

# トンネルと地下 12

vol. 46  
no. 12  
2015

Tunnels and Underground

東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える  
深度500m瑞浪超深地層研究坑道に設置する止水壁の設計  
照明工学から見た施工中のトンネル照明に関する一考察  
これまでの地震対策への取組み(2)

日本トンネル技術協会誌



**FRD**  
FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

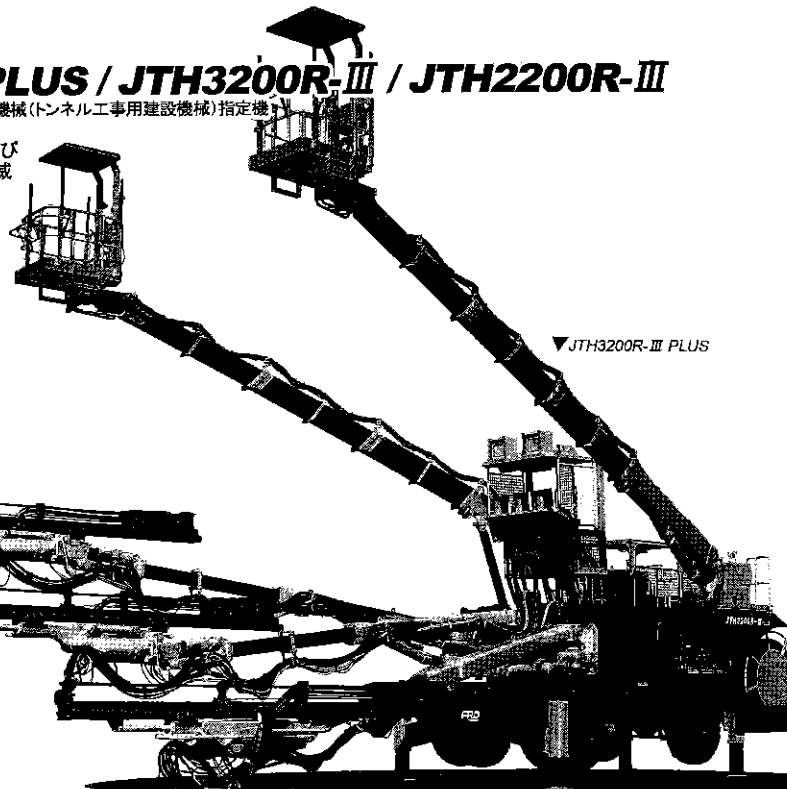
**JTH3200R-III PLUS / JTH3200R-III / JTH2200R-III**

国土交通省 第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工用建設機械)指定機

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



新型油圧ドリフタHD220搭載



▼JTH3200R-III PLUS

◆主な仕様	JTH3200R-III PLUS 3ブーム、2ケージ	JTH3200R-III 3ブーム、2ケージ	JTH2200R-III 2ブーム、2ケージ
質量	48.5 ton	44 ton	35.5 ton
全長 × 全幅 × 全高	15.6m × 3.1m × 4.2m	14.8m × 3.1m × 4.2m	14.2m × 2.7m × 4m
水平さく孔範囲(幅 × 高さ)	16m × 10.5m	13.2m × 8.8m	12.8m × 8.5m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

**CJM2200E-V**

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

質量	24 ton
全長 × 全幅 × 全高	16 m × 3 m × 4 m
水平吹付範囲(幅 × 高さ)	13.3 m × 10 m

△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

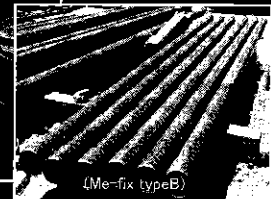
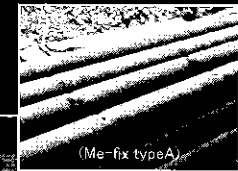
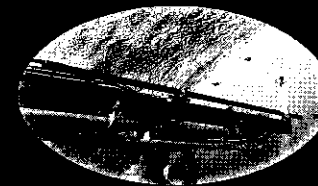
特許第 3882118 号

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。

NEW!

	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:大阪府北区西天満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

# 日本で生まれ、世界へ広がる。 NATMの補助工法

当社は、注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング、長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして、数多くの実績を築いてきました。

スーパーSRFは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し、湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります。更に、多くの特許を取得しているため、他が追従できない商品です。

## 補助工法ラインナップ

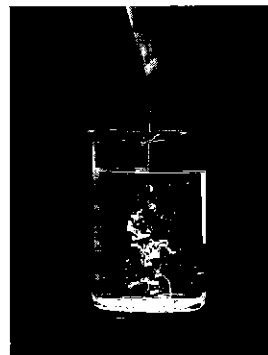
- ⇒ 注入式フォアポーリング
- ⇒ 各種長尺フォアパイリング
- ⇒ 多重式長尺フォアパイリング
- ⇒ エコリムーブ工法
- ⇒ パノラマ工法  
(φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1)

※特許取得、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。

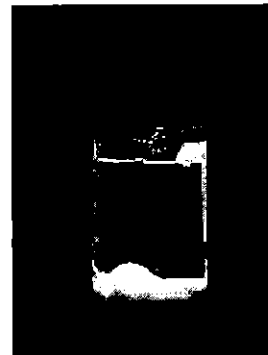
## スーパーSRFの優位性

スーパーSRFは、水に溶解、希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため、湧水地山においても、水の白濁や泡立ちが発生せず、地山中に沈着し強固に結合するため、湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します。これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり、多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です。

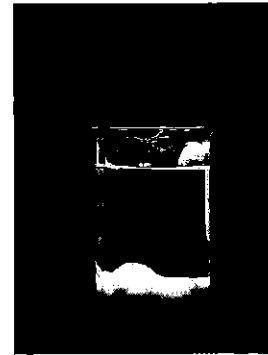
混合直後



3分後



10分後



# KATECS

株式会社 カテックス  
建設資材事業部

ホームページ <http://www.katecs.jp/>

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

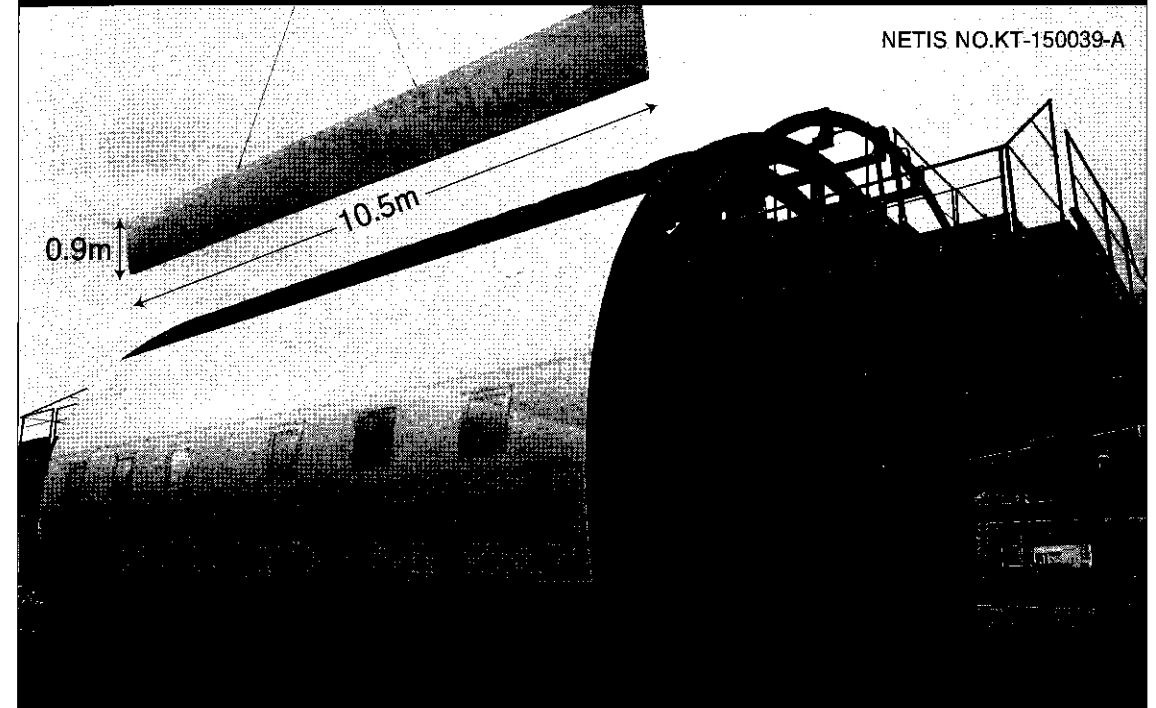
北海道地区(機エイチ・アール・オー)

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

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



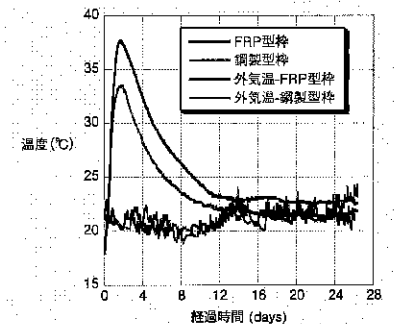
## ■透気試験実施



覆工コンクリートの表面部分の透気係数を測定することにより、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

## ■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、橋アンタ 古江トンネルにて測定】



◎3~4°Cの保温効果により、コンクリート強度が15~20%向上

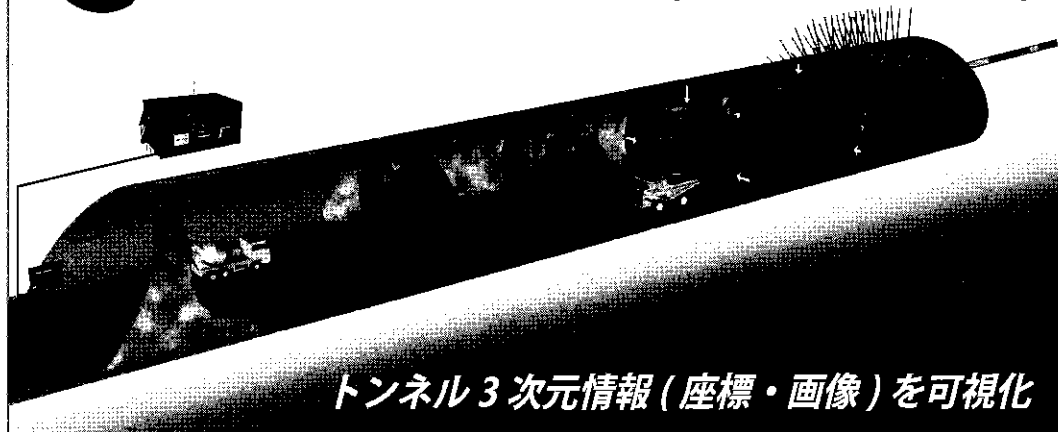
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本社 東京都中央区新富1-20-10 東京都中央区新富1-20-10  
 ■ 九州営業所 福岡市中央区天神2-1-1 福岡市中央区天神2-1-1  
 ■ 指定工場 〒919-0441 福井県坂井市春江町

# トンネルCIM元年 2015



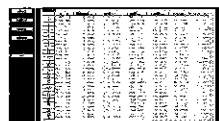
3D可視化プラットフォームによる  
CIM Communication (情報共有・一元管理)



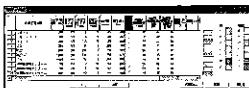
トンネル3次元情報(座標・画像)を可視化

## 基礎資料の収集

モデル作成に必要なデータや管理したい調査データを収集します。



種別情報(設計)



支保パターン情報(設計)



CyberNATM

## 1 初期モデルの作成

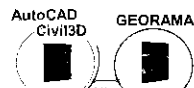
基礎資料をもとにCivil3D/GEORAMAを利用してモデル化を行います。



初期構造モデル



初期地盤情報モデル

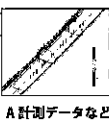


## 2 施工モデルの作成

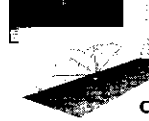
計測データや施工属性データをモデル化に反映し、日々の工事状況を可視化、管理していきます。



観測データ



A計測データなど



CyberNATM

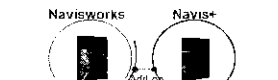
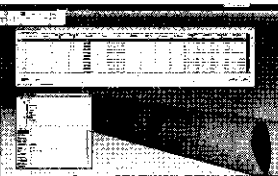


Navisworks

Navis+

## 3 維持管理モデル

施工時に作成したモデルを利用して維持管理側でも利用します。追加の情報はエクセル等を用いて、その都度更新が可能です。



現在稼働中も含めて多数の実績があります。CIMに関する相談は、下記にお問い合わせ下さい。



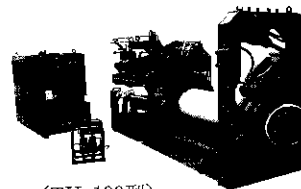
enzan

株式会社 演算工房

■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

# THパイプルーフ工法

NETIS登録 No.KT-120020-A

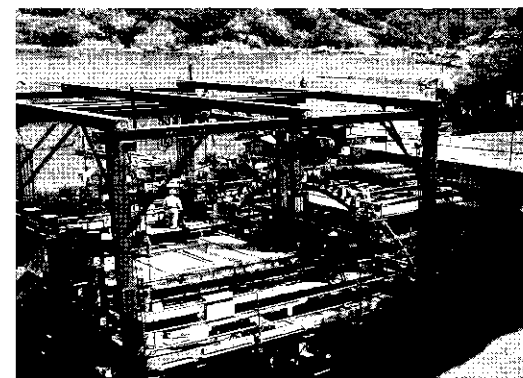


(TH-100型)

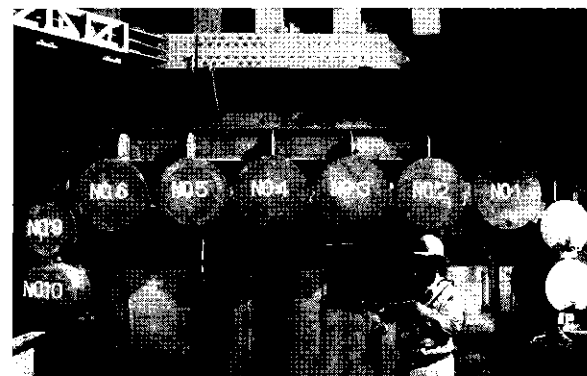
確実な空間確保  
高精度・全地盤型 水平鋼管圧入システム

## ★特徴★

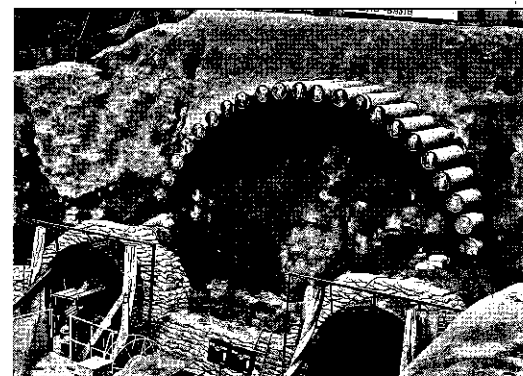
- ・本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- ・常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易)
- ・オーガ中掘り掘削、地山との空隙に同時注入も可能
- ・推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- ・適応管径は、φ200A~φ1200A
- ・最大推進長は、約70~100m
- ・推進機は、推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会員〕 ※会員募集中 [お問い合わせは 下記 事務局へ]

(株)小宮山土木 長野県 TEL 0267-56-1299  
東洋地工(株) 福井県 TEL 0776-53-5335  
日特建設(株) 東京都 TEL 03-3542-9120  
ケミカルグROUT(株) 東京都 TEL 03-5575-0511  
(株)最上機工 山形県 TEL 0233-23-1555  
サン開発工事(株) 大阪府 TEL 072-641-4951

東邦地下工機(株) 東京都 TEL 03-3474-3143  
日本基礎技術(株) 東京都 TEL 03-5365-2500  
(株)大阪防水建設社 大阪府 TEL 06-6762-5621  
多田建設(株) 福島県 TEL 024-535-6161  
札幌黒澤工業(株) 北海道 TEL 011-215-7500  
(順不同)

<http://www.piperroof.jp> (ホームページです。ここから資料が取り出せます。)

## THパイプルーフ技術協会

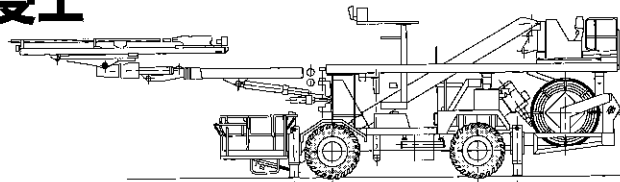
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内  
TEL 03-3474-3143 FAX 03-3474-3163 E-mail: jimukyoku@piperroof.jp



## 環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO **AGF** System

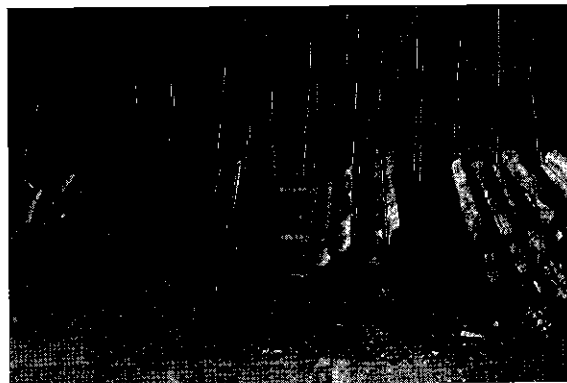
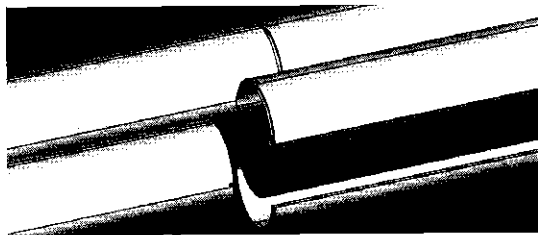
All Ground Fastening;  
Long-Distance, Fore-Pilling Method



### AGF-Me工法

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

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



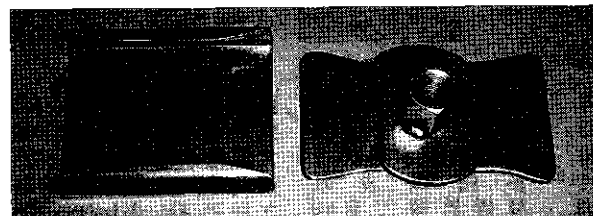
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

### TKグリッパー

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

固定方法は3ステップ

- 支保工へ溶接したグリッパーに防水シートを当てます。
- 回転プレートを押し込みます。
- 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**

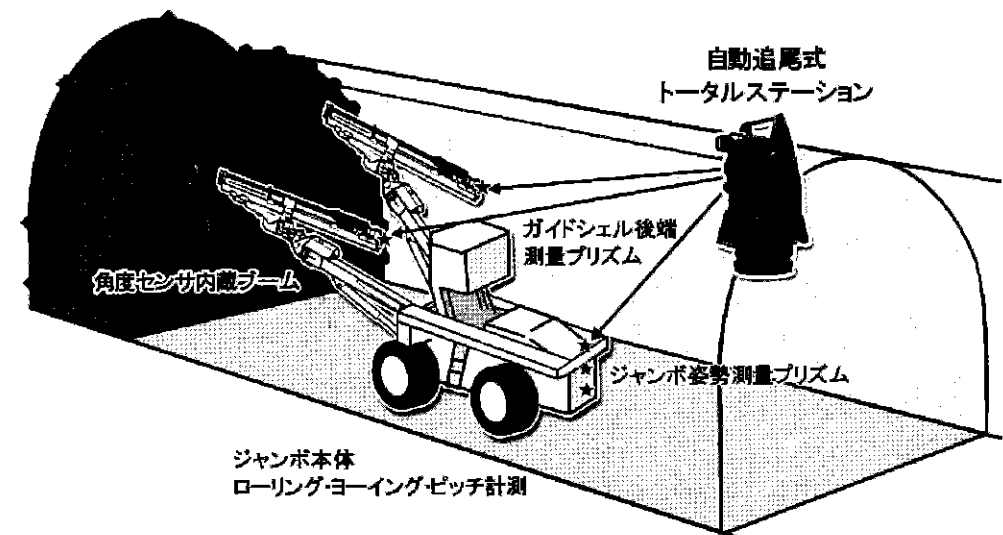
〒210-0854  
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11  
Tel: **044-333-0012** Fax: **044-333-0321**  
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

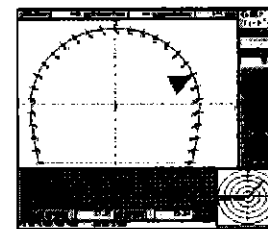
## 自動追尾式余掘り低減システム

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

- 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。
- ガイドシェ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。
- 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
- 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用命は

**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

# 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LS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ます。



<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/> 月刊推進技術

※印刷部

月刊推進技術 編集室

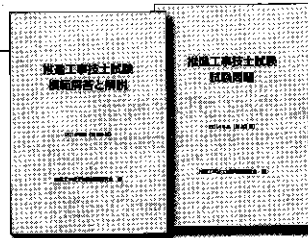
<http://www.lswb.co.jp/micro-tunnelling/>

〒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 akasaka@lswb.co.jp

## 推進工事技士試験 過去13年間(平成14~26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



平成26年度版発売中!!

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に(公社)日本推進技術協会が平成4年度より実施している制度で、管路施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。

解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応じて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活用いただければ幸いです。

#### 1. 内容と特長

- 過去13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・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- 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

各年度単位に1set 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。

※印刷部

株式会社LSプランニング  
[http://www2.ocn.ne.jp/~ls\\_siken/](http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/)

〒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 oda@lswb.co.jp

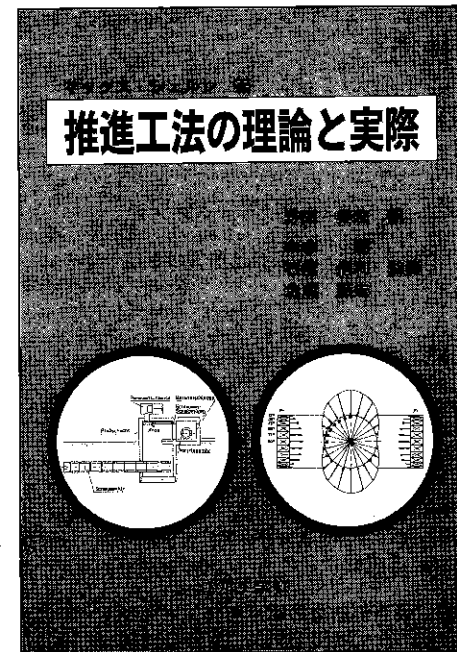
# 推進工法の理論と実際

## 推薦の言葉

中本 至・石橋信利・金成英夫

## マニュアルを超えて 推進工法の理解を さらに深める一冊

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五%にすぎなかったが、今日では六〇%近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水道の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法



より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

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

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  
B5判 定価：8,500円+税

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
tel: 03-3567-2888 fax: 03-3267-2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

株式会社 **土木工学社**

【好評発売中】

# セグメントの新技术

監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年、コスト削減はすべてに優先する至上命題となっており、シールド工事もその例外ではない。シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが、シールド工事費の削減のためにはセグメントの製造コストの削減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきている。

このような状況を受けてここ10年ほどの間に、急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された。

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く、名称もバラエティに富み、その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある。

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し、「セグメントの新技术」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した。セグメントの名称、特徴、開発目的、適用範囲などは同じフォーマットで掲載され、また、最終回では、そこで紹介されたセグメントを整理分類し、新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した。

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技术」編纂委員会を作り、個々のセグメントに加筆、修正を加え、より充実した内容にまとめたものである。

## 〈セグメントの新技术〉

- |                         |                       |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. 薄型化・高強度セグメント         | 18. シンプロセグメント         |
| 2. サンドイッチ型合成セグメント       | 19. WBセグメント           |
| 3. 矩形トンネル用合成セグメント       | 20. リングロックセグメント       |
| 4. NMセグメント              | 21. KLセグメント           |
| 5. 二次覆工省略型ダクタイルセグメント    | 22. コーンコネクターセグメント     |
| 6. リングシールド工法用セグメント      | 23. FRP-Key継手         |
| 7. コンクリート中詰め鋼製セグメント     | 24. ほぞ付きセグメント         |
| 8. DNAシールド              | 25. HOTセグメント          |
| 9. ガイドロックセグメント          | 26. インサート継手(その1:アーチ形) |
| 10. ウイングセグメント           | 27. インサート継手(その2:NF型)  |
| 11. ハニカムセグメント           | 28. CPIセグメント          |
| 12. CONEX-SYSTEM        | 29. PPCセグメント          |
| 13. スパイラルセグメント          | 30. FBRセグメント          |
| 14. コッター・クイックジョイントセグメント | 31. NRTセグメント          |
| 15. ワンパスセグメント           | 32. タイドアーチセグメント       |
| 16. ASセグメント             | 33. 遠心力締めRCセグメント      |
| 17. マルチブレード式継手セグメント     | 34. 高流動コンクリートセグメント    |

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

## 《ご注文票》

セグメントの新技术 冊 申込みます。

所在地 〒 ( )

事業所名

部 課 名

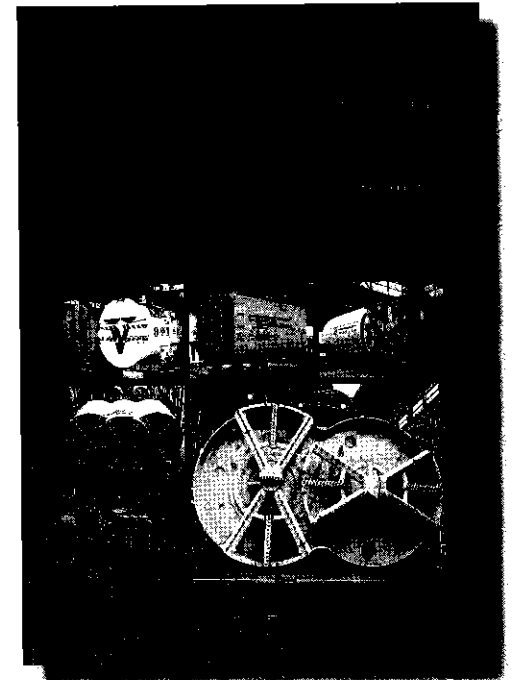
申込者名

印

# シールド トンネルの 新 技 術

シールドトンネルの新技术研究会 編

B5判 280頁 定価: 4,660円+税



進化を続けるシールド工法。その誕生から技術の変遷、将来の技術開発の動向までをまとめ、最先端の技術について理論と実際にいたるまで記載した。

豊富な設計・施工例を掲載し、応用のしやすい的確な解説を加えた好評の一冊。

## 目 次

### 第1章 概説

1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性  
シールド工法の歴史/わが国におけるシールド工法の歴史/今後の技術開発の方向性

### 第2章 調査・計画編

1. シールド工法の調査技術  
シールド工事における調査の取り組み方/基本計画時の調査(予備調査)/設計時の調査(基本調査, 詳細調査)/施工時の調査(確認調査, 管理調査)/施工後の調査(追跡調査)

### 2. 断面および線形計画

断面および線形/鉄道用シールド/下水道用シールド/断面と線形における今後の展開

### 3. シールド機種の種類と選定

シールド機の構造と装備/現状のシールド機種の種類と選定方法

### 4. 新しいシールド工法

大断面化, 大深度化, 長距離化への展望

### 第3章 設計・施工編

1. 覆工  
一次覆工の設計/二次覆工の設計と施工/シールドトンネルの防水技術

### 2. 立坑の設計と施工設備

立坑の設計と施工

### 3. 仮設備

仮設備の計画

### 4. シールド工事の自動化

掘進管理システム/方向制御システム/セグメント自動組み立てロボット/自動搬送システム/その他の自動化技術

### 5. 掘進と施工管理

シールド掘進と施工管理/シールド機の発進と到達/裏込め注入工法と注入効果/曲線施工と地中接合/補助工法の種類と選定

### 6. 近接施工と環境対策

近接工法と対策/アンダーピニングおよび支障物対策/シールド工事と環境対策

### 7. 新工法の現状と将来展望

自由断面シールド掘進(縦槽円断面)/

異形断面シールド/分岐・接合シールド/球体シールド(ホルン)工法/複円形, 矩形および拡大シールドの開発動向/ECL工法

8. 切羽の安定と地盤変状防止  
切羽安定の理論と実際/泥水式シールド工法の切羽安定/土圧式シールド工法の切羽安定/特殊条件下の切羽安定

9. 地盤変位の理論と実際  
地盤変位の実際/地盤変位の予測解析

### 付録

1. セグメントの設計例  
セグメントの設計例/外国の設計手法との比較/有限要素法を用いたシールド覆工設計例

2. 地盤変位予測解析手法の例  
地盤変位の一般的な性状/予測解析手法の例

3. シールド工事の施工計画  
施工計画書とは/施工計画立案手順/シールド工事施工計画書の参考例

参考文献/索引

株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 http://www.tunnel.ne.jp

# スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献!

## 立坑スリッパフォーム工法

- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン

1 ロット 3m のコンクリート打設用ジャックアップフォーム設置

2 掘削の爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。

ジャックアップ作業時 / スライド型枠

## ワールドマシンTBMリフトアップ

- 安全確実で経済的なステップロッド方式
- イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
- 複数ジャッキを高精度制御

地下鉄シールドマシンのリフトアップ (東京メトロ副都心線工事)

1,950トンのTBMリフトアップ (飛騨トンネル工事)

**営業品目** ■ジャッキリース・オペレータ  
■架台・型枠足場 設計・製作・据付工事

**JFE シビル 株式会社**  
JFE 都市基盤営業部 特殊工法グループ

〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号 (JFE蔵前ビル)  
TEL:03-3864-5293 FAX:03-3864-7319  
URL <http://www.jfe-civil.com/> E-mail jack@jfe-civil.com

# トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

## パーカッションワイヤーライン サンプリング工法

- 断層破砕帯や湧水をとまぬ難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行なえ、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 鉋研工業株式会社**

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

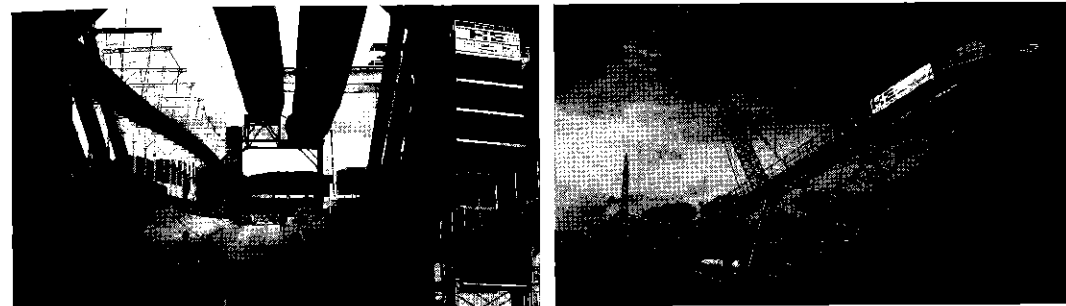
お問合せ先: エンジニアリング本部 エンジニアリング部  
TEL. 03-6907-7512 FAX. 03-6907-7522

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

北海道支店: (011) 561-4961 東北支店: (022) 762-8075 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

**H+E**  
H+E LOGISTIK GMBH

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: 2x355 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: 4x160 kW, 2x90 kW  
Belt Storage Capacity: 2x300 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**

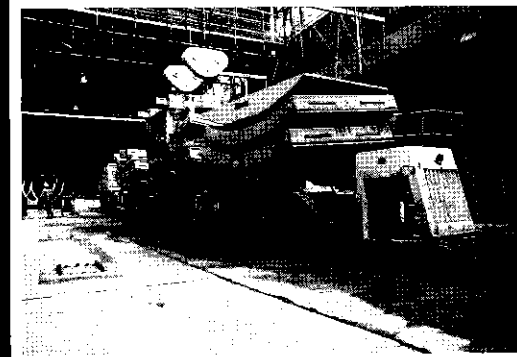
**TMS** Techni-Metal Systèmes

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

# MIWA K-40N KIRUNA

## K-40Nトンネルズリ運搬車

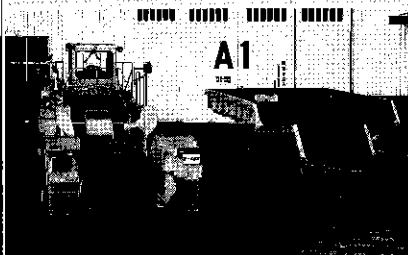
オフロード法 2014年排出ガス基準適合エンジン搭載車



### 最新型コンテナ式運搬車

#### 特徴

1. 工期短縮
2. 運搬車両台数の削減
3. 坑内作業環境の向上
4. ズリ搬出制約の対応
5. 多目的使用



流れすみやかに！トランスポート・イノベーション ミワ・システム車両  
**三輪運輸工業株式会社**

本社 〒651-0072 神戸市中央区臨浜町 2-1-16  
 TEL:078-251-5001 FAX:078-251-4525  
 プロダクトカンパニー 〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 39  
 TEL:079-435-5115 FAX:079-435-1565  
<http://www.miwa-gr.co.jp>

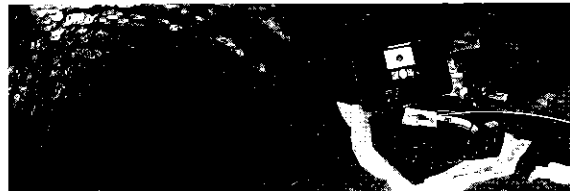
### ジャンボによるRDV削孔検層 Research Drilling Visualization System

技術提案・創意工夫

#### ジャンボで検層 プラスαの提案

従来の削孔検層では、排泥水からの土質サンプリングや削孔エネルギーデータの取得情報等により地山状況を想定・判断していました。当システムでは削孔検層を実施した際、ボアホール内にファイバースコープカメラを挿入する事で、より確実に地山状況を可視化し判断する事が出来ます。現場・地山状況により、最適な削孔ツール・資機材を選定提案し施工しますので、幅広い状況に対応します。

- ・ジャンボでの削孔検層による前方地山の可視化。
- ・切羽安全性の事前評価材料。
- ・補助工法の採用検討材料。
- ・削孔検層データとの複合的な評価材料。
- ・湧水発生箇所の特定材料。
- ・静止画もしくは動画にて撮影、保存が可能。
- ・技術提案、創意工夫。



※地山の状況によっては、カメラ・ケーブルを挿入出来ない可能性もあります。  
 ※ボアホールカメラではありませんので、ボアホール側面を円周状に捉える事は出来ません。

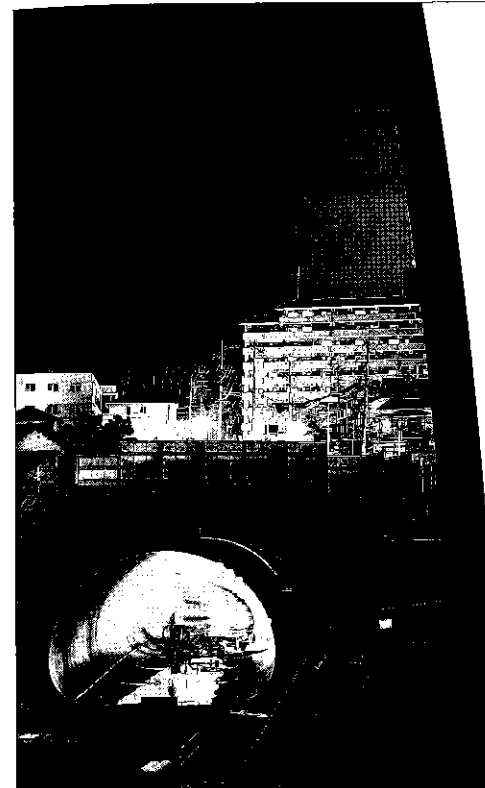
#### 《取り扱い商品》

- ・削孔ツール全般
- ・空撮業務（マルチコプター）
- ・トンネル入出坑、坑内管理システム
- ・振動・騒音自動監視警報システム
- ・建設資材全般
- ・長尺水抜き鋼管削孔システム
- ・LED照明
- ・ダンプ運行管理システム
- ・補助工法注入管理
- （吊鉤筋金具、コンクリート養生マット、安全用品、工具、他）



《問い合わせ先》  
 株式会社アローズ 代表取締役佐川和矢  
 Mobile: 080-1604-1097 (365days 24h OK)  
 〒168-0064 東京都杉並区永福2-36-4-107  
 TEL: 03-3327-7089 FAX: 03-6800-2163  
 E-mail: ksagawa@arrows-sgw.com  
 URL: www.arrows-sgw.com

# 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えます。

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。オリカ社がどのような様形で貴社のお手伝いを出れるかについて [orica.com/edevil](http://orica.com/edevil) にアクセスしてeDevil Case Studyのビデオをご覧ください。

orica.com



## ゴムクローラ式エレクター付 コンクリート吹付システム 『新型スコーピオン NSCPI-TN』



安全・操作性を徹底的に追求した次世代型吹付機！  
 状況に応じキャッチャーやポンプの選択が可能！

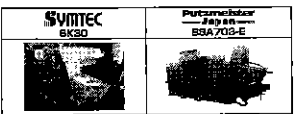
項目	仕様	標準	オプション	仕様	標準	オプション
1. 全長	2000	2000	2000	1. 全高	1100	1100
2. 重量	1500	1500	1500	2. 自重	1500	1500
3. 最大吹付距離	100	100	100	3. 最大吹付距離	100	100
4. 最大吹付圧	0.8	0.8	0.8	4. 最大吹付圧	0.8	0.8
5. 最大吹付量	100	100	100	5. 最大吹付量	100	100
6. 最大吹付速度	100	100	100	6. 最大吹付速度	100	100
7. 最大吹付角度	100	100	100	7. 最大吹付角度	100	100
8. 最大吹付高さ	100	100	100	8. 最大吹付高さ	100	100
9. 最大吹付幅	100	100	100	9. 最大吹付幅	100	100
10. 最大吹付長さ	100	100	100	10. 最大吹付長さ	100	100

## 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>

〒569-0836  
 大阪府高槻市唐崎西2-26-1

- 北海道営業所 TEL:0133-72-3715
- 東北営業所 TEL:0197-71-2405
- 東日本支店 TEL:0268-62-1426
- 浜松営業所 TEL:0538-66-0166
- 西日本支店 TEL:072-677-2101
- 九州支店 TEL:0982-26-2111
- 福岡営業所 TEL:092-976-6331



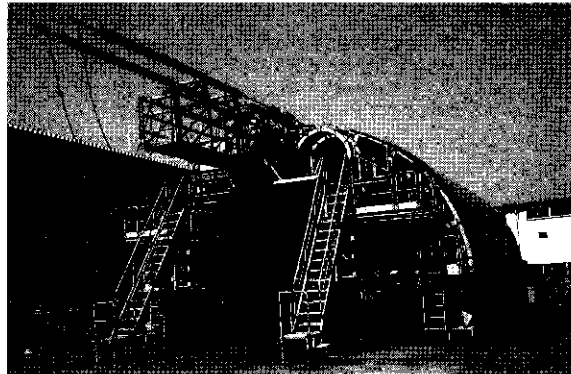
トンネル工事現場での作業効率を向上させるために、最新の技術で開発されたコンクリート吹付機の開発が得意です。  
 吹付機はトンネル工事現場での作業効率を向上させるために、最新の技術で開発されたコンクリート吹付機の開発が得意です。  
 吹付機はトンネル工事現場での作業効率を向上させるために、最新の技術で開発されたコンクリート吹付機の開発が得意です。

# 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-A (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

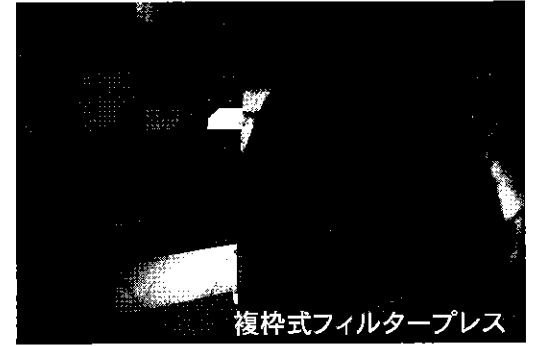
滑川工場：TEL076(476)0333 FAX076(475)9121 東北営業所・工場：TEL0223(32)2420 FAX0223(32)2423  
東京支店：TEL03(3851)1016 FAX03(6908)6789 大阪支店：TEL06(4963)3520 FAX06(4963)3521

# 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

#### 《汎用車輛全般》



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



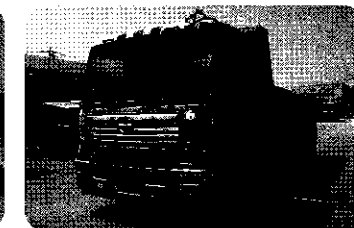
10T ミキサー



10T ダンプ



4.5mベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輛 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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

### ■巻頭言

#### インフラ維持管理の新しい取組み

蔣 宇静 .....5

### ■計画

#### 深度500m瑞浪超深地層研究坑道に設置する止水壁の設計

佐藤 稔紀・見掛信一郎・三浦 律彦・石田 知子 .....17

### ■解説

#### 照明工学から見た施工中のトンネル照明に関する一考察

中川 浩二・鈴木 春菜 .....37

### ■報告

#### これまでの地震対策への取組み(2)

JTA技術委員会保守管理小委員会 .....47

### ■施工

#### 東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える

—仙台市地下鉄東西線—

笠松 直生・佐藤 雅和 .....7

### ■連載講座

#### トンネル新技術への挑戦(1)

—ドーナツTBM工法—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 .....57

### ■現場だより

#### 「神話の地」鳥取県鳥取市

水嶋九二男 .....16

### ■語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

#### トンネルの旅 創生・保生・再生

足立 紀尚 .....29

### ■資料

#### 土木情報

編集部 .....28

#### 工法・技術・製品ニュース

編集部 .....56

#### トンネルジャーナル

編集部 .....36

#### トンネルワールドニュース

JTA国際委員会 .....64

#### 文献紹介

編集部 .....46

#### 「トンネルと地下」平成27年・年間総目次

編集部 .....67

### ■会報

#### 会報

日本トンネル技術協会 .....71

#### 【表紙説明】

東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える

—仙台市地下鉄東西線—



仙台市地下鉄東西線は、路線延長約14kmの事業である。工事では、地盤条件を考慮した工法選定や掘削時の地下水対策、既存南北線との交差部におけるアンダーピニング工事、自然由来の重金属を含んだ建設発生土処理など多様な課題に取り組んできた。途中、東日本大震災による工事の一時中断などの影響もあったが、数々の困難を克服して2015年12月に開業を迎える。写真は、開業する仙台市地下鉄東西線の走行試験中の車両とトンネル内の安全確認の様子である。(写真提供：仙台市)(本文7頁参照)

**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1,296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 工水工学社** 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16-1 メイジャー神楽坂  
TEL 03-3267-2888 FAX 03-3267-2807

# 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

加温しながら初期強度を上げる  
加温養生（型枠）



### 第二養生

加温と湿潤を同時に行い品質向上  
加温・湿潤養生



### 第三養生

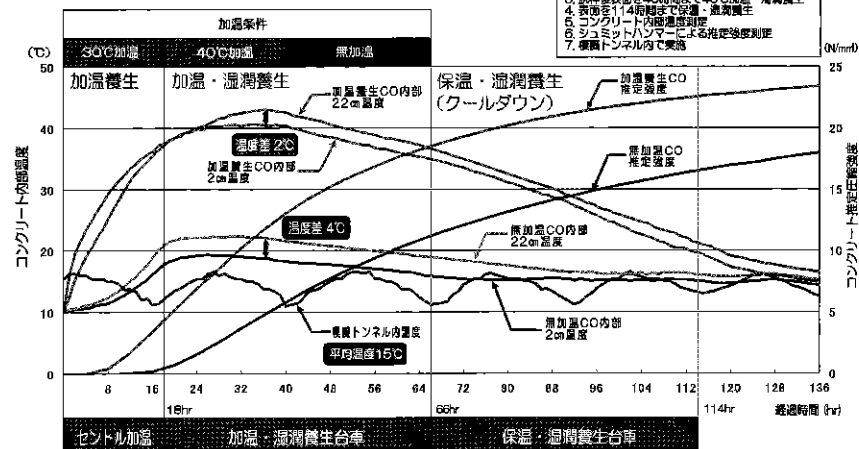
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ  
保温・湿潤養生



