用でその効果を確認した。

同社では、覆工コンクリートの側壁からアーチ部を經由して妻型枠までを連続して機械的に締固める技術と、クラウン部のコンクリート圧力を用いて打込みを管理する技術とを

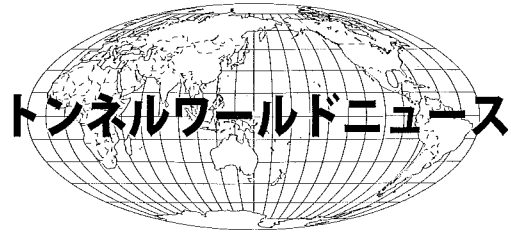
併用した締固めシステムの開発に取り組んできており、今回開発した締固めシステムは、パイプシート、パイプシートを牽引してケーブルを収納するための巻き取り装置、コンクリート打込み時にパイプシートおよびケーブルの位置を固定するためのパイプシート支持台、パイプシートが型枠内を移動するルートを規定するための方向転換器具、コンクリート圧力管理のための圧力計、セントル内のコンクリート充填状況をモニタリングするためのコンクリート充填検知器(クラウン部の地山側に設置)および計測機器から構成されている。

## 防爆型無線LANシステム

JFEエンジニアリングは、爆発性ガス雰囲気等の危険場所でも安全な通信システムを構築できる防爆型無線LANシステムを開発し、販売を開始した。

無線LANはインターネットをはじめ、大容量データ伝送システムとしてオフィスなどに普及しているが、防爆エリアで使用できる無線LAN機器は少ないが、防爆型無線LANシステムをトンネルなどへ採用することができれば、無線技術の特徴であるモバイル性や、配線ケーブルの削減のメリットを活かし、安全かつ大容量の情報伝達手段を、簡単に構築することが可能となる。

販売を開始する防爆無線LANアクセスポイントLANEX-APは、高利得指向性アンテナを採用しており、広域エリアやトンネル(直線的閉鎖空間)への適用に最適で、地上部自由空間において最大400m(トンネルでは最大150m)のエリアをカバーすることが可能。一般的な無指向性アンテナの能力比で直線距離で約3倍に相当し、より少ないアクセスポイントの設置でカバーエリアを確保することが可能となる。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

### Mersey Queensway トンネルが EuroTAP で高評価を受ける

1,800万USドルの火災安全対策が最近講じられたイングランドのマージーサイド州にある二つの河川下横断トンネルが、EuroTAP(ヨーロッパトンネル評価プログラム)の審査で、英国での最高評価を受けた。ただし、この二つのトンネルは、ヨーロッパ全体での最高評価に匹敵するわけではない。EuroTAPの審査チームは、建設年代が古いMersey Queensway トンネルを「可」(acceptable: 5段階中の3番目)と評価した。また、1930年代に建設されたにもかかわらず、良好な安全性を保っていることも明らかとなった。

トンネル管理者であるMerseytravelが実施した電気・照明・換気・監視・通報の各設備の改良は、EuroTAPの報告書で高評価を受けている。また、路面下には七つの緊急退避所が設けられており、各々180人を収容できるようになっている。

今年、英国では八つの主要トンネルを対象にEuroTAPの審査が実施されたが、Mersey Queensway トンネルがずば抜けて良い評価を受けた。Mersey Queensway トンネルは、Mersey川の下を走る延長3.4kmの対面通行トンネルであ

る。工事は8年間の工期を経て、1934年に完成しており、工費は1,560万USドルで、当時としては多額の費用であった。現在では、1日あたりの通行量が32,000台を超えている。

Mersey Queensway トンネルの問題点の一つは、対面通行の車線分離設備がないことである。2007年のEuroTAPの審査では、総合評価が「可」で、潜在的なリスクは「中程度」と評価された。

リバプールにある延長3.2kmのMersey Kingsway トンネルは、1960年代後半に建設された併設トンネルである。トンネルは、合成セグメント(鉄筋コンクリートと表面鋼板)で施工されており、内径は9.63mである。EuroTAPが最後に審査した2005年には、総合評価が「良」(good: 5段階中の2番目)で、潜在的なリスクは「中程度」と評価された。EuroTAPの主要なメンバーであるAutomobile Association社は、「英国はトンネルの安全性について良い成績を得ている。良好な管理により、英国の数限られた長大トンネルは、概して古い建設年代と照らし合わせて妥当な評価を獲得している。」と語る。

