

# トンネルと地下

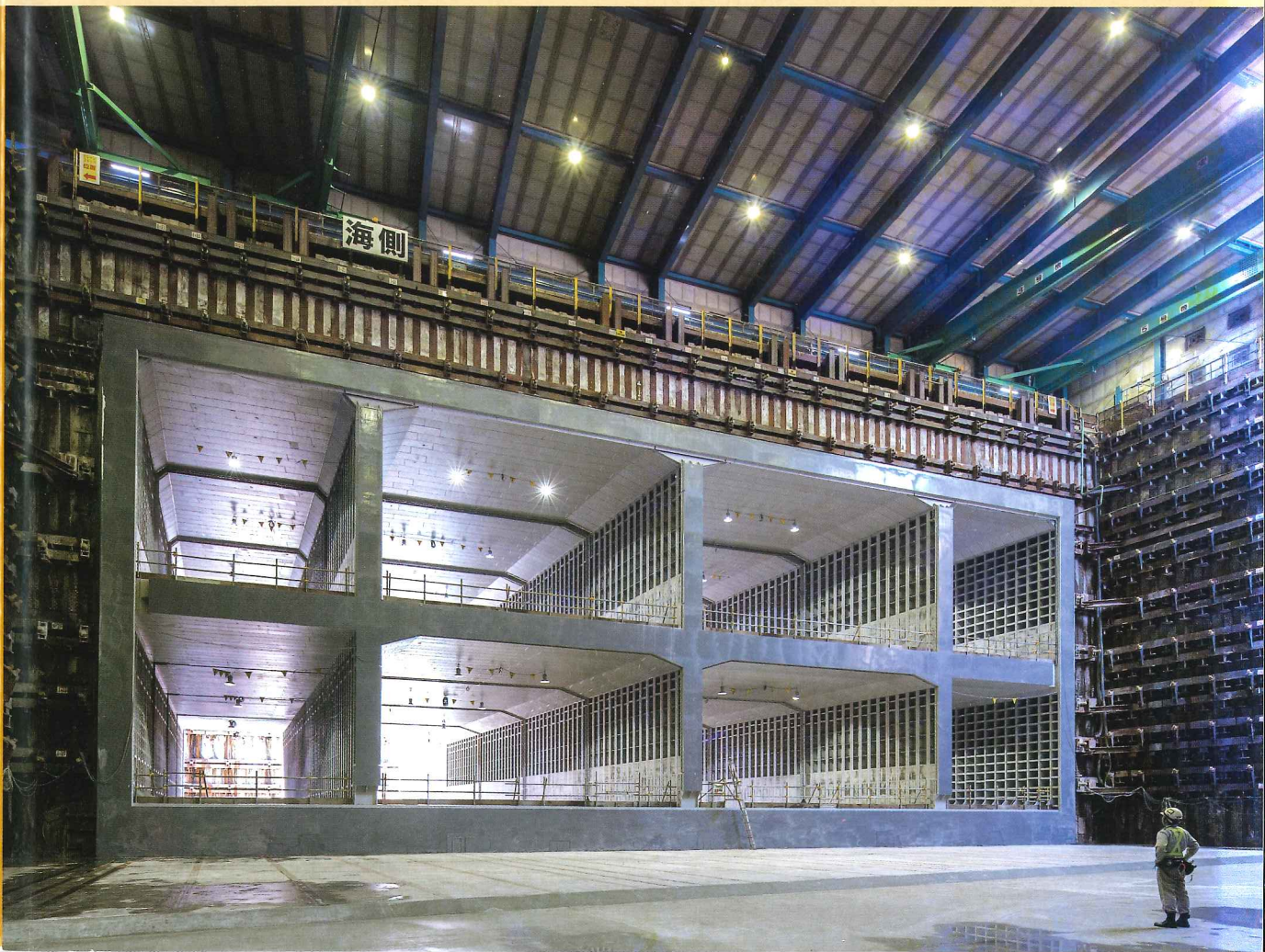
# 8

vol. 48  
no. 8  
2017

Tunnels and Underground

既設国道トンネルへの影響を考慮した1車線トンネルの新設  
新型硬岩トンネル掘削機で人家と国道近接区間を施工  
世界最大級断面のR&C工法で鉄道営業線直下に道路トンネルを構築  
シールド切替型推進工法により急曲線・長距離で下水道管を布設  
地山-ボルト間の付着特性を考慮した鏡ボルトの設計モデルに関する研究

日本トンネル技術協会誌



**FRD**  
FURUKAWA

# 新世代型 ホイール式ドリルジャンボ

**JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III**

3ブーム、2ケージ

3ブーム、2ケージ

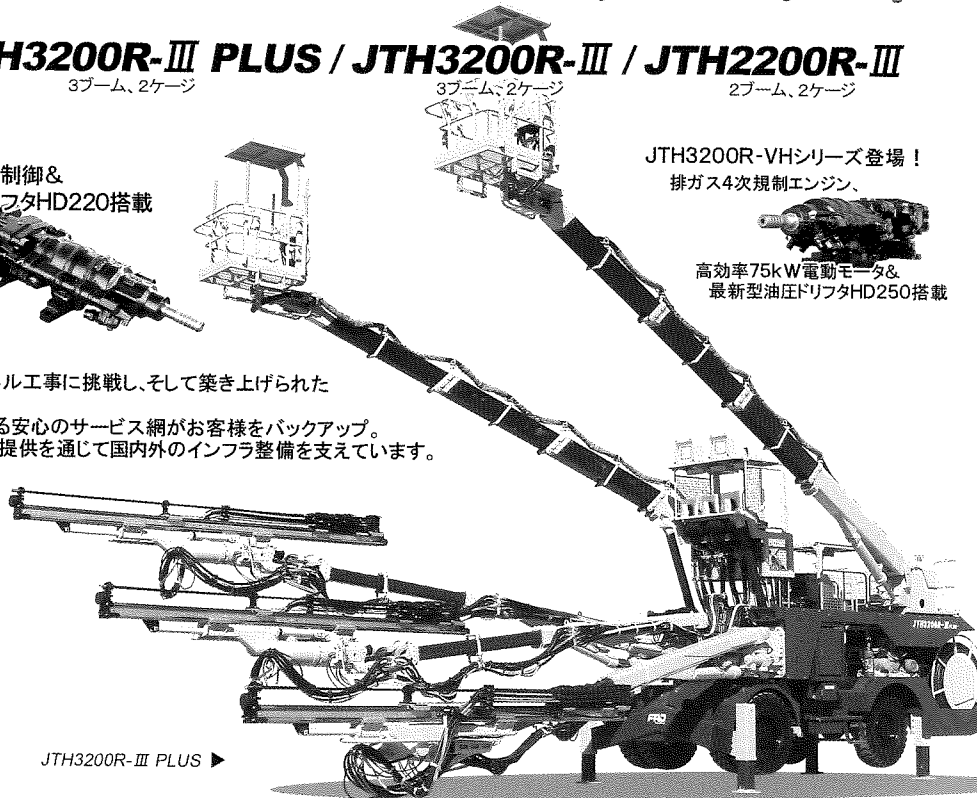
2ブーム、2ケージ

FIDS II 制御&  
油圧ドリフタHD220搭載

JTH3200R-VHシリーズ登場！  
排ガス4次規制エンジン、

高効率75kW電動モータ&  
最新型油圧ドリフタHD250搭載

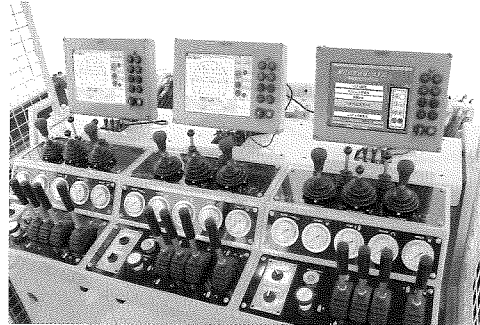
様々なトンネル工事に挑戦し、そして築き上げられた  
実績と信頼。  
全国に広がる安心のサービス網がお客様をバックアップ。  
各種機械の提供を通じて国内外のインフラ整備を支えています。



JTH3200R-III PLUS ▶

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

## DRILLNAVI



### 統合せん孔支援システム<ドリルNAVI>

オートドリリング機能、せん孔ナビゲーションシステムがトンネル  
工事の急速施行を強力にサポート。  
大断面での急速施行を「安心して、早くて確実、安全に」実施でき  
る統合せん孔支援システムです。

#### ドリルNAVI

- ドリルNavigation <せん孔ナビゲーションシステム>
- ドリルExplora <全断面穿孔実績・前方探査記録装置>
- ドリルNet <技術支援システム>



古河機械金属グループ  
**FRD 古河ロックドリル株式会社**

www.furukawarockdrill.co.jp

本社 〒103-0027 東京都中央区日本橋一丁目5番3号

特機部 ☎03(3231)6966

札幌 ☎011-786-2222 東北 ☎022-384-8991 宮古 ☎0193-77-4245 関東 ☎027-326-9611

名古屋 ☎0568-77-7700 関西 ☎06-6475-8221 中四国 ☎082-832-3542 九州 ☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工

高付着型長尺鋼管切羽補強工

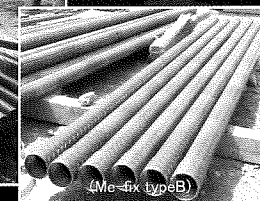
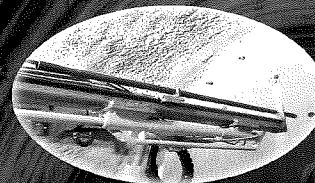
特許第 6882118 号

特許第 4942211 号

**Me** 工法  
Metal eco

**Me-fix**  
Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。  
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



### 特徴① 分別回収による鋼材のリサイクル化

※特別仕様  
NETIS 番号:KT-080027

「Me 工法」、「Me-fix」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

### 特徴② 接続部補強により鋼管の薄肉化

「Me 工法」、「Me-fix」は接続部拡張・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(Φ76.3×4.2~4.5mm)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

### 特徴③ 長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

「Me-fix」はこれまでの鋼管による切羽補強工の弱点であった付着耐力の向上を図り、確実な地山拘束力が期待できる長尺鋼管切羽補強工です。適用条件によって「type A」、「type B」、「type R」の選択が可能です。

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.5)	φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu=12N/mm<sup>2</sup>)

**KFC** 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部: 東京都港区芝公園芝パークビル B 館 TEL 03-6402-8251  
大阪土木営業部: 大阪市北区西天満 3 丁目 2-17 TEL 06-6363-1884  
技術部: 東京都港区芝公園芝パークビル B 館 TEL 03-6402-8257

# 補助工法のさらなるステージへ

当社はトンネルの補助工法資機材のパイオニアとして数多くの実績を築いてきました。  
現在のトンネル工事はさらに安全性、品質の向上が要求されています。  
複雑な地山条件、多岐にわたる要求性能にお応えするべくラインナップを拡充しています。

## 大量湧水

ウレタン減水材KOD-M  
HIPREXボルト  
RPEロックボルト

## 高強度シリーズ

高耐力ロックボルト  
高耐力自穿孔ボルト  
高強度シリカレジン

## 環境対策

エコリムーブ工法  
AGF-Tk工法  
パワースレッド

## 脆弱地山

多重式長尺フォアパイリング  
AGF-Tk工法  
パノラマ工法  
全方位マルチパターン  
地山補強工法

品質向上  
安全性向上

## ▶ 営業品目

各種注入材 / 各種長尺鋼管フォアパイリング / 全方位マルチパターン地山補強工法  
切羽対策工全般 / 各種ロックボルト / ロックボルト定着材 / 防水シート  
コンクリート皮膜養生剤クラテキュア / 建設資材全般

※特許、NETIS登録されているものがありますので、お問い合わせください

**KATECS**

株式会社カテックス 建設資材事業部

〒460-8331名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術部・中部営業部	TEL 052-331-8821	FAX 052-332-0164
東京支店	TEL 03-3260-8321	FAX 03-3266-1648
東京支店(仙台事務所)	TEL 022-344-6041	FAX 022-344-6042
関西営業所	TEL 06-6578-3235	FAX 06-6578-3237
九州営業所	TEL 092-574-0856	FAX 092-574-0846
北海道地区(株)エイチ・アール・オー	TEL 011-821-5868	FAX 011-821-6644

URL <http://www.katecs.jp/> email [construction@katecs.co.jp](mailto:construction@katecs.co.jp)

# トンネル工事は新時代へ

1000~2000mトンネルに1.5km延伸コンベヤシステムを  
パッケージでレンタルをスタート

## Mole Stretch Conveyor の4大特長

モール・ストレッチ・コンベヤ

### 1. パッケージのレンタルで安心

- ・レンタルシステムによる初期費用の軽減
- ・資産計上の必要無し(損金処理)
- ・ユニット、パーツの共通化で休転期間短縮

### 2. 高性能破砕機で工期短縮

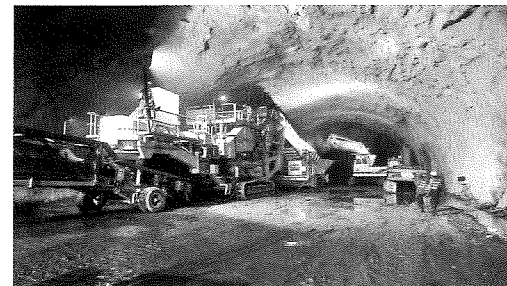
- ・原料投入高さの低いエプロンフィーダ(2.4m)で投入時間短縮
- ・高破砕力のCジョークラッシャーで硬岩(4000kgf/cm<sup>2</sup>)にも対応可能
- ・簡単油圧セット調整で常に破砕粒度が小さく一定

### 3. ベルトコンベヤ搬送で安全

- ・ダンプ輸送の事故リスクを低減
- ・搬出ズリの滞積・横持ち・再処理が簡単
- ・覆工、インバート作業に対して安全

### 4. 粉塵・騒音・排気ガスを低減

- ・ベルトコンベヤにより坑内作業環境が改善
- ・路盤補修の削減によるコスト削減



## 1.5km 延伸ベルトコンベヤシステム概要

### ・延伸ベルトコンベヤシステム主仕様

項目	仕様
時間当たりの搬送能力	300t/h(最大)
コンベヤ機長	1,000m~2,000m*
コンベヤ総揚程	45m
ベルト速度	150m/min
ベルト幅	600mm
駆動部総出力	150kW
メインドライブ出力	75kW×2
ベルト総足量	300m×10ロール
ベルト貯蔵能力	450m

### ・主要構成機器

No	名称	主仕様
1	移動式破砕機 LT96EUGJ	300t/h、160kW
2	テールピース台車	自走式クローラ、アウトリガ4ロッド
3	ベルトストレージ	ベルト貯蔵能力最大450m
4	ベルト接合架台	300mロール用、レール方式
5	メインドライブ	75kW×4P×2台、インバータ制御

〈問合せ先〉

**日建リース工業株式会社**  
本社 トンネル営業推進部 TEL(03)3295-9111

**日本コンベヤ株式会社**  
本社 コンベヤ営業部 TEL(03)6859-3511

**UBE 宇部興産機械株式会社**  
電力・インフラ営業グループ TEL(03)5419-6293

\*トンネル勾配により変動致します

設置条件によっては専用設計が必要になります

コンクリート情報化施工の決定版!

NETIS登録番号 QS-110040-VE

# 『スマートセンサ型枠システム・セントル仕様』

## NETIS登録5周年記念キャンペーン

### ご好評につき、平成29年9月末まで キャンペーン期間延長

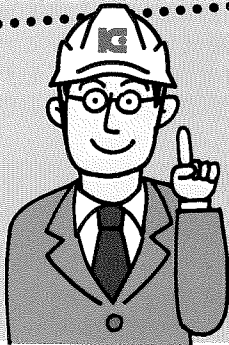
1年レンタル 3,000,000円  
 2年レンタル 4,000,000円  
 3年レンタル 5,000,000円

※4年目以降は別途見積り

※キャンペーン特別価格は平成29年4月以降の公告工事より適用

※レンタル料に含まれるもの → スマートセンサ使用料、SSリーダ使用料、調整料、校正料

※レンタル料に含まれないもの → スマートセンサの取付・取外し費用、セントルの穴あけ・穴埋め、加工費用



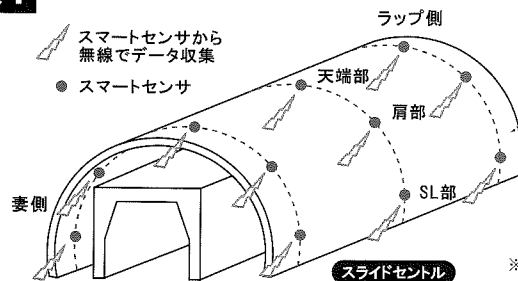
### スマートセンサ型枠システム・セントル仕様

(1セット=1断面5台×3列=15台) ※セントル本体は別途

配線手間不要!



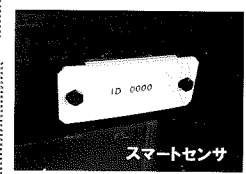
専用のSSリーダ



スマートセンサから  
無線でデータ収集

● スマートセンサ

無線でデータ収集!



スマートセンサ

※スマートセンサはセントル内側に設置されます

### コンクリートの表面温度を自動計測!

コンクリートの表面温度や型枠周辺温度、打設開始・脱型時期を記録します。

### 専用リーダでデータを読み取り!

表面温度や推定強度はグラフやカラーマッピングで分かりやすく表示され、躯体の状態を現場でリアルタイムに把握することができます。

児玉株式会社 エンジニアリング事業部

〒812-0042 福岡市博多区豊 2-4-23

TEL : 092(474)5360 / FAX : 092(474)5366

EMAIL engi.office@kodama-boss.jp

児玉株式会社 エンジニアリング事業部 東京事務所

〒104-0031 東京都中央区京橋 1-14-6 京橋宏陽ビル 4F

TEL : 03(5524)2069 / FAX : 03(3561)6460

EMAIL syoji.yamada@kodama-boss.jp

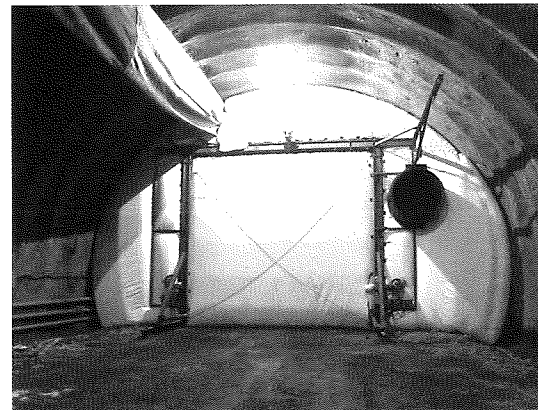
# トラベルクリーンカーテン(TCC)

NETIS登録 HK-120040-A 特許5757758号

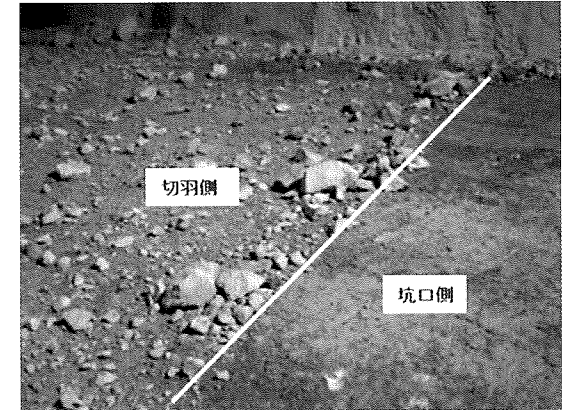
## 特徴

1. 粉塵を完全に封じ込め、粉塵が坑内へ拡散しません
2. 発破飛散石を完全に受け止め、重機を飛散石から守ります
3. クラッシャーの切羽側へ設置することで、サイドダンプによるズリ運搬距離が短縮可能となります

## 写真



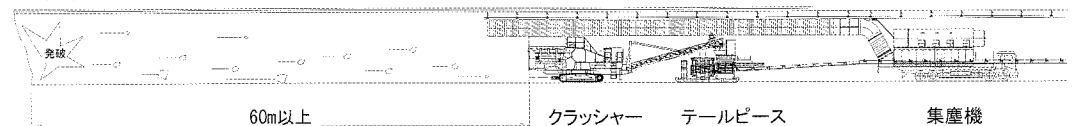
発破時のTCC



発破後の防護状況

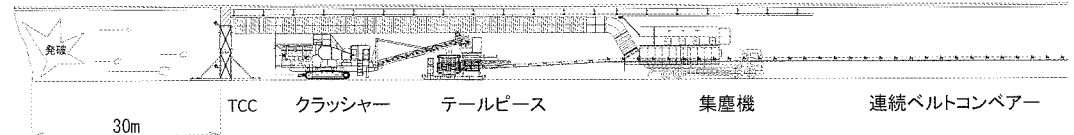
## 概念図

### 従来工法



従来工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が長く、サイドダンプでの移動距離が長い

### TCC工法



TCC工法: 切羽からクラッシャーまでの距離が短く、サイドダンプでの移動時間が短縮される  
又、移動距離が短くなることでサイドダンプの負担が減少する(修理費の低減)

## 総販売元



伊藤忠建機株式会社

エンジニアリング事業部 山岳土木機械部

東京都中央区日本橋室町1丁目13番7号

電話 03(3242)5022 FAX 03(3242)0370

## 製造

TOUKOU 株式会社 東宏

本社 札幌市東区東雁来9条3丁目2番3号

TEL011-792-3000 FAX011-792-3333

東京支店 墨田区両国2丁目18番4号 中尾ビル4F

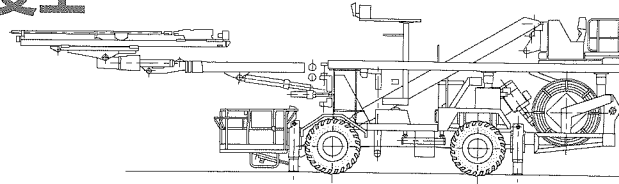
TEL03-6659-3841 FAX03-6659-3845

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

# 環境対応型長尺鋼管先受工

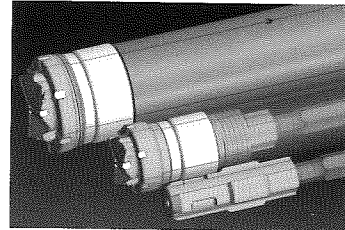
TOHO **AGF** System

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

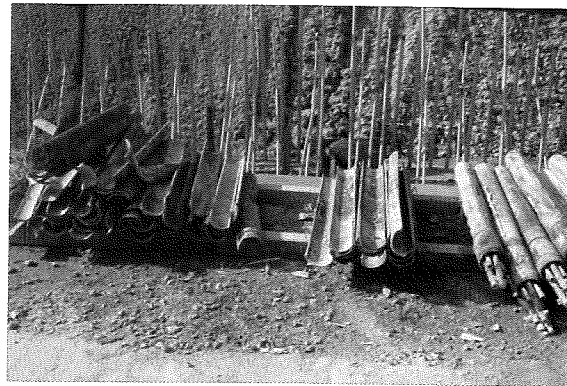
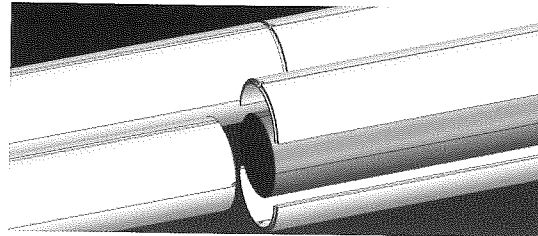


## AGF-Me工法

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



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



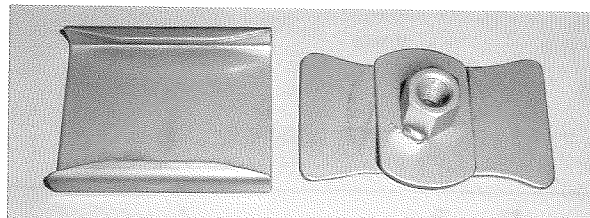
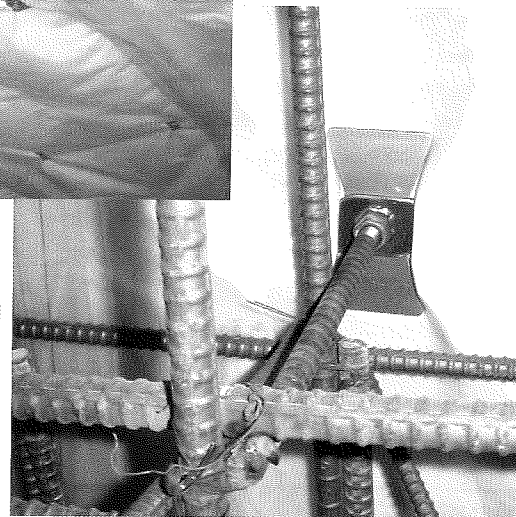
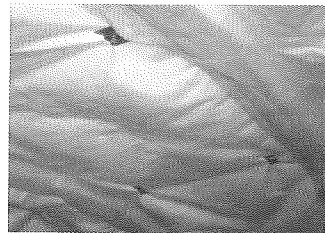
## 防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

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



**東邦金属株式会社**  
TOHO KINZOKU Co., LTD

営業部

〒541-0051  
大阪府大阪市中央区備後町2-4-9 日本精化ビル2階  
Tel: 06-6229-9881 Fax: 06-6229-8150  
URL: <http://www.tohokinzoku.co.jp>

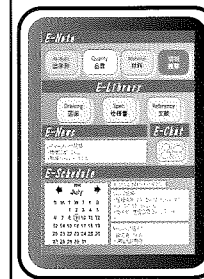
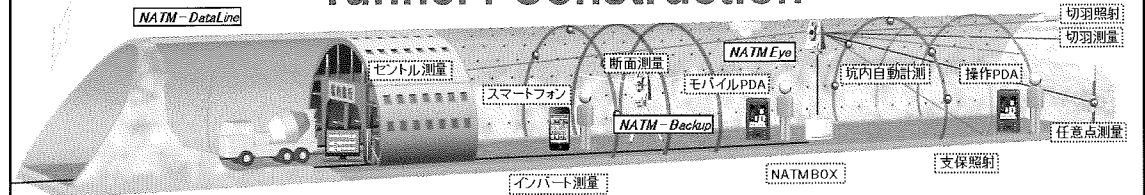
**株式会社 トーキョーオール**

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

NEW

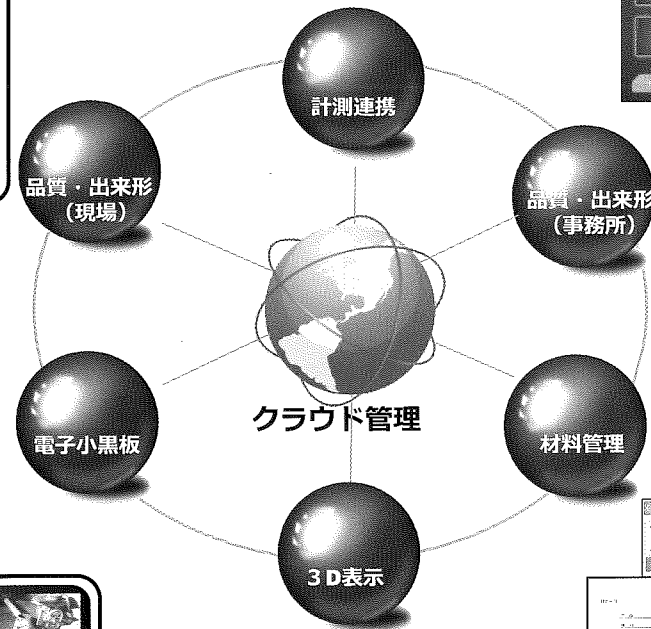
# 究極のトンネル施工管理システム 生産性向上への挑戦！！ En-Note

## Tunnel i-Construction

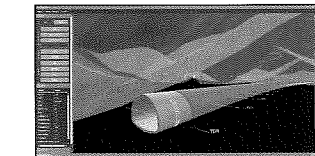
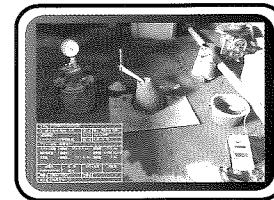


タブレット端末

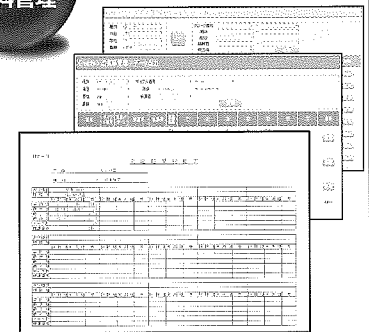
- ・品質
- ・出来形
- ・材料
- ・切羽観察
- ・写真
- ・チャット
- ・遠隔試験



職員パソコン



3D可視化+情報管理(自動)



- ・現場で計測値を直観的な操作でタブレットに入力
- ・工事用小黑板で楽々撮影



黑板、野帳要らずで、現場の作業のみで各種情報はデータサーバへ保管

**enzan**  
enzan KOUBUN

株式会社 演算工房

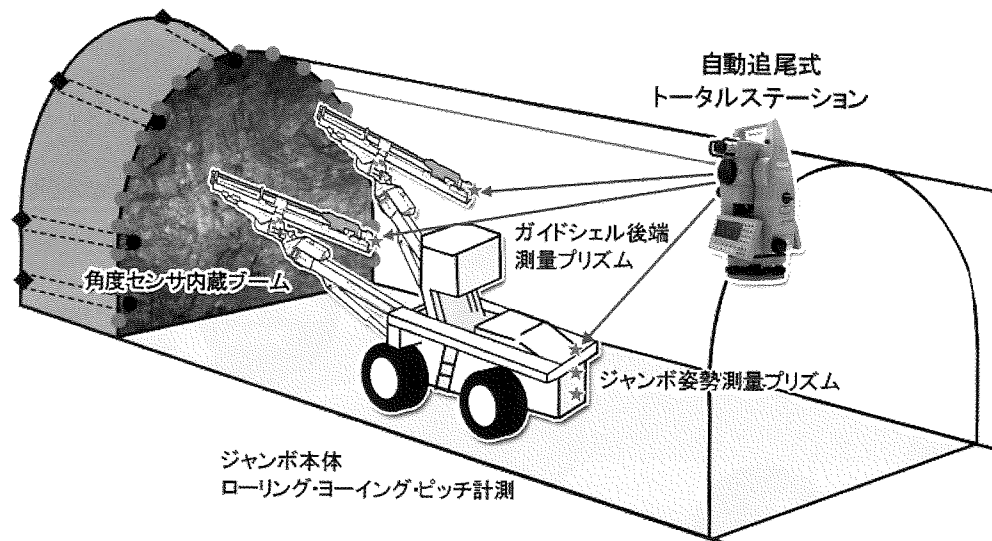
■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3  
TEL: 075-417-0100 FAX: 075-417-0200

NETIS登録番号:KK-100049-A

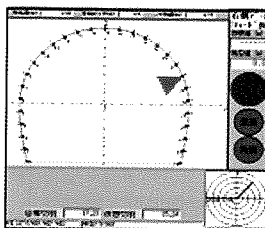
# 自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器(トータルステーション)との連動により、外周装葉孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘り量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



## ■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシールの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご利用は

**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

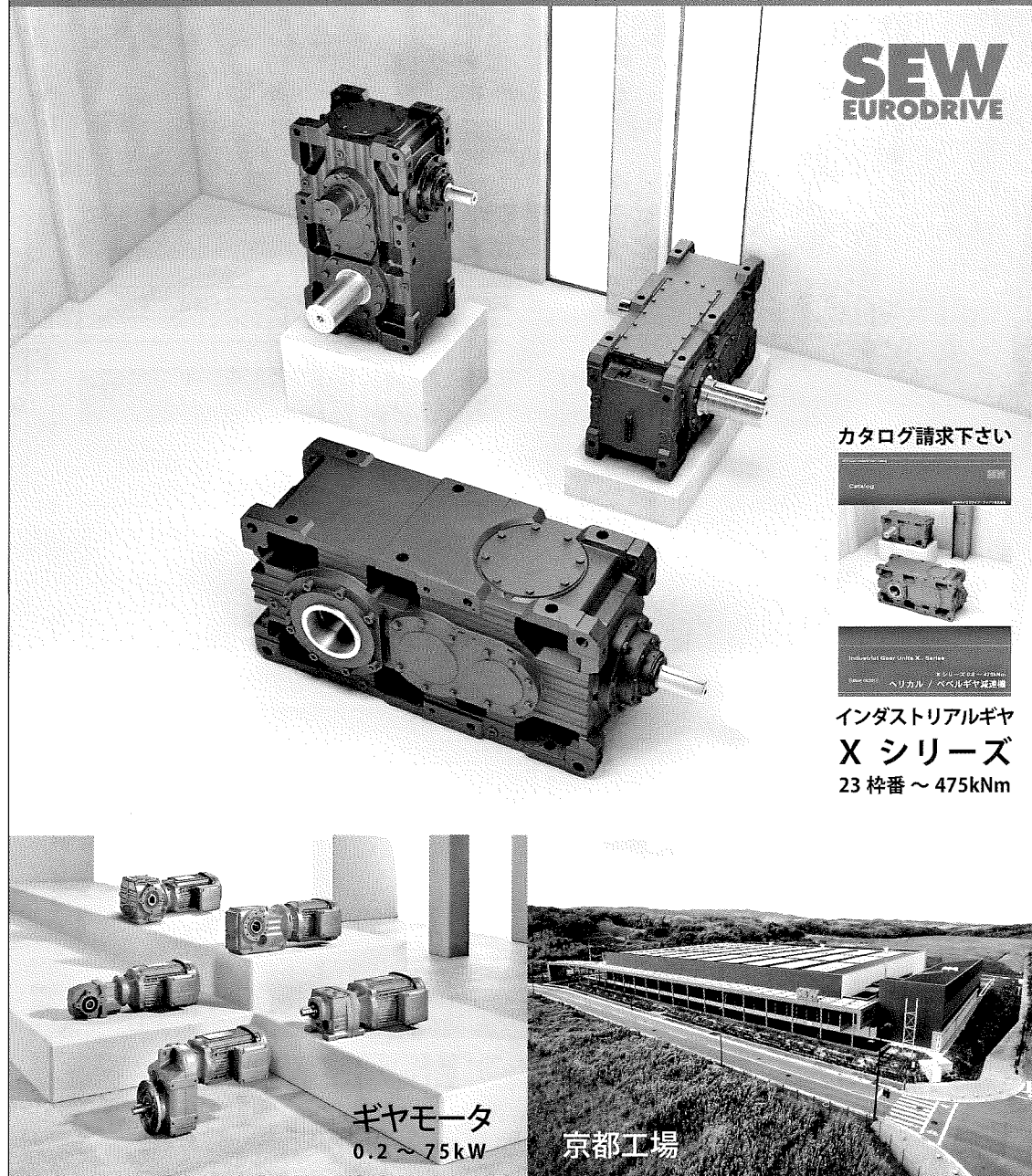
**FRD** 古河機械金属グループ  
古河ロックドリル株式会社

〒103-0027 東京都中央区日本橋1-5-3  
特機部

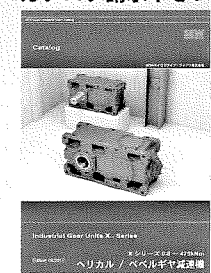
TEL:03-3231-6966 FAX:03-3231-6993

## 《京都工場組立開始!!》SEWのXシリーズ

・減速機の世界トップブランドSEWがお届けするヘリカル/ベベル・ヘリカルギヤユニットです。  
・ドイツ製高品質部品(ギヤ、シャフト、ケーシング等)を標準在庫して組立てる made in Japan 品です。ギヤモータ同様に、Xシリーズも短納期でカスタマイズして納入致します。



カタログ請求下さい



インダストリアルギヤ  
**Xシリーズ**  
23 枠番 ~ 475kNm

ギヤモータ  
0.2 ~ 75kW

京都工場

SEW-オイドライブ・ジャパン株式会社

SEW 検索

本社・磐田工場：静岡県磐田市 京都工場：京都府相楽郡精華町  
東京(営)03-5408-0521 名古屋(営)052-228-8608 大阪(営)06-6444-8330 福岡(営)092-291-3600

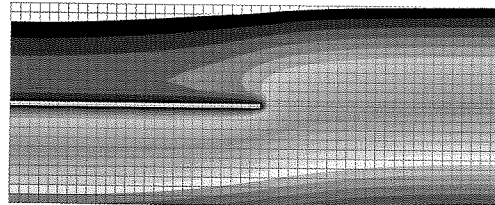
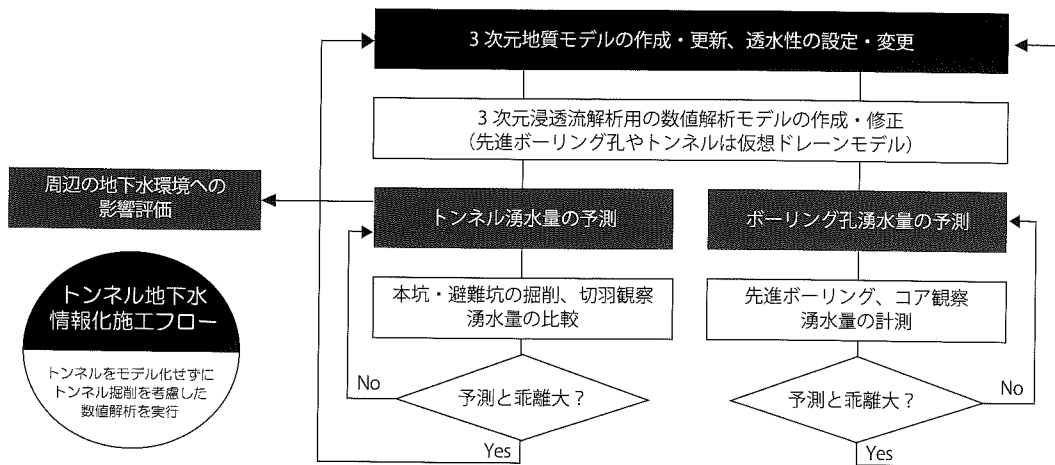
# 仮想ドレーンモデルによる地下水情報化施工の支援

トンネルの情報化施工においては、先進ボーリングや切羽観察の結果に基づき地質モデルが更新されます。これに基づき、迅速に湧水量の予測や周辺地下水環境への影響予測も更新されれば、適切な改良工の選択などにより施工や環境影響を最小化することができます。

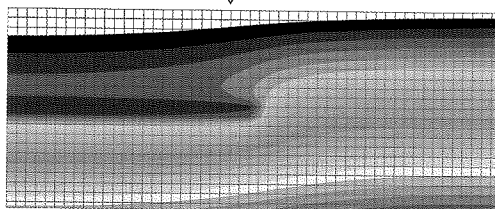
仮想ドレーンモデルを用いた3次元浸透流解析は、このような要望に応える技術です。仮想ドレーンモデルでは、トンネル自体をモデル化せず、また、トンネル掘削を表現するためのモデルや境界条件の変更を行いません。これにより要素分割が単純化され、解析モデル作成や解析に必要な時間を短縮することができます。

先進ボーリング・調査坑・立坑・斜坑からの湧水量や周辺の水圧変化も求めることができます。

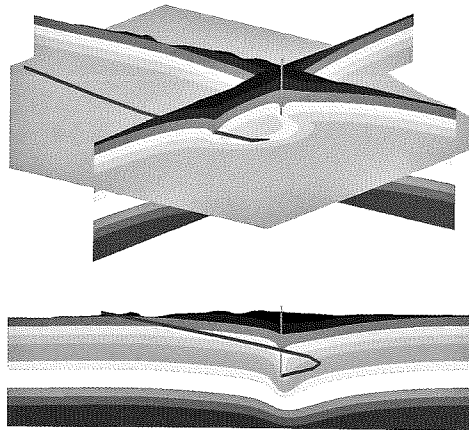
Geo-Graphia®(ジオグラフィア)の統合環境により、地質モデルや数値解析モデルの作成や解析をより高速に実行できます。



トンネルをモデル化した解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる解析での間隙水圧分布の例



仮想ドレーンモデルによる立坑と斜坑の解析例



## 株式会社 地層科学研究所

本社 〒242-0017 神奈川県大和市大和東 3-1-6  
 東京事務所 〒112-0004 東京都文京区後楽 2-3-25  
 大阪事務所 〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-7-9

J Mビル 4F TEL.046-200-2281  
 金子ビル 6F TEL.03-5842-7677

第7新大阪ビル 301号 TEL.06-6886-7774

Geo-Graphia(ジオグラフィア)

無料体験セミナー開催中

地質モデル編・地下水解析編・情報化施工編

chisouken@geolab.jp

<http://www.geolab.jp/>

サイト内

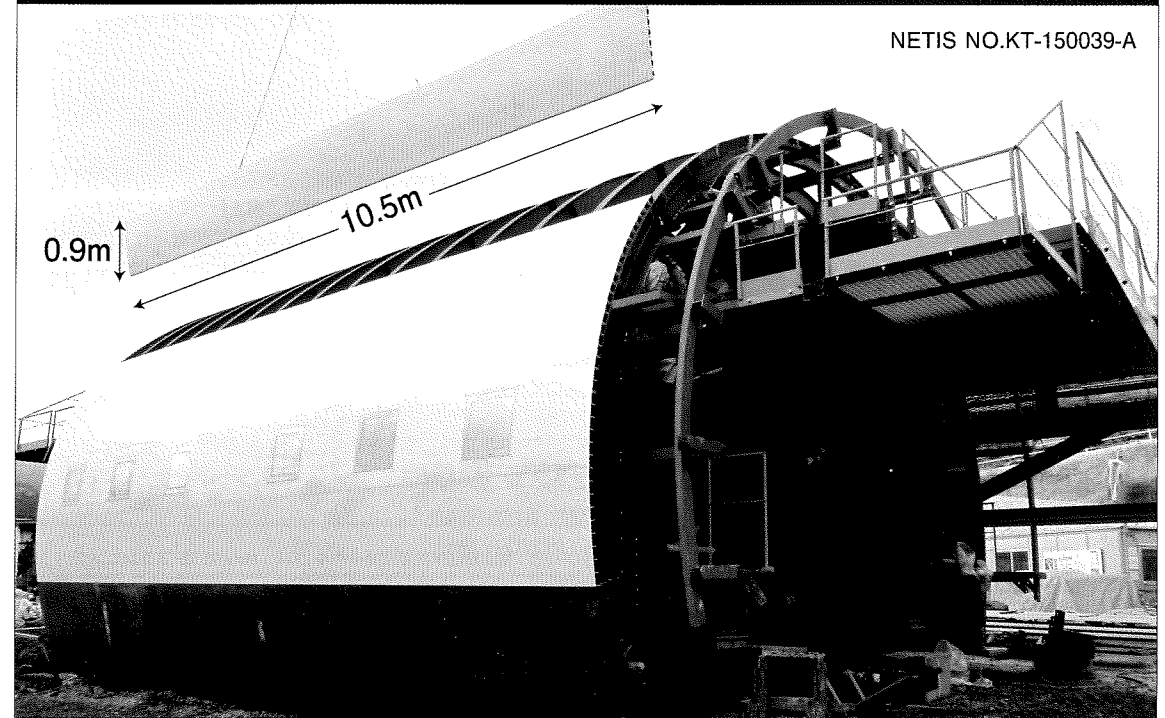
地下水に注目した情報化施工

検索

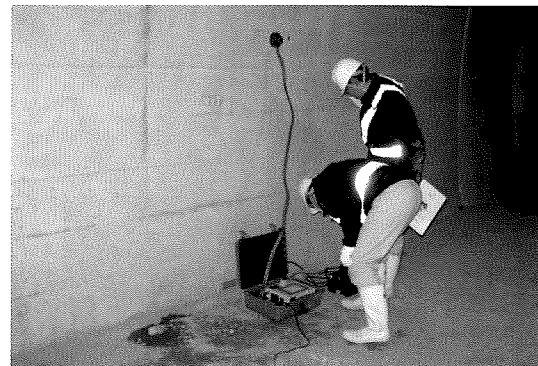
NEW

# トンネル覆工初期養生FRP工法 ~ハイブリッドフォーム誕生~

NETIS NO.KT-150039-A



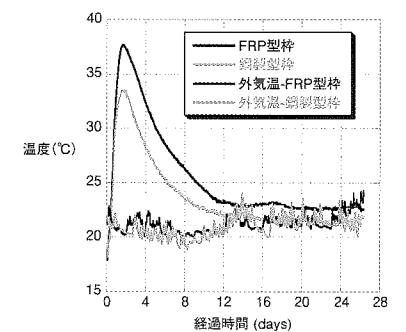
## 透気試験実施



覆工コンクリートの表層部分を測定した結果、コンクリートの中性化速度係数が30%~50%程度低下し耐久性が大幅に向上することを確認した。

## 覆工コンクリート温度の経時変化

[宮崎大学との共同研究により、験フジタ 古江トンネル南にて測定]



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

## M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本社 〒553-0006  
 ■ 東京営業所 〒103-0022  
 ■ 九州営業所 〒812-0011  
 ■ 分校工場 〒922-0304

大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル  
 東京都中央区日本橋室町1-12-12 水島ビル3  
 福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号  
 石川県加賀市分校町又1-1

TEL:06-6443-7060  
 TEL:03-6860-7796  
 TEL:092-409-8008  
 TEL:0761-74-3070

# 月刊推進技術

## 購読のご案内



年間定期購読料金 **12,337円** (1冊1,130円(本体952円 税76円送料102円))

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO<sub>2</sub>排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説しております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管路敷設に限らず、地下インフラの再構築の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっております。

### 申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間定期購読料金12,337円をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。



<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

お問い合わせ先

月刊推進技術 編集室

<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201 株式会社 LSプランニング内  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail info@lswb.co.jp

## 推進工事技士試験 過去6年間(2011~2016年度)

# 試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編

推進工事技士試験「合格への近道」は、過去問題を「実際に解いてみることだ」と多くの合格者からの声が寄せられています。本書では模範解答はもちろん、その問題が工法体系のどこから出典されたかが記載されています。出典箇所がわかるので、学習するポイントが明確化され「効率的な学習ができ合格できた」との声も多く寄せられています。

是非とも、本誌をご活用いただき合格していただければ幸いです。

### 1. 内容と特長

- 過去6年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- 各年度の試験問題と模範解答・解説集は実力テストに最適
- 解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

### 2. 価格

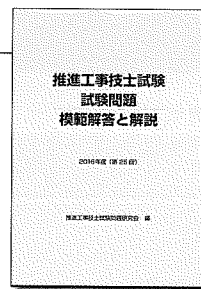
各年度単位 2,000円(消費税・送料込)

### 3. 申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社(団体)名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。



新発売!!