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

couzou  
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

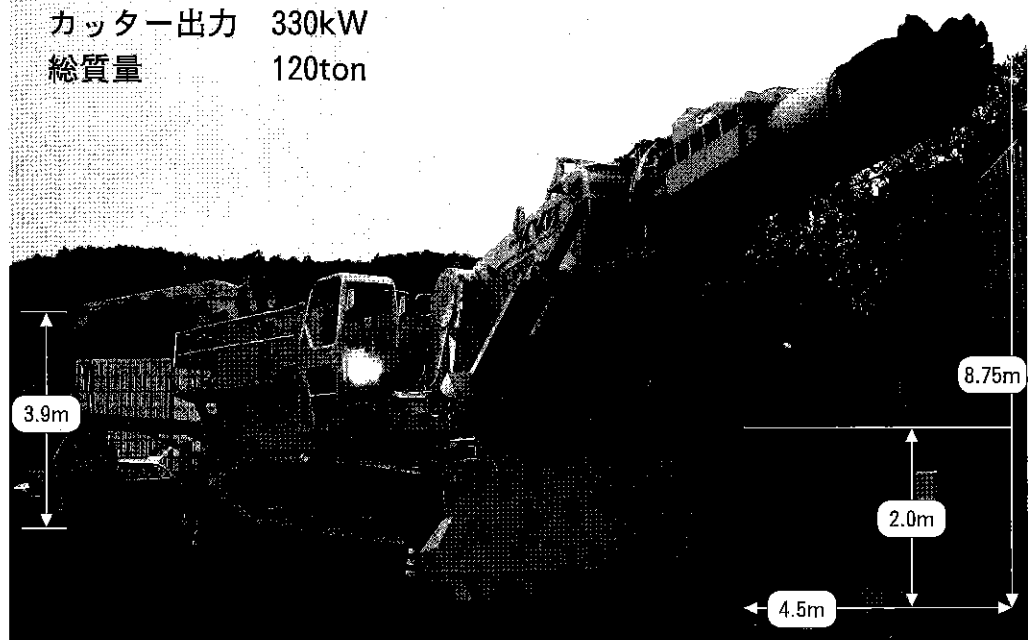
### 〔幹 事〕

- |  |   |
|--|---|
| 居 相 好 信<br>株式会社大林組生産技術本部統括部長                 | 西 岡 和 則<br>鹿島建設株式会社土木管理本部統括技師長<br>(兼)土木管理本部土木工務部トンネルグループ長 |
| 伊 藤 聡<br>東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部<br>改良建設企画課長      | 藤 井 義 文<br>株式会社竹中土木常務執行役員                                 |
| 岩 田 美 幸<br>国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官               | 松 原 利 之<br>飛島建設株式会社土木事業本部<br>エンジニアリング部部长                  |
| 久多羅木 吉治<br>東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長              | 八 木 弘<br>株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)<br>道路研究部トンネル研究担当部長       |
| 小 松 敏 彦<br>前田建設工業株式会社土木事業本部土木部<br>担当部長(トンネル) | 吉 富 幸 雄<br>大成建設株式会社土木本部土木技術部<br>トンネル室参与                   |
| 志 岐 寛<br>清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部<br>部長         | 渡 邊 修<br>独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構<br>鉄道建設本部計画部計画課長           |

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、強力な切削力を実現し、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4.5m
- ・高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- ・接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

**KYB** カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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 相模事業所 〒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  
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 松浦 将 行  
国際航業株式会社技術本部最高技術顧問 地方共同法人日本下水道事業団理事  
首都大学東京客員教授  
木谷 日出男 山田 隆 昭  
国際航業株式会社フェロー技術本部 東日本高速道路(株)参与(シニアエキスパート)  
土木地盤研究担当  
今田 徹  
東京都立大学名誉教授

### 〔委員〕

家壽田 昌 司 真下 英 人  
東京都下水道局建設部設計調整課長 国土交通省国土技術政策総合研究所  
道路構造物研究部長  
清水 満 八木 弘  
東日本旅客鉄道株式会社構造技術センター次長 株式会社高速道路総合技術研究所参与(外環担当)  
道路研究部トンネル研究担当部長  
谷内 雅 之 東京都交通局建設工務部計画改良課長  
中谷 誠 一 焼田 真 司  
東京都水道局建設部工務課長 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長  
沼田 敦 山本 武 史  
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構  
技術基準担当課長 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐  
綿引 秀 夫  
東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー  
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

**スライダ打設システム**

特許 第4083308号  
NETIS登録 KT120099-A

**トンネル天端部  
懸垂ハイブレード締固め工法**

NETIS登録 KK-120003-A

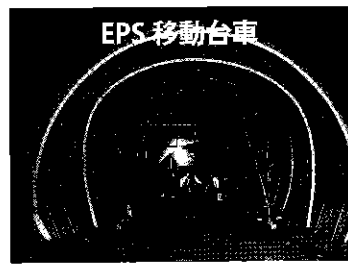
**型枠ハイブレード  
集約制御システム DKV-20**

NETIS登録 KK-130066-A

**セントル位置・変位  
自動測定監視システム  
(セントル監視くん)**

特許 第5247491号  
NETIS登録 KT-130037-A

## 新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	0
NEXCO	6	1
地方自治体	20	6
鉄道・運輸機構	1	0

平成27年8月31日 現在

実施権許諾第 10396 号  
NETIS登録 (No.CB-090003-VE)

EPS パネルの保温性、保湿性が効く

一歩前進! ~限らない未来への挑戦~



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.46 No.12 掲載概要

東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える  
—仙台市地下鉄東西線—

仙台市 笠松 直生

仙台市では、これまでの外延的な市街地の拡大を防止し、地下鉄やJR線などの軌道系交通機関を基軸とした集約型の都市構造を目指して、既存の南北線と一体となって骨格交通軸を形成する地下鉄東西線事業を2003年より進めており、路線延長約14kmの建設工事は2006年度より順次土木工事に着手した。施工に際しては、軟岩層、砂礫層などの地盤条件を考慮した工法選定や掘削時の地下水対策、既存南北線との交差部におけるアンダーピニング工事、自然由来の重金属を含んだ建設発生土処理など多様な課題に取り組んできた。途中、東日本大震災による工事の一時中断があり、工事再開後も作業員や資機材不足の影響があったものの、数々の困難を克服して2015年12月に開業を迎える。

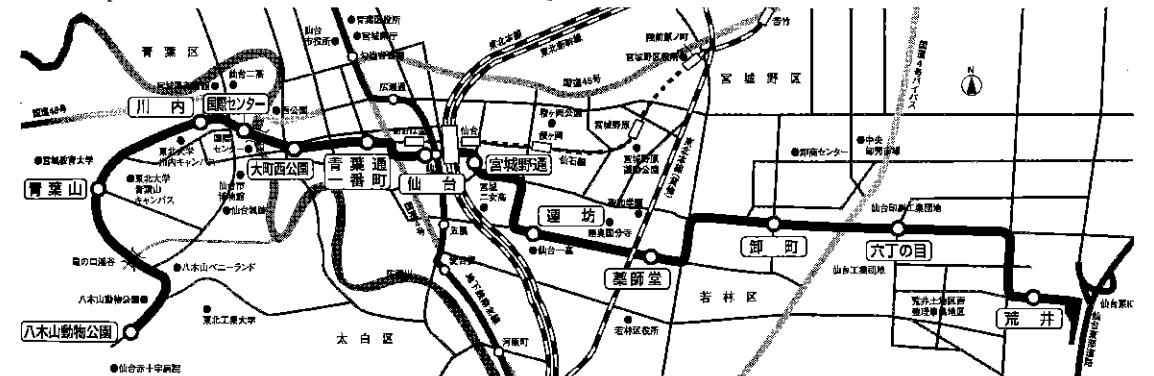
本稿では東西線の路線概要やこれまでの事業の取組みについて報告する。

Opening after Overcoming Various Problems including the Great East Japan Earthquake—Sendai City Subway Tozai Line—

By Naoki Kasamatsu, Sendai City

Sendai City aims to create intensive urban structure based on public rail transportation such as the subway and JR lines in control of extensional expansion of urban area up until now. Sendai City had been promoted the Tozai Line project, which forms backbone transportation in combination with the existing Nanboku Line since 2003. Construction works for the approximately 14 km of the lines had been underway sequentially since 2006. The works included some challenges such as the construction methods selection taking ground conditions of soft rock or gravel into account, groundwater protection measures during excavation, underpinning works under the Nanboku Line and treatment for muck containing heavy metals caused by natural process. Construction works were temporarily suspended due to the Great East Japan Earthquake. Despite the effects of a lack of workers and equipment after construction recommenced, the line will be opened in December, 2015 after overcoming a number of difficulties.

This report contains an outline of Tozai Line and project activities to date.



図は路線概要図

日本原子力研究開発機構は、岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発のうち、深地層の科学的研究を実施している。研究所は2本の立坑と複数の水平坑道群からなる地下施設で、現在、深度500mまで掘削が進んでいる。深度500mの水平坑道における原位置試験のひとつとして、再冠水試験を実施している。再冠水試験は、斜坑でアクセスした延長約40mの坑道の入口に止水壁を設置して、坑道が地下水で冠水されるさいの周辺岩盤の挙動や地下水の水圧、水質の変化を観測するものである。止水壁には冠水時の遮水、耐圧機能が求められるとともに、将来の当該施設の閉鎖時のプラグの役割を担うことになる。

本稿では、国内外の類似事例を参照して、止水壁の形状や材料について検討するとともに、地質環境条件を考慮した構造解析の結果を報告する。

**Design for a Cut-Off Barrier Installed at a Tunnel in the Mizunami Underground Research Laboratory 500-meter Deep**

By Toshinori Sato, Japan Atomic Energy Agency

The Japan Atomic Energy Agency has implemented scientific research of deep underground as part of research and development regarding high-level radioactive waste geologic disposal at the Mizunami Underground Research Laboratory in Mizunami City in Gifu Prefecture. The research laboratory is underground facilities which consist of two vertical shafts and multiple horizontal tunnels. Excavation works to build the laboratory currently reached to a depth of 500 meters. Re-submergence tests are carried out as part of in-situ tests in horizontal tunnels at 500-meter deep. Behavior of surrounding rock and groundwater pressure and change in underground water quality will be monitored from Re-submergence tests while the tunnel is submerged in water after installing a cut-off barrier at the entrance of a 40-meter long tunnel accessed from an inclined tunnel. The cut-off barrier requires both water sealing and pressure-resistance during submersion as well as playing the role of a plug after closing the facilities in the future.

This report contains results of consideration for dimension and material of cut-off barrier and structural analysis results considering geological environment conditions, with reference to similar cases in Japan and other countries.



写真は止水壁設置状況(2015(平成27)年2月撮影)

施工中のトンネルにおいて、照明は現在「安全に作業が可能である」ということを中心として設置されており、おもに明るさの確保が課題となっている。しかし、作業環境の見えやすさや明るさのムラなどが作業の快適性や効率性など、より高い安全性にも影響すると考えられ、その配慮も重要であると考えられる。

本稿では、今後の施工中のトンネル坑内照明を検討する基礎とするために、坑内照明の現状を示すとともに、照明工学で用いられる用語、方向を用いて概観し論じる。

**A Consideration on Tunnel Lighting during Construction Viewed from Illumination Engineering**

By Koji Nakagawa, Clinical Institute for Tunnels & Tunneling

Currently, lighting in a tunnel under construction is installed mainly according to "able to work in safe" and



写真は明るく照らされた切羽を後方より見たもの

it has problems to ensure brightness. However, it is considered that good visibility in the work environment and non-uniformity of brightness can have an influence on even higher levels of safety as well as on work comfort and efficiency. Therefore consideration of this is also important.

This report demonstrates the current status of lighting in tunnels under construction, and outline and discuss it using terminology and direction used in illumination engineering in order to make this report basics of investigating lighting for tunnels under construction in the future.

これまでの地震対策への取組み(2)

JTA技術委員会保守管理小委員会

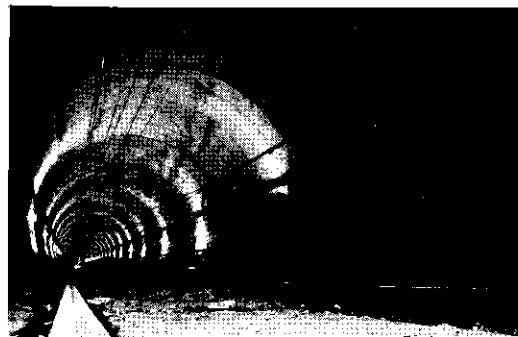
トンネルは、地震に強いと考えられてきたが、これまで数回の地震により被害を受けてきた。JTA技術委員会保守管理小委員会では、2012年から3年間にわたりこれまでの地震被害により得られた知見がどのように活かされてきたか各事業者の取組みを整理することによって、現時点におけるトンネルの地震対策の総括の共有化などを目的とし、調査・研究を続けてきた。

前号では、トンネルにおける地震対策の遍歴について、災害が発生した主要な地震として兵庫県南部地震を紹介したが、今号では、新潟県中越地震、新潟県中越沖地震、東北地方太平洋沖地震を挙げ、具体的な事例をもとに地震による被害と対策を述べるとともに、過去の地震被害による対策がその後の地震時においてどう活かされていたか振り返りを述べつつ整理した。

**Recent Anti-Seismic Measures of Tunnels (2)**

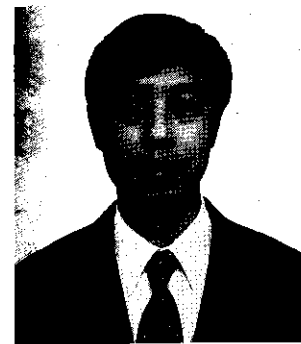
JTA Technology Committee, Maintenance Management Subcommittee

In the past, tunnels were thought to be earthquake-proof structures but there has been a number of cases of damage from earthquakes up to the present. The JTA Maintenance Management Subcommittee has continued to survey and study the expedients which have been reflected knowledge obtained from earthquake damage for three years since 2012 through organizing the anti-seismic measures of each public utility corporation with the aim of sharing summaries of current anti-seismic measures of tunnel



写真は覆工コンクリートアーチ部の崩落

The first half of this report introduced anti-seismic measures after The Southern Hyogo prefecture earthquake in 1995. This second part shows the specific earthquake damages and specific anti-seismic measures of each corporation at the major earthquake which caused severe disaster such as The Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007 and The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake and the way to reflect past earthquake damages to subsequent anti-seismic measures of each corporation.



## インフラ維持管理の新しい取り組み

長崎大学大学院工学研究科教授

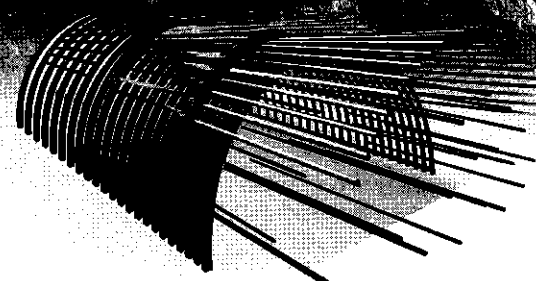
蔭 宇 静

「明治日本の産業革命遺産 製鉄・製鋼、造船、石炭産業」は2015(平成27)年7月に、世界文化遺産に登録することが決定された。それに続き、「長崎の教会群とキリスト教関連遺産」も2016(平成28)年の世界文化遺産登録に向けてさまざまな取り組みが実施されている。長崎県内の端島(軍艦島)への上陸観光客が最近急増しているように、観光資源の活用による地方再生において効果が現れている。一方、観光立県を推進する長崎県では、教会群などの観光資源が半島や離島に点在しているが、それらを結ぶ多数の渡海橋や港湾などのインフラ構造物の老朽化が進行している。国以上に県の財政状況は厳しく、建設事業費は削減され、維持管理費の増額も見込めない状況にあり、費用や人材の面で多くの課題を抱えている。

このような背景において、2008(平成20)年4月に、長崎大学(学)は県(官)、地元建設業(産)、一般市民(民)などと連携して道路インフラの維持管理・長寿命化に貢献できる人材「道守」の養成およびこれに関する技術の習得を目的とした「観光ナガサキを支える『道守』」養成講座を立ち上げた。文部科学省の科学技術振興調整費「地域再生人材創出拠点の形成」と「成長分野等における中核的専門人材育成の戦略的推進事業」の支援により、講座は7年も継続し、橋やトンネル、斜面などの道路関連施設の維持管理に関する課題を題材とした講義と演習および点検実習を中心に進めている。一般市民を対象とする道守補助員から、専門的知識を修得する道守補、特定道守、道守まで4つのコースを用意し、離島を含めた長崎県内全域で実施している。

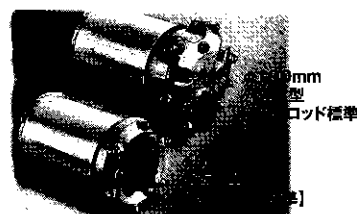
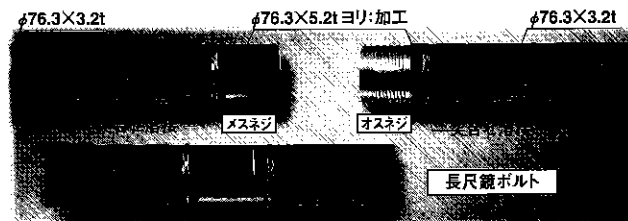
道路の安全はみんなを守る、異常を発見すれば通報する、これは一般市民の役割に期待すべきと考える。道守補助員の養成はまさにそのためであり、日常生活の中で道路インフラ施設の不具合や変状が生じていないかを報告していただくことで、市民目線でのきめ細かい維持管理が行えるだけでなく、維持管理コストの低減および効果的な予防保全の実施にも寄与する。他のコースでは、地元建設業者・コンサルタント業者・行政職員などを対象としているが、道守補コースは、道路インフラ施設の点検作業・記録ができる土木施工管理士レベルの人材を養成し、特定道守コースは、道路インフラ施設の診断ができ、特定の分野できわめて高度な技術を有するコンクリート診断士レベルの人材

# ユニークな発想でVEを提案



## 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!



## AGF-STD工法

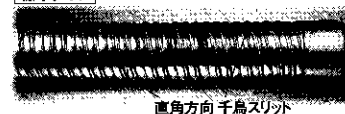
- ※軽量化による作業性とねじ強度の改善!
- ※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



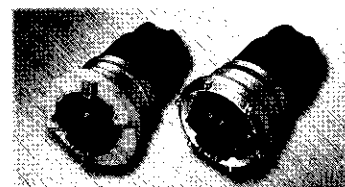
曲げ耐力30% UP!!

### 撤去管の選択

#### 標準タイプ



#### 解体分別タイプ



### STD BITS (ロストリング方式)

径	長さ	リング径	外径
100A	φ114.3	φ124	

## 注入材・その他工法

- ※ウレタン系注入材: NEW-TSRF、NEW-TBU
- ※セメント系注入材: コロイダルスーパー、デンカES
- ※セメント系充填材: デンカPモル
- ※高速フォアポーリング: SP-IF工法
- ※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



## エステーエンジニアリング株式会社

ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2

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

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

を養成する。道守コースは、点検・診断の結果の妥当性を適切に評価し総合的な判断を行うことができ、さらに維持管理に関するマネジメントができる技術士レベルの人材を養成する。昨年度までは、延べ300名以上がそれぞれのコースを修了した。その中で、地元企業に所属する技術者の修了者は、地域に密着した維持管理業務の実施などを通して所属企業で活躍しており、県、市など職員の修了者は、厳しい財政状況に対応した維持管理計画の立案と実施を通して観光立県としての再生に寄与している。

道守養成は地元企業の成長につながる。長崎県では、2010(平成22)年度より、総合評価落札方式において修了者(道守、特定道守、道守補)の企業への所属が道路改良、舗装、トンネルなどに関する工事の加算対象となったため、地元企業の業務受注の向上や新しい雇用が一定の効果を見せている。また、2015(平成27)年1月に、長崎大学発のインフラ維持管理研修システム「道守養成ユニット」は、国土交通省が進めてきたインフラ点検・診断における民間資格登録制度の規程を満たし、大学が認定した3分野13資格が登録資格として認められた。全国の大学の中で唯一である。それを受けて九州地方整備局は、「道守・特定道守」を総合評価落札方式の評価対象に追加し、長崎県も2016(平成28)年度以降に、県が発注する一部工事の総合評価落札方式について追加することを決定した。これらは関係者にとって大きな励みになる。道守養成により、維持管理計画の立案・実施へ貢献できる技術者を継続的に供給することができるため、道守集団の活躍により、インフラ施設の維持管理を効果的に遂行して、今後も観光産業の発展に貢献していくと期待される。

高度経済成長期に構築された日本国内のインフラ施設は老朽化が進行しており、大部分は財政難に苦しむ地方公共団体が管理するものである。インフラ整備において官公庁から市民・民間へのシフトが進められている中、産官学民が連携してインフラ長寿化の技術を向上させて、地域再生へ貢献することが求められている。これを有効に活性化させた「長崎モデル」が他地域の参考になれば幸いである。

今までの取り組みは、産官学民の連携協力があってこそ機能したのである。今後は、民間技術者資格の有効活用を国や地方自治体と考えていくとともに、海外展開も図ってこうと考える。開発途上国では、社会インフラの整備が急速に進められている一方、技術者の不足や品質管理上の不備などが原因で、道路構造物の損傷が供用年数の短いわりに進んでいるようである。2014(平成26)年度から、国際協力機構(JICA)の支援事業である開発途上国道路維持管理能力強化プロジェクトの本邦研修を大学側が引き受けて、道路維持管理に関する講義およびフィールド研修を実施している。このような支援事業について積極的に協力し、日本の「強みのある技術・ノウハウ」を身につけた「道守」の海外での活躍をサポートしていきたいと思う。

## 施工

# 東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える

## —仙台市地下鉄東西線—

仙台市交通局東西線建設本部建設部建設課課長 笠松直生  
仙台市交通局東西線建設本部建設部建設課建設係長 佐藤雅和

### 1 はじめに

仙台市では地下鉄南北線を1987(昭和62)年に開業し、南北方向の交通需要への対応を図ってきたが、依然として市の南西部や南東部を中心に鉄道利用の空白域が残っていた。こうした地域では、自動車利用の割合が大きく、排出ガスといった環境負荷などの、さまざまな都市交通に起因する問題が深刻化している。

このような都市づくりの課題に対して本市では、自動車交通に過度に依存しない総合的な交通体系を構築するため、地下鉄やJR線などの軌道系交通機関を都市交通の主役に据え、市街地をその沿線にコンパクトに誘導していくという機能集約型都市への転換を目指すこととした。

そのため、地下鉄南北線と一体となって骨格交通軸を形成する鉄道路線として、地下鉄東西線の整備は本市の最重要プロジェクトと位置づけられた。2003(平成15)年9月に国から鉄道事業許可を受け、2005(平成17)年8月に工事施行認可を取得するとともに、都市計画決定、環境影響評価書の公告、縦覧などを行い、2006(平成18)年度から順次工事に着手し、2009(平成21)年度には全区間において本体土木工事に着手した。その後、東日本大震災に伴う工事中断期間を挟んだものの、

2013(平成25)年にトンネルが全線貫通し、2015(平成27)年2月には全線約14kmのレールがつながり、2015(平成27)年12月に開業を迎える。

本稿では、東西線の路線概要やこれまでの取組みについて報告する。

### 2 東西線の路線

#### 2-1 路線の概要

東西線は、南西部の八木山動物公園付近から青葉山、さらには都心部、東部の流通業務地区を経て、新市街地整備を施行している仙台東部道路仙台東インターチェンジ付近の荒井地区に至る約14kmの路線であり、広瀬川や竜の口溪谷の横断部分を除き地下トンネル方式としている(図-1)。このうち仙台駅から西側の区間は、八木山動物公園駅付近を起点として、青葉山地区および川内の東北大学キャンパス内を通り、広瀬川を横断したあと、市の中心部である西公園、一番町を經由して、仙台駅で、地下鉄南北線やJR線と交差する。また、仙台駅から東側は、既存の住宅地が広がる新寺、連坊、薬師堂を經由し、卸町地区や東部流通業務地区を経て、仙台東部道路の仙台東インターチェンジがある荒井地区に至るルートとなる。

さらに、地域生活拠点へのアクセス利便性の確保はもちろん、軌道系交通機関の持つ速達性や効

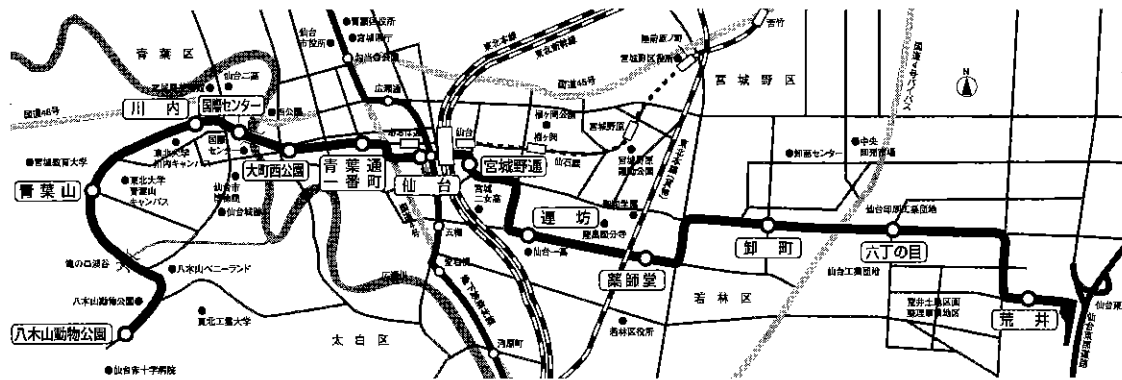


図-1 路線概要図

表-1 計画概要

項目	計画概要
建設区間	八木山動物公園駅～荒井駅間
建設キロ	14.4km
軌間	1,435mm
最小曲線半径	105m(本線)
最急勾配	57‰(本線)
電気方式	直流1,500V(架空単線式)
車両	リニアモーター駆動車両
建設費	約2,298億円(160億円/km)
工法・構造	地下部：開削工法、シールド、NATM 地上部：橋梁
駅	13駅
車庫	荒井車庫、約6.5ha(地上式)
編成車両数	開業当初4両編成、将来5両編成
運転方式	ワンマン運転方式(ATO)

率性を損なうことのないよう十分配慮し、13の駅を配置した。

計画概要を表-1に示す。

2-2 地形の概要

仙台市域の地形は大きく捉えると、全体が東側に傾斜する地形であり、市域の西側から丘陵部、台地部、低地部に分かれる。

路線に沿って地形を見ていくと、起点の八木山動物公園駅から竜の口橋りょうまでは八木山と呼ばれ、竜の口橋りょうから川内駅付近までは、青葉山と呼ばれる、いずれも標高約130～150mの青葉山丘陵の一部である。

川内駅付近から連坊駅付近までは台地部に位置

し、標高約30～40mの間に、広瀬川によって形成された仙台上町段丘、仙台中町段丘、仙台下町段丘の3つの段丘を見ることができる。丘陵部と台地部は段丘崖により明確に分かれ、丘陵部と台地部の間にある約100mの比高と、この間の地形の急峻さが路線計画や機種選定の大きな要因となっている。

連坊駅付近から荒井駅付近までは宮城野原平野の中央部に位置し、標高約15～5mの平坦な地形である。

2-3 構造物工法の概要

トンネル施工深度での仙台の地盤は、活断層「長町・利府線」を境に、西側には軟岩層、東側には洪積および沖積砂礫層が分布している。工法はトンネル空間の大きさ、地盤の強度、地下水処理に伴う地盤沈下、コストを考慮し選定した(図-2)。

地下駅部については大断面を要することから開削工法を基本としたが、軟岩層の土かぶりがある八木山動物公園駅や青葉山駅では、コスト削減を図り、地下駅の一部区間を大断面NATMにより必要な駅空間を確保した。

駅間部については、軟岩層に位置しトンネル直上に住宅地がない八木山動物公園駅から青葉通一番町駅までの区間では広瀬川付近の小土かぶり区間を除きNATMを採用した。青葉通一番町駅以東の既成市街地区間では、道路地下空間にトンネルを設けるが、曲線部では民地下を通過するため、砂礫層区間に加え軟岩層区間においても地表面への影響が少ないシールドを採用している。

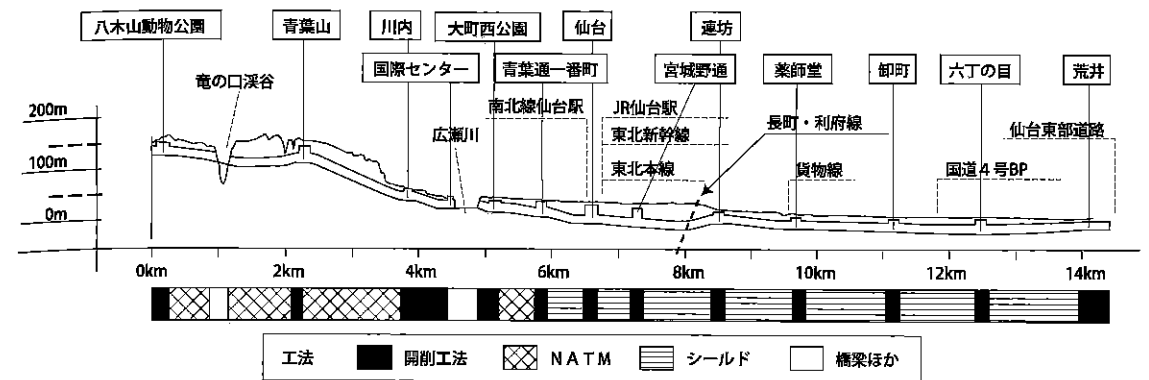


図-2 工法概要図

なお、八木山動物公園駅から国際センター駅の手前までの約4.3kmの区間については、山岳トンネル工法(NATM)に関する高度な技術力と豊富な経験を有する、鉄道・運輸機構に工事施行を委託した。

3 施 工

3-1 開削工法

地下駅部で採用した開削工法の仮設工法は、軟岩区間では親杭横矢板工法を基本とし、砂礫層区間では柱列式地中連続壁(SMW)工法を採用している。

3-1-1 軟岩区間

軟岩区間は全体としてN値50を超える凝灰岩質砂岩とシルト質岩の互層になっている。もっとも深い宮城野通駅の掘削深さは35mである。軟岩区間の駅での掘削中に、軟岩層上部において想定した水平土圧係数0.3で算定した土圧の2倍を超える200kN/m<sup>2</sup>の土圧を計測した。この土圧の要因としては、軟岩層上部の風化、過剰な切梁プレロード、膨潤性粘土鉱物の影響などが想定された。

実施工においては土留め杭に設置した傾斜計、切梁軸力計の計測値から土圧を逆解析するとともに、切梁のプレロードを最小限にするなどの措置により、大きな変位もなく無事掘削を完了させ構築工事へ移行することができた。

3-1-2 砂礫層区間

東部の砂礫層区間では揚水が規制されており、六丁の目駅付近ではGL-1m付近に地下水位が見

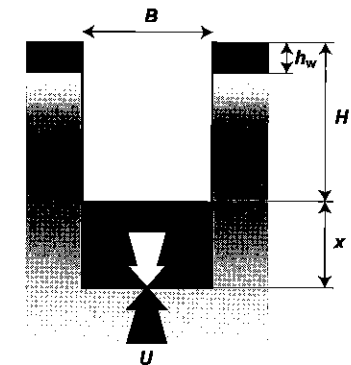


図-3 地下水対策概念図

られる。地質は粘性土混じりの砂礫層であり、上部沖積層でもN値20～30程度、下部の洪積層ではN値が50を超える比較的締まった層であるものの、透水係数が10<sup>-4</sup>m/sを示す透水性の高い地山である。また、掘削底盤以深には粘性土層が見られず、最大で深さ25m(六丁の目駅)まで掘削する際の地下水対策が大きな課題であった(図-3)。

このため、高圧噴射攪拌工法(連坊駅、薬師堂駅、六丁の目駅)や薬液注入工法(卸町駅)により掘削底盤以深の土塊重量と揚圧力のバランスが取れる深度の洪積層に厚さ1.5mの遮水層を造成した。ただし、六丁の目駅では深部に巨礫層があることから、掘削底盤直下から最大11mの深さまでを改良し、改良体の強度により揚圧力に対抗することとした(図-4)。

高圧噴射攪拌工法は一般にN値が30を超える地山での改良事例が少なく、造成可能な改良体の大きさがコストに大きく影響することから、六丁の

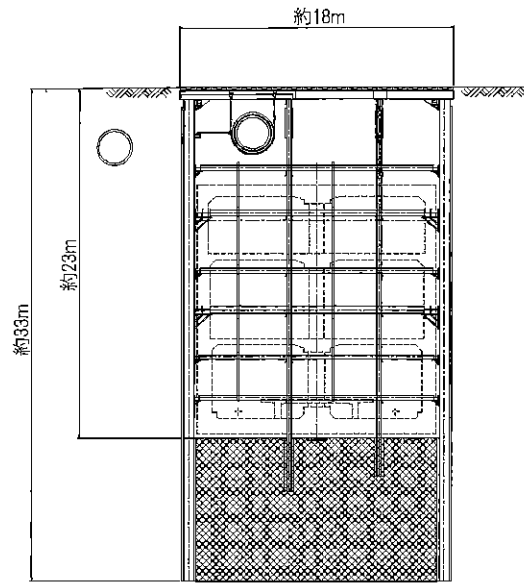


図-4 六丁の目駅仮設図

目駅近傍の出入口用地の同深度において試験施工を実施し、造成した改良体を掘り出し、直径約4mの改良体が施工可能であることを確認したあとに本施工を開始した。なお、薬液注入工法では、若干の追加薬液注入を要したが、各駅とも所要の遮水性能を確保し無事掘削を完了し、地下駅トンネルを構築することができた。

### 3-2 NATM

青葉通一番町駅以西の駅間のトンネルには、軟岩の固結度が高いため、経済性に優るNATMを採用した。このうち、青葉山駅では開削延長を55mと最小限とし、起点方84mと終点方96mの区間は、1面2線のホームと換気風洞を設けた駅部大断面NATMで施工した。掘削断面積は複線標準断面60m<sup>2</sup>に対し駅部大断面は164m<sup>2</sup>である(写真-1)。

起点方の施工では施工性、安全性に優れた中壁分割工法を採用することとし(写真-2)、標準断面の計測結果にもとづくFEM逆解析により算定した地山物性値を用いて大断面区間の地山挙動を解析した結果、最大地表面沈下量は6mmと想定された。実施工時の計測では11mm程度の沈下量となり、解析がおおむね妥当であったと評価された。

このため、終端方の大断面施工においては、施

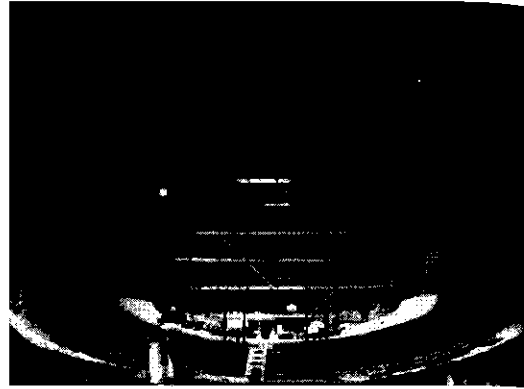
写真-1 大断面NATM(掘削断面積164m<sup>2</sup>)

写真-2 中壁分割工法

工性、経済性に優れた多段ベンチ工法を採用した。その結果、解析値10mmに対し計測実績は11mmであり無事に掘削を完了した。

### 3-3 シールド

東西線シールドの設計に際してはコスト削減を目的として、以下の2点の事項を基本的な考え方とした。

- ・シールドの曲線箇所においては、セグメント外径を直線区間と同一とし、主桁高さ(厚さ)の小さいセグメントを採用し、建築限界の拡大に対応する。
- ・立坑の幅員が十分確保できる区間では、シールドを可能な限りUターンさせ、複数のトンネルの掘削に使用する(写真-3)。

東西線シールドのセグメントは道路下で施工する一般的な直線区間においては、外径5,400mm、厚さ280mmの平板型RCセグメントを採用している。これに対し曲線区間では、列車の傾きと軌道のカ



写真-3 Uターンする前の中折れ式シールド

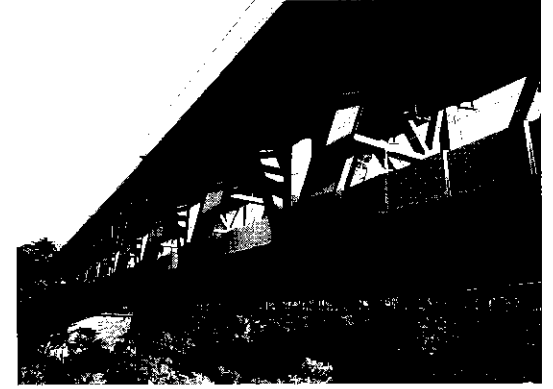


写真-4 竜の口橋りょう(ダブルデッキ構造)



写真-5 広瀬川橋りょう(上流の仲の瀬橋からの眺望)

ントにより建築限界が拡大されることから、コンクリート中詰め鋼製セグメントを用い、桁高を200mmとして内空断面の拡大を図ることとした。

市街地の交差点付近では、鉄道の曲線半径の特性から、曲線区間は道路を外れ、民地下に位置することが多く、その際、建物荷重を支えるためにも、鋼製のセグメントの採用が有効である(東西線の最小曲線半径R=105m、6か所)。

### 3-4 橋梁部

本路線には2か所の橋梁部があり、竜の口渓谷ならびに広瀬川を渡河している。このうち、竜の口橋りょうについては、同区間が都市計画道路事業と競合しており、一帯が条例により特別環境保全区域に指定されていることから、都市計画道路と地下鉄の橋梁をそれぞれに建設するのではなく、道路・鉄道併用橋とすることにより、森林の改変面積を減らすこととし、上段を都市計画道路、下段を鉄道路線のダブルデッキ構造の単純鋼トラス

橋(支間長120m)を架設した(写真-4)。もう1か所は、「杜の都仙台」を象徴する広瀬川に架かる広瀬川橋りょう(橋長172m、3径間連続PRC箱桁ラーメン橋、最大支間長70m)である。広瀬川橋りょうは景観に配慮した構造物として、鉄道橋としては全国初めての設計競技によるデザインの実現化に向けた試験施工をくり返すなど試行錯誤の連続であった(写真-5)。また、広瀬川橋りょうは連続する高架橋と併せて、土木学会の「2013年度田中賞(作品部門)」を受賞した。

### 3-5 南北線仙台駅アンダーピニング工事

#### 3-5-1 仙台駅の概要

仙台駅は東西線で唯一他の路線と乗換えができる駅であり、地下鉄南北線およびJR線と接続することができる(図-5)。南北線仙台駅の軌道階は地下3階であり、東西線はその下の地下4階が軌道階となるため、掘削深度が深く約32mとなっ



図-5 仙台駅イメージ図(中央付近の南北線、右端のJR線方面と接続)

いる。南北線仙台駅との接続は、地下1,2階の側壁を開削し改札内で接続する構造となっており、JR線との接続は、JR仙台駅の地下から延びる公共地下道に出入口が接続する構造である。

東西線は南北線との交差位置を縦断線形のコントロールポイントとして計画しており、掘削深さをできるだけ浅くするために、南北線との構造物の離隔が約1.2mと狭小なため、南北線直下に構造物を新設する場合には、南北線構造物を支持(仮受け)しながらの構築工法(アンダーピニング工法)が必要となった。

### 3-5-2 構造物直受け方式の採用

アンダーピニング工法には複数の工法があるが、今回の場合は、周辺地山の強度が高く安定していること、また、構造物間の離隔が小さいため下受け桁を設置するスペースがないことから、構造物を杭などで直接支持する直接支持方式のうち、下部に構築する新設構造物を杭代わりに使用して支持する、構造物直受け方式(トレンチ方式)を採用した(図-6)。施工手順は以下のとおりである。

- ① 新設構造物の一部分を構築するのに必要な幅(トレンチ)のみ掘削する(写真-6)。
- ② トレンチの中で構造物を構築する。

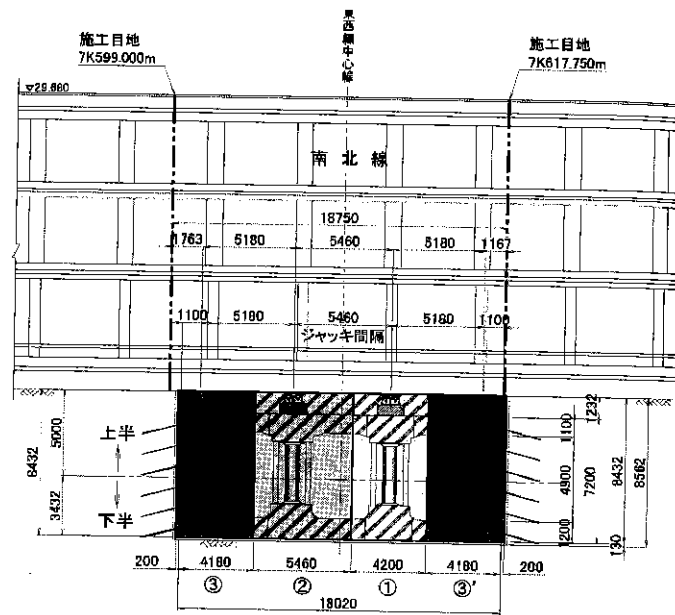


図-6 トレンチ断面図

- ③ 構造物直上に油圧ジャッキを設置する。
- ④ 油圧ジャッキをジャッキアップし南北線構造物の仮受けを行う(写真-7)。
- 以降、①~④を各トレンチでくり返す。
- ⑤ 南北線構造物と新設構造物の隙間をコンクリートで充填して完了。

### 3-5-3 情報化施工

アンダーピニング工事による南北線躯体の挙動を把握するため、南北線構内には水盛り式沈下計を設置し24時間体制で計測監視を実施した。営業



写真-6 トレンチ掘削状況



写真-7 油圧ジャッキ(1,000~4,000kNを配置)

路線である南北線への影響もなく無事工事は完了した。

### 3-6 自然由来重金属を含む建設発生土の処理

仙台市域西側の軟岩層のうち、新第三紀鮮新世の海成層である「竜の口層」と呼ばれる地層には、火山活動などに由来する砒素やカドミウムを含むことがあるという研究機関の発表があり、竜の口層の掘削に先立ち、2006(平成18)年度に土壤汚染対策法における溶出量試験、含有量試験を実施した結果、溶出量についてカドミウムなどが環境基準を超過するものがあつた。

青葉山から連坊付近までの区間から発生する重金属含有土(竜の口層 約54万<sup>3</sup>)の処理については、その時点で自然由来の重金属は土壤汚染対策法の対象とはならないものの、事業の注目度などから法に準拠した万全の対策が必要であると判断し、外部専門家で構成する委員会を設置して処理方法などについて検討を行った。処理方針としては、仙台市郊外の採石場跡地の森林復旧事業の盛土に流用することとし、地下水に影響が出ないように遮水シート敷設上に盛土締固めを行い、最終的に盛土全面をキャッピングシートで覆い重金属が溶出しにくい状態にするいわゆる「封じ込め」を行うこととした(図-7)。また、併せて周辺の水環境を確認するためのモニタリングを継続的に実施している。

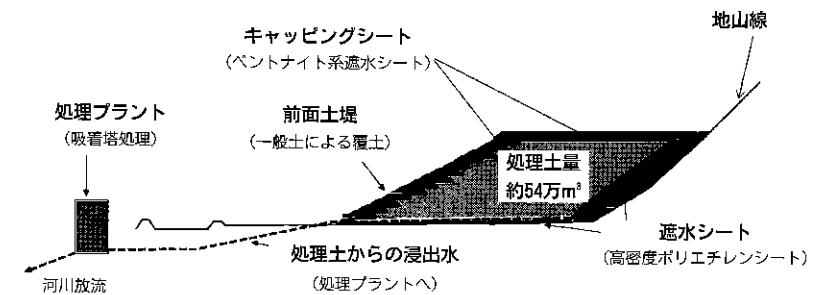


図-7 盛土構造模式図

## 4 東北地方太平洋沖地震の影響

### 4-1 地震の発生

2011(平成23)年3月11日の東北地方太平洋沖地震発生時には、NATM区間では掘進・二次覆工工事が、開削区間では掘削・構築工事が、シールド区間では掘進工事が行われていた。東西線沿線では最大震度6強を記録し停電する中、現場では死傷者を出すことなく全員無事避難することができた。

また、地震とともに発生した津波は路線東側にある自動車専用道路(仙台東部道路)の築堤で止まり、築堤下を横断している農業用水路から一部浸水するにとどまった。

### 4-2 被害とその対応

地下埋設物の防護部材や路面の損傷など緊急を要する箇所は余震が続く中、応急措置を講じて安全を確保した(写真-8)。電力が回復したのち、坑内の調査を開始したところ以下のような被害が認められた。