Mersey Kingsway トンネル、Blackwall トンネル、Dartford トンネル、Rotherhithe トンネル、Tyne トンネルなど、近年、英国で審査を受けた多くのトンネルは、改良工事が実施されている。改良工事は今後も計画されており、これらの中には、EuroTest(EuroTAPの旧名称)やEuroTAPの審査結果に直接対応しているものも多々ある。

安全水準の向上や、トンネル内の行動に関する市民意識の向上は、将来、英国におけるトンネルの重大事故防止に確実に寄与するであろう。

(T&TC '07.6 担当: 伊藤彰・(株)間組)

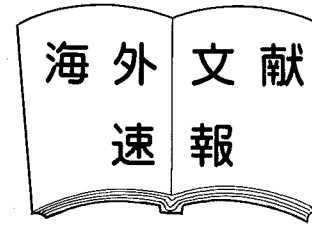
〔土木工学社図書案内〕

### 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。



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

### 膨張性粘土の存在下におけるトンネル覆工の設計および最適化/Design and optimisation of the lining of a tunnel in the presence of expansive clay levels

Tunnelling and Underground Space Technology, No.1, January, 2007, pp.10-22

Trasvasur トンネル群はカナリー諸島南部のいくつかのダムとTirajana Gorgeを結ぶ導水路トンネルである。

トンネルの総延長は13.8km、平均縦断勾配は0.3%でありプロジェクトは1974年に始められたが、Tunnel IVとTunnel Vにおける膨張性粘土の存在による地山の不安定性から一時中断されていた(図-1)。

中断したときの状況は、Tunnel IVは全長3,148mのうち、坑口3から1,206m、坑口4から434m掘り進んだところであった。中断時は天端・側壁の覆工( $t=0.2\sim 0.3m$ )は施工されていたが、ベースコンクリートは施工されていなかったため、1995年に調査したときの状況は図-2に示すとおり天端

で覆工が圧ざし、側壁では押し出しを生じていた。一方、Tunnel Vは全長2,844mのうち坑口1から464m、坑口2から870m掘削されていたが覆工が施工されていなかったため、1995年に調査した