購入方法は  
こちらから



お問い合わせ先

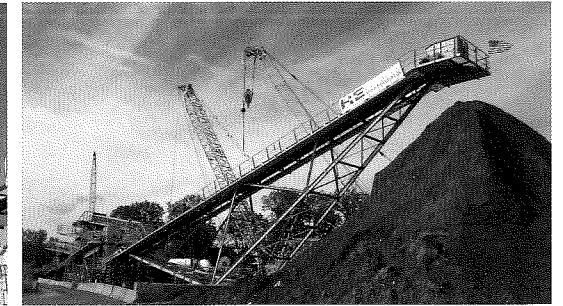
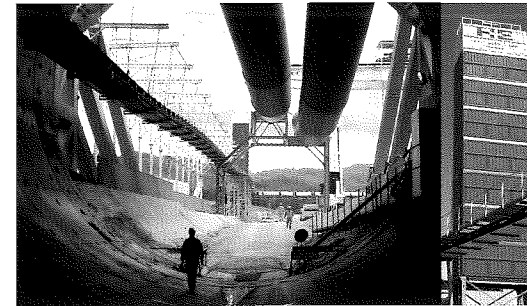
株式会社 LSプランニング

<http://www.lswb.co.jp/shiken/annai>

〒135-0033 東京都江東区深川2-12-4-201  
電話 03-5621-7850 FAX 03-5621-7851 E-mail info@lswb.co.jp

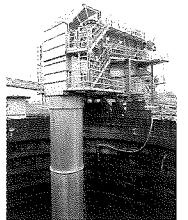


Clever Conveying



Tunnel Diameter:	7.10 m
Min. Radius:	1,000 m
Minera l:	EPB
TBM Supplier:	Herrenknecht
Conveyor Length:	2,500 m
Belt Width:	1,200 mm
Capacity:	2,000 t/h
Installed Power:	2×355 kW
Belt Storage Capacity:	400 m / vertical

Tunnel Diameter:	11.30 m
Min. Radius:	> 457 m
Minera l:	EPB, Hard Rock
TBM Supplier:	Herrenknecht
Conveyor Length:	5,410 m
Belt Width:	1,000 mm / 1,600 mm
Capacity:	1,200 t/h
Installed Power:	4×160 kW, 2×90 kW
Belt Storage Capacity:	2×300 m / horizontal



H+E Logistik GmbH  
日本代理店



山崎マシーナリー株式会社

担当：富樫

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216番地1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

## VOLVO 建設機械

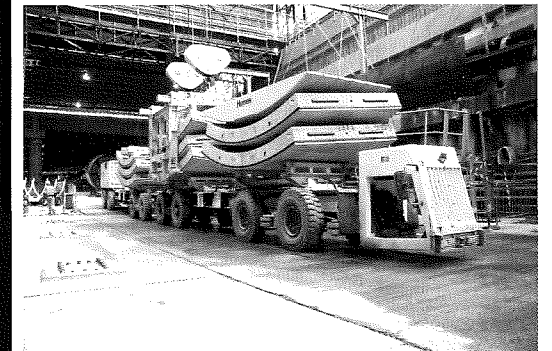


高い作業性とクールなデザインが人気  
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ建機社 日本代理店 担当：浅野  
(直通) TEL0538-66-1215 FAX0538-66-6162

多目的運搬台車  
4次オフロード法取得 レールからの解放



TMS社 日本代理店  
担当：富樫



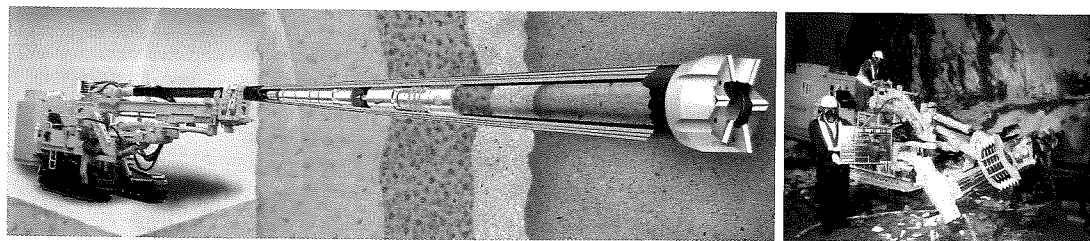
山崎マシーナリー株式会社

〒438-0216 静岡県磐田市飛平松216番地1  
代表 TEL0538-66-1211 FAX0538-66-6410

# 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

- 断層破砕帯や湧水をとまな難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実にこなせ、施工時間が大幅に短縮できます。
- 2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比べて大幅に向上しました。



**KOKEN 鉷研工業株式会社**

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

お問い合わせ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部  
TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

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

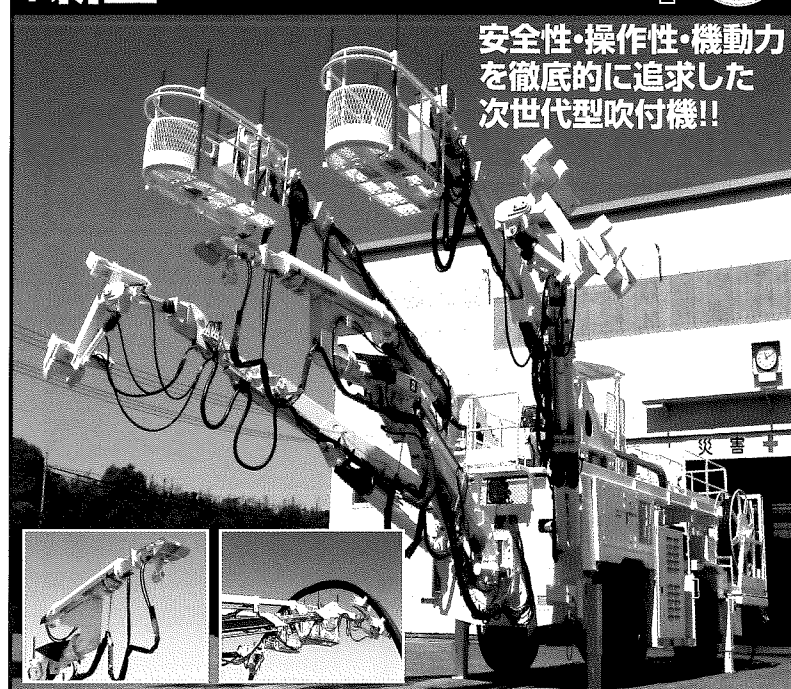
北海道支店: (011) 561-4961 東北支店: (022) 762-6075 信越支店: (025) 275-6877 首都圏事業部: (03) 6907-7511  
大阪支店: (06) 6385-0350 中国支店: (083) 972-8757 九州支店: (092) 924-5001 海外事業部: (03) 6907-7515

エレクター付 コンクリート吹付システム(ホイール式)

## 『新型EJS NEJS I-TN』



安全性・操作性・機動力  
を徹底的に追求した  
次世代型吹付機!!



- ◆シャーシからの開発機種  
3種類の走行モードにより、  
高い機動力を発揮。
- ◆最新の吹付ロボット  
上下、左右の同調方式を採用し、  
意のままの操作が可能。
- ◆優れたエレクター機能  
1台で上、下半、インバートの  
全支保工建込が可能。
- ◆トラベル式円形バスケット  
車体からの直接乗込、  
地山への密着が出来、安全性にも考慮。



**T&M**  
Tunnel & Mining  
ニシオティアンドエム株式会社  
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業  
<http://www.nishio-tm.co.jp>

《本社 商品開発部》  
〒567-0817 大阪府茨木市別院町1-21  
丸屋ビルアネックス4階  
TEL:072-665-8715

《東日本カンパニー》  
■北海道支店 TEL:0133-72-3715  
■東日本支店 TEL:0268-62-1426  
■東北営業所 TEL:0197-71-2405

《西日本カンパニー》  
■大阪支店 TEL:072-677-2101  
■九州支店 TEL:0982-26-2111  
■福岡営業所 TEL:092-976-6331

# 振動 マネージメント ソリューション

近接地に住居が存在する場合、振動の予測と管理を複雑高度な技術に頼らざるを得ません。利害関係は多岐にわたるので失敗をする余地は殆どありません。トンネル、道路、トレンチ、港湾、パイプライン等の掘削は、今後ますますコスト高となり、時間のかかる作業となっております。

オリカ社は、日々直面するチャレンジに対する方策を見出す為に、全世界の技術研究所と技術力を使って前向きな考え方で取り組んでおります。その成果は電子雷管eDevilや発破デザインソフトであるShotPlus-T また、各種の爆薬に表れておりご理解頂けるものと思っております。

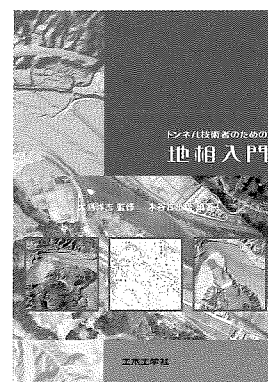
一日でも早く完工する為に、日々の発破のモデル化、計測そして効率化を図っております。オリカ社がどの様な形で貴社のお手伝いを出るのかについて [orica.com/edevill](http://orica.com/edevill) にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧になって下さい。

[orica.com](http://orica.com)



好評発売中

地形にも人相がある 地形の性質を知ろう!



## トンネル技術者のための 地相入門

大島洋志 監修 木谷日出男 編著  
B5判 203頁 定価3,200円+税 送料別

《主要目次》

- 序編 まえがき 地相は人相 山の性状
- 第I編 地形から読み取れる情報  
地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報
- 第II編 地形種とトンネルの施工事例  
段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり / マスムーブメント・滑落崖 / 断層(断層変位地形) / 断層(断層剝地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変
- 第III編 路線選定 地相をよく観て路線選定を行う  
あとがきにかえて 座談会

図・表・写真  
288点収録

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

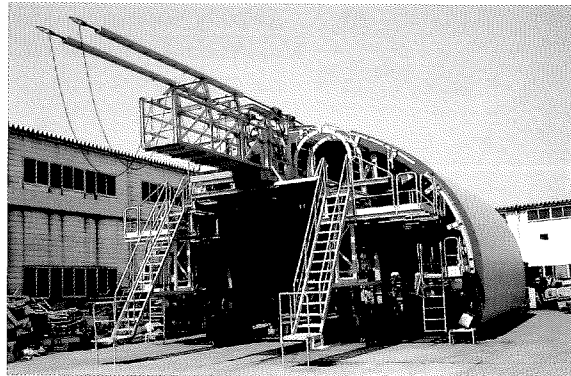
株式会社 **土木工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

# 要求性能を満たす 覆工コンクリートの品質向上技術

## 鉄筋区間併用タイプ

### 天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V  
(平成 26 年度活用促進技術)



#### 期待される効果・特徴

- ・トンネルクラウン部の締固めと密充填が出来る
- ・高品質な覆工コンクリートが形成出来る
- ・鉄筋区間で一部主筋をずらして使用することが出来る  
(但し、カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- ・覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

## コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-V R (製造:株式会社マシノ)



#### 期待される効果・特徴

- ・セントルと養生台車を連続してシートで覆い、坑内通気から遮断し、乾燥収縮クラックを防止する
- ・脱型直後の覆工コンクリートに水を噴霧し、湿潤状態を保持し、初期強度を向上させる
- ・養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て、覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ・3台連結することにより7日間の湿潤養生が出来る

## 北陸鋼産株式会社

URL <http://www.hokuriku-kosan.co.jp>

北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地 TEL076(476)2155 FAX076(476)2177

滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423  
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789

# 濁水処理からズリ出しまで トータルにフォローアップいたします

## 環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0m<sup>3</sup>/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

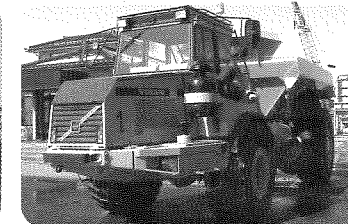
#### 【TWS型濁水処理装置の特徴】

1. シックナーを大型化し、沈降面積を増やし槽内流速を抑えています
2. 複枠式フィルタープレスにより、確実な自動運転を実現しています
3. 砂ろ過装置、高分子自動溶解装置等豊富なオプション設備で様々な条件に対応します

## 《汎用車両全般》



VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)



10T ミキサー



4.5m<sup>3</sup>ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車両 取り扱っております

## 株式会社 フジテックス

〒930-0821 富山県飯野 12-1 TEL (076)452-1616(代) FAX(076)452-1617

■巻頭言

国際化雑感

中村 武夫 ..... 5

■研 究

地山-ボルト間の付着特性を考慮した鏡ボルトの設計モデルに関する研究

土門 剛 ..... 53

■施 工

既設国道トンネルへの影響を考慮した1車線トンネルの新設

—国道220号 新海潟トンネル—

増尾 明彦・谷口 廉宏・小口 真輝・多宝 徹 ..... 7

新型硬岩トンネル掘削機で人家と国道近接区間を施工

—新名神高速道路 川西トンネル—

浜田 文年・佐々木靖浩・足達 康軌・大西 吉実 ..... 15

世界最大級断面のR&C工法で鉄道営業線直下に道路トンネルを構築

—東京外かく環状道路 京成菅野駅アンダーパス—

岸田 正博・藤原 英司・森本 大介・藤田 淳 ..... 33

シールド切替型推進工法により急曲線・長距離で下水道管を布設

—東京下水道 江東区北砂五丁目, 南砂一丁目付近再構築—

樋川 隆広・嶋田 慎司・五十嵐善行・中村 浩 ..... 45

■連載講座

トンネル新技術への挑戦(21)

—覆工(打設)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 ..... 65

■現場だより

「みちのくの小京都」盛岡市から

仲 哲路 ..... 24

■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

山の神と歩んだトンネル人生

吉永 正雄 ..... 25

■資 料

土木情報

編集部 ..... 63

工法・技術・製品ニュース

編集部 ..... 74

トンネルジャーナル


編集部 ..... 64

■会 報

会 報

日本トンネル技術協会 ..... 75

**温泉とは？ 温泉の有効利用は？ この1冊であなたの疑問を解決します!!**



**続 きみの庭にも温泉が出る**  
 その後の温泉開発と建設の考え方  
 石井 康夫・俣野 恭寛 共著  
 新書判217頁 本体価格1,200円(税込1,260円)

【主要目次】 1. バブル景気と『ふるさと創生一億円』 2. バブル崩壊後の温泉景気 3. 温泉とは  
 4. 温泉の分布と特徴 5. 温泉の成因と寿命 6. 温泉の探査技術 7. 温泉談義アラカルト  
 8. 外国の温泉 9. 日本の地熱開発 10. 将来の温泉開発と建設の考え方

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

**株式会社 土木工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
 TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

【表紙説明】 世界最大級断面のR&C工法で鉄道営業線直下に道路トンネルを構築

—東京外かく環状道路 京成菅野駅アンダーパス—

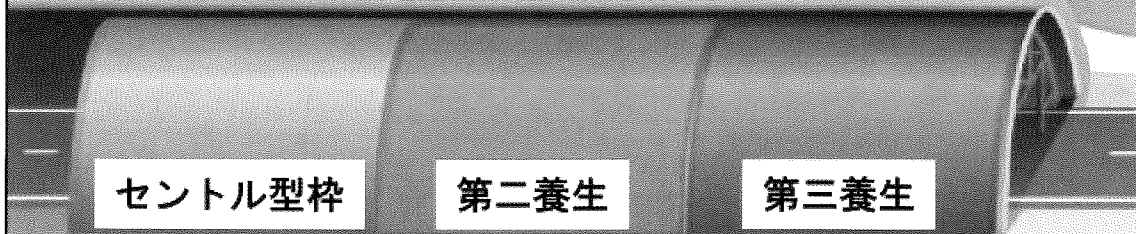


京成菅野駅アンダーパス工事は, 東京外かく環状道路のうち, 京成電鉄本線と交差する菅野駅の地下に2層4径間の函体をR&C工法で構築するものである。函体は, 高さ18.4m, 幅43.8m, 延長37.4mで, 同工法の実績において過去最大級である。施工では, 営業線の安全運行を確保するため, さまざまな技術検討と慎重な施工管理を行った。また, 現場作業の省力化や工程短縮を目的として函体に鋼製セグメント構造を採用した。写真は函体完成写真である。 [写真提供: 東日本高速道路(株)] (本文33頁参照)

# 管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

## コンクリートトータル養生システム



セントル型枠

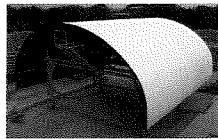
第二養生

第三養生

加温しながら初期強度を上げる  
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



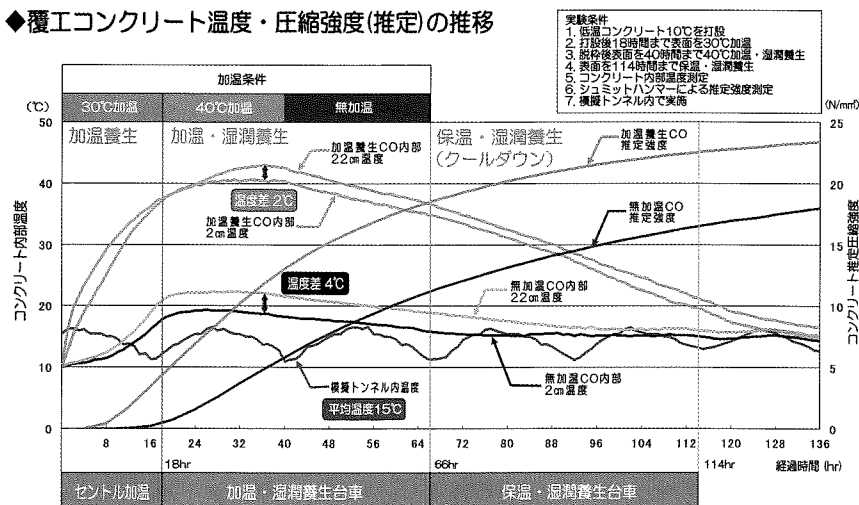
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理  
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します  
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



**岐阜工業株式会社**

本社 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地 TEL 058-257-1000(代) FAX 058-257-1013  
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店 TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027  
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【製作・販売協力】

TECHNO  
テクノプロ株式会社

TOUKOU  
株式会社 東 宏

### 総務委員会広報小委員会会誌WGの構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

小 山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔幹 事〕

伊 藤 哲 男

株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部  
トンネル研究担当部長

江戸川 修 一

清水建設株式会社土木技術本部副本部長  
地下空間統括部長

久多羅木 吉治

東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

見 坂 茂 範

国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

坂 田 聡

東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部  
改良建設企画課長

中 間 祥 二

株式会社大林組生産技術本部統括部長

西 岡 和 則

鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長  
(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長

藤 井 義 文

株式会社竹中土木常務執行役員

松 原 利 之

飛鳥建設株式会社技術研究所所長

森 正 彦

前田建設工業株式会社土木事業本部

トンネル担当部長

吉 富 幸 雄

大成建設株式会社土木本部土木技術部  
トンネル室参与

渡 邊 修

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
事業監理部計画課長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

# RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー

カッター出力 330kW  
総質量 120ton



## 主な特長

- ・カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- ・機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- ・定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- ・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>

本社・営業 〒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  
カスタマーサービス 〒252-0328 神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号 TEL 042-767-2586  
相模事業所 大阪支店 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル TEL 06-6387-3371  
福岡支店 〒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 三重県津市雲出長常町1129番地11 TEL 059-234-4111

## 編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

小山 幸 則 立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

〔編集参与〕

大島 洋 志 国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 首都大学東京客員教授	真下 英 人 一般社団法人日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所所長
木谷 日出男 国際航業株式会社フェロー技術本部 土木地盤研究担当	松浦 将 行 地方共同法人日本下水道事業団理事
今田 徹 東京都立大学名誉教授	山田 隆 昭 東日本高速道路株式会社参与 (シニアエキスパート)

〔委員〕

砂金 伸 治 国立研究開発法人土木研究所つくば中央研究所 道路技術研究グループ(トンネル)上席研究員	中井 宏 東京都下水道局建設部設計調整課長
伊藤 哲 男 株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部 トンネル研究担当部長	中谷 誠 一 東京都水道局建設部工務課長
河村 和 信 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 技術企画部技術企画課総括課長補佐	平野 隆 東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 技術基準担当課長
岡野 法 之 公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部トンネル研究室室長	安田 智 東京都交通局建設工務部計画改良課長
清水 満 東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長	吉本 正 浩 東京電力パワーグリッド株式会社 工務部管路土木技術担当

# トンネル二次覆工型枠総合メーカー

## 新しいタイプの覆工コンクリート養生システム

一歩前進! ~限らない未来への挑戦~

**大栄工機株式会社**

本社 〒526-0842 滋賀県長浜市春近町 90 番地 TEL 0749-64-0246 FAX 0749-63-6765  
 URL <http://www.daieikouki.co.jp/> E-Mail: daiei-co@minos.ocn.ne.jp  
 営業品目 各種鋼製型枠(セントル)の設計・製造・販売 ※詳しくはホームページを御覧ください

## トンネルと地下 VOL.48 No.8 掲載概要

掲載頁  
7

既設国道トンネルへの影響を考慮した1車線トンネルの新設  
—国道220号 新海潟トンネル—

国土交通省 増尾 明彦

新海潟トンネルは、鹿児島県垂水市早崎地区に位置する国道220号上の既設の海潟トンネルの横に新たに構築した1車線の道路トンネルである。

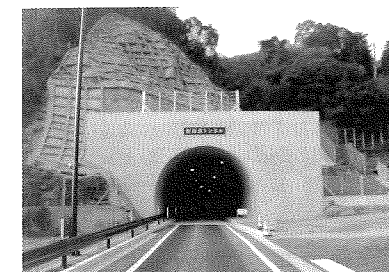
既設トンネルは、延長L=95mの2車線トンネルで、計画幅員に対しトンネル断面が不足しており歩道も未整備の状況であった。本工事では、既設トンネルの横にバイパスとして新海潟トンネルを構築し、既設トンネルと新設トンネルを上下1車線ずつの運用とすることで、車両の建築限界を確保するとともに既設トンネル内に新たに歩道を設置した。

計画段階では、バイパス案のほかに既設トンネルの活線拡幅案について検討を行い、工費や環境負荷の面で優れるバイパス案を選定した。

**Digging a New One-Lane Tunnel Considering Effects on the Existing Tunnel—National Route 220, the Shin-Kaigata Tunnel—**

By Akihiko Masuo, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Shin-Kaigata Tunnel is a one-lane road tunnel newly constructed beside the existing Kaigata Tunnel on the National route 220 and located in the Hayasaki District of Tarumizu City in Kagoshima Prefecture.



写真は新海潟トンネル到達側の斜面対策

The existing tunnel is a two-lane tunnel of 95m in length. Its cross-section had not fulfilled the gauge and the sidewalk had not been installed in it. This project was to construct the Shin-Kaigata Tunnel beside the existing tunnel as a bypass and by operating respectively the existing tunnel as a southbound lane, the new tunnel as a northbound lane a new sidewalk was installed in the existing tunnel along with securing the minimum clearance outline.

Through comparative reviews at the planning stages, the bypass plan was compared with the plan to widen the original tunnel with allowing traffic on the existing road and was qualified due to better performance in cost and environmental load.

掲載頁  
15

新型硬岩トンネル掘削機で人家と国道近接区間を施工  
—新名神高速道路 川西トンネル—

西日本高速道路(株) 浜田 文年

新名神高速道路川西トンネルは、延長約1,100mのNATMによる高速道路トンネルである。本トンネルは、中間部のトンネル直上に住宅地、また東側坑口に国道173号および能勢電鉄が近接しているため、発破掘削が施工できない。しかし、当該箇所には、一軸圧縮強さが100MPa超のチャート・砂岩が出現するため、通常のブーム掘削機で掘削すると掘削効率が著しく低下することが想定され、施工上の大きな課題となった。

本工事では、一軸圧縮強さが100MPaを超える硬岩でも効率的な掘削が可能で、かつ過去に同様の目的で開発された掘削機をコンパクト化して、新規に設計・製作した硬岩トンネル掘削機TM-100の導入を計画した。

本稿では、当該掘削機の機械特性とトンネル掘削の施工実績、今後の展望について報告する。

**New Roadheader Carved out the Tunnel Close to Private Residences and a National Route—Shin-Meishin Expressway, the Kawanishi Tunnel—**

By Fumitoshi Hamada, West Nippon Expressway Company Limited

The Shin-Meishin Kawanishi Tunnel is an expressway tunnel of approximately 1,100m in length which was built with conventional method. This tunnel has a residential area above it in the middle part and is close to the National Route 173

and the Nose Railway tracks are close to its east portal therefore blasting was not possible to use. However, as chert/sandstone with unconfined compression strengths of more than 100MPa appears in the area, this project faced a big challenge that it was assumed that excavation efficiency would decrease significantly if a normal roadheader was used.

Newly designed and manufactured roadheader TM-100, which can efficiently excavate hard rock ground with unconfined compressive strengths of more than 100MPa, was planned for introduction to this project.

This report contains information on the features of the roadheader, the tunnel excavation results and future prospects.



写真はTM-100による掘削

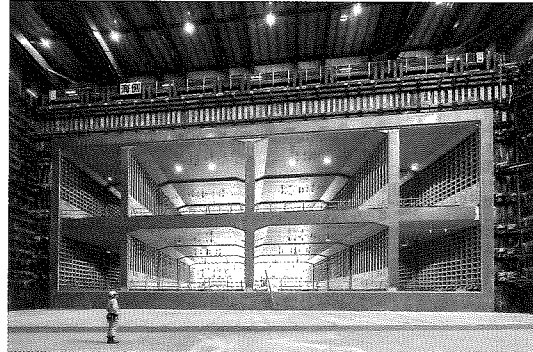
世界最大級断面のR&C工法で鉄道営業線直下に道路トンネルを構築  
—東京外かく環状道路 京成菅野駅アンダーパス—

東日本高速道路(株) 岸田 正博

本稿は、東京外かく環状道路のうち、京成電鉄本線と交差する菅野駅の地下に2層4径間の函体をR&C工法で構築する工事の報告である。函体の大きさは高さ18.4m、幅43.8m、延長37.4m(1函体長9.35m×4函体)であり、R&C工法の実績において過去最大級である。営業線の安全運行を確保するため、高さ方向の中間部分にパイプルーフを配置することによって切羽を上下2段に分割(2段切羽)するなど、初めての試みを含むさまざまな技術検討と慎重な施工管理を行った。また、作業の省力化や工程短縮を目的として函体に鋼製セグメント構造を採用した。

Creating the World's Largest Road Box Tunnel with the R&C Method, Directly under an Operating Railway Line—Tokyo Outer Ring Road, the Keisei Sugano Station Underpass

By Masahiro Kishida, East Nippon Expressway Company Limited



写真は函体完成状況

This reports the project of the Keisei Sugano Station Underpass that is to build a box tunnel with two stories and four spans under the Sugano Station where the Tokyo Outer Ring Road intersects with the Keisei Railway Line using the R&C method. Box tunnel dimensions are: height 18.4m, width 43.8m and length 37.4m (Length of one box 9.35m × 4 boxes) and this is the largest ever construction result with the R&C method. In order to ensure safe operation of the train line, construction was managed carefully and many techniques were considered including first attempts such as the face divided into two stages, upper and lower by installing a pipe-roof in the centre portion. In addition, steel segment structure was adopted for the boxes with the aim of labour-saving and shortening the construction duration.

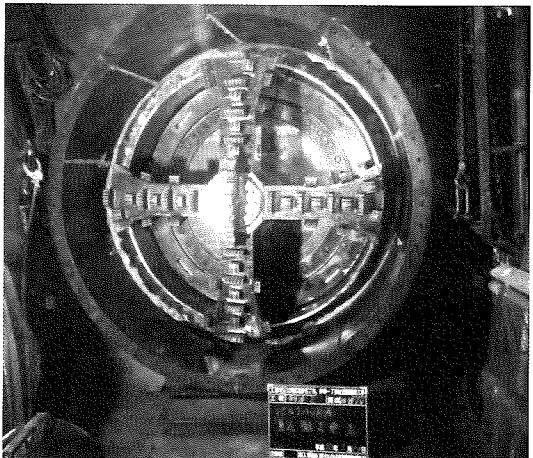
シールド切替型推進工法により急曲線・長距離で下水道管を布設  
—東京下水道 江東区北砂五丁目、南砂一丁目付近再構築—

東京都 樋川 隆広

都市部では、老朽化した下水道管渠の更新、頻発する豪雨対策などの再構築工事で、主要枝線を推進工法により施工する例は少なくない。また、主要枝線のルートが狭路で急曲線の道路下に設定する例も増えている。その際に有効な工法として発達立坑から推進工法で管渠を布設し、推進工法では施工できない急曲線部をシールド工法に切替えて施工するシールド切替型推進工法がある。本稿は厳しい施工環境への対応、コスト低減、工期短縮に対応する防爆仕様によるシールド切替型推進工法での長距離掘進ほかの事例を紹介するものである。

Installing Sewage Pipes through Tight Curves for Long Distance Using the Pipe Jacking-Shield Tunneling Switching Method—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government, Reconstruction of Sewerage near Kita-Suna 5-Chome, Minami-Suna 1-Chome—

By Takahiro Toikawa, Tokyo Metropolitan Government



写真は裏込め材撤去後の掘進機到達状況

In the renewal of deteriorated sewage pipes and reconstruction for frequent heavy rain measures in urban areas, there are more than a few examples of using the pipe jacking method for main branch sewerage lines. In addition, the number of cases in which main branch line routes are set beneath narrow roads with tight curves is increasing. In these cases, there is an efficient method called the Pipe jacking-Shield tunneling Switching Method that pipes are installed with the pipe jacking method from the departure shaft and driving method is switched to shield tunneling method after it come near tight curves in which it is not possible to use the pipe jacking method. This report contains information on measures taken for the difficult construction environment, cost reduction and other cases such as long-distance construction that used the switching method with explosion-proof specifications in order to shorten the construction duration.

地山-ボルト間の付着特性を考慮した鏡ボルトの設計モデルに関する研究

首都大学東京 土門 剛

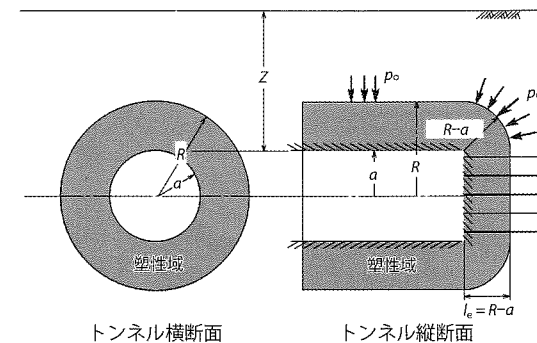
トンネルの切羽安定対策として鏡ボルトが広く採用されている。しかし、その設計に至っては、類似設計や数値解析によることが多く、補強機構を考慮した力学モデルにもとづく設計がなされることは少ない。

そこで、低強度地山を想定した3次元掘削実験および数値解析による再現解析を実施して、鏡ボルトの配置パターンと変位抑制効果の関係からその補強機構を論じる。次に、鏡ボルトの補強機構として地山の変位に伴う軸力発現に着目し、軸力発現は地山-ボルト間の付着特性によるものと仮定した鏡ボルトの力学モデルを構築する。最後に、トンネルおよび鏡ボルトの幾何条件と地山および地山-鏡ボルト間の強度定数だけを用いた簡易設計手法を提案する。

A Design Model for Facebolting Considering Effects of Adhesive Characteristics between Ground and Face Bolts  
By Tsuyoshi Domon, Tokyo Metropolitan University

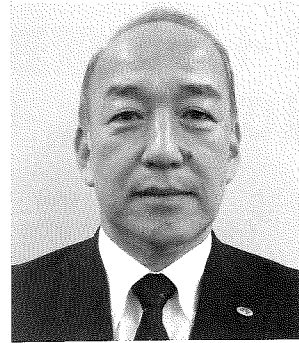
Facebolting is widely used as a measure for face stability in tunnels. However, in designing them many similar design examples and a lot of numerical analysis are depended on, there are few designs based on dynamics models considering reinforcing mechanisms.

Therefore, after we conducted simulations with numerical analysis and three-dimensional excavation testing assuming weak ground, reinforcing mechanisms were discussed with respect to the relationship between bolting pattern and effects to control deformation. Next, we focused on axial force associated with deformation of ground as reinforcing mechanisms of facebolting, a dynamic model of facebolting was created assuming that axial force is transmitted through adhesive characteristics between ground and face bolts. Finally, we proposed a simple design model using only the geometrical conditions of the tunnel and the face bolts and the strength parameters between ground and face bolts.



図は鏡ボルト力学モデル構築の地山条件

## 国際化雑感



中日本高速道路(株)関連事業本部国際・技術事業部長(本協会国際委員会委員長)

### 中村 武夫

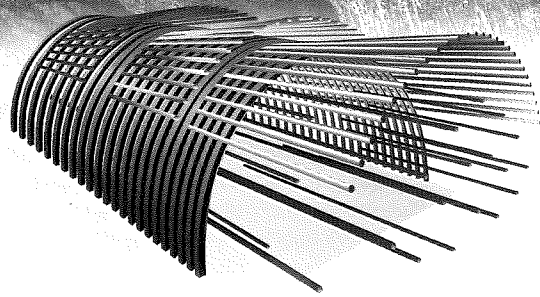
(一社)日本トンネル技術協会は、1975(昭和50)年の設立以来、トンネルの建設および維持管理に関する調査研究を行い、地下利用技術の進歩向上を図ることによって、国土の保全と公共の福祉の増進に寄与してこられました。また本協会は、1971(昭和46)年の経済協力開発機構(OECD)の勧告にもとづき1974(昭和49)年4月に設立された国際トンネル協会(ITA)に対する日本代表機関として登録されており、本協会内に国際委員会を設置してトンネルおよび地下空間に関する国際協力事業にも努めてこられました。そのためゆめご努力に深く敬意を表します。

私が日本トンネル技術協会の国際委員長を拝命してから約2年が経ちました。私自身、国際関係業務に携わるようになって10年程度が経ちますが、ここ数年「国際化」という言葉に関連して感じることを徒然に述べさせていただきたく思います。

「国際化」というと非常に大きな話題になりますが、ここでは限定的に私が身近な話題としてまず思い浮かべる「海外留学」について述べたいと思います。海外留学は企業活動を支える人材の国際化という観点では、基礎的な事柄ではないかと考えています。

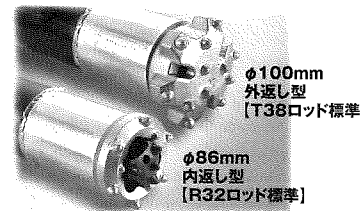
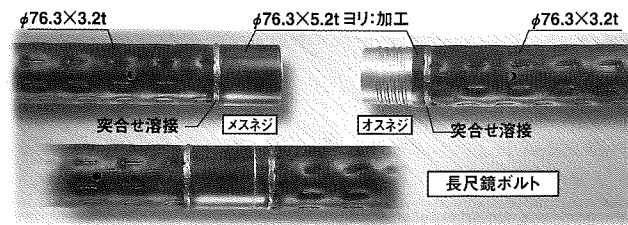
海外留学とはいってもさまざまな形態がありますが、まずは学生にとっての留学についてです。OECDの統計によると1990年代に一気に増加した留学生数は2004(平成16)年をピークに減少の一途をたどっています。これは、グローバル化の進展する社会で日本の存在感を危うくする、すなわち日本の競争力と魅力の低下に直結する憂うべき状況と感じます。グローバル化によって、外国での出来事が日々の暮らしを直撃し、経済、社会、文化を含めてあらゆるものが諸外国との相互依存関係の上に成り立っているにもかかわらず、日本が便利で居心地の良い社会になっていることから、身近な環境や人間関係など手の届く範囲での幸せに満足し、ぬるま湯的な感覚のままに自己完結できるような錯覚に陥っているのかもしれませんが、もちろん、早期化と長期化する就職活動、新卒一括採用に起因する短期的なキャリア形成志向、高騰する英語圏の大学の授業料とそれ

NETIS登録No.KK-160026-A



## ストロング FIXチューブ(S型)

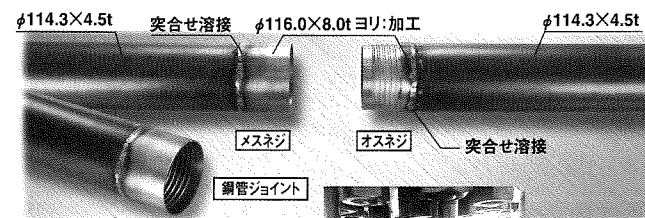
- ※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
- ※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



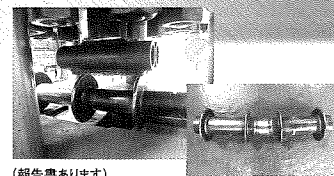
NETIS登録No.KK-150045-A

## AGF-STD工法

- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!

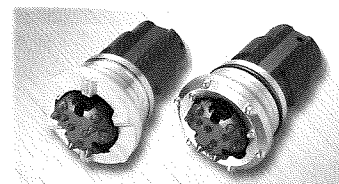
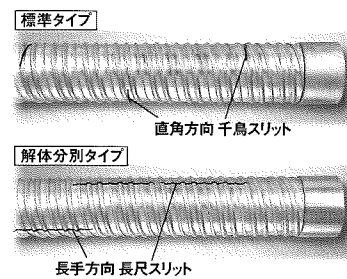


曲げ耐力30%UP!!



接続部の抗折力試験

### 撤去管の選択



### STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

## 注入材・その他工法

NETIS登録No.KK-110040-A

- ※ウレタン系空洞充填:NTR工法
- ※ウレタン系注入材:NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※高速ルートパイル:SPフィックスパイル工法
- ※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

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

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

TEL:072-990-0250 FAX:072-990-0251

http://www.st-eng.co.jp

に対する日本の家計の悪化など、学生にとっていかんともしがたい部分のある要因も多々あります。

また、伸び悩む日本人の英語能力も大きな要素の一つでしょう。インターネットの普及とグローバル化によって英語が実質的な世界標準語になっている状況下で、近隣アジア諸国と比べても明らかに劣っている日本人の英語能力は大きな足かせになっているかもしれません。その解決策としての早期英語教育の導入が図られていますが、その効果にも是非期待したいものです。

では、振り返って社会人ではどうでしょうか？ 弊社の場合は公募というかたちを採用し、上司の推薦、業務成績、一定以上の語学力を条件に、本人が留学の目的および留学後のビジョンを明確にし、面接に合格した者に一定の条件のもとでの留学を認めています。すなわち、比較的自由度の高い条件下での留学制度です。若い人には是非とも外の世界に出て行って、新たな知識を習得し専門性を深めることはもちろん、見分、人脈を広げて人間として一回り大きくなって、改めて会社に貢献していただきたいと思っ

ているのですが、残念ながら現実的には期待するほどには多くの手が挙がらない状況にあります。日常業務が多忙を極め、人的リソース(人員)も十分に確保できているとは言いがたい状況下では、なかなか手を挙げにくいのでしょうか。

ほかの企業の状況はなかなかよくわかりませんが、会社の中長期的な事業戦略のもと、明確なミッションを与えて留学生を送り続け、大きな成果を得ている会社もあると伺っております。また、国際委員会においても生き生きと活動され、委員会活動の活性化に大いに寄与していただいている方々を拝見すると、各企業における国際的な人材育成が進んでいることを感じます。

国際化というのは、何もわれわれが外に出て行って事業を展開するだけではありません。建設関係業界においても、ほかの業界同様、今後外国企業が日本にどんどん押し寄せてきて、否応なく競争にさらされる日が来るかもしれません。そうした厳しい国際競争に打ち勝っていくためにも、厳しい経営環境下ではありますが、将来に向けた国際競争力強化の礎となる人材いや人財の育成という観点から、留学だけではなくOJTなども含めて企業にはできる限り多くの人財を世界に送り出す懐の深さを持っていただければと思います。

# 施工

## 既設国道トンネルへの影響を考慮した1車線トンネルの新設

### —国道220号 新海潟トンネル—

国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所工務第二課長 増尾 明彦  
 国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所道路管理課長 谷口 廉宏  
 (株)安藤・間名古屋支店土木部課長 小口 真輝  
 (株)安藤・間土木事業本部技術第三部担当部長 多宝 徹

### 1 はじめに

新海潟トンネルは、国道220号の鹿児島県垂水市早崎地区に位置する既設の海潟トンネルの横に新たに新設した1車線の道路トンネルである。

新海潟トンネルの新設工事は、地域の安全・円滑な交通の確保と、土砂災害に強く、異常気象時の通行規制を必要としない道路の実現などを目的に整備を進めてきた国道220号早崎改良事業の一環で実施した。

早崎改良事業は、1984(昭和59)年度に事業化され、これまでに、早崎大橋や牛根地区などの整備

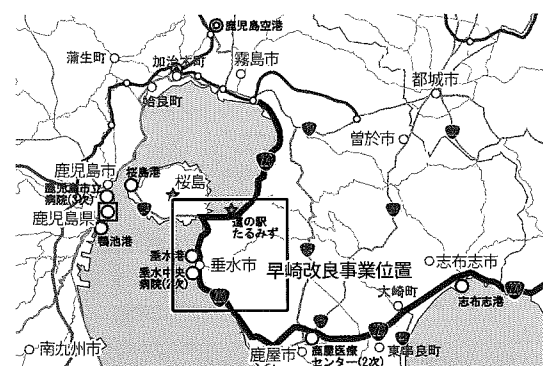


図-1 早崎改良事業位置図

を完了し、海潟トンネルを含む早崎地区の改良工事が最後に残された区間となっていた。図-1に早崎改良事業の位置図、図-2に早崎改良事業残事業区間を示す。

既設の海潟トンネルは、延長95mの2車線道路トンネルであるが、計画幅員に対しトンネル断面が不足し、歩道も設置されていない状況であった。そのため、当該道路は小中学校の通学路に指定されているにもかかわらず、安全上の問題から学童

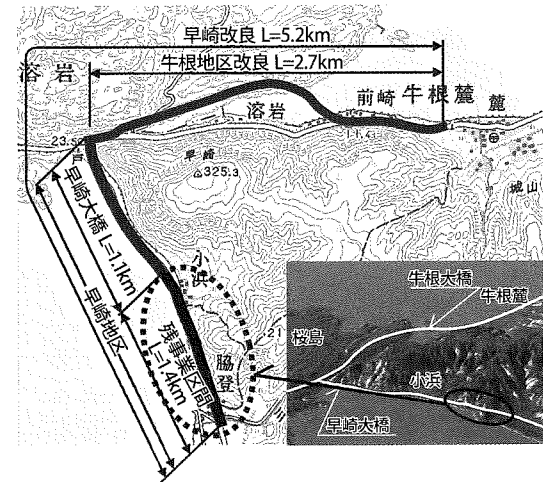


図-2 早崎改良事業残事業区間

を車で送迎している状況が見受けられた。また、既設の海潟トンネル内では、大型車の中央線のみ出し走行が頻繁に見られ(写真-1参照)、交通量

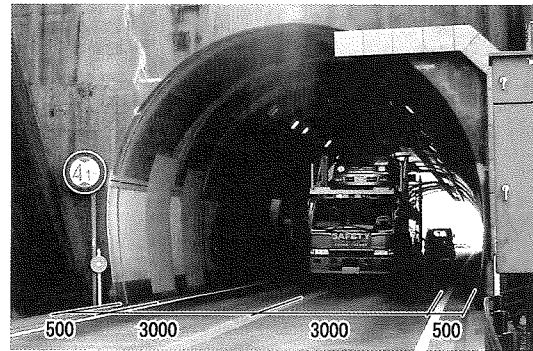


写真-1 改築前のトンネル車両通行状況

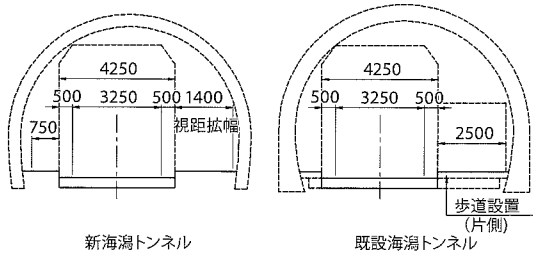


図-3 改築後のトンネル建築限界

の増加とともに、事故の危険性が指摘される状態となっていた。

今回の工事では、既設の海潟トンネルの横にバイパスとして新海潟トンネルを構築し、既設トンネルと新設トンネルを上下1車線ずつの運用とすることで、車両の建築限界を確保すると同時に、既設トンネル内に新たに歩道を設置し、安全な交通の確保を目指した(図-3参照)。

## 2 改築方法の検討

### 2-1 改築方法の検討

既設の海潟トンネルの断面不足を解消するための方法として、「既設トンネルを拡幅する案」と「既設トンネルとは別にバイパストンネルを掘削する案」について検討を行った(表-1参照)。

検討の結果、工費、工程面で優れ、交通規制が少なく、沿道に与える影響が少ない「バイパストンネルを掘削する案」を選定した。

### 2-2 ルートおよびトンネル断面の設定

バイパストンネルのルートは、既設トンネルへの影響回避の面からは、既設トンネルからの離隔

表-1 改築方式の比較検討

代替案	既設トンネル拡幅案	既設トンネル利用+1車線バイパス案
概要図		
施工概要	トンネル内に1車線のプロテクタを設置して掘削プロテクタの設置期間中は、終日片側交互規制プロテクタ設置・撤去時などは全面通行止め	既設トンネルの横に、中心間隔30mで新規のトンネルを掘削
工期(トンネル工事)	17か月	10.5か月
既設トンネルへの影響	既設トンネルを拡幅するので問題はない。	中心間隔と30mすることで影響は少ない。
坑口急傾斜地への影響	既存の法枠などへの影響は少ない。	トンネル坑口部の斜面对策工が必要
事業費	1.00	0.58
総合評価	狭隘な状況下での作業であり、進捗が遅く、工事費が割高となる。	施工時の交通安全性に優れる。工事費が安価となる。

を大きく取るのが望ましい。一方で、既設トンネルからの離隔が大きくなると、トンネル起終点のコントロールポイントの関係から、トンネル曲線半径が小さくなり視距拡幅が必要になり、地形上からトンネル延長も長くなる。このようなことを踏まえ、表-2、図-4に示すケースI~IIIの3ルートについて比較検討を実施した。

ケースIは、もっとも既設トンネルに近接する案で、既設トンネルへの直接影響範囲<sup>1)</sup>は避けるものの、全線が間接影響範囲に入る。トンネル延長がもっとも短く、また、トンネルの視距拡幅が不要なことからトンネル断面ももっとも小さくなる。ケースIIはトンネル中心間隔を30.0mとする案で、一部が既設トンネルへの間接影響範囲に入る。視距を確保するために横方向にトンネルの内空断面を1.4m拡幅する必要がある。ケースIIIは、トンネル全線にわたりトンネル影響範囲を回避するケースで、トンネル延長がもっとも長くなり、視距拡幅により断面ももっとも大きくなる。

ケースIに関しては、延長がもっとも短く、断面も最小となるが、既設トンネルと近接することから、既設トンネルの補強や、既設トンネル坑口部の改変が必要となり、工費はケースIIより高価となる。また、ケースIIIは、延長がもっとも長く、断面も最大となるため、こちらも、工費面でケースIIより高価となる。このようなことから、ケースIIの中心間距離30mルートを採用した。

表-2 トンネルルートの比較検討

ケース	トンネル中心間距離	曲線半径	視距拡幅	トンネル延長
I	21.0m	R330	なし	140m
II	30.0m	R200	1.4m	151m
III	36.2m	R160	2.3m	157m

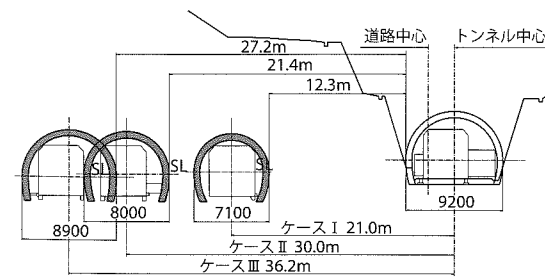


図-4 トンネルルートの比較検討

## 3 工事概要

表-3に新海潟トンネルの工事概要を示す。図-5にトンネルの支保パターン、図-6に地質縦断面図、図-7にトンネル平面図を示す。

## 4 地形・地質概要

新海潟トンネル近傍の地質は、基盤岩である中生代白亜紀~古第三紀系堆積岩の四万十累層群(砂岩)の上部に、新第三紀鮮新世の脇登火砕流堆積物である溶結凝灰岩が覆い被さるよう存在している。さらに、その上部には、崖堆積物や、桜島から供給される火山灰や軽石が地表や斜面の表面を覆って分布している。

トンネル掘削対象の溶結凝灰岩は、数百万年前に脇登火砕流が流出した際に、大量の火山灰が高熱を保ったまま堆積し、堆積物内で高温状態のガラス質が圧縮されて互いに密着して形成されたと考えられる。このため、脇登火砕流の溶結凝灰岩は、火成岩と似たような性質を有している。

トンネル近傍の路頭の観察からは、溶結凝灰岩が、冷却の過程でゆっくり収縮し、柱状節理を形成した様子が推察できる。脇登火砕流の溶結凝灰岩の一軸圧縮強度は、40~60MPa程度と硬質である。

当該地の地形は、東側の標高200m程度の山地から海側へ向かって尾根が張り出している。標高

表-3 新海潟トンネルの工事概要と諸元

工事名称	鹿児島220号海潟トンネル新設工事
発注者	国土交通省九州地方整備局
施工者	(株)安藤・間
施工場所	鹿児島県垂水市海潟地内
工期	2012(平成24)年9月25日~ 2013(平成25)年12月28日
地質	溶結凝灰岩(新第三紀鮮新世脇登火砕流堆積物)
掘削工法	全断面掘削
掘削方式	発破
運搬方式	タイヤ工法
トンネル延長	L=151.8m
内空断面積	A=34.8m <sup>2</sup> (1車線)

