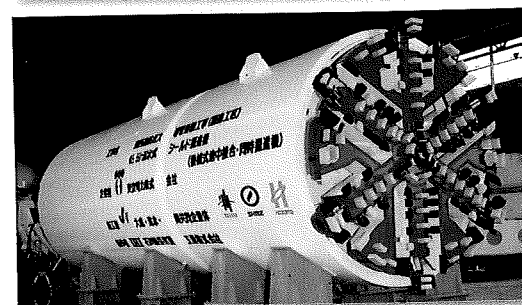
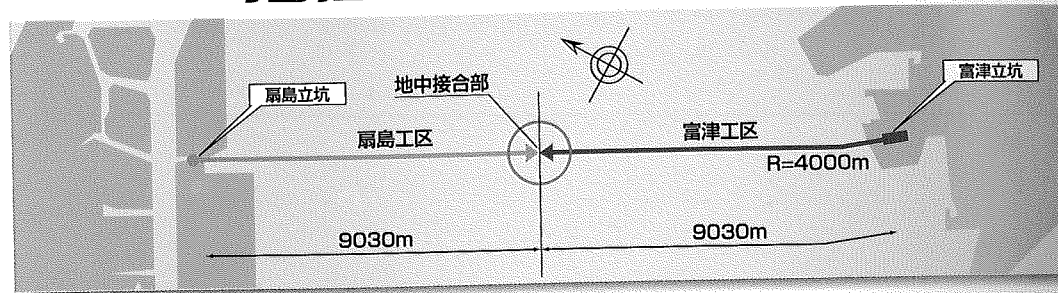
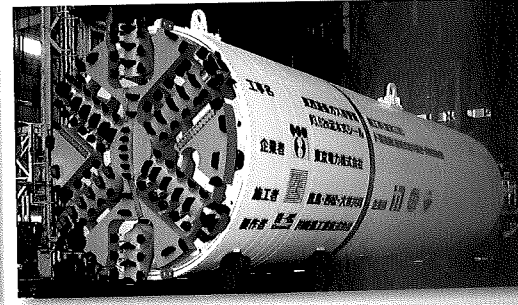


# Breakthrough

## 東西連係ガス導管掘削を完了 世界最長18<sup>キ</sup>シールド 長距離、高水圧、高速施工 海底下で地中接合



発注者：東京電力株式会社  
 施工者：大成・清水・間共同企業体  
 工事名：東西連係ガス導管新設工事（扇島工区）  
 機械名：φ3.59m泥水シールド掘進機



発注者：東京電力株式会社  
 施工者：鹿島・西松・大林共同企業体  
 工事名：東西連係ガス導管新設工事（富津工区）  
 機械名：φ3.62m泥水シールド掘進機

【工事の特徴】

1. 長距離掘削：前例のない片側、9030m
2. 高水圧下施工：海面下施工、最大水圧0.6MPa
3. 高速施工：平均月進量600m実現
4. 機械式地中接合：海面下57mで相対位置を高精度で計測し、扇島工区と富津工区の両工区機械式接合を表現

**IHI** 石川島播磨重工業株式会社  
 物流鉄構事業本部 土木機械営業部  
 本社：東京都江東区豊洲3-1-1 (豊洲IHIビル)  
 〒135-8710 TEL. (03) 6204-7225

**川崎重工**  
 大型構造物ビジネスセンター 土木機械・機器営業部  
 東京本社：東京都港区浜松町2-4-1 (世界貿易センタービル)  
 〒105-6116 TEL. (03) 3435-2387~9

定価 1,575円 雑誌06619-7  
 本体価格1,500円



4910066190767  
01500

# トンネルと地下 7

vol. 37  
no. 7  
2006

Tunnels and Underground

### 特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事

東京湾海底地質の想定と実際

海底シールドの覆工設計

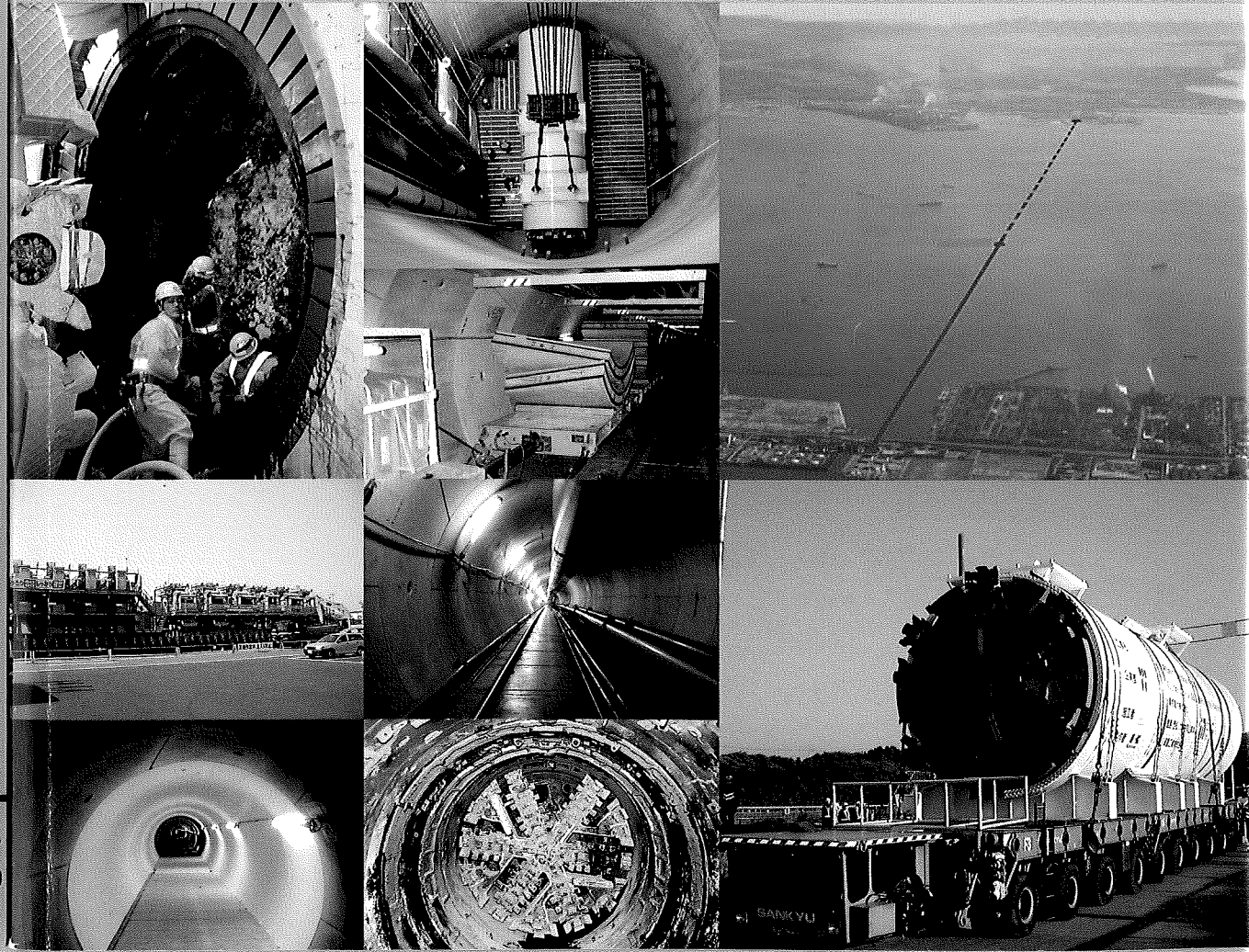
長距離シールドの設計・施工におけるリスクマネジメント

長距離シールドにおける高速施工

単胴型ロングジャッキ式同時掘進シールドの制御

長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合

日本トンネル技術協会誌

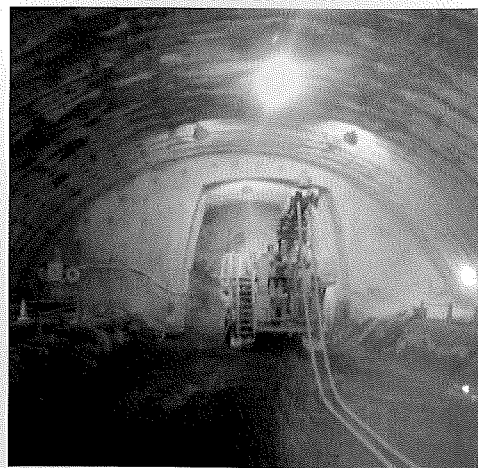


ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



カッター出力 330kW  
総質量 120ton



### 主な特長

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

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: 日本鉞機株式会社)

本社・営業  
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111



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



次世代型ホイール式ドリルジャンボ  
**JTH2200R/JTH3200R**  
(2ブーム、2ケーシ) (3ブーム、2ケーシ)

ホームページ: <http://rvs.furukawak.co.jp/ms/>



△ 古河機械金属グループ  
**古河ロックドリル株式会社**

(旧社名: 古河機械販売株式会社)

本社 〒101-0047 東京都千代田区内神田2丁目15番9号 古河千代田ビル 特機営業部 TEL: 03-3252-2544

札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641

関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010

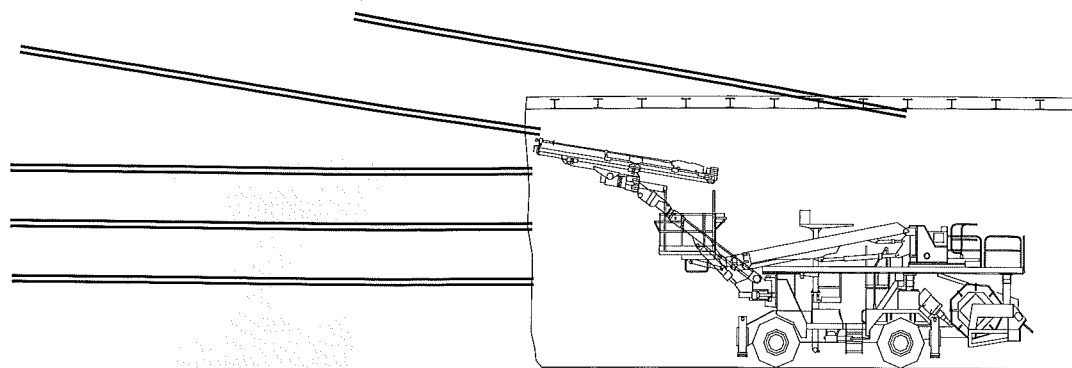
整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

**KATECS**

全方位切羽補強工法

# パノラマ工法

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



アルカリフリー型液体急結剤

# AFK-777J

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

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



## 対策!

「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

**KATECS**

発泡型シリカレジン

# SR-L

SR-Lは、シリカレジンベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破碎帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジン形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

注入式長尺先受工法

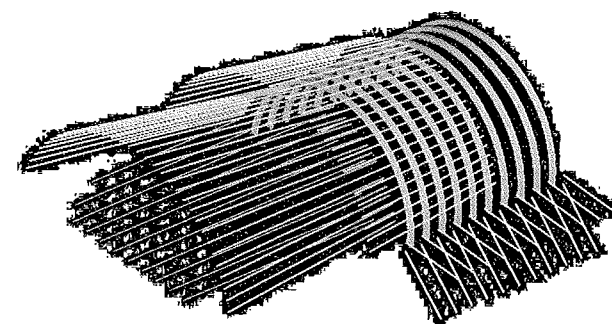
AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

**KATECS**

株式会社 カテックス 建設資材事業部

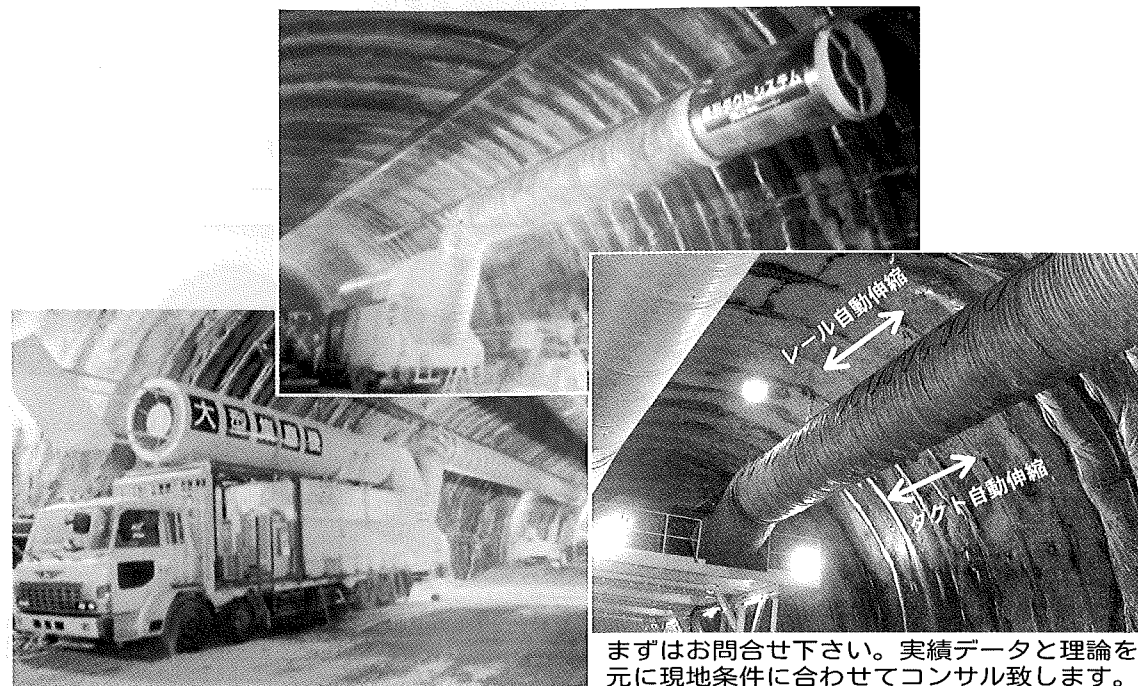
<http://www.katecs.co.jp/>

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

中部営業部 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号 TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164  
東京支店 〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号 TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648  
関西営業所 〒550-0015 大阪市西区南堀江4丁目1番18号 TEL 06-6578-3235 FAX 06-6578-3237  
広島事務所 〒735-0022 広島県安芸郡府中町大通1-2-13 TEL 082-285-6601 FAX 082-285-6651  
九州営業所 〒816-0932 福岡県大野城市瓦田4-15-26 TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846  
北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号 ㈱エイチ・アール・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

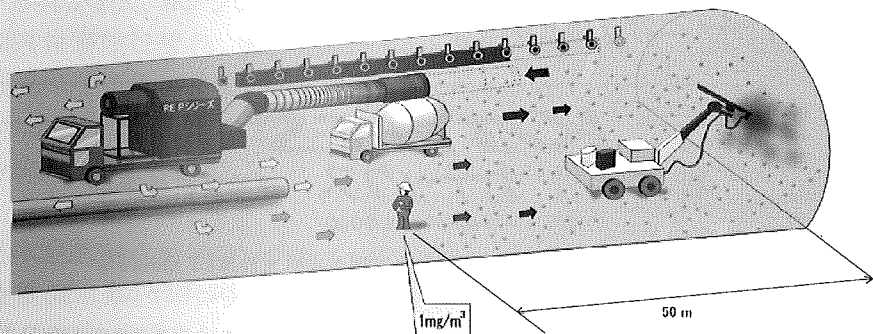
# 吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(\*) 0.5mg/m<sup>3</sup>達成!!



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

- 発生源粉塵対策の決定版。
- ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- 掘削工法や作業サイクルに適応。操作にお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- 適応外径はΦ600～Φ1800、負圧-2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

**株式会社 流機** エンジニアリング

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂  
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370  
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6  
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

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

# 超低騒音・三軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

あつえおひり 静かなアリエルです



今時、静かなのは当たり前!!

ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

シールド、都市NATMなどの都市環境や  
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。

必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

- 超低騒音: エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比-5dB
- 省エネ: インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人-△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
- 高効率: 固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
- 制御: ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。  
(特許 第1742880 ダストセンサーによるインバータ制御)
- 使い易さ: 軽量、INV高調波対策も万全、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。  
高価なフリッカ対策設備も不要。
- コンサルティング: 長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×2～200kW×2の幅広い揃えで対応致します。  
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

**株式会社 流機** エンジニアリング

本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂  
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370  
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6  
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

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

## 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。

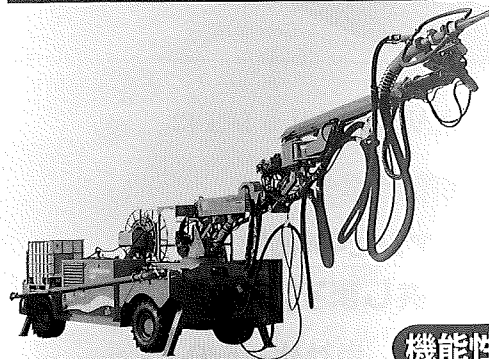
### プツマイスター圧送ポンプの特長

- 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
- ② S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!

機能的、機動性の基に理想的な機械化を実現!



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

### トンネル関連製品

#### 吹付けコンクリートシステム

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

一体型吹付機・特殊型吹付機  
設計・製作: 東友エンジニアリング株式会社

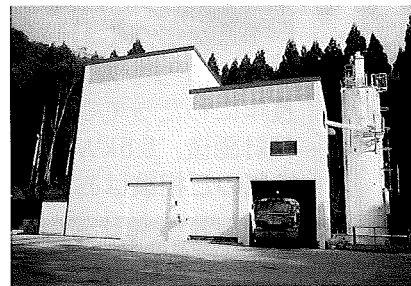
**VOLVO** ダンプトラック  
(A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

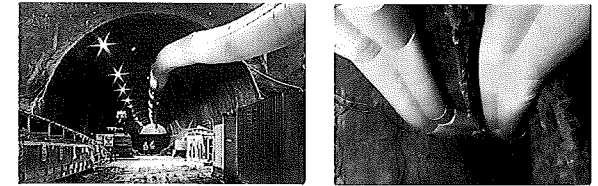
バッチャプラント  
(全自動式、3槽クラム式、簡易型、特殊型)



設計・製作: 名岐機器株式会社

## トンネル換気システム

**ABC**  
VENTILATION SYSTEMS



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

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

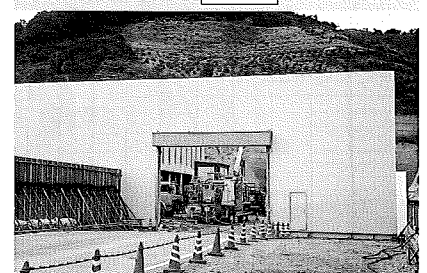
## 騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



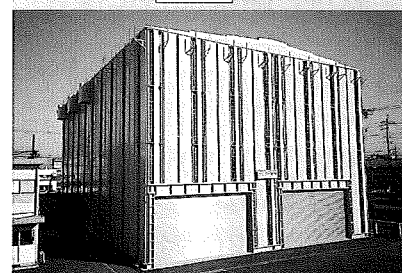
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



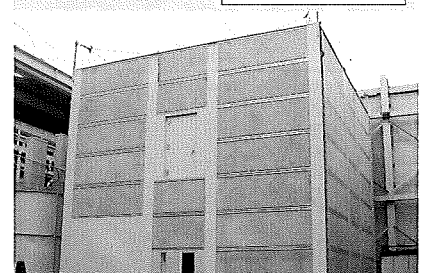
適応性の優れた防音パネル

エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トユーエコサポート

建設業界に貢献する TOYU GROUP

### 東友エンジニアリング株式会社

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

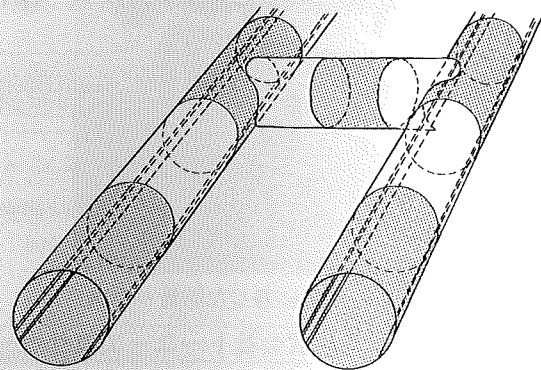
株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974

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

トンネル用シグナルレイヤー付防水シート

# CARBOBAHN カーボバーンシート

ヨーロッパでの長年の実績、優れた防水システム



- ◎柔軟性、耐薬品性に優れた改良型ポリエチレン製
- ◎破損箇所が容易に発見できるシグナルレイヤー付き
- ◎厚さ1.5, 2.0, 3.0mm, シート幅1.75～5.1mの豊富なバリエーション
- ◎不測の事態に対応するウォーターバリアシステム
- ◎電磁誘導加熱による高品質施工システム

**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー 土木営業部**

〒105-0014 東京都港区芝2丁目5-10 ☎(03)3798-8511 FAX(03)3798-8516  
 〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2-17 ☎(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755  
 〒460-0002 名古屋市中区丸の内3丁目14-32 ☎(052)223-1050 FAX(052)223-1059  
 〒065-0834 札幌市東区北34条東9-1-1 ☎(011)751-4681 FAX(011)751-4682

1本1本が大切! だから

次世代 防食 ロックボルト

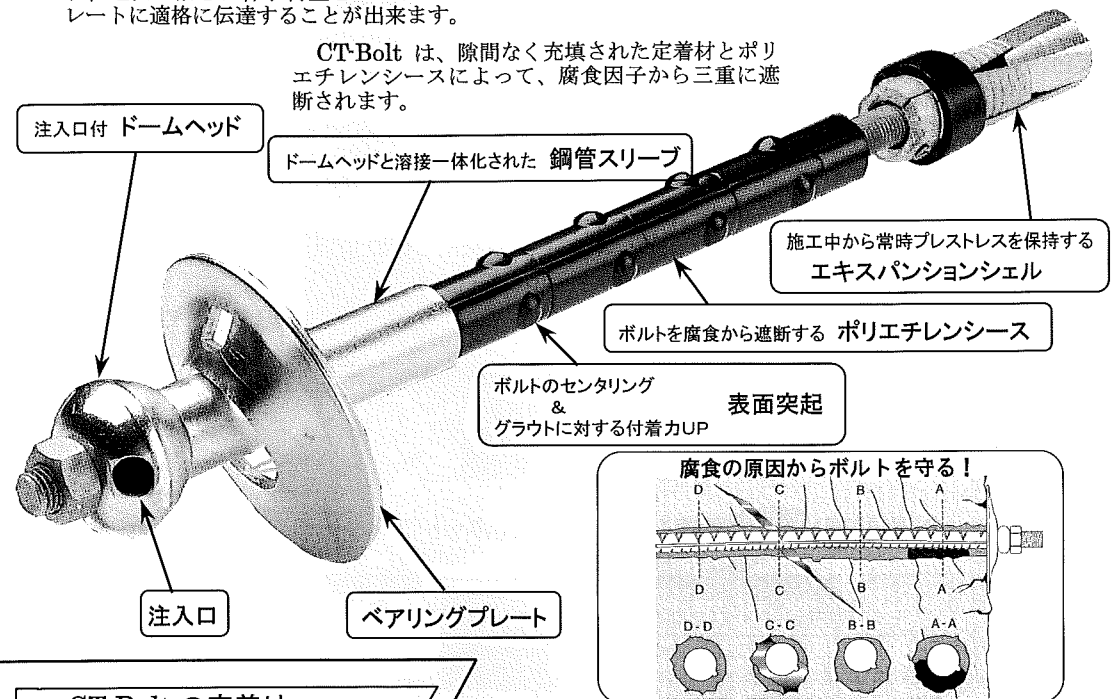
# CT-Bolt

Ørsta Stål

通常施工により超長期支保

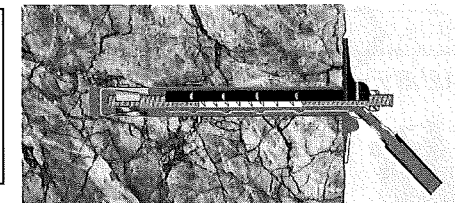
CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。



CT-Bolt の定着は・・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



用途：  
 山岳トンネル・海底トンネルに  
 立坑・地下空洞支保に  
 石油備蓄基地等地下施設建設に  
 斜面安定・補強土工に  
 その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

総発売元 Your Fastening Partner

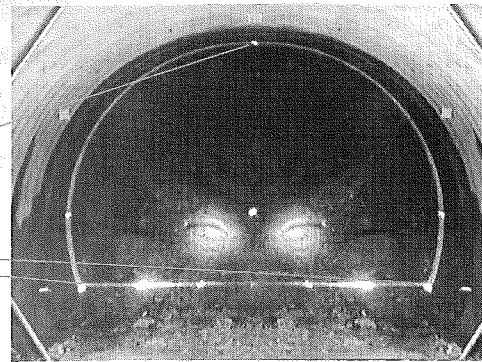
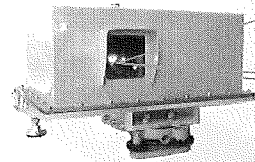
**KFC 株式会社 ケー・エフ・シー**

〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10  
 お問い合わせ先 TEL: 03-3798-8517  
 技術部 FAX: 03-3798-8850

# 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

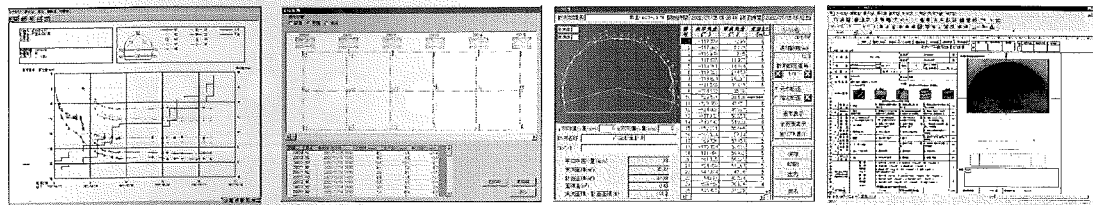


現場環境に耐え得る  
頑強なコントローラー

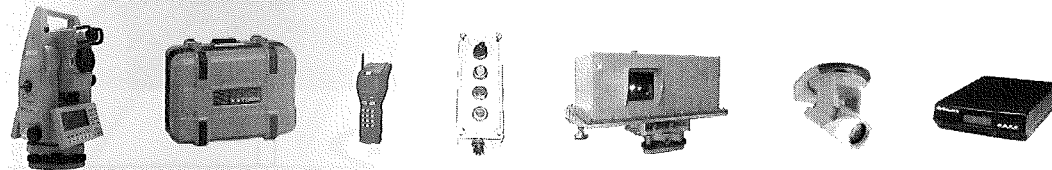


ジャンボに  
取付けて使用可  
AC200V対応

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。

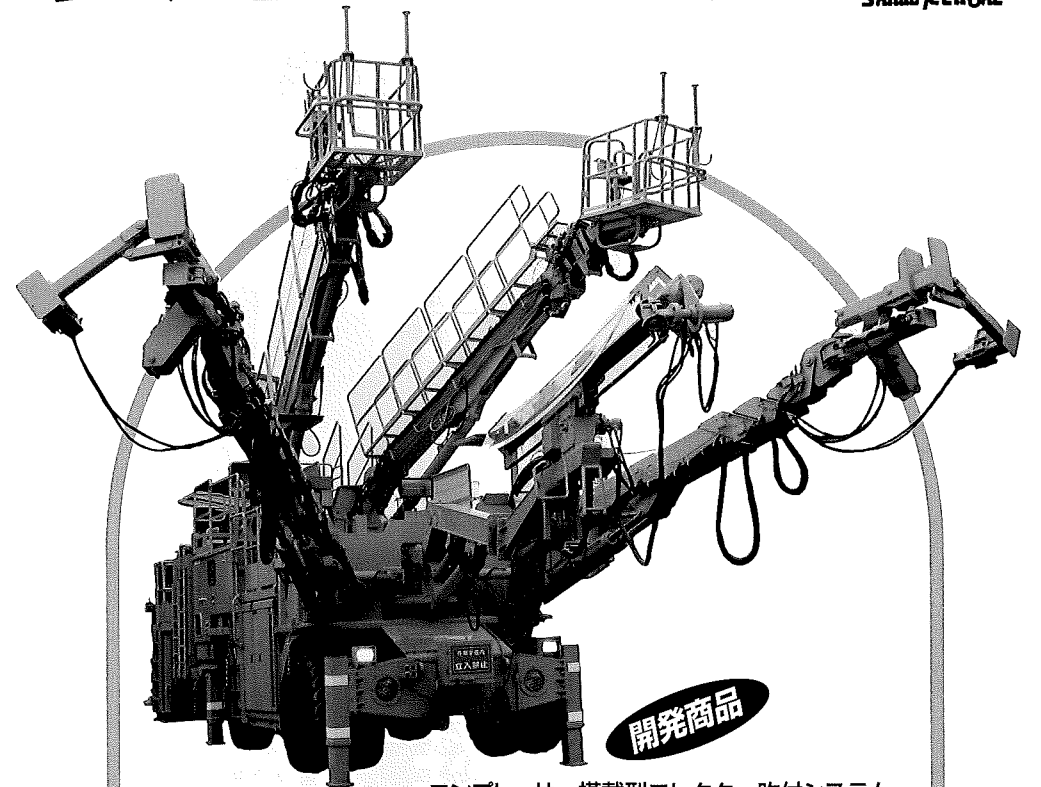
## MAC マック株式会社

〒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

# 安心と信頼



開発商品

コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム  
(ホイール式)

## 〈1台2役のスグレモノです!〉

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

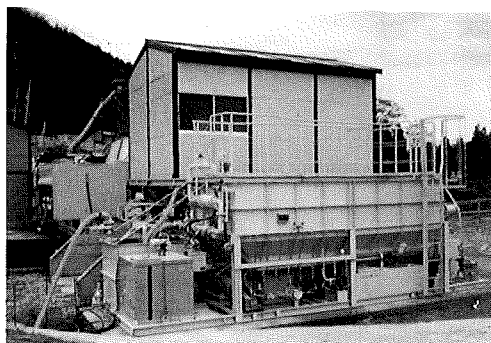
トンネル機械の総合レンタル

# 三興レンタル株式会社

高槻事務所 / 〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1  
TEL 072-677-2101(代) FAX 072-677-2109

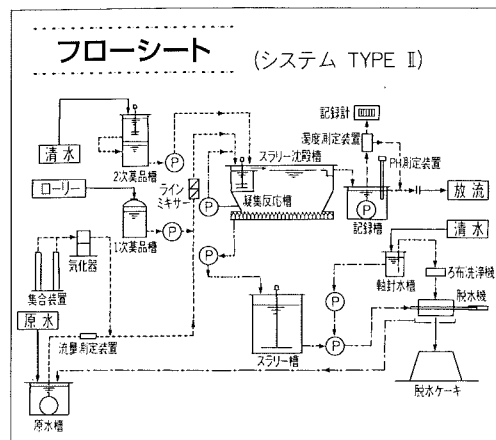
# TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら  
大きな処理能力



## 特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合わせにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費費が少ない。又、加圧型脱水方式の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。原水流入に合わ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。処理水の水質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。

Waste Water Treatment System

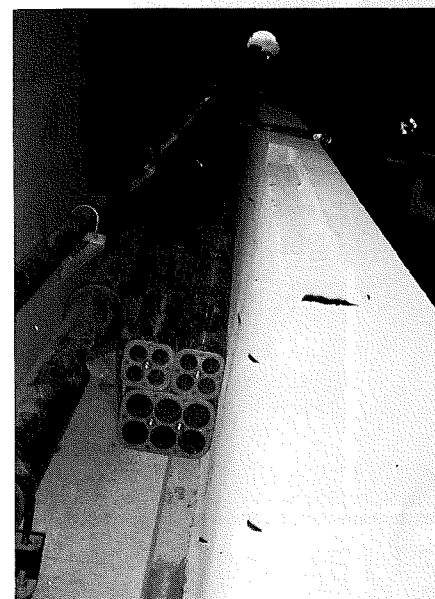
詳細資料請求、お問い合わせは

**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

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル [日本道路公団]



▲ 関南トンネル [日本道路公団]

地下ケーブルの保護に  
杉江の多孔陶管

# セラダクト

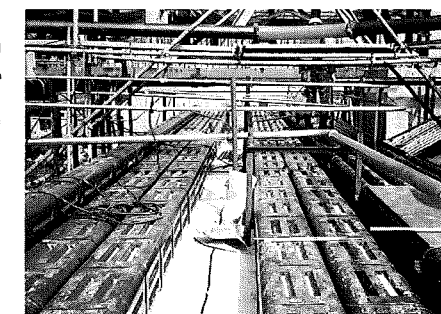
燃えない 錆びない 壊れない

地中配線管路材 (JIS C 3653)

トンネル内の狭い空間の  
多条数のケーブル布設に  
最適な管路です



▲ 川越火力発電所 [中部電力(株)]



▲ 広野火力発電所 [東京電力(株)]

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



杉江製陶株式会社

本社・工場 愛知県知多郡武豊町字上山1-76 ☎470-2387 ☎(0569) 35-2360(代) FAX (0569) 35-4087  
 東京支店 東京都渋谷区恵比寿1-21-8 ☎150-0013 ☎(03) 3442-6181(代) FAX (03) 3442-1691  
 大阪支店 大阪市都島区御幸町1-3-1 ☎534-0012 ☎(06) 6922-6991(代) FAX (06) 6922-2498  
 札幌連絡所 札幌市北区新川12条10丁目575-28 ☎001-0922 ☎(011) 763-8907(代) FAX (011) 763-8790

# NEW F-Sボルト

—長尺鋼管注入式鏡ボルト—

掘削後の廃棄物処理  
が簡単でスムーズ!

NETIS  
No.KK-050087

**F-Sボルト工法**  
長尺鋼管注入式鏡ボルト

- 1. 低価格
- 1. 簡単施工
- 1. 超長尺施工
- 1. 産業廃棄物軽減

# RPEロックボルト

—ZAM高耐食ボルト—

NETIS申請中

# FKパネル

トンネル内面補強

NETIS  
No.CB-050021

# AGF工法

—補助工法全般—

NETIS  
No.KT-000107

# 防水シート

—NATMシート—

# S&Kバーメッシュ

—ユニット化鉄筋—

**fujimori**

**フジモリ産業株式会社**

〒141-0022

東京都品川区東五反田2-17-1

オーバルコート大崎マークウエスト9F

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

— 東京本社	TEL : 03-5789-2384	FAX : 03-5447-2073	担当 : 平山
— 大阪支店	TEL : 06-6228-3864	FAX : 06-6228-3886	担当 : 南川
— 北海道営業所	TEL : 011-222-4171	FAX : 011-221-1370	担当 : 大黒
— 東北営業所	TEL : 022-263-1591	FAX : 022-223-0067	担当 : 村田
— 九州営業所	TEL : 092-262-8521	FAX : 092-262-6750	担当 : 北村

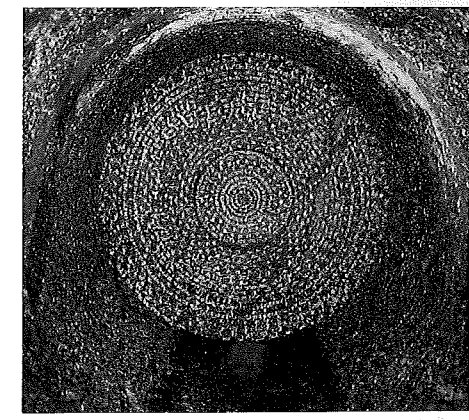
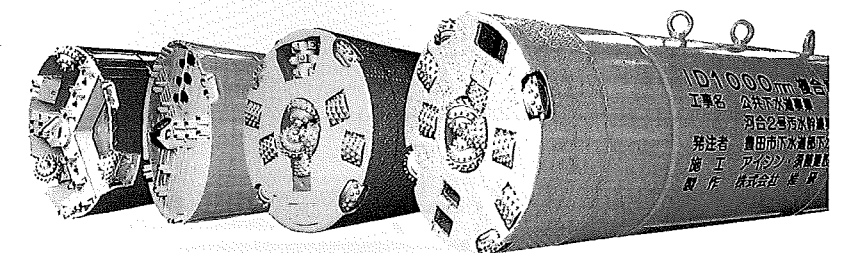
# 岩盤推進を創めて20年

**軟弱土から硬岩まで!!**

## 複合推進工法 (C.M.T工法)

- 800mm~3000mmまで対応
- 機内よりビット交換が可能です。
- 岩盤と普通土との互層土質も施工可能です。
- 長距離曲線推進も可能です。

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会  
株式会社 **推研**

本社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48  
TEL 06-4303-6026  
FAX 06-4303-6029

研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7  
TEL 0726-94-6164  
FAX 0726-92-0186

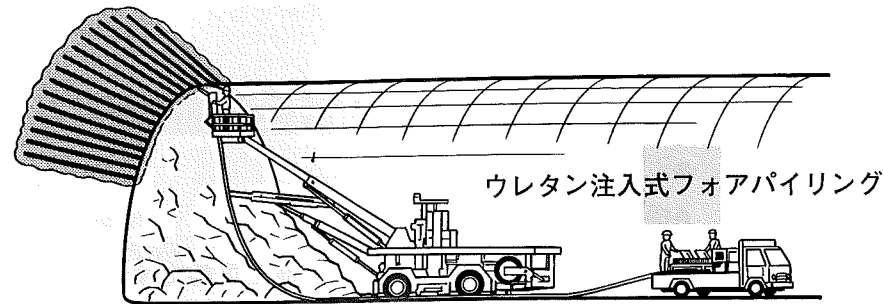
**BRIDGESTONE**

厳しい条件下の施工に  
迅速な対応・信頼の  
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

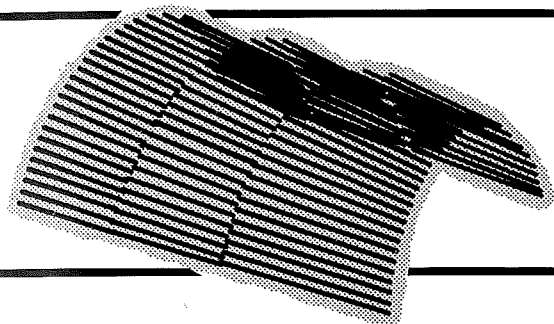
切羽の安定化対策用補助工法  
**エバーライトGK工法**

ウレタン注入式岩盤固結工法

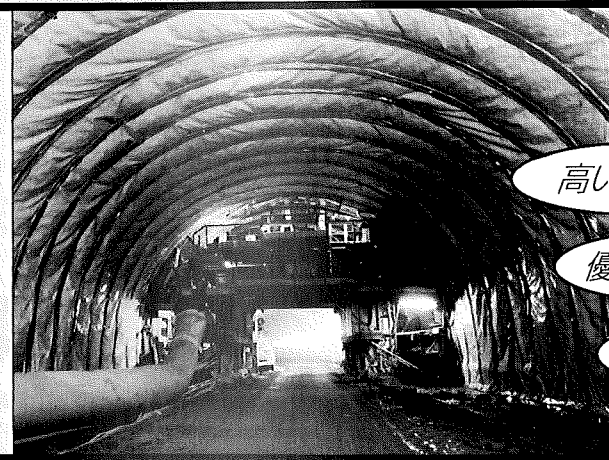


ウレタン注入式フォアパイリング

注入式長尺先受工法  
(AGF工法)



**ナトミックシート** トンネル用防水シート



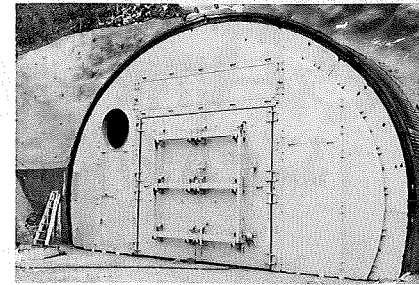
高い防水性

優れた耐久性

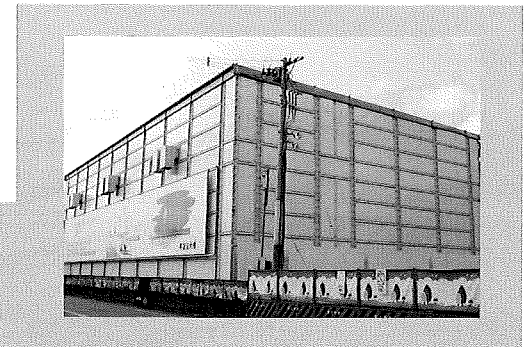
容易な施工性

株式会社ブリヂストン 土木・海洋商品販売部  
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028  
電話 東京(03)5202-6870

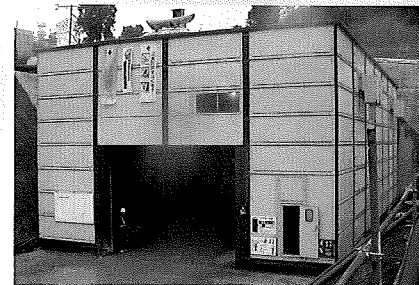
快適な作業環境を約束する騒音対策システム



●防音扉-HFS型 マークII  
パネル厚さ=150mm  
●防音扉-HFS型 新・マークIIc  
(コンクリート充填タイプ)  
パネル厚さ=150mm+コンクリート=100mm



●防音ハウス-Hタイプ  
(ハイデラックスタイプ)  
HFD-125パネル使用 パネル厚さ=125mm



●防音シェルター-Dタイプ  
(デラックスタイプ)  
HFD-100パネル使用 パネル厚さ=100mm



●防音壁-Sタイプ  
(スタンダードタイプ)  
HFS-100パネル使用 パネル厚さ=100mm

【建設騒音対策協会】(旧 騒音対策研究会)

株式会社牛尾商店	〒810-0801	福岡県福岡市博多区中洲5-4-19	TEL.092-281-2131
株式会社カテックス	〒460-8331	愛知県名古屋市中区上前津1-3-3	TEL.052-331-8821
株式会社ティーエムシー	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里5-23-3	TEL.03-3891-8211
日豊商事株式会社	〒150-0002	東京都渋谷区渋谷2-12-12	TEL.03-3409-8041
株式会社野佐和商会	〒550-0013	大阪府大阪市西区新町2-10-3	TEL.06-6532-5451
株式会社ピーエスアイ	〒060-0031	北海道札幌市中央区北一条東13-1-1	TEL.011-241-6500
古河ロックドリル株式会社	〒101-0047	東京都千代田区内神田2-15-9	TEL.03-3252-6551
松茂工販株式会社	〒135-0061	東京都江東区豊洲4-1-23	TEL.03-3536-5531
幹事 ヒューズ工業株式会社	〒132-0035	東京都江戸川区平井6-35-5	TEL.03-3617-8111
E-mail souon@fuse-ind.co.jp			

ISO9001取得～防音設備の設計、製造、施工、リース

◆計量証明事業登録 騒音レベル第913号 ◆建設業登録 とび・土工事業(般-12 第75054号)



**ヒューズ工業株式会社**  
FUSE INDUSTRIES CO.,LTD.

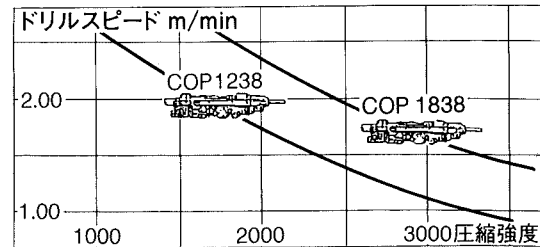
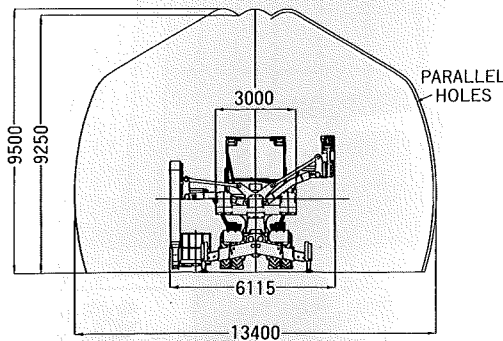
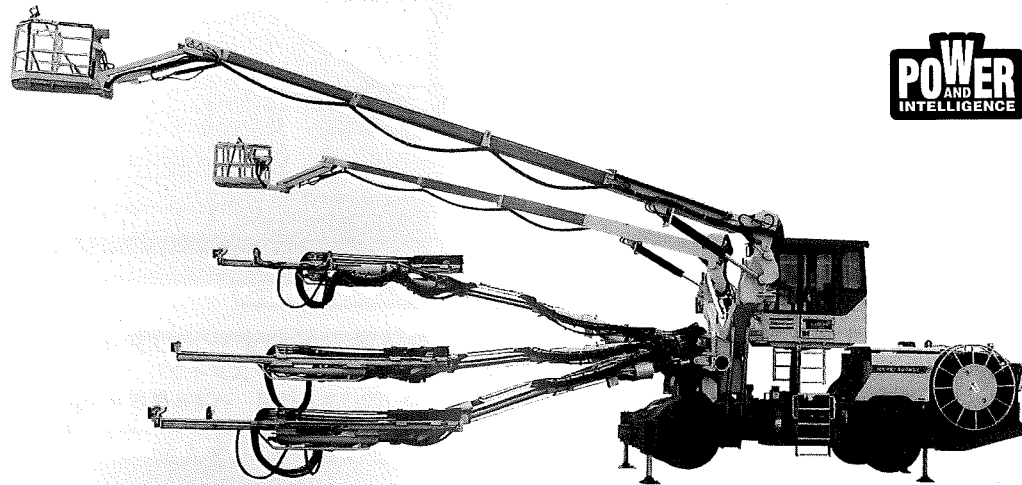
本社 〒132-0035 東京都江戸川区平井6-35-5 TEL.03-3617-8111 FAX.03-3617-7565  
大阪営業所 〒531-0072 大阪府大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル TEL.06-6359-2611 FAX.06-6359-2288  
E-mail info@fuse-ind.co.jp URL http://www.fuse-ind.co.jp

# アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

## The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

### COP1838油圧ドリフター搭載

### 3ブーム・2バスケット



## ドリルマシン株式会社

### DRILL MACHINE CO., LTD.

本社 〒116-0014 東京都荒川区東日暮里6-16-8 桂ビル5階  
 TEL (03) 3806-3377 番 FAX (03) 3806-8461 番  
 関西支店 〒657-0864 兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4  
 TEL (078) 802-5551 番 FAX (078) 802-5528 番  
 九州支店 〒839-0841 福岡県久留米市御井旗崎1-6-14  
 TEL (0942) 43-5315 番 FAX (0942) 43-5832 番  
 焼津営業所 〒425-0072 静岡県焼津市大住638-1  
 TEL (054) 620-7301 番 FAX (054) 620-7303 番  
 兵庫工場 〒679-1332 兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3  
 TEL (0795) 36-0461 番 FAX (0795) 36-0467 番

## 高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

# 全自動式 バッチャプラント

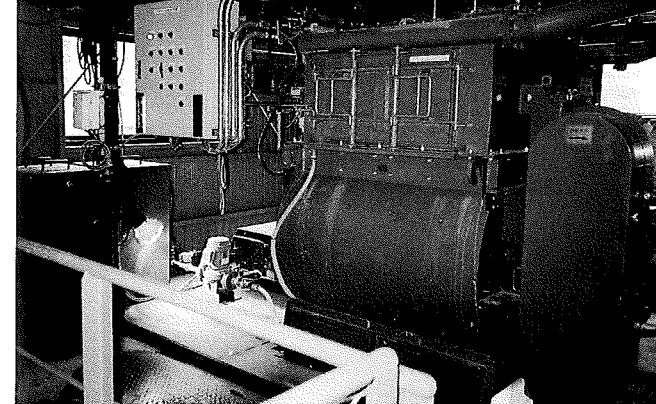
吹付コンクリート用

### 自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は  
名岐の自動スランプに  
おまかせ下さい。



伸縮ノズル式自動洗浄装置付ミキサー



■ MKS-500KBE-TME型

**長工期**  
**トンネルに適し**  
**人件費の**  
**大幅削減!**

### 生コン洗浄水処理装置

ミキサー洗浄水  
 リサイクル  
 トラミキ洗浄水

- ◆ スチールファイバー供給設備
- ◆ 濁水処理プラント (能力 10T/H~100T/H) ユニットタイプ
- ◆ 砕石プラント・産廃プラント・ベルトコンベアー 設計・製作
- ◆ 油圧バケット、特殊クレーン設計・製作
- ◆ ターンテーブル (30ton・重タンブ用・40ton通過)

## 名岐機器株式会社

本社 岐阜県養老郡養老町有尾600-100  
 〒503-1227 TEL (0584) 35-3735(代)  
 FAX (0584) 35-3736

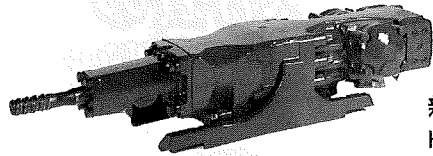
本巢工場 岐阜県本巣市神海  
 〒503-1235 TEL (0581) 32-5066  
 FAX (0581) 32-5565

TOYO

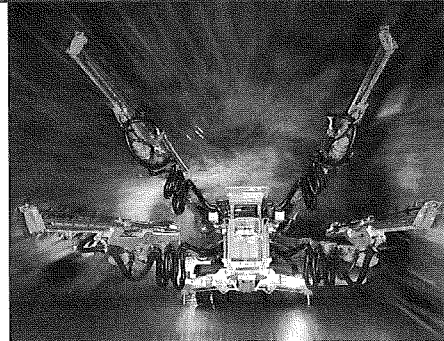
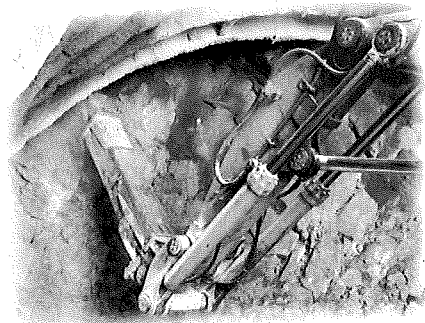
SANDVIK



サンドビクトーヨーは、高速さく孔と作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター  
HLX5



TOYO EJC Rammer  
TAMROCK TORO

サンドビクトーヨー 株式会社  
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12  
共立新横浜ビル6F

Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661  
URL: <http://www.SMC.sandvik.com>

コンクリートの劣化、欠陥箇所の改修、補修……

急硬性改修モルタル

# ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

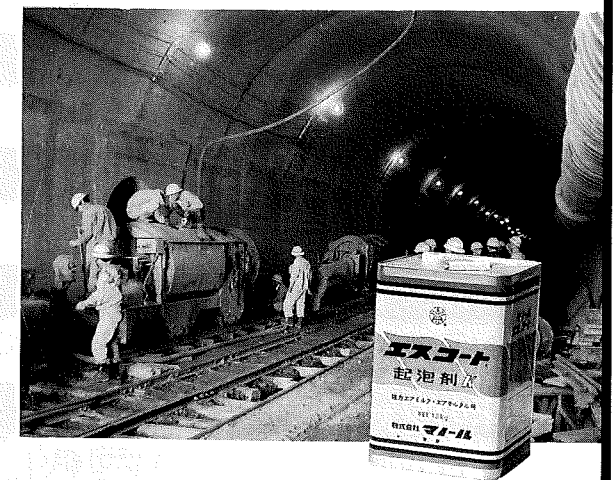
プレミックス急硬モルタルと  
特殊ラテックスの  
複合材で  
短時間で実用強度が得られる  
即日補修工法です。

- 短時間で高強度，即日仕上り
- 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

## エスコート L & K 起泡剤

- 強力な分散性と安定した流動性
- ノーブリージング
- 任意の強度の選定
- セメント，骨材の種類が任意



◆ 土木資材の総合プランナー ◆

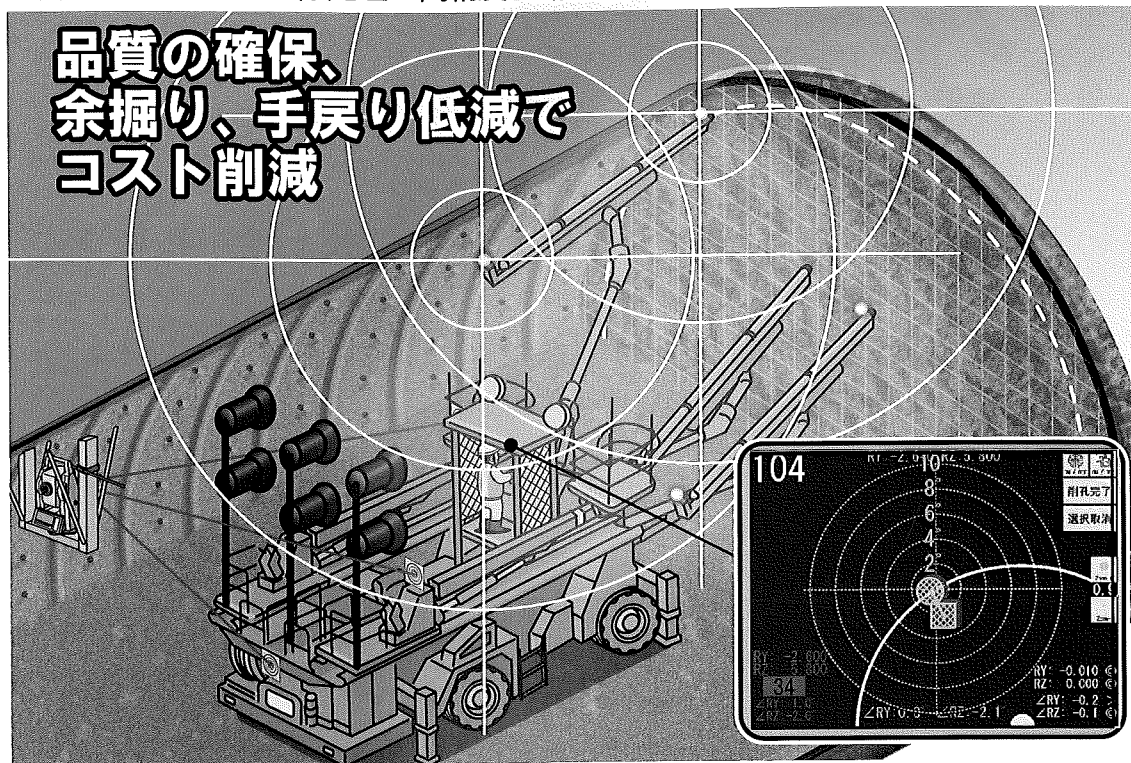


株式会社 マーイル

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

# ジャンボナビゲーションシステム

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



## ★最適な削孔位置、角度の割り出し

3次元リアルタイム画像処理技術によりガイドセルの位置、角度を正確に把握

## ★オペレーターの作業性UP

最適Pointを運転席モニターでガイダンス

## ★削孔情報のデータベース化

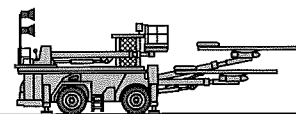
データは数値化され、データベースとして蓄積、次の削孔に活用

## ★リアルタイムモニタリング可能

オンライン化により事務所でも同時にデータ閲覧が可能

## ★従来のジャンボがグレードアップ

お手持ちのジャンボに搭載が可能



株式会社 演算工房 <http://www.engan-k.com/>

■京都本社 〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階 TEL. 075-213-7200 FAX. 075-213-7201  
 ■東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号 川崎パークビル17階 TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589



# 大丸の防音システム



## サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

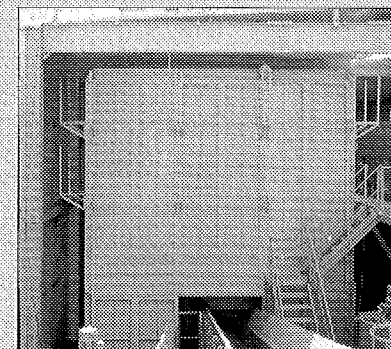
## コスモス(Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



## VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB(実績)



設計・施工 東京都知事許可(般-13)第76001号 鋼構造物工事業  
 建設コンサルタント登録 建13第5745号

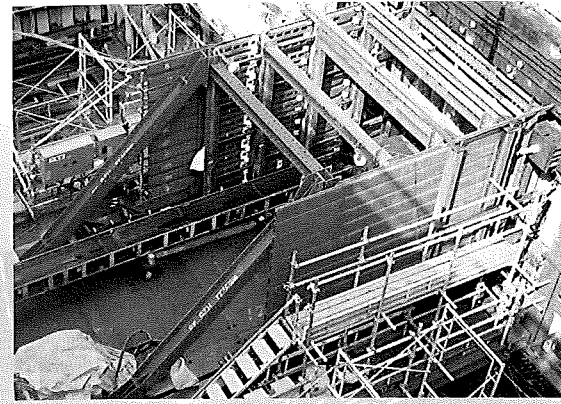
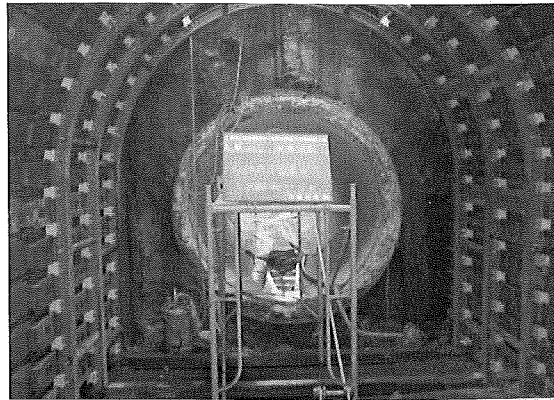
**DMR**  
Daimaru

**大丸防音株式会社**

<http://www.daimaru-bouon.co.jp>

本社 〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1 TOMACビル2F  
 TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701  
 営業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-17-23 江坂Mビル8F  
 TEL.06-6821-6151 (代表) FAX.06-6821-6477