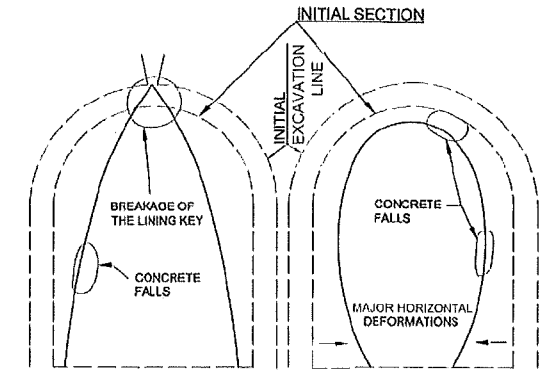


図-2 Tunnel IVの変状

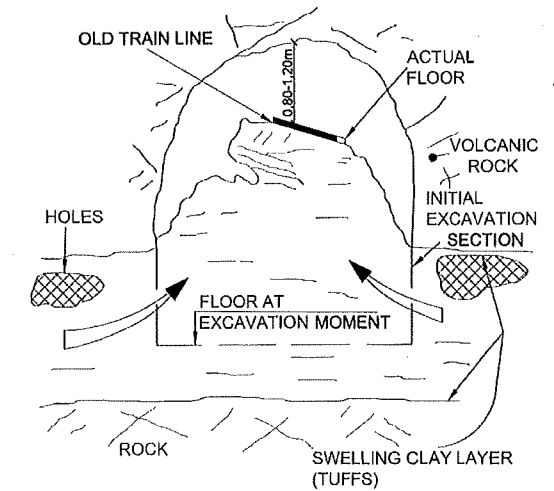


図-3 Tunnel Vの変状

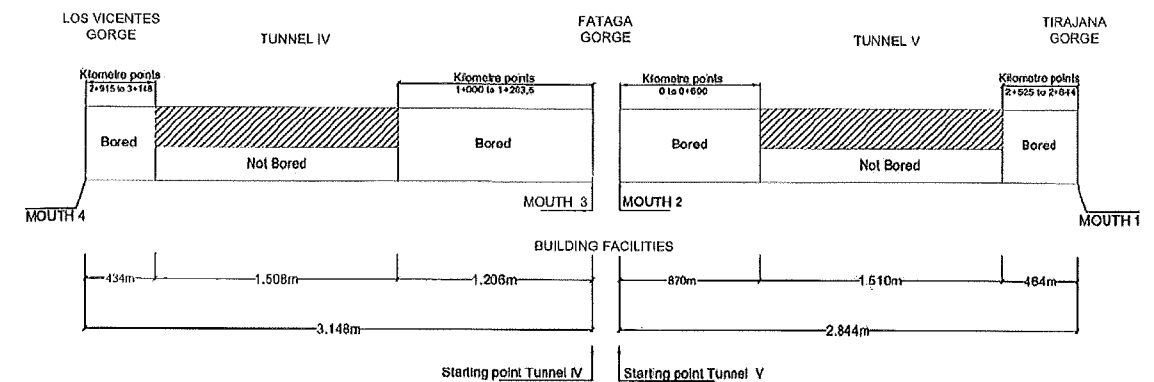


図-1 中断時の新捗状況

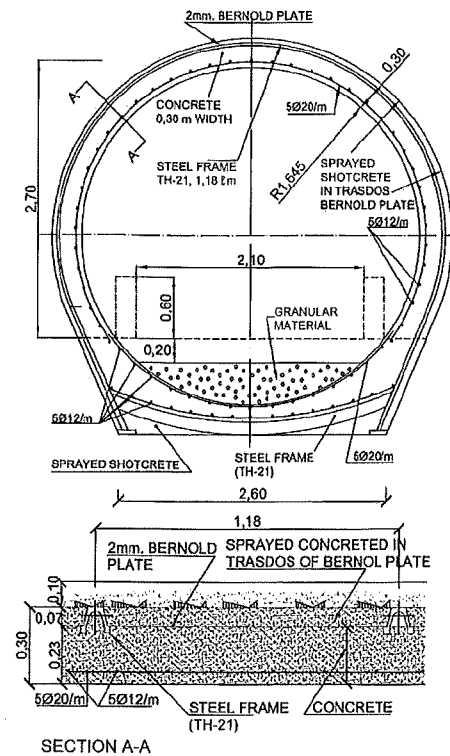


図-4 膨張性粘土区間の実験用トンネル計画断面

ときは底盤の浮き上がりを生じていた(図-3)。

再開するにあたり既設トンネルから分岐させて実験用トンネル(Experimental tunnel)を計画することとし、追加地質調査を行い、さらに断面形状についてはFEMによる比較解析を行った。その結果、円形形状が最適と判断された(図-4)。

実験用トンネルにおいて断面形状、施工方法について内空変位計測などを行うことにより妥当性を検証した結果、円形断面においてベースコンクリートを早期に施工した場合、トンネル内空変位は1cm以下に抑えることができたが、ベースコンクリートを打設しないケースでは8cm程度の内空変位を生じた。

このような膨張性地山における留意点としては断面を円形形状とし、さらにトンネルを早期閉合させることが重要である。

中断していたトンネル掘削は1999年に再開され、2002年に性能確認(コミッション)された。

(文責：満尾淳・東急建設(株))

### ストレスを抑制する高速道路/The anti-stress expressway

Tunnelling & Trenchless Construction, January, 2007, pp.20-23

パリのA86環状線の西側への拡張の紹介記事である。80kmの長さのA86は、市街地と郊外の第2環状道路を通じてパリ(I le-de-france area)の混雑を改善するために計画されたが、このプロジェクトの多くが完成するまで、西側のセクションはつながらない間までである。環境や社会や経済的に考慮すべき問題のために、A86の残りのセクションは、地上の混雑を最小にするために、地下に建設される。