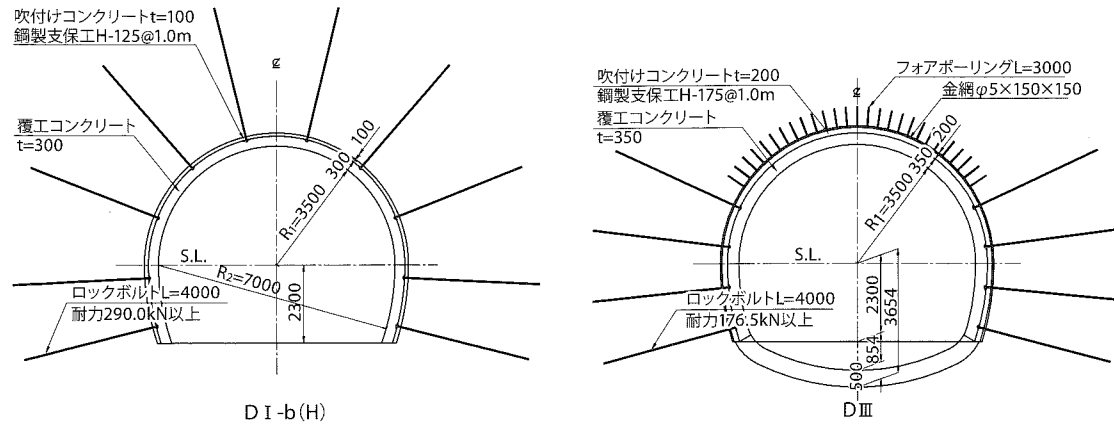
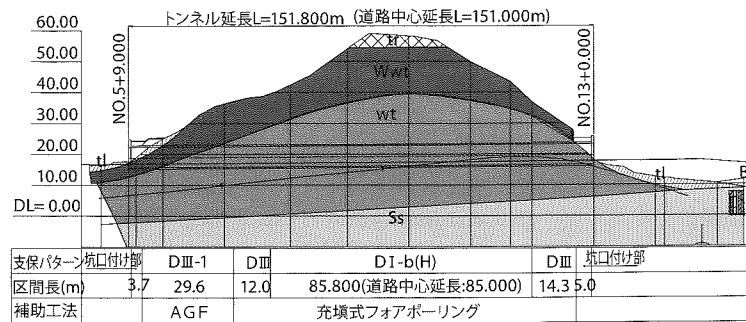


図-5 海潟トンネル支保パターン



支保パターン	坑口付け部	DIII-1	DIII	DI-b(H)	DIII	坑口付け部
区間長(m)	3.7	29.6	12.0	85.800(道路中心延長:85.000)	14.3	5.0
補助工法		AGF		充填式フォアボーリング		

地質時代	地層名	岩相・層相	記号	記事
新 生 代	第四紀 完新世更新世	崖錐堆積物	tl	既設トンネル両坑口部の山腹斜面や沢沿いに分布する。礫を混入する砂質土からなり締まりが悪い。
		段丘堆積物	tr	山頂部に分布し平坦面を形成する。円礫を含む砂からなる。
	第三紀 鮮新世	脇登火砕流堆積物	Wwt	調査地の山体の主体をなし、表層部は強く風化している。岩質は軟質で割れ目が多く発達する。
		溶結凝灰岩	wt	調査地の山体の主体をなす。岩質は中硬質で高角度や低角度の節理が発達する。節理はしばしば開口している。
中生代 白亜紀	四万十累層群	風化砂岩	WSs	終点側明かり区間の基盤岩としてほぼ海面下に分布する。表層部は風化が進み軟質であるが、新鮮部はかなり硬質である。
		砂岩	Ss	

図-6 海潟トンネル地質縦断面図

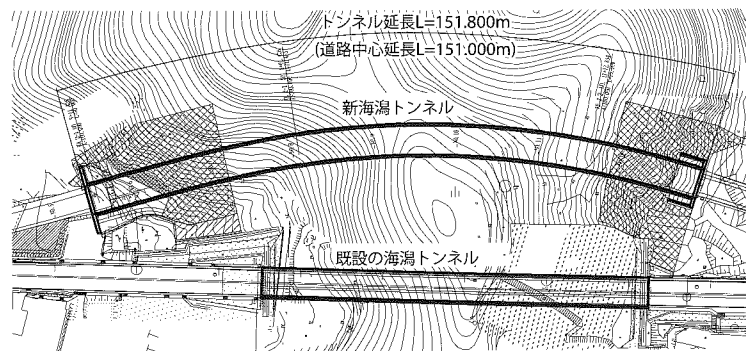


図-7 海潟トンネル平面図

60m程度の尾根の鞍部となっている部分を貫くように延長95mの既設の海潟トンネルが通過している。写真-2にトンネル付近の航空写真を示す。

## 5 トンネル掘削

### 5-1 掘削方式の検討

トンネル掘削対象の地質は、両坑口の斜面に部分的に堆積する火山性の堆積物を除いて、全線が硬質な溶結凝灰岩であった。そのため、トンネルの掘削方式は全線で、発破方式を採用した。掘削発進側の坑口部では、硬質な溶結凝灰岩が広く露頭していた(写真-3参照)。

トンネル坑口法面掘削において、当初、プレーカ掘削を試みたものの、溶結凝灰岩の一軸圧縮強度は60MPaにも達し、効率的に掘削できない状況であった。そこで、坑口面掘削には、静的破砕剤による割岩工法を併用する必要があった。このような状況から、トンネル掘削に際しては、1基目から発破が必要であった。

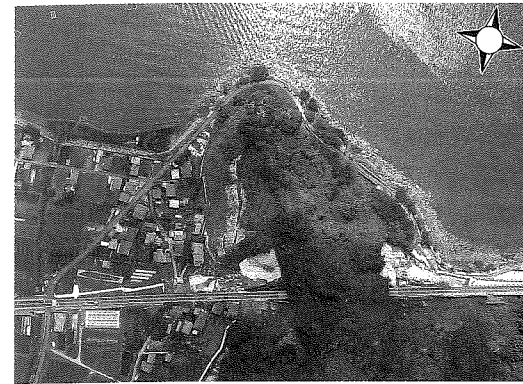


写真-2 海潟トンネル付近の航空写真

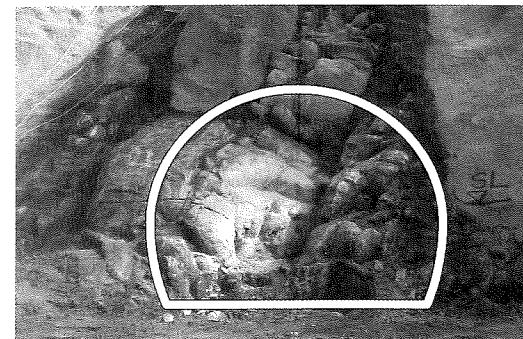


写真-3 発進側トンネル坑口法面の路頭

### 5-2 既設トンネルへの影響

既設トンネルに対して、2000(平成12)年度までにひび割れ注入や断面修復による覆工の補修、導水工などによる漏水対策を実施し、2002(平成14)年度の点検を経て、ネット工・繊維シート接着工による浮き・剝離に対する対策を実施している。その後の2008(平成20)年の点検、今回の工事の前に実施した点検では、新たなひび割れや、変状の進行が認められず、トンネルの健全性は比較的良好的な状態にあると判断した。

このようなトンネル状態を考慮し、既設トンネルの発破による振動速度の管理値を表-4のとおり設定して、トンネル掘削を開始した。

既設トンネル内では、発破時に振動を測定したが、振動は最大でも70dB程度で、変位速度に換算して0.2cm/s程度と、管理基準値4cm/sに対して十分に小さく、発破掘削による既設トンネルへの影響は認められなかった。

トンネル掘削に伴う地山の緩みによる既設トン

表-4 既設トンネルに対する振動速度管理値

管理レベル	振動速度管理値	対 策
I	4.0以下	通常施工
II	4.0~5.0	計測の強化 制御発破などの対策実施
III	5.0以上	掘削中止 抜本的対策の実施

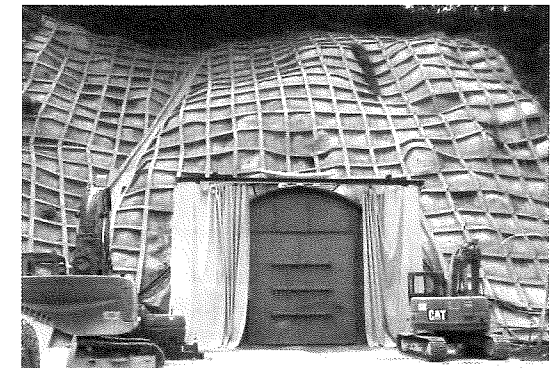


写真-4 防音扉

ネルへの影響を確認するために、既設トンネルの計測を実施した。計測は、3次元計測器による内空計測と、既設トンネルの主な覆工のひび割れに亀裂変位計を設置し、変位を計測した。こちらについても、新設トンネル掘削の影響による有意な変化は認められなかった。

### 5-3 発破作業による国道への影響対策

国道220号の通行車両や、近隣の民家などの周辺環境の保全を目的として、坑口に防音扉の設置を行った(写真-4参照)。

また、発破を既設トンネルと近接した位置で実施することから、爆音による通行車両への影響が強く懸念された。そこで、発破時には既設トンネルの全面通行止めを行った(最長5分程度)。発破は、1日あたり最大6回程度とし、事前に通行止めの時間帯を案内看板などにて周知した(図-8参照)。掘削サイクルの変更に伴い発破時刻の変更を要する場合には、事前に案内看板などの変更を行った。

### 5-4 小断面トンネルの施工

本トンネルは掘削内空幅が7.6mと、通常の2車線の道路トンネルと比べてかなり断面が小さい。トンネル内で重機の離合ができないため、トンネ

掘削の一連のサイクルでは、作業ごとにドリルジャンボや吹付け機などの施工機械をトンネル坑外まで出して入替えを行う必要があった。また、ダンプトラック、生コン車は坑内で転回できないため、坑口から切羽までのトンネル全線を後進に

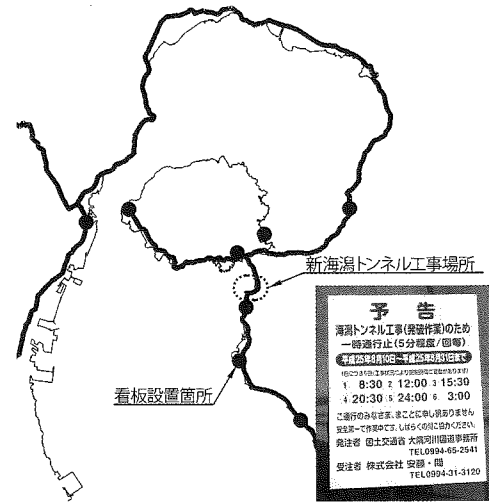


図-8 一時通行止め予告看板設置位置

て進入する必要があった。これらの作業による作業効率への影響が懸念されたが、トンネル全長が151mと短いため、影響は軽微であった。

切羽の施工機械は、通常の大断面トンネルの施工に準じたものを選定した。表-5に主要な施工機械の一覧を示す。切羽作業で空間的にもっとも制約を受けるのは、ずり積み作業であったが、2.3m<sup>3</sup>級のトラクターショベルと10tダンプの組合せで、効率的な作業性を確保できた。その他の穿

表-5 主要施工機械一覧

施工区分	使用機械	台数
穿孔・装薬 支保工建込み ロックボルト	2ブーム油圧ホイールドリル ジャンボ	1
コソク	1,300kg級大型プレーカ	1
ずり積み	トラクターショベルサイドダ ンプ2.3m <sup>3</sup> 級	1
ずり搬出	10tダンプ	2
吹付けコンクリート工	吹付け機コンプレッサー搭載 型20m <sup>3</sup> 級	1

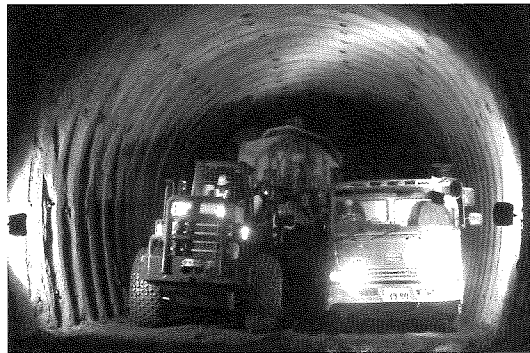


写真-5 ずり積み状況

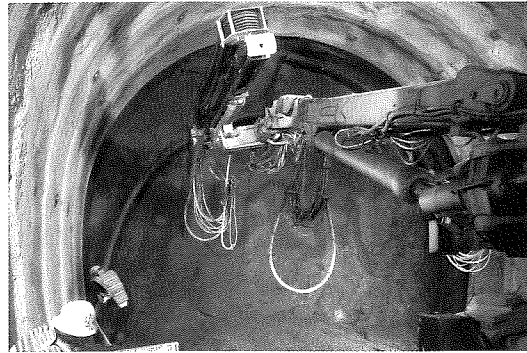


写真-7 支保工建込み状況

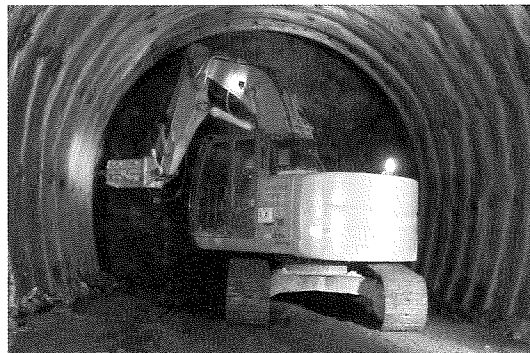


写真-6 大型プレーカによるコソク状況

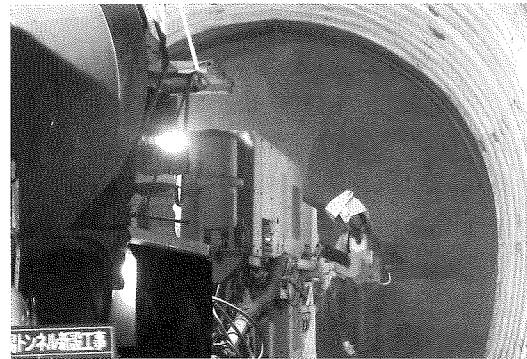


写真-8 吹付けコンクリート施工状況

孔、支保工建込み、吹付け作業などの作業での不都合はほとんどなかった。写真-5~8にトンネルの施工状況を示す。

### 5-5 溶結凝灰岩の特徴

発破したあとの岩盤の破碎状況を写真-9に示す。掘削対象となった溶結凝灰岩は、岩片が硬質であるのに対して、全体に開口割れ目が発達し、割れ目の多くには数cm程度の厚さの流入粘土を介在している状況が認められた。そのため、岩塊そのものは発破により割れづらく、緩んだ岩塊が割れ目に沿って崩落する傾向があった。

切羽天端が岩塊の崩落により過大に掘れる傾向があったため、DI(H)パターンでは、切羽天端の安定確保を目的として充填式フォアポーリングを、ほぼ全区間で実施した。

### 5-6 覆工

トンネル断面の制約から、インバート作業、覆工作業は、トンネル掘削と並行して施工ができない、トンネル貫通後、インバート工事を行ったの

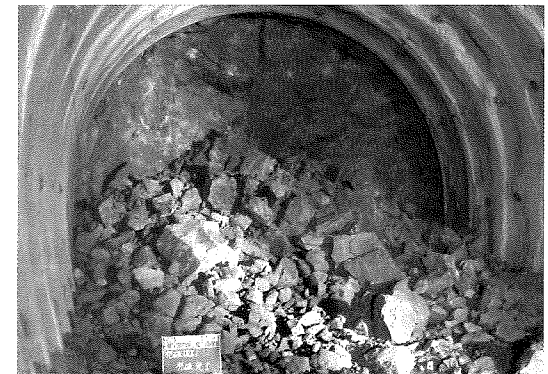


写真-9 発破による岩盤破碎状況

ちに、覆工作業を行った。

また、両坑門については、坑門完成後の周辺斜面対策工との取り合い部の施工に工程を要することから、覆工より先行して坑門を施工することとした。起点側の坑門は、バラセトルを用いて打設した。表-6に新海潟トンネルの工程表を示す。

## 6 土砂災害に強い道路の整備

当該地は活発に活動を続ける桜島(写真-10参照)の昭和火口から約6kmのところに位置している。そのため、当該地区の斜面は、溶結凝灰岩の上部に有史以来の桜島の噴火に由来する火山灰層・ボラ層(軽石層:写真-11参照)が表面を覆っている。桜島の爆発的噴火回数は、2013(平成25)年には835回を数えるほどであり、斜面上には火山灰が継続的に供給され続けている。そのため、豪雨の際には、斜面の表面に堆積する火山灰層・ボラ層がたびたび崩壊して交通を阻害しており、土砂災害に強い道路の整備が求められた。

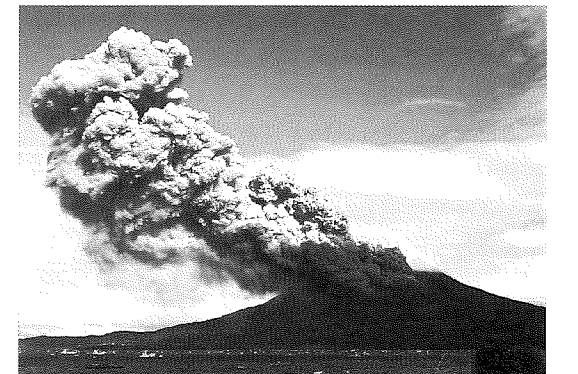


写真-10 桜島の噴火(トンネル近傍にて撮影)

表-6 海潟トンネル工程表

	2012年			2013年											
	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
準備工															
法面工															
仮設工															
トンネル掘削工															
インバート工															
覆工															
坑門工															
跡片付け															



写真-11 斜面上に堆積するボラ層



写真-12 海潟トンネル起点側の災害

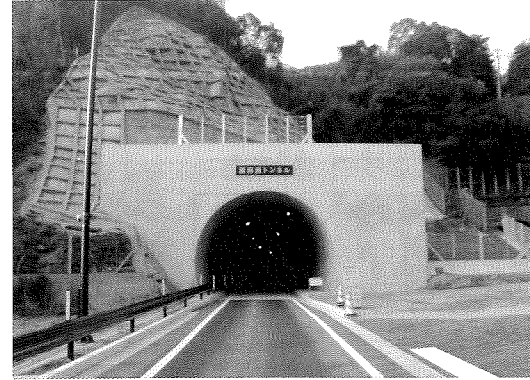


写真-13 新海潟トンネル到達側の斜面对策

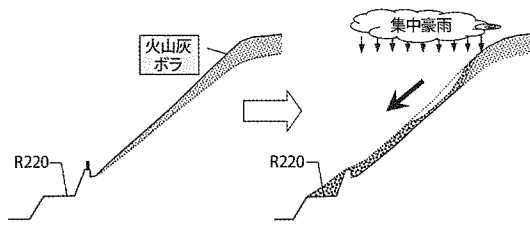


図-9 当該地の斜面崩壊概念図

写真-12に2005(平成17)年に既設の海潟トンネル坑口付近の斜面にて表層崩壊が発生した状況を、図-9に当該地区の斜面崩壊の概念図を示す。

このようなことから、トンネルの両坑口上部の斜面については、法枠+鉄筋挿入工で崩壊対策工を施した。そのうえで、降灰量が年間数cmにも及ぶ当該地区の地域特性を考慮し、枠内はモルタル吹付けとした(写真-13参照)。

## 7 おわりに

新海潟トンネルは、延長151mの短いトンネルであるが、非常に硬質な溶結凝灰岩地山で、既設国道に近接する坑口部から発破掘削を行う必要があった。また、両坑口に、溶結凝灰岩上部に現世の火山灰・ボラ層が堆積しており、斜面对策が必要となったりするなど、多くの課題を克服する必要のある工事となった。

新海潟トンネルは、2013(平成25)年6月に掘削を開始し、8月に貫通、2014(平成26)年2月1日に新設トンネルの供用を開始した。新設トンネルの供用後に、既設トンネル内の歩道の整備を行い、同年3月31日に上下線の完全供用を行った。

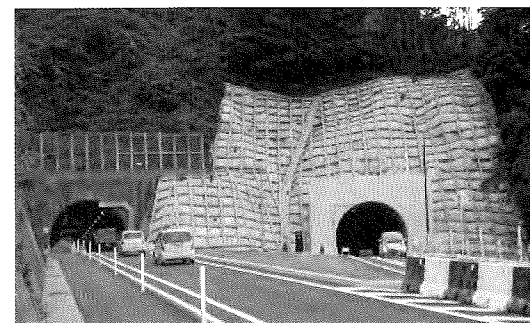


写真-14 供用後のトンネル

上下線供用後1.5か月後にトンネルを利用しての運送事業者、バス事業者、消防署、地元の方々聞き取り調査を行ったところ、新海潟トンネルの開通により、「トンネル通行時に大型車と離合する際の恐怖がなくなった」「上り線、下り線に分かれたため走りやすい」「歩道が整備され耕作地やお墓まで徒歩で移動できるようになった」などの評価をいただいている。

今回の報告事例が、今後の類似トンネルの参考となれば幸いである。

最後となるが、本事業の実施にあたっては、地元住民の方々をはじめ、関係諸機関、設計コンサルタント、その他大勢の方々にご協力いただいた。ここに感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 東・中・西日本高速道路：設計要領 第三集トンネル保全編 トンネル近接施工, pp.2-170, 2016.8.

# 施工

## 新型硬岩トンネル掘削機で人家と国道近接区間を施工

### —新名神高速道路 川西トンネル—

西日本高速道路(株)関西支社新名神兵庫事務所川西工区 浜田 文年  
 西日本高速道路(株)関西支社新名神兵庫事務所川西工区 佐々木 靖浩  
 大成建設(株)関西支店土木部部長 足達 康軌  
 大成建設(株)関西支店新名神高速道路川西トンネル工事作業所現場代理人 大西 吉実

## 1 はじめに

新名神高速道路は、愛知県名古屋を起点とし三重、滋賀、京都、大阪の各府県を經由して兵庫県神戸市に至る、延長約174kmの高速道路である(図-1)。現在、高槻JCTから神戸JCTまでを2017(平成29)年度末の開通目標に向けて事業中で、大都市間の交通機能強化と巨大地震や豪雨などの災害時にも機能するネットワーク確保が期待されている。

本工事は、兵庫県川西市に位置する川西トンネル2本(上り線1,103m, 下り線1,088m, NATM)と、橋梁下部工、門形カルバート工、本線盛土工を含め、延長1,500mを施工する工事である(写真-1)。トンネルの施工条件の特徴として、次の2か所(以下、「慎重施工区間」という)で発破掘削ができないことが挙げられる。

- ① トンネル上り線中央部分は硬質なチャートから構成されているが、住宅地が近接しており発破掘削ができない(延長240m, うち約40

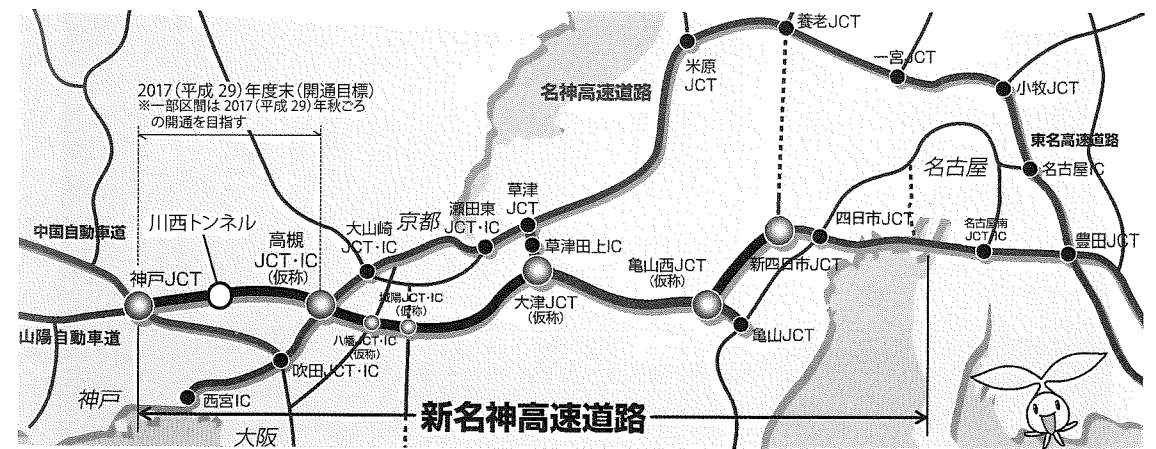


図-1 新名神高速道路の路線図

mがとくに人家に近接).

② 貫通する東側坑口は硬質な砂岩優勢層が出現するが、国道173号および能勢電鉄が近接しており発破掘削ができない(延長65m).

以上より、この慎重施工区間では、一軸圧縮強さが100MPa超の硬岩が出現するにもかかわらず、発破を使わずに機械掘削をしなければならないという課題があった.

このため本工事では、一軸圧縮強さが100MPaを超える硬岩でも効率的な掘削が可能で、かつ過去に同様の目的で開発された掘削機をコンパクト化して新規に設計・製作された硬岩トンネル掘削機TM-100(以下、「TM-100」という)の導入を計画した.

本稿では、当該掘削機の機械特性とこれによる慎重施工区間のトンネル掘削の施工実績、今後の展望について報告する.

### 2 工事概要・地質概要

トンネルの工事概要を表-1に示す. 2か所の慎重施工区間のほかにも、掘削始点となる西側坑口

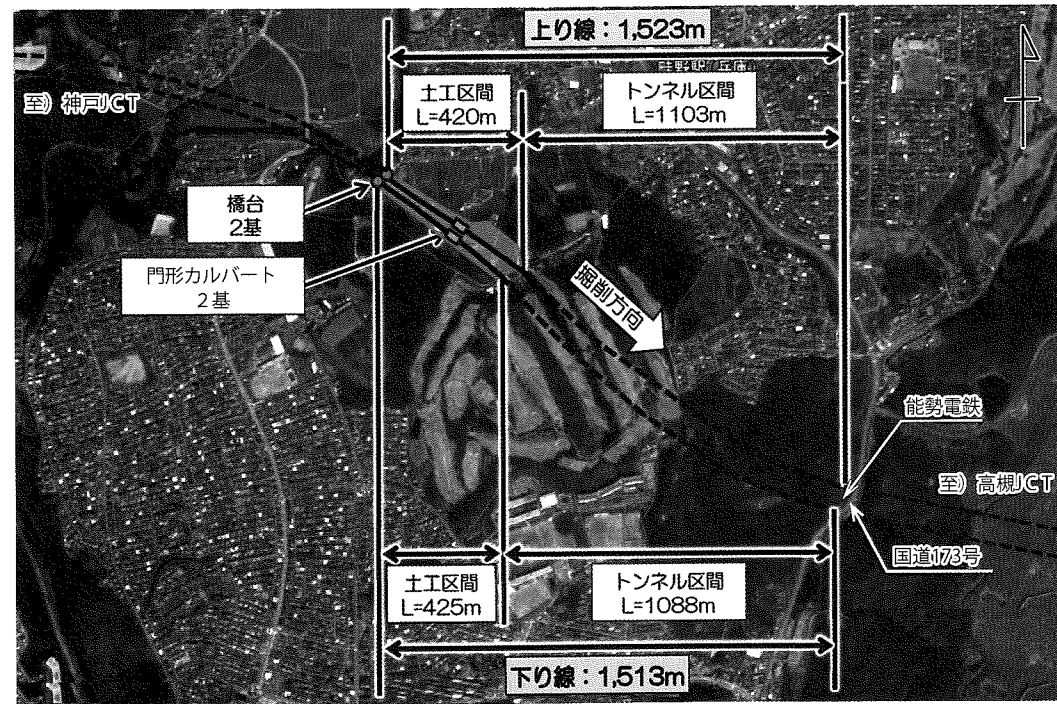


写真-1 川西トンネル施工範囲

付近も住宅が点在しており(写真-1)、工事全体として騒音・振動・粉塵の発生を抑制する環境上の配慮が求められた. 慎重施工区間の掘削支保パターンを図-2に示す.

トンネルの地質は、主に新生代新第四紀の大阪層群(粘性土、礫質土)と古生代ペルム紀の長尾層群(砂岩、頁岩、チャート)から構成される. 地質縦断面図を図-3に示す. 慎重施工区間①は硬質なチャートから構成され、RQD40以上、弾性波速度

表-1 トンネルの工事概要

工事名称	新名神高速道路川西トンネル工事
路線名	近畿自動車道名古屋神戸線(新名神高速道路)
工事場所	(自)兵庫県川西市平野～ (至)兵庫県川西市東畦野
工期	2012(平成24)年1月～2017(平成29)年10月
発注者	西日本高速道路(株)関西支社
施工者	大成建設(株)
トンネル延長	上り線 L=1,103m 下り線 L=1,088m
掘削断面積	2車線断面: 102.5m <sup>2</sup> (インバート含む) 3車線断面: 183.7m <sup>2</sup> (同上) 上り線: 西側坑口より160m 下り線: 西側坑口より284m

は4.6km/sと良好な岩盤状況が推定されていた. 慎重施工区間②は塊状砂岩を主体とする砂岩優勢層で、新鮮部はRQD40以上、弾性波速度は3.4km/sの良好な岩盤と推定された. 慎重施工区間の地山等級は、一部はD級で評価されるもの大

部分がC級と想定された.

### 3 施工上の課題

本工事における具体的な状況と経緯を以下に述べる.

#### 3-1 慎重施工区間①

西側坑口(掘削始点)からT.D.580m付近で、トンネルは住宅地に近接する. 図-4に示すようにもっとも近接した人家は(以下、「人家A」という)、トンネルに対して土かぶり38m、離隔11mの所に位置する. 当該区間付近のトンネル掘削の経緯と施工上の課題は次のとおりである.

- ① T.D.515mまでは機械掘削(油圧ブレイカ、油圧切削機)で施工.
- ② 岩盤が硬質になり(一軸圧縮強さ90MPaのチャート出現)、T.D.515mで発破掘削を開始. 隣接住宅地域へ配慮し、夜間の発破時間は22時までとした.
- ③ 発破掘削開始時から人家Aで発破振動の測定を実施し、発破時間の制限を18時に変更する. このとき

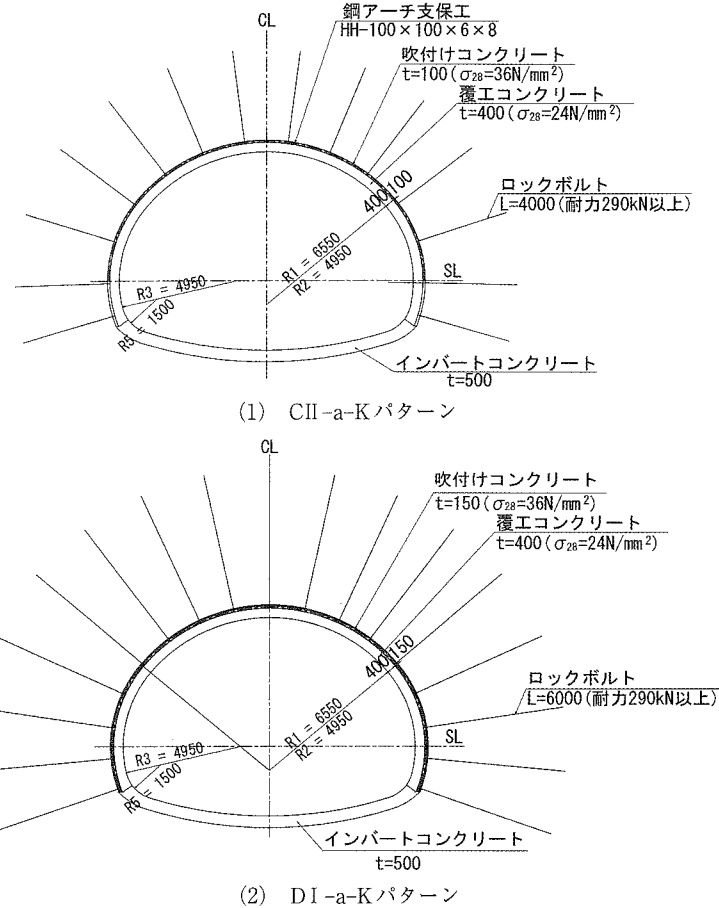


図-2 支保パターン図(慎重施工区間)

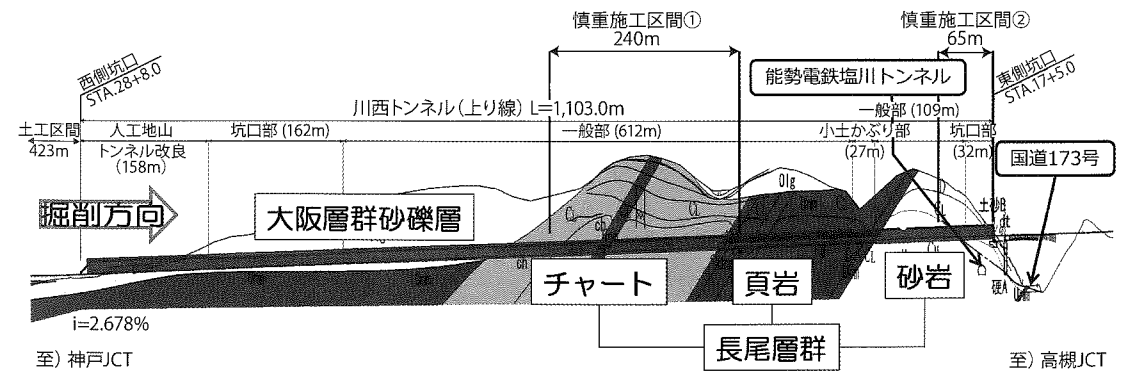


図-3 地質縦断面図(上り線)

T.D.526mで、以後時間制限をして発破掘削を継続。

④ T.D.543mで地山が悪化し、一時的に油圧ブレーカによる機械掘削に変更した。

T.D.543mまでの発破振動測定結果と地域のご意見より、地山が再び硬岩に変わった場合に、人

家にもっとも近接するT.D.580m付近では発破掘削は施工できないと想定された。さらに、発破時間を大きく制限したことから、トンネル掘削工程長期化の問題も生じた。

### 3-2 慎重施工区間②

着工前に実施されたボーリング調査などから、

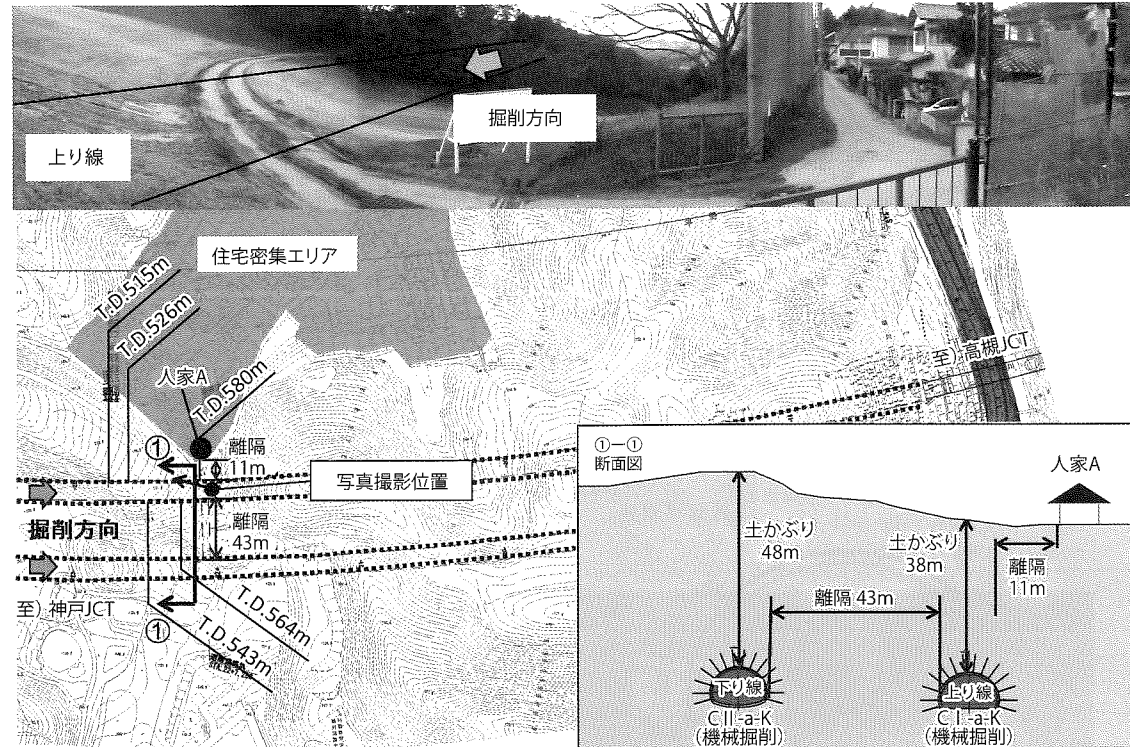


図-4 慎重施工区間①詳細図

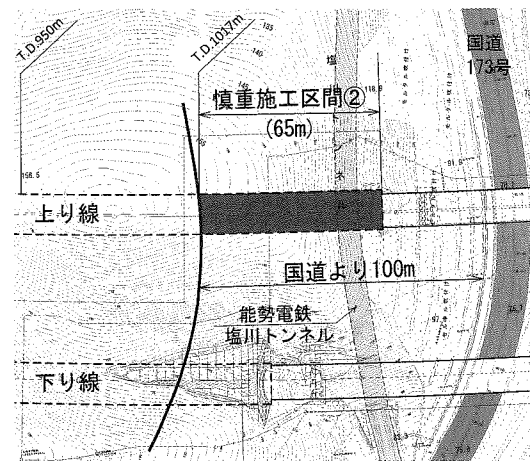


図-5 慎重施工区間②詳細図

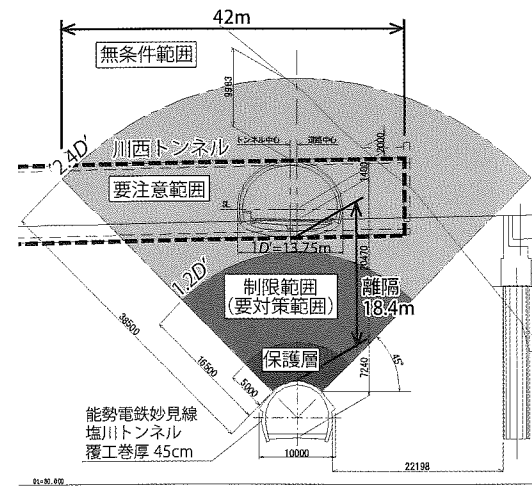


図-6 川西トンネルと塩川トンネルの近接交差状況図

T.D.950m付近から硬質な砂岩優勢層が出現し(一軸圧縮強さが最大100MPa超)、それが坑口(貫通点)まで150m程度続くと想定された。

ところが、坑口は国道173号に近接しているため、国道から半径100m以内での火薬類使用が認められず、当初予定の発破掘削は施工できないこととなった(図-5に示す延長65m)。

当初から慎重施工区間②は能勢電鉄の塩川トンネル(以下、「塩川トンネル」という)に近接しているため、能勢電鉄より発破振動速度の許容値は2cm/sと規定された。この結果、塩川トンネルの直上42m間は要注意範囲とされた(図-6)。

## 4 課題への対応(TM-100の採用)

前述した施工上の課題を克服するために検討した結果、本工事では、一軸圧縮強さが100MPa超の硬岩においても十分に掘削が可能なTM-100を導入することとなった。以下、本機の開発経緯や

特徴、本工事での施工実績、今後の展望について述べる。

### 4-1 TM-100の開発経緯

従来のブーム掘削機は、岩盤の一軸圧縮強さが50MPaを超えると極端に掘削能力が低下し、掘削工程の長期化などの問題が発生する。これより硬質な岩盤でも掘削が可能な自由断面掘削機として、かつてMM130Rが開発され都市NATM工事に適

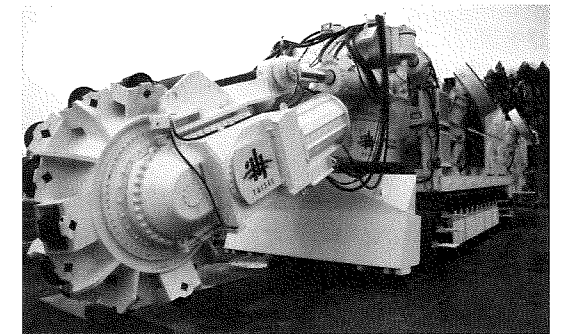


写真-2 TM-100全景

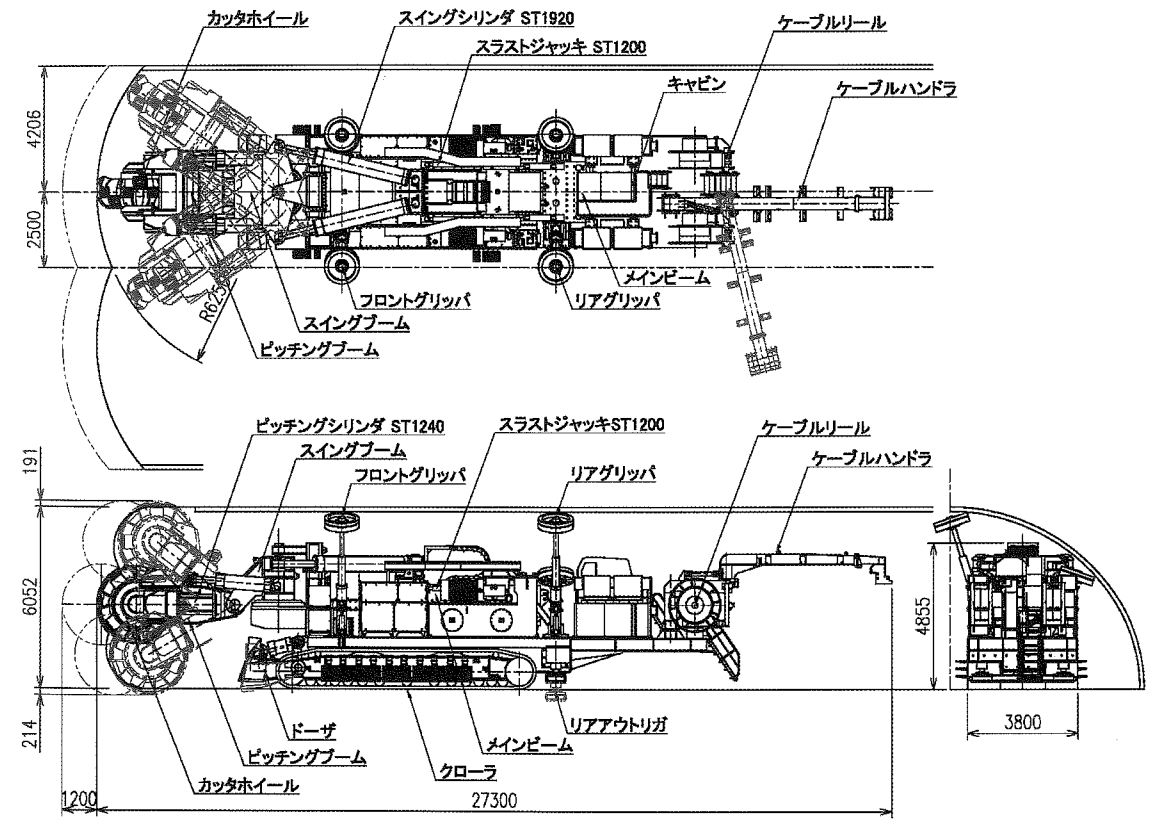


図-7 TM-100全体図

用された。しかし当該機は全体重量が過大で(368t)、機械組立てには4か月を要した。また掘削1サイクルの中で機体を頻繁に移動するといった作業効率の問題もあった。

このような問題を改善し、一軸圧縮強さが100MPaを超える硬岩においても所定の掘削能力を有する硬岩トンネル掘削機として開発されたのがTM-100である(図-7、写真-2)。開発は、大成建設と三井三池製作所の共同で実施した。機械の様態を表-2に示す。

4-2 TM-100の特徴

一般的なブーム掘削機は、カッタビットで岩盤を切削する方式である。しかし、この方式では岩盤の一軸圧縮強さが40~50MPaまでの中硬岩掘削に限界で、50MPa超の硬岩ではカッタビットの摩耗、機体の故障が著しくなる。

これに対してTM-100は、直径2.7mのカッタホイール(写真-3)にTBM(Tunnel Boring Machine)で使用されるものと同様のディスクカッタを中央に8個、両サイドに各4個の計16個配置し、これらで岩盤を圧砕することにより掘削を行う。圧砕とは、図-8に示すように回転するカッタホイールを横移動させてディスクカッタが掘削面に当たる位置をずらすことにより、ディスクカッタを岩盤に押し付けたときに発生するクラックをつなげ岩盤を剝離させる方法である。

発生するクラックは、カッタホイールの回転数とブームのスイング速度によって決まるディスクカッタを押し付ける間隔(カーフ幅)と、押し付ける推力によって決まる貫入量(切り込み深さ)に依存するため、岩盤の強度や不連続面(節理、層理など)の状況に応じて最適な値に設定できる。

本機は2車線道路トンネル相当の上半部を左右交互に半断面ずつ掘削することを想定しており、1回の機械設置で約50m<sup>2</sup>の範囲を掘削できる仕様に

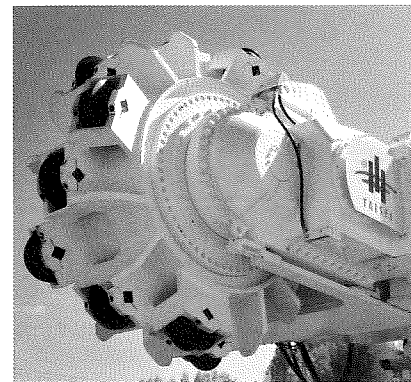


写真-3 TM-100カッタホイール

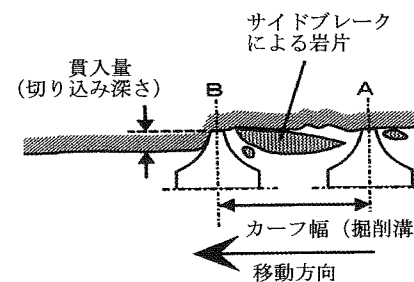


図-8 圧砕掘削の概念図

表-2 TM-100とMM130Rの仕様

項目	TM-100仕様	MM130R仕様
寸法 (全長×全幅×全高)	28.5m×3.8m×4.8m	29.0m×6.0m×7.3m
カッタホイール径	2.7m	4.1m
全総質量	約280t	368t
スラスト量	1.2m	0.15m
カッタホイール電動機	225/150kW 4/6P 2台(水冷) 1,000/1,100V-50/60Hz	300kW 4P 2台(水冷) 3,000/3,300V-50/60Hz
カッタホイール形状	ディスクカッタ型とピック型を交換可能	ディスクカッタ型のみ
カッタホイール回転数	22.3/14.9min <sup>-1</sup> 4/6P	15min <sup>-1</sup>
カッタ周速	3.2/2.1m/s 4/6P	3.2m/s
カッタ数量	15.5inディスクカッタ8個 +ゲージカッタ8か所 TM-100カッタホイール	17.0inディスクカッタ8個 +ゲージカッタ8か所
クローラ(幅×長さ)	1.12m×7.86m(片側)	0.6m×4.3m(片側)
接地圧	0.17MPa(1.7kg/cm <sup>2</sup> )	0.56MPa(5.7kg/cm <sup>2</sup> )
走行速度	低速 2.7/3.2m/min-50/60Hz 高速 5.0/6.0m/min-50/60Hz	10m/min
油圧用電動機	225kW 4P 2台(空冷) 1,000/1,100V-50/60Hz	300kW 4P 2台(空冷) 3,000/3,300V-50/60Hz
装備動力	901.6kW	1,378kW
機体の保持方法	サポートとグリッパ	サポートとグリッパ
運転操作	自動運転	自動運転

なっている。またトンネル掘削方向には、最大1,200mmの掘削が可能なスラストジャッキを機械中央部に有しており、移動によるタイムロス小さくでき、切羽の自立性や支保パターンなどの状況に合わせて掘進長を自由に調整可能である。

4-3 TM-100の施工実績

慎重施工区間①の人家A近傍T.D.564mから地山が硬岩に転じた。ここからTM-100による機械掘削を開始し、地山が軟化するまで約36mを施工した。慎重施工区間②においては、硬質な砂岩が出現した約10mを本機で掘削を行った。

4-3-1 機械の組立て

本機の組立ては、切羽で実施すると掘削作業に支障をきたすため、坑外で組立てを行い、その後移動することとした。メインビームは120t吊りオールテレーンクレーンを使って取り付け(写真-4)、組立ては試運転も含め昼間作業のみ14日間で完了した。MM130R(368t)と比較してTM-100は総重量も小さく(280t)、組立て日数も大きく短縮した。