# 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)

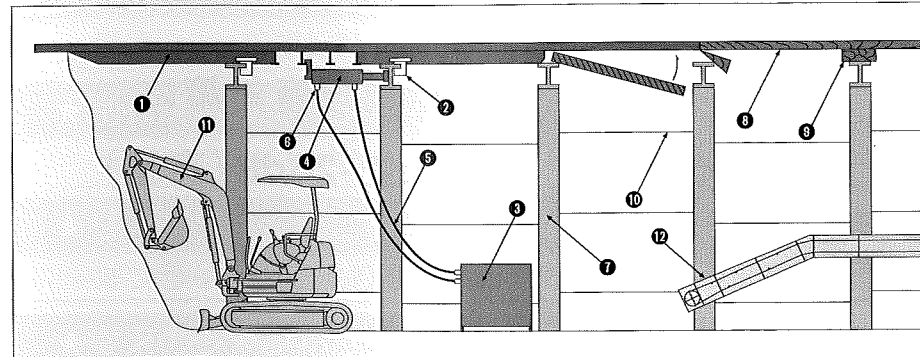
## 特徴

- 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・曲線推進に適應します。
- 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、タイロットボルト
- 11 バックホウ
- 12 ベルトコンベア

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

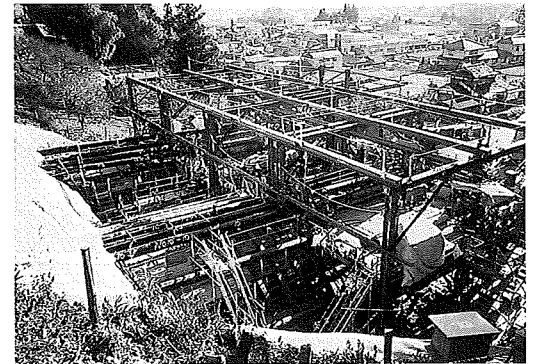
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

# THパイプルーフ工法

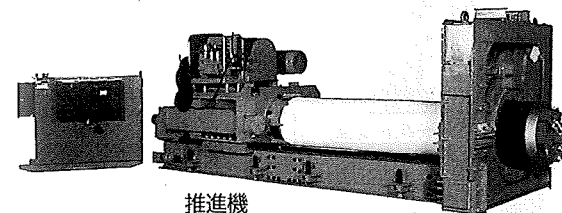
## 高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

### ★特徴★

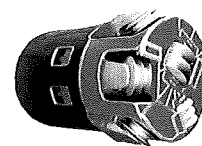
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です。
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易です。)
- オーガ中掘り掘削。地山との空隙に同時注入もできます。
- 推進途中でのビットの交換が可能で層変りに対応できます。
- 適応管径は、φ200~φ1200mmです。
- 最大推進長は、約70~100mです。
- 推進機は推力100t、200t、300tがあります。



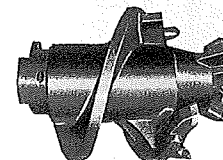
パイプルーフ打設状況(山岳トンネル)



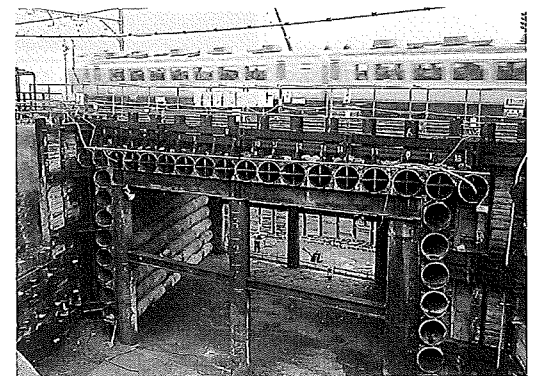
推進機



硬質地盤用ビット



土砂用ビット



パイプビーム工法

### [正会員]

九州基礎(株) 福岡県 TEL 0946-22-7445  
 (株)小宮山土木 長野県 TEL 0267-56-1299  
 東興建設(株) 東京都 TEL 03-5773-2015  
 東洋地工(株) 福井県 TEL 0776-53-5335  
 日特建設(株) 東京都 TEL 03-3542-6401  
 北條基礎(株) 大阪府 TEL 072-626-1002  
 (株)最上機工 山形県 TEL 0233-32-3885

ケミカルグラウト(株) 東京都 TEL 03-5575-0511  
 サン開発工事(株) 大阪府 TEL 0726-41-4951  
 東邦地下工機(株) 東京都 TEL 03-3474-3143  
 (株)日さく 埼玉県 TEL 048-644-3934  
 日本基礎技術(株) 東京都 TEL 03-3476-5701  
 北海鋼機(株) 北海道 TEL 011-382-3361  
 (株)山昌 兵庫県 TEL 0727-59-8568

### [賛助会員]

(株)辰巳商会 長野県 TEL 0263-48-1711 電気化学工業(株) 東京都 TEL 03-5290-5360

<http://www.piperroof.jp>

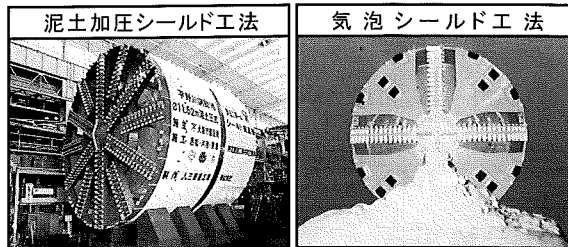
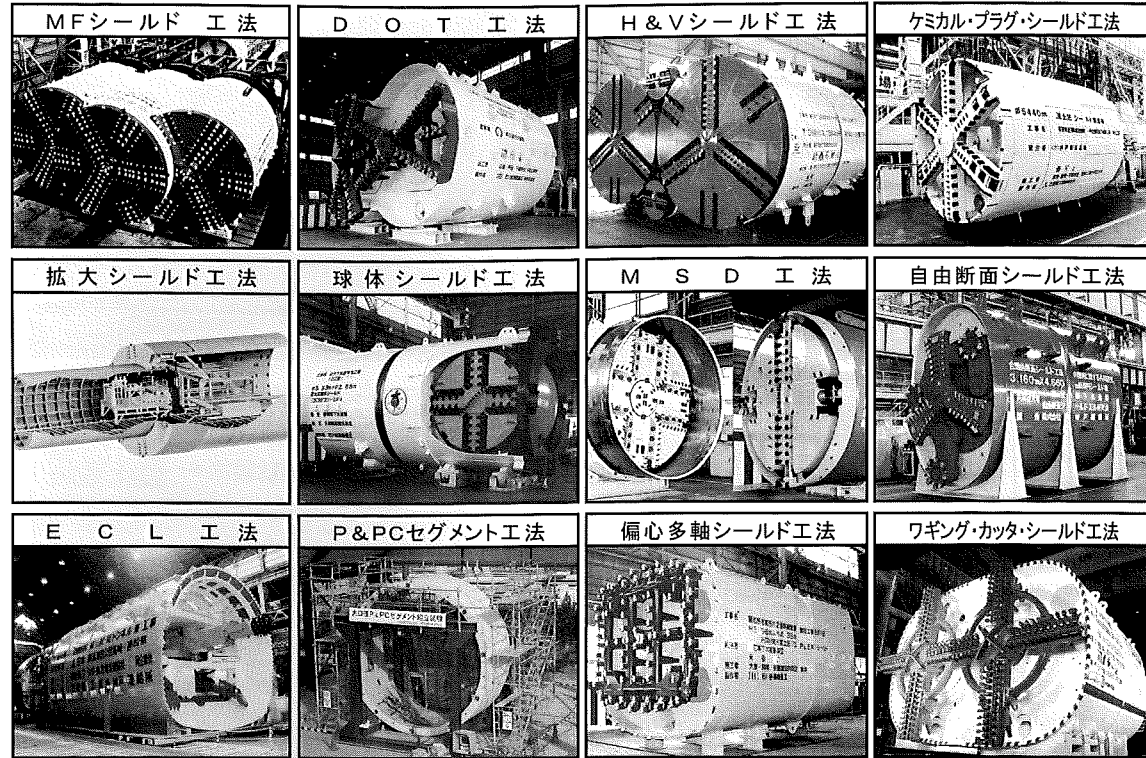


## THパイプルーフ技術協会

〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内  
 TEL 03(3474)3143 FAX 03(3474)3163  
 E-mail: jimukyoku@piperroof.jp

# 地下の空間を創る

近年、都市部の基盤整備には地下の利用が不可欠です。シールド工法は、地下空間を創造する方法として一段と重要性を増しています。ここに集まった14のシールド工法は、実績があり信頼できる最先端技術です。



好評発売中

# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

### 【掲載工法】

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

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

## シールド工法技術協会

事務局 〒105-8007 東京都港区芝浦一丁目2-3 シーバンスS館  
 清水建設(株)土木技術本部内  
 TEL 03-3348-6322 FAX 03-3348-7125  
 URL: <http://www.shield-method.gr.jp> e-mail: [sta@shield-method.gr.jp](mailto:sta@shield-method.gr.jp)

### 正会員

- |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                               |                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                        |                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| アイサワ工業(株)<br>青木あすなろ建設(株)<br>(株)浅沼組<br>大木建設(株)<br>(株)大林組<br>(株)大本組<br>(株)奥村組<br>小田急建設(株)<br>鹿島建設(株)<br>(株)熊谷組<br>国土総合建設(株)<br>五洋建設(株)<br>佐伯建設工業(株)<br>佐藤工業(株)<br>清水建設(株)<br>(株)白石 | 西武建設(株)<br>(株)銭高組<br>大成建設(株)<br>(株)竹中土木<br>大日本土木(株)<br>大豊建設(株)<br>(株)地崎工業<br>鉄建建設(株)<br>(株)テトラ<br>東亜建設工業(株)<br>東急建設(株)<br>東洋建設(株)<br>戸田建設(株)<br>飛島建設(株)<br>西松建設(株)<br>日特建設(株)<br>日本国土開発(株)<br>(株)間組<br>(株)ビーエス三菱 | (株)フジタ<br>不動建設(株)<br>(株)本間組<br>前田建設工業(株)<br>三井住友建設(株)<br>みらい建設工業(株)<br>村本建設(株)<br>名工建設(株)<br>(株)森本組<br>りんかい日産建設(株)<br>若築建設(株) | 石川島建機工業(株)<br>SMCコンクリート(株)<br>(株)クボタ<br>新日本製鐵(株)<br>新和コンクリート工業(株)<br>JFE建機(株)<br>ジオスター(株)<br>住友金属工業(株)<br>都築コンクリート工業(株)<br>日本コンクリート工業(株)<br>フジミ工研(株) | 勝村建設(株)<br>株木建設(株)<br>古久根建設(株)<br>坂田建設(株)<br>太平工業(株)<br>大旺建設(株)<br>大末建設(株)<br>東鉄工業(株)<br>徳倉建設(株)<br>奈良建設(株)<br>(株)福田組<br>真柄建設(株)<br>(株)森組<br>矢作建設工業(株) | 太平洋ソイル(株)<br>(株)立花マテリアル<br>(株)タック<br>第一化成産業(株)<br>中央工業(株)<br>(株)テルナイト<br>東洋工業(株)<br>親日本ネットワークサポート<br>ベントナイト産業(株)<br>マルマテクニカ(株)<br>ミイケ機材(株) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 賛助会員

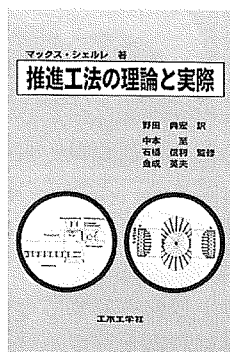
- |                                                       |                                                             |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| (株)新井組<br>安藤建設(株)<br>伊藤組土建(株)<br>(株)植木組<br>奥村組土木興業(株) | (株)アクティオ<br>ガジマクロエンジニアリング(株)<br>京浜ソイル(株)<br>成和リニューアルワークス(株) |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|

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

### 推薦のこぼ

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 土木工学社**

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

### 《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒 )

事業所名

TEL

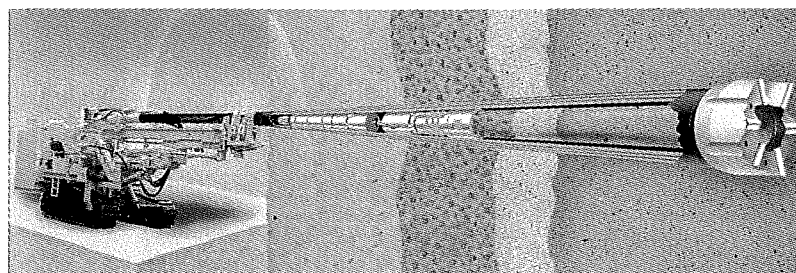
部課名

申込者



## トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

### パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



#### ■ 特長

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



本社 〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15  
TEL (03)3366-3111(大代表) FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先 : エンジニアリンググループ  
TEL. (03)3366-3123 FAX. (03)3366-3365

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

## トンネル工事からパンクを追放

# 坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

**中濃産業株式会社**

代表取締役 土田 義 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)

# 東京

〒103-007  
東京都中央区日本橋浜町2丁目5-3  
浜町ビル4F

TEL/03 (3661) 5651  
FAX/03 (3661) 5656

e-mail

r0kitoks@tces.scm.co.jp

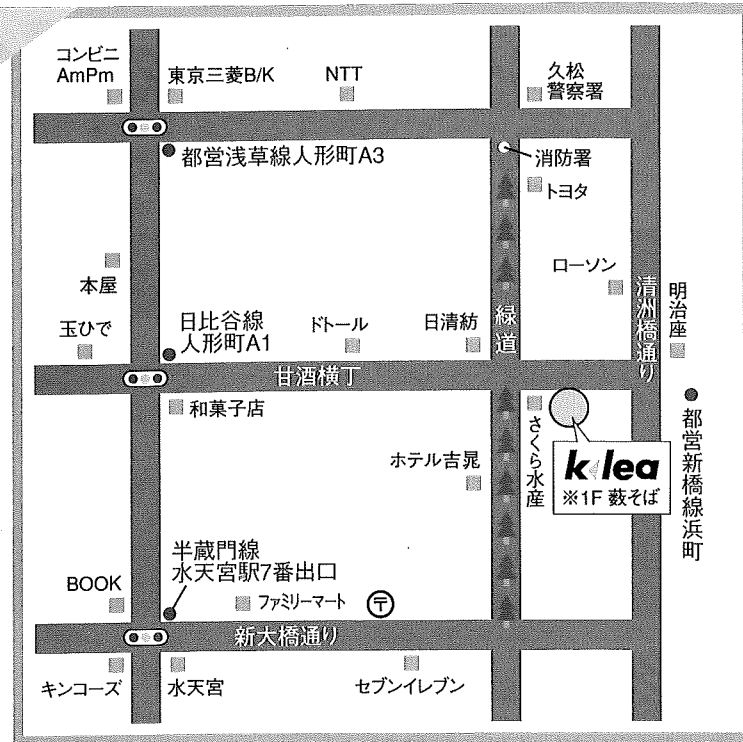
アクセス

地下鉄  
都営  
新宿線/浜町駅より徒歩3分  
浅草線/人形町駅より徒歩5分  
東京メトロ線  
日比谷線/人形町駅より徒歩5分  
半蔵門線/水天宮駅より徒歩5分



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>

# コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中 (特願2001-309314号)

## トンネル工事におけるインパルト、アーチ鉄筋組立金物

トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取付けていましたが、"防水シートを焦がす"、"塵肺作業である"、"作業効率が悪い"等問題点が指摘されていました。当社開発のKリングを使用することにより、スピードアップ、コストダウンを可能にすると同時に諸問題をすべて解決することができました。

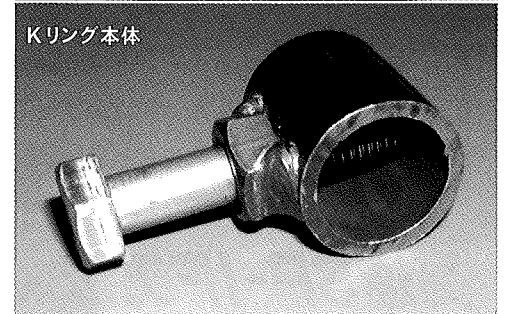
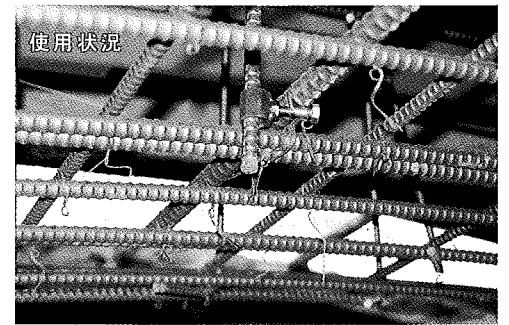
ご納入実績

鹿島・西松・大豊共同企業体 第二東名高速道路 富士川トンネル東工事  
大林・白石・地崎工業共同企業体 第二東名高速道路 掛川第三トンネル工事  
奥村組・名工建設・矢作建設工業共同企業体 第二東名高速道路 島田第五トンネル工事

製造・販売元

**KTK**  
ケーティーケー

〒436-005 静岡県掛川市弥生町 105 番地  
Tel : 0537-24-5988 Fax:0537-24-3859  
E-mail : ktk@r5.dion.ne.jp  
URL : <http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk>

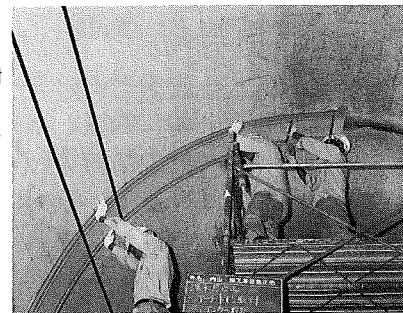
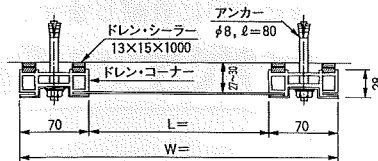


トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

## アーチ・ドレン 導水樋

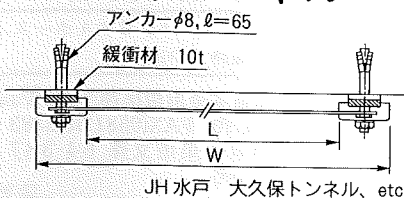
■特徴

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



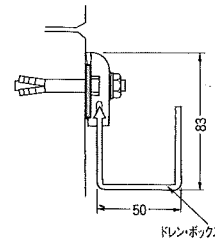
コンクリート剥落対策に

## アーチ・パネル



JH水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に  
サイド・ドレン



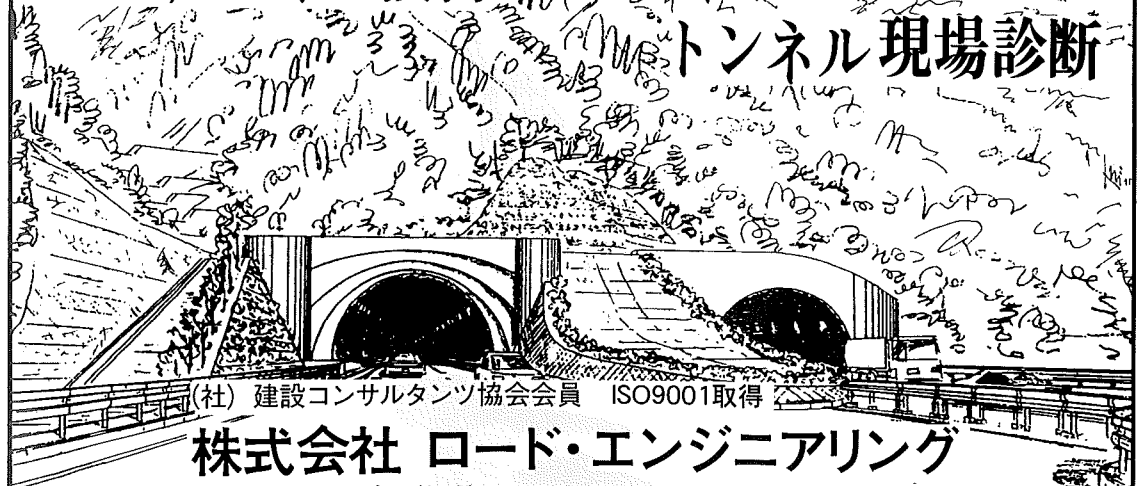
■特徴

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

## ニホン・ドレン工業株式会社

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

## 道路、トンネル設計 (本体工、換気、防災、照明、施工管理他)



## トンネル現場診断

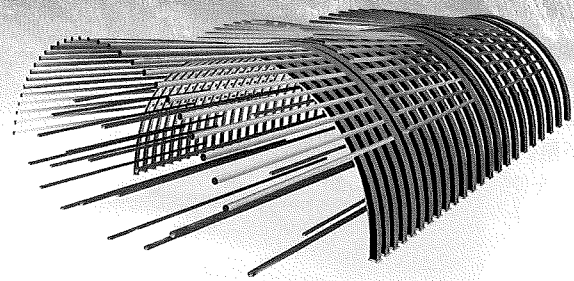
(社) 建設コンサルタツ協会会員 ISO9001取得

## 株式会社 ロード・エンジニアリング

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

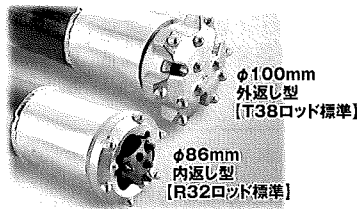
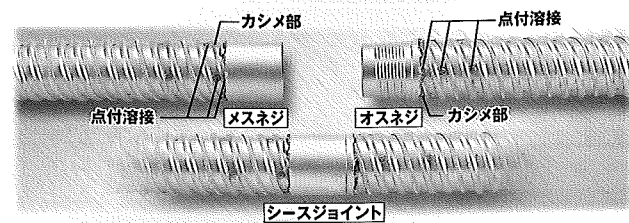
本社：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号 電話(03)3891-0711  
大阪支店：〒569-1133 大阪府高槻市川西町2丁目21番38号 電話(072)691-0711  
福岡支店：〒812-0016 福岡県博多区博多駅南1丁目15番22号 電話(092)436-1588  
沖縄営業所：〒901-2122 沖縄県浦添市勢理客4丁目16番9号 電話(098)870-6411

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



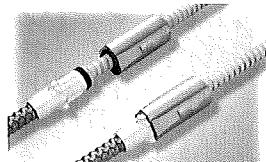
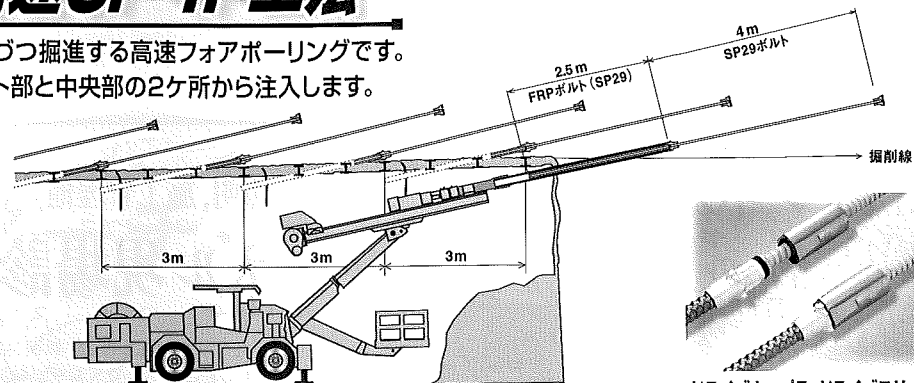
## FIXチューブ工法

※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。

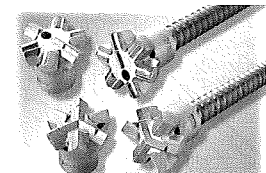


## 高速SP-IF工法

※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。

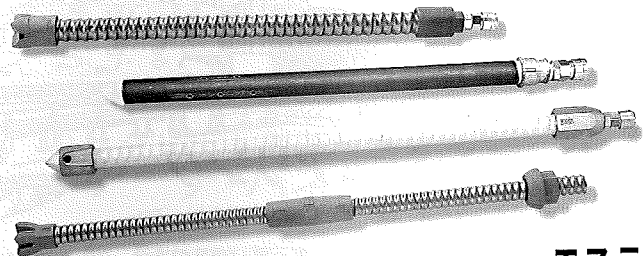


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット (SP29)

## 自穿孔ボルト&注入管



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

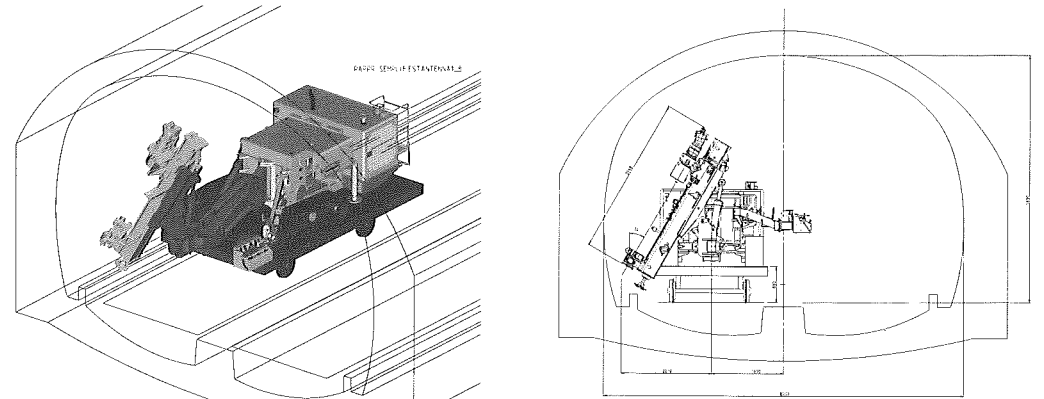


エステーエンジニアリング株式会社  
ST ENGINEERING CORPORATION

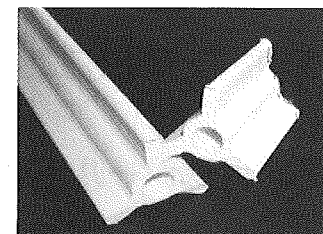
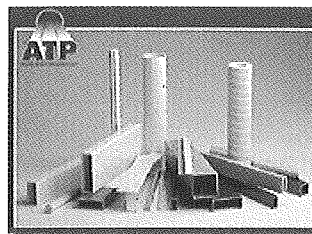
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2  
TEL:0729-90-0250 FAX:0729-90-0251  
http://www.st-eng.co.jp

# トンネルの削孔機械・輸入資材

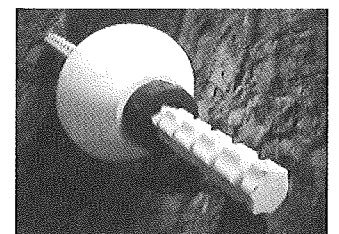
- 油圧削孔機 SM401 ショートマスト仕様  
現場に応じたショートマスト長を選択可能 (ロッド長 1m ~ 2m)



- グラスファイバーチューブ & ボルト  
トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。

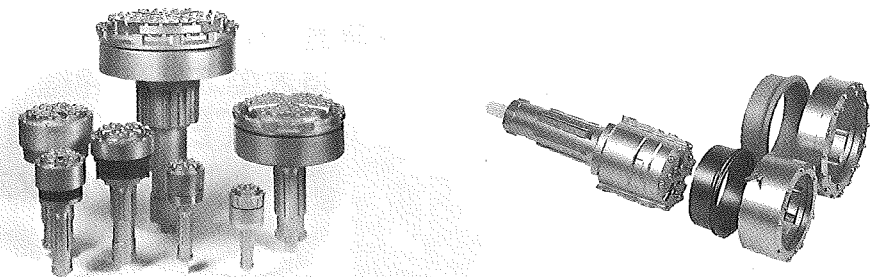


STAR 500S



WIBOLT STAR

- SOROFLEX [リングビット]  
小口径から大口径までケーシングを用いる二重管削孔に最高のビットシステム



SOILMEC  ソイルメックジャパン株式会社  
Drilling and Foundation Equipment

〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-12 サンバードビル3F  
TEL:03(5643)1271 FAX:03(3664)6451 http://www.soilmec-j.com/

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

## ■巻頭言

### 成熟社会における技術開発

今田 徹 .....5

## ■特集

### 東京湾海底地質の想定と実際

富所 達哉・高橋 聡・野口 和博 .....7

### 海底シールドの覆工設計

富所 達哉・権守 英樹・中川 雅由・服部 佳文 .....18

### 長距離シールドの設計・施工におけるリスクマネジメント

富所 達哉・権守 英樹・米沢 実・守田 聡 .....26

### 長距離シールドにおける高速施工(富津工区)

米沢 実・隈部 毅彦・齊藤 祐輔・黒崎 秀 .....34

### 長距離シールドにおける高速施工(扇島工区)

金森 研二・日比谷 穰・秋山 秀夫・竹林 基 .....40

### 単胴型ロングジャッキ式同時掘進シールドの制御(扇島工区)

金森 研二・福島 謙一・飛田 一幸・竹村 光弘 .....47

### 長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合

富所 達哉・高橋 聡・米沢 実・京屋 宜正 .....53

## ■連載講座

### 都市トンネル工事の計測(7)

—特殊断面・鉄道シールドトンネルの技術的課題と計測事例—

古川 衛・新治 均・中川 雅由・粥川 幸司 .....65

### 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(4)

—II.トンネル覆工表面の検査手法(3)—

JTA保守管理委員会 .....77

## ■現場だより

### 「北の大地に新幹線」最初の着工地木古内より

大沼 伸哉 .....61

### 「日本最後の清流」四万十川より

安永 礼三 .....64

## ■資料

### トンネル千夜一夜(19)

小野田 滋 .....62

### 土木情報

編集部 .....82

### トンネルジャーナル

編集部 .....83

### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....84

### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....85

### 海外文献速報

JTA国際委員会 .....87

## ■会報

### 会報

日本トンネル技術協会 .....90

### 【表紙説明】

特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事

東京湾の東西両岸に位置する富津LNG基地(千葉県富津市)と東扇島LNG基地(神奈川県川崎市)をガス導管で結び、東京湾内にある各火力発電所間のガスネットワークを構築するため、約2年半にわたって建設を進めてきた東京湾を横断する延長18kmの海底トンネルが完成した。



本工事の特徴は、1台のシールドによる掘進延長としては世界最長クラスとなる9.0kmを月進500m以上の高速で掘進し、その後0.6MPaに及ぶ高水圧下で、機械式地中接合を行ったことである。写真は、主要工事の状況である。

〔写真提供：東京電力(株)〕(本文7頁参照)

## ヤマモト (まがんき)

無騒音 無振動 静かな破碎

### 超大型油圧破碎機

## YTB 1120

### トンネルビッカー

#### ヤマモトロックマシン株式会社

本社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号富士ビル ☎(03) 3201-0701(代)

工場 広島県比婆郡東城町36番地 ☎(08477) 2-2137(代)

仙台営業所 (022) 262-4531(代) 大阪営業所 (06) 6531-1571(代) 高知営業所 (0888) 22-1367(代) 九州営業所 (092) 471-0381(代)

# Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

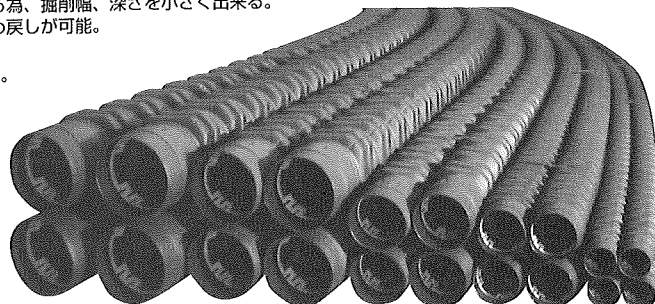
## 都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

# カナレックスML

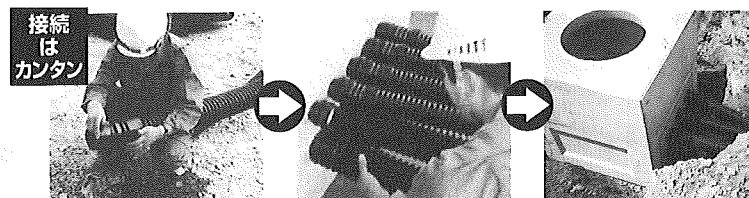
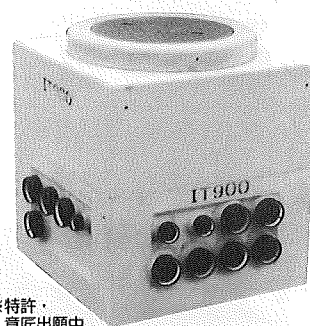
電線共同溝をはじめとする  
電力・通信ケーブルの埋設管工事  
情報化時代に伴う  
光ファイバーの多条敷設  
都市部での電線地中化工事を  
省力化・効率化

- 1. 独自構造 (波付き管と管台一体型リブの連続構造)**
  - ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
  - ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。
- 2. 可とう性に優れる**
  - ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。
- 3. 優れた性能**
  - ・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
  - ・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
  - ・JIS C3653 (附属書1及び3) の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。
- 4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ**



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の  
加工作業を大幅に軽減できる

# ワンタッチ継手付ハンドホール



管路に継手差口をねじこみ 継手受口に差しこむだけ これで接続完了。

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

※特許・  
意匠出願中

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

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

カナフレックスコーポレーション株式会社 ISO 9001 認証取得

株式会社 インテック

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 (六本木ヒルズ森タワー17F)

TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130

大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋1-8-30 (OAPタワー17F)

TEL(06)6881-0767 FAX(06)6881-0769

営業所 札幌・仙台・新潟・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・北四国・福岡・鹿児島

直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

## 会誌 W G の 構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

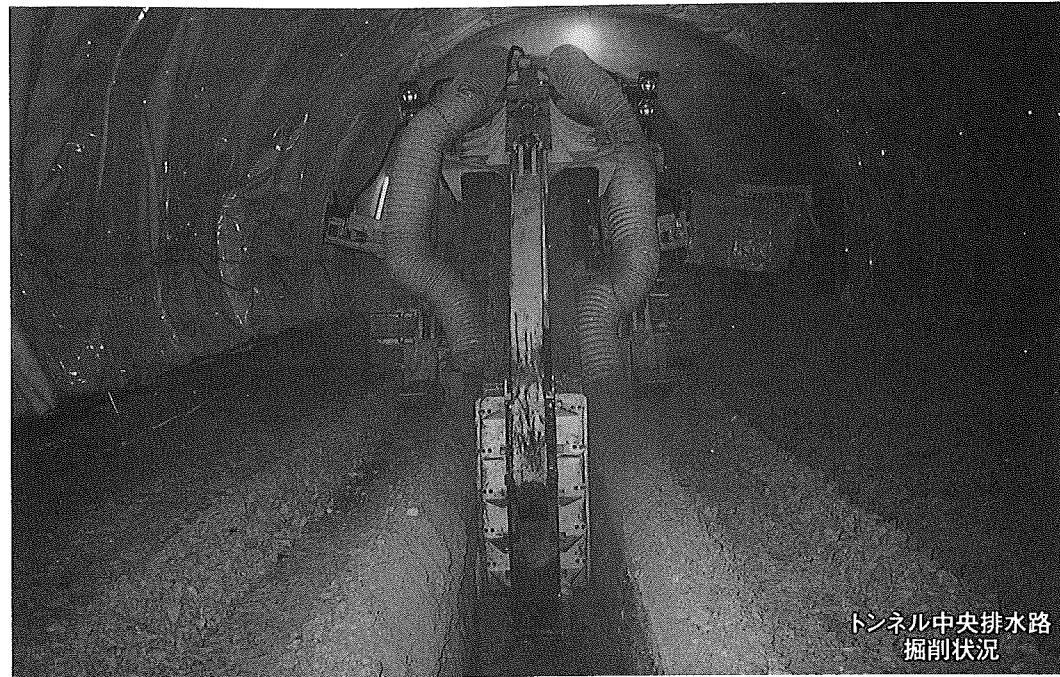
- |                                                 |                                         |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| 伊 藤 範 行<br>鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部<br>グループ長         | 端 則 夫<br>大成建設株式会社土木本部土木技術部<br>トンネル技術室室長 |
| 大 石 敬 司<br>東京地下鉄株式会社建設部工事課課長                    | 濱 建 介<br>株式会社アオバ取締役会長                   |
| 久多羅木 吉治<br>東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長                 | 松 尾 勝 弥<br>飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長         |
| 鈴 木 明<br>独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構<br>鉄道建設本部計画部計画課長 | 山 田 邦 博<br>国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官          |
| 千 葉 隆<br>清水建設株式会社土木技術本部<br>技術第二部部长              | 山 田 隆 昭<br>中日本高速道路(株)中央研究所<br>トンネル研究主幹  |
| 長 島 芳 雄<br>株式会社竹中土木取締役技術本部長                     | 山 道 哲 二<br>株式会社大林組東京本社土木技術本部技術<br>第二部部长 |

## 編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

- |                                            |                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| 伊吹山 四 郎<br>攻玉社工科短期大学名誉学長                   | 林 博<br>西松建設株式会社専務取締役      |
| 島 田 隆 夫<br>鉄建建設株式会社社友                      | 松 本 崇 義<br>(元)東京都理事       |
| 高 橋 彦 治<br>伸光エンジニアリング株式会社技師長               | 丸 安 隆 和<br>東京理科大学教授       |
| 田 島 利 男<br>NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット<br>トンネル担当 | 吉 村 恒<br>吉村とんねる・らぼ        |
| 西 松 裕 一<br>東京大学名誉教授                        | 渡 邊 和 夫<br>株式会社熊谷組執行役員副社長 |

# トレンチャー

硬質地盤の溝掘はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路  
掘削状況



施工例

トレンチャーによる  
施工

## トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスマック	テスマック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	700kg/cm <sup>2</sup>	1000kg/cm <sup>2</sup>
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

## 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  
橋本 定雄 中黒建設株式会社顧問  
定塚 正行 株式会社コンテック代表取締役社長  
濱 建介 株式会社アオバ取締役会長  
高橋 良文 東京都下水道サービス(株)技術部長

### 〔委員〕

城戸 務 東京都水道局建設部工務課長  
木谷 日出男 財団法人鉄道総合技術研究所  
防災技術研究部主任研究員  
坂根 良平 東京都下水道局建設部設計調整課長  
佐藤 亘 東京電力株式会社電力流通本部・工務部  
設備渉外・調整グループ課長  
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社建設工事事務  
構造技術センター課長  
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  
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)  
町田 俊二 東京都交通局建設工務部計画改良課長  
山田 隆昭 中日本高速道路(株)中央研究所  
トンネル研究主幹



## ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部 〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484  
☎(026) 282-3671(代) FAX(026) 282-5803  
<http://www.wkk.co.jp/>

特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事

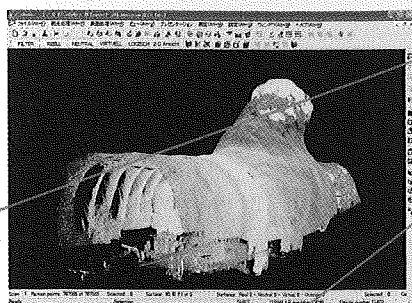
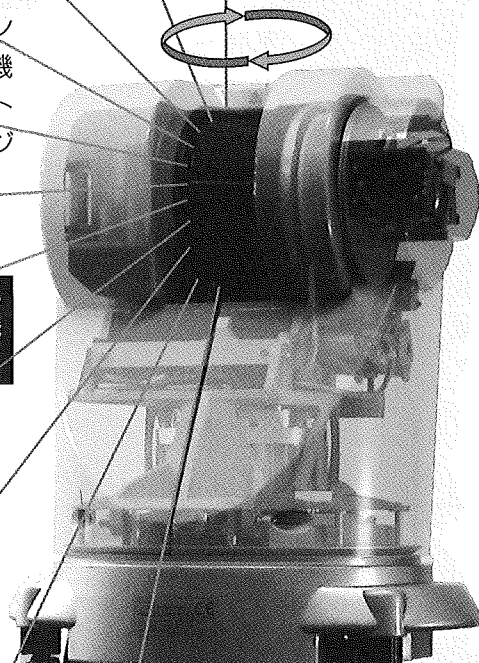
# Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

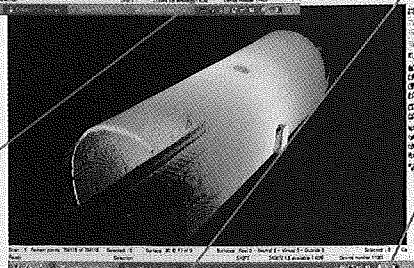
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m<sup>(1)</sup>の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



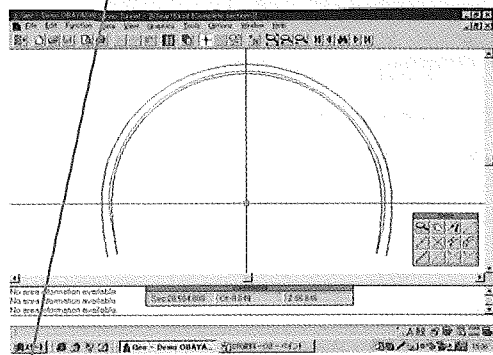
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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 **トリンプ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

2005年12月、東京電力(株)が約2年半にわたって建設を進めてきた東京湾を横断するシールドトンネルが貫通し、延長18kmの海底トンネルが完成した。このトンネルは、東京湾の東西両岸に位置する富津LNG基地(千葉県富津市)と東扇島LNG基地(神奈川県川崎市)をガス導管で結び、東京湾内各火力発電所間のガスネットワークを構築するためのものである。

本工事の特徴は、1台のシールドによる掘進延長としては世界最長クラスとなる9.0kmを月進500m以上の高速で掘進し、その後0.6MPaに及ぶ高水圧下で、機械式地中接合を行ったことである。

本特集では、この工事で実施した調査、設計および施工実績について、以下の7編に分けて報告する。

- ・東京湾海底地質の想定と実際
- ・海底シールドの覆工設計
- ・長距離シールドの設計・施工におけるリスクマネジメント
- ・長距離シールドにおける高速施工(富津工区)
- ・長距離シールドにおける高速施工(扇島工区)
- ・単胴型ロングジャッキ同時掘進シールドの制御(扇島工区)
- ・長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合

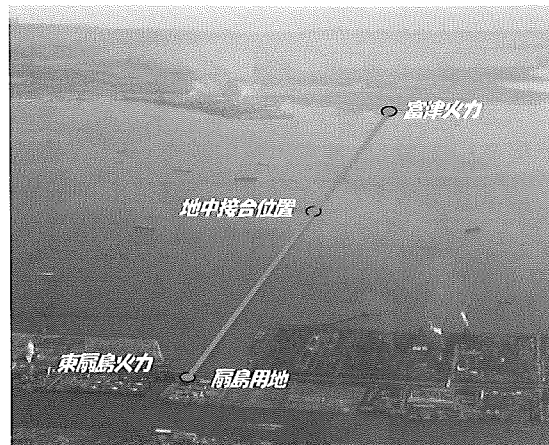
On December 2005, the Tokyo Electric Power Company (TEPCO) completed their shield tunnel project with the length of 18 km across Tokyo Bay two and a half years after the start of construction. The major purpose of this tunnel project is to install a gas pipeline linking the Futtsu LNG Station (Futtsu City, Chiba Prefecture) and the Higashi Ohgishima LNG Station (Kawasaki City, Kanagawa Prefecture). By the completion of this pipeline, the gas network will be established linking the thermal power stations in the Tokyo Bay, which will improve the stability of LNG supply.

In this project, the world's longest tunnel with a length of 9.0 km was excavated by a single shield machine, and the advance was more than 500 meters per month has been excavated. Furthermore, despite of severe construction conditions such as high water pressure of 0.6 MPa under Tokyo Bay, the underground mechanical docking was successfully performed.

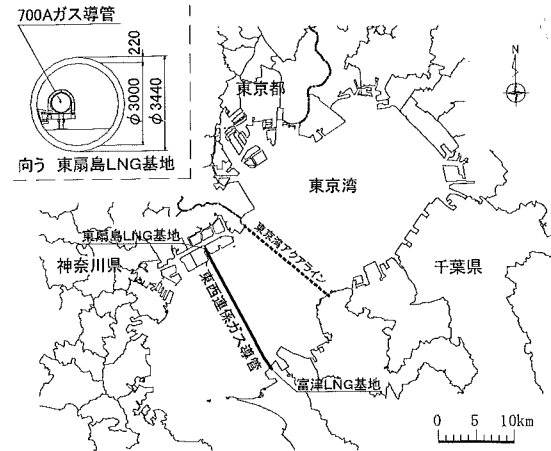
This paper reports the investigation, the design, and the construction of this project including the following topics.

- Research and practice of geology under Tokyo Bay seabed
- Segment design under seabed shield tunnel
- Risk management on design and construction of long-distance shield tunnel
- High-speed construction in long-distance shield tunnel (Futtsu side tunnel)
- High-speed construction in long-distance shield tunnel (Ohgishima side tunnel)
- Control of the excavation-segment assembling coincident system
- Mechanical docking under high water pressures after long-distance shield excavation

# 写真でみる東西連絡ガス導管シールド工事



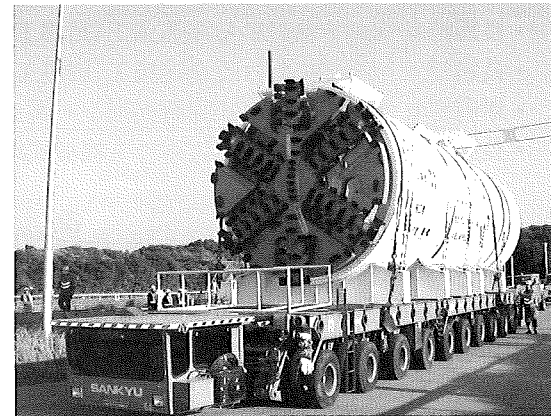
工事位置の全景



工事概要



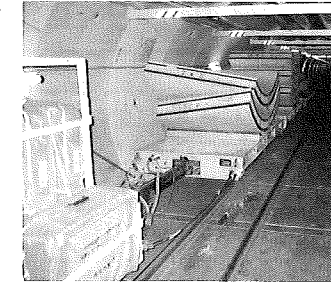
富津シールドの水切り状況



富津シールドの地上搬送状況



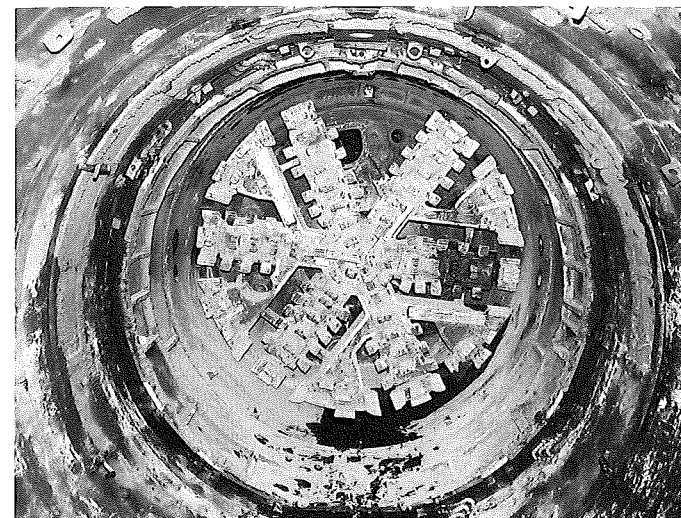
セグメント搬送状況(扇島工区)



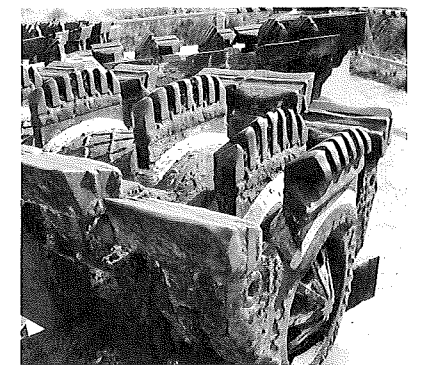
セグメント坑内搬送状況  
(扇島工区)



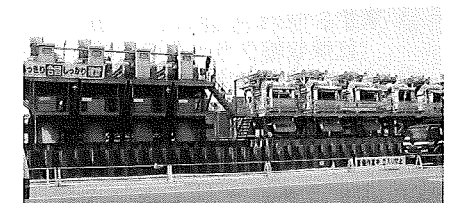
セグメント組立状況(扇島工区)



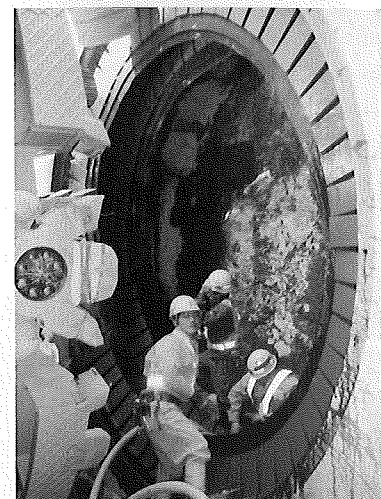
地中接合後の状況(扇島シールドをみる)



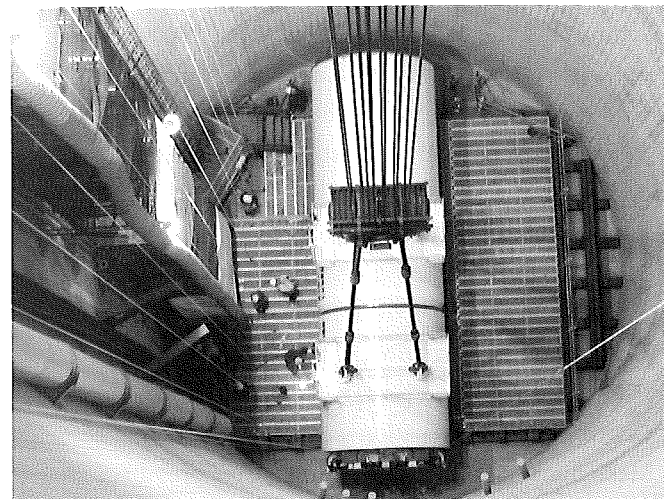
解体後のカッターヘッド(富津工区)



発生土処理設備(扇島工区)



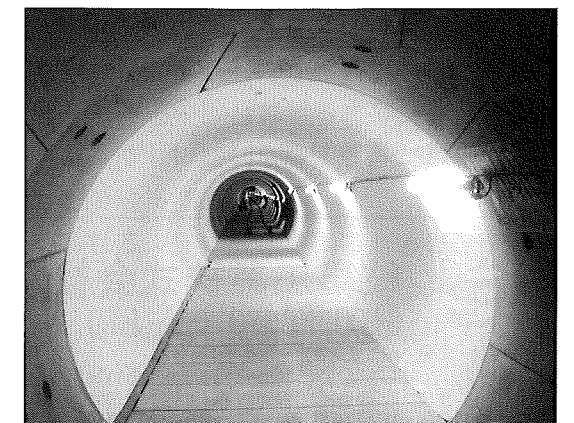
シールド発進部の鏡切り状況(富津工区)



扇島シールドの立坑投入状況



トンネル内の状況(扇島工区)

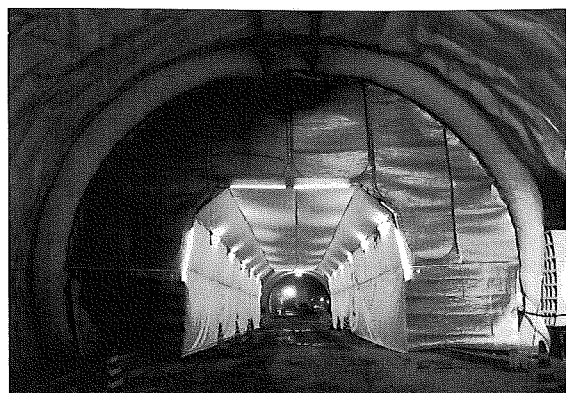


地中接合部覆工状況(富津工区より)

## トンネルバルーン覆工コンクリート トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な  
覆工コンクリート施工を実現します！

NETIS登録  
(No.HR-040005)



### セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

【特徴】

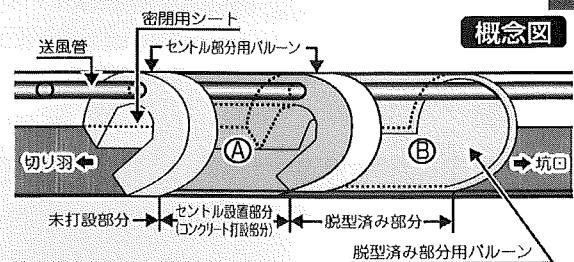
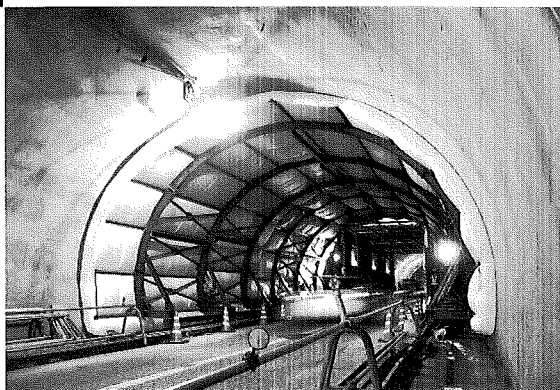
1. 若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2. 高品質コンクリートの確保が可能です。  
(脱型時コンクリートの付着が減少します)
3. サイクルタイムの短縮が可能です。
4. 洗いが車両通行部に落ちません。

### 覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】

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



① セントル(コンクリート型枠)を両サイドのバルーンと密閉用シートではさんで空気層をつくり保護・保温する  
② 打設後のコンクリートに薄い筒状のバルーンを密着させ保護・保温する

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

2005年『日経BP技術賞 建設部門』受賞



岐阜工業株式会社  
GIFU KOGYO CO., LTD.

