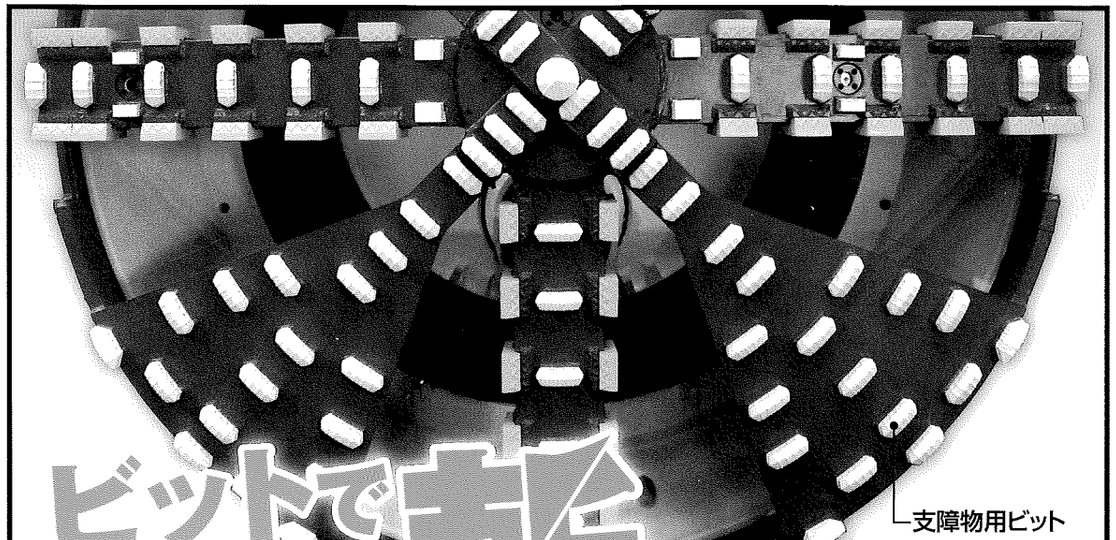
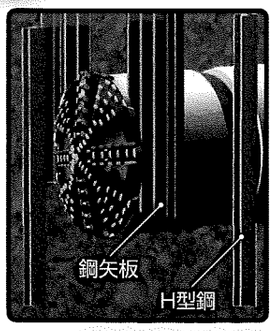
トンネルと地下　平成24年8月1日発行第43巻第8号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



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て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。

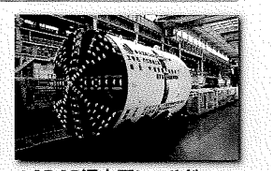
特　長

- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 切削片はほとんどがチップ状であり、コンベア搬出が容易。
- 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。

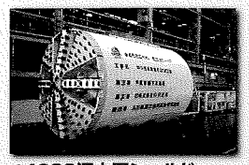
施工実績



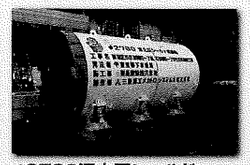
φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ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泥土圧シールド
RC杭(φ800,φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本

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 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-8
4910066190828
01500

月1日発行(毎月1回1日発行)　第43巻第8号　通巻504号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 8

vol. 43
no. 8
2012

Tunnels and Underground

面早期閉合の合理化施工の取組み
直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事
遅延解消のための地下鉄駅2面3線化計画
径推進の曲線施工位置検知システムの開発
表面に突起物を設けた鏡ボルトの開発

日本トンネル技術協会誌

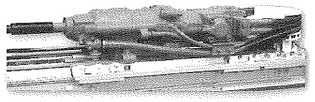


様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

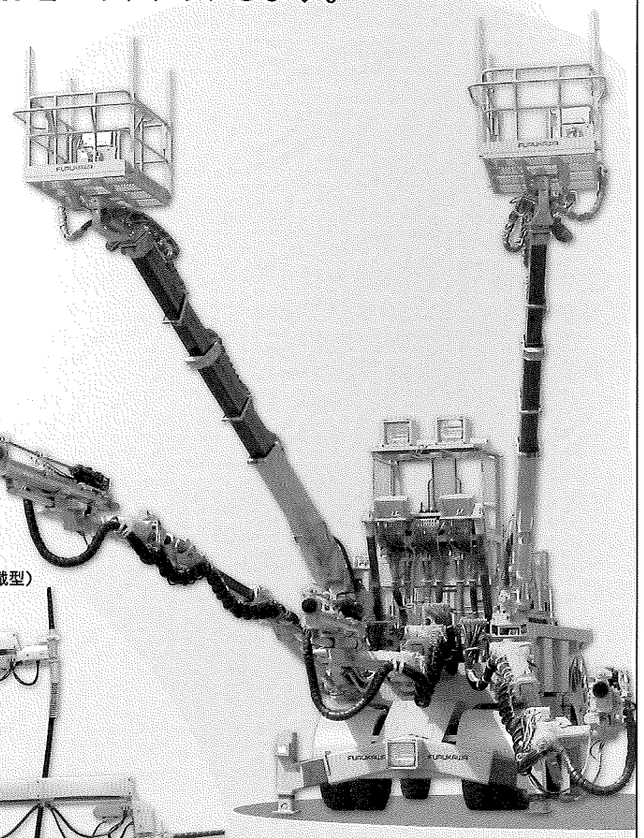
ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/JTH3200R

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

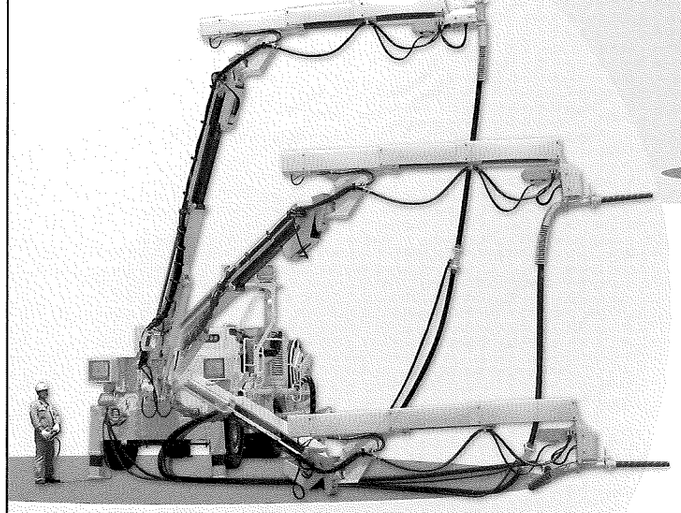
新世代型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載。



◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14,270 mm	14,760 mm
全幅	2,690 mm	3,140 mm
全高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高さ	8,490 mm	8,840 mm



自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)
CJM2200E-Ⅲ



◆CJM2200E-Ⅲ 主な仕様	
質量	24 ton
全長	15,600 mm
全幅	3,000 mm
全高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 x 高さ	13.3m x 10 m

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

古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 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
札幌支店☎011-786-2222　東北支店☎022-384-8991　関東支店☎027-326-9611　名古屋支店☎0568-77-7700
関西支店☎06-6475-8221　広島☎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

Me 工法 Metal eco
特許第3882118号
NETIS 番号:KT-080027

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

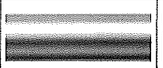
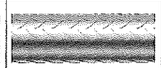
「Me工法」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

特徴② 接続部拡径（ソケット方式）により鋼管の薄肉化

「Me 工法」は接続部拡径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(Φ76.3×4.2～4.5 ㎜)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」の選択が可能です。

		Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)
形状		φ 76.3 (t=4.2)	φ 76.3 (t=4.2)	φ 76.3 (t=4.5)
概要図				
付着耐力 (kN/m)	プレミックスモルタル	50	150	500 以上
	ウレタン	75	100	250
	シリカレジン	25	50	130

※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/mm²)
ウレタン:4 倍発泡(qu:5±0.5N/mm²)、シリカレジン:3 倍発泡(qu:4+1.0/−0.6N/mm²)

COMING SOON!
新型「Me-fix」
近日公開

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部:東京都江東区青海2丁目4番32号　TEL 03−3570−5223
大阪土木営業部:大阪市北区西天満3丁目2−17　TEL 06−6363−1884
技術部　:東京都江東区青海2丁目4番32号　TEL 03−3570−5186

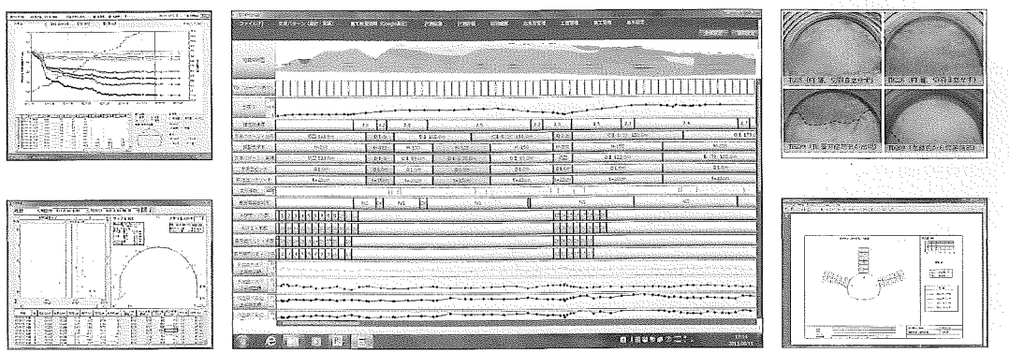
This August Debut

新時代の切羽情報管理システム

Cyber NATM 2nd Generation

CYBER NATM　*Horus*

トンネル管理の原点はやはり巻物であった

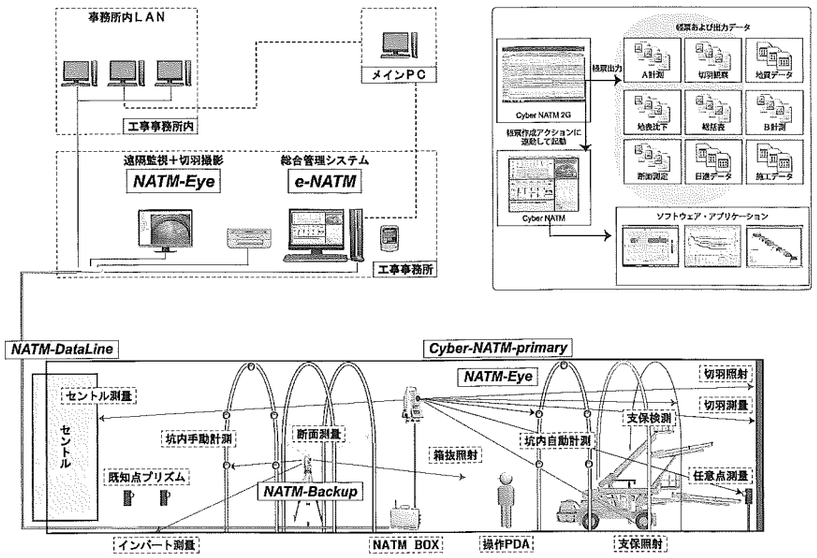


トンネルアーカイブス
IT Scroll management

トンネル連続情報を可視化する

トンネル技術情報を共有化する

トンネル施工情報を一元化する



株式会社　演算工房　*ENZANKOUBOU CO.,LTD.*

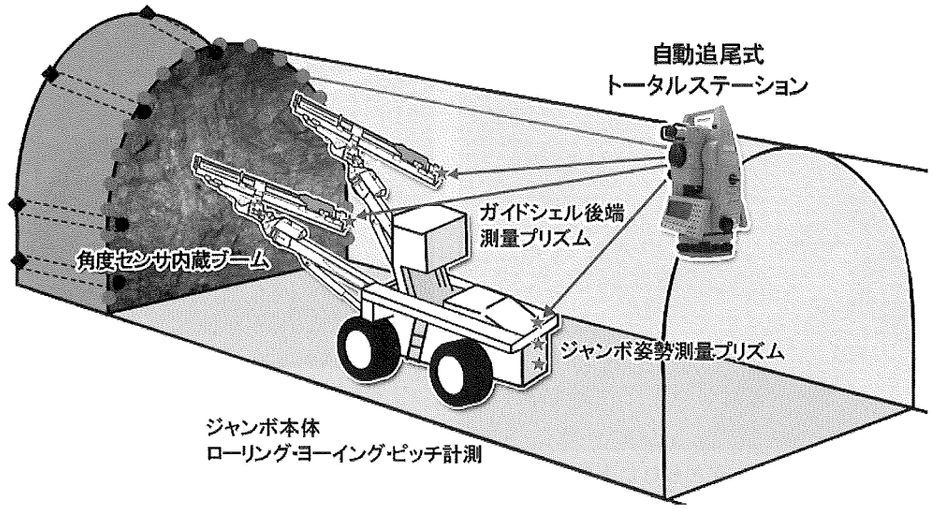
■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地３
TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

NETIS登録番号:KK-100049-A

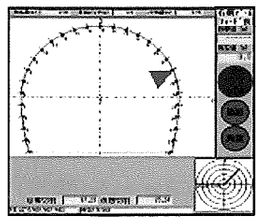
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器（トータルステーション）との連動により、外周装薬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

1. 最も重要な外周孔（追尾視準範囲）に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシ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。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

マック 株式会社
〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

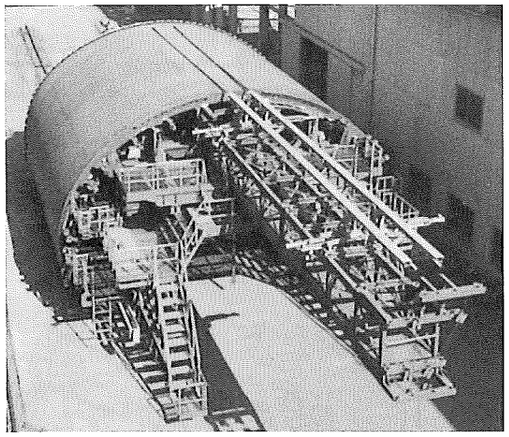
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
特機部
TEL:03-3231-6966　FAX:03-3231-6993

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田(かいた)工場

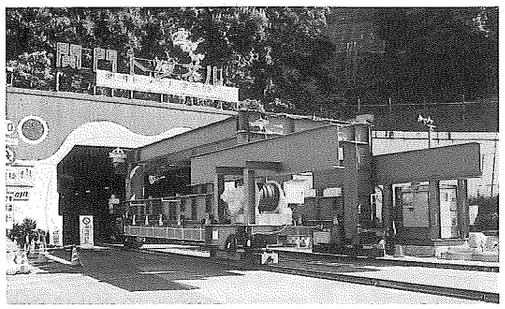
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 中流動コンクリート用ステンレスフォーム
　クラウン部締め固めバイブレーター

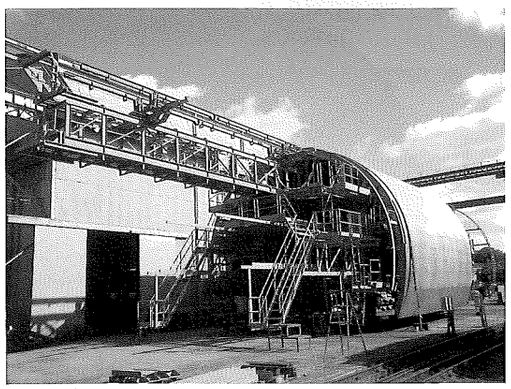


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置



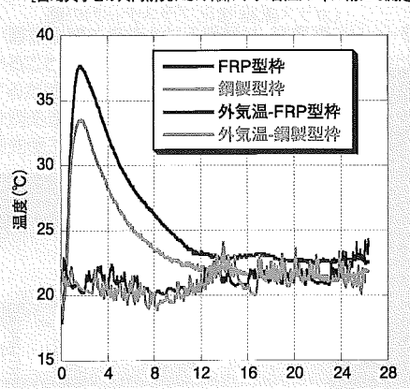
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

**常に顧客のニーズに応えるため，安全性と施工効率を追求し，
高品質な製品を納めさせて頂きます．**

覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

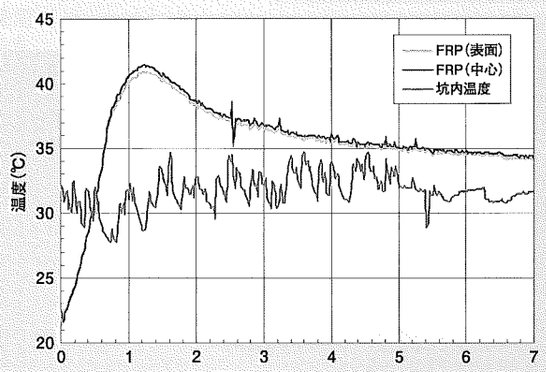
[宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定]



■覆工コンクリート温度の比較

◎コンクリート中心温度と型枠背面の温度差が1～2℃
⇒温度ひずみによるクラック低減

[㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測]



■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

特　徴

1. すぐれた断熱効果により、保温養生を実現(鋼製型枠に対し熱伝導率1／150以下)
2. 外気の温度変化に対する影響が少なく、寒冷地でも最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指定工場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重(森本工業)　TEL:0776-51-2410

パターンボルトのGRP化

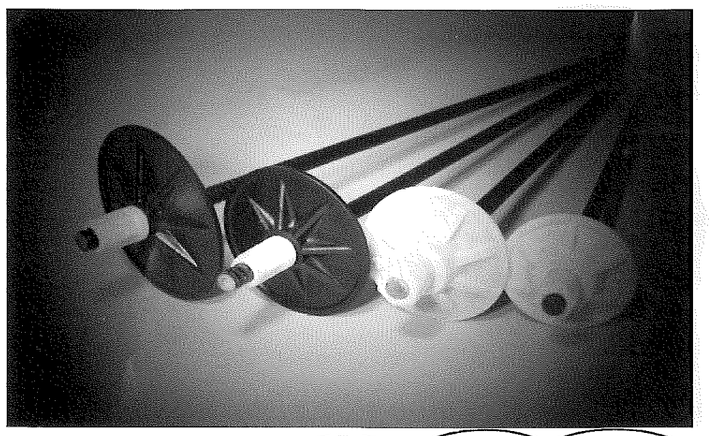
POWERTHREAD

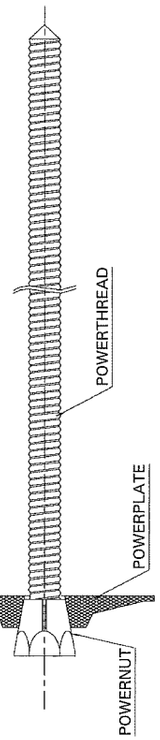
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

耐食機能に優れるロックボルト

POWERTHREADは，POWERNUT/POWERPLATEを組み合わせることにより，
全てGRP製に！！

※ GRPとは，Glassfiber Reinforced Plastic
(ガラス繊維強化プラスチック)の略.





- 棒鋼型ロックボルトと同等の耐力を有する.
- 軽量である.
- 腐食しない．錆びない.
- 導電しない．耐電しない.
- 製造過程でのCO_2排出量が少ない.

環境にやさしいロックボルトシステム

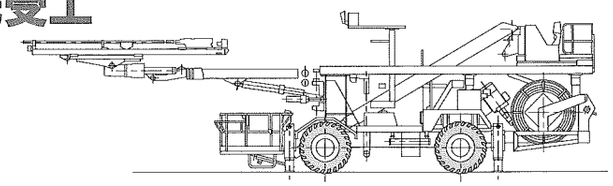
KATECS 株式会社 カテックス
建設資材事業部
ホームページ http://www.katecs.co.jp/

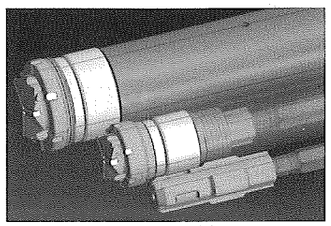
技術営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
東京支店
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

All Graund Fastening;
Long-Distance,.Fore-Pilling Method

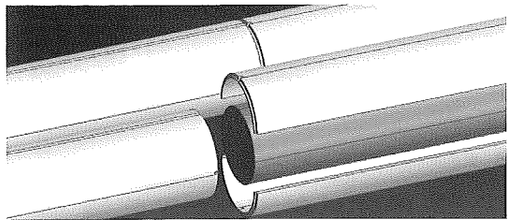


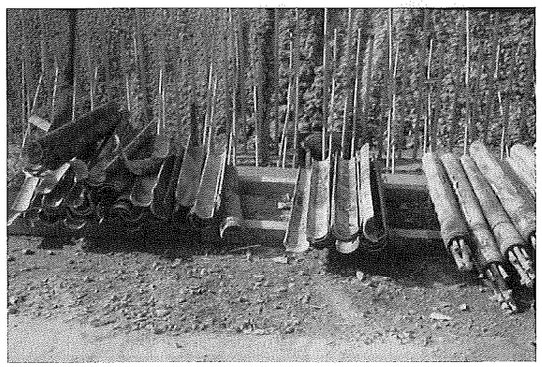


AGF-Me工法

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

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



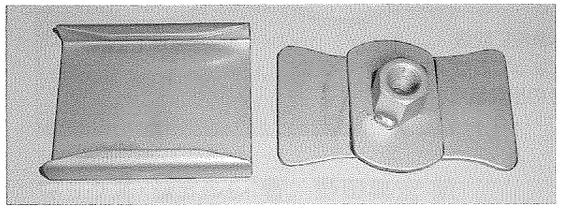


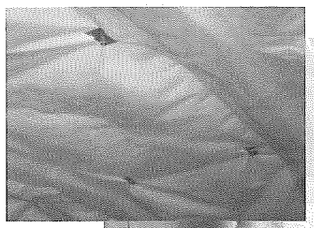
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

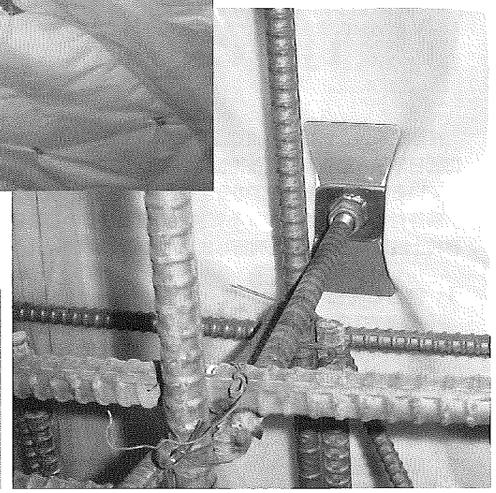
TKグリッパー

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

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



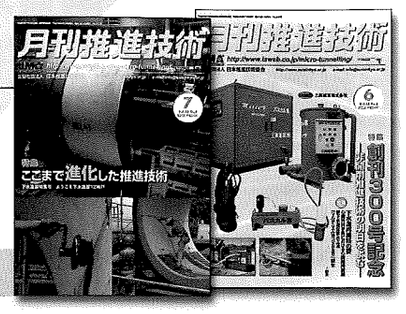




東邦金属株式会社 TOHO KINZOKU Co., LTD 東京営業部
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒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)

月刊推進技術
定期購読のご案内



定期購読料金 **12,000円**（@1,000円/月×12ヶ月　税・送料込）

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_2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をしております。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、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039 加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円（毎月1冊×12ヶ月　税・送料込）をお支払いください。

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

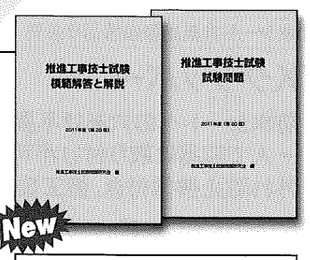
定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105　株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail akasaka@lsweb.co.jp

推進工事技士試験　過去10年間（平成14～23年度）

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



推進工事技士試験は、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㈱日本下水道管渠推進技術協会（現㈶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、管渠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えて、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。

平成23年度版発売中!!

1．内容と特長
- ○過去10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。

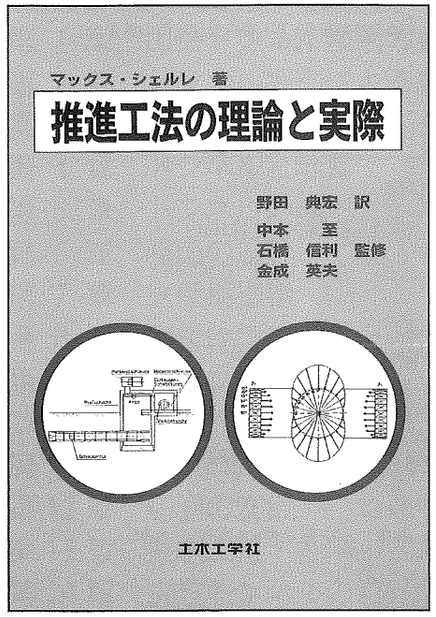
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

お問い合わせ先
株式会社 LSプランニング
http://www2.ocn.ne.jp/~ls_siken/
〒135-0046　東京都江東区牡丹2-2-3-105
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail oda@lsweb.co.jp

推進工法の理論と実際

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



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

推薦の言葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

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。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法におけるいろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

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

〒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

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編　地質調査法

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ･F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

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

B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

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

A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

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

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

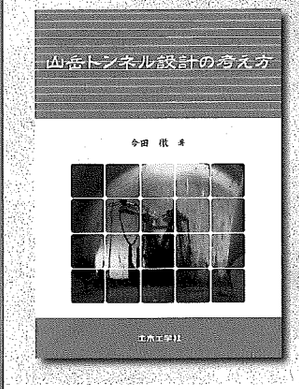
続 きみの庭にも温泉が出る　石井康夫･俣野恭寛 共著　新書判　217頁　税込1,260円　送料210円

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

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

好　評　発　売　中

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

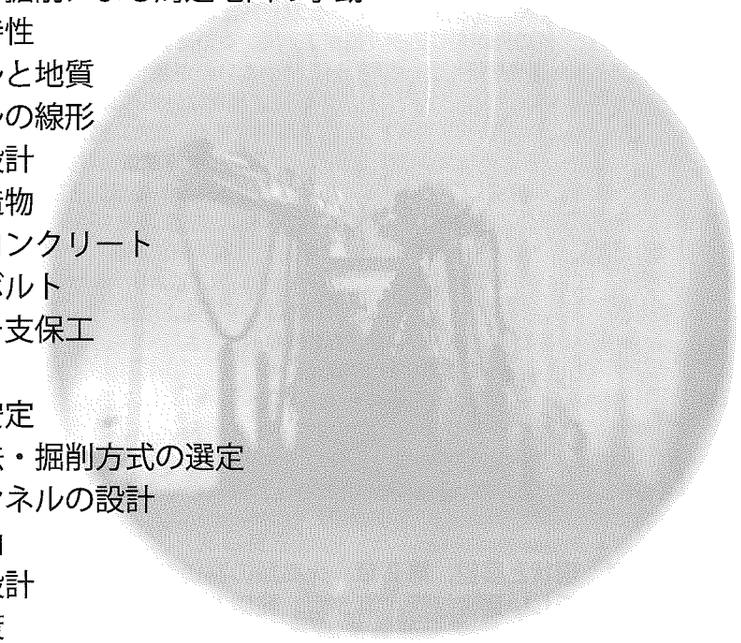
決定版

Ｂ５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

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携書である．

《主要目次》

第 1 章　山岳トンネル技術の要素と変遷
第 2 章　トンネル掘削による周辺地山の挙動
第 3 章　岩石の特性
第 4 章　トンネルと地質
第 5 章　トンネルの線形
第 6 章　断面の設計
第 7 章　支保構造物
第 8 章　吹付けコンクリート
第 9 章　ロックボルト
第 10 章　鋼アーチ支保工
第 11 章　覆工
第 12 章　切羽の安定
第 13 章　掘削工法・掘削方式の選定
第 14 章　併設トンネルの設計
第 15 章　特殊地山
第 16 章　坑口の設計
第 17 章　環境対策



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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！

振動や騒音の環境問題を詳述!!

山岳トンネルといえば，何を思い出すであろうか．「貫通発破」を思い出す方が多いのでは．発破の響きとともに岩が壊れ，外の光が差し込み，風が流れる．この感動は昔も今もトンネル関係者にとって普遍である．しかし，意外にも発破技術について詳しい人は少ないのが現状である．近年，機械の性能の向上に伴い，TBMを含めた機械掘削は増加の傾向にあるが，硬岩掘削は効率の良さから従来と変わらず発破が多用されており，発破技術はトンネル技術者にとって基本事項である．また，発破も時代とともに進歩しており，火薬類はダイナマイトから含水爆薬が主流となり，電気雷管も耐静電気性のものとなり安全性は格段に向上している．また，起爆を高精度に制御できるIC雷管も登場し，振動の軽減を図るための制御発破技術も一段と進歩している．さらに，近年のトンネル作業の効率向上と安全環境の確保の面から，発破の機械化，自動化が進められている．削岩機においては，自動的に位置を決めて穿孔するコンピュータジャンボも開発されている．また，2004年3月には火薬取締法施行規則の改正により，含水爆薬に関して移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬ができるようになり，爆薬の機械装填についても準拠できる基準が示された．これにより，含水爆薬の自動装填技術の取り組みも積極的になされている．

本書は，「トンネルと地下」に連載した「発破技術の現状」に若干の加筆，整理をして書籍化したものである．本書は，若いトンネル技術者にも発破技術が理解できるように，火薬類や発破技術の基礎的な知識から最新の技術まで幅広く取り上げるとともに，火薬類を使用するうえで避けては通れない振動や騒音などの環境対策についても詳しく説明している．これだけまとまった発破技術の書籍が少ないため，ぜひ，多くの技術者に参考書として手元において愛読していただきたい．

〈主要目次〉

第１章　現状と展望，第２章　火薬類の基礎知識，第３章　発破技術の基本，
第４章　新しい発破技術，第５章　発破と環境問題，資料

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

株式会社 土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
TEL　03-3267-2888　　FAX　03-3267-2807

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弋

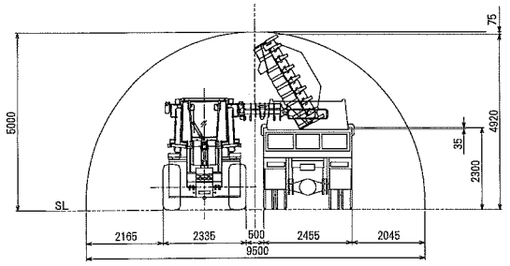
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



k-lea 株式会社 ケイ・リー

仙　　台：TEL.022-359-5331
東　　京：TEL.03-3661-5651
大　　阪：TEL.06-6838-1372
尾　　道：TEL.0848-56-1124
機材センター：TEL.022-359-4951

URL　http://klea.catrent.com

T&M
Tunnel & Mining
ニシオティー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

■北海道支店
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716
■東北営業所
tel：0198-26-0240
fax：0198-26-0241
■関東支店
tel：0268-62-1426
fax：0268-62-1999
■大阪支店
tel：072-677-2101
fax：072-677-2109
■九州支店
tel：0982-26-2111
fax：0982-26-2290



快適な運転、優れた耐久性



坑内専用リジッドダンプ
FV50JJWD324
国土交通省排ガス3次トンネル工事用指定

●超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
●2重構造スーパーフレーム

【仕様】 三菱ふそう製 FV50JJWD324		
キャブ付シャシ	全長	7.310m
	全幅	2.880m
	全高	3.060m

	一般ダンプ	FV50JJWD324
最大積載重量	10t	25t
ホイールベース	4.520m	4.520m
タイヤ&ホイール	11R22.5-14PR(8スタッド)	12.00-20-18PR(10スタッド)
エンジン 最高出力kw(ps)/rpm 最大トルクN・m(kgf・m)/rpm	6M70T3 380PS/185kgf・m 279(380)/1,800 1,810(185)/1,100 (JP05)	6M70-TL 370PS/154kgf・m 272(370)/2,000 1,510(154)/1,600 (産業用第3次排出ガス規制)
パワーステアリング	シングル	ツイン
フレーム	t7	t8+t8(二重フレーム)
その他	—	専用アスクル&サスペンション

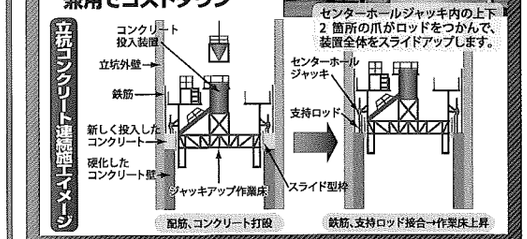
スーパージャッキシステム
トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

■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

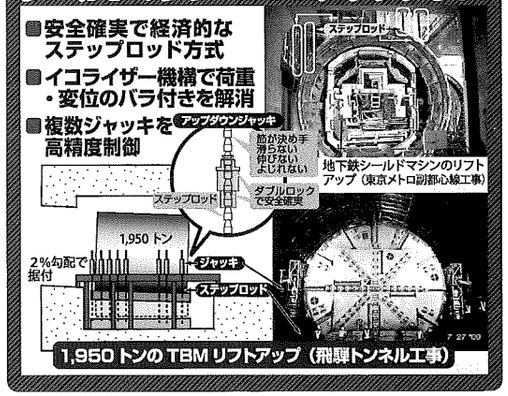


センターホールジャッキ内の上下2箇所の爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。



シールドマシン・TBMアップダウン

■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



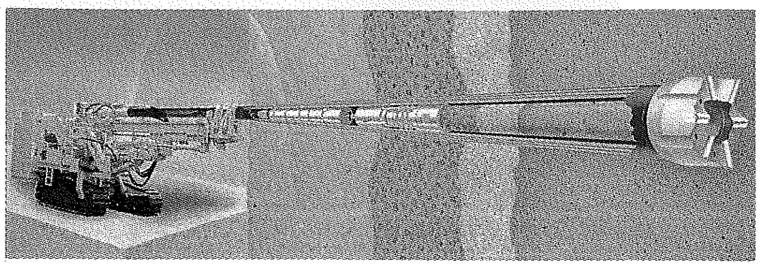
営業品目 ■ジャッキリース・オペレータ
■架台・型枠足場　設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
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



■特長

①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

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

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



トンネルが貫通するまでの長い道のりの中で、工事完了までの間に大いなる違いを生む原動力となるのは、トンネル進捗率における日々改良の積み重ねです。もちろん、発破のたびに進捗度を上げたいとご希望されることでしょう。

オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-T™、高エネルギーエマルション爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

www.oricaminingservices.com
にアクセスして頂ければ、
トンネル現場の最新技術を
ご覧になることができます。

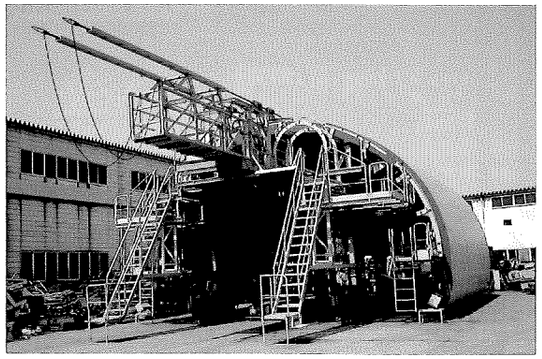
ORICA MINING SERVICES

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-A



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，カープ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.HR-080002-A



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 (冬場は温水も可) 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

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

射 水 工 場 ： 〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501

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

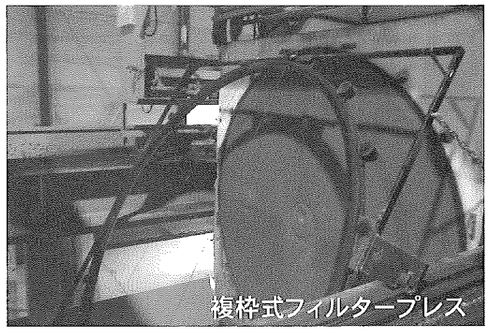
環境にやさしい

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



100.0㎥/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

≪汎用車輌全般≫



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





10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

トンネルと地下　8月号目次　Vol.43, No.8, 2012 Aug.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

三現主義に立ち返ろう

吉川　大三……5

■研　　究

小口径推進の曲線施工位置検知システムの開発

小西　真治・朝比奈峰之・田村晋治郎・山田　俊則……39

鋼管表面に突起物を設けた鏡ボルトの開発

木梨　秀雄・高橋　佳孝・畑　　浩二……47

■計　　画

列車遅延解消のための地下鉄駅２面３線化計画

―東京メトロ東西線　南砂町駅―

藤井　和之・川上　和孝・山中耕太郎……27

■施　　工

全断面早期閉合の合理化施工の取組み

―能越自動車道　七尾トンネルおよび氷見第８トンネル―

鬼頭　夏樹・石山　宏二・大谷　達彦……7

温泉とは？　温泉の有効利用は？　この１冊であなたの疑問を解決します!!