4-3-2 掘削手順・付帯設備

TM-100による掘削手順は次のとおりである。1回の機械配置で約50m<sup>2</sup>の範囲を掘削できる仕様になっているので、次のように手順を決定した。

- ① 1サイクルで掘削するのは上半の63m<sup>2</sup>とした。これを左右2つに分け、まず右側を掘削する。
- ② 右側を対象に、あらかじめプロ

グラミングした軌跡でカッタホイールを動かす(図-9)。1回の貫入で10~20mmの掘削を所定の進行までくり返す。当初1スイングのカーフ幅を80mmとした(時間的には2分30秒/スイング)。

- ③ 同様に上半の左側を掘削する。

MM130Rには、掘削1サイクルの中で機体を頻繁に移動するといった問題があったが、TM-100はこのような作業効率の側面でも大きく改善が図られた。掘削状況を写真-5に示す。

付帯設備として、電気式集塵機1,800m<sup>3</sup>を使用した(写真-6)。これはトラックに搭載して掘削中のみ切羽の近傍に配置し、大量の粉塵が切羽後方に拡散する前に集塵できるようにした。また切羽の隅踏前を掘削するため、油圧ブレイカ3t級を掘削補助機として使用した。

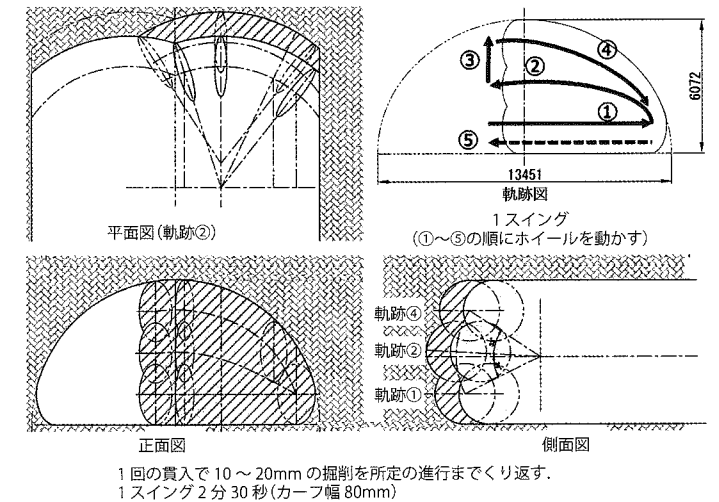


図-9 TM-100掘削手順図



写真-4 TM-100組立て状況

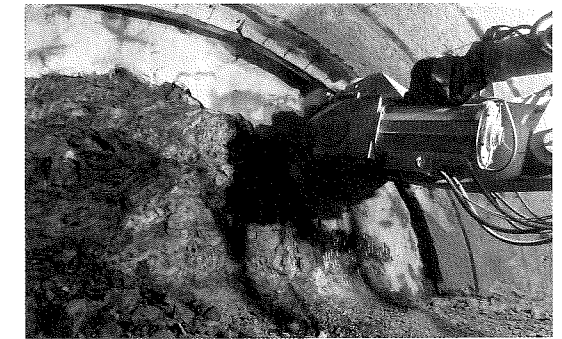


写真-5 TM-100による掘削

## 4-3-3 施工実績

本工事におけるTM-100の純掘削能力については、スイングブームの移動速度を15m/min、貫入量を13mmと設定したときに最大22.1m<sup>3</sup>/hの掘削量を確認した。慎重施工区間①では一軸圧縮強さが200MPa以上の岩が出現しており、貫入量13mmに及ぶと機体の振動も大きくなった。一軸圧縮強さが100MPaを超える硬岩では、貫入量9mm程度が実用的な掘削能力と考えられ、純掘削能力として約15.4m<sup>3</sup>/hと捉えている。既存の自由断面掘削機では施工できない50MPa超の岩盤を、TM-100は掘削可能であることが実施工で証明された。

## 4-3-4 振動の測定結果(慎重施工区間①)

慎重施工区間①の施工中、トンネルにもっとも



写真-6 掘削中の切羽(右側の機械が電気集塵機)

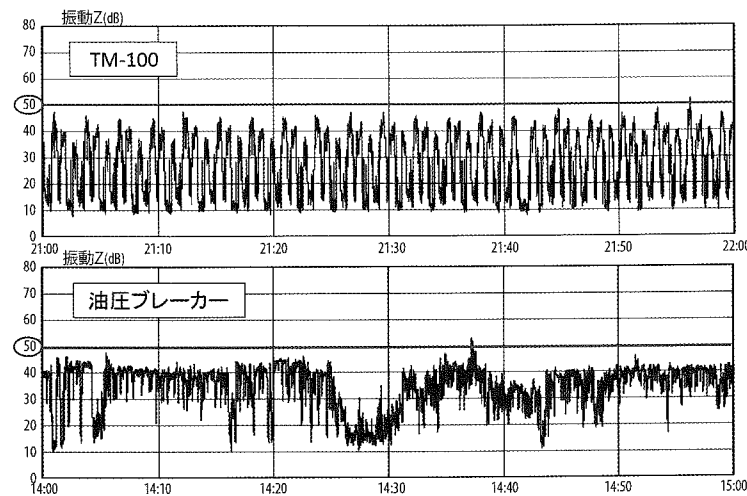


図-10 振動測定結果(人家A)

近接する人家Aで、掘削中の振動測定を実施した。人家Aの手前50mにおける発破掘削時には最大72dBを観測したが、TM-100で人家A付近を掘削したときの振動値はほぼ50dBを下回った(図-10)。

油圧ブレイカー3t級の掘削中も振動測定を行った結果、同様に50dBを下回ったが、油圧ブレイカー掘削は打撃状況によって振動がばらつくため、居住者からは不快感を覚えるというご意見があった。TM-100掘削で発生する振動は比較的一様であるため、油圧ブレイカー掘削に比べて不快感が少なかったと考えられる。

## 4-3-5 振動の測定結果(慎重施工区間②)

塩川トンネルの直上42mを含む慎重施工区間②の65m間は、火薬類使用が認められなかったので全線機械掘削で施工した。65mのうち硬質な砂岩が出現した約10mをTM-100で掘削し、あとは油圧ブレイカー3t級で掘削した。塩川トンネルは、能勢電鉄が常時振動速度測定を実施したが、許容値を超えることは全くなかった。

## 4-4 TM-100の今後の課題と展望

TM-100に関して、本工事で生じた諸問題と今後の課題を整理し、将来の展望について述べる。

- ① 機械を移動し所定の位置にセットするときの機動性の改善。
- ② 掘削中の振動により機体が自沈しグリッパが効かなくなるので、自動でグリッパの油圧をコントロールするシステムの追加。
- ③ 連続運転の油温上昇によるトラブル回避のため、オイルクーラーの性能向上。
- ④ より効率的な掘削のためのプログラムの改良。

とくに④の課題で、掘削時点で岩強度を評価し、自動で適切な貫入量、カーフ幅に調整するシステムの構築を目指している。硬質な岩盤にもかかわらず、周辺環境の制約から発破掘削が

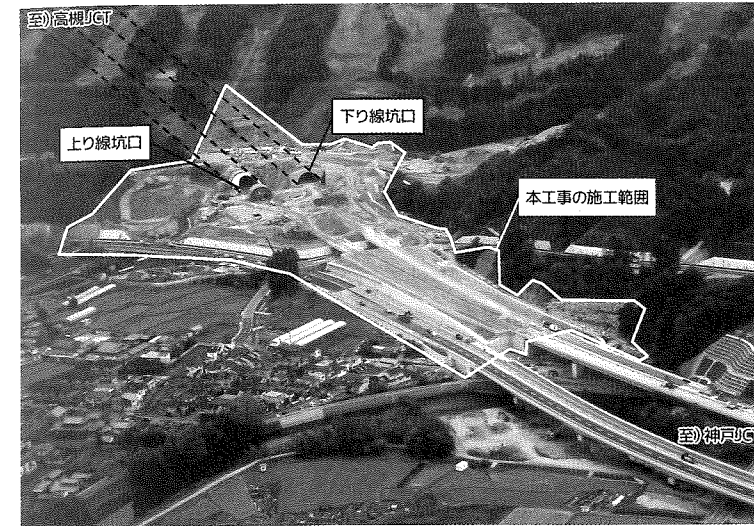


写真-7 現場の現況

TM-100の使用によって克服し、2016(平成28)年4月に無事貫通した。本工事はその後も鋭意施工を進め、2017(平成29)年10月に竣工を迎える予定である(写真-7)。

トンネル以外の工種も含めて、昼夜にわたり周辺住民に対する環境対策が最重要で、技術的な課題も多岐にわたる工事だったが、これまで大きな問題もなく施工を進められたのは、工事の大きな成果と考えている。

本稿が、類似した設計条件あるいは周辺環境におかれた工事

許されない、

- ・高速道路などで1期線に近接した2期線の施工
- ・鉄道・病院・鉄塔などの重要な社会インフラ構造物の近接施工

といったトンネル工事においても、効率的にトンネル掘削を進めるうえで本機の活躍が期待される。

また、労働人口が減少するわが国の情勢を考慮すると、掘削の自動化、省力化、施工効率の改善は是非とも必要なことである。TM-100の改良により、硬岩部におけるトンネル掘削の工程確保、コストダウンに大きく寄与する機械となり、他工事で活躍することを期待したい。

## 5 おわりに

川西トンネルは、人家・国道が近接して硬岩の発破掘削ができないという課題と、能勢電鉄のトンネルに近接して振動抑制が不可欠という課題を

の参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 宮本義広・藤井康男・田村壽夫・白川賢志：超大型自由断面掘削機により硬岩地山に挑む、阪神高速道路神戸山手線 高取山工区(北行)トンネル、トンネルと地下、Vol.27, No.10, pp.15-23, 1996.10.
- 2) 領家邦泰・青木智幸・田村壽夫・福井勝則・大久保誠介・松本一騎・宮本義広：硬岩用自由断面掘削機の掘削体積比エネルギーと岩盤物性、土木学会論文集、No.603, III-44, pp.89-100, 1998.
- 3) 「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会：トンネル新技術への挑戦(7)、硬岩トンネル掘削機TM-100、トンネルと地下、Vol.47, No.6, pp.69-76, 2016.6.
- 4) 浜田文年・足達康軌・天野元輝：硬岩トンネル掘削機TM-100による硬岩掘削について、土木学会第71回年次学術講演会概要集、VI-476, pp.46-47, 2016.
- 5) 若山真則・内田正孝・天野元輝・谷卓也：硬岩トンネル掘削機TM-100の開発、第14回岩の力学国内シンポジウム講演集、pp.26-30, 2017.



## 「みちのくの小京都」盛岡市から

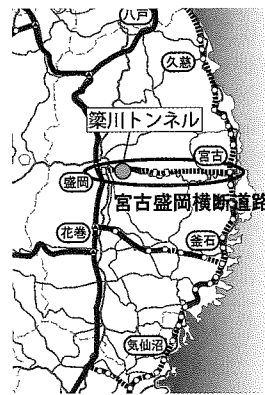
仲 哲 路

「盛岡」の名は、「盛り上がり栄える丘」の意味を持つとされ、市中心部はかつての「巖手郡仁王郷不來方」に相当し、「不來方」と呼ばれていた。盛岡市出身の石川啄木は、その作品の中で「美しい追憶の都」、盛岡市ゆかりの宮沢賢治はエスペラント風に「モリーオ市」と記した。

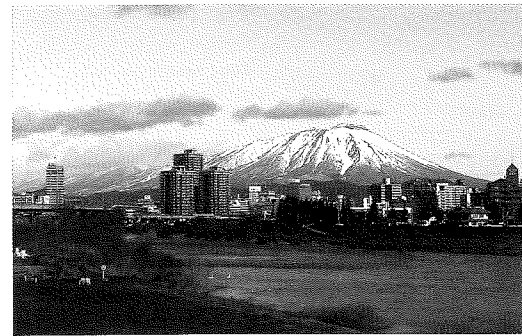
「盛岡」を連想させるものとして、市内のあらゆる地域から望める岩手山が多く学校の校歌に謳われるほか、市の中心部で合流する中津川・北上川・雫石川の三大河川、国の史跡に指定されている盛岡城石垣、国の天然記念物に指定されている石割桜が盛岡を表すモチーフとして広く用いられている。

盛岡は、北上盆地の中に位置するため内陸性気候であり、過去の最高気温は37.2℃、最低気温は-20.6℃と、夏と冬、昼と夜で寒暖差が大きい。冬季は、本州の県庁所在地の中でもっとも寒いとされるが、積雪はさほど多くない。

さて、宮古盛岡横断道路は岩手県宮古市から盛岡市に至る延長約100kmの地域高規格道路である。東日本大震災で被災した沿岸部と内陸部との強力な連携を推進することによる被災地の早期復興支援や、平常時も含めた緊急輸送圏域の拡大などによる安全・安心の確保が期待されており、復興支援道路として現道の国道106号の狭隘箇所を解消し、速達性の向上を図るべく整備が進められている。



位置図



盛岡市街地と岩手山

築川トンネルは宮古盛岡横断道路のうち、区界道路(区界～築川間：延長約8km)に位置する全長1,576mの道路トンネルであり、宮古～盛岡の分水界である区界峠の盛岡側の麓に位置する。

現道である国道106号は区界峠の400mの高低差を九十九折で上がっていくが、宮古盛岡横断道路は4.0%の勾配を持つ2本のトンネルで一気に駆け上がる。なお区界高原には岩神山(標高1,103m)や兜明神嶽(標高1,005m)といった孤立峰が点在する。区界高原から見上げた兜明神嶽は山頂に裸岩が屹立した特徴的な山容を示すが、これは南方にある早池峰山と同様に、山頂部が蛇紋岩からできていることに起因している。蛇紋岩は周囲の岩石に比べ浸食に対する抵抗力が大きいので、地形的に突出した残丘(モナドノック)となりやすい。

当トンネルは、古生代デボン紀～石炭紀(4.2億～3億年前)に形成された日本最古とも言われる地質帯を掘進するもので、潜在亀裂が多い付加体混在岩で、緩みやすく、蛇紋岩の出現も想定されている。2016(平成28)年3月に坑口付けを行い、トンネル掘削を開始した。現在、トンネル延長1,576mのうち、約850mを掘り進めている。

今後も発注者・関係各位の指導のもと、作業所ならびに協力会社が一丸となり、無事故・無災害での貫通・竣工を迎えられるよう努力してゆく所存である。(三井住友・岩田地崎特定建設工事共同企業体築川トンネル作業所監理技術者)

# 山の神と歩んだ トンネル人生

(元)佐藤工業(株)  
吉永 正雄

第九十二回  
語り継ぎ  
言ひ継ぎ行かむ

### はじめに

私は、第一次石油危機が発生した1973(昭和48)年4月に佐藤工業(株)に入社し、神奈川県厚木市にある中央技術研究所土木研究部に配属され、社会人として第一歩を踏み出しました。若い研究者が多い職場の雰囲気は、研究業務を終えると外国の専門誌を和訳して勉強会を開いたり、大学の先生を招いてFEM解析の出張講座を受けたりして、大学の研究室を延長したような自由闊達な職場でした。

入社した年の5月に、建設中の東北新幹線高架橋にて「4径間高架橋構造の基本挙動を確認するための振動実験工事」の現場計測・解析業務に従事しましたが、かねてより新関門トンネル工事などの山岳トンネル現場視察を通じてトンネル現場の配属を希望していました。1974(昭和49)年11月より難行していた上越新幹線中山すい道立坑掘削工事現場への転勤を契機に約40年余りの長いトンネル人生

が始まりました。

爾来、「原理・原則に従えば、物事の本質が必ず見えてくる」を座右の銘とし、高水庄・大湧水などの厳しい施工条件下の現場を経験してまいりました。本稿では経験いたしました数現場について「技術の継承を意識しながら、思いの丈」を綴ってみたいと思います。

### 高被圧湧水と未固結地山での トンネル工事

#### ■上越新幹線中山トンネル四方木工事

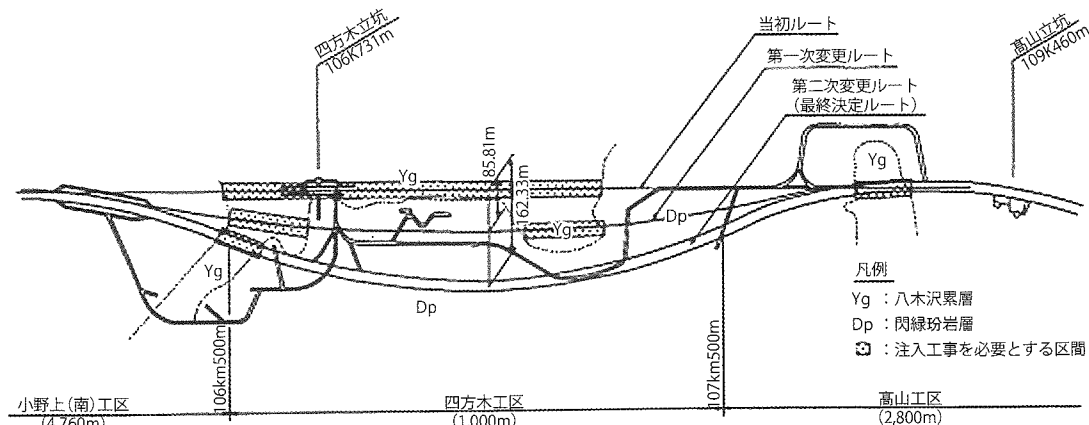
上越新幹線に大宮駅から繁忙期に乗車したとき、渋川市を流れる吾妻川を渡り小野上村に入りしばらくすると、車内放送で「ご乗車の皆様へ、手摺りにおつかまりください」とアナウンスがありました。これは2度の出水事故が発生し、ルート変更のためR=1,500mで時速160km/hに減速運転している区間に入ったためです。このトンネルが日本鉄道建設団の



著者近影(秋の箱根大涌谷, 2016.11.)

著者略歴

昭和48年 3月	九州大学工学部水工土木工学科卒業
昭和48年 4月	佐藤工業(株)入社 中央技術研究所土木研究部
昭和49年	上越新幹線中山T四方木立坑工事
昭和53年	上越新幹線中山T四方木工事
昭和60年	安房トンネル平湯調査坑工事
昭和63年	土木本部技術部
平成10年	宮ヶ瀬道志導水路工事現場代理人
平成14年	土木本部技術部トンネルグループ長
平成25年	退社
現在	鉄建建設(株)土木本部



トンネルルート変更と地質(出典: 上越新幹線工事誌)

トンネル技術者に「青函より難しい」と言わしめた中山トンネル(L=14.8km)でした。

上越新幹線中山トンネル四方木工区は1972(昭和47)年2月に発注され、深さ372m(鉄道トンネル、日本最大)、仕上がり内径6mの立坑を作業坑とし、2度のルート変更後、本坑L=1,070mを施工する工事でした。立坑工事と坑底設備工事に約5年、迂回坑水抜き坑、本坑その他5年、その間2度の水没事故に遭遇し工事が完成したときには丸11年が過ぎていました。

立坑工事では、1972(昭和47)年

10月に掘削を開始しましたが、高圧多量の湧水を含んだ第三紀の未固結な火山礫凝灰岩である八木沢層に悩まされ、GL-152mでは9.5 m<sup>3</sup>/minの突発湧水に遭遇し、筆舌に尽くしがたい立坑工事となりました。

立坑の湧水対策としてGL-100.8mより立坑掘削を止め、第1回坑底注入の止水注入を行うことにしましたが、湧水圧の増加に加え、注入材が浸透しがたい地質となり、坑底注入への信頼性はなかなか得ることができませんでした。1974(昭和49)年の掘削はわずか40cmに終わり、抜本的な対策

を講ずる必要が急務となりました。まず、高強度のホモゲル強度を有し浸透性の良好な有機系溶液型注入材を開発し、また、深度GL-162.9mに周辺注入基地を設け立坑掘削に先行してL=210mにも及ぶ地盤改良方法を採用し、1975(昭和50)年には120mの進捗を確保でき、1977(昭和52)年2月立坑坑底に到達しました。

この立坑注入工事では注入仕様(注入圧、注入率、注入速度)決定後の注入効果の管理の重要性を学びました。注入工事自体が不可視工事であり、手ごたえのある注入が施工できているか、穿孔データ



中山トンネル四方木立坑にて(2列目左9人目が著者、日本鉄道建設公団篠原総裁視察、1978夏)

(湧水量、湧水圧、ボーリング孔壁の状態)、注入PQT曲線により判断しなければなりません。施工データをその都度、統計的手法で分析し合理的な判断を行いました。その結果、中山トンネル全体の注入方法・注入基準が確立され、その後の水没復旧のための注入工事、坑外注入工事計画に大きく寄与するものとなりました。

高山工区の水没事故を受け、土木史上類のない、地表より約370mにも及ぶボーリング・注入を実施して本坑未改良部分の注入を実施する坑外注入工事が現実化しました。高山工区の坑外注入工事とも並行して施工されたため、中山トンネルに日本のボーリング機械が集結したとも言われ、櫓が立ち並ぶ様は壮観を呈しました。本坑延長199m(施工本数331本)の施工は1年を経た1981(昭和56)年6月に完了し、大いに全体工程の短縮に貢献しました。

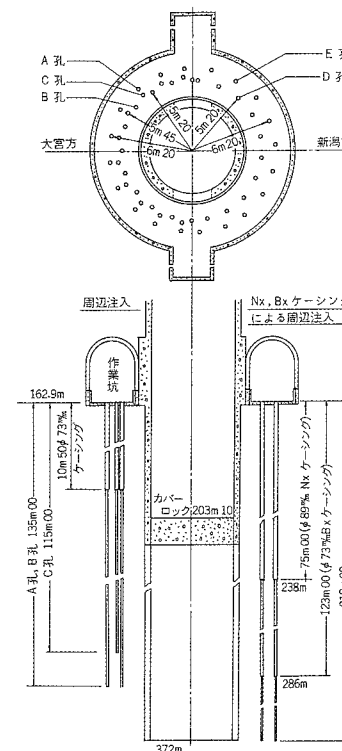
1980(昭和55)年11月に2度目のルート変更が決定され、本坑1,070mの本体工事に着手しまし

た。上越新幹線の開業を1983(昭和58)年11月に控え、工事完了が1983(昭和58)年3月末迄の16か月の非常に厳しい工期の中での施工となりました。

全長を1~6工区に分け、ルート変更する前に施工した迂回坑などより切羽を最大15切羽に増やし掘削することにしましたが、立坑のずり出し設備は旧施工計画にもとづくもので、1日のずり排出量が増える本工事の場合、掘削サイクルの確保が最大の課題となりました。このため、坑内ずり処理を円滑に行うため、

- ① 各工区のずり出し時間を設定
  - ② ずりの閉塞を防止するためのずりの小割の徹底
  - ③ ずり出し専用班の設立
- などの改善策を実行し、ずり出しの稼働率を上げ掘削は終了し、1982(昭和57)年3月、中山トンネルの完成式が無事とり行われました。

今回の立坑を作業坑とする突貫工事と同様、よくトンネル工事は運搬業と言われますが、切羽から



中山トンネル四方木立坑周辺注入工事概要図(出典: トンネルと地下, Vol.6, No.6, p.19, 1975.6.)

坑口ずりピットまでの路盤維持、さらに土捨て場までの搬入路の整備については、最近、長大トンネル工事が増加する中「トンネル進行は路盤の維持管理にかかっている」と言っても過言でないと思います。

■国道158号安房トンネル平湯調査坑工事

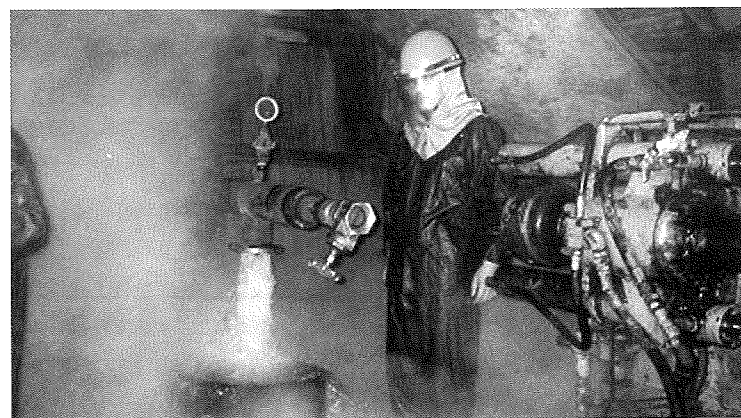
1985~1988(昭和60~63)年に北アルプスの活火山・焼岳の脇を貫き、信州と飛騨を結ぶ一般国道158号安房トンネル平湯調査工事に従事しました。赴任した年の1985(昭和60)年8月には日航ジャンボ機の群馬県御巣鷹山墜落事故が発生し、忘れられない現場になりました。

この路線の中で最大の難所である標高1,800mの安房峠を中心とする北アルプス横断区間は、急峻な地形と火山地帯特有な脆弱な地質に阻まれ、自動車通行が危険な未改良道路があるばかりでなく、豪雪のため冬季11月中旬から5月上旬までの6か月間にわたって交通の途絶を余儀なくされ、地元より早期の整備が要望されていました。

#### 平湯方の高熱区間の施工

平湯調査坑では、坑口から約400m付近より湧水温度が上がりはじめ、TD465mにて、 $L = 120$  mの調査ボーリングを実施しましたが(掲載写真に耐熱服を着用しての穿孔状況を示しています)、565m地点で最高73℃(水量1.6m<sup>3</sup>/min、水圧9.2kgf/cm<sup>2</sup>)となりました。湧水温度が54℃まで低下する約120m区間は薬液注入工法を実施して熱水の湧出を抑制させることにしました。

熱水帯掘削における一番の問題は作業環境の確保であり、高温坑内の作業環境を評価する指標として「湿気度」を採用して作業環



平湯調査坑調査ボーリング施工時の耐熱服着用状況(湯温73℃、火傷防止のため、1984.)

境確保に努めましたが、トンネル断面が約20m<sup>2</sup>と小さく送風量はφ600mm×2系列が限度であり、自動車の中古のラジエーターを設置して冷風を送ることも試みましたが、「焼け石に水」で効果はありませんでした。多量の冷水を切羽に散水する方法が一番効果があったように思います。

高温多湿下での熱中症防止対策としては、塩、梅干し、冷水を坑内へ持ち込み休憩時間を多くするようにして、調査坑の掘削を実施しました。幸いにして装薬時の岩盤温度測定で準備した耐熱雷管は使用されず、この高熱区間の施工は無事終了しました。ちなみに、吉村昭著『高熱隧道』では、黒部第三発電所工事(施工時期：1936～1940(昭和11～15)年)での最高岩盤温度が165℃となり、ダイナマイト爆発事故が発生したと記されています。

#### 700mの長尺調査ボーリング工

平湯調査坑工事では、古生層が形成する旧谷地形の上に、第四紀層の火山噴出物が数百mに及び厚さに堆積し、その中に地下水が

充満している堆積層(延長700m、湧水圧22kgf/cm<sup>2</sup>程度)、いわゆる「平湯低速度帯」の施工の可否が最大の課題でした。

このため、調査坑掘削の支障とならないようにボーリング室を設け、古生層310mと低速度帯390mを調査する目的で700mの長尺水平調査ボーリングが計画されました。

地質は熱水が湧出する破碎の著しい粘板岩層から、一軸圧縮強度2,000kgf/cm<sup>2</sup>以上と推定される極硬岩のチャート層を経て、自破碎の著しい火山噴出物の堆積層にいたる非常に変化の激しいものでした。ボーリングは、掘進と同時にケーシングが挿入できて孔壁崩壊を防止できる水平ボーリング専用機TOP-LSによるシールドリバース工法を採用しました。高被圧(22kgf/cm<sup>2</sup>)、多量湧水(抜管時最大8.5t/min)下の施工でしたが、地質状況に応じた削孔方法を適宜選択し、目標深度701.6mの調査が完了しました。

このボーリングでは、深度70m付近で湧水温度70℃、1,000L/min以上の湯量(箱根温泉の湯量に匹敵)が湧出しましたが、この状況を見た地元作業員がこの湯量・湯温ならば温泉宿を営むのに十分過ぎると話していました。

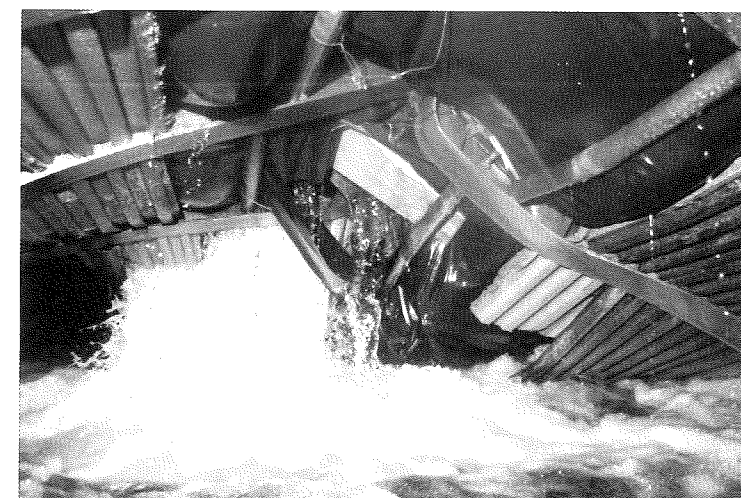
#### 平湯低速度帯の施工

平湯低速度帯の影響を受ける高被圧区間については、調査坑左右にボーリング室を設け、先進水抜きボーリングにより切羽前方の動水圧の低下を図りました。さらに、調査坑切羽周辺の動水圧を低下さ

せるため、約11m<sup>2</sup>の水抜き坑を左右に先進させ、右水抜き坑が1987(昭和62)年7月24日に低速度帯との層境に達しました。このときの切羽付近で実施した短尺ボーリングの動水圧は1.7～3.2kgf/cm<sup>2</sup>であったため低速度帯の掘削は可能と判断して右水抜き坑を低速度帯に突入しましたが、7月28日、TD869mの層境付近で約180t/minの湧水と約3,000m<sup>3</sup>の土砂流出事故が発生し、右水抜き坑と調査坑の一部が埋没しました。

切羽地質は、長尺調査ボーリングなどから安山岩溶岩と推定していましたが、安山岩質の礫や細礫～粗砂で構成され複雑な様相を呈していました。右上写真は出水から3日後8月1日に確認された右水抜き坑分岐点の調査坑TD785m付近天端から約65t/minの多量の落水状況です。この大出水後、発注者の施工方法検討委員会メンバーでありました大島洋志委員(本誌編集参与)が「大雨のちは小雨」とおっしゃったとおり、地下水水位はその後順調に下がり、調査坑の復旧作業を開始しました。

堆積土砂除去中の出来事に、TD785m付近(出水状況写真の場所)の出水箇所真下で玉石状の円礫(10～30mm)が確認されました。岩質は安山岩の礫で球状を示すもの、おはじきのように扁平なものもあり、数は少ないがチャート礫も見られました。円礫の出現に関してわれわれ企業体の職員はこの成因について持論を話す人もいましたが、結論としては、随筆『丹那トンネルのはなし』に掲載され



右水抜き坑分岐点、調査坑TD785m付近二次出水状況(落水量約65t/min、1987.8.)

ている石川九五技師が述べているように「断層角礫がある場合には種々の大きさに割れてこれが断層作用によって回転し川の底を転がって丸くなることがある」との説明が正解のように思いました。平湯低速度帯の岩相は一樣ではなく種々の変化を経たものからなり、地層境ではとくに複雑な様相を呈し、「地層境の施工は要注意」を改めて感じました。

この平湯調査坑工事は3社で構成したJV工事でしたが、自主的に類似工事の経験者、地質関係の技術者でメンバー構成した「JV技術委員会」を立ち上げ、懸案事項を検討し、発注者である高山国道事務所と有意義な技術情報の交換ができました。

この現場には3年余り在籍しましたが、掘削した調査坑の総延長は400m余りでした。

#### 特殊地山における トンネル工事

安房トンネル平湯調査工事での

大出水事故を経験して、1988(昭和63)年10月より8年間は本社土木本部技術部に勤務し、施工中のトラブルが予想される現場を主体に技術アドバイザーとして、全国の現場を支援しました。

1988(昭和63)年末には昭和天皇の御容態が連日報じられていましたが、翌年、昭和から平成に年号が変わりました。

#### ■北海道滝下発電所導水路工事

当現場は北海道夕張市に位置し、北海道企業局発注の滝下発電所建設工事に伴う全長6,661mのうち、上口2,600m(掘削断面18m<sup>2</sup>)を突込みで施工するものでした。

滝の上断層、背斜構造部の砂岩頁岩層は複雑な褶曲構造を呈し、通過する夕張炭田地域を反映してメタンガスを胚胎することが事前の調査ボーリングで確認されていました。

着手前の施工検討会で、(故)加納米二技術部長(三菱鉱業出身)のアドバイスにより石炭鉱山保安規則に準じ、坑内環境を災害の危険

性の大きい発破作業で通常発破を認めている「乙種」の状態を維持するものとし、メタンガスの管理基準値、換気方法、防爆設備、ガス抜き方法などについての基本方針を策定し、換気は防爆設備の設定区間を限定できる坑道入気方式としました。

メタンガスは掘削が進むにつれ湧出し、TD1,600m付近では3m<sup>3</sup>/minの湧水とともに高濃度のメタンガスが湧出しましたが、薬液注入、長尺ボーリングを補助工法として無事通過しました。メタンガスは水溶性以外にガス溜まりからも湧出したことが判明し、矢板工法から吹付け工法に変更してメタンガスの湧出を抑制し、2,600mの導水路トンネル工事は終了しました。

この現場での教訓は、自分が今まで経験したことのない現場を担当する場合、インターネット上の情報などを鵜呑みにせず、「餅は餅屋」で何事にもその道の専門家が御座り、実際に施工経験した方の生の声を聞くことが重要であることを学びました。メタンガスは無色・無臭、空気より軽い気体です。まず、高精度のメタンガス濃度測定器で湧出している「ガスの正体(濃度・量)」を継続的に正確に把握し、換気を常時行いメタンガスの滞留を抑制することが大事であります。

トンネル工事でのメタンガス爆発などの重大災害は、社会的にも大きな影響を与え建設業の危険なイメージを加速させるものであり、誰がみても安全だと思えるトンネ

ル施工方法を確立させる必要があると思います。

#### ■秩父武甲鉱山立坑工事(レイズボーリング工法による斜坑掘削)

レイズボーリング工法は、地表にレイズボーリング機を設置し、目的の下部坑道に向けて約300mm程度のパイロット孔を貫通させたあと、下部坑道でパイロットビットを外して大口径のリーマを取り付け、上向きに引き上げて所定の大きさに拡幅する工法です。

武甲鉱山で石灰岩運搬用に新設される立坑工事(直径4.74m、長さ340m、傾斜角70°)の特徴は、以下のとおりです。

- ① わが国最大・最長の大口径斜坑工事
  - ② 70°の傾斜掘削で鉛直掘削に比べ施工難度が高い
  - ③ 地質は透水性の高い亀裂性岩盤(石灰岩)で掘削しにくい。
- タムロック社のRHINO 2006 DCはわが国最大のレイズボーリング機を採用し、パイロット孔の孔曲がり測定には、軍事目的(ミサイ

ル)に採用されている傾斜角センサーを装備した測定器を開発し、孔曲がりを管理して左1.65m、上側0.35mの高い精度で貫通することができました。この工事では、パイロット孔掘削時の全量逸水、2度のリーミングビットの切断事故が発生しました。2回目のリーマ切断事故(217.4m地点)は、クリスマス前の12月23日に発生し、年末休暇の前に現場関係者は落胆すると思いきや「何とんでも完成させるぞ」の不撓不屈の精神を発揮し、1月末には掘削を再開し、無事リーミング作業を終了し新斜坑は完成しました。

この工事ではロッド切断事故に対する原因の分析力、復旧策を相談できる多くの人脈を持つことが必要だと思いました。アリマッククライマー工法での立坑工事では「立坑1本に死亡災害1名」と言われた時代がありましたが、今回のレイズボーリング工事実績を立坑構築に役立てていただければと思います。

#### レイズボーラ



武甲鉱山(掘削径4.74m、延長340m、傾斜角70°)



秩父武甲鉱山レイズボーリング工事(1997.4.)

#### 高圧多量湧水を伴う断層破碎帯をTBMで突破

##### ■宮ヶ瀬ダム道志川導水路工事

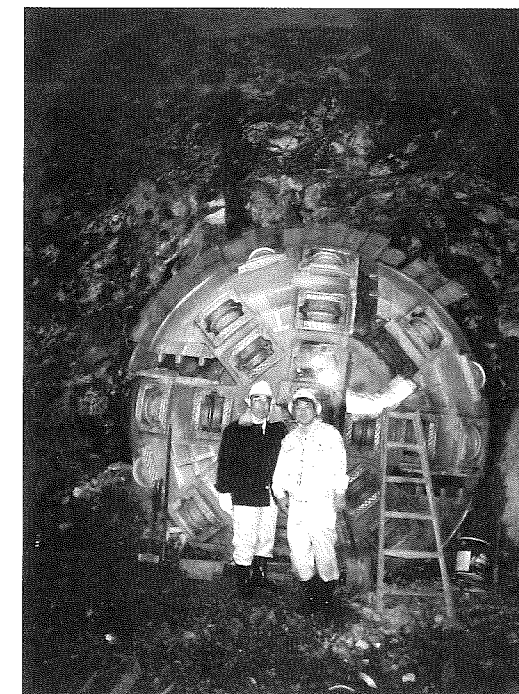
本社土木本部技術部に8年勤務したのち、1999(平成11)年1月より宮ヶ瀬ダム関連事業の道志導水路工事に、現場責任者として初めて任にあたりました。

建設省関東地方建設局の道志導水路は宮ヶ瀬ダムと津久井湖を結ぶ掘削外径3.5m、延長7kmをフルシールドタイプのTBMで施工する工事でした。

1996(平成8)年に実施した調査作業坑からの調査ボーリングではTD4,371m付近から前方に32kgf/cm<sup>2</sup>以上の高被圧水帯が確認されていました。これは、地質構造が縦構造であり断層粘土で遮水された背面に帯水した破碎帯があることにより形成されたと考えられました。TBMを再発進する前、断層破碎帯の位置、断層幅、残留水圧の確認などの調査のためL=500mの長尺水平ボーリング、TSPによって地質・湧水状況を把握しながら施工方法を検討しました。

湧水圧の低下を図るためロータリーパーカッション機により水抜きボーリングを全線にわたり実施しました。地山の有効空隙率が小さいため一つの断層を突破するのに1~2週間で30kgf/cm<sup>2</sup>以上の水圧が目標の残留水圧3kgf/cm<sup>2</sup>に低下しました。

簡単に言うと何箇所かの隔壁のある大貯水槽の底を掘って行くようなもので、1か所の隔壁を突破



宮ヶ瀬ダム導水路TBM到達、7km地点での貫通状況(右側が著者、2000.11.)

すると次の断層が出現、また湧水との戦いが始まるというくり返しでした。最大坑口湧水量は約35m<sup>3</sup>/minを記録しφ3mの円形断面のインバート部分を排水路にしていたが軌条設備の上まで冠水することもありました。

このTBM工事では、掘削すりや覆工用のコンクリートセグメントを無人で運行管理するトンネル資材自動搬送システム(ジオ・シャトル)を開発・導入しました。車両の運行(複線)はすべて坑外の中央制御室で行うので、無人化による省人化と安全性と効率性の面で成果を上げ、坑口より約6kmの地点で月進437mの施工実績を上げ、2000(平成12)年11月に貫通しました。

断層粘土で遮水された最大30kgf/cm<sup>2</sup>以上の高被圧水帯を無事

TBMで掘削できたのは、逼迫した工程の中でも必要不可欠な先進ボーリングを省略しなかったことによるものだと思います。掲載写真は、坑口から7km地点の隣工区の拡幅坑道に貫通したときのもので、TBMで高速掘進する中で、運も良かったのでしょうか、寸分違わず到達しました。測量担当者には「基線測量には後顧の憂いを絶って」思い残すことなく測量するように指示していました。

2000(平成12)年12月8日、扇千景建設大臣を迎え宮ヶ瀬ダム竣工式が執り行われました。

#### 初めての海外工事を経験

##### ■シンガポール国、ジュロン立坑工事

ジュロン立坑工事は、シンガポール国ジュロン島に建設される



シンガポール国ジュロン島において注入関係者ととも(後列左2人目が著者, 2009.6.)

石油備蓄基地工事の作業用アクセスとなる直径約20m、深さ132mの2本の立坑を建設する工事でした。基盤岩であるジュロン層上部の浚渫土堆積部分は連続地中壁を施工し、地層境は坑外より止水注入を実施して立坑掘削をスタートしました。

坑外注入では十分な注入効果が得られず立坑坑底注入を実施することになりました。ジュロン層は砂岩、頁岩、凝灰岩などの堆積層よりなり、ボーリングコアから全体的には日本で言う「比較的良好な地山」に入りますが、このジュロン層は過去の地殻変動により非常に複雑な様相を呈し、数m離れた地点でも地層状況が異なり、「縦クラック」が発達している箇所では、「手ごたえのある注入効果」が得られませんでした。最終的にはこのジュロン層の複雑な地盤状況には日本の注入仕様では注入効果は得られないと判断し、注入間隔をさらに狭めて(2m→1m→0.75m)注入することで注入効果の向上に努めました。

「郷に入れば郷に従え」と言われますが、現代風に言えば「外国に行ったら、その国の法律や習慣に従わなければならない」の意味ですが、現地地盤においても日本の先入観に捉われずに認識する必要があると思いました。この異国での立坑坑底注入工事は還暦前の私にとっては思い出深い現場となりました。

### おわりに

上越新幹線中山トンネル工事における水没事故復旧工事に従事していたときに国鉄OBの所長より渡された1冊の本が『丹那トンネルの話』でした。ご存知の方も多いと思いますが、丹那トンネル(L=7,804m)は1918(大正7)年に着手して16年半もかかった大正、昭和時代のトンネル難工事の代表でした。工事で多くの犠牲者がたため「工事は中止すべし」との世論が出たトンネル工事でした。

中山、安房、宮ヶ瀬などの現場で苦勞していたとき、日本のトンネル工事では「買けないトンネル

はない」とよく聞きましたが、丹那トンネル工事に携わった方々と同様に、日本人の「最後までやり抜く」という情熱と気概は半世紀経っても変わらないようです。

本稿の表題を「山の神と歩んだトンネル人生」としましたが、「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」の筆者中にも「山の神」について述べられた方がいましたが、われわれトンネル屋、偶然では説明できない事象に遭遇することがあると思います。

中山トンネル四方木工事では、1979(昭和54)年3月、本坑右側の注入基地切羽付近より最大約80t/minの異常出水が発生し、立坑揚水能力を上回り立坑、本坑、迂回坑が水没する事故が発生しました。当日、この出水対策に51名の佐藤工業職員、作業員が入坑していましたが、この水没に際しては、停電時自動起動するはずの自家用発電機が動かず、エレベータが危機一発で動き始め全員無事退避することができました。このようなときでも慌てず行動ができたのは、定期的に立坑水没を想定して避難訓練を実施していた、工事安全に関する日ごろの高い意識と行動があったから「山の神は見捨てなかった」ように感じました。「運よく無事に乗り切れた」のは「山の神」が近くで微笑んでいたからでしょうか？

「人事を尽くして天命を待つ」最大限の努力をしたのだからあとは焦らず天の意志に任せる、そのような心構えで日々過ごしたいと思っています。

# 業界案内

## 2017

### 目次

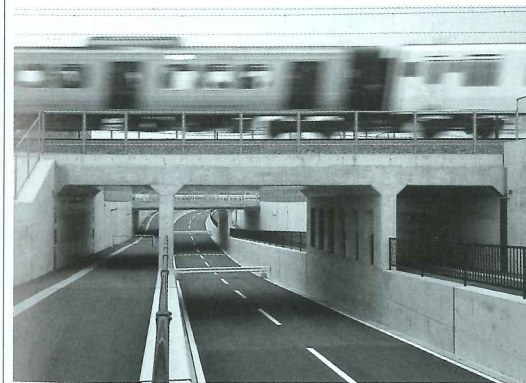
協会	I
コンサルタント業ほか	I
建設業	II
建設機械業	III
建設資材業	IV

## 協会

### アンダーパス技術協会

会長 植村 誠

非開削施工により既存の鉄道・道路下へ地下構造物を構築し、立体交差の施設を造ります。R&C工法、SFT工法、FJ工法、ESA工法など実績の豊富な施工法で、社会貢献していきます。



問い合わせ先：事務局  
〒185-0032 東京都国分寺市日吉町2-30-7  
TEL：042-574-1180 FAX：042-572-5456  
E-mail：info@underpass.info  
URL http://underpass.info/

## コンサルタント業ほか

Japan Asia Group  
国際航業株式会社

代表取締役社長 土方 聡

- ・持続可能な社会へ寄与する新しいインフラ整備
- ・空や地上地下から地形地質を調査計測し、多様なニーズに応えるデータ構築サービスを提供
- ・山岳トンネルの調査・解析・計画・設計・点検

問い合わせ先：技術サービス本部  
〒102-0085 東京都千代田区六番町2  
TEL：03-6361-2456 FAX：03-5226-3809  
E-mail：naoki\_muto@kk-grp.jp  
URL http://www.kk-grp.jp/

### パシフィックコンサルタンツ株式会社

代表取締役社長 高木 茂知

- ・地下構造物(道路、鉄道、地下空間など)のトータルマネジメント支援
- ・NATM、開削、シールドなどトンネル全般(調査、計画、設計、施工管理、保全)の総合的技術サービス

問い合わせ先：インフラエンジニアリング部(トンネル)  
〒101-8462 東京都千代田区神田錦町3-22テラススクエア13F  
TEL：03-6777-4736  
FAX：03-3296-0515  
URL http://www.pacific.co.jp/

### メトロ開発株式会社

代表取締役社長 入江 健二

- 都市トンネルに関する●土木・建築・電気設備の設計・施工監理●近接施工の渉外業務・影響検討・計測管理●土木・建築の請負工事●構築の補修工事(M&H工法)●海外都市鉄道のコンサルタント業務

問い合わせ先：技術部 技術管理課  
〒103-0001 東京都中央区日本橋小伝馬町11-9  
TEL：03-5847-7807  
FAX：03-5847-7821  
URL http://www.metro-dev.co.jp/

### 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、施工管理およびトンネル点検・調査・補修設計、とくにトンネルに関する部門を完備

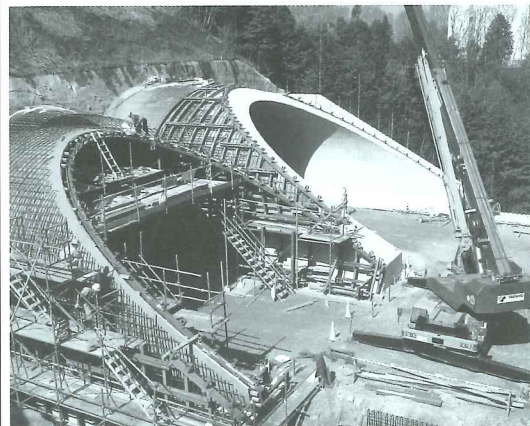
問い合わせ先：本社  
〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-24-7 冠ビル  
TEL：03-3891-0711  
FAX：03-3891-0701  
E-mail：info@road-eng.co.jp/

## 建設業

### 木部建設株式会社

代表取締役社長 木部 哲実

トンネル・ダム工事および首都高速・地下鉄工事の専門工事業者として、安全な良質施工に心掛けています。



問い合わせ先：本社 営業部 もしくはホームページより  
〒180-0005 東京都武蔵野市御殿山1-6-10  
TEL：0422-48-7221 FAX：0422-47-6967  
E-mail：t.takahashi@kibekensetsu.co.jp  
URL <http://www.kibekensetsu.com/>

### 新日本開発株式会社

グループ代表取締役 箕井 伸

トンネル補助工法（AGF、切羽補強ボルト、脚部補強工）、先進ボーリング及び前方探査、コア採取、各種パイプルーフ工事、マイクロパイル、気泡削孔、斜面安定工、重金属環境汚染対策、地盤改良工