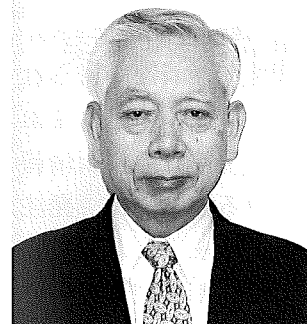
本社・工場 岐阜県本巣市十四条144番地  
Tel. 058(323)2000(代) Fax 058(323)1176  
東京支店 Tel. 03(3262)1285(代) Fax 03(3262)6093  
仙台営業所 Tel. 022(259)2239 Fax 022(259)3664  
九州営業所 Tel. 092(713)5265 Fax 092(714)3028  
URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

東 宏 株式会社

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

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

## 成熟社会における技術開発



東京都立大学名誉教授(本協会評議員)

今田 徹

日本のシールド技術が世界の最先端を歩んでいることはトンネル技術者としての誇りである。日本のシールド技術は世界で広く使われ、発展途上国のみならず先進国の基盤施設整備に多くの貢献をしている。しかし、欧米、とくに欧州では新たな思想が加えられ、独自の発展をしてきている。その手法は一見大胆であり、オランダのグリーンハートトンネルの大口径泥水シールドの実績や現在施工中のマドリッドM30環状道路の大口径土圧シールドの採用に見られるように日本の実績を追い越すようになってきている。日本の技術は追い上げられる立場であり、技術の差はじりじりと少なくなっていると考えなくてはならない。わが国のシールド技術が育ったのは、困難な地質条件と厳しい社会環境のもとでの旺盛な需要があったためである。しかし、この数年日本の公共工事は工事量の減少とコストの削減の嵐の中にあり、従来のような量にものを言わせるような態度や手法での技術開発は転換を迫られているといえる。これからは一つ一つのプロジェクトを大事に技術開発を進めていかなければならない。このようななかにおいて、東京電力の東西関係ガス導管新設工事では、掘進長を9kmに及ぶ長距離掘進とし、その月進量を従来実績の約倍の500mという高い値に設定して工事を進め、最大月進量が1,000mを超えるという誇るべき成果が報告された。

東西関係ガス導管新設工事はトンネルの径は小さいが、延長はアクアラインのシールドを超える18kmに及ぶ海底トンネルプロジェクトである。この工事で採られた手法は工事の特性に合わせて既往の技術を最適化するというところにあったように思われる。通過する地層の選定から始まり、セグメント、シールド、地中接合に至るまで周到な技術のレビューとリスク評価、技術の改良、確認の作業、それに適切な施工管理が徹底して行われた。可能性の限界を見極め、技術を集約しての結果である。

トンネル工事は発注者と受注者との関係で進められる。良い成果を得るためには両者の関係が良好で緊密なものでなければならない。最近、デザインビルドや総合評価方式による発注が行われるようになってきているが、これらは受注者の技術を最大限活用するうえで有効な手法であるといえる。しかし、それ以前に発注されるプロジェクトが適切な

ものであることが必要である。発注者による計画が線形や土かぶりの取り方、近接構造物との関係などにおいて問題がある場合は、技術力を発揮することが難しく、あるいは、非常に困難な技術を要求することになり、プロジェクト全体の合理性や経済性が得られないこともあり得ると考えておかなければならない。この点で発注者は技術の基本をおさえ、また、最新の技術に精通しておくことが要求される。発注者と受注者の技術情報の疎通は円滑でなければならない。しかし、プロジェクトを立ち上げる段階では、発注者と受注者の立場は微妙であり、最近、技術情報の疎通は大変困難な状況下におかれているように思われる。これは技術の発展にとって大きな問題であり、技術情報の流れが滞ることは公共工事の最終的な利用者であり発注者である国民の利益にならない。今回の成功が示唆するところを考える必要がある。

技術は常に進歩すべく運命づけられている。わが国のシールド技術は世界の先端を走っているが、技術開発の歩みを止めたとき、急速に衰退の道に入り込むことになり、国際化の時代に世界において行かれることになってしまう。なんとしても技術力を維持発展させていかなければならない。幸いわが国は工事が減少したと言っても、まだまだやるべきことがあり、今まで経験したことのないような大規模で困難な工事が予定されている。困難な地盤条件と社会環境は従来と変わりないどころか社会環境はますます厳しくなっている。まだまだ、複雑で多様な技術を必要としている。しかし、規模が大きくなるのに従って技術開発には莫大な費用を要するようになってきている。工量の減少と技術の大規模化、高度化は、従来のような横並びの技術開発を無理にしているのではないだろうか。確立された技術のみを使う、あるいは提供するというだけでは技術の発展のペースは遅くならざるを得ないし、新しいニーズに応えることもできない。これからは必要であればプロジェクトの中で技術を育てていくことが従来以上に必要になっていると思われる。これには工事を行いながら技術を育てることはもち論であるが、プロジェクトの計画には技術開発プログラムも含まれるものでなくてはならない。これには発注者が条件を明らかにし、目標を定め、プログラムを組む必要がある。この際には緻密な調査と周到な準備が必要で、採用される技術のリスクの評価と対応策の検討は欠かすことはできない。これによって、確実性が高い技術を積極的に採用し、高い目標を設定することが可能になる。前例にとらわれることなく常に高い目標を掲げることが技術の発展にとって非常に大切である。

東西関係ガス導管新設工事の成功は、発注者が用意周到な準備のもとに、高い目標を定め、発注者、受注者が一体となって、果敢に技術の改善、開発に取り組むことがいかに重要かを示しているのではないだろうか。幸い、わが国には多くの技術の蓄積と層の厚い技術者がいる。高いポテンシャルを有効に活用し、一つ一つのプロジェクトを大切にして積極的な技術開発に努める必要がある。

〔特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事〕

## 東京湾海底地質の想定と実際

東京電力(株)富津火力建設所導管施工/技術管理グループマネージャー 富 所 達 哉  
 東京電力(株)富津火力建設所導管技術管理グループ主任 高 橋 聡  
 東京電力(株)東扇島火力発電所導管施工管理グループ主任 野 口 和 博

### 1. はじめに

東西関係ガス導管新設工事は、東京電力(株)が、京葉側と京浜側のLNG基地を接続し、東京湾内の各火力発電所へのLNG供給における弾力的かつ効率的な運用を図るため、東京湾横断部(延長18km)を含む全長20kmのパイプラインを建設するものである。東京湾横断部は図-1に示すように、千葉県富津LNG基地と川崎市の東扇島LNG基地とを結ぶ内径3.0mのシールドトンネルに、700Aの鋼管を1条布設する。

シールド工事は、富津立坑および扇島立坑(東扇島LNG基地に隣接する扇島社有地に設置)からそれぞれ掘進し、東京湾海底下の中継点で地中接合する計画で、1台のシールドによる掘進延長9.0kmは世界最長級になるとともに、最大作用水压0.67MPaと、厳しい施工条件の工事である。

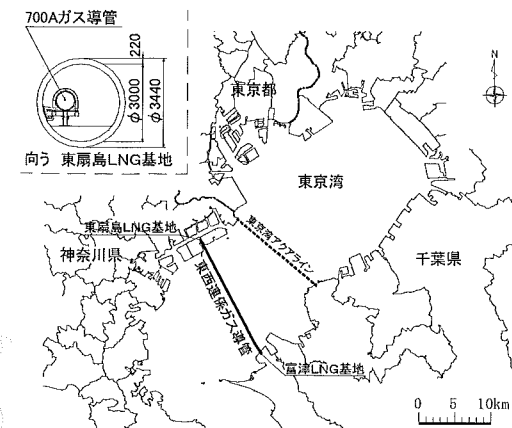


図-1 工事概要

### 2. 工事概要

工事件名：東西関係ガス導管新設工事  
 工事場所：自)千葉県富津市新富25番地先  
 至)神奈川県川崎市川崎区扇島地先

監理箇所：

富津工区 東京電力(株)富津火力建設所  
 扇島工区 東京電力(株)東扇島火力発電所

施工者：

富津工区 鹿島・西松・大林共同企業体  
 扇島工区 大成・清水・間共同企業体

工期：平成15年4月～平成18年3月

工事内容：

トンネル	内径	3.0m
	巨長	富津工区 9,030m 扇島工区 9,030m
工法	泥水式シールド工法	
富津立坑	内空	B7.0m×L38.0m
	床付け深さ	18.3m
	土留め工法	柱列式地下連続壁工法
扇島立坑	内空	φ14.0m
	床付け深さ	45.3m
	工法	ニューマチックケーソン工法

### 3. 本工事における地質調査

本工事では、東京湾内の船舶交通の過密さなどから、ルート上のボーリング調査が困難であっ

た。このため、本工事ルートの約10km北東に位置する東京湾アクアラインにおける既往地質調査資料<sup>1),2)</sup>、および湾内の音波探査記録などの解析・評価をもとに地質を想定した。すなわち、東京湾における地質構造の形成過程から、本工事ルートの海底地質は、東京湾アクアラインルートにおける堆積環境と連続性があるとの解釈にもとづき、アクアライン断面を模式とした地層対比により、本工事ルートの地質断面および地盤物性を想定した。

#### 4. 東京湾海底地質の概要

上記の考え方の前提となる、東京湾海底地質の連続性について、以下に概要を述べる。

トンネル工事の対象となる海面下100m程度までの範囲において、文献<sup>3)</sup>などによれば、東京湾の地下構造は次のように考えられている(ここで、「沖積層」という呼称は、実務的慣用にならない、年代的には約2万年前の最終氷期極相期以降の海面上昇に伴う堆積物を含め、また、おぼれ谷を埋積する河川営力による堆積物を含む総称として用いている)。

##### (1) 下総層群(洪積層)

- ・下総層群は、約50～10万年前の間の海面上昇期に、古東京湾の海成環境で堆積した。
- ・下総層の地形は、約10万年前以降の東京湾造盆地運動により、東京湾直下を沈降中心とする沈降盆地をなす。
- ・約10～2万年前の海面低下期に、東京湾は次第に陸化し、古東京川などの浸食に伴う谷、河岸段丘が形成された。

##### (2) 沖積層

- ・沖積層は、約2万年前の最終氷期極相期以降の有楽町海進によって形成された。
- ・古東京谷は基底礫層を伴い、埋積層は、下部層(七号地層)は砂泥互層からなる陸成層が主で、上部層(有楽町層)は粘土・シルト層からなる海成層である。
- ・なお、東京湾アクアライン断面では、七号地層と有楽町層の不整合面は認められない。

これより、東京湾海底地質構造の形成過程は、内湾環境で堆積した下総層群が沈降盆地地形をなし、有楽町海進前に陸化した際に、南流する古東京川により大規模な開析谷が形成され、その後、有楽町海進に伴い、沖積層で埋積されたことがわかる。このように東京湾全体として、ほぼ類似の堆積環境と考えられるため、本工事断面と東京湾アクアライン断面は、約10kmの隔りがあるものの、地質の連続性は高いと考えられる。

#### 5. 音波探査概要

##### 5-1 調査目的

本調査の主たる目的は、本工事断面に、東京湾アクアライン断面に対比した地層区分を想定することにより、海底シールドトンネルの設計、施工上のハザードとなるような、軟弱地盤、埋没谷地形、礫溜り、固結粘性土層などの地質リスク分布を把握することである。

##### 5-2 探査方法

探査測線は、図-2に示すとおり、本工事ルート沿いに100mの間隔をとった平行な3測線(測線1～3)、東京湾アクアラインルート上の一部(測線9)および両ルート間を連絡する測線を含め、全13測線である。

使用した音源装置は、次の2種類である。

- ・ソノプローブ：海底下20～30mの浅い範囲で、最小10cmの高い分解能記録が得られる。
- ・スパーカ：海底下100m程度まで、最小100cmの分解能記録が得られる。

##### 5-3 解析方法

地層区分の想定においては、連続性のある明瞭な反射面のうち、下記を地層境界と解釈した。

- ① アクアライン断面の柱状図の地層境と同じ深度に対比できるもの。
  - ② アバット面と内部反射面が不整合をなすもの(堆積不整合面と解釈)。
  - ③ 当該反射面を境に内部反射パターンが異なるものが顕著であるもの(性状変化の境界と解釈)。
- また、内部反射については、顕著なラミナパターンは前置構造の砂層、強い反射を示す部分は

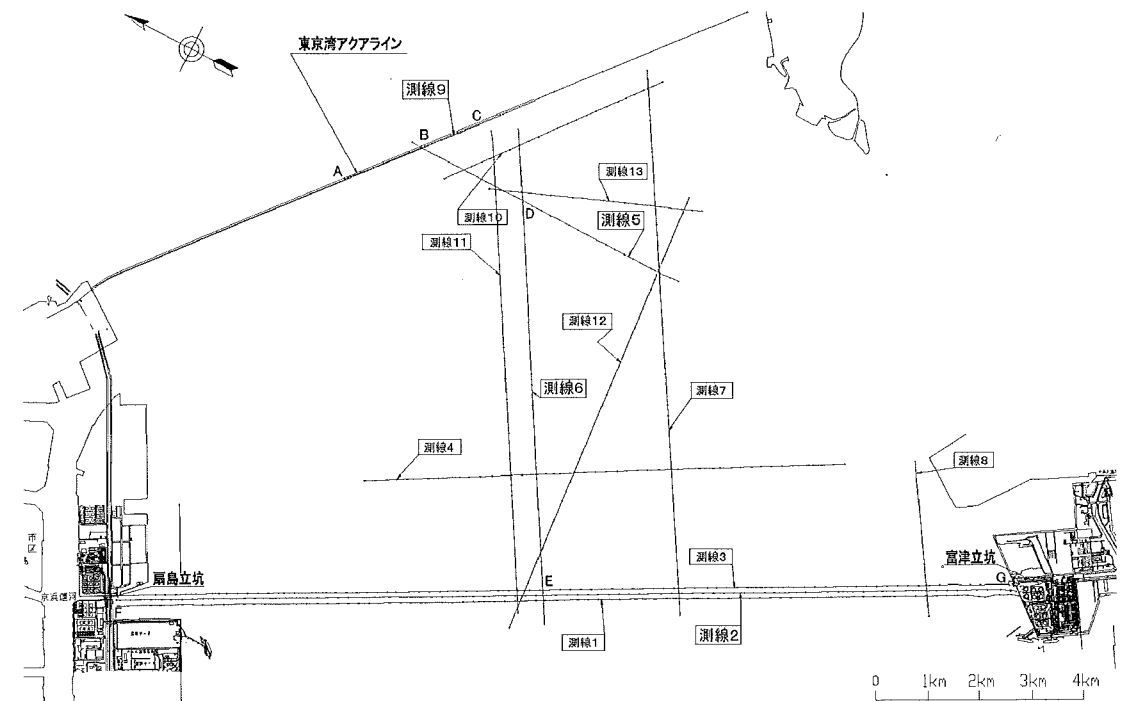


図-2 音波探査側線図

礫溜りなどの固い地質、反射が弱く白抜けを示す部分は均質な固結粘性土層の可能性がそれぞれ高いと解釈した。

#### 6. 音波探査結果の解釈

##### 6-1 キャリブレーションと反射面の追跡

東京湾アクアライン上(川崎人工島～木更津人工島間)の測線9のスパーカ記録と、同測線上の既往ボーリング柱状図<sup>2)</sup>との対比から、

- ① 沖積層基底と解釈される反射面
- ② D3・D4層境界と解釈される反射面
- ③ D4・D5層境界と解釈される反射面

を読み取ることができた(地層記号は、東京湾アクアラインの地質縦断における地質記号<sup>1)</sup>に対応している。以下同じ)。

これらの反射面を、東京湾アクアラインと本工事ルートを結ぶ測線9、5、6を経由し、本工事ルート(測線2)までトレースした。

ここで、測線6において、D4・D5層境界反射面は南下するにつれて隆起する傾斜構造が読み取れ、測線2との交点Eに至る前にD3・D4層境界

反射面と収斂し、このため、D4層は消滅し、本工事断面(測線2)では欠層となる可能性があるとして解釈された。D4層消滅の解釈はやや不確実性を伴うが、本工事断面では、硬質なD5層の出現を浅く考える方が、シールドトンネルの設計、施工計画に安全側になるという工学的判断を加味し、D3層の直下にD5層が分布するものと想定した。

##### 6-2 本工事断面の地質想定

図-3に、本工事ルート沿いの測線2の音波探査(以下、音探と略す)記録を示す。扇島立坑からの距離9kmより富津側においては、音波散乱部がなく、沖積層基底面と解釈される反射面の連続性をほぼ確認することができる。一方、9kmより扇島側は、音波散乱現象のため、沖積層基底面の連続性が確認しにくい。このため、本工事断面の古東京谷地形は、東京湾アクアライン断面をもとに、以下のように想定した。

松田<sup>4)</sup>によれば、図-4に示す東京湾アクアライン断面の古東京谷地形について、次のように解釈されている。

- ・古東京谷の基底部は、幅約3km、最深部の

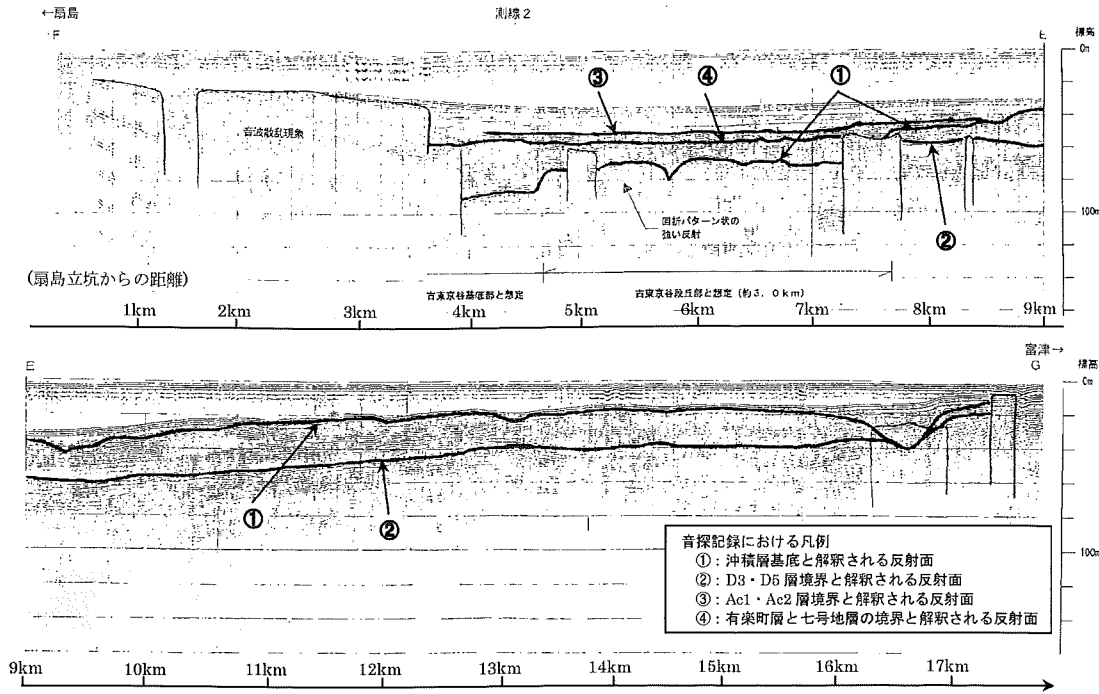


図-3 音波探査記録(スーパーカ, 側線2)と地層境界想定

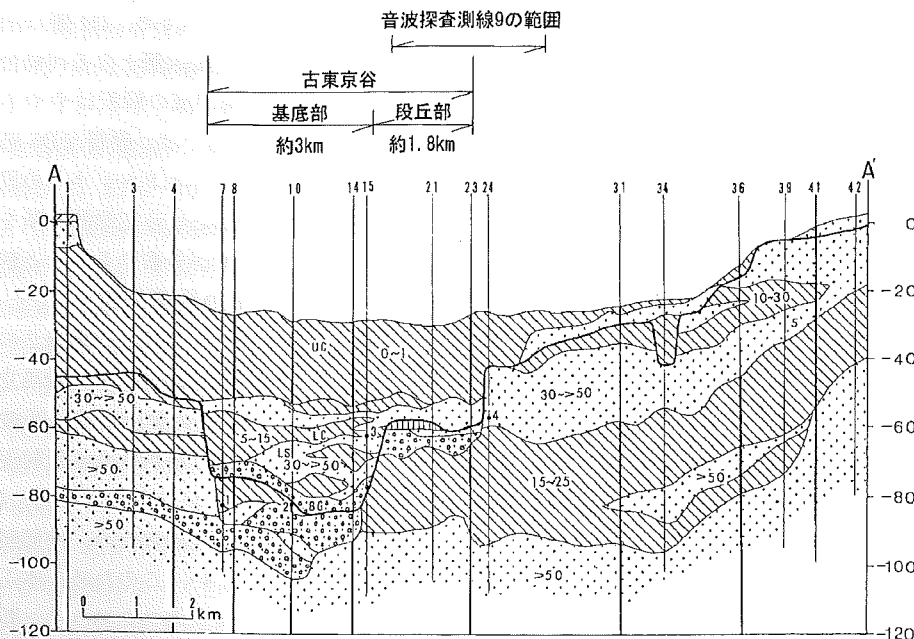


図-4 東京湾アクアラインの地質縦断

標高約-85mで、河床部に砂礫層(BG)が分布する。

左岸側には、河岸段丘地形があり、段丘面の幅約1.8km、標高約-60mで、関東ローム層

の下位に砂礫層が分布する。

古東京谷の埋積地質は、-52m付近を境に、上は海成層(有楽町層)、下は陸成層(七号地層)が分布する。

上記の東京湾アクアライン断面における古東京谷地形を踏まえると、本工事断面の音波記録は次のように解釈される。

- 広い音波散乱層の東(扇島立坑から3.9~4.6km付近)に、-85mを底面とする谷地形の反射面があり、アクアライン断面における基底深度に適合する。
- 扇島立坑から4.6~7.2kmにわたり、-65~-70m付近に段丘地形がみられる。この段丘面部では、回折現象と見受けられる強い反射パターンがみられ、段丘礫層の分布をうかがわせる。段丘部は約3.0km連続し、7.6km付近の音波散乱部に左岸端があるものと想定した。
- -55m付近(反射面④)を境に内部反射パターンの違いがみられ、有楽町層と七号地層の境界と想定される。

以上の解釈をもとに、本工事断面の地質縦断図を作成した(図-5)。ここで、古東京谷右岸側は、広範囲の音波散乱現象により反射面を読み取ることが困難であったが、過去の扇島近海におけるボーリング調査において七号地層が確認されていないため、古東京谷右岸は、この調査範囲のすぐ

東の位置と想定した。

また、古東京谷の埋積地質は、約-60m以深には、D1s, D1c, D2s, D2cのいずれも出現しうるものと想定した。

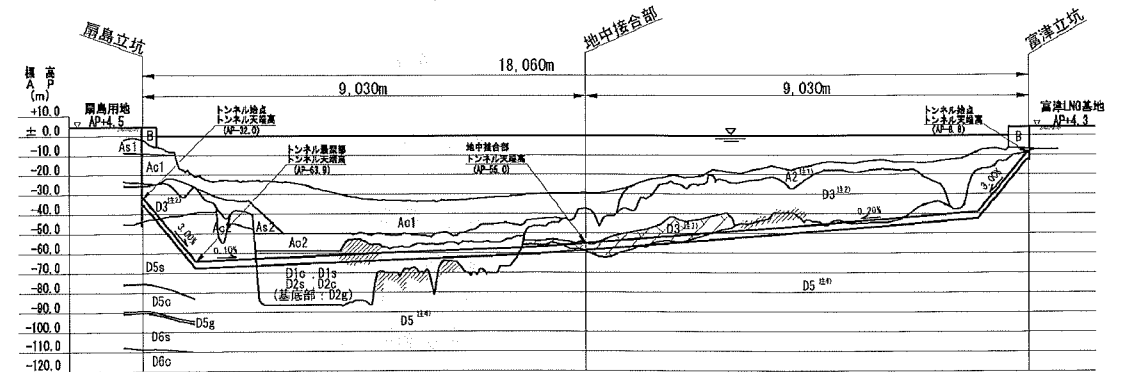
6-3 本工事断面の層序解釈

上述の考察より、沖積層は有楽町層(A1, A2層)および七号地層(D1, D2層)と想定される。洪積層(D3, D4, D5層)については、火山灰鍵層などの直接的な判定材料が得られなかったため、文献により以下のように解釈した。

三谷<sup>5)</sup>は、陸上部のボーリングと海域部の音波探査をもとに、武蔵野台地から東京湾の地質断面を解明しており、これより次のことがわかる。

- 東京港~姉崎間の海域部の洪積層は、古東京谷浸食部を除き、上位より、東京層、江戸川層、東雲層が欠けることなく分布する。
- 湾中央部の-100m付近は江戸川層上面に対応し、上総層群の上面高度は、東京港近海で-175m、姉崎近海で-600mに達する。

これより、本検討では、洪積層の層序区分を下記のように解釈した(地質名表記は東京港での模式<sup>6)</sup>による)。



地質時代	地層名	記号	土質名称	地質時代	地層名	記号	土質名称
完新世	埋立層	B	埋土・盛土	更新世	七号地層	D1 s	砂質土
		A s 1	砂質土			D1 c	粘性土
	有楽町層	A c 1	粘性土		D2 c	粘性土	
		A s 2	砂質土		D2 s	砂質土	
		A c 2	粘性土		D2 g	礫質土	
東京層上部			D3 c		粘性土		
			D3 s		砂質土		
			D5 s		砂質土		
江戸川層			D5 c		粘性土		
			D5 g		礫質土		
上総層群			D6 s	砂質土			
			D6 c	粘性土			

注1) A2: As2, Ac2の互層  
 注2) D3: D3s, D3cの互層  
 注3) D3: D3c(部分的に固結)が卓越。  
 注4) D5: D5sが主体でD5cを部分的に介在。  
 : 音波探査結果において強い内部反射を示す。  
 : 音波探査結果において自抜け部分を示す。

図-5 想定地層縦断図

- D3層：東京層上部層
- D4層：東京層下部層(本断面では欠層)
- D5層：江戸川層

## 7. 地盤物性

既述のとおり、東京湾全体として類似の環境で堆積していると考えられるため、本工事断面の地盤物性も、東京湾アクアライン断面と類似していると考えられる。したがって、本工事の設計用物性値は、東京湾アクアライン断面のボーリングデータ<sup>2)</sup>をもとに設定した。

## 8. シールド工事にかかわる地質リスク

シールド工事の設計・施工検討にあたっては、地質条件に伴うリスクを考慮することが重要である。すなわち、設計面では、 $N$ 値0に近い軟弱粘性土は、トンネルの耐震性、変形、地盤の支持力不足などのリスクを伴う。施工面では、 $N$ 値0に近い軟弱粘性土における姿勢制御困難、硬質粘性土におけるチャンバ閉塞、トルク上昇、礫における配管閉塞、ビット摩耗などが想定される。

上述の地質想定をもとに、本工事断面における、設計・施工リスクを伴う地質の分布、性状について次のように想定した。

### (1) $N$ 値0に近い軟弱粘性土

- ・音探結果より、古東京谷の-55~-60m以浅には有楽町層粘性土が分布。
- ・有楽町層粘性土の $N$ 値は、Ac1層が0、Ac2層が0~1程度。

### (2) 硬質粘性土

- ・音探記録の白抜けパターンを示す富津工区側のD3層基底部に、硬質粘性土が卓越している可能性が想定される。
- ・このほかの洪積層内部の砂泥区分は解釈困難であるが、東京湾アクアライン断面における洪積層の層相は互層状であることから、粘性土は随所に出現する可能性がある。
- ・洪積粘性土の平均 $N$ 値は、D3cが18、D5cが31の高い値を示す。

### (3) 礫

- ・東京湾アクアライン断面との対比から、古東京谷基底礫層、左岸部の河岸段丘礫層の分布が想定される。
- ・このほかにも、音探記録においてやや強い反射を示す箇所が、富津側洪積層内の一部(-40m付近)に見受けられ、局所的な礫溜りの可能性がある。

## 9. トンネル線形

図-5にトンネル縦断線形を示す。

扇島工区古東京谷部の通過地層は、地震の影響を避けるため、軟弱な有楽町層(Ac1、Ac2層)を避け、七号地層(D1、D2層)を通過する線形とした。また、施工上のリスクを考慮し、古東京谷左岸部に想定される段丘礫層を回避した。

富津工区の縦断線形は、立坑から1.5km付近の埋没谷を下越しし、全線にわたり安定した洪積層を通過することにより、メタンガスや砂礫溜りに遭遇するリスクを低減するとともに、地震時のトンネルの安定性を確保する線形とした。

## 10. 施工実績

### 10-1 富津工区における想定と実績の比較

本工事は泥水式シールド工法のため、掘削土の評価は、主として振動フルイからの排土観察などによって行った。

#### 10-1-1 音探結果との整合点

##### (1) 強い内部反射を示す礫の出現

- ・4.1~5.6km区間は礫層に遭遇し、音探記録で強い内部反射を示す区間(4.5~5.8km)とほぼ一致した。一次分離機のフルイ面に小礫(20mm以下)、中礫(20~64mm)があふれ、排泥ラインでは大礫(64~300mm)による閉塞が多発し、進捗が著しく低下した。

##### (2) 白抜けパターンを示す硬質粘性土層の分布

- ・音探記録で白抜けパターンが見られた6.5km以降は、粘性土が優勢であった。とくに白抜けが顕著な8.1~9.0km区間は、ほぼ全断面粘性土地山が続いた。

表-1 トンネル通過地質の内訳の比較

	音探想定(m)	施工実績(m)
砂質土卓越互層	5,100(57%)	1,485(17%)
粘性土卓越互層	2,630(29%)	5,250(58%)
礫層	1,300(14%)	2,295(25%)

### 10-1-2 音探結果との相違点

#### (1) 粘性土層の卓越

- ・図-3にみられるように、富津立坑から0~6.5km区間ではラミナパターンが顕著なこと、および東京湾アクアライン断面ではD3層は砂泥互層、D5層は砂質土卓越であり、粘性土卓越のD4層は現れないと想定したことから、トンネル通過部は砂質土がやや優勢と想定した。

- ・これに対し、施工実績は表-1に示すとおり、「粘性土卓越互層」が優勢との結果となった。ここで、施工実績は、一次処理土と二次処理土の50リングごとのダンプ運搬台数を計測し、一次処理土が過半数の場合を「砂質土卓越互層」、二次処理土が過半数の場合を「粘性土卓越互層」と評価した。なお、礫が出現した区間は、「礫層」とした。

#### (2) 想定外の礫の出現

- ・想定よりも多く礫層に遭遇した。掘削初期の220~950mでは、こぶし大~最大長径200mm程度の大礫を混入する互層が断続的に現れ、排泥管の閉塞が頻発した。
- ・埋没谷通過後にも、中礫以下が混入する層に数回遭遇した。その延長は50~70mと比較的短いものだった。

#### (3) 想定外の富津埋没谷(沖積層)の通過

トンネルルートは、立坑から1.5km付近に想定された埋没谷を下越しするよう設計したが、実際の谷基底面は想定より深く、埋没谷内の沖積層を通過した。本事象については、11章で詳述する。

## 10-2 扇島工区における想定と実績の比較

以下の点で、音探結果との整合が認められた。

### 10-2-1 古東京谷左岸の段丘地形の出現

古東京谷左岸の段丘部と想定した分では、5.9~7.6kmの長い区間で最大長径約200mmを含む礫

層に断続的に遭遇し、掘削断面内に段丘礫層が出現したと思われる。

### 10-2-2 古東京谷地形の谷幅

古東京谷の右岸および左岸(七号地層と洪積層の地層変化)を確認するため、掘削土の放射性炭素(<sup>14</sup>C)年代測定および花粉化石分析を実施した。

この結果、右岸側は2.6km以西、左岸側は7.8km以東で沖積層の出現が認められないことから、古東京谷通過区間は、最大5.2kmと、ほぼ想定に近い谷幅と考えられる。

## 11. 富津埋没谷地質の再評価

### 11-1 沖積層通過の確認

富津工区では、立坑から約1.5km付近の埋没谷を下越しする線形としたが、実際にこの付近を掘進したところ、一次分離機で採取された掘削土の観察などから、沖積層すなわち埋没谷内部を通過した可能性が高いと判断された。そこで、沖積層通過の有無を確認するため、掘削土の年代判定および堆積環境の分析を実施した。

#### 11-1-1 年代測定結果(放射性炭素(<sup>14</sup>C)年代測定)

沖積層通過区間を特定するため、一次分離機から採取した泥塊などに対する年代測定を実施した。

図-6の音探記録(図-5と左右反対で、左が富津である)に、試料のサンプリング位置と<sup>14</sup>C年代測定結果を示す。これより、次のことがわかる。

- ・試料A~Fまでは、9,840~10,180年前と測定され、更新統最末期~完新統初頭の堆積物(沖積層相当)と判定される。
- ・試料G、Hはそれぞれ約3万年前、約4万年前で、いずれも最終氷期極相期以前のいわゆる洪積層の堆積物と判定された。
- ・以上より、点A(1,154m)以前(明確に特定できず)に沖積層に突入し、点F(1,867m)とG(1,876m)の間で埋没谷を抜けたことがわかった。

#### 11-1-2 堆積環境分析結果(珪藻分析)

珪藻は種によって、海水-汽水-淡水生(流水

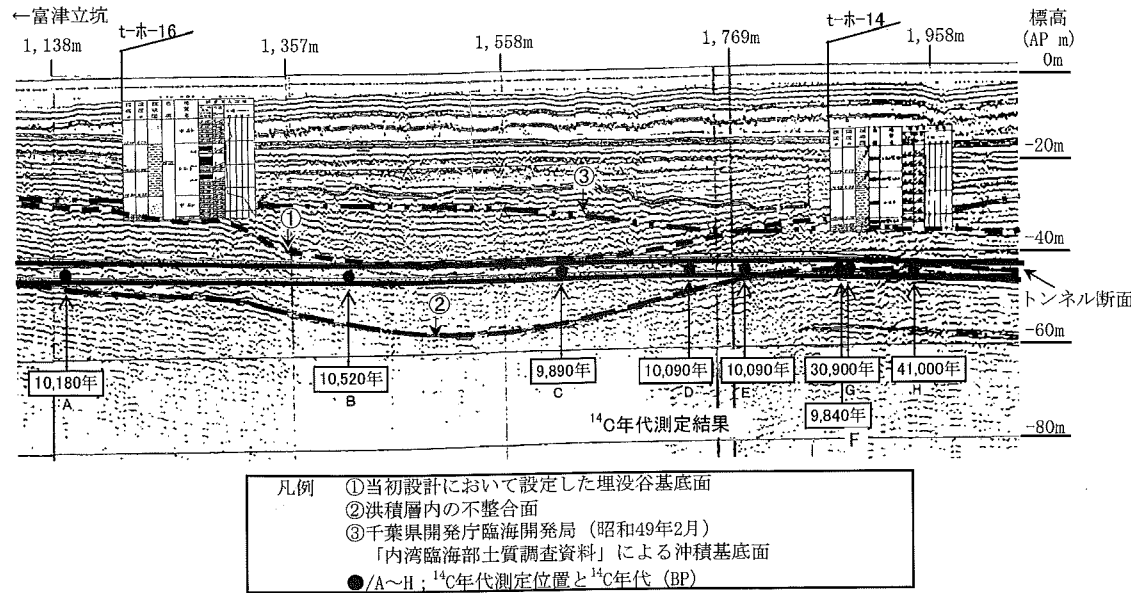


図-6 埋没谷基底面の評価(スーパーカ, 側線1)

性一陸生)などの生息環境が判別できるため、優占種によって堆積環境を推定することができる。沖積層と判定された各試料の分析結果から次のことがわかった。

- ・試料A, BおよびEでは、異なる環境を指標とする混合群集の特徴がみられ、堆積メカニズムとしては、河川堆積物が海成層と混ざり合いながら堆積した三角州性堆積物、または、淡水性堆積物の流れ込みを伴う内湾性堆積物などが考えられる。
- ・試料C, Dは、大部分が内湾指標種群が優占するとともに、汽水生種、淡水-汽水生種の産出がみられることから、内湾奥~汽水環境の堆積物と考えられる。

以上より、試料A~Fはいわゆる沖積層と推定された。ただし、<sup>14</sup>C年代測定の結果が縄文海進の開始時期にあたること、および、堆積環境分析結果からは、陸成層か海成層かの明確な判別がつきにくかったことから、七号地層か有楽町層かの判別が困難であった。

### 11-2 富津埋没谷地形の再評価

#### 11-2-1 音波探査記録の再検討

- ・音探解析では、スーパーカ記録において、水平成層状の内部反射と不整合をなす傾斜した反

射面を地層不整合面と解釈し、もっとも上位の不整合面を沖積層基底面と想定した。この考え方により、当初設計において沖積層基底面と想定したのが、図-6に示す反射面①である。

- ・同図に示す反射面②は、当初設計時に解析した不整合面のひとつであるが、この反射面は、明瞭な不整合面①の下位に位置するため、沖積層基底面ではなく、洪積層内部の不整合面と解釈していた。
- ・今回の年代測定結果と対比すると、不整合面②より上位では1万年前前後、下位では3~4万年前を示し、反射面②は沖積層と洪積層の境界に近いことがわかる。ただし、反射面②は、埋没谷の両サイドにわたり、反射面①より約20m以上深い位置での連続性が認められることから、あくまで洪積層内部の不整合面と解釈される。
- ・したがって、埋没谷の真の基底面は確認できないが、洪積層内の不整合面②より上位に位置するはずと考えられることから、埋没谷の範囲においては、反射面②が沖積層基底面の下限と想定される。
- ・以上より、埋没谷地形の再評価結果として、

基底深度は音波探査における反射面②から、深くとも-55m、谷幅は音波探査では確認困難であったが年代測定結果をもとに、少なくとも720m(A~G間)と推定した。

- ・なお、以上の再評価より、反射面①は、埋没谷を埋積する沖積層の内部で、堆積物の性状を異にする境界と解釈される。

#### 11-2-2 既往地質調査資料との対比

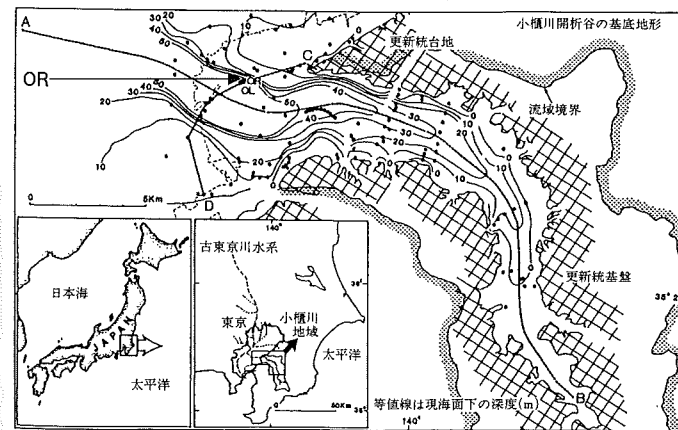
- ・図-6の③で示す線は、千葉県<sup>7)</sup>の海上ボーリング調査にもとづく沖積基底面を示したものである。図中には、さらに近傍の柱状図<sup>8)</sup>を示した。

- ・千葉県による沖積層基底面③は、最大深度-37mであり(より深い調査データはない)、A~G間において、今回再評価した沖積層基底面(反射面②)より約10~20m以上浅い。一方、柱状図「t-ホ-14」および「t-ホ-16」の位置では、反射面①(沖積層内部の性状の境界面)とほぼ一致する。

- ・したがって、千葉県の調査では、N値30以上の砂層上面を洪積層上面と解釈したと思われるが、今回の当社評価ではこれは沖積層下部層の上面であり、埋没谷の下部には、沖積層とはいえ、N値30以上のかかなり締まった地盤が分布しているものと解釈される。

### 11-3 富津埋没谷埋積地質の再評価

上記の検討より、富津埋没谷埋積層は性状の異



(1) 調査位置

(2) OR地点のボーリング柱状図

図-7 小櫃川埋没谷の調査位置とボーリング柱状図<sup>8)</sup>

なる上下層に区分され、そのうち下部層は、比較的良好地盤の可能性が考えられる。そこで、堆積環境の類似した周辺埋没谷に関する既往文献をもとに、トンネル通過部の地盤性状を再評価した。

#### 11-3-1 既往文献調査

南房総の堆積環境を考えるうえでの模式として、斎藤<sup>9)</sup>は、木更津市に流れる古小櫃谷でボーリングコアの観察と年代測定を実施し、埋没谷埋積層の堆積年代と堆積システムの関係を解明して

おり、これより、次のことがわかる。

- ・小櫃川埋没谷のボーリング調査位置および柱状図をそれぞれ図-7(1)~(2)に示す。
- ・図-7(2)より、ORの位置において、古小櫃川は、前期有楽町海進が始まる約15,000年前は、河底が-52mの位置にあった。その後、-32mまでは河道~氾濫原環境で河川堆積物が堆積した(蛇行河川システム)。この間、約10,800年前、-42.5mからは、海水の影響のある汽水性の堆積物が含まれる。次に、海水の侵入、汽水性堆積物が堆積し、約9,000年前ごろまでに、-32~-25mまでを干潟性の堆積物で埋積した(後進的三角州システム)。
- ・これより、-30m以深は海水準より上位で堆積した陸成~汽水成層、-30m以浅は海水準より下位で堆積した汽水成~海成層である。

このように、南房総地域の埋没谷では、約15,000年前以降のいわゆる沖積層であっても、性状の異なる層が上下に分布する堆積メカニズムがあったことがわかる。

### 11-3-2 富津埋没谷トンネル通過部の地質

古小櫃谷の模式断面と、本工事の埋没谷通過部の掘削土分析結果を対比すると、次のような類似性が認められる。

- ① 富津埋没谷の再評価された基底深度-55mと、古小櫃谷模式断面の基底深度-52mは一致しており、両者はほぼ同じ深さの埋没谷である。
- ② トンネル通過部(天端高さ-40m)での堆積年代は9,840~10,180年前であるが、これは、古小櫃谷柱状図において、-42.5(10,800年前)~-37.5(10,200年前)~-32m(10,000年前)の、深度と年代の関係が類似した地層に対比できる。
- ③ 古小櫃谷柱状図における-42.5~-32mの層は、河川堆積物であるが、海水の影響のある汽水性堆積物と混じり合っている。これは、トンネル掘削土の珪藻分析(試料A~E)で、海水-汽水生種から淡水生種を含む混合

群集が検出されたことと符合する。

上記の解釈から、千葉県の前記調査で沖積層基底とされたN値30以上の砂層(上面最大深度-35m)は、古小櫃谷-42.5~-32mを埋積した「海水の影響のある汽水性環境で埋積した河川堆積物」相当(七号地層相当)と考えられる。また、音波探査における富津埋没谷の沖積層内部の境界面(-37m)は、河川堆積物と干潟成堆積物の境界を示すものと思われる。このように、富津埋没谷通過部の地質は七号地層相当と解釈される。

本工事では、想定外の七号地層通過部におけるトンネル覆工構造計算の再照査を別途実施し、安全であることを確認した。

## 12. おわりに

本工事では、海上からの音波探査という、シールド工事ではあまり例のない地質調査法を適用した。実際に施工した結果、海底シールドの設計、施工上のハザードとなるような、軟弱地盤、埋没谷地形、礫溜り、固結粘性土層などの地質リスク分布をある程度把握でき、大きなトラブルを回避できたという点で、音波探査法は実用的に十分有効であったと評価される。

もとより、音波探査法は、周辺に模式となる既知の地質断面があってこそ解釈が可能であることや、詳細な層相、地盤物性の把握の面では不確実性が高く、また、音波散乱現象に対しては無力に近い。そのような音波探査の適用範囲を踏まえたうえで、設計・施工設備面での適切な余裕、バックアップを考慮すれば、プロジェクト全体における調査期間・コストの縮減など、大きなメリットが期待できる。

本検討にあたっては、(社)日本トンネル技術協会に、「東京湾横断海底トンネル特別委員会」の設置を委託し、委員長：今田 徹・東京都立大学名誉教授、小泉 淳・早稲田大学理工学部教授、小山幸則・(財)地域地盤環境研究所東京事務所長ら委員各位の審議・ご指導をいただいた。また、斎藤文紀博士・(独)産業技術総合研究所には、富津埋没谷通過地質の再評価にあたり、ご指導ご助

言をいただいた。

音波探査記録の解析・解釈においては、川崎地質(株)の坂井眞一氏、(株)東設土木コンサルタントの織田信明氏らにご協力いただいた。日本道路公団東京管理局東京湾アクアライン管理事務所(当時)からは、東京湾アクアラインルート of 貴重な地質調査資料を借用させていただいた。このほか、本工事の設計・施工計画にあたり、富津工区の鹿島・西松・大林共同企業体、扇島工区の大成・清水・間共同企業体に技術提案をいただいた。以上の各位に深く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 飯野昇・植野良二：東京湾横断道路の地質、地盤、

基礎工、1993.1

- 2) 例えば、建設省関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所：東京湾湾中部地質調査報告書、1973.3.
- 3) 貝塚爽平編：東京湾の地形・地質と水、築地書館、1993.
- 4) 松田磐余：文献3) 第3章 東京湾と周辺の沖積層、築地書館、1993.
- 5) 三谷 豊：武蔵野台地-東京湾の中・上部更新統地質断面、地団研専報47号 東京湾の地下地質、pp.116-118、2000.
- 6) 東京港地下地質研究会：東京港地域の地下地質層序、地団研専報47号 東京湾の地下地質、pp.12-13、2000.
- 7) 千葉県開発庁臨海開発局：内湾臨海部土質調査資料集(3)C区域(木更津~富津)、1974.2.
- 8) 斎藤文紀：4. 河口デルタの堆積システム-小櫃川三角州の形成機構一、大沢雅彦・大原隆編：生物-地球環境の科学、朝倉書店、pp.30-34、1995.

### 【好評発売中】

## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

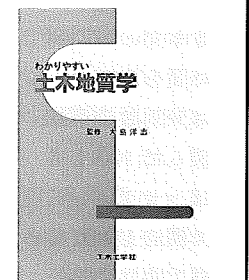
本書は、平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに、加筆および整理してまとめたものである。本書では、最新のトンネル技術、地質学、ならびに、地質調査法などを挙げ、学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている。

### 〔主要目次〕

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

 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



【特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事】

# 海底シールドの覆工設計

東京電力(株)富津火力建設所導管施工/技術管理グループマネージャー 富 所 達 哉  
 東京電力(株)建設部土木・建築技術センター火力原子力土木技術グループ副長 権 守 英 樹  
 鹿島建設(株)土木設計本部プロジェクト設計部シールドグループ長 中 川 雅 由  
 大成建設(株)土木本部土木設計部陸上第二設計室課長 服 部 佳 文

## 1. はじめに

東西連係ガス導管新設工事は、東京電力の京葉側の富津LNG基地と京浜側の東扇島LNG基地を連係する、内径3.0m、延長18kmの海底シールド工事である。

本工事では、ルート上のボーリング調査困難に伴い、東京湾アクアラインなど周辺の既往地質調査資料および湾内の音波探査をもとに地質を想定した<sup>1)</sup>ため、覆工の設計にあたっては地質条件の不確実性を適切に考慮する必要があった。

また、富津工区、扇島工区とも、9kmの長距離を3年間の短期間で施工するため、セグメント組立時間を短縮できるように、セグメントの拡幅化または分割数の低減、継手構造の簡素化を図った。とくに、富津工区の海域部では、セグメント継手を完全なボルトレス構造としたため、構造計算における継手剛性の評価、シール材封入力の確保などが課題となった。

さらには、高水圧に対応するための止水性の確保や海底下であることを考慮した耐久性の確保などが課題であった。

本稿は、これらの技術課題に関する検討結果を含む、本工事の覆工設計と施工実績について報告するものである。

## 2. セグメントの仕様

### 2-1 セグメント形状

本工事で採用したセグメントの仕様を表-1に示す。セグメント形状は、高速施工への対応として、富津工区は6等分割で拡幅化(1,350mm)し、扇島工区では幅1,200mmで分割数を低減した(5等分割)。

### 2-2 継手構造

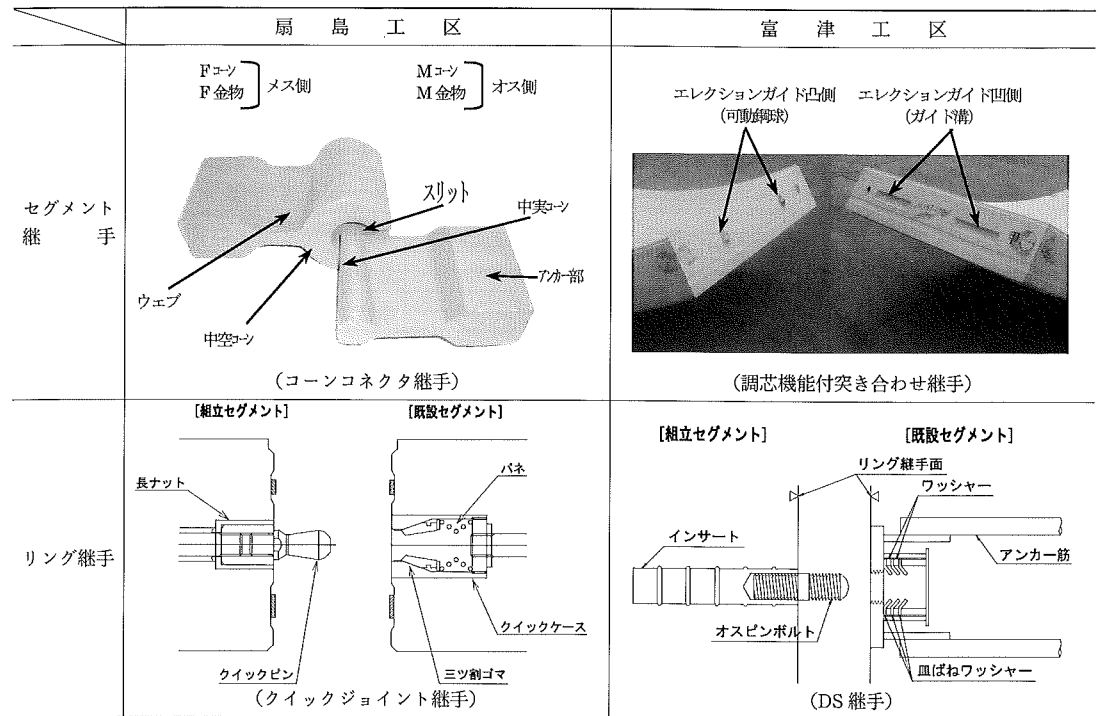
表-2に示すように、両工区とも組み立てが簡単なワンパス継手セグメントを採用した。

セグメント継手は、扇島工区は中空コーンと中実コーンをスライド嵌合させるコーンコネクタ継手を、富津工区は、軸力卓越となる海域部(延長

表-1 セグメント仕様

	扇 島 工 区	富 津 工 区	
外 径	φ3,440mm		
仕上がり内径	φ3,000mm		
形 状	平板型RCセグメント		
厚 さ	220mm		
幅	1,200mm	1,350mm	
分 割 数	5等分割	6等分割	
鉄 筋 比	(沖積層対応) 1.65%	(洪積層対応) 0.73%	(海域部) 0.61%
			(陸域部) 1.18%
コンクリート強度	54N/mm <sup>2</sup>		45N/mm <sup>2</sup>
セグメント継手	コーンコネクタ継手	調芯機能付き 突き合わせ継手	曲りボルト 継手
リング継手	クイックジョイント継手	DS継手	
シール段数	2段		

表-2 継手仕様



約8,600m)において、締結部材のない突き合わせ継手をそれぞれ採用した。突き合わせ継手は、調芯機構としてエレクションガイド(可動鋼球：2か所/ピース)を配置しているが、コンリート面同士を直接突き合わせる完全なボルトレス構造である。

なお、富津工区の陸域部(約430m)は、水圧が小さく曲げ卓越となること、および盛土に近接し非対称荷重となることから、曲りボルト継手を適用した。

リング継手は、両工区ともピン構造である。ただし、表-2に示すとおり、詳細構造は両工区で異なる。

## 3. セグメントの構造設計

### 3-1 土水圧に対する設計

#### 3-1-1 荷重

##### (1) 通過地質

本工事における地質縦断、トンネル縦断線形およびセグメント構造設計断面位置を図-1に示す。図中の地質記号は、東京湾アクアラインにおける

地質記号<sup>2)</sup>に対応している。表-3は、東京湾アクアライン断面の20本のボーリングデータ<sup>3)</sup>をもとに設定した主要物性値(平均値)である。

地質縦断は、東京湾アクアラインなど周辺の既往地質調査資料および湾内の音波探査をもとに想定したものであり<sup>1)</sup>、また、東京湾内の海底地質は、全体として類似の環境で堆積していると考えられるため、本工事断面の地盤物性も、東京湾アクアライン断面と類似していると考えた。

このように、本工事の地質条件はルート上のボーリング調査にもとづくものではないため、土水圧荷重を検討するうえでは、次のような不確実性を有していると考えられる。

- ① 古東京谷の右岸位置(洪積層と七号地層の境界)が不明確。
- ② 古東京谷を埋積する七号地層の層相(D1・D2層境界および砂泥分布)が不明。
- ③ 洪積層(D3層、D5層)の砂泥分布が不確実。したがって、本設計では、古東京谷の谷幅に余裕を見る(右岸側約300m、左岸側約120m)とともに、各設計断面において出現の可能性が想定され

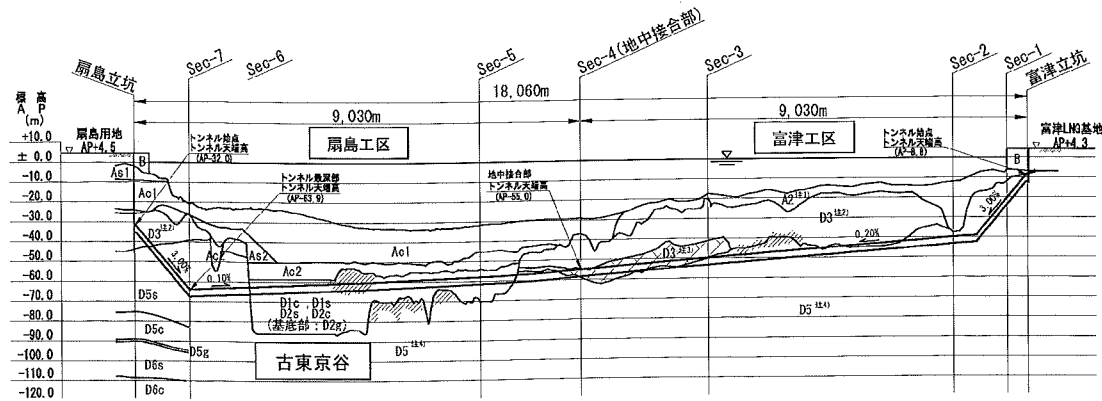


図-1 トンネル線形と設計断面

表-3 主要物性値(平均値)

	扇島工区		富津工区	
	N値	$\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> )	N値	$\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> )
Ac1	0	14.0	0	13.7
As2	21	16.6	14	19.5
Ac2	1	16.5	1	16.9
D1s	39	17.8	-	-
D1c	7	17.3	-	-
D2c	18	19.0	-	-
D2s	60	19.8	-	-
D3c	26	17.3	18	17.7
D3s	69	19.3	58	19.3
D5s	137	18.8	136	19.4
D5c	31	16.4	18	17.0

表-4 荷重算定条件

	通過地層	N値の カテゴリ	土水の 取り扱い	鉛直土圧の 考え方	$\lambda$	k (MN/m <sup>2</sup> )	
							富津工区
富津工区	Sec-1, Sec-2	D5s	30 ≤ N	土水分離	全土かぶり圧	0.35	50
		D5c	8 ≤ N < 25	土水分離	全土かぶり圧	0.50	20
	Sec-3, Sec-4	D3s, D5s	30 ≤ N	土水分離	全土かぶり圧	0.35	50
		D3c, D5c	8 ≤ N < 25	土水分離	全土かぶり圧	0.50	20
扇島工区	Sec-4	D3s	30 ≤ N	土水分離	全土かぶり圧	0.35	50
		D3c	8 ≤ N < 25	土水分離	全土かぶり圧	0.45	30
	Sec-5, Sec-6	D1s	15 ≤ N < 30	土水分離	全土かぶり圧	0.45	30
		D1s, D2s	30 ≤ N	土水分離	全土かぶり圧	0.35	50
			D1c	4 ≤ N < 8	土水一体	全土かぶり圧	0.88
		8 ≤ N < 25		土水分離	全土かぶり圧	0.475	8.75
		D2c	8 ≤ N < 25	土水分離	全土かぶり圧	0.55	10
	D2c	8 ≤ N < 25	土水分離	全土かぶり圧	0.49	22	
Sec-7	D5s	30 ≤ N	土水分離	ゆるみ土圧	0.35	50	

るすべての地質を検討対象とした。

(2) 荷重算定条件

表-4に、各設計断面の荷重算定条件を示す。土水圧の算定は、基本的に「トンネル標準示方書<sup>9)</sup>」の考え方に準じた。

ただし、鉛直土圧については、音波探査にもとづく地層構成および物性値の不確実性を考慮すると、トンネル上部でのアーチング効果の確実性は期待できないと判断し、全土かぶり圧を適用した(ただし、Sec-7はボーリングデータがあるため、ゆるみ土圧を採用した)。

土水の取り扱い、側方土圧係数 $\lambda$ および地盤反力係数 $k$ についても、基本的に「トンネル標準示方書」に従い、N値を目安に設定した。

ここで、古東京谷(Sec-5,6)におけるD1c層は中位の粘性土(4 ≤ N < 8)に分類され、土水分離あるいは土水一体の判断が設計者に求められた。

一般に、硬質でクラッキーな粘性土地盤では土水分離と考えることができるが、本工事ではコア観察などの判断材料がないため、土水一体、土水分離の両ケースを考慮することとした。

ただし、本工事のように、大土かぶり、高水圧で全土かぶり圧を考慮する場合、土水一体と土水分離とでは荷重条件としての差異が極端に大きくなることに鑑み、土水一体条件における $\lambda$ 、 $k$ を次のように考えた。

土水一体の状態が作用するのは、坑内漏水など

の場合に一時的に間隙水圧が低下するような、やや軟弱な粘性土地山と考えられるが、「トンネル標準示方書」によれば、地盤反力が期待できない場合は、施工条件を考慮したうえで、 $\lambda$ を静止土圧係数 $K_0$ まで選定することが可能である。本工事は、密閉型シールド工法で、即時注入を行い、地山を乱さない施工法であるため、地盤反力が期待できない地山であっても静止土圧を考慮することができる。このような地盤条件に対し、側方土圧係数 $\lambda$ を静止土圧 $K_0$ (=0.88)とし、地盤反力係数 $k$ は、安全をみて0 MN/m<sup>2</sup>と設定した。

3-1-2 構造計算

セグメントリングの構造計算は、「はり-ばねモデル」を採用した。ここで、継手のばね定数は、基本的に継手曲げ試験あるいは継手せん断試験の結果にもとづいて設定した(表-5)。

ただし、富津工区の突き合わせ継手の回転ばね定数については、以下のように設定した。

突き合わせ構造の継手の曲げ剛性には、従来、発生断面力の荷重偏心率に応じて変動するBetongelenkeの理論式が適用されることが多い<sup>6)</sup>。しかし、既往の突き合わせ継手に軸力を導入した曲げ試験の結果では、導入軸力が比較的小さい場合、継手の回転ばね定数がBetongelenke

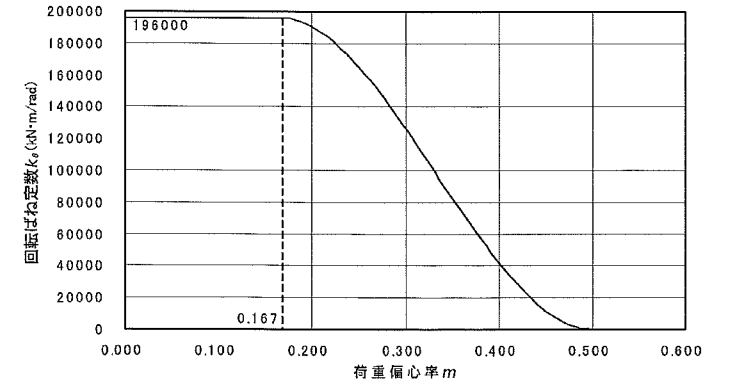


図-2 Betongelenkeの回転ばね定数

の理論式を下回るという結果が報告されている<sup>6),7)</sup>。本工事では、Betongelenkeの理論式が成立する条件に不確実性が考えられるため、セグメント継手の剛性をBetongelenkeの理論式で算出する方法(図-2)と、ヒンジ(回転ばね定数をゼロ)と考える方法の2とおりで検討した。

3-1-3 設計結果

セグメントの構造断面は、許容応力度法で設計した。突き合わせ継手セグメントの目開き量は、発生断面力をもっとも大きいSec-3において継手の剛性をヒンジとした場合でも0.7mmであり、許容値(2.0mm)以下となることを確認した。