トンネルが完成すると、イーストンネルは、Rueil-malmaisonからPont Colbertまでの10kmの長さになる。イーストンネルは、クリアランスが2m以下の車両用であり、ウエストトンネルは、最初から重量運搬車専用にて計画されている。

イーストンネルの建設は、二つのステージに分かれている。4.5kmの最初のセクション(VL1)は、Rueil-malmaisonからVaucresson-Le ChesnayのA13 interchangeまでである。すでに、掘削されており、現在設備工事を行っており

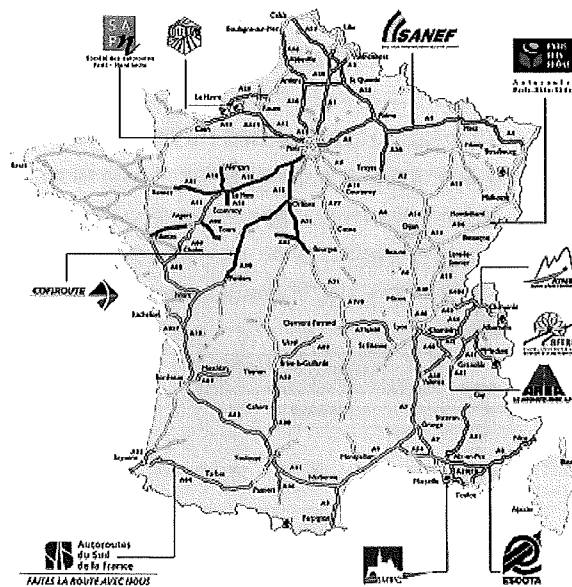


図-1 フランスの高速道路整備状況

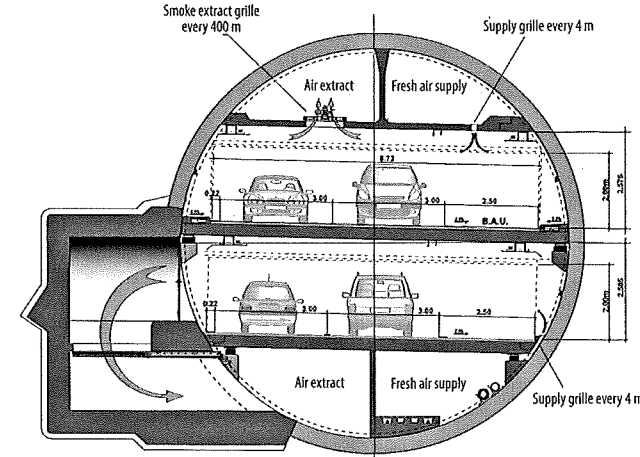


図-2 デッキ構造と換気システム

2007年10月に完成予定である。二つめのセクション(VL2)は、Vaucresson-Le ChesnayからPont Colbertまでである。2006年12月中旬現在、TBMは5.5kmの長さのうち、3.5kmの長さ掘削が終わり、2009年末に完成する予定である。

A86イーストンネルプロジェクトの17億ユーロ(1ユーロ:160円、約2,720億円)は、Cofirouteに資金提供を受けている。この会社は、フランスの南西域で1,000km長の高速道路網の営業権を所有しており、70年の営業権をもつ。

A86イーストンネルは、高い安全性の確保を確かなものにするために、二つの大きな要素を盛り込んでいる。一つ目は二重デッキ構造、二つ目は小型車と大型車を別々のトンネルに分けることである。

さまざまなアクシデントに対しての安全機構が整備されている。例えば、避難路や非常電話は、太字にて示されていて、人が間違わないようにし

てある。また、100mおきにカメラが設置されている。各々の路面からは200mおきにSafty nichesと呼ばれる避難に連絡されていて、非常時には100人を収容できる。また、径は8.5~13mの非常用立坑が1,000mおきに計7か所建設されている。非常時に緊急救助隊は、車道、他の車道、立坑の三つのルートよりトンネルに入ることができる。地質は、硬岩(石灰岩と石灰質の泥灰土)、粘土(オイスターマール、グリーンクレイ、プラスチッククレイ)とFontainebleau sandが調査により明らかになっている。