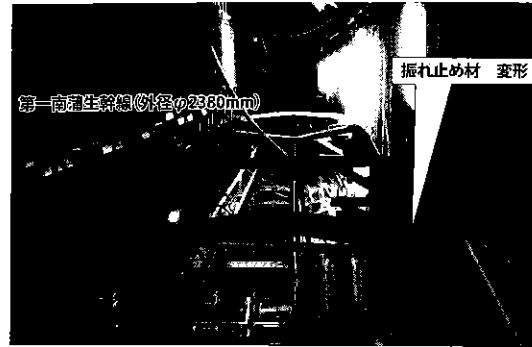


写真-8 地下埋設物防護部材の変形



写真-10 セグメントの荷崩れ

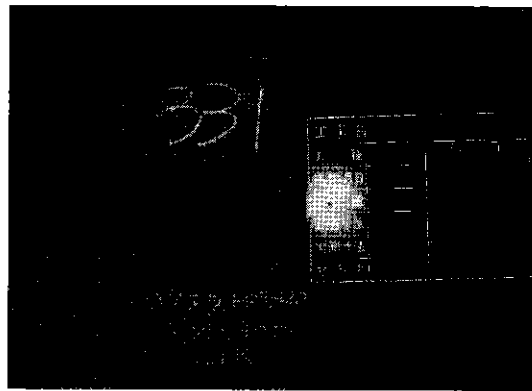


写真-9 RCセグメントの表面剝離



写真-11 広瀬川橋りょうを試験走行する東西線2000系車両

## (1) 仮設構造物の被害と対応

- ・防音ハウス・クレーンなどの基礎の損傷
- ・遮水性土留めからの出水

出水箇所の下流が津波被災区域であり、行方不明者の捜索の終了を待ってポンプ排水し、止水注入を行った。

## (2) 本体構造物の被害と対応

- ・開削トンネル、シールドRCセグメントでのクラックや表面剝離の発生(写真-9)
- ・打設途上で硬化したRC部材の撤去と再打設
- ・現場に仮置きしたセグメントが荷崩れし破損(写真-10)
- ・一部浸水した車庫盛土に亀裂発生
- ・施工したシールドトンネルの水平移動(最大約10cm)

シールドトンネルは設置したセグメントが水平方向へ移動したためトンネル線形を修正して地下鉄走行空間を確保することとした。

## (3) 地殻の変動

国土地理院の発表にあるとおり、今回の地震により大きな地殻変動が発生している。東西線路線においても東南東方向に約3mの地盤変動が見られた。変動量はトンネル深度での地盤の強弱によらずほぼ一律であるが、海岸側が大きく、14.4kmの路線延長が約0.4m伸びていることが測量により確認された。また、地盤沈下も併せて発生しており、座標、標高、線路キロ程の見直しを行った。

## 4-3 工事の再開

前述のとおり構造物が崩壊するなどの大規模な被害はなかったが、当初は現場の安全確保や災害復旧への応援のため工事を一時中断した。現場の再整備や人員、資機材の準備が整った工区より6月20日から順次工事を再開し、9月1日には全工区において工事を再開することができた。

## おわりに

2006(平成18)年の工事着手から10年目の2015年12月に地下鉄東西線がいよいよ開業を迎える。途中、東日本大震災に見舞われ、そのほかにも数々の課題を無事乗り越えることができた。これもひとえに、長年の建設工事にご理解をいただいた沿線

住民をはじめ、国土交通省などの行政機関、学識経験者、施工業者の皆様のご尽力の賜物と改めて感謝を申し上げる次第である。

今後は、地下鉄東西線を活用した沿線のにぎわい創出に取り組み、「ひとが輝く杜の都・仙台」の実現に向けて力を尽くす所存である。

## 地形にも相がある 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・消落崖 / 断層(断層変位地形) / 断層(断層削剥地形) / 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変
- 第III編 路線選定 地相をよく見て路線選定を行う  
あとがきにかえて 座談会

図・表・写真  
288点収録

株式会社 土木工学社

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



# 「神話の地」鳥取県鳥取市

水嶋 九二男

白兔海岸に立つと、眼前には白い砂浜と青い海が広がる。ここ鳥取県鳥取市に位置する白兔海岸は神話の舞台ともなっており、この延々と続く美しい海岸は、白兔と大国主が出会ったとされるロマンチックな場所である。この白兔海岸の背後には湖山砂丘が形成されており、鳥取砂丘の一部をなしている。国道9号は海岸に沿うように通っており、この眺めを見ると、砂丘が、観光地として有名な鳥取砂丘の中心部から延々と続いていることを実感する。

鳥取県鳥取市西部に位置する当地は、先述した神話「因幡の白兔」にゆかりのある白兔神社を氏神としている。京都と鳥取を結ぶ特急列車は「スーパーはくと」、岡山と鳥取を結ぶ特急電車は「スーパーいなば」とい、どちらも因幡の白兔に由来する名称が冠されており、神話が生活にまで浸透している印象を受ける。

鳥取において砂丘とは、観光地としてだけでなく、神話から生活にいたる文化の一部のようである。生活に関して紹介したいのは食である。とくに、砂丘にちなんで「砂丘らっきょう」は6月1日に施行されたばかりの地理的表示法への登録申請がニュースになったばかりでもある。このらっきょうは、とても実が引き締まっていて、シャキシャキして美味しい。らっきょうといえば、カレーを思い浮かべるが、鳥取県はカレーの世帯購入量が10年にわたり日本一、もしくは2位というカレー好きの県である。鳥取に来た際は、ぜひとも、この組合せを食っていただきたい。

さて、山陰の主要幹線道路である国道9号は、京都

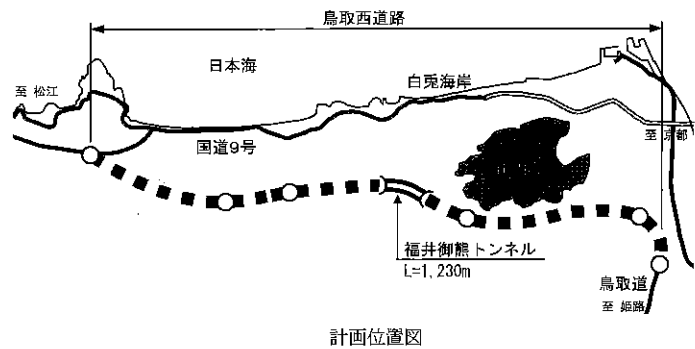


神話の地 白兔海岸

市から下関市に至る延長755kmの道路である。鳥取を東西に結ぶ唯一の主要幹線道路のため、朝夕の通勤時や観光シーズンに深刻な交通渋滞が発生している。そのため渋滞緩和のほか、観光・医療・物流活動の支援を目的に、代替路線となる高規格幹線道路・鳥取西道路の完成が急がれている。

鳥取市本高から青谷町に至る同道路の延長は19.3kmで、Ⅰ～Ⅲ期区間に分割される。Ⅱ・Ⅲ期区間(約12.3km)は2017年度に開通予定である。路線には8本のトンネルが連続しており、現在施工中の福井御熊トンネル(L=1,230m)は、Ⅱ期区間に位置する。地質はおもに凝灰角礫岩で、起点側坑口から200mおよび終点側の100mは、2D以下の小土かぶり区間となっている。現在、2か所の工事用道路の施工を終え、起点側坑口から100m程度掘削したところである。これから、当初より問題が多いと想定されている河床堆積物区間および破碎帯区間の掘削に入っていく。この区間では、被圧水の存在が確認されており、水抜き孔による湧水対策や、天端および切羽安定対策を行いながらの施工を予定している。

トンネルの施工としては、まだ序盤ではあるが地域住民の方からはご理解をいただき、とくに大きな問題もなく推移している。今後とも良好なコミュニケーションに心がけながら無災害竣工を目指す。(株)福田組福井御熊トンネル現場代理人



計画位置図

## 計画

# 深度500m瑞浪超深地層研究坑道に設置する 止水壁の設計

(国研)日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門グループリーダー 佐藤 稔 紀  
 (国研)日本原子力研究開発機構バックエンド研究開発部門研究主幹 見掛 信一郎  
 (株)大林組技術本部技術研究所技術ソリューション部主任研究員 三浦 律彦  
 (株)大林組技術本部技術研究所生産技術研究部課長 石田 知子

### 1 はじめに

日本原子力研究開発機構は、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発のうち、深地層の科学的研究の一環として、岐阜県瑞浪市において地下研究施設(瑞浪超深地層研究所、以下とくに断らない限り「当該施設」と呼ぶ)の建設を伴う研究プロジェクトを進めている。このプロジェクトは、「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」および「深地層における工学技術の基盤の整備」を行うことを目的としており、結晶質岩(花崗岩)ならびに降雨を起源とする淡水系の地下水を調査研究の対象としている<sup>1)</sup>(堆積岩ならびに塩水系地下水を対象とした研究については、北海道幌延町の幌延深地層研究センターにおいて実施している<sup>2)</sup>)。

当該施設<sup>3)</sup>は、瑞浪市有地において2002(平成14)年7月に造成工事、2005(平成17)年1月から立坑の本体工事が開始され、2008(平成20)年に深度300m、2011(平成23)年には深度500mに到達した。その間、立坑壁面の崩落対策やグラウトなどの湧水抑制対策などの施工対策技術を適用してきた<sup>4)</sup>。今後、おもに深度500mの水平坑道を利用した研究開発として、以下の3つの課題を設定してプロジェクトを進める計画である。

- ① 地下坑道における工学的対策技術の開発
- ② 物質移動モデル化技術の開発
- ③ 坑道埋戻し技術の開発

これらの研究開発課題のうち、「③ 坑道埋戻し技術の開発」の一環として再冠水試験を実施している。この試験は、坑道掘削による周辺岩盤や地下水に及ぼす影響が、坑道の冠水によって回復する過程を把握することを目的として、深度500mの水平坑道から斜坑で降りた延長約40mの冠水坑道の入口に止水壁を設置して実施するものである。止水壁の設置後に、坑道への湧水を排水するポンプを停止することで、一度低下した坑道周辺の地下水の圧力が戻り、坑道が冠水することになる。このため、この試験を再冠水試験と称している。

止水壁は、将来の当該施設の閉鎖時のプラグの役割を担うことになる。また、高レベル放射性廃棄物地層処分の分野においては、人工バリアを構成する緩衝材の流出を防止することや、放射性核種の移行経路となる坑道周辺の掘削影響領域を遮断する機能が求められる。このような役割や成果の反映を踏まえて、止水壁の設計および施工計画を立案した。

以下に、当該施設の概要、再冠水試験計画および止水壁の設計について示す。

## 2 施設概要

### 2-1 地形・地質概要

当該施設が位置する東濃地域は、北西部に美濃飛騨山地、南東部に三河山地が分布し、その間に丘陵地が広がる地形の概観を示している。北部の山地には木曾川が流れ、先行性の河川として深い谷を刻んでいる。丘陵地の中央部には、北東から南西に向かって土岐川(庄内川)が流れ、その本流

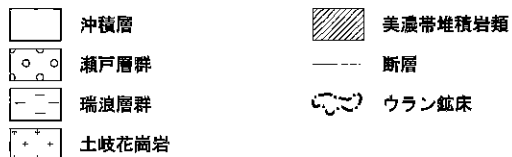
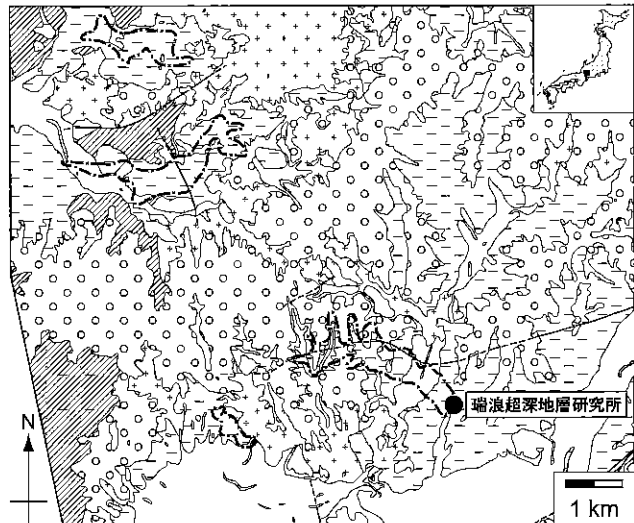
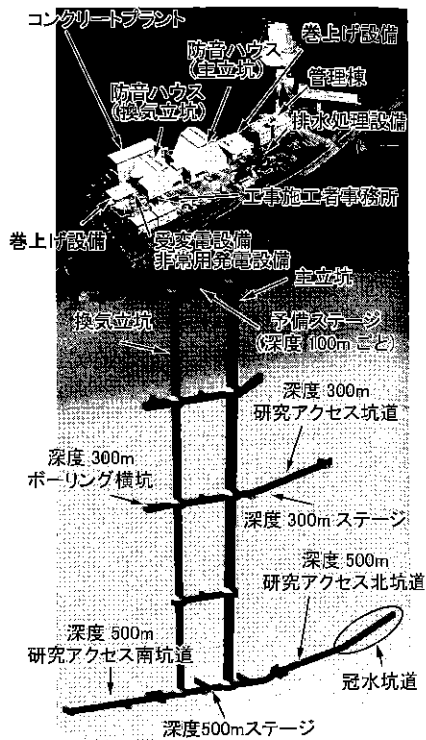


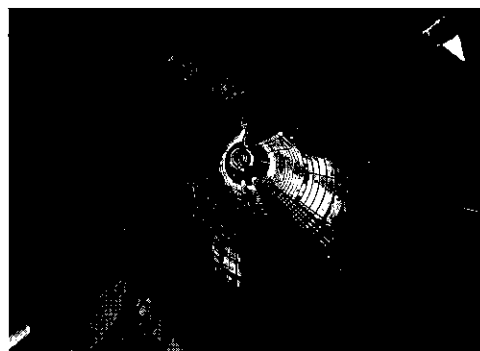
図-1 東濃地域の地質概要(文献8)を修正

および支流の沿岸に段丘が発達して台地を作り、河川周辺の低地には沖積地が広がっている。当該施設の地盤標高は約200mである。

この地域の基盤岩は白亜紀後期の土岐花崗岩と呼ばれる黒雲母花崗岩が分布しており、これを厚さ数十~百数十mの堆積岩(新第三紀の瑞浪層群および新第三紀~第四紀の瀬戸層群)が覆っている(図-1)。立坑掘削地点における、土岐花崗岩と堆積岩の境界は深度約170mである。主立坑の



(a) 研究坑道レイアウト



(b) 坑道の状況(主立坑)



(c) 坑道の状況(冠水坑道)

図-2 研究坑道のレイアウトと坑道の状況

位置には、NNWの走向をもつほぼ鉛直の断層が存在しており、破碎および変質が進行した脆弱な部分を伴っている。一方、換気立坑は健岩部が分布している。

ボーリングコアを用いた室内試験結果では、土岐花崗岩の見かけ比重は2.30~2.65、一軸圧縮強さは64~212MPa、50%接線ヤング率は20~68GPaであり、わが国における一般的な花崗岩とはほぼ同様の物性を示す。

### 2-2 施設レイアウト

研究坑道のレイアウトと坑道の状況を図-2に示す。研究坑道は、2本の立坑(主立坑:内径6.5m,換気立坑:内径4.5m)と深度100mごとに両立坑をつなぐ予備ステージおよび、おもな調査研究を実施する深度300mと500mのステージから構成される。

深度300m付近は、比較的割れ目の多い高透水性の岩盤(上部割れ目帯)であり、深度500m以深は割れ目の少ない花崗岩(下部割れ目低密度帯)が分布していることが明らかになっている。このため、このような地質環境の違いに着目した研究開発を行う場として水平坑道を展開している。

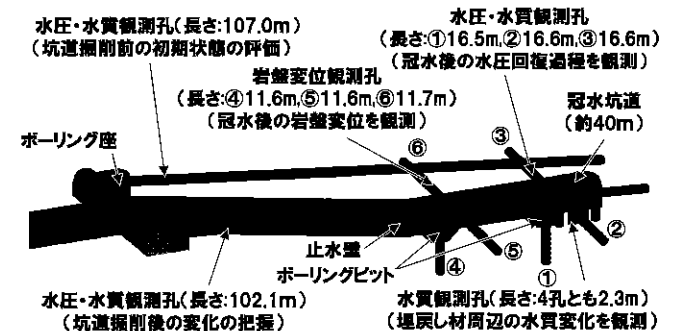
再冠水試験は、深度500mステージの先端部分から斜坑で降りた冠水坑道において実施することとしており(図-2)、高さ5m、幅5mの冠水坑道の入口部分に止水壁を設置する計画である。

## 3 再冠水試験計画

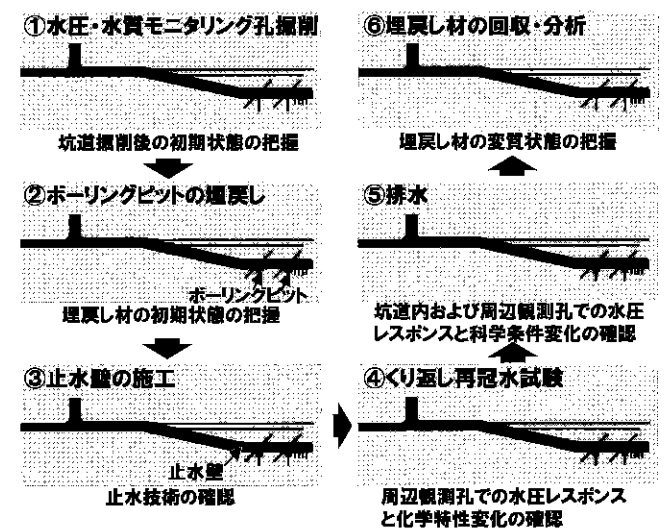
再冠水試験は、地下施設の建設、操作によって影響を受けた地質環境特性の回復能力の例示と関連する調査、解析技術の開発、ならびに、坑道閉鎖技術の実証を目的として実施するものである。止水壁を設置した坑道の冠水と排水をくり返し、坑道周辺の地下水や岩盤の挙動をモニタリングする計画である。再冠水試験は以下の手順で実施することとしており(図-3)、現在(2015年5月末)は⑤を実施

している段階である。

- ① 坑道掘削前の水圧・水質状態の確認
  - ② 冠水坑道の掘削
  - ③ 冠水坑道でのボーリング掘削および観測装置の設置
  - ④ ボーリングピットの埋戻しおよび観測装置の設置
  - ⑤ 止水壁の設置
  - ⑥ 地下水による冠水、力学・水理・化学特性の観測
  - ⑦ 地下水の一部排水と再冠水
  - ⑧ 地下水の排水と埋戻し材などの回収、評価
- また、冠水坑道の床盤に設けた2か所のボーリングピット(幅2m、長さ4m、深さ1m程度)において、埋戻し材の影響試験も実施している<sup>7)</sup>。



(a) 全体レイアウト



(b) 再冠水試験の手順

図-3 再冠水試験の概要

### 4 止水壁の設計

止水壁は高さ5m、幅5mの冠水坑道に設置するコンクリートの壁である。発破によって損傷した坑道壁面近傍の岩盤(いわゆる掘削損傷領域)は透水性が高くなっているため、これを遮断するように岩盤に切欠きを設けて止水壁を設置する。

止水壁の設計にあたり、以下の国内外のプロジェクトを参考にし、求められる性能や用途、設計に使用した基準、用いた材料などを整理し、考慮すべき事項を取りまとめた。

材料については国家石油ガス備蓄基地の事例が参考になり、形状については打設量が少ないDOPAS(Full-scale Demonstration Of Plugs And Seals)プロジェクトの事例が参考になると考えたものの、深度500m相当の5MPaという水圧が作用することを想定すると、難易度の高い設計・施工が予想された。

#### (1) 国内

① 次世代天然ガス高圧貯蔵技術開発プロジェクト<sup>9)</sup>

② 国家石油ガス備蓄基地(波方)<sup>9-12)</sup>

#### (2) 国外

① DOPASプロジェクトにおけるプラグ設計<sup>13,14)</sup>

② SKBにおけるプラグ設計<sup>15)</sup>

③ AECLにおけるTSX(Tunnel Sealing Experiment)<sup>16)</sup>

止水壁の設計にあたって最も重要な機能は遮水性能であるが、水圧を支持する止水壁の躯体の力学的機能のみならず、止水壁と岩盤との間の水密性も重要である。このような機能を確保できるように止水壁構造を設定し、それに対して性能照査型の設計を適用した。

想定した基本的な止水壁の形状の例(断面図)を図-4に示す。

変形ノッチ形の形状は、止水壁の背面(図の右側)に載荷される水圧をくさびによって対抗する

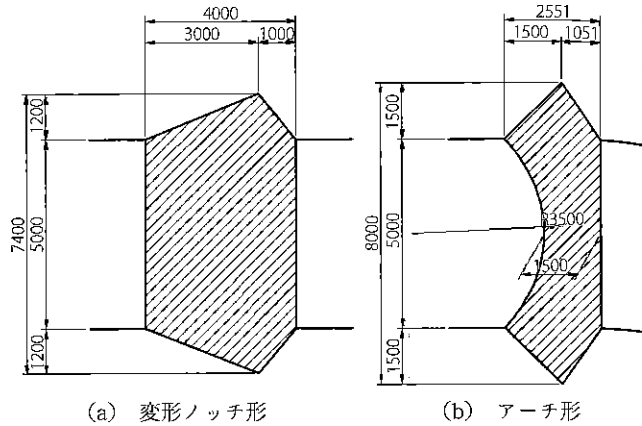


図-4 止水壁の形状の例

形状である。アーチ形の形状は、アーチ効果を利用して軸力で抵抗する形状である。止水壁の厚みは、変形ノッチ形で4m、アーチ形で1.5~2.5mが想定された。

#### 4-1 要求性能

土木学会のコンクリート標準示方書<sup>17)</sup>によると、耐久性、安全性、使用性、復旧性、および、その他事項に関する要求性能を設定することとされている。このうち、当止水壁に必要とされるのは、安全性としての力学的な限界状態の照査と、使用性として水密性ももっとも重要である。

前者の力学的な限界状態としては、断面破壊として、軸方向力および押抜きせん断に対する安全性の検討が必要となり、引張に対しては鉄筋を配置することとした。剛体安定については、周辺の支持岩盤の安定性の検討が必要となり、岩盤のせん断破壊の有無を検討した。

後者の水密性については、止水壁そのものの透水性として、ひび割れ発生の有無が重要な検討事項である。また、止水壁と周辺岩盤との間の漏水防止が重要な検討事項である。

これらについては、4-4節および4-5節において詳細を示す。

#### 4-2 形状の検討

前述の国内外の施工事例や、止水壁に求められる機能、設計するうえで考慮すべき事項などを整理するとともに、原位置における地質環境条件を踏まえた構造解析を行い、止水壁および周辺岩盤

の力学的安定性について検討した。検討結果にもとづいて、止水壁の材料や形状についてオプションプランも含めて検討した。

図-5に汎用非線形有限要素法解析プログラム『Abaqus』を用いた止水壁の構造成立性の検討結果の例を示す。図は止水壁の上部と岩盤の切欠き部分を中心に断面で示したものである。設計荷重の5.1MPa(深度500m分の静水圧+大気圧)が作用したことを想定した解析では、変形ノッチ形では4.5MPa程度、アーチ形では5.0MPa程度の最大圧縮応力が載荷面(図中、止水壁の右側)に発生すると予想された。

また、変形ノッチ形では止水壁本体には引張応力は発生せず、アーチ形では最大で3MPa程度の引張応力がアーチ面すなわち載荷面の反対側の面において発生すると予想された。変位量としては、いずれの形状においても水平方向に最大で1mm程度であった。

これらの解析結果では、止水壁本体に過度な応力が作用することがないことが確認された。止水壁の形状は、現地におけるコンクリート打設のための設備容量を踏まえて、アーチ形を採用した。止水壁には人の出入り用のマンホールや、冠水坑道内での計測ケーブルのための貫通管などが配置されるが、これらを除く実質的なコンクリートの打設量は100m<sup>3</sup>弱となる。

### 4-3 材料の検討

#### (1) コンクリートの種類

前述の国内外のプロジェクトや土木分野における事例を参照すると、止水壁の材料としては鉄筋コンクリートが有力である。要求性能からコンクリートに求められる性状を整理すると表-1のようになる。

このような性状を満足するのは、「高強度・高流動・低収縮性・低アルカリ性」のコンクリートとなる。これらの性状のうち、現地における三分系のコンクリートプラントでの適用性や、市場での調達可能性を検討した結果、低アルカリ性の性状については断念した。低アルカリ性コンクリートを製造するには3つのサイロが必要となるが、現地には2つしかなく、設備の増設が困難なことが理由である。

コンクリートの配合としては、セメントと石灰石微粉末の2成分からなる「粉体系高流動コンク

表-1 コンクリートの要求性能

要求性能	コンクリートの性状
施工性	岩盤との一体性を確保し、長期間の水密性を担保 高充填性・高流動性
	体積安定性を確保し、栓材としての機能を発揮 打設後のブリーディングなどの材料分離が少なく、凝結・硬化過程での体積変化も少ない均質性
長期安定性	高水圧下でも十分な構造安定性とひび割れ抵抗性を確保 高強度・高剛性
地層処分手業への貢献	長期間人工バリア材に化学的影響を与えない 低アルカリ性の材料

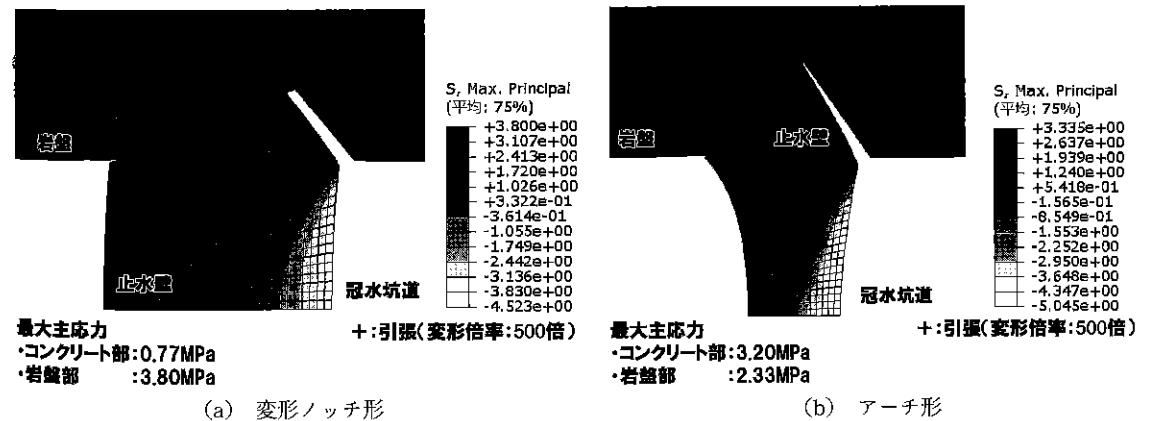


図-5 止水壁の形状解析の結果

リート配合」が現地におけるコンクリートプラントを用いた製造に最適と判断し、セメントの種類は「低熱ポルトランドセメント」とした。

(2) 配合試験

「高強度・高流動・低収縮性」コンクリートの配合の基本は表-2のとおりとなる。これに加えて、骨材は現地で調達しているものを採用し、石灰石微粉末と減水剤を加えた。

表-2の目標仕様を満足する配合を決定するために、配合試験を実施した。単位水量、水結合材比、水粉体比、粗骨材率をパラメータとして、スランプフロー試験、空気量測定、O漏斗流下試験、U型充填性試験、凝結試験、拘束膨張率測定、圧縮試験などを実施した。表-3に配合試験における検討配合の概要を示す。

配合試験のおもな結果を以下に示す。

- 粗骨材量については、いずれもU型充填性試験でランク2を満足し、763kg/m<sup>3</sup>の場合にはランク1を満足するケースが見られた。今回の使用材料では、粗骨材の最大寸法が25mmとやや大きく、粒子形状も扁平なものが多く

表-2 コンクリートの目標仕様

コンクリートの性状	目標仕様
高強度	設計基準強度：50N/mm <sup>2</sup>
高流動	充填性ランク：ランク2
	スランプフロー：650±50mm
	空気量：4.5±1.0%
低収縮性	低熱ポルトランドセメント+膨張材

表-3 コンクリート配合試験の概要

水粉体比(W/P) (%)	水結合材比(W/B) (%)	粗骨材率(s/a) (%)
31.4~35.8	40.0~50.0	48.2~53.4

単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
W	LPC	Ex	LSP	S	G	SP
165	330		100	744	763	P×
175	425	20	200	853	815	0.9~1.1
						%

W：水、B：結合材、LPC：低熱ポルトランドセメント、Ex：膨張材、LSP：石灰石微粉末、S：細骨材、G：粗骨材、SP：減水剤  
 P=B+LSP  
 B=LPC+Ex

含まれているため、粗骨材量は763kg/m<sup>3</sup>と選定した。

- 単位水量を変化させて、スランプフロー、フロー到達時間およびO漏斗流下時間を測定した結果、比較的性状が安定している175kg/m<sup>3</sup>が最適と判断した。
- 水結合比および水粉対比を変化させて試験した結果、いずれの条件においても良好なフレッシュ性状、充填性が得られた。
- 膨張材の添加量については、添加量を4段階に変化させて拘束膨張率試験を実施した結果、いずれの条件においても大差はない結果となった。
- 圧縮強度については、膨張材の添加や水結合材比によらず、設計強度をほぼ満足する結果が得られた。

以上の結果を踏まえて、温度応力解析や構造解析用の物性値を取得するための試験や現場のコンクリートプラントを使用した実機試験練りのための代表配合を設定した(表-4)。

(3) 室内試験物性試験・実機試験練り

表-4に示した基本配合によりコンクリートを製造し、解析の入力物性値を取得するための室内物性試験を実施した。試験項目と概要を表-5に示す。ほとんどの試験についてはJIS規格に従った。強度については、表-2に示したように設計基準強度を50N/mm<sup>2</sup>と設定したが、現場施工の工程を踏まえて56日での強度発現を目標とし、参考値として

表-4 物性試験および実機試験練りにおける基本配合

水粉体比(W/P) (%)	水結合材比(W/B) (%)	粗骨材率(s/a) (%)
32.5	45.0	52.0

単位量(kg/m <sup>3</sup> )						
W	LPC	Ex	LSP	S	G	SP
175	366	20	150	806	763	P×
						1.00~1.06
						%

W：水、B：結合材、LPC：低熱ポルトランドセメント、Ex：膨張材、LSP：石灰石微粉末、S：細骨材、G：粗骨材、SP：減水剤  
 P=B+LSP  
 B=LPC+Ex

表-5 コンクリート物性試験

試験項目	概要
スランプ	練上り直後(5分後)
スランプフロー	練上り直後(5分後)
空気量	練上り直後(5分後)
コンクリート温度	練上り直後(5分後)
ブリーディング	練上り直後(5分後)
凝結試験	練上り直後(5分後)に試験体採取
拘束膨張率	拘束枠下での膨張ひずみをA法(膨張のみ対象)で計測(水中養生期間中の拘束膨張ひずみを計測) 材齢0, 1, 3, 7, 10, 14日
長さ変化率 乾燥収縮ひずみ	試験材齢：7日水中養生後、20℃、60%の乾燥材齢1, 3, 7, 14, 21, 28, 56, (91)日にて測定 供試体寸法：角柱100×100×400mm、3本/配合
断熱温度上昇試験	空気循環式、練上り直後~材齢14日程度まで 供試体寸法：円柱φ400×400mm、1本/配合
圧縮強度(若材齢)	材齢：1, 2, 3日 供試体寸法：円柱φ100×200mm、9本/配合
圧縮強度(通常材齢)	材齢：7, 28, 56日, (91日) 供試体寸法：円柱φ100×200mm、12本/配合
静弾性係数	材齢：7, 28, 56日, (91日)
ポアソン比	材齢：7, 28, 56日, (91日)
割裂引張強度	材齢：7, 28, 56日, (91日) 供試体寸法：円柱φ100×200mm、12本/配合
曲げ強度試験	材齢：7, 28, 56日, (91日) 三等分点載荷法
透水係数	浸透深さから拡散係数を算定して透水係数を評価 材齢28, 56日 供試体寸法φ15×15cm(一例)、3本/配合
熱膨張係数	コンクリート角柱供試体に段階的に温度変化を与えて長さ変化を埋込み型ひずみ計で計測する 2本/配合
比熱	物理的手法による 材齢28, 56日まで養生後に実施、1本/配合
熱伝導率	物理的手法による 材齢28, 56日まで養生後に実施、1本/配合

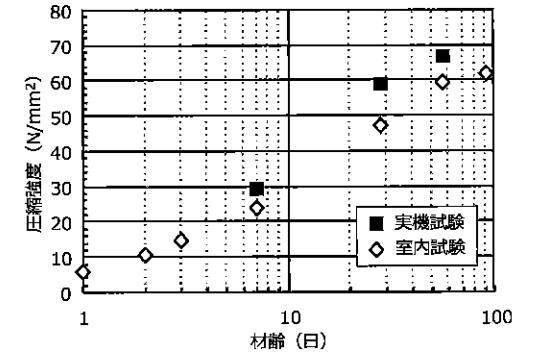


図-6 圧縮強度と材齢の関係

91日強度を取得した。現地のコンクリートプラントを用いた実機試験練りでは、表-4に示した試験項目のうち透水試験と熱物性試験を除いた項目に加えて、塩分濃度測定、細骨材の表面水率試験および施工性確認試験としてポンプ圧送試験などを実施した。

試験結果の一例として、圧縮強度試験の結果を図-6に示す。室内試験では、材齢28日で設計強度である50N/mm<sup>2</sup>近くを示し、56日で約60N/mm<sup>2</sup>となった。実機試験練りで製造したコンクリートでは、室内試験の結果よりやや強度が大きくなり、配合試験で設定した基本配合の妥当性が確認された。

4-4 構造解析

止水壁の形状を決定する際の解析は概略的なものであったが、止水壁の設計結果すなわち使用するコンクリートの物性、止水壁内の鉄筋の仕様や配置、人の出入り用のマンホールや、冠水坑道内での計測ケーブルのための貫通管などの仕様や配置も確定し、これらをすべて考慮した解析を実施した。

図-7に解析結果の一例を示す。図は冠水坑道側からの視点で表示している。止水壁に5.1MPaを作用させたときの、止水壁に作用する最大圧縮応力は8.5MPa、最大引張応力は7.5MPaであり、いずれもマンホール周辺で生じている。一方、岩盤側では、最大圧縮応力は76.9MPa、最大引張応力は1.9MPaである。いずれも坑道掘削時に生じたものの影響は小さいと判断される。

解析結果を踏まえて、曲げとせん断に対する照査を実施した。曲げに対する照査は、応力的に厳しい部分と一般部の2か所(曲げ照査断面①, ②)について実施した。せん断に対しては、マンホール部の押抜きせん断、止水壁と岩盤とのせん断力および一般部の3か所の断面(せん断照査断面①~③)に着目した。応力照査については、土木学会のコンクリート標準示方書<sup>17)</sup>に示された安全係数を満足するか否かを確認した。

照査の結果の一例を表-6に示す。曲げに対しては応力比が1.0以下、せん断に対しても耐力以下の発生力であることから、照査の指標である安全性と使用性は満足すると判断した。

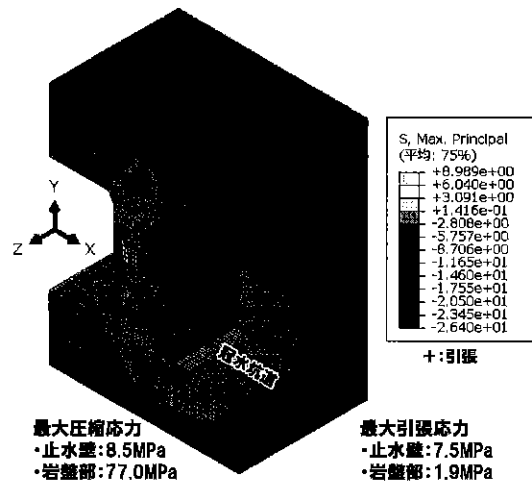


図-7 有限要素法弾塑性解析の結果(最大主応力分布)

表-6 照査結果

	発生応力 (MPa)	制限値 (MPa)	応力比	判定
曲げ照査断面①	12.198	20	0.61	OK
曲げ照査断面②	11.223	20	0.56	OK
	発生せん断力 (MPa)	せん断耐力 (MPa)	せん断力比	判定
せん断照査断面①	1,903.8	7,536.1	0.253	OK
せん断照査断面②	397.6	1,282.5	0.310	OK
せん断照査断面③	1,378.8	2,243.0	0.615	OK

4-5 温度応力解析

止水壁を施工するにあたり留意すべき事項として、コンクリート硬化時に発生するセメント水和熱に起因した温度変化と、周辺岩盤によるコンクリート自体の体積変化の拘束との関係から、ひび割れ発生の可能性について検討する必要がある。「4-1 要求性能」に記述したように、止水壁の躯体はもちろん止水壁と岩盤間の水密性をもっとも重要な要求性能である。このため、止水壁の躯体の水密性に影響を及ぼさない表面ひび割れは許容するが、貫通ひび割れを防止するような対策を取ることとした。

土木学会のコンクリート標準示方書<sup>17)</sup>では、ひび割れに対する対策レベルに応じて、ひび割れ発生確率と安全係数の目標値が定められている。ひび割れ発生を防止したい場合(ひび割れ発生確率5%)には、安全係数が1.85以上と設定されていることから、同示方書に示されている、コンクリートの引張強度と最大引張応力度との関係で定義される「ひび割れ指数」を用いて照査することとした。具体的には、温度応力解析を実施し、時間経過に伴う応力状態に対して、材齢に依存するコンクリートの引張応力との関係を算出してひび割れ指数を算出した。

解析に用いたソフトは、非線形温度応力解析プログラム『ASTEA MACS Ver.8.3.4』(株)計算力学計算センター)であり、解析条件は「4-3 材

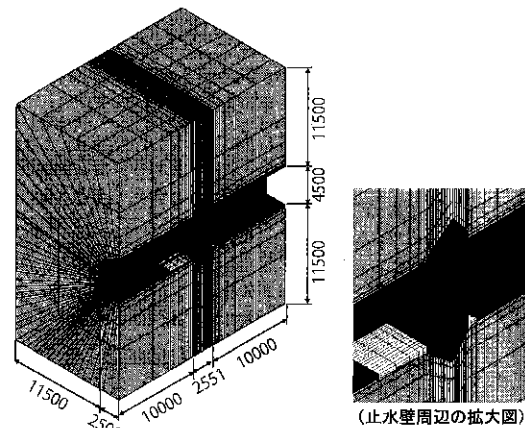


図-8 温度応力解析モデル(半断面)

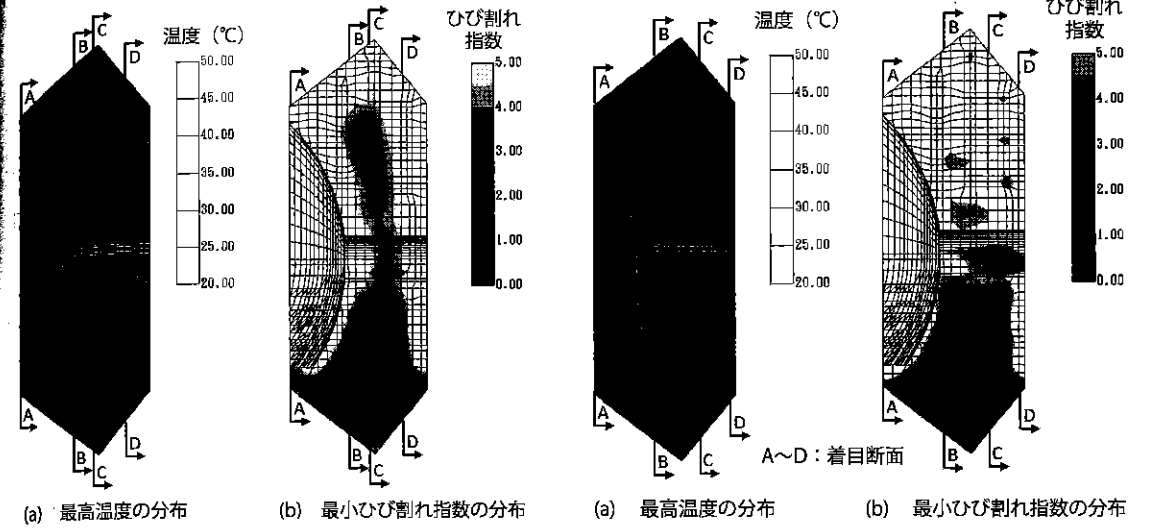


図-9 温度応力解析の結果(クーリング対策なし)

図-10 温度応力解析の結果(クーリング対策あり)

料の検討」において示した物性試験の結果にもとづいて設定した。解析モデルを図-8に示す。

2015(平成27)年3月上旬に打設すると想定した解析結果の一例を図-9に示す。温度応力解析の結果、打設後4.5日に止水壁の上部の着目断面Cにおいて最高温度が49.4℃となった。止水壁の表面では30℃前後を示した。応力解析の結果では、打設後44日に止水壁の下部の着目断面Cにおいてひび割れ指数が最小となる1.53を示した。止水壁の上部は下部と比較すると最小ひび割れ指数は大きく、半分以上の範囲で5以上となった(コンターの白色部分)。このため、止水壁下部において貫通ひび割れが発生する可能性が示唆され、クーリングの対策が必要と判断した。

クーリング計画として、1次クーリングをコンクリート打設終了の翌日から4日間、通水温度10℃、通水量30L/分で実施し、2次クーリング(止水壁と岩盤の隙間をグラウトするためのクーリング)を1次クーリング終了の7日後から16日間、17℃で30L/分で実施することを想定した解析結果を図-10に示す。1次クーリングの効果で最大温度は42.6℃に低下し、ほとんどの部分で30℃前後となった。ひび割れ指数については、24.5日後に1.91の最小値を示し、下部においてはほとんどの部分が2以上、上部では5以上(コンター白色

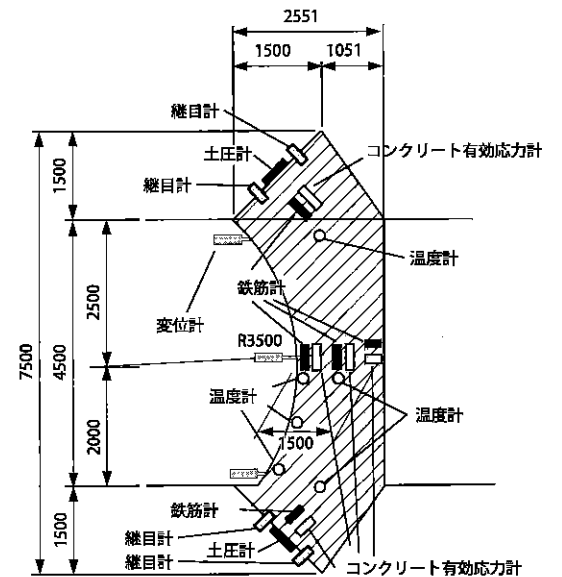


図-11 止水壁における計測の概要

部)となった。この結果、貫通ひび割れを防止できると判断した。

4-6 計測計画

施工された止水壁の性能が満足されることを確認する目的として、止水壁の躯体および周辺岩盤との間に各種のセンサーを配置して監視することとした。温度計はクーリングの管理に、変位計、土圧計および鉄筋計は再冠水時の止水壁の挙動の確認に、継ぎ目計は止水壁の躯体と岩盤との隙間

の密着性を確認するために設置する。計測の概要を図-11に示す。

## 5 おわりに

瑞浪超深地層研究所の深度500mの水平坑道で実施している再冠水試験のために設置する止水壁の設計について報告した。今後は、再冠水時の周辺岩盤の挙動や地下水の水圧、水質の変化を観測するとともに、止水壁に設置した各種センサーの計測結果を評価して、設定した機能を満足していることを確認していく。これらの知見は、将来の当該施設の閉鎖計画に利用されることになるが、高レベル放射性廃棄物地層処分におけるプラグの計画の基盤的な情報としての活用も期待できる。

2015(平成27)年5月に、現場においては止水壁の設置工事を実施し、止水壁と岩盤の隙間を対象にコンタクトグラウトを実施した(写真-1)。今後、漏水がないことを確認したあと、坑道の冠水を行う予定である。

最後に、構造解析については、(株)大林組生産技術本部の佐藤伸氏に実施していただいた。ここ



写真-1 止水壁設置状況 (2015(平成27)年2月撮影)

に記して感謝の意を示します。奥村浩所長をはじめとする大林・大成・安藤ハザマ特定建設工事共同企業体の皆様に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構：超深地層研究所計画 地層科学研究基本計画，原子力機構，JAEA-Review 2010-016，2010。
- 2) 核燃料サイクル開発機構：深地層研究所(仮称)計画，サイクル機構，JNC TN1410 98-002，1998。
- 3) 見掛信一郎・杉原弘造・永崎靖志：地下1,000mに研究坑道を掘る，東濃地科学センター 超深地層研究所計画，トンネルと地下，Vol.31，No.12，pp.55-63，2000.12。
- 4) 今津雅紀・佐藤稔紀・坂巻昌工：地下1,000mの立坑工事に着手，瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事，トンネルと地下，Vol.35，No.6，pp.31-42，2004.6。
- 5) 佐藤稔紀・見掛信一郎・納多勝・小林伸司：深度500mまでの施工実績に基づく立坑掘削技術の評価，瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事，トンネルと地下，Vol.45，No.7，pp.501-510，2014.7。
- 6) 動力炉・核燃料開発事業団：日本のウラン資源，PNC-TN7420 94-006，1994。
- 7) 高山裕介・佐藤稔紀・尾上博則・岩月輝希・三枝博光・大貫賢二：瑞浪超深地層研究所における再冠水試験計画，支保工や埋戻し材の地質環境への影響評価を目的とした力学・水理連成挙動の予察解析，第43回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.313-318，2015。
- 8) 今津雅紀・奥野哲夫・小松原徹：国内初の天然ガス高圧岩盤貯蔵実証試験，トンネルと地下，Vol.41，No.7，pp.513-524，2010.7。
- 9) エンジニアリング協会地下開発利用研究センター：波方国家石油ガス備蓄基地，地下利用事例，<https://www.ena.or.jp/GEC/nec/html/nyokai/sk10-5.PDF>
- 10) 下野正人・原佑友・島屋進・前島俊雄・山本浩志：プラグコンクリートの水圧作用時における岩盤拘束効果の評価，土木学会第63回年次学術講演概要集，pp.1143-1144，2008。
- 11) 前島俊雄・下茂道人・宇野晴彦・青木謙治：模擬岩盤空洞を用いた気密試験，第39回岩盤力学に関するシンポジウム講演集，pp.238-243，2010。
- 12) 川西貴士・片野啓三郎・竹田義典・市川雅之・宮崎裕光：LPG岩盤貯槽における配管掘削プラグコンクリートの品質管理と施工，大林組技術研究所報，No.77，pp.1-8，2013。
- 13) Johanna Hansen: DOPAS(Contract Number: Fp7-323273), D1.2 Project Plan including risk management plan, European Commission, Community Research, 2013.