3-1-4 施工実績

(1) 地質条件の不確実性に関する評価

本設計では、古東京谷部のD1c層に対し、土水一体荷重の可能性も考慮したが、Sec-5付近(細粒分含有率70%相当)でセグメントリングに作用する水圧を計測したところ、シールドテール脱出直後から静水圧が作用していることが確認された<sup>8)</sup>。

また、掘進時の切羽泥水圧は、両工区を通じて管理水準(静水圧+0.02MPa)が保持された。

したがって、ルート全線にわたり、テール脱出直後から静水圧が作用する土水分離条件が成り立っていたと考えられる。

(2) 突き合わせ継手セグメントの適用性評価

トンネル完成後に、富津工区の突き合わせ継手部の目開き・目違い量を計測した(データ数581リング)。目開き量は、0.5mm以上は確認できず、

表-5 各継手のばね定数

	セグメント継手回転ばね定数 (kN・m/rad)	リング継手せん断ばね定数 (kN/m)
富津工区	CASE 1 : Betongelenke の理論式 CASE 2 : ヒンジ	27,000
扇島工区		98,000

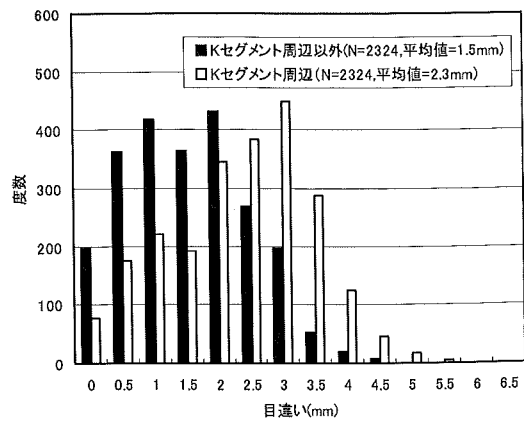


図-3 セグメント継手における目違い量の分布(実測値)

シーリング材がシーリング溝に確実に封入されていることが確認できた。

目違い量の計測結果を図-3に示す。Kセグメント周辺の平均値は2.3mm、Kセグメント周辺以外の平均値は1.5mmである。今回の突き合わせ継手では、調芯機構としての可動鋼球とガイド溝の遊びが2mmあり、締結されていないKセグメントが重力で垂れ下がることにより、Kセグメント周辺の目違いが大きくなったものと考えられる。Kセグメント周辺の目違いは、シーリング材の設計で考慮した3mmを超えるものが約2割に及んだが、漏水は認められなかった。

以上より、完全ボルトレスセグメントは、高水圧下であっても適用性に全く問題がないことが確認された。

### 3-2 地震時荷重に対する設計

トンネルの耐震設計のうち、トンネル横断方向の検討および洪積層通過部の縦断方向の検討については、基本的に「大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案)<sup>9)</sup>」の考え方にもとづく検討により、所定の耐荷・変形性能を確保した。

本稿では、扇島工区に存在する古東京谷部における縦断方向地盤急変部に対する検討について以下に述べる。

#### 3-2-1 地盤応答解析

##### (1) 設計地震動

地盤応答変位は動的解析により求め、設計地震動は、以下に示す3波を適用した。ここで、最大

加速度は、開放基盤面における値(2E)である。

- ① レベル1地震動：当該地点における確率論的手法にもとづき再現期間75年に相当する地震動を設定(袖ヶ浦波, 最大加速度230gal)。
- ② レベル2地震動：発生確率は小さいが当該地点に強い地震動を生じる可能性のあるプレート境界を震源とする南関東地震を想定して確定論的に設定(ラウニオン波, 最大加速度620gal)。
- ③ レベル2地震動：直下型地震である兵庫県南部地震における実観測波(JMA神戸波, 最大加速度818gal)

#### (2) 設計基盤面

設計基盤面は基盤岩において設定することが基本であるが、音波探査の結果からは、海域部における深部の地質構造、基盤岩の深度については不明である。そこで、D5層以深を一様地盤とした一次元モデルで、基盤面深さに関するパラメータスタディを行い、トンネル深度の地盤応答変位が収束すると考えられる深さを算定した。その結果より、AP-100mを設計基盤面とした。

#### (3) 地盤物性

動的地盤物性値は、表-3に示す静的物性値をもとに表-6に示すとおり設定した。

#### (4) 地盤モデル

地盤応答解析は、地盤急変部の影響を含めたトンネル全長の縦断方向の応答を考慮するため、富津工区、扇島工区の全体を、2次元FEMモデルで解析した。

おぼれ谷地形の地盤急変部の設計を行うにあた

表-6 動的地盤物性値

	Vs(m/sec)	G <sub>0</sub> (kN/m <sup>2</sup> )
Ac1	53	5,000
As2	140	36,000
Ac2	100	22,500
D1c,s	190	56,500
D2c,s	285	111,500
D3c,s	300	170,000
D5c,s	430	370,000

・動的特性は修正R-Oモデルによる。

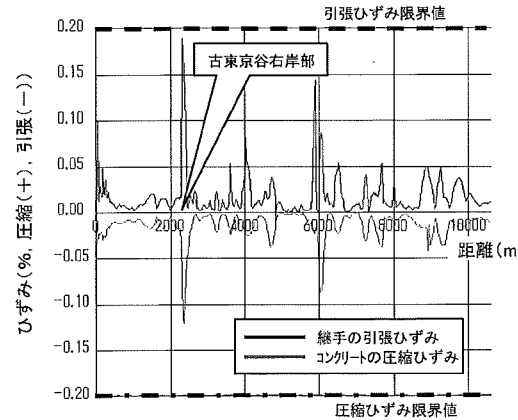


図-4 トンネル縦断方向ひずみ分布(扇島~10km区間)り、その傾斜角の影響を無視することはできない。一方、音探記録において、古東京谷右岸部は音波散乱現象のため、明確な谷地形を読み取ることが困難であった。

このため、東京湾アクアラインの地質縦断図<sup>10)</sup>において古東京谷部の地形勾配の最大値が約15°であること、本工事ルートの音探記録から読み取ることができる古東京谷内の地形傾斜の最大値が約17°であることから、古東京谷右岸部の地形傾斜角は20°と設定した。

#### 3-2-2 構造計算

構造計算は、トンネル縦断方向を等価剛性はりにモデル化し、地盤ばねを介して時刻歴地盤応答変位を入力した。

トンネル軸方向の最大ひずみ分布を図-4に示す。トンネルに発生するひずみは、コンクリートの降伏圧縮ひずみ(0.2%)、継手の降伏引張ひずみ(0.2%)をいずれも下回る。また、リング継手の最大目開き量は2.28mm(=最大引張ひずみ0.19%×セグメント幅1,200mm)であり、止水設計上の設計目開き量2.3mmを下回ることを確認した。

## 4. 止水設計

### 4-1 シーリング材の仕様

シーリング材は、「セグメントシーリング材による止水設計手引き」((社)日本トンネル技術協会(平成9年1月))にもとづいて設計した。各工区の設計条件を表-7に示す。なお、止水設計上はシーリング材1

表-7 シーリング材設計条件

	富津工区	扇島工区
設計水圧	施工時: 0.80MPa 供用時: 0.60MPa	施工時: 0.80MPa 供用時: 0.72MPa <sup>※1</sup> 地震時: 0.70MPa <sup>※1</sup>
目開き量	施工時: 1.0mm 供用時: 2.0mm 地震時: 2.0mm	施工時: 2.0mm 供用時: 2.0mm 地震時: 2.3mm <sup>※2</sup>
目違い量	3.0mm	3.0mm

※1: 供用時: 既往最大水位, 地震時: 朔望平均満潮位から設定

※2: リング継手の降伏ひずみより設定

段にて止水可能であるが、高水圧海底下であることを考慮し、両工区とも同性能のシーリング材を2段設置した。

### 4-2 シーリング材封入補助工法

シーリング材は継手ボルトなどの締結力によってシーリング溝に封入し、初期反発力を発生させる必要がある。しかしながら、富津工区の海域部ではセグメント継手に締結力のない突き合わせ継手を採用していることから、シーリング材を封入するため、次のような補助工法を採用した。

#### (1) リングサポート機構

シーリング材の封入力を確保するため、シールドテール部にリングサポート機構を装備した(写真-1)。リングサポート機構は、エアジャッキを配列し、空気圧で組み立て後のセグメントリングを等方的に締め付けることで、継手部に軸力を導入するものである。

#### (2) リングサポートの設計

シーリング材をシーリング溝に封入(目開き0に圧縮)す

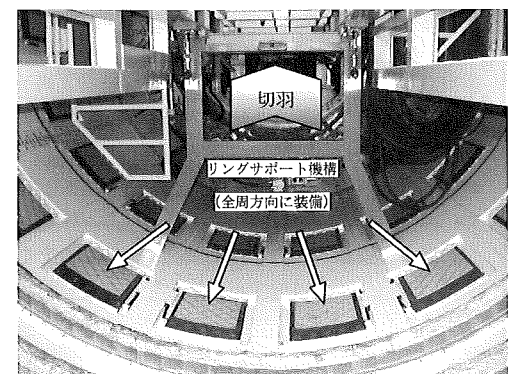


写真-1 リングサポート機構(シールドテール部)

るために必要な、半径方向のサポート締め付け力、リングサポート内圧は、以下のように算定した。

・シール材封入に必要な軸力 $N_p$

$$N_p = \sigma_c \times a \times B \times 2$$

$$= 3.10 \times 17.0 \times 1,350 \times 2$$

$$= 142,290\text{N}$$

$\sigma_c$ : 目開き 0 mm 相当の圧縮力 (MPa)

$a$ : シール材幅 (mm)

$B$ : セグメント幅 (mm)

・リングサポート締め付け力 $P$

$p = N/R$  より、

$$P \times 18 / (3,440 \times \pi \times 1,350)$$

$$= (142,290 / 1,350) / 1,720$$

$\therefore P = 50,000\text{N} = 50(\text{kN})$

$p$ : 1 リングに作用させる等圧 (N/mm<sup>2</sup>)

$N$ : 単位幅あたりの必要軸力 (N/mm)

$R$ : トンネル半径 (mm)

・リングサポート内圧

リングサポート単体による反力測定結果 (図-5) より、テールクリアランスが 30mm の場合に 50kN/箇所 の半径方向締め付け力を与えるリングサポート内圧は 0.55MPa である。

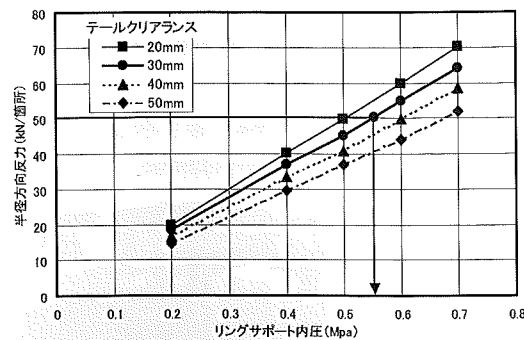
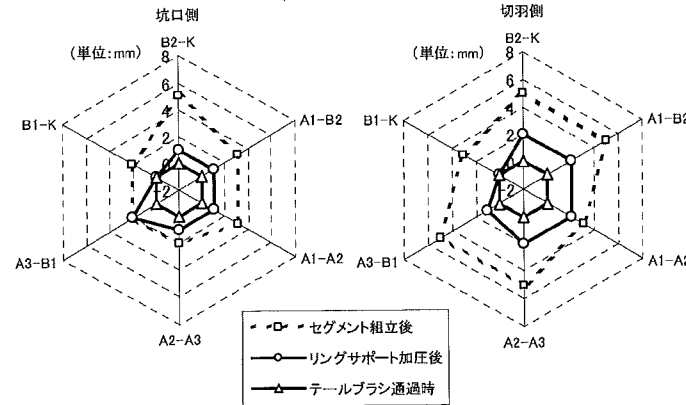


図-5 リングサポート内圧と作用反力の関係

表-8 リングサポート機構の諸元

トンネル外径	3,440mm
セグメント幅	1,350mm
セグメント分割数	6 ピース
リングサポート数	18個 (3 個/ピース)
締め付け力	50kN/個 (内圧 0.55MPa)

トンネルと地下



(4639R: 洪積砂質土区間)

図-6 シールドテール部での目開き計測結果

本工事で適用したリングサポート機構の諸元を表-8に示す。

(3) 施工実績

セグメント組み立て後にシールドテール内でセグメント継手の目開き量を実測した結果を図-6に示す。目開き量は、セグメント組み立て後、リングサポート加圧後、テールブラシ通過時の 3 回計測した。

計測結果より、組み立て直後に最大 5 mm 程度の目開きが生じていたものが、リングサポート加圧後、設計目開きの 2 mm 程度以内に収まり、テールブラシ通過時にさらに目が閉じることが確認できた。

5. 耐久性設計

当該工事は海底トンネルであるため、とくに塩害に対する耐久性を確保する必要がある。

塩害に対する検討は、「コンクリート標準示方書<sup>11)</sup>」の考え方に準拠し、耐用年数 50 年後の鉄筋位置における塩化物イオン濃度が腐食発生限界以下になる必要かぶりを求め、設計かぶり (配力筋の純かぶり) を 50mm とした。

6. おわりに

本工事のトンネル覆工は、地質条件の不確実性、ボルトレスセグメントの採用などに伴い、標準的な設計手法や過去の設計実績の範囲に収まらない技術的課題があったが、本論で示した検討に

より、安全に施工ができ、所定の要求品質を十分満足する成果が得られた。

参考文献

- 1) 富所達哉・高橋聡・野口和博: 東京湾海底地質の想定と実際, トンネルと地下, Vol.37, No.7, pp.7-17, 2006.7.
- 2) 飯野昇・植野良二: 東京湾横断道路の地質, 地盤, 基礎工, 1993.1.
- 3) 建設省関東地方建設局東京湾岸道路調査事務所: 東京湾湾中部地質調査報告書, 1973.3.
- 4) 土木学会: トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説, 1996.
- 5) 例えば, (財)先端建設技術センター: 先端建設技術・技術審査証明 報告書 ほぞ付きセグメント工法, 1997.3.

- 6) 小泉淳・藤沼聡・伊度植: 軸力と曲げを受けるセグメント継手の回転ばね定数に関する実験研究, 土木学会第54回年次学術講演会, III-B100, 1999.9.
- 7) 松本清治郎・古市耕輔・桑原泰之・藤野豊・佐久間靖: 突合せ継手構造をしたセグメントピース間継手の評価方法と設計手法に関する提案, トンネル工学研究論文・報告集, 第10巻, 2000.11.
- 8) 斎藤仁・中島崇ほか: 東京湾海底下七号地層におけるセグメントの荷重計測結果について, 第60回土木学会年次学術講演会, 2005.9.
- 9) 川島一彦・杉田秀樹・中島燈: 大規模地下構造物の耐震設計法・ガイドライン(案), 土木研究所資料, 第3119号, 1992.3.
- 10) 松田馨余: 東京湾と周辺の沖積層, 東京湾の地形・地質と水 第3章, 築地書館, p.83, 1993.
- 11) 土木学会: 2002年制定 コンクリート標準示方書 [施工編], 2002.

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

B5判 285頁 本体価格4,660円 円340円

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

【目次】第一章 概説 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性 第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法 第三章 設計・施工編 1. 覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術 2. 立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○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○新工法の現況と将来展望○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

〔特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事〕

# 長距離シールドの設計・施工におけるリスクマネジメント

東京電力(株)富津火力建設所導管施工/技術管理グループマネージャー 富 所 達 哉  
 東京電力(株)建設部土木・建築技術センター火力原子力土木技術グループ副長 権 守 英 樹  
 鹿島・西松・大林共同企業体主任技術者 米 沢 実 聡  
 大成建設(株)東京支店土木部主任 守 田 聡

## 1. はじめに

東西連係ガス導管新設工事は、1台のシールドによる掘進延長9.0kmという過去に類のない長距離施工であること、全線の約9割が0.4MPa以上の高水圧海底下での施工であること、およびルート上の地質が不確実性を有すること<sup>1)</sup>から、通常の工事に比べて多くのリスク要因が考えられた。加えて、本工事は、通常シールド工事のおよそ2倍の速さである平均月進量500m以上を確保する計画であった。したがって、万一大きな施工トラブルに陥ると、大幅な工程遅延、ひいては工事中断・中止を余儀なくされるおそれがあった。

そこで、本工事では、設計・施工の各段階において、潜在するリスク項目を洗い出し、トラブル発生の可能性を極力解消・低減する対策を講じるとともに、万一のトラブル発生に備えたバックアップなどを考慮するという、リスクマネジメントが不可欠であった。

本稿は、主に、シールドのカッタビット、カッタ軸受けシール、テールシールといった、長距離施工によって摩耗・損傷しやすく、かつ、地山との境界に位置するため掘進途中での修理などが困難な部位について、十分な耐久性を確保するための検討、施工管理および施工実績について述べるものである。

## 2. シールドの設計

シールドの設計では、カッタビット、カッタ軸受けシール、テールシールなどの重要部位ごとに、仕様・設計の根拠を明確化するとともに、過去の類似工事でのトラブル事例などをもとに、施工リスクとなるトラブルモードを頻度の大小を問わず徹底的に抽出した。次に、FTA分析により、これら各トラブルモードの原因となる弱点はどこにあるかを究明し、改良・改善を行って信頼性向上を図った。

さらに、改善後の設計仕様に対して、解消しきれない不確実性に伴うリスクを再評価し、バックアップや施工管理方策を検討した。

以下に、各部位ごとにその概要を述べる。

### 2-1 カッタビット

#### 2-1-1 カッタビットの耐久性検討

本工事のシールドは外径3.6mと小口径であり、大がかりなカッタビット交換機構などを装備することは困難であったため、基本的にビット交換を行わずに9kmを掘進することを目標とした。

#### (1) チップ材の仕様

本工事のカッタビットに装着するチップ材は、耐摩耗性(硬度)、耐衝撃性(抗折力)ともに優れ、近年、長距離施工での適用実績が増えつつあるE3種(Sinter-HIP相当品)を採用した。

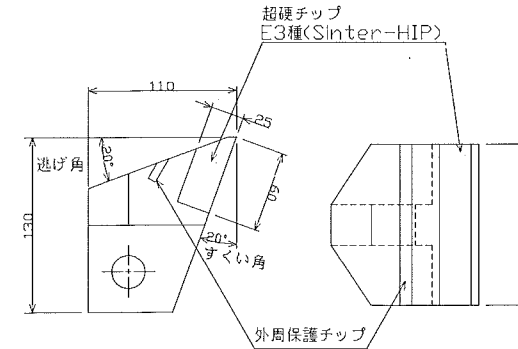


図-1 メインビット形状(富津工区)

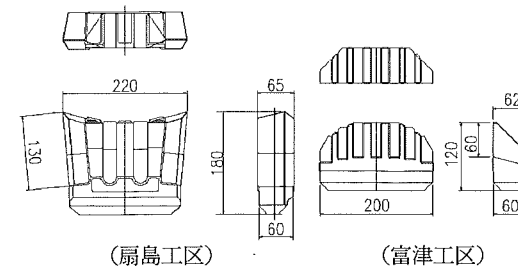


図-2 先行ビット形状

図-1に、富津工区のマインビットの形状を示す。チップのビットへの取り付け方法は、地山と接する面積が大きくとれるプレートタイプとした。

チップ長は長距離対応としてできるだけ長い方が望ましい。本設計では、1枚のチップをロウ付け可能な実績最大値(チップ材の加熱ひずみ防止)として、チップ長60mm、厚さ25mmとした。

このチップ形状に対し、切り込み深さの確保、ロウ付け部の脱落防止等を考慮し、許容摩耗量を26mmと設定した。

#### (2) 先行ビット

本工事では、比較的硬質な洪積層を長距離区間掘削し、また、砂礫層の出現も予想された<sup>2)</sup>ことから、マインビットの耐摩耗負荷を軽減するため、マインビットの同パス上に先行ビットを配置した。先行ビットとマインビットの高低差は、富津工区は50mm、扇島工区は70mmである。

また、先行ビットの形状は、図-2に示すように、富津工区では、硬質地盤および砂礫層に対して切り込みやすく、耐久

性も高い多段シェル型とし、扇島工区では、立坑発進時の仮壁切削(石灰石コンクリート)、および礫層に対する耐衝撃性を考慮し、幅広形状とした。

#### (3) 想定摩耗量

カッタビットの想定摩耗量は次式で算定される。

$$\delta = k \cdot \pi \cdot D \cdot N \cdot L / V$$

$\delta$ : 摩耗量(mm)

$k$ : 摩耗係数(mm/km)

$D$ : シールド外径(mm)

$N$ : カッタ回転数(min<sup>-1</sup>)

$L$ : 掘進距離(km)

$V$ : 掘進速度(mm/min)

表-1に示すとおり、本設計に適用したマインビット(E3種(Sinter-HIP相当品))の摩耗係数は、複数メーカーの掘進実績をもとに土質別に設定した。

先行ビットの摩耗係数は、マインビットの2~3倍程度との既往実績をもとに、富津工区では、マインビットの3倍、扇島工区では、一律40×10<sup>-3</sup>mm/kmに設定した。

なお、想定摩耗量の算定にあたって、先行ビットによる保護効果を考慮して、先行ビットの摩耗量がマインビットとの高低差に達するまでは、マインビットの摩耗係数を表-1に示す値の1/2と評価した。

撓動距離がもっとも長い最外周マインビットの想定摩耗量と許容摩耗量を表-2に示す。両工区とも、想定摩耗量を許容摩耗量以下に抑え、ビット交換なしに9kmの掘進が可能な設計とした。

表-1 ビットの摩耗係数(E3種(Sinter-HIP))

単位:(×10<sup>-3</sup>mm/km)

	富津工区		扇島工区	
	マインビット <sup>※1</sup>	先行ビット	マインビット <sup>※2</sup>	先行ビット <sup>※2</sup>
シルト・粘土	2.0	6.0	1.7	40.0
砂質土	6.0	18.0	7.2	
砂礫	10.0	30.0	12.2	

※1: シールドメーカー6社のE5種の施工実績のうち、最大値・最小値を除いた平均値の1/2を採用。

※2: シールドメーカー2社のE3種の施工実績のうち最大値を採用。

表-2 最外周メインビットの想定摩耗量

	想定摩耗量 (mm) (A)	許容摩耗量 (mm) (B)	余裕率 (B/A)
富津工区	18.6	26.0	1.4
扇島工区	15.7	30.0	1.9

2-1-2 不確実性要因とその対策

上記の検討は、想定摩耗量を、摩耗係数と摺動距離の単純な積だけで表しており、精度はきわめてラフである。

硬質地盤を長距離掘進した既往工事(泥水式、4件)の設計実績を調査したところ、メインビット摩耗量の余裕率(=許容摩耗量/想定摩耗量)が小さい工事では、最大摩耗量が許容摩耗量近くまで達する事例があることがわかった。本工事の余裕率1.4~1.9は、既往設計実績と比べて低いレベルにあるため、ビットの異常摩耗時には、許容摩耗量を侵すリスクが残ると考えられた。

そこで、異常摩耗発生リスクの低減、および、万一の異常摩耗発生時のバックアップとして、以下に示す対策を講じた。

(1) カッタ可変速システムの採用

無駄な摺動によるカッタビットの摩耗を防ぐため、ビットの切り込み深さを所定の値(富津工区で15mm、扇島工区で20mm)に保つよう、カッタ回転数を掘進速度に合わせて変化させるカッタ可変速システムを採用した。

(2) 土砂取り込み効率の向上

ビットの摩耗量は土砂の取り込み効率と密接な関係があり、カッタディスク上での土砂の滞留がビットの切削抵抗を増加させると考えられている。

両工区とも、最外周部からの土砂の取り込み効率を向上させるため、カッタ外周リングを省略した。また、土砂が流れやすいように、最外周ビット、中間リングなどは、チャンバおよびスリット方向へ傾斜をつけた形状に加工した。富津工区では、ルート上の後半に出現が予想された硬質粘性土層対応として、土圧式シールドにおいて適用実績が多いパイプフレーム式スポークを採用した(写真-1)。

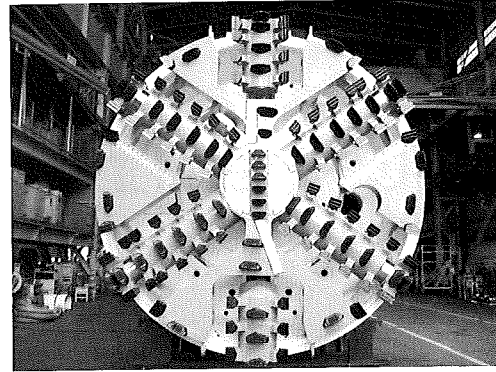


写真-1 カッタディスク(富津工区)

この結果、カッタ開口率は、富津工区では42%、扇島工区では43%と、既往の泥水式シールドの開口実績と比較して最大に近い値となった。

(3) 伸縮スポーク式バックアップビット

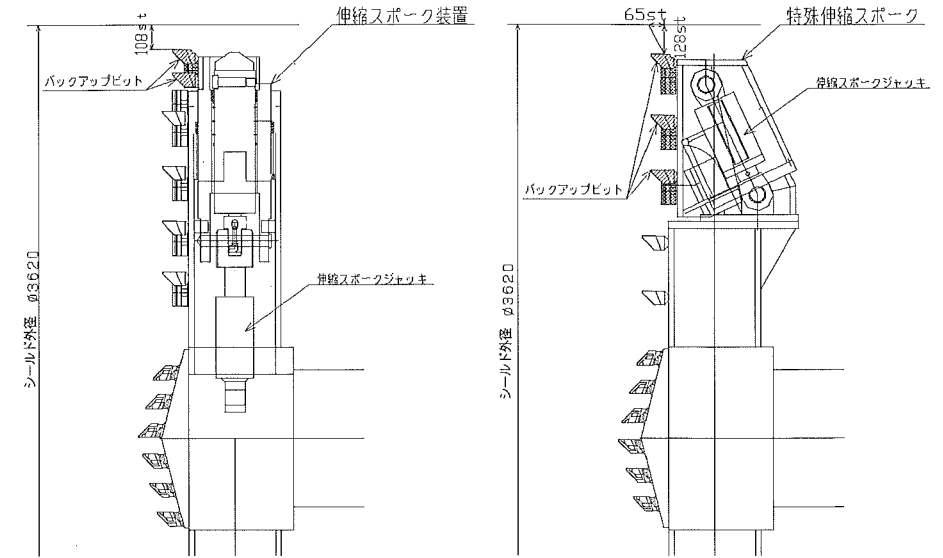
本工事のシールドは、機械式地中接合時にカッタヘッドとバルクヘッドからなる内胴をシールド本体(外胴)に収納または押し出す機構を適用しているため、カッタヘッド径が本体径より一回り小さく、最外周ビットは伸縮スポーク上に配置されている。

伸縮スポークは6本あるが、掘進中これらすべてを同時に使用すると、一斉に摩耗するおそれもある。そこで、伸縮スポーク上のビットは、スポークを縮めた状態では、面板および固定スポーク部のビットに保護されるように配置し、6本のスポークのうち、通常は、富津工区では2本、扇島工区では3本のみで掘削し、他のスポークは縮めてビットを温存し、バックアップとした。

富津工区の伸縮スポークを図-3に示す。

富津工区では、ルート後半に土丹層の出現も予想され、その時点で内周側のビット摩耗も進んでいると負荷が増大するおそれがあることから、2本のスポークは内周部のビットを含め、斜め前方に伸張できる機構(特殊伸縮スポーク)とした。特殊伸縮スポーク上のビットは、スポーク収縮状態では他のビットの40mm後方に控えて保護され、スポークを伸張すると、他のビットの25mm前方にせり出し、先行掘削を行う。

なお、最外周メインビットには摩耗検知機構を



(伸縮スポーク)

(特殊伸縮スポーク)

図-3 伸縮スポーク(富津工区)

装備し、バックアップビットへの切り替え時期を監視した。摩耗検知ビットは、富津工区では油圧式(検知摩耗量10, 15, 20mm)、扇島工区では油圧式(検知摩耗量30mm)に加え、最外周より360mm内側の先行ビットで超音波式による随時計測を行った。

(4) 万一の場合の対策

バックアップビットを含めた異常摩耗などにより掘進困難に陥った場合は、切羽前面地盤を凍結して機外からビット交換ができるよう、あらかじめ、バルクヘッド背面に放射凍結管用バルブを装備するとともに、メインビットはボルト取り付けとした。

2-2 カッタ軸受けシールド

2-2-1 カッタ軸受けシールドの耐久性検討

カッタ軸受けシールドは、掘進中の修理、交換がきわめて困難な部位である。カッタ軸受けシールドの設計上の課題は、長距離掘進に伴う耐摩耗対策、および連続高稼働に伴う高温劣化対策である。

(1) 耐摩耗対策

1) 軸受けシールドの構造

本工事では、両工区とも軸受けシールドの摺動距離が短いセンターシャフト構造を採用した。

また、扇島工区では図-4に示すように、軸受け

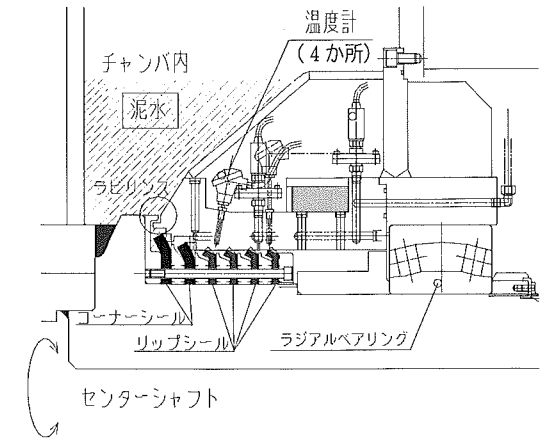


図-4 軸受けシールド構造(扇島工区)

シールド切羽側に、チャンバからの粗粒土砂の侵入を防ぐラビリンス、および細粒土砂を防ぐコーナーシールドを配置し、異物侵入に対する安全性をより向上させた。

2) 耐摩耗性評価

実機と同等の条件を有する試験機を使用して高周速摺動試験を実施し、シールド摩耗量を推定した。試験結果から距離比換算により求めた本工事の想定摩耗量は、富津工区で0.1mm、扇島工区で0.2mmと許容摩耗量5mmに対して十分に小さく、長距離摺動に対しても、シールドの耐摩耗性は確保されると判断した。

3) グリス供給の信頼性向上

シールの異常摩耗を防止するためには、シール部への連続的な給脂を行うことが不可欠である。両工区ともグリスの供給機構には、ラインが閉塞・漏油した場合に警報を発する機能を装備し、その信頼性向上を図った。

また、給脂圧の管理値を設け、管理値を下回った場合には、掘進を停止させるインターロック機構を装備した。

(2) 高温劣化対策

本工事は、従来工事に比べ連続高稼働条件にあることから、軸受け部の発熱によるシール性能の劣化がより顕著に進行することが懸念された。

対策として、富津工区では耐熱・耐久性の高いフッ素ゴムシールを採用した。フッ素ゴムシールはTBMなどの山岳トンネルでの実績は多いが、泥水式シールドへの適用は今回が初めてである。

扇島工区は、泥水式シールドで実績の多いニトリルブチルゴムシールを使用し、温度上昇対策としてウォータージャケット型冷却装置を装備した。

2-2-2 不確実性要因とその対策

軸受けシールには、本工事に匹敵する連続・高稼働条件での施工実績がない。そのため、耐熱・耐久性評価は、既往の室内試験データを外挿して評価しており、不確実性を伴う。そこで、施工時に土砂シール部の温度を計測し、異常高温による劣化防止を管理した。管理値は、両工区とも実機と同等の条件を有する試験機を用いた高周速摺動試験における平衡温度を設定した。

2-3 テールシール

2-3-1 テールシールの耐久性検討

テールシールについては、既往工事において裏込め材の侵入、ブラシの反転などに起因する漏水トラブルが発生しており、これらの防止が設計・施工上の課題である。

(1) ウレコンシールの採用

本工事では、従来型のテールシール(ワイヤブラシ型)に比べて、裏込め材の侵入防止効果が高く、シール自体の弾性を長期的に維持できるウレ

コンシール<sup>2)</sup>を装備した。また、ブラシの材質も耐塩性に優れたステンレス鋼線とした。

(2) テールグリスの供給管理

テールブラシの摩耗、およびブラシ間への裏込め材の侵入を防止するためには、テールグリスの供給を確実にを行う必要がある。

テールシール4段間の3室におおの4か所ずつの注入口を設け、12本の独立した給脂ラインを通して自動給脂を行った。

必要給脂量は、掘進速度85mm/分でテールブラシとセグメント間に0.3mmのグリス膜が作れる量を基準とし、その3倍の量を管理値(通常工事の2~3倍)とし、注入ポンプのシリンダーストロークを作業片番ごとに計測することによって管理した。

2-3-2 不確実性要因とその対策

万が一、テールシールが損傷し、異常出水が生じた場合は、切羽側2段のシールを交換する計画とした。

3. 施工実績

3-1 カッタビット

3-1-1 施工時計測結果

図-5は、扇島工区の超音波式摩耗検知ビット(最外周より360mm内側の先行ビット)による計測結果であり、掘進終了時点での摩耗量は約5mmと、最外周先行ビットの想定摩耗量の1割にも満たない程度であった。

また、富津工区の油圧式摩耗検知ビット(最外周メインビット)では、掘進完了まで10mmの摩耗が検知されることはなかった。したがって、両工

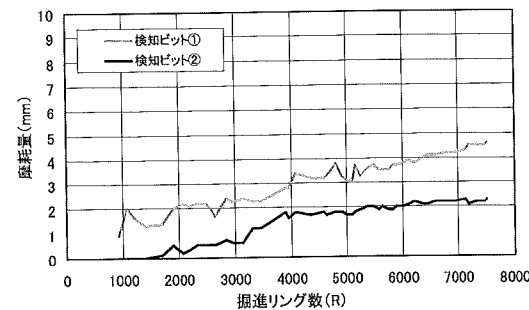


図-5 超音波式摩耗検知ビット計測結果(扇島工区)

表-3 最外周ビット最大摩耗量調査結果

	先行ビット		メインビット	
	想定	実績	想定	実績
富津工区				
摩耗量(mm)	61.3	31.0	18.6	4.0
摩耗係数(×10 <sup>-3</sup> mm/km) <sup>※1</sup>	14.8	6.61	4.48	0.85
累積回転数(回)	361,200	407,674	361,200	407,674
摺動距離(km)	4,153.2	4,687.5	4,153.2	4,687.5
扇島工区				
摩耗量(mm)	80.1	19.0	15.7	0
摩耗係数(×10 <sup>-3</sup> mm/km) <sup>※1</sup>	23.2	3.72	4.55	0
累積回転数(回)	302,842	445,076	302,842	445,076
摺動距離(km)	3,453.6	5,103.6	3,453.6	5,103.6

※1: 摩耗係数は9,030mの延長で平均した値。

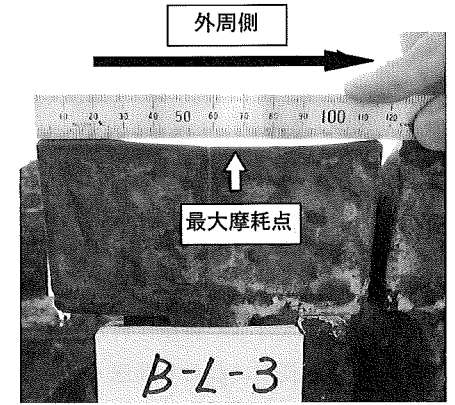


写真-2 メインビット摩耗状況(富津工区)

区とも当初の最外周ビットだけで9kmを掘進することができ、伸縮スポーク式バックアップビットに交換することはなかった。

3-1-2 解体後のビット摩耗調査結果

シールド解体後に、カッタヘッド、ビットの損傷状況を調査した。最外周ビットの最大摩耗量を表-3に示す。両工区の先行ビット、メインビットとも実績摩耗量は想定摩耗量を大きく下回った。

摩耗量が少なかった要因として、富津工区では当初の地質想定に比べて粘性土卓越地盤が大幅に長かったことが挙げられる。扇島工区は、もともと七号地層で粘性土卓越が想定される地盤条件でありながら、先行ビットの摩耗係数をかなり安全側に設定したためと考えられる。なお、設計では、メインビットの摩耗係数は先行ビットの保護下では1/2と設定したが、富津工区の実績値から、メインビットの実績摩耗係数0.85(×10<sup>-3</sup>mm/km)は、地質の想定違いを考慮して補正した想定値4.48(×10<sup>-3</sup>mm/km)×6.61/14.8=2.0(×10<sup>-3</sup>mm/km)の半以下に過ぎず、先行ビットの保護効果は想定以上に高かったことがわかる。

また、写真-2に示すように、富津工区のメインビットの摩耗状況は、両端部に比べて中央部付近の摩耗量が大きくなる傾向が見られた。これは、摩耗しやすいメインビットの両端部を保護する目的で、図-6に示すように、先行ビットの軌跡がメインビットの両端部をカバーするように配置した効果と考えられる。

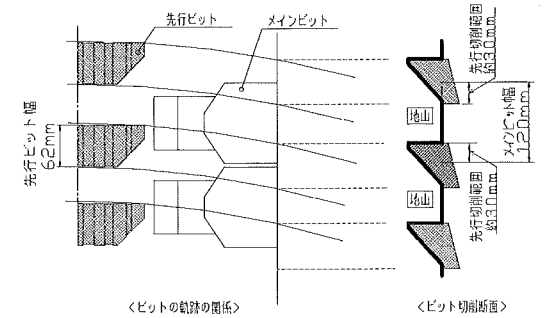


図-6 先行ビットとメインビットの軌跡の関係

同様の傾向として、扇島工区では、先行ビットが幅広形状で、その軌跡がメインビットをすべて保護する配置とし、かつ、メインビットとの高低差が70mmあるため、メインビットに摩耗は発生しなかった。すなわち、扇島工区では先行ビットで切り込みを入れて、メインビットですくうという掘削メカニズムではなく、先行ビットが掘削の主体をなし、メインビットは背後で温存されたバックアップの位置づけにあったと評価される。

3-1-3 ビットの耐久性評価

最外周ビットの交換なしに到達できたこと、カッタ全体で異常摩耗が発生しなかったことから、本工事の設計は、施工リスクを回避できたという点で妥当であった。

摩耗が抑えられた要因としては、摩耗係数を十分安全側に見積り、大型先行ビットによるメインビットの保護効果および土砂取り込み効率の向上による切削負荷の低減効果が有効に働いたためと考えられる。

### 3-2 カッタ軸受けシール

#### 3-2-1 施工時計測結果

図-7に扇島工区の土砂シール温度の経時変化を示す。

土砂シールはカッタ回転速度、供給する泥水温度などの影響を受け変動したが、発熱最高温度は46℃であり、管理値60℃に対して余裕を持って推移した。機内からの観察においても、軸受けシール部からの漏水は全く確認されなかった。

約1年半の長期にわたり高速・高稼働条件での掘進を続けたが、軸受けシールの温度を適切に管理したことにより、シール性能の劣化を防ぎ、安全に掘進を完了することができた。

#### 3-2-2 解体後のシール摩耗調査結果

解体後に調査した軸受けシール材リップ部の摩耗量は、両工区とも0.1mm以下の微量であった。

#### 3-2-3 軸受けシールの耐久性評価

著しいシールの摩耗および物性の劣化は発生し

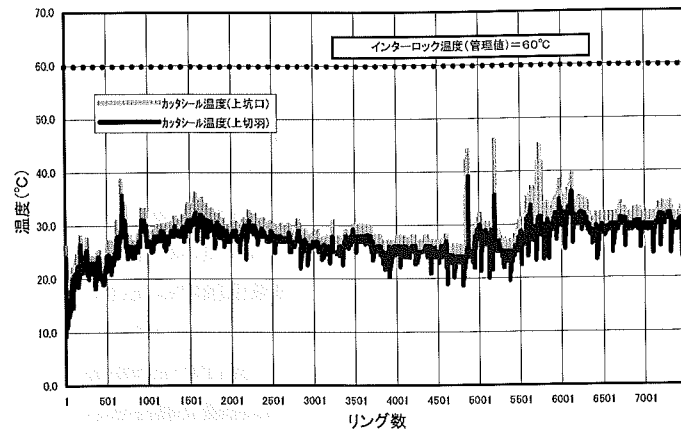


図-7 軸受けシール温度計測結果(扇島工区)

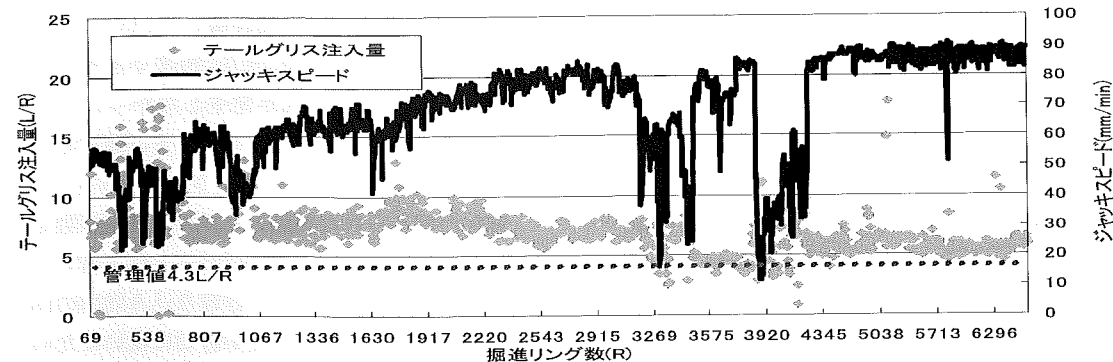


図-8 テールグリス注入量(富津工区)

ておらず、シール材の材質、構造の選定およびグリス給脂などの施工管理が適切であったため、施工リスクを回避することができたと考えられる。

#### 3-3 テールシール

富津工区のテールグリス注入量の管理実績を図-8に示す。

図中にはジャッキスピードを併記したが、ジャッキスピードが大きく変動した区間(礫層通過区間)においても、連続的な注入不足を発生させることなく注入を行うことができた。

テールシールからの漏水は微量であり、交換することなく掘進を完了することができた。

扇島工区では、掘進中にセグメントグラウトホールから目視によりテールシールの状況を確認したが、グリス室には被圧された地下水や裏込め材の混入は確認されず、テールブラシの損傷も軽微なものであった。

## 4. おわりに

シールド重要部位の設計および施工管理において的確なリスクマネジメントを行った結果、事前に抽出された大きなトラブルリスクのほとんどすべてを回避することができ、過去に類のない9kmの長距離海底掘進を無事完了することができた。

従来、シールドの耐久性について定量的に評価できるデータ、基準は不十分であったが、本工事成果をさらに詳細に分析し、より信頼性が高く、合理的

なシールド設計法の確立を目指したい。

未筆ながら、本工事のシールドの設計、製作および保守管理において、富津工区では川崎重工業(株)、扇島工区では石川島播磨重工業(株)の関係各位に多大なるご協力をいただいた。

ここに、深く感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 富所達哉・高橋聡・野口和博：東京湾海底地質の想定と実際、トンネルと地下、Vol.37, No.7, pp.7-17, 2006.7.
- 2) 有泉 毅・五十嵐寛昌ほか：高耐久性新型テールシールの開発、トンネル工学研究論文・報告集第7巻, 1997.11.

P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ著

# 地下水の科学

各B5判  
全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

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

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

### <第I巻 主要目次>

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

### <第II巻 主要目次>

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

### <第III巻 主要目次>

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

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

〔特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事〕

## 長距離シールドにおける高速施工(富津工区)

鹿島・西松・大林共同企業体主任技術者 米 沢 実  
 鹿島・西松・大林共同企業体現場代理人 隈 部 毅 彦  
 鹿島・西松・大林共同企業体 齊 藤 祐 輔  
 東京電力(株)東扇島火力発電所導管統括技術管理グループマネージャー 黒 崎 秀

### 1. はじめに

東西連係ガス導管新設工事は、立坑工事、約9.0kmのトンネル工事、地中接合、トンネル内仮設備の撤去までの工事規模に対し、その工期は37か月と非常に短い。そのため、本掘進時の計画月進量は533m/月と既往のシールド工事に比べて約2倍の高速掘進を行う必要がある。

また、本工事はルート上の地質条件に不確実性を有し<sup>1)</sup>、海底下の高水圧(最大0.6MPa)という施工条件に加え、トンネル内径が3.0m(写真-1)と小口径であり、資機材搬送などの高速化を行ううえでも制約を受ける。

本稿は、当工事で安定した高速掘進を維持するために実施した方策と施工実績を報告するものである。



写真-1 坑内状況

### 2. 計画の方針

安定した高速掘進を行うために以下の3つの方針で計画を立案した。

- ① 各設備の能力を向上する。
- ② 掘進の稼働率を上げる。
- ③ 想定外事項対応の余裕工期を確保する。

### 3. 計画内容

#### 3-1 各設備の能力向上

##### 3-1-1 シールド

##### (1) 掘進

掘進工法は、高水圧下での長距離掘進を考慮し、泥水式シールド工法とした。シールドは最大掘進速度90mm/minが可能な仕様とし、あらゆる地盤において平均掘進速度85mm/minで掘進することを目標とした。とくに、後半7km以降に予想される固結シルト層でのカッターヘッドおよびチャンバの閉塞防止対策として、泥水式シールドとしては異例の42%という大きな開口率を確保し、スポークは、土圧式で採用されることが多いパイプフレーム式とし、カッターヘッドとスポーク間の補強リングおよびカッターヘッド部分の最外周部分は必要最小限に留めた。

また、掘進速度が確保できない場合に備えて、ダブルジャッキ式組立同時掘進機能を装備した(図-1)。シールドは、中胴部にスライドする内胴を装備しており、掘進ジャッキおよび組立

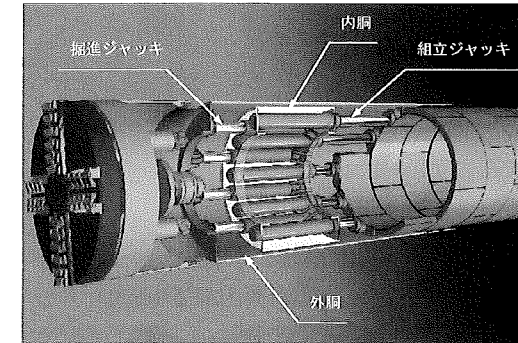


図-1 ダブルジャッキ式組立同時掘進機能

ジャッキが配置されている。同時掘進中は、既設セグメントに対して内胴が停止しているため、通常のシールドと同じ作業条件でセグメントの組み立てを行うことができる。

本工法は、内胴が偏芯モーメントに抵抗し、各ジャッキに緩やかな圧力勾配を発生させること、ジャッキ長が通常と変わらないことから、セグメントに悪影響を与えないことが特徴である。

また、掘進ジャッキを縮めた状態で固定すれば、通常の逐次掘進を行うことが可能である。

##### (2) エレクタ

組立時間の短縮を図るため、セグメントは1パス組み立てが可能なセグメントを採用した<sup>2)</sup>。セグメント組み立て時のジャッキ引速度を3,000mm/min(4本同時引き時)に設定し、セグメント把持位置への次ピースの供給は供給テーブル方式を採用してアイドルタイムの短縮を図った。また、把持装置は回転式とし、人が介在することなく短時間で把持、解放ができるようにした。

##### (3) リングサポート機構

テーブルプレート部にエアージャッキによりセグメントを等方的に締め付けるリングサポート機構を装備した。リングサポート機構には、突き合わせ継手部のシールド材を封入する効果に加え、既設セグメントの真円度を高めることにより組立時間を短縮する効果を期待した。

##### 3-1-2 セグメント

セグメント構造は、鹿島で開発したQB(Quick Block)セグメント(写真-2)を採用した<sup>2)</sup>。

セグメント幅は高速施工を考慮し、坑内で回転



写真-2 QBIIセグメント

可能な最大幅である1,350mmとした。

セグメント継手は、組み立て時の仮設ガイド機能を有しているのみの突き合わせ構造であり、継手締結時間がなく、位置合わせを短時間で行うことが可能である。リング継手は、既設リングの皿ばねワッシャーに組立リング側のオスピンボルトを挿入して嵌合させる構造であり、エレクタの摺動力で締結が可能であるため、組立時間の短縮に大きく寄与するものである。

##### 3-1-3 資機材搬送設備

立坑上から坑内までのセグメント、床版の搬入は、ドーリー～リフト～セッターの順で自動搬送を行う計画とした(図-2)。

坑内資機材搬送を行うバッテリーカーは、坑内運行速度を11km/hに設定し、1編成で2リング分の資材が搬送可能なように、6tバッテリーロコ(重連)と5台の資材台車および1台の人車の組み合わせとした(図-3)。

立坑下のセッターおよび切羽のリフトアップ台車で2リング分のセグメントと床版を一括して積み込み、荷降ろしを行い、搬送サイクルタイムを短縮することで、9km地点においても3編成で搬送可能な設備とした(写真-3,4)。バッテリーカー編成数を最小限にすることで、坑内の安全性の向上、トラブル頻度の削減、離合箇所削減による掘進稼働率の向上を目指した。

##### 3-1-4 泥水輸送設備

泥水輸送設備は、地質条件の不確実性を担保するために、砂100%、粘土100%のどちらの場合で

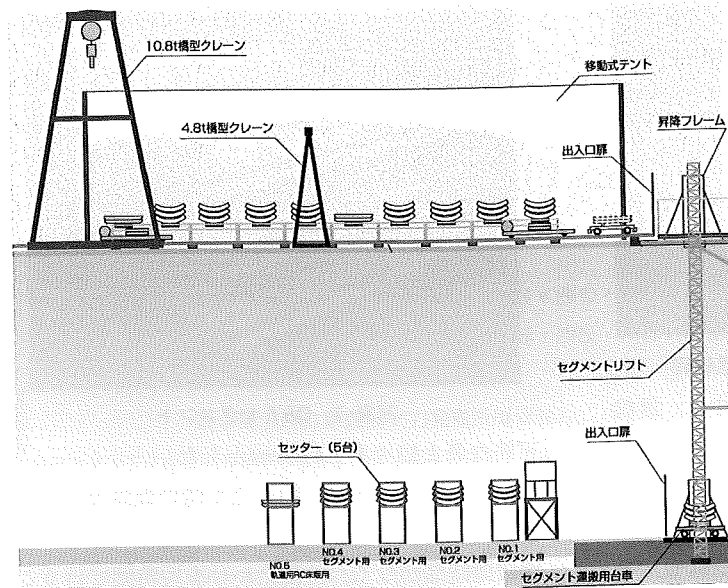


図-2 資機材搬送設備

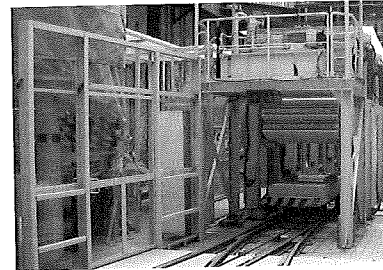


写真-3 立坑下セッター

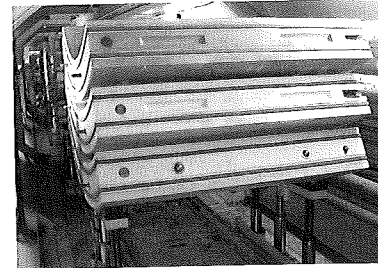


写真-4 リフトアップ台車

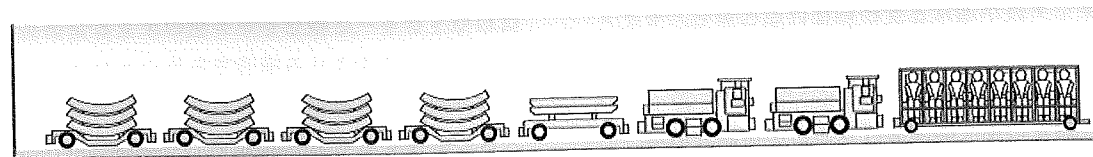


図-3 バッテリーロコ編成図

も平均掘進速度85mm/minで掘進が可能な設備計画とした。送泥管8B, 排泥管6Bとし, ホースドラムを2連で使用する事で配管2本分12mごとに延長作業を行うようにした。また, 中間バイパスを2, 4, 6kmの3か所に配置し, 延長作業中にもバイパス運転を行うこととした。

### 3-1-5 泥水処理設備

泥水処理設備も地質条件の不確実性を担保し, 平均掘進速度に対応できるように計画した。調整槽を3基設置し, 1基目を戻りの泥水受け用, 2基目を比重・粘度調整用, 3基目を調整済み泥水の送泥用とし, 調整槽での泥水滞在時間を長く取り, 連続掘進時にも確実に泥水調整が行えるようにした。その結果, 設備規模はφ10m級の泥水シールドと同等の規模となった。

### 3-2 掘進の稼働率向上

#### 3-2-1 バッファー機能の充実

搬送設備のトラブルによる掘進への影響を最小限に抑えるために, 各所にストック機能を設け

た。切羽付近に4リング, 立坑下にセッターで2リング, 立坑上はドーリーで2リングのストックを確保した。立坑上~切羽間の搬送設備の一部が停止した場合は, ストックされたセグメントで掘進し, 復旧後は回復運転を行うことで通常状態に戻れるようにした。

#### 3-2-2 トラブル, 故障の削減

設備の故障, トラブルの発生を削減するために1回/月メンテナンス日を設けて, 各設備の専門業者による定期点検を行うこととした。通常は1回/月の割合で土曜日を点検日に当てることとした。

また, 万が一トラブルが発生した場合に, 迅速な対応が可能ないように各設備の予備部品を交換頻度, 納期などを勘案し, あらかじめ現場内に準備しておくこととした。

掘進への影響が大きい送排泥ポンプの軸受けシールには軸封水式メカニカルシールを採用し, 交換頻度を低減させることとした。

泥水処理設備のローヘッドスクリーンを2基設置し, 1基は予備として交互にメンテナンスを行いながら使用する計画とした。

バッテリーカーの運転は, 長距離運転時の人的ミスの排除を目的として, 軌道上に設置されたIDタグと坑内300mごとに設置されたSS無線アンテナによる無人自動運転方式とした。

#### 3-2-3 段取り替え回数の削減

##### (1) 中継設備の設置

中継ポンプ設備の設置作業による掘進停止日数の削減を図るため, 送排泥ポンプは, 高揚程ポンプ(57.5m)を採用した(送泥ポンプ3台, 排泥ポンプ13台)。

また, 掘進中でも設置準備作業が可能ないように送排泥管上に架台を設置し, その上に各中継設備を設置する工夫を行い, 掘進停止日数が最小限になるようにした。

##### (2) 離合箇所

離合箇所の設置作業は送排泥管などのすべての配管を盛替え, 新たな分岐器および待避線の設置が必要であり, 時間を要する作業である。離合箇所は2, 4, 6kmの3か所に留め, 掘進停止日数の削減を図った。

### 3-3 想定外事項対応の余裕工期の確保

#### 3-3-1 3交替施工による余裕工期の確保

本掘進開始から4,000mまでは, 想定外事項への対応期間を確保するために3交替施工を行うこととした。予定どおり想定外事項への対応期間が確保されれば, 4,000mからは通常の2交替施工を行うこととした。3交替施工時は現場での交替を原則とし, 測量などの時間を除き, ほぼ24時間掘進を続けることとした。日曜日と定期点検日の土曜日は休日とした。

#### 3-3-2 礫層区間への対応

4,500~5,800mのトンネル上部に礫地盤の可能性があったため, 礫層区間に到達する前にクラッシャーを製作し, 掘進速度が著しく低下し, 余裕工期を確保できなくなると判断される場合には, クラッシャーを投入する計画とした。

## 4. 施工実績

### 4-1 進捗実績

月進量の実績を図-4に示す。

平成15年11月末に初期掘進(延長280m)を開始し, 後続台車投入作業をくり返ししながら, 約2か月で終了した。

平成16年2月初旬から, 3交替施工による本掘

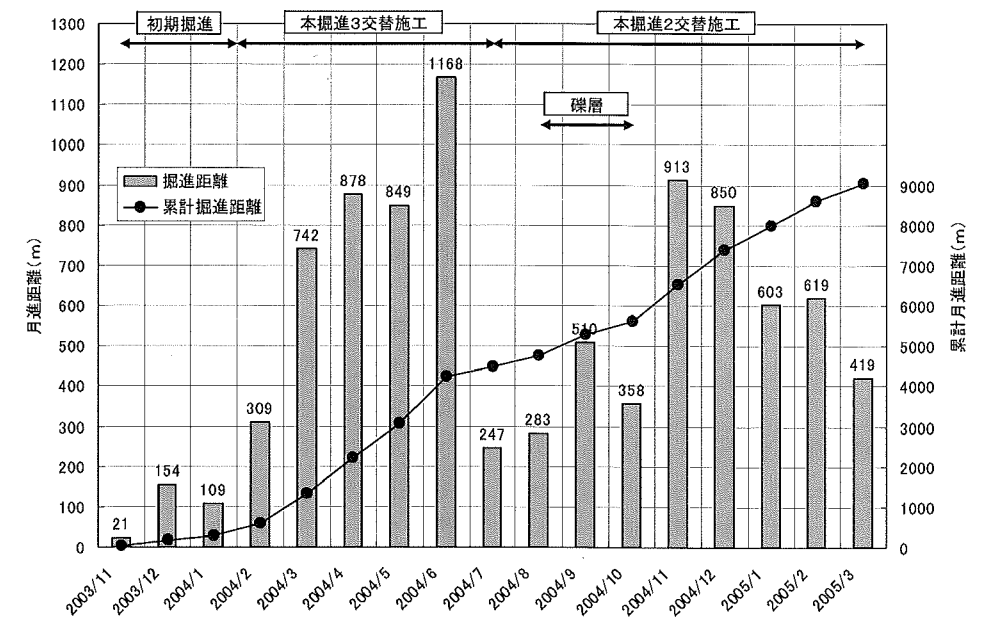


図-4 月進量実績

進を行い、若干の設備の改良を重ねながら、同年6月にはシールド工事では世界最速となる月進1,168 mを記録した。当該月の掘進日数は23日であり、平均日進量は約50mである。

2交替施工にした直後の4,300m付近から、5,700mにかけて断続的に礫層に遭遇し、進捗が大幅に低下したが、クラッシャーを投入しなくても想定外事項対応の余裕工期を確保して礫層区間を通過することができた(なお、礫径は最大で50mm程度と考えていたが、実際は最大長径300mm程度のものが多数存在した。5,230m付近では、こぶし大の礫が大量に出現する全断面礫層となり、礫取り装置での閉塞をくり返し、ほとんど掘進できない状態となった。当該区間で礫取り装置やP2ポンプを分解した回数は延べ1,000回を超えている)。

礫層を抜けてからは、順調な掘進を維持し、平成16年11月には2交替施工において913m/月を記録している。当該月の掘進日数は23日であり、平均日進量は約40mである。入出坑に2時間を要することから、1日あたりの実作業期間は3交替時に最高月進を記録したときよりも少なく、サイクルタイムは更に短縮されている。3交替、2交替区間を合わせた本掘進の平均月進は665mとなった。

#### 4-2 掘進速度とサイクルタイム

本掘進における掘進速度は、礫層を除いておおむね計画掘進速度85mm/minを維持することができた。とくに、7km以降の固結シルト層は、カッターヘッドおよびチャンバの閉塞が懸念されたが、カッタートルクの異常上昇などの発生はなく、順調に掘進した。

1リング(1.35m)の施工サイクルタイムは後半になると、掘進約17分、組み立て約8分の25分サイクルで安定した。これは、作業員の習熟が進んだことに加え、各設備の高速施工対応策が有効に機能した結果である。

リングサポート機構による真円度保持効果によ

トンネルと地下

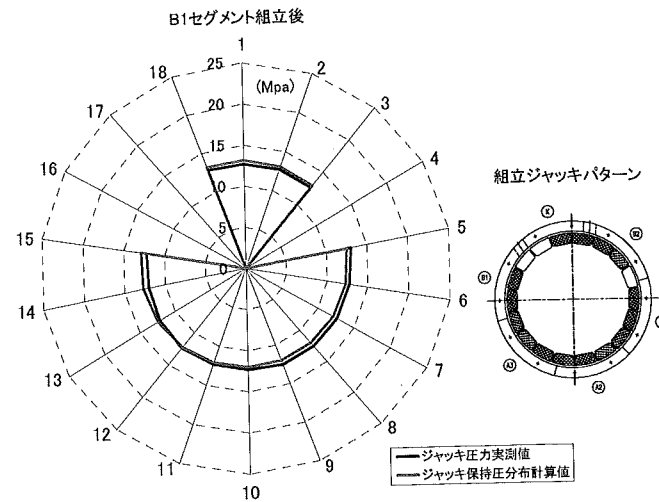


図-5 同時掘進時組立ジャッキ圧力分布

り、従来に比べて非常に短い組立時間にもかかわらず、目違い、目開き、割れ、欠けが少なく組立精度を向上させることができた。また、高水圧下であったが、セグメントからの漏水はほとんど発生しなかった。QBIIセグメント+セグメントリングサポートの高速施工の適応性の高さが証明された結果となった。

#### 4-3 ダブルジャッキ式組立同時掘進

逐次掘進にて、所定の進捗を確保できたため、組立同時掘進は行っていなかったが、8,500m付近(水圧約0.6MPa)で計測セグメントを挟んで、10リング区間を試験施工した。図-5に同時掘進時の組立ジャッキの圧力分布の一例を示す。圧力分布は、事前にシミュレーションした値とほぼ一致し、セグメントに対して悪影響のある荷重が作用していないことを確認した。

#### 4-4 設備の点検とメンテナンス

当初は1回/月の定期点検を行ったが、掘進の後半では、2回/月の点検日(稼働日点検、停止時点検)を設けた。計画的に部品をストックし、トラブル発生時に即時に交換したため、長期間掘進を停止するようなトラブルはなく、安定した高速掘進を行うことができた。また、各所に設けたバッファ機能やバックアップ機能が有効に働き、設備の修理を行いながら、掘進を続けることが可能であった。総掘進作業時間からトラブルに

有効であった。

#### 4-5-3 バッテリロコ運行管理システム

バッテリロコは無人自動運転を行い、運転状況は切羽、中央管理室、JV事務所などで確認できるようにした。トラブル発生時にバッテリロコの運行状況が一目で把握できたため、回復運転やトラブル時の対応を検討するのに非常に有効であった。また、システムの誤動作による逸走やトンネル途中区間での異常停止の発生が懸念されたが、トラブルは全く発生せず、完成度の高いシステムであった。

### 5. おわりに

本工事は、2006年3月中旬に無事、9,030mの掘進を完了することができた。かつてない長距離掘進、高速施工であったが、最新技術の導入、綿密な計画、リスクに対する詳細なマネジメント計画などにより、同径のシールド工事に比較してほぼ2倍の設備規模となったが、大きなトラブルなく掘進することができ、今後のシールド工事の可能性を大きく広げた。

本工事での技術・実績が今後の工事に展開され、シールド工事の更なる発展に貢献できれば幸いである。

また、貴重なご意見、ご指導を賜った関係者各位に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 富所達哉・高橋聡・野口和博：東京湾海底地質の想定と実際、トンネルと地下、Vol.37, No.7, pp.7-17, 2006.7.
- 2) 富所達哉・権守英樹他：大深度海底シールドの覆工設計、トンネルと地下、Vol.37, No.7, pp.18-25, 2006.7.