続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井　康夫・俣野　恭寛　共著

新書判217頁　本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へFAX, または, お近くの書店にてお申し込みください

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

発進直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事

―東京電力　内幸町１丁目付近管路―

光清　　勝・関口　　洋・浅野　謙司・武笠伯太朗……15

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門（４）

―段丘・台地下のトンネル工事―

「地相入門」連載講座小委員会……57

■現場だより

「恐竜の町」勝山市より

鎌田　松博……14

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネル工事　思い出すままに

福井　　亨……33

■資　　料

Tunnel Wall

城間　博通……24

トンネルジャーナル

編　集　部……67

土木情報

編　集　部……26

工法・技術・製品ニュース

編　集　部……68

■会　　報

会　　報

日本トンネル技術協会……69

【表紙説明】　発進直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事
―東京電力　内幸町１丁目付近管路―



本工事は，「発進直後の急曲線（R＝50m）」，「既設構造物の残置杭」「大土かぶり（DP＝23m）」，「高水圧（P＝0.22MPa）」などの厳しい施工条件により，推進工法を選定した．その結果，各種対策を施すことにより，推進ルート直上にある地下鉄・ライフラインなどの重要地下構造物に対して影響を与えることなく施工した．

写真は，土木工事が完了し，「電力ケーブル引き入れ前」の状況である．

〔写真提供：東京電力(株)〕（本文15頁参照）

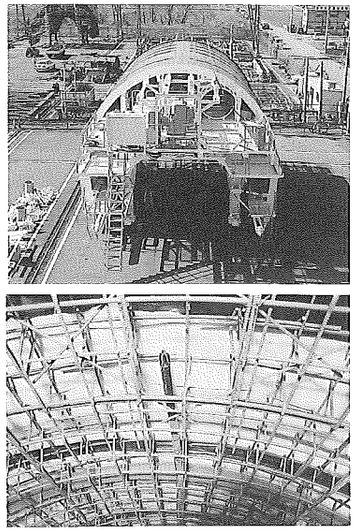
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

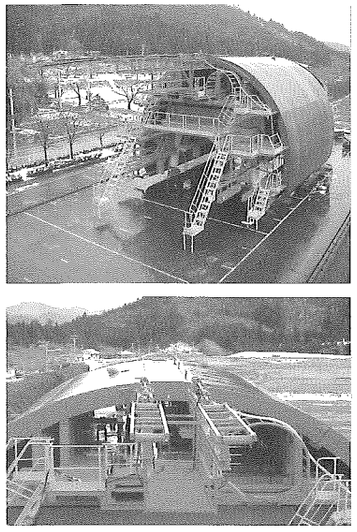
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



特願　2000-073694・2002-329301・2004-021814・2004-021817

効果・特徴

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

GIFU KOGYO

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD

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

本社営業部　(058)323-2001
東 京 支店　(03)5836-0531
仙台営業所　(022)259-2239
九州営業所　(092)713-5265

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居　相　好　信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩　田　美　幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大　津　敏　郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

金　山　洋　一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小　松　敏　彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志　岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

福　家　佳　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

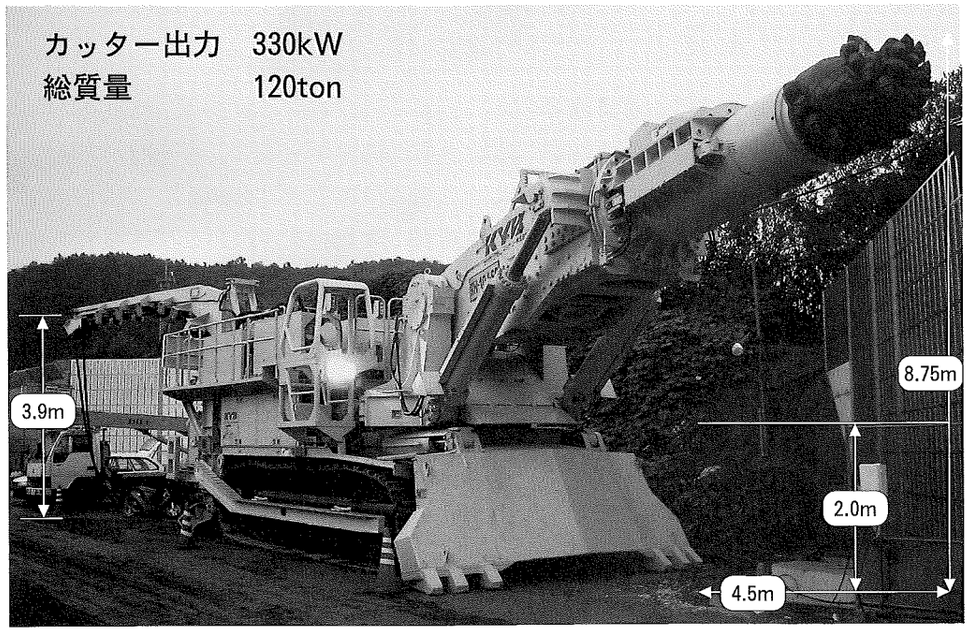
松　原　利　之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

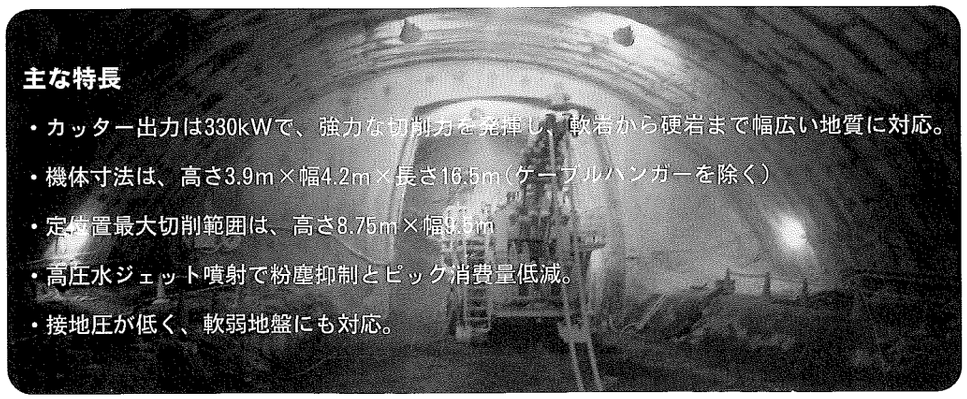
三　浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉　富　幸　雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

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





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
西部支店 〒812-0016 福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多 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〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

橋本定雄
（元）東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

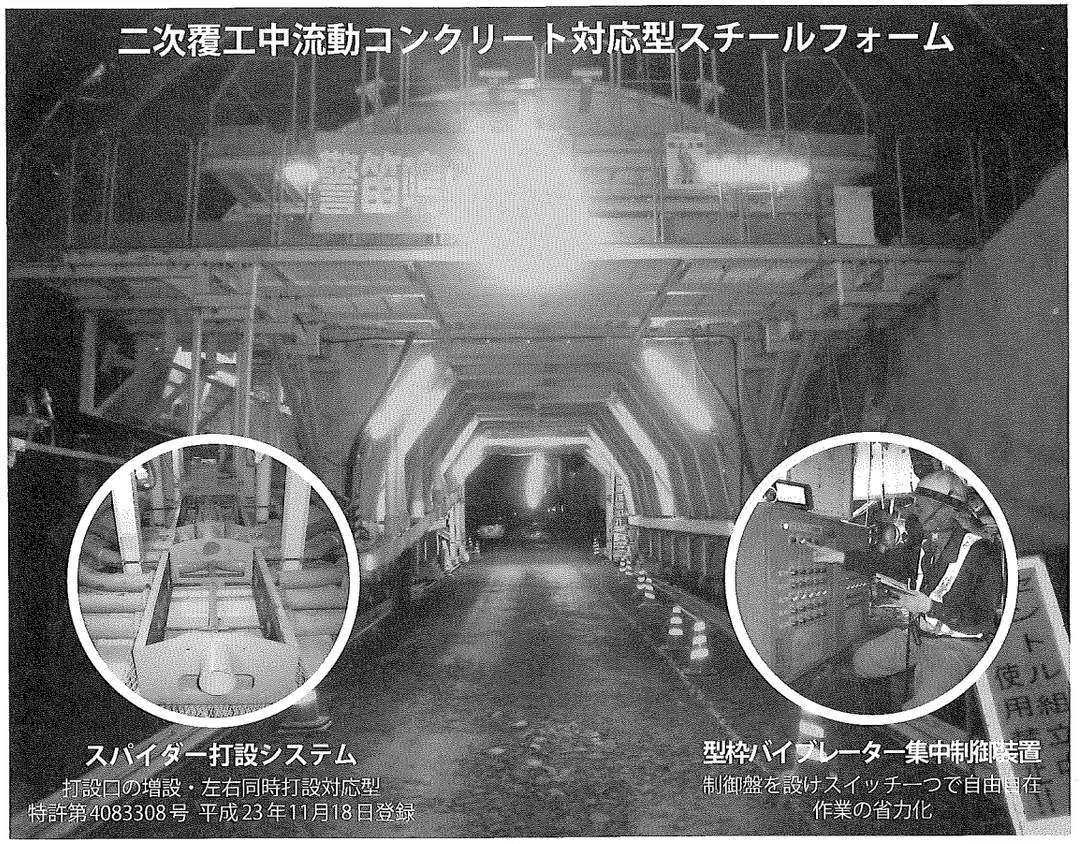
高橋晃
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

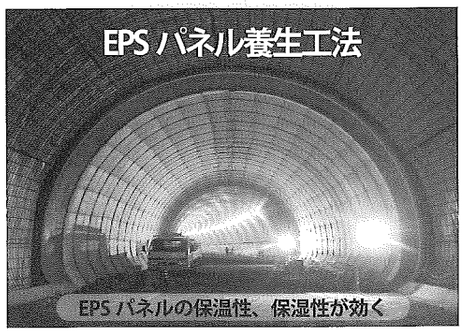
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	21	1
NEXCO	5	1
地方自治体	8	6
鉄道・運輸機構	1	1

平成24年 4 月30日　現在

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

一歩前進！ ～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社

本社　〒526-0842　滋賀県長浜市春近町 90 番地
TEL 0749-64-0246 ／ FAX 0749-63-6765 ／ URL http：//www.daieikouki.co.jp/
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. 43　No. 8　掲載概要

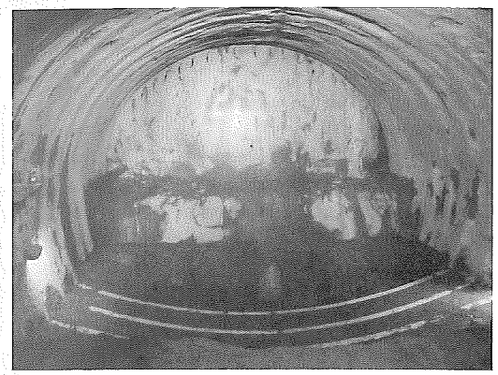
掲載頁 7

全断面早期閉合の合理化施工の取組み
—能越自動車道　七尾トンネルおよび氷見第 8 トンネル—

西松建設(株)　鬼頭　夏樹

近年，適用事例が増加している全断面早期閉合の適用時には，切羽断面積が大きくなることによる切羽崩壊災害や，一次インバート掘削および支保工設置を精度良く行い品質を確保することが課題であった．

そこで，安全かつ合理的に全断面早期閉合による施工を行うために「一次インバート施工管理システム」を開発し，実施工に適用した．



写真は全断面早期閉合の切羽状況

Initiatives to Rationalize Early Casting Invert Concrete Technique—Noetsu Expressway Nanao Tunnel and Himi No. 8 Tunnel—

By Natsuki Kitou, Nishimatsu Construction, Ltd.

In recent years, when applying the early casting invert concrete technique in tunnelling which is increasing as a case of application, there were challenges such as prevention of disaster of face collapse due to large cross-section of the face and ensuring quality of tunnel with accurate excavation for primary invert concrete and installation of tunnel support.

Therefore, we developed a working management system for primary invert concrete in order to conduct construction both safely and rationally with early casting invert concrete technique.

掲載頁 15

発進直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事
—東京電力　内幸町 1 丁目付近管路—

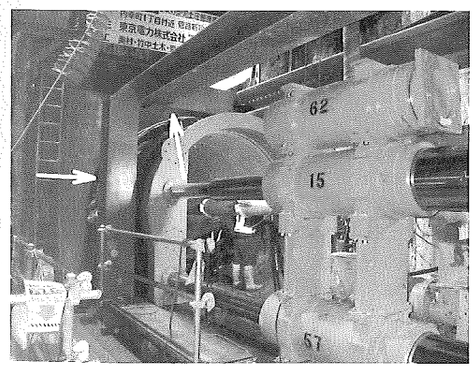
東京電力(株)　光清　　勝

本工事は，「発進直後の急曲線(R＝50m)」，「既設構造物の残置杭」，「大土かぶり(DP＝23m)」，「高水圧(P＝0.22MPa)」，など非常に厳しい施工条件により，推進工法を選定した．

その結果，各種対策を施すことにより，推進ルート直上にある地下鉄・ライフラインなどの重要地下構造物に対して影響を与えることなく計画どおり到達することができた．

本稿では，設計・施工方法の選定から施工前の各種対策と施工時に発生したトラブルと対策を含めた設計・施工事例を紹介する．

Pipe Jacking under Difficult Condition—TEPCO Pipelines in the vicinity of Uchisaiwai-cho 1-chome—



写真はバッキング防止鋼材

By Masaru Mitsukiyo, Tokyo Electric Power Company

The pipe jacking technique was selected at the planning phase for this project under extremely difficult conditions such as a sharply curved (R＝50m) alignment just after start, left soldier piles, large cover (DP＝23m) and high groundwater pressure(P＝0.22MPa).

Results showed that the project was achieved as planned by implementing various countermeasures without affecting important underground structures such as subway and lifeline structures directly above the pipeline route.

This report gives information on this project including selection process of design and building mothod, countermeasures planed before working and problems and countermeasures that came up during construction.

掲載頁 27

列車遅延解消のための地下鉄駅２面３線化計画
—東京メトロ東西線　南砂町駅—

東京地下鉄(株)　藤井　和之

東京メトロ東西線の輸送人員は，開業当初(昭和45年度)は約55.9万人/日であったが，高度経済成長に伴い沿線の開発が急激に進み，平成22年度は約132.2万人/日にも上り，東京メトロ９路線のうち，もっとも輸送人員が多い路線となっている．

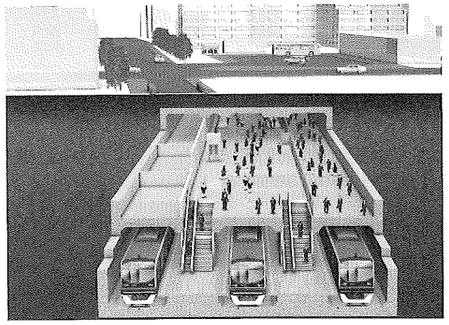
南砂町駅については，昭和44年の開業以来，近隣の大型商業施設や大規模マンションの建設などによって利用者が増加し，平成22年度の乗降人員は約5.7万人/日と，10年前の約1.6倍となっている．そのため，ホームに狭い部分があるため，ラッシュ時のホーム上における混雑が乗降時間の増加につながり，列車遅延の要因にもなっている．

本稿では，東西線における慢性的な列車遅延の防止と，南砂町駅おけるホーム上での混雑の緩和を目的とした南砂町改良計画について述べるものである．

Addition of a Island Platform to Metro Station to Resolve Train Delays—Tokyo Metro Tozai Line Minami-Sunamachi Station—

By Kazuyuki Fuji, Tokyo Metro Co., Ltd

The Tokyo Metro Tozai Line transported approximately 559 thousand people per day in 1970 after it opened. A dramatic increase in urbanization along the line combined with Japanese high economic growth caused these numbers to increase to approximately 1,322 thousand people per day in 2010. It is the line that has most transports in all 9 Tokyo Metro lines.



図は南砂町駅２面３線化(イメージ図)

Since Minami-Sunamachi Station opened in 1969, there has been an increase in users due to the construction of large-scale commercial facilities and condominium in its vicinity and their number had increased to approximately 57 thousand people per day in 2010, 1.6 times the figure for ten years previously. In addition, narrow sections on the platform spurs congestion to pose boarding and alighting time and train delay.

This report gives information on the Minami-Sunamachi station improvement project to resolve chronic train delays on the Tozai Line and congestion on its platform.

掲載頁 39

小口径推進の曲線施工位置検知システムの開発

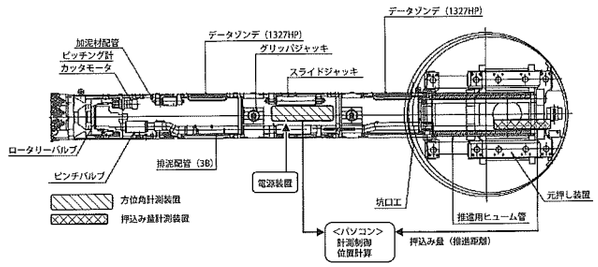
(元)(公財)鉄道総合技術研究所　小西　真治

これまで，下水道などの小口径トンネルの曲線施工に対応した位置計測方法としては，電磁波ロケータ，レーザ光プリズム屈折方式，走行ロボット方式などがある．これらの計測方法は，地上作業，土被り制限，計測精度，機器コストなどに関して問題を抱えていた．そこで，筆者らは，地上作業を必要としない非開削工法のみによる施工時の位置検知システムとして，掘進機に設置した小型光ファイバジャイロで得られた方位角のデータから位置を測定できるシステムを開発した．そして，４つの現場で本システムの適用試験を行い，良好な結果を得た．これにより，簡単で安価に精度の良い曲線施工が行える位置検知システムの構築を確認できたので報告する．

Development of Position Estimating System for Curved Microtunneling

By Shinji Konishi, formerly Railway Technical Research Institute

Currently we had various position estimating methods for curved microtunneling boring machine such as electromagnetic wave locators, the laser beam prism refraction method and the running robot method. These estimating methods had issues in such things as surface work, restriction of depth, estimationg accuracy and equipment costs. Consequently, the authors developed a system that can estimate its position from azimuth data obtained at the time of boring with a small-scale optical fibre gyro installed on the boring machine that does not require surface work. In addition, this system was tested at 4 tunneling sites and favourable results were obtained. We were able to confirm the establishment of a simple and inexpensive position estimating system that can lead to accurate curved microtunneling.



図は位置検知システム

掲載頁 47

鋼管表面に突起物を設けた鏡ボルトの開発

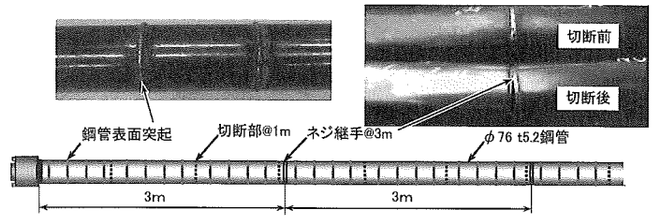
(株)大林組　木梨　秀雄

長尺鏡ボルトは，山岳トンネルの不良地山や土砂地山の切羽安定化工法として発達してきた．従来は芯材にGFRP製を用いるのが主流であったが，最近では鋼管が使われるようになっている．本研究では，鋼管製の高耐力・高付着力の鏡ボルトを開発した．本論文では，まず，鏡ボルトの発達と現状を概観し，つぎに，現場計測による前方地山の押出しや鏡ボルトの軸力分布にもとづいて，新工法に必要な仕様を考察した．さらに，鏡ボルトの設計に有効となる，ボルトの付着と耐力をモデル化した解析により，新工法の補強効果や適用範囲について考察した．その結果，小土かぶり部や押出し性地山において新工法の優位性と適用範囲を把握することができた．

Development of Steel Tube with Ribs for Face Reinforcement

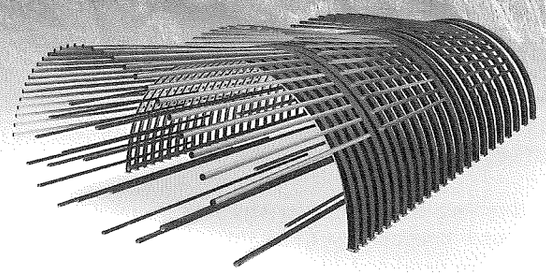
By Hideo Kinashi, Obayashi Corporation

Long face reinforcement tubes that stabilize cutting face have been developed as a face stabilization technique in NATM through weak ground and soil ground. Traditionally, GFRP tubes were mainly used as a core member but recently, steel tubes have been used. We developed the steel tube with high tensile and bonding capacity. At first we sorted out a general outline of the development and current status of face-reinforcement tubes. And then, based on the on-site monitoring data of squeezing ground and distribution of axial force of the tubes, we discussed the required specifications for this development. Further, through analysis based on modeled bonding condition and strength of the tubes, their reinforcement effects and application range were discussed. As a result, we could confirm the predominance of this tube and application range under small cover and through squeezing ground.



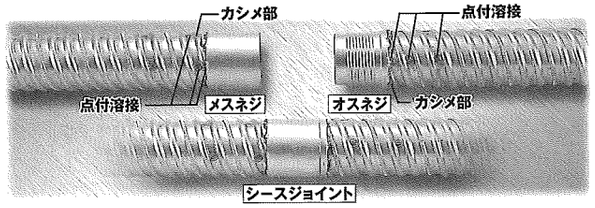
図は新しい長尺鏡ボルト工法の概要

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

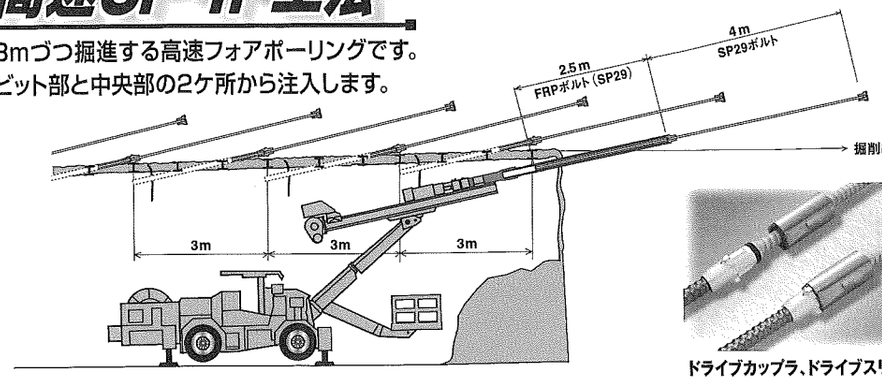
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

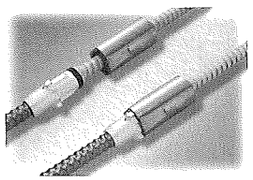




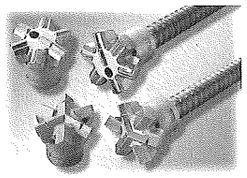
高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。



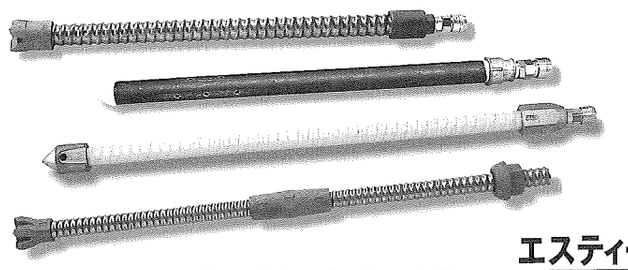


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管



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

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



三現主義に立ち返ろう

（株）間組執行役員（本協会理事）
吉川大三

わが国で初めて鉄道が開通したのは明治５年であるが，外国人の指導によって建設されたものであった．しかし，江戸時代に土木技術や職工技術の水準がすでに高かったため，突然現れた西洋機械文明の陸蒸気もすぐに受け入れ，その技術をすぐに自分たちのものにした．

日本人技術者だけによる最初のトンネルが完成したのは明治13年，旧東海道線の逢坂山隧道だったが，新橋・横浜間開業のわずか８年後のことである．わが国では江戸時代という階級社会の中でも能力のあるものを取り立てていたため，新技術の吸収は目覚ましいものがあり，北陸本線の柳ケ瀬トンネル，中央本線笹子トンネルの建設へと続いた．さらに掘削技術は飛躍的に向上し，鉄道の新線建設が全国的に広がるとともに丹那トンネル，関門海底トンネルなど難工事の完成へとつながっていった．

太平洋戦争後，支保工は木から鉄に変わり，名神・東名高速道路，東海道新幹線の建設，青函トンネル等々を経て，吹付けコンクリートとロックボルトに大型機械を用いたNATMが今日の山岳トンネルの標準工法となるに至った．加背についてもさまざまな補助工法が開発され，小さく分割することなく全断面を一度に掘削することで，急速・大断面施工が可能となるとともに都市部など土砂地山においても山岳工法が適用されている．各種調査・計測技術も向上し，切羽前方探査においても水平ボーリングをはじめ坑内弾性波探査などさまざまな方法が開発され，昨今では八甲田トンネルや飛騨トンネルなどの長大トンネルも新技術の適用によりさまざまな困難を克服し，向かうところ敵なしの感がある．

設計についてはコンピュータ能力の向上や解析ソフトの開発により内空変位，地表面沈下の予測や覆工の設計も可能となり，さらには地盤の変形・強度特性を考慮した数値解析モデルを構築して力学的特性を明らかにし，工法の選定にも数値解析が利用されることが多くなってきている．しかし，数値計算においては，既存の文献やボーリングなどの地質調査などから得られた資料をもとに地山全体の物性値を想定しているが，その

値は地山全体の諸性状を表しているとは限らない．また，長尺フォアパイリングなどの補助工法については断面内に設計どおり施工されているものとして計算を行っているが，実際の施工では鋼管の先端が設計の位置から多少ズレていることの方が多いものと思われる．このように計算時の想定と実際の施工に乖離があるにもかかわらず，補助工法の選定にあたって，ミリ単位の計算結果で優位性を判断して，設計を行っている事例をよく見かけるようになった．

さらには，施工結果と計算結果を比較し，逆解析で地山の変形係数を算出して計算の妥当性を主張している報告も散見されるが，当初想定の数値と解析結果の数値が大きくかけ離れていることもよく見かけられる．決して数値計算を否定するわけではなく，地山の挙動がどのような性状を示すのかという傾向を捉える手段として用いれば，大変意義のあることであり，利用方法が必ずしも適切ではないのではないかと感じるところだが，いかがであろうか．

本来，計算より日常の切羽の状態，変位の収束状況，インバートが後施工となった場合の脚部の変位など現場の正しい状況把握が大事なことと思う．前述のとおり，土木分野においても情報システムの進展は著しく，トンネルの現場でも膨大なデータや情報を獲得・蓄積することが可能となった．その反面，「目で見て」，「肌で感じ」，「疑問を持つ」ことをせず，机上でデータや情報を見ることで，現場で起こっていることを認識した気になっていないだろうか．データは，あくまで現状の結果を表しているにすぎず，その数値から読み取れる情報は，現場を知らずして理解はできないものと思う．

ホンダやトヨタ自動車などの工場では，不具合品が見つかったとき，不具合品が作られる工程(現場)を見て，不具合品そのもの(現物)を見て，不具合品に起きている状況(現実)を見ることで，正しい対策を取るという方針を定めているそうである．問題を解決するには机上の論理でなく「現場に行く」，「現物を知る」，「現実をとらえる」ことが重要という教えで，「三現主義」と言い，工場などの生産製造業などでは広く徹底されている常識となっており，日本の経済成長を支えた原動力とも言われている．

土木工学は経験工学であり，現場を見ずには何事も進まないことは明らかである．中でもトンネルの現場は明治の初めから，この三現主義の考え方そのものを取り入れ，実践していたことと思う．最近のトンネル現場では，管理業務に忙殺され，現場に出向く機会も減っているようである．もう一度原点に立ち返り，パソコンから得られるデータや数値計算は傾向を示す参考値と考え，五感鋭く現場から読み取れることを重視し，正しい状況を把握したうえで建設に望んでいかなければ，今後の技術の発展も工事の安全確保も図れないのではなかろうか．

施工

全断面早期閉合の合理化施工の取組み

—能越自動車道　七尾トンネルおよび氷見第8トンネル—

西松建設(株)関東土木支社七尾トンネル出張所監理技術者　鬼頭夏樹
西松建設(株)技術研究所土木技術グループ主席研究員　石山宏二
西松建設(株)土木設計部設計課担当課長　大谷達彦

1 はじめに

能越自動車道は，石川県輪島市と富山県砺波(となみ)市を結ぶ延長約100kmの高規格幹線道路である．能越自動車道が完成し，北陸自動車道や東海北陸自動車道と接続することによって，能登地域の産業，経済，文化の発展を促進することが期待されている．

本稿は，この能越自動車道の2つのトンネル工事(七尾トンネルおよび氷見第8トンネル)で行った「補助ベンチ付き全断面掘削工法による早期閉合(以降，「全断面早期閉合」と称す)」の合理化施工の取組みを報告するものである．

全断面早期閉合は，トンネルの変形を抑制するために，近年，適用事例が増加している施工法である[1)~7)]．この施工法は，切羽から近い位置でインバート部に吹付けコンクリートや，鋼製ストラットを施工し(以降，本設インバート前に施工するインバートを「一次インバート」と称す)，早期にトンネル断面をリング状に閉合することによって，トンネルの変形や沈下を抑制することができる．

図-1に七尾トンネルおよび氷見第8トンネルの位置図を示す．七尾トンネルは，弊社で全断面早期閉合を適用した最初の事例であった．本トンネルでは，地山状況が複雑に変化したため，その状況に応じて全断面早期閉合を適用することが必要

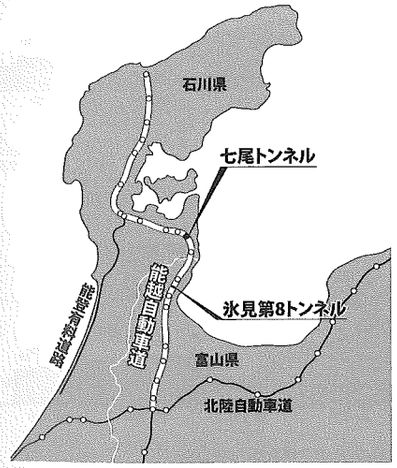


図-1　トンネル位置図

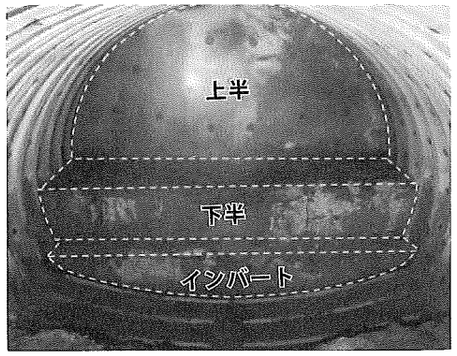


写真-1　全断面早期閉合の切羽状況

であった．

そこで，計測データなどの施工実績をフィードバックして全断面早期閉合の仕様変更を行い，トンネルの変形を抑制した．

そして，七尾トンネルの施工実績から，全断面早期閉合を適用する際の施工上の課題が明らかになった．1つ目の課題は，**写真-1**のように，全断面早期閉合では一次インバート施工時の切羽断面積が大きくなるため，切羽崩壊が重大災害につながる可能性が高いことである．また，2つ目の課題は，一次インバート掘削高の確認方法として，一般的に実施されている水糸(高さの基準に使う糸)などによる目視確認では，計測頻度が限られるために掘削の過不足を招きやすいことである．これらの課題を踏まえて，安全かつ合理的に全断面早期閉合を適用するための「一次インバート施工管理システム」を開発し，氷見第8トンネルにおいて現場適用試験を行った．

表-1　工事概要

工事名称		七尾トンネル工事	氷見第8トンネル工事
工事場所		石川県七尾市	富山県氷見市
工期		平成19年6月15日～ 平成23年2月28日	平成21年3月19日～ 平成23年3月31日
発注者		国土交通省北陸地方整備局 金沢河川国道事務所	国土交通省北陸地方整備局 富山河川国道事務所
施工者		西松建設(株)	西松建設(株)
工事内容	トンネル延長	L=1,760m	L=511m
	全断面早期閉合適用延長	L=366.6m(地山脆弱部)	L=136.5m(坑口部)
	掘削断面積	73.7～118.3m²	85.1～89.5m²
	施工法	NATM	NATM
	掘削方式	機械掘削方式	機械掘削方式
	掘削工法	上半先進ベンチカット工法 全断面早期閉合工法	上半先進ベンチカット工法 全断面早期閉合工法

2　工事概要

七尾トンネルおよび氷見第8トンネルの工事概要を**表-1**に示す．

3　七尾トンネルの施工実績

3-1　施工概要

七尾トンネルは，当初，トンネル全線にわたり固結度の高い砂質岩が出現すると予想されていた(**図-2**)．しかし，坑口から約550m付近より脆弱な地山が出現し，トンネル天端沈下および水平内空変位が増大した(以降，天端沈下と水平内空変位をあわせて「坑内変位」と称す)．そこで，増しボルト，

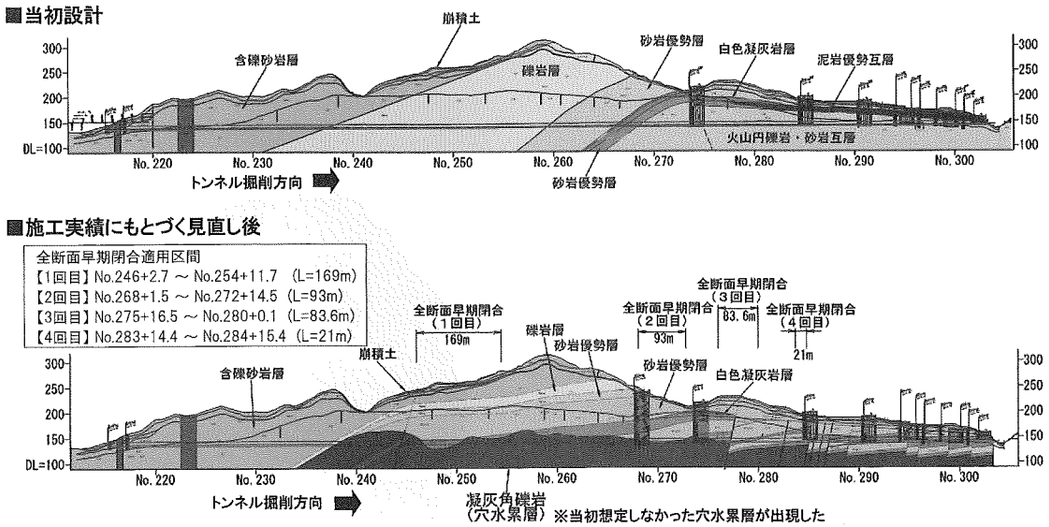


図-2　七尾トンネル地質縦断図

ウイングリブ付き鋼製支保工などの対策工を実施したが，坑内変位は収束せず縫返し掘削が必要となる箇所も発生した．

このような状況の中，上半先進ベンチカット工法から全断面早期閉合に変更し，坑内変位を抑制することができた．とくに，天端沈下については，全断面早期閉合の適用開始後に直ちに効果が見られ，適用前の32%(62.2㎜→20.1㎜)に抑制することができた．最終的に，合計4区間(適用総延長366.6m)に対して全断面早期閉合を適用し，その適用区間については縫返し掘削を行う状況には至らなかった．

3-2　合理化施工の取組み[8)]

本トンネルでは地山状況が頻繁に変化し，全断面早期閉合を適用する際は地山状況の変化に対応することが必要であった．そこで，掘削実績をフィードバックして全断面早期閉合の仕様を変更しながらトンネル掘削を行った．このとき，現状においては，全断面早期閉合の仕様や，地山状況に応じた仕様の変更方法が確立されていないことが課題であったため，それらを検討しながら施工を行った．

また，鏡補強工については，切羽の自立性を考慮して，ボルト長，注入材を選定した．基本的には短尺の鏡ボルト(L=4m)を用いるが，切羽の自立性の悪化に伴い長尺鏡ボルト(L=12.5m，15.5m)に変更することとした．注入材も切羽状況に応じて，セメント系注入材からウレタン系注入材に変更することとした．**図-3, 4**に七尾トンネルにおける全断面早期閉合区間の横断図および縦断図を示す．

このように七尾トンネルでは，全断面早期閉合の仕様や仕様変更基準を見直しながら合理的に坑内変位を抑制することができたが，実際の全断面早期閉合の施工においては，数点の課題が明らかになった．

3-3　全断面早期閉合の施工上の課題

七尾トンネルの施工実績から，全断面早期閉合の適用時には，以下に示す課題があることがわかった．

(1)　安全管理

一次インバート施工時は，上半先進掘削時に比べて，切羽断面積が大きくなる．そのために，**図-5**に示すように，切羽前方のゆるみが大きくなり，鏡面が不安定になりやすい．鏡面の安定が確保できない場合には，**写真-2**に示すような切羽崩壊を招くことになる．

このような中，鋼製ストラット施工時には，**写**

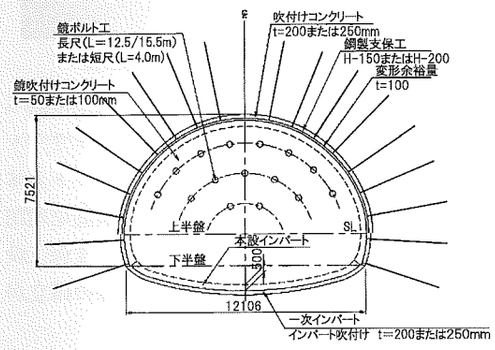


図-3　七尾トンネル横断図

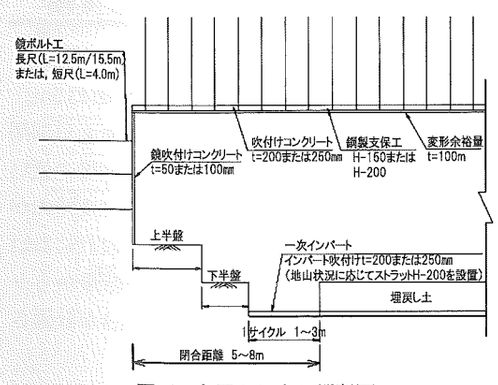


図-4　七尾トンネル縦断図

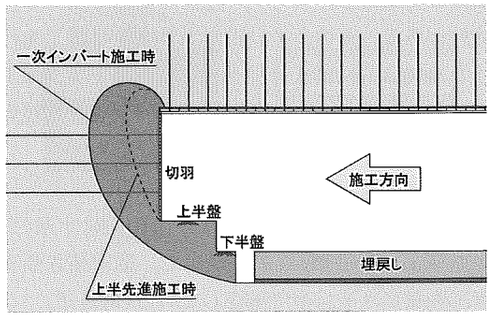


図-5　切羽前方ゆるみの概念図



写真-2　切羽崩壊状況

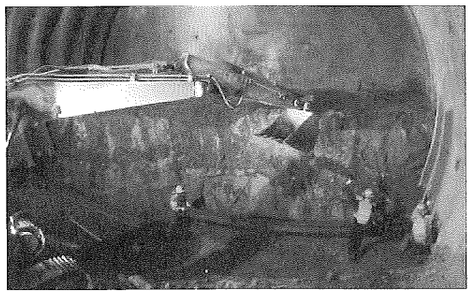


写真-3　鋼製ストラット設置状況

真-3のように作業員が切羽近傍で作業を行う必要があり，切羽崩壊が重大災害につながるリスクが非常に高い．これより，全断面早期閉合の適用時は切羽の安定対策を十分に施すとともに，切羽の変状を監視することが重要となる．

また，一次インバート掘削に伴い下半支保工脚部に大きな水平変位や沈下が生じた場合，鋼製ストラット設置が不可能となる可能性がある．**写真-4**は，七尾トンネルにおいて鋼製ストラットが設置不可能となった状況である．このような状況が生じた場合には，迅速にストラット効果を導入することができず，トンネル全体の安定を損ねる可能性がある．そのため，円滑かつ安全な施工を行うためには，一次インバート掘削中に下半支保工脚部の水平変位および沈下をリアルタイムに監視・計測することが重要である．

（2）　品質・出来形管理

一次インバート施工時には，一般的に水糸(高さの基準に使う糸)などを用いて，掘削高さや支保工設置高さを目視で確認している(**写真-5**)．この方法では計測頻度が限られるため，掘削の過不足を招きやすい状況となる．さらに，掘削の過不足は，鋼製ストラット設置や吹付けコンクリートの施工精度にも影響を与え，一次インバート全体の品質に影響を与える．これより，全断面早期閉合の適用時は，一次インバートの掘削，支保工設置を精度よく行うための出来形管理手法の確立が重要となる．

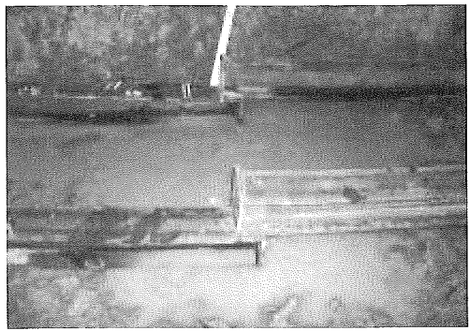


写真-4　鋼製ストラット設置不可状況



写真-5　水糸による掘削高さ確認状況

4　氷見第8トンネルの施工実績

4-1　施工概要

氷見第8トンネルでは，起点側坑口部43.5m，終点側坑口部93.0mの合計136.5mに全断面早期閉合を適用した．これら両坑口部には固結度の低い強風化泥岩が存在していて，トンネルの支持力が不足する状況であった．そこで，当初設計において3次元FEM解析が実施され，その結果からトンネルの沈下対策として全断面早期閉合が計画された．