- 14) DOPAS: Experiment3.DOMPLU, [http://www.posiva.fi/dopas/wp\\_3/experiment\\_3\\_domplu](http://www.posiva.fi/dopas/wp_3/experiment_3_domplu)
- 15) SKB: Design, production and initial state of the backfill and plug in deposition tunnels, SKB Technical Report, TR-10-16, 2010.

- 16) 杉田裕・升元一彦：トンネルシーリング性能試験におけるプラグの設計・施工技術(研究報告)，核燃料サイクル開発機構，JNC TN8400 2002-005，2002。
- 17) 土木学会：2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】，2012。

## 図書案内

# 地下水の科学 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。



第I巻 地下水の物理と化学  
4,078円+税 B5判

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

第II巻 地下水環境学  
4,272円+税 B5判

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

第III巻 地下水と地質  
3,689円+税 B5判

■水資源 ■堆積盆水循環における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807 <http://www.tunnel.ne.jp>

# 土木情報 No.510

今月の主な入札結果  
(10月10日～11月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単一位 百万円
北海道開発局	R40音威子府村音中T	清水・伊藤組・岩倉JV	5,940
〃	旭川十勝道路富良野市北の峰T掘削	鹿島・三井住友・荒井JV	1,778
〃	R229せたな町新美谷T	岩田地崎・松本JV	2,261.42
関東地整	H27相模川新田排水樋管改築	亀井工業	115.33
中部地整	H27 41号宮峠T	アイサワ工業	3,646
〃	H27犀川遊水地新堀川樋管改築	森組	480
四国地整	H27-28赤坂用水樋管改築	泉建設	113
大阪航空局	那覇空港滑走路横断ケーブルダクト新設	鴻池組	695
鉄道・運輸機構	北海道新幹線、後志T(北上沢)他	西松・東亜・中山・萩原JV	8,939
北海道	道道泊共和線交付金地方道(国富2号T)	岩田地崎・吉本・佐々木JV	3,106
宮城県	(仮)姥ヶ懐T	安藤ハザマ・橋本店・上のJV	3,755
栃木県	一級河川思川樋門本体建設	板橋組	133.5
千葉県	社会資本整備総合交付金(内浦・(仮称)新実入T工)	東急・白幡JV	1,687.19
都・財務局	H27辰巳排水機場(再整備)建設	若築・大滝JV	628.9
都・建設局	環2地下T(仮称)補修(27-1-環2虎ノ門)	松下産業	100.94
都・水道局	朝霞浄水場から朝霞市膝折地内間送水管(2600mm)用立坑築造	東急・ノバックJV	984.65
都・下水道局	品川区東五反田五丁目付近再構築その1	石川徳建設	410
〃	練馬区南大泉三丁目付近枝線	青木あすなる建設	666
福井県	原子力災害制圧道路等整備(仮称)美浜第1T	坂川・畑・道端JV	1,223.8
〃	〃 (仮称)美浜第3T竹波工区	西村・羽崎・轟・敦賀旭JV	3,002.8
〃	道路改良(社会資本整備総合交付金・広域連携)(仮称)持越T	キハラ・山田JV	943.2
静岡県	H27 R362防災・安全交付金(国道道路改築)(仮称)青部T本体	鴻池・梶山JV	1,154
大阪府	広域農道岩湧地区(27)(仮称)2号T築造	浅沼組	735.5
和歌山県	R371(仮称新紀見T)道路改良	鴻池・三友・藤平JV	4,370.4
広島県	R313道路改良(仮称・神辺T)	格正・三島JV	1,073
愛媛県	一般県道鳥井喜木津線亀浦T建設	一若・西田JV	929.5
札幌市	防災・安全交付金事業西2丁目線(南1条線～南2・3条中通線間)地下自転車等駐車場整備	岩田地崎・丸彦渡辺・北土JV	1,587.6
横浜市	新横浜駅横断地下道改修(その1)	東鉄工業	158
〃	都筑処理区都岡地区下水道整備	浅井建設	127.77
〃	H27開削T中柱補強(その2)	東鉄工業	441
相模原市	公下相南地区雨水幹線整備(2工区)	アコック・東神JV	418.78
綾瀬市	H27小園地区浸水対策BP管	鹿島・時田JV	803.34
清須市	公下雨水管整備	徳倉建設	213
京都市	伏見第3導水きょ公下	鴻池・あおみ・今井・城産JV	3,090
池田市	石橋第2増補幹線築造	鉄建建設	827.75
神戸市	西河原1号雨水幹線他築造(その1)	大林・寄神JV	1,355.5
長崎市	尾上町ほか内径2600・1200汚水管推進	戸田・長崎西部・長与管JV	812

第七十二回  
語り継ぎ  
言ひ継ぎ  
行か

## 創生・保生・再生

## 足立 紀尚

(財)地域地盤環境研究所代表理事

### はじめに

青函トンネル土工研究委員会が鉄道建設公団の委託により土木学会に設置されたのは、1970年である。1969年に米国留学から戻り、恩師の村山朔郎先生が委員会の話をされたので、委員会に参加したいとお願いしたところ、1972年から末席を汚すことができた。この委員会こそが、筆者のトンネル研究の開始とトンネル分野の研究者、技術者との交流が始まる端緒ともなった。

その後、鉄道建設公団関連では、鍋立山トンネル、飯山トンネル、東北新幹線の八戸以北のトンネル群と北海道新幹線の津軽蓬田トンネルなどに関係することができた。道路公団関連では新名神の金勝山トンネル(建設時：栗東トンネル)と甲南トンネル、東海北陸道の飛騨トンネルなど、また本四公団では鷲羽山トンネルや舞子トンネルの委員会に参画した。

一方、名神高速道路天王山トン

ネルの改良工事や1999年の山陽新幹線福岡トンネルなどの覆工剥落事故に関する運輸省の安全問題検討会も忘れられない委員会であった。このように、トンネルの建設(創生：生む)、維持管理(保生：生かし続ける)、改築改良(再生：蘇らせる)にかかわることができたが、その過程で行った研究、技術開発の手伝い、考えたことなどを取りとめもなく記すことにした。雑文であることをお断りしておく。

### 旅の前、米国にて 岩塩鉱山と岩塩に関する研究

1964年に大学院修士課程を修了し博士課程に進学したが、岩盤力学の研究を行うために、世良田章正先生がおられたミシガン州立大学へ留学することになった。当時、世良田先生は岩塩の力学特性および岩塩鉱山の設計法に関する研究を行い、櫻井春輔先生が博士取得の最終段階の研究を進めておられた。

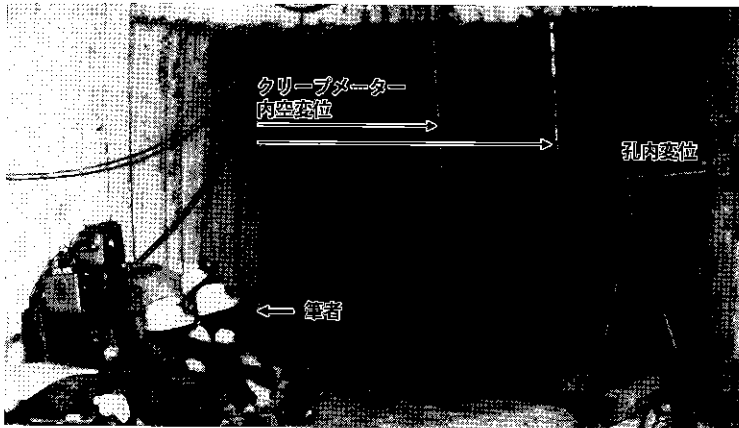
私の研究テーマは、岩塩層中の



著者近影

著者略歴

- 昭和37年3月 京都大学工学部土木工学科卒業
- 昭和39年3月 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻修士課程修了
- 昭和44年12月 アメリカ合衆国カリフォルニア大学バークレー校大学院応用地球物理学博士課程修了Ph.D.
- 昭和45年3月 京都大学工学部交通土木工学科助教授
- 昭和58年2月 京都大学工学部交通土木工学科教授
- 平成8年4月 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
- 平成11年8月 (財)大阪土質試験所理事
- 平成14年3月 京都大学停年退官
- 平成14年6月 (財)地域 地盤 環境研究所(旧大阪土質試験所)理事長
- 平成24年4月 (一財)地域 地盤 環境研究所 代表理事 現在に至る



米国ユタ州岩塩鉱山におけるクリープ変位の現場計測

KCl(塩化カリウム)層を採掘する際、もっとも多量に採掘するためには、採掘坑道がどのような形状であれば良いのかを見出すことである。そのために岩塩の力学特性を明らかにし、その構成モデルを求めた必要があった。

このための実験と研究を通して、固体である岩塩が流体的挙動を示すことがわかった。ミシガンでの生活が1年経過した1966年、世良田先生が大学を辞しカリフォルニア州のバークレーに研究所を作ることになった。そのため、筆者は設立する研究所で働き、大学はカリフォルニア大学バークレー校に

転学することになった。研究テーマは変わらず、岩塩の高温・高圧化下の力学挙動の解明と構成式の誘導、岩塩空洞の挙動解析や現場計測のための計測機器の製作ならびに現場計測を行い、それらをまとめてバークレー校でPh.D.の学位を取得した。

1969年の秋に帰国し、1970年3月に京都大学での教官生活が始まった。当初は粘土の力学特性の解明と構成式の構築に努めたが、青函トンネルや本州四国連絡橋建設の情報が飛び交い、ぜひ関連する研究を行いたいものだと考えるようになった。

トンネルの旅の始まり  
青函トンネル土圧研究委員会

青函トンネルは、最深部で海面下240mに建設されるため、24MPaにも及ぶ高水圧下での工事であった。竜飛側の斜坑が完成した1970年当時、事前の入念な地質調査と2本の斜坑建設により、適切な止水注入工法を適用すればトンネルの建設は可能であるとの結論を得ていたが、注入による地盤改良の程度、覆工土圧に及ぼす注入の影響、適正注入域規模などいくつかの課題の理論的解明が残されていた。

そこで、これら未解明の問題を検討する目的で、1970年、鉄道建設公団の委託により土木学会に青函トンネル土圧研究委員会が岡本舜三委員長(東京大学教授)、村山朔郎・京都大学教授、小野寺透・埼玉大学教授、関陽太郎・埼玉大学教授、鈴木光・東京大学教授、嶋祐之・埼玉大学教授、平松良雄・京都大学教授で発足した。

その後、丹羽義次・京都大学教授、山本稔・東京都立大学教授、



青函トンネル土圧研究委員会メンバー

岡本熊万・名古屋大学助教授、岡本行俊・京都大学助教授、小林昭一・京都大学助教授、櫻井春輔・神戸大学助教授、足立紀尚・京都大学助教授、佐藤邦明・埼玉大学助教授らが参画した<sup>9)</sup>。翌1971年には、本委員会の活動を推進するため小委員会が設置され、小委員会の委員長は、当初、嶋裕之教授がその任に当たったが、教授の逝去により、1974年以降、山本稔教授が引継いだ。

青函トンネルの建設は、高圧湧水と軟岩、断層とを対象とする一大トンネル工事であって、トンネル技術と技術者の育成の場であった。そこで、軟岩の力学特性解明のための研究を開始した。一方、委員会においては、地下水面下深くトンネルを建設するとき、トンネル内への湧水を許さないと静水圧に相当する高い水圧が覆工に作用するから厚い覆工が必要になる。したがって、地山の透水性が大きい場合は注入により透水性を小さくし、透水量を減じてトンネル内に導き、覆工背面の水圧上昇を防止する方法がとられる。しかし、注入はトンネル掘削に多大な時間的、経済的影響を与えるから、地山の力学特性に適した注入域の規模を知って施工することが大切であるため、注入域の適正規模の決定法と水抜き効果に関する解析的研究<sup>9)</sup>を田村武君(当時、京都大学助手、のちに同大学教授)と行った。ところが、注入域を設けると必然的に注入域外周に高い水圧が作用するから、その位置がトンネル壁面に近いと地山の安定性からは不利な条件になる。すなわち、注入域の大きさが不十分であるとトンネル近傍の注入域内で高い水圧が作用し、有効応力の観点から地山強度は低減して、力学的に不安定な地山状態になるわけである。したがって、必要な注入域の大きさは、地山の強弱によって変化する。地山が強ければ注入域は小さく、弱ければ大きくなるの

は、ダムで水を堰き止めた場合と同様である。強度の大きいアーチダムや重力式ダムでは断面が小さくてよいが、強度の小さいフィルダムでは大きな断面が必要であることから理解してほしい。このように、地山の安定性と湧水量の制御という、相反する要求を満たす地山に適した最適注入域の決定は重要である。

委員会は1970年から15年間開催され、1985年3月に終了したが、試験坑道の掘削など、さまざまな現地試験を実施して、諸問題に、適宜、適切な提案を行った。この委員会は研究者と施工者が一体となって、現実の海底トンネルに生じた現象を取上げ、実際と理論の両面から追求し、画期的な成果を挙げたと『青函トンネル物語』<sup>1)</sup>には記されている。

15気圧のガスによる  
異常膨張性地山  
鍋立山トンネル

北越北線の全長約9kmの鍋立山トンネルに関係したのも1970年代であった。池田俊雄先生(当時、長岡技術科学大学教授)が委員長である委員会が設けられ、委員として参画した。

現場をたびたび訪れたが、難航している残り600m区間の異常膨張現象の原因がどうしてもわからなかった。1m掘削すると、掘削部分1mが埋まり、掘削切羽面から10cm押出すこともあるような山であった。湧水も少なく、塑性流動によるとも考えられなかった。考えあぐねていたある日の委員

会で、池田委員長は地山が胚胎する15気圧にも達するガスが原因であると発言された。真っ先に、先生のガス原因説に賛成したのが筆者であった。先生のガス説にもとづけば、現象をうまく説明できますよ、と懇親会においても先生との会話が弾んだ。

山の間隙率  $n$  を0.1とすると、山の骨格構造の実質部分は0.9。トンネルを掘って応力が解放されると、間隙を占めるガスは15倍に膨張する。間隙は  $0.1 \times 15 = 1.5$  と膨張し、実質部分0.9を加えると体積は2.4となる。トンネル掘削により1.0を引くと残りの1.4は掘った部分を1.0で埋め、残りの0.4が掘削開始面より0.4だけ押し出すことになる。大学に帰ると、すぐ田村武君と相談し、間隙圧をガス圧とした有効応力にもとづく弾塑性地山としての解析を行い、論文が完成した<sup>3)</sup>。

トンネルは、注入改良によって難航の末1995年11月7日に貫通式を迎え、筆者も出席して貫通を祝うことができた。

#### 鋼製支保工の役割を学べ 栗東(現)金勝山)トンネルと 幻の五日市トンネル

思い出深い山岳トンネルはいくつもある。村山朔郎先生の指導で、風化花崗岩地山に凍結工法を適用し、山陽新幹線神戸トンネルの直下を15mの離隔で交差した神戸市山麓バイパス布引トンネル、本州四国瀬戸大橋ルートの4つ目の鷲羽山トンネル、アンブレラ工法を本格的に適用した神戸淡路ルート

の舞子トンネル。電化対応で、レンガ覆工のアーチ部を取っ払い、鋼製支保工、吹付けコンクリートとロックボルトで置換えた京都に近い山陰線のトンネル群などである。

新名神高速道路の栗東トンネル(現)金勝山トンネル)は、車線幅3.75mで3車線用の大断面トンネルである。掘削断面積は180m<sup>2</sup>に達し、直径5mのTBMで中央先進導坑を抜いたあと拡幅する新東名、新名神での標準掘削工法であった。

栗東トンネルの地山は花崗岩であったが、この大断面トンネルに鋼製支保工が必要であるかどうか議論された。「なぜ竹に節があるのか」「なぜ障子に棧があるのか」が、鋼製支保工を必要とするの筆者の考えを示す問いかけであった。大断面において鋼製支保工は針金のように細いから、役に立たないのではないかと、大方の見解であった。大断面になれば吹付けコンクリートは紙のように薄く、地山と密着するかどうか問題となる。この場合、鋼製支保工は障子の棧の役割を果たし、吹付けコンクリートと一体となり、しっかりした支保構造となる。また吹付けコンクリートのみの場合、1か所で破壊が生じると、全面に破壊が伝播するが、鋼製支保工があれば、竹の節のように破壊の伝播を防ぐことができる。これが筆者の持論である。

残念なことに、これが立証されたのが、事故後、原因調査のため急遽呼ばれた上信越道の五日市トンネルである。1996年8月29日、

五日市トンネルの切羽後方約80m付近より突如崩壊が発生した。これにより、切羽付近より坑口の約前50m付近まで約150m区間が崩壊土砂で埋没した。当初の五日市トンネルの設計はNATMであったが、坑口部区間終了後、合理的な工法によるモデル施工を実施することとなった。

合理的施工法は、ノルウェーで開発されたNMT(ノルウェー式トンネル工法)を参考として、施工速度の向上およびコスト低減を目的として試行することになったことである。

NMTは、切羽の地山分類をO値で定量的に評価し、O値に従って支保を決定・施工する。基本的に二次覆工を施工しないため、吹付けコンクリートは高強度鋼繊維補強吹付けコンクリート(15cm)を使用し、金網は使用せず、ロックボルトは耐腐食性に優れたファイバーボルト(3m、4m)を使用し、鋼製支保工は使用しない工法である。

地質は、新第三系中新統に属する春日山層で、主として細粒～中粒砂岩(一部粗粒～極粗粒砂岩)からなり、中に礫岩およびシルト岩～泥岩を挟み、いずれも軟岩であった。

地形は傾斜地で、地すべり地帯であって、かぶりは20～30mであった。このような地山で高強度吹付けとロックボルトのみで鋼製支保工を外したために、一枚板のガラスのように、吹付けが一挙に150mにわたって破壊したと考えられる。

事故調査をともにした長友成樹氏は、定規の役も果たす鋼アーチ支保工類を設置しない吹付けコンクリートシェルは、余吹きも小さな綺麗なアーチとはなりにくく、打つものとなって、アーチとしての強度は相当に割引く必要があるのではないか? SFが入っているため、破壊が瞬間的でなく、けが人が出なかったのが、幸いであった、と述べている。この区間は、原計画道路に変更し、五日市トンネルは存在しない幻のトンネルとなった。

#### TBMで掘ろう 飛驒トンネル

わが国のNATMやシールドトンネルの技術は、世界のトップレベルにあるが、TBMの技術は後塵を拝している。

青函トンネルや恵那山トンネル建設にTBMを導入したが、成功せず、鉄道および道路では冬の時代が続いた。幸いにも電力が、導水路の建設にTBMを採用し、道路公団が新東名・新名神の大断面トンネルの中央先進導坑に適用するまで、TBMの技術を維持してくれていた。しかしながら、外径が10mを超えるTBMは日の目を見ず、TBM技術の向上にはその実行が必要であった。

その機会の到来は、東海北陸自動車道天生トンネル(後日、飛驒トンネルと改名)の施工に関する技術検討委員会が設置された1994年7月である。地質調査はすでに実施され、9割以上は良好な地山であるとされていた。1994年の委



飛驒トンネル先進導坑貫通式での委員会委員

員会で、先進坑(避難坑)の安全かつ迅速な施工に、TBMの適用を決定した。さらに、1995年、本坑の施工に関し、NATMと全断面TBMとを比較検討した結果、TBMが適していると判断した。

この際、大規模な断層部などにおいては、事前に先進坑からアプローチすることで本坑をNATM掘削しておき、TBMを通過させる、いわゆるTBMとNATM双方を柔軟に適用する、ハイブリッド工法を提示しておいた。委員長として本坑に全断面TBMの適用を薦めた理由は、①大断面TBM技術の確立、②新たな技術開発による人材育成、③都から遠いゆえ、雑音がなく技術開発ができる、の3点であった。

1998年2月、先進坑TBMは初期掘進を開始し、2005年9月、高圧湧水を含む軟質粘土層に拘束・変状をきたし、掘進の役割を終了したが、幸いにも、河合側からの迎え掘りにより、2006年3月9日、無事貫通した。一方、本坑の白川

側約3kmは地山不良のためNATMで掘削したが、2004年6月に本坑TBMによる掘進が開始され、切羽面の崩壊、硬岩部での摩擦、TBMの補強などの困難を克服することで、トンネル延長の約40%、4km余りを2年7か月で掘進し、2007年1月に貫通することができた。困難な地山において大断面TBMの技術開発に挑んだことにより、多くの人材が育つことができた。

#### 覆工が剥落した 山陽新幹線福岡トンネルなど (保生)

1999年6月27日の山陽新幹線福岡トンネルにおける覆工コンクリートの剥落事故に関し、運輸省は、トンネル安全問題検討会を設置した。その目的は、福岡トンネルの剥落事故は、コールドジョイントに起因するという予想もなかった現象である。また、線路上へのコンクリート片の落下という鉄道

運行の安全に直結する重大かつ緊急のテーマでもある。このため、今回の事故と同様の事故の再発防止を図る観点から、トンネルの点検方法、補修方法などを含め、中長期的な保守・管理のあり方を早急に検討し、実施に移す必要が生じている。本検討会は、このような観点から、今回の事故原因の推定を行い、これを踏まえたトンネルの中長期的な保守・管理のあり方を検討することを目的とする、であった。

この種の事故が発生した場合に、もっとも大切なことは、安全性を早急に確認・確保して機能を速やかに回復させることである。愚直なまでの現場主義こそが、大切である。事故を受けて運輸省の指導のもとJR西日本は、直ちに、緊急総点検と予防的処置を実施し、安全の確保に努めたが、この姿勢こそが求められる姿である。

8月11日の未明、福岡トンネルの現場を見たあと上京して、第1回目の検討会に出席した。その開会にあたっての座長挨拶を以下のように述べた。

「鉄道は、言うまでもなく社会活動の中心である人間・物資の輸送を司る life line、すなわち国の生命線の1つである。life lineは、1日も休むことなく、安全にその役割を果たすことに意義がある。これまで、社会の要請と発展に対応、あるいは先取りすることで、life lineを含め社会基盤施設を建設、すなわち創生し、維持・管理、すなわち保生してきた。創生は、生む(create)であり、保生は、生

かし続ける(sustain)である。われわれは、新しいものを生み、それを生かし続けることを有史以来行ってきた。トンネル覆工の剥落事故にあたって、保生システムの重要性を再認識した。人間に例えれば、日々の健康維持増進技術といってよいが、代理のきく人間と異なり、代理のきかないlife lineの場合には保生がいかに重要であるかが理解できよう。先に述べたように、保生は、いま始まったものではなく、人類が営々とこれまでも努めてきたものである。今回の覆工の剥落事故を前向きに受け止め、保生技術をさらに発展させる良い機会であると考えたい。厄転じて福となす機会である。子供時代のトンネル遊びで学んだように、トンネルは地山で支持される、幾何学的形状からももっとも安定した構造物である。しかしながら、トンネルといえども保生は重要である。本検討会では、トンネルの健康度・安全性を科学的根拠に立脚して確認し、社会の信頼回復を図るとともにトンネルを生かし続けさせるための保生技術のあるべき姿を構築したい。」

検討会は、福岡トンネル剥落事故の原因推定と今後のトンネルの保守管理のあり方を提言するため、8月11日に第1回を開催して検討を進めていた。ところが、第2回検討会開催前の10月9日に山陽新幹線北九州トンネルでトンネル側壁コンクリート打込み部の突起部が落下する事故があり、さらに第3回目検討会前の11月28日には室蘭本線礼文浜トンネルで覆工コン

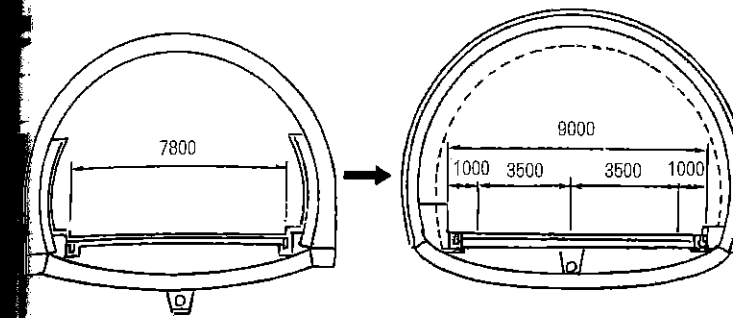
クリートが剥落し、貨物列車の乗上げ脱線事故が発生したため、これら一連の事故の原因究明を含め、検討会は都合7回、また現地調査・分科会および打合せ会を頻繁に開催し、精力的に検討を進め、2000年2月28日に最終検討会を開き報告書をまとめた<sup>9)</sup>。

これらいずれの事故も、施工直後の段階で生じたひび割れに端を発しており、覆工の打設後の養生期間を長くする工夫が必要であるとの見解に至った。

#### トンネル断面を広げよ 名神高速道路 天王山・梶原トンネル改築工事 (再生)

建設途上であった名神高速道路の山科区間を見学したのは学生時代であり、その規模に驚くとともに誇らしさを感じたものである。1963年7月、わが国最初的高速道路として栗東-尼崎間が供用され、1965年7月には小牧-西宮間の全線189kmが開通し、その後の国民生活の向上と社会、経済の発展に大きく寄与してきたことは周知のことであった。しかしながら、社会経済の急激な発展に伴う予想を上回る大型車を含めた交通量の増加により、区間および時間帯によっては交通渋滞が多発し、高速道路本来の機能である高速性、定時性を確保することが困難となった。とくに、天王山・梶原トンネルを先頭とする渋滞何十kmは、日常茶飯事となっていた。

このような、天王山を含めた区間を対象とする高速道路の本来の



改築前トンネル断面

拡幅改築後トンネル断面

既存トンネル断面と改築後のトンネル断面<sup>9)</sup>

機能を再生させるとともに、渋滞による沿線の環境悪化を改善するべく、当初の4車線を8~8車線に改良する事業を図った。すなわち、切土、盛土、橋梁、高架部の拡幅方法は現4車線のそれぞれ外側に1車線を付加することを基本としたが、天王山・梶原トンネルの拡幅方法は、交通容量、維持管理面および事故などによる緊急対策などから、2本の2車線トンネルを新設することになった。

1988年、名神高速道路(改築)天王山・梶原トンネル施工検討に関する委員会の委員長を務めた。検討会では、天王山・梶原トンネル供用線トンネルに並行して2車線トンネルを2本新設する計画であることから、これらトンネルの施工にあたっては供用線トンネルに対する影響および周辺環境への影響などを考慮したうえで施工法を検討した。

来線専用の第2青函トンネルが必要であろう。若人には、徹底した現場主義と新技術の開発により新たなプロジェクトにおおいに挑戦して欲しいし、おおいに期待している。

#### 参考文献

- 1) 青函トンネル物語, 吉井書店, p.171, 1986.
- 2) 足立紀尚・田村武: 高圧湧水下のトンネル工における水抜孔の効果と注入域の適正規模, 土木学会論文報告集, No.280, pp.87-98, 1978.
- 3) 足立紀尚・田村武・土居則夫: トンネル掘削における岩盤内の圧縮気体の影響とその対策, 土木学会論文集, No.457/III-21, pp.23-31, 1992.
- 4) 寺田光太郎・松浦隆之: 秘境を貫く飛騨トンネル物語, 中日本高速道路, 2008.9.
- 5) トンネル安全問題検討会: トンネル安全問題検討会報告書, 事故の原因推定と今後の保守管理のあり方, 運輸省, 2000.2.28.
- 6) 寺尾幸青・本山和幸・山本茂生・土橋正文: わが国初的高速道路トンネルを拡幅改良, 名神高速道路 天王山トンネル, トンネルと地下, Vol.28, No.11, pp.23-30, 1997.11.

#### おわりに

青函トンネルから始まった筆者のトンネルの旅はまだ続いている。北海道新幹線, 北陸新幹線, リニア中央新幹線トンネル建設のお手伝いである。また、北海道新幹線を真の新幹線にするためには、在

## トンネルジャーナル

### 那智勝浦新宮道路の開通効果を確認

近畿地整紀南河川国道事務所は、2015年9月13日に開通した国道42号那智勝浦新宮道路の那智勝浦IC～那智勝浦町市屋について、開通による交通状況の変化を公表した。

この開通により、国道42号の交通量が約5割減少したのに加え、勝浦臨海交差点で発生していた最大90mに及ぶ渋滞が解消された。

また、区間区間の平日の交通量は1日平均7,800台で、休日は約8,700台。隣接区間である新宮南IC～那智勝浦ICの交通量は、平日で約2割、休日で約3割増加している。

同道は、国道42号の和歌山県新宮市から同県東牟婁郡那智勝浦町間における交通混雑の緩和と交通安全の確保などを目的とした暫定2車線の自動車専用道路。今回開通した6.3kmは、2010年度から工事着手され、区間最長の金剛寺トンネル904mなど8か所合計延長約3.6kmがトンネル構造となっている。

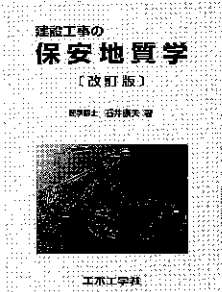
同道の沿線地域は、世界遺産「紀伊山地の霊場と



国道42号勝浦臨海交差点、和歌山市向き車線の渋滞状況の変化。(左)開通前：平成26年8月19日(火)。(右)開通後：平成27年9月29日(火)。近畿地整紀南河川国道事務所、平成27年10月13日報道発表資料より

参詣道」を有するなど、同県の代表的な観光地域。開通による移動時間の短縮が、観光客の増加につながるものと期待されている。

また、地域には災害拠点病院が新宮市立医療センター(二次救急医療機関)のみであることから、搬送時間の低減と、高規格道路の通行による患者への身体的な負担を軽減させることができるほか、南海トラフ地震などの災害に対応した道路構造としていることから、地域の安全・安心への貢献を支援するものとなる。



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

### 建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 本体価格6,300円 円350円

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。

株式会社 **土木工学社**

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

## 解説

# 照明工学から見た施工中のトンネル照明に関する一考察

### 1 はじめに

トンネル標準示方書 山岳工法編・同解説(以下『トンネル標準示方書』と称す)では切羽作業は「粗な作業」として位置づけられ、照明は70Lx以上、通路でも最小20Lx以上となることが望ましいと記述されている。

トンネル掘削作業は大きく危険をはらむ仕事であり、これを「粗な作業」と位置づけることには議論の余地のあるところではある。また、これらの記述は安全な作業をするための必要な照度を規定しているものと考えられ、技術者、技能者がトンネル内の仕事を生活の一部、として捉える方向はない。仮にトンネル掘削作業が「粗な作業」であるにしても「その照度を確保すれば必要な作業は可能である」とする位置づけであり、作業者が働き心地よく、さらにはそこで、より安全に、気持ちよく、能率よく作業するための照明を確保するという観点は含まれていないと思われる。

一方、照明工学では家庭の室内、工場内、場合によっては供用中のトンネル内の照明について論じ、いかにすれば快適に、いかにすれば効率よく、また、いかにすれば事故なく安全に目的に近づけることができるかを論じている。

施工中のトンネル坑内においても照明の目的は「安全作業が可能である」ということだけが目的ではなく、快適性、効率性、より高い安全性への配慮もまた大きな役割であると考えられる。

この考えからすれば、平均的な施工中のトンネルにおいて用いられている照明の現状を、照明工学で用いられる用語、方向を用いて概観し、論じることが、今後の施工中のトンネル坑内照明を考えるうえで有意義なことと思われる。

### 2 照明工学で用いられるトンネル坑内照明に関連のある用語

#### (1) 照度

照度とは、平面状の物体に照射された光の明るさを表す心理的な物理量である。単位面積に照射された光束と等しい。単位は国際単位系ではLx(ルクス)またはルーメン毎平方メートルである。照度は、照明の数や形状、明るさなどの光源の特性だけでなく、照らされるものの色や材質によっても異なる。一般に、照度計を用いて測定される。

#### (2) 均斉度

均斉度とは、照度分布の均斉の程度、明るさのむらを表す指標である。インテリア用語としたときは(作業面範囲の最低照度)/(平均照度)、または(最低照度)/(最高照度)で表す。いずれの指標でも、0~1の値をとり、1に近いほど照度のむらが少なく、均一に照らされていることを示す。

#### (3) 色温度

色温度とは、自然光の色を定量的な数値で表現する尺度である。単位には熱力学的温度のK(ケルビン)を用いる。オレンジがかった暖かみのある光は色温度が低く、青味がかった光は色温度が

高い。ローソクでは1,800~2,000K、白色蛍光灯は4,200K程度、青天の青空では12,000K程度である。色温度は、光を構成する各波長の強さの分布(分光分布、光のスペクトル)によって異なる。色温度は色温度計を用いて測定される。

(4) 演色性

演色性とは、照明と色に関する専門用語のひとつである。光源から発せられる光がある物体を照らしたときに、その物体の色に関する見え方に及ぼす光源の性質をいう。照明に用いられる光は、一般に複数の波長の光が合わさっている。その中にバランスよくさまざまな波長の光が含まれていれば、さまざまな色を照らすことができるため、色の再現性が高くなる。一方で、波長が偏っていれば、再現性が低くなり、実際と違った見え方をしてしまう。

演色性を表す単位として、色の再現の忠実度を表した指数である平均演色評価数Ra(アール・エー)がある。Raは基準光の分布に近いほど100に近くなり、演色性が良いとされる。色温度計に測定機能が付随している場合も多い。

(5) 輝度

照明用語として用いられる輝度とは、平面状の光源がある方向の単位立体角あたりに放射する光であり、光源における単位面積あたりの明るさのことである。単位はカンデラ/m<sup>2</sup>。すなわち、照らされるものではなく、各光源に固有の値である。

3 上記用語から説明される坑内照明の問題点

3-1 照度

照度は明るさの量を示すものであり、作業を行うに際して、問題なく作業が可能かどうかを示すものとなる。『トンネル標準示方書』において記述されている切羽作業部、通路部の照度基準である70Lx、20Lxに関しては不十分であるとする意見も多く、最近では切羽部の照度は150Lx以上、場所によっては200Lx、300Lxを越えるところも少なくない。このように、トンネル坑内の照度は最近のLEDの発達、普及や照明機材の開発によ

り著しい向上を見せている。

通路部においても20Lxを下回るところは少ないが、長いトンネルで掘削完了部においては「車両での移動のみ」という場所である部分もあることから必要最低限の照度とするところも見られる。

また、通路部においては風管の陰、重機の陰などにより暗く感じる状況となっているところも少なくない。

このように、照度の観点からは、①切羽作業部・通路部おのおの適切な照度の確保、②機材などの陰による低い照度、が課題となるであろう。

3-2 均斉度

均斉度は、いわば明るさのばらつきに関する考え方であり、凹凸の大きい照明環境と様な照明環境に関して論じる用語と考えられる。実際のトンネル坑内の通路部において暗いところと明るいところの差が大きい場合に不快に感じることもあるが、この概念で説明されるであろう。例えば、光が広がりにくい照明が通路部にまばらに設置されているような場合は、水平方向に明るさのむらができる。また、坑内では、鉛直方向にも均斉度が低くなることもある。天井部の照明に傘がある場合、天井部へ向かう光束をこの傘で反射させて、足を明るくするためのものと考えられる(ここでは湧水からの照明器具の保護はさておく)。このような場合には、トンネルの天井部は暗く、足元は明るい状況となり、均斉度が低下することになる。また、機材などの陰がある場合、陰部分の照度が基準を満たしている場合でも、光源が明るい場合はその差が大きくなることもある。例えば、風管の陰により場合によっては片側側壁が脚部まで暗くなっている場合など均斉度が低下する状況は、坑内の快適性を阻害するであろう。

同様に坑口の外から坑内を見たとき一般的には暗く感じることも多い。この状況はこれから坑内で作業を行おうとするものにとって「頑張るぞ」という意識を持って入坑するか、それとも「この暗いところへ入って厳しい仕事をするのか」という意識となるかの分かれ道となるところでもある。また、照明の均斉度が低い環境では快適性が

低下するだけでなく、眼精疲労につながる指摘されており、トンネル坑内では安全性に及ぼす影響も考えられる。オフィスの照明では、平均照度と最小照度の比は0.6以上とするのが望ましいとされているが<sup>9)</sup>、トンネル坑内に適した均斉度を考えるためには、目安となる水準を検討する必要がある。

以上を踏まえ、均斉度の観点からは、①照明種類や配置による均斉度の低下、②機材などの陰による均斉度の低下、③坑口内外の照度差、が課題となると考えられる。

3-3 色温度

色温度は光の周波数により決まるものであり、暖色、寒色などの概念で表現されることもある。色温度だけで快適性が論じられたり、基準に用いられたりすることはほとんどないが、人が照度と色温度の関係で照明の状況を、快適あるいは不快と感じることを定量的に示したKruithofの研究<sup>9)</sup>が知られている。この研究では、色温度が低く照度が高い照明環境や、色温度が高く照度が低い照明環境は不快と感じることが示されている。

示されている数値に関する信頼性は各所で議論されているが<sup>9)</sup>、明るくても、なんとなく寒さを感じたり、照度はそれほど高くないのに、明るくあるいは暖かく感じたりすることがあるのは、この概念で説明されると考えられる。すなわち最近のトンネル坑内において、白色のLEDによる明るい照明下でもあまり明るさを感じることがないのに、黄色系の照明を加えることにより居心地

が良くなるという感を受けることがある。この状況は照度と色温度の関係に関する図-1の概念で説明されよう。また、照度の急激な変化が均斉度の低下をもたらすのと同様に、色温度の急激な差やばらつきも快適性の低下をもたらす可能性があるものと考えられる。

すなわち色温度の観点からは、①坑内などの低照度のもとでの快適な色温度、②色温度のばらつき、が課題となると考えられる。

3-4 演色性

一般的に自然光を基準として、見え方が自然光に近いものほど「良い」「優れる」とされる。また、かけ離れたものほど「悪い」「劣る」と判断される。演色性に正確性を要求されるような専門分野においては、数値化された客観的判断基準が設定されていることが多く、日本では演色評価数がこれにあたりとされている。

例えば切羽において、鏡面の評価を行う場合、地山の状況、岩種を知ることは大切である。その場合、照明の演色性により状況、岩種の評価が容易ではないということは望ましいことではない。一般的には地質、岩種などの評価は、太陽光の下での評価が基本となっていると考えれば、切羽における照明の演色性は太陽光に近いほど「良い」ということになるのであろう。

JISの照度基準(JIS Z 9110:2010)では、工場の作業のうち、色が重要な場合はRa $\geq$ 90、そうでない場合はRa $\geq$ 60~80が求められるとされている。トンネル坑内は「粗な作業」であるとされつつも、とりわけ切羽部では正確な岩判定などから高い演色性が求められると考えられる。

3-5 輝度

輝度がいわば光源の明るさに対して人の感じる量であることから、この感じ方に関連する用語として「グレア」という語がある。「まぶしさ」を意味する用語であり、日本語では「眩輝」とも書かれるように、見える感じの不快感や見づらさを生じさせるような状況を意味する。ある光の状態がグレアになりうるかどうかに関しては、総合的な環境と個人の生理的、心理的状況で決まるとさ

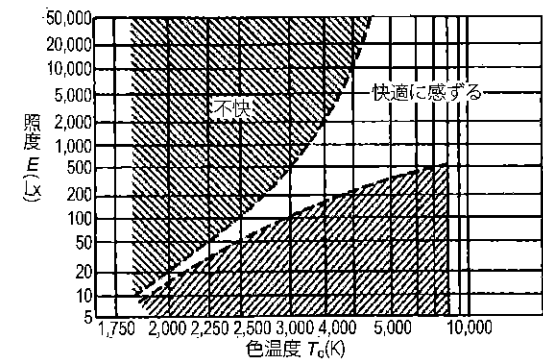


図-1 Kruithofの図(照度と色温度と快適性の関係)

れている。

グレアは程度によっては単なる不快感に留まらず、眼の障害や状況把握能力の低下による事故につながる可能性があると考えられている。

グレアは、屋内・屋外や施設の種類の違いによって、複数の指標が用いられている。供用中のトンネルでは、日本道路協会による『道路照明施設設置基準』で定められている評価値が用いられる。

施工中のトンネル照明としてはグレアを感じることはまれであるが、今後の課題としては輝度に対しても配慮が必要となる可能性もあろう。

#### 4 照明用語から見た施工中トンネル照明の実態

本章では、トンネル坑内照明の実態について写真を添えて紹介する。誌面の都合でグレースケールの写真を掲載する。写真については本稿で掲載しないものも含めて以下のURLに掲載するので、参照されたい。



写真-1 移動照明(天井移動型)

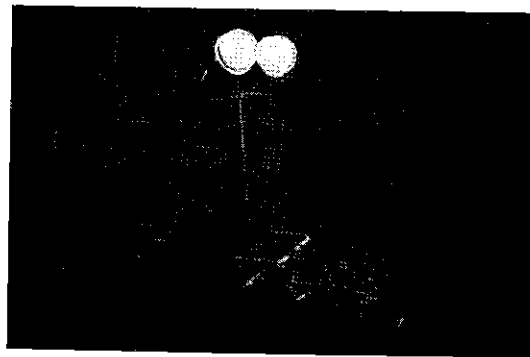


写真-2 移動照明(持ち運び型)

【写真掲載URL：<http://www.plan.civil.yamaguchi-u.ac.jp/files/kounaishomei.htm>】

#### 4-1 照度

##### (1) 切羽部

くり返しになるが、『トンネル標準示方書』では切羽作業を「粗な仕事」と捉え、70Lx以上とすることが望ましいとされている。過去においては切羽作業、とくにこそく作業は照明の陰影を参考に鏡面の凹凸を判断し、参考にするという考えがあり、重機の照明を主たる照明として作業されていたこともあったようである。また、発破掘削の場合、飛石があることから最低でも50m程度、照明を切羽から離すことが求められる。

この場合、吸引捕集のための風管に付ける場合、軽トラックに積む場合、手で運ぶ場合を含めて、重機照明に加えて、移動照明を用いて切羽部を明るくするのが通常である(写真-1,2)。その結果、150Lxをはるかに超える照明状況で、施工が行われているトンネルも多く見られる。写真-3,4はそ

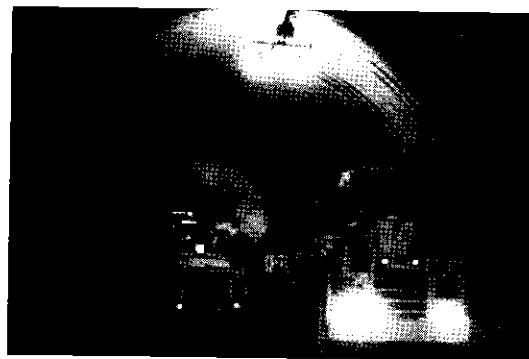


写真-3 天井移動照明による切羽照明(単数)

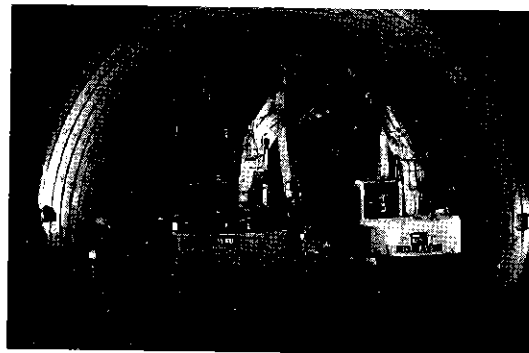


写真-4 天井と持ち運び型の併用

の例であり、200Lxを越える明るさであると思われる。実際に坑内の照度を測定したところ、300Lxの照度がある切羽もあった。

切羽手前数十mに関しては現場により大差がある。この区間は発破によるずりの堆積、重機による積込み、さらには吹付け機、エレクトラ、削岩機と、作業の錯綜する場所である。掘削の進捗を上げることが最優先する場合には、この部分の照明設備の整備をほどほどにして、次の作業が行われる場合もあり、快適性の欠けた作業環境となる状況も見られる。