入札によりヘレンケニヒト社のTBMが選択された。ヘレンケニヒトのミックスシールド(外径11.56m)TBM S-127が使われ、各々の地質によりスラリー、EPB、セミオープンと切り替えが可能となっている。掘削は2000年11月に開始され、VL1区間4.5kmの掘削が2003年10月14日に立坑到達で終了し、次のセクションであるVersaillesに運搬された。現在、VL2セクション5.5kmのうち、約3.5km地点にある。10kmのルートは、10~85mの深さの範囲にあり、勾配は最大4.5%である。セグメントは8ピースからなり、1ピース2t、厚さは470mmである。車道のデッキはプレキャスト製である。トンネルのSafety Nichesの掘削は、地下水位以下のFontainebleau sandの場合には、地下水を凍結させて掘削された。火事に対するリスクを最小限とするために、消火装置や避難路などが整備されている。

(文責：伴 享・佐藤工業(株))

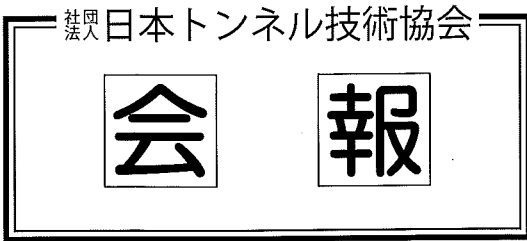
## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

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

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



1. 会員の現状

	12月25日現在
正会員	2,132名
団体会員	399名
個人会員	1,733名
名誉会員	1名
計	2,133名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

- 共通技術小委員会：12/11(高橋浩一委員長ほか7名)来年度計画を検討
- ずり出し方式調査WG：12/12(小暮誠主査ほか8名)調査報告書を検討
- 安全環境小委員会：12/18(花安繁郎委員長ほか9名)調査研究テーマを検討
- 都市トンネル小委員会：12/19(安保委員長ほか17名)来年度計画を検討

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第34回ITA総会およびコンgres「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 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>

\* 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

Q&A施工WG：12/19(中島泰彦主査ほか18名)原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会：12/7(西村和夫委員長ほか22名)原稿を検討

耐震設計検討特別委員会：12/13(今田徹委員長ほか15名)変形解析を検討

同 幹事会：12/26(蔣宇静幹事長ほか15名)解析結果を検討

高炉セメント利用検討委員会：12/15(魚本健人委員長ほか23名)試験中間報告ほか  
計 9回開催 143名出席

◎運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会：12/12(大塚正博委員長ほか7名)ホームページ充実化方針を検討

会誌WG：12/5(大島洋志主査ほか13名)1月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

対外広報WG：12/3(小島宗隆主査ほか7名)アンケート結果を検討

海外ニュースWG：12/25(小島宗隆主査ほか7名)海外ニュースを翻訳

計 4回開催 38名出席

合計 13回開催 181名出席

4. 平成19年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
<b>(見学会)</b>			
プラハ国際トンネル会議技術調査	2007. 5. 3～13	18	オーストリア, チェコ, ドイツ
首都圏トンネル現場研修会	2007. 5. 30	14	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2007. 6. 14	19	東京都
上野地区地下構造物建設現場研修会	2007. 6. 28	17	東京都
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 7. 4	15	神奈川県
西大阪延伸線建設工事現場研修会	2007. 7. 27	16	大阪府
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 8. 23	17	神奈川県
第二東名 島田第一トンネル現場研修会	2007. 10. 30	12	静岡県
北陸新幹線 第2魚津, 新木浦トンネル現場研修会	2007. 11. 8, 9	7	富山県, 新潟県
藤沢市下水道トンネル現場研修会	2007. 11. 16	14	神奈川県
第二京阪 小路トンネル現場研修会	2007. 11. 30	16	大阪府
JES工法現場研修会	2007. 12. 11	23	東京都
千葉市下水道現場研修会	2008. 2. 8	30	千葉県
<b>(発表会)</b>			
第60回(山岳) 「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」	2007. 9. 26	136	東京都
第61回(都市) 「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」 「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」	2007. 9. 27	114	東京都
<b>(講演, 講習会)</b>			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2007. 10. 25, 26	16	東京都
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2007. 11. 1, 2	25	東京都