図-6, 7に氷見第8トンネルにおける全断面早期閉合区間の横断図および縦断図を示す．

本トンネルでは，当初設計どおりに全断面早期閉合を適用することにより，トンネルの沈下が抑制でき安定性を確保することができた．また，全断面早期閉合を適用することによって，天端沈下を適用前の40%(40.0㎜→15.8㎜)に抑制することができた．この低減率は，前述した七尾トンネルとほぼ同等の値である．

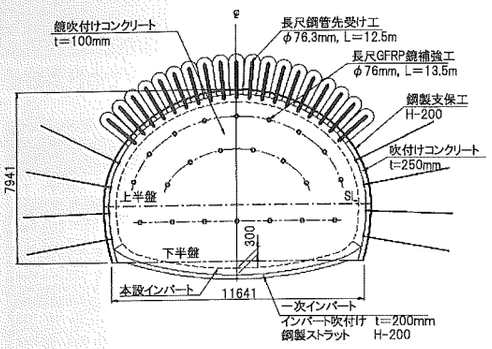


図-6　氷見第8トンネル横断図

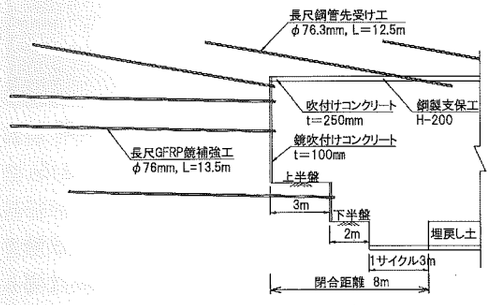


図-7　氷見第8トンネル縦断図

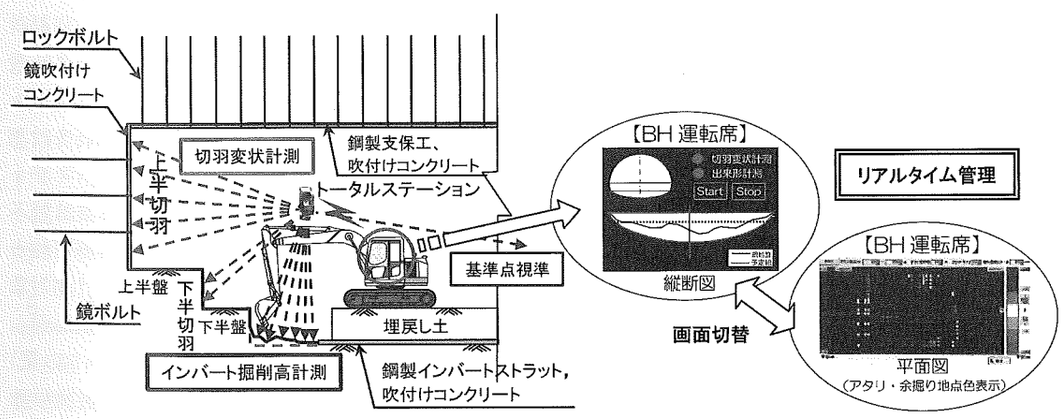


図-8　一次インバート施工管理システム概念図

4-2　合理化施工の取組み

七尾トンネルで実施した全断面早期閉合において，安全管理および品質・出来形管理の体制確立を課題として挙げた．そこで，全断面早期閉合における安全と品質を確保するために「一次インバート施工管理システム」を開発し，氷見第8トンネルの到達側(終点側)坑口部にて試験施工を行い，その有効性，施工性について検証した．

4-2-1　一次インバート施工管理システムの概要

「一次インバート施工管理システム」の概念図を**図-8**に示す．このシステムでは，インバート掘削に伴う切羽面の押出し変状と，下半支保工の脚部変位およびインバート部の出来形(掘削高，支保工設置高・位置)をリアルタイムに計測管理し，設計位置との差異を画面表示する．使用する機器は，一次インバート施工時に掘削部近傍に配置するトータルステーション1台と，これを無線で操作可能な坑内仕様のハンディPC(タッチパネル方式)から構成される．

なお，本システムを廉価かつ確実に機能させるため，山岳トンネル工事の施工管理に多くの実績を有する既存のトンネルマーキング・計測システム[9]の1機能として開発した．具体的な機能は，「切羽変状計測」，「下半支保工脚部計測」，「インバート掘削高計測」，「支保工計測」の4つで，各々の役割と特長を以下に記す．

（1）　切羽変状計測

一次インバート掘削時の切羽面の押出し状況を

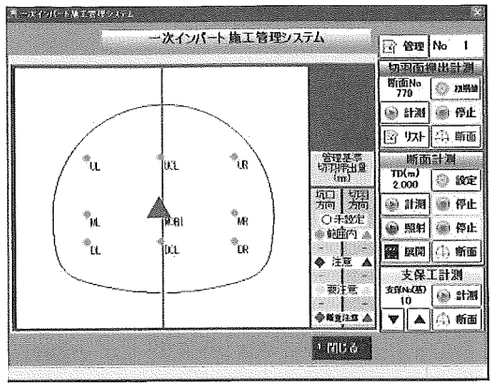


図-9 「切羽変状計測」モードでの計測画面

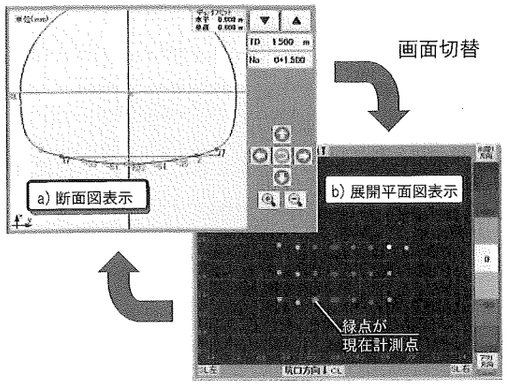


図-10 「インバート掘削高計測」モードでの計測画面



写真-6 脚部変位用プリズム

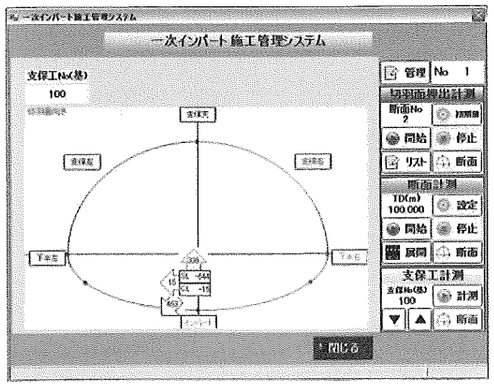


図-11 「支保工計測」モードでの計測画面

ノンプリズム方式で自動計測し，リアルタイムで切羽変状監視を行う．**図-9**に示すように，計測位置として設定した複数の切羽面上の測点をノンプリズムで計測する．そして，測点ごとに押出し量に応じて4段階に色分けしてハンディPC画面に表示し，掘削機械のオペレータに切羽面の状況を知らせる．また，もっとも危険な「厳重注意」段階では，パトライトなどの報知器に連動させ，坑内作業員全員に危険性を自動通報することも可能である．

（2） 下半支保工脚部計測

一次インバート掘削開始前に，**写真-6**のような磁石を利用したプリズムを下半支保工脚部に取付け，初期値を計測する．掘削中もプリズムは存置しておき，随時脚部変位計測を行う．これにより，一次インバート掘削に伴う脚部変位の早期把握が可能となり，安全性が向上する．また，脚部変位をリアルタイムに把握することによって，前述したような鋼製ストラットが設置できない状況(写真-4)を回避でき，施工の手戻りを防止できる．

（3） インバート掘削高計測

一次インバートの掘削がある程度進んだ段階で，「切羽変状計測」から「インバート掘削高計測」へとシステムのモードを切替えて，掘削中の一次インバートの掘削高をノンプリズム方式で自動計測する．「切羽変状計測」同様に，あらかじめ設定している計測断面上の複数の測点に対してノンプリズム方式によりリアルタイムに掘削高を計測し，床付け面計画高に対する差異量をハンディPC画面に表示する．これにより掘削作業は過不足(余掘り，アタリ)確認を行いながら実施可能となる．また，掘削作業の過程を考慮して計測対象範囲をインバート部の「左側」「右側」「全断面」に選択ができる．計測結果(余掘りやアタリの量)は**図-10**に示すように，断面図あるいは展開平面図での表示が選択可能となっている．なお，切羽

トータルステーション

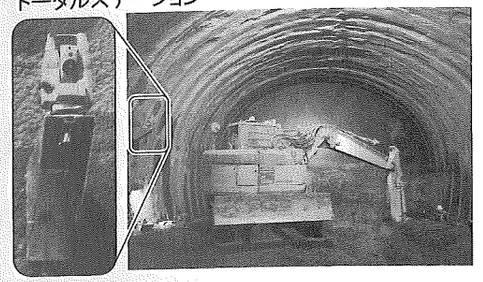


写真-7 現場適用試験におけるトータルステーション設置状況

面の押出し状況が気になる際は，随時「切羽変状計測」モードに切替え変更が可能である．

（4） 支保工計測

一次インバート掘削終了後，**図-11**に示すように床付け面への支保工設置状況(設計高・位置との誤差)を確認する．そのために，システムを「支保工計測」モードに切替え，プリズムを計測断面上の支保工所定の位置に設置し，高精度に計測する．トータルステーションの視準はハンディPC画面上に表示されるカーソルキーで遠隔操作する．計測後，直ちに支保工を適正な位置へと誘導修正することが可能となり，トンネルの品質が確保できる．また，支保工の出来形を最終的に帳票として残すことで，トンネル供用後における維持管理を行ううえでのトレーサビリティ確保にも役立つ．

4-2-2 現場適用試験による検証

本システムの実用化を目指すうえで課題になったのがトータルステーションの設置位置と設置方法である．そこで本トンネルでは，**写真-7**に示すように，側壁肩部のロックボルト頭部に架台治具を取付け，その上にトータルステーションを設置する方法を採用した．この方法により，掘削作業へ支障を与えることなく，一次インバート施工範囲の全体を計測できることが確認できた．

5 まとめ

七尾トンネルでは，全断面早期閉合の仕様適用基準を設定して，地山状況の変化に応じたランクアップ・ランクダウンを行い，トンネルの変形を抑制することができた．

また，氷見第8トンネルでは，七尾トンネルで判明した全断面早期閉合の課題を克服するため，安全と品質・出来形を確保できる「一次インバート施工管理システム」の適用試験を行った．今後，本システムの適用実績を増やすことで，操作性や機能の改善を適宜行い，システムの充実を目指していきたい．

今回の報告が，今後の施工の参考になれば幸いである．

参考文献

1) 御手洗良夫・森崎泰隆・今田徹：全断面早期閉合による施工法の考え方とその実例，トンネルと地下，Vol.38，No.9，pp.51-61，2007.9.
2) 浜野善治・宮崎俊英・熊谷幸博：膨張性地山での坑口部の対策工法―ふるさと農道整備工事　七海トンネル工事―，土木技術，Vol.60，No.10，pp.28-34，2005.10.
3) 徳留修・大津敏郎・広瀬雅明・澤田一也：断層・褶曲作用を受けた脆弱泥岩地山における変位抑制対策，トンネル工学報告集，vol.17，pp.29-34，2007.11.
4) 平野宏幸・臼田芳彦・清水則一・神澤幸治・宮田和：長尺鏡ボルトと早期断面閉合を用いた地すべり地直下のトンネル施工，第12回岩の力学国内シンポジウム(併催　第29回西日本岩盤工学シンポジウム)，pp.903-907，2008.1.
5) 秋田修・真弓英大・玉井昭雄・岡山徹：中央構造線擾乱帯を貫く，三遠南信自動車道　三遠トンネル，トンネルと地下，Vol.39，No.10，pp.17-27，2008.10.
6) 寺山徹・津野和宏・内野貴志・蛭川愛志：補助ベンチ付き全断面掘削・早期閉合で都市トンネルを掘る，岸谷生麦線(生麦方面行き)トンネル工事，トンネルと地下，Vol.39，No.5，pp.7-17，2008.5.
7) 中野清人・佐藤論一・本藤敦：蛇紋岩地すべり脆弱部を早期閉合で掘削，北海道横断自動車道　タンネナイトンネル，トンネルと地下，Vol.41，Vol.3，pp.7-16，2010.3.
8) 角湯克典・柳川磨彦・鬼頭夏樹・大谷達彦：地山状況の変化に対応し全断面早期閉合の仕様を設定，能越自動車道　七尾トンネル，トンネルと地下，Vol.42，No.4，pp.21-32，2011.4.
9) ジェオフロンテ研究会：山岳トンネルにおけるICT活用事例，pp.22-27，2010.3.



「恐竜の町」勝山市より

鎌 田 松 博

勝山市は，福井県の北東部に位置し，恐竜の化石が多数出土することで有名な市である．

市の周辺は1,000m級の山々に囲まれ，中心部は県下最大の河川である九頭竜川の中流域に位置している．また，特別豪雪地帯で冬は雪が多いところでも知られている．

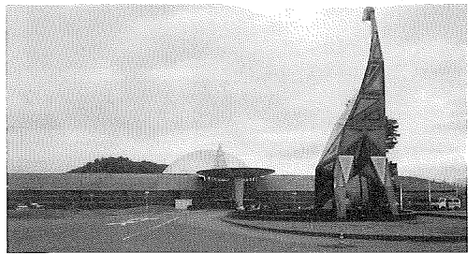
2007年，フォーブスの「Forbes.com世界でもっとも綺麗な都市トップ25」で9位に選ばれ，アジアでは1位となっている．市街地は九頭竜川（くずりゅうがわ）の流れに沿って形成された河岸段丘に位置しており明治以来の地場産業である繊維産業を中心とした商工業や，古くから盛んな農林業を基幹産業とする水と緑の豊かな田園都市である．

日本の恐竜化石の約8割を産出する恐竜王国で，かつやま恐竜の森（長尾山総合公園）には国内最大級の「福井県立恐竜博物館」があり，卵型の恐竜ホール内は，まるで太古の恐竜王国へタイムスリップしたような気分が味わえる．館内には30体以上の恐竜の全身骨格が展示されているほか，大型スクリーンによるダイノシアター，ティラノサウルス・レックスの骨格を観察できるダイノラボなど，人々のロマンをかきたてる参加・体感型の博物館になっている．

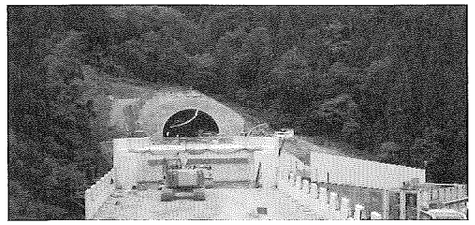
永平寺大野道路は，中部縦貫自動車道の一部を構成し，大野市中津川から勝山市，永平寺町を経由し福井市玄正島町に至る26.4kmの自動車専用道路である．



位 置 図



福井県立恐竜博物館



大袋トンネル坑外全景

大袋トンネルは勝山ICから大野IC間の3本のトンネルの中央に位置する延長1,155mのトンネルである．

掘削は平成22年10月より開始し，18か月を要し平成24年4月5日貫通に至った．5月末現在，インバートの施工も完了し，覆工も912m巻立て，残り243mとなった．両坑口の明かり部を含め10月末の完成を目指している．

勝山出身の私が，飛島建設の発祥の地「福井」で「発祥の地で良いものを造ろう」の合言葉で，意気揚々と乗り込んで，早3年の月日が経った．

振り返ると平成22年の夏は猛暑で堪えた．トンネル屋として日ごろ，外での仕事の割合が少ないもので，炎天下の作業で気力体力とも限界を感じた．長靴の中に汗が溜まる経験もした．その冬は近年まれに見る豪雪で，除雪除雪の毎日で，トンネルを掘削している期間に豪雪を2シーズン経験した．

まだ工事は覆工コンクリート，トンネル内の排水，両坑口の仕上げが残っている．発注者，関係各位のご指導のもと，作業所職員，協力業者一丸となって，安全に，より良いものを造っていきたい．

（飛島建設(株)大袋トンネル作業所所長）

施工

発進直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事

—東京電力　内幸町1丁目付近管路—

東京電力(株)東京支店東京工事センター都心管路工事グループGM　光 清 勝
東京電力(株)東京支店東京工事センター都心管路工事グループTL　関 口 洋
東京電力(株)東京支店東京工事センター都心管路工事グループ主任　浅 野 謙 司
奥村・竹中土木・豊和工業共同企業体現場代理人　武 笠 伯太朗

1 はじめに

本工事は，既設設備と新たな建物とを連係するものであり，以下のような厳しい施工条件のもと，推進工法を採用した．

- 道路使用条件・既設地下埋設物条件から斜め発進直後の急曲線（R＝50m）
- 大土かぶり（DP＝23m）
- 既設地下構造物の残置杭下の施工

本稿では，設計・工法の選定および施工実績について報告する．

2 工事概要

トンネル工法：泥土圧式推進工法
トンネル管径：内径2,400㎜，外径2,810㎜
トンネル管材：合成鋼管　L＝1.0m
推進延長：177.9m
平面線形：R＝50×1か所
　　CL＝70.29m，IA＝80.55°
縦断線形：R＝300m×1か所
　　0.20%→6.24%
土かぶり：DP＝18～23m
地質・地下水：洪積砂質土層，細砂・中砂，換算N値100以上，地下水位GL－3.0m
全体工期：平成21年7月27日～平成24年6月25日
推進期間：平成22年12月～平成23年3月
推進線形の特徴：
- 発進立坑から斜め10度の角度で発進（縦断上り勾配0.2%）
- 発進立坑から約8m直進した後，R＝50mの曲線を70.29m推進
- 残置杭区間を通過後，上り勾配6.24%で直進し到達

3 設計・工法の選定

3-1 推進の平面線形および推進方向

推進工事では，発進立坑の妻部に対して面板が水平になるように発進するのが一般的であり，この場合，曲線部の曲率半径はR＝35mとなる（**図-1**）．本工事においては，費用削減の観点から，妻部に対して面板が10度の角度を持って発進することで，曲線部の曲率半径をR＝50mとした．これにより，以下のコストダウンを図れた．

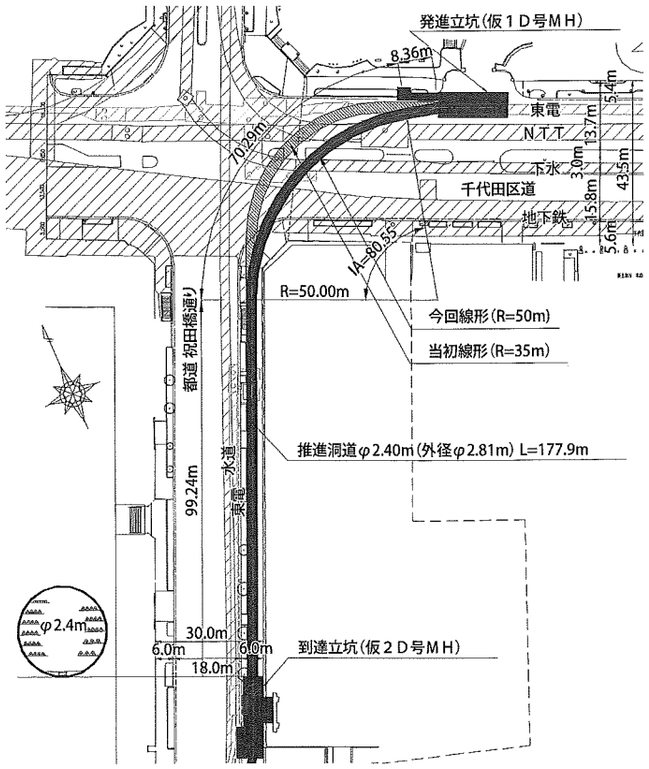


図-1　計画平面図

① トンネル延長の短縮(185.6m→177.9mへ短縮)

② 推進管材の仕様変更による材料費の削減(合成鋼管 1/3 管から合成鋼管1.0mの特殊管への変更)

なお，このような平面線形とすることにより，推力の側方分力が発進立坑内に及ぶ懸念があったため，施工上の対策を施した．これについては，4-1 節で後述する．

また，本工事では図-1に示す到達立坑側から発進できればコスト的なメリットは大きかったが，発進立坑・到達立坑ともに現道に位置しており，到達立坑側の道路幅員(30.0m)が発進立坑側の道路幅員(43.5m)より狭く，到達立坑側の常設作業帯の了解が得られなかったため断念した．

3-2　推進の縦断線形

到達部の縦断位置は新たな建物との連係の制約から決まっていた(DP=18m)が，発進部においては机上調査で把握していた重要地下構造物の残置杭(土留め杭・中間杭)の長さ(深さ)により，縦断位置を決定した．

残置杭(土留め杭・中間杭)については主に昭和40年代に施工されたもので，図面は保存されていたが，図面どおりであることの確証がなかった．

施工時の残置杭(土留め杭・中間杭)との遭遇を回避するため，より安全側の深度を選択すれば，発進立坑や人孔築造費，地盤改良(底盤改良，土留め欠損防護，先行地中ばり)などのコストアップを招くことになる．

一方，既存資料どおりの深度をそのまま想定し，残置杭(土留め杭・中間杭)の実際の深度が想定以上に深かった場合には，これらの残置杭と遭遇することによる施工不能および上部構造物への影響が懸念される．

このため，残置物深度を可能な限り現地調査し，トンネルが施工可能な深度を検討した．

既設重要地下構造物の残置杭天端を掘削・露出し，杭に沿って想定深度以深までボーリングし，このボーリング孔を利用して磁気探査を行い，残置杭先端深度を調査した(**写真-1，図-2**)．

ただし，これらの残置杭は既設埋設管各種を支持していたり，隣接した他の構造物と一体になっている場合があり，磁気探査による調査ができないものもあった．

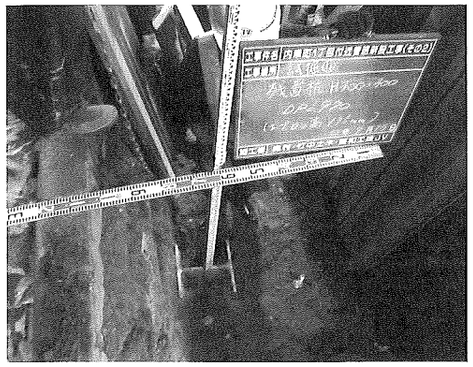


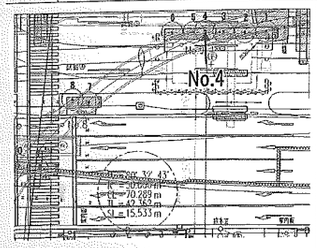
写真-1　残置杭天端露出状況

このような磁気探査による調査ができない箇所については衝撃弾性波により調査したが，明確な深度を判定することができなかった(**図-3**)．

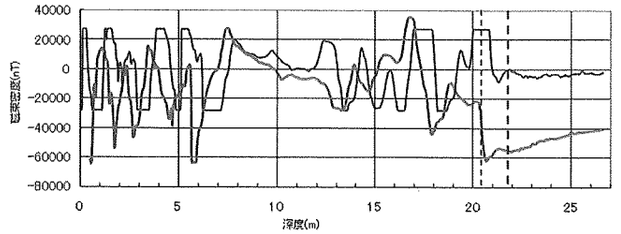
また，中間杭については，既設重要地下構造物中央下部に存在し，斜めボーリング削孔による調査を検討したが，他の埋設物が支障となるため，調査を断念した．

計画線形を安全側(深くする)にすると，直ちにコストアップにつながるため，計画深度設定の見極め・判断が非常に難しい状況であった．

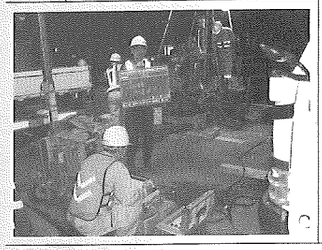
孔名　No. 4



磁気探査波形データ



探査長　26. 6m

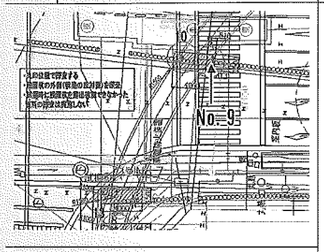


調査結果

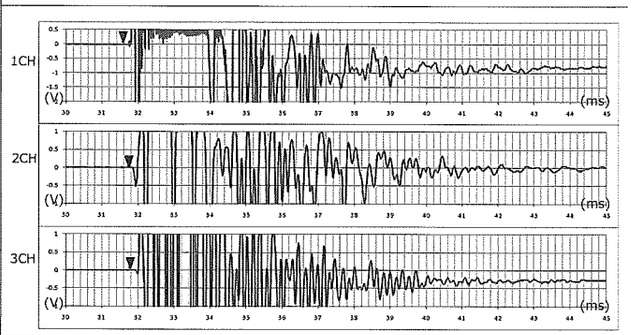
GL－20. 4m に両コイルではＷ型，単コイルではＳ型の強い磁気反応が見られる．No. 4 ボーリングにもっとも近いＨ形鋼の下端は 20. 4m と思われるが，これより深い位置 21. 8m にも弱い磁気反応が見られる．離れた場所に別の磁極が存在する可能性があるため，安全性を考慮し，残置杭下端深度は GL－21. 8m と判定する．

図-2　磁気探査結果

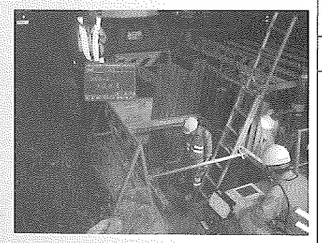
孔名　Ｎo. 9



衝撃弾性波波形データ



探査長



調査結果

打撃点から直接到達した振動が 31. 8 ～ 32ms に現れており，1 ～ 3ch の間隔が 1m であることから Ｈ 形鋼内の振動伝搬速度は 5, 000m/sec となる．杭長が 20m 前後ならば 40ms 前後に杭下端からの反射波が現れなければならないが，現況では多くの反射振動に埋没してしまい判読は困難である．これは下端からの反射振動が減衰して微弱であることと，Ｈ形鋼継ぎ目やコンクリートの形状変化箇所からの反射が重複反射を起こし，妨害波となっているためと考えられる．

図-3　衝撃弾性波結果

調査深度である深さ約20mにおける磁気探査の精度は±0.5m程度である．後述する想定外の事態に備えた対策を前提として，調査精度±0.5mを考慮したうえで，0.5m以上の離隔を確保することとし，調査により得られた最深の杭の1.0m下をトンネルの最深部に決定した(**図-4**)．

3-3　推進工法の選定

設計条件を**表-1**にシールド工法と推進工法とを

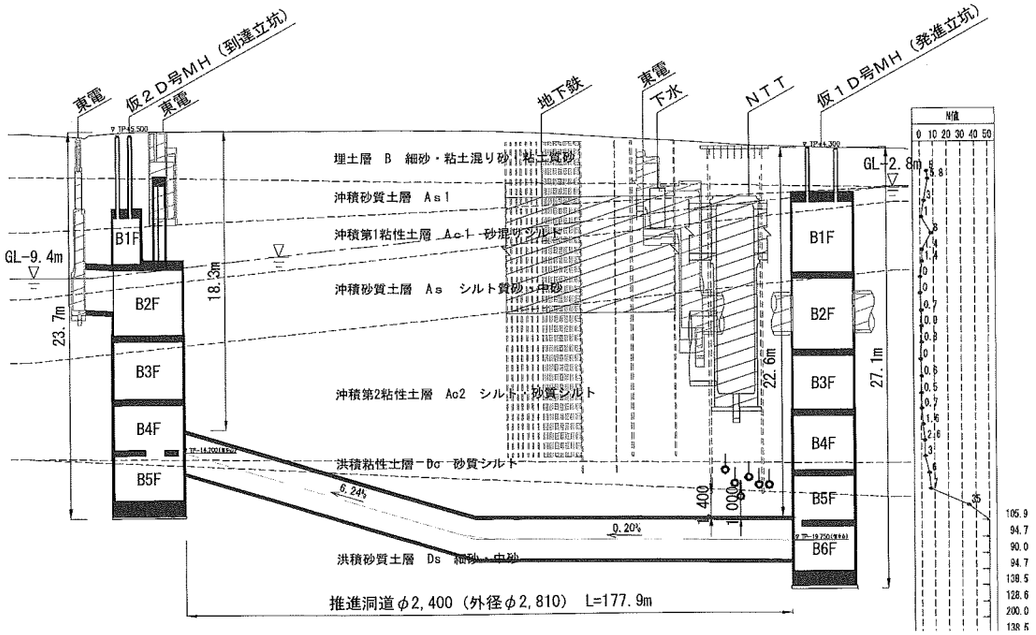


図-4　計画縦断図

表-1　設計条件(工法)

仕上がり内径	φ2,400㎜
延　　長	177.9m
平面線形	50*R*(斜め発進10度)
作用水圧	0.22MPa
道路使用	0：00～24：00　常設作業帯1車線
	9：00～18：00　作業帯2車線
	20：00～ 6：00　作業帯2(3)車線

表-3　設計条件(切羽安定方式)

地盤構成	GL－3m	埋土
	GL－3～20m	沖積砂層　*N*値　17以下
	GL－20m以深	洪積砂層　*N*値100以上(換算値)
地下水位	GL－3m	
道路使用	0：00～24：00　常設作業帯1車線	
	9：00～18：00　作業帯2車線	
	20：00～ 6：00　作業帯2(3)車線	

表-2　工法比較

比較項目	推進工法	評価	シールド工法	評価
線形対応	・中折れ機構装備，中押し管，センプラリング ・1m合成鋼管の使用により急曲線対応 ・25～50*R*，φ2,200～3,000，実績約15件	○	・中折れ機構装備 ・RC・ST・合成セグメントで対応 ・10～20*R*，φ2,700～3,000，実績約20件	○
水圧対応	0.6MPa程度まで	○	必要耐水圧に応じたシール材	○
工期	4.8m/日	○	4.3m/日	△
障害物対応(長期中断)	中押し管2段装備	△	施工再開後の影響少	○
経済性	優る	○	劣る	△
総合判定	長期中断後の施工再開に対するリスクがあるが経済性に優れる	○	信頼性に優れ，リスクへの対応性が高いが，経済性で劣る	△

表-4　切羽安定方式比較

切羽安定方式	泥土圧式(シールド・推進)	評価	泥水式(シールド・推進)	評価	泥濃式(推進)	評価
掘削	スクリュコンベヤ排土	○	泥水流体輸送	○	高濃度泥水間欠排土	○
残土処分	土砂圧送またはずりトロ	○	泥水処理設備，泥水還流	○	バキューム搬出	○
切羽安定	泥土圧	○	泥水圧	○	高濃度泥水	△
発進基地	約600m²程度	○	約1,000m²程度	△	約600m²程度	○
経済性	優る	○	劣る	△	優る	○
総合判定	総合的に有利		経済性および必要基地面積で劣る		切羽保持の圧力保持について検討が必要	
	○		△		△	

比較検討した結果を**表-1, 2**に示す．総合判定で拮抗したが，経済性に優れる推進工法を選定した．

本工事は大土かぶり(*DP*=23m)，高水圧(*P*=0.22MPa)という厳しい施工条件にあるため，これを踏まえた切羽安定方式の比較を行った．検討した結果を**表-3, 4**に示す．発進基地面積が狭隘であるため，泥水処理設備などが必要な泥水式に比較して，多くの発進基地設備用地を必要としないことと，経済性を考慮して泥土圧式推進工法を選定した．

3-4　発進立坑

発進立坑は条件付きの常設作業帯の了解を得られた．昼間においては，交通に支障を来すことのないよう，最大で幅9mの常設作業帯とし，夜間に常設作業帯を最大で幅16mまで広げるという，日々，設置・撤去が伴う常設作業帯であった(**図-5**)．

土留め杭は，立坑深度が深いことおよび周辺の地下構造物への影響を考慮し，剛性の高い，地中連続壁工法(SMW工法)を採用した(**写真-2**)．

発進立坑直近には既設重要地下埋設物があるため，土留め杭を本体利用して，本体構造物(B5F, B6F)の壁厚を80cm→60cmに薄くすることにより，既設重要地下埋設物との離隔を確保した(**図-6**)．しかしながら，既設重要地下埋設物と土留め杭の離隔は77cmしかなく，FEM解析の結果，近

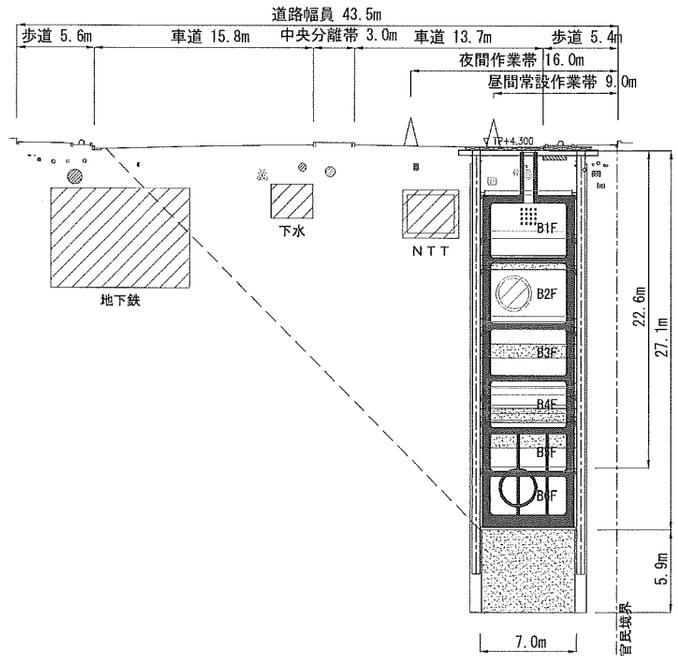


図-5　計画道路横断図



写真-2　昼間時のSMW機

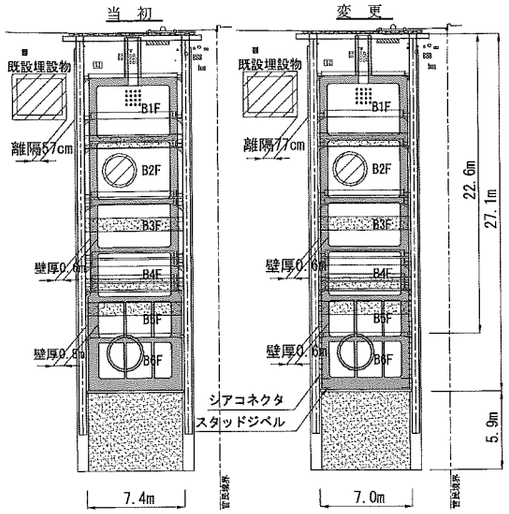


図-6　土留め杭の本体利用

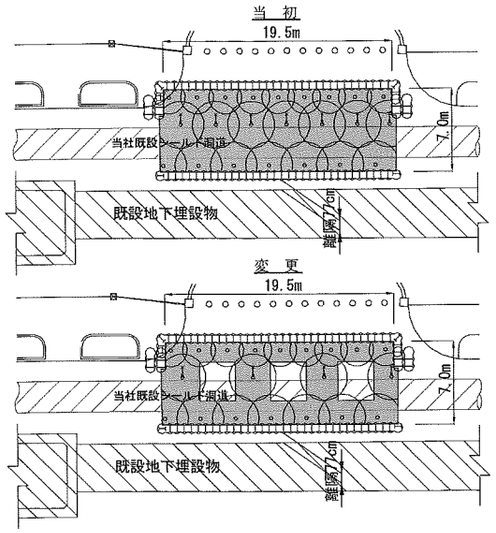


図-7　先行地中ばり計画図

接協議時の施工条件の沈下(隆起)量±5.0㎜，傾斜量±5.0分などの条件をクリアするには土留め杭の変位量を抑える必要が生じた．

土留め杭の変位量を抑えるために土留め芯材のランクアップおよび地盤改良による先行地中ばりの検討を行った結果，経済性に優れる，土留め芯材H-588×300かつ先行地中ばり4段を採用した．

先行地中ばりの特性として以下が挙げられる．

①　掘削残土を産廃処理する必要が生じる
②　コストが高く，改良・掘削に時間を要す
③　効果が見えにくい

先行地中ばりには，全面改良方式と部分改良方式があるが，詳細な検討を進めた結果，部分改良方式を採用しコストダウンを図った(**図-7**)．

4　施工前の各種検討・対策

4-1　発進直後の急曲線(*R*＝50m)の対策

既設設備との連係を図る必要があることから，やむを得ず平面線形は，立坑より斜め(10度)で発進し，かつ発進直後から急曲線(*R*＝50m)となる線形となった．

掘進機が曲がり始める際の，推力の側方分力

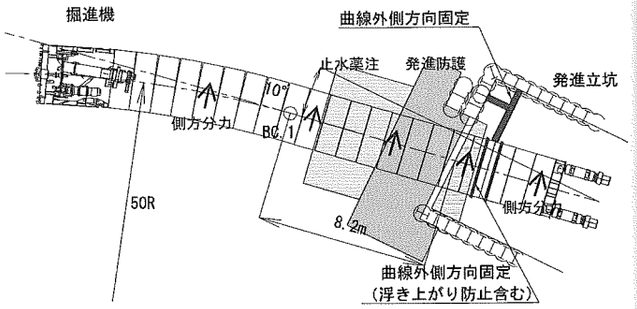


図-8　発進直後の平面線形

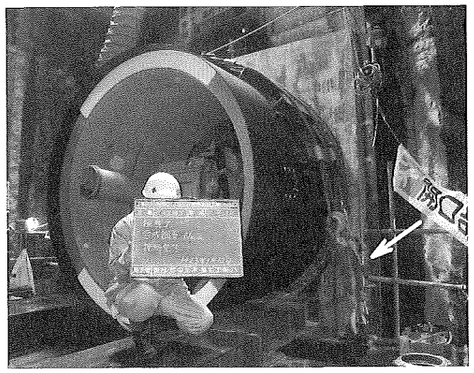


写真-3　曲線外側方固定(管浮き上がり防止)

(曲線外側へ働く力)が，発進直後の直線区間が短いことにより地山内で収まらず，立坑内の推進管へも影響することにより，立坑内設備(坑口，推進架台)に横方向への力が作用して不具合を生じ



写真-4　曲線外側方向固定

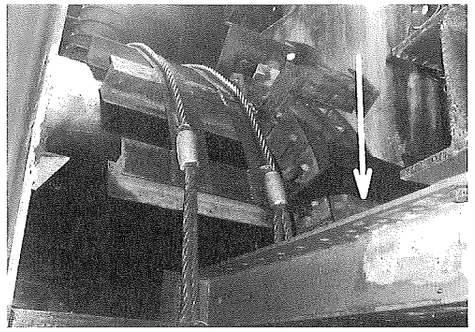


写真-5　曲線外側方向固定(拡大)

表-5　撤去方法比較

工法		凍結工法(機内より)	DO-Jet工法	スライドカッタ工法
撤去方法		機内より凍結施工し，障害物を人力撤去．	マシンカッタから超高圧スラリーを噴射して障害物を切断・機内へ取込み．	障害物撤去により固定式カッタスポークのビットが損傷した場合は，スライド式カッタスポークにより掘進，障害物撤去1～2回を想定．
遭遇～撤去完了工期		80日程度	28日程度	7日程度
コスト	事前装備費	○(安価)	△(高価)	△(やや高価)
	撤去費	△(高価)	△(高価)	○(不要)
	障害物遭遇がない場合の費用	○(安価)	△(高価)	△(やや高価)
	障害物に遭遇し撤去した場合の費用	△(やや高価)	△(高価)	△(やや高価)
総合判定		マシン価格上昇分はわずか．撤去時のコストが高く，工程への影響は大きいが，確実性が高い．	工程への影響が小さく，確実性の高い工法であるが，他工法と比較して高価である．	障害物撤去時の工程への影響がもっとも小さい．障害物がマシン全面に出現した場合は凍結工を実施し，機内からの人力撤去作業となる．
		○	△	△

させる可能性があった．

また，直線区間が短いことに起因する曲線外側の反力不足により，推進蛇行が懸念された(**図-8**)．

この対策として，ワイヤにて管と推進架台(推進架台は立坑基礎コンクリート内埋込み鋼材と接続している)を固定(浮き上がり防止の目的も兼ねる)し，立坑側面と推進管側面を横方向鋼材で連結する設備を設ける計画とした(**写真-3～5**)．

4-2　既設重要地下構造物の仮設物(土留め杭・中間杭)対策

前述したとおり，残置杭調査を実施したが，その結果は100%保証されるものではい．万が一の残置杭遭遇リスクを想定し，撤去方法について比較検討を実施した(**表-5**)．

現場条件より，残置杭撤去方法としては，地盤改良工法を併用した開削工法では不可能なため，マシンで直接切断撤去する方法と，地盤改良後に切羽へ入って人力切断撤去する方法に限定される．

結果，残置杭撤去時のコストが高く，工程への影響は大きいが，施工の安全性や確実性が高く，事前装備費が他工法に比較して安価な「凍結工法」を採用することとして計画した．具体的な措置として，残置杭遭遇後直ちに凍結できるよう，掘進機のスキンプレートに凍結管削孔用の治具をあらかじめ仕込んだ．

4-3　大土かぶり・高水圧対策

管底がGL－25m，地下水位GL－3mより，推進管に作用する地下水圧は0.22MPa程度となる．

外圧および地下水圧へ対応するため，推進管は合成鋼管(1m管)を採用した(通常の推進管JC区

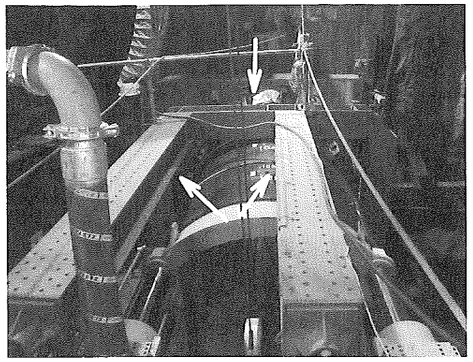


写真-6　バッキング防止鋼材(推進方向)

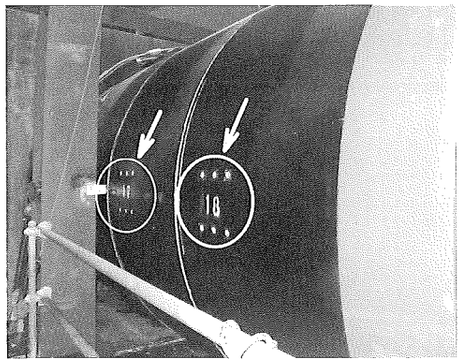


写真-8　管固定金具(上部)

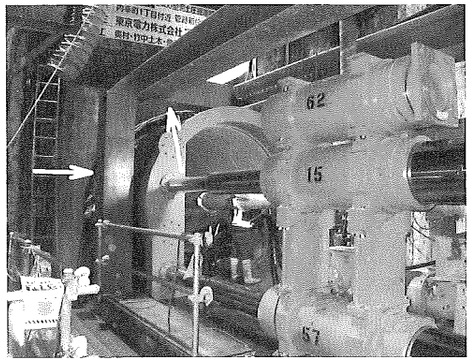


写真-7　バッキング防止鋼材(側部)

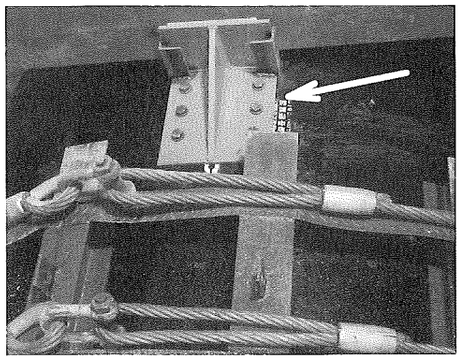


写真-9　ボルトインサート

分の耐水圧は0.2MPa).