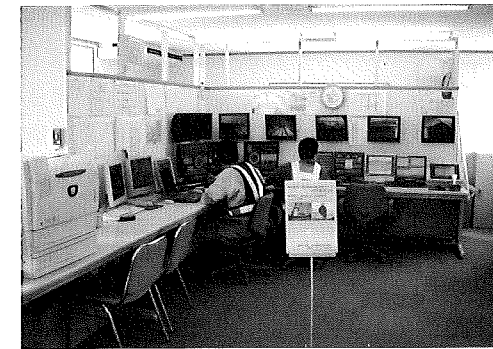


写真-5 中央管理室

による掘進停止時間を控除した稼働率は95%を超えており、突発的なトラブルで掘進できなかった日はわずか1日のみであった。

#### 4-5 管理システム

##### 4-5-1 総合掘進管理システム

掘進管理は、鹿島で開発したシールド総合施工管理システムKSGS(Kajima Shield General control System)を用い、シールド、泥水輸送、泥水処理、裏込め輸送を中央管理室にて総合的に操作および管理を行った(写真-5)。このシステムには各設備の故障箇所をモニターし、履歴を保存する機能があり、トラブル箇所の把握と迅速な対応に大きく貢献した。また、各設備の制御システムは専門業者とインターネットで接続し、各専門業者が自社および自宅から状況を把握したり、場合によってはソフトの修正などの処置を行い、修理時間の短縮に大きく寄与した。

##### 4-5-2 PHSによる通信および所在管理システム

入坑者は全員PHSを所持し、坑内および坑外との通信が可能なシステムとした。PHSを利用して、各自の所在を中央管理室にリアルタイムで表示した。トラブル発生場所で直接専門業者との会話が可能であり、トラブルの早期解決に非常に





写真-1 地上ヤードと門型クレーン

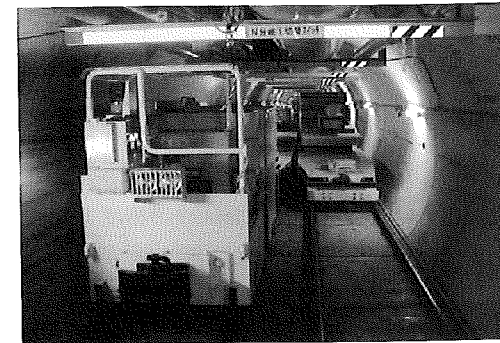


写真-2 坑内離合部運行状況

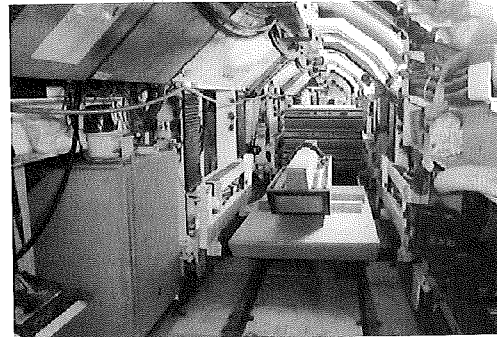


写真-3 切羽キャッチャー

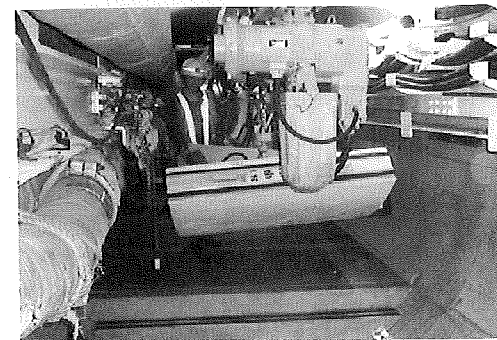


写真-4 切羽搬送ホイスト

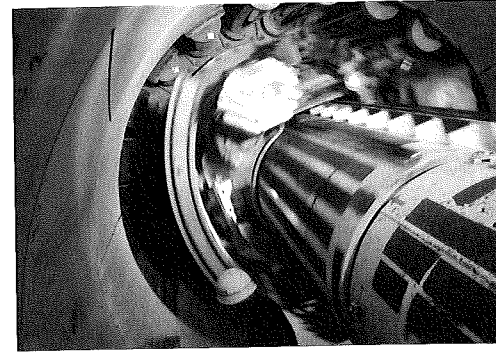


写真-5 セグメント組立状況

を配備し、バッテリー機関車の入替え作業を効率化した(写真-4, 5)。

以上の計画により、設計目標である35分ごとの1リング供給に余裕を持って対応した。

### 3. 機械設備のメンテナンス計画と稼働率

#### 3-1 メンテナンス計画

前述のとおり24時間連続施工下での機械設備トラブルは、2交替制では可能な作業班交替時の修理作業時間を確保できないため、全体稼働率に影響する割合が高く、メンテナンス計画は高速施工を達成するうえで重要な要素である。本工事では過去の施工実績の分析により、計画段階で発生部位および頻度を予測し、段取り替えなど掘削予定外時間を使って強制交換することとした。施工中においては想定した損傷度を再評価することで過大交換とならないよう管理した。また、月に1日をメンテナンス日と定め、事前の点検結果から故障が想定される部品交換および停止時点検を実施した。

計画では稼働率目標を80%とし、各設備のメンテナンス計画を行った。

#### 3-2 実施工における稼働率と掘進量

##### 3-2-1 稼働率

実施工における稼働率を図-4に示す。稼働率は掘進開始から安定して推移し、平均稼働率は93%、最低の月でも86%となり計画稼働率を上回った。これは計画交換によりトラブル時間を低減したこと、予備品を常時確保して交換

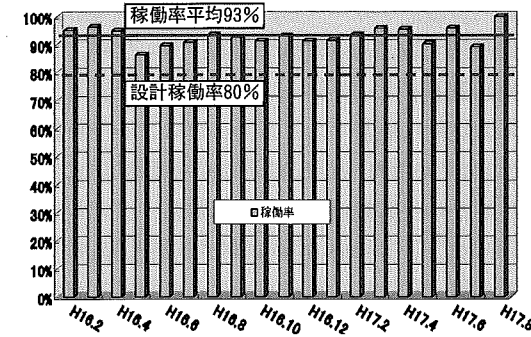


図-4 稼働率の推移

表-1 設備トラブル発生比率

設備名	割合	主な部位
流体輸送設備	33%	排泥ポンプ、計装(システム)
シールド機	16%	油圧ホース、エレクト
裏込設備	11%	配管閉塞、中継ポンプ
軌道設備	11%	機関車、台車車輪摩耗
切羽荷役	7%	切羽ホイスト
門型クレーン	6%	電源関連、走行部
電気設備	5%	漏電、短絡
通信設備	5%	光ケーブル、システム
泥水処理設備	2%	配管摩耗
給排水設備	1%	ポンプ
その他	3%	

場所に在庫していたことによるものと考えられる。

全体トラブルロス時間のうち、設備ごとの発生比率と主要部位を表-1に示す。

上表の中で、とくに泥水処理プラントの発生率が通常に比べ低いのは、前述のように2セットを設置したことによるものである。

発生要因としては長距離掘進による疲労、摩耗など、耐久性によるものが多く、徹底した計画交換と予備品在庫管理による総ロス時間の低減が、掘進工期全体にわたる高い稼働率の維持に貢献したものと考えられる。

##### 3-2-2 掘進量

シールド本掘進における日ごとの掘進量を図-5に、各月の月進量を図-6に示す。当初計画の540m/月に対し、実績値として604.9m/月となった。掘進当初、想定外のトラブルにより設計月進量を

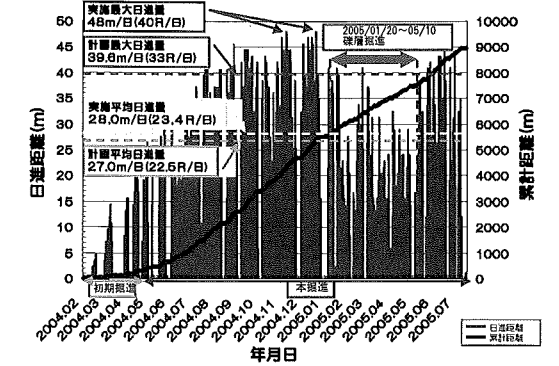


図-5 掘進実績(日別集計)

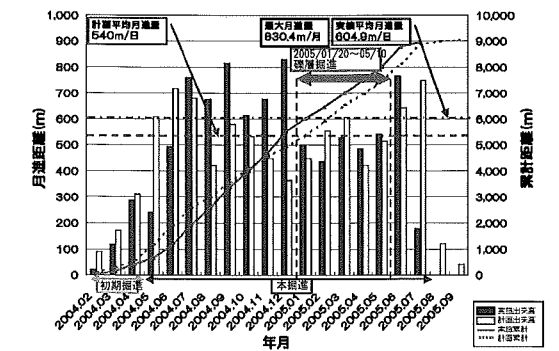


図-6 掘進実績(月別集計)

下回ったものの、対応策の実施、メンテナンス計画の見直しなどにより2004年7月以降は設計量を上回った。2005年1~5月の礫掘進で再度低下したが最終的には計画工程を約1か月短縮して到達した。最大月進量は、2004年12月に830.4m/月を記録した。日進量についても当初計画の最大日進量39.6m/日(33R/日)に対し、実績値として最大48.0m/日(40R/日)となった。

図-5, 6に示すとおり、礫層を約4か月間、2,300mの区間で掘進した。当初想定が900m区間であったことを考慮すると、設計に対し約2.5倍の礫区間距離を掘削したことになる。距離だけでなく出現位置も遠距離であったため、礫層掘進では流体輸送設備を可能な限り増強した。シールド本体は安定した掘進を維持し、礫掘進による大きなトラブルは発生せず、装備していたクラッシャーが効率的に機能した。礫輸送による排泥管などの摩耗が懸念されたが、直管部において交換作業は発生しなかった。

### 4. 安全環境対策

長距離高速施工の計画にあたっては掘削技術のみならず、特化した条件下で安全環境への配慮が必要である。計画はセーフティーアセスメントとリスクアセスメントにもとづき実施した。本工事で実施した安全環境対策としての設備、機械計画について述べる。

#### 4-1 通信設備

長距離トンネル施工において、入坑者との連絡、外部との通信設備は、緊急時に重要な役割を担う。そこで、本工事で有線通信、無線通信の2系統を確保することで、信頼性を向上している。また、トンネルが9,000mと非常に長いので、安全管理上、入坑者の現在位置を個別に把握可能な機能を併せ持つ設備とした。

トンネルに入坑する職員、作業員、見学者は全員PHSを携帯する。このPHSは切羽から地上ま

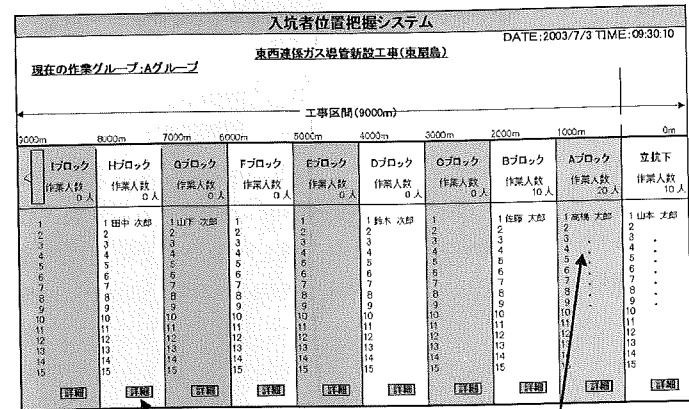


図-7 入坑者位置把握システム管理画面

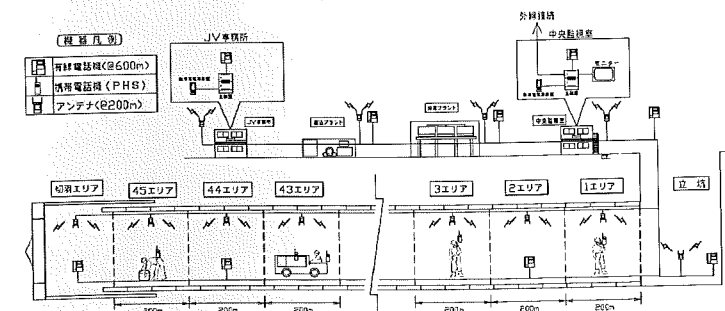


図-8 通信設備概要図

での内線機能をカバーし、また設定により外線機能を付与することも可能である。

PHS通信用のアンテナを、地上、立坑下、トンネル坑内に配置することで、どのアンテナのエリアに、どのPHSが存在するかを判断して各人の位置を中央監視室に一括表示する。

とくにトンネル内ではアンテナを200mピッチに設置するので、9,000mを45エリアに分割して位置把握することが可能となる。

これらの通信はすべて光ケーブルを使用しており、音声のみならず、画像、動画、図面を高速で配信し、トラブル発生時の迅速な対応に寄与した。

図-7に入坑者位置把握システムの管理画面を、図-8に通信設備概要図を示す。

#### 4-2 軌道安全設備

本工事で、最大6編成の機関車が同時にトンネル坑内を往復する。これらの衝突防止のため、

信号管理システムを導入した。前述のPHSを搭載した機関車の位置把握および磁石による進行方向検知情報より、システムを構築して、各離合部に設置された信号を制御した。運行時、信号無視が発生した場合は、警告音とともに直ちに軌道全線の運行を強制停止し、運転者に警告を与える(図-9)。

上記の運行管理システムのトラブル、あるいは人・物との接触を確実に防止するために、衝突防止装置を各機関車に装備した。この装置は、前方に物体を感知した段階で機関車の制動を強制的に行うもので、感知可能な物体との距離は、計算による制動距離より長く、確実に衝突を防止するものである。さらに運転席には前方監視カメラ用モニターを装備し、機械制御、視覚両面でリスク対策を施

した(図-10)。

本工事で坑内断面の制約から、安全通路を全線に配置することができない。よって坑内への移動はすべて人車を使用した。この人車は6人乗りで、緊急避難時に備えて7人分(運転手含む)の空気呼吸器を搭載している(図-11)。

切羽作業員の緊急時退避用設備として、緊急避難自走式機関車を製作、配置した(写真-6)。

通常掘進時は後続台車に編成されていて、緊急時には約30秒程度の所要時間で本線へ切り替わり、常時充電されている蓄電池により坑口まで自走可能である。8人乗り、最高速度は15km/hであり、坑口まで9kmを1時間で走行する。上記

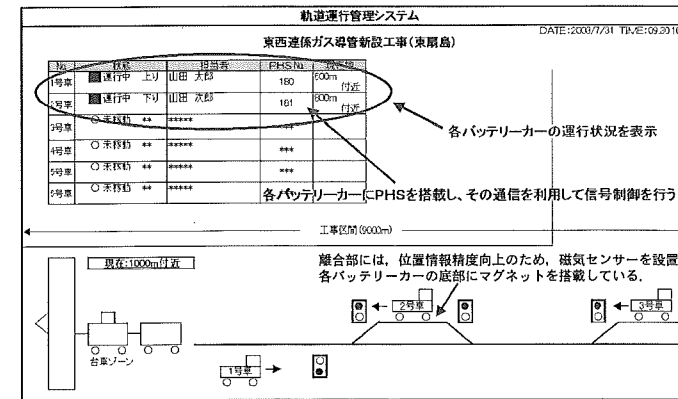


図-9 軌道運行管理イメージ図

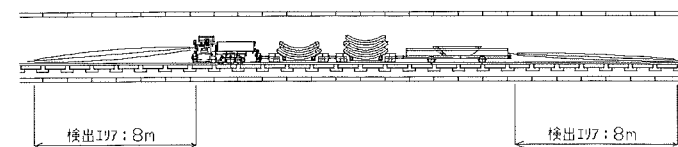


図-10 衝突防止装置検知範囲図

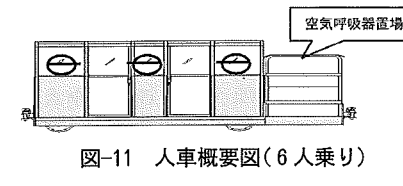


図-11 人車概要図(6人乗り)



写真-6 緊急避難自走式機関車

人車と同様、8人分の空気呼吸器を搭載している。

#### 4-3 換気・排水・冷却設備

##### 4-3-1 換気設備

路線上にメタンガスの発生が想定されていたため、エアカーテンを設置、切羽部を限定防爆範囲として可燃性ガスの拡散を防止するために必要な風速を確保したうえで、シールドほかの切羽設備については完全防爆仕様とした。また、コントラファンによる直列排気方式を採用した。ガスを希釈し滞留させない風速0.5m/secを確保するために、必要なファンの台数、能力を算定した(図-12)。施工中は自動風速計により常時坑内風速を管理

し、風速が設計以下の場合には警報を発するシステムを採用した。さらに、計14台のファンの稼働状況を中央監視室でモニターし、トラブル発生時の対策を迅速に行った。

##### 4-3-2 排水設備

縦断路線が1km地点を最下点としているため、切羽、坑内より発生する洗いや湧水はすべて最下点へ集水される。すなわち異常出水時には切羽からの退避障害となる。そこで最下点での排水能力は、想定最大出水量に対し、約3倍の排出能力を有する設備を2系統設置した。また、最下点での水位レベルの常時監視をカメラ、センサーにより実施した。

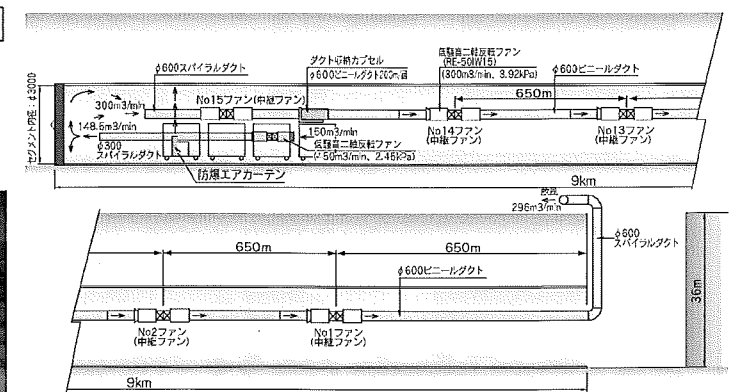


図-12 坑内換気設備全体配置図

## 4-3-3 冷却設備

シールド掘進時、切羽付近では連続使用により加熱された作動油や、流体輸送ポンプモーターの発熱などにより気温が上昇する。

本工事では、坑内管理気温を28℃以下として発生する想定総熱量を算定し、循環冷却水による坑内冷却システムを採用した。

このシステムにより、24時間連続施工という過酷な環境下にもかかわらず、目標温度での作業環境を実現し、熱中症の発症を阻止した。

## 5. おわりに

シールド計画では、本稿で述べた項目だけでなく、あらゆる設備に長距離高速施工への取り組み、安全確保に対する配慮を行った。

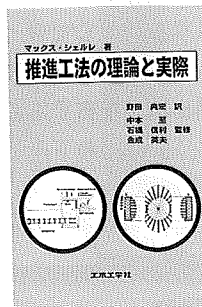
その結果、シールド工事において工期短縮のうえ、無事故・無災害を達成し、また良好な作業環境を確保することができた。今後更なる長距離、高速、大深度施工に備え、これらの技術を検証

し、より安全で快適な環境を実現するための施工設備計画を確立していく所存である。

本設備計画にあたり関係各位には貴重な助言とご指導をいただいた。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 白井伸一・富所達哉・野口和博：東京湾横断長距離海底シールドトンネルに高速施工で挑む 東西連係ガス導管工事の計画概要、トンネルと地下、Vol. 34, No.11, pp.39-47, 2003.11.
- 2) 白井伸一・日比谷穰：多様化するシールド掘進技術(13)、ロングジャッキ式同時施工シールド工法、トンネルと地下、Vol.36, No.3, pp.79-84, 2005.3.
- 3) Yutaka Hibiya and Shinichi Shirai：Rapid Construction Method and Safety Measures Adopted for Long, Undersea Shield Tunnel, International symposium on Design, Construction and Operation of Long Tunnels 2005, Vol.2, pp.1263-1274, 2005. 11.



## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 価格8,925円 送料450円

マックス・シェルレ 著

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金成英夫 監修

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

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)

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

〔特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事〕

## 単胴型ロングジャッキ式同時掘進シールドの制御(扇島工区)

大成建設(株)横浜支店土木部課長代理 金森 研二

大成建設(株)横浜支店土木部主任 福島 謙一

石川島播磨重工業(株)油機・シールド設計部課長代理 飛田 一幸

東京電力(株)東扇島火力発電所導管総括技術管理グループ副長 竹村 光弘

## 1. はじめに

東西連係ガス導管新設工事(扇島工区)において、目標月進量平均540mの高速施工を達成するために、シールド掘進とセグメント組み立てを同時に行う「同時掘進システム」を採用した。

本稿では、この同時掘進システムの概要と施工実績について報告する。

## 2. 同時掘進システムの概要

従来のシールド工法では、1リング分のトンネル掘進を完了した後、掘進を停止してセグメント組立作業を行う。

これに対して「同時掘進システム」では、従来のシステムと異なり掘進とセグメント組み立てを同時に行うことによって施工時間の短縮、高速施工を実現するものである。

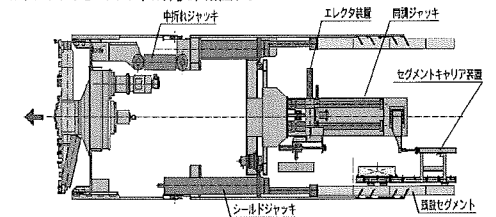
本施工で採用した同時掘進システムは、ロングジャッキ式の同時掘進対応型シールドを使用したものである。ロングジャッキ式同時掘進対応型シールドのシールド掘進・セグメント組立フローを図-1に示す。

ロングジャッキ式同時掘進対応型シールドの特徴は、シールドジャッキのストロークが通常のシールドがセグメント1リング分であるのに対して、セグメント2リング分のストロークを有して

いることである。これは、シールドがセグメント1リング分を組み立てるために必要なストローク(通常機のストローク)に達した後、セグメントを組み立てながら、次リングの掘削を継続するために2リング分のストロークが必要となるからであ

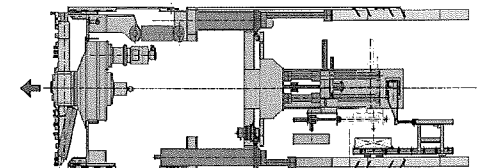
## 1 掘進機が掘進を開始

●シールドジャッキをセグメントに押し当て掘進する



## 2 掘進とセグメント組み立ての同時作業中

●セグメントキャリア装置にてエレクタ装置へセグメントを供給する。  
●エレクタ装置を掘進速度と同調させて、セグメント組立位置を固定する。



## 3 1リング分の掘進終了し、エレクタ装置を盛替える。

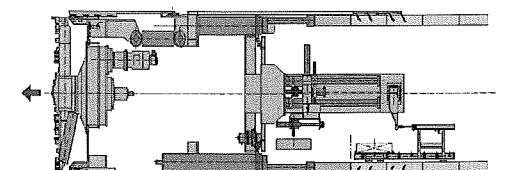


図-1 同時掘進組立フロー図

る。また、掘進と同時に移動するエレクトラ本体を、セグメントに対して定位置に制御可能な「エレクトラ同調制御機能」を装備していることが特徴である。

### 3. 同時施工システムの課題と設計

#### 3-1 シールド本体の課題と対策

ロングジャッキ式同時掘進対応型シールドの採用にあたって、実施工中に予測される問題点および課題について検討を行い、設計段階での対策を実施した。

##### 3-1-1 シールドの方向制御

###### (1) 装備ジャッキ本数

シールド掘進中にセグメントを組み立てる場合、当該箇所でのシールドジャッキが使用不可となるために、推進方向のバランスが崩れ(以降、アンバランスモーメントと呼ぶ)、シールドの方向を制御することができなくなる。

このアンバランスモーメントを打ち消すために、単純計算では180度反対側のジャッキを同数抜くことになるが、このとき残された使用可能なジャッキ本数は少数となり、方向制御を行ううえでは不利になる。

シールドに対する装備可能なシールドジャッキ本数は、一般的にシールド外径寸法によりおおむね決定されるが、本工事ではジャッキスプレッドの形状を、シールド本体およびセグメント構造設計上可能な限り小型化し、またセグメントを等分割(図-2)とすることで、使用可能なシールドジャッキ本数を増やすこととした。このことで、

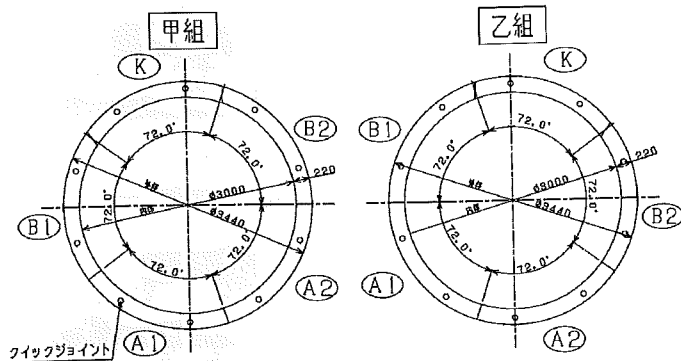


図-2 セグメント組立図

本工事のような小口径シールドへ適用可能なシステムとした。

###### (2) ゼロモーメント制御

前述のとおり、同時掘進では通常掘進に対し方向制御範囲は制限される、これは装備可能ジャッキ本数の少ない小口径シールドにおいて顕著である。

本工事の平面線形は全線において直線である。掘進過程でのシールド方向微調整は必要となるが、曲線を含んだシールドに比べ、方向制御の必要性が小さい。そこで、本機が小口径シールドであることを考慮し、本同時掘進システムでは、「ゼロモーメント制御」を採用することとした。このシステムは、後述する圧力制御システムを用いて、常時シールドの推進モーメントを円周上に均等とする。すなわち、常にシールドを直線方向へ掘進するというものである。掘進方向の微調整が必要なときは中折れ機構を使用することとし、またシールドの自重による下向きのモーメントについては事前にその数値を確認・設定してゼロモーメント演算式に組み込んだ。

この制御により、シールドオペレーターの操作性も併せて簡素化されることとなり、複雑な掘進指示が不要となる。

###### (3) ジャッキの圧力制御

前述した項目に加え、同時掘進システムでは、シールドの方向を制御するためにシールドジャッキの制御圧グループを数種類に分類、モーメント制御範囲を拡大している(図-3)。

すなわち、掘進に必要なシールド本体の設定推進力に対して、盛替えジャッキ群(セグメント組立時引き抜き)を除く残りのシールドジャッキのうち設定推進力に必要な負荷ジャッキ群とその残りのシールドジャッキを右制御圧ジャッキ群、左制御圧ジャッキ群に分類した。盛替えジャッキ群を縮めて抜くことにより円周方向での推進力のバランスが崩れシールドにピッチング方向およびヨーイング方向にモーメントが作用

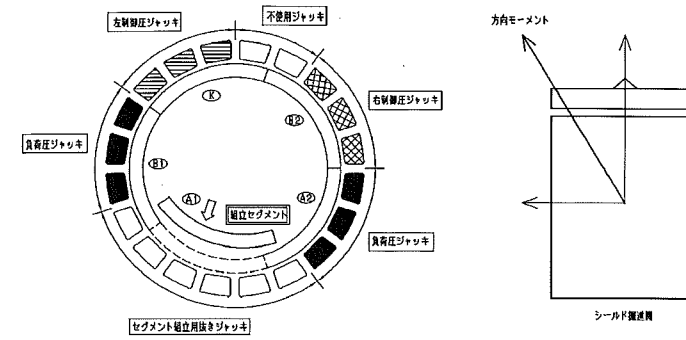


図-3 ジャッキ分類とモーメント図

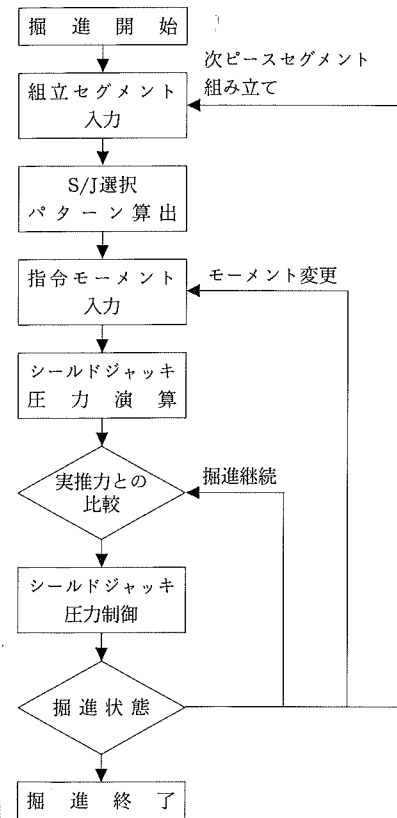


図-4 圧力設定フロー

する。これらのモーメントによりシールド本体に曲げ(アンバランス)モーメントが作用する。このアンバランスモーメントが作用することにより、同時掘進中にシールドの掘進方向が計画線から外れていく。ゼロモーメント制御では、このアンバランスモーメントをキャンセルするために必要なジャッキパターンと推進圧力を演算、指令する(図-4)。

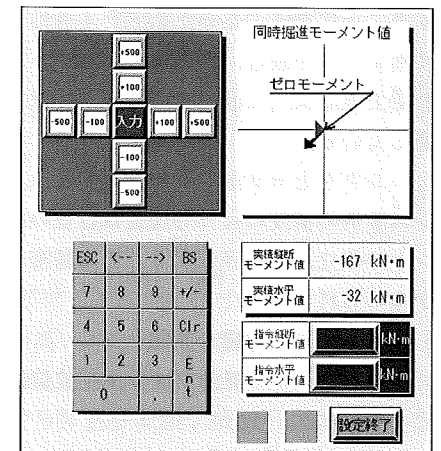


図-5 操作画面

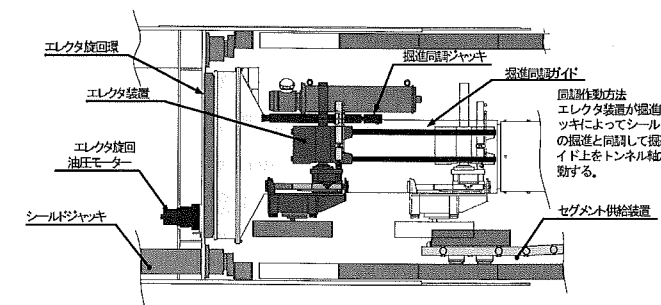


図-6 同調エレクタ概要図

###### (4) シールド掘進運転操作

複雑な演算結果をシンプルな画面に表現し、操作性を向上するために、本機では図-5の画面により現在のモーメント中心を矢印で表現し、修正ボタンをクリックすることでモーメント制御を微調整可能とした。

##### 3-1-2 同調エレクタ

同時掘進システムでは、シールドが前進していくにつれて、エレクタも移動し、結果としてセグメント組み立て位置も移動してしまう。そこで、掘進中であってもセグメント組み立て可能なエレクタが必要となる。

###### (1) 掘進同調機構の概要

掘進同調機構を装備したエレクタの概略図を図-6に示す。本エレクタの特徴は、従来のエレクタと異なり、シールド掘進速度に同調してエレクタ本体をシールド後方へ移動させることにより、エレクタ本体の位置を既設セグメントに対して固定

することにある。このためトンネル軸方向にスライドラールを設け、このスライドラールに沿って移動できるように油圧式の掘進同調ジャッキを装備している。

エレクタとセグメントの位置関係は、この同調システムの精度によって決定されるので、セグメントの組立品質を確保するために精密な制御能力が求められる。

(2) 掘進同調機構の制御

エレクタの位置をセグメント組立位置に同調させるために油圧回路で掘進同調ジャッキのストロークおよび速度を制御している。

掘進同調ジャッキ出口側にある高速応答弁で油の流量を迅速かつ精密に制御している。

セグメント組立位置は、シールドジャッキのストロークから算出される。さらに掘進速度もシールドジャッキからデータを取得する。この方式による制御の精度がセグメント組立位置に対して±5mm以内と許容範囲内であることを工場実験により確認した。

(3) エレクタの運転操作

シールド掘進と同様、同調エレクタでも操作を簡素化した。セグメント組立中にはエレクタ本体がセグメントに対する位置関係を把握しているので作業員は通常の組立操作を行う。また、サポートジャッキ(4本)を独立操作可能とし、セグメントの姿勢を3次元で微調整可能とした。

4. 施工結果

4-1 施工範囲

同時施工は299~893リングの区間のうち、計293リングで実施した。この区間で縦断線形は-3.0%であり、シールド本体が下降しやすく、ゼロモーメント制御上困難な条件下で実施した。

4-2 方向制御

設計上の課題で前述したとおり、同

時掘進システムのもっとも大きな課題は、方向制御の可否であった。

方向制御を評価するためには、以下の2点について検証する必要がある。

- ① 指令モーメントに対する実施モーメントの誤差(制御システムの指令値と、実機動作の整合性)。
- ② ゼロモーメント下でのシールド挙動(ゼロモーメント下でのシールド直進性)。

実施工における縦断方向の指令モーメントに対する実績モーメントと、設計ピッチングに対する実績ピッチングの結果を図-7に、水平方向の指令モーメントに対する実績モーメントと、設計方位角に対する実績方位角の結果を図-8に示す。

4-2-1 縦断方向制御

本施工では、セグメントの組立品質に配慮し、Kセグメントのみ掘進を停止して組み立てた。また、逐次掘進部(図-7,8も同様)は、A1セグメントを組み立てるために必要なジャッキストロークに到達するまでの掘進区間である。

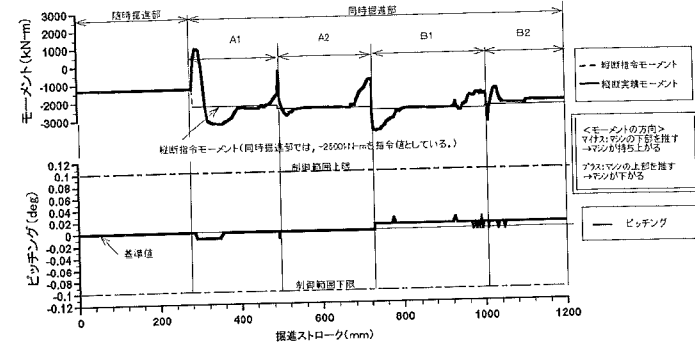


図-7 縦断方向モーメント実績例

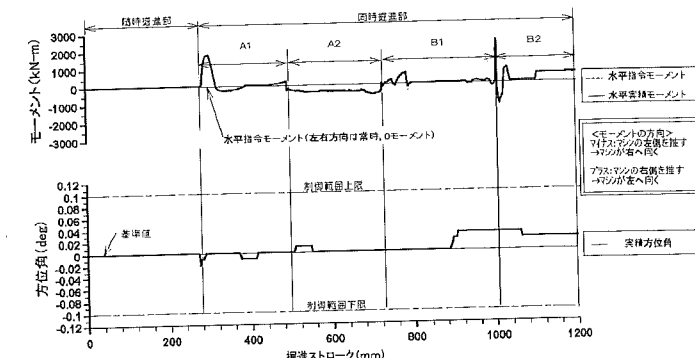


図-8 水平方向モーメント実績例

縦断方向については、シールドの自重によるモーメントが発生するため、上下方向をゼロモーメントで指令するとシールドは下降する。これは、前述のとおり下り勾配の縦断線形部では顕著である。このため、同時掘進本施工に先立ちトライアル掘進区間を設け、自重に対抗するために必要な初期モーメント値を調査した。その結果、約-2,500kN-m(マイナスは、シールドの下部を推し、上向き姿勢にする方向)を初期モーメントとして設定することとした。

実績図より、同時掘進部において、セグメントピース切り替え時にモーメントが上下している。これは、切羽でセグメント組立完了の信号を受けた後、演算、指令、機器動作の過程で生じた圧力誤差であると考えられる。ただし、この誤差は、各セグメントを組み立てている間に、指令値と同値に収束している。

縦断方向のシールド方向制御は、ピッチングの設計(掘進指示値)に対する実績値により評価する。実績図に示すとおり、設計値に対する実績誤差は最大0.02度であり、これは1リング掘進中(1,200mm)連続して発生した場合でも、高さ(エレベーション)では0.41mm程度の誤差であり、掘進線形管理範囲に余裕をもった数値である。

4-2-2 水平方向制御

設計平面線形は全線にて直線であり、方向修正の必要性を除いて、水平方向はゼロモーメントが基本となる。

実績図より、縦断方向と同様にセグメントピース切り替え時にモーメントが上下しているが、指令値と同値に収束している。

水平方向のシールド方向制御は、方位角の設計値(掘進指示値)に対する実績値により評価する。

実績図に示した例では掘進開始から終了までに、方位角が0.05度変位している。これは1リング後の水平移動量が約1.0mm程度の誤差であり、縦断方向と同様、掘進線形管理範囲に余裕をもった数値である。

同時掘進開始よりシールド本体の特性や、地山の性状による方向制御補正値を把握することによ

表-1 掘進組立サイクル表

作業内容	掘進				合計時間
	10	20	30	40	
掘進	24				28分
同時掘進組立	A1	12			
	A2	16			
	B1	20			
	B2	24			
			K	28	

り、精度の高い方向制御を実施した。ゼロモーメント制御の実績としては、機械性能、方向制御性能の両面で良好であり、当初設定した課題を克服したものと評価できる。

4-3 掘進組立サイクル

同時掘進での最速掘進組立サイクルを表-1に示す。

最速の同時掘進実績サイクルでは、掘進速度は50mm/minで行った。この機構では、セグメント組み立て可能なジャッキストローク長が、ピースごとに制限されている。このためセグメント組み立てが掘進速度に追いつかず、掘進を停止せざるを得なくなるので、掘進速度を意図的に減速した。

トライアル区間を除いた同時掘進の平均サイクルタイムは、35分であった。

本工事では、通常掘進においてセグメント組立作業を平均15分で施工した。通常掘進のサイクルを前述の同時掘進平均サイクルに対して同等とするには、掘進を20分で完了させることとなるので、掘進速度は60mm/minとなる。すなわち同時掘進の掘進サイクル上のメリットは掘進速度が60mm/min以下の状況で発揮される。

本シールド設備計画では、高速施工への配慮から掘進速度80mm/minに対応するものとしており、また実施工においても、ほとんどの区間において60mm/min以上の掘進速度で施工可能であったため、全線において同時掘進は実施していない。

4-4 同時施工システムの实用性

本施工実績により、以下の項目を確認した。

- ① システムを実現する機械性能および操作性。
- ② 管理許容値を確保する方向制御。

③ 同時掘進を実現する運搬、組立性能。  
礫、粘性土などの発生やその他の条件により掘進速度低下の想定されるシールドにおいて、工程遅延を補うために本システムは有効であり、また大口径シールドではジャッキ本数の増設により、更なるモーメント制御選択範囲が拡大可能である。エレクトラ自動組立技術との融合により、掘進制御、組立作業の自動化に寄与する技術と考える。

## 5. おわりに

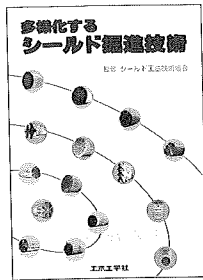
「同時掘進システム」は、今後もシールドトンネル高速施工技術の開発を行ううえで重要な要素であると考えられる。今回、実機へ適用した同時掘進システムの実用性は、施工性、機械性能両面

からも信頼度の高いものであったと評価できる。今後は、モーメント制御とシールド挙動の関係を実施工の中から検証していく必要がある。最後に本システムの開発・実用化にあたりご協力頂いた関係者各位殿に感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 大塚寿次：同時掘進システム採用のシールド急速施工，平成11年度建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.174-177，1999.10.
- 2) 佐藤東洋司・金森研二・齊藤仁・神崎正：シールドトンネルにおける掘進組立同時施工の実用化，第10回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.415-420，2004.9.

### 【新刊図書】



# 多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会  
B5判 141頁 本体価格2,500円

本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

#### 【掲載工法】

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

株式会社 **土木工学社**

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

【特集：東京湾横断のガス導管用シールド工事】

# 長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合

東京電力(株)富津火力建設所導管施工/技術管理グループマネージャー 富所 達哉  
東京電力(株)富津火力建設所導管技術管理グループ主任 高橋 聡  
鹿島・西松・大林共同企業体主任技術者 米沢 実  
大成建設(株)東北支店土木部課長代理 京屋 宜正

## 1. はじめに

東西連係ガス導管新設工事は、東京電力の京葉側の富津LNG基地と、京浜側の東扇島LNG基地を連係する、内径3.0m、延長18kmの海底シールド工事である。富津立坑および扇島立坑それぞれからシールドを発進し、1台のシールドによる掘進延長としては世界最長級となる9.0kmを掘進した後、東京湾の海底下57m(トンネル中心)で地中接合をする<sup>1),2)</sup>。本工事の地中接合工は、地盤凍結工法などの補助工法を用いずにシールド同士を直接嵌合させる機械式地中接合法を採用した。シールドの機械式地中接合の施工実績は十数件に

上るが、0.6MPa近い高水圧下での施工事例はなく、接合部の止水確保が大きな課題である。

また、機械式地中接合の最大のリスクは、接合メカニズムにトラブルが生じて、ドッキング不能に陥ることである。このため、接合にかかわる部位は、長距離掘進中は適切に保護し、到達後は確実に作動させる必要がある。

本稿は、高水圧海底下の機械式地中接合における、接合部の止水対策と、主なトラブル防止対策、および施工実績について述べる。

## 2. 地中接合工の概要

地中接合工は、シールド本体をトンネル構

造体の一部として残し、カッターヘッドほか、掘進・組み立てに使用した機械装置はすべて解体撤去し、シールド内部および接合部を覆工仕上げする。この施工は、シールド間の地山を開放しての作業となるため、接合部周辺の地山安定と止水の確保が不可欠である。

地中接合に伴う地山安定と止水を図る工法として、従来、地盤凍結工法の適用事例が多いが、本工事では、地盤凍結工法に比べて工期短縮(約1.5か月)が図れる機械式地中接合法を採用した。本工法は、シールド同士を機械的に嵌合することにより地山開放範囲を極力縮小し、嵌合部に残された隙間に対しては、止水装置により止水を図る

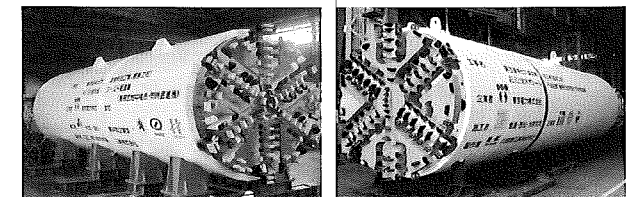
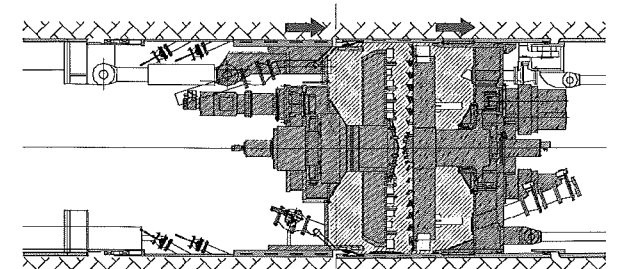


図-1 機械式地中接合の概要

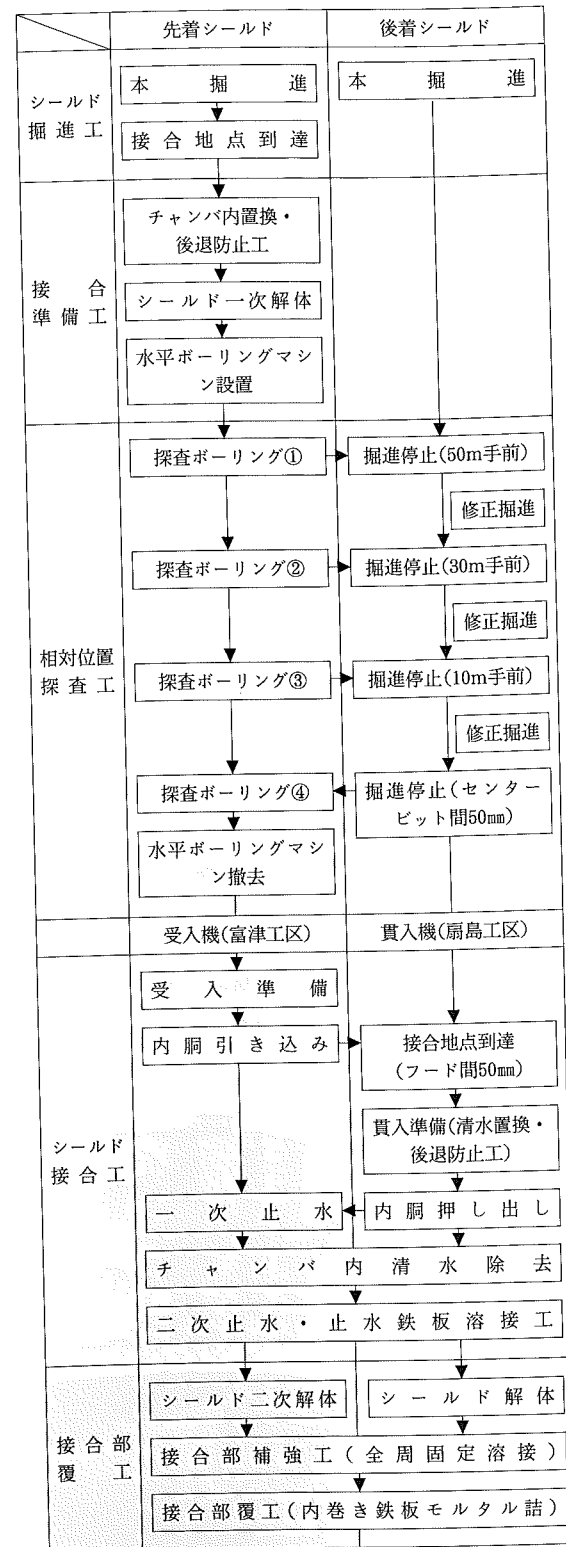


図-2 機械式中継合の施工フロー

ものである。

図-1は本工事に適用した接合メカニズムで、両工区のシールドとも、カッタヘッドとバルクヘッドからなる内胴が外胴(本体)の内部でスライドする構造になっており、受入機(富津工区)は内胴を引き込み、貫入機(扇島工区)は内胴を押し出すことによってシールド同士を嵌合することができる。図-2に、先着シールドが接合地点に到達してから、接合部の覆工完了までの施工フローを示す。

### 3. 相対位置探査工

地中接合工に先立って、シールド同士の相対位置を確認する必要があるが、本工事は、到達掘進において海上からのチェックボーリングを行うことが困難であるため、シールド内からの水平ボーリングによって両機の相対位置を探査した。

水平ボーリング工は、先着シールド(富津工区)の機内から、最大50m先の後着シールド(扇島工区)のカッタヘッドに向け、外径φ290mmの泥水式小口径推進機を打ち出し、鋼管(L=4,700mm/本×12本)をつなぎ込みながら延伸する。

探査方法は、磁気探査およびRI探査であり、基本的な手順は次のとおりである。

- ① 後着シールドのカッタ面板に磁性体を貼付しておき、カッタ回転に伴う磁気変化を、探査機(小口径推進機)の先端に装備した磁気センサーで探査し、後着シールドのカッタのスリット位置を検知する。
- ② 探査機を、検知したスリットからチャンバ内に挿入し、RI線源を装備した先端をバルクヘッドに接触させる。
- ③ 後着シールド機内から、シンチレーションカウンターで、探査機の先端位置をバルクヘッド越しに探査する。

ここで、探査機は、掘削機構と磁気センサー、RI線源部を一体化し、掘削後直ちに探査ができる機構とした。また、後着シールドのカッタのスリット幅が平均150mmと狭く、探査機本体(φ290mm)が通過できないため、RI線源を内蔵したセンシングロッド(φ72mm×L1,200mm)を油圧ジャッキ

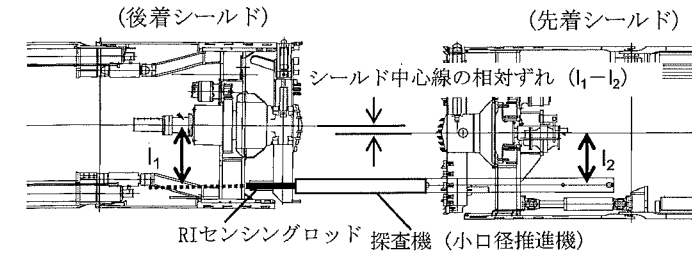


図-3 相対位置探査工の概要

で延伸してチャンバ内に挿入する機構を採用した(図-3)。

なお、後着シールドのバルクヘッド背面上のRI探査スペースは690×190mm程度しか取れず、50m手前の初回探査で想定測量誤差(300mm)を上回る位置ずれが生じていた場合、RI探査が困難になることが懸念された。そこで、本工事は、磁気探査だけでも、カッタヘッド上の位置(中心からの距離とカッタ回転角)がわかるように、カッタ面板に配置する磁性体の位置および角度を工夫した。

### 4. 機械式中継合の施工ステップ

シールド接合工の施工ステップを図-4に示す。

ステップ1では、上記、相対位置探査を行いながら、両シールドのセンタービット間50mmまで貫入機(扇島工区)を掘進する。

貫入機の許容到達誤差は、嵌合に必要な受入機外胴と貫入機内胴のクリアランス確保から、シールド中心線の相対ずれ±50mm以内、中心線方向のずれ角度1°以内である。

ステップ2では、受入機の伸縮スポークを収縮し、中折れジャッキで切羽水圧を保持しながらカッタヘッド(内胴)を後退スライドする(1,645mm)。その後、貫入機は伸縮スポークを収縮しシールドジャッキでフード間50mmま

で推進する。フード間の離隔をできるだけ小さくすることにより、地山の安定と、チャンバ内への土砂流入の防止を図ることとした。

ステップ3では、貫入機の内胴を中折れジャッキで510mm貫入スライドさせ、その後、図-5に示すように、「止水チューブシール」を作動させて嵌合部の隙間を止水する。

「止水チューブシール」装置は、受入機外胴内面に装備した「補助ゴム膜チューブ」を注水加圧して膨らませることにより、鋼板をゴムで被覆した「止水シール板」を貫入機内胴外面に強く押し付けて止水する機構である。チャンバ内の水を抜