2008トンネル技術の特別講演と技術研究発表会プログラム

主催 北海道土木技術会トンネル研究委員会  
社団法人日本トンネル技術協会  
後援 財団法人北海道道路管理技術センター

日時：平成20年2月22日(金) 10:00～17:00

場所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)

(札幌市北区北8条西5丁目 TEL: 011-706-2141)

参加費：研究発表会 6,000円(論文集を含む) 懇親会 4,000円

申し込み方法：FAXにて出欠をお知らせ下さい(メールでも結構です)。

申し込み先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局

((株)開発工営社内 熊木 TEL: 011-207-3666 FAX: 011-200-1377

E-mail: kumaki@kai-koei.co.jp

もしくは、(株)ダイヤコンサルタント内 杉浦・水島 TEL: 011-729-2701)

締め切り：平成20年2月15日(金)

定員：300名

その他：・参加費はなるべく事前に銀行振込(振込料はご負担願います)でお願い致します。また、当日会場にて現金もしくは後日銀行振込でも結構ですが、その旨を申し込み書に記載していただきますようお願い申し上げます。

・論文集は当日、所属、氏名を確認のうえ、会場でお渡しいたします。

・発表会場に駐車場がありません。JR、地下鉄、バス等の公共交通機関をご利用下さい。

※なお、本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか、土木学会トンネル工学委員会後援事業であります。

プログラム:

- 10:00~10:15 開会挨拶 北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長 三上 隆
10:15~12:15 研究発表(第1部)
10:15~10:45 「熱水変質作用を受けた地層に含有される砒素・鉛の溶出特性」
10:45~11:15 「大規模地すべりと遭遇したトンネルの施工と供用後の機能性確保」
11:15~11:45 「未固結な土石流堆積物区間におけるトンネル掘削について」
11:45~12:15 「崖錐堆積物直下の低土被り区間における掘削実績」
12:15~13:15 休憩(昼食)
13:15~15:00 特別講演「建設リサイクルと地盤汚染」
15:00~15:20 休憩
15:20~16:50 研究発表(第2部)
16:20~16:50 「蛇紋岩掘削時の変状と支保パターンについて」
16:50~17:00 開会挨拶
17:30~19:00 懇親会

2008トンネル技術研究発表会 参加申し込み書(FAX)

〒060-0004

札幌市中央区北4条西5-1

(株)開発工営社

北海道土木技術会トンネル研究委員会

講習講演小委員会事務局

熊木 行

FAX: 011-200-1377(TEL: 011-207-3666)

・とき:平成20年2月22日(金)10:00~17:00

・ところ:北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)

(懇親会:17:30~19:00 センチュリーロイヤルホテル20F 白鳥の間)

所属・氏名・出欠・連絡先をご記入申し上げます(締め切り平成20年2月15日)。

Form for sending information: 発信元: (株)開発工営社様 TEL: FAX:

Table with columns: 所属(団体・会社・官庁), 氏名(フルネームで明記願います), 出欠(発表会, 懇親会)

○:参加 ×:不参加

・会費(銀行振込でお願いします。振込料はご負担下さい)ただし、弁当は当日集金します。

※必要に応じ、請求書・領収書を送付いたします(ご一報ください)。

<発表会> ¥6,000 × 名 = 円

<懇親会> ¥4,000 × 名 = 円

合計 = 円 (ご記入願います)

振り込み先:北洋銀行 北七条支店(312) 普通3518303

トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局 杉浦高広

※申し込みは、E-mail(kumaki@kai-koei.co.jp)でも受け付けます。

申し込みの際は、参加者の所属・氏名、発表会・懇親会の出欠、参加費、代表者名・連絡先を明記ください。

## 3月号予告[3月1日発売予定]

- 高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化
- 北陸新幹線 長峯トンネル
- 日本海沿岸東北自動車道 温海トンネル避難坑
- 中之島新線 第6工区
- 東京都下水道 墨田区菊川一、ニ丁目付近再構築工事