急曲線(R＝50m, CL＝70m)施工時の推進管目地開口長は，計算上63㎜となったが，耐水圧(合成鋼管の場合0.6MPa)を保持できるのは70㎜までであり，管の蛇行が大きくなると管継手からの漏水リスクが高くなる．このため，蛇行量を小さくし，精度良く推進するために，測量頻度は管1本ごと(1mごと)に実施する計画とした．

また，推進管セット時に発進立坑で元押しジャッキを引いた際に，切羽の土水圧により管が坑口側に後退するバッキング現象が発生する．これを防止するため，鳥居形の鋼材(反力設備および基礎コンクリートに埋込んだ鋼材と固定したもの)に合成鋼管を固定することとした(**写真-6～8**)．67本目の推進管まではバッキング力が作用する計算結果となったため，あらかじめ合成鋼管外側(上部・両側部計3か所)に，管固定用ボルトインサート(**写真-9**)を設けておく計画とした．

5　施工時に発生したトラブルとその対策

5-1　推進速度低下の状況

洪積砂層(換算N値100以上)中の推進であり，設計段階から硬質であることを前提に掘進機のカッタビット配置などを工夫していたが，施工時には当初の想定以上に硬質であり，推進速度の低下に悩まされる状況が続いた．

推進中，カッタトルクが上昇してカッタが緊急停止(高トルク時には故障防止のために緊急停止する機構になっている)するため，元押しジャッキのスピードを上げられず，排出土砂を見ると水分と砂分が分離していた．高水圧により土砂排出ゲートの噴発傾向が強くなり，ゲートを常時開けた状態での推進ができなくなり，ゲートを閉めた状態で推進し，切羽土圧が上昇したところでゲートを開けると，土砂の取込みと同時に掘進機が一気に前に進み，カッタが地山に当たってトルクが上がって緊急停止する．これのくり返しとなり，過度に元押し推力を増大させると急曲線部の推進管にも悪影響を与えることも懸念されたため，元押しジャッキスピードを上げることができない状況となった．

5-2　原因推定

土砂排出ゲートからの土砂と水が分離し，噴発気味であった状態から，掘進機のチャンバ内での掘削土と添加材の攪拌状態が不十分であり，切羽およびチャンバ内土砂の塑性流動化ができず，カッタスポークの回転抵抗が大きいことが想定された．

このため，添加材と地山との不適合によるチャンバ内の攪拌不良が主な原因として考えられ，切羽地山が想定以上に硬質であることから，掘進機のカッタ回転トルクが不足気味であることもその要因であると考えられた．

5-3　対策と結果

5-3-1　添加材と地山の不適合について

土砂と水の分離を防止するため，ベントナイトを増量(メッシュサイズの増大)して粘性増大を図るとともに，少量の珪酸を配合した添加材とすることにより，徐々に改善傾向となった．

5-3-2　チャンバ内の攪拌不良について

添加材注入位置が悪いために攪拌効率が低下し，攪拌不良になっていると想定した．添加剤注入箇所は，掘進機クラウン部に2か所，センタービットに1か所，スクリュ部に1か所，隔壁部に1か所設けていたため，これらの組合わせにより試行錯誤したが，顕著な改善には至らなかった．結果として，このような硬質地盤の場合，カッタスポークの中央付近にも注入孔を配置する必要があったと考えられる．

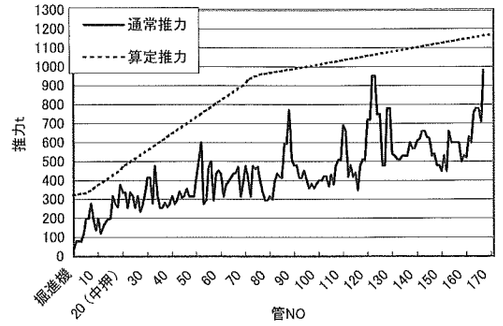


図-9　推進力グラフ

5-3-3　掘進機のトルク不足について

掘進機のトルク係数はα＝15のため，トンネル標準示方書に記載の範囲(10～25程度)には入っているが，地山の硬さを考慮し，さらにトルクの大きい掘進機で計画すべきであった．結果的に，当初目標の8本(8m)/昼夜16時間に対して，3.6本(3.6m)/昼夜16時間であった．

5-3-4　推進力の推移について

推進力は計画推進力内で推移し，とくに問題なく施工することができた(**図-9**)．

6　おわりに

平成23年1月8日の発進後，各関係機関・関係各社の協力により，無事に到達することができた．幸い危惧していた残置杭に遭遇することはなく，推進速度の低下に苦慮したものの，施工の安全性を最優先し，地下重要構造物などへ影響を与えることなく推進が完了した．

この過程において，発注者と施工者とが一致協力し，施工上の課題やその対策などの議論を重ね，それらを実施した結果，安全かつ経済的に施工を完了することができた．この場を借りて関係者の皆様に感謝いたします．

セグメントの新技術

小泉　淳 監修　B5判 132頁　本体定価 2,000円(〒290円)

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

Tunnel Wall

第１回 日本−シンガポール トンネルセミナー2012が開催される

城 間 博 通

平成24年３月15〜16日にかけて，第１回 日本−シンガポールトンネルセミナー2012が，シンガポールトンネル協会(TUCSS：Tunnelling and Underground Construction Society Singapore)の主催，JTA(日本トンネル技術協会)の後援でインターコンチネンタルシンガポールで開催されました．

本セミナーの座長はTUCSS会長のOw Chun Nam氏，日本側の代表は橋本正氏(地域地盤環境研究所GRI代表)です．本セミナーは，近年地下鉄や地下道路など都市整備が急ピッチで進んでいるシンガポールに，長年にわたる多種多様な地盤条件での地下建設経験を有し，さまざまな技術開発をしてきた日本の技術を紹介し，トンネルや地下建設技術の交流を行うことを目的とするものです．また，国立シンガポール大学(NUS)，シンガポール陸上運輸局(LTA)，橋梁建設局(BCA)，鋼構造協会などの組織がセミナーをサポートし，シンガポールインフラ建設関係機関の本セミナーに対する期待がうかがえました．

セミナーの構成は，技術展示と基調講演に分かれ，２日間開催されました．展示部門には日本企業からシールド機械や工法などの技術，推進技術など11社が，海外からはヨーロッパのシールドメーカーやインドの鉄鋼メーカーなど10社が出展しました．基調講演には後述する日本側から６人，地元シンガポールから１人が講演しました．基調講演では日本側から都市部におけるシールドやアンダーパス推進などの地下建設技術と山岳工法の技術やその施工時環境計測技術を紹介し，シンガポール側からはシンガポールにおける地下鉄網の現況と計画などの紹介がありました．基調講演の合間には，各企業からのPR講演があり，各社の最新技術の紹介がありました．セミナー参加者は，シンガポールの公共事業機関の関係者，大学関係者，コンサルタント，建設企業(シンガポールで活躍する日本企業も含む)などの技術者約200人でした．

基調講演者と演題は以下のとおりです．

① 小山幸則(京都大学教授)：Tunnelling Technologies for Construction of Underpass Beneath Railway or Road Intersection in Japan

② Mr. Poul Fok(Land Transport Authority)：Planning Design and Construction of Underground MRT System in Singaporl Past, Present and the Future

③ 小西真冶((公財)鉄道総合技術研究所)：Enlagement Methods of Shield tunnels

④ 進士正人(山口大学教授)：Enviromental Issues During Tunnel Construction in Japan

⑤ 城間博通(西日本高速道路(株))：The Latest Technology of Mountain Tunnelling in Japan

⑥ 高礒徹(阪神高速道路(株))：Shield Tunnel Construction in Hanshin Expressway

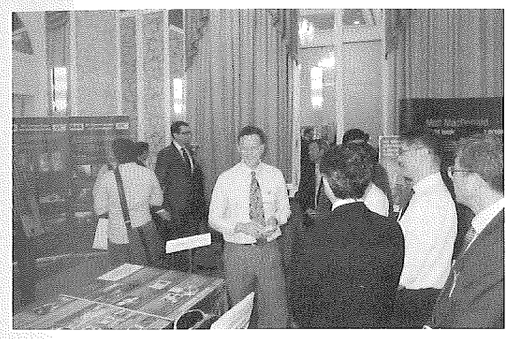
⑦ 西村高明(東京地下鉄(株))：Performance of the Construction of Tokyo Metro 13th Line

TUCSSのメンバーからは「日本のこれまでの経験や最新のトンネル技術やその適用事例を聞くことができ有意義であった」「今回は第１回であり，第２回，３回とこのような会議を開きたい」との声もあり，セミナーは盛況のうちに終了しました．

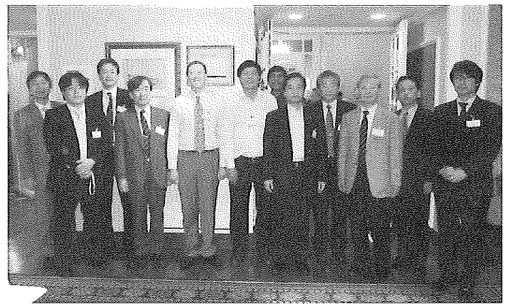
シンガポールは，他の東アジア同様に現在経済



写真−1　講演会場の風景(約200人のセミナー参加者)



写真−2　技術展示会場の様子



写真−3　セミナー日本側講演者ほか(Mr Chew Hock Yong LTA長官を囲んで)

発展のまっただ中にあり，地下鉄や地下道路，地下パイプラインなどインフラプロジェクトが数多く進行あるいは計画中でした．その中で日本企業が現地企業と組んでそれらのプロジェクトに参画し，日本の技術(シールドや開削などの都市地下建設技術)で発展に貢献しているところはうれしく思いました．また，現場では若い日本の技術者も現地の技術者や作業員と一緒に活躍しており，今後トンネル技術の海外展開にはこのような人たちの経験と力が必要になってくるであろうと感じ，頼もしく思いました．しかし欧米や韓国企業などとの競争は厳しいとのことで，日本企業も海外での競争力を付ける戦略が必要であると強く感じました．

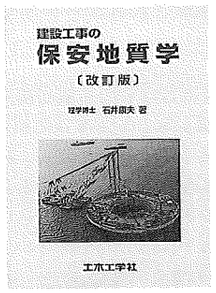
今後も，このようなセミナーを開催することで日本のトンネル技術を東アジアの国々に紹介し，各国々と技術のつながりができることを期待したいと思います．

「Tunnel Wall」は読者の方からの投稿を受付けます．「本の書評」，「雑談」などトンネルにかかわるものでしたら内容は問いません．ただし，掲載につきましては編集委員会で審査し，掲載をお断りすることもありますので予めご了解ください．
ボリュームは3,000字程度で作成してください．詳細は編集部までお問い合わせください．
〔原稿送付先〕
〒162−0832
東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
(株)土木工学社 編集部　TEL：(03)3267−2888
〔提出書類〕
データ(Word，22字詰め，CD保存)および原稿

土木情報 No.470 今月の主な入札結果

（6月10日～7月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	R106新川目T	ハザマ	1,930.8
関東地整	圏央道桶川北本地区函渠その2	清水・西武JV	4,636
北陸地整	湯出野沢集水井(YW-7，8)その他	興和	235.5
近畿地整	近畿自動車道紀勢線和深川T他	戸田建設	1,639.7
首都高速道路	(高負)中央環状品川線(南行)トンネル内装その他	大成・大豊・銭高JV	2,926
都・下水道局	台東区根岸四丁目，下谷三丁目付近再構築	青木あすなろ建設	341.5
〃	江東幹線	大豊・銭高JV	7,065.4
〃	江東区亀戸二丁目付近再構築	前田建設工業	308
〃	世田谷区祖師谷一丁目付近枝線	大和小田急建設	425
〃	〃 大蔵一，四丁目付近枝線	戸田道路	565
水戸市	排第1号，排水路新設	横田・アルプスJV	101
蕨市	錦町雨水管渠築造(24-1工区)	三ツ和総合建設業協組	142.3
横須賀市	H24追浜T補強	大林組	152
四日市市	阿瀬知常磐貯留管	鴻池・丸谷JV	772.67
多可町	町道山野部坂本線(仮称)山野部坂T建設	森組	1,005.51



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 価格6,300円 〒340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 工木工学社 〒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

計 画

列車遅延解消のための地下鉄駅2面3線化計画

—東京メトロ東西線 南砂町駅—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部設計課課長補佐 藤井和之
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部改良建設企画課主任 川上和孝
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部設計課統括事務係 山中耕太郎

1 はじめに

1-1 東西線の現状と課題

東京メトロでは現在，9路線179駅195.1キロの総延長を有した鉄道路線を営業している．このうち，東西線は中野駅から西船橋駅に至る全長30.8kmの路線であり，中野駅においてJR中央線と，西船橋駅においてJR総武線および東葉高速線と相互直通運転を行っている．東西線はこれまで，昭和39年に高田馬場～九段下間が開業したのち，段階的に開業を重ね，昭和44年に中野～西船橋間の全線が開業している．

東西線の輸送人員(中野～西船橋間)は，開業当初(昭和45年度)，1日あたり約55.9万人であったが，高度経済成長に伴い沿線の開発が急激に進み，平成22年度の輸送人員は1日あたり約132.2万人にも上り，東京メトロ9路線のうち，もっとも輸送人員が多い路線となっている．そのため，東西線においては，列車内の高い混雑率や，ホーム上での混雑，混雑のため乗降に時間を要することなどによる列車の慢性的な遅延が課題となっている(図-1)．

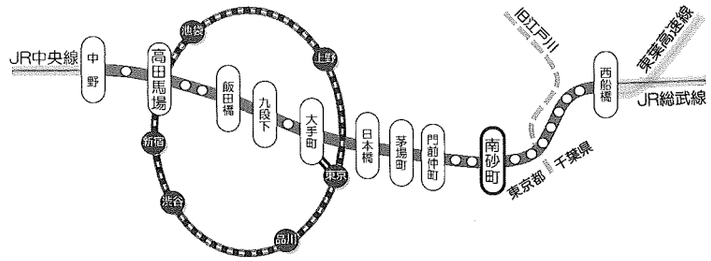


図-1 東西線路線概要図

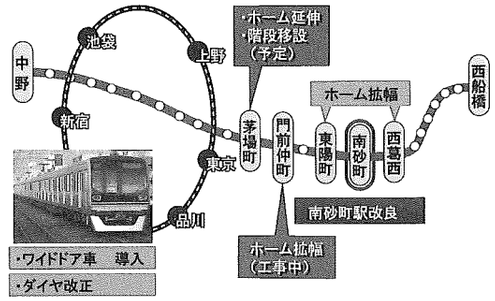


図-2 東西線の取組み

今後も，東西線は利用者の多い状況が続く見込みであるため，これらの課題への抜本的な対策が必要である．

東京メトロでは，東西線の列車遅延，ホーム上での混雑などの対策のため，図-2に示すように，東陽町駅や西葛西駅などにおいて，ホーム拡幅などの改良工事を実施してきたほか，ワイドドア車両導入やダイヤ改正，ホーム整理要員増員などを実施してきた．さらに，門前仲町駅ではホーム拡幅など，茅場町駅ではホーム延伸や階段移設など

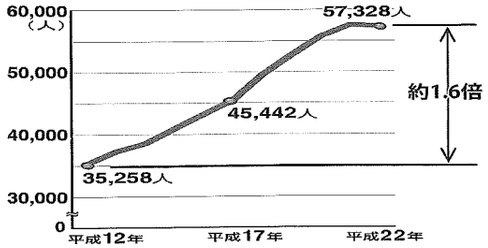


図-3　乗降人員推移

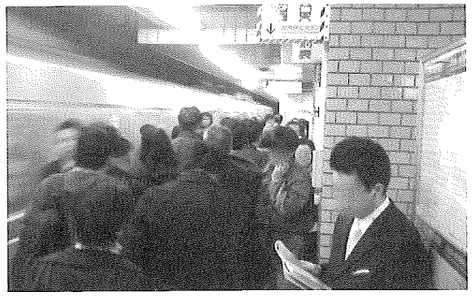


写真-1　混雑する南砂町ホーム

の改良工事を実施している．

1-2　南砂町駅の現状と課題

南砂町駅については，昭和44年の開業以来，近隣の大型商業施設や大規模マンションの建設などによって利用者が増加し，平成22年度の１日あたり乗降人員は約5.7万人と，10年前の約1.6倍となっている(**図-3**)．

しかし，ホームに狭い部分があり，ラッシュ時のホーム上における混雑が課題となっているうえ，ホーム上での混雑は乗降時間の増加につながり，列車遅延の要因にもなっている(**写真-1**)

本稿は，これまで述べた課題のうち，東西線における慢性的な列車遅延の防止と，南砂町駅におけるホーム上での混雑の緩和を目的とした南砂町改良計画について述べるものである．

2　計　画　概　要

2-1　ホーム・線路増設

南砂町駅は現在，島式ホーム１面，線路２線の１面２線の構造となっている．今回の改良計画では，既設のホームおよび線路の南側にホーム１面と線路１線を新設し，２面３線の構造とするものである(**図-4**)．これによって，朝ラッシュ時間帯

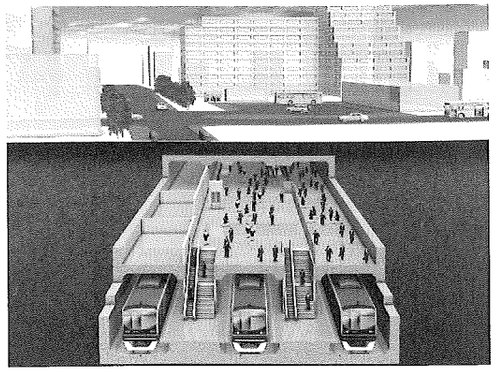


図-4　南砂町駅２面３線化(イメージ図)

において，新設ホームの両側の線路を使用し，中野方面行き列車が交互に発着できるようになる．２面３線化による列車遅延防止効果については後述する．

また，２面３線化のため分岐器を設置することにより，異常時に南砂町駅での折り返し運転が可能となり，事故や台風などによる不通区間の短縮が図られる．

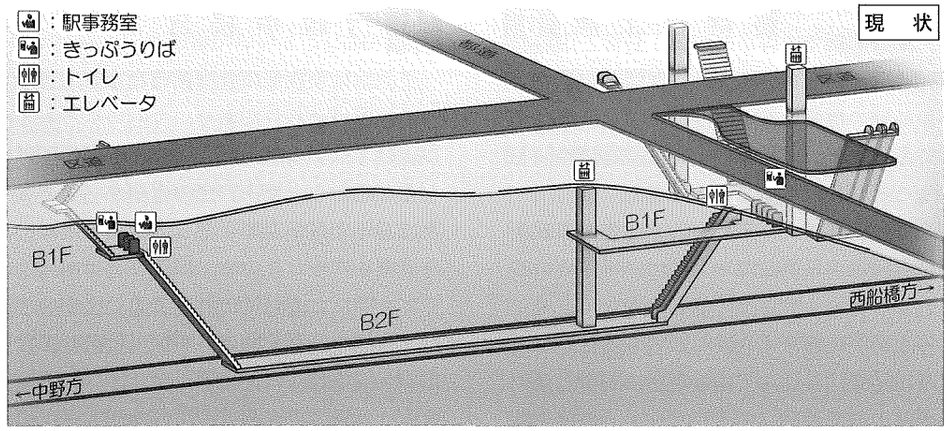
2-2　階段などの再配置

南砂町駅は現在，駅の両端の地下１階に改札があり，地下２階のホームの両端にそれぞれの改札につながる階段が設置されている．このため，階段があるホームの両端に利用者が集中し，ホームや階段における混雑が発生している．さらに，西船橋側の階段付近にはエレベーターが設置されており，そこでのホームの残存幅員が非常に狭くなっている．

図-5は南砂町駅のホームや階段などの位置を模式的に示した立体図であり，濃色の部分が新設範囲，淡色の部分が既設範囲である．

現在，駅の両端にある改札周辺は，狭隘なため混雑しているが，今回の計画により，既設の改札の代替として，駅の中央に十分な広さを確保した改札を新設する．また，改札位置の変更に併せ，出入口を４か所新設，１か所閉鎖し，出入口をバランス良く配置する．

さらに，現在，西船橋側のみ設置されている地上行きエレベーターを，駅の中央および中野側にも設置し，バリアフリールートの拡充を図る．



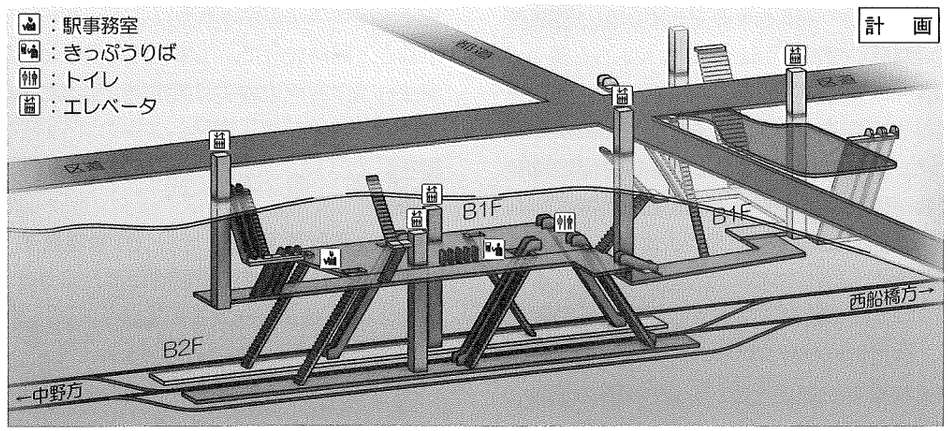


図-5　南砂町駅の現状と計画(イメージ図)

3　改良による効果

今回の改良計画により，東西線の遅延防止，ホームの混雑緩和および駅の利便性向上の３つの効果が期待されている．

3-1　東西線の遅延防止

列車の交互発着が可能になると，後続列車への遅延波及防止と，遅延時間の短縮の２つの遅延防止効果が主に期待できる．

3-1-1　後続列車への遅延波及防止

前者について，現在，南砂町駅に到着した列車に遅延が発生すると，その列車が駅を発車するまで後続列車は駅に進入することができず，場合によっては駅間で停車することもあり，後続列車への遅延の波及が恒常的に発生している．

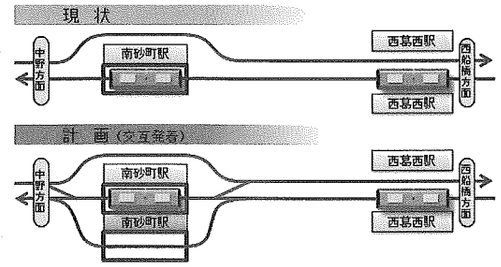


図-6　交互発着(イメージ図)

今回の改良計画により，同一方向に進む列車が，ホームの両側の線路を使って交互に発着することが可能となるため，先行列車に南砂町駅で利用者が乗降している間に，後続列車が南砂町駅に進入することが可能となる．このことから，後続列車への遅延の波及を防止することができる(**図-6**)．

3-1-2　遅延時間の短縮

現在，南砂町駅での停車時間は１分弱と限られており，ホームおよび車両ともに混雑した状況では，停車時間の短縮は非常に困難である．よって，遅延して南砂町駅に到着した列車は，遅延時間を短縮することなく発車することとなる．

今回の改良計画により，ホームの片側に停車中の列車に利用者が乗降している間に，ホームの反対側の列車の発車・到着が可能となるため，ダイヤ上の停車時間を通常より長く設定することができる．その結果，遅延して南砂町駅に到着した列車を，通常の停車時間，つまりダイヤ上の停車時間より短い時間で発車させることにより，列車ごとの遅延時間の短縮が可能となる．

3-2　ホームの混雑緩和

今回の改良計画により，ホームを１面から２面に増設することで，中野方面と西船橋方面の利用者の分散が図られ，ホーム上の混雑が緩和される．

また，現在はホーム両端に階段・エスカレーターが設置されているが，今回の改良計画により，ホームにバランスよく階段・エスカレーターを設置するため，利用者の分散が図られ，ホーム上の混雑が緩和される．

3-3　駅の利便性向上

今回の改良計画により，狭隘な駅両端部の改札を廃止し，駅中央部に十分な広さを持った改札を設置するとともに，出入口や，エレベーター，エスカレーターを増設することで，駅の利便性向上を図る．

4　行政手続き

東西線は東京都市計画都市高速鉄道第５号線として位置づけられており，今回のホーム１面および線路１線の増設を既存の都市計画範囲外に計画したことから，都市計画の変更が必要となった．平成23年４月から東京都との協議を重ね，都市計画素案を作成したのち，同年９月に地元住民に対して２回にわたり都市計画素案の説明会を実施した．今回の計画範囲は江東区に位置していることから，同年12月に江東区，翌年２月に東京都での都市計画審議会を経て，平成24年３月に都市計画変更決定の告示がなされた．また，都市計画変更手続きと同時並行で，工事発注に向けての鉄道事業法61条申請や道路法32条申請の協議を実施した(**図-7**)．

5　構造形式

5-1　改良計画範囲

今回の改良計画範囲の設定にあたっては，中野方面の急曲線(曲率半径約200m)および西船橋方面の大型マンションに影響がないように線形計画を行った結果，改良計画範囲の延長は約440mとなった．

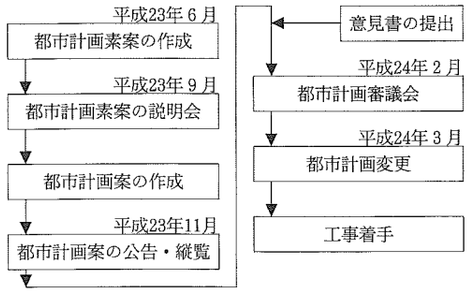


図-7　工事着手までの流れ

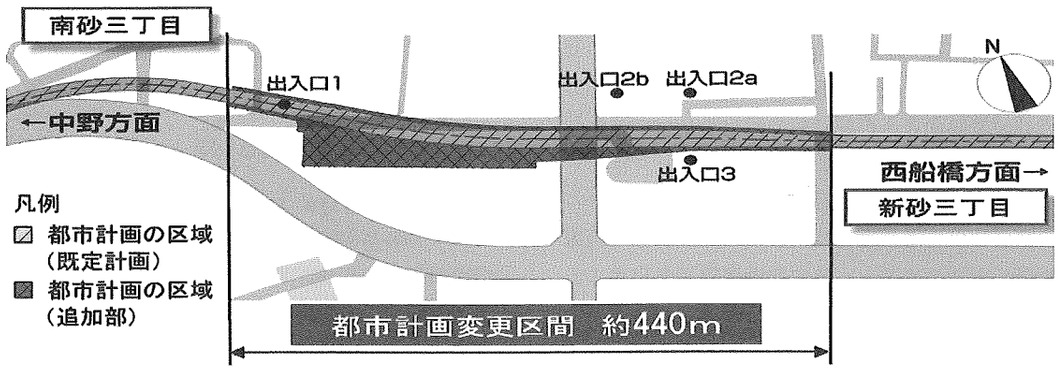


図-8　南砂町駅の改良計画範囲

ホームおよび線路の拡幅にあたっての導入空間は，駐車場として使用されていた民有地を取得したほか，中学校や公園ならびに駅前交通広場などの公有地を占用する計画とした．

5-2　既設および新設躯体の構造

5-2-1　既設躯体

現在の南砂町駅は，中野側の一部分のみが開削工法により築造され，中間部から西船橋側にかけての大部分が潜函工法(潜函13基)により築造されている．

これは，駅の大部分が旧海岸線護岸に接する洲崎河(運河)下に位置し，河底下のN値０～２の極軟弱層での施工は，開削工法では危険であったためである．

5-2-2　新設躯体

今回の構造は，本体利用が可能な地下連続壁を既設躯体の両側に施工することとし，さらに既設下床版の下部に新たに下床版を設け，地下連続壁と下床版により既設躯体を受替える構造とした．

既設躯体の下部は旧洲崎川の川底でN値０～２の極軟弱層であるため，地下連続壁は支持地盤までの根入深さが必要となる．加えて，地盤改良の補助工法を併用し，既設躯体の安定を図ることとした(**図-9**)．

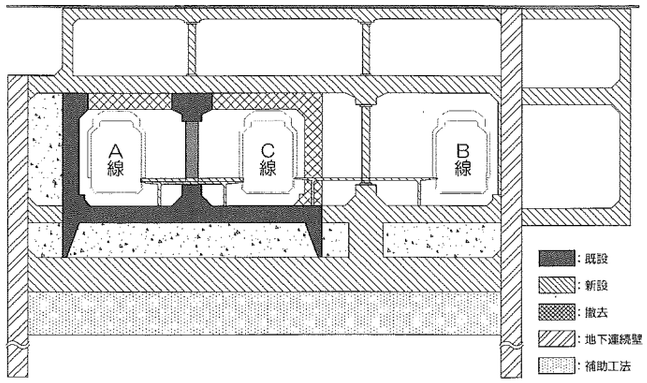


図-9　標準断面図

6　施工の特徴

今回の南砂町駅２面３線化工事における施工の特徴は以下のとおりである．

6-1　営業線の安全・安定輸送

東西線の西船橋行き(以下「A線」)と中野行き(以下「B線」)の列車の安定・安全運行を確保しながらの構築の拡幅およびホーム・線路の増設工事を行わなければならない．

6-2　既存躯体の改造

駅中央部の南側にホームおよび線路を増設するほか，既設ホームの拡幅も行うため，A線の線形を変更しなければならず，B線の既設側壁・上床版の撤去に加え，A線の既存側壁・上床版の撤去が発生する．駅始端部の中野方面については，線路が３線となるため，既設躯体の中柱および側壁を撤去し内空幅を確保する．このため，既設躯体の外周を新設躯体で包みこむような構造にすることから，既設出入口１への通路内空高さが確保できなくため，やむを得ず閉鎖しなければならない．

7　改良ステップ

現在の南砂町駅は，地下２階のホーム端末から地下１階の改札を経て地上へとつながる構造であり，中野方面には出入口が１か所，西船橋方面には出入口が３か所ある．今回の改良工事は，列車の安全・安定運行を確保しながらの工事であることから，施工ステップを以下の３断面に分けて示す(**図-10～13**)．

図-10におけるA-A付近の横断面を図-11に示す．A-A付近の構造は，地下２階部分に線路が２線あり，始終端部の地下１階部分には改札などがある．今回の改良により，地下２階部分は線路を１線増設し，２線から３線とするため，図のように拡幅する．現在の改札部分は，今回の改良により床から天井までの高さが確保できないため撤去し，替わって駅中央の広いスペースに改札を移設する．

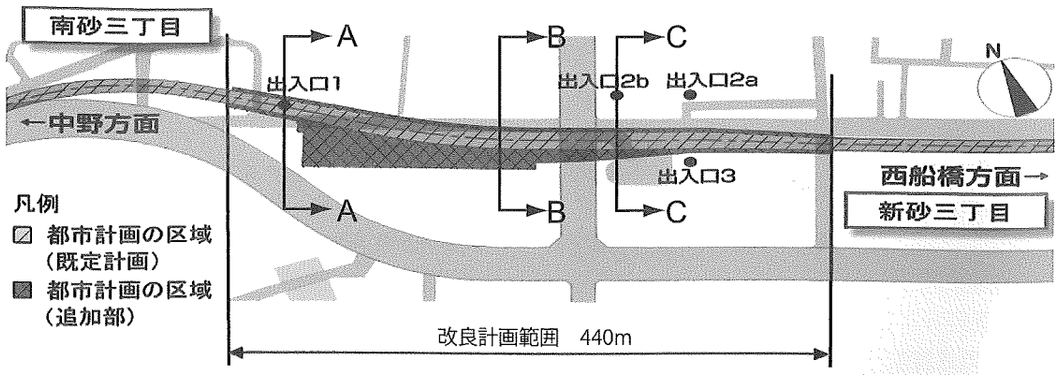


図-10　改良計画平面図

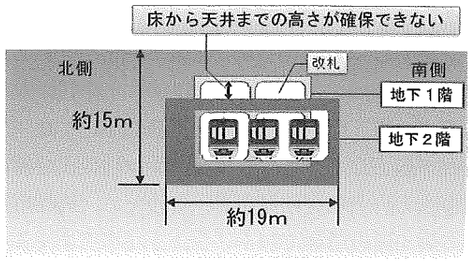


図-11　A-A断面図

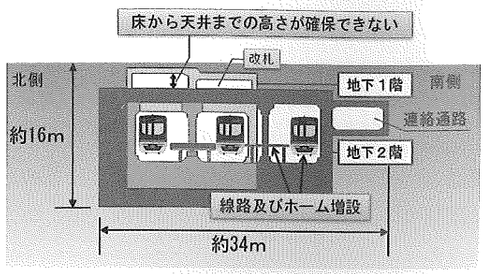


図-13　C-C断面図

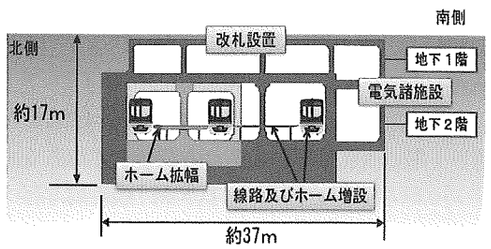


図-12　B-B断面図

図-10におけるB-B付近の横断面を図-12に示す．B-B付近の構造は，ホームが１面と，線路が２線ある．今回の改良により，地下２階部分は，線路およびホームを増設し，支障となる天井や壁を撤去し，既存ホームの拡幅を行う一方，始終端部の改札を地下１階に設置する．これにより改札として十分な広さを確保することが可能となる．また，南側には電気諸施設を設置する．

図-10におけるC-C付近の横断面を図-12に示す．C-C付近の構造は，地下２階部分にホームが１面と，線路が２線あり，地下１階部分には改札などがある．今回の改良により，地下２階部分は線路を１線増設し，２線から３線とし，またホームを増設するため，図のように拡幅する．現在の改札部分は，今回の改良により床から天井までの高さが確保できないため撤去し，替わって駅中央の広いスペースに改札を移設する．また，南側には連絡通路を設け，駅中央に設置する改札と，現在使用している西船橋方面の出入口を接続する．

8　おわりに

現在，工事発注の準備を進めており，平成24年９月に入札を予定している．今後は，平成30年度以降の完成予定年度まで，列車運行上の安全確保を図りながら，工事を進めていく所存である．今後も，機会をみて報告を行っていきたい．

業界案内 2012

目次

コンサルタント業　I
建設業　II
建設機械業　III
建設資材業　IV

掲載内容の説明

会　社　名
代表者名　および　役職
業務内容，　取扱商品名　など
問い合わせ先
所　在　地
TEL：(XXX)XXX-XXXX　FAX：(YYY)YYY-YYYY
E-mail：XYZ@ZZZ.jp
URL　http://www.ZZZ.jp