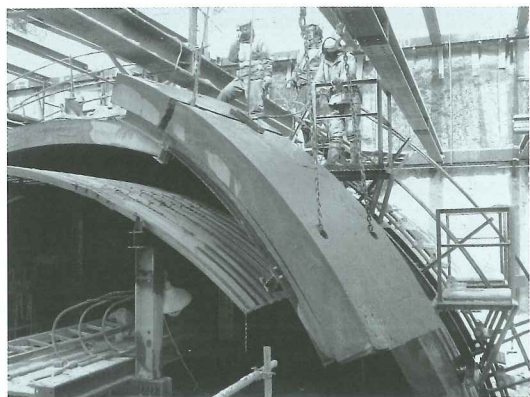
問い合わせ先：技術部  
〒550-0012 大阪府大阪市西区立売堀2-4-19  
TEL：06-6543-1175 FAX：06-6543-1170  
E-mail：info@njd.co.jp または、gijutu@njd.co.jp  
URL <http://www.njd.co.jp/>



### 第ダイヤモンド工事株式会社

代表取締役 阿部 広

裏込注入孔削孔（止水バルブ特許工法） コア削孔  
自動車トンネル床版撤去 フラットソー工法  
トンネル既設覆工撤去 ワイヤソー工法  
トンネル内既設側溝撤去 W2R工法



問い合わせ先：本社（世田谷）、営業所（仙台・埼玉・千葉・静岡・九州）  
〒157-0067 東京都世田谷区喜多見3-14-27  
TEL：03-3417-1911 FAX：03-3417-3777  
E-mail：eigyo@daiichi-diamond.co.jp  
URL <http://www.daiichi-diamond.co.jp/>

### 日本基礎技術株式会社

代表取締役社長 中原 巖

トンネル補助工事  
（トレヴィ工法・パイプルーフ工法）  
地盤汚染対策工事・ダムグラウチング工事・  
地すべり対策工事・地盤改良工事

問い合わせ先：東京本社 技術本部 技術部  
〒151-0072 東京都渋谷区幡ヶ谷1-1-12  
TEL：03-5365-2500 FAX：03-5365-2522  
E-mail：gijutsu-as@jafec.co.jp  
URL <http://www.jafec.co.jp/>

## 建設機械業

### Atlas Copco アトラスコプコ株式会社

代表取締役社長 トーマス オスタグレン

トンネルジャンボ、ファン、ヘグローダー、吹付機、坑内用トラック、ロードホールダンプ、クローラドリル、ロッドビット、ロックボルト、油圧ブレーカ

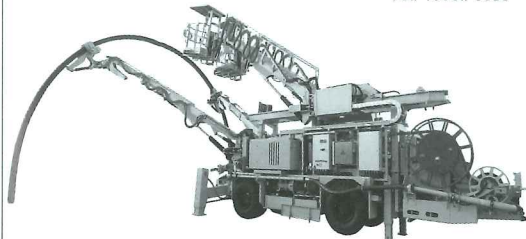
問い合わせ先：本社 土木鉱山機械事業部  
〒105-0014 東京都港区芝2-13-4住友不動産芝ビル4号館11F  
TEL：03-5765-7890 FAX：03-5765-3199  
E-mail：sales.cmt@jp.atlascopco.com  
URL <http://www.atlascopco.co.jp/>

### SANDVIK サンドビック株式会社 SMRTカンパニー

カンパニープレジデント 松本 啓志

油圧ジャンボ、ロードホールダンプ、トラック、油圧ブレーカ、コンクリート吹付機、自走式クラッシャー、油圧クローラドリル、DTHハンマー、ウォーターハンマー、ロッドビット、自由断面掘削機他

**normet**  
FOR TOUGH JOBS



### エレクター体型吹付機 ゼウス

問い合わせ先：営業部  
〒222-0033 横浜市港北区新横浜2-15-16 NMF新横浜ビル5F  
TEL：045-478-0662 FAX：045-478-0661  
E-mail：mayuko.yoshida@sandvik.com  
URL <http://sandvik-jp.com/>

### 東和機電工業株式会社 頼田工場

代表取締役 福田 雄介

各種覆工型枠、鋼構造物施工設備の設計・製造  
全断面ステンレスフォーム・円形スチールフォーム・  
組立用セントル・移動式棧橋・換気設備台車・ワー  
クステーション架台・トンネル床版撤去架台など

問い合わせ先：本社  
〒820-1111 福岡県飯塚市勢田2594-18  
TEL：0949-62-3500 FAX：0949-62-6310  
E-mail：info@towakiden.co.jp  
URL <http://www.towakiden.co.jp/>

### 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、ツインヘッダ等の掘削機、および動翼可変ピッチ制御コントラファン、エムデックス（バグフィルタ式集じん機）といったトンネル工事に用換気設備を提供しています。

問い合わせ先：営業本部 産機流体営業部  
〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2-1-1  
TEL：03-3270-2005 FAX：03-3245-0203  
E-mail：sanki@mitsuimiike.co.jp  
URL <http://www.mitsuimiike.co.jp/>

### ヤマモトロックマシン株式会社

代表取締役 山本 将登

油圧・空圧さく岩機・ドリフター、油圧・空圧クローラドリル、アタッチドリル、法面穿孔機、ロックボルト穿孔機、立坑・石材穿孔機、トンネル用油圧割岩機、電撃・静的破碎剤、製鐵所向特殊装置・灰溶融炉開孔機関連機器

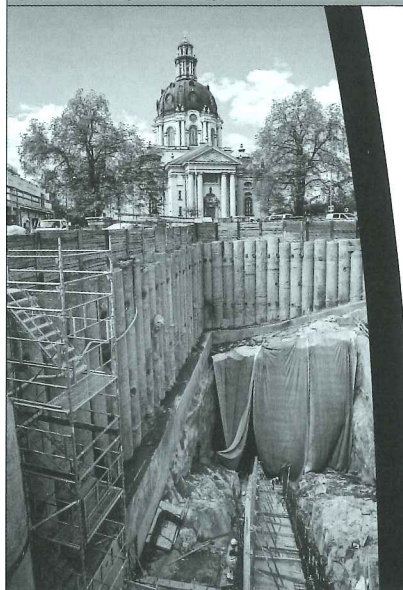


トンネル、ロックボルト孔穿孔機  
1ブームクローラドリル HCD シリーズ  
低騒音・低振動の岩盤破碎  
ピッカー HRB-1000  
HRB-1700  
HCD-101 HCD-201 HCD-301 HCD-401  
（トンネル断面 6.6~24.4 m まで対応）

問い合わせ先：東京営業所  
〒100-6309 東京都千代田区丸の内2-4-1丸ビル903区  
TEL：03-3201-0701 FAX：03-3201-5702  
E-mail：tokyo@yrm.co.jp  
URL <http://www.yrm.co.jp/>

オリカジャパン株式会社

代表取締役社長 安藤 宏



振動・騒音マネジメントソリューション

オリカおよびオリカグループでは、世界中で直面するトンネル掘削に関する多種多様なニーズや課題に対して、日々技術開発に取り組んでおります。

電子雷管eDevIIや発破設計ソフトSHOTPlus-T、遠隔自動環境計測システムNCVIBはその主な成果であり、様々な形で振動や騒音に関するソリューションをご提供いたします。



オリカジャパン株式会社

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-7-11 虎ノ門三須ビル7F Tel 03-5777-4681  
nitroconsult.com | orica.com

問い合わせ先：セールス・マーケティング部  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-7-11虎ノ門三須ビル7F TEL：03-5777-4681 FAX：03-5777-4682  
E-mail：sanae.abe@orica.com URL http://www.nitroconsult.com/ http://www.orica.com/

カヤク・ジャパン株式会社

代表取締役社長 中野 伸寿

多段式非火薬岩盤破碎剤  
ロックラック®  
ROCKRACK



問い合わせ先：営業本部  
〒130-0015 東京都墨田区横綱1-6-1(国際ファッションセンタービル9F)  
TEL：03-5637-0901 FAX：03-5637-0939  
E-mail：info.901@kayakujapan.co.jp  
URL http://www.kayakujapan.co.jp/

APEX 株式会社ジャペックス

代表取締役社長 角谷 文彦

含水爆薬(ハイジェックス、快力)、アンホ爆薬、電気雷管、導火管付雷管、電子雷管、導爆線、発破器類、発破技術サービス、爆薬遠隔装填装置セーフチャージャー、蒸気圧破碎薬(カンサイザー)

問い合わせ先：営業企画室  
〒105-0003 東京都港区西新橋1-11-5 新橋中央ビル4F  
TEL：03-3506-9061 FAX：03-3580-8244  
E-mail：japex-staff@highjex.jp  
URL http://www.highjex.jp/

施工

世界最大級断面のR&C工法で鉄道営業線直下に道路トンネルを構築

—東京外かく環状道路 京成菅野駅アンダーパス—

東日本高速道路(株)関東支社千葉工事事務所菅野平田工事長 岸 田 正 博  
京成電鉄(株)鉄道本部建設部建設課 藤 原 英 司  
清水建設(株)土木東京支店土木第一部工事長 森 本 大 介  
清水建設(株)土木技術本部技術計画部グループ長 藤 田 淳

はじめに

東京外かく環状道路(以下「外環」)は、都心から半径約15kmの位置を環状に結ぶ、計画延長約85kmの幹線道路である。首都圏中央連絡自動車道(圏央道)および首都高速道路中央環状線と併わせて首都圏3環状道路を形成し、既設の放射道路と連絡することで、首都圏の慢性的な渋滞の緩和・

環境改善、都市間の円滑なネットワークの実現などを目的に計画されている(図-1)。

本工事は、外環のうち、京成電鉄本線との交差部である菅野駅の地下に2層4径間のボックスカルバート(以下「函体」)を構築する工事である(写真-1)。

鉄道営業線線路下と交差する構造物を構築するため、軌道面への影響を最小限に抑える必要があり、非開削工法であるR&C(Roof & Culvert)工法

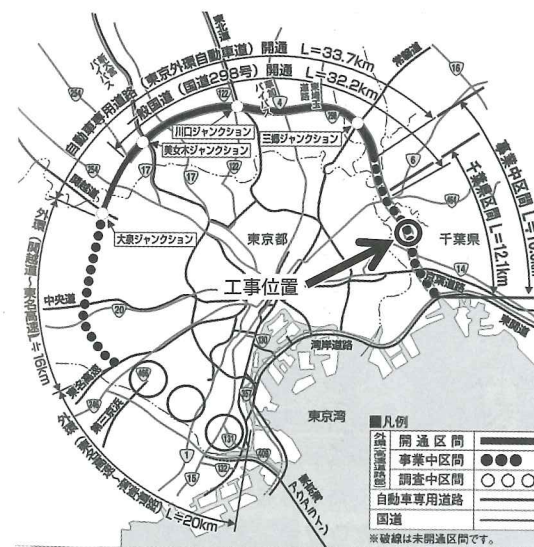


図-1 外環道路計画図(加工作成)



写真-1 菅野地区(Google earth画像をもとに作成)

を採用した。

事業者：国土交通省関東地方整備局  
東日本高速道路(株)関東支社  
発注者：京成電鉄(株)  
施工者：清水・京成・東急建設共同企業体

## 2 工事概要

### 2-1 函体概要

#### 2-1-1 函体断面

設置する函体は、高さ18.4m、幅43.8m、延長37.4mであり、この断面サイズは、R&C工法の実績において過去最大級である。上層の中央部2径間は国道298号が、両脇の空間には国道298号と

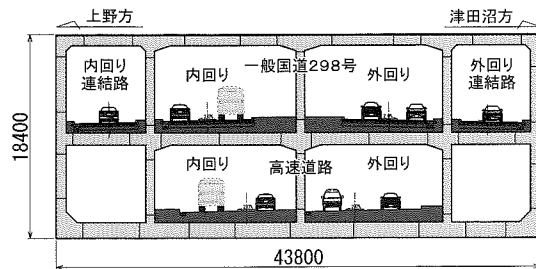


図-2 道路配置図

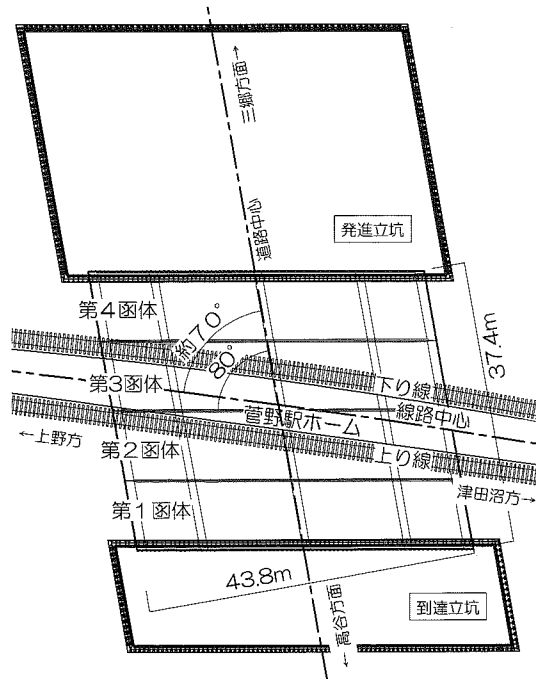


図-3 現場平面図

近接する国道14号を結ぶ連絡路(ランプ)となる。下層の中央部2径間は高速道路となる。下層の両脇の空間は、函体推進断面を矩形形状にするための空間である(図-2)。

京成本線と外環の交差角は約70°である。函体の平面形状を矩形にすると非開削距離が長くなり不経済となる。そこで、過去の実績も考慮し、平面方向に80°の斜角を取り、非開削距離を短くした(図-3)。

#### 2-1-2 函体仕様

高さ18.4m、幅43.8m、延長37.4mの函体を一体として牽引する場合の推力は約500MN(50,000tf)となり、既存の推進設備では実施困難である。そこで、函体を延長方向に4分割( $l=9.35m \times 4$ )することで、従来使用されている推進ジャッキによる施工を可能とした。また、現場作業の省力化と工程短縮を目的に、当初計画ではRC構造であった函体を鋼製のセグメント構造に変更した。変更したメリットとして、ほかに材料搬入車両の削減、牽引時の摩擦抵抗の低減、現場作業の騒音低減などがある。

### 2-2 土質条件

土質条件を表-1および図-4に示す。

函体の上床板付近はAs3層であり、均等係数が小さく崩壊性が高い砂層である。Dc1層は硬質で粘着力が大きく透水性が小さい。Ds2u層は透水性が高く、Ds2l層は細粒分が多く砂と粘性土の中間のような性質がある。

沖積砂層の自然地下水位はGL-3.0m程度、洪積砂層の被圧地下水位はGL-5.0m程度である。

### 2-3 R&C工法

R&C工法はまず、軌道の防護工として矩形断面の箱形ルーフを交差区間の全長に推進工法にて設置する。箱形ルーフは、函体の上面および側面の外縁に合致させる。その後、発進立坑側にて函体を構築し、箱形ルーフと函体を交互に到達立坑側に向かって推進させることで、箱形ルーフと函体を置換設置する地下構造物の構築工法である。

函体の上床部に位置する水平箱形ルーフの上部には、上載地盤との縁切りを目的としたフリク

ションカット鋼板(以下「FCプレート」)を設置し、函体との置換時に、FCプレートを地中に残置することで、上部地盤の変状を抑制する効果を期待している。函体の底部にはガイド導坑と呼ばれる先進導坑を5本設ける。これは在来工法にて築造する小規模な導坑で、RC造のガイドレールを内部に設置することで、函体牽引時の高さや方向の

精度向上と、牽引ケーブル(PC鋼より線)の挿入を主な目的としている。

R&C工法には推進工法と牽引工法があるが、本工事は大断面であるため、発進立坑内に大規模な盛替え鋼材を設置しなくて良い牽引工法を採用した。先行する函体は、後続の函体を反力として中押しジャッキにより推進し、最後部の函体は、

表-1 土質条件

土層名	下端深度 (GL-m)	層厚 (m)	N値	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m <sup>2</sup> )	備考
As3	7.0	7.0	15	36.7	—	均等係数3以下
Ac3	10.0	3.0	1	—	46	—
Dc1	14.0(20.0)	4.0(10.0)	3	—	137	硬質粘性土
Ds2u	25.0	11.0(5.0)	35	36.0	24	—
Ds2l	33.0	8.0	35	37.0	70	中間土

( )内は津田沼方を示す

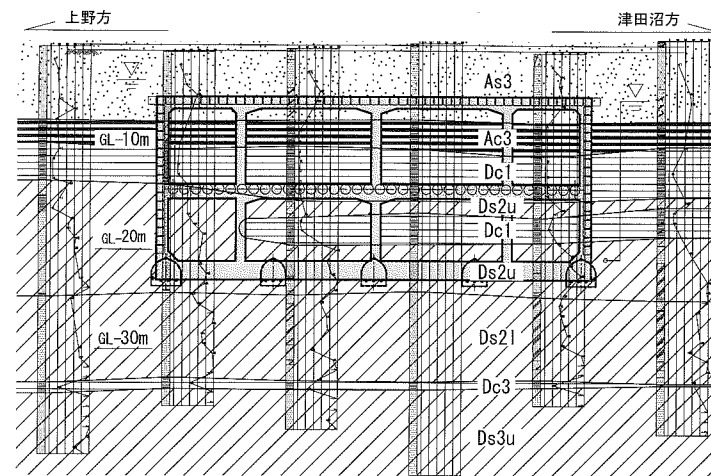


図-4 土質断面図

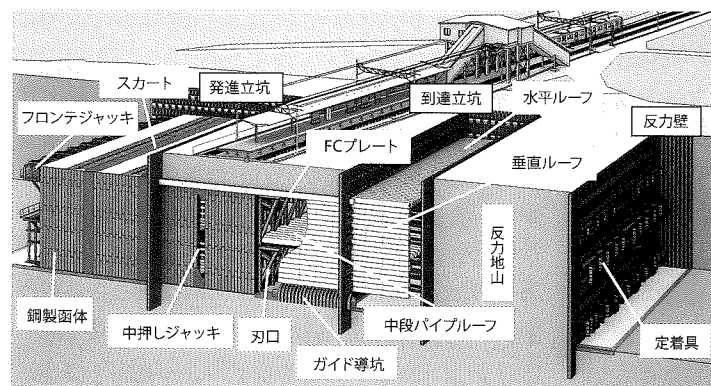


図-5 R&C工法設備図

函体の後部に設置したフロンテジャッキ(センターホールジャッキ)を用いて到達立坑背面の地山重量を反力に牽引する(図-5,6)。

発進立坑の平面寸法による制約から、牽引工は2期の分割施工とした。4分割した函体のうち、まず先行2函体を構築し、牽引する(1期)。先行2函体が地中に納まったのちに、函体後方の牽引設備を一度解体し、

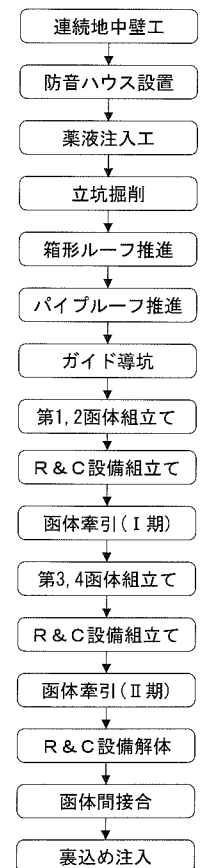


図-6 施工ステップ

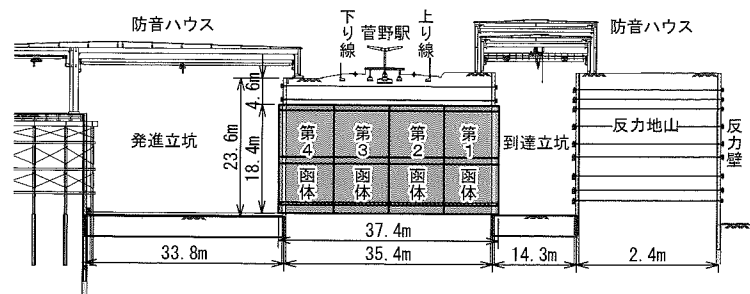


図-7 全体縦断面図

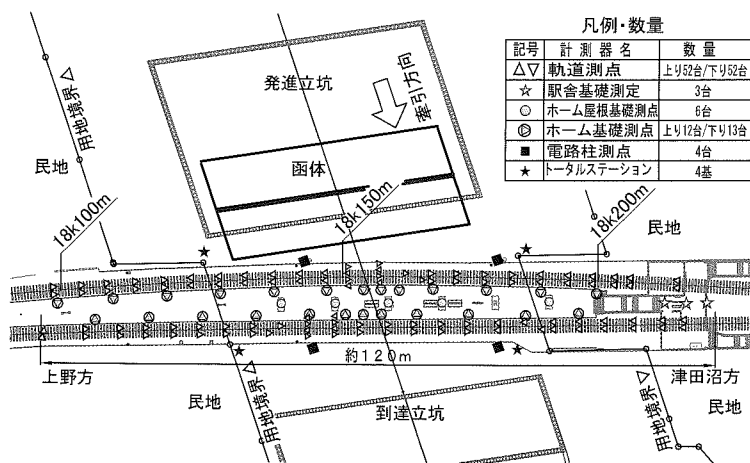


図-8 軌道計測平面図

立坑内で後行2函体を構築する。構築後、再度牽引設備を設置して4函体を牽引する(Ⅱ期)。立坑の大きさは、2函体同時に組立てられる大きさとし、夜間工事の騒音対策として防音ハウスを設置した(図-7)。

### 3 軌道計測

本工事の線路に対する影響範囲は、線路延長で約120mとなる。軌道は相対値管理(通り・高低)とし、軌道管理値の30%を1次管理値、50%を警戒値、80%を限界値として、それぞれに対処フローを定めて管理した。軌道のほか、ホーム、電路柱などの鉄道施設を含めて合計142か所の測点を4台の自動追尾式トータルステーションで常時監視した(図-8)。携帯端末での計測状況確認や管理値超過時の携帯電話へのEメール通知など、線路計測だけでなく土留め計測や函体計測を集中管理する情報化施工の体制を構築した。

## 4 大断面函体牽引の工夫

本工事で採用した大断面函体の牽引の工夫は以下のとおりである。

### 4-1 2段切羽(中段パイプルーフ)の採用

函体牽引中、常時露出する切羽の高さは、17.4mとなり、1段刃口構造では以下のことが懸念された。

- ① 切羽自立に対して対策が必要となる。
- ② 土かぶり部の地山を保持するために水平箱形ルーフを支持する刃口構造が過大となる。
- ③ 箱形ルーフ下の掘削範囲が広がるため線路への沈下などの影響が大きくなる。
- ④ 切羽上部の掘削作業は

17m以上の高所となり作業の安全を確保する必要がある。

- ⑤ 函体牽引のつど発生する掘削残土を安全、効率的に搬出する必要がある。

これらの抜本的な対策として、高さ方向の中間部分(函体の中床版の高さ)にパイプルーフ(φ1,000mm, t=16mm)を水平に配置した。切羽高さを2分割し、パイプルーフ(以下「中段P.R.」)を境に上下2か所(それぞれ「上半」「下半」と呼ぶ)で切羽掘削を行うことができた(図-9)。また、上半は一般国道部、下半は高速道路部の空間を利用して残土搬出を行い、効率化を図った。

### 4-2 鉄道および作業の安全確保の検証

2段切羽の安全性を確認するための検討フローを図-10に示す。

#### 4-2-1 刃口構造の骨組み解析

土かぶり荷重や列車荷重を上載荷重とし、上半および下半の地盤は中段P.R.や刃口部材の剛性を

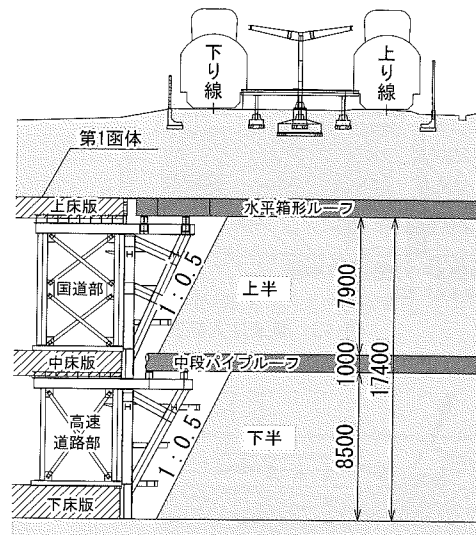


図-9 2段切羽断面図

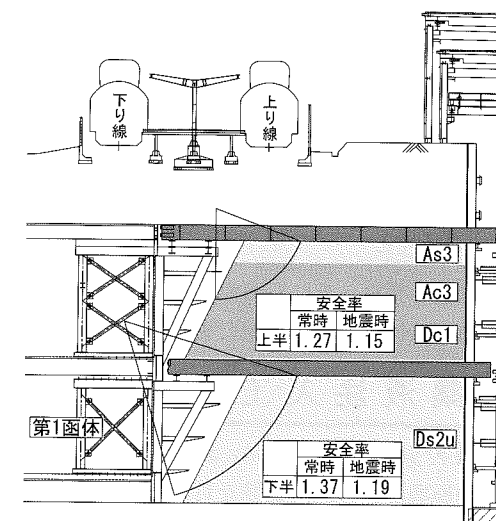


図-11 斜面安定解析

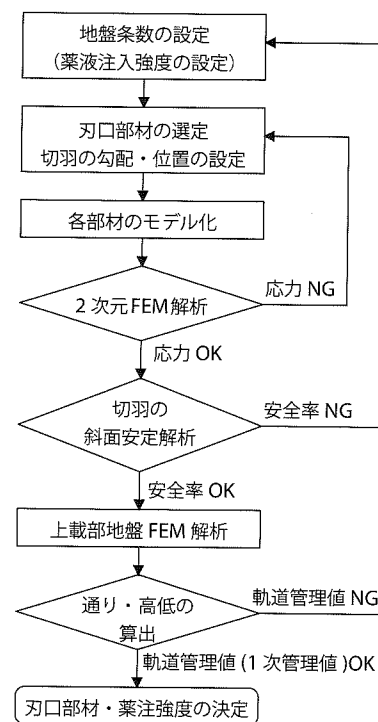


図-10 2段切羽検討フロー

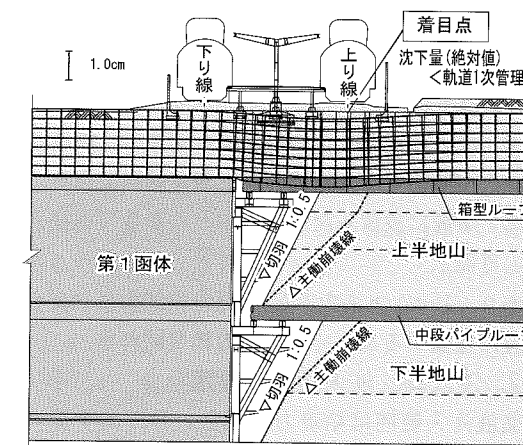


図-12 2次元FEM解析結果

は2次元骨組みモデルと同様とし、円弧滑りによる安全率を算出した。安全率は常時で1.2、地震時で1.1を確保できるように、薬液注入工で地盤を補強する計画とした(後述5章)。その結果、上半の土層で粘着力 $c=60\text{kN/m}^2$ 、下半の土層で粘着力 $c=45\text{kN/m}^2$ を確保するものとした。

#### 4-2-3 軌道変状量の算出

2段切羽の2次元骨組み解析で求められた水平箱形ルーフの変形量を強制変位で与え、地表面の軌道の沈下量を求めた。図-12に地盤FEM解析の検討図を示す。安全側に、軌道の通り・高低の1次管理値(相対管理値)を地表面沈下量(絶対値)

考慮した地盤バネを設定して刃口部材の構造解析を行った。その結果をもとに水平箱形ルーフの沈下量を算出した。

#### 4-2-2 切羽の斜面安定解析

図-11に切羽の斜面安定解析を示す。上載荷重

表-2 2段切羽の仕様

水平部 箱形ルーフ	□1,000×1,000, t=25mm(管内の一部に補強部材としてH-250×250を設置)
刃口鋼材	ルーフ受梁は形鋼に補剛材を追加
地盤改良強度 (薬液注入工)	上半: c=60kN/m <sup>2</sup> 下半: c=45kN/m <sup>2</sup>
切羽勾配	1:0.5

の許容値と考え、それを満たすように箱形ルーフや刃口の部材を表-2のように設定した。

## 5 薬液注入工

線路下への薬液注入工は、函体牽引時の止水、切羽の崩壊防止の地山補強を目的として実施した。

### 5-1 工法選定

当初、薬液注入工は、二重管ダブルバッカー工法で計画したが、鉄道下での昼間施工の実績のあった結束細管多点注入工法を採用した。本工法のメリットは、

- ① 注入速度が1~6 L/minと低速で、浸透注入が期待でき、線路への影響が低減できる。
- ② 事前に設置した注入管のどこからでも注入可能

であり、1セットあたり最大32台の注入ポンプを同時に稼働することで、工期短縮を図れる。

### 5-2 注入率、注入範囲の設定

薬液注入範囲は粘着力が大きいDc1層を除いた土層を対象とした。

#### (1) 注入範囲の設定

函体外周には箱形ルーフ推進時の緩み範囲と水頭差を考慮した改良厚さを設定した。下方はDs2l層からの出水リスクを低減するため、側部のみ薬液注範囲を下方のDc3層まで延長した(図-13)。津田沼方のDc1層の下部には介在砂層が存在しており、この砂層から出水などのリスクが考えられた。そのため、この層も注入範囲とし、注入中に注入圧力上昇の傾向が見られた場合には注入を終了することとした。

#### (2) 目標強度(粘着力)の設定

切羽の斜面安定解析をもとに設定した(前述4-2-2項参照)。

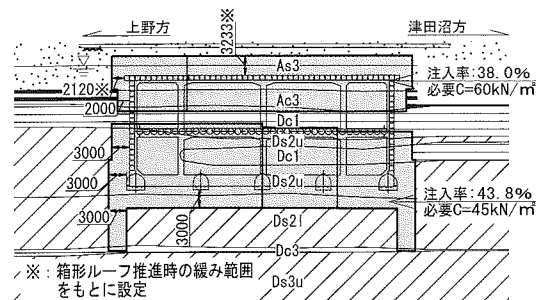


図-13 薬液注入範囲図

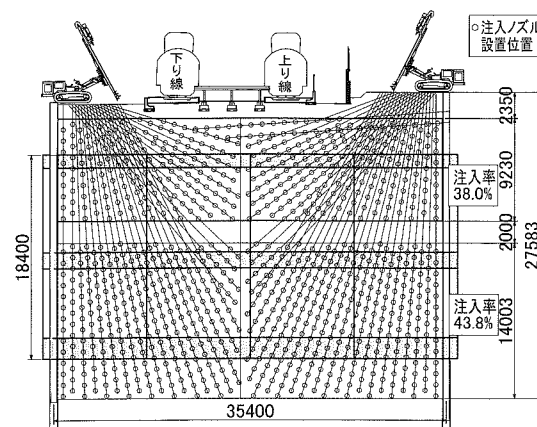


図-14 薬液注入状況図

#### (3) 目標透水係数の設定

止水目的に必要な薬液注入範囲の透水係数の設定は、有限要素法による軸対称浸透流解析により行った。与条件である切羽掘削中の周辺地盤の許容地下水低下量を設定し、それを満足する薬液注入地盤の透水係数を求めた結果、 $k = 10^{-5} \text{cm/s}$  オーダーの透水係数が必要という結果となった。

#### (4) 注入率の設定

注入率は試験施工を実施して決定した。上半(As3層, Ac3層)と下半(Ds2u層, Ds2l層)で複数の注入率による薬液注入を行い、注入後にコア供試体を取って強度を測定するとともに、現場透水試験を行って透水係数を求めた。

以上より、注入率は上半を38.0%、下半を43.8%とした。

### 5-3 施工方法

薬液注入用の注入管(先端ノズル付き外径8mm細管)は、ロータリーパーカッションによる二重

管削孔にて線路外から斜方削孔し、その孔内へ挿入することで改良範囲に均等に配置した(図-14)。削孔・注入中の線路への計測管理は、自動計測による監視に加え、手動によるレールレベルの計測を実施した。

鉄道輸送の安全を確保するため、注入工程の終盤には、注入速度や注入箇所数を低減させる必要があったが、管理値(限界値)を超過することなく施工は終了した。

## 6 箱形ルーフ工

### 6-1 水平箱形ルーフ工

当初箱形ルーフは、□800×800(t=19mm)の標準サイズであったが、①高剛性化による軌道の沈下抑制(4-2-3項参照)、②本数削減および管内作業効率の改善(工程短縮)を目的に□1,000×1,000(t=25mm)に変更した。

箱形ルーフの推進は到達立坑内に設置した構台から行った。水平箱形ルーフは、まず中央の基準管1本とその両脇計5本を基準管セットとして線路閉鎖作業にて施工した。基準管セットの施工で、線路の変状が許容内であることと、横2連刃口による切羽部の円弧滑り検討および上載部の土塊滑動検討にて安全性が確認できたため、基準管セット以降は、その左右の両端部方向に向かって2本1組、最大6組を、線路閉鎖前の22:00作業開始として施工した。

最大6か所となる切羽の位置は、上り線、下り線、ホームのそれぞれ直下に同時に2か所以上が入らないよう推進長に差をつけることで、切羽の緩み範囲がほかの組と重複しないようにし、また重点監視範囲を絞り込むことで営業線に対する安全対策とした(図-15)。

函体は、箱形ルーフと置換設置されるため、函体牽引時に上載部線路の変状を抑制するためには箱形ルーフの推進精度は高いものが要求される。そのため、箱形ルーフの掘進は人力で行った。

また、箱形ルーフ推進と同時に滑材性能のある裏込め材を注入し、ルーフ管周囲の余掘りを充填することで線路の変状抑制対策とした。

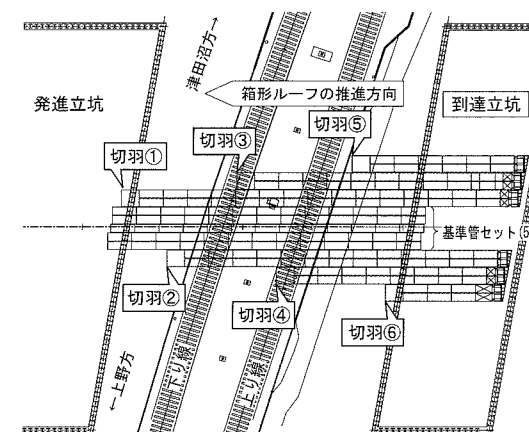


図-15 水平ルーフ12本同時推進

### 6-2 垂直箱形ルーフ工、中段パイプルーフ工

垂直箱形ルーフの推進は、上段から下段に向かって左右同時に行った。掘進は水平ルーフ下での作業となる。軌道計測のほか、水平ルーフの計測監視も行い昼夜作業にて行った。

中段P.R.は到達立坑内に設けた構台を用いて、中央の基準管以外は機械掘進とした。箱形ルーフと同様、推進中に滑材性能のある裏込め注入を実施した。また中段P.R.は箱形ルーフと違い、函体牽引時は切断撤去する(再推進しない)ため、中段P.R.の施工が完了した時点でセメント系裏込め注入を行い、線路の変状抑制をより確実なものとした。

## 7 函体製作および組立て

### 7-1 鋼製函体の設計

#### 7-1-1 設計概要

鋼製函体の設計では、主桁と継手板、スキンプレート、縦リブで構成された鋼製セグメントで函体を組み立てる構造とした。立坑内における重量制限(クレーン能力)や、運搬時の制限(道路法)により、1函体を15リングで構成し、1リングは42ピースに分割、4函体合計で2,520ピース、鋼重で約9,000tの鋼製セグメントで構成する設計とした(図-16)。

#### 7-1-2 構造解析および照査方法

構造解析モデルは、継手の千鳥配置の効果を定

量的に評価するため、セグメント本体を弾性の梁に、セグメント継手をバイリニア型のパネとして、隣接する2リングを考慮した梁-ばねモデルにより算定した(図-17)。

設計法は、性能照査型設計法で行い、非線形解析-耐力照査と線形解析-許容応力度照査を比較して、安全側の評価ができる後者によって応答値を算定し、構造の安全確保と設計作業の合理化を図った。

函体には面外方向にジャッキ推力が作用するため、施工時荷重に対する検討も実施した。

7-1-3 その他の設計

(1) 止水

リング間、ピース間は2重の水膨張性シール、

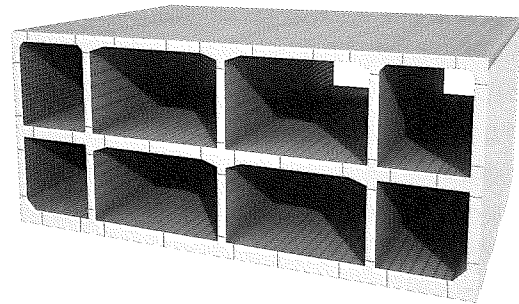


図-16 鋼製函体のイメージ

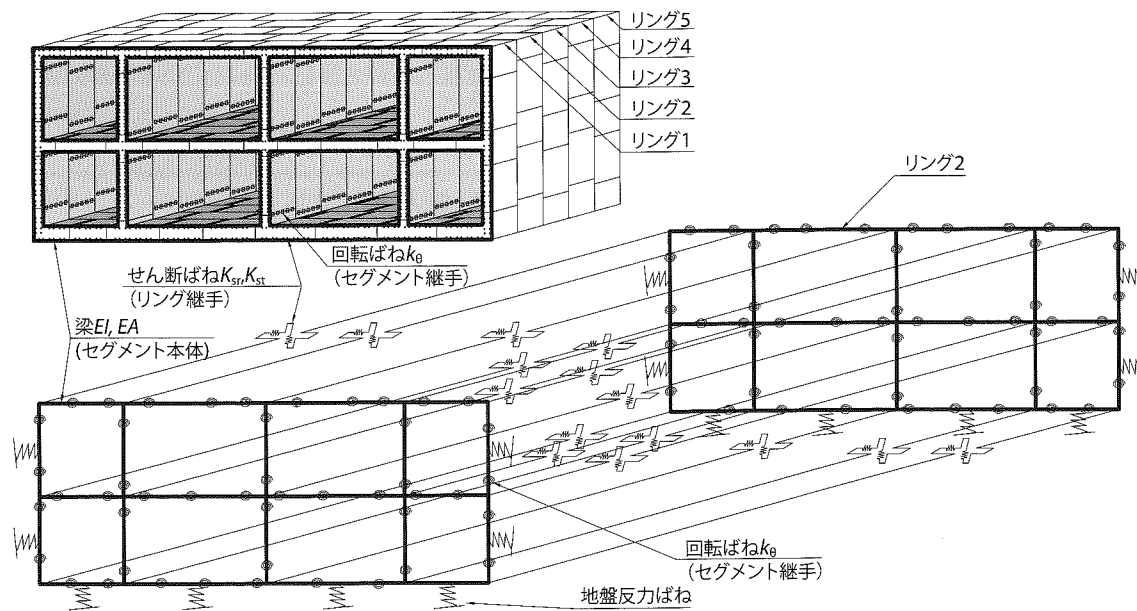


図-17 梁-ばねモデル概要図

函体間は可撓性止水ジョイントとし、両者の接続部やピース間の(製作、施工誤差による)目違い、目開きに対応できるようモックアップ止水試験を実施して収まりを決定した。

(2) 耐火

気中の対流を考慮した熱伝導解析<sup>2)</sup>にもとづき、セグメント一般部は耐火パネル、函体接続部は可撓性を有する耐火ブランケットによる耐火仕様を設定した(施工は所掌外)。

(3) 防食塗装

函体外面は腐食代、摩耗代を考慮し、函体内面は重防食塗装により耐久性を確保した。

(4) 衝突防護

車道部は壁セグメント内の所定高さまでモルタルを中詰めし、車両の衝突防護とした。

(5) 浮き上がり対策

床板にはコンクリートの中詰めし、浮き上がりを防止した(施工時と供用時の路床を兼ねる)。コンクリートの強度は設計上、考慮していないが、剛性については考慮した場合と考慮しない場合の両ケースについて安全性を確認した。

7-2 鋼製函体の製作

工場製作工程が限られていたため、製作はメー

カー3社で行った。以下の理由からセグメントは高い製作精度が求められた。

- ① 止水性能を確保すること(円形シールドと比較して継手部に軸圧縮力が作用しないため)。
- ② 製品精度のばらつきによるリング間の凹凸などが生じると、牽引時の推力が効率的に伝達されなかったり、部材の局部変形を発生させてしまうこと。

そこで、1/40模型による製作手順のシミュレーションや原寸大フィルムによる寸法確認、実物2リングの仮組み検査などを行って製作精度を確保した。

工場検査ではそのほかに、セグメントの止水性能試験として溶接部のカラーチェック、函体の強度性能の確認として継手曲げ試験を行った。

7-3 鋼製函体の組立て

函体の止水性を確保するため、継手部に設置する止水シールはボルトにて確実に締め付ける(密着させる)必要がある。このため、セグメントの組立ては函体断面方向(リングごと)に進めなければならないが、1リングの幅は60cm程度のため、高さ18.4m、幅43.8mに対して組立て時は不安定な状態となる。また、第1函体の先頭には函体内空に一部の部材が入り込むかたちで、鋼重約640tの刃口を設置する必要があり、組立て時の課題となっていた。

そこで土留め壁から仮支保鋼材を設置して施工中の安定を図り、刃口鋼材とセグメント組立てを並行して行った。また、セグメント接続時の部材の仮受けおよび組立て用足場の機能を兼ねた移動

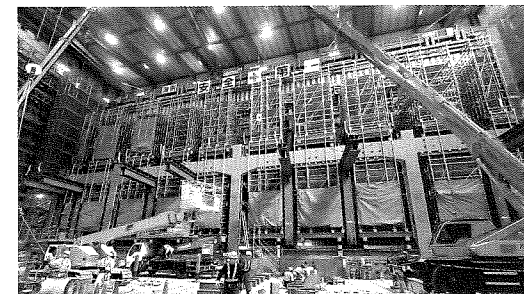


写真-2 鋼製セグメント函体組立て状況

式足場を考案し、第1函体の先頭から1リングごとに組立てを行った(写真-2)。

8 函体牽引工

8-1 牽引設備の設置

函体牽引の主な設備を表-3に示す。刃口が設置されている第1函体はもっとも重量が大きく7,800tであり、設計推力は170MNとなる。これに対し、装備推力は202MNを確保した。

8-2 函体推進および牽引

函体牽引工の施工サイクルを図-18に示す。

1回の函体牽引量は掘削・排土の施工量の制約から約20cm程度である。切羽の掘削は昼夜間作業で行った。切羽の上半と下半それぞれで、ルーフ直下は人力による掘削、その下は人力掘削とバックホーによる機械掘削を併用した(図-19、写真-3)。切羽掘削後、中段P.R.の切断撤去、ガイド導坑の撤去を実施した。薬液注入の効果により、切羽は終始安定しており、緊急用として刃口前面に設置していた土留めジャッキ(フェースジャッキ)を使用することなく切羽掘削を行うことができた。箱形ルーフの推進、函体牽引は原則として線路閉鎖作業で行った。

箱形ルーフはルーフジャッキ(1,500kN×4台)を用いて、第1函体を反力として到達立坑側へ推進させるが、函体牽引開始直後は箱形ルーフが長

表-3 主要牽引設備

名称	設置位置/仕様	数量
刃口鋼材	第1函体前面	644.4t
スカート鋼材	函体間	426.2t
反力鋼材	反力壁	159.1t
ジャッキ架台	函体間・後方	283.8t
中押しジャッキ	第1函体後方/1,500kN	135台
中押しジャッキ	第2函体後方/1,500kN	104台
中押しジャッキ	第3函体後方/1,500kN	104台
牽引ジャッキ	第4函体牽引/1,500kN	134台
ルーフジャッキ	箱形ルーフ内/1,500kN	268台
FCプレート制御	函体上部/1,500kN	24台
補助推進ジャッキ	補助推力用/1,500kN	20台
フェースジャッキ	切羽/300kN(緊急用)	320台

1日目		時刻	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
発進立坑	函体内部		切羽掘削・残土排土													切羽掘削・残土排土											
	函体外		残土集積、運搬(ダンプ積込み、場外搬出)													残土集積、仮置き											
到達立坑・線路内			(到達側)箱形ルーフ撤去、搬出													(線路内)軌道検測・軌道監視											
※垂直ルーフ推進は線路閉鎖前に実施																											
2日目		時刻	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	
発進立坑	函体内部		中断P.R.切断撤去、ガイド導坑撤去													牽引準備(牽引ケーブル定着盛替えなど)											
	函体外		残土、発生材運搬、荷上げ、搬出													函体推進・牽引											
到達立坑・線路内			残土集積、運搬(ダンプ積込み、場外搬出)													牽引準備(安全設備盛替えなど)											
(線路内)軌道検測・軌道監視																											

図-18 函体牽引施工サイクル

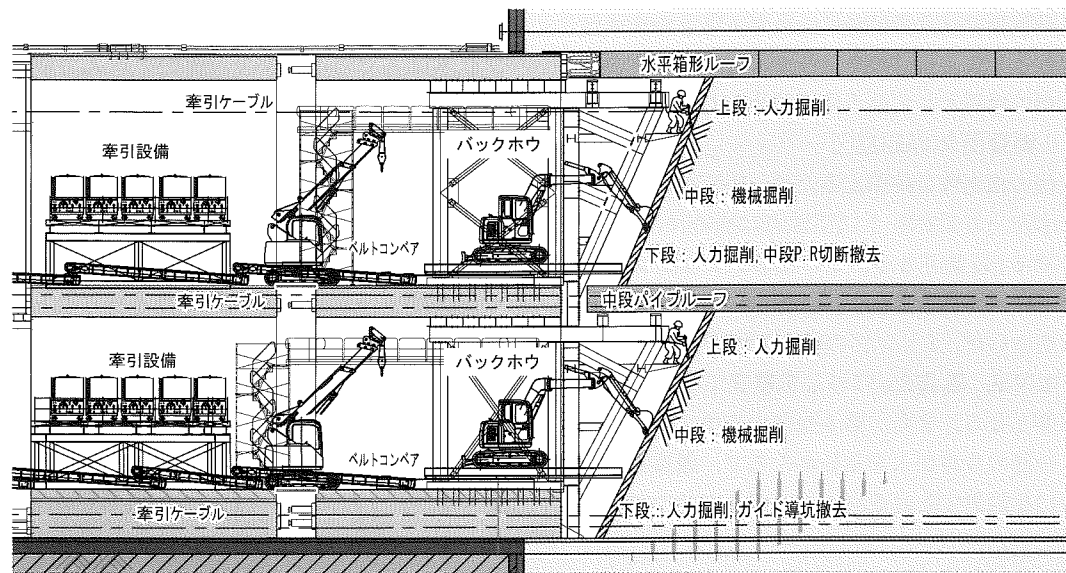


図-19 切羽掘削状況図



写真-3 切羽掘削状況

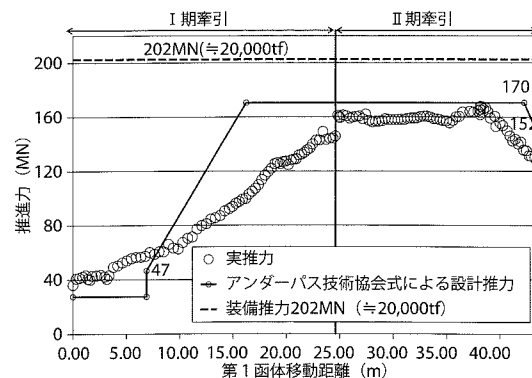


図-20 第1函体推力グラフ

期間存置(最長12か月)されていたことが影響したためか、一部の箱形ルーフで4本のジャッキでは推進することができず、到達立坑側にもジャッキを設置して推力を増強した。

函体の牽引力は周面摩擦が支配的であり、土中に函体が入るほど牽引力は大きくなる。函体の外周には土圧計と周面摩擦計を取り付け、ジャッキ油圧(推力)も計測し、設計値と比較しながら推進を実施した。

本工事における第1函体の推進力の計測結果を図-20に示す。I期牽引では、発進立坑内の函体の移動(空牽引)時から推力は漸増し、第1函体がすべて地中に入ったのちも増加傾向を示した。II期牽引では推力は設計値とほぼ等しくなり一定の値で推移した。II期牽引では約3か月、函体を地中で静置したあとであり、摩擦力が均一に作用したものと考えられる。最大推力は設計推力とほぼ等しく、ジャッキ能力の88%程度となった。

I期牽引では2日に1回の牽引作業としたが、II期牽引の途中から施工に伴う予期せぬ振動が発生し、近隣への配慮のため一時施工中断を余儀なくされたため、作業の効率化と昼夜3交代制を行うことによって工期を維持した。

### 8-3 函体牽引時の計測

函体には面外方向から函体牽引に伴うジャッキ荷重が作用するため、施工時は非常に複雑な応力状態となる。そこで、事前の3次元FEM解析で、施工に伴うジャッキの偏荷重を考慮した

函体内応力度と相対変位量を予測し、各々の許容値を設定した(図-21)。その結果をもとにセグメント内265か所に歪計を設置し、函体内応力度と相対変位量を測定した。

また、第1函体は推進精度を保ちつつ、函体内に発生する応力度をコントロールする必要がある。そこで函体前面の9か所をレーザー距離計で常に計測し、函体の姿勢や変形量を把握した。第1函体推進用の多数の中押しジャッキは13のグループに分割し(うち、8グループはパソコンによる集中制御を実施)、推進中に函体の姿勢悪化や函体応力増大時にはジャッキ推力をグループごとにコントロールした(図-22)。その結果、函体内の応力度は最大でも許容値の35%以内に収まった。

## 9 函体間接合および最終緊張

第1函体が所定位置に到達後、中押しジャッキを順次撤去して函体間接合を行った。その後、止水ジョイントの取付けを行った。

第1～4函体はそれぞれ独立した構造となつて

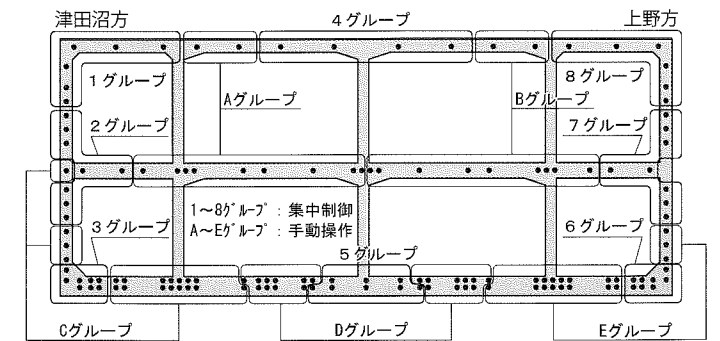


図-22 第1函体中押しジャッキグループ分け

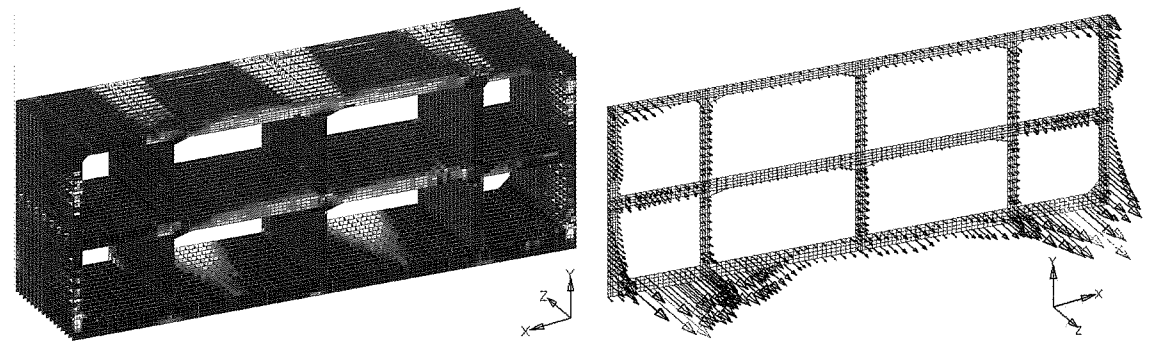


図-21 函体の3次元FEM解析(左: 応力分布, 右: リング間ボルトせん断力)

いるが、牽引で使用した牽引ケーブルの1/3程度を利用して4函体を連結する最終緊張(縦締め)を行った。その後、牽引ケーブル挿入用の水平孔、函体外周面などにもセメント系グラウトを充填して工事を完了した(写真-4)。

## 10 おわりに

本工事はR&C工法としては前例のない断面(断面積約800m<sup>2</sup>、高さ18.4m、2層構造)の函体牽引工事であった。

線路の変状については、一連の工事の中で適時、軌道整備を実施することで軌道の限界値を超過することなく営業線の安全運行を確保した。

2010(平成22)年に工事を着手し、さまざまな技術検討と、慎重な施工管理を行い、約6年の歳月を経て2016(平成28)年3月に無事、本体工事が完了した。

現在、供用に向けた附帯工事や、隣接工区による一般開削部の躯体構築などを行っており、2017

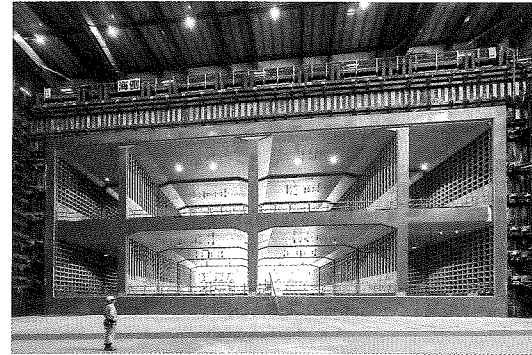


写真-4 完成写真

(平成29)年度を開通目標としている。

## 参考文献

- 1) 首都国道事務所:東京外かく環状道路(通称外環),事業の概要,外環千葉区間([http://www.ktr.mlit.go.jp/syuto/syuto\\_index009.html](http://www.ktr.mlit.go.jp/syuto/syuto_index009.html)).
- 2) 清宮理・中井章裕:耐火板を設置した合成構造部材の熱伝導挙動に関する数値解析,第8回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム,2009.11.