とくに、ずり出し時には重機以外は立入禁止にするなど、規則としての配慮は十分になされるが、作業者の快適性の課題もあり、また、安全性からは、時に事故の原因として見られることもある。作業の効率を上げるという前向きな姿勢は当然であるが、不慮の事故を防ぐという目的からしても、この錯綜する場所においては、明るく、働き心地のよい照度が保たれることを期待したい。その位置づけからは仮の提案として70Lx以上を期待し



写真-5 切羽後方

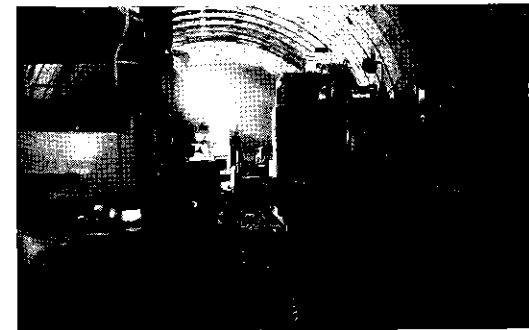


写真-6 切羽後方

たいところである。

写真-5は後方より明るく照明された切羽部を見たものである。この状況は実作業の進行に伴い重機が集合し、写真-6のようになる。仮に路面の状況が悪く、また、湧水などがある場合に、照明の届かない状況と重なることがある。その場合、作業環境は悪化し、部分的な照度は低くなることもある。実際に重機付近の照度を2つの現場で測定したところ、51Lxと75Lxであったが、重機の陰で暗い部分についての照度はいずれも10Lx以下であった。

##### (2) 通路部

トンネルが長くなると、通路部の照明に関する課題が消費電力量のうえからも大きなものとなる。ある程度の長さのあるトンネルでは、既掘削部は、①既掘削であるが覆工は未施工、②覆工施工中、③覆工完了、という状況が出現する。

②の覆工施工中に関しては作業中ということであり、当然ある程度の照度が求められる。また、覆工打設前に行われるシート張りの結果、シートは反射体としてその部分の照度を高くすることに大きく寄与することになる。長いトンネルでは、③の覆工完了部が延々と続くことがあり、この部分は「車両で移動するためのだけの通路」となり、高照度の照明の必要性にいろいろの意見が見られるところである。この部分の照明に関しては次の色温度との項でも論じたい。

さらに、①の既掘削であるが、覆工が未施工の部分に関しては、いくつかの課題がある。すなわち、この部分は通路であると同時に、重機類の待機場所であり、また、資材の保管場所でもある。さらには、天井からの照明の障害である風管の存在もある。この場所は主たる作業を行うところではないが、従となる作業が行われる場所ではあり、しかるべき照度を求めたい。

写真-7は既掘削部の重機待機部に相当する区間である。ここでは、頻繁に作業が行われるわけではないが、重機の簡単な整備なども行うことがある。この場合、重機の陰は一つの問題となるであろう。さらに、それに続く資材管理部でもそれな

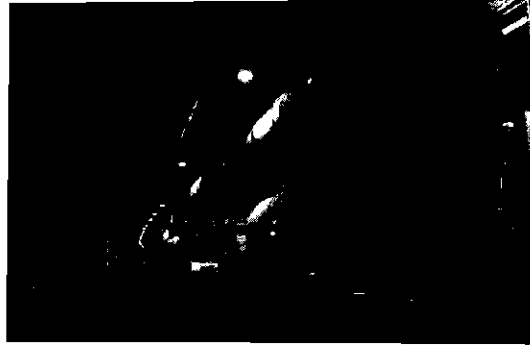


写真-7 重機待機部



写真-8 資材管理部



写真-9 掘削完了(通路部)

りの照度を確保したいところである。

これに続く既掘削部に関しては、しばしば高い照度の必要性に関しては意見の違いの生じるところではある。写真-9は照明を明るくした例である。また、照明を有効に使うため、照明の吊下げ位置を低くする、あるいは風管から離すことにより、風管の陰を小さくすることは有効である。写真-10は照明の吊下げ高さを変更した例である。当初、風管による陰が側壁脚部までできていたものが、照



写真-10 風管による照明の影



写真-11 シート張り完了

明を下げることにより、側壁の高さ2m程度まで陰が移動している。懸垂灯を下げうる高さにはおのずと限界はあるが、非常に簡易で有効な方法である。また、風管の両側に照明を配置することも効果的である。

写真-11は覆工打設前のシート張りが完了した状況である。シートは一般に白色系統であり、また、よく反射するため、この部分は非常に明るくなることが多い。続くセントル部は、セントルの状況によるところが大きい、そこそこの明るさが保たれているのが一般的である。

さらに覆工養生中の区間に関しては、その養生システムに何を採用するかにより、大きく左右される。覆工打設完了後の区間は、古くは40Wの蛍光灯を5m間隔で設置するというのが一般的であったが、かなり暗い雰囲気があり、最近ではこれが用いられることは少なくなってきている。

この項に関しては、トンネル内の居心地の良さに関して次の色温度との関連で、また風管、重機

の陰の課題、作業空間としての課題として均斉度の課題としても論じたい。

#### 4-2 色温度

作業をこなすのに必要であるという考え方からは、照明のあり方に関して、照度である程度説明できるであろう。しかし、その作業をするのが人であるということを考えると、人がその状況をどのように受取るか、という課題が生じる。すなわち、働き心地、注意集中度、疲労感という課題である。そして、それらは安全性、事故という問題にもつながる可能性を有している。

照明には色がある。この照明の色が家庭、オフィス、工場などでは配慮されて使用されていることはよく知られるところである。

近年、LEDの発達により坑内照明状況は著しく改善された。同じ照度を確保するのにLEDを用いれば数分の一の電気代ですむ。また、耐久性が高いということから多くの現場でLEDが用いられている。しかし、現在多く用いられているLED照明は白っぽくかつ方向性が強い。このためせっかく照度は高いのに暖かさを感じない、という状況にしばしば出会う。

このLED照明あるいは白色を主体とした照明(カンデラ値で5,500~6,000)に、黄色味を持つ照明(カンデラ値で3,000程度)を加えることにより、居心地を良くするということが考えられる。白色の照明に黄色系を加えるため、照明装置を混色とするなど、各所で工夫されている例もある。

トンネル坑内で用いられている照明のうち、黄色系の代表的照明としてはハロゲンランプがよく用いられている。坑内照明に黄色系の照明を用いた例は最近では非常に多くあり、それなりの評価を得ているようである。また、通路部には白色系の照明を、そして切羽部にのみ黄色系の照明を用いている現場も見られる。このように作業空間としての居心地の良さの実現のために黄色系の照明を加えることの効果に関しては、先のKruithofの図(図-1)から説明される。

色の表現ができないため写真の掲載は割愛するが、同程度の照度で色温度の異なる照明を、同じ

通路部で用いて比較した。照度と色温度を(5,600K, 130Lx), (4,000K, 110Lx), (3,000K, 102Lx)としたところ、筆者の感覚では(4,000K, 110Lx)あたりをもっとも好ましく感じた。

当然、この色温度を考慮した照明の採用は、その目的に応じて使い分けられるものであるが、今後いろいろな工夫がありそうである。

#### 4-3 均斉度

写真-12, 13に同一の場所において、照明の傘を付けたものと、外したものを対比する。どちらに好感を持つか、という質問に対して、多くの人が写真-13の傘なしを挙げる。実際に路面の照度を計測すると、明らかに数Lx以上、写真-12の傘ありに対して低くなっており、その意味では望ましいことではない。

しかし、人が感じる居心地よさ、いわゆる見た感じという点からはこちらを選ぶということになる。すなわち、前者では照明の傘のため傘の上部と下部の明るさに大きな差ができる。これに比べて、後者では若干暗くなるが、天井まである程度



写真-12 傘あり照明



写真-13 傘なし照明(路面は若干暗くなる)

の明るさが実現されるため、「広く感じる」という印象を与える結果となっている。このことは供用中のトンネルの照明の重要なポイントである「陰を作らない」こと、言い換えれば均斉度を高くするということにより説明されるであろう。

現実のトンネル現場においては風管、重機、資材などがあるため、しばしば照明の陰ができる。この陰は均斉度から見た場合、低い(悪い)状況を与えることになる。すなわち、均斉度から見た「働き心地、注意集中、疲労感」といった観点からは、なるべく陰を作らないことが重要であるといえる。この状況は先に述べた通路部の明るさの確保としても有効であろう。

写真-14, 15は坑外から坑内を見たものである。この場合の「これからこのトンネルへ入って仕事を。そのとき『この暗いところへ入ってつらい仕事をするのか』と感じるか、『明るく暖かそうな作業場所であり頑張るぞ』と思うか」とい

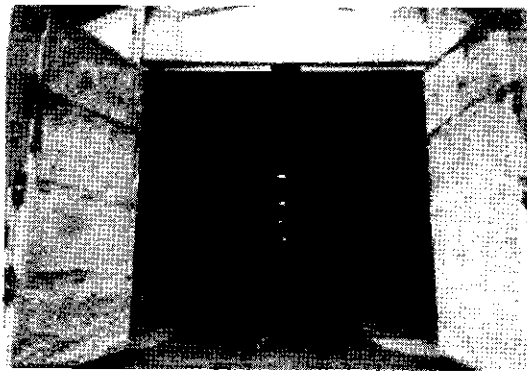


写真-14 坑外から坑内(坑内が非常に暗く見える)

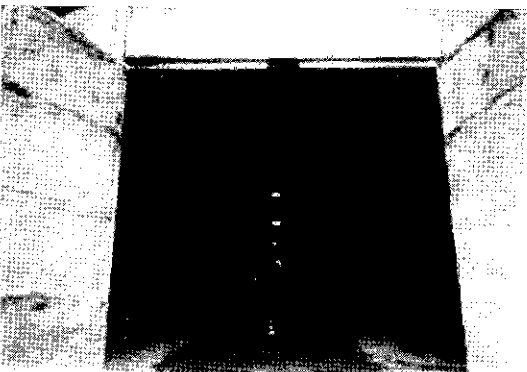


写真-15 坑外から坑内(天井照明による改善)

う設問に答えを求めることがある。この点に関しても、写真-14に対して坑内に天井を照らすための照明をつけた写真-15では、若干の改良が見られる。極度に明るくした照明を用いるかに関しては実用性からは課題があるが、一つの雰囲気づくりとしては意味がある。

このように坑外の明るさと対比したときの坑内の暗さの課題を、均斉度で説明できると考えるのは若干無理があるが、広義に解釈すれば均斉度の概念から説明できそうである。

#### 4-4 演色性

色温度の項目で論じた白色でない照明の採用には演色性の課題がある。すなわち、そこに見える色が作業性に影響がある場合には、そのことも考慮する必要が生じる。

図-2, 3は、ある2か所のトンネル切羽で用いられていた照明の光の分布である。図-2はまんべんない波長の光が含まれている一方で、図-3の光は特定の波長の光が多く含まれている。図-2の照明

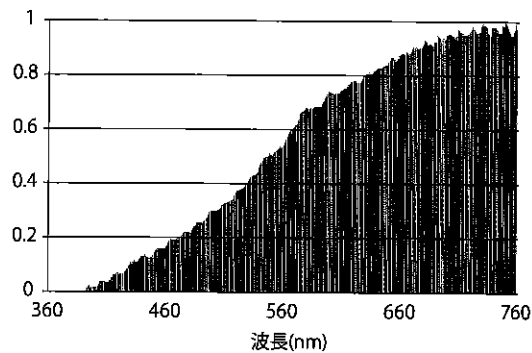


図-2 演色性の高い切羽照明の光の分布の例

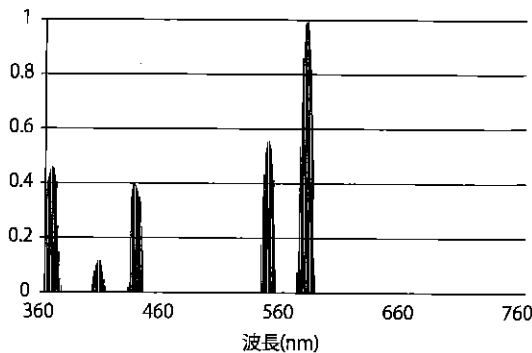


図-3 演色性の低い切羽照明の光の分布の例

は演色性指数が94であり、図-3の照明は16であった。図-3の照明を用いた場合、含まれない波長の光は適切に表現できないことになる。

同一の切羽を異なった照明で照らした場合、明らかに異なった切羽のような印象を与える場合がある。ハロゲンランプと水銀灯照明で比較した場合、黄色系のハロゲンランプで照らした場合には水銀灯の場合よりも風化が進んだような印象を与える可能性がある。このことは地山評価に照明の色がある種の影響を持つことを意味すると思われる。また、このようにして撮影された写真が資料として保存されたり、あるいは、ある種の判断資料として用いられる可能性を考えると切羽写真の撮影は演色性の高い照明で行われることが望ましい。

地質調査業におけるボーリングコアの写真は曇天における戸外で撮影されるのが原則とされていたようである。照明光の下での撮影では、誤った情報を与えかねないとの配慮が強くなされているものと思われる。この写真撮影の問題はデジタルカメラにおけるホワイトバランスに十分な配慮を行うことで、ある程度は解決できる。しかし現場では必ずしもそのような配慮がなされていない例にしばしば出会う。

ただ、切羽写真は撮影するカメラによっても影響を受けることは留意しなければならない。

また、電気雷管の秒時の判断は脚線につけられた色(脚線色)によるが、この判断に誤りを生じる可能性があるという話も聞くことがある。

このようなことを考慮すると色の問題が生じる作業のある場所(いわば切羽部)と作業の種類によっては演色性の高い太陽光に近い照明を用いるのが適切な場合もある。

#### 4-5 輝度

切羽照明では、ある程度まぶしさを感じることもある。これは、照明そのものの明るさにより照明周辺の状況が若干把握しづらくなった状況である。また、最近のLEDの発達により、強力なLED照明光源そのものの近くが見づらくなる、という状況は、時に感じられることでもある。例えば、強力なLED照明に照らされた切羽部から

坑口部を振り返ったとき、光源の周囲が見づらい、あるいは、判断しにくいという状況もないではない。今後、坑内照明が改善され、明るくなる方向にあるのは嬉しいことではあるが、グレアと呼ばれる状況にならないよう、輝度に対する配慮も必要となる可能性はある。

## おわりに

これまで、照明工学で用いられる用語をもとに、トンネル現場で使用されている照明の課題、および検討すべき点を論じてきた。これらの用語は「心理的な物理量」であり、純粋の物理量とは異なった意味を持つ。その分、確定的なこととして断定するのは困難な問題もあるが、「おおむね」あるいは「およそ」などといった意味で、有用な指針を与えてくれるものである。

これら照明に関する用語の、施工中トンネル照明への定量的な活用は、これからの課題であると思われる。今後これらの課題に関してデータの集積、分析などが進み、トンネル施工現場において「働き心地、注意集中、疲労感」といった課題の改善に役立つであろう。

このことから、今日のトンネルにおいては「明るく、陰をなるべく作らず、場所的には居心地の良い色の光源を用い、写真撮影には太陽光に近い光源を用いるかホワイトバランスに配慮する」というところであろう。くり返しにはなるが、掲載できなかったカラー写真に関しては、ぜひ前述のURLを参照されたい。

最後に、貴重な写真をご提供いただいた各現場諸氏には心からの謝意を表す。

## 参考文献

- 1) オフィス照明基準, 照明学会・技術基準, JIEC-001, 1992.
- 2) 本田達郎・鈴木春菜: 心理的影響を考慮した駅周辺の照明環境に関する研究, 土木計画学研究発表会, 2014.
- 3) 例えば, 中村肇: Kruithof(クルイトフ)のカーブは正しいか?, 照明学会誌, Vol.85, No.9, pp.793-795, 2001.



## 解 説

## 文献紹介

清水満：鉄道建設分野における技術開発と実用化，建設機械施工，Vol.66，No.12，2014.12.



土橋浩：5.トンネル設計における作用と地盤変形のお考え方，NATMとシールドトンネルの設計と実際，地盤工学会誌，Vol.63，No.1，2015.1.

特集/The SUISHINを海外へ普及定着，月刊推進技術，Vol.29，No.1，2015.1.

特集/未来につながるプロジェクトと基礎工，基礎工，Vol.43，No.1，2015.1.

特集/管更生の技術向上にむけて，月刊下水道，Vol.38，No.2，2015.2.

鶴元順：自由断面トンネル掘削機，切削動力350kW(国内最大出力)SLB-350S型ロードヘッダ，特集/建設機械のいま，建設機械，Vol.51，No.2，2015.2.

池永憲明：シールド機関連特殊機械，特集/建設機械のいま，建設機械，Vol.51，No.2，2015.2.

清宮理：沈めて埋めるトンネル，沈埋トンネル，特集/埋める，土木技術，Vol.70，No.2，2015.2.

特集/浸水対策に活躍する推進工法，月刊推進技術，Vol.29，No.2，2015.2.

全線開通，首都高中央環状線，写真で見る品川線のシールドトンネル，特別リポート，日経コンストラクション，No.612，2015.3.23.

特集/欠くことのできない推進工法の周辺技術，名わき役・滑材および裏込め材等，月刊推進技術，Vol.29，No.3，2015.3.

特集/欠くことのできない推進測量システム，推進工事の名わき役，月刊推進技術，Vol.29，No.4，2015.4.

## 研究・開発

安光立也：二重回転カッター方式による大口径シールドの高速掘進技術の開発，建設機械施工，Vol.66，No.12，2014.12.

安田亨・山本秀樹・北澤隆一：時速50kmでトンネル空洞探査，高速走行型非接触レーダーによるトンネル覆工巻厚・空洞探査を実現：MIMM-R(ミーム-アール)，建設機械施工，Vol.66，No.12，2014.12.

松田浩朗・藤本克郎・瀧間優作：無線LAN測位技術によるトンネル坑内の建設機械接触災害に対する安全監視システム，ICT建設機械接近警告システム，建設機械施工，Vol.67，No.1，2015.1.

町島祐一：トンネル構造物への光ファイバ式AEモニタリングの適用，建設機械，Vol.51，No.3，2015.3.

## 計 画・設 計

野中信一・海老原毅・岡照雄：九州北部豪雨で被災した鉄道トンネルの復旧，トンネル崩落の原因究明および早期復旧に向けた取り組み，建設機械，Vol.51，No.1，2015.1.

岩下和弘：アンダーパスの冠水対策について，災害から市民の生命・財産を守るための取組，道路，Vol.886，2015.1.

## 施 工

武富賢治：農道橋架代替え工法の紹介，斜角門形カルバートを用いた橋架架け替え工事について，技術ノート，農村振興，No.780，2014.12.

細見明彦：立体道路制度を適用した環状第2号線の整備，特集/組み合わせる，土木技術，Vol.70，No.1，2015.1.

田村正明・吉村裕二・廻田貴志：芝浦水再生センター雨天時貯留池建設工事，業務・商業ビルとの組合せによる上部空間の有効利用，特集/組み合わせる，土木技術，Vol.70，No.1，2015.1.

覆工背面用の充填材を5km圧送，第二田沢幹線水路大相沢トンネル補修工事(秋田県)，ズームアップトンネル，日経コンストラクション，No.608，2015.1.26.

倉持豊・山田成剛・日野義嗣：バックフィルシールド工法，非開削による既設シールドトンネル撤去，特集/埋める，土木技術，Vol.70，No.2，2015.2.

服部慶太：鉄道に近接した地下道路を連続ケーソンにて建設，埼京線北与野・大宮間高速埼玉東西連絡道新設工事(大宮アンダーパス)，回顧，特集/埋める，土木技術，Vol.70，No.2，2015.2.

特集/最近の非開削によるアンダーパス技術，基礎工，Vol.43，No.2，2015.2.

三室恵史・森田大介：仮設支保部材を省略する新たな非開削工法，工程短縮等で首都高速中央環状品川線の3月開通に貢献，道路，Vol.888，2015.3.

## 報 告

## これまでの地震対策への取り組み(2)

## JTA技術委員会保守管理小委員会

## はじめに

前回，兵庫県南部地震による地震被害と対策について紹介した。兵庫県南部地震の目立った被害として，開削トンネルである大開駅の中柱の崩壊事例を紹介した。その被害に対して進められてきた鋼板巻立て補強などの中柱対策が，兵庫県南部地震に起因したおまな耐震対策と考えられる。

今回は，新潟県中越，中越沖地震と東北地方太平洋沖地震による地震被害と対策について紹介する。

まず，新潟県中越，中越沖地震に関しては，開削トンネルに目立った被害が見られた兵庫県南部地震に対して，山岳トンネルにおいて覆工コンクリートの崩落などの目立った被害が見られたことが特徴の一つといえる。ここでは，道路トンネルと鉄道トンネルから事例を紹介するとともに，鉄道総合技術研究所にて策定されたトンネル構造物に関する地震対策・震災復旧マニュアルについて合わせて紹介する。

次に，東北地方太平洋沖地震に関しては，津波による地上部での被害が甚大であったものの，兵庫県南部地震や新潟県中越，中越沖地震のような目立ったトンネル構造物における被害は少なかった。そこで，施工中であった開削トンネルの工事現場での被害状況について，兵庫県南部地震以降

の耐震対策の効果についての振り返りの意味を含めつつ紹介する。一方で，東日本大震災では，液状化現象が広範囲に発生したことが特徴のひとつである。その液状化現象により広範囲の被害を受けた下水道管について，その後の取組みと合わせて紹介する。

## 2 新潟県中越，中越沖地震における被害

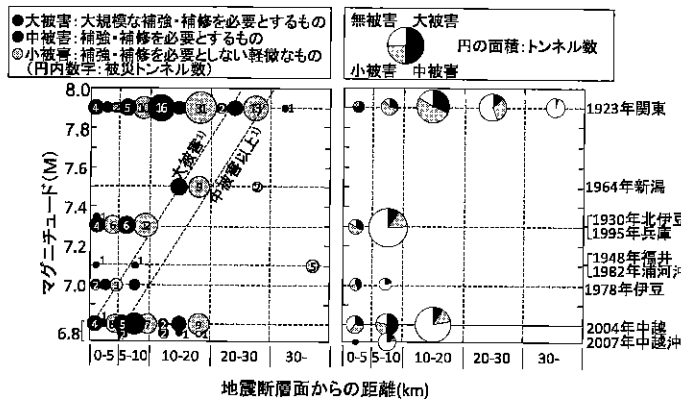
## 2-1 概要

2004年10月23日17時56分に発生した新潟県中越地震は，新潟県中越地方を震源とするマグニチュード6.8の地震であり，長岡市川口では震度7を観測したほか，震度5以上の地域が広範囲に広がった。また，本震発生後の1時間以内に震度6強の余震が2回発生し，余震活動が活発な地震であった。この地震では，地震規模に対して被害の範囲が従来の地震と比較して大きいといえる(図-1)<sup>1)</sup>。これは，被災した地域がグリーンタフ地域および山岳地帯であり，地形や地質条件が比較的不安定であることが関係しているためと考えられる<sup>2)</sup>。

新潟県中越地震から3年後の2007年7月16日10時13分に発生した新潟県中越沖地震は，新潟県中越沖を震源とするマグニチュード6.8の地震であり，長岡市，川崎市，刈羽村で震度6強を観測した。

なお、トンネルの被害としては、山岳トンネルの覆工コンクリートの崩落などが目立った被害として挙げられる。

一方で、開削トンネルやシールドトンネルでは軽微な被害に留まっており、これは被災した地域が、おもに山岳地帯であり、開削トンネルなどの距離が比較的遠く、地震動が大きくなかったことも影響していると想定される。



(a) 被害トンネル数 (b) 被害割合  
図-1 過去の地震と被害の関係<sup>1)</sup>

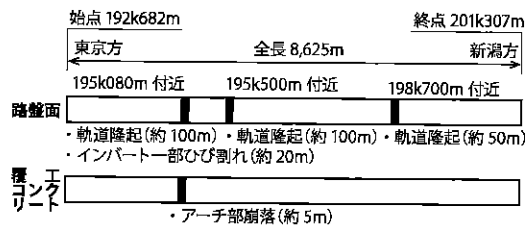


図-2 魚沼トンネル全体被害状況<sup>1)</sup>

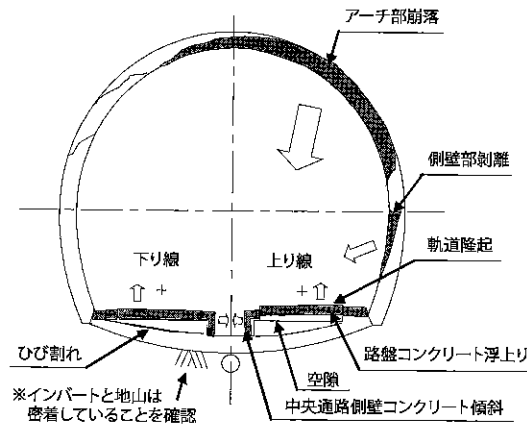


図-3 魚沼トンネル被害状況<sup>3)</sup>

### 2-2 魚沼トンネルの被害状況

本節では、新潟県中越地震で覆工コンクリートアーチ部の崩落などが生じた上越新幹線魚沼トンネルの概要と被害状況について述べる。

#### 2-2-1 魚沼トンネルの概要

魚沼トンネルは上越新幹線の浦佐駅と長岡駅間に位置する延長8,625mのトンネルである。1972~1979年に施工され、掘削工法は地山条件に応じて底設導坑先進工法、側壁導坑先進工法が用いられた。また、地質はシルト岩、泥岩が主体である。

#### 2-2-2 被害状況

魚沼トンネルのおもな被害は、図-2に示す3か所で見られた。もっとも被害が大きかったのは195k080m付近であり、覆工コンクリートアーチ部の崩落(延長約5m)、覆工コンクリートのひび割れ、側壁の押出し、路盤コンクリートの隆起(約250mm)、インバートコンクリートのひび割れが発生していた(図-3)。

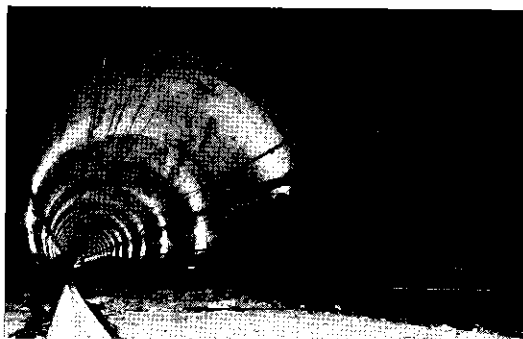


写真-1 覆工コンクリートアーチ部の崩落



写真-2 路盤コンクリートの隆起

覆工コンクリートアーチ部の崩落は、おもに上り線のアーチ部で発生し、一部で鋼製支保工や木矢板が露出していたものの、鋼製支保工の局所的な座屈などの変形や地山の崩落は見られなかった。したがって、構造体としての一次支保は健全であったと考えられる。

路盤コンクリートの隆起は、とくに覆工コンクリートの崩落が生じた付近で見られ、軌道が波を打っているのが目視で確認できる状態であり、最大で35mmの隆起量が計測された。また、路盤コンクリートの隆起が見られたその他の箇所では、インバートと路盤コンクリートとの間には10cm程度の開口が生じていたが、コア抜きなどの調査により確認した結果、インバート自体は健全であった。

(文責: 伊藤信/東日本旅客鉄道(株))

### 2-3 道路トンネルの被害状況

事例として新潟県中越沖地震における北陸自動車道米山トンネルを取り上げた。

#### 2-3-1 米山トンネルの概要

米山トンネルは、図-4に示すとおり、北陸自動車道米山IC~柿崎IC間に位置する延長1.6kmのトンネルである。地質は泥岩と砂岩の互層で、一部凝灰岩を含み、矢板工法を用いて1970~1971(昭和55~56)年に施工され、最大の土かぶりには約280mである。

損傷は、図-5に示すとおり、トンネル天端部、側壁部、円形水路が主で、覆工巻厚45cmの無筋コンクリートで、

インバートは設置されていない区間である。覆工巻厚60cmでインバートを有する区間では被害は生じていない。

#### 2-3-2 被害状況

米山トンネルの被害状況は、トンネル覆工コンクリートの剝離、剝落とせん断クラックが主で、剝落はトンネルセンター部分、せん断クラックはその両側に顕著であった。また、円形水路の開口部のつぶれや路面との段差も生じている(写真-3, 4)。

これは、地震時の水平方向の大きな震動により、

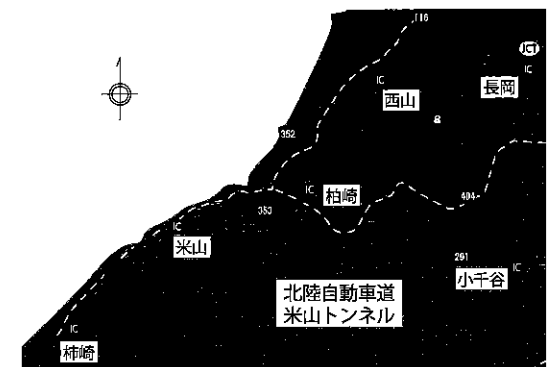


図-4 米山トンネル位置図<sup>4)</sup>

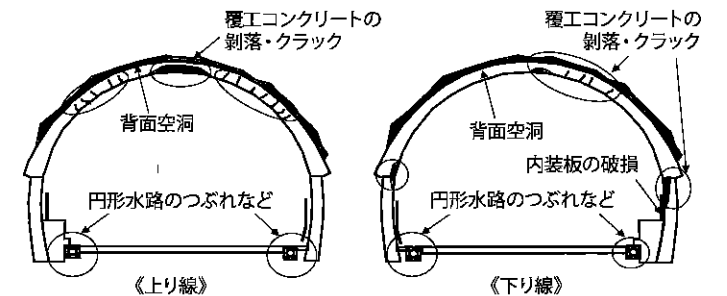


図-5 被害状況<sup>4)</sup>

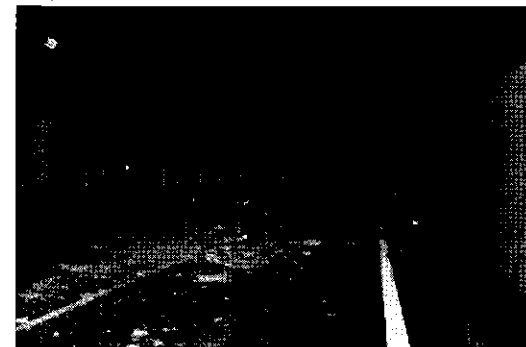


写真-3 覆工コンクリートの剝落<sup>4)</sup>



写真-4 円形水路のつぶれ、段差<sup>4)</sup>

地山が塑性変形し、トンネル天端部、側壁部に圧ぎ破壊やせん断破壊が生じたものと考えられ、また、覆工背面の空洞が変状発生形態に影響を与えたものと推察される<sup>9)</sup>。さらに、インバートが設置されていなかったことも原因の一つと考えられる。しかし、覆工コンクリート自体の強度や品質には問題がなく、被害状況も表面の剥落に留まっており、トンネルの構造として問題となるレベルではなく軽微なものであった<sup>9)</sup>。

(文責：金田泰明/東日本高速道路(株))

### 3 その後の耐震対策

#### 3-1 概要

新潟県中越、中越沖地震後の耐震対策は、国土交通省の通達による対策のほか、被害を受けたトンネルに対して、各事業者において検討を行った対策を進めていくこととなった。

本章では、新潟県中越、中越沖地震後の耐震対策の取組みとして、東日本旅客鉄道(株)、東日本高速道路(株)、(公財)鉄道総合技術研究所の取組み内容を紹介します。

#### 3-2 鉄道トンネルの場合

##### 3-2-1 新潟県中越地震被害後の耐震対策

新潟県中越地震におけるトンネルの被害の程度は2-2節で示した魚沼トンネルのような大規模なものから、覆工コンクリートの剝離・剝落といった小規模なものまで多岐にわたっていた。耐震対策の考え方について、「新潟県中越地震鉄道トンネル被害原因調査等検討会」を設置し検討する中で、被害の大きいトンネルについて以下の特徴が

見られることがわかった。

- ① 想定震源断層より平面距離でおおむね5 km以内に位置している。
- ② 緩み範囲が広い断層破砕帯の交差部や強度の低い地山で地質上の問題がある箇所である。
- ③ クラウン部付近の覆工背面に空洞が存在しており、トンネルの構造に問題がある箇所である。

これらの条件を用いた1次抽出、2次抽出により、耐震対策を行う新幹線トンネルを選定した。1次抽出では、地震発生の可能性が高い活断層より、平面距離で5 km以内に入るトンネルを抽出した。地震発生の可能性が高い活断層は、確実度I(活断層であることが確実なもの)、かつ活動度B(平均変位速度0.1m/千年以上~1.0m/千年未満)以上の断層とした。

2次抽出では、1次抽出されたトンネルにおいて、地山不良区間やトンネルの構造に問題がある箇所区間を抽出し対策検討区間を絞りこんだ。なお、地山が良区間であっても、施工時に切羽崩壊や異常出水などのトラブルが発生した区間、ひび割れなどの既往変状が生じている区間については、地震時に損傷が発生する可能性が高いとして耐震対策を検討する区間に加えた。

上記の抽出により、抽出された耐震対策を検討する区間について現地調査を実施し、最終的な対策箇所と対策工について判断した。対策工は、図-6に示すように裏込め注入工、ロックボルト工、内面補強工の3工法とした。

(文責：伊藤信/東日本旅客鉄道(株))

対策方法	裏込め注入工	ロックボルト工	内面補強工
略 図			
対策箇所	背面に空隙があり、土かぶり小さい箇所	インバートがない箇所	アーチ部の覆工の補強が必要な箇所
効 果	トンネル覆工にかかる地圧を分散、均一化させ、局所的な応力集中による覆工の破壊を防ぐ。	打設したロックボルトがインバートの代わりとなってトンネルの構造強化を図る。	覆工を内面から補強し、覆工強度を増加させる。

図-6 新幹線トンネルの耐震対策の考え方

##### 3-2-2 地震対策・震災復旧マニュアル<sup>7)</sup>

新潟県中越地震では、トンネルの復旧が鉄道の運転再開のボトルネックとなり、改めて山岳トンネルの耐震性が注目された。

また、新幹線などでトンネルの割合が増加していることに鑑み、山岳トンネルの耐震性を正しく評価し、対策を講じることが求められた。さらに、万一の備えとして震災復旧の考え方を整理しておくことが求められた。

以上のような背景から、事前地震対策と震災復旧の参考に資するため、『既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル(案)』<sup>7)</sup>が作成された。

##### (1) マニュアルの構成

既設の鉄道山岳トンネルを対象として、地震に対する安全性を向上させるために実施する地震対策(事前対策工)と、地震で被災した際の震災復旧(復旧工)の両方について、基本的な考え方を示したものである。

目次構成を図-7に示す。図に示したように、本編に加えて「付属資料」には、地震被害、事前対策、復旧の実績や、既往の研究成果なども集約されている。

##### (2) 事前地震対策

これまで実施されてきた鉄道山岳トンネルで事前対策には、3-2-1項で紹介したJR東日本の対策のほか、東海地震対策(国鉄、1986年度~)、活断層近傍の新幹線トンネル地震対策(国交省脱線対策協議会、2005~2007年度)がある。

マニュアルでは、これらの実績も考慮し事前対策の考え方を示した。

図-8に事前対策の検討の流れを示す。

##### (3) 震災復旧

トンネルの震災復旧に要する期間は、先述の魚沼トンネルのような大規模な震災復旧の場合

は、路線の運転再開時期を左右することがある。これは、被害把握に時間を要する、資機材の搬入路の確保が難しい、狭い坑内の作業を強いられる、などの理由によるものである。

一方、山岳トンネルの被害は頻繁に起こるものではないので、復旧計画に時間を要することも理由の一つと考えられる。

このような状況から、鉄道事業者が手戻りなく復旧を行うための一助になるよう、震災復旧の方法を体系づけて示した。

図-9に、震災復旧の検討の流れを示す。

(文責：小島芳之/(公財)鉄道総合技術研究所)

<b>第1章 総則</b>	<b>付属資料</b>
1.1 適用範囲	1 地震被害の傾向
1.2 用語	2 事前対策の事例集
<b>第2章 事前対策工</b>	3 地震被害および復旧の事例集
2.1 一般	4 対策工各論
2.2 調査と耐震性の評価	5 トンネルの耐震性に関する研究事例
2.3 事前対策工の選定・設計	6 トンネルの耐震補強に関する研究事例
<b>第3章 復旧工</b>	7 文献一覧
3.1 一般	
3.2 調査と被害状況の評価	
3.3 復旧工の選定・設計	

図-7 マニュアルの目次構成<sup>7)</sup>

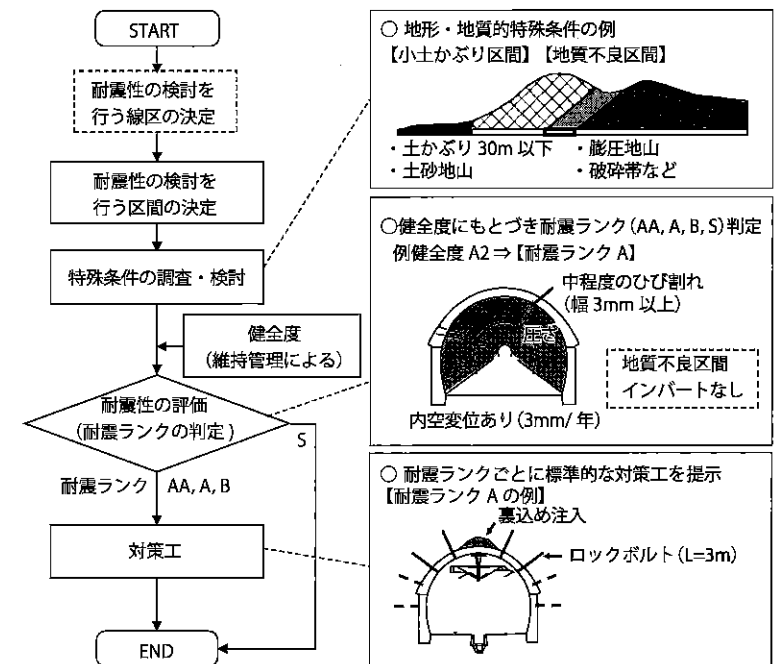


図-8 事前地震対策の検討の流れ<sup>7)</sup>

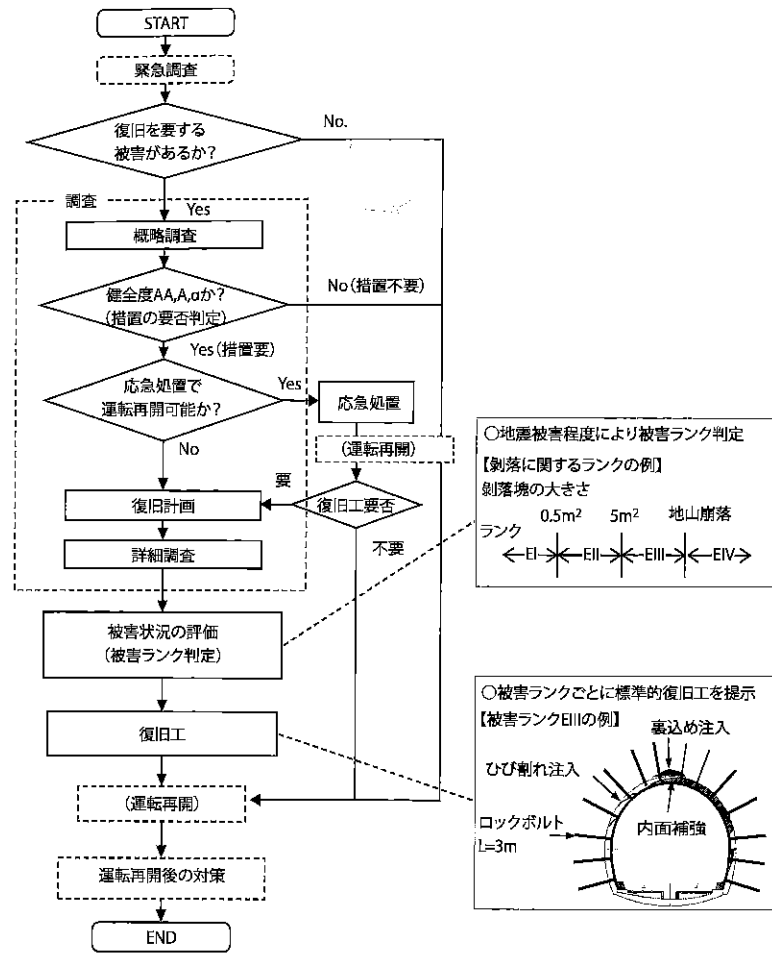


図-9 震災復旧の検討の流れ<sup>9)</sup>

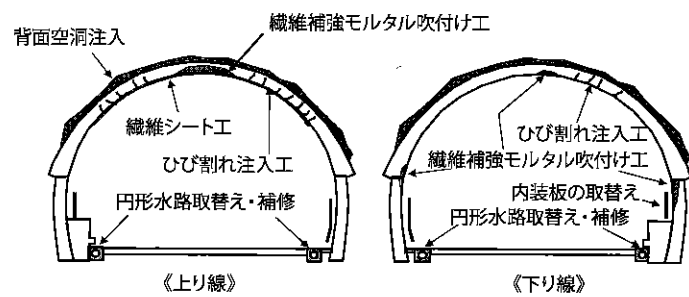


図-10 対策状況<sup>9)</sup>

### 3-3 道路トンネルの場合

#### 3-3-1 一般的な地震対策の考え方

山岳トンネルは、構造物全体が地山で取り囲まれており、地震時の挙動は周辺地山の挙動に支配されているため、一般には地震の影響が少なく、被害があっても軽微である。過去に生じた地震の

被害も、坑口付近の地すべりや土砂の崩壊によるものがほとんどであり、山岳トンネルは地震時にも安定な構造物であるため、一般には地震の影響を考慮する必要がないと考えられる。

#### 3-3-2 米山トンネルの状況とその後の対策

2-3節で述べた米山トンネルの損傷事例では、地山によって覆工巻厚やインバートの有無に違いがあり、損傷はインバートの設置されていない区間で発生していた。また、この損傷が発生した区間では震災前から盤ぶくれが生じていた。

したがって復旧にあたっては、トンネル定期点検資料、建設時資料の確認、分析のほか、調査ボーリング、速度検層、覆工コア抜きおよび覆工背面観察、覆工背面レーダ探査、岩石試験、内空変位測定などを実施した。対策は、覆工背面の空洞注入のほか、剝離、剝落部分などへのクラック注入、繊維補強モルタル吹付け、炭素繊維シート補強、円形水路の補修などを実施した(図-10)。

#### 3-3-3 高速道路における地震対策

これまで述べてきたように、同一のトンネルでも区間によって被害の有無やその程度に差が見られるなど、被害の発生には個々のトンネルの条件が大きく影響しているものと考えられる。したがって、地震による被害を最小限とするためには、まず、建設段階から地山などの特殊条件のある箇所に対する補強を行っておくこと、そして、維持管理段階では点検、調査結果から適切に

健全度を判定し、必要に応じて補修、補強を行っておくということが重要である。

とくに、道路資産が相当数形成されている現状においては、維持管理段階における計画的な補修、補強を継続して行い、健全性を維持し続けることが、結果、トンネル構造体の耐震性を確保することにつながると思われる<sup>9)</sup>。

(文責：金田泰明/東日本高速道路(株))

## 4 東北地方太平洋沖地震における被害

### 4-1 概要

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震は、東北日本の東方沖約130km、深さ24kmを震源とするマグニチュード9.0の地震であり、東北地方で広く震度6強が観測され、最大震度は7であった。この地震では、巨大な津波が発生したことによる被害がとくに大きかったが、トンネルの被害に関しては少なかった。これは、震源がこれまでの地震よりも比較的遠かったことや、これまでの地震後に進められた耐震対策の効果などが影響したためと考えられる。

本章では、1章で述べたように、(株)錢高組より施工中の開削トンネルの工事現場での被災時の状況について、液状化による被害と対策について東京都下水道局の取り組みについて紹介する。

### 4-2 仙台市地下鉄東西線青葉山駅の現場状況

この地震が発生した当時、施工中であった仙台市地下鉄東西線青葉山駅築造工事では、先に述べた兵庫県南部地震において甚大な被害を受けた開削トンネル構造物と同様、地震発生当初は被害が

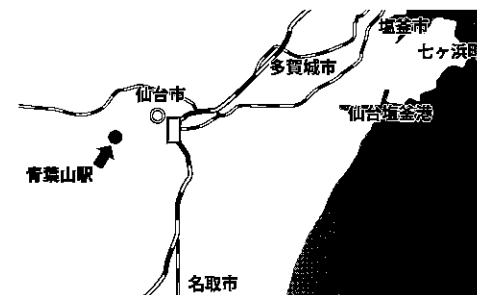


図-11 青葉山駅位置図

大きくなるのが懸念された。しかしながら、本体および仮設構造物の点検調査、周辺地盤、施設物の点検調査ならびに計測工の結果により、構造物には異常がないことが確認できた。