コンサルタント業 | 建設業 | 建設機械業 | 建設資材業

国際航業株式会社
代表取締役社長　中原　修
・持続可能な社会へ寄与する新しいインフラ整備
・空や地上地下から地形地質を調査計測し，多様なニーズに応えるデータ構築サービスを提供
・山岳トンネルの調査・解析・計画・設計・点検
問い合わせ先：技術センター
〒183-0057　東京都府中市晴見町2-24-1
TEL：042-307-7110　FAX：042-330-0027
E-mail：naoki_muto@kk-grp.jp
URL http://www.kk-grp.jp

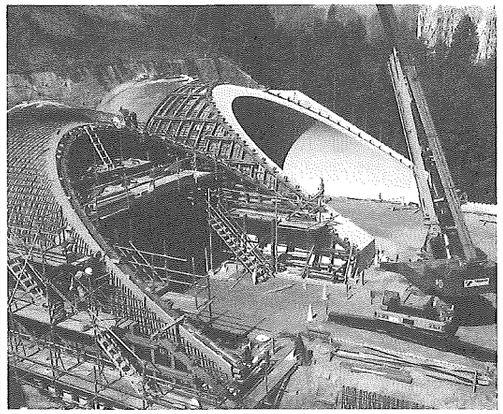
株式会社　ロード・エンジニアリング
代表取締役　清水　洋
道路，道路構造物，付帯設備の調査，設計，施工管理およびトンネル点検・調査・補修設計，とくにトンネルに関する部門を完備
問い合わせ先：本社
〒116-0013　東京都荒川区西日暮里5-24-7　冠ビル
TEL：03-3891-0711　FAX：03-3891-0701
E-mail：info@road-eng.co.jp

メトロ開発株式会社
代表取締役社長　矢萩　秀一
●都市トンネルの調査・設計・施工管理●近接施工の設計・計測管理●建設資機材の販売リース●建築・設備の設計・施工管理●IPH（内圧充塡接合補強）システムの施工●流動化処理土（Mソイル）の製造販売
問い合わせ先：技術部　技術管理課
〒103-0001　東京都中央区日本橋小伝馬町11-9
TEL：03-5847-7807　FAX：03-5847-7821
E-mail：wada@metro-dev.co.jp
URL http://www.metro-dev.co.jp

木部建設株式会社

代表取締役社長　木部　哲実

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



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

日本基礎技術株式会社

代表取締役社長　中原　巖

トンネル補助工事，地盤汚染対策工事，ダムグラウチング工事，斜面安定工事，地すべり対策工事，地盤改良工事

問い合わせ先：東京本社　技術本部　技術部
〒150-0031　東京都渋谷区桜丘町15-17
TEL：03-3476-5701　FAX：03-3476-4551
E-mail：gijutsu-as@jafec.co.jp
URL http://www.jafec.co.jp

吉岡建設株式会社

代表取締役社長　吉岡　隆一

土木工事施工（トンネル・シールド・ダムほか）

問い合わせ先：工事部
〒569-1136　大阪府高槻市郡家新町41-2
TEL：072-681-1861　FAX：072-681-1866
E-mail：yoshiokakensetsu@e-yoshioka.com
URL http://www.e-yoshioka.com/

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

代表取締役社長　石井　英勝

自由断面トンネル掘削機：ブームヘッダー（RH-10J，RH-250-MB-SL，RH-8J），ミゼットマイナー（MM-90，MM-49），ブームカッターシールド（BCS），シャフトヘッダー（SH-37）

問い合わせ先：本社　営業統轄部　営業４部
〒105-0012　東京都港区芝大門2-5-5　住友不動産芝大門ビル
TEL：03-5733-9444　FAX：03-5733-9506

URL http://www.kyb-ksm.co.jp

トンネル・シールド工事用機械のセットリース ケンサンリース株式会社

代表取締役社長　晴披　保

トンネル工事，シールド工事用各種機械，資材のレンタルおよび販売
主要機械：バッテリーロコ，ズリトロ，運搬台車，掘削機械，コンクリート関連機械，レール，分岐ほか

問い合わせ先：本社
〒171-0022　東京都豊島区南池袋3-13-15
TEL：03-5396-9331　FAX：03-5396-9333
E-mail：l.kensan@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www9.ocn.ne.jp/~l.kensan/

SANDVIK サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン 株式会社

代表取締役社長　松本　啓志

ジャンボ，ブレーカ，ロックツール，ロードホウル ダンプ，ダンプトラック，ロードヘッダー，ツインヘッダー，さく孔具，モバイルクラッシャ＆スクリーンほか

問い合わせ先：CS＆マーケティング部
〒222-0033　横浜市港北区新横浜2-15-12　共立新横浜ビル6F
TEL：045-478-0662　FAX：045-478-0661
E-mail：mayuko.yoshida@sandvik.com
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

代表取締役社長　猿橋　三郎

トンネルドリルジャンボ，油圧クローラドリル，油圧ブレーカ，油圧圧砕機，コンクリート吹付機，電動式坑内積込機，スロットドリル，インパクトオーガドリル，空圧さく岩機

問い合わせ先：本社　特機部
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
TEL：03-3231-6966　FAX：03-3231-6993

URL http://www.furukawarockdrill.co.jp

株式会社 三井三池製作所

代表取締役社長　平川　幸知

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

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

ヤマモトロックマシン株式会社

代表取締役　山本　勝俊

油圧・空圧さく岩機・ドリフター，油圧・空圧クローラドリル，アタッチドリル，法面せん孔機，ドリルジャンボ，401・301・201・101ロックボルトせん孔機，立坑・石材せん孔機，トンネル用油圧割岩機，電撃・静的破砕剤，製鐵・ゴミ溶融炉開孔機関連機器・機材．



HCD油圧ロックボールトせん孔機

問い合わせ先：東京営業部
〒100-0005　東京都千代田区丸の内3-2-3　富士ビル713区
TEL：03-3201-0701　FAX：03-3201-5702
E-mail：tokyo@yrm.co.jp
URL http://www.yrm.co.jp

カヤク・ジャパン株式会社

代表取締役社長　山本　茂樹

産業用火薬類の製造・販売，危険性評価試験
　含水爆薬(アルテックス，ランデックス)
　アンホ爆薬，電気雷管，電子雷管(EDD)
　導火管付雷管(アイデット)，発破器，テスター

問い合わせ先：営業本部
〒130-0015　東京都墨田区横網1-6-1(国際ファッションセンタービル9F)
TEL：03-5637-0902　FAX：03-5637-0939
E-mail：info.901@kayakujapan.co.jp
URL http://www.kayakujapan.co.jp/

JAPEX 株式会社ジャペックス

代表取締役社長　小川　昭彦

トンネル用爆薬遠隔装填装置セーフチャージャー
含水爆薬(ハイジェックス，快力)，ダイナマイト
アンホ爆薬，電気雷管，導火管付き雷管ハイネル
導爆線，発破器類，発破技術サービス

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

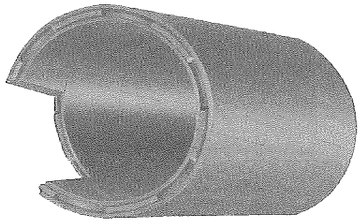
リングロックセグメント研究会

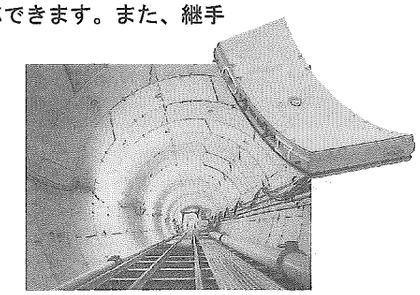
事務局代表　藤本　直昭

●リングロックセグメント　【NETIS 登録番号：KT-010199-A】
～内水圧対応、内面平滑型セグメント～

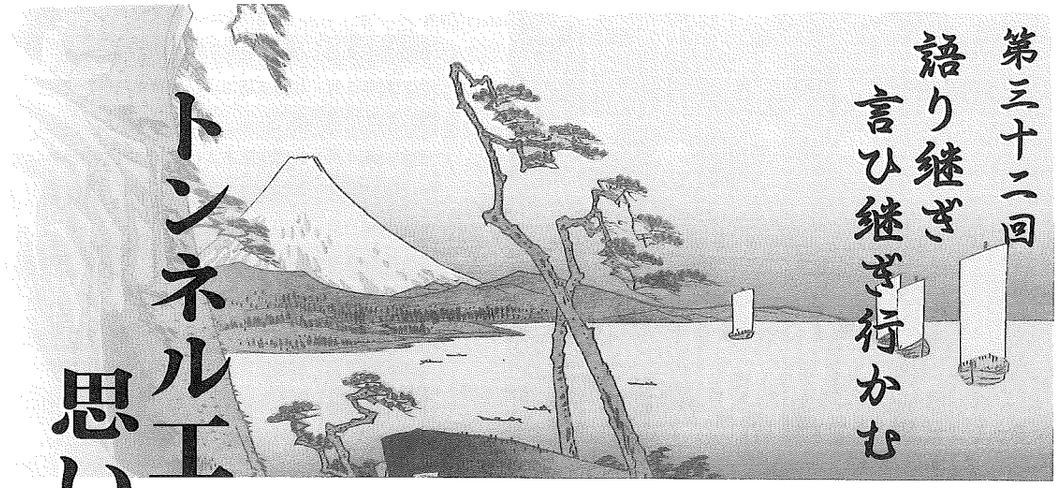
近年、都市型洪水への対応策として地下河川や貯留管などのトンネルが計画されています。これらのトンネルで満管状態の運用を考慮する場合、覆工は土水圧の外荷重と内水圧の両方に対応する必要があります。また、地下河川などで採用されるシールド工法では建設コスト縮減策として、二次覆工を省略しトンネル掘削径の縮小や工期の短縮を図ることが注目されています。

リングロックセグメントは、リング継手面に設けた「ほぞ」のかみ合いで覆工を保持するボルトレス構造で、一次覆工のみで土水圧の外荷重と内水圧の両方に対応できます。また、継手がフレキシブルで耐震上も優れた合理的なセグメントです。





問い合わせ先：(株)フジタ　建設本部　トンネルシールド部内　リングロックセグメント研究会事務局
〒151-8570　東京都渋谷区千駄ヶ谷 4-25-2　修養団SYDビル　TEL：03-3796-2298　FAX：03-3796-2304
E-mail：isozaki@fujita.co.jp　URL http://www.ringlock.jp/index.html



第三十二回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ トンネル工事 思い出すままに

福井 亨
(元)(株)大林組

はじめに

土木屋としての37年の職業生活の中では，結果としてトンネル工事に従事した期間がもっとも長く，延べ26年になりました．そのほとんどは高速道路と新幹線のトンネルでした．

その26年間，どんどん技術が進歩し施工環境も良くなり，次から次へと新しいことを試す機会に恵まれて，また多くの人に助けられて本当に楽しい期間でした．楽天的な性分もあったのか，今となっては苦労したなんて記憶はほとんどありません．

しかも，私の経験はもうひと昔もふた昔も前のことで，技術的にも施工設備なども今のほうがずっと進んでいると思いますので，若い人に語り継ぐほどのものもないかもしれません．

ただ，基本的な考え方や姿勢の重要性は不変だと思い，そのへんで何かお役に立つことがあればと思って書いてみました．

国鉄追分線　第一追分トンネル
(北海道，S.41.12～S.43.3)
—はじめてトンネル工事を見る—

入社２年目で体調を悪くして工務担当として現場事務所内勤務となった．カルバートボックスの設計などをしながらときどきトンネルの現場を見学程度に見に行った．当時は何も知らなかったが，鋼製支保工が普及する初期のころであったようで，底設導坑はまだ木製であった．また照明，粉塵，その他の安全設備なども今から思えば劣悪な作業環境であった．

中央自動車道　笹子トンネル
(山梨県，S.47.4～S.52.10)
—トンネル入門—

昭和47年，はじめてトンネル工事担当として中央自動車道笹子トンネルに配属された．

はじめの２年間は工務担当，その後は土木主任として，見積りから乗り込み，仮設段取り，本坑，換気立坑，坑内舗装，内装天井版，そし



碓氷峠トンネル到達式にて(中央前が筆者)

著者略歴

昭和40年 4 月	(株)大林組入社
昭和40年 5 月	札幌支店および東京本社管内現場勤務
昭和41年12月	追分線第1追分隧道工事
昭和43年 4 月	札幌支店および東京本社管内現場勤務
昭和47年 4 月	中央自動車道笹子トンネル東工事
昭和52年11月	大川ダム工事勤務
昭和54年 8 月	関越自動車道関越トンネル湯沢側工事
昭和58年12月	近畿自動車道多紀連山トンネル工事
昭和59年11月	北陸自動車道境トンネル工事　所長
昭和62年 7 月	磐越自動車道高玉東トンネル工事　所長
平成 2 年 6 月	長野新幹線碓氷峠トンネル東工事　所長
平成 3 年12月	長野新幹線八重原トンネル西工事　所長
平成 8 年 3 月	圏央道菅生トンネル工事　所長
平成 9 年10月	東京本社東京工事部　部長
平成12年 1 月	海外土木部　部長
平成12年 3 月	台湾新幹線総合事務所　副所長

て最後の仮設撤去まで，道路トンネル施工のフルコースを経験させていただいた．なにしろトンネル用語もほとんど知らないで，一から十まで先輩に教わりながらの仕事であったため，ここでの経験が後の仕事に大きく影響したと思う．

ここは中生代白亜紀の頁岩と一部輝緑凝灰岩の硬岩トンネルで，湧水も少なく，山自体は良かった．本坑は発注者の仕様では当時一般的であった底設導坑先進上部半断面掘削でレール工法であったが，当工区は所長の発案でタイヤ工法で施工させていただいた．ただし地質確認と水抜きを目的として，底設導坑はレール工法により機械施工が可能な最小断面で施工した．

このころはまだNATMではなく，いわゆる在来工法と称した上半掘削，上半巻立て，大背掘削，土平抜掘り，足付けコンクリート，土平掘削，側壁コンクリートという手順が必要であったが，これを導坑併進のタイヤ工法で施工することには大きな問題があった．それは大背部が上半への斜路となるため上下半掘削が併進できないということであった．

その対策として鋼製の上下半連絡用移動式桟橋を考案し製作した．これにより大背の穿孔装薬は上半のずり出し中に桟橋の下で行い，上半の穿孔装薬中に桟橋を後方へ下げて大背の発破ずり出しを行うことでスムーズに導坑および上下半の併進が可能となった．

また，これだけの長大かつ大断面でのタイヤ工法用の換気はわれわれにはあまり経験がなく，また当時はブロアーや風管も貧弱なものであった．結局φ900㎜，300㎜Aqのコントラファンとグラスファイバー補強プラスチック製の硬質風管を採用したが，ジョイントからの漏風も多くて良好な換気状態とは言えなかった．

覆工でも大きな問題が生じた．当時の一般的なアーチコンクリートの打設方法は最近のような吹上げ方式ではなくて，コンクリート輸送管をセントルの妻枠部からセントル内に配管し，打設しながら奥から順次人力で解体して下がってくる方式が主体で，この方法では天端まで充填することはほとんど不可能であった．

それでもスコップで跳ね上げる方法からプレスクリートなどを経て，ようやくここまで技術が進んだところではあった．

しかし関係者は巻厚不足を承知のうえで，やむを得ないこととして，きわめて不十分な注入で済ましてきたため，それが公になって大騒ぎとなり，完全注入や一部のスパンでは壊してやり直しとなった工区もあった．良いものを作らなければならないという原点を思い知らされた出来事であった．

本坑がほぼ完成後の換気立坑(直径約10m，深さ60m)工事では，

ビッグマンによる下方ずり出し方式とし，汎用機械である建築工事用のエレベーターやタワークレーンを使うとともに，火薬のくり当て事故防止のためメーカーにお願いして，当時はまだ開発途上であった含水爆薬を使用させていただいた．しかし，まだ品質的に完成されておらず，殉爆性が悪くて残留火薬が多かったのを記憶している．

このように新しい技術や工法を大胆にどんどん採用してゆく当時の所長の姿勢は，土木屋として，たいへん刺激的で勉強になった．

関越自動車道　関越トンネル
(新潟県，S.54.8～S.57.1)
—長大トンネルの全断面掘削—

関越トンネル１期工事(下り線)の越後湯沢側を，JVの一員として工事の途中で赴任した．坑口は越後湯沢駅の町から12km，上信越国立公園内谷川岳連峰の，山も深く雪も深いところで，熊と雪崩の心配をしながらの現場であった．工事は本坑と補助坑および後に発注される換気立坑と地下換気所があり，そのうちの本坑2,700mから5,600m(貫通点)までをJVの工事主任の立場で担当した．

この山は新鮮な閃緑岩の一軸圧縮強度が2,000kg/㎠以上もある安定した硬岩で，本坑は全断面掘削タイヤ工法で大部分は無普請(落石防止用金網のみ取付け)という工法であった．

ここで新しく勉強したのは山はね現象である．

最初にして最大の山はねが，ある日突然起きた．ずり出し終了直後に発破と間違えるような轟音とともに，鏡のほぼ全面から半球状に奥行き３mほどが飛び出してきた．ずり量50㎥，飛散距離50mくらいあったと思われる．その後も大きなものが数回あったが，幸い山はねによる怪我人は出なかった．

対策としてはあまり有効なものは思いつかず，鉱山関係に経験者や研究者がおられるということで同和鉱業(株)と北海道大学のご指導をいただいた結果，先行水平ボーリングとAE(アコースティックエミッション)観測によって，できる限りの予知を行い，危険性が高いと思われるときには穿孔や発破などで切羽をいじめたあと，少し落ち着くまで60分程度の休憩時間をとることとして，なんとか乗りきった．切羽をいじめた後の数分から数十分後に起きやすいことが経験でわかったからである．

次に勉強したのは換気であった．

計画では，補助坑(レール工法)を送気坑として，連絡坑を経由して本坑へ送り込む坑道換気方式であったが，切羽が5,000mを越えるころには換気状態が悪く，とくに坑口付近では煤煙による視界不良で，非常に評判が悪くなった．

セントルのすぐ後ろの連絡坑から2,000㎥を切羽に向けて送り込み，坑口方向は途中の連絡坑から希釈用に，随時，本坑に取り込んで最大6,000㎥くらいの換気量であったと記憶しているが，満足できる状態にはならなかった(送気量はコントラファンの公称能力)．

原因はいろいろ考えられるが，

① ブロアーの能力が小さい(500㎜Aqの1,000㎥が当時の標準であった)．

② 坑内ダンプトラック(15t)が奥に行くにつれて台数が多くなり，トラックミキサーその他あわせると排気量が増えすぎた．

③ 各機械の排ガス処理装置は今と比べて性能が良くなかった．

④ 風管(φ1,000硬質短管)や風門の維持管理が十分でなく，漏風が多かった．

それでも切羽への吹き込み方式のため，作業箇所の換気は比較的良好であったから，なんとか切り抜けた．吸出し方式であったら切羽がもっとひどい目にあっただろう．

北陸自動車道　境トンネル
(富山県，S.59.11～S.62.4)
—NATMが標準工法となる—

境トンネルは，所長としての初めてのトンネル現場であり，またNATMもはじめての経験であった．

担当した西側工区(1,007m)は，坑口部70mが崩積土区間，あとは固結度の低い凝灰岩で，上半先進のタイヤ工法で施工した．先輩の薦めもあって削岩機にアトラス1238LP(軟岩用)，また吹付けコンクリートにはSEC工法を採用し，順調に施工ができた．

ここでは，この削岩機によって長孔穿孔テスト(50m以上)を行い，そのノウハウを得て，その後に担当したすべてのトンネルで，全長にわたって水抜きボーリングとして採用し，好結果を得た．

磐越自動車道　高玉トンネル（福島県，S.62.7～H.2.5）—多彩な工種を経験—

明かり区間(1,800m)と高玉東トンネル(1,100m)および高玉西トンネルの一部(400m)を，見積りから竣工まで担当した．磐越自動車道を郡山から猪苗代へ向かって最初のトンネルで，坑門が白鳥の形をしたトンネルである．

工区はトンネルのほかに，切盛土，橋梁，ボックスカルバート，トンネルずりによる砕石生産(上部路床材)と多彩な内容で，土木屋として楽しい現場であった．前のトンネルではいろいろ言われながらアトラスのジャンボを使ったので，削岩機の勉強のつもりで，ここではタムロックを使ってみたが，これもまた良かったように思う．

また，作業効率向上などのため坑口広場から坑内全線を仮舗装しながら掘り進んだが，当時この程度のトンネルではまだ珍しかったのか，周囲の同業JVからは好奇の目で見られたようだ．しかし現場がすっきりと整理整頓されているかのように見えて，期待した以上の効果があったと思う．

長野新幹線　碓氷峠トンネル（群馬県，H.2.6～H.3.12）—高速掘進に挑戦—

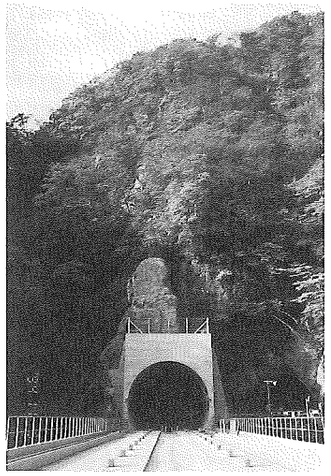
長野新幹線碓氷峠トンネルを，群馬県松井田町から軽井沢に向かって施工した．山は全体が新鮮な角礫凝灰質の硬岩で，加背割りは3mのミニベンチ，支保はほとんどロックボルトと吹付けのみであった．

まず，坑口の地形が急峻な岩壁のため，約200mほどのアプローチ道路と坑口付けに苦労した．坑口付近は発破が使えなかったので，本坑口の高さ30mの垂直な岩壁は，人力穿孔と静的破砕材で切り下がりながら二分勾配に整形したが，それでも坑口としてのスペースが確保できず，30mほど脇から横坑をロードヘッダーS300で掘削して本坑に入り，正規断面に切り拡げたあと，反転して，中から坑口を開いた．ロードヘッダーは夜間に狭い山道を数km自走して運び込んだものである．

トンネル掘削ではテーマを高速掘進と考えた．

穿孔は3ブーム2ケージのホイールジャンボ(古河)で，芯抜きはダブルVカットの3m起こし，穿孔時に定規ともなる鋼製支保工が設計上なかったので，余掘りを抑えるためレーザーによるトンネルマーキングシステムを採用した．

新しい試みとして，ずり積込み機にシャフローダーを入れ，20tダンプと組み合わせた．その積込み能力の高さ(CAT988に匹敵と思われた)と排ガスの出ない利点，また動き回らないため安全で，大型ブレーカーとで切羽の片側ずつに分かれて，コソクと積込みの同時作業が可能になるなど，すぐれた機能を発揮してくれた．また，先行水抜きボーリングと坑内仮舗装も全線にわたって行い，境トンネル以来，継続してコンビを組んできた優秀な坑夫さんたちにも助けられて，思いどおりの掘進速度が出たと思っている．



碓氷峠トンネル東坑口

ただし私自身は坑口付けから8か月後，その1工事(掘削1,600m)竣工時点で，次の八重原トンネルに転勤して，あとの約2,000mは次席のY氏が引き継いでくれたものである．

長野新幹線　八重原トンネル（長野県，H.3.12～H.8.3）—長野オリンピックに間に合わせろ—

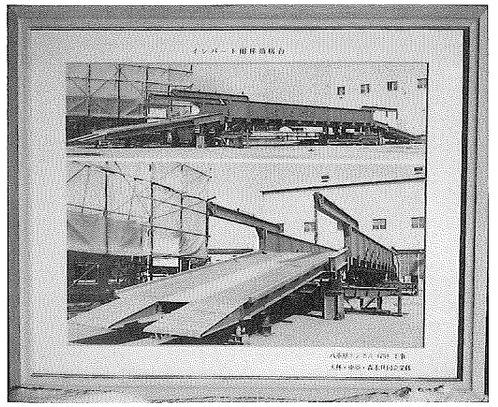
長野新幹線八重原トンネルは千曲川左岸の台地部に位置し，0～2,600mは玉石混じりの砂礫層，2,600～3,674m(貫通点)は固結度の低い帯水砂層であった．この帯水砂層でもドリフターによる先行水抜きボーリングを多用して進んだが，貫通まで残り100mで，相手工区に約1,000m³の流砂崩落があり，危険とみて遂にLW注入を行った．

施工設備としては，上半の掘削と積込みはロードヘッダー，運搬はボルボの20t積みダンプトラックを使った．その他の新しい試みとしては，

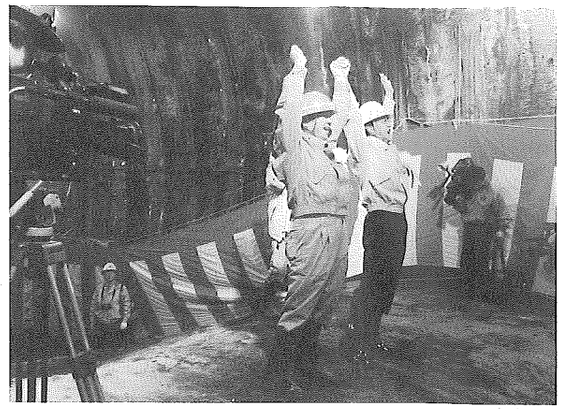
① 転石，砂礫から砂までを効率よく穿孔するために，SIG(スイス)のドリフター(ロータリーとパーカッションの比率を無段階に変えられる)を使ったこと．

② 全線にわたってインバートコンクリートを，切羽および覆工コンクリートと同じ日進6mで併進させるためのインバート桟橋の開発．

などがある．インバート桟橋では笹子トンネルの上下半連絡桟橋のアイデアを生かして開発し，後日これで特許をいただいた．



八重原トンネルで用いたインバート桟橋



八重原トンネル貫通式にて大成建設小林所長と(手前が筆者)

圏央道　菅生トンネル（東京都，H.8.3～H.9.10）—環境対策に取り組む—

菅生トンネルその1工事として，L＝850mの上下線，計1,700mを担当して，あとは次席を務めてくれたA氏に引き継いだ．地質は八重原と同様のよく締まった礫質土で，湧水も少なく問題はなかったが，坑口付近には人家が多く，またオタカやトウキョウサンショウウオなどの生息地でもあったので，坑口広場を防音壁と目隠しのシートで完全に覆うなど，環境問題でいろいろと努力が必要であった．

台湾新幹線(H.12.3～H.14.7)—初めての海外勤務—

台北の南16kmを始点に，C210およびC215の2工区，施工延長52kmを，地元業者とJVを組んで設計施工で請負った．そのうちトンネルは廻龍(フェイロン，2,200m)，林口(リンコウ，6,400m)，湖口(フウコウ，4,200m)と1,000m以下の桃園(タウエン)第一～第三との6本で，計約15kmであった．

工期が短いので林口トンネルに立坑2本と湖口トンネルに横坑2本を設け，1切羽1km程度に分割して，13の切羽を5社に下請けしていただいた．

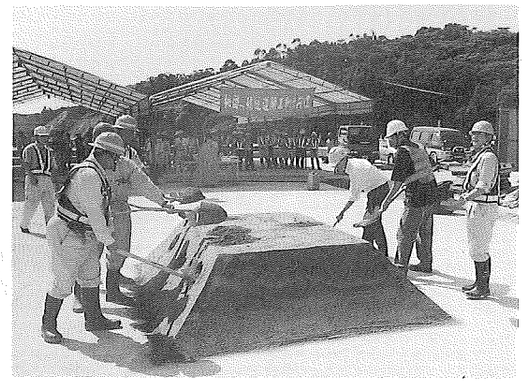
廻龍トンネルは可燃性ガスのでる泥岩，林口トンネルと桃園トンネルはよく締まった礫層，湖口トンネルは帯水砂層で，この砂層が1番の難関であった．

湖口トンネルの北側半分の砂層では，水平ボーリングをすると砂の流出が止まらないため，やむを得ずディープウエルL＝80～100mを，トンネルの両側に10～20mピッチで300本以上施工し，先受け工法と併用でようやく掘進した(地上部は陸軍の演習場で原野であった)．

私のトンネル人生の集大成でもあったが，定年間近の58歳の私の立場は，アドバイザーとして，わが社のトンネル技術社員の人事と，設計，施工計画および施工の助言であり，それぞれの工区で若い優秀な技術社員たちががんばってくれた．

イギリス，イタリア，ドイツ，中国，フィリピン，タイの各国人が入り混じっての仕事を，片言の英語と中国語でなんとか勤めおえて，61歳の誕生日をもって退職した．

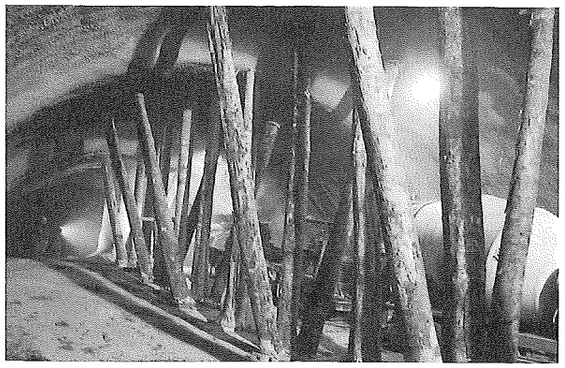
1つ残念であったのは，湖口トンネルで私が退職した直後の数箇月間に，2回大崩落事故があった(トンネルと地下，Vol.37，No.1，pp.7-18参照)ことで，その後も約半年間，その後始末で日本-台湾



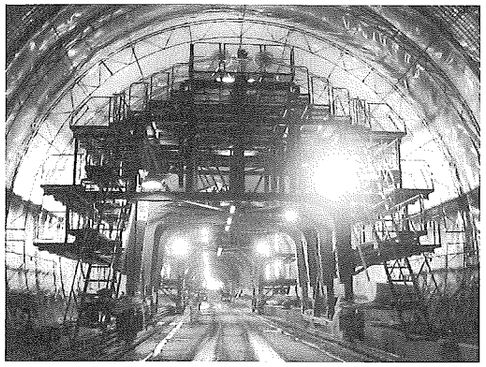
台湾新幹線トンネル起工式(右端が筆者)



台湾新幹線トンネル坑口付式(左から２番目が筆者)



湖口No.2 崩落対策　バルクヘッド設置状況



湖口トンネル防水シート設置状況

間を行き来した.

下請け会社の社長以下，主な技術屋さんがイタリア人で，日本人のトンネル屋さんとのコミュニケーションが十分でなかったことが潜在的な原因でもあったと思う.

こうして私のトンネル屋生活は終わったが，今振り返ってみると，前半は何も知らないで上司や同僚に迷惑をかけたが，所長職についてからはすべてがうまくいったように思う.

幸運にも山が良かったことと，良い上司と優秀な部下に恵まれ続けたことが一番であるが，強いて努力した点を挙げるなら，

① ひとつの成功体験にとらわれず，常に違った機械や工法を検討し，積極的に採用(削岩機，積込み機，運搬車，インバート桟橋など)したこと.またそれが許されたこと.

② トンネル全線で必ず切羽の左右に水抜きボーリングを先行させて，地山の改良に努めたこと.

③ 坑内外をできるだけ仮舗装して，運搬能力のアップと車両の修理費の低減および交通安全を図ったこと.

④ すべての現場がJV体制であったが，良好な人間関係が築け，チームワークが良かったこと.

などがうまくいった理由に入るであろうか.

研　究

小口径推進の曲線施工位置検知システムの開発

(元)(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部主管研究員　小　西　真　治
(公財)鉄道総合技術研究所車両構造技術研究部車両振動研究室副主任研究員　朝比奈　峰　之
(株)ジェイアール総研情報システム土木計測部土木計測プロジェクトサブプロジェクトリーダー　田　村　晋治郎
アースナビ推進工法協会事務局長　山　田　俊　則

1 はじめに

これまで，下水道などの小口径トンネルの曲線施工に対応した位置計測方法としては，電磁波ロケータ，レーザ光プリズム屈折方式，走行ロボット方式などがある．これらの計測方法は，地上作業，土かぶり制限，計測精度，機器コストなどに関して問題を抱えていた．そこで，筆者らは，地上作業を必要としない非開削工法のみによる施工時の位置検知システムとして，掘進機に設置した小型光ファイバジャイロ(以下，「ジャイロ」と呼ぶ)で得られた方位角のデータから位置を測定できるシステムを開発した[1]．複数の現場において，本システムの適用試験を行い，良好な結果を得た[2]．これにより，簡単で安価に精度の良い曲線施工が行える位置検知システムを構築したので報告する.

2 位置検知システム

2-1 地中位置計測システム

図-1に小口径推進装置とジャイロによる方位角計測装置および推進距離計測装置を用いた位置検知システムを示す[3]．システム化にあたっては，①ジャイロによる方位角計測方法，②ジャイロ波形のサンプリングとノイズの除去，③方位角と推進距離データをもとにした位置計算アルゴリズム，④掘進機の位置姿勢のシミュレーション機能，の各項目について新たな手法を開発した.

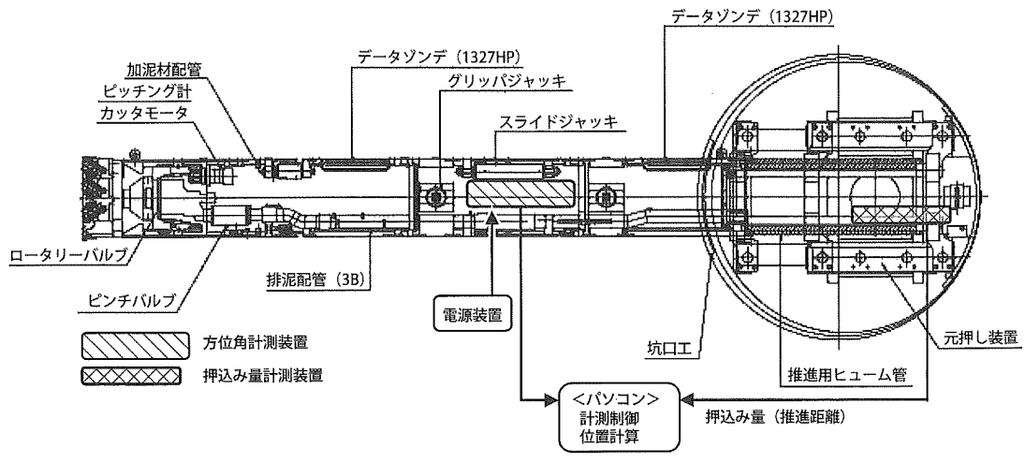


図-1　位置検知システム[3]

2-2 位置計算の原理

本システムでは，ジャイロで計測した方位角と推進距離を用いて幾何学な計算で位置を求めている．位置算定原理を**図-2**に示す[4]．ここでは，測定原点 P_0 を基準に，現在の先端位置を P_1，次の時点の位置を P_2，…，P_n とする．実際の管が通っている掘削軌跡に対して，測定原点 P_0 の座標が既知で2点間距離(推進距離に相当)を L とすると，管の真北からの角度 θ_1 がわかれば，現在の管先端位置 P_1(南北位置，東西位置)を式(1)の形で表せる．

$$P_1 = (L\cos\theta_1,\ L\sin\theta_1) \qquad (1)$$

さらに，管を推進した場合，前回の原点が位置 P_1 にくるので n 番目の先端座標は式(2)により，掘削原点からの積算で求めることができる．

$$P_n = P_0 + \sum(L_i\cos\theta_i,\ L_i\sin\theta_i) \qquad (2)$$

なお，実際の計算では機体の傾きを傾斜計で計測し，3次元空間での計算に拡張している．

2-3 方位角計測方法

方位角は，ジャイロで地球の自転によって発生する角速度を計測して求める．具体的には，**図-3**に示すZ軸(ジャイロの鉛直軸)周りにジャイロを少しずつ回転させて，その都度，角速度を計測し，角速度が最大になる方向を求める[1]．ジャイロの角速度検出方向と地球の自転方向が一致したときに，センサ出力が最大となり，これが真北方向となる．すなわち，**図-4**のジャイロ回転角 θ_0 がこれに当たる[1]．また，直角になったときに出力がゼロ，逆向きに一致したときにマイナスの最大値になる．その後，ジャイロの感度軸(ジャイロの方向の基軸)と掘進機の軸の関係を整理して，掘削機の方位角を算出する．実際に検出される出力信号は，**図-5**に示す「回転軸が傾いたときのジャイロ出力」のようなサイン波になる[4]．しかし，現実の掘削機はピッチおよびロール方向に傾いており，ジャイロも**図-6**に示すように傾いている[1]．そこで，ジャイロ固定台に取り付けた傾斜計の値

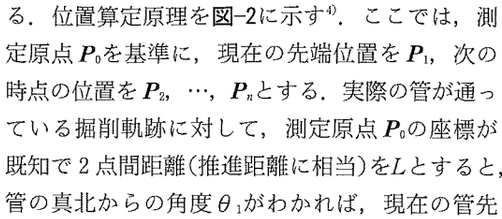


図-2 位置算定原理[4]

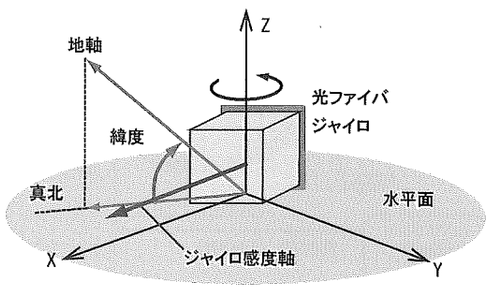


図-3 ジャイロと地軸の関係[1]

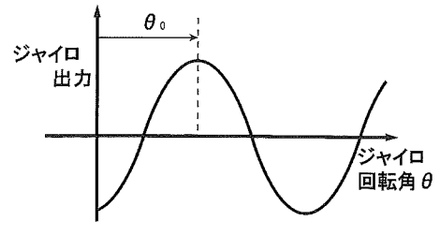


図-4 ジャイロの角速度出力と回転角の関係[1]

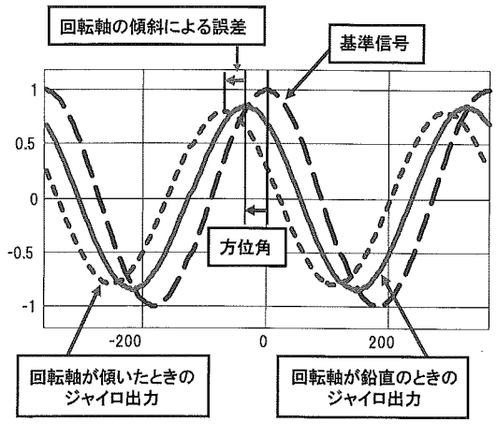


図-5 ジャイロの傾斜を考慮した方位角の求め方[4]

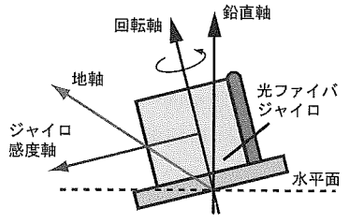


図-6 実際のジャイロの状態[1]