## 【連載講座】

- シールド工事の施工に関するQ&A(9)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆2月8日は関東地方では「こと始め」とされています。関西の方では12月8日が「こと始め」だそうです。全国的にどちらの日を「こと始め」にするかは統一されておきませんが、12月8日が「こと始め」なら2月8日が「こと納め」、12月8日が「こと納め」なら、2月8日が「こと始め」となり、この両日に設定することが重要なようです。

◆「こと始め」や「こと納め」の起源は、『12月8日に農作業を終え、2月8日までの農閑期は外での作業ではなく、家の中の作業を行う』という説や、『正月の儀式を12月8日に始め、2月8日に正月の儀式を終える』という説など地方によってさまざまな説が残っているため、どちらの日を「こと始め」または「こと納め」にするかは地方によってまちまちです。

◆たぶん無理とは思いますが、この習慣を現代でも採用して、12月から1月まで超大型連休なんて時代が来るかもしれません。日夜めまぐるしく動く現代の社会では2か月も休むことは不可能かもしれませんが、忙しく働く日本人は年末年始の休暇と夏休みくらいは2週間くらい休みを取ったほうがよいかもしれません。ただ、われわれのように月刊誌を発行している出版社や新聞を発行している新聞社では絶対に休めないと思いますが、

(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2号 (通巻450号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成20年1月20日 印刷

平成20年2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

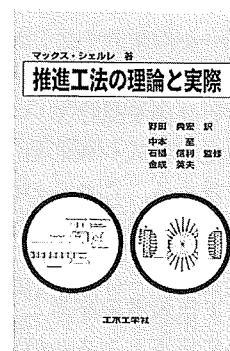
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

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メイジャー神楽坂

電話 (03)3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

## 《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒 - )

事業所名

TEL

部課名

申込者

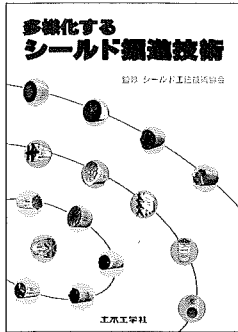
㊞

好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

### 〔掲載工法〕

- ①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充填式シールド急曲線工法、⑦地下茎シールド工法、⑧T-BOSS工法、⑨球体シールド工法、⑩上向きシールド工法、⑪MMST工法、⑫拡大シールド工法、⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法、⑭ワギング・カット・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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(株)土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807

【好評発売中】

# シールドトンネルの新技术

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

〔推薦の言葉〕

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

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

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

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

### 目 次

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

株式会社 土木工学社

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

### 《ご 注 文 票》

シールドトンネルの新技术 \_\_\_\_\_ 冊 申込みます。

所在地 〒 ( )

事業所名 \_\_\_\_\_

部 課 名 \_\_\_\_\_

申込者名 \_\_\_\_\_

㊞

**TAIKU**



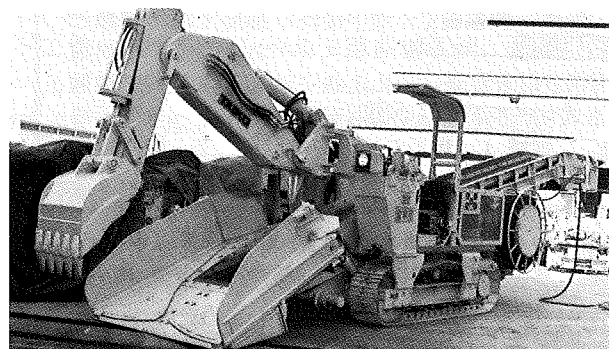
# CL301E型 カッタローダ

**強力な掘削**  
最大掘削高さ6.6m

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

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

## RL型タフローダ



RL10

## 油圧式ズリ積機

アタッチメントとして  
カッタヘッド  
油圧ブレーカ搭載可能

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

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

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

コンパクトで大出力  
坑内ダンプの革命児!!

Kawasaki

# KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



**コンパクト**

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

**大出力**

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

**クリーン**

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

**安全**

- 安全性
  - ・4段階調整式リターダ
  - ・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.6
90ZV	3.2

ズリ積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■ロードホールダンプ

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



**ONE FOCUS**  
Complete Solutions

Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社

建設機械ビジネスセンター

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