図-11に現場の位置を示す。現場は震央から約178kmに位置しており、現地では震度6弱を観測していた。

地震発生時の工事の進捗状況については、駅舎部本体構造物はすでに完成、引渡しを完了しており、出入口部が床付け掘削、換気口部は均しコンクリートを完了していた(写真-5,6)。現場では掘削工事に伴う土留め壁の変状をモニタリングする目的で土留め壁および鋼支保工に計測器(ひずみ計、傾斜計)を設置していたが、地震発生の前後で応力に特別大きな変化は見られなかった。また、開削部周辺地盤の変状については、地震直後には10mm程度の沈下が発生したが、その後の余震時においても沈下の増大は見られなかった(図-12)。

本工事において、本体構造物、仮設構造物とも今回の地震の影響による被害がとくに少なかった要因としては、以下の2点が挙げられる。

- ① 仙台市地下鉄東西線では、兵庫県南部地震の被災状況を踏まえ改正された『鉄道構造物



写真-5 地震発生時の坑内状況(出入口部)



写真-6 地震発生時の坑内状況(換気口部)

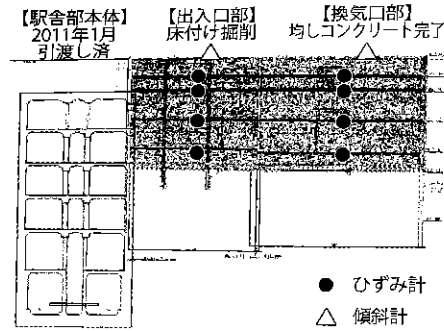


図-12 地震発生時の工事進捗および計測器配置図

に関する耐震設計基準』に適合するよう耐震設計の見直しが実施された(図-13、青葉山駅は耐震基準面の中位に位置する構造物)。

② 地震発生時、駅舎部本体構造物はすでに完成しており耐震性能が設計どおり発揮されたと考えられる。また、出入口部および換気口部の土留めや鋼支保工などの仮設構造物について被害が少なかったのは、掘削工事はほぼ完了しており、鋼支保工の架設が完了していたこと、埋設物に伴う土留めの欠損部が少なかったためと考えられる。

(文責：森川淳司/(株)錢高組)

### 4-3 東京都23区の下水道管路の場合

#### 4-3-1 東北地方太平洋地震の被害状況

東北地方太平洋沖地震では、都内でも震度5強の揺れとなり、地盤の液状化により東京湾岸部の埋立て地区のライフラインに大きな被害を生じた。区部では、とくに江東区の湾岸部の埋立て地区で液状化現象により大きな被害が発生し、下水道施設にも噴出した土砂が大量に流入するとともに管路施設の損傷など大きな被害を受けた。液状化は、地盤が砂地盤で密度が小さいことや地下水水位が浅い場合に、地震などの振動が加わり発生する(写真-7, 8)。

江東区内の液状化は、新木場地区のほか、隣接する辰巳地区、東陽1, 2丁目、豊洲3, 5丁目など臨海部の埋立てられた地区で発生している。新木場地区の埋立ては、1969~1981(昭和44~56)年に埋立て造成されており、港内浚渫の砂で埋立て

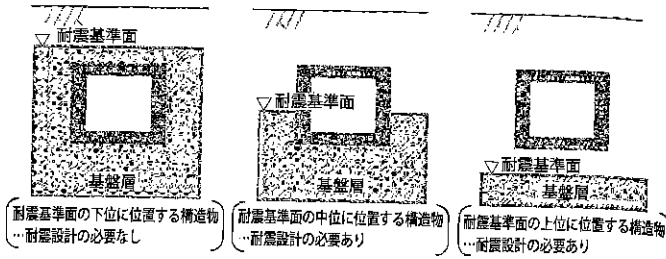


図-13 構造物と耐震基準面との位置関係



写真-7 歩道の噴砂状況



写真-8 土砂の滞留状況

られている。

一方、埋立て地区の中でも新木場地区に隣接する夢の島、若洲地区などでは、大きな液状化は発生せず、下水道施設も被災していない。夢の島、若洲地区は、ごみの埋立て処分場であったことから、埋立ての材料の差が液状化発生の有無に大きく影響したものと思われる。

地震発生後、液状化現象により下水道管渠が破損し、土砂の流入により流下能力が損なわれた。そこで、まず、流下能力を回復させることを最優先に、区域を3ブロックに分けて、汚水管の清掃作業に着手し、水みちを確保した。また、調査作業を並行して実施した。その後、清掃では、流入した土砂が管路内で固化し、清掃作業は1日2ス

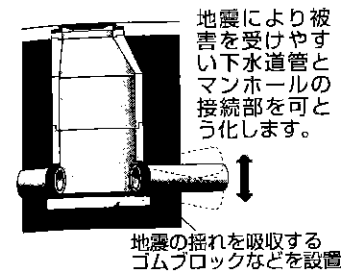


図-14 下水道管とマンホールの接続部の耐震化

パンしか除去できなかった日もあるなど作業は難航を極めたが、下水道の使用制限をすることなく、清掃、調査を無事完了することができた。

#### 4-3-2 東京都下水道局の震災対策

東京都区部の下水道管の耐震化として、避難所や災害拠点病院など約2,500か所のトイレ機能を確保するため、これらの施設から排水を受入れる下水道管とマンホールの接続部の耐震化について、2013(平成25)年度末に完了し、現在はターミナル駅や災害復旧拠点などに対象を拡大して推進している(図-14)。

また、液状化の危険性の高い地域にある緊急輸送道路など約500kmの交通機能を確保するため、マンホールの浮上抑制対策を2010(平成22)年度末に完了し、避難所などと緊急輸送道路を結ぶアクセス道路に対象を拡大して推進していく(図-15)。

(文責：是安秀樹/東京都下水道局)

### 5 これまでの地震を振り返って

本報告では、2回にわたり、これまでのトンネル構造物における耐震対策について、兵庫県南部地震、新潟県中越、中越沖地震、東北地方太平洋沖地震の被害とその後の対策の事例紹介を通して述べてきた。

兵庫県南部地震後の国としての大きな取り組みのほかにも、各事業者において被害状況の調査で得られた知見にもとづいて耐震対策を進めてきており、今後ますますの耐震性の向上が期待できると考えられる。

一方で、地震による被害が起きた箇所では地質、

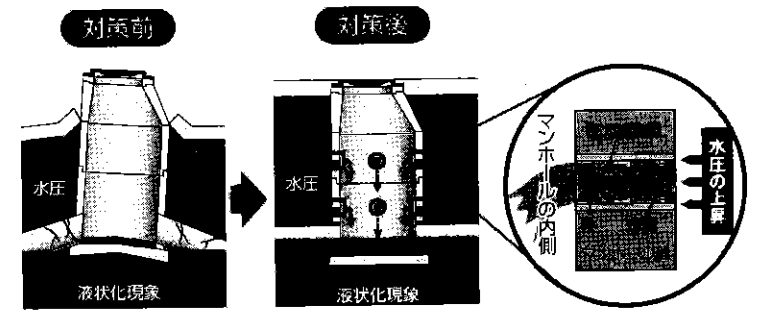


図-15 マンホールの浮上抑制対策

地形的な問題や覆工背面空洞などの構造上の問題点を抱えていることが多いことは事実である。それらの情報は地震による被害が起きたトンネルについてだけでなく、日常においてもトンネルに変状を生じさせ得るものであることから、通常の維持管理に活かしていくことも重要であろう。

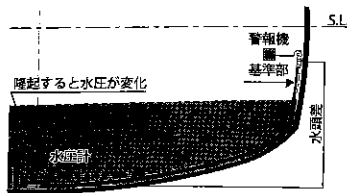
これまでも地震に強い構造物であると言われてきたトンネルであるが、今後、さらに高密度化していく社会においては、さまざまなインフラネットワークに用いられる機会が増えてくることが想定されるため、先人たちの経験を継承し、更なる技術の向上のために継続的な取り組みをせつに願うものである。

### 参考文献

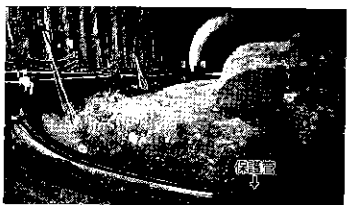
- 1) 鉄道総合技術研究所：既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル(案)，2010。
- 2) 朝倉俊弘：地震とトンネル、トンネルと地下，Vol.43, No.4, pp15-23, 2012.4。
- 3) 清水満：JR東日本におけるトンネル地震被害の事例、トンネルと地下，Vol.43, No.4, pp.37-48, 2012.4。
- 4) 東日本高速道路：平成19年(2007年)新潟県中越沖地震災害報告書、高速道路の被災状況と本復旧工事概要，2010.5。
- 5) 中野清人・小川澄：中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析、トンネルと地下，Vol.43, No.4, pp.49-54, 2012.4。
- 6) 小野桂寿・森山智明・石川健一：既設鉄道トンネルにおける耐震対策、トンネル工学報告集，Vol.19, pp.251-256, 2009.11。
- 7) 小島芳之・野城一栄：既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方、トンネルと地下，Vol.43, No.12, pp.53-60, 2012.12。

# 工法・技術・製品ニュース

## 工法 施工中にトンネル路盤の隆起を計測できるインバート変位計



インバート変位計の概要



計器用保護管の設置状況

(株)大林組CSR室広報部広報第一課  
TEL. 03-5769-1014  
URL <http://www.obayashi.co.jp/>

大林組は、山岳トンネル掘削中に路盤下の地山の隆起を計測できる「インバート変位計」を開発し、東九州道(清武～北郷)椿山トンネル新設工事(宮崎県宮崎市)および新名神高速道路野登トンネル西工事(三重県鈴鹿市～亀山市)に使用したと発表した。

インバート変位計は、路盤下に埋設した水圧計を、水で満たしたビニール管で地上の基準水槽と連結し、路盤の隆起量を水頭差で自動計測するもの。通行車両の影響を受けずに隆起を常時監視できる。また、隆起量に応じてLED光を変化させる警報システムにより、隆起レベルを可視化できる。水頭差で隆起量を計測する

ことと、フレキシブルな構造で地山のわずかな変形にも追従することから、0.1mmの高精度で計測でき、長期間の緩やかな隆起も計測するほか、地中内部にあらかじめ保護管のみを設置し、埋戻し後に計器を挿入することから、短時間に設置でき、かつくり返しの転用が可能となっている。

トンネルの外圧による内空部分の変位の計測は、水平方向と鉛直方向にそれぞれ基準点を設け、その距離を経時的に計ることによって両方向の変位を確認することが理想だが、施工中は重機やダンプトラックなどが頻繁に通行するため、路盤に基準点を設けることが難しく、これまでは鉛直方向の変位の確認が困難だった。

### 連載講座

## トンネル新技術への挑戦(1)

### —ドーナツTBM工法—

「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会

### 連載を始めるにあたって

国土交通省は、同省のウェブサイト上でNETISと略称する新技術情報提供システム(New Technology Information System)を2006(平成18)年中ごろより公開している。これは新技術にかかわる情報の共有および提供を目的として整備されたものである。

「トンネル技術」に関して検索してみれば、2015(平成27)年5月時点で205個が抽出される。技術の内容としては大小さまざまであるが、個々の技術に対し、①何に対して何をやる技術なのか? ②従来はどのような技術で対応していたのか? ③公共工事のどこに適用できるのか? ④従来工法と比較しての導入効果、という観点で概要がまとめられているなど、なかなか貴重な情報源といえる。

今回の連載は、上記NETISで取り上げられている類いのトンネル周辺新技術の開発の現状を可能な範囲で紹介しようとするものである。

本連載では、長年挑んでいた「トンネル技術者の夢」が実現した、あるいは、しつつあるという技術に絞って紹介したいと考える。その中には、「夢の技術」が最近になって実用化済みとなったもの、いまだ完璧とは言えないがかなり良いレベルまで来たと考えられるもの、あるいは構想段階ではあるが特許登録済みのもの、といったレベルが少し異なるものも出てくるだろう。したがって、

### 「トンネル新技術の挑戦」連載講座小委員会 (五十音順)

	氏名	所属
委員長	大島 洋志	国際航業(株)
委員	居相 好信	(株)大林組
〃	岩永 茂治	(株)熊谷組
〃	小松 敏彦	前田建設工業(株)
〃	小山 幸則	立命館大学
〃	志岐 寛	清水建設(株)
〃	鈴木 雅行	(株)安藤・間
〃	西岡 和則	鹿島建設(株)
〃	松原 利之	飛鳥建設(株)
〃	八木 弘	(株)高速道路総合技術研究所
〃	吉富 幸雄	大成建設(株)

より良きものにしていきたいといった方向性も記述するものも出てくると考えられる。

読者にとっても興味ある、技術開発への挑戦意欲を刺激する内容になるのではと期待している。なお、掲載にあたっては、当然のことであるが、各技術の紹介が、温度差が出ないように、かつ、宣伝色が強くないように配慮したい。

本連載で取り上げる新技術は、上表に掲げる小委員会が審議し、執筆してもらうことにする。

現時点で掲載を考えている新技術としては、①ドーナツTBM工法、②MC-TBM工法、③FILM(背面平滑型トンネルライニング工法)、④FSC-100ボーリング機、⑤大断面省エネシールド、⑥TAFF工法、⑦硬岩トンネル掘削機TM-100、⑧まがる一ふ工法、⑨NEW-TULIP工法、⑩パド

## 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 円350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

ル・シールド工法、⑩WJセグメント工法、⑪片側車線規制によるトンネルインバート設置工法である。なお、読者から、本連載の趣旨に沿ったその他新技術に関する執筆要望があれば、小委員会の方へ申し入れをしていただきたい。小委員会の中で採否を検討しながら、追加することもあり、という姿勢で当連載を始めたい。

(文責：大島洋志・国際航業(株))

### ① はじめに

中心部が開口しているドーナツ型TBMは、世界的にも例がなく、特許は、海外を含めて8か国に出願している。日本、米国、中国、インドネシアで取得している(出願中：ドイツ、ベトナム、インド、ブラジル)。ドーナツTBM工法(DTBM工法)については、5年にわたり多方面からトンネル工法として、(一財)先端建設技術センターを中心に検討を重ねてきた。ここでは、最近の実験結果などを含めて技術概要を紹介する。

### ② 開発の背景

わが国の山岳トンネル施工法は、1980年代ごろから一般工法として普及してきたNATMが現在では標準になっている。一方、TBM工法はそれより古く1960年代末ごろから高速施工技術として導入されてきた。その内訳は、表-1に示すように大部分が小口径断面で施工されている。φ7mを越すTBM施工は4か所だけで、道路では高速道路に適用した飛驒トンネルの1か所である。

このように、わが国ではTBMでの施工は小口径に偏っており、大口径に対しては本格的な取組みが行われていない。その理由として、以下の2点が挙げられる。

- ① 日本では不良地質に遭遇することが避けられず、たびたび掘進がストップして本来の高速施工の利点が活かされない。
- ② TBMを1現場で償却することが多く、その場合には工事費が高くなり、標準のNATMより割高になる。諸外国ではTBM工法を積極的に使っている

表-1 TBM国内施工実績

TBM国内施工実績集計(1964~2010年)		
TBM: 径別	施工箇所数	摘要
2.0~4.9m	128	—
5.0~6.9m	24	—
7.0m~	4	発電所導水路3か所 高速道路1か所(飛驒T)
計	160	—

という潮流や中古TBMが豊富に流通している中で、本工法はまさにわが国の不良地山・不良地質を念頭において開発を行ったもので、全断面TBM工法やNATMに代わる新たな山岳トンネル工法として期待されるものである。

### ③ 技術の概要

#### 3-1 DTBM工法の検討方針

山岳トンネルの高速施工の目標として、具体的な月進速度を経済性などから平均で500mとした。これを実現するためには、最高月進速度では800m程度を確保できる施工法が必要である。そのために、次の二つの基本方針で検討を行った。

- ① 良好地山では、月進800m以上も可能な施工法であること。
- ② 不良地山に遭遇しても、掘進がストップしない施工法であること。

#### 3-1-1 検討結果

##### (1) 良好地山の場合

地山が自立している標準地山の場合、DTBMの掘進速度は地質により若干異なるが2m/h程度となる(図-1)。最高掘進速度800m/月以上を可能にするためには、マシンの掘進速度に適合する一次支保工方式との適切な組合せが不可欠であり、品質確保、高速性、および安全性、経済性などから鋼リング支保工方式とRCライナ支保工方式を選定した。

##### (2) 不良地山の場合

平均月進速度500mを確保するためには、低強度地山に遭遇しても掘進をストップさせないことが必要であり、本工法の特徴である中心部の開口を利用して、先行ボーリング調査などで事前に地

質状態を予測し、適切な対策を講じることが重要になる。その方策として、次のような措置をとることとした。

- ① 切羽を常に直接目視観察しつつ、遅滞のない対策を実施。
- ② 100~150m前方の探査ボーリングによるコア採取・湧水量の確認、およびボーリング孔を利用した水抜き(図-2)。
- ③ 破砕質の地山では、開口部からの礫などの取込み。
- ④ 切羽が泥流化する場合、開口部からの注入により地盤を改良。
- ⑤ 脆弱帯が長い区間では、先進導坑(NATM施工)を用いて地盤を改良(図-3)。

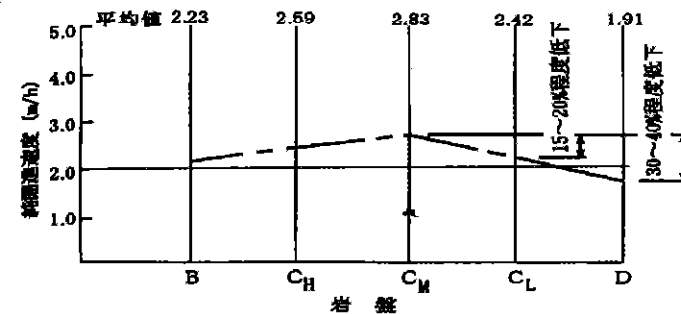


図-1 実績掘進速度と岩盤等級の関係

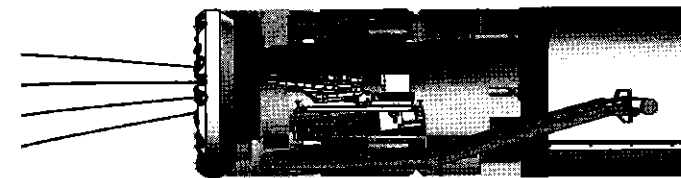


図-2 コアボーリング、水抜き孔、地盤改良孔

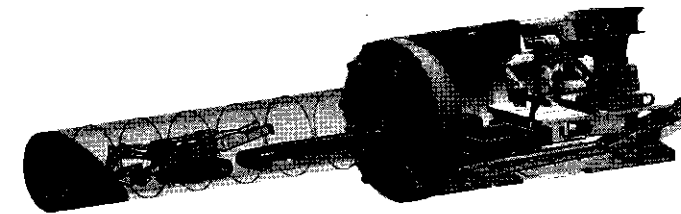


図-3 先進導坑による地山改良



写真-1 掘削実験の実施状況

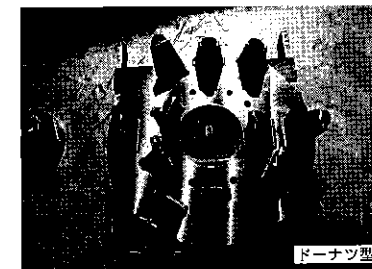


写真-2 ディスクカッタ

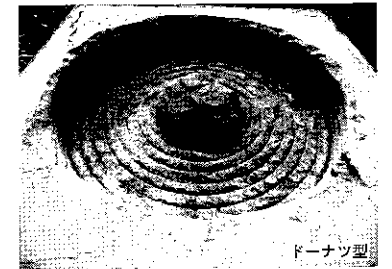


写真-3 掘削実験の完了状況

付けて行った(写真-1,2)。掘削力(回転力, 押圧力)は, 同じ条件で行い15cm掘削する時間を計測した。その掘削時間は, ドーナツ型で約40分, 全断面型で約80分を要した(図-4, 写真-3)。作用圧が同条件であれば, 中心部を掘らないドーナツ型が機械的に有利であることがわかった。その結果, 実岩盤では次のような機械的な優位性が期待できる。

- ① 同じ掘削力であれば, 全断面型よりも速い掘進速度が得られる。
- ② 掘削力や反力をより小さくすることが可能であり, 軟弱層への対応上, 有利となる。
- ③ 掘削量あたりのディスクカッタ摩耗量を減らすことができ, コスト縮減効果が得られる。
- ④ カッタ交換頻度の減少による工期縮減効果が得られる。

### 3-3 DTBM工法の技術概要

本工法は, TBM工法に属するが, 全断面型と違い, トンネル断面を外周部と中心部に2分割してドーナツ状に掘削する。また, マシン自体は全断面型を改良したもので機構的には同じであり,

多くの実績がある技術である。φ6mのマシンの工法モデルを図-5に示す。

#### 3-3-1 DTBMの掘削メカニズム

トンネル掘削の流れは, 図-6のとおりである。

- ① 外周部はカッタヘッドによりドーナツ状に, 回転と推進力とで剥ぎ取るように隣接破碎する。掘削ずりは, 頂部の120°排出口から動力を使わずに自然排出される。
- ② 残された中心部は, 核残しの役目を果たしながら突き出てきた岩塊を, 二軸式岩破碎機「サイザー」により20cm以下に破碎する。バックホウ型ブレーカは, マシン掘削ずりの目詰まり除去や中心部岩塊の補助掘削用として, オペレータにより遠隔運転する。
- ③ 掘削ずりは, 底部に配置したベルトコンベヤにより坑外まで運搬される。

中心部の開口率については, 開口部を汎用機械類が通過できることや, 中心部の破碎掘削がクリティカル作業にならないことなどを考慮しつつ, 地質性状に合わせて設定する。

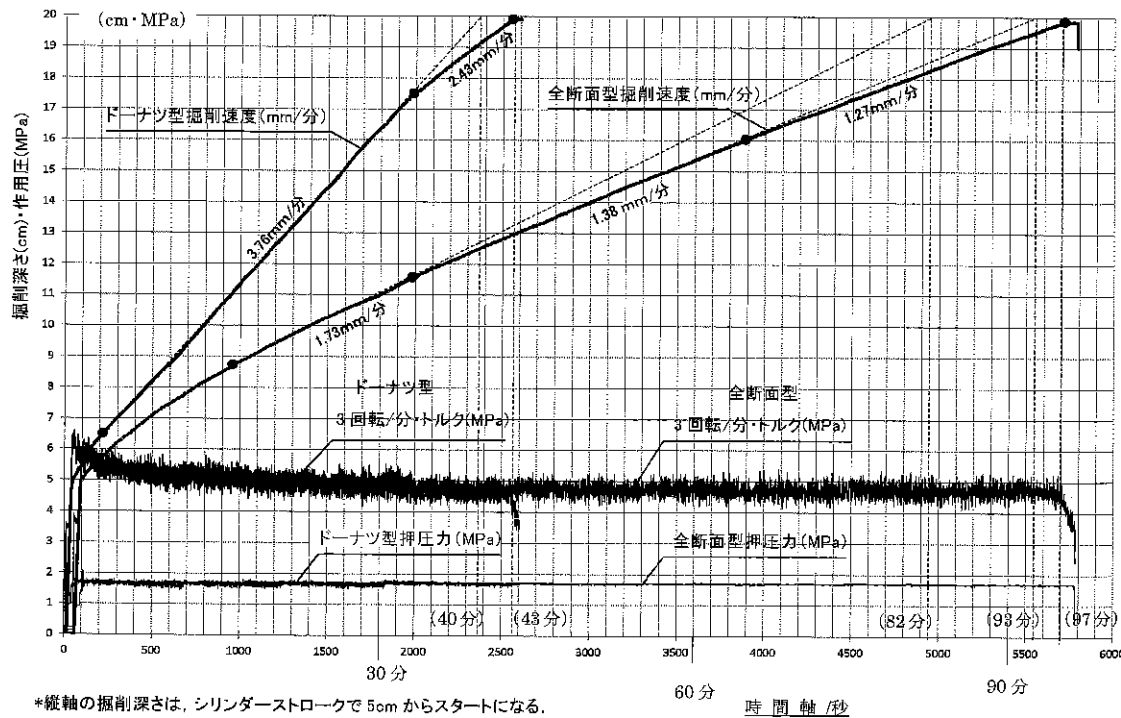


図-4 掘削実験結果

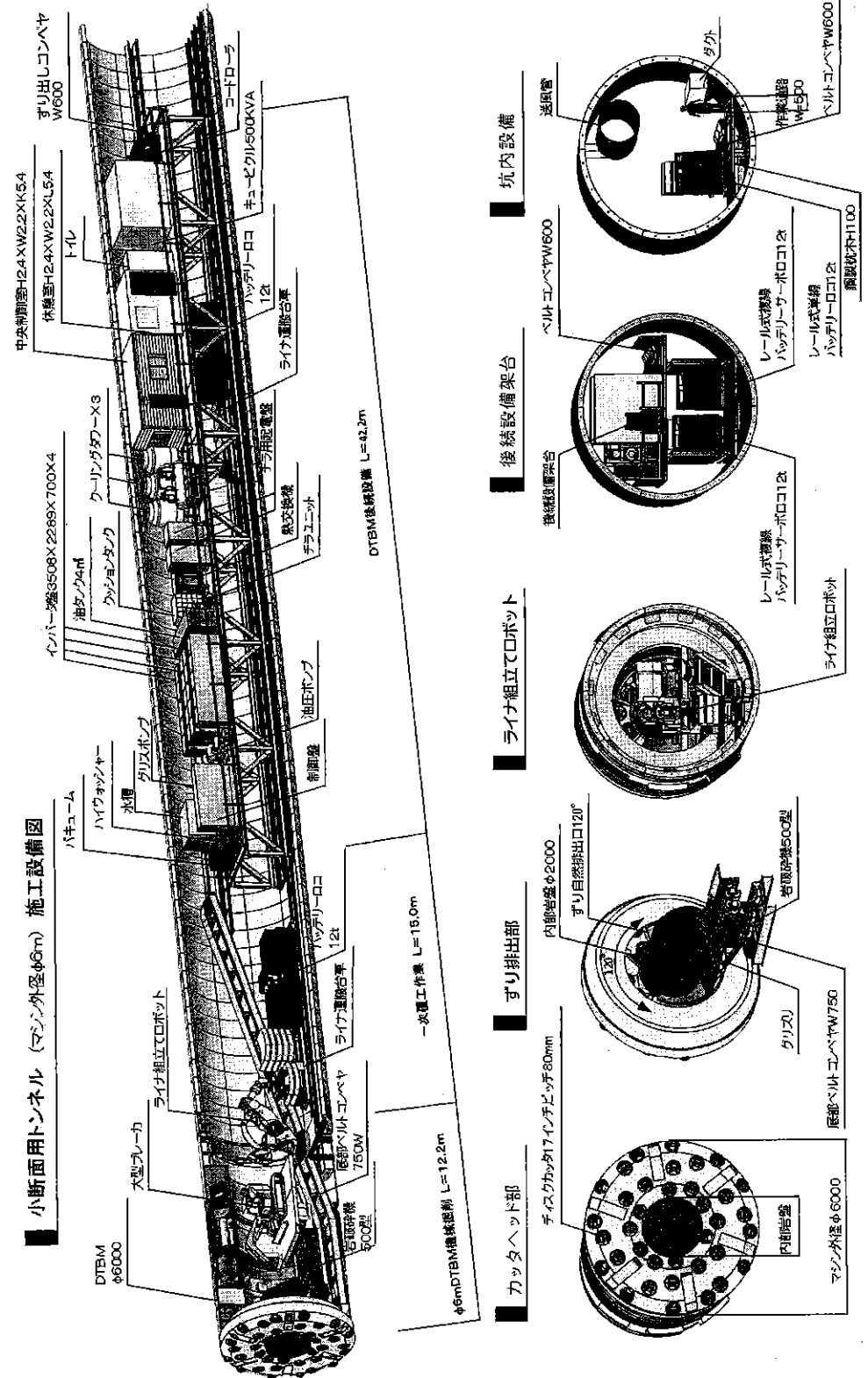


図-5 ドーナツTBM工法施工システム(ライナ支保工方式)

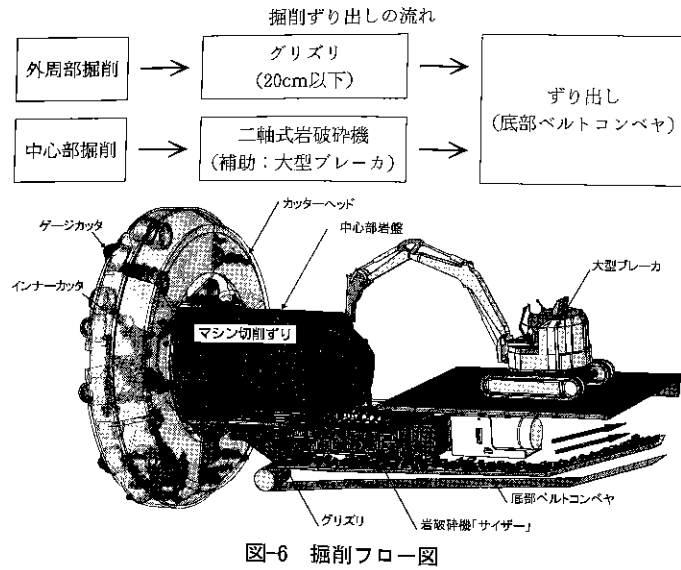


図-6 掘削フロー図

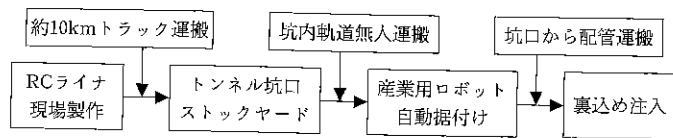


図-8 RCライナ方式の施工フロー

表-2 RCライナ方式の工種別摘要

工種	摘要
RCライナ現場製作運搬	<ul style="list-style-type: none"> <li>10km程度以内の現地製作</li> <li>生コン購入, 自然養生</li> <li>1日あたり20リング程度製作, 連続施工</li> <li>セントル型枠, 門型クレーン, 運搬トラック</li> </ul>
トンネル坑口ヤード	<ul style="list-style-type: none"> <li>3日分以上のストックヤード</li> <li>門型クレーン</li> <li>軌道引込み, ロコ充電設備</li> </ul>
切羽掘付け	<ul style="list-style-type: none"> <li>産業用ロボット(1.3t吊り)</li> <li>自動据付け</li> </ul>
裏込め注入	<ul style="list-style-type: none"> <li>坑口プラント</li> <li>2液先端混合方式</li> </ul>

二軸式岩破砕機「サイザー」は、わが国では使用実績はないが、欧州アルプストンネルの花崗岩帯での実績がある。高さが低く、コンパクト、軽量で、かつ高い破碎生産性を有する破砕機でDTBMの中に配置するには最適である。採用にあたっては、「ドーナツTBM工法施工検討会」で中国における使用実態を調査するとともに、試験的に導入して各種試験を実施している(図-7、写真-4)。

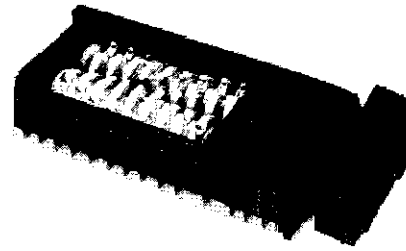


図-7 二軸式岩破砕機

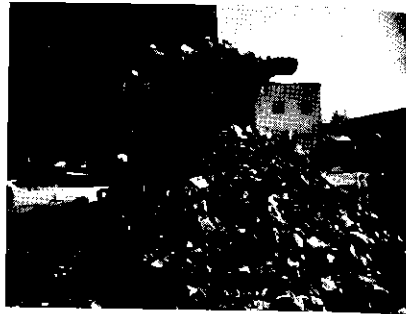


写真-4 二軸式岩破砕機による試験状況

### 3-3-2 DTBM工法の支保工方式

支保工方式は、全断面型TBMに由来から適用されてきたどの方式でも可能であるが、その中で鋼リング支保工方式とRCライナ方式について、具体的な施工システムを検討した。以下に、RCライナ方式について説明する。RCライナ方式の施工フローを図-8に、表-2に工種別の摘要を示した。RCライナの採用にあたっては、製作コストの低減とRCライナ据付け後の裏込め注入の低減を図った。

#### (1) RCライナ製作

シールド工事のワンパス方式のセグメントは、組立てられたリングが最終覆工となるので品質的な要求度が高いため、コストも必然的に高価になっている。DTBM工法の場合、覆工を一次と二次に分けてNATM施工と同じような考え方をすることで製作費の低減をした。RCライナの現地製作は大量になることから、製作に早く取りかかることで製作日数を増やすことを基本に、設備的に連続施工ができるようにした。

#### (2) 裏込め注入

RCライナ方式は、テールプレートの内側にセットするため、どうしても地山との隙間空間が大き

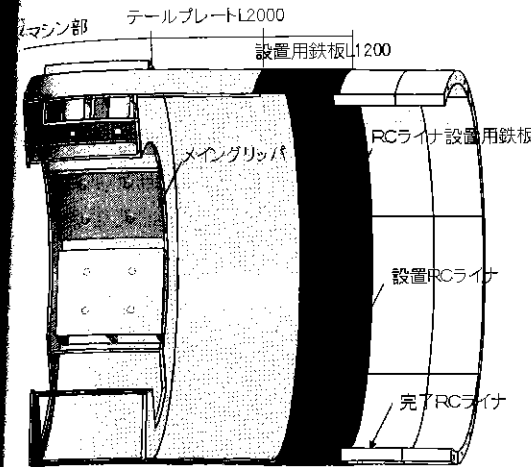


図-9 RCライナ方式の施工フロー

くなり、裏込め量が多くなることと、その裏込め材料の早強性が要求される。DTBM工法では、その方策として図-9のようにテールプレート端末に据付け場所に360°鉄板を配置した。

### ④ 今後の課題

国内ではTBMの実施例は少なく、これからも多くは望めない。その要因は技術的な面とコスト

高にあり、とくにトンネル機械費の増大はNATMの3倍程度になるため、汎用されるには難しい現状がある。TBM工法の普及には、機械費の低減が必要で機械リース化は欠かせず、欧米なみに全損設定を25km以上にすればトンネル延長が短いところでもNATMと同程度で施工できるようになる。今後は、技術とともにコスト低減のためのマシンの運用システム構築にも取り組みたい。最後に、多大なるご指導をいただいている関係者の皆様方に感謝申し上げる。

(文責: 武田光雄・株木建設(株)/小山幸則・立命館大学)

### 参考文献

- 1) 日本トンネル技術協会: TBMハンドブック, 2000.2.
- 2) 日本トンネル技術協会: 最新のTBMの実態及び急速施工技术, 2006.9.
- 3) 砂金伸治・真下英人・木谷努・城間博通: TBMにより施工されるトンネル支保工の作用荷重に関する考察, 土木学会論文集, Vol.65, No.4, pp.1018-1023, 2009.12.

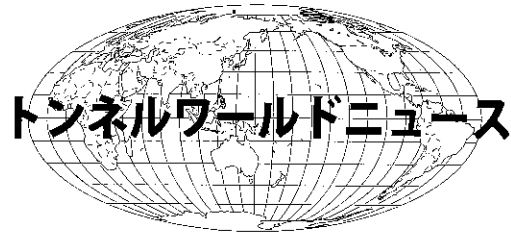
## わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 千350円

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

株式会社 土木工学社

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



(一社)日本トンネル技術協会  
国際委員会

## 米国サンマテオ市の「クリーンウォータープログラム」の管理顧問契約をCH2M HILL社が受注

CH2M HILL社は11月11日、「クリーンウォータープログラム(以下、CWP)」を監督するプログラム管理顧問契約をサンマテオ市より受注したと発表した。

CWPは、市内の下水収集と廃水処理システムを20年間にわたって段階的にアップグレードするための総額約9億USドルの費用が含まれている。

CH2M HILL社は、複合的なCWPマスタープランを実現するために、プログラムの計画と管理、プログラムのコントロール、技術企画、技術支援、ポータル管理および工事支援を含めたプログラム・サービスを提供する。現在、サンマテオ市はマスタープランの主要な構成要素(市、共同出資者、利害関係者および規制機関の資本改善プログラム(CIP))の最終的なとりまとめを行っている。

米国内の多くの都市と同様、サンマテオ市の現下水管の建設は1900年代初頭に遡り、廃水処理プラントはおもに1935~1980年にかけて建設された。これらの老朽化した施設は耐用年数に達し、リハビリテーションや交換を必要としている。

同市はまた、下水収集と廃水処理システムのアップグレードだけでなく、汚水と氾濫時の雨水の合流防止の2つの規制プログラムを推進中である。同市のCWPマスタープランは、老朽化インフラや規制のニーズに対応するだけでなく、排水処理、バイオガスの利用および搬送インフラを最適化することで、その持続可能性の目標を達成するのに役立てられる。

CH2M HILL社副社長兼水資源・生態系管理部のプログラムマネージャおよびグローバルサービスチームリーダーは次のように語った。「CWPのアドバイザーとしてわが社が選ばれたことを光栄に思う。複合的なCIPの実行には、計画、調整、標準化およびプログラムの管理において多大な労力を要する。当プロジェクトの成功は、計画、設計、建設、開始、汚水収集システムおよび処理プラントの試運転にかかわるわれわれの経験や技術的な知識によって導かれるであろう」。

(T&T '14.12 担当:岡嶋和義・大成建設(株))

## Bouygues社はバクー地下鉄の工事契約に調印(アゼルバイジャン)

Bouygues 建設社の子会社である Bouygues Travaux Publics社は、バクーの地下鉄システムの一部を構成している 28 May 駅の red line と green line とを分離させる工事として、1.843億USドルの設計・施工契約に調印した。バクー都で調印された契約は、Bouygues建設社が受注したアゼルバイジャンでの最初の土木工事の契約である。

プロジェクトは市内の大量輸送拡張計画の一部をなし、2030年に予定される完成に向けて、地下鉄の拡張や発展を目にしていこうとしよう。Bouygues建設社の副社長は、「われわれは発注者であるバクー都がわれわれにそのような自信を示していることを誇りに思っている。そして、このことが将来的に私たち両社の間に、更なる良好な関係を築いていく前兆であると信じている」と述べた。

このプロジェクトはバクーの住民に、サービスの質の向上や電車発着頻度の向上を提供する。プロジェクトは、現在の交通網の一部をなしている両路線を分離することからなる。現時点では、両路線はプラットフォームを共有している。

Bouygues Travaux Publics社は、既存トンネルの周囲、25mの深さに2本のトンネルを構築するが、プロジェクトが続く36か月の期間を通じて、わずか5週間の列車運行の中断で、新トンネルを

建設することを可能とする。

工事は2015年2月に開始予定で、ピーク時には250人が従事する。

トンネルが密集した都市環境下にあり、非常に困難な地質環境に位置しているため、チームは技術的な課題に直面すると予想される。ジェットグラウト工法や地中凍結工法の技術が使用される予定である。

(T&T '14.12 担当:法橋亮・戸田建設(株))

## Xe-Pian Xe-Nammoy水力発電プロジェクトのTBMが搬入

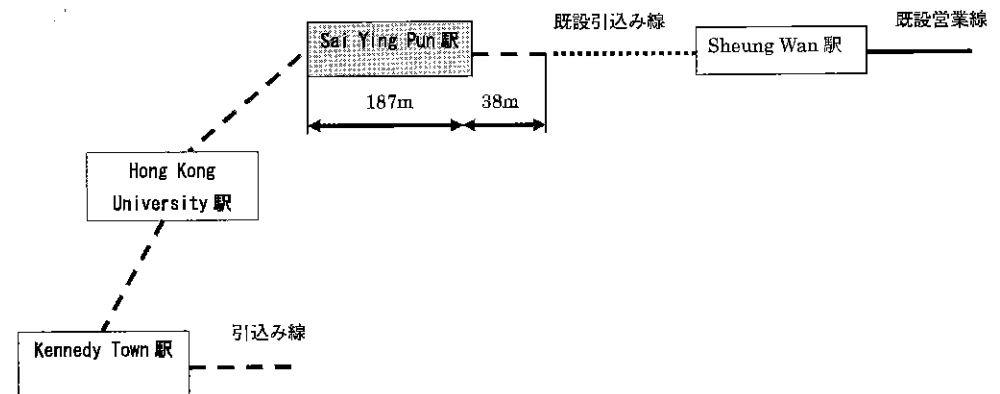
Xe-Pian Xe-Nammoy水力発電プロジェクト現場にダブルシールド型TBMが搬入された。

プロジェクトは2つのロックフィルダムを有し、立坑のある水路トンネルと410 MWの発電容量を持つ発電所を建設する。

韓国のSKエンジニアリングが、イタリアSeli社に外注して、トンネル工事(11.5km、低圧導水路トンネル)を施工する。直径5.74mのTBMが2014年12月6日に試運転を完了した。

泥岩、シルト岩と砂岩の掘削のため、このTBMは17インチの耐強化型ディスクカッターと4つの大バケットの開口部をもち、耐久性と汎用性があるように設計されている。

2,000kWのメインドライブによりカッターヘッドが毎分7回転の最高速度で硬岩を効率的にカットし、加えて破碎部に対処するために8,000kNmという並外れたトルクを持つ。



West Island線延伸部

は西側で最大65mもあり、東側は25mである。

Sheung Wan 駅部の改築工事は Sun Fook Kong社が施工、Sai Ying Pun工区は Dragages-Maeda-BSG 企業体、Sai Ying Pun 駅～Hong Kong University 駅と Hong Kong University 駅～Kennedy Town 工区は Gammon-Nishimatsu 企業体が施工した。また、Kennedy Town 駅と引込み線トンネルは Gammon が単独受注し施工した。最初の West Island Line 延伸線の起案は 2002 年 5 月で初めて掘削工事に入ったのは 2009 年 8 月であった。その後何回も施工計画の見直しが必要な難工事であった。(T&T '15.1 担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

コペンハーゲンでトンネルが貫通

2 機の TBM がコペンハーゲンの City-ringen 線のトンネルを貫通した。現場は既存の歴史的な駅の 30m 下に位置し、デンマークのヘレ・トーニング＝シュミット首相が視察した。

無人運転メトロ計画は 2019 年に完了予定である。TBM で掘削する延長 15.5km の路線は内径 4.9m である。

土木工事は Salini Costruttori 社、Tecnimont 社および Seli 社からなる Copenhagen Metro Team JV が担当している。発注者は地下鉄公社である。Cowi 社、Arup 社および Systra 社が振動解析やその他設計を担当している。

発注者の地下鉄公社は 2010 年 11 月下旬の契約締結を示唆していたが、承認が遅れたため、23 億

8,000 万 US ドルの契約は 2011 年 1 月に締結された。Ansaldo 社は別途発注の制御システムと無人運転車両の契約を落札した。

Cityringen 線沿いの地盤は第 4 紀層の融雪水砂と残りはダン期の石灰岩で構成されている。第 4 紀の堆積物は後水期および晩水期の堆積物で覆われている。セランディアン期の緑色砂に属する堆積物もまた局所的に第 4 紀層の直下で見ついている。Cityringen 線は非常に複雑なプロジェクトである。その理由は、コペンハーゲンは海面レベルにあり、地下水位は高く、膨大な量の掘削が必要だからである。また、とくに地下水保全の環境規制がきわめて重要である。

(T&T '15.2 担当：山口洋介・鉄道・運輸機構)

スイス・エッペンベルクトンネルが発注される

ドイツの Wayss et Freytag 社とスイスの Marti 社の JV はスイスのエッペンベルクトンネル工事の契約を取った。長さ 2.6km の複線トンネルで、パーゼル～チューリッヒの中間部の Olten-Aarau 鉄道の重要な部分をなす。同路線は現在スイス政府とスイス鉄道によって複々線化が進められている。TBM は直径 12.8m のヘレンクネヒト社製ミックスシールドで、硬岩および含水土に対応する。本契約にはほかに 3 本の避難坑と 5 本の施工用立坑、器材坑も含まれる。工事は 2019 年第 2 四半期完了の予定である。

(T&T '15.2 担当：清水健志・鉄道・運輸機構)

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・齊藤正忠・北川隆 共訳

B5 判・442 頁・上製本 本体価格 9,800 円 (〒 450 円)



〒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

「トンネルと地下」2015年1～12月号総目次

〈平成27年・年間総目次〉

Table with columns: Section (e.g., 巻頭言, 研究, 解説, 祝辞, 挨拶, 座談会, 記念講演), Page No., Author. Includes entries like '建設業の健全な発展を目指して' and 'FRP製トンネル内巻き工によるRC覆工の劣化対策'.