から補正をかけて，図-5に示す「回転軸が鉛直のときのジャイロ出力」を算定し，機体の方位角を求めている．

さらに，ジャイロによる測定の微小なバラツキをなくすため，反転して計測を行っている．精度よく最大角速度位置を求めるため，1回方向角を定めるのに，100回以上の角速度測定を行っている．このようにして求めた方位角と，元押し装置部に装着した押込み量計測装置で計測した1ピッチあたりの推進距離から，掘削機の位置を算出する．ジャイロ波形のサンプリングプログラム，ノイズ除去方法，位置計算ソフトウエアは本システムのために新たに開発した．これらは，鉄道の振り子列車の制御で用いている考え方から発生してきた技術である．

2-4 計測器本体の仕様

原則として，方位角計測器はさまざまな掘進機の施工方式および管径に適合させて製作している．現在までに作成した計測器本体の外観を**写真-1, 2**

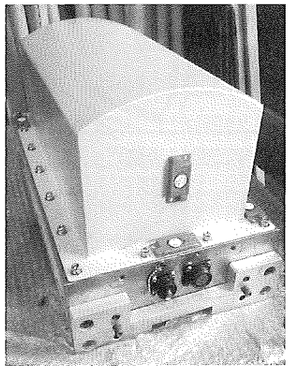


写真-1 計測器本体その1

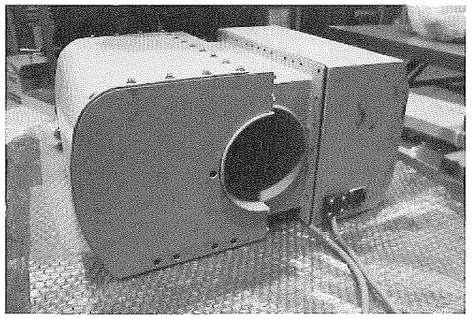


写真-2 計測器本体その2

に示す．掘進機の構造によりレーザターゲットの前方に装着するものと後方に装着するものの2種類がある．なお，後者はレーザ光を通過させるため分割型になっている．

2-5 シミュレーション機能

現場での利便性を向上させるため，以下に示す各種シミュレーション機能を開発し，システムに組み込んだ．

(1) 施工計画線(誘導ライン)の生成編集

本システムでは，計画図面から施工計画線を作成し計測位置との比較を行いながら施工を行う．そのため，**図-7**のように発進立坑から曲線入口(BC)，曲線出口(EC)，到達坑までの距離および曲率半径を入力することで計画線を自動生成できる機能を組み込んだ[2]．

(2) カッタ先端位置予測機能

図-8に示すように，掘進機の方向修正ジャッキの移動量を入力することで，次の管を押し込んだ

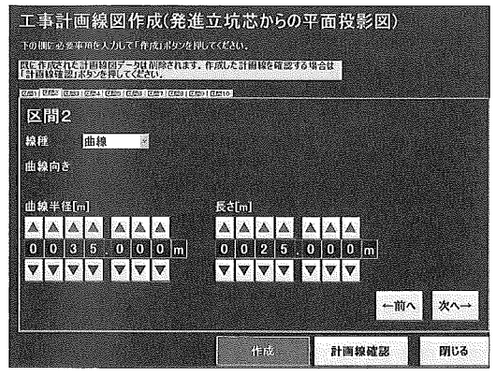


図-7 施工計画線生成編集[2]

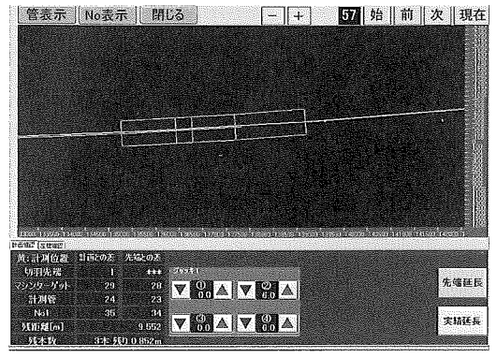


図-8 カッタ先端位置予測[2]

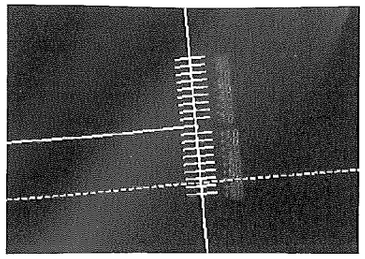


図-9 到達時カッタ先端拡大図[2)]

計画確認	座標確認	
黄：計測位置	計画との差	先端との差
切羽先端	26	***
マシンターゲット	17	-9
計測管	6	-20
No1	-2	-28
残距離[m]		144.549
残本数	58本 残り2.033m	

図-10 残管数予測[2)]

ときのカッタ先端位置を，現在までの位置情報から予測できる機能を組み込んだ[2)]．また，図-9のように，到達坑の手前ではさらに詳細にずれを予測できるようにした[2)]．

（3） 残管数予測機能

挿入管長とクッション材の諸元と使用管数から，図-10に示すように，残距離と残管数と長さを予測することを可能にした[2)]．これにより，簡単に施工計画を立てることが可能になった．

3 現場適用結果

3-1 施工経歴

2011年に2か所，2012年に2か所の実現場において，本システムを使用して掘進機の位置検知およびそのデータによる掘削機の方向制御を行い，システムの現場での適用性を確認した．各現場の概要と施工結果を表-1に示す．

なお，施工精度は到達時の計画線とカッタ先端位置の現場での実測値を，計測精度は本システムの計測結果から計算したカッタ先端位置と到達位置の差を示す．

表-1 施工結果

	施工場所	土質	管径	施工距離	カーブ	施工精度	計測精度
1	A現場 山口県下関市	風化花崗岩	φ300	約79m	左80R	左30㎜	4㎜
2	B工事 千葉県野田市	普通土	φ600	約102m	右200R	左15㎜	3㎜
3	C工事 愛知県豊橋市	礫質土	φ400	約145m	左200R	左11㎜	8㎜
4	D工事 山口県防府市	砂質土	φ250	約83m	左100R	左39㎜	15㎜

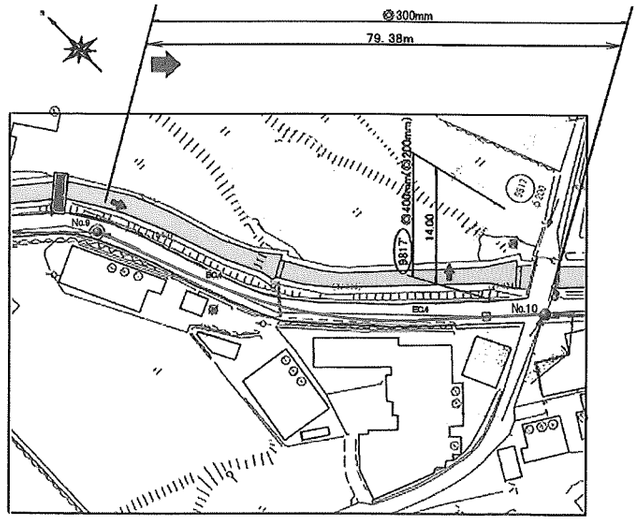


図-11 平面図(A現場)[2)]

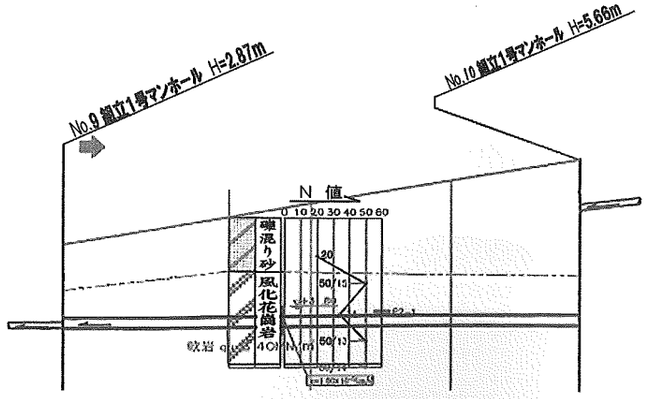


図-12 縦断図(A現場)[2)]

3-2 A現場[2)]

3-2-1 概 要

工事の平面図を図-11，縦断図を図-12，地上の状況を写真-3に示す．

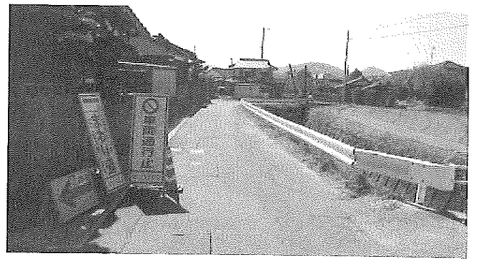


写真-3 現場状況(A現場)

施工は高耐荷力泥土圧推進工法によるφ300㎜ヒューム管の下水道設置工事である．掘進距離L=77.38m，曲線半径R=80mの左カーブ，平均土かぶり2.49m，設計勾配2.0‰，掘進位置の地質は風化花崗岩，N値35～50である．

3-2-2 計測結果

到達時における施工誤差は28㎜，計測精度は4㎜であった．この施工では位置検知で電磁波ロケータによる計測を併用したが，図-13に示すようにロケータ計測では電波到達の障害により突発的な変化を示すことがあった．しかし，本システムでの計測結果は安定した軌跡を示しており，計測精度として問題ないレベルにあることを確認できた．

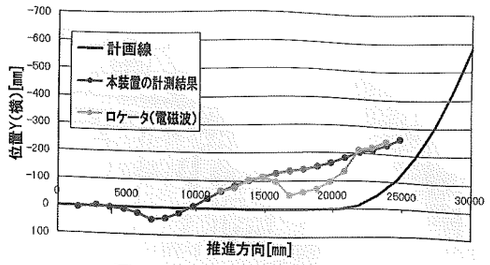


図-13 ロケータ計測との比較

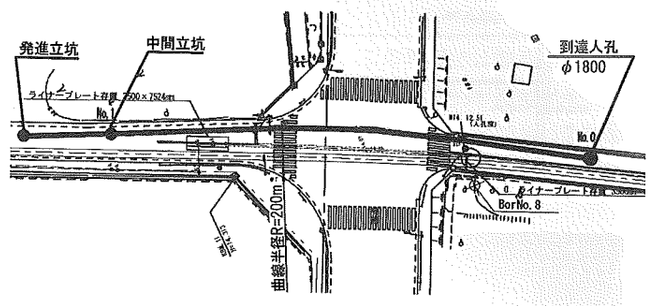


図-14 平面図(B現場)

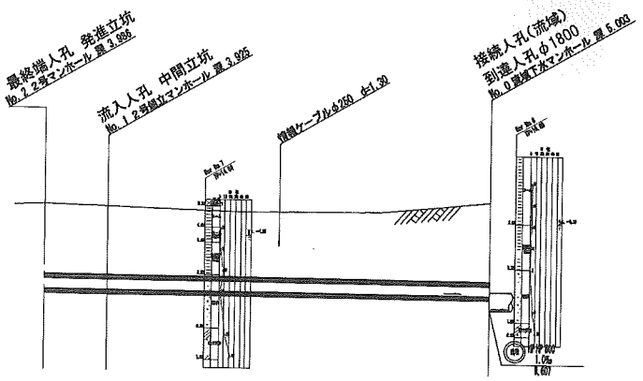


図-15 縦断図(B現場)

3-3 B現場[2)]

3-3-1 概 要

工事の平面図を図-14，縦断図を図-15，地上の状況を写真-4に示す．施工は高耐荷力泥土圧推進工法によるφ400㎜ヒューム管の下水道設置工事である．掘進距離L=101.86m，曲線半径R=200mの右カーブ，平均土かぶり3m，設計勾配2.0‰，掘進位置の地質は普通土で，途中に障害物があるため曲線となっている．地上は，非常に交通量の多い主要国道のため，ロケータによる計測ができなかった．

3-3-2 計測結果

到達時における施工誤差は15㎜，計測精度は3㎜であった．本システムのみによる曲線施工を行ったが，十分な精度が得られた．

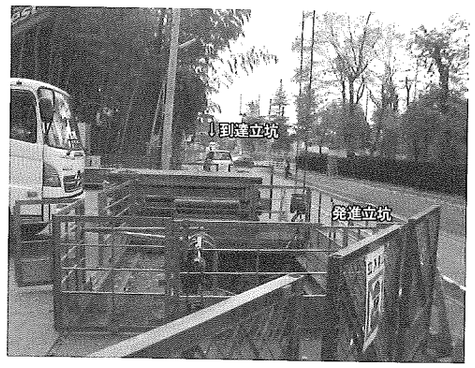


写真-4 現場状況(B現場)[2)]

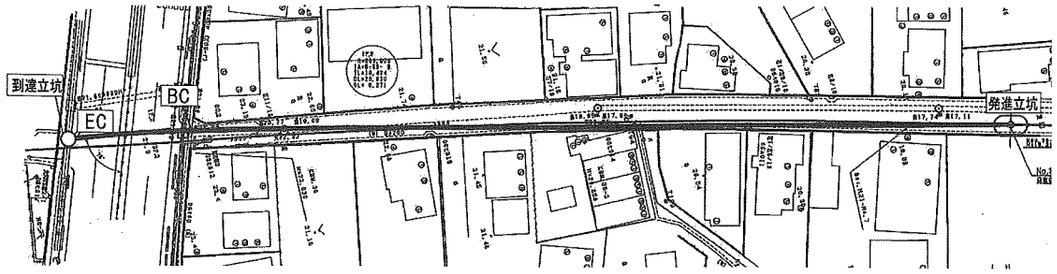


図-16　平面図(C現場)

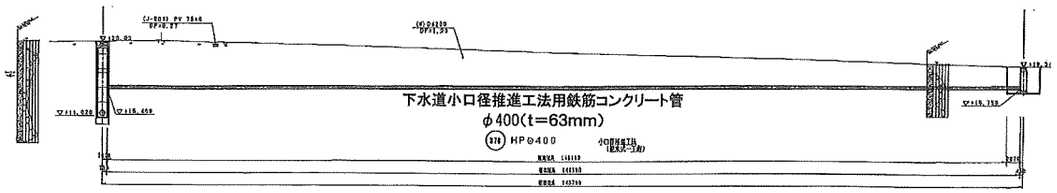


図-17　縦断図(C現場)

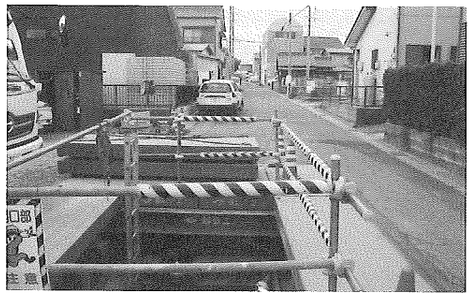


写真-5　現場状況(C現場)[2)]

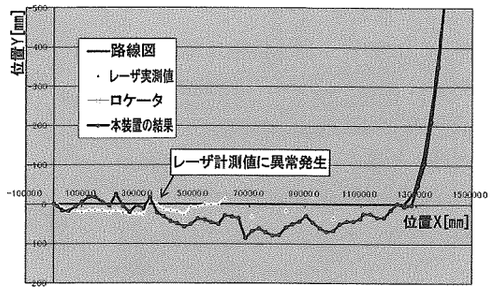


図-18　レーザ計測異常発生図[2)]

3-4　C現場[2)]

3-4-1　概　要

工事の平面図を**図-16**，縦断図を**図-17**，地上の状況を**写真-5**に示す．

施工は高耐荷力泥土圧推進工法によるϕ400㎜ヒューム管の下水道設置工事である．掘進距離L＝149.79m，曲線半径R＝200mの左カーブ，平均土かぶり5.1m，設計勾配2.0‰，掘進位置の地質は礫質土で，約120mの直線の後，主要国道直下でカーブし曲線出口点(EC点)と到達立坑がほぼ一致する難しい線形であった．

3-4-2　計測結果

到達時における施工誤差は11㎜，計測精度は8㎜であった．この現場では**図-18**に示すようにレーザ計測の結果で急激な変化を示した．このため，オペレータは右に舵を切ったがレーザの計測はこの操舵に反応しなかった．

これに対して本装置での計測結果では右への操舵が確認された．現場での検討の結果，推力の上昇で発進立坑が変形し基準線にずれが生じたことがわかった．しかし，本システムでの計測は絶対座標系(緯度経度)で結果が得られるため，このような状況下においても原因究明と対処が可能であった．

3-5　D現場

3-5-1　概　要

工事の平面図を**図-19**，縦断図を**図-20**，地上の状況を**写真-6**に示す．

施工は高耐荷力泥土圧推進工法によるϕ250㎜ヒューム管の下水道設置工事である．掘進距離L＝82.9m，曲線半径R＝100mの左カーブ，平均土かぶり4.5m，設計勾配2.0‰，掘進位置の地質は砂質土で，約10mの直進後，崖下でカーブに入る施工であった．

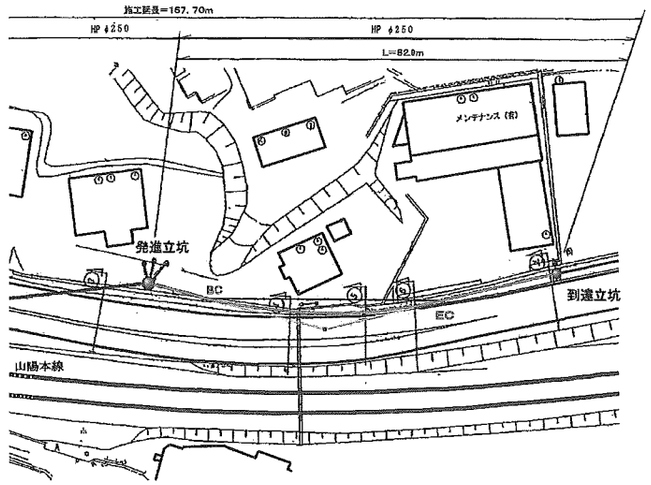


図-19　平面図(D現場)

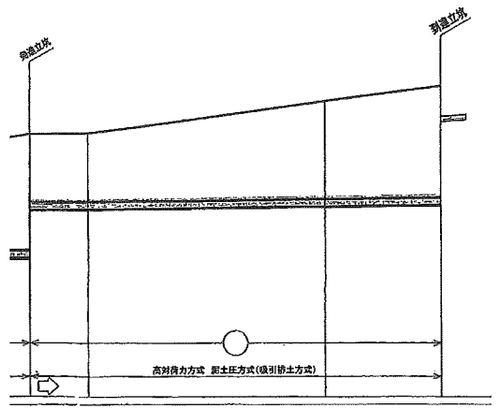


図-20　縦断図(D現場)

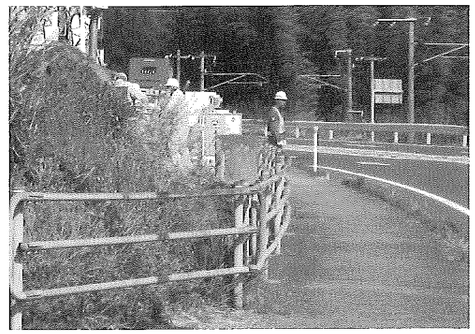


写真-6　現場状況(D現場)

3-5-2　計測結果

到達時における施工誤差は39㎜，計測精度15㎜であった．

計測精度が他の現場と比較して若干悪いのは，ϕ250㎜の最小径掘進機での施工で，計算の基準となる発進立坑も小さく，掘進機初期設置方位の調整距離がとれなかったために誤差を生じた．

今後は設定時の調整距離を大きくとることでこの誤差は回避できると考えられる．

また，この現場では掘進中に予測しなかった人工障害物が複数発現し掘進機が停止したため，掘削機の姿勢が変化した．しかし，本システムで問題なく誘導できた．

4　計測精度について

管径ϕ250～ϕ600の4つの現場で施工を行い，到達時における施工精度は40㎜以内，計測精度は15㎜以内という結果であった．曲線での管推進工事の精度としては実用上問題のないレベルである．

今後，前述の初期設置方位設定方法の見直し，掘削開始時の掘進機ストローク量計測の見直し，作業手順の標準化などを行うことにより，さらに精度を高めることができると考えている．

5　ま　と　め

本システムで，4回の現場施工を行い，推進工法の曲線施工で十分な精度を確保できることが確認できた．また，筐体の構造を再検討し推進方向に短くしたことで掘進機の操縦性に問題はなくなった．

さらに，施工時の各種シミュレーション機能を装備したことによりオペレータが使いやすいシステムが構築できた．計測時間も当初1回あたり16分必要であったが，データのサンプリング方法を改良したことにより，10分以内となった．このため，管継ぎ作業時間内に計測できるようになり，作業の効率化が図れた．今後，ϕ800㎜以上の中口径を対象とした施工試験も行い，幅広い管径での普及を図りたい．

6 おわりに

本システムの適用にあたり，各施工現場においてご協力いただいた工事会社の関係各位に，深く感謝致します．今後も関係各位のご指導を賜りながら，システムの技術改良を図っていく所存です．

参考文献

1) 小西真治・朝比奈峰之・田村晋治郎・山田俊則：光ファイバジャイロを用いた小口径推進曲線施工，土木学会トンネル工学報告集，Vol.21，pp.473–476，2011.11.
2) 山田俊則・田村晋治郎：ドルフィン工法とSリード(旧名Sジャイロ)による小口径管推進曲線施工について，月刊推進技術，Vol.26，No.5，pp.13–17，2012.5.
3) 山田俊則：推進工法の足跡，第34回 ドルフィン協会のあゆみ，月間推進技術，Vol.25，No.6，pp.53–58，2011.6.
4) 鴨下庄吾・佐々木君章・朝比奈峰之：地中の位置をジャイロで測る，Railway Research Review (RRR)，Vol.66，No.2，pp.6–9，2009.2.

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判 286頁 本体価格 5,825円 〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

研 究

鋼管表面に突起物を設けた鏡ボルトの開発

(株)大林組生産技術本部トンネル技術部技術第二課長 木梨秀雄
(株)大林組生産技術本部トンネル技術部副課長 高橋佳孝
(株)大林組技術研究所地盤技術研究部主任技師 畑 浩二

1 はじめに

近年，山岳トンネル工法は土砂地山や大断面トンネルでも適用されるようになった．この背景には切羽安定化のための補助工法の発達がある．わが国では，切羽安定化対策として，先受け工と鏡ボルトがよく用いられ，さまざまな工法が開発され発展してきた．このうち，本論では鏡ボルトについて述べる．従来多用されてきた鏡ボルトの芯材はGFRP製であったが，最近では経済性や環境への配慮から鋼管が使われるようになっている．本研究では，新たに鋼管を用いて高耐力・高付着力の鏡ボルトを開発した．

本論では，まず，鏡ボルトの発達と現状を概観し，ついで，現場計測結果にもとづいて鏡ボルトに必要な仕様について考察する．さらに，有効な鏡ボルトの設計手法となる解析的検討を踏まえ，新たに開発した高付着力の鏡ボルトの優位性と適用範囲について考察する．

2 鏡ボルトの発達と現状

わが国で鏡ボルトが初適用された時期は明確ではないが，『トンネルと地下』が創刊して間もない1971年に，国鉄紅葉山線鬼峠トンネルで採用されたことが述べられている[1]．このトンネルでは，蛇紋岩の膨圧対策として長さ3mのロックボルト8本を鏡面に打設し，レジンカプセルで定着した．その後，1975年ごろからGFRP製の鏡ボルトが適用され始めたようだが，短尺の鏡ボルトが主流であった．

1990年代に入ると，長さ10m以上のFRP製の長尺鏡ボルトが適用されるようになり[2]，鏡面の前方地山を先行補強することが重要視され始めたようである．

その後，2000年代に入ってNATMが都市部の土砂地山に適用されるようになると，孔壁が自立しないため，二重管削孔が実施されるようになった．管材にはφ75～80㎜程度のGFRP管を用い，鏡面に長さ12m程度打設している．このころ，坑口部や不良地山で，長尺フォアパイリングと同様に長尺鏡ボルトが多く適用され，重要な補助工法となった．

鏡面前方地山を補強する考え方は，P.Lunarudiが提唱したADECO-RS理論[3]で展開されている．この理論では，トンネル内空が十分支保され横断方向が安定していたとしても，切羽が不安定なトンネルは崩壊すると考え，鏡面前方の地山をもっとも重要な補強対象としている．すなわち，鏡面前方地山の変形やゆるみを許すと，鏡面の押出しを余計に発生させ，設計よりも多くの地山を掘削することになる．

たとえば，断面積80m²のトンネルで鏡面の押出しが1cm発生するごと，少なくとも0.8m³の地山を余分に掘削することになり，ゆるみの増大につながることが理解できる．切羽の不安定なトンネルで，内空変位がいつまでも収束しない現象は，多くのトンネル技術者が経験しているが，このようなケースで鏡面前方の補強と早期閉合が有効で

表-1　各種鏡ボルトの力学的特性

材質		GFRP管		鋼管	
		引抜き成形品	巻付け成形品	STK400（スリット付き）	STK400（スリット・窪み付き）
外径(mm)		φ76	φ81	φ76.3	φ76.3
引張耐力	素材部(kN)	800	580	235（スリット含む）	300（スリット含む）
	ネジ部(kN	200	300（継手部鋼製）	230～300	300（継手部拡径）
付着耐力(kN/m)		150	131	50	120

あることは，わが国でも既に鉄則のようになっている．

最近では，鏡ボルトは材料のコストや環境への負荷低減などから，鋼管が用いられるようになっている．従来用いているGFRP管はトンネル掘削時に重機で容易に切断できる特長があるが，継手部の引張耐力が素材部に比べて小さい(1/5～1/2)ことが短所であった．元来，鏡面に打設した鋼管は掘削の支障になっていたが，スリットを設けてトンネルの掘進ごとに撤去できる工法が開発された．鋼管は分別が容易であるため環境への負荷も小さくなる．

ただし，地山条件によってはこのスリット部の引張耐力が小さいことや，鋼管表面が平滑で定着耐力の小さいことが新たな課題となる．

現在，国内で用いられている種々の長尺鏡ボルトの特性を**表-1**にまとめる．

まず，材料の強さを示すねじ部の引張耐力に着目すると，継手部が本体にねじ加工するタイプではGFRP管で200kN，鋼管で230～300kNである．

つぎに，現場引抜き試験で求めた付着耐力に着目すると，GFRP管では材質や表面加工によって130kN/mの耐力を有している．

これに対し鋼管は，表面が平滑なタイプで50kN/m程度であり，付着耐力向上のため窪みを設けたタイプでも120kN/mとGFRP管に比べて付着耐力が小さい．

3　鏡ボルトの要求性能

現場計測により，実際に発生する鏡の押出しや鏡ボルトに作用する軸力を調べ，鏡ボルトに必要な性能を検討してみる．

3-1　押出し性地山の場合[4]

鏡面や内空断面の大きな押出しに難渋する膨張性泥岩地山において，GFRP管鏡ボルト(L=12m，引張耐力300kN)を15(本/断面)打設して鏡の押出しを抑制した．この状況下で，鏡面前方にストローク200㎜の地中変位計を埋設し，切羽進行に伴う押出し量を計測した．

この地中変位計はデータロガーを先端に埋設しており，ロッドがガラス繊維製で容易に切断できるので，トンネル掘進の支障とならない．各計測ポイントは水圧式アンカーにより設置した．計測ポイントの配置を**図-1**に示す．

切羽1mの進行ごとの前方押出し変位の計測結果を**図-2**に示す．当現場では1m掘進あたりの押出し変位が非常に大きい．計器設置後，2m掘進時で鏡面が既に100㎜押出しており，3m掘進時点で押出しは計測ストローク限界の200㎜を超えた．

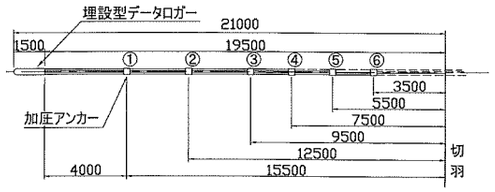


図-1　切羽前方の地中変位計測ポイント

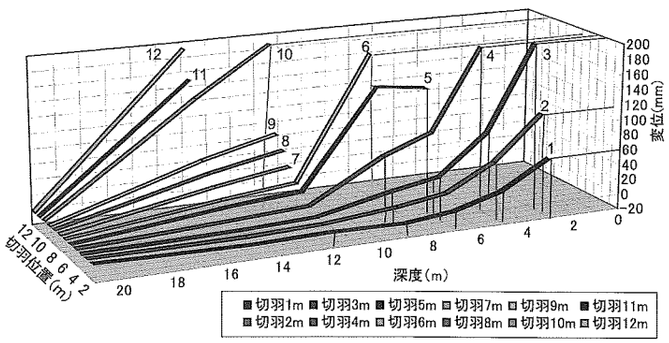


図-2　切羽の進行に伴う前方押出し変位分布

また，図-2において押出しの発生深度に着目すると，2m掘進時点で切羽から10m以上前方から押出しが発生しており，その後も掘進ごとに奥から押出すようになり，5m掘進時点では最先端も不動点ではなくなっていると考えられる．

押出しと同時並行で計測した長尺鏡ボルトの軸力は，**図-3**に示すようにGFRP管内にひずみゲージを貼った管材を埋設し，切羽の進行に伴う軸力を計測した．軸力計測点は**図-4**に示す8点に配置した．軸力計測の結果，**図-5**に示すように，切羽進行1m時点で鏡ボルトには継ぎ手部の耐力である300kNを超えた軸力が作用し，切羽進行2m時点で深度3～5mの軸力値が測定不能であった．

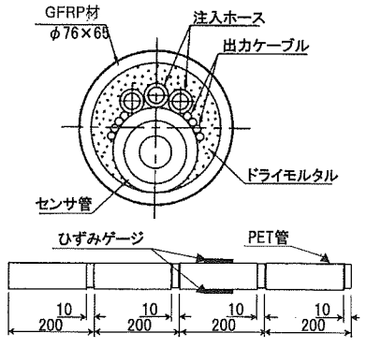


図-3　GFRP管鏡ボルトの軸力計

掘削時に切羽で回収した鏡ボルトが破断したのを確認した．以後，切羽の進行に伴って軸力のピークが奥側に移動するが，心材の破断により順次測定不能となった．

以上の膨張性地山での計測結果から，鏡面の押出しを抑制し安定化するためには，打設本耐力の向上と長尺化が必要と考えられた．

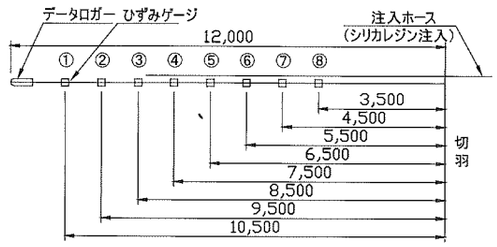


図-4　鏡ボルト軸力計測ポイントの配置

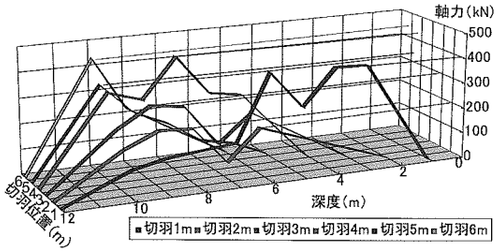


図-5　切羽の進行に伴う鏡ボルトの軸力

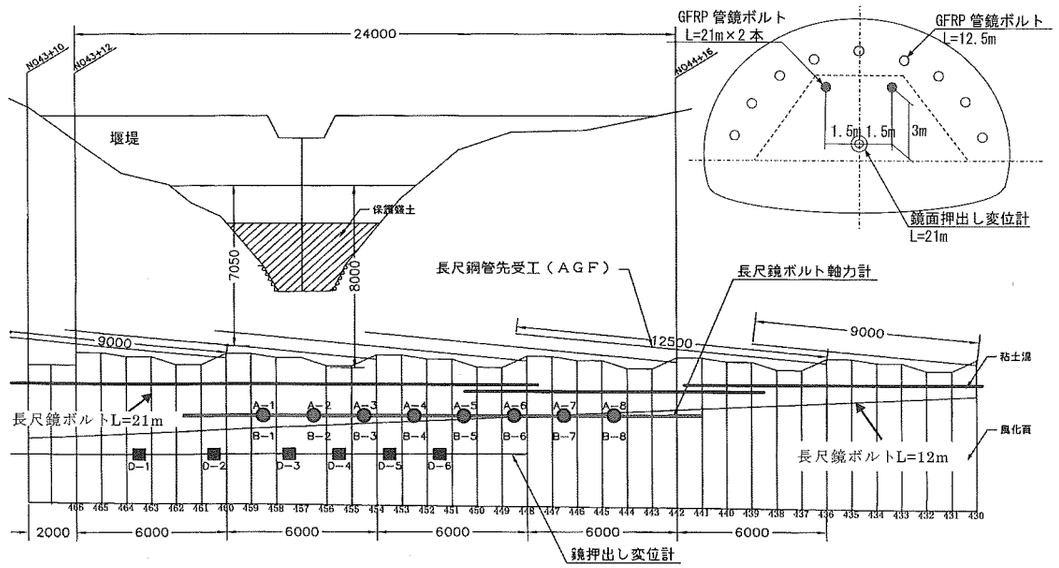


図-6　小土かぶり土砂地山での計測事例

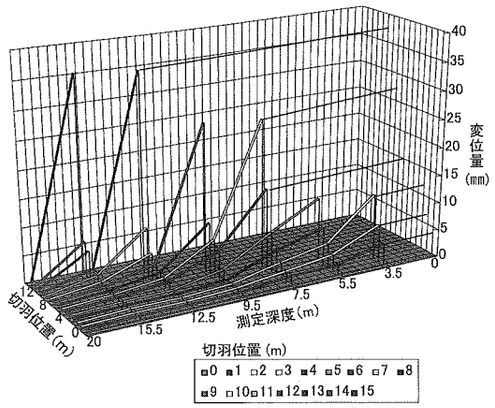


図-7　切羽の進行に伴う前方押出し変位

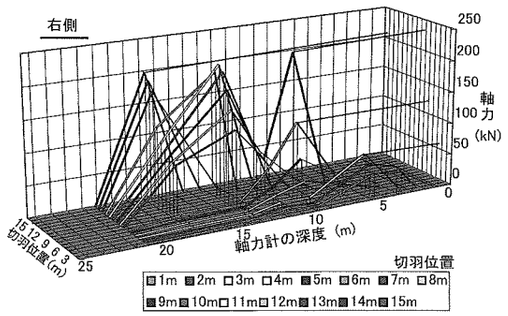


図-8　切羽進行に伴う軸力分布

3-2　小土かぶり土砂地山の場合[5)]

つぎに，未固結土砂地山(大阪層群)での計測事例について述べる．

計測器の配置を**図-6**に示す．

堰堤直下の小土かぶり(最小４m)条件での対策工として，長尺鋼管先受け工(L＝12.5m，二重打設)とGFRP管長尺鏡ボルト(L＝21m×９本)を施工していた．押出し変位計と軸力計の仕様は，上記3-1節と同様である．

切羽の進行に伴う押出し変位分布を**図-7**に示す．押出し変位は10～40㎜の範囲で発生し，先述の膨張性地山のケースと比べると１オーダー程度小さい．しかし，押出しの発生する切羽からの深度は，1D程度の約10mであり，膨張性地山のケースと大差はなく，また後述の軸力の発生する影響範囲とほぼ一致している．また，切羽との距離がおおよそ５m，0.5D以内になると急激に増加している．

切羽の進行に伴う軸力分布の変化を**図-8**に示す．発生する軸力は切羽が１～５m進行する間は50kN程度以下と小さいが，６m以降は軸力が急激に増大し，200kNレベルに達することがわかる．軸力の発生深度は，当初鏡面から５～８m程度であり，切羽位置が７m以降の場合は軸力の発生範囲が切羽から８～10mの1D程度までに拡大している．

3-3　鏡ボルトに要求される条件

以上の２ケースの計測結果にもとづくと，長尺鏡ボルトについて以下のような要求条件を抽出できる．

① 大土かぶり膨張性および小土かぶり土砂の地山条件とも，引張耐力を超える軸力が作用しているが，大幅な数量を増加できないことから，従来工法より大きな軸力を負担できる引張耐力が必要となる．

② 膨張性地山の場合のように押出し変位が著しく大きい場合は，これを抑制する必要があるため，従来工法より大きい引張耐力と定着力が要求される．一方の小土かぶり土砂地山条件では，従来程度の定着力でも問題ない．

③ ２ケースの地山条件ともに，押出し変位が切羽前方 1D程度の深度より発生しており，打設長は最短でも従来の12mは必要で，18m程度の長尺打設できることが要求される．

以上の要求条件に加え，従来工法よりコストダウンを図りながら新規の鏡面補強工を開発した(特開2011-007000)．

4　長尺鋼管鏡ボルトの開発

4-1　新工法の概要

本工法では，心材の引張強度と付着耐力に着目して開発を行った．芯材には鋼管(STK400，ϕ 76㎜，t＝5.2㎜)を採用し，付着耐力を高めるため鋼管の表面に溶接加工による突起を設けた．ねじ継手部には，本管よりも厚肉かつ高強度の素材を用いた．

また，掘削時の切羽においてバックホウやブレーカなどの重機によって容易に切断，撤去できるよう，鋼管を１mごとに溶接加工により接続している．

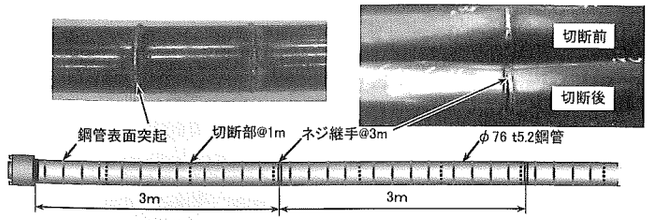


図-9　新しい長尺鏡ボルト工法の概要

表-2　継手部と切断部の試験結果

継手部		切断部	
供試体No.	試験結果(kN)	供試体No.	試験結果(kN)
1	391	1	421
2	387	2	416
3	381	3	433
		4	436

る．**図-9**に本工法の概要を示す．

4-2　引張耐力

(１)　試験方法

鏡ボルトは引張部材であり，材料の弱部となるねじ継ぎ手部と，重機で切断する溶接部(切断部)に関し，引張試験を実施した．試験には2,000kNのアムスラー型試験機を用いた．載荷は材料が破断するまで行い，破断までの最大荷重を材料の引張耐力とした．

この結果より，継手部の形状や切断部の溶接方法などを決定した．

(２)　試験結果

継手部および切断部の引張強度試験結果を**表-2**に示す．継手は前述の高強度の素材を用いたねじ式とし，表-2のように390kN程度の継手部耐力を有することが確認できた．また，掘削時に１mごとに撤去する切断部は溶接により作成し，素材部に近い400kN以上の引張耐力を有することが確認できた．

4-3　定着力把握のための引抜き試験

(１)　試験方法

長尺鏡ボルトの作用効果を評価するうえで，付着特性を把握することが不可欠である．そこで，表面に突起を設けた鋼管の付着特性を調べることを目的として，室内において引抜き試験を実施した．試験ケースは**表-3**に示す条件の組合せで行い，定着材にはドライモルタルを用いた．対象とする地山の硬軟によって鏡ボルトを引抜くときの拘束剛性が異なり，これが付着力に影響を及ぼす．そこで本実験では地山の拘束剛性をK_r(半径方向剛性)で表現し，管材を用いてD級地山と同程度の拘束効果となるように調節した．