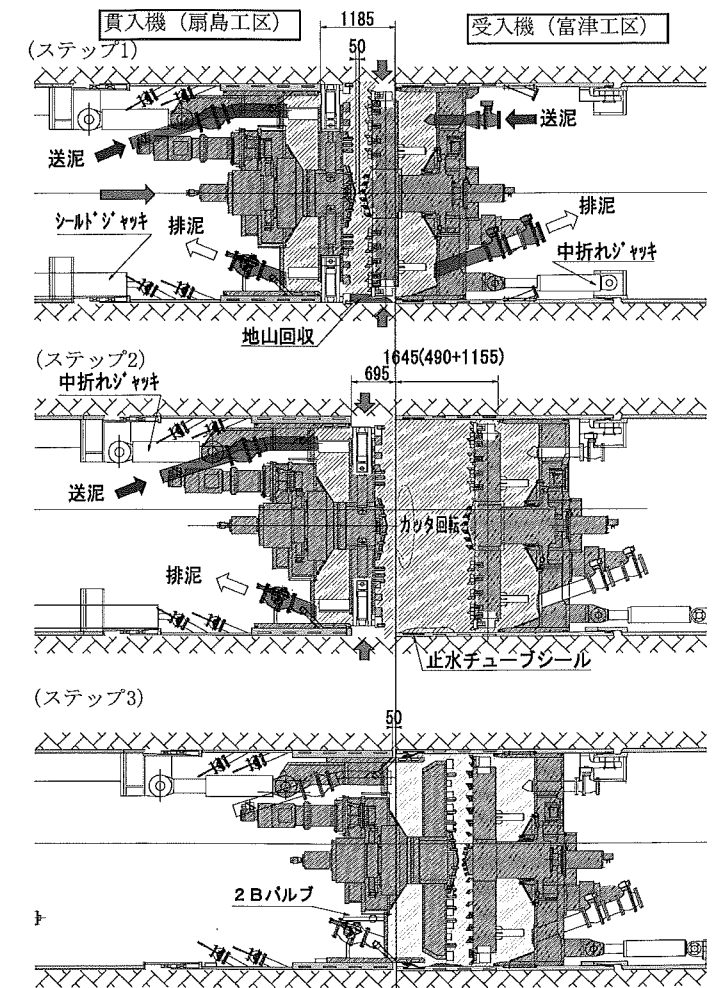


図-4 機械式中継合の施工ステップ図

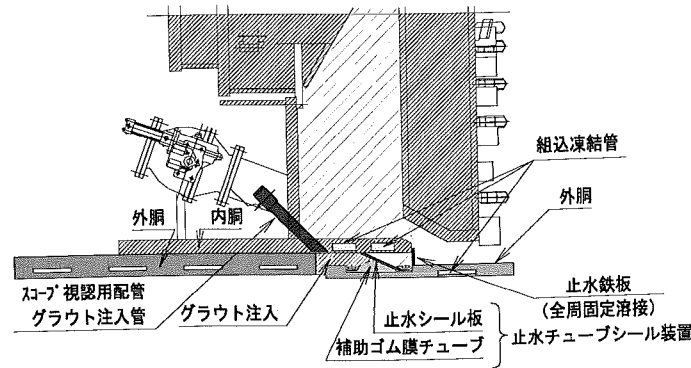


図-5 接合部止水の概念図

くと、外水圧との差圧により「止水シール板」はより強く密着し、止水効果が高まる。

「止水チューブシール」による止水(一次止水)後、チャンバ内の漏水量を確認し、「止水シール板」の背面(地山側)にグラウト注入する(二次止水)。最後にチャンバ内から、嵌合部に止水鉄板を全周溶接して地中接合工は完了する。

### 5. 接合部止水の信頼性向上策

本工事では、0.6MPaの高水圧下での機械式地中接合であることから、止水確保がとくに重要な課題ととらえ、以下に示す方策を講じた。

#### 5-1 内胴スライド機構の採用

長距離掘進であることから、掘進中に「止水チューブシール」を損傷、または止水面に土砂が付着した場合、止水できなくなることが想定された。

この対策として、受入機、貫入機とも「内胴スライド機構」を採用した。受入機では、「止水チューブシール」を、内胴で覆われた外胴内面に装備することにより、掘進中は保護され、接合時に内胴をスライドさせた際にはじめて露出させる構造とした(図-4; ステップ2)。

また、「止水シール板」が押し当てられる止水面は、貫入機の内胴外面とし、これも掘進中は外胴で防護され、接合時に内胴を押し出したときにはじめてフレッシュな面が露出する(図-

4; ステップ3)。

#### 5-2 「止水チューブシール」の止水性能確認

「止水チューブシール」装置の構造図を図-6に示す。この装置は、円周方向に切れ目のない「補助ゴム膜チューブ」(布入りゴム)を用い、加圧力を「止水シール板」に均等に伝達できるとともに、嵌合したシールド相互の偏心に対して高い追従性が得られる。

本工事では、シールド製作に先立ち、この「止水チューブシール」の止水性能を確認するための室内模型実験を行った。実験の結果、以下のことが確認された。

① 「止水シール板」の先端には小リップ(ゴムの突起)が設けてあり、この小リップが圧力を受けてつぶれ、線シール(連続したシール線)を形成することにより止水が得られる。写真-1(2)は、シールの押し付け状況を透明アクリル板越しに観察した状況である。

② 大リップ面にφ2mmの砂およびφ6~8mmの小礫を薄く載せた状態で耐水圧試験を行った

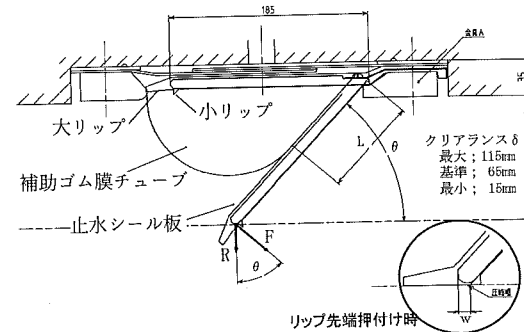
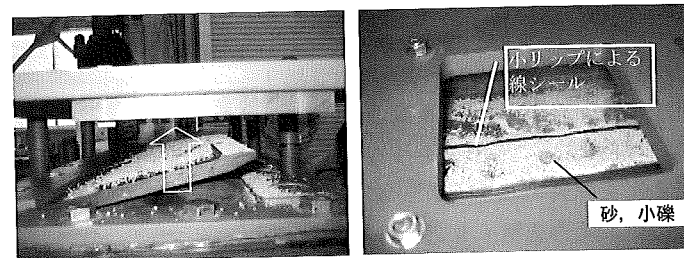


図-6 止水チューブシール装置の構造



(1)装置作動状況(側面より) (2)装置作動後(上面より)  
写真-1 止水チューブシール装置の模型実験状況

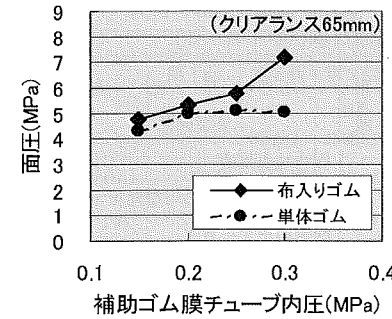


図-7 チューブ内圧~小リップ面圧の関係

た結果、0.6MPaでも漏水が認められなかった。ただし、小リップ面上に、礫が挟まった状態では、漏水が止まらず、水圧が保持できなかった。

③ 図-7は、嵌合部クリアランス(図-6のδ)65mmにおいて、「補助ゴム膜チューブ」の注水圧(外水圧作用時は外水圧と内圧の差圧に相当)と「小リップ」先端に作用する面圧(図-6のR)の関係を示したものである。小リップ面圧は、感圧紙(測定レンジ; 2~10MPa)で測定した。また、「補助ゴム膜チューブ」が単体ゴムの場合と布入りゴムの場合とを比較した。単体ゴムの場合、注水圧を増加しても小リップ面圧があまり増加しないが、布入りゴムの場合は注水圧を増すことによって、小リップをより強く押し付けることができる。これは、布入りゴムは、伸びが拘束されチューブの膨らみが少ないため、注入圧の増加が止水板の押し付け力として確実に伝わるためである。

#### 5-3 洗浄ブラシ装置の開発

上記の模型実験結果から、「止水チューブシール」の作動に際して、泥水還流などで回収しきれないチャンバ内の土砂が「止水シール板」上に多量に残留、または、リップ面に土砂を挟み込むと、シール面の密封確保が困難になるおそれがある。

この対策として、貫入機カッタの伸縮スポークの1本に「洗浄ブラシ」を設置し、貫入スライドする際に伸張し、カッタヘッドを回転させながら「止水シール板」上の滞留土砂を掃き退ける機構

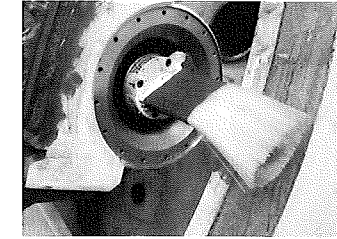


写真-2 洗浄ブラシ

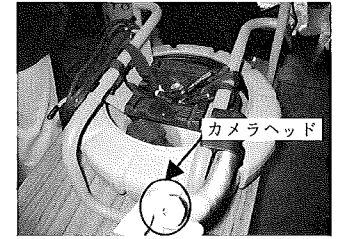


写真-3 スコープカメラ

とした。あわせて「スコープカメラ」をチャンバ内に挿入し、洗浄効果を視認することとした。

「洗浄ブラシ」は、事前の模型実験の結果、長さ250mm、幅100mm、厚さ30mm、ブラシ線径0.7mmのナイロン製を使用し、トンネル軸方向に対し45度で伸縮スポークに取り付けた場合に、もっとも洗浄効果が高いことが確認された(写真-2)。

「スコープカメラ」は、カメラヘッド直径30mm、10気圧防水のカラーカメラを採用した(写真-3)。

### 6. トラブル防止対策

本工事の機械式地中接合メカニズムは、既述のとおり、きわめて複雑であるため、万一、接合メカニズムの作動不良などのトラブルが発生すると、計画どおりの接合が困難になる。

そこで、主に既往類似工事のトラブル事例や、本工事での適用が初となる新技術などに着目して、施工ステップごとに、予想されるトラブルモードを徹底的に抽出し、設計面および施工管理面での対応によってトラブル発生リスクを解消・低減した。また、万一の場合のバックアップについて考慮した。

以下に、想定された重大トラブルモードに対する検討結果について述べる。

#### 6-1 接合トラブル対策

##### 6-1-1 伸縮スポークの確実な作動

両シールドとも掘進中は、2~3本の伸縮スポーク(写真-4)を伸張して使用しているが、地中接合時に伸縮スポークを全縮できないと、内胴をスライドさせることができず、機械式接合が不能になる。長距離掘進後に、確実に伸縮スポークを全縮させるため、以下の対策を講じた。

・伸縮スポークの、掘進時カッティングトルク

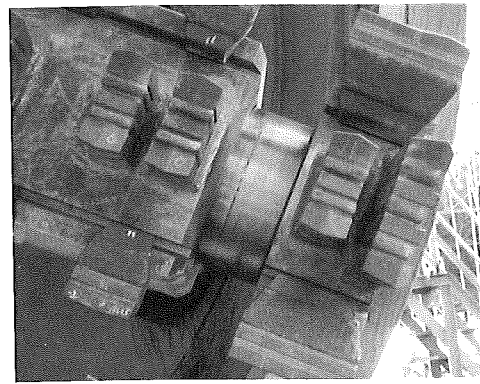


写真-4 伸縮スポーク(全伸時/貫入機)

に対する曲げ変形防止、および、ケース内でのローリング防止。

- ・ スポーク摺動部の焼付き防止(連続自動給脂)。
- ・ ストローク全縮の確実な検知(リミットスイッチまたはプッシュプルケーブル式)。

6-1-2 内胴の確実な作動

受入機の内胴引き込みに不調が生じると、機械式接合が不能になるおそれがある。

外胴と内胴の摺動性を確保し、摺動部シールを保護するため、以下の対策を講じた。

- ・ 掘進中の施工時荷重や偏土水圧に対する外胴部の変形防止(FEM解析)。
- ・ 工場での内胴スライド試験(横置き、シール装着条件)。
- ・ 外胴・内胴間摺動部のシールを保護するため、掘進中は、連続自動給脂。
- ・ 外胴・内胴ともフード先端にハードフェーシングを施し、掘進中の異常摩耗によるシール露出を防止。

6-2 バックアップ方策

機械式接合そのものができるようになる万一の異常事態におちいった場合は、地盤凍結工法への変更ができるように、両機とも放射凍結管打出し孔を事前装備した。

7. 施工実績

7-1 実績工程

両工区ともシールド掘進は順調に進み、当初計

表-1 実績工程

	経過 日数	施工区分		作業内容	
		受入機	貫入機		
掘進	—	●		接合地点到達	
接合準備工	1	●		チャンバ内泥水の可塑性ゲル化	
	3	●		後退防止・止水工	
	80	●		シールド一次解体	
	110	●		水平ボーリングマシン設置完了	
	115		●	接合地点50m手前到達	
	121	●		水平ボーリング工50m完了	
	122	●	●	相対位置探査(接合地点50m手前)	
	↓		●	修正掘進	
	129	●	●	相対位置探査(接合地点32m手前)	
	↓		●	修正掘進	
相対位置探査工	135	●	●	相対位置探査(接合地点12m手前)	
	↓		●	修正掘進	
	139	●	●	相対位置探査(接合地点7m手前)	
	141		●	到達掘進・相対位置探査	
	シールド接合工	149	●		水平ボーリングマシン撤去・カッタヘッド引き込み準備完了
		149	●		カッタヘッド引き込み①(スライド長490mm)
		149		●	シールド推進(490mm)
		163	●		中折れジャッキ盛替え完了
		164	●		カッタヘッド引き込み②(スライド長1,155mm)
		166	●		シールド最終推進(645mm)
169		●	●	チャンバ内清水置換完了	
174			●	内胴押し出し・シール面清掃完了(スライド長300mm)	
176			●	内胴最終押し出し(スライド長210mm)	
182			●	後退防止・止水工完了	
183	●		止水チューブシール作動(一次止水)		
183		●	チャンバ内清水引き抜き		
184		●	シール部背面へのグラウト注入(二次止水)		
193		●	止水鉄板溶接完了		

画どおり、富津工区(受入機)が接合地点に先着した。地中接合の実績工程を表-1に示す。扇島工区(貫入機)が到達地点50m手前に到達してから、相対位置探査・修正掘進を含め、止水溶接完了までの工程を、トラブルなく、約2.6か月の短期間で

表-2 相対位置探査結果一覧  
(シールド中心線の相対ずれ)

		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回
		接触探査	RI探査①	RI探査②	RI探査③	RI探査④
相対距離(m)		50.45	32.46	12.08	7.28	0.095
相対ずれ	水平(mm)	555±28	250	-27	-16	6
	鉛直(mm)	100以内	15	25	4	3

※相対ずれは、バルクヘッド位置での評価  
※水平、鉛直の符号は、先着シールドからみた後着シールドの位置とし、それぞれ右側、上側を+とする

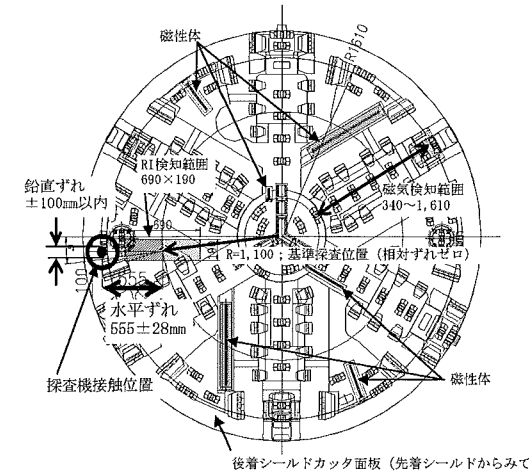


図-8 50m手前での探査結果(接触探査)

完了した。

7-2 相対位置探査の実績

表-2に示すとおり、後着シールド(扇島工区)が最後の50mを掘進する間に、延べ5回の探査を行った。

両工区シールドの相対距離(センタービット間)50.45mにおける最初の探査では、図-8に示すように、探査機の到達位置が磁気センサーの検知範囲(中心から1,610mm)を外れ、磁気センサーに反応は得られたものの、解析困難であった。このため、カッタ回転に伴い、探査機先端を面板、メインビット、先行ビットに接触させたときの高低差を計る接触探査で、カッタ面板上の位置を推定した。この結果、水平方向の相対ずれ量は555±28mm(先着シールドから見て右寄り)、鉛直方向ずれは±100mm以内と推定された。

第2回探査(相対距離32.46m)以降は、所定の

磁気探査、RI探査が実施できた。

修正掘進は、両機の相対距離50.45m間を、最小曲率半径R=1,000mのS字曲線ですりつけた。

到達時(相対距離95mm)におけるシールド中心線相対ずれ量(後着シールドのバルクヘッド位置での測定値)は、水平6mm、鉛直3mmを得たが、探査精度を考慮すると10mm程度と考えられる。また、シールド中心線方向のずれ角度は0.1°であった。なお、到達までの線形修正量から、初回探査時(相対距離50.45m)における水平方向相対ずれ量は530mmであったことが確認された。

探査工は狭い機内での測量に非常に苦労したが、地中接合工に要求される到達精度を十分満足することができた。

また、水平ボーリング工も、探査機内および先着シールド内への漏水は全くなく、かつ、高い直進性が得られ、再削孔などのトラブルも生じることなく、安全・確実な施工ができた。

7-3 機械式地中接合の実績

7-3-1 シールド接合実績

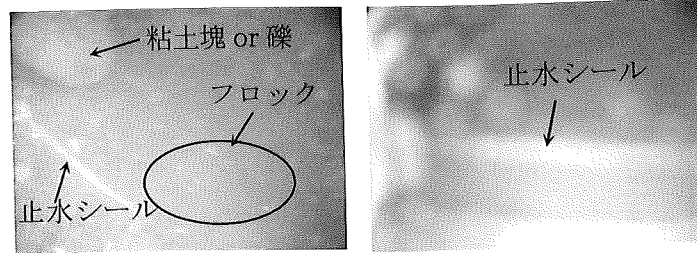
本工事では、受入機、貫入機とも、伸縮スポーク収縮や内胴スライドなどのメカニズムがすべて正常に作動した。

相対位置探査の最終結果から、誤差を考慮しても10mm前後の高い精度で到達できたと判断し、後着シールドの最終推進はフード間距離10mm(計画50mm)まで接近させた。貫入作業中も、カッタ面板同士の接触や受入機外胴との競りなどを発生することなく無事に完了した。

また、貫入後における接合部からの土砂流入の傾向はみられず、地山の安定は十分に図れた。

7-3-2 止水実績

シールド接合時には両機カッタヘッド間(284mm)の掘り残り地山を、泥水環流により回収することを図ったが、貫入機の内胴スライド時に「スコープカメラ」で視認したところ、「止水シール板」上に、フロックや泥塊が沈降・滞留している状況が認められた(写真-5(1))。このため、計画どおり、「洗浄ブラシ」を使用した結果、写真-5(2)に示すとおり、「止水シール板」上の滞留土砂



(1)洗浄前 (2)洗浄後  
写真-5 チャンパ内スコープ視認状況

を確実に取り除くことができ、「スコープカメラ」の映像にリップ面(視認しやすい黄色に着色した)を鮮やかに捉えることができた。

このように、止水装置の洗浄状況を直接視認できたことが、機械式地中接合における止水の信頼性確保につながった。

その後、「止水チューブシール装置」も順調に作動することができ、所定の注水加圧を終え、1時間圧力低下がないことを確認した後、後着シールド側からチャンパ内を排水した。

止水実績は、「止水チューブシール」だけによる一次止水時点の漏水量で毎分0.1ℓ程度と、ほぼ完全に止水できた。その後、「補助ゴム膜チューブ」の水を排水し、貫入機側から止水装置背面にグラウトを充填した(二次止水)。グラウト注入後の漏水量は毎分0.02ℓ程度であった。

以上より、限定凍結の追加や、全面凍結工法への変更というバックアップを適用することなく、高水圧下での機械式地中接合を無事完了した。

### 8. おわりに

本工事では、メカニズム、施工方法とも、きわめて複雑な機械式地中接合工を、無事完了することができた。本稿では、技術的検討を中心に述べたが、実施工では、施工手順の誤りなどのヒューマンエラーが致命的となる。

本工事では、設計段階から両工区間で綿密に協議を重ね、詳細な施工手順書を作成し、施工中は密に手順、状況を確認し合い、ヒューマンエラーを完全に防止することができたことが最大の成功要因と思われる。

### 参考文献

- 1) 白井伸一・冨所達哉・野口和博：東京湾横断長距離海底シールドに高速施行で挑む、東西連絡ガス導管新設工事の計画概要、トンネルと地下、Vol.34, No.11, pp.39-47, 2003.11.
- 2) 冨所達哉・高橋聡・野口和博：東京湾海底地質の想定と実際、トンネルと地下、Vol.37, No.7, pp.7-17, 2006.7.



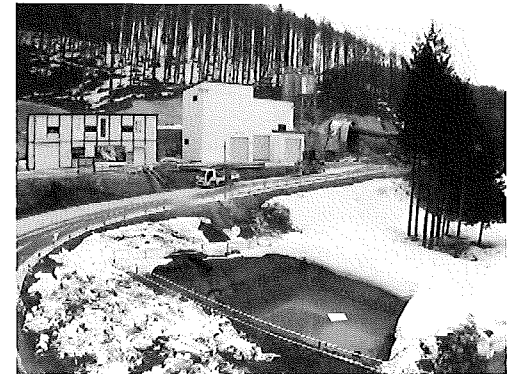
## 「北の大地に新幹線」最初の着工地木古内より

大沼伸哉

北海道十勝郡木古内町は、北海道の南側に位置し漁業と農業が基幹産業の町である。平野が少ないが、小川が津軽海峡へと流れ、秋には鮭が遡上するほどの自然に恵まれている。木古内の地名の由来は、寛永年間(1624~43年)に松前藩が地図を作ったとき、「リロナイ」(アイヌ語：潮の差し入る川)から転訛したものとされている。

木古内町には、2つの有名な祭りがある。ひとつは、「寒中みそぎ祭り」で、由来は170年ほど前、不漁不作が続いた天保2(1831)年1月15日、佐女川神社の神社守が夢枕に「神社にまつる神体を清めよ」との神様のお告げをうけ、目が覚めるとご神体をだき、神社の下の佐女川で水をうち砕き身を清めた後、海に入り波にご神体をうたせ清め、神社に奉納した、するとその年から豊漁豊作が続き村はたいへん豊かになった、という故事による。以来、行修者と呼ばれる4人の若者が1月13日から佐女川神社に籠もり、昼夜問わず真水で何度も自身の身体を清め、4体の御神体を抱き、厳寒の津軽海峡に飛び込み、豊漁・豊作を祈願する伝統行事となった。この地にきて初めて見学したが、身の引き締まる思いがした。

もうひとつの祭りは、「咸臨丸まつり」である。木古内町は咸臨丸の眠る町としても有名で、咸臨丸はご存じのとおり、幕末(1857年)にオランダから購入した木造の軍艦で、万延元(1860)年日本人による最初の太平洋横断に成功した船である。その後歴史は江戸から明治へと移り、北海道の開拓使付属船となったのち、就航中に座礁事故を起こし、木古内の沖、更木岬沖で最期を迎えた。「咸臨丸まつり」は咸臨丸をテーマに



工事状況

昨年8月15日~16日に開催された新たな夏のお祭りである。

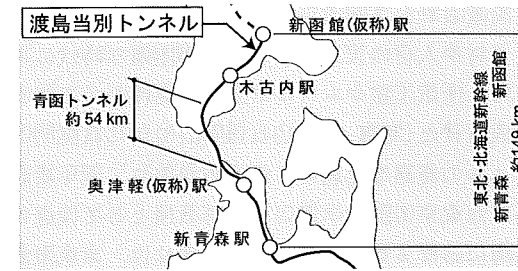
北海道は、東京以北最大の都市である札幌を抱え、年間約2,400万人の人が道外を歩き来しているが、大半を航空機だけに依存している。そのため定時性、安全性、輸送の効率性に優れた新幹線は必要不可欠な施設であるといえる。このような必要性により、平成17年4月に北海道新幹線新青森・新函館間工事実施計画が認可され、平成17年5月22日同工事起工式へと至った。

新幹線が、将来的に札幌まで延伸した場合、札幌一函館間が現在の3時間強から、わずか1時間弱となり、また、札幌-東京間も最短4時間半程度で到達すると期待されている。

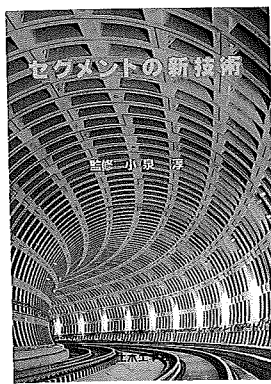
当工事は、木古内町亀川上流が起点となり、茂辺地川終点の渡島当別トンネル全長8,080mのうち、西工区(青森側)全長3,880m(今回：2,700m)の工事である。平成17年11月27日に渡島当別トンネル工事安全祈願を行い、西工区の掘削(上半先進ショートベンチカット工法：機械掘削)を開始した。

3月末現在、トンネル掘削は約170mであり、発注者・関係各位のもと、企業体ならびに協力会社が一丸となって、環境にやさしい、かつ、安全で快適な工事を目指し、頑張っている。

(鉄建・伊藤・岩田・松本道幹、渡島当別T(西)他工事特定建設工事共同企業体所長)



位置図



## 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。



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



## ■平山復二郎と釘宮馨

今回紹介する釘宮馨は、これまで紹介した平山復二郎、白石多士良と中学、高校、大学の同級で、ともに鉄道院に入庁した人物である。平山と白石は、野球やゴルフを通じて交流があったが、釘宮はきまじめな性格であったため、趣味や私生活のつながりはあまりなかったようである。しかし、仕事のうえでは、圧気潜函工法の実用化をはじめ、トンネル工事や会社の経営などを通じて互いに協力し、わが国の土木技術の発展に尽力した。また釘宮は、関門トンネルの工事のために発足した下関改良事務所の初代所長として、さらに東京帝国大学教授として、多くのトンネル技術者を育てた功労者でもある(写真-1)。

## ■土木技術者としての釘宮馨

釘宮馨は、1888(明治21)年3月31日、大分県臼杵市で生まれた。父・剛は、馨が4歳のときにニコライ堂(日本基督正教会)の牧師となったため上京し、神田駿河台で少年期を過ごした。馨は、府立一中、第一高等学校へと進学するが、成績、操行とも優秀で、常に組長を務める模範的生徒であった。1912(明治45)年、一中時代からの同級生であった平山、白石とともに東京帝国大学土木工学科を卒業し、鉄道院建設部に配属された。

1917(大正6)年には、技師に昇進して上越線の測量調査に従事したのち、建設工事の機械化を研究するため約1年半をかけて欧米を視察するが、関東大震災の発生によって1923(大正12)年12月に帝都復興局へ出向し、隅田川出張所長に就任した。そして、永代橋の工事では、アメリカから技術者を招くなどして、わが国最初の圧気潜函工法を成功に導いた(写真-2)。続いて、名古屋鉄道局木曾揖斐川橋梁改良事務所長として圧気潜函工法を適用したほか、熊本建設事務所長、信濃川電気事務所長を歴任して各地のトンネル工事などに携わった。

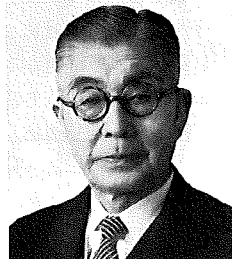


写真-1 釘宮馨(1888～1961)

1936(昭和11)年、関門トンネルの工事とともに設置された下関改良事務所の初代所長に任命され、資材や人材の欠乏する戦時中の困難な時代において、圧気工法やシールド工法を駆使してこれを完成させた(写真-3)。1941(昭和16)年には関門トンネルの貫通を見届けて鉄道省を去り、翌年新設された東京帝国大学第二工学部教授として後進の指導にあたった。1948(昭和23)年には、東京帝大を定年で退官して三井鉱山、熊谷組、白石基礎などの顧問を歴任したが、1961(昭和36)年7月9日、

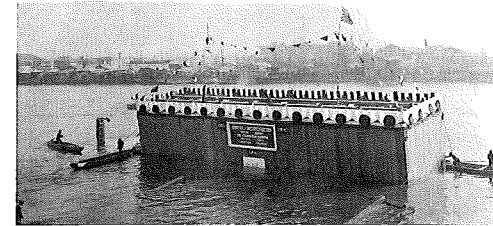


写真-2 永代橋の基礎工事で行われたわが国最初の圧気潜函工法(所蔵：鉄道総合技術研究所)

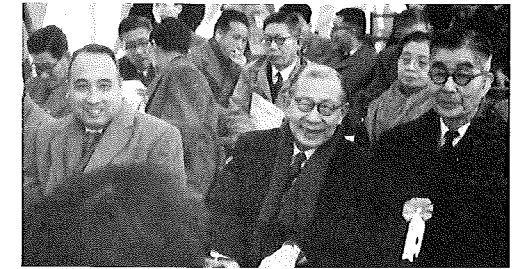


写真-4 関門トンネルの開通式で並ぶ釘宮馨、平山復二郎、星野茂樹(右から)



写真-3 視察に訪れた高松宮殿下(右)に関門トンネルのシールド掘削機を説明する釘宮(中央)

胃癌のため73歳の生涯を閉じた。葬儀は父ゆかりのニコライ堂で執り行われ、雑司ヶ谷墓地に埋葬された。

## ■釘宮が育てたトンネル技術者たち

釘宮の性格は、温厚で争いごとを好まず、常に英国紳士然としており、酒をたしなむ程度で、遊びやスポーツにも無縁だったと伝えられる。平山復二郎はそうした釘宮を「(現場の長という職務は)ちょっと君の性格には、ふむきと思われる」と評したが、にもかかわらず入庁直後に建設部に在籍したのみで、そのほとんどを建設現場の長として過ごしたのは皮肉なことであった。平山によれば、「なかなか強い信念の持ち主」で「柔よく剛を制す」の典型的な人物だったようであるが、現場の猛者たちのまとめ役としては、むしろ釘宮のようなタイプが適任だったのかもしれない。

この釘宮の下からは、その後の鉄道トンネル技術を支えた「トンネル屋」たちが数多く育ち、戦後の発展へとつながる技術継承の役割を果たした。下関改良事務所には、丹那トンネルの経験者であ

る有馬宏、釘宮の次の所長となる星野茂樹、シールドトンネルの普及に貢献した加納俊二、のちに京都大学教授となる村山朔朗、戦後の鉄道トンネル技術を支えた高坂紫朗など、錚々たるメンバーが集結し、釘宮の薫陶を受けた。

釘宮は、シールド工法の適用に先立って、1938(昭和13)年、技手であった斎藤真平と小竹秀雄を帯同してアメリカへ渡り、ハドソン川のシールド工事現場を視察した。当時、日米関係は緊張状態のさなかであり、しかも帝大卒以外の技術者を伴って海外へ出張することは異例中の異例であったが(斎藤は岩倉鉄道学校、小竹は小倉工業学校卒)、これは平山復二郎の尽力によるものであった。鉄道省建設局長であった平山は、実際に現場を担当する責任者が視察してこそ効果があるとして人事担当者を説得し、斎藤と小竹のアメリカ渡航を実現させたのである。斎藤は、不幸にして、手塩にかけた関門トンネルのシールドが掘進を開始して間もなく、過労のため立坑から落下して殉職するが、その死は釘宮にとって痛恨の極みであった。一方、小竹は斎藤の遺志を継いでシールド工法を成功に導き、トンネル分野では貴重な機械系技術者として、戦後のシールド掘削機やTBMの開発に貢献した(本誌・Vol.3, No.9参照)。

ちなみに、関門トンネルの貫通では(写真-4)、貫通石が安産のお守りになると新聞が報じたことから現場に希望が殺到し、このため釘宮は高坂と図って貨車3両分の貫通石を運ばせ、これに応じたと伝えられる。時あたかも、「産めよ増やせよ」の時代であったが、昨今の少子化対策のためには、この位の大盤振る舞いが必要かもしれない。



# 「日本最後の清流」四万十川より

安永礼三

高知県の南西部に位置する四万十町は四万十川の中流域にあり、平成18年3月20日に窪川町・大正町・十和村が合併してできた新町である。名前の由来ともなっている四万十川は愛媛県と高知県の県境近くの津野町北西部にある不入山の東斜面標高1,200 m付近を源流点として、蛇行をくり返しながら延長196 kmに及び、多くの支流を集めて土佐湾に注いでいる。

現場のある旧十和村は四万十市(旧中村市)と接しており、鯉のぼりの村として知られている。毎年山が新緑に染まる4月から5月にかけて四万十川を500匹あまりの鯉のぼりが泳ぐ「鯉のぼりの川渡し」が行われる。この「鯉のぼりの川渡し」は、昭和48年ごろ地元の少年たちの「最近では家で鯉のぼりを上げてくれん」という会話を聞いた旧十和村の体育会のメンバーが「よっしゃ、それやったらおまんら鯉のぼりをもってこい！まとめてあげちゃう」と翌49年に50匹の鯉のぼりをロープを使いながら川の上になんとか渡したのがはじまりであり、今では全国から観光客が来るようになった。

また、この村には秋祭りの際「牛鬼」と呼ばれる練りものが練り出される。「牛鬼」の面は恐ろしい鬼面であり、赤または緑色に塗られ、口はカッと大きく豪快に開くように作られている。長い髪を生やし、左右の角は太く長く、4mあまりの丸太を支柱にして首を上下に動かす。胴体は青竹を割って編んだものに赤の布、あるいは全身しゅろの毛で覆い、その中に数十人が入って練り歩くのである。頼山陽著「日本外史」によると、「豊臣秀吉が加藤清正に朝鮮出兵を命じた文禄の役(文禄元(1592)年)に武将加藤清正が韓国の慶尚道・晋州



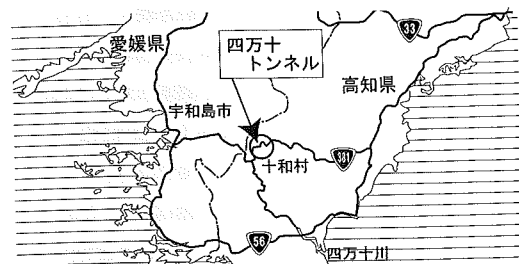
完成予想図

にある晋州城を攻めるときに、亀甲を造って城の上からおろす矢や、投げつける石を防いだのがはじまり」と言われているが、愛媛県喜多郡・宇和郡の領主戸田勝隆の家臣、大洲太郎が猛獣の襲来を防いだのが起こりだとかいろいろあり、定説をみない。

「牛鬼」は主に愛媛県南予地方の風土に溶け込んだものであるが、愛媛県南予地方から流れてくる四万十川の支流「広見川」沿いにこの地方まで伝わってきたものである。

さて、四万十トンネルは最後の清流四万十川沿いに走る国道381号の道路改築工事で、平成16年10月に着手した。現在の国道381号は、四万十川沿いに現道があることから、山側には長大な切土面、川側には巨大なコンクリート擁壁を施工する計画としていた。しかし、この区間には河畔林であるセンダン並木やカシなどの景観林が多数あり、四万十川ならではの自然景観が形成されていることから、この現道をそのまま残すように道路線形が変更となり3本のトンネルと2本の橋梁による半家バイパスが計画された。

四万十トンネルは、四万十町井崎と四万十市西土佐半家を結ぶ延長981mのトンネルで、現場のスローガンを“LAST PURE STREAM in JAPAN”(日本最後の清流)とし、環境に最大の配慮をしつつ、安全・品質を確保しながら工事を進めている。(飛鳥・大旺・生田組共同企業体境ヶ谷トンネル作業所所長)



位置図

# 業界案内

## 目次

- コンサルタンツ業 ..... III
- 建設業 ..... IV
- 建設機械・建設材料業 ..... VII

## 【コンサルタンツ業】

社名・代表者名	営 業 種 目	所 在 地	電 話
機片平エンジニアリング 代表取締役社長 藤波 督	道路設計, 橋梁設計, トンネル設計, 地表地質調査・解析, 環境調査, CG, 交通計画, 都市計画, 景観緑化計画	本 社 〒112-0002 東京都文京区小石川2-22-2 和順ビル 支 店 名古屋支店, 大阪支店, 福岡支店 事 務 所 仙台事務所, 広島事務所	(03)5802-1616(代)
川崎地質 株式会社 代表取締役社長 齋藤 善悦	建設コンサルタント 建9-11号 地質・道路・トンネル・鋼構造及びコ ンクリート・都市計画及び地方計画	本 社 〒108-8337 東京都港区三田2-11-15 支社・支店 北日本・北海道・北陸・東日本・北関東・中部・ 西日本・神戸・中国・四国・九州	(03)5445-2071(代)
住鉦コンサルタント(株) 代表取締役社長 中村 建一	地盤調査・各種物理検層及び解析 地下水調査・解析, 環境調査等, トンネルの計画及び設計	本 社 〒110-0008 東京都台東区池之端2丁目9番7号 支 店 札幌支店, 仙台支店, 東京支店, 名古屋支店, 大阪支店, 四国支店	(03)3827-6133
株式会社 ドーコン 代表取締役社長 柳川 捷夫	総合建設コンサルタント 1)土木, 農業, 水産, 林業関係の 調査計画及び設計 2)建築, 都市 環境施設ならびに上下水道の調査・ 計画及び設計 3)地質, 土質, 環 境保全ならびに防災に関する調査・ 計画及び設計 4)コンピューター等 によるシステム開発に関する事業	本 社 〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1 東 京 支 店 〒105-0013 東京都港区浜松町2丁目6-2 藤和浜松町ビル 東 北 支 店 〒980-0803 仙台市青葉区国分町1丁目6-18 東北王子不動産ビル 函館事務所 〒040-0063 函館市若松町15-7 函館北洋ビル 旭川事務所 〒070-0034 旭川市4条通9丁目1703 旭川北洋ビル 釧路事務所 〒085-0015 釧路市北大通8丁目2 道銀ビル 青森事務所 〒030-0861 青森市長島1丁目3番17号 阿保齒科ビル	(011)801-1500 (03)5473-1301 (022)225-2860 (0138)27-2613 (0166)24-5744 (0154)22-1891 (017)721-2212
株式会社 東亜測器 代表取締役 藤田 清一	NATM計測, 地下空洞挙動計測業務, 斜面動態観測, 近接施工安全監視業務, トンネル関連計測装置開発, 計器製造,	本 社 〒220-0051 横浜市西区中央1丁目28番8号 製 造 部 〒242-0024 大和市福田6丁目9番19号 大阪事務所 〒578-0903 東大阪市今米1丁目14番59号	(045)321-1653 (046)269-5253 (0729)66-7581
パシフィック コンサルタンツ(株) 代表取締役 高橋 仁	総合建設コンサルタント	本 社 〒206-8550 東京都多摩市関戸1丁目7番地5 支 社 北海道・東北・盛岡・北関東・東関東・東京・新潟・横浜・ 中部・大阪・京都・神戸・四国・中国・九州・宮崎・沖縄	(042)372-0111
メトロ開発株式会社 代表取締役社長 大門 信之	建設コンサルタント 建15第4027号 測量業 第(4)-18768号 建設業 東京都知事般-15第110434号	本 社 〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9 仙台営業所 〒981-0914 宮城県仙台市青葉区堤通雨宮町4-11 横浜営業所 〒244-0815 神奈川県横浜市戸塚区下倉田町424-4	(03)5847-7800 (022)717-6805 (045)864-9881
株式会社 ロード・ エンジニアリング 代表取締役 清水 洋	道路, 道路構造物, 付帯設備の調 査, 設計, 施工管理, 現場診断, 特にトンネルに関する部門を完備	本 社 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-24-7 冠ビル 福岡支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1-15-22 大阪支店 (072)691-0711 沖縄事務所 (098)870-6411	(03)3891-0711 (092)436-1588

【 建 設 業 】

社名・代表者名	営 業 種 目	所 在 地	電 話
石田土木株式会社 代表取締役 石田 誠一	・トンネル工事 ・一般土木工事	本 社 〒876-0814 大分県佐伯市東町11番19号	(0972)23-5811
伊藤組土建株式会社 取締役社長 吉野 龍男	総合建設業	本 社 〒060-8554 札幌市中央区北4条西4丁目1 東京支店 〒103-0027 東京都中央区日本橋2-7-9 東北支店 〒980-0802 仙台市青葉区二丁目2-15 二丁目鹿島ビル	(011)261-6111 (03)3271-3611 (022)264-1521
梅林建設株式会社 代表取締役社長 梅林 秀伍	総合建設業	本 社 〒870-0044 大分市舞鶴町1丁目4番35号 大分三井ビル 東京本部 〒102-0073 東京都千代田区九段北1丁目15番12号 支 店 東京・大阪・広島・福岡・熊本・宮崎・鹿児島	(097)534-4151 (03)3263-1401
株式会社 奥村組 取締役社長 奥村太加典	総合建設業	本 社 〒545-8555 大阪市阿倍野区松崎町2-2-2 東京本社 〒108-8381 東京都港区芝5-6-1 支 社 札幌・東北・東京・北関東・横浜・東関東・北陸・名古屋・関西・神戸・広島・四国・九州・福岡	(06)6621-1101 (03)3454-8111
株木建設株式会社 代表取締役社長 株木 雅浩	総合建設業	本 店 〒310-0845 茨城県水戸市吉沢町311-1 東京本社 〒171-8560 東京都豊島区高田3-31-5 支 店 札幌・東北・つくば・東京・横浜・北関東・名古屋・大阪・広島・九州	(029)248-0688 (03)3984-4115
木部建設 株式会社 代表取締役社長 木部 信敏	総合建設業	本 社 〒180-0006 東京都武蔵野市御殿山1-6-10 支 店 仙台 営業所 名古屋・福島	(0422)48-7221(代)
株式会社 熊谷組 代表取締役社長 大田 弘	総合建設業	本 社 〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1 支 店 北海道・東北・首都圏・横浜・名古屋・北陸・福井・関西・広島・四国・九州・国際	(03)3260-2111(代)
弘新建設株式会社 代表取締役 鈴木 清吉	・一般土木工事 ・シールド工事, 推進工事 ・ケーソン工事, 深礎工事	本 社 〒478-0017 愛知県知多市新知字美濃川66-1 関東営業所 〒110-0004 東京都台東区下谷1-9-6 小泉ビル4F	(0562)55-5299 (03)3843-5966
五洋建設株式会社 取締役社長 村重 芳雄	総合建設業	本 社 〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8 支 店 札幌・東北・北陸・東京・横浜・名古屋・大阪・中国・四国・九州・南九州	(03)3816-7111
佐藤工業株式会社 代表取締役社長 杉 晟	総合建設業	〒103-8639 東京都中央区日本橋本町4-12-19 支 店 札幌・東北・東京・横浜・北陸・名古屋・大阪・中国・四国・九州・シンガポール	(03)3661-1794
株式会社ジェイテック 代表取締役社長 木内 賢三	地下立体交差工事 (HEP&JES工法)	本 社 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町3-12-3	(03)5215-5614
清水建設株式会社 取締役社長 野村 哲也	総合建設業	本 社 〒105-8007 東京都港区芝浦1丁目2-3 シーバンスS館 支 店 東京・千葉・横浜・土木東京・関東・名古屋・大阪・神戸・四国・広島・九州・北陸・東北・北海道・海外土木	(03)5441-1111

社名・代表者名	営 業 種 目	所 在 地	電 話
新日本開発(株) 新日本エンジニア(株) グループ代表 箕井 伸	トンネル補助工法(パイプ Roof, マイクロパイル, AGF, DIP工法他), 各種杭工事, 注入工事, 地盤改良工事, 地すべり対策工事(集水井, 水抜き工, アンカー工), 地質調査業, 構造物補修補強工, ウォーターハンマー工法	本 社 〒550-0012 大阪市西区立売堀2-4-19 東京支店 〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-7 営 業 所 京都・和歌山・兵庫・沖縄	(06)6543-1175 (06)6543-2920 (03)3526-6660
株式会社 すばる建設 代表取締役社長 稲村 政彦	総合建設業 主要工事 トンネル工事施工	本 社 〒341-0024 埼玉県三郷市三郷3-6-6 支 店 〒125-0041 東京都葛飾区東金町3-41-22 営業所 〒330-0854 埼玉県さいたま市大宮区桜木町2-398-201	(048)952-8338 (03)3608-0091 (048)665-9588
銭 高 組 社 長 銭高 一善	総合建設業	〒550-0005 大阪市西区西本町2-2-11 なにわ筋ツインズウエスト 〒102-8678 東京都千代田区一番町31 支社・支店 大阪・東京・北海道・東北・北関東・千葉・横浜・北陸・名古屋・神戸・広島・四国・九州	(06)6531-6431 (03)3265-4611
大豊建設株式会社 代表取締役 岡村 康秀	総合建設業	本 社 〒104-8289 東京都中央区新川1-24-4 支 店 北海道・東北・北陸・東京・横浜・名古屋・大阪・神戸・四国・広島・九州	(03)3297-7006
株式会社 竹中土木 取締役社長 竹中 康一	総合建設業	本 社 〒136-8570 東京都江東区新砂一丁目1-1 本支店 北海道・東北・東京・横浜・名古屋・大阪・四国・広島・九州	(03)6810-6200
東洋電機工業株式会社 代表取締役社長 皆川 東生	総合電設業 電気・通信・空調・消防の設計, 施工, 管理	本 社 〒946-0031 新潟県魚沼市原虫野385番地 東京支店 〒135-0001 東京都江東区毛利2-12-8 新潟営業所 〒950-0962 新潟県新潟市出来島1-4-16DN II ビル	(025)792-2171 (03)5669-1331 (025)281-8001
戸田建設株式会社 代表取締役社長 加藤 久郎	総合建設業	本 社 〒104-8388 東京都中央区京橋1-7-1 支 店 東京・千葉・関東・横浜・大阪・北陸・名古屋・札幌・東北・広島・四国・九州	(03)3535-1354
飛鳥建設株式会社 代表取締役社長 池原 年昭	総合建設業	本 社 〒102-8332 東京都千代田区三番町2番地 支 店 札幌・東北・関東土木・関東建築, 埼玉・千葉・横浜・名古屋・北陸・大阪・広島・四国・九州・国際	(03)5214-8200
西松建設株式会社 代表取締役社長 國澤 幹雄	総合建設業	本 社 〒105-8401 東京都港区虎ノ門一丁目20番10号 関西支店 〒540-8515 大阪市中央区釣鐘町二丁目4番7号 支 店 札幌・東北・関東・東関東・横浜・北陸・中部・四国・九州	(03)3502-7648 (06)6942-8855
日本基礎技術株式会社 取締役社長 湯澤 栄次	トンネル補助工事, 地盤汚染対策工事, ダムグラウチング工事, 斜面安定工事, 地すべり対策工事, 地盤改良工事	東京本社 〒150-0031 東京都渋谷区桜丘町15番17号 支 店 札幌・東北・首都圏・関東・中部・関西・広島・九州	(03)3476-5701
株式会社 間 組 代表取締役社長 新名 順一	総合建設業	本 店 〒105-8479 東京都港区虎ノ門2-2-5 支 店 札幌・東北・北陸・関東土木・東京建築第一・東京建築第二・横浜・名古屋・大阪・四国・広島・九州・国際事業統括	(03)3588-5700
株式会社 フジタ 取締役社長 網本 勝彌	総合建設業	本 社 〒151-8570 東京都渋谷区千駄ヶ谷4丁目25番2号 <a href="http://www.fujita.co.jp">http://www.fujita.co.jp</a>	(03)3402-1911
株式会社本間組 代表取締役社長 本間 達郎	総合建設業	新潟本社 〒951-8650 新潟市西湊町通三ノ町3300番地3 東京本社 〒101-0033 東京都千代田区神田岩本町四番地 支 店 東北・東京・名古屋・関西・中国・四国・九州・佐渡	(025)229-2511 (03)3256-0878

業 界 案 内

社名・代表者名	営業種目	所在地	電話
前田建設工業株式会社 代表取締役社長 前田 靖治	総合建設業	本店 〒102-8151 東京都千代田区富士見2-10-26 支店 北海道・東北・関東・東関東・北関東・長野・横浜・北陸・福井・中部・関西・神戸・四国・中国・九州	(03)3265-5551
真柄建設株式会社 取締役社長 真柄 宏司	総合建設業	本社 〒920-0901 石川県金沢市彦三町1-13-43 東京本社 〒102-0083 東京都千代田区麹町5-1-6 本店/金沢・東京 支店/大阪・名古屋	(076)231-1266(代) (03)3222-9721(代)
有限会社 圓 代表取締役 杉谷 修	トンネル覆工業 トンネル防水工(防水シート) シールド工一式	本社 〒849-0937 佐賀県佐賀市鍋島4丁目3-12	(0952)32-0894
三井住友建設株式会社 代表取締役社長 五十嵐久也	総合建設業	中野坂上オフィス 〒164-0011 東京都中野区中央1-38-1 支店 北海道・東北・東関東・東京・首都圏住宅建設事業部・横浜・静岡・名古屋・大阪・広島・四国・九州	(03)5337-2132
名工建設株式会社 代表取締役社長 増永 防夫	総合建設業 建設コンサルタント業 測量業	本店 〒450-6113 名古屋市中村区名駅1-1-4 JRセントラルタワーズ34階 〒451-0045 名古屋市西区名駅1-1-17	(052)589-1501 (052)561-8371
		東京支店 〒110-0016 東京都台東区台東3-28-8 名工建設東京ビル	(03)5807-7860
		静岡支店 〒422-8067 静岡市駿河区南町3-1	(054)283-3800
		甲府支店 〒400-0863 甲府市南口町6-15	(055)235-8811
		大阪支店 〒550-0012 大阪市西区立売堀1-3-13 第三富士ビル9階	(06)6533-0521
		名古屋支店 〒451-0045 名古屋市西区名駅1-1-17 北陸支店 〒920-0031 金沢市広岡1-5-23 営業所 豊橋・三重・高山・米原・岐阜・東濃・知多・常滑・飯田・木曾・多摩・横浜・浜松・神戸・滋賀・京都・敦賀・福井・富山	(052)561-8371 (076)262-5500
矢作建設工業株式会社 取締役社長 山田 文男	総合建設業	本社 〒461-0004 名古屋市東区葵3-19-7 支店等 東京・東北・大阪・広島・九州・豊田 営業所 横浜・静岡浜松・岐阜・三重・京都・奈良・神戸他	(052)935-2351
吉岡建設株式会社 代表取締役社長 吉岡 隆一	建設業 土木工事施工 (トンネル、シールド他)	本社 〒569-1136 大阪府高槻市郡家新町41番2号 支店 札幌 営業所 大阪・和歌山・神戸	(072)681-1866

【建設機械・建設材料業】

社名・代表者名	営業種目	所在地	電話
株式会社 イズミ 代表取締役 竹瀬 元紀	RPEロックボルト シールド用仮設資材販売・リース 各種鋼管販売・リース	本社 〒651-1431 兵庫県西宮市山口町阪神流通センター1丁目108 東京 〒101-0047 東京都千代田区内神田1丁目16-13中澤ビル 九州 〒811-2307 福岡県粕屋郡粕屋町大字原町372	(078)903-0200 (03)3233-1701 (092)957-1570
エスティーエンジニア リング株式会社 代表取締役 谷山 慎吾	●自穿孔ボルト(大小5サイズ) ●FIXチューブ工法(鏡補強) ●AGF-SP工法, STDビット ●PUIF注入管, SP-IF工法 ●SPルートパイル工法 ●高耐力SPマイクロパイル工法	〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2	(0729)90-0250
株式会社 演算工房 代表取締役 辻 宗克	情報化施工支援システム, 自動測量 システムの提供, 建設解析コンサル タント	京都本社 〒604-0847 京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階 東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町3-15-5 7階	(075)213-7200 (03)3518-2588
岡部株式会社 取締役社長 大野 要	ジェルフォー(無機系注入材), AGFST(大径自穿孔パイル), 各種 ロックボルト・グラウンドアンカー	土木事業部 〒130-0002 東京都墨田区業平3-14-4 営業部 北海道・東北・関東・新潟・中部・関西・九州	Tel(03)3624-5116 Fax(03)3624-5189
カジマメカトロエンジ ニアリング株式会社 代表取締役 西川 五十	シールド掘進機及び付属設備・掘進 管理システム・セグメント自動搬送 設備・自動荷役機械・各種クレーン・ ずり出し設備・泥水, 濁水処理設備・ インバータ低騒音送風機・大型集塵 機	本社 〒107-0051 東京都港区元赤坂1-1-5 川越事業所 〒350-1165 埼玉県川越市南台1-6-1 関西事業所 〒555-0042 大阪府大阪市西淀川区西島1-1-146 東北営業所 〒980-8621 宮城県仙台市青葉区二日町1-27 四国営業所 〒760-0052 香川県高松市亀井町1-3 九州営業所 〒812-8513 福岡県福岡市博多区博多駅前3-12-10	(03)5474-3720 (049)243-0318 (06)4808-8855 (022)715-2357 (087)837-1721 (092)481-8048
カヤバシステム マシナリー株式会社 (旧社名:日本鋳機株) 代表取締役社長 石井 英勝	ブームヘッダー: RH-10J, RH-250- MB-SL, RH-8J, RH-7J, RH-3J, MM-49, MM-90, BCS, メッセル 工法, 岩破砕機, シャフトヘッダー SH-37	本社・建設機械部 〒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 中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅前 2丁目6番26号 安川産業ビル	(03)5733-9444 (059)234-4139 (092)411-4998
川崎重工株式会社 代表取締役社長 大橋 忠晴	各種シールド掘進機 各種硬岩用トンネル掘削機(TBM)	東京 土木機械・機器営業部 〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1 関西 土木機械・機器営業部 〒530-0004 大阪市北区堂島浜2-1-29 支社 札幌・仙台・名古屋・広島・高松・福岡	(03)3435-2387 (06)6348-8255
岐阜工業株式会社 代表取締役社長 北川 智秋	トンネル用各種セントル (スチールフォーム, スライドセントル) 建設用機械設計・製作	本社 〒501-0464 岐阜県本巣市十四条144番地 支店 東京 営業所 仙台・九州 工場 本社・果南・谷波・木曾屋・中国2か所	(058)323-2000(代) 営業部 (058)323-2001
ケンサンリース株式会社 代表取締役社長 稲留 弘	トンネル工事, シールド工事, ケー ソン工事用各種機械賃貸及び販売	本社 〒171-0022 東京都豊島区南池袋3-13-15 機 械 〒220-0204 神奈川県相模原市津久井町長竹字金原249-1 センター 〒355-0002 埼玉県東松山市大字東平中ノ巻2218-24	(03)5396-9331 (042)784-8800 (0493)39-5077
株式会社小松製作所 取締役社長 坂根 正弘	各種シールド機械 各種岩盤用トンネル掘削機	建機マーケティング本部 営業本部 トンネル機械営業部 〒107-8414 東京都港区赤坂2丁目3-6	(03)5561-2725

業 界 案 内

社名・代表者名	営 業 種 目	所 在 地	電 話
サンドビクターヨー 株式会社 代表取締役 アリアン・ウエストハウス	ジャンボ、ブレーカー、ロックツール、 ローダー、ダンプトラック、ロードヘッ ダー、ツインヘッダー、他	本 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 営業拠点 北海道、東北、関東、関西、中四国、九州	(045)478-0660
新キャタピラー三菱 株式会社 取締役社長 広瀬 正典	トンネル掘削機械各種 トンネルズリ運搬機械各種 環境リサイクル機械各種	本社・直販部 〒158-8530東京都世田谷区用賀四丁目10番1号(SBSタワー) 全国に9つの販売会社 約250の拠点	(03)5717-1151
株式会社スターロイ 代表取締役社長 本並 義弘	ローラカッタ、カッタビット対応機種 (トンネル掘削機用、基礎工用、 せん孔機械用、路盤機械用)	本 社 〒709-3612 岡山県久米郡久米南町上弓削1317-1 営 業 本 部 〒545-0053 大阪市阿倍野区松崎町2-10-22 東日本営業部 〒335-0023 埼玉県戸田市本町4-3-5-302	(0867)28-4511 (06)6621-1734 (048)447-6780
成和リニューアル ワークス株式会社 代表取締役 木村 洋行	シールド掘進機・泥水、濁水処理装置・ 各種クレーン・吹付ロボット・法面舗 装設備・各種型枠 地中連続壁工事・法面、グラウト工事・ シールド工事・地盤改良工事・環境、 リニューアル工事	本 社 東京都新宿区西新宿1-25-1 新宿センタービル 関西事業所 大阪市中央区南船場1-14-10 名古屋事業所 名古屋市中区区名駅3-3-2 志摩ビル2F 札幌営業所 札幌市中央区南一条西1-2 松崎ビル4F 九州営業所 福岡市中央区赤坂1-13-10 有楽ビル8F 東北営業所 仙台市青葉区二日町5-20	(06)4964-1630 (052)582-3491 (011)210-6851 (092)725-2588 (022)217-1011
株式会社 ソキア 代表取締役社長 伊藤 仁	トンネル内空変位・断面測定システム、 レーザセオドライト、ノンプリズムト ータルステーション、ジャイロ	本社営業部 〒243-0036 神奈川県厚木市長谷260-63 問い合わせ先 株式会社 ソキア販売 本社 〒158-0097 東京都世田谷区用賀2-31-7	(046)250-0914 (03)6684-0846
株式会社 タイクウ 代表取締役 赤阪 全七	トンネル掘進機的设计・製作・販売 山岳トンネル用カッタローダー各種 半機械式シールド掘進マイクロカッタ ズリ積機油圧式タフロード、立抗掘 進機、硬岩掘進機WAV300H、エア モータ	本 社 〒144-0047 東京都大田区萩中3丁目6-5 札幌(営) 〒060-0004 札幌市中央区北四条西6丁目 毎日札幌会館 中部(営) 〒425-0074 静岡県焼津市柳新屋670 (株)赤阪鐵工所内 工 場 〒425-0074 静岡県焼津市柳新屋670 (株)赤阪鐵工所内	(03)3741-3131 (011)232-3650 (054)628-6466 (054)627-5094
ダイノ・ノーベル ジャパン株式会社 代表取締役 安藤 宏	産業用火薬輸入、製造、販売	〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町6-3 日本橋山大ビル5F	(03)5652-5361
太平洋マテリアル 株式会社 代表取締役社長 永山 肇	●NATM用急結剤/ショットマスター ●NATM用高強度急結剤/ショット マスターH●TBM工法用吹付けモル タル/モルショットシステム●AGF工 法用注入材/スーパーハード/スーパー ファスナー/アロフィックスMC●裏 込用充填材/フォルトカバー●高性能 収縮低減剤/クラックセイバー●静的 破砕剤/ブライスター	本 社 高機能建材営業部 東京都中央区日本橋本町4-8-15 東京支店 東京都中央区日本橋本町4-8-15 関西支店 大阪府大阪市北区中之島2-2-2 東北支店 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 中部支店 愛知県名古屋市中区区太閤3-1-18 中国支店 広島県広島市南区京橋町1-23 九州支店 福岡県福岡市中央区天神4-2-31 その他支店 北海道 北陸 四国	(03)3278-5319 (03)3278-5331 (06)6228-6660 (022)221-4511 (052)452-7141 (082)261-7191 (092)781-5331