# 施工

## シールド切替型推進工法により急曲線・長距離で下水道管を布設

—東京下水道 江東区北砂五丁目,南砂一丁目付近再構築—

東京都下水道局東部第一下水道事務所建設課課長代理 樋川 隆 広  
 東京都下水道局東部第一下水道事務所建設課工事担当 嶋田 慎 司  
 前田・東洋・りんかい日産建設特別共同企業体 五十嵐 善 行  
 デュアルシールド工法協会事務局長 中村 浩

## 1 はじめに

東京都では、耐用年数を超過した下水道管が約1,800kmにも及び、その対策が急務となっている。加えて、近年多発している局所的集中豪雨により、下水道管の能力に起因する内水氾濫も多く発生している。この状況のもと、老朽化対策と雨水排除能力の向上を目指して、東京都では下水道管の「再構築」を進めている。この再構築にあたっては、下水道の能力を増強させるため「主要枝線」として、比較的管径の大きい下水道管を新たに整備する場合がある。しかし、市街化が著しく、ルートが限られた中で主要枝線を敷設しなければならない場合、課題も多い施工となる。

ここで紹介するシールド切替型推進工法は、推進工法では施工できない急曲線部をシールド工法に切り替えて施工することで、この課題解決が図れる工法であり、併せてコスト縮減、工期短縮にも貢献できるものである(図-1)。本稿では、長距離で防爆仕様のシールド切替型推進工法の施工事例を紹介する。

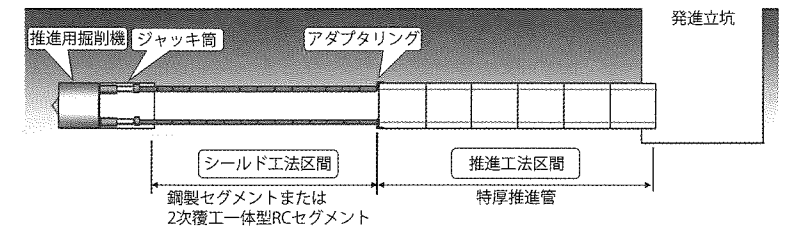


図-1 シールド切替型推進工法の概要

## 2 工事概要

本工事場所は都営地下鉄新宿線「大島駅」より徒歩15分程度の場所で、北砂商店街が近く建物の密集した場所である(図-2)。近年、局地的な集中豪雨の頻発により一部の地区で浸水が発生している。このため、本工事は北砂地区の雨水排除能力の増強を図る目的で主要枝線の新設を行い、再構築を実施するものである。

工 事 件 名: 江東区北砂五丁目,南砂一丁目  
 付近再構築工事

発 注 者: 東京都下水道局

請 負 業 者: 前田・東洋・りんかい日産建設  
 特別共同企業体

施 工 場 所: 江東区北砂二,三,五丁目,南  
 砂一丁目

## 推進工法の理論と実際

B5判 437頁 本体価格8,500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。



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

施工区分：夜間施工(即日開放、20時～翌朝6時まで)  
 仕上がり内径：1,500mm  
 施工延長：全延長=1,439.2m  
 推進区間=633.2m  
 シールド区間=806.0m  
 曲線箇所：6か所  
 曲線区間：22.40m  
 曲線条件：R=150×3, 40×1, 15×2  
 土質条件：シルト, 砂 N=0~15  
 工法：シールド切替型推進工法

### 3 シールド切替型推進工法の施工の主な対応

#### 3-1 防爆仕様の採用

本工事箇所は南関東ガス田区域内に位置するためメタンガスの発生が懸念された(図-3参照)。工事路線上の3つの立坑位置でガス調査を実施したところ、規定の5.0%を超えるメタンガスの含有が確認されたため、シールド切替型推進工法では初めてとなる防爆仕様を行うこととなった。

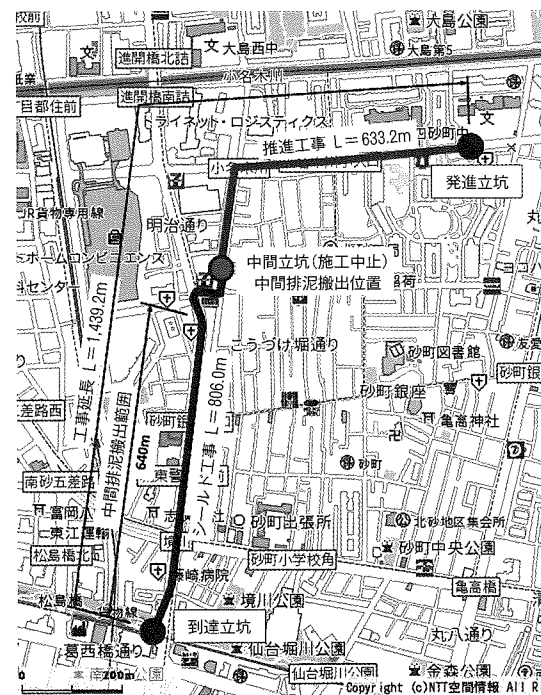


図-2 平面図

- (1) 防爆範囲と危険場所の設定  
 「掘進機長+5D」(D:掘進機外径)の位置にエアカーテンを設置し、危険範囲を設定し、メタンガスの発生箇所を限定することで集中的に管理することとした<sup>5)</sup>。
- (2) 掘進機内の機器  
 危険範囲内には防爆対策仕様とした機器(表-1)

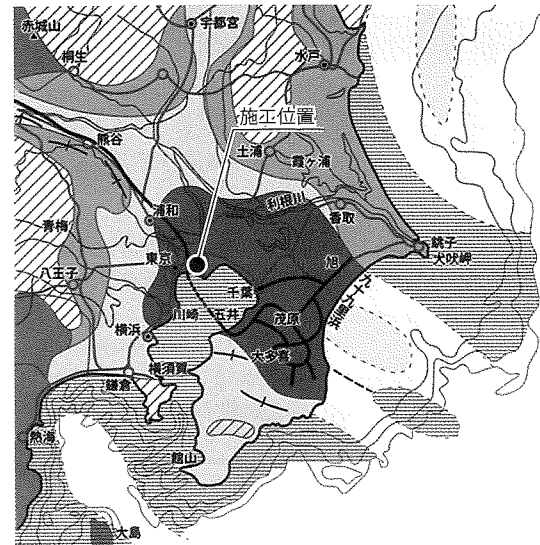


図-3 南関東ガス田の分布

表-1 掘進機防爆機器リスト

計測項目	使用計測器	防爆種別
土	土圧計	本質防爆
シールドジャッキストローク	ストローク計	本質防爆
中折れジャッキストローク	ストローク計	本質防爆
カット回転検知	近接スイッチ	本質防爆
コピー作動位置	近接スイッチ	本質防爆
ローリング・傾斜計	傾斜計	耐圧防爆
減速付き電動機	電動機	耐圧防爆
中折れジャッキ選択	電磁切替弁	耐圧防爆
エレクトラ操作	電磁切替弁	耐圧防爆
チャンバゲート	電磁切替弁	耐圧防爆

その他：機内バッテリー付き蛍光灯、パトライト、エレクトラ操作盤などは耐圧防爆とした。

を装備し、発火のおそれのある制御盤や油圧ユニットなどを載せる後続台車はエアカーテンから後ろの非危険範囲に設置することとした。これによりメタンガス濃度が上昇しても安全が確保される。

#### (3) 換気設備

本工事では集中・送・排気組合せ方式を採用し、エアカーテン、排気用換気ファンおよび送気用換気ファンを設置した(表-2, 図-4参照)。危険範囲内は空気を攪拌・移動し坑内風速1.0m/s以上、非危険範囲は坑内風速0.5m/s以上の基準を確保した<sup>6)</sup>。

表-2 主要換気設備の目的

使用機器	設置場所	目的	使用管径
エアカーテン	後続台車	危険区分の明確化	—
排気用換気ファン	地上	排気	φ350
送気用換気ファン	後続台車	送気	φ200

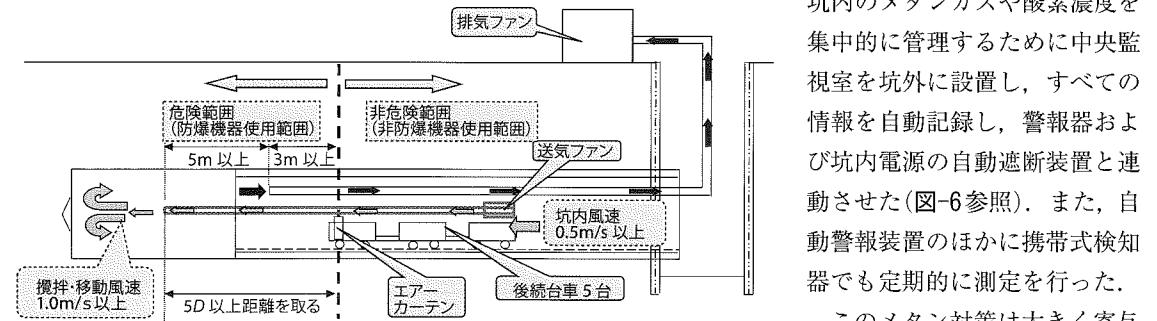


図-4 防爆範囲・換気設備図

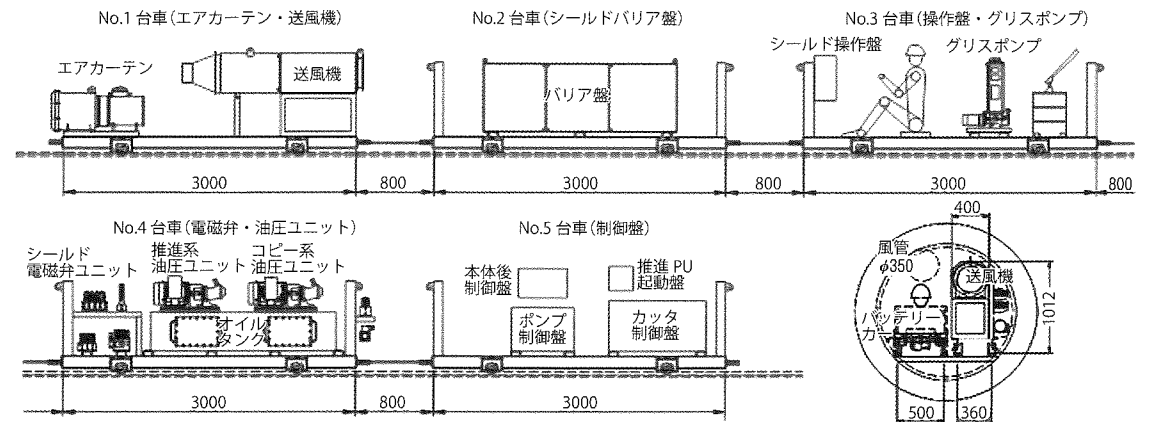


図-5 後続台車配置図

#### (4) 後続台車

非危険範囲の後続台車配置を図-5に示す。エアカーテン、掘進機用制御盤、運転席、油圧タンクなど5台を配車した。この際、急曲線施工時台車は外側に振れるため、セグメント運搬台車が後続台車脇を安全に通過できるか確認しながら施工した。

#### (5) 自動警報装置および測定方法

一般に泥濃式推進は「メタン対策(防爆)」を不得意としている。その理由は切羽部で掘削土が排土バケット内で露出し、メタンが発生する可能性が高いことにある。このため本工事ではエアカーテンにより危険範囲を区分して集中的に管理するとともに、「集中・送・排気組合せ方式」を採用し坑内風速の基準を満たした。

自動警報装置はメタンガス濃度に応じて2段階接点を有するものとし、1段階目で警報を発し2段階目で電源遮断を行う構造のものとした。また、坑内のメタンガスや酸素濃度を集中的に管理するために中央監視室を坑外に設置し、すべての情報を自動記録し、警報器および坑内電源の自動遮断装置と連動させた(図-6参照)。また、自動警報装置のほかに携帯式検知器でも定期的に測定を行った。このメタン対策は大きく寄与

し、施工中に自動警報および携帯式検知器での異常値は計測されなかった。

### 3-2 長距離掘進へ向けた排泥計画

本工事は中間立坑部に中継排泥設備を設置し、2段階で発進立坑に排泥する計画であったが(図-2, 7参照)密集した住宅地での中間立坑の構築を中止せざるを得なくなった。さらに道路幅員も狭く、地上に中継排泥設備に替わるものを設けるこ

とは、きわめて困難となった。

そこで、発進立坑にバキュームユニットを増設し吸引力を増すとともに、長距離の排泥を可能とするため加泥材の添加量を増加した。また、中間立坑施工予定位置に路上から仮設配管を設置、バキューム車のタンクを圧力容器として使用して排泥を地上に排出する方法を実施した。その結果、中間の位置で地上に排泥することが可能となり長距離掘進が実現した。

本工事は、中間立坑用地の確保が困難であり、中継排泥施設の設置が難しい状況にあったが、土質条件、立坑深さを考慮すると途中で排泥処理が必要と考えられた。この排泥方法は、立坑を設置せず排泥を行うための有効な手段になる。

### 3-3 既設護岸下松杭内の掘進

今回、施工に際して行った事前調査の探査ボーリング(写真-1)の結果、シールド路線上に旧仙台堀川護岸の残置が確認さ

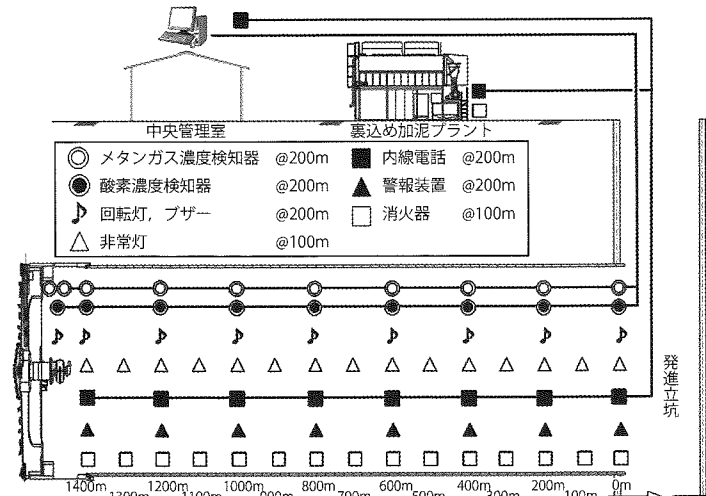


図-6 坑内自動警報装置他設置図

表-3 施工実績

(2017(平成29)年1月現在)

番号	発注者・件名	プラント設置形式	仕上がり内径	延長, 最小曲線半径	備考
①	東京都下水道局・谷川幹線その15工事	定置プラント	φ1,800	277.4m, R=12	RC中詰め鋼製セグメント
②	東京都下水道局・豊島区西ヶ原再構築	定置プラント	φ1,650	402.3m, R=10	
③	東京都下水道局・豊島区駒込四再構築	定置プラント	φ1,350	745.1m, R=12	
④	東京都下水道局・足立区千住再構築	定置プラント	φ1,100	627.2m, R=10	
⑤	東京都下水道局・豊島区南池袋再構築	定置プラント	φ1,350	684.9m, R=10	
⑥	東京都下水道局・豊島区駒込五再構築	道路下プラント	φ1,100	894.6m, R=13	
⑦	東京都下水道局・雨水貯留取返水工事	道路下プラント	φ1,500	176.3m, R=10	
⑧	東京都下水道局・荒川区南千住再構築	定置プラント	φ1,350	252.8m, R=12	
⑨	東京都下水道局・北区中十条二再構築	道路下プラント	φ1,100	667.4m, R=12	JR埼京線横断
⑩	東京都下水道局・台東区清川再構築	定置プラント	φ1,500	428.1m, R=10	
⑪	東京都下水道局・豊島区目白二再構築	道路下プラント	φ1,350	528.9m, R=10	
⑫	東京都下水道局・練馬区大泉二再構築	定置プラント	φ1,650	1,076.5m, R=15	巨礫層
⑬	東京都下水道局・江東区北砂五再構築	定置プラント	φ1,500	1,439.2m, R=15	防爆仕様, 長距離掘進
⑭	東京都下水道局・江東区木場一再構築	定置プラント	φ1,500	1,000.3m, R=20	防爆仕様, 大土かぶり20m
⑮	東京品川区・浜川雨水管その2建設	定置プラント	φ1,100	221.1m, R=10	
⑯	千葉県船橋市・二重川雨水	定置プラント	φ2,200	961.6m, R=15	2次覆工省略型

れ基礎が松杭であることが判明した。旧護岸基礎を撤去することは難しく、検討の結果、掘進機で松杭を切削しながら掘進する方法を採用することとした。

そこでJSGによる地盤改良を行い(図-8)、松杭切断に伴う地上への影響回避および掘進時の松杭取込みによる閉塞トラブル回避を図った。これに

より松杭と周辺地盤を一体化させ、地上の地盤沈下を抑制し松杭を切削しながらの掘進が可能となった。また、松杭の切削を容易にするため掘進機のビットを変更し、掘進速度(ジャッキスピード)を1/3(3.3mm/min)に落として掘進した(図-9)。

### 3-4 急曲線部の施工方法

今回シールド掘進を行う土質条件はN値0の軟弱シルト層であり急曲線部の線形を確保するためには、

- ① 急曲線部のセグメントの裏込めを確実にしジャッキ反力を確保すること
- ② 掘進機のローリング対策を確実にすること
- ③ セグメントの目開きを防止すること

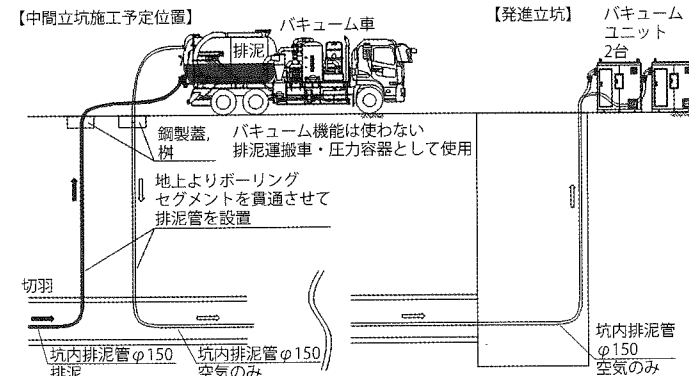


図-7 中間排泥排出イメージ図

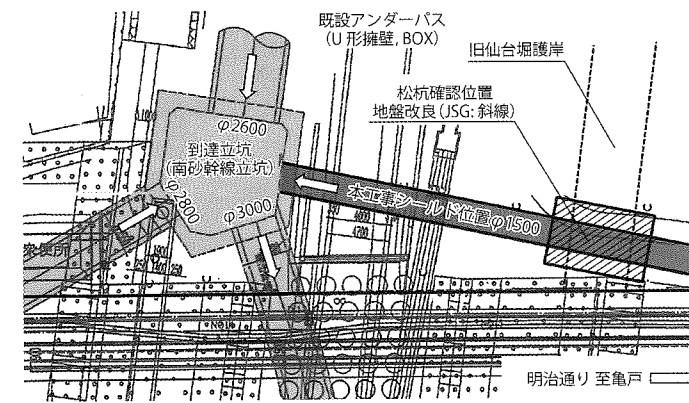


図-8 旧護岸位置および地盤改良実施図

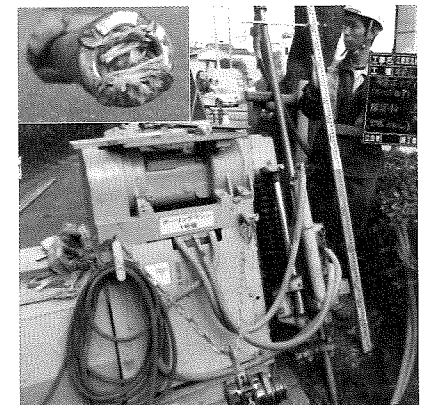


写真-1 探査ボーリング

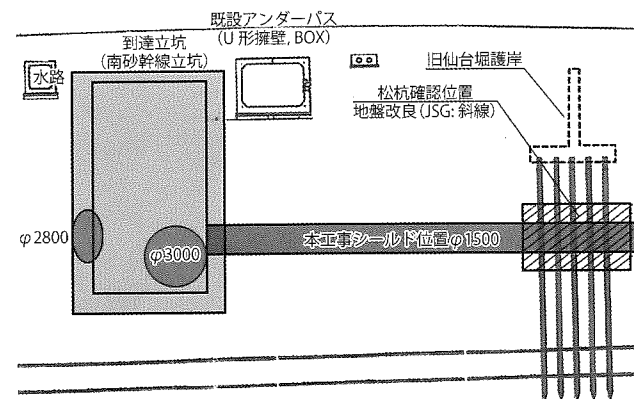


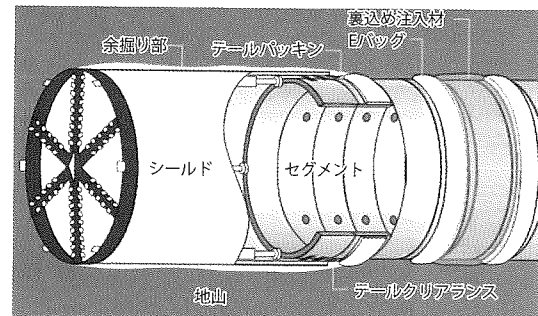
図-9 先行ビット

が重要となる。

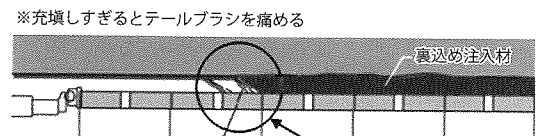
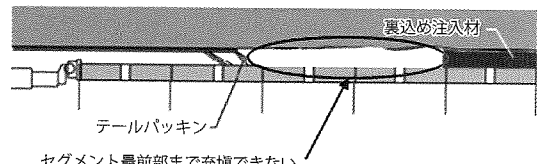
以下に施工時に行った対策を述べる。

(1) 袋付きセグメント(Eバッグ)の使用

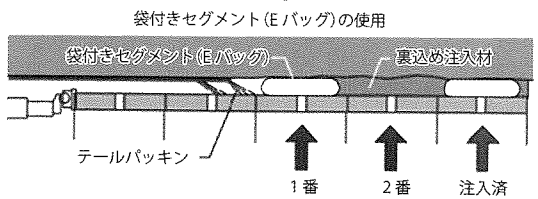
急曲線部でジャッキ反力を確実に得るには、掘削と同時に裏込め材を充填しセグメントの最前部まで確実に固定させ、掘進機を支持することが必要である。しかしながら、本工事の小口径の掘進機では裏込め材の同時注入装置は装着不可であるため、「袋付きセグメント」を使用しセグメント最前部まで確実に裏込め材を充填するようにした。事前にセグメントに貼り付けたEバッグがテールパッキン通過後、Eバッグ内に裏込め材を充填し



※裏込め充填が足りないと十分なジャッキ反力がとれない



テールパッキン直近まで裏込めすると  
ブラシが固まり、漏水のリスクが高まる



Eバッグに裏込め材を充填し前方に壁を作ったのち  
その後方を充填する(1番→2番、これをくり返す)

図-10 袋付きセグメント(Eバッグ)説明図

リング状の壁を作る。その後方に裏込め材を注入することによりテールパッキン直近まで裏込め材を充填することが可能となり、確実にジャッキ反力を得ることができた(図-10)。

(2) セグメントとスプレッタをブルマンで固定

本工事では、掘進機のローリング対策としてスタビライザーを保有しているが、N値0の軟弱シルト層であるため、追加対策として固定物であるセグメントとスプレッタをブルマンで固定しローリングを防止した(図-11)。

(3) セグメント相互をブルマンで固定

急曲線の施工において掘進機の線形確保、真円の確保、止水性の点からセグメントの目開きを避けなければならない。本工事においてはセグメントの目開きを防止するため急曲線部(R=15m)のセグメント相互をブルマンで緊結して目開きを防止した(写真-2)。

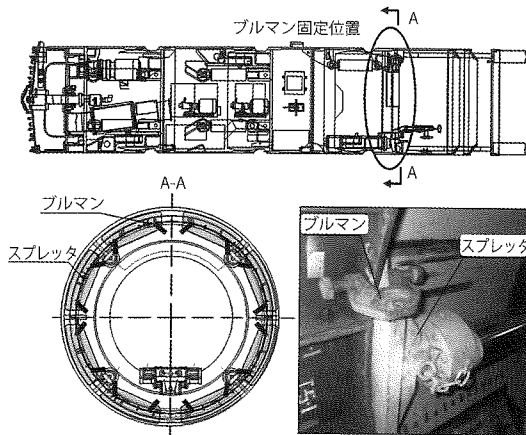


図-11 ブルマン固定位置図

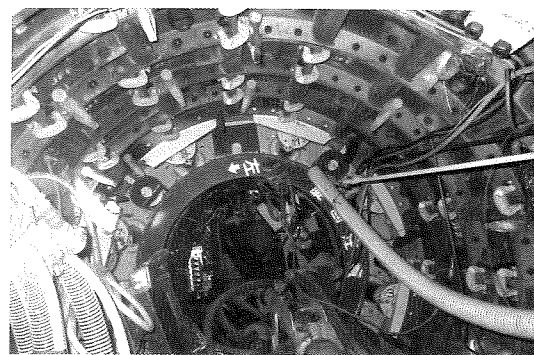


写真-2 ブルマン固定写真

(1)~(3)の対策により急曲線部の線形を確保し、セグメントの目開きもなく工事を終了することができた。

3-5 既設到達人孔へのマシン到達方法(バルクヘッド方式による到達)

当初、掘進機の既設人孔への到達にあたっては、

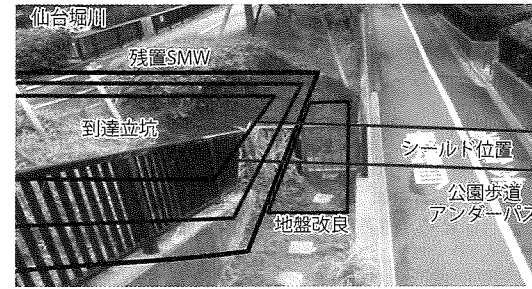


写真-3 掘進機到達部地上写真

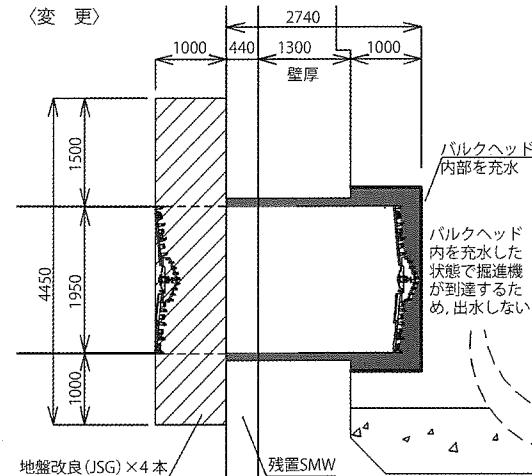
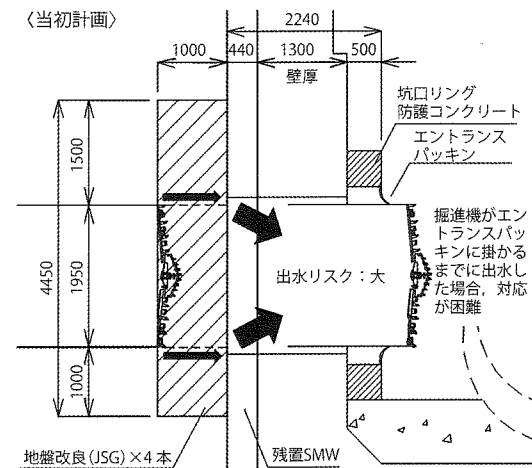


図-12 掘進機到達方法変更図

地盤改良による到達防護とエントランスパッキンの設置により対応することを考えており、掘進機到達部の土かぶり11m、到達防護の地盤改良部分の上部が砂質土であることを考えると、一般的には止水ゾーンとして掘進機長+1.0mの地盤改良必要であった。しかし、路線直上に公園の歩行者用アンダーパスがあるため、地盤改良が施工できる範囲が限定され、必要とする範囲の改良が困難な状況にあった(写真-3)。

到達時には残置SMW壁と既設人孔の壁厚分を

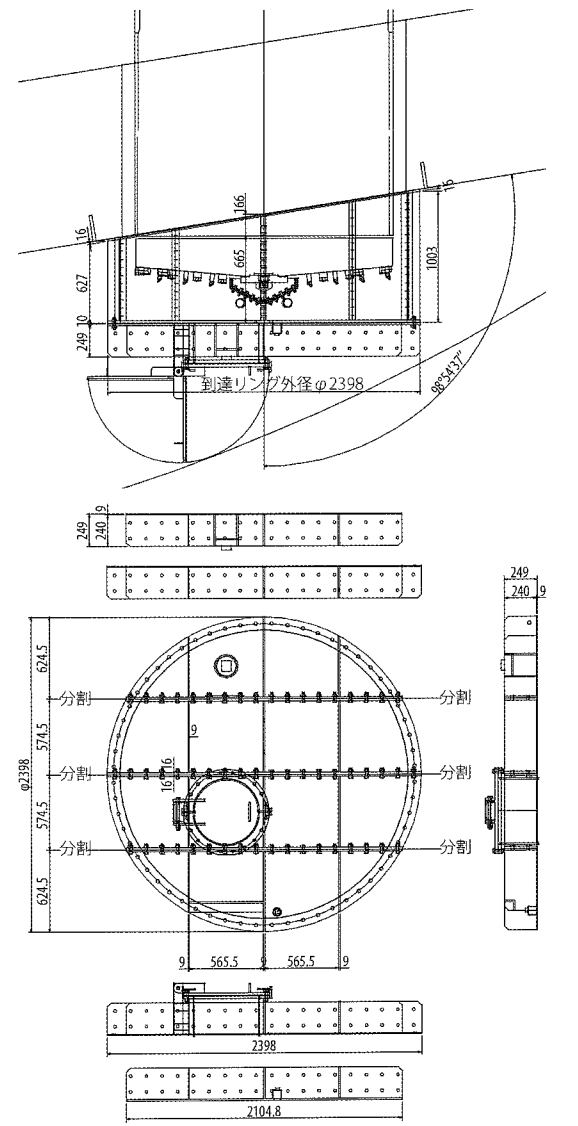


図-13 バルクヘッド図面

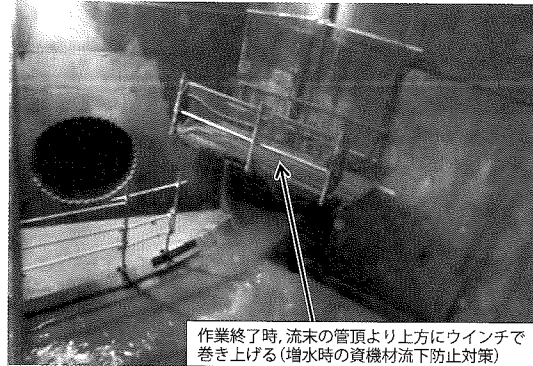


写真-4 バルクヘッド設置前

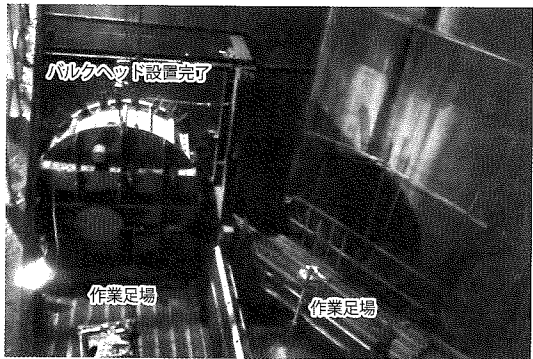


写真-5 バルクヘッド設置完了

掘進することから、エントランスパッキングが効力を発揮する前に出水が発生した場合、対応が困難になる。そこで、到達方法を既設人孔内にバルクヘッドを設置し、容器内を充水した状態で掘進機を到達させる方法に変更した(図-12)。

また、供用されている既設人孔から資機材を搬入する必要があるが、この地上部分の入口がφ750のマンホールのみであったことから、バルクヘッドを投入可能な大きさに分割して搬入し、既設人孔内で組立てを行った(図-13、写真-4、5)。

さらに、東京都下水道局では供用開始後の管渠内での工事は「一滴ルール(一滴でも雨が降れば作業中断)」が適用される。このため、流下防止対策、避難経路の確保などについては綿密に計画を立案したうえで作業を行った。その結果、マシン到達時の出水を防止することができ、安全・確実に掘進機を到達させることができた。

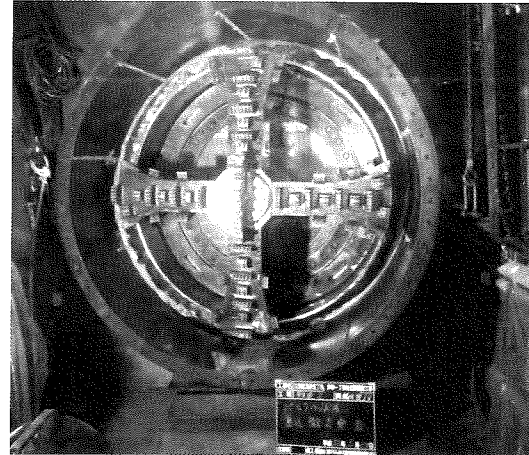


写真-6 掘進機到達完了(裏込め材撤去後)

## 4 ま と め

施工にあたっては、防爆仕様への対応、施工中で中間立坑構築中止による排泥方法の変更、既設構造物の綿密な調査や計測などが必要となったが、現場を止めることなく、安全管理、品質管理、工程管理に努め、掘進機は2016(平成28)年5月20日に既設人孔に到達し(写真-6)、無事工事を完了することができた。この施工を通してシールド切替型推進工法の防爆仕様への対応や長距離掘進をはじめ、多様な課題にも対応可能な工法として、さまざまな知見を得ることができた。本稿が同種工事の参考になれば幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書「シールド工法」・解説，2016。
- 2) 日本下水道協会：シールド工用セグメント(下水道シールド工用セグメント)，2001。
- 3) 日本下水道協会：下水道用設計積算要領(管路施設推進工法編)，2014。
- 4) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：関東平野部の地下に埋蔵される天然ガス  
<http://www.gsj.jp/hazards/geologic-hazard/gas.html>
- 5) 東京都下水道局管路建設部：メタンガス対策設計の手引き(案)(シールド工法篇)，1994.2。
- 6) 建設業労働災害防止協会：ずい道等建設工事における換気技術指針，2012。

## 研 究

# 地山-ボルト間の付着特性を考慮した鏡ボルトの設計モデルに関する研究

首都大学東京大学院都市環境科学研究科助教 土 門 剛

## 1 はじめに

切羽安定確保を目的とした鏡補強工の中で、鏡ボルトは主に鏡面および周辺地盤の緩み抑止などに効果があることが知られている。

鏡ボルトは、鏡面から前方に向かって水平に打設することが推奨されているが、施工機械の機構的要因や排泥あるいは排水の向上を理由として、打設角度が上向きになる場合も多い。また、近年の施工実績によると、鏡面中心部のボルトは水平に打設し、外郭部は角度を持たせることがある。その場合、外郭部かつ上部のボルトに先受け工の役割を持たせる打設パターンも適用されている。

国内外を問わず、鏡ボルトをはじめ各種切羽補強工が発展してきているが、その設計に至っては、類似設計や数値解析によることが多く、鏡ボルトの補強機構を考慮した力学モデルにもとづいた設計法が考案されていない。

そこで、本研究ではまず、鏡ボルトの設計法に関する既往の研究成果を概観し、これまでに課題として残された点を整理する。次に、低強度地山を想定した三次元掘削実験および数値解析による再現解析を実施して、鏡ボルトの配置パターンの差違によるそれぞれの変位抑制効果に関して、鏡ボルト軸力発現機構の観点から論じる。

最後に、その軸力発現機構を踏まえた簡便な力学モデルを構築し、トンネルおよび鏡ボルトの幾何条件と地山および地山-ボルト間の強度定数だけをを用いた簡易設計手法を提案する。

## 2 鏡ボルトの設計法の現状と課題

鏡ボルトをはじめとした鏡補助工法との併用による施工実績の分析からその効果に対して多くの知見が得られている(例えば、大窪ら<sup>1)</sup>、Peilaら<sup>2)</sup>あるいは小原ら<sup>3)</sup>)。鏡ボルトの設計方法として確立されたものがないのが現状である。したがって、地山状況に応じて過去の実績などを加味して設計されているのが実態である。

力学モデルにもとづく鏡ボルトの設計法として、村山の式<sup>4)</sup>による鏡面安定性から検討した事例<sup>5)</sup>がある。この例では切羽前方に対数らせんで表現したすべり線で囲まれた土塊の安定とその安定に必要な鏡ボルトによって得られる力との関係を論じたものであるが、地山変形にもとづくボルトの補強機構については触れられていない。このように、極限つり合い論にもとづく安定性との関連について研究した事例の多くは、地山-ボルト間相互作用について論じることが少ない。

最近になって、すべり線を直線としてモデル化し、すべり線で囲まれた領域とその中に配置した鏡ボルトと地山との相互作用を考慮した研究も見られるようになった<sup>6)</sup>。しかし、力学モデルの幾何形状の簡素さに比べて設定しなければならない項目が多く、またモデル化の仮定や適用範囲の不明確さなど、実設計に資するには課題が多いと考えられる。

鏡面の押出しモードに限ると、実験や解析、更には実測により明らかとなっている現象として、

鏡中央あるいはそれより若干下方の押し出し量が最大となり、天端やインバートに向かうに従って押し出し量が小さくなる。この変形モードは、すべり線を想定したくさびやプリズムの移動からだけでは再現できないと考えられる。この点に関し Egger<sup>7)</sup>は、粘着力を有する地山における実験や理論解析などの一連の研究成果を踏まえ、鏡面中央部の押し出し量が他部に比べて大きいことに言及している。

このような研究の現状および設計法の実状から、実際のトンネル変形モードおよびその変形に応じた鏡ボルトの補強機構を踏まえつつ、設計に供することのできるような簡便な力学モデルの提示およびそれにもとづく簡易設計法の出現が望まれる。

### 3 鏡ボルト工の支保効果に関する模型実験

#### 3-1 実験モデルの考え方

実験モデルは、掘削過程や鏡ボルトの打設過程を再現すること、更には実験の再現性を確保することから、実験規模およびその手順の簡便さを考慮したモデルとした。また、トンネルは鏡ボルトの主たる効果が得られると想定される上半断面のみとし、掘削時には適度な自立性を有し、かつ周辺地山の変位が生じるよう若干の粘着性を有する粒状体地山とした。実験の容易さを考慮し、打設する鏡ボルトの数も抑えた。また、天端沈下量、地表面沈下量および鏡面押し出し量の抑制に鏡ボルトがどの程度の効果をもたらすかを把握することを目的とするため、掘削に伴う周辺地山挙動あるいはモードが実挙動に近づけられるよう重力場における実験とした。なお、鏡ボルトの打設角度による変位抑制効果も検討するため、水平方向(トンネル軸方向)向上向き角度が0°=水平打設だけでなく、鏡面から前方に向かって放射状に打設するパターンも実験した。

#### 3-2 実験装置・方法および実験ケース

##### 3-2-1 模型土槽

実験に用いた土槽を図-1に示す。土槽はアルミ製で、その内寸幅880mm、奥行き1,080mm、高さ600

mmである。土槽下部にはトンネル軸方向に長さが20mmの床板(図-1中)を地山作製前に土槽底部に22個設置し、掘削ステップに合わせて1個ずつ取りはずしながら、半円形トンネルを逐次掘削した。

##### 3-2-2 模型地山

切羽や地表の変形を計測でき、かつ適度な自立時間を有する地山材料として、銅散弾：酸化亜鉛：ワセリン=200：0.3：1の重量配合比で混ぜたものを用いた。物性を表-1に示す。

地山の作製は高さ300mmを6層に分けて、1層ごとに2.3kN/m<sup>2</sup>の上載圧で締め固め、さらに、かた詰めの場合には表面を均等に1層あたり100回打撃した。

##### 3-2-3 鏡ボルト模型

鏡ボルト模型は図-2に示すように、長さ160mm(1D(D:トンネル直径))、1辺2mmの正方形断面の亚克力製角棒にエポキシ樹脂で砂を付着させたものである。砂を付着させると直径3mmとなる。

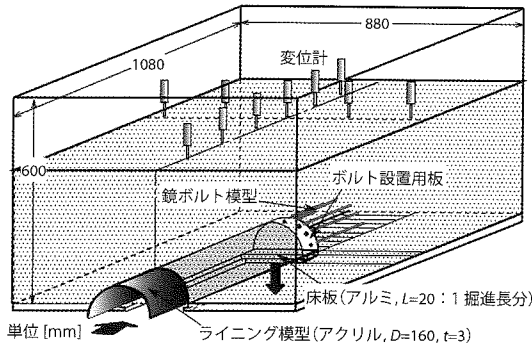


図-1 三次元トンネル掘削模型実験装置

表-1 地山模型の主な物性

密度 (密度試験)	ゆる詰め*	5.4g/cm <sup>3</sup>
	内部摩擦角 (一面せん断試験)	ゆる詰め
かた詰め		35°
変形係数(E50) (三軸圧縮試験)	ゆる詰め	2.3MPa
	かた詰め	3.9MPa
フルイ分け試験	有効径(D10)	0.88mm
	均等係数(UC)	2.18
安息角	D60	1.92mm
		約25°

\*ゆる詰め：打撃回数0, かた詰め：打撃回数100回

トンネル断面に比してボルト断面が相対的に大きい、ひずみゲージ寸法などの実験的な制約に加え、本研究ではボルト補強機構を把握することを主眼としていることから、このようなボルト模型を採用した。

鏡ボルトの打設はトンネル掘削後所定の打設パターンで地山中に手作業により挿入した。各掘削ステップでは、切羽後方の1ステップ分(20mm)の地山を手掘り掘削したあとに、露出した鏡ボルトをニッパで切断した。なお、鏡ボルトの打設は、打設位置や打設角度を調整した半円形のボルト設

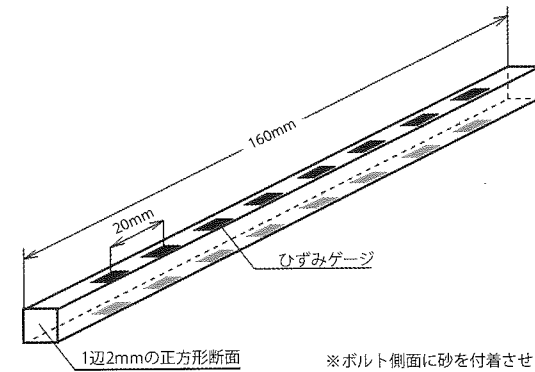


図-2 鏡ボルト模型

表-2 実験ケース(鏡ボルト配置パターンと概念図)

実験ケース	鏡ボルトの配置		配置概念図
	打設角度	打設の特徴	
ボルトなし	-	-	1ステップ：20mm
0°(水平)	0°	どの断面においても同一の打設密度	80mm, 1D(160mm)
15°(放射)	放射状 15°	ボルト打設後4ステップ掘削の際、鏡面からはボルトなしの状態になる	15°
30°(放射)	放射状 30°	ボルト打設後3~4ステップ掘削の際、鏡面からはボルトなしの状態になる	40mm, 120mm, 30°