表-4のように拘束管の半径方向剛性を計算した結果，D級地山相当は硬質塩化ビニル管となった．なお，地山および拘束管の半径方向剛性をそれぞれ式(1)，および式(2)にて算出した[6)]．

$$K_r = \frac{2E_R}{(1+\nu_R)d_c} \quad (1)$$

d_c ：削孔径
E_R ：地山の弾性係数
ν_R ：ポアソン比

$$K_r = \frac{2E_s}{(1+\nu_s)}\left\{\frac{d_o^2-d_i^2}{d_i((1-2\nu_s)d_o^2-d_o^2)}\right\} \quad (2)$$

d_o ：外径
d_i ：内径

表-3　試験ケースの組合せ

供試体	突起		定着材強度(N/㎟)			定着長(cm)	
No.	あり	なし	小	中	大	25	50
1	4本/m				31.8		
2	4本/m			18.0			
3	4本/m		10.4				
4	4本/m		9.6				
5	2本/m		9.7				
6					36.7		
7				20.1			
8			8.5				

※突起数は単位長さあたりの換算値

表-4　管材と地山の拘束剛性

拘束管種類	外径(㎜)	肉厚(㎜)	内径(㎜)	E (MPa)	ν	K_r (MPa/㎜)
硬質塩化ビニル管 VP125	140	7	126	2,940	0.38	5.4
D級地山	—	—	126	150～1,000	0.3～0.35	1.8～12.2

E：弾性係数　ν：ポアソン比　K_r：半径方向剛性

E_s ：管の弾性係数

ν_s ：ポアソン比

試験体は塩ビ管内に鋼管をセットし，モルタルを充填した．24時間後，センターホールジャッキで引抜いた．軸力は鋼管内面に貼り付けたひずみゲージにより計測した．本試験の供試体および加力装置の概要を**図-10**に示す．

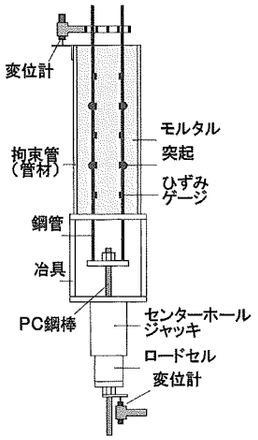


図-10 試験装置

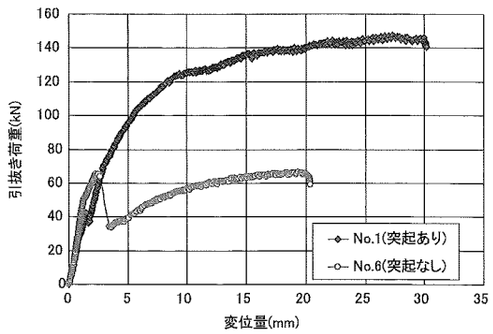


図-11 荷重～変位関係(定着材強度：大)

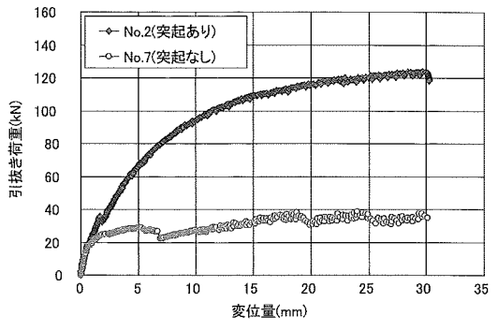


図-12 荷重～変位関係(定着材強度：中)

(2) 試験結果

引抜き試験時の引抜き荷重と変位の関係を**図-11, 12**に示す．各図より，引抜きの初期段階では大きな違いは見られないが，突起なしでは変位量が2～3㎜程度で荷重は増加しなくなり，引抜ける．一方，突起がある場合，30㎜程度まで引抜き荷重は漸増する．このように，鋼管表面に設けた突起によって，鋼管と定着材間の付着力が大きく向上することがわかった．

引抜き試験時に測定した鋼管の軸力分布を**図-13, 14**に示す．凡例は引抜き荷重を示している．図-13のように，突起がない平滑な鋼管の軸力分布はほぼ直線的となるが，図-14のように突起がある鋼管の軸力分布は，突起の部分を境に急勾配を呈しているのが特徴的である．これは，鋼管表面の突起の有無により，軸力の伝達機構が大きく異なることを示している．

試験ケースごとの最大引抜き荷重および付着耐力S_{bond}を**表-5**に示す．ここでS_{bond}は最大引抜き荷重(kN)を定着長(m)で除した値である．S_{bond}と定着材の一軸圧縮強度の関係を**図-15**に示す．図-15の近似直線に示すように，突起ありの場合，定着材の一軸圧縮強度とS_{bond}は，ほぼ比例関係だが，突起がない場合は定着材の強度が上がってもS_{bond}は増加しない．4本/mの突起を設けることにより，平滑な鋼管に比べてS_{bond}が3～5倍に増加することがわかる．また，突起数が異なるNo.4とNo.5を比較すると，単位長さあたりの突起数が2から4本になることによって，S_{bond}が約1.5倍向上している．

図-13 軸力分布(供試体No.8突起なし)

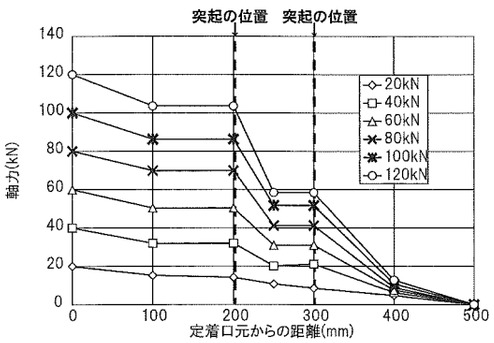


図-14 軸力分布(供試体No.4突起あり)

表-5 引抜き試験結果一覧

供試体 No.	突起数 (本/m)	定着材強度 (MPa)	定着長 (cm)	最大荷重 (kN)	S_{bond} (kN/m)
1	4	31.8	25	147.6	590.3
2		18		123.8	495.2
3		10.4		79.3	317.2
4		9.6	50	129.2	258.4
5	2	9.7		89.4	178.8
6	なし	36.7		66.3	132.5
7		20.1		38.5	77
8		8.5		59.3	118.6

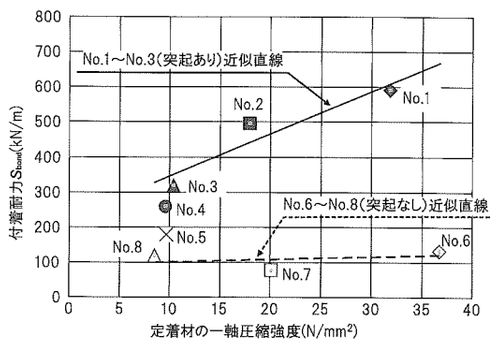


図-15 定着材強度とS_{bond}の関係

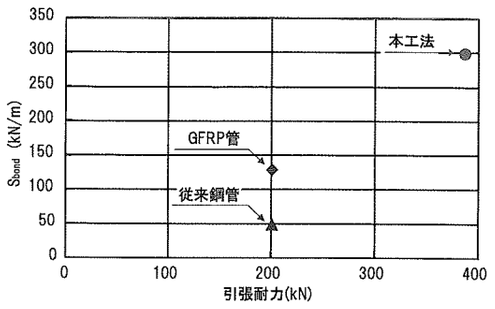


図-16 長尺鏡ボルトの特性比較

5 数値解析による補強効果検討

新規に開発した鏡ボルトの優位性と適用範囲把握のため，数値解析により検討した．解析には，有限差分法プログラムFLAC3Dを用いた．鏡ボルトにはケーブル要素を用い，実験で得られた継手・切断部の引張耐力と付着特性をモデル化した．

5-1 坑口・小土かぶり部での適用

坑口部および小土かぶり部土砂地山の場合，地表面沈下や陥没が問題となる．この解析では，無補強のケースで地表まで塑性化するような条件に設定し，従来工法(GFRP)と新工法の効果を比較した．

地山の弾性係数は150MPa，c=0.01MPa，ϕ=30°とした．鏡ボルトはL=18mを鏡面に1mピッチで9mシフトで千鳥打設するものと想定した．また，**図-17**のように，トンネルを直径10mの円形断面とし，土かぶりを1D相当の10mとした．切羽の進行は1mごととした．

図-18に示す鏡面周辺の局所安全率分布から，

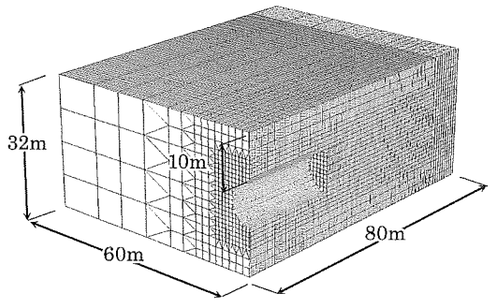


図-17 小土かぶりケースの解析モデル

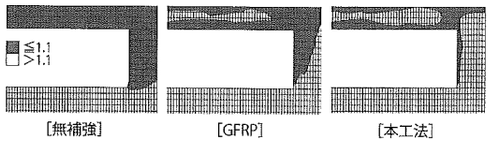


図-18 鏡周辺の局所安全率の比較

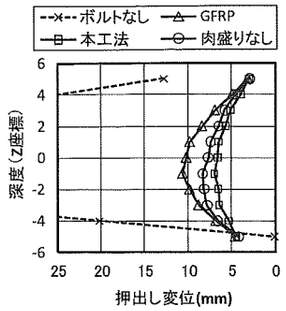


図-19　鏡面の押出し量の比較

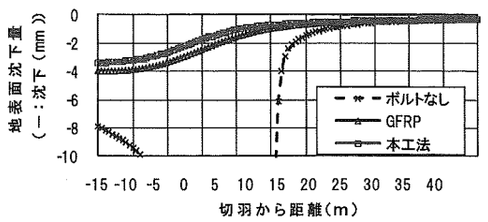


図-20　地表面沈下量の比較

無補強のケースに対し本工法およびGFRP鏡ボルトで補強した場合，鏡面の押出しを縫いつけて安定化することがわかる．

図-19に示すように，鏡の押出し量はGFRPに比べて本工法が小さい．比較ケースとして本工法の鋼管表面の肉盛りをなくすと，押出し量がやや増えており，付着力の増大が優位であることがわかる．さらに，地表面沈下量は図-20に示すように，GFRPに比べて本工法のケースがやや小さくなった．

解析では，鏡ボルトを線材としてモデル化しており，曲げ剛性や抵抗力なしでも地表面沈下が抑制されていることは重要である．大塚ら[7]は，同様にφ系の地山でこの効果が顕著であることを指摘している．

5-2　D級地山での適用

土かぶり50m程度のD級の地山物性(前節と同じ地山物性値)で，前項節と同様に鏡ボルト補強効果を比較した(図-21)．その結果，図-22のように無補強のケースで57㎜の鏡押出しが発生した．これに対し，鏡ボルトを打設すると鏡の押出しが抑制され，本工法は，GFRPに比べて鏡押し出しの抑制効果が大きい．

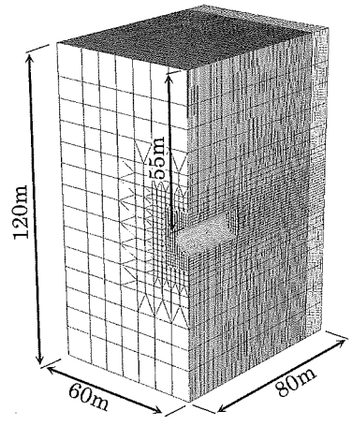


図-21　解析モデル

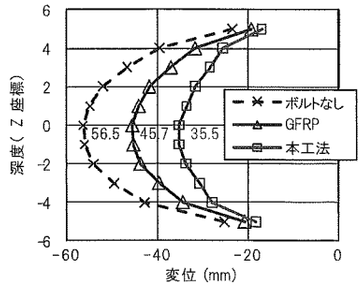


図-22　押出し量の比較

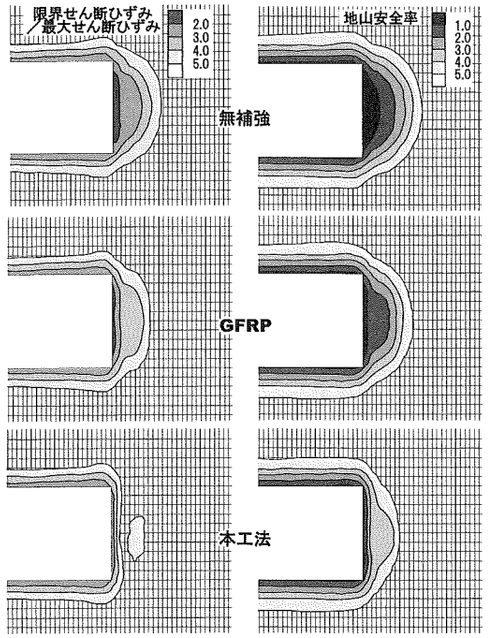


図-23　限界せん断ひずみと局所安全率

図-23には，鏡面の安定性を比較すべく，9m掘進時における解析ケースごとの地山の限界ひずみに対する安全率および地山局所安全率を示す．限界せん断ひずみに対する安全率に着目すると，鏡ボルトがない場合，3以下の領域は切羽前方約3m，2以下は約1m分布するが，鏡ボルトを打設することにより，切羽前方地山の安全率が向上していることがわかる．

また，地山の局所安全率では，鏡ボルトがない場合，1以下の不安定領域が切羽前方約2m分布するが，鏡ボルト打設により局所安全率が向上していることがわかる．とくに，本工法による鏡補強により，局所安全率は1以上を確保できる結果となった．

つぎに，掘進に伴う断面中心部の鏡ボルト軸力分布の変化を図-24に示す．GFRPに比べて鋼管の弾性係数が8.4倍と大きいため，本工法のボルト発生軸力は大きくなった．GFRPは4m掘進時に最初の継手部破断が発生し，7m掘進時には2か所目の破断が発生している．それに対し，本工法では8m掘進時に最初の継手部破断が発生するという結果となった．破断後の鏡ボルト軸力に着目すると，破断した継手前後の素管部で軸力は残っているが，破断箇所では，破断前に比べて軸力が小さくなっていることがわかる．これらの結果から，本工法ではボルト破断に伴う軸力低下を抑制することで，鏡面押出しに対する抑制効果が向上すると考えられる．

5-3　大土かぶり押出し性地山での適用

土かぶり200m程度級の土かぶりの押出し地山の条件で，鏡ボルトの効果を検討した．無補強で鏡の押出しが200㎜を超えるような条件では，図-25に示すように本工法およびGFRP鏡ボルトのケースともに，ねじ継ぎ手部での破断と付着切れが多数発生する．図-25(右)のように，ボルトが破断しないように設定したケースによれば，軸力値は700kNに達しており，さらに大きな耐力を有する鏡ボルトの必要性が示唆された．

6　おわりに

本研究では新規に高耐力の鋼管鏡ボルトを開発し，従来に比べて引張耐力と付着耐力を約2倍に増大させた．また，実験および解析にもとづいて地山条件に応じた鋼管鏡ボルトの作用効果と優位性を把握し，同時に適用限界についても把握できた．

大土かぶり下においては，現存する鏡ボルトでは耐力が不足することが予想され，新たな工法開発が必要となる．なお，本研究の解析で用いた鏡ボルトのモデル化方法により，鏡ボルトの設計検討が可能である．

今後は，大土かぶりの強大な押出し性地山に対応すべく，工法の開発を進める所存である．

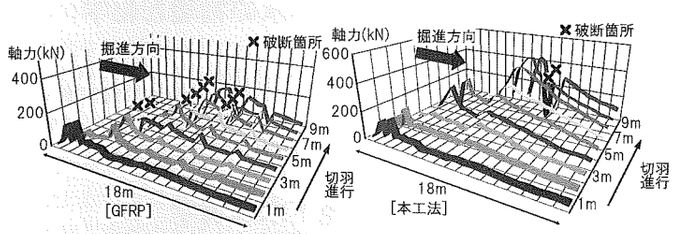


図-24　掘進に伴う鏡ボルトの軸力変化

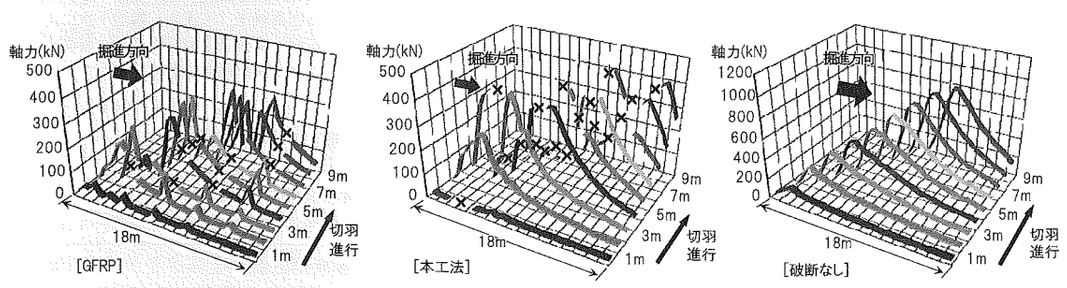


図-25　軸力分布と破断および付着切れの表示

参 考 文 献

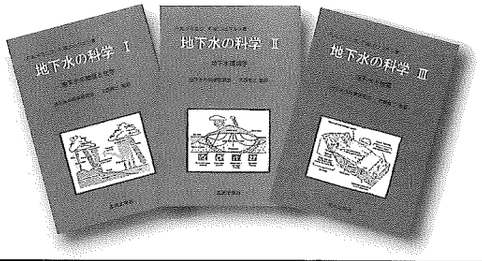
1) 谷健史：強大な膨張性土圧を克服，紅葉山線鬼峠トンネル，トンネルと地下，Vol.2，No.9，pp.45–59，1971.9.
2) ケーブルボルトに関する調査報告書—長尺鏡ボルトに関する調査報告書とその分析—，ジェオフロンテ研究会，1998.
3) P. Lunardi：Design & constructing tunnels, ADECO-RS approach，Tunnels & Tunnelling International，Supplement special，2000.5.
4) 瓜生良知・免田幸三・橋爪正博・木梨秀雄：超膨張性地山および未固結断層帯における地山挙動の予測と計測評価，トンネル工学報告集，Vol.19，pp.55–61，2009.
5) 木梨秀雄・白旗秀紀・加藤健治・松田安則・羽馬徹：低土被り未固結地山における長尺鏡ボルトの挙動計測，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.217–224，2004.
6) A. J. Hyett，W. F. Bawden，R. D. Reichert：The effect of rock mass confinement on the bond strength of fully grouted cable bolts，Int. J. Rock Mech. Min. Sci & Geomech. Abstr.，Vol.29，pp.503–524，1992.
7) 大塚勇・青木智幸・大町達夫・伊藤洋：長尺鏡止ボルトによる地表面沈下の抑制効果に関する解析的検討，土木学会論文集，No.813/Ⅲ–74，pp.245–250，2006.

■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

連載講座

トンネル技術者のための地相入門（4）

—段丘・台地下のトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

トンネル工事では，直接の掘削対象となる地盤の状況ばかりでなく，掘削時の地山挙動に直接的，間接的に影響する直上部や周辺域の地形・地質の条件を把握することがとくに重要である．例えば，トンネル工事で重大な支障となる地山の大きな変形の発生は，切羽に出現する地盤・岩盤の物性条件だけで生じているのではなく，土かぶり厚やその周辺における断層，褶曲などの影響を受けている場合が少なくない．同様に，突発湧水の発生についても広域的な帯水層や遮水層の分布，構造，さらには水理特性を把握することにより，その規模や発生位置を推定する必要がある．このように，トンネル工事では計画路線を含む広域な範囲の地山条件，とくに地形的特徴を三次元的に把握することが本連載講座の主たるテーマである「地相を読む」ということに当たる．

これらの地山条件にかかわる調査は，路線選定から設計・施工計画，施工中，さらに施工後の維持管理までの各段階で目的に応じて行われる．この一連の調査を進めるためには，計画当初からその山の地相に向き合い，そこから判読，推定されるさまざまな特徴を工学的に解釈し，この結果をその後の調査やトンネル施工にフィードバックすることが重要となる．

このうち，とくに地相を読むことが重要な段階として路線選定の段階がある．この段階の調査は，計画路線を含む広域の地形・地質条件を資料調査や空中写真判読などで概略的に把握し，そのうえで地形，地質，水文上の特殊条件の有無や検討課題などを現場で確認，整理しながら進められる．この際，路線選定の要件として，トンネルの掘削対象区間の地山条件のほか，坑口周辺や近接する明かり区間における地すべり地，崩壊地などの不安定な地形・地質の有無も重要であり，この点から，トンネルは前後の明かり部と一体のものとして考える必要がある．また，不良地山の存在や周辺の水利用への影響が懸念される場合には，比較路線を含む広範囲を検討対象とする必要がある．さらに，これ以降の段階においても，常に地形・地質条件を確認しながら，それぞれの地山条件に応じた一般的な特徴のほか，その地域の特徴的な地山挙動との対応を「地相」という観点から捉えることが重要となる．

本連載講座の目的は，上記のようなトンネル工事の調査・計画段階で考慮すべき重要な地形種や地形条件ごとに，その特徴や地形判読に関する基礎的な事項を解説し，その工学的な問題点について具体的な事例を示しながら，それが地形図上でどのように見え，何が推定できるかという「地相を読む」ための基本事項を解説することにある．

本稿では，まず段丘・台地を取り上げ，その工学的な課題や地相の着目点とすべき特徴などを解説する．さらに，次回以降でも順次トンネル工事にかかわりの深い主な地形種（特定の形成過程で

生じた部分の地形．例：扇状地，段丘）ごとにできるだけ平易な表現で実務に有益な情報を提供したいと考える．

② 段丘・台地の特徴と工学的な問題点

2-1 地形の特徴と判読の着眼点

段丘と台地とは，古い時代の河川や海岸沿いの低地，あるいは海岸線から浅海で形成された平坦面が，地殻変動による土地の隆起や海面低下で離水し，さらに河川浸食または海岸浸食によって開析されたために，過去の低地や浅海底が周辺より不連続的に高い平坦面となり，かつ一方ないし四方を崖または急斜面で縁取られた地形である．その平坦面を段丘面，崖または急斜面を段丘崖とよぶ(図-1)．また，段丘と台地はほぼ同義の用語であるが，習慣的には断面形で一方が低く他方に高くなる階段状の高台を段丘，周囲を崖に囲まれた卓状の広い高台を台地とそれぞれ呼んでいる[1]．段丘は数段が隣接している場合が多いが，台地は一般に1段である．本稿では，両者を総称する用語として段丘を用いる．

段丘は，段丘面となった元の低地の形成過程によって，成因的には河成段丘と海成段丘に分類され，さらに段丘面を構成する堆積物(段丘堆積物という)の分布状態によってより厚い砂礫などの堆積物が分布する砂礫段丘，基盤岩石を薄い堆積物が覆う岩石段丘，さらに谷壁には岩盤が露出するが段丘内部にルーズな河川堆積物が谷状に埋没している谷側積載段丘に区分される(本連載(3)図-22参照)．これらの差異は後述のようにトンネル掘削ではきわめて重要である．

段丘の工学的理解には段丘面と段丘崖の区別と両者の特徴がキーポイントとなる(図-1)．それぞれの特徴を実際の地形図上で判読する場合，段丘面は地形図上で等高線の間隔が疎(白っぽく見える部分)である．一方，段丘崖は，①2本以上の等高線が密に並走(黒っぽく見える部分)していたり，②広い水田や畑の地区に森林帯が細長くのびていたり，③崖の記号(「岩がけ」または「土がけ」)で示されていたり，④古い道路がクランク状に屈曲して横断しているような急斜面として認定される．さらに，段丘面や段丘崖の標高，平面的な広がりなどの関係，さらにはそれぞれの微地形的な特徴を把握し，トンネル計画ルートとの関係における工学的な問題点を抽出，解釈することが重要である．

このうち，段丘面は，一見すると一連に見えても，詳細に見ると，小さい比高を持つ複数段の段丘面の組み合わせからなる場合があるから，トンネルとの関係を知るためには詳細な地形図(例：1/2,500)から精密な縦断面図を作成する必要がある．とくに，土地利用が進んだ地区では切土・盛土などの人口改変を伴う場合が少なくない．このような場所の地形図を見る際には，地表の標高の変化に伴う土かぶり厚さの急変が，偏圧の発生，縦断勾配や坑口の設計，さらには地山の安定性に強く影響を及ぼすことから，とくに等高線のギャップや疎密に注意する必要がある．また，沢(段丘開析谷)の分布や平坦面の利用状況は地下水対策または地表面沈下対策に有用な情報を与える．このような着目点を示す例として第2魚津トンネルの事例[2),3)]を示す(図-2)．本トンネルでは複数の段丘面を境する段丘崖に沿った沢部近傍での流砂，脚部沈下対策ならびに小土かぶり部での切羽安定対策などが実施されている．

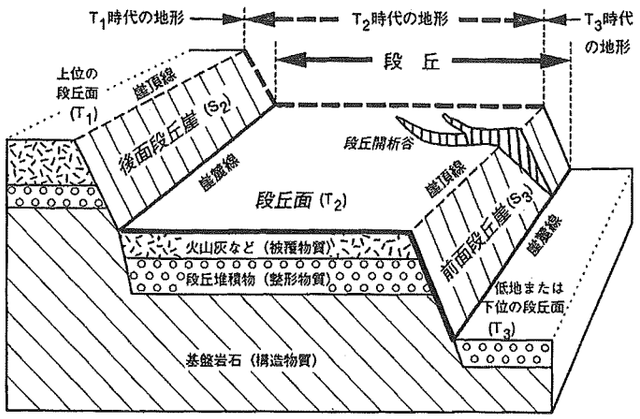


図-1　段丘各部の名称[1]

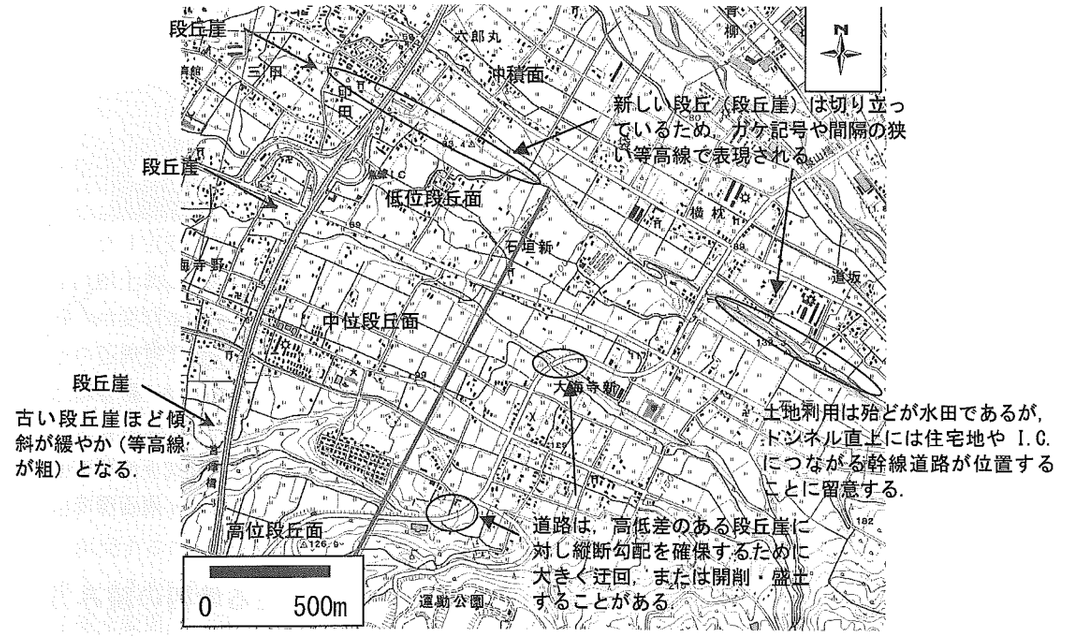
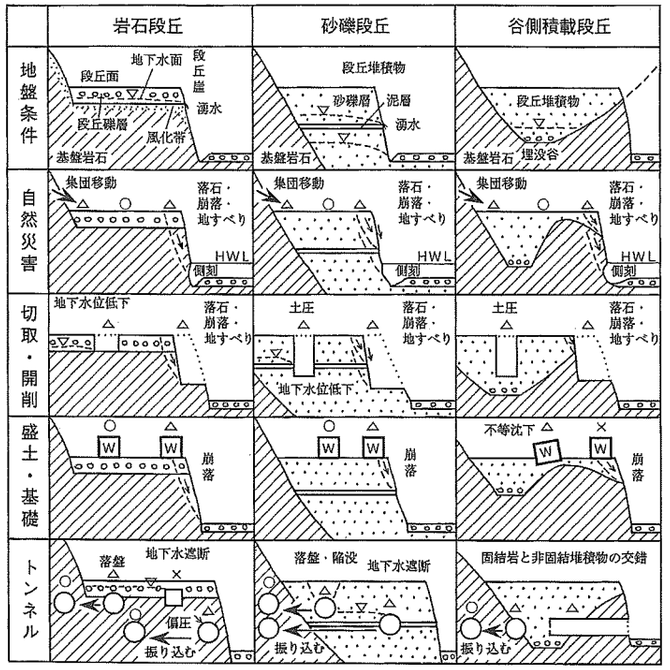


図-2　第2魚津トンネル位置図(国土地理院　1：25,000　地形図「魚津」)

2-2 工学的な問題点

段丘下にトンネルを計画するうえでとくに重要な点は，段丘を構成する基盤岩石や段丘堆積物(非固結堆積物)の分布状況と坑口や掘削区間との位置関係である．

段丘の主な種別の地盤条件と，それらの地盤条件，自然災害および建設工事における留意事項の概要を図-3に示す[1)]．



図中の記号は，個々の建設工事の相対的難易度であり，○：とくに問題ない，△：要注意，×：きわめて困難，をそれぞれ示す．段丘各部に対する構造物の位置に注意．W：人工的荷重

図-3　3種類の段丘の地盤条件，自然災害および建設工事における留意事項の概要(鈴木(2000)[1)]を一部修正)

れぞれの工学的な留意事項は**図-3**のように整理される[1].

2-2-1　坑口斜面の安定性

図-3のうち，自然災害，切土・開削，盛土・基礎として整理される各種の問題は，一般に急崖をなす段丘崖にトンネル坑口を取り付ける場合の重要な検討事項となる．このため，掘削時だけでなく供用後の維持管理の点からも坑口予定位置の段丘崖の形状・段丘堆積物や直上の段丘面の状況のほか，周辺域の斜面崩壊跡や水路末端部の状況などを把握し，その地域の特徴(地相)を知ったうえで当該箇所の斜面安定性に応じて計測や安定化を図るなどの十分な対策を講じる必要がある．

2-2-2　崩壊および偏圧

図-3のトンネルに整理されるように，トンネル区間が十分な土かぶりをもって基盤岩石中に掘削される場合には，工学的には大きな問題はない．一方，砂礫段丘や谷側積載段丘のように非固結の段丘堆積物を掘削する場合は，一般に自立性が低い土砂地山を掘削することとなる．このため，低強度に伴う剥落や礫の抜け落ち，さらに湧水の存在のほか，大きく自立性を低下させる条件によりトンネル切羽などの崩壊やその拡大による地表陥没が発生する場合がある．また，このような問題は不整合をなす基盤岩石と段丘堆積物の境界部を掘削する場合にも発生することがあり，とくに基盤岩石の起伏(古い地形面)により不整合面がトンネル切羽に急に出現するような条件では急激な不安定化を伴う．

岩石段丘で川側の段丘崖(前面段丘崖)に接近した区間では，偏圧を受けることがある．とくに段丘崖のうち，河川攻撃部では斜面の崩壊に伴う偏圧で急激なトンネル変状が発生する場合がある．

2-2-3　地下水など周辺環境への影響

段丘の地下水分布は，一般には基盤岩石に対して透水性の高い段丘堆積物を帯水層とし，通常はその基底部を基盤岩石の起伏に沿って流れる．このような地下水の流れに対し，これと直交する方向にトンネルを掘削することにより地下水の流れを遮断し，これに伴う問題を生じる場合がある．

また，段丘堆積物が不均質で泥層などの難透水層を挟在する場合には，宙水や被圧地下水が形成されるなど，複雑な地下水分布を呈することが多い．これらが湧水としてトンネル切羽に湧出した場合，低い自立能力の地山の不安定化を促進する要因となる．

このような段丘面上は比較的安定した平坦面であることから，集落や耕作地として土地利用され，地下水についてもその利用率や依存度が一般に高い．このため，トンネル掘削により周辺の地下水環境への影響が発生した場合には，影響範囲が広範囲となり，その回復に時間を要することがある．さらに，水位低下に伴う地表面沈下や掘削中の薬液注入などによる水質汚染など，周辺環境に関する十分な配慮が必要である．

③　施工事例に見る地相の読み方

事例1：北陸新幹線魚津上中島トンネル[4]【坑口斜面対策】

魚津上中島トンネルは，富山市街地の東方約25 km，角川，早月川に挟まれた扇状地起源の段丘下に位置する(**図-4**)．地質は第四紀中期更新世～後期更新世の扇状地堆積物であり，トンネルは巨礫を含む非固結の玉石混じり砂礫層，礫混じり粘性土層，礫混じり砂質土層を掘削した．トンネル区間では，段丘崖に近接する北東側の一部で偏圧荷重が作用することが懸念されたため，**図-5**のようにトンネル坑口位置を変更することで対処した．

坑口部は，段丘崖に対し直交する線形の場合は

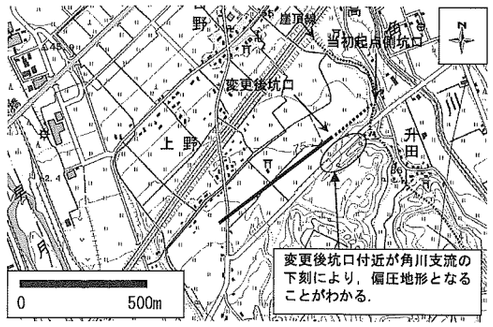


図-4　魚津上中島トンネル位置図
(国土地理院　1：25,000　地形図「魚津」)

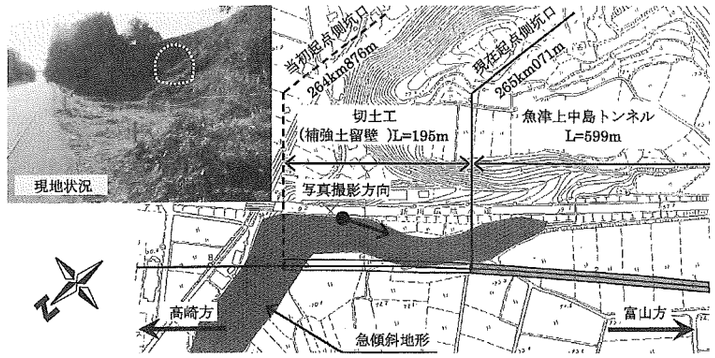


図-5　魚津上中島トンネル基点側坑口位置平面図[4]

施工しやすいが，これと斜交する場合には顕著な偏圧地形となり，さらに地すべりを誘発する場合もある．このため，トンネル線形はできる限り段丘崖と斜交することを避け，止むを得ない場合には開削トンネルへの工法変更や，本事例のように坑口位置を変更して切土など，明かり構造とすることも検討する必要がある．

事例2：御前崎みなとトンネル[5]【坑口斜面安定対策および偏圧】

本トンネルは静岡県御前崎港の北西約4 kmの駿河湾に面した標高35～45mの御前崎台地の東端に掘削されためがねトンネルである．トンネル区間の一部は台地縁辺部の急斜面直下で，典型的な偏圧地形の下に掘削された(**図-6**)．地質は新第三紀中新世後期～鮮新世前期の相良層群の砂岩と泥岩の互層，ならびにこれらの上位に分布する厚さ5～7 mの砂および礫からなる段丘堆積物であり，トンネルは基盤岩石となる相良層群を掘削した．

本トンネルでは，トンネル中央部付近より南東側で著しい偏圧地形となることから，掘削を開始する前に終点側の坑口部に大規模な押さえ盛土が施工された．また，本坑掘削に先立つ導坑は，トンネル中央の偏圧地形部の一部区間を事前に垂直縫地工で補強したうえで掘削した．しかし，切羽進捗とともに切羽前方の県道や斜面上部の敷地内にクラックが認められ，また，坑外での動態観測結果(**図-7**)からも地すべりの兆候が認められたことから，追加対策として垂直縫地工の施工範囲を拡大することで対処した．

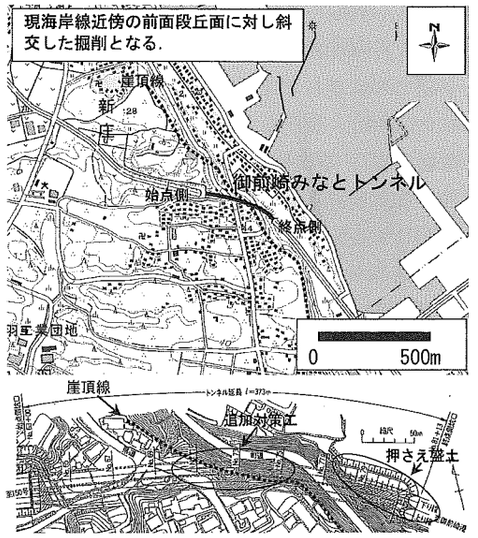


図-6　御前崎みなとトンネル位置図および平面図
(国土地理院　1：25,000　地形図「御前崎」)

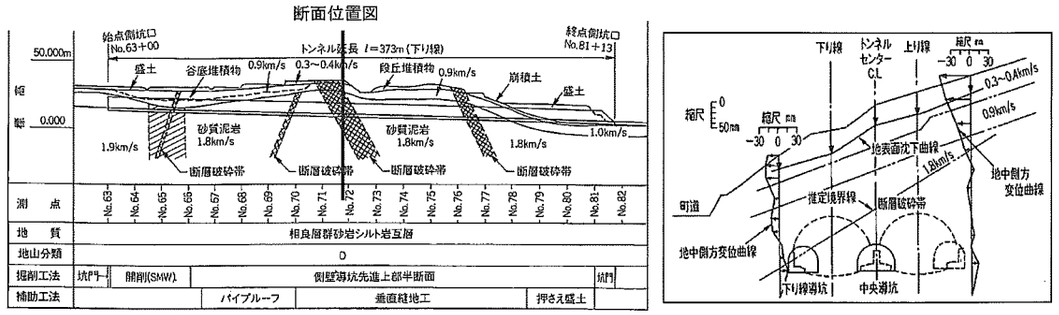


図-7　御前崎みなとトンネル地質縦断図および横断図[5]