業 界 案 内

社名・代表者名	営 業 種 目	所 在 地	電 話
株式会社 ティーエムシー 代表取締役 中澤 博数	・トンネル工事用機械の販売、リー ス「掘削機、積込、運搬機械吹 き付機、バッチャーブランチ、 濁水処理設備、集塵機等」 ・トンネル工事資材の販売 ・補助工法の資機材販売、施工指 導、AGF工法、フォアバイリン グ等 岩盤固結材「NEW-TBU, NEW- TSRF」 リフォーム、空洞充填材 「NTRフォーム」 ロックボルト定着材 「セーフロック」	本 社 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第2ビル5F 大阪支店 〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F 仙台支店 〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F 名古屋支店 〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F 九州営業所 〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイ・ソリューションビル1F 富山営業所 〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	(03)3891-8211 (0729)66-6280 (022)286-5111 (0568)56-4288 (0942)40-8151 (0766)29-0001
電気化学工業株式会社 代表取締役社長 川端 世輝	吹付コンクリート用急結剤<デンカ ナトミック>、TBM後吹きモルタル <デンカPPモルタル>、先受工法用 注入材、地盤注入材<デンカES>、 土木・建築用アクリル系接着材<デ ンカハードロックII>	本 社 東京都中央区日本橋室町2-1-1 大阪支店 大阪市北区梅田1-12-38 名古屋支店 名古屋市中村区名駅4-6-23 福岡支店 福岡市博多区冷泉町5-35 他支店 新潟・北陸・長野・札幌・東北 営 業 所 広島・高松・秋田・群馬・静岡・長野・青海	(03)5290-5368 (06)6342-7616 (052)571-4530 (092)263-0835
日東鐵工 株式会社 代表取締役 吉田 進	・自穿孔NTロックボルト	本 社 〒142-0043 東京都品川区二葉4-1-20 MC中延ビル 中国営業所 〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 相模原工場 〒229-1112 神奈川県相模原市宮下1-1-38	(03)5702-0161 (086)234-4800 (042)773-4111
日豊商事 株式会社 代表取締役社長 中島 莞爾	トンネル工事用資機材の販売・リース トンネル補助工法の資材販売・施工 指導	本 社 〒150-0002東京都渋谷区渋谷2-12-12 西日本営業所 〒541-0058 大阪市中央区南九宝寺町2-1-2 九州営業所 〒841-0026 鳥栖市本鳥栖町615-6	(03)3409-8041 (06)6267-0838 (0942)82-1703
ハイモ 株式会社 代表取締役社長 伊藤 建樹	吹付コンクリート粉塵低減剤「ハイ ナトム」、濁水処理凝集剤「ハイモロ ック」(EPA, FDA認可品)	本社・機能商品営業部 〒141-0031 東京都品川区西五反田2-20-1 第28興和ビル	(03)5487-8972
ヒューズ工業株式会社 代表取締役 巽 裕治	騒音・振動防止資材の製造及び販売 (トンネル坑口用防音扉、防音パネル、 防音ハウス、防音シート、防振ゴム)	本 社 〒132-0035 東京都江戸川区平井6-35-5 HFビル 大阪営業所 〒531-0072 大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル	(03)3617-8111 (06)6359-2611
古河ロックドリル 株式会社 代表取締役社長 加藤洋一郎	トンネルドリルジャンボ クローラドリル(油圧・空圧) 油圧ブレーカ 油圧圧砕機・油圧鉄骨カッター コンクリート吹付機 電動式坑内積込機 スロットドリル インパクトオーガドリル ハンドドリル・レグドリル ハンドブレーカ ビット・ロッド 木質系粉砕機	本 社 〒101-0047 東京都千代田区内神田2丁目15番9号 札幌支店 〒003-0024 札幌市白石区本郷通3丁目南4番36 東北支店 〒981-1224 宮城県名取市増田字柳田318番1 関東支店 〒370-0865 群馬県高崎市寺尾町日向1356 東京営業所 〒334-0011 埼玉県鳩ヶ谷市三ツ和2丁目33-14 名古屋支店 〒485-0075 小牧市大字三ツ淵字阿波戸1664-1 関西支店 〒555-0043 大阪市西淀川区大野3丁目7番196号 広島営業所 〒731-0137 広島市安佐南区3丁目11-18 四国営業所 〒760-0078 高松市今里町1丁目30番3 九州支店 〒811-2413 福岡県粕屋郡篠栗町尾仲568 出張所 北陸・静岡・鹿児島	(03)3252-2544 (011)861-3261 (022)384-8991 (027)322-5953 (048)288-0961 (0568)77-7700 (06)6475-8221 (082)832-3542 (087)833-4833 (092)948-2010

## 業界案内

社名・代表者名	営業種目	所在地	電話
株式会社ボノリス物産 代表取締役社長 高津 行秀	急結剤, 湿式吹付け用混和剤, 湿式吹付け用セットコントロール剤, 粉塵低減剤, シリカフューム, 起泡剤, 他	本社 〒106-0032 東京都港区六本木3-16-26 混和剤営業部 支店/東京・大阪 営業所/札幌・仙台・宇都宮・上越・松本・千葉・横浜・静岡・名古屋・高松・広島・福岡・鹿児島	(03)3582-8814 (03)3582-5158 (06)4397-9792
株式会社マシノ 代表取締役社長 増野 裕人	トンネル補修工事 トンネル用鋼製支保工	本社 〒733-0822 広島市西区庚午中1-19-23 大阪支店 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-16-3	(082)507-2737 (06)6389-6400
株式会社 三井三池製作所 代表取締役社長 平川 幸知	ロードヘッダ ツインヘッダ シールド掘進機 推進機 コントラファン エアコンパック エムデックス集じん機	本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2-1-1 産業機械部 流体機械部 代理店 ミイケ材機株式会社 〒132-0021 東京都江戸川区中央1-13-19	(03)3270-2006 (03)3270-2008 (03)3241-4711
三菱重工業株式会社 取締役社長 佃 和夫	各種シールド掘進機 各種硬岩用トンネル掘進機(TBM) 泥土リサイクル装置	本社 〒108-8215 東京都港区港南二丁目16番5号 機械・鉄構事業本部 地中建築事業ユニット 営業グループ 支社 北海道・東北・中部・関西・中国・九州	(03)6716-3111(代)
三菱マテリアル株式会社 代表取締役 井手 明彦	ビット・ロッド・カッタービット ローラーカッター 対応機種(穿孔機械用, トンネル掘削機用, 基礎工事用, 補強・補助工事用)	東京支店 〒130-0015 東京都墨田区横網1-6-1 国際ファッションセンタービル8階 大阪支店 〒530-6070 大阪府大阪市北区天満橋1-8-30 OAPタワー22階 九州営業所 〒810-0941 福岡県大野城市東大和3丁目11号 海外営業 〒503-2394 岐阜県安八郡神戸町横井	(03)5819-5263 (06)6355-1053 (092)573-7372 (0584)27-5011
ヤマモトロックマシニング株式会社 代表取締役 山本 勝俊	油圧・空圧さく岩機, ドリフター, 油圧・空圧クローラードリル, アタッチドリル, 面せん孔機, ドリルジャンボ401,301,101, ロックボルトせん孔機, 立坑せん孔機, 油圧割岩機, 石材せん孔機, 溶融炉開孔機, 関連機械.	本社・東京営業所 〒100-0005 東京都千代田区丸の内3-2-3 工場・東城営業所 〒729-5124 広島県原市東城町東城36 仙台営業所 〒980-0004 仙台市青葉区宮町1-1-70 大阪営業所 〒550-0015 大阪市西区南堀江1-14-28 高知営業所 〒780-0046 高知市伊勢崎町15-10 九州営業所 〒812-0013 福岡市博多区博多駅東1-1-33	(03)3201-0701 (08477)2-2137 (022)262-4531 (06)6531-1571 (088)822-1367 (092)471-0381
ライカジオシステムズ株式会社 代表取締役社長 小原 勉	測量機器の製造, 販売, 輸出入業 地上測量(トータルステーション, ハンディタイプレーザー距離計, レベルレーザー機器), 航空測量, GPS/GIS, 3次元計測用測量機器 アプリケーションの開発, 販売業	本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 21F テクニカルセンター 同上B1F 大阪支店 〒540-6131 大阪市中央区城見2-1-61 31F 福岡営業所 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 6F 札幌出張所 〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 3F 空間画像グループ 〒101-0047 東京都千代田区内神田2-3-3 6F	(03)5940-3020 (03)5940-3055 (06)6910-3871 (092)432-8201 (011)669-1101 (03)3526-5291
磯流機エンジニアリング 代表取締役 西村 章	大型集塵機, インバク低騒音送風機, ダイオキシン・VOCガス専用集塵機, 冷房, 集塵, プラスト, 高圧ブロア, 脱臭	本社 〒108-0073 東京都港区三田3-4-2 プロフィットリンク聖坂 市原工場 〒290-0046 千葉県市原市岩崎1-5-19 リースセンター 〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6	(03)3452-7400 (0436)24-7391 (0296)37-7680

## 特別講座

## 都市トンネル工事の計測(7)

## —特殊断面・鉄道シールドトンネルの技術的課題と計測事例—

京都市交通局建設室総括・計画担当課長 古川 衛  
京都市交通局建設工務部計画改良課設計係長 新治 均  
鹿島建設(株)土木設計本部プロジェクト設計部シールドグループ長 中川 雅由  
(財)地域地盤環境研究所東京事務所主任研究員 粥川 幸司

## ① はじめに

本講座では特殊断面シールド工事における計測技術を取り上げる。キーワードは「複円形シールドトンネル」, 「非円形シールドトンネル」, 「鉄道トンネル」および「現場計測」である。

先月号にて述べたように、わが国におけるシールド工法の最初の成功事例は、九州と本州の間の関門海峡を横断する国鉄の関門鉄道トンネル工事であり、下り線3,614mのうち門司側の不良地盤726m区間に直径7mの圧気工法併用の手掘り式シールド工法が採用された(1936年)。その後、初めての都市部におけるシールドとして、1957年に交通管団4号線永田町工事においてルーフシールドが用いられたが、トンネル掘削形状は馬蹄形であり、覆工はセグメントを使用しない場所打ちライニング工法であった。さらに、1960年には直径6.4m(円形)の名古屋市営地下鉄覚王山トンネル工事において、現在用いられている鉄筋コンクリート製セグメントが初めて採用された。このように、鉄道トンネルはわが国のシールド工法の先駆けとして施工技術の展開・発展に大きく寄与してきたと言える。

また、1960年代後半から1970年代にかけて密閉型シールド工法が適用されるようになると、シールド工法は都市の地下インフラであるライフライ

ンを整備する主要な工法として大きく発展を遂げるようになるが、1986年にはJR京葉線の京橋トンネル工事において、二つの円形をラップさせたトンネル断面を1機の複円形シールドを用いて掘削する複円形シールド工法(横2連MFシールド工法;高さ7.12m,幅12.19m)が採用されると、不要な掘削断面をなくした工法としてさまざまな特殊断面形状の密閉型シールド工法が開発・実用化された。その後、1991年には地下鉄の駅舎に使用する三つの円形をラップさせた横3連MFシールド工法が大阪市交通局のOBP停留場工事にて初めて採用される(横3連MFシールド工法;高さ7.8m,幅17.3m)など、鉄道トンネルは近年のシールドトンネル断面多様化の面でも技術開発・展開の牽引役としての役割を担ってきた。

本講座で紹介するのは、このようなトンネル断面合理化の流れを受けて開発・実用化がなされた2種類の特殊断面シールド工事における現場計測事例である。一つは、大小異なる4つの円が接する形で配置されたカットフェイスを有するシールドで掘削された都営地下鉄大江戸線六本木駅シールド工事(4心円H&Vシールド工法;高さ7.06m,幅13.18m)であり、もうひとつが複線対応の大断面矩形トンネルである京都市地下鉄六地藏北シールド工事(矩形ワギングカットシールド工法;高さ6.87m,幅10.24m)である。

表-1 わが国における特殊断面シールドトンネル(密閉型)の主な施工

断面形状	断面寸法	工事名称(略称)	工法
複円形 (ラップ式)	高さ 7.12 m×幅12.19m	JR京葉線京橋トンネル工事	横2連MFシールド工法
	高さ 9.36 m×幅15.86m	東京都有明北地区共同溝工事	横2連DOT工法
	高さ 6.52 m×幅11.12m	名古屋市交通局高速度鉄道第4号線	横2連DOT工法
	高さ 7.8 m×幅17.3 m	大阪市地下鉄7号線OBP停留場工事	横3連MFシールド工法
	高さ 8.846m×幅17.44m	都営地下鉄大江戸線飯田橋駅区建設工事	横3連MFシールド工法
	高さ10.04 m×幅15.84m	東京メトロ南北線白金台二工区土木工事	着脱式3連MFシールド工法
複円形 (接円式)	高さ 7.74 m×幅16.44m	東京メトロ半蔵門線清澄区建設工事	揺動形横3連MFシールド工法
	上φ3.29m+下φ2.89m	東京都南台幹線工事	縦2連H&Vシールド工法
矩 形	左右φ6.56m+上下φ1.72m	都営地下鉄大江戸線六本木駅区建設工事	4心円H&Vシールド工法
	高さ3.98m×幅 4.38m	習志野市菊田川2号幹線工事	矩形偏心多軸シールド工法
	高さ2.85m×幅 2.85m	中央区銀座7・8丁目地下駐車場整備工事	ボックスシールド工法
	高さ7.97m×幅 5.44m	建設省302号小田井山田共同溝工事	異形断面シールド工法
楕円形	高さ6.87m×幅10.24m	京都市地下鉄東西線六地蔵北工事	矩形ワギングカッターシールド工法
	縦楕円3.16m×4.66m	東京都新大森幹線その4工事	自由断面シールド工法
複合円形	高さ8.66m×幅9.96m	東京メトロ13号線神宮前シールド工事	複合円形EX-MAC工法

前者は、ホーム部と列車軌道部をシールド工法で一括構築した事例であり、4リング(4m)に1本の割合で柱を組み込むため、中央部の上下にはトンネル縦断方向に桁部材を組み込んだ特殊覆工構造となっている。このため、ここでは主にトンネル覆工に作用する荷重および覆工部材の応力計測結果について紹介する。

一方、後者は、駅舎間の一般線路部と渡り線部を同時に1台の矩形シールドを用いて一括構築した事例であり、中柱を設置する一般線路部と中柱を設置できない渡り線部の覆工構造が異なること、小土かぶり砂礫層を掘進したことから、覆工に作用する荷重、覆工部材の応力計測結果に加え、覆工の変形と地盤変状計測結果についても紹介する。参考までに、わが国における特殊断面シールドトンネルの主な施工事例を表-1に示す(密閉型シールド工法による施工実績)。

## ② 特殊断面鉄道シールドトンネルの技術的課題

先月号の「2 大断面・道路シールドトンネルの技術的課題」にて述べたが、鉄道トンネルも道路トンネルと同様に、上下線トンネルを小さな離

隔で併設するか(単線トンネル×2本)、上下線を包含する大断面複線トンネルとなることから、鉄道シールドトンネルは道路シールドトンネルと同様な技術的課題を有している。

本講座においては、鉄道シールドトンネルの中でも、複円形や矩形など、トンネル断面形状が円形以外の特殊断面シールドトンネルに関する技術的課題について言及することとする。

鉄道トンネルにおける特殊断面シールド工法では、必要空間(建築限界)形状からほとんどが扁平な断面となっている。たとえば、一般線路部では扁平率(短径/長径)が約2/3程度、駅舎部では扁平率が約1/2程度である。したがって、シールド掘進時に地表面や周辺地盤へ与える影響が懸念されるために慎重な切羽安定管理および裏込め注入管理が必要となること、正確な線形管理およびシールド姿勢制御が求められること(とくに、特殊形状であるため、ローリング抑止による必要内空の確保にも留意する必要がある)、過大な変形や施工時における部材の損傷を抑止するために特殊形状のセグメントを精度良く組み立てる必要があるなど、施工時における技術的課題が大きくなる。

また、覆工構造(計画・設計)の面では、特殊形

状覆工に作用する土圧、裏込め注入圧や近接構造物による荷重といった作用荷重の評価(設定)によって覆工の部材応力が大きく異なること(とくに、偏圧の評価)、単線トンネル併設となる場合にはお互いの近接施工によってトンネル覆工は相互に影響を受けること、柱を有する覆工の場合には柱部材とセグメントとの接合条件(実際の接合状態)によって覆工の部材応力が異なることなど、作用荷重や部材接合点の評価が主な技術的課題である。したがって、施工時における覆工の変形(出来形形状)、地盤変状、トンネル線形、覆工部材応力などの現場計測、およびトンネル完成時、供用時における覆工への作用荷重や覆工部材応力を計測し、その挙動を適切に評価することが重要となる。このように、特殊断面となる鉄道シールドトンネルの機能を満足したうえで、設計、施工の合理化を目指すためには、施工時および供用後の長期にわたる各種現場計測の実施と計測結果の蓄積、評価、フィードバックが欠かせない。

## ③ 特殊断面鉄道シールドトンネルの現場計測例

### 3-1 複円形シールドトンネルの覆工計測の例(都営地下鉄大江戸線六本木駅工事)

#### 3-1-1 工事の概要<sup>1)</sup>

##### (1) 工事の制約条件とトンネル構造

六本木駅シールド工事は、日本有数の繁華街である六本木に駅を建設する工事である。図-1、2に概要を示す。

工事は、次の制約条件のために4心円シールド(写真-1)による上下2段でのトンネル施工となった。

- ① 道路幅員が狭い。
- ② 昼夜を問わず交通量・歩行者の数が多。
- ③ 地下には電力施設を始め大小の重要埋設物が輻射している。

このトンネルの断面形状は、大円が横に接するような形となっており、円が接する部分の上下には特殊な形状のセグメント(以下一体型セグメントと称する)のための小円を配置した4心円断面である。また、上下の一体型セグメントの間には4リング(4m)に1本の割合で柱を組み込む。このため、一体型セグメントはトンネル縦断方向に桁を構成する部材(箱桁部材)を組み込み、一体化した構造である。本トンネルの供用時には大円の一方が軌道部、他方がホーム部となる。

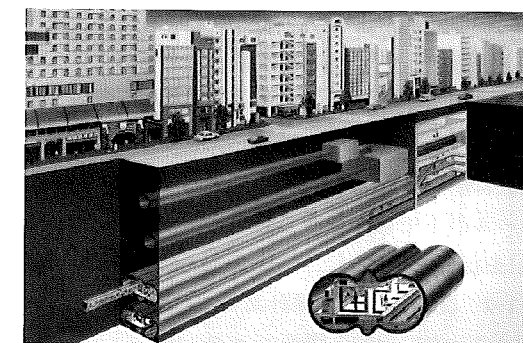


図-1 六本木駅シールド工事概要

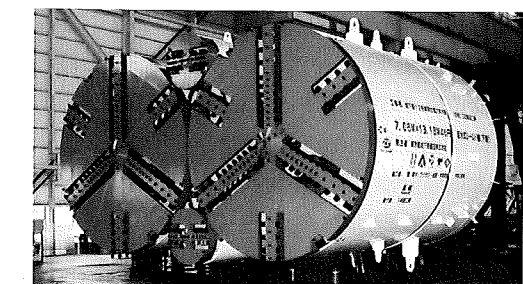


写真-1 4心円シールド

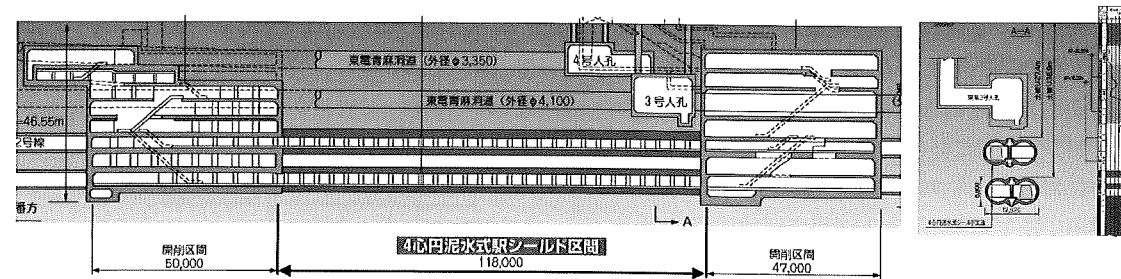


図-2 六本木駅区断面図

地下鉄駅をシールドで建設する事例としては、大阪市交通局OBP駅3連MFシールド、都営地下鉄大江戸線飯田橋駅3連MFシールド、東京メトロ南北線白金台駅着脱式3連MFシールドについて4例目であった。前三者はいずれも3連MFシールドでトンネル断面内に柱2本を有する比較的安定した断面構造であるが、六本木駅においては、断面内で柱1本の構造になっていることが特徴である。

(2) 土質概要

工事箇所付近の地質は、上部より表土(Ts)、関東ローム層(LmLc)、東京砂層(Tos)、東京粘性層(Toc)、東京礫層(Tog)、上総層泥岩(Kam)、上総層砂質土(Kas)と続いている。東京砂層以深の層は連続性がよくN値は50以上であるが、とくに上総層については南東に傾斜していることが特徴である。地下水位は常時はGL-10m付近である。一方、発進部では電力マンホールの残置杭の撤去に際しての導坑掘削を行う必要があり、マンホール直下では地盤改良(MJS工法、薬液注入工法)を行っている。

3-1-2 覆工構造の現場計測<sup>2)</sup>

(1) 計測の目的と概要

本トンネルは特殊な断面形状、またそれともなう特殊な構造形式を有している。さらに離隔が2.7mと近接した上下2段でのシールド施工である。このような特殊な施工条件において、実際に地中に構築された覆工構造の安全性を確認するために、現場計測を実施することとした。以下に計測の具体的な目的を示す。

- ・覆工へ作用する土水圧確認と設計荷重との比較
- ・仮柱撤去時の本柱への荷重移行と安全性確認

(2) 計測箇所と計測方法

覆工への作用荷重の計測は一般部(63~65リング)で行った。これは、覆工設計での荷重の取り扱いにおいて、マンホール下部では、マンホールが開削工法で構築されているので全土かぶり圧を、一般部では上段トンネルを含めた緩み土圧(緩み高さ28.9m)を採用したことを考慮したものであ

る。使用した計測器はパッド式土圧計、水圧計である。

柱については、13、17リングの本柱およびこの間の仮柱3本を計測している。これは、施工時において本柱、仮柱の発生断面力がどのようになるか、仮柱撤去時において仮柱の負担していた鉛直荷重が本柱に移行されるかを確認するものである。

3-1-3 計測結果と考察

(1) 覆工に作用する土圧、水圧

図-3に、まず下段シールド掘進時の覆工への計測土圧(63リング)の経時変化を示す。64~66リング掘進時においていずれの計測箇所も一時的に計測値が上昇しているが、64リング掘進時にはテールブラシの抑え圧、またはテールグリス圧(実績0.2~0.37MPa)、65、66リング掘進時では裏込め注入圧(実績0.25~0.44MPa)の影響によると考えられる。しかし、それ以降については一時的な計測値の上昇は認められず、覆工と地山が一体化したものであると思われる。図-4に上段シールド掘進後、計測値がほぼ一定となった段階での63、64リングの土水圧結果を、低水位時の設計荷重とあわせて示す。

計測された土水圧は、左円で0.10~0.15MPa、水圧は0.13MPaであり、ほぼ左円全周にわたって均等に近い土水圧分布であると予想される。一方、右円については、天端付近ではほぼ0MPa、インバートで0.37MPaとアンバランスな結果となった。このような状況になったのは、予測ではあるが、トンネル断面内で地層が傾斜しており、右円の天端付近が実質的に不透水層である上総層粘土(Kam)内で水圧が小さく計測されたものと思われる。ま

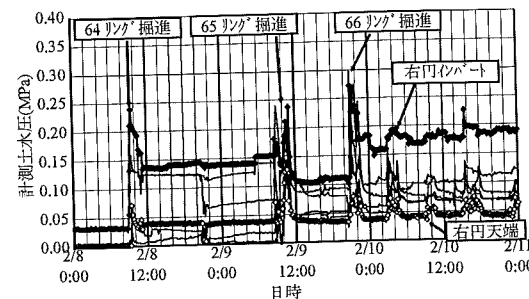
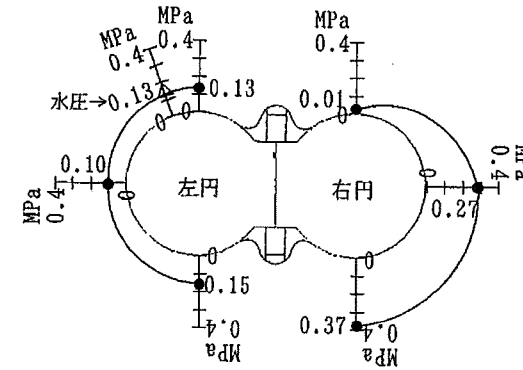
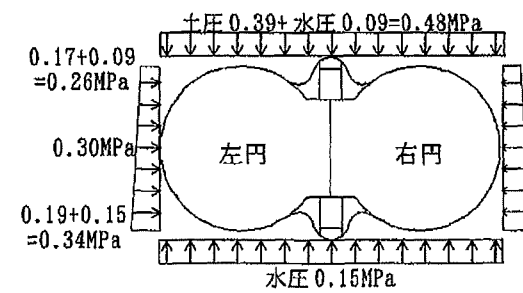


図-3 土水圧経時変化



(1) 計測結果



(2) 設計値

図-4 土水圧分布

た、右円インバート部ではかより大きめの土水圧が計測されているのは、下段シールド掘進時の裏込め注入圧がほかと比較して残留しており(図-3)、地下水の復水とともに上昇してきたものと考えられる。なお、計測された土水圧の覆工全周での平均は0.18MPaであり、図-4(b)で示した低水位時の設計土水圧の約40%であった。

(2) 仮柱撤去時の本柱への荷重移行と安全性確認

上段シールド掘進終了後、マンホール下部の計測リング(13~17リング)において、仮柱の撤去に伴う本柱への荷重移行について検討した。仮柱撤去では、これまで仮柱が負担していた各リングの鉛直荷重をスムーズに本柱へ伝達させ、かつ、本柱に撤去に伴うトンネル縦断方向、横断方向の曲げモーメントを発生させないことが重要である。そこで、仮柱撤去の基本手順として、図-5に示す手順を考えた。ここでは、とくに柱間のスパンを徐々に広げていくことを考慮した。このような手順で仮柱を撤去した際の13~17リングの柱の軸力

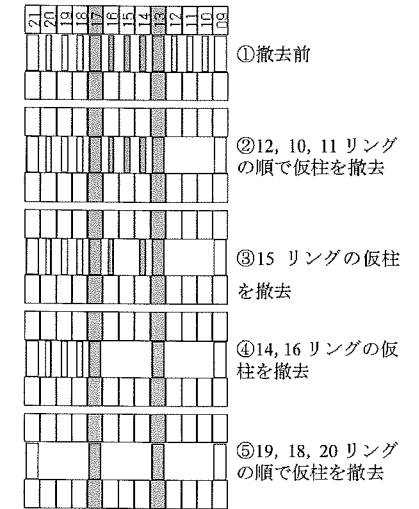


図-5 仮柱の撤去手順

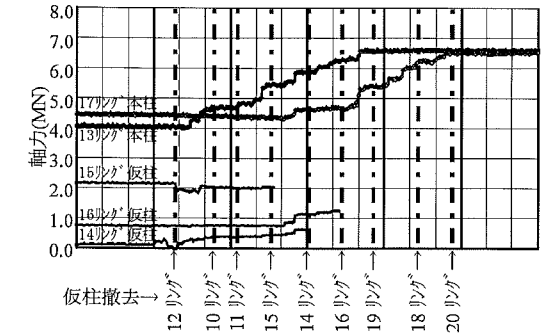


図-6 仮柱撤去時の柱軸力結果

変化を図-6に示す。

仮柱撤去前で13、17リング本柱の軸力は約4~4.4MNであり、14~16リング仮柱軸力は、各々0.12、2.2、0.74MNでばらつきはあるものの、約3MN/3本であった。その後、順次仮柱を撤去し、最終的に13、17リング本柱の軸力は約6.5MN前後となり、2.1~2.5MN程度の軸力増加となった。この増加分は、おおむね仮柱3本分の負担していた軸力に相当する。また、軸力増加の経過を見ると、13リング本柱の場合、その前後の10~12、14~16リングの仮柱撤去時に軸力が増加しており、17リング本柱では、14~16、18~20リングの仮柱撤去時に増加している。すなわち、対象となる本柱の前後の仮柱を撤去する際に軸力が増加し、それ以外のときはほとんど変化がないものと判断される。

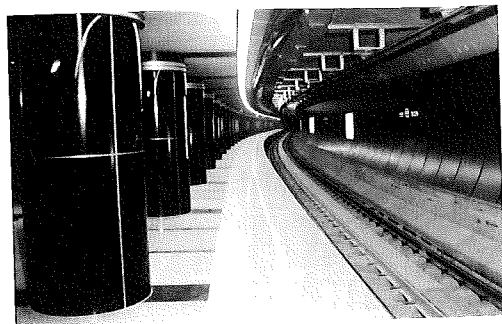


写真-2 完成後のトンネル坑内

なお、仮柱撤去に際して、本柱にはトンネル縦断方向、横断方向の有意な曲げモーメントの発生は認められなかった。また、本柱の設計軸力(高水位)は16MNであるが、仮柱撤去後の最終的な軸力は約6.5MNで、設計軸力の約40%であった。

3-1-4 本工事のまとめ

ここでは、鉄道トンネルにおける非円形シールドの一例として都営地下鉄大江戸線六本木駅シールドの現場計測例を示した。完成後の状況を写真-2に示す。本工事では計測ツールに関してはとくに目新しい方法を用いたわけではない。しかしながら、従来の円形シールドトンネルにはない構造上の、あるいは施工中の諸問題に対し、既往の技術を用いて計測を行い、その妥当性、安全性を検証しながら工事を進めることが重要であると考えられる。

3-2 矩形シールドトンネルの覆工・地盤計測の例(京都市地下鉄東西線六地藏北工区)

3-2-1 工事概要

(1) 工法の概要

京都市交通局発注の高速鉄道東西線建設工事(六地藏北工区)は、六地藏駅北側(北立坑部、延長21.21m)を発進立坑として、石田駅までの760.79m間に渡り線部(56m)と一般線路部(697m)を大断面の矩形断面シールド工法で施工するものである。特徴は、複線鉄道トンネルとなることから矩形断面の規模が過去最大であること、扁平率(短径/長径)が2/3でありもっとも扁平な部類に入ることである<sup>3)</sup>。

シールドの掘削機構は、異型の複断面の安定掘

削が行える施工法として、カット搖動形式の「Wagging Cutter Shield工法」を採用した(写真-3)。諸元を以下に示す。

対象区間：六地藏駅～石田駅間(掘進延長約760m)

土かぶり：約9～15m

シールド形式：泥土圧式シールド(同時裏込め注入方式)

シールド寸法：矩形(高さ6,870mm×幅10,240mm)

シールド機長：9,330mm

(2) 覆工構造の概要

覆工構造は、渡り線部が桁高500mmの合成セグメント、一般部が桁高350mmのダクトイルセグメントである。また、中柱のない渡り線部(1層1径間)から中柱のある一般部(1層2径間)にかけて覆工構造が変化するため、急激な剛性変化を避ける目的で構造変化部には中柱を有する合成セグメントを5リング設置した(写真-4参照)。なお、継手はすべてボルト継手である。セグメント諸元を以下に示す。

セグメント：

渡り線部 合成セグメント(中柱なし)

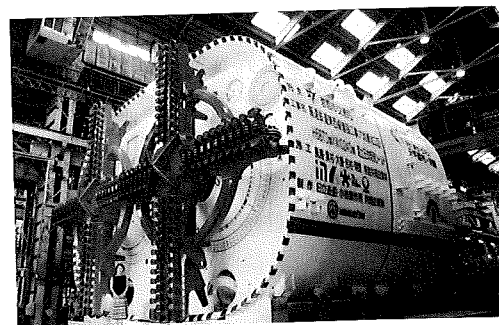


写真-3 矩形シールド



写真-4 坑内全景

接続部 合成セグメント(中柱あり)  
一般部 ダクトイルセグメント(中柱あり)

合成セグメント寸法：

H6,500×W9,900×t500mm(7分割)

ダクトイルセグメント寸法：

H6,500×W9,900×t350mm(12分割)

(3) 地質概要

土層構成は、地表から埋土層、沖積粘性土層、N値10～30程度の沖積砂礫層、それ以下はN値20～50の洪積砂礫層となっており、地下水位はGL-3.0～-6.0m程度である。シールドは、沖積砂礫層～洪積砂礫層中を土かぶり8.2～14.4mで掘進した(最大礫径は100～200mm)。土層縦断面図、計測断面位置図を図-7に示す。

3-2-2 計測の概要

(1) 計測目的および計測概要

当該工事では、矩形トンネル覆工の安全性確認と今後の合理的覆工設計に向けたフィードバック、地表面への影響確認と今後の掘削影響解析へのフィードバックを目的とし、図-7に示す3断面における覆工作用荷重計測、覆工部材応力計測、周辺地盤の

挙動計測を実施した。とくに、中柱のない渡り線部(A断面区間)から中柱のある一般線路部(C断面区間)に構造が変化する箇所(B断面区間)については、過去に同様の事例がないため、作用荷重、覆工変形、部材応力などの現場計測によるデータの蓄積と設計の妥当性検証が必要であると判断した。当該工事にて計画した矩形シールドにおける技術的課題と計測結果の評価・検証方法を表-2に示す。

覆工の計測項目<sup>4)</sup>を表-3に、覆工計測を実施したA～C断面の標準断面図と計測点の配置位置<sup>5)</sup>を図-8にそれぞれ示す。

(2) 計測結果

A断面(渡り線部合成セグメント；中柱なし)、

表-2 矩形シールド工法の技術的課題と計測結果の評価・検証方法

項目	設計・計画	事前検証	施工・計測	評価・検証	
覆工	渡り線部	常時(長期)	リング載荷試験	A断面区間計測	覆工逆解析
		常時(施工時)	施工時照査		
		地震時	覆工照査		
線路部	常時	リング載荷試験	B, C断面区間計測	覆工逆解析	
	地震時	覆工照査			
接続部	常時	施工時照査	B断面区間計測	覆工逆解析	
施工	掘進管理	地盤計測計画	掘削影響解析	A, B, C断面区間計測	沈下逆解析
		掘進管理計画			
		裏込め注入計画	覆工照査	充填管理計測	実績整理

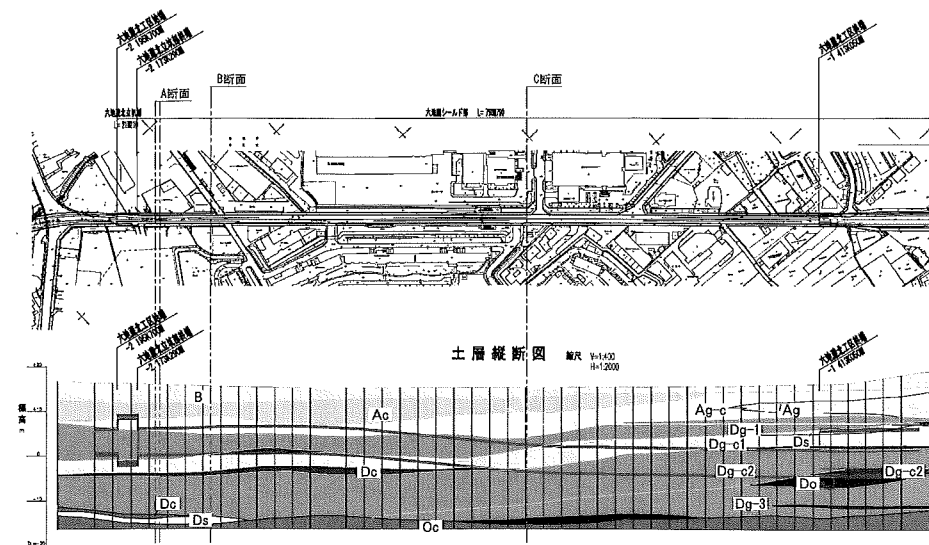


図-7 トンネル線形および土質縦断面図

埋土層	(B)
沖積層	粘性土 (A)
	砂質土 (B)
	粘性土 互層 (C)
洪積層	粘性土 (D)
	砂質土 (E)
	粘性土 互層 (F)
大蔵層	粘性土 (G)
	砂質土 (H)

C断面(一般線路部ダクタイトルセグメント; 中柱あり)における土圧の経距変化を図-9に、A、B断面(接続部隣接ダクタイトルセグメント; 中柱あり)、C断面における覆工作用土圧の分布を図-10にそれぞれ示す。覆工に作用する土圧の現場計測結果より、次のことが言える。

- ① 各断面とも、地山に出た直後に裏込め注入相当圧力を受けるが、時間の経過とともに低下する傾向にある。
- ② 合成セグメント(A断面)については、形状

保持装置解除後に上部の土圧が減少するとともに、側方土圧が増加しており、上部が凹形状、側部が凸形状といった土圧分布となる傾向がある。このような傾向は、設計土圧の分布形状と大きく異なっているが、これは覆工の変形および変形に伴う地盤反力の作用によって生じたものと考えられる。形状保持装置解除後と7か月経過後の比較による長期的な観点で見た場合、インバート部ならびにクラウン部の土圧の変動はほとんど見られないが、

表-3 計測項目

計測項目	使用機器
土圧	バッド式土圧計
裏込め圧力	グラウト圧計
鋼板ひずみ	溶解型カプセルゲージ
内空変位	三次元光波測量
上下のつぶれ	バーニア付きスケール
中柱ひずみ	ひずみ計
目違い・目開き	隙間ゲージ・ノギス
ボルト軸力	ボルト軸力計

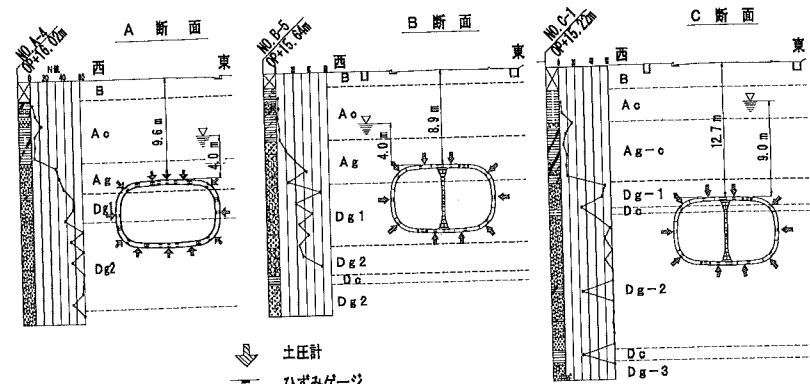
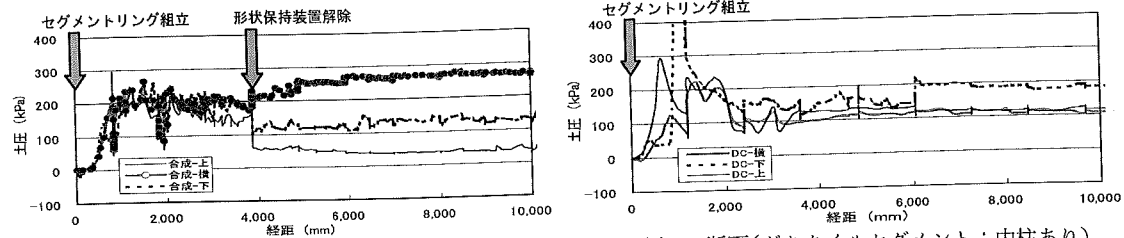


図-8 計測標準断面図と土圧計配置位置



(1) A断面(合成セグメント; 中柱なし)

(2) C断面(ダクタイトルセグメント; 中柱あり)

図-9 セグメントに作用する土圧の経距変化

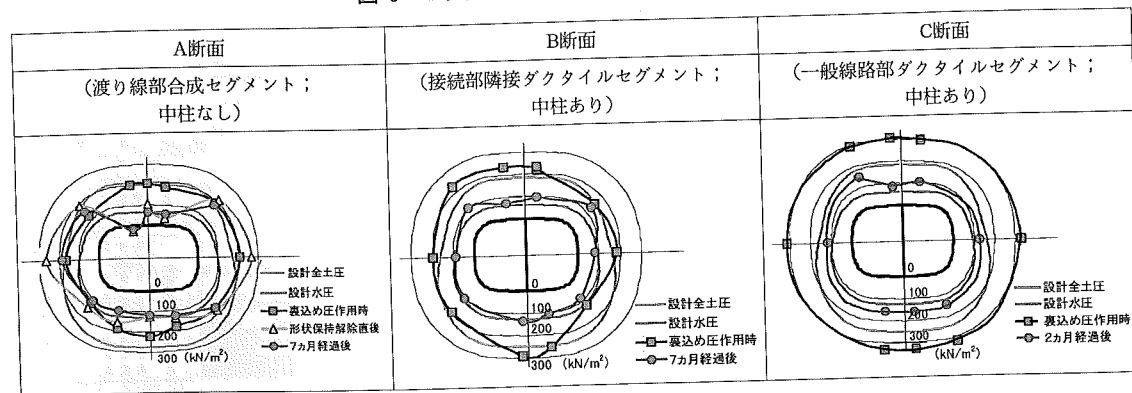


図-10 覆工に作用する土圧分布

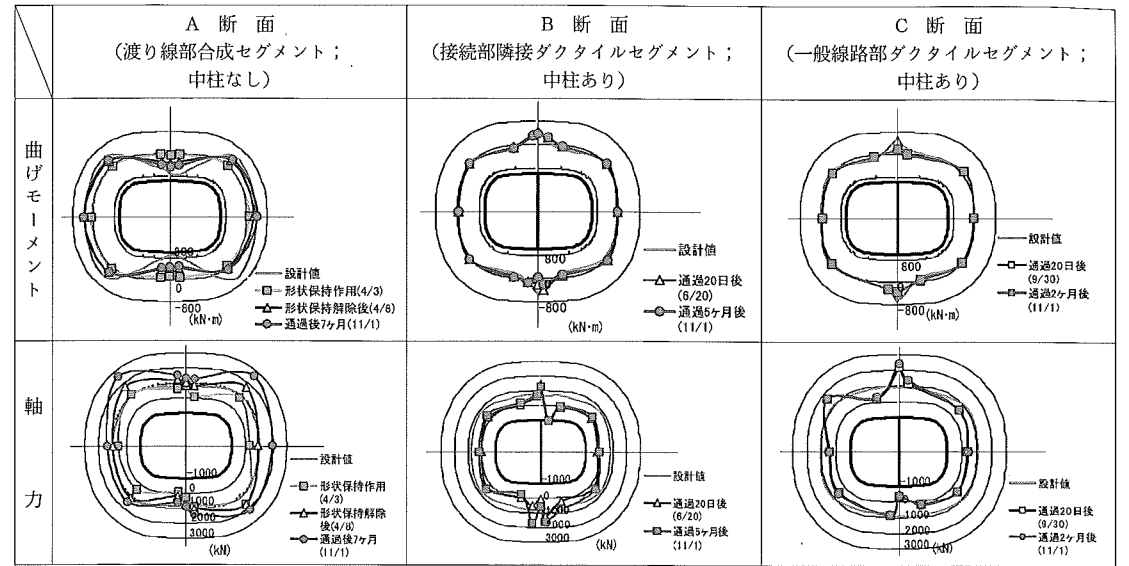


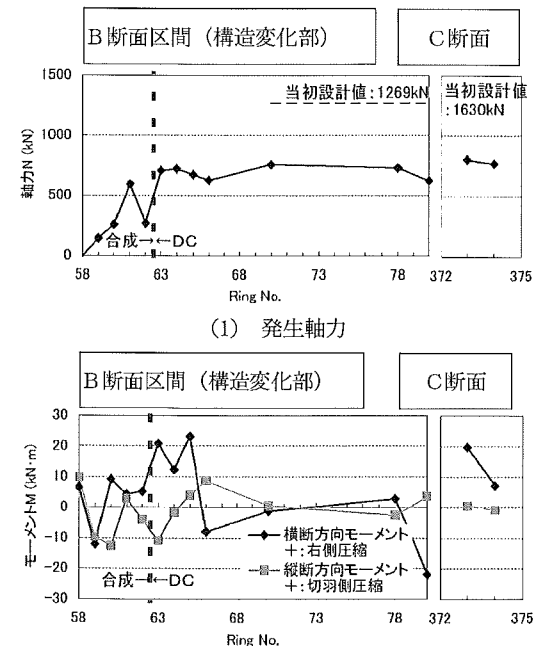
図-11 覆工発生断面力分布の経時変化

側方土圧の変動が見受けられる。

- ③ ダクタイトルセグメント(B, C断面)については、裏込め注入圧により一時的に高い値が示されるが、その消散後は設計値よりも低くなっている。これは、中柱があることから覆工の変形が少なく、従来の設計法で考慮している荷重分布にはほぼ近い分布形状が得られたものと判断される。

次に、A~C断面において覆工のひずみ計測結果から算定した覆工発生断面力分布の経時変化<sup>7)</sup>を図-11に、B断面区間(接続部合成セグメント; 中柱あり~接続部ダクタイトルセグメント; 中柱あり)およびC断面(一般線路部ダクタイトルセグメント; 中柱あり)における中柱の軸力、曲げモーメントの現場計測結果(シールド掘進による影響が収束した時点)を図-12にそれぞれ示す。覆工発生断面力の現場計測結果より、次のことが言える。

- ① 覆工の発生曲げモーメントは、合成セグメント、ダクタイトルセグメントともに設計値と同様の傾向となっており、絶対値は設計値よりも低くなっている。
- ② 覆工の発生軸力は、合成セグメント、ダクタイトルセグメントともにばらつきが大きい。合成セグメントは、隅角部で大きく発生して



(1) 発生軸力

(2) 発生曲げモーメント

図-12 中柱の発生断面力

- おり、長期的に増加する傾向が見られる。ダクタイトルセグメントは、中柱受け部でばらつきが大きく、全体の絶対値としては設計値よりも低くなっている。
- ③ 中柱の発生軸力は、構造が変化する接続部付近の調整リング(合成セグメント; 中柱あ

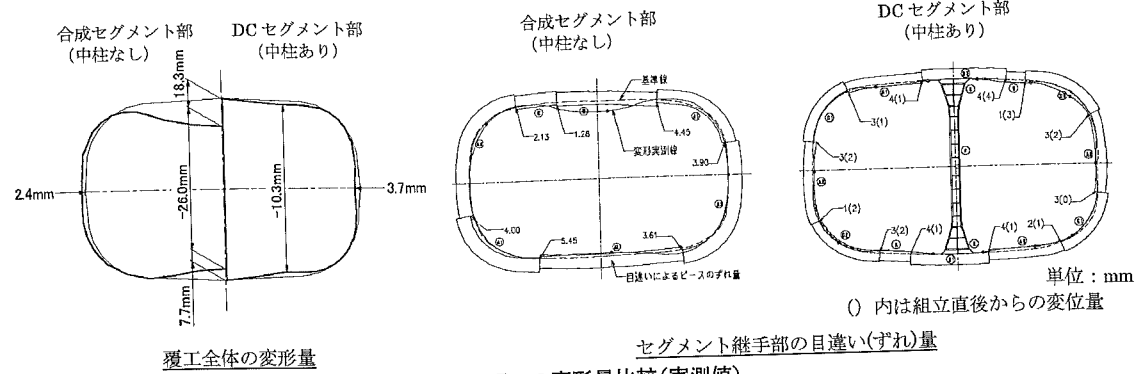


図-13 覆工の変形量比較(実測値)

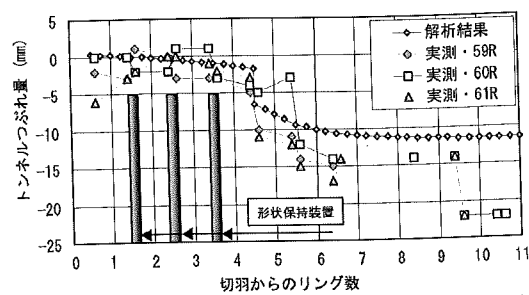


図-14 施工過程に伴う合成セグメントの内空変位の経時変化

り)にて若干ばらつきがあるものの、調整リングにて中柱長さを徐々に変化(調整)させた効果によって、構造変化区間ではおおむね緩やかに変化している。また、ダクトイル区間における軸力の絶対値は設計値の約50~60%の範囲であった。

④ 中柱の発生曲げモーメントは、組み立てリングによってばらつきが見られるが、絶対値は偏圧を考慮して設計で考慮した曲げモーメントの値(71kNm)の1/3以下に収まっている。

また、覆工の内空変位および継手部のずれ(目違い)計測結果<sup>9)</sup>を図-13に、施工過程に伴う合成セグメント(中柱なし)の内空変位の経時変化<sup>9)</sup>を図-14にそれぞれ示す。覆工挙動の現場計測結果より、次のことが言える。

① 合成セグメント(中柱なし)の変形量は上下が-26mm、左右が+5mmであり、セグメント継手のズレを考慮しない解析値(上下で-17mm)に対して上下の変形量が大きかった。また、リングによるばらつきはほとんどないことが確認された。

② ダクトイルセグメント(中柱あり)の変形量は、中柱と側壁との中央付近で上下が-10mm、左右が-3mmであり、解析値(上下で-4mm)に対して上下の変形量が大きかった。

③ 合成セグメント、ダクトイルセグメントとも、セグメント継手における目違いの発生(実測で2~5mm)を考慮すれば解析結果に近似することが確認された。これは、円形トンネルと異なり、曲げに伴うせん断力が卓越する矩形シールドトンネル特有の現象(継手の目違いが大きい)であると判断される。

④ 合成セグメントの上下変形量は、形状保持が外れた後に大きくなるが、3~4リングで収束し、以後の変形は認められなかった。このような傾向は、形状保持装置などの施工過程を考慮した3次元シェルばね解析結果と傾向が一致したが、変形量については前述と同様に継手の目違いに伴って実測値の方が大きくなった。

一方、A~C断面における周辺地盤の沈下計測結果を図-15に、地表面沈下の経過距離図および沈下特性曲線を図-16にそれぞれ示す。周辺地盤の挙動計測結果より、次に示すことが言える。

① 周辺地盤の挙動は、シールドセンター上方の地表面部がもっとも大きく、合成セグメントとの接合部となるB断面で14mm、一般線路部となるC断面で4mmの沈下が生じた。これは、C断面区間で使用したシールド外周余掘り部の沈下抑止用特殊充填材の効果もあると考えられる(C断面区間では、シールドのオー

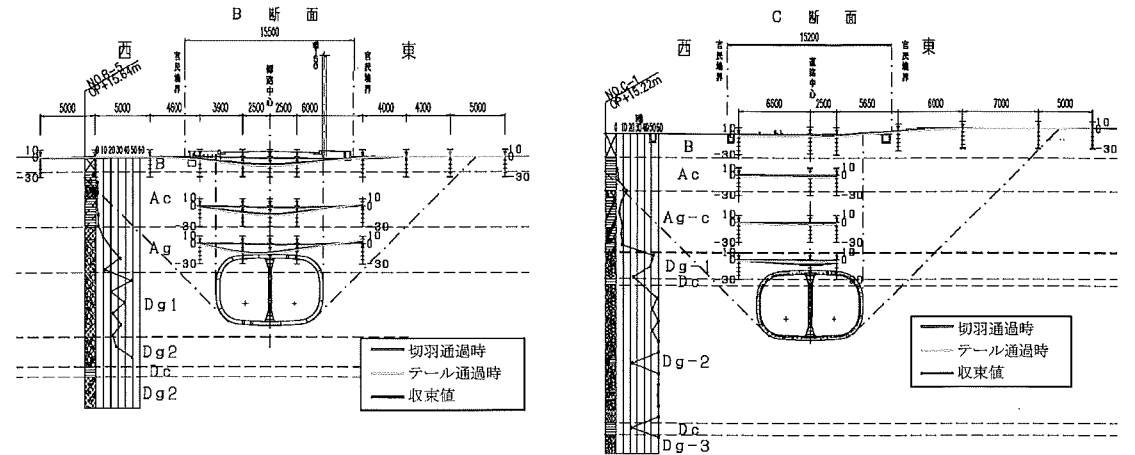


図-15 各断面における周辺地盤の沈下計測結果

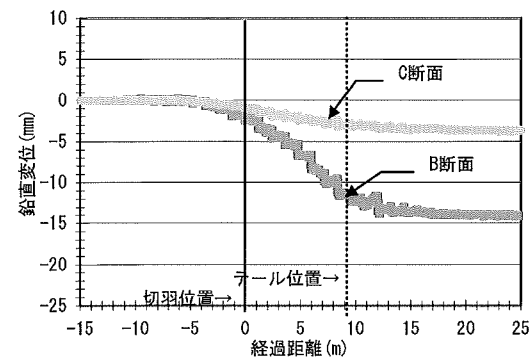


図-16 地表面沈下の経過距離図および沈下特性曲線

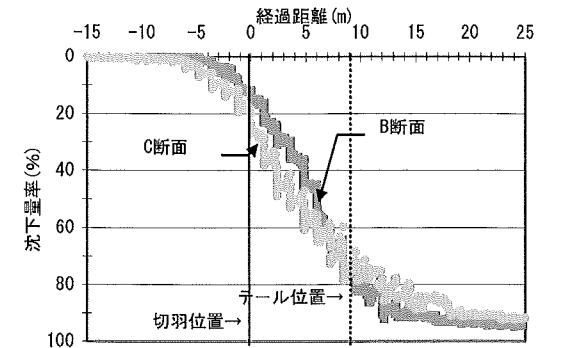
バーカット部に掘進と同時に特殊充填材を充填しながら掘進することで沈下抑制を図った)。

② シールド通過時の沈下が全体の70%を占めており、切羽土圧および裏込め注入による影響は小さかった。これは、施工時における切羽安定管理、テールボイド充填管理(裏込め注入管理)が適切に行われていたことを示すものであり、同時に、扁平率の大きい矩形シールドにおけるオーバーカット部沈下抑止対策が重要であることを物語っている。

③ 土かぶり小さい砂礫地盤では、シールド直上と地表面の沈下量がほぼ同程度となり、地盤の挙動変状結果をもとにFEMによる地盤変状の逆解析を行った結果、応力解放率は10~13%程度となった。

### 3-2-3 本工事のまとめ

本工事の現場計測結果から得られた知見をもと



に、今後の特殊扁平シールドトンネルの設計、施工における主な留意点を整理した。

① 扁平断面のシールドトンネルでは、中柱の有無によって覆工の変形が異なるが、同時に、作用荷重分布も覆工の変形に伴って異なってくるため、設計時点において形状保持装置の効果なども考慮して作用荷重や地盤反力を設定する必要がある。

② 中柱を有する扁平断面シールドトンネル覆工では、中柱の設置状況や覆工の変形状況に応じて各リングの作用荷重がばらつき、中柱に軸力だけでなく曲げモーメントも発生することから、設計時点で適切な偏圧を考慮すべきである。

③ 扁平シールドにおいても、適切な切羽安定管理とテールボイド充填管理を行うことで沈下を抑制することができるが、シールド通過

時のオーバーカット部の沈下は円形断面に比べて大きいので、オーバーカット部への充填などの沈下抑止策を講じることが有効である。

④ 扁平断面のシールドトンネルは、円形断面に比べて覆工に比較的大きな曲げモーメントおよびせん断力が作用するため、セグメントの継手部において目違いを生じやすい。したがって、変形を抑制するためには、剛性の大きな継手を適用すること、施工時に適切なタイミングで継手の増し締めを行うことが有効である。

⑤ 中柱の有無など、剛性や構造が異なるセグメントリングを連続して組み立てる場合には、覆工の変形量の違いを考慮した対策(形状保持装置の適用や中柱長さの調整など)を講じることが有効である。

#### ④ おわりに

本講座では、特殊断面・鉄道シールドトンネルの事例を紹介したが、鉄道トンネルの場合は単線トンネルの左右併設や上下併設の事例も多い。安全で良質な都市インフラを整備していくためには、われわれ土木技術者が現場計測データを蓄積し、各種計測結果にもとづいて合理的な設計、施工へフィードバックする努力を怠らないことが重要である。

### 参考文献

- 1) 福島昭男：21世紀の交通ネットワーク拡大を目指す新技術(2)，トンネルと地下，Vol.25，No.1，pp.44-54，1994。
- 2) 大野・小山ほか：4心円形シールド工法における覆工構造の現場計測結果，土木学会，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.9，pp.301-306，1999.11。
- 3) 中川・菅ほか：複線断面扁平シールドの課題と対応・京都市高速鉄道東西線(六地藏北工区)，土木学会第57回年次学術講演会，第VI部門，pp.124-125，2002.10。
- 4) 久保田・中尾ほか：大断面矩形トンネルのセグメントに作用する土圧の実測結果について，第38回地盤工学研究発表会，pp.1683-1684，2003.7。
- 5) 久保田・古川ほか：大断面矩形シールドの施工と覆工挙動について，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.91-98，2003.11。
- 6) 岡崎・五十嵐ほか：大断面矩形シールドトンネル施工時の沈下抑止対策，第38回地盤工学研究発表会，pp.1687-1688，2003.7。
- 7) 古川・中野ほか：大断面矩形シールドトンネルにおける覆工応力について，第38回地盤工学研究発表会，pp.1685-1686，2003.7。
- 8) 塚下・青木ほか：一層二径間矩形セグメントの逆解析結果，土木学会第58回年次学術講演会，第VI部門，pp.145-146，2003.9。
- 9) 久保田・溝田ほか：矩形覆工のシェル要素を用いた3次元FEMモデルによる解析結果について，土木学会第58回年次学術講演会，第VI部門，pp.147-148，2003.9。