……遠藤賢一・沼澤憲二郎・吉岡賢治 46 2 47  
 大深度・高水圧下でのシールド地中接続(拡幅)工事の設計<東京下水道 隅田川幹線>……………  
 ……葛西孝周・日野和功・船倉崇弘 46 6 49  
 新駅建設に伴う大規模な地下駅アンダーピニング計画<相鉄・東急直通線 新横浜駅>……………  
 ……梅田浩・山口麻香 46 7 23  
 東京臨海部の大深度・高水圧下におけるシールドトンネルの設計<東京下水道 芝浦・森ヶ崎水再生センター間連絡管>……………  
 ……大塚文昭・藤本英悟・萩原清志・伊藤博昭 46 7 31  
 内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(設計編)<みなとみらい線 高島トンネル>……………  
 ……杉山伸康・蘭康則・神保誠二 46 9 31  
 深度500m瑞浪超深地層研究坑道に設置する止水壁の設計……………  
 ……佐藤稔紀・見掛信一郎・三浦律彦・石田知子 46 12 17

報 告

40周年を迎えた山陽新幹線のトンネル路盤対策の変遷<検査手法と対策工法>……………  
 ……坂本寛章・近藤政弘・長山喜則 46 5 57  
 ITA活動状況……………JTA国際委員会 46 8 54  
 JTA活動現況……………日本トンネル技術協会 46 8 55  
 映像ライブラリーの紹介……………  
 ……JTA映像記念誌ワーキング 46 8 57  
 「安全標語およびフォトコンテスト」結果報告……………  
 ……JTA安全啓発ワーキング/作品展示等ワーキング 46 8 58  
 「ITA総会および世界トンネル会議(クアアチア)」報告……………  
 ……日本トンネル技術協会国際委員会ITA統括WG 46 10 59  
 これまでの地震対策への取組み(1)……………  
 ……JTA技術委員会保守管理小委員会 46 11 51  
 これまでの地震対策への取組み(2)……………  
 ……JTA技術委員会保守管理小委員会 46 12 47

施 工

【鉄道トンネル】

開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のトンネル群……………  
 ……市橋学・野宮正好・若公雅敏 46 5 7  
 開業直前にインバート盤ぶくれ対策を施工<北陸新幹線 飯山トンネル板倉工区>……………  
 ……三浦貴幸・柿崎昌志・湊敦之・田湯正孝 46 6 7

津波被災地区の丘陵部をNATMで移設復旧<JR常磐線 戸花山トンネル>……………伊藤雄太・島田武 46 7 7  
 地すべり地内および長崎自動車道直下のトンネル掘削<九州新幹線西九州ルート 大草野トンネル>……………  
 ……酒井龍一・橋本浩史・杉山徹 46 11 7

【道路トンネル】

多量湧水の発生する長大トンネルを突っ込みで掘削<東九州自動車道 猪八重トンネル北工区>……………  
 ……前田啓太・河口武司・青柳茂男 46 1 7  
 複合的な地盤改良工と多段分割掘削を併用した避難連絡坑の施工<中央環状品川線南品川換気所避難連絡路接続工事>……………  
 ……白石均・市川健・篠原浩史・熊谷幸樹 46 1 13  
 超長尺大口径先受け工により地すべり坑口部を掘削<国道289号 八十里越7号トンネル>……………  
 ……池田和彦・諏訪至・柳沢一俊・山下雅之 46 2 7  
 止水注入による減水対策で周辺地下水への影響を低減<国道400号 下埴原第二トンネル>……………  
 ……西村玲・築瀬和裕・藤本克郎・坂本秀夫 46 4 7  
 上半先進工法の低強度地山区間を全断面早期閉合で克服<県道東三河環状線 乗小路トンネル>……………  
 ……浅井仁司・井上浩志・岡山徹・寺尾創 46 4 15  
 観察・修正法を駆使して破碎質泥岩地山を掘る<旭川十勝道路 北の峰トンネル>……………  
 ……佐藤秀史・齋藤宏樹・成田望・横田泰宏 46 5 19  
 地下水圧測定結果を反映した支保パターンによるトンネル施工<新名神高速道路 箕面トンネル西工区>……………  
 ……福島博文・荒木武雄・瀧先弘一・北村義直 46 6 17  
 周辺環境に配慮した土運搬計画と新型電子雷管の試験発破<新名神高速道路 六石山トンネル>……………  
 ……浜田文年・岡村哲司・上野博務・村山秀幸 46 6 25  
 可燃性ガス発生のおそれのあるトンネル工事における安全管理<国道253号 八箇峠トンネル(十日町工区)>……………  
 ……小池真史・佐藤剛史 46 9 7  
 新幹線橋脚フーチング横を離隔40cmでJES函体施工<横須賀線 住吉こ道橋>……………  
 ……山田宣彦・本田諭・星光紀・齋藤貴 46 10 7  
 自然由来のヒ素を含む大量湧水の減水対策試験<北薩横断道路 北薩トンネル(出水工区)>……………  
 ……木佐貫浄治・宮本裕二・鈴木雅文・辰巳勇司 46 10 19  
 28日間の連続対面通行規制で高速道路トンネルの剝落対策を実施<札幌自動車道 若竹トンネル・朝里トンネル>……………  
 ……覚張浩志・武田隆輔・水口大輔・竹本敬介 46 11 15

【地下鉄トンネル】

小土かぶりの連絡通路を土圧式ボックス推進工法で施工<東京メトロ東西線 門前仲町駅>……………  
 ……森谷剛・松島和紀・鈴木雅史・松元文彦 46 5 29  
 内部補強と外部補強を組み合わせたシールドトンネル変状対策(施工編)<みなとみらい線 高島トンネル>……………  
 ……杉山伸康・神保誠二・桜井靖彦・横山顕 46 10 25  
 東日本大震災など多様な課題を克服して開業を迎える<仙台市地下鉄東西線>……………  
 ……笠松直生・佐藤雅和 46 12 7

【サービストンネル】

泥土圧・泥水シールドを同一の立坑から同時掘進<九頭竜川下流(二期)農業水利事業 河合春近用水路>……………  
 ……宇都宮司人・今村肇・犬飼貴・中村誠喜 46 1 23  
 T-BOSSで既設下水道幹線にシールドを地中接合<東京下水道 千代田区永田町一丁目、港区赤坂一丁目付近再構築>……………  
 ……水谷裕一・坂野優子・馬場博文・安居和哉 46 1 31  
 H&Vスパイラル工法により狭隘な河川下にシールドを縦断掘進<東京下水道 立会川幹線雨水放流管>……………  
 ……武藤真・伊藤俊彰・臼井陽菜子・石堂暁 46 2 17  
 送・配水ネットワークの形成に向けた大環状線の整備<横浜市水道局 第二磯子幹線>……………  
 ……森亮・庄司聡・川崎泰朗 46 2 25  
 バドルスクリーを装備した矩形断面シールドによる送水管整備……………  
 ……齋藤裕二・立花博令・中谷武彦・金丸清人 46 4 23  
 トライアル施工による重要構造物への影響解析の検証<東京下水道 江東幹線>……………  
 ……久本洋二・鈴木高広・松田幹生 46 4 31  
 地下鉄虎ノ門駅直下の大深度・高水圧地盤で凍結工法により地中接合<東京下水道 第二溜池幹線>……………  
 ……小倉憲治・宮司憲男・彦坂勇次・岩崎広幸 46 5 47  
 万全な沈下対策によりセントラム直下をシールド掘進<富山市 松川貯留管>……………  
 ……江上晴久・河野雅・宮崎康生・岩瀬憲生 46 6 43  
 情報化施工による大深度立坑掘削の中間評価<幌延深地層研究計画地下研究施設整備(第二期)事業>……………  
 ……藤田朝雄・青柳和平・名合牧人 46 7 13  
 多摩地区における送水管ネットワークの構築を支えたトンネル技術<東京都水道局 多摩丘陵幹線>……………  
 ……溝口博文・潮田賢・藤井雄輔 46 9 17  
 多摩川を横断する3本目の連絡管シールド<東京下水道

北多摩二号・浅川水再生センター間連絡管)……………  
 ……北村隆光・小林裕・菊池崇・柴泰裕 46 9 25  
 地盤変位対策を併用したコンパクトシールド工法による工期短縮<八街市 大池第三雨水幹線>……………  
 ……千脇幸治・渡邊広己・大島知幸・稲葉靖 46 11 25

特 集

復興道路・復興支援道路の整備<100本超のトンネルを計画>……………宮田忠明 46 3 7  
 延長5kmの本坑・避難坑の一括発注による急速施工<宮古盛岡横断道路 新区界トンネル>……………  
 ……外崎高広・太田和彦・福田博之・西川幸一 46 3 13  
 公共生コンプラントの設置・管理運営とトンネル・橋梁一括施工<国道45号摂待道路 摂待第1・第2トンネル>……………  
 ……金濱巨晃・小原克己 46 3 20  
 復興事業におけるトンネル施工と地域協働への試み<三陸沿岸道路 吉浜トンネル>……………  
 ……菊池忠利・三原泰司・小岩一博・秦健二 46 3 28  
 ICTを活用し早期開通を目指す<国道115号霊山道路 七ツ窪トンネル>……………  
 ……永尾慎一郎・水口均・藤田圭一 46 3 40  
 突発湧水に挑んだトンネル施工と仙人峠道路が震災で果たした役割<国道283号仙人峠道路 新仙人トンネル>……………  
 ……成田信太郎・國谷光弘 46 3 48

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(最終回)<現状と将来展望およびまとめ>……………「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会 46 1 55  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(1)<覆工の現状と課題>……………「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 2 67  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(2)<覆工の設計・施工概論>……………「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 3 67  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(3)<覆工コンクリートの品質向上技術(材料)>……………「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 4 59  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(4)<覆工コンクリートの品質向上技術(施工①)>……………「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 5 67  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(5)<覆工コンクリートの品質向上技術(施工②)>……………「山岳トンネル覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 6 57  
 山岳トンネル覆工の長寿命化技術(6)<覆工の点検技

術) .....「山岳トンネル  
覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 7 69  
山岳トンネル覆工の長寿命化技術(7)〈覆工の点検法〉  
.....「山岳トンネル  
覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 8 71  
山岳トンネル覆工の長寿命化技術(8)〈覆工の補修・補  
強(概論)〉 .....「山岳トンネル  
覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 9 65  
山岳トンネル覆工の長寿命化技術(9)〈覆工の補修・補  
強(技術①)〉 .....「山岳トンネル  
覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 10 71  
山岳トンネル覆工の長寿命化技術(最終回)〈覆工の補修・  
補強(技術②)〉 .....「山岳トンネル  
覆工の長寿命化技術」連載講座小委員会 46 11 59  
トンネル新技術への挑戦(1)〈ドーナツTBM工法〉 .....  
.....「ト  
ンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会 46 12 57

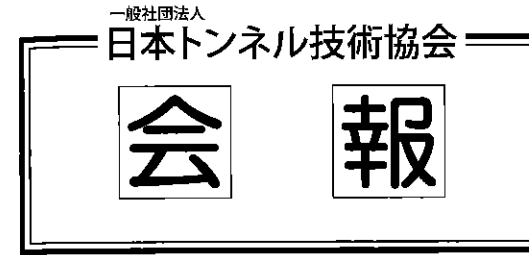
**現場だより**

「お茶といで湯の温泉地」より .....  
.....由布壮一郎 46 1 30  
「伝統と自然」があふれる飛騨高山から .....  
.....原田泰夫 46 2 16  
「北のウォール街と呼ばれた郷愁の街」小樽より .....  
.....海老子川啓 46 3 54  
「カツオの一本釣り 日本一の町」黒潮町より .....  
.....小松孝志 46 4 14  
歴史のロマンと美しい自然が息づく国境の島 .....  
.....山添朋弘 46 5 18  
「びわの産地、房州より」南房総市富浦町から .....  
.....町永正樹 46 6 34  
「宮古街道の新しい時代」宮古盛岡横断道路 .....

.....西川幸一 46 7 22  
豊かな自然と文化を育む本明川の畔から .....  
.....野口達朗 46 8 60  
豊かな森と清らかな水に恵まれた盛岡より .....  
.....中島 賢 46 9 15  
「津軽海峡を望む交通要所のまち」木古内町より .....  
.....沢藤尚文 46 10 18  
「バラ・そば・徳内ばやしのまち」村山市より .....  
.....上野将史 46 11 24  
「神話の地」鳥取県鳥取市 .....水嶋九二男 46 12 16

**語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ**

「やま」はかく語りき .....富松義晴 46 1 49  
喜びあり、苦あり 我がトンネル屋人生に悔いはなし .....  
.....竹川敏秋 46 2 35  
語り継ぐ .....木内 勉 46 3 55  
すべての問題は時間が解決してくれた! .....  
.....渡邊和憲 46 4 41  
私のトンネル掘進記〈工法の変遷とその先〉 .....  
.....佐藤馨介 46 5 37  
誇りに思うトンネル屋時代 .....吉見憲一 46 6 35  
トンネル工事の難しさと魅力そして心構え .....  
.....平島清行 46 7 39  
地図に残るトンネルの仕事(その思い出) .....  
.....勝村健二 46 8 61  
思い出の記 トンネル工事現場より .....  
.....松村米紘 46 9 41  
九州の山はいつも移り気 .....江藤俊文 46 10 37  
我が夢とロマンの土木屋人生 .....篠原 満 46 11 33  
トンネルの旅 創生・保生・再生 .....  
.....足立紀尚 46 12 29



1. 会員の現状

	10月31日現在
個人会員	917名
団体会員	296名
推薦会員	207名
特別会員	12名
名誉会員	3名
賛助会員	219名
合 計	1,654名

2. 平成27年度第4回理事会、第2回顧問・評議員会

日 時：平成27年10月27日(火) 15:30~16:30

場 所：浜松町東京会館 「チェリールーム」

出席者：理事16名、監事2名、顧問1名、評議員21名、計40名

議 事：

①理事、評議員の交替など

以下のとおり承認された。理事については、平成28年度総会に諮る予定である。

<理事>

旧	新	所 属 役 職
水谷 敏則	—	(一社)日本トンネル技術協会 専務理事
—	時政 宏	事務局長 常任参与(専務理事候補)

<評議員>

旧	新	所 属 役 職
藤森 伸一	淺見 郁樹	東日本旅客鉄道(株)執行役員 建設工事部長
山口 修	生亀 孝志	(一社)日本建設業連合会専務理事

②平成28年度定時総会開催日

平成28年度定時総会は平成28年6月14日(火)16:00~17:00を予定し準備を進めることとした。

③平成28年の名刺交換会

平成28年の名刺交換会は、1月8日(金)12:00~13:00を予定し準備を進めることとした。

3. 委員会の開催状況(10月1日~31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

・総務委員会(10/21)

服部修一委員長ほか9名、理事会、顧問・評議員会資料を検討

・広報小委員会

会誌WG(10/7)

小山幸則主査ほか13名、11月号の会誌と3か月計画を検討

◎事業委員会

・事業委員会(10/28)

桑原彌介委員長ほか16名、催物開催結果報告と今後の予定を検討

◎国際委員会

・海外文献小委員会

海外文献WG(10/23)

畑生委員ほか11名、海外文献の査読

対外広報WG(10/29)

清水健志主査ほか10名、現況2016年度版掲載原稿を検討

海外ニュースWG(10/30)

清水健志主査ほか7名、海外文献の査読  
計 6回開催 72名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

・都市トンネル小委員会

シールド変遷史WG第3サブWG(10/5)

守屋洋一主査ほか6名、原稿を検討

シールド変遷史WG第1サブWG(10/27)

河越勝主査ほか7名、原稿を検討

シールド変遷史WG第2サブWG(10/29)

名倉浩主査ほか6名、原稿を検討

・保守管理小委員会(10/15)

淺見郁樹委員長ほか13名、講習会講義内容ほかを検討

◎受託研究特別委員会

・新幹線新駅技術検討委員会(10/22)

今田徹委員長ほか19名、施工方法および対策工法を検討

計 5回開催 56名出席

合計 11回開催 128名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第42回ITA総会およびコンgres「Uniting the Industry」	2016. 4.22~28	サンフランシスコ (アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコンgres「Surface problems -Underground solutions」	2017. 6. 9~16	ベルゲン (ノルウェー)	Norwegian Tunneling Society ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2017.no
第44回ITA総会およびコンgres「Smart Cities: Managing the Use of Underground Space to Enhance the Quality of Life」	2018. 4.20~26	ドバイ (UAE)	Society of Engineers - UAE ITA(国際トンネル協会) http://www.uaesocietyofengineers.com

\*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

5. 平成27年度催物開催現況

(平成27年10月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会)				
東村山水路トンネル現場研修会	2015. 7.23	16	東京	2.5
九州新幹線現場研修会 (武雄トンネル~大草野トンネル~久山トンネル)	2015. 8.27	16	佐賀,長崎	3.2
新名神高速道路箕面トンネル現場研修会	2015. 9.18	24	大阪	3.0
東京外かく環状道路新宿線交差部建設工事現場研修会	2015.10.14	25	千葉	2.0
(施工体験発表会)				
第76回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」	2015. 6.24	168	東京	5.5
第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」	2015. 6.25	109	東京	4.7
(講習会・シンポジウム)				
トンネル技術者のための地相入門講習会	2015. 9.30	39	東京	6.2
第17回トンネル技術ステップアップ研修会「シールド部門」	2015.10.19, 20	40	東京	11.5
(設立40周年記念事業)				
設立40周年記念展	2015. 8. 2~ 8	841	東京	—
親子見学会	2015. 8. 4	45	神奈川	—
山岳トンネルの設計と現場との乖離シンポジウム	2015.11.18	200	東京	3.7
トンネル維持管理業務講習会(基礎編)	2015.12. 4	40	東京	6.3

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



新名神高速道路箕面トンネル現場研修会の様子



第17回トンネル技術ステップアップ研修会「シールド部門」の様子

2015施工体験発表会報告  
および審査結果

◆施工体験発表会報告◆

恒例の施工体験発表会は、山岳部門を6月24日(水)、都市部門を6月25日(木)に、虎ノ門発明会館地下ホールで開催し、通算77回となりました。

本発表会は、山岳と都市に関するその時々のお話をテーマに、若手トンネル技術者の育成とトンネル技術者相互の情報交換の場として企画・開催しているものです。



写真-1 発表会場

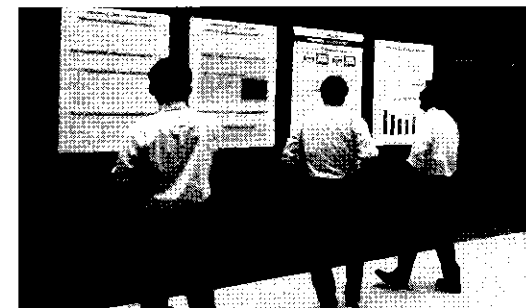


写真-2 休憩中のロビー



写真-3 会員のためのフリースペース

今回、山岳では「課題克服に取り組んだトンネル工事—新技術, 創意工夫, 周辺環境への配慮—」, 都市では「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」をテーマとして募集しました。その結果、発表件数は山岳部門14件、都市部門11件となり、当日の参加者数は、それぞれ168名、109名でした。

今年の特徴としては、ゼネコンの若手女性による発表がはじめてであったこと、女性の参加者(山岳1名、都市6名)が例年になく多かったことが挙げられます。

事業委員会では、前年に引き続き「発表論文概要の事前公表」「テキストのCD化と事前配布」「発表者の表彰」「パンフレット設置スペース提供」「ベストオーディエンス賞」を設け、会員の要望に応じて企画・実施しました。

以下に、当日回答いただいたアンケート(山岳71人(回答率48.6%)、都市68人(回答率68.7%))の調査結果の一部を引用し、施工体験発表会の報告をします。

参加者の実態を図-1,2 に示します。

年齢構成では、山岳と都市とも40歳代が中心となっています。

また、業種別では、建設業の方が多く参加していますが、山岳部門に比べ、都市部門では、発注者が多い結果となっています。体験者が自らの思

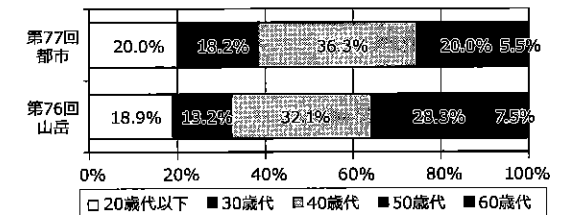


図-1 参加者の年齢構成

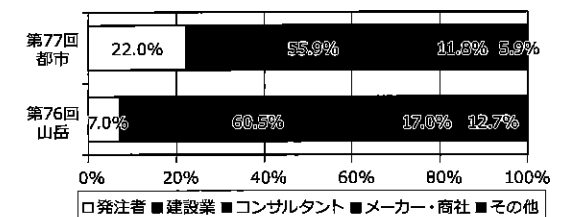


図-2 参加者の業種

いを語る発表会での情報は、教科書や印刷物を見る以上にたいへん貴重ですので、設計、施工に携わるすべて技術者が積極的に参加していただきたいと思ひます。発表会に対する参加者の評価を図-3,4に示します。グラフからわかるようにおむね好評を得ています。

図-5に配布資料またはテキストについて示します。テキストをCD化して5年目となりますが、全体的には好評を得ているようです。テキストのCD化には「賛成」という意見と、「ペーパーがいい」「ペーパーと併用してほしい」という意見があり、まだまだ、ペーパーを希望する人がいる状況となっています。

CD化賛成の意見としては、「電子データの配布はエコですし、さまざまな形態で資料を用意できるので有用かと感じた」「写真や図が見やすかった」「データでもらえるので社内回覧しやすい」などの意見がありました。またペーパーの意見としては、「CDでは社内の他者がこの情報を見つけ

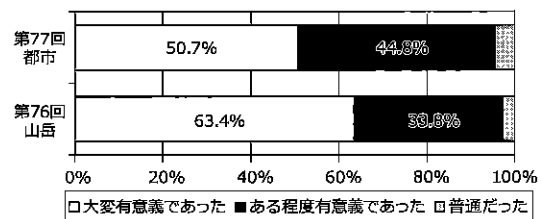


図-3 プログラムの内容に対する意見

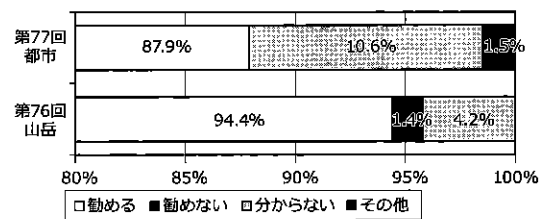


図-4 受講を勧めるか

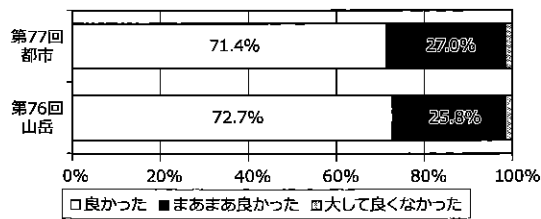


図-5 配布資料またはテキストはいかがでしたか

るのが困難です」という意見がありました。

そのほかの意見としては、「事前にCDが送付になったので前もって興味あるテーマの知識が得られていたため理解が早かった」、また、ベストオーディエンスの企画に対し、「クイズ形式で回答制にした参加型はとても有意義になった」などがありました。

パンフレット設置スペースの提供を実施しましたが、今年は2社((株)カテックス、(株)ダイフレックス)から申出がありました。そのうち1社は、発表論文に関するものであり、参加者に見ただく、たいへん良い機会と考えました。次年度も継続して実施予定ですので、その際はご活用いただきたいものです。

最後に、今後とも参加者からのアンケートのご意見を反映した催物を企画・実施していきます。

◆施工体験発表会発表者の審査結果報告◆

第76回(山岳)ならびに第77回(都市)施工体験発表会にかかわる発表者の表彰について審査した結果、下記のとおりとなりましたので報告します。また、両発表会の最優秀賞を受賞した論文を次頁以降に掲載・紹介いたします。

第76回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工—新技術、創意工夫、周辺環境への配慮—」

〈最優秀賞〉

北澤 剛(前田・松尾・下特定建設工事共同企業体監理技術者)「性状変化が激しい泥岩を前方探査にて事前に評価し掘削」

〈優秀賞〉

山田浩幸((株)鴻池組大阪本店名塩道路八幡トンネル工事所長)「都市部における超近接無導坑メガネトンネルの施工」

北村義宣(鹿島建設(株)箕面トンネル西工事事務所工事課長)「高性能自在制御発破工法による住宅地の環境影響低減に関する考察」

〈佳作〉

辛島義庸(三井住友建設(株)九州支店土木部工事主任)「スコリア区間における大量湧水下でのトンネル掘削について」

第77回(都市)「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」

〈最優秀賞〉

山中耕太郎(東京地下鉄(株)改良建設部第三工事事務所統括改良建設係)「狭小施工スペースでの土かぶりの浅い密閉型泥土圧式ボックス推進工法の施工」

〈優秀賞〉

根岸秀男(熊谷・佐藤・大日本土木建設工事共同企業体副所長)「縦長形状の複合円形断面シールドで連絡線を築造」

嶋原秀樹(西松建設(株)関東支社横須賀シールド出張所副所長)「横坑切り掘りおよび子機分割組立によるシールド分岐部の施工」

〈佳作〉

津嘉山淳(三井住友建設(株)大阪支店土木部作業所所長)「急勾配の下水道放流管構築と近接構造物直下での地中到達」

◆ベストオーディエンス賞の結果報告◆

今年3年目となる聴講者を対象とした「ベストオーディエンス賞」に多数のご応募をいただきありがとうございました。

この賞は、クイズ方式で高得点者をベストな聴衆者として賞するものです。

今回は、応募総数が山岳部門53名、都市部門55名であり、全問正解者がそれぞれ17名、19名でした。そのため8月3日委員長立合いのもと、抽選の結果、下記のとおり3名の方々を受賞者とし、図書カード(3,000円分)を贈呈しましたので、報告いたします。

今回、回答の平均正解率は、山岳で91%、都市で89%でした。今後100%目指して、発表者と参加者双方の努力を期待します。

なお、ベストオーディエンス賞の設問と回答は、webサイトに掲載しておりますので、ご参照ください。

〈第76回山岳部門ベストオーディエンス賞〉

- 尾田健太郎(清水建設(株))
- 向井智彦((株)マシノ)
- 京田祥文((株)安藤・間)

〈第77回都市部門ベストオーディエンス賞〉

- 弓削慎一((独)鉄道・運輸機構)
- 小野口博之(東海旅客鉄道(株))
- 西森昭博((株)大林組)

◆施工体験発表会テキストの紹介◆

施工体験発表会のテキストは、第68回より紙からCD-Rに替わりしました。希望者には、各回5,000(PDF, CD-R)で頒布しています。また、それ以前についても有料コピーサービスをしていますので、ご利用くださいますようお願いいたします。詳しくはwebで。

図書No.	図書(テキスト)名
201503	第77回施工体験発表会(都市) 「市街地におけるトンネル・地下構造物の築造技術」
201502	第76回施工体験発表会(山岳) 「課題克服に取り組んだトンネル工—新技術、創意工夫、周辺環境への配慮—」
201404	第75回施工体験発表会(都市) 「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工—新設および改良・再構築の施工事例—」
201403	第74回施工体験発表会(山岳) 「課題克服に取り組んだトンネル工—新技術、創意工夫、周辺環境への配慮—」
201303	第73回施工体験発表会(都市) 「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」
201302	第72回施工体験発表会(山岳) 「課題克服に取り組んだ工—周辺環境への配慮、創意工夫、効率化—」
201204	第71回施工体験発表会(都市) 「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」
201203	第70回施工体験発表会(山岳) 「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」
201103	第69回施工体験発表会(都市) 「都市トンネル工事におけるコスト縮減・工期短縮の施工事例」
201102	第68回施工体験発表会(山岳) 「様々な課題克服に取り組んだ山岳トンネル工—」

第76回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

性状変化が激しい泥岩を前方探査にて事前に評価し掘削  
—九州新幹線(西九州), 俵坂トンネル(西)他工事—

前田・松尾・下特定建設工事共同企業体監理技術者 北澤 剛

キーワード：前方探査, 押出し性地山, 早期閉合, インバートストラット

1. はじめに

九州新幹線西九州ルートは、武雄温泉駅～長崎駅間約66kmの計画であり、そのうち、俵坂トンネルは佐賀県と長崎県境を貫く全長5,705mの山岳トンネルである(図-1)。そのうち、西工区はNATM(機械掘削)にて長崎県側3,060mを掘削している。

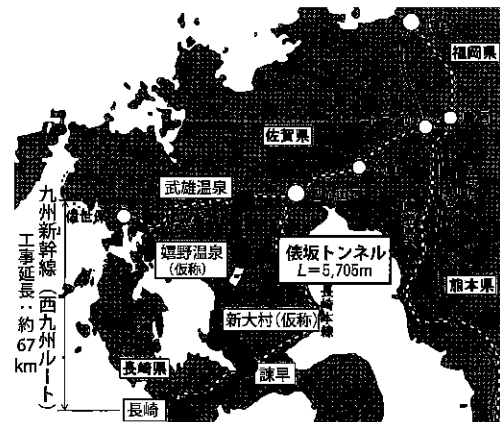


図-1 俵坂トンネル位置図

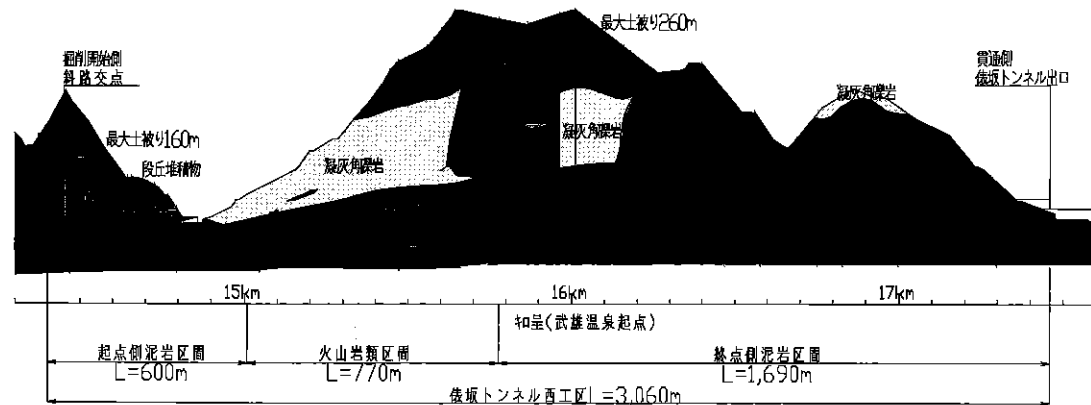


図-2 俵坂トンネル西工区地質縦断面

俵坂トンネル西工区の代表的な掘削地質は、地質性状変化が激しい古第三紀杵島層群泥岩であり、泥岩全区間において、内空変位対策工として一次インバートによる早期閉合を行っている。

本稿は、トンネルの前方探査とその評価にもとづいた支保パターン設定、内空変位対策工、また、一次インバート盤膨れ測定のため設置した3D地中変位計の施工結果を報告するものである。

工事名：九州新幹線(西九州), 俵坂トンネル(西)他工事  
発注者：鉄道・運輸機構鉄道建設本部九州新幹線建設局  
施工者：前田・松尾・下特定建設工事共同企業体  
西工区トンネル延長：

L=3,060m(本坑), L=318m(斜路)

2. 地質

2-1 地質構造

トンネル周辺の地質は、古第三紀の主に泥岩・砂岩からなる堆積岩である杵島層群を基盤として、その上位に新第三紀～第四紀に活動した凝灰角礫岩および安山岩や玄武岩等の火山岩類が被覆している構造である。

俵坂トンネル西工区の掘削地質は、掘削開始側の斜路

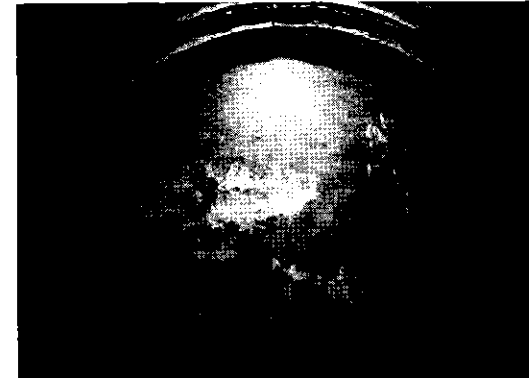


写真-1 高固結度の泥岩(砂質泥岩)



写真-2 強度低下した泥岩(破砕性泥岩)

交点から600mは古第三紀泥岩(起点側泥岩区間), 続く770mは新第三紀火山岩類区間, 終点側の1,690mは同じく古第三紀泥岩(終点側泥岩区間)であった(図-2)。

2-2 杵島層群泥岩

起点側泥岩区間の生成年代は、トンネルに大きな内空変位を発生させた事例が多い新第三紀泥岩と比較してより古い時代の古第三紀であり、一般的には固結度が高い傾向にあると言える。しかしながら一方では、地殻変動などの構造的な運動を被り、断層破砕帯や風化変質の影響を強く受け強度低下する場合も多い。

俵坂トンネル西工区の泥岩は、上位の火山岩類と不整合で接しているため、表層ではとくに風化浸食を被っていることや、地形的にも大きく不陸があることが想定される(写真-1, 2)。

3. 起点側泥岩区間

3-1 前方探査

起点側泥岩区間では坑内からの長尺ノンコアボーリング(最大探査延長200

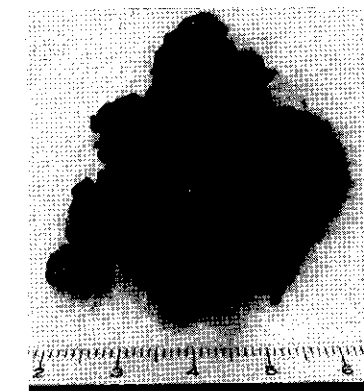


写真-3 ノンコアボーリングスライム

m)により前方探査を行った。ノンコアボーリングでは、湧水評価と併せて、穿孔エネルギー・穿孔速度の変化により地質の硬軟を捉え、採取したスライムにて地質変化を確認した(写真-3)。

3-2 支保パターン

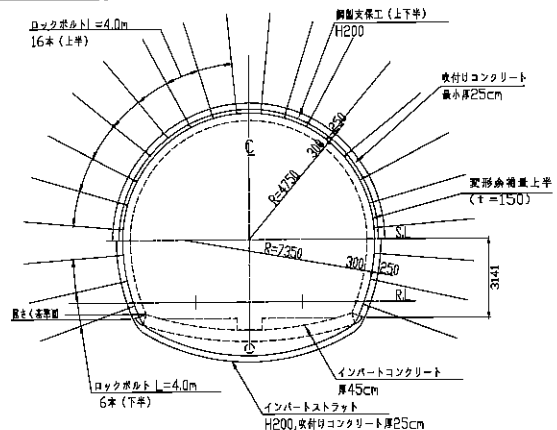
杵島層群泥岩層は、一般部では軟岩のなかでも比較的硬質な層相を呈しているが、不良部では軟質な凝灰質粘土層の挟在や、著しく鏡肌が発達した粘土化部分が局部的に分布するなど、性状変化に富んでいた。

起点側泥岩区間のうち不良部では、掘削に伴う変形を抑制しトンネルおよび周辺地山の健全性を早期に確保す

表-1 起点側泥岩区間支保パターンの一例

支保パターン	特記の一例
鋼製支保工	H-200×200×8×12
吹付けコンクリート	最小厚t=25cm( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )
ロックボルト	L=4.0m×22本
閉合仕様	鋼製支保工：H-200×200×8×12, 吹付けコンクリート：t=25cm
変形余裕量	上半15cm

支保パターン図



ることを目的として、剛性の高い支保パターンを用いた早期閉合を主体に採用した(表-1)。

3-3 施工結果と問題点

起点側泥岩区間の約8割を占めた砂質泥岩区間では、50mm以下の小さな内空変位に抑制することができたが、一部で切羽に出現した破碎性泥岩区間では内空変位が200mmを超過した。終点側泥岩区間では、起点側泥岩区間よりも土かぶりが大きく(最大約260m)、地山強度比がより小さな泥岩区間を掘削することになるため、問題点としてより大きな内空変位の発生が挙げられた。

また、破碎性泥岩区間では大きな初期変位速度対策として、砂質泥岩区間ではスレーキング特性により、未閉合では緩慢な内空変位が継続するため、その変位収束対策として下半インバートストラットを行った。

4. 終点側泥岩区間

4-1 前方探査の見直し

土かぶりが大きくなる条件下で、性状変化が激しく局部的に岩盤強度が低い泥岩の亀裂の発達具合や割れ目の状態を精度よく把握するためには、ノンコアボーリングによる探査では限界があると判断し、高速施工が可能であり、かつコア採取が可能なPSワイヤライン工法(ロータリーパーカッションドリルを用いたワイヤラインサンプリング工法)による先進コアボーリングを採用し、前方地山の事前評価を行うこととした(写真-4, 5)。

4-2 支保パターンの見直し

性状変化が激しい杵島層群泥岩を安全かつ経済的に掘削するためには、支保パターンを細分化する必要があった。

終点側泥岩区間は起点側より土かぶり大きい区間が続くため、潜在地圧が大きくなるのが予測されることから、塑性化しやすい地山と評価をして早期閉合を前提に計画した。

そのため、砂質泥岩などの地山状態が良好な区間では

新幹線の標準閉合支保パターンである  $I_{sp}$ (鋼製支保工: H-150)を基本とした2パターンを設定し、かつ初期変位速度ごとにインバートストラットと吹付けインバートを使い分けることとした。

また、破碎性泥岩などの地山状況が悪い区間には特、(鋼製支保工: H-200)を基本とした2パターンを設定した。表-2に終点側泥岩区間支保パターン一覧を示す。

4-3 17km075m付近までの施工結果

PSワイヤライン工法による先進コアボーリング(L=120m/回)は、切羽前方泥岩の情報を把握するのに効率的かつ有効な調査であった。泥岩の局所的な鏡肌や泥岩層理間に挟在される凝灰質粘土など、掘削にあたっての要注意箇所を精度よく抽出し掘削事前の評価をすることが可能となった。

主にミニベンチカット工法にて、前方探査評価により設定した支保パターンを用いて掘削を行った。初期変位速度20mm/day以上では切羽離れ1D(D:トンネル掘削幅、約10m)程度で下半インバートストラットにより早期閉合した。また、20mm/day以下では下半吹付けインバートにより切羽後方(おおむね2D以上の離れ)で閉合した。その結果として、終点側泥岩区間1,700mのうち1,400m地点(17km075m)までは安全かつ経済的な支保パターンの設定ができた。

4-4 17km075m~17km105m付近の不良泥岩区間の施工結果

17km075m付近では、泥岩とその上位の凝灰角礫岩の地層境に湧水を伴う想定以上の破碎性泥岩が出現した。先進コアボーリングにより破碎性泥岩の出現は予測しており、もっとも剛性の高い支保である終点側泥岩-4パターンを用いて掘削したが、当該区間の初期変位速度は100mm/day、内空変位量は400mmを超過し、支保部材にも変位が発生した(写真-6, 7)。

17km092m下半インバートストラット設置直後のA計測結果を図-3に示す。初期変位速度は100mm/dayを超過

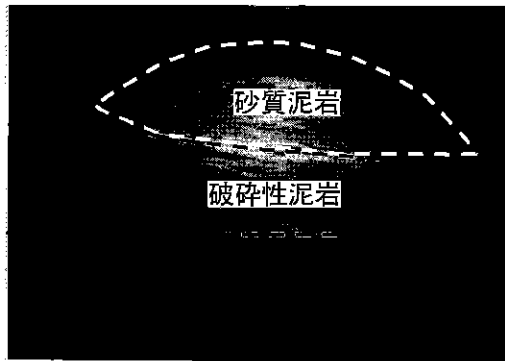


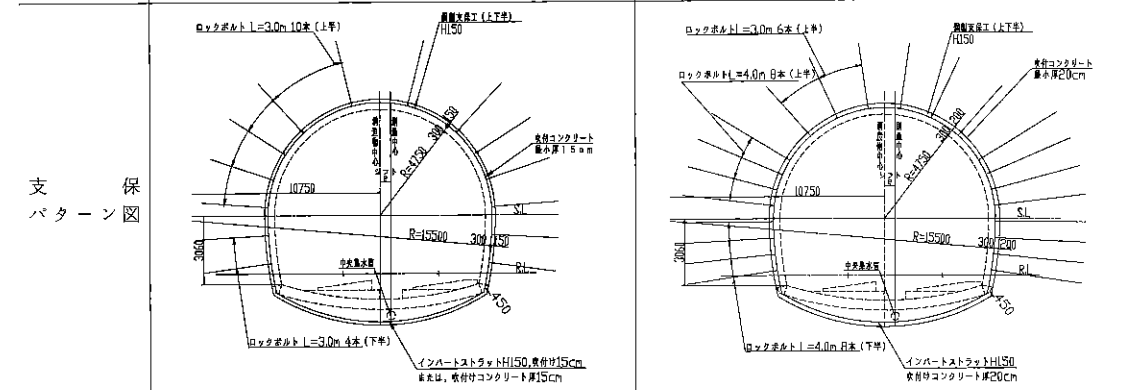
写真-4 切羽状況(16km080m)



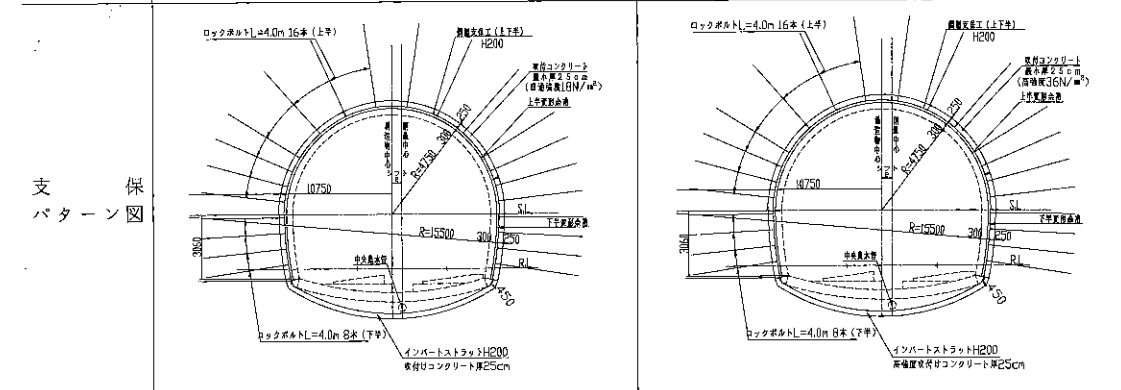
写真-5 PSワイヤラインコア(16km080m付近)

表-2 終点側泥岩区間支保パターン

支保パターン	$I_{sp1}$ (終点側泥岩-1の一例)	$I_{sp2}$ (終点側泥岩-2の一例)
鋼製支保工	H-150×150×7×10	H-150×150×7×10
吹付けコンクリート	最小厚 $t=15\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	最小厚 $t=20\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )
ロックボルト	$L=3.0\text{m} \times 14$ 本	$L=4.0\text{m} \times 16$ 本, $L=3.0\text{m} \times 6$ 本
閉合仕様	鋼製支保工: H-150×150×7×10 吹付けコンクリート: $t=15\text{cm}$	鋼製支保工: H-150×150×7×10 吹付けコンクリート: $t=20\text{cm}$
変形余裕量	無	無
軸剛性	3,534kN	4,434kN
支保内圧	0.764MPa	0.968MPa



支保パターン	特 <sub>sp3</sub> (終点側泥岩-3の一例)	特 <sub>sp4</sub> (終点側泥岩-4の一例)
鋼製支保工	H-200×200×8×12	H-200×200×8×12
吹付けコンクリート	最小厚 $t=25\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	最小厚 $t=25\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ 高強度)
ロックボルト	$L=4.0\text{m} \times 22$ 本	$L=4.0\text{m} \times 22$ 本
閉合仕様	鋼製支保工: H-200×200×8×12 吹付けコンクリート: $t=25\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ )	鋼製支保工: H-200×200×8×12 吹付けコンクリート: $t=25\text{cm}$ ( $\sigma_{ck}=36\text{N/mm}^2$ 高強度)
変形余裕量	上半75mm, 下半50mm	上半125mm, 下半100mm
軸剛性	5,834kN	10,334kN
支保内圧	1.241MPa	2.070MPa



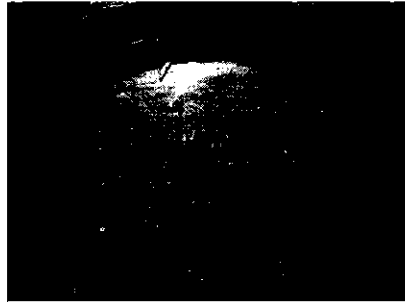


写真-6 破碎性泥岩(17km090m)

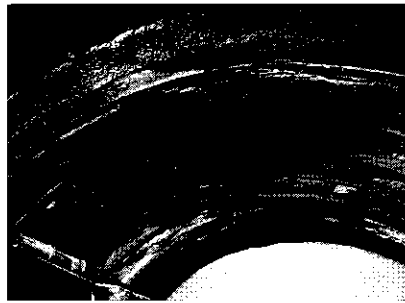


写真-7 吹付けコンクリートクラック

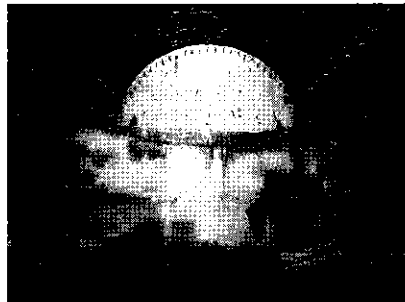


写真-8 変位抑制対策

し、脚部沈下量300mm、内空変位400mmと卓越した変位が発生したが、下半インバートストラットによる閉合後の変位は収束傾向を示しているため、終点側泥岩-4パターンの閉合後支保工軸剛性は充足していると判断できた。