ボルトのラップ長：打設角度によらず、打設後8cm(4ステップ)掘削後に次のボルトを打設。

打設本数：3本/断面、打設シフト：6、掘削距離：2.8D(440mm)

置用板を鏡面にあてがって手作業により地山に挿入した。

軸力はボルト1本あたり2枚1組のひずみゲージ(ゲージ長：1.0mm)を8組等間隔に貼りつけ、このゲージの値をもとに算出した。算出は、別途行った引張試験で得た引張荷重-ひずみ関係から校正係数を求め、本実験で計測されるひずみに校正係数を乗じて軸力とした。

##### 3-2-4 トンネル逐次掘削方法

トンネル掘削時における掘削面からの地山材料崩落防止を目的に、掘削と同時にライニング模型を挿入していった。ライニング模型は、長さ3.1D(500mm)、外径1D(160mm)、厚さ3mmの亚克力製の半円筒である。地山を掘削する前の1ステップ分(20mm)を実験槽底板に施したレールにライニング脚部をはめ、レールに沿ってライニング模型を少しずつ手作業で挿入した。そのあとに挿入した部分の地山を手掘り掘削し、最終的に所定の掘削位置(2.8D, 448mm)まで掘削した。

##### 3-2-5 実験ケース

実験は、トンネル軸方向に水平(0°)に打設したパターン、15°および30°放射状にそれぞれ打設したパターンと、それに無補強を含め4ケース実施した。ボルト配置図を表-2に示す。

放射状打設を実験に加えた理由は、掘削に伴う地山の挙動はトンネル前方地山の上部から鏡面に変位する挙動、すなわち水平よりも上向きかつ放射状の挙動が卓越することを想定し、この変位を抑制するにはその挙動に沿った角度で打設することが効果的であると考えたことによる。

計測は前述のボルト軸力のほかに、地表面沈下量をダイヤルゲージにより計測した。計測位置は、トンネル中心直上縦断方向に掘削開始位置から最終掘削位置(2.8D)まで6cm間隔の10か所、横断方向は最終掘削位置地点のみ天端を含む断面分を6cm間隔の4か所である。

## 鏡ボルト工の支保効果に関する 4 数値解析と模型実験との比較

### 4-1 三次元数値解析におけるモデル化手法

実験では模型規模、材料の種類および掘削手法などの制約により、鏡面押し出し量を直接計測することができない。したがって、数値解析で再現し、実験で計測できなかった項目について分析を行った。図-3に解析メッシュを示す。なお、鏡ボルトの有無の両ケースにおいて、実験値と解析値の地表面沈下量を比較することにより解析モデルの妥

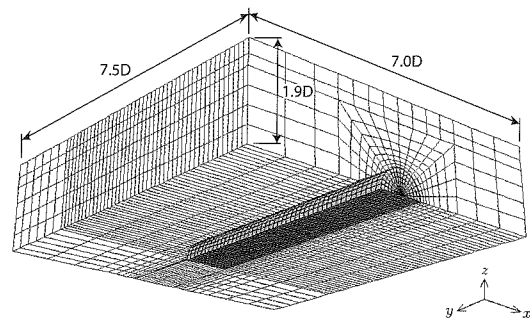


図-3 解析メッシュ(底面側から見た全体図)

表-3 数値解析における材料物性

地	山	弾性係数	2,900kPa
		ポアソン比	0.45
鏡	ボルト	弾性係数	$4.5 \times 10^5$ kPa
		付着強度	7.3kN/m/m
地山-ボルト間		付着強度	7.3kN/m/m
		付着剛性	0.35kN/m

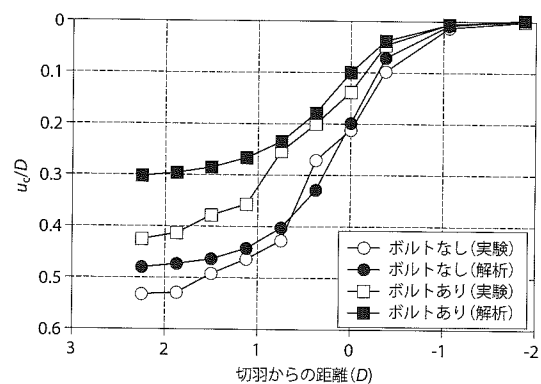


図-4 実験と解析の比較—縦断方向地表面沈下—

当性を検証した。数値解析は3次元有限差分法解析 (FLAC3D) で行った。

解析に用いた地山およびボルトの物性値を表-3に示す。地山は弾完全塑性とし、降伏条件にMohr-Coulomb規準を適用した。ボルトはパイ要素としてモデル化し、ラップ長および打設パターンは実験のとおりとした。ボルトと地山の間の付着特性は、アクリル材-砂-地山材料のうち、付着切れはボルト表面の砂と地山材料の間で発生すると判断し、地山材料の付着特性を用いることにした。

以下の解析では鏡ボルトの打設パターンのみ変更しながら行う。図-4に水平に3本打設したケースの実験結果と解析結果の比較例を示す。縦軸はトンネル天端直上の地表面沈下量  $u_g$  をトンネル直径  $D$  で除した無次元量とし、横軸はトンネル切羽からの距離をトンネル直径  $D$  (160mm) で表している。正值は既掘削、負値は未掘削位置を表す。同図から、切羽近傍はほぼ同じ傾向を示しているが、切羽後方では実験値の方が大きいことがわかる。これは、解析では掘削およびボルト打設を同時に行っており、また、変位収束直後に次のステップを行っているのに対し、実験では掘削開始時に1ステップ目の打設および掘削に時間を要した結果、変位が大きくなったことによる差であると考えられる。また、本解析手法では粒状体地山をモデル化することが難しいことも要因のひとつであると考えられる。ただし、全体的な傾向はおおむね再現できているものと判断できる。

### 4-2 打設角度による補強効果

#### 4-2-1 地表面沈下の抑制効果

2.8D掘削(最終掘削)後のトンネル縦断方向における  $u_g/D$  を図-5に示す。打設角度が大きいほど地表面沈下量も大きくなるのがわかる。表-2に示す配置では、水平打設は6本/断面が存在し、放射状15°打設は鏡面外に若干ボルトが残置している状態である。放射状30°打設ではボルトが鏡面外に位置し、鏡面内にはない状態になる。切羽後方約2Dでは、水平打設はボルトなしに比べて約22%の変位低減効果が見られるが、放射状15°

は15%の低減、放射状30°は10%程度の低減となり、打設角度が増すに従って低減効果が低くなっていくのがわかる。また、図-6に示す最終掘削後における解析結果の場合も、同様に打設角度が増すほど変位低減効果は低くなっている。

図-7に示す最終掘削後の切羽位置2.8Dにおける横断方向の  $u_g/D$  も同様に、打設角度が大きい

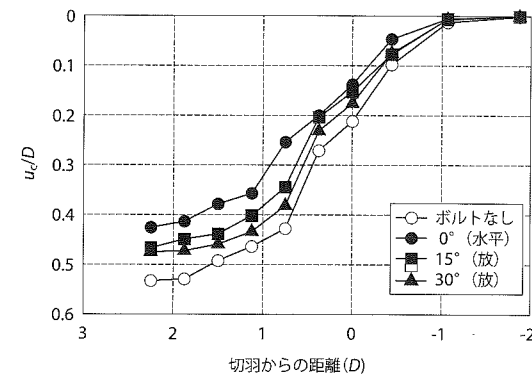


図-5 打設角度と縦断方向地表面沈下(実験)

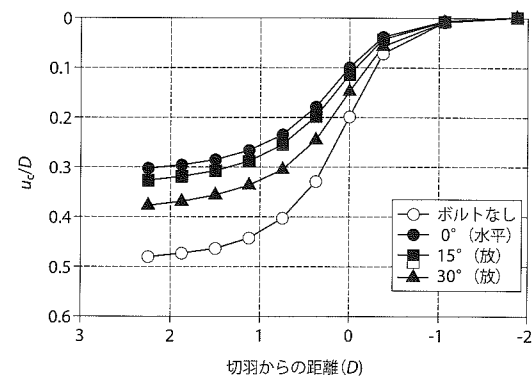


図-6 打設角度と縦断方向地表面沈下(解析)

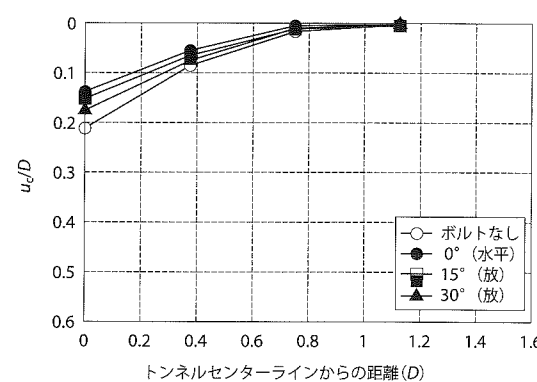


図-7 打設角度と横断方向地表面沈下(実験)

ほど地表面沈下量が大きい。

これらの挙動は次のように説明できる。打設角度が大きくなると、残置したボルトも短く、また放射状に広がるため、トンネル切羽から遠ざかるに従って鏡面積あたりの打設密度が小さくなる。また、残置したボルト長も短くなるため縦断方向を含めた切羽周辺における全鏡ボルトの合計打設長も短くなる。そのため、放射状打設ではボルトを残置していても補強材としての役割は発揮されず、地表面沈下量が大きくなってしまふものと考えられる。

#### 4-2-2 鏡面の安定性

図-8に、数値解析における鏡ボルトの打設角度による鏡面中央部の最大押し出し量を示す。打設直

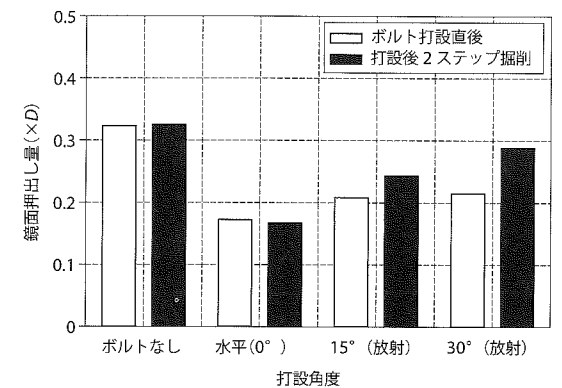


図-8 打設角度と鏡面押し出し量の最大値

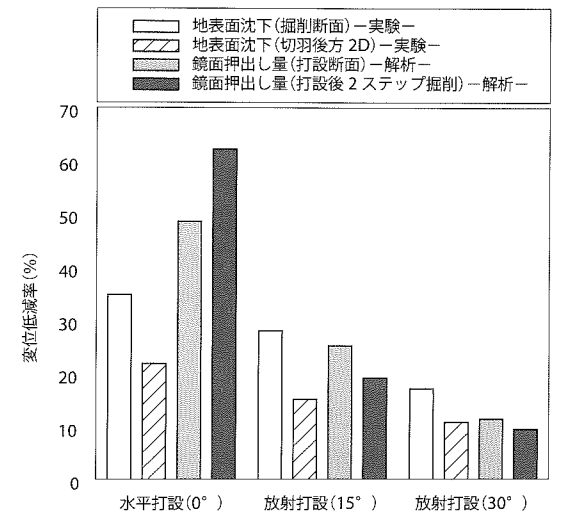


図-9 打設角度と地表面地下および鏡面押し出し量低減率

後の鏡においては打設角度による影響は小さいが、打設後2ステップ掘削した地点(放射状30°打設ではボルトが鏡面外に位置し鏡面内にはない状態)では、放射状打設のケースがいずれも掘削直後の鏡面押し出し量に比して0.05D(15°打設)~0.1D弱(30°打設)程度大きくなるのがわかる。一方、水平打設の場合は、打設直後と2ステップ掘削後に変化はなく、0.18D程度の鏡面押し出し量にとどまっている。

図-6および図-8をもとに算出したボルト打設角度に対する地表面沈下量および鏡面押し出し量の変位低減率(ボルトなしを基準)を図-9に示す。実験と解析では比較している段階が異なるが、実験における地表面沈下量では水平打設がもっとも低減率が高く、いずれも約20~30%程度の低減率がある。一方、解析における鏡面押し出し量は、前述の地表面沈下量の考察でも述べたように、打設角度により切羽前方の打設密度および残置ボルトの数や長さの効果で、水平打設の低減率が突出していることがわかる。

以上より水平打設の優位性が示されたことから、鏡ボルトの力学モデルは水平打設のみを対象とする。

4-2-3 鏡ボルトの軸力発生機構

軸力計測用ボルトを鏡面のほぼ中央に打設して、各打設角度による軸力の変化を分析した。ここでは変位抑制効果のもっとも高かった水平打設の軸力を図-10に示す。

図-10を概観すると、

- ① 最大軸力位置は鏡面近傍である。
  - ② 軸力分布は最大値から先端まで線形である。
- これらは主に第3ステップ以降に共通する挙動

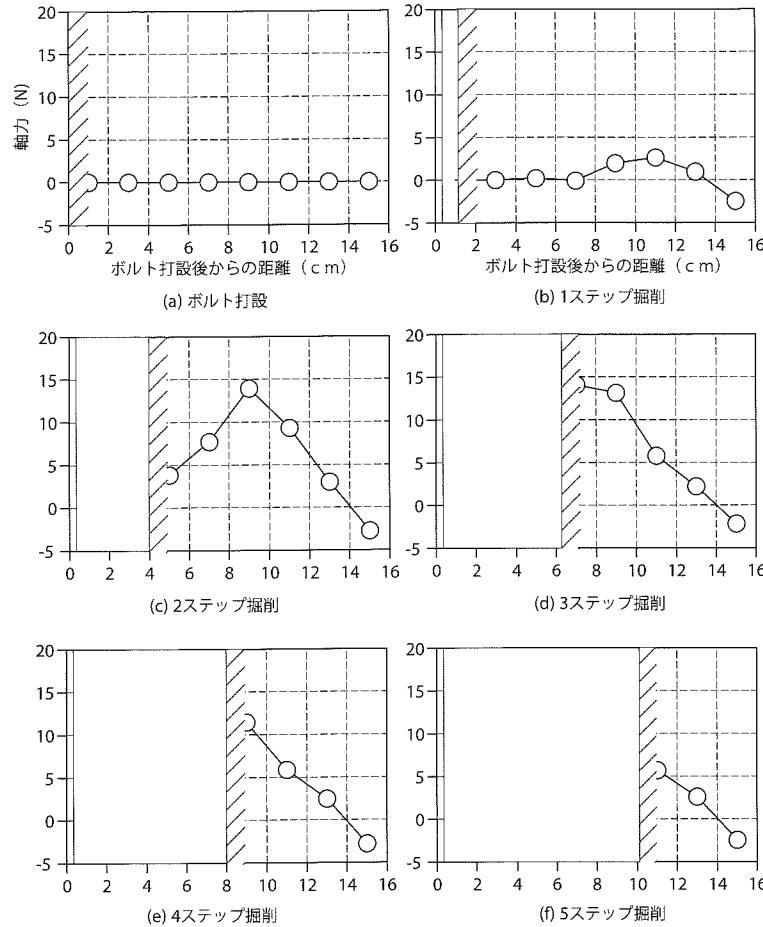


図-10 掘削ステップと水平打設の鏡ボルト軸力(実験)

といえる。

さらに分析すると、打設後2ステップ時に最大の軸力を呈し、残長が短くなる4ステップからは軸力の減少が見られる。また、1および2ステップ時のみ最大値が切羽前方にある。ただし、力学モデル構築の簡便化を目的として、最大軸力発生位置はほぼ鏡面であると見なす。

5 力学モデルを適用した鏡ボルト工の簡易設計手法

5-1 鏡ボルトを含む地山の力学モデルの考え方

鏡ボルトのモデル化にあたっては、低強度地山トンネルにおける軸対称ロックボルト支保で考えた設計モデル<sup>8)</sup>を基本とし、さらに表-4に示すよ

表-4 力学モデル構築の仮定と条件

対象	No.	条件
地山およびトンネル	I-1	クーロンの降伏条件にしたがう弾完全塑性体とする。
	I-2	弾塑性境界までの距離は掘削面から一定とする。
	I-3	弾塑性境界上の応力は土かぶり荷重(あるいは緩み荷重)とし、境界に垂直に作用するものとする。
	I-4	トンネル横断面形状は円形、縦断面形状は矩形とする。
	I-5	鏡ボルト以外の支保工は考慮しない。
鏡ボルト	II-1	塑性域内に存在するボルトのみ考慮する。
	II-2	弾塑性境界点を軸力ゼロとし、ボルト頭部近傍において最大となる線形軸力分布とする。
	II-3	頭部軸力(最大値)をボルト1本が負担する面積で除したものを支保内圧とする。
	II-4	ボルトは打設箇所によらず同じ値の支保内圧を及ぼすものとする。
地山-ボルト間	III-1	周面摩擦力(=一定)のみ考慮し、粘着力は無視する。
	III-2	付着の度合いを表現する付着度係数を導入する。

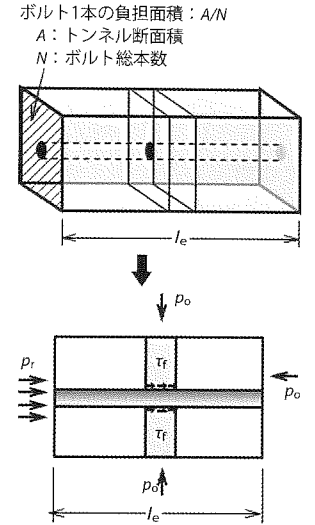


図-12 鏡ボルト力学モデル

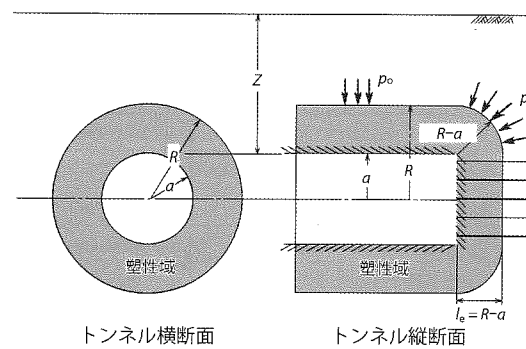


図-11 鏡ボルト力学モデル構築の地山条件

うなモデル化の仮定や条件を加える。

鏡ボルトの場合でも、地山が塑性状態に達したあとに切羽の安定が確保されるかどうかの問題になると仮定し、実験結果および数値解析による再現結果からこれらの条件を設定した。

さらに、鏡ボルト独自の仮定および前提条件として図-11のようにトンネル縦断形状を矩形として表現し(条件I-4)、縦断においても塑性域はトンネル掘削面から等距離にあるとした(条件I-2)。なお、弾塑性境界までの距離Rは、軸対称円孔理論から導かれる次式により求められる。

$$R = a \left( \frac{2}{\xi + 1} \cdot \frac{q_u + p_o(\xi - 1)}{q_u + p_i(\xi - 1)} \right)^{\frac{1}{\xi - 1}} \quad (1)$$

ここで、aはトンネル半径、 $\xi = (1 + \sin \phi_i) / (1 - \sin \phi_i)$ 、 $q_u$ は地山の軸圧縮強さ、 $\phi_i$ は地山の内部

摩擦角、 $p_i$ は内圧、 $p_o$ は外圧(拘束圧)である。

また、鏡ボルト以外に補強効果をもたらす支保工は考慮しない(条件I-5)。

以上のような条件のもと、鏡ボルトを含む地山の力学モデルを構築する。

5-2 鏡面の安定に必要な支保内圧

鏡ボルトのモデル化に際しては、地山-ボルト間の付着抵抗 $\tau_i$ は、地山内接線方向応力 $\sigma_i$ を鏡ボルト周面に作用する直応力ととらえ、この $\sigma_i$ と摩擦角 $\phi_i$ のみに依存するとして次式で規定する。さらに $\sigma_i = p_o$ と考える。

$$\tau_i = \sigma_i \tan \phi_i \quad (2)$$

鏡ボルトの力学モデルでは、図-12のようにより簡便化を図る。

まず、トンネル断面積Aと等しい断面積の矩形(円形トンネルでは正方形)を等価断面に設定する。さらに、切羽前方水平に弾塑性境界までの距離R-aを投影した直方体を考える。この直方体内の塑性領域に存在する鏡ボルトが支保効果に有効であると仮定し、この領域を力学モデル構築の対象とする。

ボルト1本とそれが負担する断面(断面積: A/N(N:ボルト総本数))を有する直方体内の矩形要素は、前報<sup>8)</sup>のロックボルト力学モデル構築におけるスリット要素と同等と見なすことによっ

て次式を準用する。また、条件III-1のとおり粘着力は無視する。

$$p_r = \left( p_0 - \frac{kq_u}{1-k\xi} \right) (1+\eta)^{1-k\xi} + \frac{kq_u}{1-k\xi} \quad (3)$$

ここで、

$$k = 1 + \frac{\beta l_b \tan \phi_t}{A/N} \quad (4)$$

$$\eta = \frac{l_e}{a} \quad (5)$$

$l_b$  : ボルト周長

$\beta$  : 付着度係数 ( $0 \leq \beta \leq 1$ )

$p_r$  : 鏡面の安定に必要な支保内圧

付着度係数は地山とボルトの付着の程度を表すものとする。この係数の値が1であれば極限状態を表し、地山-ボルト間の付着が最大限に発揮された状態を意味する。0に近づくほど付着の程度が弱くなり、0ではボルトが打設されていない無支保状態と等価である。

また、ボルト長は塑性域内に存在する部分だけ有効として、有効ボルト長  $l_e = R - a$  とする。

### 5-3 地山-ボルト間の周面摩擦力によって有効に発現する支保内圧

式(2)で与えられる地山-ボルト間の付着抵抗が、有効ボルト長  $l_e$  の全区間にわたって作用しているものとするれば、この付着抵抗を有効ボルト長全長にわたって積分することにより鏡面における頭部軸力  $F_b$  を求めることができる。

$$F_b = \int_0^{l_e} \beta l_b \tau_t dr = \int_0^{l_e} \beta l_b (\sigma_t \tan \phi_t) dr \quad (6)$$

ここでまず、式(6)を積分して軸対称ロックボルト定式化時と同様の境界条件を適用すれば、

$$F_b = \beta l_b l_e p_0 \tan \phi_t \quad (7)$$

が得られる。

さらに、本式をボルト1本が負担する面積で除せば、鏡ボルトの周面摩擦力によって発揮される有効支保内圧  $p_b$  が得られる。

$$p_b = \frac{F_b}{A/N} \quad (8)$$

ここで、表-5の諸値を例に、必要支保内圧および有効支保内圧を試算する(図-13)。なお、表中

拘束圧の値は、土かぶり高さ1D程度の土砂地山の荷重に相当する。本図から、ボルト総本数  $N$  に対して両内圧の感度が明らかに異なることがわかる。必要支保内圧は  $N$  が増してもその支保内圧はそれほど低減せず、また付着の程度が高くなっても大きく改善されない。

一方、有効支保内圧は、 $N$  が増すほどボルトによって発揮される支保内圧が増し、付着度係数が大きくなるほど一層大きな内圧効果をもたらすことがわかる。

ある  $\beta$  における両内圧の交点は、その  $\beta$  における設計に必要な換算内圧と、その内圧を得るのに必要な鏡ボルトの本数を与えると解釈できる。例えば、ボルト引き抜き試験などから  $\beta$  が0.5であると判断されると、両内圧の  $\beta = 0.5$  の2直線の交点からボルトの本数が約30本程度と試算される。

表-5 試算に用いた強度定数と幾何条件

地山	一軸圧縮強さ $q_u$	75.0kN/m <sup>2</sup>
	内部摩擦角 $\phi_t$	30.0°
トンネル鏡ボルト	拘束圧 $p_0$	160.0kN/m <sup>2</sup>
	トンネル半径 $a$	5.0m
地山-ボルト間	ボルト直径 $d$	0.1m
	内部摩擦角 $\phi_t$	30.0°
	粘着力 $c_t$	0.0kN/m <sup>2</sup>

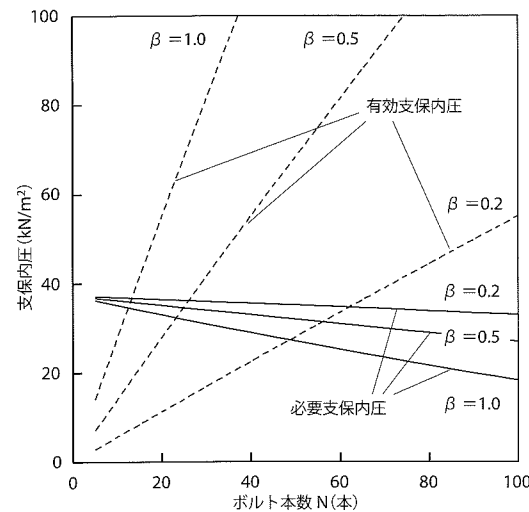


図-13 打設本数と必要および支保内圧の関係(試算)

このようにして、簡易に鏡ボルトの本数を求めることができる。

### 5-4 鏡ボルトの支保特性曲面

式(3)から得られる必要支保内圧  $p_r$  と式(8)から得られる有効支保内圧  $p_b$  との大小関係を考える。ここでは一例として、先の表-5に示す諸値を用いる。

付着度係数  $\beta$  と鏡ボルト本数  $N$  をパラメータとする関係式を  $F(\beta, N) = p_b - p_r$  とすれば、その値によって次の3つの状態を設定することができる。

- ①  $F(\beta, N) > 0$  : 安定
- ②  $F(\beta, N) = 0$  : 極限
- ③  $F(\beta, N) < 0$  : 不安定

関係式  $F$  をこの例では  $\beta$  と  $N$  をパラメータとしたが、ほかの2変数をパラメータとしても  $F$  を表現することができる。したがって、ある2変数によって計算される  $F$  を、以降では  $F$  値とする。

この例にもとづいて  $F$  値をプロットすると、図-14のような曲面となる。この曲面を鏡ボルトの支保特性曲面と呼称する。

曲面上の数値0で示されている太い実線は、極限状態を示す曲線、それよりプラスの範囲は安定状態にあり、鏡ボルトによって得られる有効支保内圧が地山の安定に必要な支保内圧を上回っていると解釈すればよい。逆にマイナスで示される範囲は不安定状態である。数値の大小が安定さ(プラス)あるいは不安定さ(マイナス)の程度を表す。

図-14の支保特性曲面を  $(\beta, N)$  面上に投影した

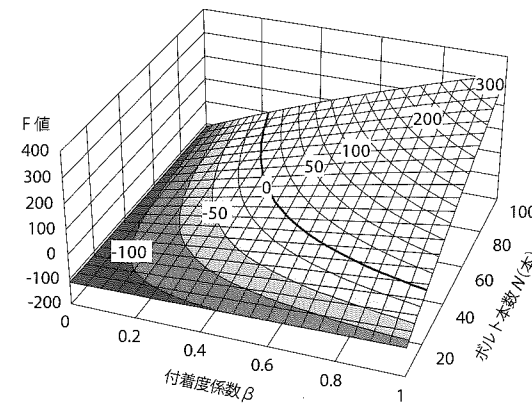


図-14 鏡ボルトの支保特性曲面の例

ものが図-15となる。

この支保特性曲面および投影した両図から、

- ① 付着度係数が大きいほど必要となるボルト総本数が少ない。
- ② 地山および地山-ボルト間の強度定数およびトンネルとボルトの幾何形状が既知であれば支保特性曲面を描くことができ、さらに付着度係数  $\beta$  を見積もることができれば、投影図により必要本数が決まる。

### 5-5 簡易設計法と実トンネルへの適用に関する留意点

本研究で提案した簡易設計法は、表-4で示したように多くの仮定を設けている。あくまでも簡易であることを前提として理論展開をしているため、鏡ボルトの長さや打設パターンを厳密に特定するものではない。本設計法で求められる有効ボルト長、ボルト本数、あるいは支保内圧といった値は、詳細設計の前段階としての検討材料を提供するという位置づけである。

本設計法で必要とする諸値は、表-5で示したように、基本的には幾何学的条件としてトンネルの換算外径や土かぶり高さの2つ、材料条件として地山および地山-ボルト間の強度特性とわずかな物性だけである。そこには、地山に対して鏡ボルトの剛性がきわめて大きく、ボルト自体の変形を

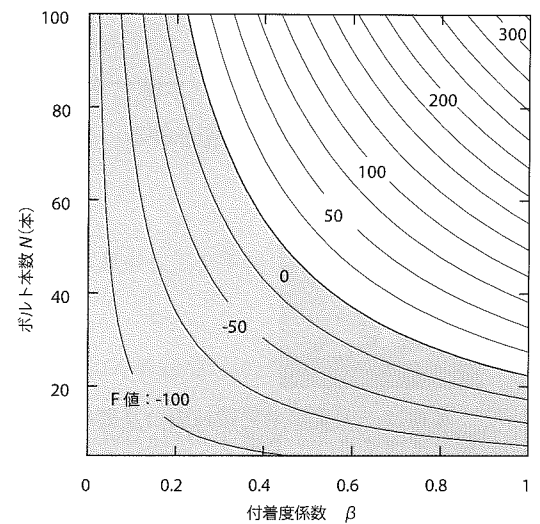


図-15 付着度係数とボルト打設本数との関係

無視しようとの大前提がある。

さらに、本設計法による鏡ボルトの地山変位抑制効果については直接論じることができない。これは、地山変位抑制に有効なボルト長を塑性域内のみとしており、その領域内における力のつり合いのみで本設計法を誘導しているためである。そこには変形の議論が介在しない。塑性域の算定においても、外圧は等圧としている。したがって、初期地山応力が鉛直荷重と水平荷重とで異なるような場合、あるいはさらに地山強度によっては塑性域が同心円状に拡がらない場合にはこのモデルから得られる結果との差違に留意する必要がある。

## 6 おわりに

鏡ボルトを含む地山の力学モデルを構築し、簡易設計法としてボルトと地山の付着特性から鏡ボルト本数を簡易に求められる設計モデルを示した。

力学モデル構築に際しては、多くの仮定や前提を土台としているため、膨張性地山などの特殊地山で検討されなければならない場合などの鏡ボルト設計については本手法では直接求めることはできない。また、周辺環境条件の制約が厳しいトンネルでは、鏡ボルトだけではなく、ほかの補助工法との併用も考慮すべきであり、類似例の検討や数値解析による検討など現在でも実施されている手法を駆使して検討すべきであることは言うまで

もない。

今後は、力のつり合いだけで構築したモデルを地山内変位あるいは鏡面押出し量との関係も考慮したモデルへと展開する予定である。

## 参考文献

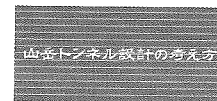
- 1) 大窪克己・明道俊治・山本和義・高木勝利：地すべり地帯の抗口部の長尺フェースボルトの施工と周辺地山の挙動について、トンネル工学研究論文・報告集，Vol.6，pp.223-228，1996。
- 2) Peila, D., Oreste, P.P., and Pelizza, S.: Study of the influence of sub-horizontal fiber glass pipes on the stability of a tunnel, *North American Tunneling* 96, pp.425-432, 1996.
- 3) 小原勝巳・安永礼三・井上伸一・市川健作・熊谷幸樹：長尺フェースボルトの掘削のともなう挙動，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.8，pp.145-150，1998。
- 4) 村山朔郎：機械化シールドについて，シールド工法（土木学会関西支部），pp.45-58，1996。
- 5) 高橋秀喜・明道俊治・大窪克己・高木勝利：長尺フェースボルトによる坑口切羽対策，トンネルと地下，Vol.28，No.3，pp.29-35，1997.3。
- 6) Anagnostou, G. and Serafeimidis, K.: The dimensioning of tunnel face reinforcement, *Proc. of ITA WORLD Tunnel Congress 2007, Prague*, 2007.
- 7) Egger, P.: Deformations at the Face of the Heading and Determination of the Cohesion of the Rock Mass, *Underground Space*, Vol.4, No.5, pp.313-318, 1980.
- 8) 土門剛：低強度地山トンネルにおけるロックボルト支保の設計モデルに関する研究，トンネルと地下，Vol.48，No.4，pp.57-67，2017.4。

# 土木情報 No. 530

今月の主な入札結果

(6月10日～7月9日)

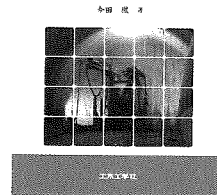
事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄総合事務局	宮古伊良部農業水利事業仲原地下ダム長南砂川排水T建設	西松・屋部JV	1,046.9
関東地整	H28利根川左岸東海排水樋管新設	永井建設	178.8
〃	H28多摩川根川排水樋管新設	林建設	228
〃	東京港臨港道路南北線沈埋函(4号函・5号函・6号函)製作・築造等	五洋・東洋・新日鉄住金エンジJV	17,970
水資源機構	豊川用水二期西部幹線併設水路豊岡工区	銭高組	1,778
〃	〃 大塚工区	あおみ建設	1,055
東日本高速道路	八戸道折爪T補強	松榮技研	388.5
西日本高速道路	湯浅御坊道路川辺	清水建設	6,355
都・水道局	大田区南雪谷五丁目地先から同区久が原四丁目地先間配水管(900mm)新設	大豊建設	1,291.2
都・下水道局	台東区上野四，七丁目付近再構築	大盛・鈴与JV	1,040.8
新潟県	国地改 3-1-1 号R253(三和安塚道路)開削T(その1)	田中産業	184
高知県	県道高知南環状線社会資本整備総合交付金	三谷・ミタニJV	210.34
水戸市	都第1号，米沢町・元吉田町都市下水路新設	横田・酒井JV	104
土浦市	国補公下(雨水)第1号，神立菅谷雨水幹線整備	日東エンジニアリング	123.4
牛久市	28社総交公下第1-3号，上町排水区雨水管渠布設	キムラ・喜久屋JV	128.8
高知市	送水幹線二重化(4工区)管渠築造	新進・日東・築山JV	1,966.5



## 山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著

B5判 183頁 上製本 本体価格3,200円



山岳トンネルを設計するうえでの考え方は勿論、設計の留意点などを平易にまとめている。山岳トンネル工事に携わる諸兄の必読書である。

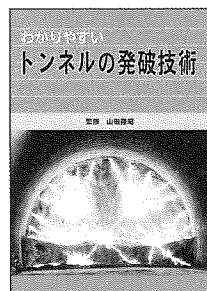
### 主要目次

山岳トンネル技術の要素と変遷/トンネル掘削による周辺地山の挙動/岩石の特性/トンネルと地質/トンネルの線形/断面の設計/支保構造物/吹付けコンクリート/ロックボルト/鋼アーチ支保工/覆工/切羽の安定/掘削工法・掘削方式の選定/併設トンネルの設計/特殊地山/坑口の設計/環境対策



株式会社 土木工学社

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



トンネル発破技術のバイブル!!

わかりやすい

## トンネル発破技術

監修 山田隆昭

B5判 76頁 本体価格1,500円

本書は、火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策について詳しく解説している。

株式会社 土木工学社

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

# トンネルジャーナル

平成28年度「土木学会賞」が授与

土木学会は6月9日、平成29年度の定時総会で、平成28年度土木学会賞を授与した。主な受賞業績は以下のとおり。

## ■技術賞

日本初の地下鉄営業線の平面交差解消事業—鉄道7路線の安定輸送を可能にした東京メトロ有楽町線・副都心線連絡線設置工事—、東京地下鉄(株)ほか。

世界初2函体同時沈設による大型ニューマチックケーソン施工—千住関屋ポンプ所建設工事—、東京都下水道局ほか(写真左上)。

「外ボルト締結型コンクリート中詰鋼製セグメント」の気中組立工法による3次元複合曲線管渠の構築—中突堤ポンプ場放流渠築造工事—、神戸市建設局ほか(写真左下)。

新たなシールドトンネル拡幅技術を用いた分合流部の建設—横浜北トンネル馬場出入口分合流部—、首都高速道路(株)ほか(写真右上)。

全断面機械掘削早期閉合法による脆弱地山への挑戦—中部横断道・八之尻トンネル—、中日本高速

道路(株)南アルプス工事事務所ほか。

超高層ビル建設における営業線鉄道函体アンダーピングと透し掘り連壁—リニア名古屋駅の一部となるJRゲートタワー新設—、東海旅客鉄道(株)建設工事部ほか。

首都中枢部の浸水軽減と皇居内濠の水質改善に寄与する第二溜池幹線の建設、東京都下水道局ほか。

高速神奈川7号横浜北線の建設—周辺環境の保全に配慮した都市高速道路—、首都高速道路(株)。

## ■環境賞

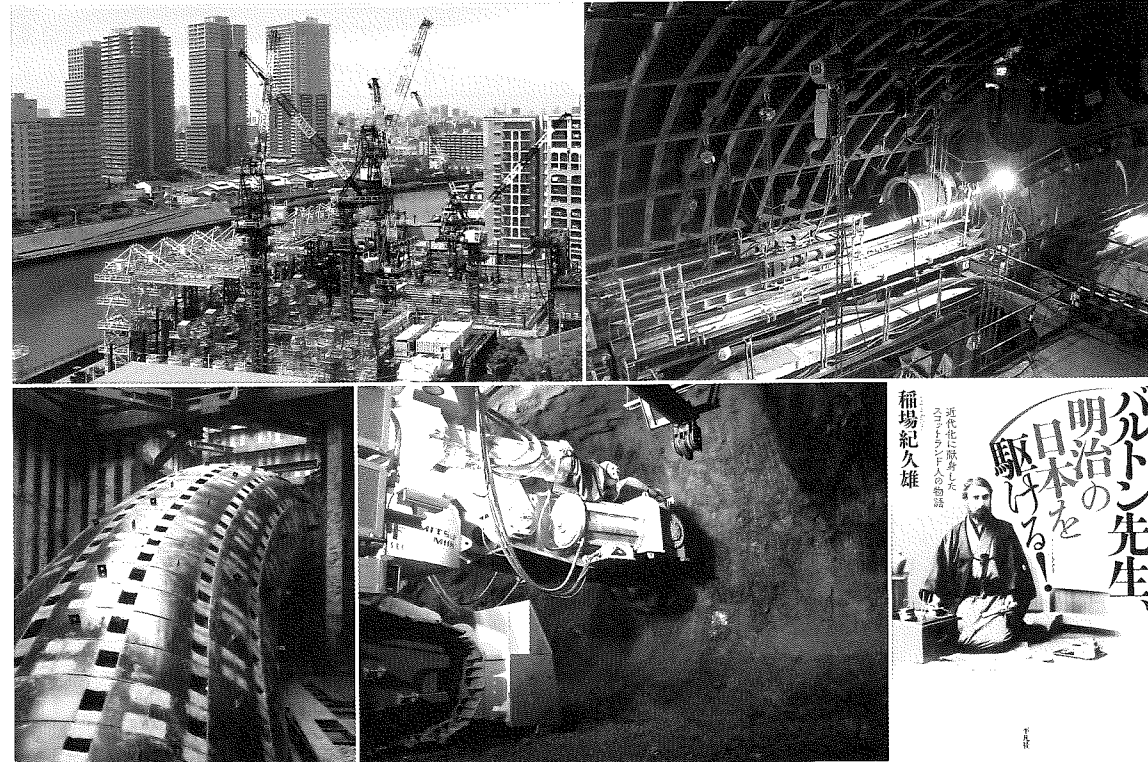
超電導磁気分離と鉄粉による重金属汚染土の浄化技術の開発と実用化、鹿島建設(株)ほか。

## ■技術開発賞

硬岩トンネル掘削機TM-100の開発、浜田文年(西日本高速道路(株))ほか(写真中下)。

## ■出版文化賞

稲場紀久雄 著『バルトン先生、明治の日本を駆けろ！～近代化に献身したスコットランド人の物語～』、平凡社、2016(写真右下)。



## 連載講座

# トンネル新技術への挑戦(21)

## —覆工(打設)—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

### ① はじめに

公共工事の品質確保の促進に関する法律が、2005(平成17)年3月31日に制定され、総合評価方式の普及とともに、トンネルにおいては覆工の品質確保は常に求められる重要な技術の1つとなった。これらの背景から、覆工の施工について、品質確保、品質向上の目的から、発注者、施工者ともに、施工方法の改善、管理方法の改良、新技術の開発など、各種の対応が実施されてきている。

トンネルの覆工は使用目的、使用条件、環境条件に応じて設計、施工されるが、トンネルの最終構造物であるため、長期耐久性を有した構造とする必要がある。覆工は一般的にはトンネル内空側から覆工型枠内の狭小空間に背面空洞が生じないように確実に打ち込む必要があり、さらに施工時の締固め不足やコールドジョイントの発生を防ぐとともに、脱型後のひび割れの発生や剝離・剥落を防止する必要がある。

今回は、これらの覆工技術のうち、打込み技術としての新技術を2例紹介する。

#### (1) スターライトセントル打設システム(飛鳥建設)

本工法は、複数の照度センサが埋設されたセントル型枠を用いて、施工中の打設高さや圧送状況などをリアルタイムに大型モニタに表示して見える化しつつ、型枠バイブレータによる締固めを自動化する覆工打設システムである。

#### (2) マイスタークリート工法(西松建設)

本工法は、覆工コンクリートのアーチクラウン部を確実に充填し、密実で高品質なコンクリートを施工する技術である。コンクリートの打込みや締固めの方法を工夫し、特殊な吸引チューブを用いた補助工法により、覆工背面から空洞の発生原因となる空気やブリーディング水を効率的に外部へ排出する。また各種センサを用いた計測管理を併用して、合理的な施工を行う技術である。

### ② スターライトセントル打設システム

#### 2-1 開発の背景

##### 2-1-1 それまでの状況

NATMでセントル型枠を用いて覆工コンクリートを打設する場合、コンクリートは側壁部の下方の検査窓から打ち込まれ、打設高さに応じて打ち込む検査窓を上方に変えつつ、肩部の検査窓を経て、最後は天端の吹上げ口から打ち込まれる。このとき、打上がり速度が速すぎたり、左右の打上がり速度が違いすぎると、型枠に大きな圧力や偏圧が作用して変形やずれの原因となる。また、打重ね時間が長くなってしまうとコールドジョイントの原因となる。

以上のような施工上のトラブルを防ぐため、コンクリートの打設高さを管理することは施工管理のうえで重要である。通常は、打設高さを確認するため、狭隘なセントル内から検査窓越しに照明を当てながら覗き込んで目視確認するという苦渋

作業を要した。そのため、近年では打設高さ管理の自動化・定量化方法として、セトル表面に圧力センサを埋め込み、圧力測定で管理する方法や、覆工補強鉄筋に静電容量センサを設置してコンクリートを検知する打設管理システム<sup>1)</sup>が開発されている。

### 2-1-2 開発への取組み

打設中の打設高さを詳細に判別するためには、数多くのセンサをセトル型枠内に配置したり、覆工コンクリート内の補強鉄筋にセットしておく必要があるが、コストが増大する、あるいは、設置手間が増えてサイクルに影響を及ぼすなどの課題が残されていた。そこで、安価な照度センサとLEDをセトル型枠内に管理上必要となるすべての箇所に埋め込み、コンクリートの有無を照度で判別して可視化する打設高さ管理システムを開発することとした。

### 2-1-3 開発の経緯

図-1に、今回、新規に開発した打設高さ管理システムのセンサ部分の設置例を示す。

使用している照度センサはCdS(硫化カドミウム)セルと呼ばれるもので、コンクリートが照度センサを覆って暗くなったときの照度の変化を検知できる。また、LEDには、車のヘッドライトにも使用されているCREE製D-1466(T10 3W 120lm)ハ

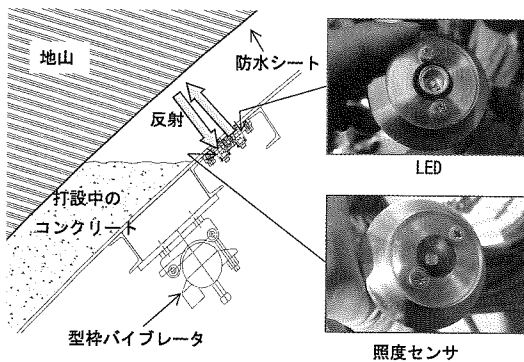


図-1 照度センサとLEDの設置例

イルーメンバルブを使用している。採用したLEDは、防水シートに反射した光を照度センサで検知するのに十分な光量を備えている。

センサ部分は照度センサとLEDが1つつで1セットとなり、それぞれの設置孔にスキンプレート裏側から照度センサとLEDを挿し込んで固定する。

### 2-2 開発の成果と実績

#### 2-2-1 開発成果

今回システムを設置したセトルには、横断方向に5測線、1測線あたりアーチ方向に一定の間隔を空けて11セット、合わせて55セットの照度センサとLEDを設置した。多数のLEDによって打設空間の照度が確保され、作業効率や安全性の向上にも寄与している。

図-2に、システムの管理画面の一例を示す。打設中、照度センサの照度が事前に設定した閾値以

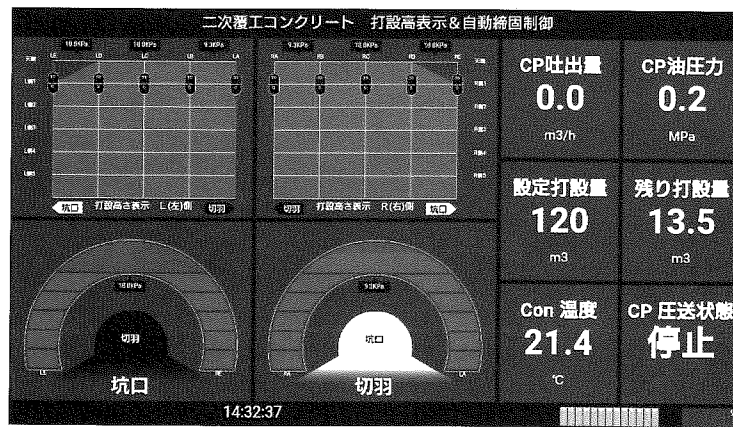


図-2 システム管理画面の表示例



写真-1 型枠パイプ集中制御システム

下になると、そのセンサに対応する画面の箇所が青くなる。画面の右側にはコンクリートポンプ車から送られてくる情報が表示されており、累計の圧送量から設定打設量に対して残り打設量を計算して表示する。

また、この画面は制御用PCで管理されており、各情報はログとして自動で記録されている。同じ画面がセトルの切羽側の妻部付近に設置した大型ディスプレイに常時表示されるほか、クラウドサーバを介して、坑内外、ならびに遠隔地でもスマートフォンなどの情報端末で、打設の進捗具合を確認することができる。

本システムは「型枠パイプ集中制御システム(NETIS:KT-130066-A)」(写真-1)<sup>2)</sup>と連携して、コンクリートが打ち上がった箇所に対し、タイマー制御によって自動で締固めを行うことができる。誤動作を避けるため、「30秒連続して光量が閾値以下となった場合」を「コンクリートがその高さまで打ち上がった」と判別するシステムとなっており、その後タイマーで事前に設定した秒数だけ型枠パイプを振動させる。機械による自動制御を行うため、振動不足による締固め不足や振動過多による材料分離のリスクを排除することができる。

現在は試験導入という位置づけで、肩部から天端部にかけてのみ型枠パイプを設置し、人力の棒状パイプと併用し、最適なタイマー制御方法を検証している。

#### 2-2-2 適用事例

本システムを導入したのは、国土交通省中国地方整備局の「長門俵山道路大寧寺第3トンネル北工事」である。

写真-2に、打設前のセトル天端部の状況を示す。また、写真-3にセトル内の本システムの制御盤、大型モニタ設置状況を示す。

通常、打設空間はアイランプなどの照明を設置しなければ照度が足りず遠くを目視することは不可能であるが、多数設置されたLEDによってほかの照明がなくとも奥まで視界を確保できていることがわかる。