E. フック・E. T. ブラウン共著

## 岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士小野寺透・工学博士吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800円(〒450円)

株式会社 **土木工学社**

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



## 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(4)

### —II. トンネル覆工表面の検査手法(3)—

JTA保守管理委員会

#### ⑥ ラインセンサーカメラによる覆工表面の検査(東海旅客鉄道(株)，(財)鉄道総合技術研究所)

ビデオカメラなどを用いる方法により、トンネル覆工表面を検査する手法が用いられるようになってきたが、長大なトンネル壁面を連続して撮影・記録することは依然として困難であった。

そこで、JR東海と鉄道総研では、トンネル検査を効率よく正確に行えるよう、壁面撮影の速度、精度、画像データの処理に優れている1次元CCDラインセンサーカメラを用いて覆工表面を撮影し、覆工面の連続走査画像を得るシステム(トンネル覆工変状検知装置「トンネラス」)を開発し、実用化している。

#### 6-1 測定原理および装置の概要

撮影は、数値的処理が可能で高精度のデジタル画像を得ることができるCCDラインセンサーカメラによって行う。従来のビデオカメラ(エリアセンサー)で発生していた画像の欠けや重なりがなく、トンネル延長方向に切れ目のない鮮明な画像が連続して得られるという特徴を有している。このことによって、一般に使用されているコピー機と同じ原理によってトンネル覆工面を連続的に撮影することができる。

ただし、トンネルの横断面方向には複数台のカメラで分割して撮影するので、一枚の展開画像とするために画像の重ね合わせの技術が重要である。具体的には、トンネル壁面を撮影することで生じ

表-10 システムの仕様

(1) 車上システム仕様

項目	仕様
撮影方法	トンネル1断面 4,096画素/ライン モノクロCCDライセンサーカメラによる連続走行撮影 単線 4,096画素/ライン×4台 複線 4,096画素/ライン×3台
撮影最高速度	単線撮影時 10km/h(全面) 複線撮影時 10km/h(片側) いずれもトンネルの状況による
最大撮影延長	8km
画像記録方式	大容量ディスク記録装置へデジタル記録
濃度階調	256階調(8bit)
画像分解能	約1mm
照明性能	撮影面上で平均20,000lx (単線トンネルの標準状態において)
軌陸車ベース	8トン車トラックベース 全長 約8m，全幅 約2.5m，全高 約3.5m
軌陸装置	狭軌道用450mm鉄輪(サーボブレーキ，油圧式ディスクブレーキ併用) 軌道絶縁・短絡用スイッチ装置 転車台(下面全面絶縁)装置
搭乗人員	キャブ3人 操作室2人

(2) 地上システム仕様

項目	仕様
マスターテープの作成	車上システムで記録した各カメラの画像をつなぎ合わせてマスター画像を作成し、テープに保存。
壁面画像の表示	作成したマスター画像を画面に表示。画像は必要に応じて倍率を変えて表示することができる。
変状展開図の作成	壁面画像上で変状をトレースして変状展開図を作成することができる。
変状測定	抽出した変状を画像処理で定量測定できる。
変状画像の保存	壁面画像から任意の領域を切り出して、MOなどのメディアに保存できる。
壁面画像の印刷	壁面画像を高画質プリンタに出力できる。

る幾何学的なひずみを補正するとともに、映像間の相対的な位置ずれを検出・補正し、さらに重複部分の除去操作が行われる。

なお、システムの仕様は表-10に示すとおりである。

## 6-2 装置の使用状況

この装置は、JR東海の在来線用として平成11年度より本格的に運用されており、併せて変状展開図の作成システムが導入されている。また、JR北海道においてもこの手法にもとづくシステムが平成15年度より実用化されている。また、民鉄などのほかの鉄道事業者でもこの装置を用いた覆工撮影がなされており、全般検査などに活用されている。

なお、本システムの基盤となる連続走査画像撮影装置(ConSIS)は、旧運輸省の補助金を受けて鉄道総研が開発したものである。また、トンネル覆工変状検知装置「トンネラス」は、JR東海、川鉄情報システム(株)(現 JFE電制(株))の共同開発によるものである。

## 参考文献

- 1) 鶴飼正人：トンネル画像の自動重ね合わせと変状抽出画像処理，鉄道総研報告，Vol.15，No.1，2001。
- 2) 小久保将：トンネル覆工変状検知装置の開発，日本鉄道施設協会誌，1996.11

## ⑦ レーザーによるクラック探査装置の開発(東京電力(株))

東京電力では、平成元年から実用化されていたレーザーを使用した道路の路面性状計測システムに着目し、連続的かつ短期間に調査できる非破壊検査方法として、水路トンネルへの適用性について検討が行われた。

その結果、技術開発、レーザー試作機による現場実証試験を経て、トンネルレーザー計測システムが開発され、平成6年から現場で適用されている。

### 7-1 装置の概要

開発されたシステムは、レーザー計測装置を搭

トンネルと地下

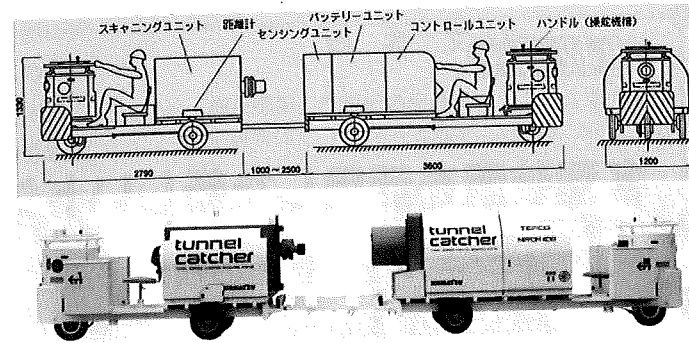


図-7 レーザー計測車イメージ図

表-11 計測システムの基本仕様

型	式	レーザースキャン方式				
調	査	目	的	トンネル覆工表面の状況調査		
対	象	内 径: 1.5~5.0m 断面形状: 円形, 馬蹄形, 上円下方形 計測範囲: 全周方向				
調	査	速	度	最大 2 km/h		
画	像	処	理	速	度	最大 トンネル延長40m/h
不	陸	・	水	深	±15cm・30cm	
抽	出	情	報	クラック, 目地切れ, ずれ, 剝離, 剝落, 欠陥, 補修跡, 摩耗, 遊離石灰, 湧水, 噴泥		
検	出	・	最	小	クラック幅	0.3mm

載する計測車と対話型画像処理機で構成されている。図-7は、レーザー計測車のイメージである。また、計測システムの基本仕様は、表-11のとおりである。

開発したシステムの基本性能は、模擬トンネルでの実証試験を行い、検証している。

### 7-2 装置の使用状況

実構造物への適用にあたっては、事前に覆工表面の付着物、インバートの断続的な洗掘、トンネル内の湿度などにより性能の低下が危惧されることを考慮した、実トンネル内での走行性能・計測性能の確認試験を実施している。

その結果、計測車の運転操作性については、ハンドル操作ならびにスピード制御とも良好であった。直進性については、センタリング機構を採用したことにより、走行時のブレもなく安定した状態であった。また、断続的な不陸による振動が懸念されていたが、計測車両に設置されている油圧ダンパの効果で、計測精度に悪影響を与えないこ

とも確認された。

得られたトンネル覆工表面のモニター映像は35mm写真映像とほぼ同等の映像が得られている。映像からは、クラック、遊離石灰、距離表示などが確認できた。これらの各情報は、デジタル情報としてテープに記録される。また、画像処理後の映像との重ね合わせにより、変状の経時的な進行性も正確に把握できる。

東京電力では、現在までに全水路トンネル740kmのうち約20%にあたる140kmについて、本システムによる調査を実施している。

また、従来からトンネル背面の状況調査、コンクリートの巻き厚確認にレーザー計測を活用しており、全水路トンネル740kmのうち約44%にあたる323kmについて調査が実施されている。

得られたデータについては、別途開発した水路トンネル管理支援システムと連携させることにより、調査点検結果記録の蓄積および健全度診断、補修工法の立案などを行い、水路トンネルの保守管理に活用されている。

## ⑧ レーザー光による覆工表面撮影を活用した検査(東日本旅客鉄道(株))

従来、①展開図作成の効率化、②作図精度、③経時変化の記録に問題点があった覆工表面検査について、JR東日本ではレーザー光線と光センサーを活用し、レーザースキャン電子写真方式を用いてトンネル表面の画像を撮影・記録し、それをデジタルデータとして保存する、検査手法を開発・実用化している。

### 8-1 測定原理および装置の概要

測定原理はレーザースキャナでレーザー光線をトンネル壁面に照射し、壁面で反射した光線の微妙な輝度の強弱を車両にある6個(車両左右側面および屋根上各2個)の光センサーで計測するものである。

レーザー計測装置が採用された理由としては、非常に鮮明な映像が得られ、撮影時に照明が不要、撮影時のピント合わせが不要、画像の拡大、縮小

が容易といったことが挙げられている。

測定装置は2台あり、1台は軌陸タイプで狭軌用となっている。残りの1台は標準軌の台車の上に測定機器を搭載したもので、モーターカーで牽引するタイプとなっており、標準軌のタイプは新幹線および新在線で運用されている。

車上装置としては、出力4W以上、発振波長ピーク488,514nmの水冷のアルゴンガスを使用するレーザーユニットを用いており、光学系を介してレーザー光をトンネル壁面に照射・走査するとともに、このユニットを上下、左右前後に稼働させる移動装置を有している。

レーザー装置の冷却については、循環式冷却ユニットを採用しており、冷却装置とポンプ装置で構成されている。冷却能力は、12,000kcal以上である。

光センサーユニットは、レーザー微弱反射光を検出するための高感度光検出ユニットを6個装備している。

発電ユニットは、計測・記録部の電力を供給するエンジン発電機と配電装置で構成されている。計測室には、予備コンセントが装備されており、出力三相200V、40kVA以上である。

記録スキャン装置は、高精度な計測データ原信号を必要な表示精度を確保するための記録スキャン変換装置と、この画像信号を記録するためのデータレコーダーで構成されている。また、高精度な計測データ原信号をハイビジョン信号形式に変換し出力する機能を装備している。車内のハイビジョンモニターに表示可能としている。

また、計測後に使用する連続画像解析装置は、計測データを記録したデータレコーダー専用テープより作成可能な連続画像からひび割れやその他の変状をデジタイザにより解析するものである。

撮影性能については、データサンプリングピッチを、以下の4水準から選択することができる。また、これらの切り換えは車内操作で行うことが可能である。

- ① 周長方向0.5mm×進行方向1.0mmピッチ  
(計測速度3.4km/h)

- ② 周長方向0.5mm×進行方向2.0mmピッチ  
(計測速度6.8km/h)
- ③ 周長方向1.0mm×進行方向2.0mmピッチ  
(計測速度8.5km/h)
- ④ 周長方向1.0mm×進行方向4.0mmピッチ  
(計測速度17.0km/h)

解像性能は画像再生装置でひび割れ幅1mm程度まで、また画像処理装置では0.5mmまで視認できる。

### 8-2 測定方法とデータ処理の流れ

#### 8-2-1 測定方法

計測は外注作業になっており、専門技術を有する会社を実施している。ただし、データの判定については直轄で行われている。測定車の載線は、新幹線では保守用車タイプであるため、各基地をオンレールにより回送し、在来線は軌陸車タイプなので最寄りの踏切などで行っている。1回の計測は4～5人編成で、場所や間合いにもよるが1晩あたり1.5～10km程度の測定が可能となっている。

撮影は単線トンネルの場合は1回の走行で、複線トンネルの場合は上下線を分割測定するため、2回の走行が必要である。

#### 8-2-2 データ処理の流れ

計測結果は、「画像再生用ハイビジョンテープ(以下、再生テープ)」と「画像処理装置用ハイビジョンテープ(以下、処理テープ)」に記録される。再生テープは事務所にある再生装置により再生される。また専門の印刷会社により、処理テープを使用してロール状に覆工画像を連続印刷してJRに納入される(写真-7)。

JR東日本では連続覆工画像を印刷会社から受け取り、連続画像解析装置を用いて展開図を作成する。連続画像解析装置は、デジタイザにより撮影された画像をもとにデジタルデータで展開図を作成する装置で、解析装置本体(パソコン)、デジタイザ、カラーレーザープリンタから構成されるものである。

展開図の作成は、連続印刷画像をデジタイザ装置に取り付け、スタイラスペンとデジタイザ上の

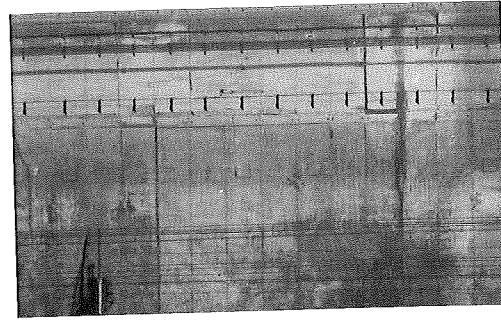


写真-7 覆工表面連続画像

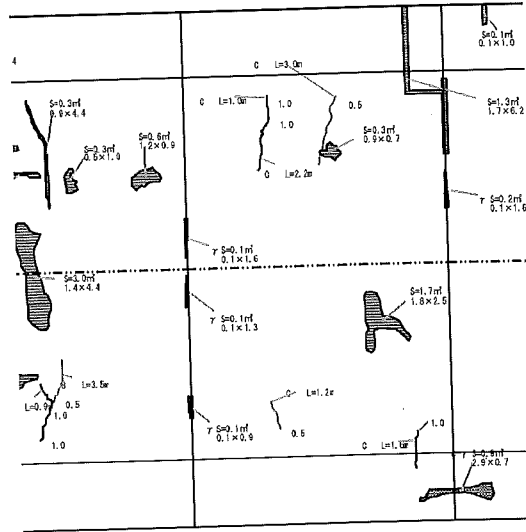


図-8 変状展開図

メニューシートなどを用いて覆工の画像から展開図(図-8)の作成が行われる。

#### 8-3 データの活用方法

トンネル覆工撮影装置による画像、展開図は、基本的には全般検査を補完する位置づけであり、全般検査として現地の目視検査は省略されていない。

ただし、展開図を活用することで全般検査時に注意して見るべき箇所などが容易に判断できるため全般検査自体の効率を上げることが可能であると考え、おおむね4年に1回の周期で撮影し、展開図の更新および検査業務への活用が図られている。

本システムで確認できる検査項目はトンネル覆工に関する項目であるため、路盤、通路、排水溝およびトンネル坑門については対象外となっている。

判定については従来の全般検査や個別検査の健全度判定によっている。また従来は時系列の変化を捉えるのが困難であったが、デジタルデータとすることで前回との比較や、変化の修正記録が容易にできることとなった。

#### 8-4 今後の課題

以上述べてきたように、撮影した画像をもとに変状デジタルデータを作成しているが、現地でのスケッチに要する作業は大幅に削減されたが、デジタルデータの作成作業に労力が取られているのが実態である。

今後は、ひび割れを自動認識する技術について検討し、型枠跡や架線などをひび割れと誤認識しないよう解決を図り、デジタイジングの自動化を進めていくことが重要と思われる。また、レーザーキャナの回転速度を上げることで発生する振動の制御技術の向上により、撮影速度を向上させることが必要である。さらに、表面に現れていない変状について捕捉できるよう改良を加えていくことも重要と思われる。これについては、ほかの検査手法の組み合わせも視野に入れ、よりの確な判定と措置へ反映していくことが求められる。

## わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

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

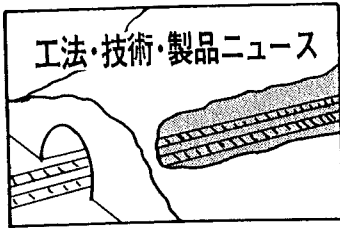
本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し、設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき、また、計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

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

株式会社 土木工学社

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





### 工法・技術・製品ニュース

#### 3工法を組み合わせた 施工方法を実用化

西松建設は、既設の新幹線トンネルに近接したトンネル掘削工事で、割岩工法、TBM、迎え掘り工法の3工法を組み合わせた施工方法を実用化した。

工事は、新幹線の運行に影響を与えないように低振動・低騒音での掘削を行うためにTBMにより先進導坑を掘削し、割岩工法であるEG-Slitterで切り抜けたのち、電子雷管による制御発破を行った。

#### 新型継ぎ手

#### 「クイック・R・ジョイント」

清水建設は、セグメントの組み立て時間を大幅に短縮する新型継ぎ手「クイック・R・ジョイント」を開発した。

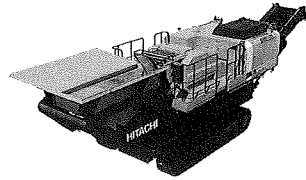
同継ぎ手は、「オス金物」、「メス金物」とオス金物に組み込んだ「回転体」の3つの部材で構成され、自ら位置調整する機能を持っているため、従来のワンタッチ継ぎ手で課題だった位置調整の微調整が不要で粗位置からワンタッチで締結可能。そのため、ボルトで締結する従来手法に比べ組み立て時間を40%短縮、コストを20%縮減可能。

#### 自走式クラッシャ

日立建機は、ZR950JC自走式クラッシャを開発した。

同機の特徴は、①「セルフリカバリ機能」により、鉄塊などの異物が混入してもクラッシャを停止させずに排出でき、作業停止時間を大幅

に低減、②30tトレーラに積載可能な29.8tの重量、③排出ガス第3次基準値をクリアした新型エンジンを搭載、④リモコン式走行操作が可能、など環境・安全にも配慮した。



#### 「CONET2006」に2機種出展

川崎重工は、7月13～16日までの4日間、幕張メッセ・国際展示場で開催される「CONET2006・建設機械と施工技術展示会」に建設機械2機種を出展する。

出展には、オフロード排ガス新法に対応したホイールローダ「AUTH HENT 90ZV-2」、世界最速の高速型除雪ドーザー「AUTHENT 55DV」の2機種を出展し、環境・安全・作業効率などの卓越した技術力を示す。



#### 既設トンネルを繊維補強 吹付けで薄肉補強

西松建設と戸田建設は、土木研究所と共同で繊維補強吹付けコンクリートによる既設トンネルの薄肉補強工法を開発した。

同工法は、既設覆工との一体性を確保するためアンカーと溶接金網を使用し、新開発したポリプロピレン短繊維を混入した高強度コンクリートを既設トンネルの覆工内面に吹付け、曲げ靱性を付与してコンクリート片の剥落などを防止する。平均巻き厚が125mmと、内空断面に余裕がなくても補強が可能。また、施

工範囲が任意に決められ、条件に応じて吹付け厚や鋼材量を設定できる。

#### 中型ホイールローダ Hシリーズ5機種

新キャタピラ三菱は、バケット容量3.3～5.2m<sup>3</sup>の中型ホイールローダ5機種を発売した。

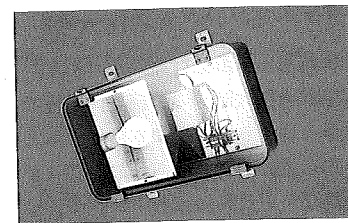
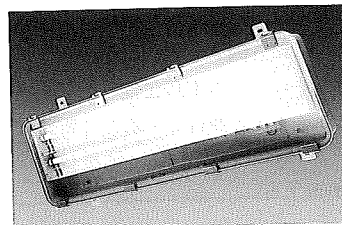
今回発売する機種には、環境対応エンジン「ACERT」を搭載し、第三次排出ガス規制をクリアする能力を備えている。また、電子油圧コントロールなどを新たに採用し、操作性・生産性を向上させた。



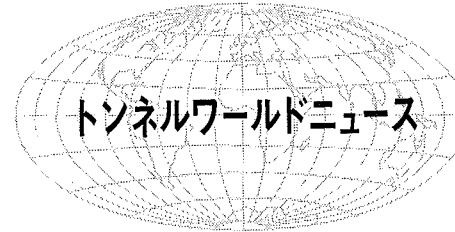
#### 環境配慮型トンネル 照明器具

松下電工は、環境配慮型トンネル照明器具の発売した。

同器具は、稼働初期段階や周囲温度に合わせて発生するランプ光束センサーによる「省エネ」性能や、6万時間の「長寿命」、さらに解体容易な「省資源」効果、など環境配慮とコストの大幅な削減を実現した。



(上)FHF32形×2タイプ  
(下)エパーライト50タイプ



(社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

#### イタリアでのLovat社製TBMの 掘進記録

San Ruffillo Società Consortilea Responsibilit à Limitata 企業体(スペインのNesco Entrecanales Cubiertas SA社とイタリアのGhella SP社の共同企業体)は、ボローニャ市で2機のLovat社製TBMによる掘進記録を報告した。

San Ruffillo社はボローニャ市の地下にFerrovie Dello Stato SPA ミラノ-ナポリ線の延長6.1kmの単線並列鉄道トンネルを建設している。トンネル覆工は各1.5m長リングからなる内径8.3m、外径9.1mで、6つのプレキャスト鉄筋コンクリートセグメントと1つのキーセグメントから組立てられる。

各TBMのカッタヘッド駆動装置は2,700kWのパワーで、1.0～2.1rpmの速度と最高トルク25,000kNmを有している。

36の推進シリンダーを装備しており推進能力は10,000tfに及ぶものである。

これらのTBMは特徴あるざり処理システムを採用しており、シャトルコンベヤは2編成の列車に設置された運搬車両の前後に掘削ずりを積みこめるよう設計された。

シャトルコンベヤはガントリーに沿って前後に移動することが可能であり、トレイリングコンベヤから掘削ずりを受け取る。

シャトルコンベヤはベルコンの逆転運転により、はじめに切羽側の後方車両を満缶にし、その後、坑口側の前方車両を満缶にする。

油圧コントロールシュートが掘削ずりを各運搬列車に積み込むため、左右へ振り分ける。

トンネルの地質構成は、灰青粘土、礫混じりシルト、砂質シルト、粘土と砂の混合土から構成されており、トンネル全体が地下水水面下に位置する。泥土圧は1.6～1.7気圧まで測定された。

現場に最初に導入されたLovat社EPB TBMの“Emilia”は9月に23日間(1日あたり8時間3シフト制)で340リング、トンネル延長にして510mを達成した。

2番目のTBM“Felsinea”も運転日数30日間無休運転で359リングを、1か月間で540mを達成した。

(T&TI '05.11 担当:下田哲史・中日本高速道路(株))

#### インドParbati水力発電プロジェクトの 導水路トンネル工事でTBM掘進が好転

出力205万kWとなるインドParbati水力発電プロジェクトのステージIIにおいて、再整備されたJarva社製のTBMが、機械調整の難しさや不良地山に苦労した後に、発進から18か月を経て、遂に問題を解決しつつある。設計・施工の監理者であるElectrowatt社によると、2005年8月以降、地山が良くなり、進行も伸びているとのことである。

米国ワシントン州ケント市のConstruction & Tunneling Services(CTS)社は、NCC社に対して、導水路トンネル工事に使用するTBMの直径6.8mの新品のカッタヘッドを供給した。NCC社は、Himachal JV(HJV)の導水路トンネル工事に参画しており、当工事に使用するTBMを以前所有していた。CTS社によると、NCC社は、“TBMの完璧な再整備と現場技術者の提供”について、HJVと直接契約を結んでいるとのことである。

2004年5月に導水路トンネルの掘削を開始したTBMは、Electrowatt社が「TBM掘進の初期段階で一般的」と表現するように、機械の改良・調整・修理に加えて、電気修理や部品交換などの問題に当初苦労した。「ベアリングのフロントシールが、当初からリークを起こし、最終的に交換する事態に至ったことは、特異であった」と

Electrowatt社は語った。

発進後初期にTBMは、片岩帯および石英レンズが介在する片麻岩を掘削した。この区間の支保工は、ロックボルトと金網であった。片状構造が卓越する不安定な片麻岩を掘削した際には、抜け落ちによる空洞が発生し、鋼製支保工やコンクリート充填を要した。地山状況が良くなった際には、1週間の進行で90mを達成していたが、2004年末に、くさび状の地山不良部が連続して出現し、トンネル天端に5mに至る空洞が発生した。

2004年12月23日には、グリッパシリンダのいくつかが故障した。発注者であるNational Hydroelectric Power Corporation(NHPC)は、Robbins社にHJVを支援するように要請した。Electrowatt社によると、2005年1月中に、Robbins社が、“導水路トンネルPB2工区の残りのTBM掘進のオペレーション”を引き継いだと

のことである。グリッパシリンダの再整備、油圧装置の調整、ロックボルト打設装置の改良で8週間の中断を経て、2月16日にTBMは掘進を再開した。3月には月進で最高となる250mを、4月には日進で最高となる24mを記録した。

その後、すぐに地山状況が悪くなり、山はねや大きな余掘りが発生し、鋼製支保工、フォアポーリング、矢板、吹付けコンクリート充填を要する事態に至った。Electrowatt社によると、雲母片岩帯の掘削では、カッターヘッド後方で直ちに吹付けコンクリートを施工する必要がある、大きな内空変位が発生したとのことである。

8月には、花崗片麻岩が出現し、地山状況が好転した。「現在の進行と予想地質で判断すれば、今後250~350mの平均月進が見込まれる」とRobbins社は語った。

(T&TI '05.12 担当：伊藤彰・(株)間組)

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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



## (社) 日本トンネル技術協会 国際委員会

### AbdalajisにおけるTBMの挑戦/Challenging TBM tunneling at Abdalajis

By Wolfgang Weber・Hadi Daoud・Enrique Fernandez:Tunnel & Trenchless International, May, 2005, pp.36-38

スペイン高速鉄道延伸工事は、CordobaとMalaga間の20kmをすべてトンネル工法によって進められている。そのうち、延長7kmのAbdalajisトンネルは非常に難解な工事である。本工区は2002年1月、2JVにて契約され、請負金額は両工区で3.34億US\$である。直径10mの併設TBMで施工され、三菱重工業とロビンス社の共同制作機である(写真-1)。TBMは掘進と同時にセグメントを組み立てる高速仕様として設計され、3.75m/時間の進捗を目標とした。掘削地山は崩壊性地盤から硬質地盤まで広く分布しており、16か所の断層と砂岩、礫岩、千枚岩、頁岩などの地層で構成されている。地下水位はトンネル天端より最大250mである。また、TBMには地盤改良用の気泡とレジンを注入するためのフォアポーリ

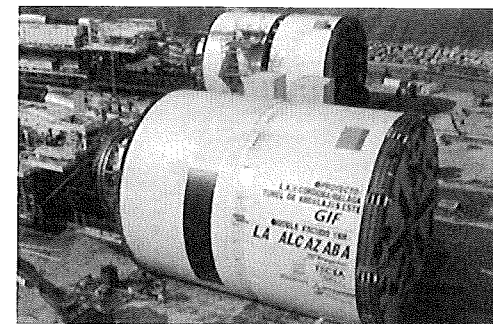


写真-1 TBM現地組み立て状況

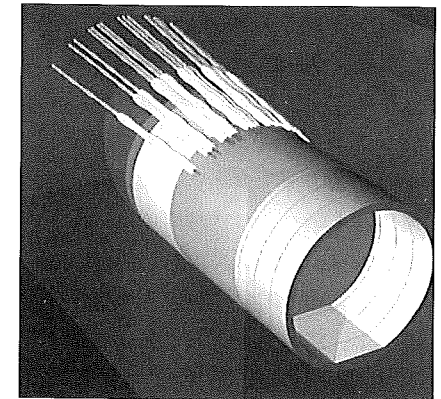


図-1 TBMフォアポーリング設備

ング設備を装備した。

2004年1月に発進し、最初の1,590mは日進34mにて施工した。その後、掘進を進めるうちに、メタンガスが検出され、掘削を余儀なく中止せざるを得ない状況となった。メタンガスの検出とともにTBMカッターヘッド部より約200m<sup>3</sup>もの切羽崩壊に遭遇した。その対策として切羽前方に長さ21mのファイバークラスマイクロパイルから構成されるパイルアンブレラを打設した。長さ21mのうち、TBM側10mは気泡注入部、残り10mはレジン注入部とした(図-1)。これらの注入効果によって、崩壊によってもたらされた空洞部の充填は完了した。さらに、メタンガス換気対策として、特殊エアノズルによる換気設備とモニタリング設備を導入した。同時にスペイン環境当局より、坑内可燃性ガスの濃度制限値を20%から10%に減じることを義務づけられた。

これらの対策に時間と費用を要したが、その後は大きなトラブルもなく施工を進めている。

(文責：山口 英・五洋建設(株))

### Big Skyの硬岩に挑む/Battling Big Sky's hard rock

Tunnelling & Trenchless Construction, May/June, 2005, pp.16-17

Montana(モンタナ)のBig Skyの山岳ゴルフ場建設に伴う、貯水池への取水管設置工事である。管路は削孔径760mm、延長97m、勾配-3%で、工法はオーガポーリングで行った。

工事開始時には、tungsten carbide bullet bits を付けた「クリスマスツリー」型のボーリングヘッドをオーガボーリング装置に取り付け、掘削を行った。しかし、途中、地質が硬岩に変わり、ゲージカッタの位置でビットが折れ、掘削不可能となった。

このため、Robbins社の直径760mmのSBU (Small Boring Unit) ディスクカッタに変更した。このSBUの採用により、硬岩において、日進13~15mで掘削することができた。SBUは、一軸圧縮強度24,000kPa以上の岩盤を掘削できるように設計されており、SBUディスクカッタ



写真-2 掘削状況



写真-3 SBUカッタヘッド

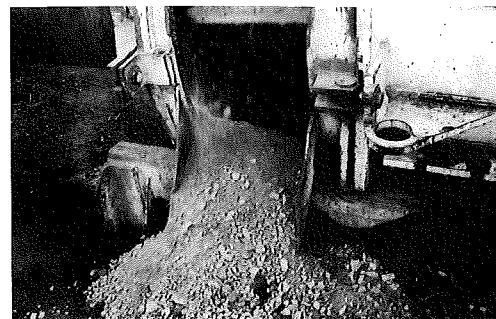


写真-4 SBUで掘った岩

の能力は、Robbins社の大口径TBM用の直径480mmのディスクカッタと同等である。SBUは、設置する鋼管と同径の短い鋼管にパッケージされており、鋼管先端に溶接により取り付けられた。

(文責：金崎伸夫・佐藤工業(株))

### St Gothard 1号トンネル/The first St Gothard Tunnel

By Dr. Myles O'Reilly : Tunnels & Tunnelling International, June, 2005, Vol.37, No.6, pp.20-23

1881年に完成したアルプス横断鉄道St Gothard 1号トンネル建設の苦難の歴史が記述されている。アルプス横断鉄道(延長263km)の構想は1838年にさかのぼるが、St Gothardトンネル(14.9km)の計画がドイツ、スイス、イタリアの間で具体化したのは、1871年であった。

この工事の発注には、完成遅延時の罰金をはじめとする過酷な条件があったが、スイス西部で鉄道やトンネル建設に実績のあったジュネーブのLouis Farveの会社が55百万フランで落札した。Farve本人は1879年トンネル貫通前に坑内で病死した。

トンネルの地質は硬質の片麻岩が主体であり、トンネルの建設は、削岩機、エアコンプレッサ、ダイナマイトという3つの大きな技術革新により実現した。

1872年に南北両坑口で着工、まず2.4m×2.5mの頂設導坑が手掘りにより掘削され、その後、1873年に圧搾空気が導入され一部機械化された。頂設導坑切羽から300m後方で上半拡大、さらに

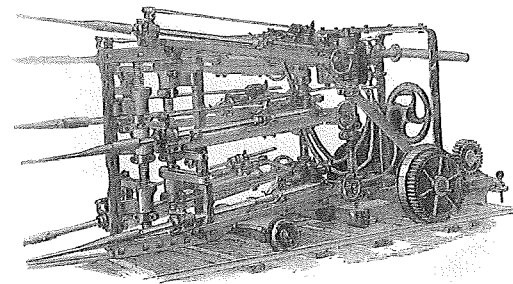


図-2 レール式削孔システム

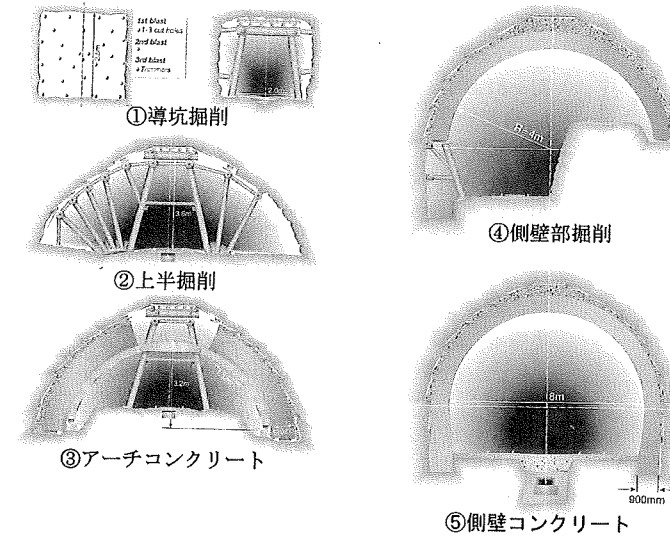


図-3 トンネル施工順序

1 km後方で最終形状への拡大が行われた。

工事の大きな問題点は換気であった。作業者が空気を求めて圧搾空気の配管に穴を空け、これによる圧力低下で作業効率が悪化することもあった。北側の導坑の坑口から8 km入った地点では、発破の粉塵、石油ランプ500台、作業員400人、馬40頭の発する熱などによって50℃になることもあった。

死者は310人(うち、177人は坑内で死亡)、負傷者は877人(うち、400人が坑内で負傷)であった。

北側の作業者のうち、70%が寄生虫による貧血症となり、重大な事態になる者も多かった。また、馬やラバも毎月30頭が死んだという。

工事期間中は、覆工の崩壊などの事故が続発したほか、地上部分の工事費の高騰によるSt Gothard鉄道会社の経済的危機、関係各国政府の消極性などがみられたが工事は継続され、Farveの死後1880年2月に導坑が貫通した。貫通誤差は水平330mm、鉛直50mmであった。

覆工および内装は1881年末に完成、営業運転は1881年6月に開始されて927時間要していたLucerne~Milan

間は、5時間半に短縮された。しかし、施工会社は2千万フランを超える損失を抱えて倒産した。

筆者は最後に、イタリア人が主であった作業者の賃金は非常に低く(40年前の英国鉄道工事作業者の最低賃金レベル)、そのため暴動が起きたこともあった。しかし、その労働者のおかげで10年弱の工事期間で14.9kmの貴重な資産が残された」と記している。

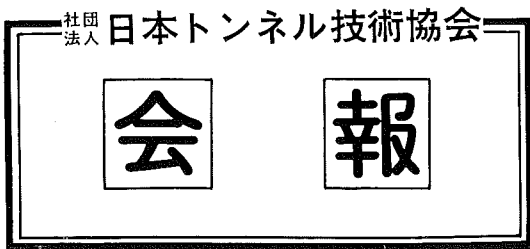
(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))

## 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お願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては86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)



1. 会員の現状

	4月25日現在	5月25日現在
正会員	2,222名	2,222名
団体会員	338名	338名
個人会員	1,884名	1,884名
名誉会員	1名	1名
計	2,223名	2,223名

2. 第182回理事会

日時：平成18年5月22日(月)15:30~16:00  
 場所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」  
 出席者：理事30名、監事2名  
 議題：

①理事、評議員の交替を承認

1. 理事

氏名	所属役職
市川 義博	(財)高速道路技術センター理事長
小林 俊介	東京湾横断道路(株)常務取締役
中島 浩昭	三井住友建設(株)専務執行役員
宮口 尹秀	(社)日本トンネル技術協会専務理事
清水 啓治	(社)日本トンネル技術協会専務理事

新任

氏名	所属役職
青野 捷人	東日本高速道路(株)常務取締役執行役員
横田 耕治	中日本高速道路(株)常務執行役員
小川 篤生	西日本高速道路(株)執行役員
水谷 敏則	(財)先端建設技術センター専務理事
熊谷紳一郎	三井住友建設(株)土木本部長補佐

2. 評議員

退任

氏名	所属役職
水谷 敏則	(財)先端建設技術センター専務理事
住田 周三	三菱重工業(株)鉄構建設事業本部 都市開発施設部長

新任

氏名	所属役職
井上 年史	三菱重工業(株)機械鉄構事業本部 地中建設事業ユニットグループ長

②専務理事、常務理事の交替を承認

1. 専務理事

宮口専務理事は5月22日付をもって退任する。  
 後任専務理事は5月22日総会で水谷敏則氏が選任されることを前提に水谷敏則氏を互選した。

2. 常務理事

清水常務理事は5月22日付をもって退任する。  
 後任については専務理事が兼務する。

③総会進行次第を承認

3. 第32回通常総会

日時：平成18年5月22日(月)16:00~17:00

場所：東京商工会議所7階「国際会議場」

出席者：招集総数2,222名のうち、  
 出席194名、委任状1,107名 計1,301名

議案：

- 第1号議案 平成17年度事業報告(内容省略)
- 第2号議案 平成17年度事業収支決算(別表参照)
- 第3号議案 入会金および会費規程の一部改正  
 団体会員に「作業所単位」とする年会費6万円のクラスを新設した。
- 第4号議案 平成18年度事業計画  
 今まで独自に活動していた6つの調査研究委員会を1つにまとめるほか、広報活動をより明確にするため委員会組織を改め、会員のニーズに応えられるよう積極的に展開することとした(別表参照)。
- 第5号議案 平成18年度事業収支予算(別表参照)
- 第6号議案 役員を選任(別表参照)

4. 委員会の開催状況(5月1日~31日)

①調査研究関係委員会

- 施工技術委員会  
 支保幹事会打合せ会：5/25(服部修一幹事長ほか6名)作業方針を検討
- 都市トンネル小委員会Q&A施工WG：5/25(中島泰彦幹事長ほか20名)レジメを検討
- 北陸新幹線低土盛りトンネル研究特別委員会：5/30, 31(田村武委員長ほか49名)現地調査  
 計3回開催 78名出席

②運営広報関係委員会

- 総務委員会：5/22(日月俊昭委員長ほか11名)総会進行対策
- 国際委員会  
 国内広報WG：5/17(光木香幹事長ほか8名)海外文献を査読
- 事業委員会打合せ会：5/11(伊藤委員ほか4名)発表会(山岳)課題を検討  
 同 同：5/18(中島委員ほか2名)発表会(都市)課題を検討
- 会誌委員会：5/10(大島洋志委員長ほか16名)6月号の会誌と3か月計画を検討  
 計5回開催 46名出席  
 合計8回開催 124名出席

5. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006. 9. 12~16	ウィスラー(カナダ)	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局 http://www.engconfintl.org/6ad.html
イノトランス2006 「国際鉄道技術専門見本市」	2006. 9. 19~22	ベルリン(ドイツ)	Team InnoTrans イノトランス事務局 http://www.innotrans.com 問い合わせ先：メッセ・ベルリン日本代表部(在日ドイツ商工会議所) TEL：03-5276-8730 info@messe-berlin.jp http://www.messe-berlin.jp(日)
第1回国際シンポジウム 「都市部における地下空間の利用」	2006. 11. 6~7	シャルムエルシェイク(エジプト)	Egyptian Tunnelling Society エジプトトンネル学会 http://www.egyts.com/
第4回アジア岩盤力学シンポジウム 「都市部における地下空間利用」	2006. 11. 8~10	シンガポール(シンガポール)	International Society for Rock Mechanics (ISRM) and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore(TUCSS) 国際岩盤力学協会 シンガポール地下建設協会 http://www.arms2006.org/
第12回中国土木学会年次会議、第14回トンネル工学会年次会議 「トンネルおよび地下建設のための最新の理論と実践」	2006. 11. 9~11	上海(中国)	China Civil Engineering Society, Institute of Tunnel and Underground Engineering 中国土木学会 トンネル工学会 http://www.cces.net.cn
第33回ITA総会およびコンgres 「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5~10	プラハ(チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org

\*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

6. 平成18年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
大阪市地下鉄現場研修会	2006. 4. 17	16	大阪府
横浜市地下鉄現場研修会	2006. 5. 30	28	神奈川県
東京地下鉄13号線現場研修会	2006. 6. 2	24	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2006. 6. 20	25	東京都
上記のほか、東北新幹線、各種高速道路、近畿地区地下鉄などのトンネル建設現場研修会を開催する予定です。			
(発表会)			
第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」	2006. 11. 29	150	東京都
第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」	2006. 11. 30	150	東京都
(講演、講習会)			
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2006. 11. 1, 2	30	東京都
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	未定		

### 第58回(山岳), 第59回(都市)施工体験発表会発表者募集のご案内

このたびトンネルに携わっておられる現場技術者による施工体験の発表希望者を, 下記のとおり募集致しますので, 奮ってご応募くださいますようお願い申し上げます。

—記—

課題: ①第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」

(リニューアル, めがねトンネル, 都市NATM, 海外工事等)

②第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」

(シールド, 開削, 近接施工等)

開催時期: 第58回(11/29), 第59回(11/30)ともに東京にて開催

発表時間: 1 題20分程度(発表件数により増減)

発表方法: 発表テキスト原稿と液晶プロジェクター(パワーポイント)。

応募方法: 概要を1,200字程度に取りまとめ(用紙自由), 題名, 所属役職, 氏名, 連絡先, 電話番号を記載のうえ, 来る7月31日(月)までに事務局宛て提出してください。FAX, メールでも結構です。

〒104-0041 東京都中央区新富 2-14-7 新光第一ビル

社団法人日本トンネル技術協会 担当: 山之内

TEL: 03-3553-6174 FAX: 03-3553-6145

E-mail: gori@sepia.ocn.ne.jp

発表者通知: 選考のうえ, 9月上旬に本人宛てご連絡致します。発表者は, 10月下旬までにテキストの原稿(約10,000字)を提出していただきます。その際には, 原稿作成要領等改めてご連絡します。

その他: 発表者には記念品を贈呈します。

(1)科目別総括表

### 平成17年度事業収支決算ならびに平成18年度事業収支予算総括表

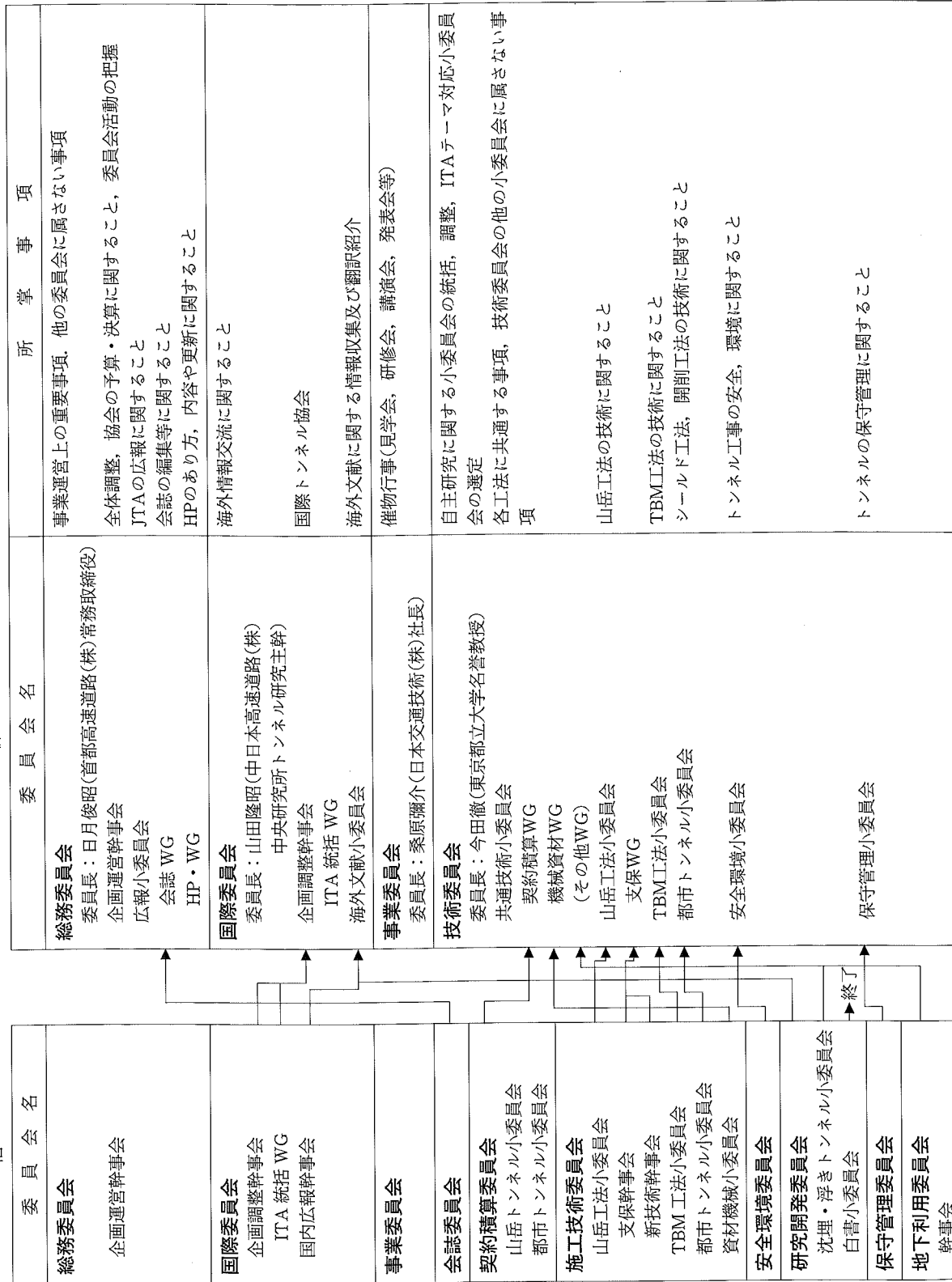
科目	平成18年度予算		平成17年度決算		増減 ①-②
	会計①	一般会計	受託業務会計	図書事業会計	
(収入の部)					
1. 会費収入	129,180,000	129,180,000	0	0	129,925,000
2. 講演会等事業収入	11,010,000	11,010,000	0	0	32,637,300
3. 受託業務収入	140,000,000	0	140,000,000	0	172,277,595
4. 図書事業収入	4,700,000	0	0	4,700,000	10,423,700
5. 雑収入	106,000	106,000	0	0	100,352
当期収入計(A)	284,996,000	140,296,000	140,000,000	4,700,000	339,363,947
前期繰越正味財産額(B)	107,262,734	94,446,379	0	12,818,355	102,226,936
合計(C)=(A)+(B)	392,260,734	234,742,379	140,000,000	17,518,355	441,590,883
(支出の部)					
1. 管理費	116,220,000	116,220,000	0	0	114,405,374
2. 一般事業費	35,000,000	35,000,000	0	0	38,360,048
3. 講演会等事業費	9,510,000	9,510,000	0	0	28,772,831
4. 30周年記念事業費	0	0	0	0	1,585,586
5. 受託調査研究費	117,400,000	0	117,400,000	0	142,131,750
6. 図書関係事業費	2,500,000	0	0	2,500,000	3,936,179
7. 退職給与引当金繰入	4,200,000	4,200,000	0	0	5,032,000
8. 什器備品減価償却費	166,000	166,000	0	0	102,981
9. 受託業務管理費	0	△ 22,600,000	22,600,000	0	0
当期支出計(D)	284,996,000	142,496,000	140,000,000	2,500,000	334,326,149
当期収支差額(A)-(D)	0	△ 2,200,000	0	2,200,000	5,037,798
予備費					
期末正味財産額	107,262,734	92,246,379	0	15,018,355	—
(E)=(C)-(D)	—	—	—	—	107,264,734
合計	392,260,734	234,742,379	140,000,000	17,518,355	441,590,883

(2) 財産増減支出 什器備品購入費400万円とする。

(3) 借入金限度額 無担保借入金の限度額は2,000万円とする。

委員会組織図

新



平成18年度 役員・顧問・評議員名簿

\*印: 役員は新任, 顧問・評議員は平成17年5月以降就任

区分	氏名	所属役職	区分	氏名	所属役職
会長	小森 博	(社)海外鉄道技術協力協会理事長	顧問	尾之内由紀夫	
副会長	佐藤 信彦	(財)道路保全技術センター理事長	顧問	内田 隆滋	
副会長	葉山 堯児	大成建設(株)代表取締役社長	顧問	浅井新一郎	
*専務理事	水谷 敏則	(社)日本トンネル技術協会専務理事	顧問	岡田 宏	
*理事	青野 捷人	東日本高速道路(株)常務取締役執行役員	顧問	萩原 浩	
*理事	横田 耕治	中日本高速道路(株)常務執行役員	顧問	三谷 浩	
*理事	小川 篤生	西日本高速道路(株)執行役員	評議員	伊吹山四郎	攻玉社工短科大学名誉学長
理事	日月 俊昭	首都高速道路(株)常務取締役	評議員	西松 裕一	東京大学名誉教授
*理事	南部 隆秋	阪神高速道路(株)常務取締役	評議員	山本 稔	東京都立大学名誉教授
理事	土谷 幸彦	(独)鉄道・運輸機構理事	評議員	今田 徹	東京都立大学名誉教授
*理事	北川 信	本州四国連絡高速道路(株)常務取締役	評議員	小野 紘一	京都大学名誉教授
理事	矢萩 秀一	東京地下鉄(株)常務取締役	評議員	青江 淳	(独)水資源機構技師長
理事	鈴木 進	東京都交通局建設工務部長	評議員	小森 和男	首都高速道路(株)建設管理部長
理事	只腰 憲久	東京都下水道局流域下水道本部長	評議員	石崎 浩	阪神高速道路(株)技術管理室長
理事	吉越 洋	東京電力(株)フェロー	*評議員	宮林 秀次	(独)鉄道・運輸機構鉄道建設本部東京支社長
*理事	橋本 徳昭	関西電力(株)土木建築室長支配人	*評議員	岡野 哲	本州四国連絡高速道路(株)東京事務所次長
理事	吉田 幸一	東日本旅客鉄道(株)建設工事部長	評議員	西村 高明	東京地下鉄(株)調査設計担当部長
*理事	野崎 春己	東京都地下鉄建設(株)取締役新交通本部長	*評議員	伊藤 博	日本下水道事業団技術監理部長
理事	岡崎 治義	(社)日本建設機械化協会副会長	*評議員	砂道 紀人	電源開発(株)エンジニアリング事業部長代理
理事	伊藤 住吉	(株)大林組専務取締役	*評議員	高橋 康夫	東京都交通局参事
理事	神原 裕一	(株)奥村組代表取締役副社長執行役員	*評議員	中村 益美	東京都下水道局計画調整部長
理事	川合 勝	鹿島建設(株)代表取締役副社長	評議員	大塚 正博	東京電力(株)工務部設備渉外・調整グループマネジャー
*理事	山口 啓二	(株)熊谷組取締役副社長	*評議員	大石 富彦	関西電力(株)土木建築室計画グループマネジャー
理事	山田 俊郎	五洋建設(株)執行役員副社長	評議員	伊藤 泰司	東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所長
理事	杉 晟	佐藤工業(株)代表取締役社長	評議員	桑原 彌介	日本交通技術(株)代表取締役社長
理事	磯島 茂男	清水建設(株)代表取締役副社長	評議員	熊 新六	(社)日本土木工業協会専務理事
理事	小林 覚	(株)竹中土木代表取締役副社長	評議員	小鷲 茂	(社)日本建設業団体連合会副会長
*理事	神田 志義	鉄建建設(株)専務執行役員	評議員	大貫 富夫	(社)日本鉄道建設業協会専務理事
理事	香西 慧	戸田建設(株)代表取締役副社長	評議員	逢澤 潔	アイサワ工業(株)代表取締役社長
理事	戸村 和彦	飛島建設(株)取締役常務執行役員	評議員	長崎 光男	青木あすなろ建設(株)専務執行役員
*理事	吉川 邦彦	西松建設(株)専務取締役	評議員	大本 栄一	(株)大本組代表取締役社長
理事	友野 希成	(株)間組代表取締役副社長	評議員	株木 雅浩	株木建設(株)代表取締役社長
理事	剣持 三平	(株)フジタ顧問	評議員	大迫 哲	(株)銭高組執行役員
*理事	山田 和男	前田建設工業(株)常務執行役員	評議員	日野 峻栄	大日本土木(株)代表取締役副社長
*理事	熊谷紳一郎	三井住友建設(株)土木本部長補佐	*評議員	岡村 康秀	大豊建設(株)代表取締役社長
監事	入江 健二	東京地下鉄(株)建設部長	評議員	内山 茂樹	(株)地崎工業顧問
監事	前田 泰生	電源開発(株)取締役エンジニアリング事業部長	*評議員	鈴木 行雄	東亜建設工業(株)代表取締役社長
監事	子安 哲雄	(株)鴻池組専務取締役	評議員	赤井 憲彦	東洋建設(株)代表取締役社長
			評議員	山田 豊彦	東急建設(株)代表取締役社長
			評議員	笠原 繁雄	りんかい日産建設(株)会長
			評議員	中原 昭夫	日本国土開発(株)常務執行役員
			評議員	高橋 昭夫	不動建設(株)代表取締役社長
			*評議員	藤原 秀武	(株)森本組代表取締役社長
			評議員	清水六三郎	若築建設(株)取締役常務執行役員
			評議員	木村 哲夫	新日本製鉄(株)建材事業部部長
			*評議員	井上 年史	三菱重工(株)機械鉄構事業本部地中機事業ユニット長

## 8月号予告[8月1日発売予定]

- 超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究
  - 高流動コンクリートを用いた推進管の開発と適用
  - 東海道新幹線 第一高尾山トンネル防護工
  - 第二東名高速道路 今里第一トンネル
  - 新交通 日暮里・舎人線車両基地
- 【連載講座】
- 都市トンネル工事の計測(8)
  - 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(5)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

- ◆今月は、東京電力 東西連係ガス導管新設工事の特集です。
- ◆東京湾を横断する長大構造物としては、アクアラインにつづいて二つめ。このほかには東京湾の入り口の浦賀水道を神奈川県横須賀市から千葉県富津市まで横断する「東京湾口道路」も構想されている。
- ◆東西連係ガス導管新設工事は、全長18kmのシールドトンネルを東西から掘進し、海底中間位置で接合する。接合誤差は10mm程度という。
- ◆幼いころ青函トンネルの貫通時の誤差がほとんどなかった(上下誤差19cm程度)ことを、ニュースで知って、その技術の高さに感心したおぼえがある。しかし、その後、土木を学び、仕事に携わるにしたがい、それが当然だと考えている面もあった。
- ◆わが身をふりかえって、日曜大工ですら部材の取り合いを満足にできないことを考えると、やはり高度な技術力や経験に裏打ちされなければ、達成されない成果なのだろう、とあらためて思う。
- ◆東西連係ガス導管新設工事の工事費は約160億円。L=18km、φ=3.4mとして、m<sup>3</sup>単価は約26万円、坪単価になおすと85万円。少し高めの木造住宅と同程度といったところか。他愛のない比較であるが、ずいぶんと経済性の高い施工が行われたのだと、実感できる気がする。
- ◆きわめて卑近なものと比較してしまったが、その技術の高さに理解が及んだような、及ばないような。

(K.K)

★購読の申し込み、または、送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください。  
★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

## トンネルと地下

第37巻 第7号 (通巻431号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成18年6月20日 印刷

平成18年7月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.soc.nii.ac.jp/jta

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

### 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、本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本社「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製(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。本誌から複製または転載を希望される方は、本社(03-3267-2888)までご連絡ください。

## 吹付けコンクリート用急結剤

# 「太平洋ショットマスター」



急結性に  
優れています

セメント鉱物系ならではの  
シャープな急結性が得られます  
そのため、吹付けコンクリートを急速に硬化させ  
岩盤への優れた付着性  
跳ね返りの低減が実現できます

2  
短時間強度長期耐久性が  
良好です

吹付け後 短時間で高い強度が得られ  
以後の強度発現性も優れています  
また セメント鉱物系ですので  
長期耐久性も良好です

3  
塩化物を  
含んでいません

塩化物を含んでいませんので  
ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

### 優れた付着性!!

「太平洋ショットマスター」は、太平洋セメント株式会社が特殊セメントやセメント用各種混和剤の開発技術をもとに、鋭意研究開発したセメント鉱物系を主成分とした吹付けコンクリート用急結剤です。セメント鉱物ならではの急結性を有し、吹付けコンクリートの岩盤への優れた付着性・跳ね返りの低減が実現できます。

 太平洋マテリアル株式会社

●営業本部高機能建材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル8F TEL.03-3278-5319  
○北海道支店/TEL.011-221-5855 ○東北支店/TEL.022-221-4511 ○東京支店/TEL.03-3278-5331  
○北陸支店/TEL.076-234-1670 ○中部支店/TEL.052-452-7141 ○関西支店/TEL.06-6228-6660  
○中国支店/TEL.082-261-7191 ○四国支店/TEL.087-833-5758 ○九州支店/TEL.092-781-5331