また、ミニベンチカット工法では切羽離れ1D程度の下半閉合となり、大きな初期変位速度と比較して閉合時期が遅延するため、切羽離れ0.2Dにて超早期に閉合を行うことが可能な上半インバートストラット(H200、高強度吹付けコンクリートf=25cm)の採用を決定した。初期変位を最小限に抑制するため、ストラットは上半進行1mごとに設置した。

上半インバートストラットは初期変位抑制には大きな効果を発揮するが、ストラット撤去時に応力が集中し、内空変位が発生することが懸念された。破碎性泥岩ではトンネル周囲6m以上の範囲が塑性領域となることが以

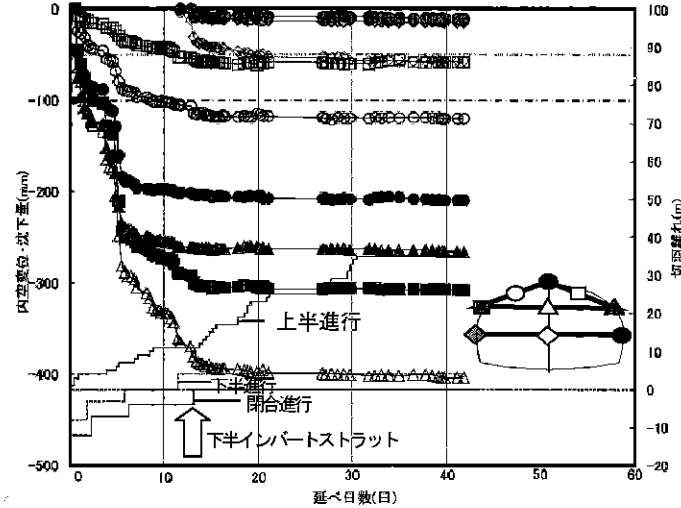


図-3 A計測結果(17km092m)

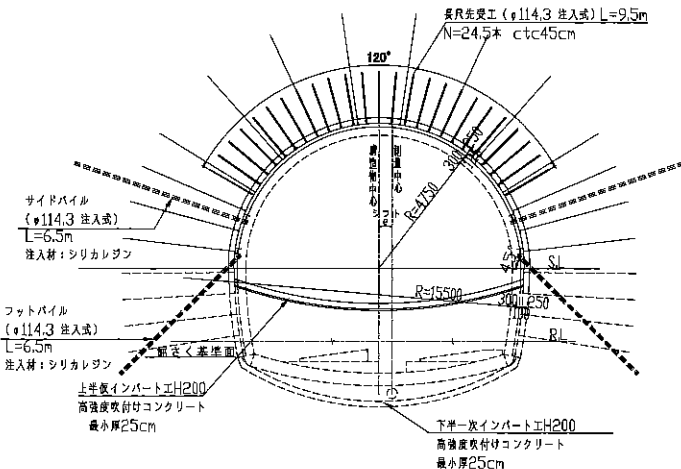


図-4 変位抑制対策

前に実施した16km641mの計測工Bの地中変位測定から想定されたため、ロックボルトによる縫い付け効果は期待できないと判断した。

そこで、上半ストラット撤去時の内空変位・脚部沈下抑制だけではなく、シリカレジンにより地山改良効果が期待できるサイドパイル工・フットパイル工を上半仮インバート撤去前に設置し、変位抑制対策を行った(写真-8、図-4)。

4-5 17km105m付近以降の不良泥岩区間の施工結果

上半掘削1m進行ごとの上半インバートストラットによる初期変位抑制、ならびにサイドパイル・フットパイルによる上半インバートストラット撤去時の変位抑制対策により、破碎性泥岩区間でも内空変位量は100mm以下、天端沈下量は約50mmに抑制し、縫返しなどの施工トラブルもなく、破碎性泥岩区間を突破した。

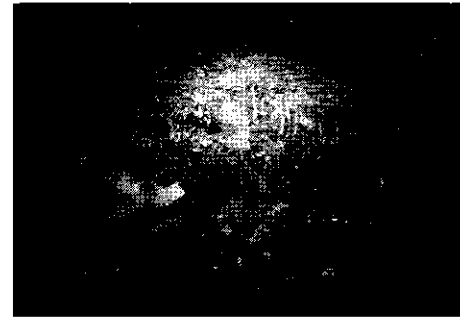


写真-9 破碎性泥岩(17km115m)

5. 3D地中変位計による一次インバートの変位計測

これまで、上・下半の変位に注力している反面、インバート部の変位に対する配慮が不足していたとの認識があり、インバート部に関する計測技術が求められている。そこで、本トンネルでは、今後の技術開発のため、3D地中変位計による一次インバートの盤膨れ計測を試みた(図-6、写真-10)。計測機器は、3軸の重力加速度計を連結した3D地中変位計を用いた。

図-7に盤膨れ計測(上半切羽離れに対する変位分布)の計測結果を示す。なお、計測は40日間行った。最終的に左脚部で約2mmの沈下が生じているものの、盤膨れと見られる(隆起)は約1mmと小さな数値であり、上半切羽離れ5Dにて収束確認ができた。本計測手法により、従来の人力による計測から自動計測により、容易に一次インバートの変位量を確認することが可能となり、収束判断もリアルタイムで行えるようになった。盤膨れが予測されるトンネルでは、有効な計測方法であると考えられる。

6. まとめ

当工区の泥岩は変化に富んでいるため、起点側泥岩区間の施工結果から、終点側泥岩区間では地質状況に合わせて、安全かつ経済的な支保パターンの選定が課題となった。課題の解決にあたっては、発注者および関係者と技術的な検討を行いながら、先進コアボーリングにより前方地山を事前に把握し計画的な支保パターン設定を行い、破碎性泥岩区間を突破することができた。

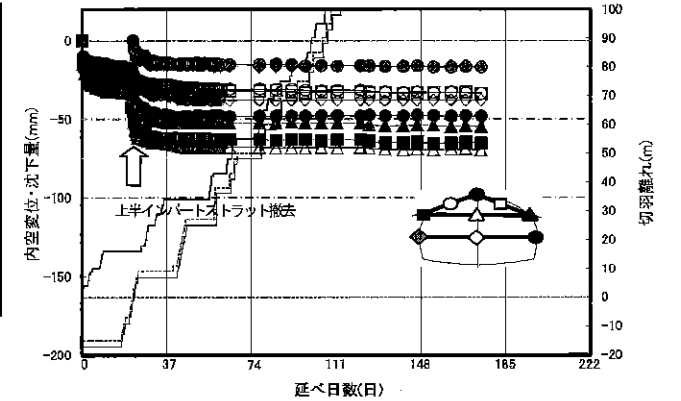


図-5 A計測結果(17km135m)

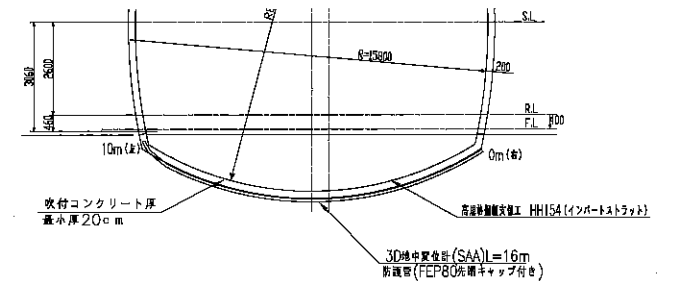


図-6 設置位置

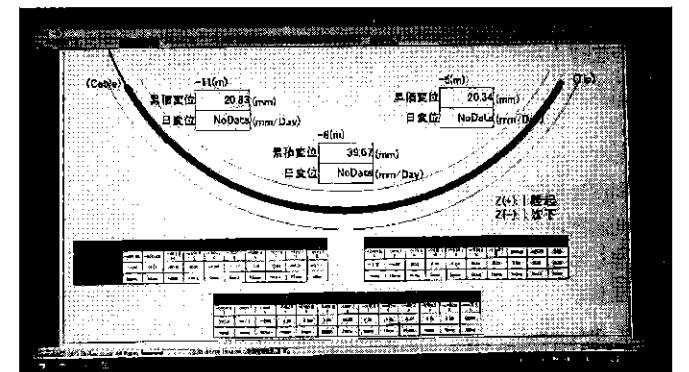


写真-10 計測画面

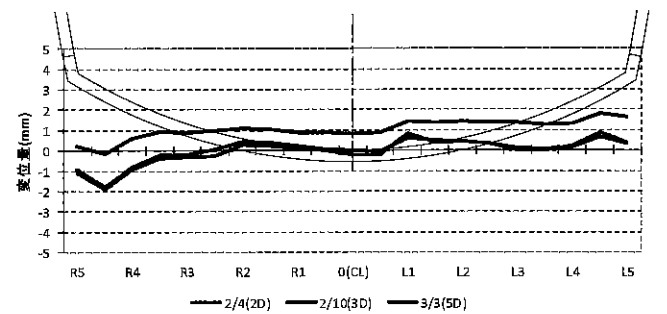


図-7 計測結果

第77回(都市)施工体験発表会最優秀賞

# 狭小施工スペースでの土かぶりの浅い密閉型泥土圧式ボックス推進工法の施工

## —東西線門前仲町駅改良土木工事—

東京地下鉄(株)改良建設部第三工事事務所 川 岸 康 人  
 東京地下鉄(株)改良建設部第三工事事務所 橋 口 弘 明  
 東京地下鉄(株)改良建設部第三工事事務所 山 中 耕 太 郎  
 (株)鴻池組 佐 藤 勇 造  
 (株)鴻池組 鈴 木 雅 史

キーワード：狭小施工スペース、小土かぶり、ボックス推進工法、プレキャストボックスカルバート

### 1. はじめに

東京メトロでは、旅客サービスの向上およびバリアフリー設備整備の一環として、ホームから地上までのエレベーターなどによる1ルート整備を推進している。東西線門前仲町駅は2面2線の相対式ホームとなっており、中野方面行きホームにはエレベーターを利用した1ルートを整備済みであるが、西船橋方面行きホームではホーム階から改札階までのバリアフリー設備は階段昇降機を利用しなければならないため、エレベーターを増設し更なる利便性の向上を図ることを目的としている。

東西線門前仲町駅は交通量の非常に多い永代通り直下に位置しており、地上部は門前中町商店街の店舗兼住宅が立ち並び、歩道では緑日が開かれるなどにぎわいのある街である(写真-1, 2)。

本工事の施工位置は店舗兼住宅の建物に非常に近接し



写真-1 地上状況

た歩道直下であり、水道・ガス・電力などのライフライン設備の埋設物が輻輳し、各埋設物の切り廻しを行うスペースがないため開削工法による施工が非常に困難であると判断し、非開削工法を採用することとした。

本稿では都市部における狭小施工スペースでのエレベーター通路新設にかかる施工計画および施工結果について報告する。

### 2. 工事概要

東西線門前仲町駅改良土木工事はホーム上の混雑緩和対策として大江戸線との乗り換え部のホーム拡幅、バリアフリー設備整備として中野方面ホーム(ホーム階から改札階)のエレベーター、改札階から地上までのエレベーター、西船橋方面ホーム(ホーム階から改札階)のエレベーターを整備するものである。

ホーム拡幅、中野方面ホームのエレベーター、改札階



写真-2 地上状況

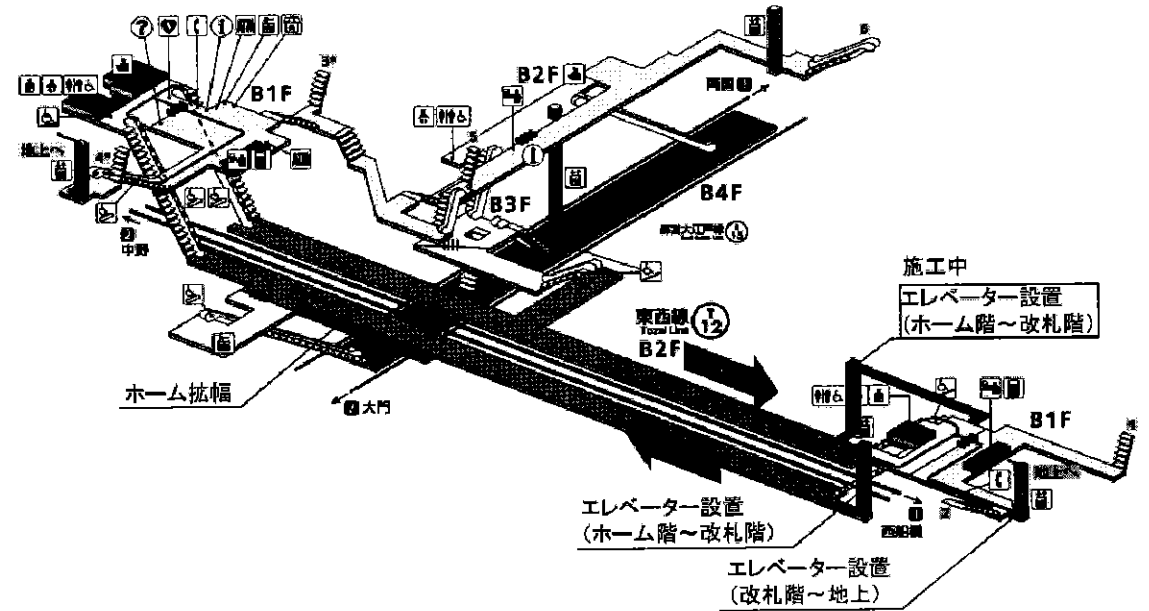


図-1 駅構内図

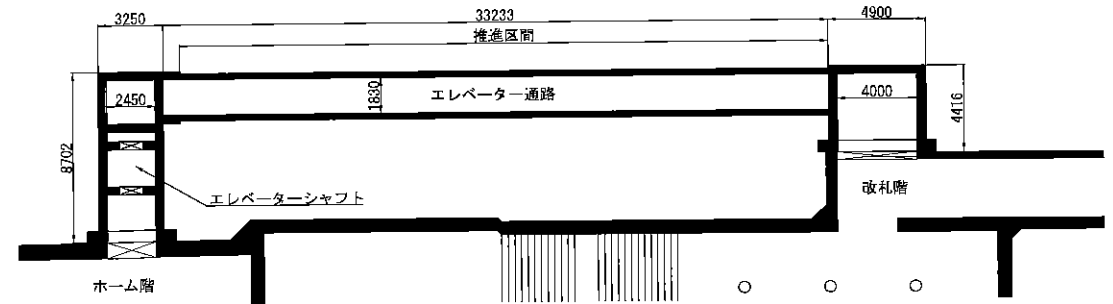


図-2 改良工事概要平面図

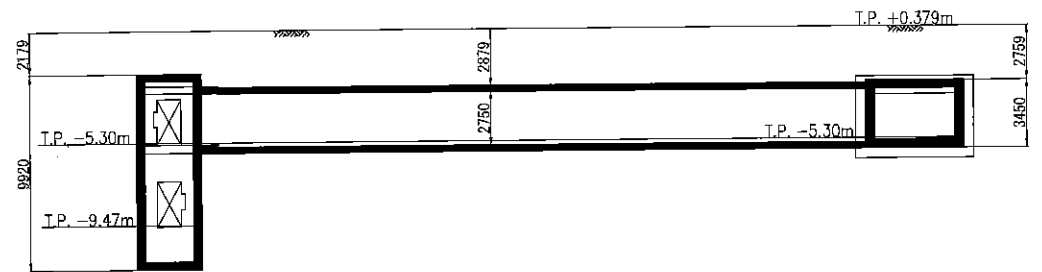


図-3 改良工事概要縦断面図

から地上までのエレベーターについては供用を開始しており、現在西船橋方面ホームのエレベーター整備に伴う土木工事を行っている(図-1)。

西船橋方面ホームに設置するエレベーターは既設のホーム階(T.P.-9.47m)と改札階(T.P.-5.30m)を結ぶエレベーターシャフト、エレベーター通路(延長29.570m)を築造するものである(図-2, 3)。

### 3. 施工環境

地上部は昼間・夜間ともに交通量が多い幹線道路である永代通り(写真-3)であり、交通管理者との協議により昼間は車線を開放し、夜間においても必要最低限の作業帯しか設置できない。

新設エレベーター通路直上には電力・通信・水道・下

水道・ガスのライフライン設備が輻輳しており、新設通路南側には電力の幹線である洞道および人孔のRCボックスカルバートならびに施工時の土留め杭が残置されている。また、新設通路北側は民地建物と近接しているため最小約3,350mmの施工幅しか確保できない(図-4)。

地質は永代通りが旧海岸線付近であることから非常に軟弱な沖積粘性土層となっている。



写真-3 永代通り交通状況

4. 仮設工法の選定

通路北側は土留め杭の一部が民地部に干渉してしまう

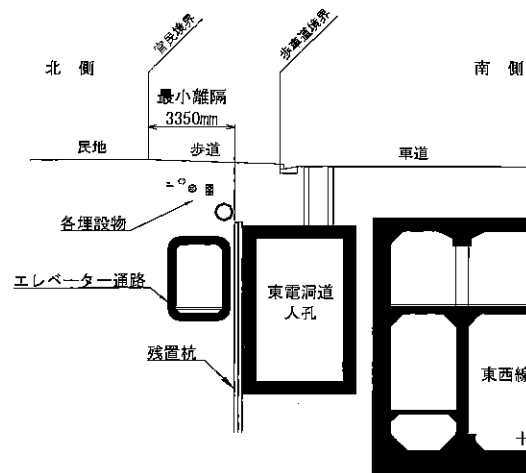


図-4 横断面

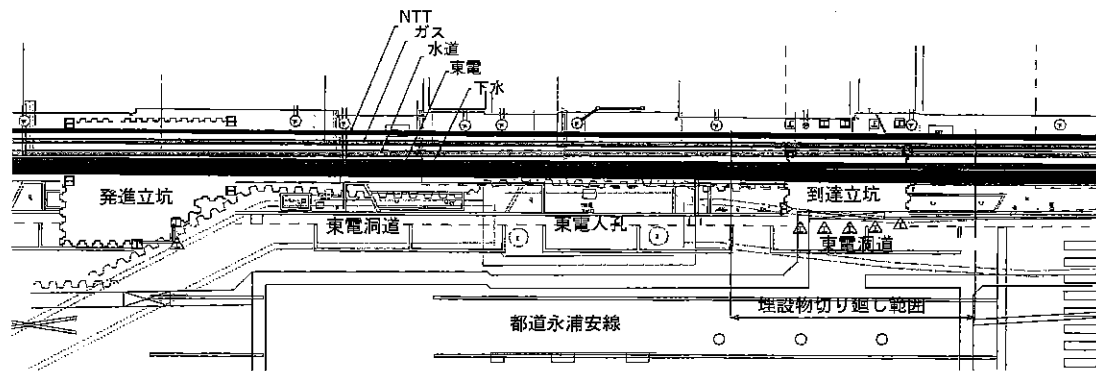
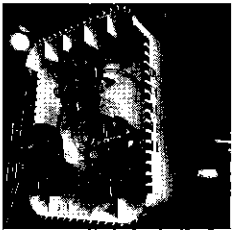
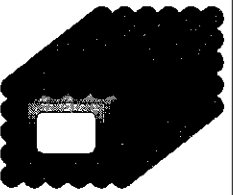
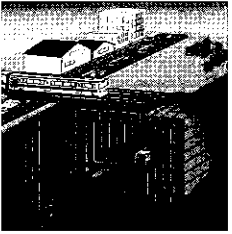
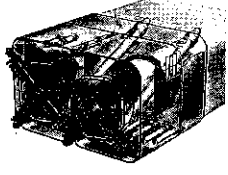


図-5 地上および埋設物平面図

表-1 非開削工法比較表

概要図				
工法	ボックス推進	パイプルーフ+現場打ち	エレメント牽引(HEP&JES等)	矩形シールド
工期	○	×	×	△
工費	○	△	×	×
近接施工	○	×	×	○
長所・短所	設備が小さく経済性に優位	パイプルーフ打設スペース確保困難	エレメント本体利用が困難・設備が過大	低土かぶりでも施工実績あるが、コストが高い
評価	○	×	×	△

ほか、土留め杭打設のための仮覆工を設置するスペースがない。通路南側は電力の洞道があり、通路と洞道人孔の離隔が狭小なため、人孔を利用した仮設計画について洞道管理者と協議を行ったが、重要幹線であり建設年次も古いことから洞道上への杭建込みの承認を得られず断念せざるを得なかった。

また、歩道に輻輳している埋設物を車道側へ大きく切り廻す検討も行ったが、民地への供給管路が多数あり、埋設物の防護が煩雑になるほか工事費と工事期間が多大となってしまう。

以上のことより非開削工法を採用することとし、埋設物の切り廻し範囲を最小とするため、到達立坑部のみ切り廻すこととした(図-5)。

非開削工法の比較については表-1のとおりであり、矩形推進工法となる密閉型泥土圧式ボックス推進工法を採用することとした。

5. 防護工の検討

前述のとおり通路は地上建物および埋設物と近接しており、かつ小土かぶりであることから推進工法の影響を低減するため、推進工に先行して小口径150mmのパイプルーフを通路北側および通路上部に施工し、軟弱地盤の緩み対策として通路方向に薬液注入による地盤改良を行うこととした(図-6)。

6. 密閉型ボックス推進工法の特長

6-1 推進機

推進機の構造を図-7に示す。

密閉型泥土圧式ボックス推進機の掘削機構は、偏芯カッタが取り付けられた3軸の自転軸および公転軸を持つ遊星歯車機構により構成されている。この機構により正方形断面を1周の公転で掘削可能としている。しかし、通路



図-6 防護工概要図

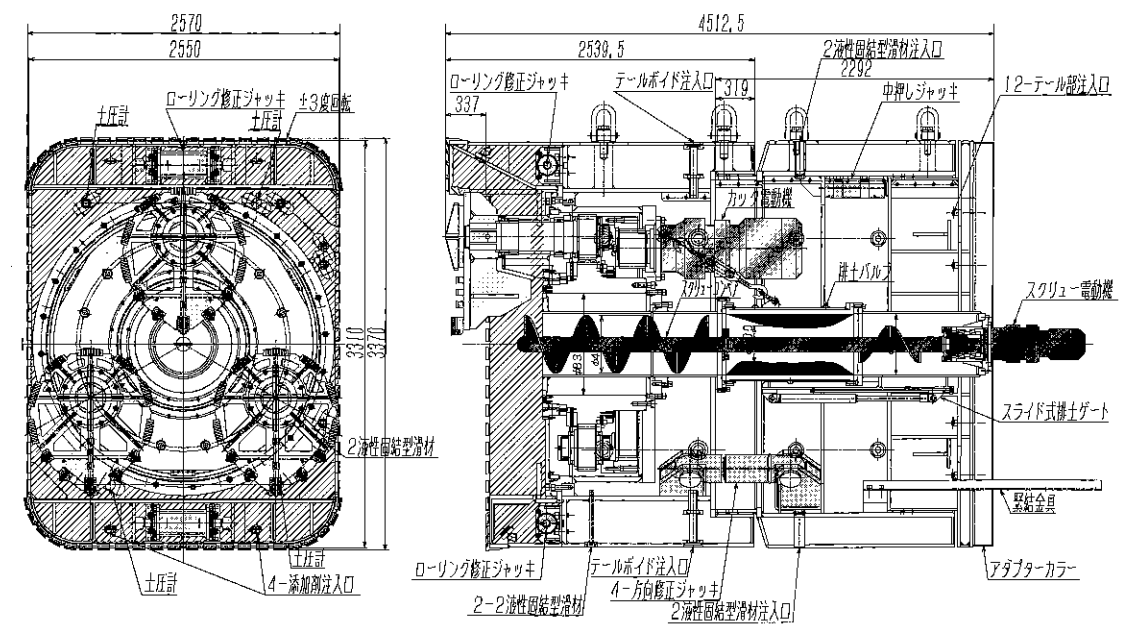


図-7 推進機構造図

形状は長方形断面であり、かつ、施工スペースが制限され推進機の下下に未掘削部が残ることから、上下にカッティング刃口構造を追加し圧入抵抗を低減することとした。

矩形断面での推進工法では掘進時のローリング現象が本体構造物の品質に大きな影響を与えるため、掘進時にローリングを修正できるよう掘進機の隔壁部に内蔵したジャッキで前方フォードを3度回転可能な構造とした。

排土機構は切羽の安定を図るためφ470mmの軸付きスクリーコンベヤを搭載し、切羽泥土圧の制御と安定した連続排土を行える機能を持たせている。また、排土エアバルブを設けることにより噴発防止および、転石や流木などの支障物によりスクリーコンベヤが閉塞した場合、スクリーを引抜きその支障物を安全に取除く機能を有している。方向制御機構は中折れジャッキ(有効ストローク80mm)により可能とし、推進機後方に中押しジャッキ(有効ストローク300mm)を設けることにより推進力が急激に上昇した場合に推進機鋼殻だけを前進させることができる構造とした。

6-2 プレキャストボックスカルバート

プレキャストボックスカルバートの構造を図-8に示す。プレキャストボックスカルバート(外寸2,390mm×3,310mm、内寸1,830mm×2,750mm、b=280mm、L=1.35m)は狭小な施工スペースを考慮し側壁および上下床板の通路横断方向にプレストレスを導入し部材厚を薄くしている。

1 函体延長は1.35mとし、地上作業帯の制限から60tラフタークレーンで搬入可能な重量(10t以下/函体)とした。地下水位が高いことから止水のためシール溝を2重とし、さらにカルバート内縁にコーキング溝を設け、上下側版中央には推進時周辺摩擦低減のための滑材および裏込め注入用のグラウトホールを設置している。

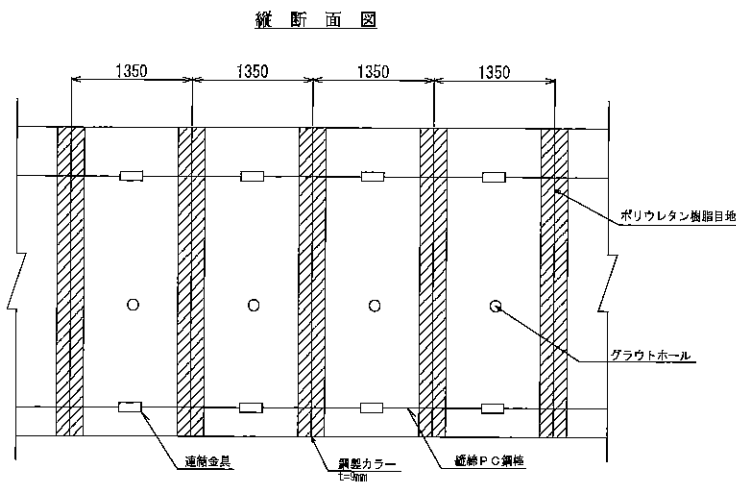
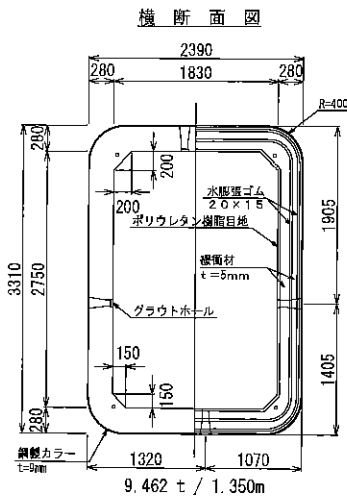


図-8 ボックスカルバート構造図

カルバート外縁隅角部は曲線形状としエントランスパッキンの破損防止および、端部の摩擦低減を図る工夫を行った。

7. ボックス推進工法の施工

7-1 掘進機の搬入

発進立坑が狭小であること、総重量60tを超える掘進機の陸送を鑑み、掘進機制作過程から分割構造とし、発進立坑内にて組み立てる方法とした。また、掘進機分割時の最大重量が34tであり、夜間2車線規制の作業帯(幅員約7m)のため300tオールテレーンクレーンが必要であったが、作業エリアが狭く相番クレーン2台の配置が困難であったため、特殊リフトを使用しブームの移動・組立てを行った(写真-4)。

7-2 設備配置

昼間は常設作業帯の設置が不可能であること、夜間は2車線規制の作業帯しか設置できないことから泥水プラントは車上とし、ボックスカルバート運搬車・排泥運搬



写真-4 ブーム組立状況

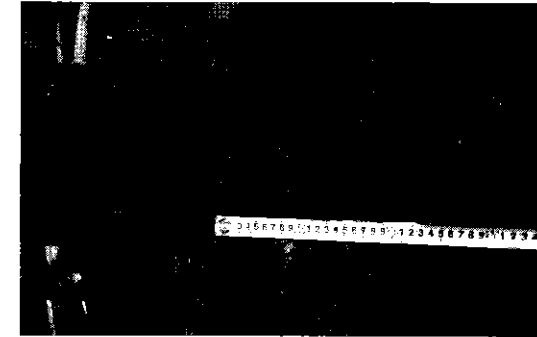


写真-5 支障物

車の出入りを考慮し車上プラント台数を最小とするため、水タンクは到達立坑に設置した。

ボックスカルバートは埋設物が支障し直上からの搬入が不可能なため、横引きトラバサを設け発進立坑の車道側から搬入し、推進架台まで移動させることとした。

7-3 推進力管理

推進力を伝達するための後方ジャッキはボックスカルバート左右、上段・中段・下段の計6本(1,500kN/本、総推力9,000kN)配置し、各々の推進力を管理することにより掘進中の方向修正に対応できる構造とした。

計画推進力について切羽抵抗値および函体抵抗値から最大推力は2,643kNとし、支圧壁背面地山の許容支持力5,144kNおよびボックスカルバートの許容圧縮応力38,475kN以下となることを確認した。

7-4 掘進時の支障物

施工位置は旧海岸線付近に位置しており、立坑掘削時の土砂内に転石や流木(写真-5)が存在することは確認していたが、これら支障物が想定より多く掘進中にスクリーコンベヤが閉塞した。そのため軸付きスクリーを撤去し排土エアバルブによる排土管理に変更し掘進を継続した。通路南側の電力洞道残置杭との離隔は50mmであったが事前の測量と掘進中の計測・方向修正により無事通過することができた。

7-5 施工サイクル

設備配置は車上プラントであり夜間の常設作業帯設置後からの準備作業となるため、作業帯設置・覆工板開閉作業・設備投入作業・設備配管接続に時間を要し、実推進作業時間は1日あたり1時間程度と非常に短い施工時間となった。

掘進速度について、掘進初期は10~25mm/min、掘進後期は25~30mm/minであり、平均して25mm/minを保持することができ、平均1日あたりの施工量はボックスカルバート1函体分(L=1.35m)以上となる1.47m/日となった。

7-6 周辺地盤への影響

掘進中の周辺地山への影響を管理するため路面の水準



写真-6 掘進機到達状況

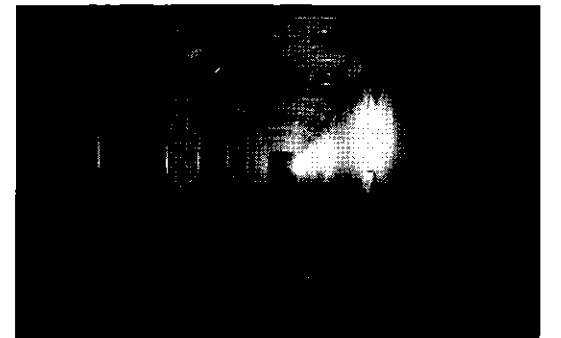


写真-7 掘進完了状況

測量および通路上部のパイプルーフに設置した変位計の自動計測を行ったが、路面変状は1~2mmと測量誤差程度であり、変位計についても最大変位1mmであった。

7-7 掘進完了

到達鏡切時において出水が懸念されたため、掘進機側より硬化薬液を上下左右および切羽前面に充填することにより出水を回避することができた(写真-6)。掘進機の搬出は、搬入時と同様に分割して搬出を行った。

掘進完了後の状況を写真-7に示す。

8. おわりに

本施工において得られた知見は以下のとおりである。

- ① 都市部狭小スペースでの小規模トンネルにおいて、工程・コストともにボックス推進工法は有効である。
- ② 路上作業エリアが狭小であっても車上プラントとすることにより施工が可能であるが、日々の準備作業に時間を要するため適切に工期設定を行う必要がある。

最後に、密閉型泥土圧式ボックス推進工法を地下エレベーター通路構築に採用したが、本現場で得られた知見を活かし、今後もエレベーターを利用した1ルート整備を推進していきたい。

# 1月号予告[1月1日発売予定]

- 旧北陸本線 倶利伽羅トンネル
- 北海道横断自動車道 天狗山トンネル
- 和歌山市中平井線 ふじとトンネル
- 東邦ガス 緑浜第二吐出線
- さく岩機の技術的変遷
- 事例調査にもとづく鋼製支保工の機能と効果の検証(1)
- 【連載講座】
- トンネル新技術への挑戦(2)

\*内容等は変更になる場合がございます

## 編集後記

◆2015年も今月で終わりです。今年は、国立競技場の建替えやエンブレムなどのオリンピック関連の話題、「平成27年9月関東・東北豪雨」などの災害、安全保障関連法案の可決、ラグビーW杯での日本の活躍、「ノーベル生物学・医学賞」と「物理学賞」の受賞など、さまざまな出来事がありました。◆さて、今年も『トンネルと地下』では、多くの方にご多忙な業務の合間を縫ってご執筆いただきました。3月号では、「復興に貢献するトンネル技術—三陸沿岸道路を柱とする復興支援道路網—」と題して特集を組みました。5月号では、3月に開業を迎えた北陸新幹線(長野・金沢間)のまとめを、今月号では今月開業を迎える仙台地下鉄東西線のまとめをそれぞれ紹介しています。8月号では、日本トンネル技術協会の設立40周年記念号として、記念事業の一部を紹介するとともに話題のビックプロジェクトの現況、保有トンネルの維持管理上の課題を紹介しています。詳しくは、総目次(67p)をご覧ください

◆来年は、北海道新幹線(新青森駅・新函館北斗駅間)が開業します。また、中央新幹線(東京—名古屋間)、外環道(東名—関越間)などのビックプロジェクトも引き続き工事が行われます。来年もみなさんのお力をお借りしながらより充実した誌面を提供するとともに、みなさまにとって良い1年になることをお祈り申し上げます。

(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46巻 第12号 [通巻544号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成27年11月20日 印刷

平成27年12月1日 発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会  
会長 佐藤 信彦

〒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 新協印刷株式会社

## 本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

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

## 購読料

1冊 1,575円(送料108円)  
(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

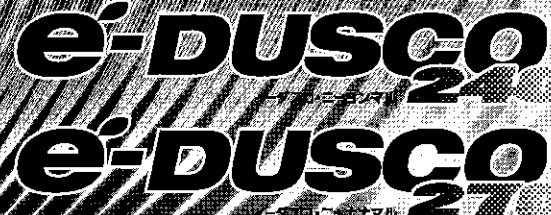
振替 00110-8-190072

## 本誌広告のお申し込み方法

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

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

## トンネル工事用 電気集じん器



たった37kWで  
2750m³/min



新版・換気技術指針でも全ての断面、全ての延長に対応。

## 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



48m²の設置例

## 希釈封じ込め方式での計算例

- ① 粉じん発生量  
 $Fo = 360 \times 22m^3/h \times 0.75 = 5,940 (mg/min)$
- ② 所要換気量  
 $Q4a = \frac{5,940}{3.0-0.07} = 2,027 (m^3/min)$   
 $Qa = 54.0 + 2,027 = 2,081 (m^3/min)$
- ③ 集じん機の選定  
 $Qs = 1.2 \times \frac{2,081}{0.93} = 2,686 (m^3/min) \leq 2,750 (m^3/min)$

品名	e-DUSCO240	e-DUSCO270
型式	FTE2400-E	FTE2700-E
集じん装置の容量	1800・2100・2400m³/min 任意設定の4モード	1800・2100・2700m³/min 任意設定の4モード*
全長*	7411mm (サイレンサー含む)	
全幅	2350mm	
全高*	3700mm	
本体重量	10t	11t
電源仕様	3相3線400V58kVA	3相3線107kVA
ファン動力	30kW	37kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意 (伸縮風管接続時同値)	23kW・28kW・40kW・任意 (伸縮風管接続時同値)
送風回数*	2.4回/分	
集塵ダスト処理	溜式	
集じん効率*	95%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 入口ダクト及び絞りダクトは含まれません。\*2 台車の高さは含まれません。\*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測定した値です。\*5 任意設定にて2,750m³/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/

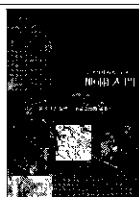
本社  
〒100-8370 東京都千代田区丸の内2-2-3 第三営業部 ☎03-3212-6575

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

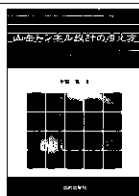
トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき「地相」について、施工事例をもとに、豊富な図版と地形図を用いて、ていねいに解説した、両面的な入門書。



山岳トンネル設計の考え方

今田 徹 著  
3,200円+税 B5判

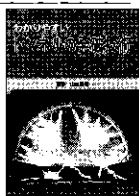
地山の力学状態を表す理論式から導かれる地山挙動の特徴を図表などを用いて手際よく説明した。トンネル掘削における工学的な理解を深化させる一冊。



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

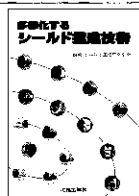
火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げ、また、火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく解説。



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  
2,300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。



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。



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い解説を与えた。



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。



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。



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。



地質工学概論

菊地宏吉 著  
4,757円+税 B5判

土木構造物や岩盤構造物の計画・調査から設計・施工において必要と地質や岩盤に関する情報を得るために必要な理論および技術を平易に解説した。



地下水の科学 I～III(全3巻)

P.A.ドミニコ・R.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慮、汚染地下水など環境問題を地下水理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。



- 第I巻 地下水の物理と化学 4,078円+税 B5判
- 第II巻 地下水環境学 4,272円+税 B5判
- 第III巻 地下水と地質 3,689円+税 B5判

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

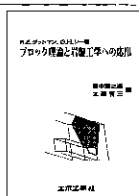
シールド工法について変遷から将来の開発の動向にいたるまで広範囲にわたり掲載した。シールドトンネルの計画・設計・施工に用いるときに参照しやすくまとめた。



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。



山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 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。



ジオテクスタイル設計マニュアル

T. A. Haliburton・J. D. Lawmaker・V. C. McGuffey 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。



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事項について詳述した。



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。



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

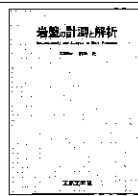
トンネル工事の際の労働衛生と環境保全の検討に有用な項目について、医学分野の知見から職業性疾患や有害環境条件、健康障害、衛生管理、保護具などを解説した。



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。



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事例をまじえてわかりやすく解説した。



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・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。



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。

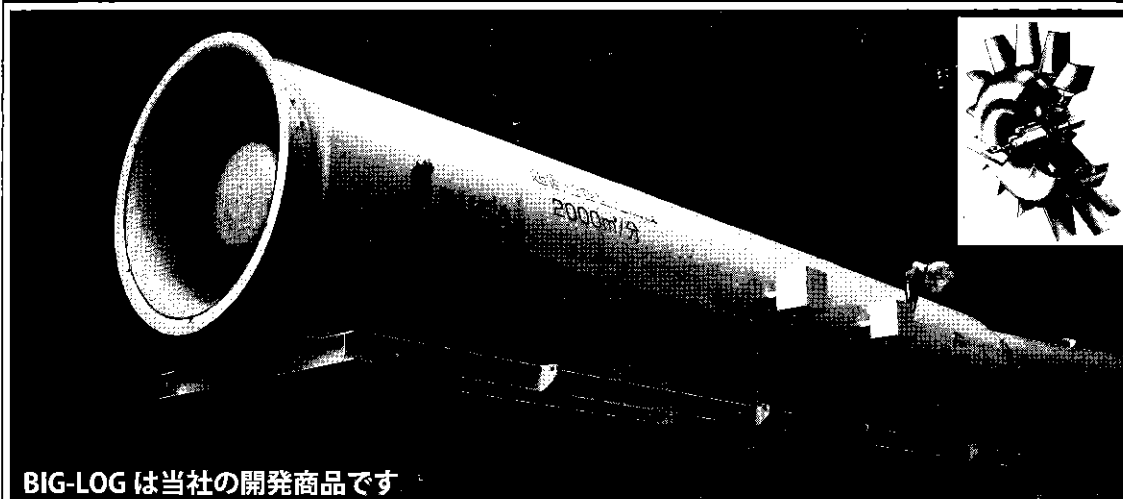


書籍のお申し込み

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。

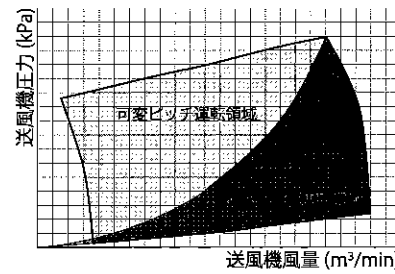
(株)土木工学社  
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂  
TEL: 03 3267 2888 FAX: 03 3267 2807

# 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ー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 1500m³/min × 3.5/2.6kPa	60kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa 2000m³/min × 1.76/1.76kPa	80kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa 3000m³/min × 1.8/2.45kPa	110kW × 4P × 2 台 50/60Hz 400/440V	74 dB
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性を活かした「省電カンシステム」(「Res」)を開発しました。

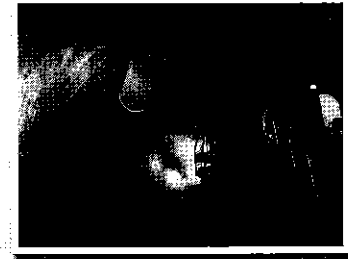
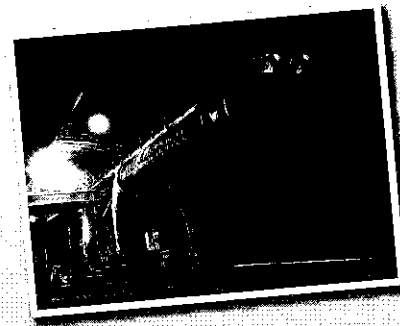


菅機械工業株式会社

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	愛知県名古屋市中区九番町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

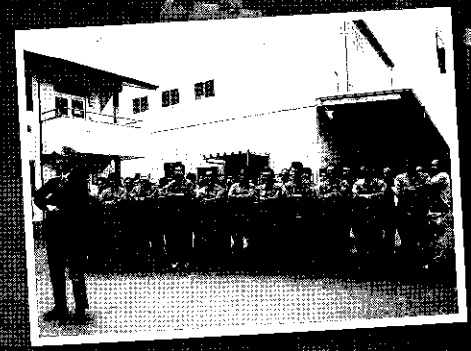
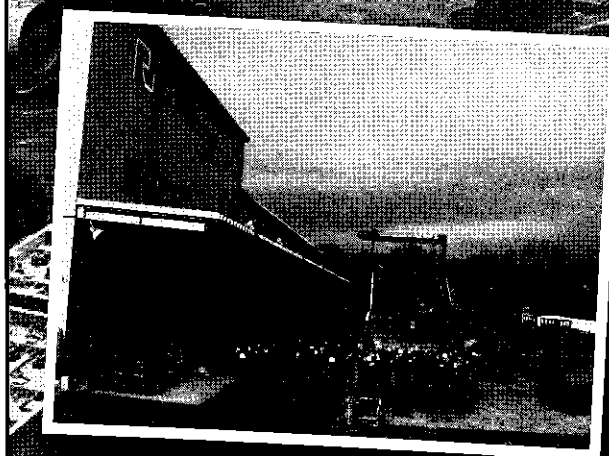


大型集じん機 300 台！  
送風機 650 台！  
世界最大の換気設備保有メーカー！

いままでにない技術。いままでにない挑戦。

# なんとかする力

「トンネル環境」のトータルソリューションは当社へお任せください。



1977年創業から、平素よりお世話になっております。  
昨年10月、39期より西村司が代表取締役社長に就任し、新しい「風」とともに全社員一丸で邁進しています。  
手に掴めない「流」体を「機」械で「エンジニアリング」する会社として、様々な分野の『最適環境の創造』をして参ります。

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)



# ビットで杭を斬る!

三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。



## 特長

切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。

泥土圧・泥水式どちらも適用可能。

切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。

周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

## 施工実績



φ2680泥土圧シールド  
H型鋼(300H)×8本  
鋼矢板(IV型)×2面



φ4240泥土圧シールド  
H型鋼(350H)×6本  
鋼矢板(V型)×2面



φ4680泥土圧シールド  
H型鋼(250H)×2本  
鋼矢板(III型)×2面



φ2780泥水式シールド  
RC杭(φ800, φ1000)×6本  
PHC杭(φ350)×6本



φ2690泥水式シールド  
鋼矢板(II, III型)×12面

## 三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社 都市開発部

神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号 TEL.078-672-2872 FAX.078-672-2869  
東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092 FAX.03-6716-5833

定価 1,620円  
本体価格1,500円

雑誌06619-12



4910066191252  
01500