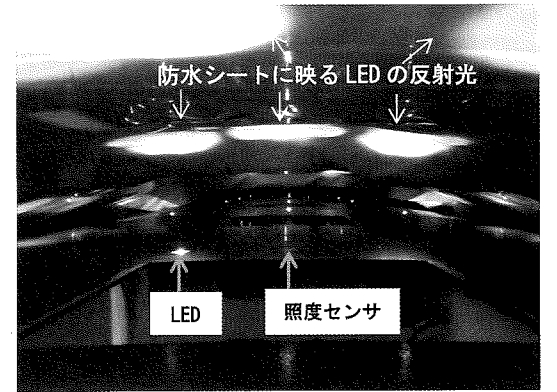


写真-2 全LED点灯時のセトル天端部

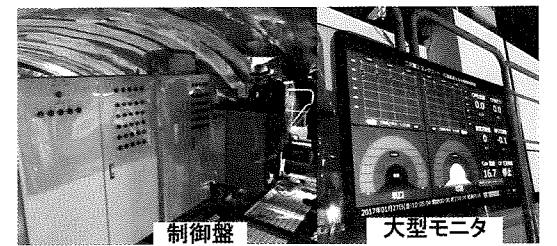


写真-3 セトル内に配備された制御盤と大型モニタ セトル天端部

事前の懸念事項として、照度センサとLEDをコンクリートから防護しているポリカーボネートの透光性が摩耗によって失われ、照度を検知できなくなる可能性を憂慮していたが、反応する照度の閾値を正しく設定することで、初打設から1か月が過ぎた時点(2017(平成29)年4月現在)でもとくに問題は発生していない。また、肩部から天端部に配置された型枠パイプの自動制御は、正常に動作しているのが確認できた。

#### 2-3 残された問題点

本システムは実用レベルの技術ではあるが、以下に示す課題が残されており、今後の改良改善点と考えている。

- ・セトル型枠のくり返し使用を踏まえた照度センサおよびLEDの耐久性の検証
- ・通常配合の覆工コンクリートに対する型枠パイプの最適配置と稼働条件の検証

#### 2-4 おわりに

施工管理上必要な箇所に多数のセンサ設置が可能な、「照度センサを用いた覆工コンクリートの

打設高さ管理システム」を開発することによって、打上がり速度の可視化と記録、クラウドサーバを通じた情報共有を実現し、品質を保証するとともに照度の確保などによって施工性も向上させることができた。

今後は、型枠バイブレータの自動締固め機能の検証・改善を進め、将来的には締固め作業の完全自動化を実現して省力化に貢献できると考えている。

### ③ マイスタークリート工法

#### 3-1 開発の背景

##### 3-1-1 それまでの状況

山岳トンネルの覆工コンクリート施工において、充填性や密実性を確保するうえでもっとも苦勞する箇所は、断面肩部から上方のアーチクラウン部(以下「天端部」)の施工である。狭隘な条件下で施工する天端部は、人力によるバイブレータでの締固め作業がしにくい。目視で充填の完了を確認できない。

また、施工は現場の熟練技術者の経験に頼ることが多い。このため、条件次第では、コンクリートの充填不良による背面空洞の発生や品質低下などの不具合を生じる場合がある。

##### 3-1-2 開発への取組み

開発当時、当社(西松建設)での施工経験から、覆工コンクリート天端部の品質向上に有効ないくつかの施工方法があった。しかし、それらの効果について、現場での定性的な評価は多数あったものの、定量的に比較評価した知見は十分ではなかった。そこで、各施工法を単独もしくは組み合わせて用いたときの品質向上効果を実験で定量的に確認し、覆工天端施工に有効な方法として、「マイスタークリート工法」の開発に取り組んだ。

#### 3-1-3 開発の経緯

実際の施工現場において、覆工コンクリート背面の充填状況やコンクリート品質の詳細な情報を得ることはきわめて難しい。そこで、実大規模の覆工コンクリート天端模擬型枠を製作し、施工方法の違いがコンクリートの充填性や品質に与える影響を実験で確認した(写真-4)<sup>3)~5)</sup>。なお、型枠の背面地山側は、吹付けコンクリートと支保工による仕上がり凹凸面を再現しており、とくに凹凸が大きく空洞発生リスクが高いCIIパターンの設計形状で製作した(図-3)。

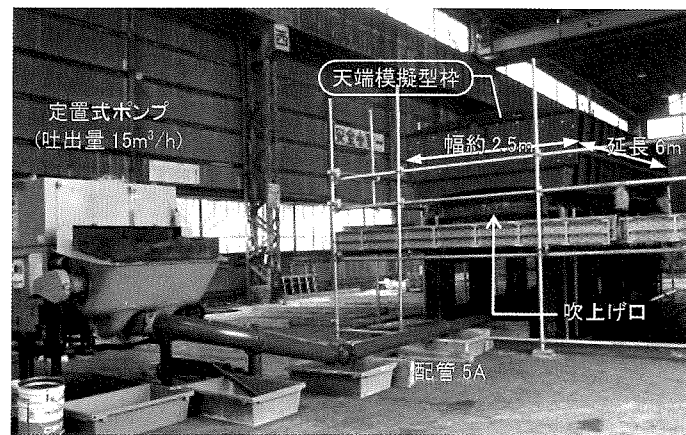


写真-4 実大天端模擬型枠を用いた実験

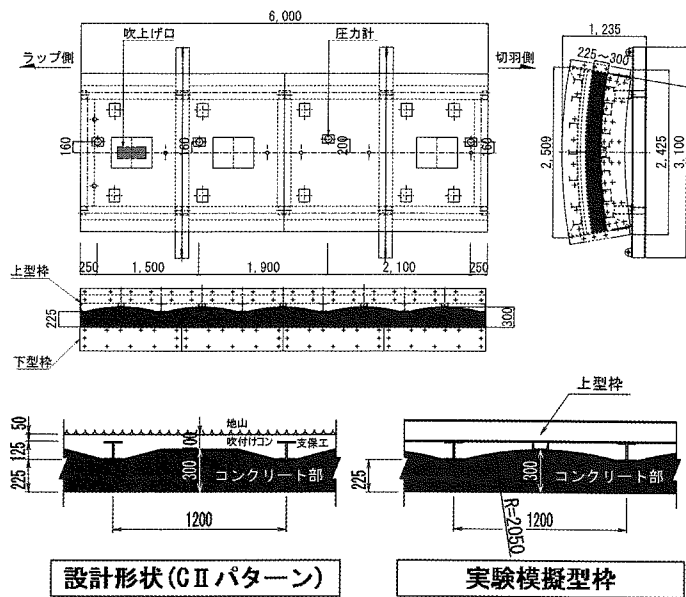


図-3 天端模擬型枠の形状寸法

#### 3-2 開発の成果と実績

##### 3-2-1 マイスタークリート工法

###### (1) 工法概要

図-4にマイスタークリート工法の概要図を、表-1に構成技術の概要を示す。本工法は、覆工コンクリートの天端部を施工する際、コンクリートの打込みや締固めの方法および補助工法を組み合わせる。さらに、圧力センサや充填検知センサを用いた計測管理を併用して、コンクリートを確実に充填し、高品質化する技術である。

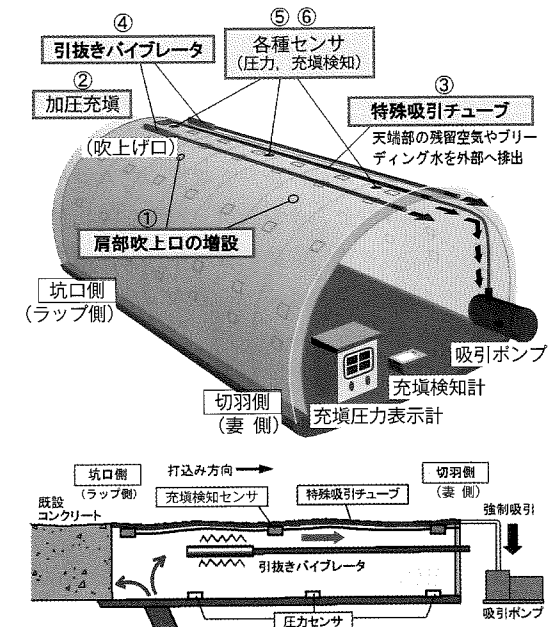


図-4 工法の概要図

表-1 構成技術の概要

分類	技術内容	期待される主な効果
打込み技術	① トンネル断面形状に応じて肩部にコンクリート吹上げ口を増設	・天端吹上げ打込み量の減量 ・コールドジョイントや材料分離の防止
	② 加圧充填施工(目標圧力80kPa: センترل許容荷重の8割程度)	・コンクリート密実性向上
	③ 防水シート天端表面の縦断方向に設置した特殊吸引チューブで、覆工背面の残留空気とブリーディング水を強制排出	・背面空洞の発生防止 ・巻厚品質の均一化
計測管理技術	④ 天端引抜きバイブレータ(2本以上)による締固め	・コンクリート締固め ・コンクリート作用圧力の均等化
	⑤ 圧力センサ(3~4か所)をセンترل頂部に設置し、打込み中の圧力を常時管理	・コンクリート作用圧力の確認 ・過剰圧力の発生防止
	⑥ コンクリート充填検知センサ(3か所以上/スパン)による充填状況の常時管理	・コンクリート充填状況の確認

###### 1) 肩部吹上げ口の増設

大断面トンネルや扁平型断面トンネルなどで、天端吹上げ施工によるコンクリートの打込み量が過大となった場合、コンクリートの材料分離や充填不良による品質低下が懸念される。そこでトンネル断面に応じて、センترل肩部に打設孔(吹上げ口)を適宜増設し、同箇所からコンクリートを打ち込む。これにより、天端の打設窓から肩部を目視確認しながら締固め・充填することができる。また天端吹上げ施工量が減るため、コールドジョイントや材料分離を防止できる。

###### 2) 加圧充填と充填圧力管理

一般的な施工手順で施工した場合、コンクリート天端部(縦断方向)に作用する圧力は経験的に40~20kPa程度まで上がり、ラップ側の天端吹上げ口付近がもっとも値が高く、妻方向に向かって低くなる。覆工巻き厚300mmでの自重圧は計算上10kPa未満のため、標準的な施工を行った場合でも実際には、やや過圧状態となっている。この状態からさらにコンクリートをポンプで慎重に押し目標値80kPa(センترل許容耐圧の8割程度)まで加圧充填する。圧力管理には、センترلのスキンプレート頂部に縦断方向に3~4か所設置した圧力センサ(写真-5)を使用する。加圧完了後の圧力値は80~40kPa程度に分布し、加圧充填による効果は、コンクリート強度が6~9%増加、単位容積質量1~2%増加で、密実性の向上を実験で確認した。

3) 特殊吸引チューブ

吹付けコンクリート面の不陸や防水シートのたわみなどにより、覆工コンクリートの背面には少なからず凹凸が生じている。このためコンクリートを打ち込んだとき、背面空洞の発生原因となる空気やブリーディング水が溜まりやすく、とくに天端部ではその除去が充填性確保の観点から必要であった。そこでセントルを所定位置に据え付ける前にあらかじめ天端部の防水シート面に特殊な吸引チューブ(内径8mmまたは12mm)(写真-6)を縦断方向に設置しておき、施工中、吸引ポンプを用いて残留空気やブリーディング水を強制的に外部へ排出する(写真-7)。吸引チューブは空気と水のみを通す膜構造となっている。これにより覆工天端部の狭隘な施工環境でもコンクリートを確実に

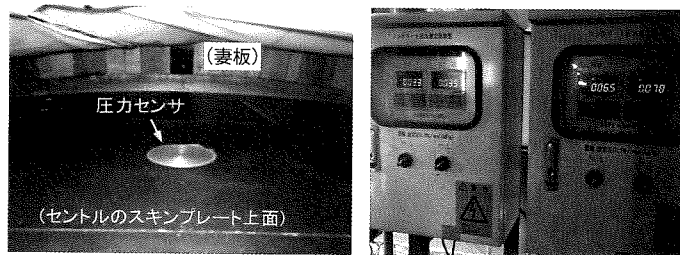


写真-5 圧力センサと制御盤表示例

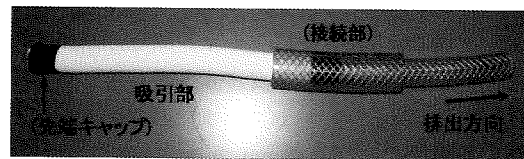


写真-6 特殊吸引チューブ

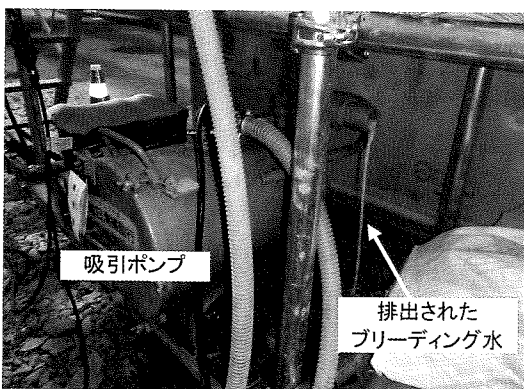


写真-7 ブリーディング水の排出状況

に充填でき、均質かつ高品質なコンクリートの施工を実現する。

4) 天端引抜きパイプレータ

コンクリートを加圧充填したのち、リール巻取り式天端引抜きパイプレータを稼働させながら妻方向へと引き抜き、天端全体を締め固める(写真-8)。引抜きパイプレータによる締固め有効範囲の目安は、直径φ50mmの場合で幅100cm程度である。締固め完了後の縦断方向の圧力値は平均40~50kPa前後となり、締固め前の圧力値(加圧完了後80~40kPa程度)に比べると、圧力差が小さくなる。

5) 充填管理

天端部コンクリートの充填状況を常時確認するため、充填検知センサによる充填管理を行う。セントル据付け前、天端部の防水シートに専用センサを設置し(写真-9)、施工中はロガー本体に表示された充填判定結果を参考に施工を進める。

(2) 施工品質

実大模擬型枠を用いた実験結果から得られた、マイスタークリート工法の効果を、従来工法(一般的な手順で施

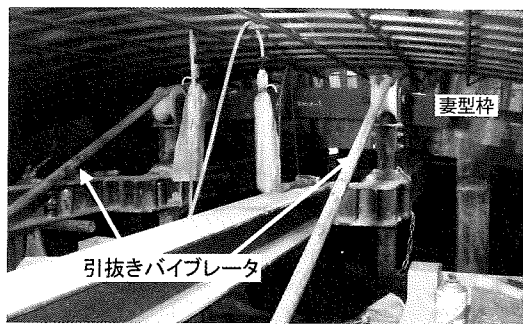


写真-8 引抜きパイプレータの使用状況

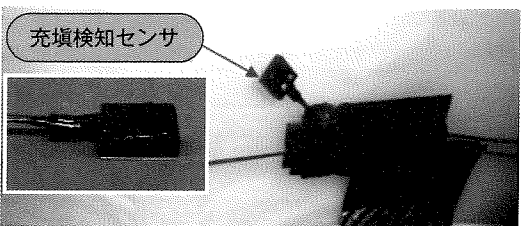


写真-9 充填検知センサ設置状況

工した場合)と比較して示す。

1) 圧縮強度

図-5にコンクリート圧縮強度の結果を示す。圧縮強度は、従来工法よりも平均11%向上し、さらに地山側と内空側との強度差が半減し、巻き厚方向に均質な強度のコンクリートを構築できた。

2) 密実性

地山側と内空側から採取したコア表層部の全細孔径容積から密実性を評価した(図-6参照)。全細孔径容積は、従来工法に比べて20%以上小さく、コンクリートが密実化していることを確認した。

3) 中性化抵抗性

内空側から採取したコア供試体の促進中性化試

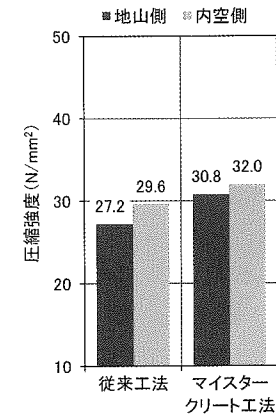


図-5 圧縮強度

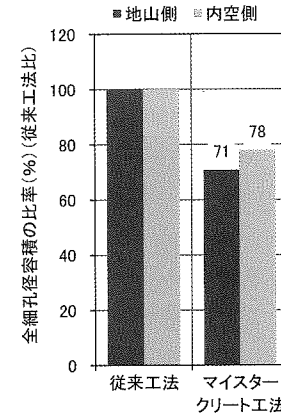


図-6 密実性

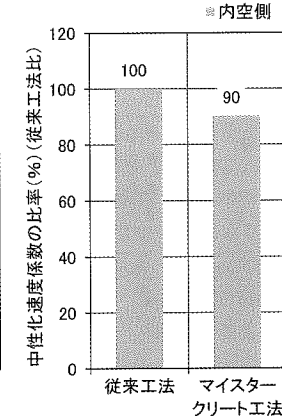


図-7 中性化抵抗性

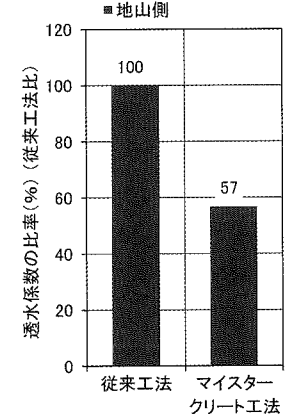
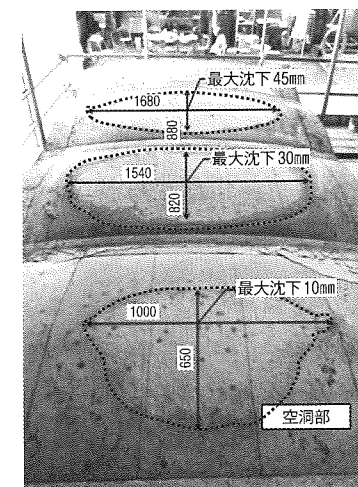
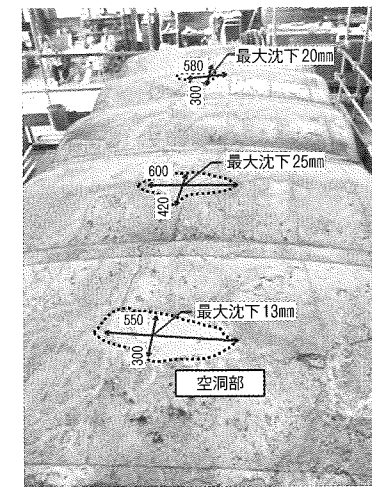


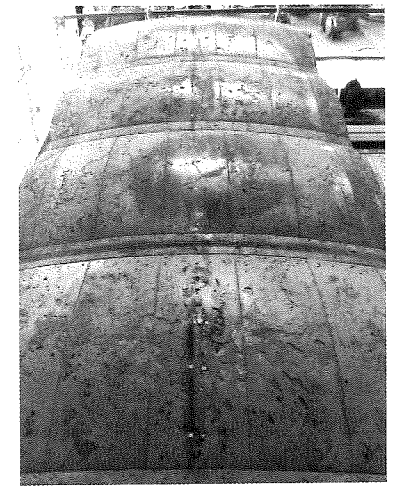
図-8 水密性



従来工法



加圧充填+引抜きパイプレータ施工



マイスタークリート工法

験の結果(図-7参照)、中性化の進行速度が従来工法よりも10%小さく、中性化抵抗性が向上した。

4) 水密性

地山側から採取したコア供試体の透水試験の結果(図-8)、従来工法と比べて、透水係数が43%小さく、コンクリートの水密性が大きく向上した。

5) 充填性

写真-10は地山側の空洞発生状況の実験結果で、点線枠内が空洞発生領域を示しており、写真左から、従来工法、加圧充填+天端引抜きパイプレータ施工、マイスタークリート工法の順である。

測定の結果、マイスタークリート工法では空洞の発生は確認されず、きわめて高い充填性を確認

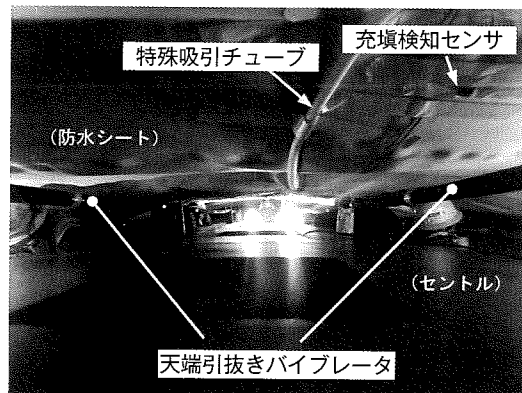


写真-11 特殊吸引チューブ設置状況

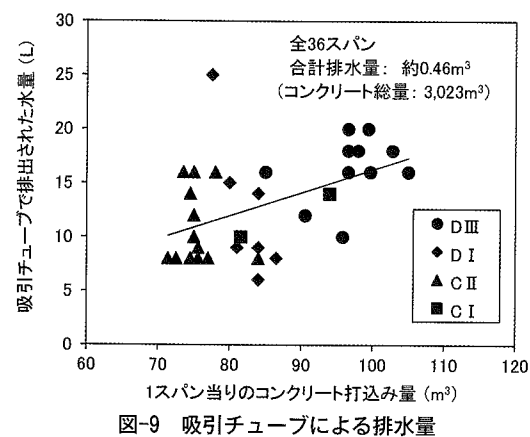


図-9 吸引チューブによる排水量

できた。

### 3-2-2 適用事例

2車線道路トンネル工事の覆工コンクリート施工にマイスタークリート工法を適用したときの施工結果について紹介する。

#### (1) 吸引チューブによる排水量

写真-11に現場での特殊吸引チューブの設置状況を示す。また図-9に各覆工スパンでの吸引チューブによる排水量と1スパンあたりのコンクリート打込み量との関係を示す。測定の結果、1スパンあたりの排水量は平均13L程度で、コンクリート打込み量が多いほど増加傾向を示した。なお、全36スパンでの合計排水量は0.46m³であった。

#### (2) 覆工内部非破壊調査

覆工コンクリート内部の欠陥箇所や背面空洞の発生を推定して3次元で擬似可視化する超音波トモグラフィ法を用いた非破壊診断を試行した(写



写真-12 超音波トモグラフィ法による覆工内部非破壊調査状況

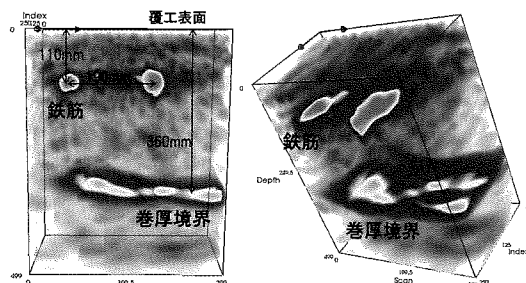


図-10 覆工内部非破壊調査結果例

真-12)。調査の結果、覆工コンクリートの内部欠陥や背面空洞などは検出されず、良好な充填状況を確認できた(図-10参照)。

#### (3) 非破壊試験による品質確認

別現場では表面吸水試験(SWAT)で覆工コンクリート表層の緻密性を評価した(写真-13)⁹)。測定の結果、天端部での表面吸水速度 $p_{600}$ の値は0.160mL/m²/sで、従来工法で施工した箇所での測定結果に比べて約40%値が小さく、グレード判定は「良」で、コンクリートの緻密性が格段に向上していることが確認された(表-2)。

### 3-3 残された問題点

加圧充填と特殊吸引チューブを併用することで、天端部コンクリートの高品質化、充填性向上を図ることが可能である。しかし、吸引チューブの設

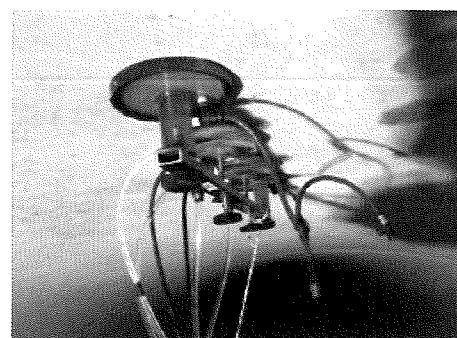


写真-13 SWAT測定状況(天端部)

表-2 表面吸水試験SWATの測定結果

施工方法	表面吸水速度 $p_{600}$ (mL/m²/s)	品質グレード判定
従来工法	0.379	一般
マイスタークリート工法	0.160	良

品質グレード評価: 0.250以下(良), 0.250~0.500(一般), 0.500以上(劣)

置方法や吸引時間の設定などは現場状況やコンクリート配合などによって異なるため、最適な方法の確立が求められる。

### 3-4 おわりに

マイスタークリート工法は、当社(西松建設)実績が16件、吸引チューブを用いた施工実績だけでもほかに45件(2016(平成28)年11月時点)に達し、覆工天端の充填や均質化に寄与する有効な方法であると考え、今後も多くの現場に適用して、よ

り高度な工法へと改良を重ねて行くことが望まれる。

(文責: 鈴木雅行/(株)安藤・間, 熊谷幸樹/飛鳥建設(株), 佐藤幸三・椎名貴快/西松建設(株))

### 参考文献

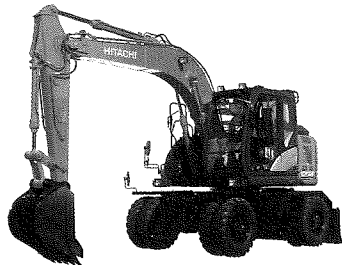
- 1) 三河内永康・藤倉裕介・関原弦: 覆工コンクリートの施工状況の見える化, フジタ技術研究報告, No.51, pp.27-32, 2015.
- 2) 平間昭信・松原利之・柳森豊・岡田朋道・筒井隆規・小西裕之・瀧岡優作・山口達也: 増粘剤を用いた中流動コンクリートの開発および現場適用, 東九州自動車道新津トンネル工事, とびしま技報, No.60, pp.1-10, 2011.
- 3) 佐藤幸三・椎名貴快・高橋雅・金丸信一: マイスタークリート工法の開発, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, VI-011, pp.21-22, 2012.9.
- 4) 椎名貴快・佐藤幸三・高橋雅: 中流動覆工コンクリート打込み時の吸引ホースによる天端部充てん性確認実験, 土木学会第67回年次学術講演会講演概要集, VI-015, pp.29-30, 2012.9.
- 5) 椎名貴快・佐藤幸三・三戸憲三・大野幸次: 覆工コンクリート打込み方法の違いが天端部の品質と充てん性に与える影響, 土木建設技術発表会2012概要集, 土木学会建設技術研究委員会, pp.7-14, 2012.11.
- 6) 中谷真英・高木雄一郎・伊藤忠彦: 覆工コンクリートへのマイスタークリート工法の適用, 土木学会第71回年次学術講演会講演概要集, VI-440, pp.879-880, 2016.9.

## 『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

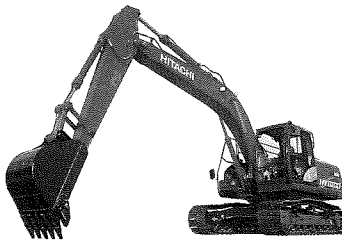
1. 原稿は弊社ホームページ(<http://www.tunnel.ne.jp>)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます。
  2. 原稿のボリュームは、原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)。
  3. 原稿掲載の採否は、本誌編集委員会で審査のうえ決定します。
  4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
  5. 原稿は、原則として返却いたしません。  
(注: 「現場だより」の投稿は受け付けておりません)
- 送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係  
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
電話 (03) 3267-2888(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

# 工法・技術・製品ニュース

## 製品 日立建機ホイール式油圧ショベルとハイブリッド油圧ショベル発売



ZX125W-6



ZH200-6

日立建機(株)ブランド・コミュニケーション本部 広報戦略室 広報 IR 部 広報グループ  
Tel.03-5826-8152  
URL <https://japan.hitachi-kenki.co.jp/>

日立建機は、新型のホイール式油圧ショベルとハイブリッド油圧ショベルを9月1日から発売すると発表した。

ホイール式油圧ショベルはZX125W-6(標準バケット容量0.45m<sup>3</sup>、運転質量13.84t)で、オフロード法2014年基準に適合した12tクラスの油圧ショベル。同機は国内メーカー唯一のオンロード向け12tクラスのホイール式油圧ショベルで、その機動性と作業性から、首都圏など都市部での道路工事や、北海道での除雪作業など、日本国内におけるオンロードの現場で好評を得ているという。

新機種は、車体の軽量化により最高速度38km/hの機動力を実現したほか、最新油圧システムを採用し、オートパワーリフト、アーム・バケット高圧時再生キャンセル機構やパワーディギングなど、操作性や作業性を向上させる新たな機能を追加した。また、車体上部右側の先端を300mm後退させ、オペレータからの右前方視界の視認性を向上させるな

ど安全性を高めている。

ハイブリッド油圧ショベルはZH200-6(標準バケット容量0.8m<sup>3</sup>、運転質量20.2t)で、豊田自動織機と共同開発したモーター一体型の新型ハイブリッドエンジンを搭載したモデル。

新型ハイブリッドエンジンに加え、油圧システムも一新。さらには日立オートモティブシステムズと共同開発したリチウムイオンバッテリーを採用し、旋回電動モーターの最大トルクを向上させ、旋回減速時のエネルギー回収量を増加させるなど、自動車・産業車両分野の技術を融合させている。これにより、従来機のハイブリッド油圧ショベルZH200-6と比較して約12%、また、標準機ZX200-6と比較して約40%の燃費低減を実現したという。また、上部旋回体の上部に手すりを標準で装備するとともに、エンジンおよびマフラカバーの開閉方向を変更するなど、メンテナンス時の安全性と作業性の向上も図っている。

## 岩盤地下空洞の設計と施工

E. フック・E. T. ブラウン共著/小野寺透・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本 本体価格9,800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

一般社団法人

## 日本トンネル技術協会

# 会報

### 1. 会員の現状

	6月30日現在
個人会員	886名
団体会員	204名
推薦会員	207名
特別会員	9名
名誉会員	5名
賛助会員	201名
合計	1,512名

### 2. 平成29年度第2回理事会

日時：平成29年6月6日(火) 15:30~16:00  
場所：海運クラブ3階 303号室  
出席者：理事13名、監事2名、計15名  
議 事：

#### ①入退会について

平成29年4月~5月の入退会の状況報告があった。

#### ②定時総会進行次第について

平成29年度定時総会議案の進行次第を了承した。

### 3. 平成29年度定時総会

日時：平成29年6月6日(火) 16:00~16:40  
場所：海運クラブ 2階ホール  
出席者：出席171名、委任状708名、計879名  
議 案：

- 第1号議案 平成28年度事業報告について(内容省略)
- 第2号議案 平成28年度事業収支決算について(別表1参照)
- 第3号議案 平成29年度事業計画について(内容省略)
- 第4号議案 平成29年度事業収支予算について(別表2参照)
- 第5号議案 理事および監事の選任について(別表3参照)

#### ①常設委員会の委員長は次表のとおり

委員会名	委員長名	所 属
総務委員会	遠藤 元一	東日本高速道路(株)
国際委員会	中村 武夫	中日本高速道路(株)
事業委員会	入江 健二	メトロ開発(株)
技術委員会	西村 和夫	首都大学東京

#### ②施工体験発表会における最優秀発表の表彰式

平成28年度施工体験発表会における山岳部門、都市部門の最優秀発表者それぞれ1名ずつ表彰した。

### 4. 平成29年度第3回理事会

日時：平成29年6月6日(火) 16:40~16:50  
場所：海運クラブ3階 303号室  
出席者：理事10名、監事3名、計13名  
議 事：

#### ①役員(会長、副会長)の互選について

会長として谷口博昭理事、副会長として小島滋理事および宮本洋一理事を選定した(別表3参照)。

#### ②顧問の推薦について

佐藤信彦前会長を顧問に推薦したいとの提案があり承認した。

### 5. 委員会の開催状況(6月1日~30日)

#### ①運営広報委員会関係

##### ◎事業委員会

事業委員会(6/14)

入江健二委員長ほか15名、催物開催結果と催物開催企画を検討

##### ◎総務委員会

・広報小委員会

会誌WG(6/7)

小山幸則主査ほか12名、7月号の会誌と3か月計画を検討

##### ◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外ニュースWG(6/27)

篠原慶二幹事ほか8名、海外文献の査読  
計 3回開催 38名出席

#### ②調査研究委員会関係

##### ◎技術委員会

・都市トンネル小委員会

セグメント実態調査WG(6/21)

守屋洋一副主査ほか8名、取りまとめ方針を検討

・安全環境小委員会

要望処理WG(6/21)

畑一民主査ほか6名、取りまとめ方針を検討

・山岳工法小委員会

地山評価WG(6/22)

木谷日出男主査ほか12名、切羽観察データを検討

計 3回開催 29名出席

合計 6回開催 67名出席

6. 国際会議の開催予定

Table with 4 columns: 会議名, 開催日, 場所, 主催者等. Lists international conferences including ITA General Assemblies in Dubai (UAE) and Naples (Italy).

\* 会議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。 TEL: 03-3524-1755 FAX: 03-5148-3655

7. 平成29年度催物開催現況

(平成29年6月現在)

Table with 5 columns: 催物名, 開催日, 人数, 場所, CPD取得単位. Lists events like '現場見学会' and '施工体験発表会'.

催物の案内は逐次協会のホームページに掲載いたしますのでご覧ください。 http://www.japan-tunnel.org/event\_japan

第9回日中シールド技術交流会

主催: 日中シールド技術交流会
後援: (一社)日本トンネル技術協会

開催期日: 2017年8月27日(土)~30日(水)

会場: 定山溪万世閣ホテルミリオーネ 札幌市南区定山溪温泉東3丁目

日程: 8月27日(日) 開会式

講演会(市民公開講座) 講師: 大田 弘((株)熊谷組相談役)

研究発表

8月28日(月) 研究発表, 討論会

8月29日(火) 北海道内視察

8月30日(水) 外かく環状道路トンネル工事現場視察

申し込み先: 第9回日中シールド技術交流会

参加登録ウェブサイト: https://v3.apollon.nta.co.jp/9thshield\_main/

問い合わせ先: 第9回日中シールド技術交流会事務局

E-mail: japan\_china\_shieldtunnel@yahoo.co.jp

(別表1)

平成28年度事業収支決算書(損益ベース)

平成28年4月1日~平成29年3月31日

Large financial statement table with multiple columns for '実施事業等会計' and 'その他会計'. Includes sub-totals for '経常増減の部' and '経常外増減の部'.

(別表2)

平成29年度事業収支予算書(損益ベース)

平成29年4月1日~平成30年3月31日

Table with columns for '科目' (Item), '実施事業等会計' (Implementation Accounting), 'その他会計' (Other Accounting), '法人会計' (Corporate Accounting), and '合計' (Total). It details financial data for various categories like '経常収益' (Regular Income) and '経常費用' (Regular Expenses).

(別表3)

役員・顧問・評議員名簿

平成29年6月6日現在

Table listing board members, advisors, and auditors. Columns include '区分' (Category), '氏名' (Name), '所属' (Affiliation), '区分' (Category), '氏名' (Name), and '所属' (Affiliation). Lists names like 谷口博昭, 小島滋, 宮本洋一, etc.

会長1, 副会長2, 専務理事1, 理事14, 監事3, 役員計21名 顧問4名, 評議員30名

## 9月号予告[9月1日発売予定]

- 山岳トンネルの路盤隆起メカニズムと対策工の効果に関する研究
- 東京外かく環状道路 京葉ジャンクションAランプ
- 国道45号 豊間根トンネル
- 東京メトロ銀座線 上野通路線改良工事
- 東京都水道局 第二朝霞東村山線
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(22)

\*内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

暑中お見舞い申し上げます

編集部一同

◆先日、九州北部で記録的な豪雨により甚大な被害がもたらされました。被災した方にお見舞いを申し上げるとともに、1日も早い復興・復旧をお祈りいたします。

◆同じ福岡県宗像市に位置する「『神宿る島』宗像・沖ノ島と関連遺産群」が世界文化遺産に登録されました。沖ノ島は、島全体が「宗像大社」の神領で、島にある沖津宮には「田心姫神院」という名の女神が祀られている亜熱帯植物原始林におおわれた周囲約4kmの小さな島です。また、この島から出土した装飾品などはすべて国宝に指定され、海の「正倉院」ともよばれています。この島は、女人禁制、一木一草一石たりとも持ち出すことを禁ずるなどの掟が、いまでも厳重に守られている「神聖な島」です。登録以前は、年に1回上陸希望の一般男性から限定200人のみが上陸を許されておりましたが、残念ながら保全のため一般の立入りは全面禁止になる見込みです。後世にも神秘的かつ神聖な島であり続けるためには新しい「掟」にも従うしかありません。

(K.Y)

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

★(一社)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(一社)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48巻 第8号 (通巻564号)

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成29年7月20日 印刷

平成29年8月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会

会長 谷口 博昭

〒104-0045 東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)

TEL: 03-3524-1755

FAX: 03-5148-3655

http://www.japan-tunnel.org

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 株式会社新協

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、小社より振込用紙をお送りいたします。

購読料

1冊 1,620円(送料110円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。TEL: 03-3267-2888

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

## 吸引ダクトが無くても全ての断面、全ての延長に対応

たった37kWで2,750m<sup>3</sup>/min イーダスコ270使用時

トンネル工専用 電気集じん器

# e-DUSCO

イーダスコ240/イーダスコ270

ファン動力30kW ファン動力37kW

## NETIS

公共工事等における新技術活用システム

登録番号: TH-100024-VE

経済産業省後援

第39回優秀環境装置

日本産業機械工業会 会長賞

## 全てのトンネルに適用可能!



- クラス最高の集じん効率95%\*
- 有害な微細粉じんも逃さない電気式
- 現場メンテナンスは手間いらず
- 大風量と省エネを同時に実現

### 吸引捕集方式にも対応



### 希釈封じ込め方式での計算例

#### ① 粉じん発生量

$$F_o = 360 \times 22 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.75 = 5,940 \text{ (mg/min)}$$

#### ② 所要換気量

$$Q_{4a} = \frac{5,940}{3.0 - 0.07} = 2,027 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

$$Q_a = 54.0 + 2,027 = 2,081 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

#### ③ 集じん機の選定

$$Q_s = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 \text{ (m}^3/\text{min)} \leq 2,750 \text{ (m}^3/\text{min)}$$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400/FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m <sup>3</sup> /min 任意設定の4モード <sup>※5</sup>
全長 <sup>※1</sup>	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高 <sup>※2</sup>	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線400V107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時と同じ)
洗浄水 <sup>※3</sup>	2.4~3.2m <sup>3</sup> /回	
捕集ダスト処理	濾式	
集じん効率 <sup>※4</sup>	95%以上	93%以上
吸引捕集方式	対応可	

注) 伸縮風管システムは本体には含まれません。

※1 入口ダクト及び絞リダクトは含みません。※2 台車および揚重用治具の高さは含みません。※3 機種により多少異なります。※4 JIS Z 8808 並びに換気技術指針(H24.3)に定める試験方法に基づき第三者計量機関により測定した値です。※5 任意設定にて最大2,750m<sup>3</sup>/minまで可能です。

△古河機械金属グループ  
古河産機システムズ株式会社

URL: http://www.furukawa-sanki.co.jp/

本社  
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3  
第三営業部 ☎03-3212-6575

大阪支店 ☎06-6344-2532 名古屋支店 ☎052-561-4580 札幌支店 ☎011-784-1179  
東北支店 ☎022-221-3532 九州支店 ☎092-741-5193 小浜工場 ☎0285-23-8662

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志 監修, 木谷日出男 編著  
3,200 円+税 B5 判

トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき「地相」について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、画期的な入門書。



セグメントの新技术

小泉 淳 監修  
2,000 円+税 B5 判

1990 年代から急速に機能が拡大したシールド用セグメント 34 種を掲載。セグメントの設計・施工の際に利用しやすいよう各々の特徴を整理して掲載した。



ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E.グッドマン・G.H.シー 共著,  
吉中龍之進・大西有三 共訳  
4,855 円+税 A5 判

岩盤内に分布する不連続面と、掘削面など自由面の間の三次元的幾何学的関係から安定に影響する岩塊を見出す新手法を解説。



岩盤の計測と解析

鈴木 光 著  
4,200 円+税 A5 判

地質や地盤の事前調査と測定、工事中の施工管理計測、さらには、地盤や構造物の変形や応力分布に関する予測解析などの計測法と解析法を解説した。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200 円+税 B5 判

地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



続きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛 共著  
1,200 円+税 新書判

温泉開発における一般論から探査技術についてまとめ、今後の温泉開発の考え方を、外国の事例も交えながらわかりやすくまとめた。



山岳トンネルの新技术

ジオフロンテ研究会 編  
14,573 円+税 B5 判

NATM によるトンネルを施工する際の基本事項を概説するとともに、1990 年頃までに実用化された各種工法・補助工法について理論から施工のポイントを掲載した。



わかりやすいトンネル技術入門(都市トンネル編)

橋本定雄・松本崇義・松本正敏 共著  
2,800 円+税 A5 判

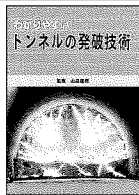
都市の代表的な地下施設である地下鉄、上水道、下水道の各トンネルについて、それぞれの主だった工法ごとに計画から施工まで実例をまじえてわかりやすく解説した。



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭 監修  
1,500 円+税 B5 判

火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫 著  
6,000 円+税 A5 判

建設技術者に必要な地質・岩石・岩盤などの基礎知識と酸欠・有害ガス・ガス爆発・湧水などの建設災害について、著者の経験を交えながらまとめた。



ジオテクスタイル設計マニュアル

T. A. Haliburton・J. D. Lawmaker・  
V. C. McGuffe 共著,  
田中 茂・山岡一三・廣田泰久 共訳  
8,000 円+税 A5 判

ジオテクスタイルの交通施設への利用について詳述された 1981 年の報告書を完訳。



海洋資源開発

稲田善紀 著  
3,400 円+税 A5 判

海洋の石油・天然ガス・石炭などのエネルギー資源と、マンガンノジュールの鉱物資源、また、海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた。



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会 監修  
2,500 円+税 B5 判

近年に開発、実用化された 29 工法を整理、体系化するとともに、各工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点などをわかりやすく説明した。



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  
4,660 円+税 B5 判

シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック・E.T.ブラウン 共著,  
小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・  
北川 隆 共訳  
9,800 円+税 B5 判

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した。



トンネルと地下

1,500 円+税 B5 判 月刊(毎月 1 日発売)

日本で唯一のトンネルと地下構造物の専門月刊誌。研究、調査・設計から施工にいたるまで、その時点での技術的問題点を中心に、業界の動向などをあわせて網羅しながら、新鮮な情報を提供する。



推進工法の理論と実際

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  
8,500 円+税 B5 判

推進工法の理論を、多くの挿図を用い解説した。日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修。



地下水の科学 I ~ III (全 3 巻)

P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著,  
地下水の科学研究会・大西有三 監訳

地球という複雑なシステムを循環する水、とくに地下水循環を考え、汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため、水の物理的・科学的性質、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をわかりやすく解説した。



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉 共著  
4,300 円+税 A5 判

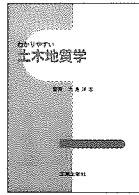
地質の基礎知識を説明して、調査・試験方法とその判断と評価について解説を加え、地すべり・斜面崩壊・山岳・都市トンネル・ダムなどの地質診断の要点を解説。



わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修  
2,500 円+税 B5 判

土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み、土木工事において問題となる地質事象や、各種地質調査の原理についてわかりやすく解説を与えた。



トンネル工事の衛生と環境保全

白谷三郎・橋本康孝・友田 孝 共著  
3,200 円+税 A5 判

トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。

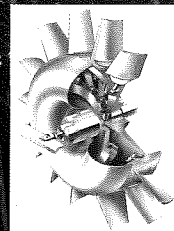


書籍のお申し込み

ご注文は当社へFAXまたは、書店にてお申し込みください。FAXでご注文の際は、書名、部数、送り先、氏名、電話番号を明記のうえ下記までお送りください。

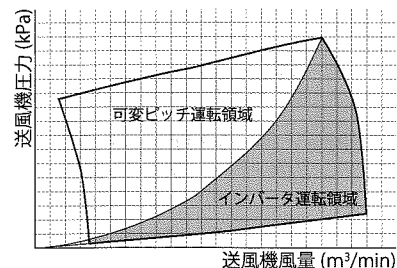
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町 16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

# トンネル工事の必需品 可変ピッチ軸流送風機 BIG-LOG



BIG-LOG は当社の開発商品です

- 可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式 (右上図)
- 風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバータ制御には無い幅広い運転領域を確保できます (右図)
- 風管抵抗に合わせて自動可変をおこない圧損調整をするため無駄な電力を消費しません
- 風量設定が数値で出来るため一定風量で運転が可能 (風量の見える化)



型 式	能 力	電 動 機	騒 音 値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m³/min × 3.92/4.9kPa	60kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	1500m³/min × 3.5/2.6kPa		
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa	80kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	2000m³/min × 1.76/1.76kPa		
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa	110kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
	3000m³/min × 1.8/2.45kPa		
CDH1400-30-175(4)W	3000m³/min × 4.6/4.9kPa	175kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	77 dB

※2 段で記載の機種はどちらか選択ができます

長距離でも無駄な風量を自動制御できるという可変式の特徴を活かした  
省電力システム「i-Res」を開発しました

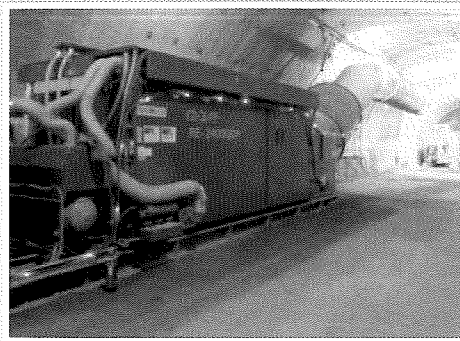


菅機械工業株式会社

URL <http://www.suga-kikai.co.jp>



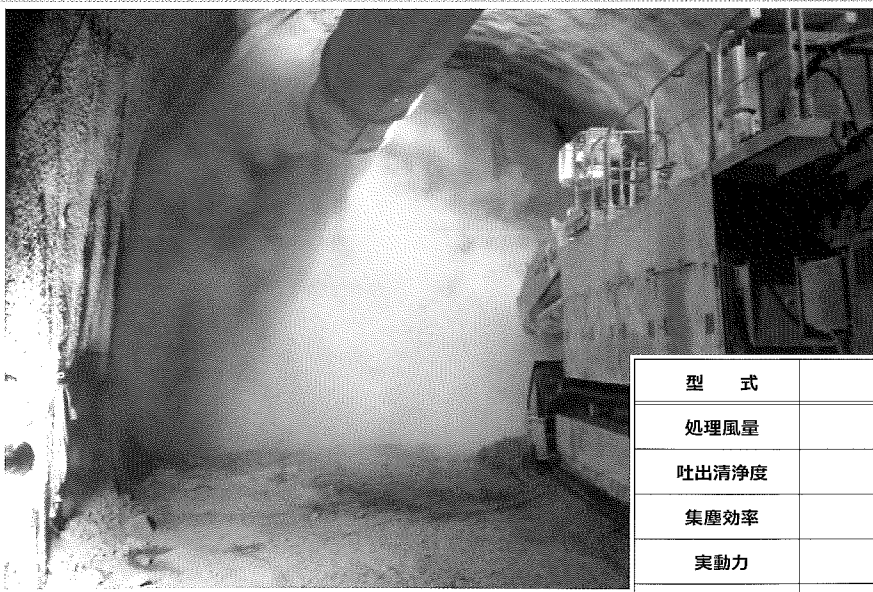
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町13番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460



## 動力60%低減実現! (当社従来比)

### 吸引捕集換気システム 新登場 RE-2400QDP

「コンパクト&低動力&高浄度」を一度に実現した孤高のスペック



型 式	RE-2400QDP
処理風量	2,400m³/min
吐出浄度	0.1mg/m³以下
集塵効率	99%以上
実動力	440V・83kW
寸法 (L×W×H)	2,869×12,963×3,387(mm)
重量	12,600kg

最適環境を創造する  
株式会社 流機 エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田3-4-2  
TEL: 03-3452-7400  
URL: <http://www.ryuki.com/>  
E-mail: [eigyobu@ryuki.com](mailto:eigyobu@ryuki.com)

(PC・スマホ専用)



未踏の領域に挑み、  
夢を叶えてきた先駆者たち。  
**JIMTはその志を受け継ぎ、**  
**地下開発の未来を築きます。**



1989年12月 英仏海峡トンネルT-5工区貫通式



**JIMテクノロジー(JIMT)は、株式会社IHI(IHI)、  
JFEエンジニアリング(JFE)、三菱重工業株式会社(MHI)の  
トンネル掘削機事業を統合した会社です。**



**JIMテクノロジー株式会社**

本社・川崎事業所……〒210-0024 神奈川県川崎市川崎区日進町1-14 ————— TEL.044-201-8268/FAX.044-201-8636  
神戸事業所……………〒652-0864 兵庫県神戸市兵庫区笠松通7丁目2番25号 ——— TEL.078-381-5100/FAX.078-381-6990

定価 1,620円  
本体価格1,500円

雑誌06619-8



4910066190873  
01500