このトンネルはとくに不安定化しやすい前面段丘崖近傍での掘削により，地すべりが誘発された事例であると考えられる．段丘は急崖を伴うことが多いため，線形次第では極端な偏圧地形となりやすい．また，非固結地盤で構成される急崖の表層は緩みやすく表層崩壊の素因となりやすいことから，極力，偏圧を避ける線形とすることが望ましい．

事例3：上郷トンネル[6]【切羽崩壊および巨礫に伴う地表面沈下対策工の変更】

上郷（かみさと）トンネルは，長野県飯田市街地北端付近の河岸段丘を，北東から南西方向に，最大土かぶり約12mで貫くめがねトンネルである．段丘は緩やかな起伏を伴いながら全体として南東方向へ緩く傾斜する．飯田方坑口は，計画地の南西側を北西から南東方向へ流下する天竜川支流の野底川による下刻で形成された比高10mの段丘崖斜面に計画された(**図-8**)．段丘を構成する地質は洪積世の砂，砂礫層(段丘，扇状地堆積物)，これを覆う火山灰層である．トンネルは非固結層を掘削し，地下水位はトンネル天端付近に位置する．

本トンネルでは，①非固結地山による地耐力不足，②流砂による切羽崩壊，③地表面沈下などの問題が懸念された．とくに，地表面沈下対策はボーリング結果から礫径がコブシ大程度と想定されていたことで，高圧噴射式フォアパイリング工法を採用する予定であったが，実際はϕ１mを超える硬質巨礫の出現により礫背面が十分に改良できないとの懸念からパイプルーフ工への設計変更を余儀なくされることとなった．

当地区は天竜川とその支流の野底川の下刻による河岸段丘崖のほかに，木曽山脈の活発な地殻変動(断層運動)に伴う変位(断層崖)が認められる．本トンネルに現れる礫は野底川や松川からの扇状地堆積物が主体と考えられ，供給源から堆積域までの距離が短いこと，野底川が断層運動に伴い急勾配であることなどが巨礫の存在する主な原因と推察される．

このような掘削の支障となる巨礫の存在については，堆積域の微地形条件，供給源となる後背地からの距離や勾配，さらには供給地の地質なども考慮して適切に事前調査段階で分布を把握しておくことが求められる．

事例4：東北新幹線牛鍵トンネル[7]【小土かぶりの堆積段丘での崩壊・陥没と地下水】

東北新幹線八戸・七戸十和田間は**図-9**のように，

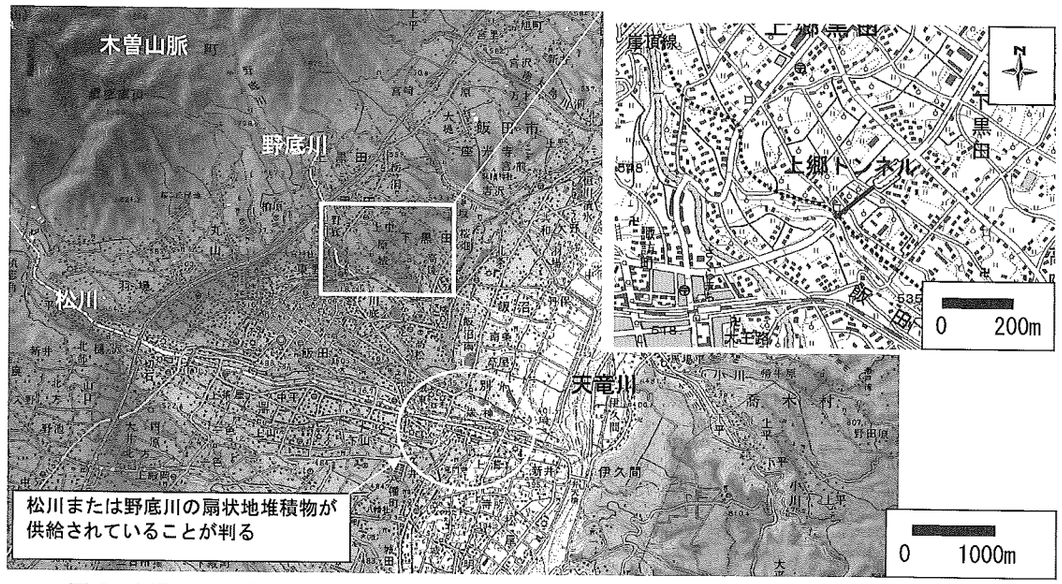


図-8　上郷トンネル位置図(国土地理院　1：25,000　地形図「飯田」および1：50,000　地形図「飯田」)

中～後期更新世の氷河性海水準変動による海成段丘が広く分布する区間を複数のトンネルで通過する．これらの段丘は，北東から南西に向かって高くなり，奥入瀬川以南の低位段丘から標高60～100mの最高位まで4段丘に大別される[8]．このうち，牛鍵トンネル(延長2,070m)は高館段丘面(標高40～60m)下に掘削された(**図-10**)．高館段丘が形成されたのは約12万年前で，相対的に海面の上昇時にはそれ以前の海面の低かった時期に形成されていた開析谷に沿って新たな水系が当時の平坦面を開析するとともに，砂や泥が堆積した(ts層やtc層)．その後の海面低下に伴い海成段丘面が形成され，火山灰などが堆積した(ta層)．

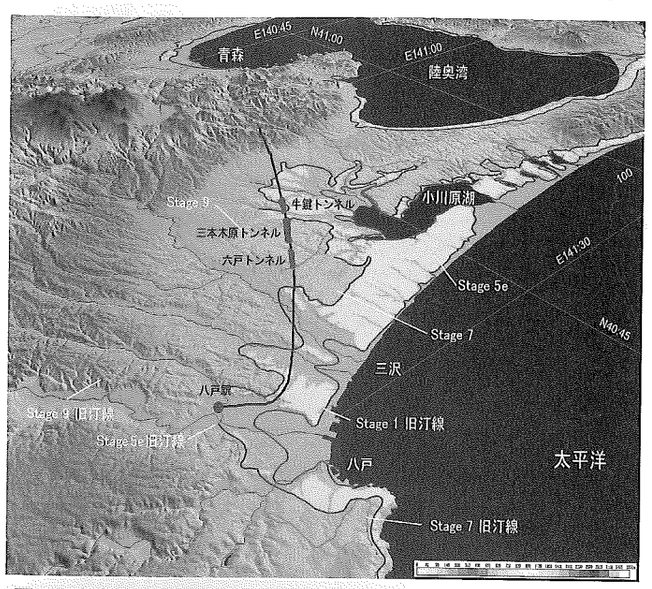


図-9　海岸段丘を通過する東北新幹線八戸・七戸十和田間トンネル群
(小池ほか(2001)[8]に加筆)

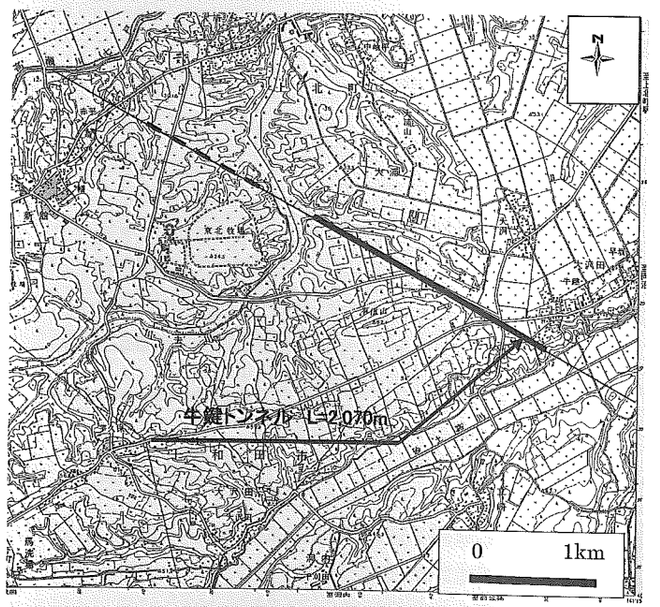


図-10　東北新幹線牛鍵トンネル位置
(国土地理院　1：25,000　地形図「七戸」)

牛鍵トンネルは，新青森側坑口から八戸方に向けて掘削中(上半切羽位置：621km480m)に，切羽から480m後方の地点で湧水量の増加，吹付けコンクリートの剥落，破壊の後，地表陥没を伴う崩落が発生した(**写真-1**)．この地点はインバート部の掘削後，コンクリート打設前の状況であった．当該箇所のトンネル断面内は下からts層，tc-c層，tc-s層(高館段丘堆積物)で構成され，その下位には更新世中期の野辺地層，上位には高館火山灰層(ta)，十和田・八戸火山灰層(lm)が分布することが崩壊発生後の調査で確認されている(**図-11**)．発生後の掘削面の観察や追加調査の結果などから，崩壊に至った主な要因として，①掘削による地山の緩み，②tc-s/c層中の地下水位分布，③田への引水に伴う地表水浸透，④インバート掘削による緩み拡大，が挙げられ，これらが地山の亀裂や支保工脚部付近への浸透水の集中あるいは応力

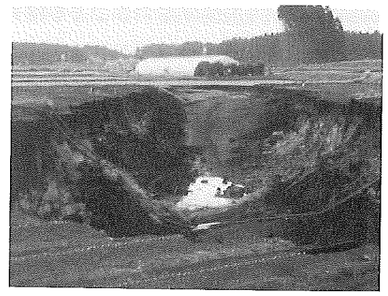
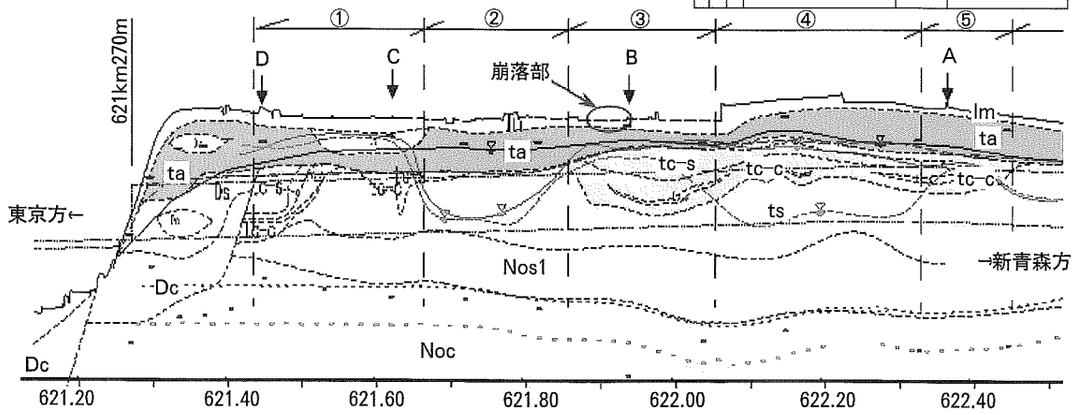


写真-1　崩壊箇所の状況[7]

時代		地層名	記号	土質名
第四紀	更新世 後期	十和田・八戸火山灰層	lm	黒ボク・火山灰
		高館火山灰層	ta	ローム・浮石
		高館段丘構成層	tc−c	粘性土
			tc−s	砂質土・浮石
			ts	砂質土
	更新世 中期	野辺地層	Nos1	砂質土
			Noc	粘性土・砂質土
			Nos2	砂質土



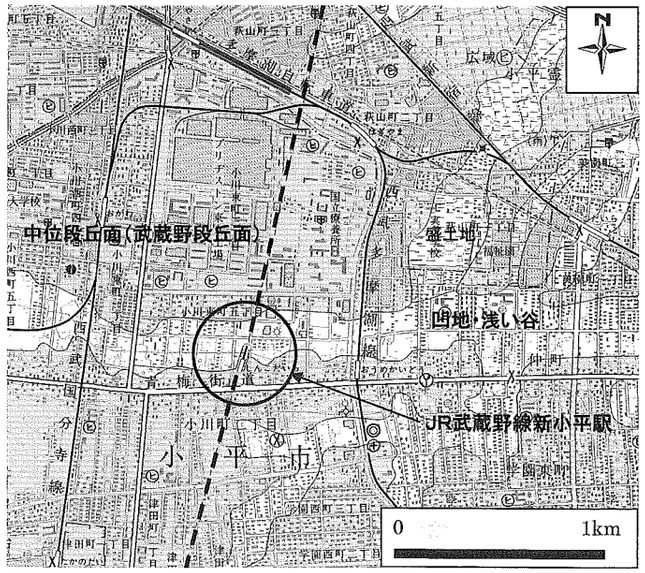
図−11　崩落箇所周辺の地質縦断面図[7]

の集中を誘発し，地山全体の破壊に至ったと推定している．また，崩落地点周辺の詳細な地形の特徴として，崩壊地点は比較的大きな集水面積を有する埋没谷と交差する位置にあり，さらに現地形面(現段丘面上)にも明瞭な集水地形が見られることを挙げている．

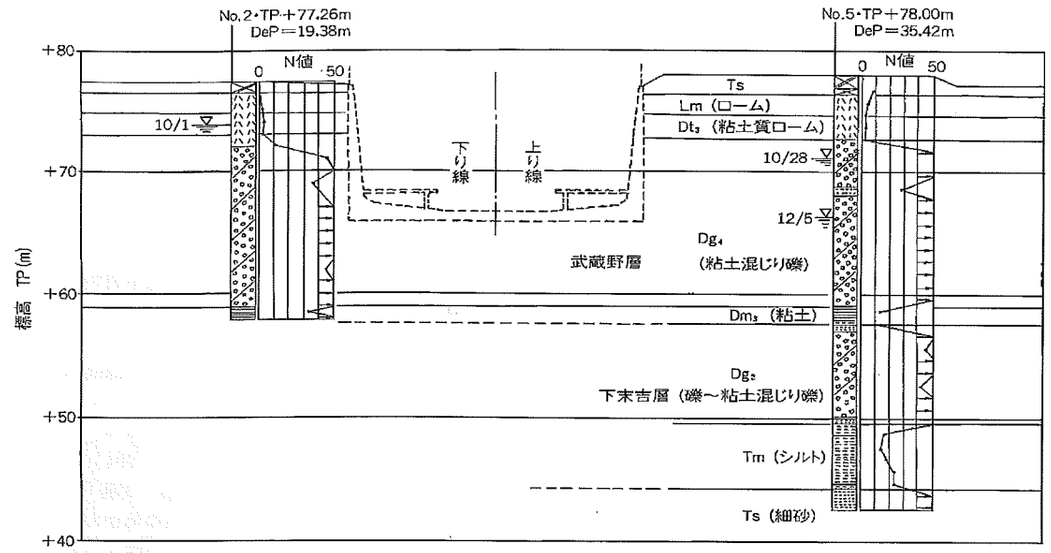
ここで，地形の特徴とされる埋没谷は前述の段丘形成時の海進による段丘の開析とその後の堆積により形成された地形であり，現状の地形面からは直接読み取ることはできない．ただし，その形成過程を知ることで埋没した古い地形面の凹凸が存在することを推察することが可能である．

事例５：JR新小平駅部[9]【地下水遮断と開削駅部の浮き上がり】

JR東日本武蔵野線新小平駅は西国分寺方の小平トンネルと新秋津方の東村山トンネルに挟まれた開削による掘り割り区間に位置する．**図−12**に，25,000分の１土地条件図(国土地理院)を用いて，JR新小平駅周辺の土地条件を示す．土地条件図は土地の自然条件などに関する基礎資料として主に地形分類(山地・丘陵，台地・段丘，低地，人工地形など)を示したものである．図より新小平駅は，武蔵野段丘(武蔵野台地)を掘削して構築され，かつ凹地・浅い谷に区分される区域と段丘面



図−12　JR新小平駅周辺土地条件図
(国土地理院　1：25,000　土地条件図「八王子」)



図−13　地質縦断図[9]

の境界に位置する．地質は，上位から厚さ５ｍほどの関東ローム層，厚さ20mに達する武蔵野礫層とその下位に粘土層および砂礫層からなる下末吉層(東京礫層)で構成され，その基盤の新第三紀層を不整合で覆う(**図−13**)．さらに，この周辺の地下水は北西方向から南東方向へ駅部を横断するように流動することが確認されている．

このような条件の下で，平成３年10月11日，台風21号に伴う豪雨などにより周辺の地下水位が急激に上昇し，掘り割り構造(U形擁壁)が地下水の揚力(浮力)により延長100mにわたり最大1.3m隆起した．本事例では前述の地形条件から読み取れるように地下水の流動方向を遮断するように駅が存在したことのほか，必ずしも周辺の詳細な水文地質構造は明らかではないが，浅い谷として見られる地表での特徴から集水地形によって地下水位が上昇しやすい環境であることを推察することができる．

④ 技術的課題と留意点

段丘・台地については，前述のように形状という点では，大きく平坦な段丘面と急傾斜な段丘崖の分布を知ることがポイントであり，階段状の段丘と卓状の台地の地形的特徴を理解していれば必ずしも難しいものではない．しかしながら，トンネル工事を行ううえでは前述の工学的な問題点について十分な事前調査・検討を行ったうえでの計画・設計が求められる．以下に，問題点ごとの技術的課題および留意点を整理し，本稿のまとめとする．

4−1　地形判読のポイント

① 段丘は段丘面と段丘崖で特徴づけられ，前者は地形図の上では等高線の間隔が疎(白っぽく見える部分)であり，段丘崖は２本以上の等高線が密に並走(黒っぽく見える部分)する，あるいは崖の記号で示される急斜面として確認される．

② 段丘面は，小さい比高を持つ複数の段丘面の組み合わせからなる場合があり，トンネルとの関係を知るためには平面図から詳細な縦断面図を作成する必要がある．

③ 土地利用に伴う人口改変が進んでいる場合には，とくに比高の小さい崖など，等高線のギャップや疎密に注意する必要がある．

4−2　工学的な留意点

① 坑口斜面については，急崖をなす段丘崖の特徴を十分に把握したうえで，当該箇所の斜面安定性に応じて計測や安定化を図るなどの

十分な対策を講じる必要がある．

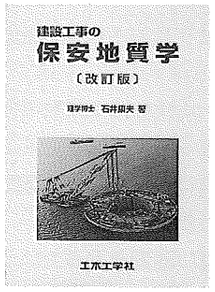
② 段丘下でのトンネル計画では，適切な土かぶり条件で基盤岩石中を掘削し，かつ坑口を段丘崖に直交するように計画することが望ましいが，非固結の段丘堆積物の中や，あるいはそれと基盤岩石との不整合面を掘削せざるを得ない場合は，礫の抜け落ちや切羽の崩壊などへの十分な対策を講じる必要がある．また，ルートが段丘崖と斜交する場合には偏圧の発生の有無を十分に検討し，隣接斜面の安定性も考慮した坑口位置の検討が必要となる．

③ 段丘下の地下水は，構成する堆積物などの分布状況によって複雑な水理地質構造(例：宙水，地下水谷)を呈することが多く，施工中の湧水による自立性の低下，トンネル構築による地下水流れの支障や遮断，さらには地表面沈下や周辺地下水環境への影響などの問題が発生する可能性があるため，事前に十分な調査，検討を行う必要がある．

(文責：木谷日出男・国際航業(株)/岩永茂治，片山政弘・(株)熊谷組)

参 考 文 献

1) 鈴木隆介：段丘・丘陵・山地，建設技術者のための地形図読図入門第3巻，古今書院，2000.
2) 久湊豊・森近裕一郎・山本一郎・藤野晃：未固結沢部を小土かぶりで掘る，北陸新幹線　第2魚津トンネル，トンネルと地下，Vol.38，No.3，pp.15-22，2007.3.
3) 北野仙之・水谷哲也・山本一郎・藤野晃：小土かぶりで連続する河川・民家・道路直下の段丘を掘る，北陸新幹線　第2魚津トンネル，トンネルと地下，Vol.40，No.5，pp.7-15，2009.5.
4) 梶田覚・中島活哉・亀井次生・黒田裕之：地山改良工で最大土かぶり7mの水田丘陵地を掘削，北陸新幹線　魚津上中島トンネル，トンネルと地下，Vol.41，No.6，pp.7-14，2010.6.
5) 磯部峰雄・赤掘勝昭・斉藤小弥太・田部井雅弘：土かぶりの小さい偏圧急斜面にメガネトンネルを掘る．臨港道路4号線　御前崎みなとトンネル，トンネルと地下，Vol.25，No.10，pp.55-61，1994.10.
6) 阿久津勝男・久保沢公利・片桐朗・安藤方克：未固結地山における最大土かぶり12mのめがねトンネルの施工－飯田市座光寺～上郷バイパス　上郷トンネル，第46回施工体験発表会(山岳)，pp.131-140，2000.12.
7) 北原秀介・太田岳洋・川越健・永井誠二：牛鍵トンネル崩落事故の地質的要因について，東北新幹線施工中の事例，日本応用地質学会研究発表会講演論文集，pp.89-92，2006.
8) 小池和也・町田洋編：日本の海成段丘アトラス，東京大学出版会，2001.
9) 金子静夫・井上寿男・新掘敏彦：武蔵野線新小平駅災害復旧工事，トンネルと地下，Vol.23，No.8，pp.7-14，1992.8.



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

A 5 判　上製本　475 頁　価格 6,300 円　〒 340 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 メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888 (代)　振替00110-8-190072

トンネルジャーナル

2011年度土木学会賞を表彰

2011年度土木学会賞が，6月14日に開催された2012年度土木学会総会にて表彰された．

土木学会賞は学会創立後6年目の1920(大正9)年に「土木賞」として創設されて以来，大戦終了後の1945～1948年までは余儀なく中断したものの，80余年の伝統にもとづく権威ある表彰制度．

このたび表彰された主な地下構造物関連の業績は下記のとおり．

■技術賞

●厳しい施工条件を克服した都市部鉄道の連続立体地下化工事―京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業―：東京都，京王電鉄，大成建設，大林・京王・前田・鴻池JV，鹿島・京王・東亜・林JV，清水・京王・間JV，東急建設，戸田建設，東京地下鉄，パシフィックコンサルタンツ・メトロ開発JV

●世界最大の平面積を有するニューマチックケーソンの設計施工―東尾久浄化センター主ポンプ棟建設工事―：東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所，清水建設

●ボスポラス海峡横断鉄道トンネルにおけるTBM(シールド工法)と沈埋函の海底地中接合：大成建設

■環境賞

●気泡シールドの水生環境負荷を従来の25分の1に低減する特殊起泡剤「エコムース」の開発と実用化：清水建設

■研究業績賞

●山岳トンネルをはじめとする臨床的土木工学技術の進展のための研究：中川浩二

■論文賞

●地球統計学的手法を用いた地下水水質分布の推定とその不確実性の評価［土木学会論文集C，Vol.66，No.3，pp.609-624，2010.8］：本多眞・山本真哉・櫻井英行・鈴木誠・真田祐幸・杉田裕・松井裕哉

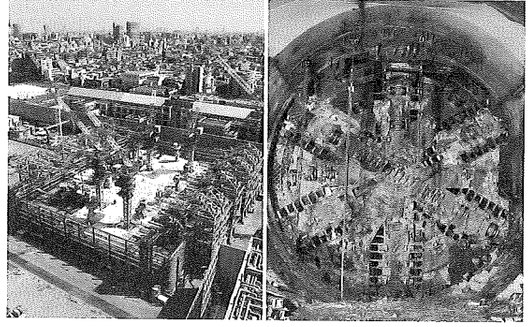
●泥土圧シールドにおけるチャンバー内の土砂流動管理技術の開発［土木学会論文集F，Vol.66，No.2，pp.289-300，2010.6］：土橋浩・松田満・松原健太・山本彰・近藤由也・日野義嗣・今田徹

■技術開発賞

●コンクリートの浸水養生工法(アクアカーテン)の開発：庄野昭・福留和人・古川幸則

●研磨材スラリーを用いた土留め壁切削通水工法(アブレシブ・ウォールカット工法)の開発：平林岳樹・西村晋一・高坂信章・山野泰弘・新坂孝志





技術賞を受賞した(上)調布駅付近連続立体交差事業におけるセグメント切開き完了状況，(左下)東尾久浄化センター主ポンプ棟建設工事全景，(右下)ボスポラス海峡横断鉄道トンネルTBM(写真提供：土木学会)

アンダーパス技術協会　第7回定時総会開催



アンダーパス技術協会は去る6月15日にアルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した．

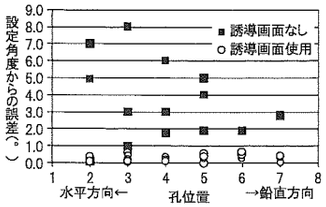
冒頭，植村誠会長が毎年恒例の「健康長寿のはなし」の代わりに自然災害などの自分では防ぎきれない災害の恐ろしさを力説し，出席した会員に備えの重要性を訴えた．

その後，平成23年度事業報告・決算報告，平成24年度事業計画・予算が審議され，満場一致で承認された．

工法・技術・製品ニュース

製品　高品質な山岳トンネル施工の支援システム





(上)誘導モニタに従ったロックボルト打設孔の削孔状況,(下)削孔誤差の比較

西松建設(株)　技術研究所
TEL　03-3502-0279
http://www.nishimatsu.co.jp/
戸田建設(株)土木工事技術部
TEL　03-3535-1614
http://www.toda.co.jp/

西松建設と戸田建設は，精度の高い削孔作業を支援する「削孔角度誘導支援システム」を共同開発したと発表した．

同システムは，発破工法における余掘り量の低減および掘削断面の平滑化を目的に，両社が開発した「さし角誘導支援システム」を改良したもの．トンネル工事で行われるすべての削孔作業に対応させた．これにより，余掘り量の低減だけでなく，先受け工の改良範囲や長孔発破の確実性，ロックボルトの打設精度などを確保して，トンネルの品質向上を実現する．また削孔角度データが記録・保存されるため，維持管理を図るうえで有効なトレーサビリティの確保も可能となる．

回転角度センサおよび傾斜計を，ドリルジャンボのブーム稼働部の5か所に外付けし，ブームスウィング角，ガイドスウィング角，ガイドチルト角，ルックアウト角，ブームローテーション角を計測することで，あらゆる方向に対する削孔角度のリアルタイム演算を可能とした．

これにもとづき，最外周発破孔，心抜き発破孔，先受けボルト(鋼管)打設孔，ロックボルト打設孔の各削孔作業時において，ドリルジャンボのオペレータ室に設置したタッチパネル式の誘導モニタに各作業の誘導画面(目標削孔角度に対する現在の削孔準備角度とのずれ)を表示し，ドリルジャンボのオペレータがそのずれを確認して削孔作業を行うことで，高い精度の削孔を実現する．

施工中のトンネルの一部区間に適用し，先受け工やロックボルト工施工時における本システムの適用性について検証した結果，設定角度との誤差(誘導画面使用時の人的誤差)が平均0.4°という非常に高い精度の削孔角度管理を，施工サイクルに影響を及ぼすことなく，行うことができたことを確認している．

製品　グレードコントロール仕様機を新たにラインアップ



バケット動作をリアルタイムに表示する

キャタピラージャパン(株)広報課
TEL　03-5717-1122
http://japan.cat.com

キャタピラージャパンは，Cat Eシリーズ油圧ショベルに情報化施工に対応したCatグレードコントロール仕様機の発売を開始した．

Catグレードコントロール仕様機は，Caterpillarが独自に開発した油圧ショベル内蔵型2次元ガイダンスシステム．施工現場の設計面とバケット刃先との距離(高さ)をキャブ内のモニタにリアルタイムに表示することで，オペレータが高精度な施工を行えるようガイダンスを提供する．これにより，トレンチ掘削や法面整形における施工の高効率・高品質化を実現するとともに，丁張りや検測作業の手間が大幅に削減され，工期短縮・コスト削減も可能となるとしている．

また，メーカー純正のシステムのため，耐久性と信頼性に優れるほか，ガイダンスは標準モニタに表示されるため，追加のモニタなどは不要となり，標準仕様機と同様の視野が確保できる．

機器のセットアップなどについては，工場出荷時に機体データ，寸法の設定や，測定機器の校正をすべて完了させるため，ショベルを稼働させる現場では，使用するバケットの種類を登録するだけで，直ちに使用することが可能となる．現場装着作業と初期設定を省略することができるため，そのための時間とコストも軽減できる．

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	6月30日現在
正会員	1,525名
団体会員	354名
個人会員	1,171名

2. 委員会の開催状況(6月1日～30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(6/6)

大島洋志主査ほか12名，7月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外文献WG(6/12)

大久保誠介主査ほか12名，英文原稿を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(6/20)

浅見均主査ほか9名，英文原稿を査読

計　3回開催　36名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳工法小委員会支保WG(6/15)

蓼沼慶正主査ほか19名，報告書とりまとめ方針を検討

◎受託研究特別委員会

地下鉄トンネル塩化物対策検討委員会(6/11)

大即信明委員長ほか27名，現地調査計画を検討

長大山岳トンネル設備特別検討会(6/13)

中塚静夫委員長ほか12名，換気量を検討

掘削土砂処理特別委員会(6/21)

後藤徹委員長ほか21名，報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会(6/22)

西村和夫委員長ほか20名，報告書原稿を検討

計　5回開催　104名出席

合計　8回開催　140名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future －」	2013. 5. 31～6. 7	ジュネーブ(スイス)	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス*「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス(ブラジル)	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS, International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.wtc11.org/

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせ下さい．　(社)日本トンネル技術協会　TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

◆新刊図書案内◆

□Tunnelling Activities in Japan 2012　価格(税込)：会員 3,000円，非会員 3,600円
□トンネル年報2012　価格(税込)：会員 2,000円，非会員 3,000円
□トンネル年報-工事記録CD-R版(各年)　価格(税込)：会員10,000円，非会員15,000円

4. 平成24年度催物開催現況

催　物　名	開　催　日	人数	場　所	CPD取得単位
(見学会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	**2012. 8.28**	**25**	**大分県**	
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
(講演，講習会)				
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	**2012. 9.27, 28**	**24**	**東京都**	**17.3**
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	**2012.11.21, 22**	**24**	**東京都**	

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閲覧くださいますようご案内します．一般検索サイトで〈トンネル技術協会　国内催物〉，あるいは下記URLの入力で辿りつけます．

http://www.japan-tunnel.org/event_japan

会員加入およびご活用依頼について

社団法人日本トンネル技術協会

当協会は，トンネルの建設および維持管理に関する調査研究を行い，地下利用技術の進歩・向上を図ることによって，国土の保全と公共の福祉の増進に寄与することを目的として，1975年に公益法人として設立されました．設立以来，産官学から多くのトンネル技術者が対等の立場で集い，数多くの技術課題に取り組んできました．また，会員各位の資質向上や会員同士の情報交換の場として各種トンネルの現場見学会，発表会，講習会，講演会を開催するほか，委員会活動の成果を技術報告書として広く公表しています．トンネル工事の業務に携わっている団体はもちろん個人の方も，是非，会員にご加入くださいますようお願いします．また，会員の皆様にあたっては，各種事業活動をご活用していただき技術の習得にますますご活用くださいますようお願いいたします．詳細は，協会ホームページをご参照願います．

ホームページ　http://www.japan-tunnel.org/Kaiin

また，当協会では，事業活動に対するご意見ご提案を受け付けています．会員の皆様のニーズを反映した諸活動を目指していきますので，下記アドレスにメール送信お願いいたします．

メールアドレス　webmaster@japan-tunnel.org

ステップアップ研修会のご案内

山岳トンネルおよびシールドトンネルの経験が，5～10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象とし，トンネルに関する技術力の向上を図るとともに，若い技術者同士の交流の機会を提供する場として，トンネル技術ステップアップ研修会を下記のとおり開催することといたしました．少数を対象とした実践的な講義内容となっており，大変有意義な研修になると存じますので，奮ってご参加くださいますようご案内申しあげます．

■第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)

本研修会では，シールド工法の計画から設計，施工，維持管理までの実務的な講義と参加者自ら取り組む具体的なプロジェクト計画に即した演習問題などによる研修を，7人の経験豊富な各種分野の専門技術者の方々を講師として実施する予定です．

開 催 日：平成24年9月27日(木)，28日(金)
会　　場：(社)日本トンネル技術協会「会議室」
研修内容：初　日：調査・計画から施工までの講義，シールドの常識・非常識討論会
　　二日目：設計・維持管理の講義，グループによるシールド計画問題の実施と解答発表
定　　員：24名(定員になり次第締め切りいたします)
参 加 費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)
そ の 他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

■第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)

本研修会は，単なる技術説明や工事報告ではなく，講師である8人の屈指の山岳トンネル技術者の方々が経験した，特殊条件における工事での失敗や苦労した事柄を伝えていただくとともに，これから類似のトンネルを担当したときにどうすべきかなどについて講義していただく予定です．

開 催 日：平成24年11月21日(木)，22日(金)
会　　場：(社)日本トンネル技術協会「会議室」予定
研修内容：初　日：調査と実際の乖離，設計と実際の乖離，補助工法とトラブル等についての講義と討論会(主として現場での課題について)
　　二日目：「膨張性地山，崩落性地山，大湧水地山，地質想定困難な地山でのTBM施工」におけるトンネル工事で学んだこと，類似工事で対応すべきことの講義
定　　員：24名(定員になり次第締め切りいたします)
参 加 費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)
そ の 他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

9月号予告[9月1日発売予定]

- ●トンネル施工法が山岳トンネル安定性に及ぼす影響
- ●セメント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価
- ●主要地方道宇都宮那須烏山線　高瀬トンネル
- ●小田急小田原線　連続立体・複々線化事業
- ●東京都下水道　江東幹線

【連載講座】

- ●トンネル技術者のための地相入門(5)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆暑中お見舞い申し上げます．今年は節電対策として我が家の狭いベランダにグリーンカーテンを設けました．本号の発行ごろにはかなり成長し，節電に貢献していることと思います．

◆先日，小学館の「Domani」という女性誌の編集部の方とお話する機会がありました．本誌の多く読者が男性ですので「Domani」をご存じない方も多いと思いますが，電車の中吊り広告などで最近，積極的に広告を出しておられるので注意してみてください．この「Domani」ですが今，出版業界では注目視しています．女性誌のほとんどがかなり大きなサイズをしていますが，「Domani」では今までの通常のサイズのほかに最近約80%の大きさの雑誌も同時に販売を開始しました．小さいサイズの雑誌の販売を開始した理由は，「通勤中に読みやすい大きさ」，「バックに入る」，「保存しやすい」などの読者の要望に応えてのことだそうです．公の機関の書類がA4判に統一されて，建設業界誌も約6,7割はB5判からA4判になりました．しかし「Domani」の読者と同じ理由で本誌の読者もA4判よりB5判のほうが「気楽に読みやすい」，「保管しやすい」と思っておられる方も多くおられます．今後，利便性のほかに資源を大切にするエコの観点からも縮小してもさほど読みやすさに影響のない雑誌などは縮小化に走るかもしれません．今後の出版業界の流れに注目したいと思います．

(I.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第43巻 第8号〔通巻504号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年7月20日　印刷
平成24年8月1日　発行

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．



図書案内

株式会社 土木工学社

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
2,500円＋税　B5判

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



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

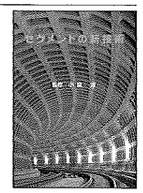
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み，土木工事において問題となる地質事象や，各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた．



セグメントの新技術

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．



シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　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．



地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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

地球という複雑なシステムを循環する水，とくに地下水循環を考え，汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため，水の物理的・科学的性質，地球の状況，水資源としての地下水の状況，地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した．



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

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

トンネルを掘るときに，どのような力学的な問題が生じるかについて，わかりやすく解説した．トンネル工学の理論と実際が統一されることを願って記された一冊．



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術

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．



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

ジオテキ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的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

臼谷三郎・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病や有害環境条件，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実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，マンガンノジュールの鉱物資源，また，海洋エネルギーなどの開発と利用についてまとめた．



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

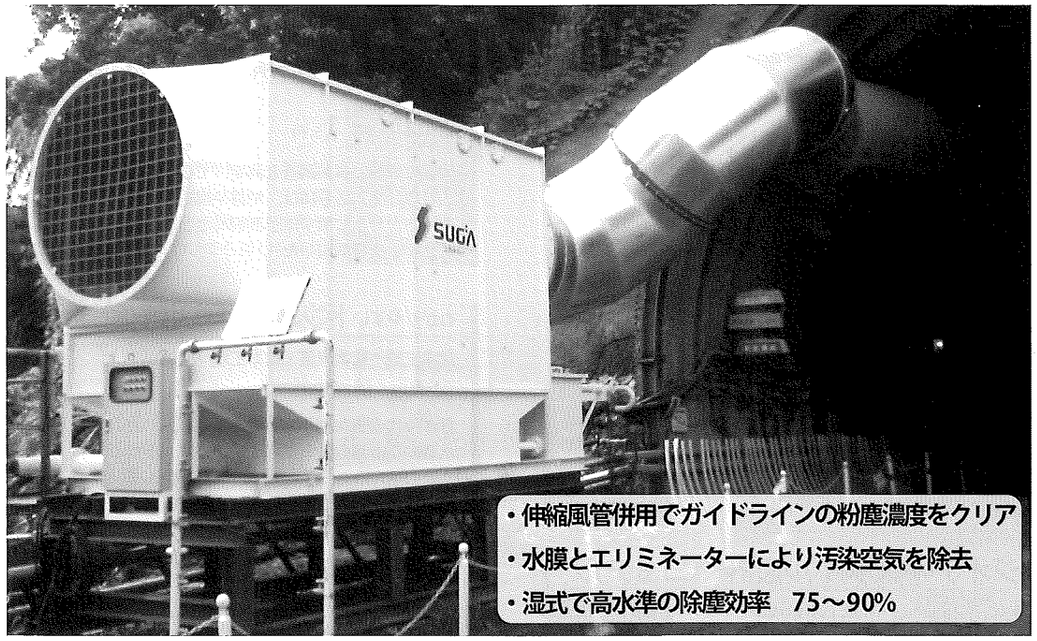
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

(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

新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

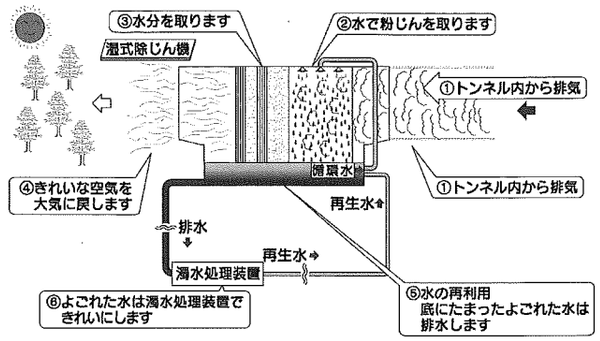
湿式除塵機 シャワーエリミナー

集塵機を使用しないで大幅なイニシャル＆ランニングコスト低減
2000㎥/min集塵機との比較で電力90%削減 110kW(55kW×2)⇒11kW



- 伸縮風管併用でガイドラインの粉塵濃度をクリア
- 水膜とエリミネーターにより汚染空気を除去
- 湿式で高水準の除塵効率　75～90%

除じん機による浄化フロー



機　種

①1500㎥/min　動力：7.5kW
②2000㎥/min　動力：11.0kW
＊動力は循環ポンプのみ
＊使用水は再生水循環式

SUGA スガキカイ　**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12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

なんといっても低動力で大風量

電力もCO_2も抑えるために・・・ エコロジー＆テクノロジー

標準的なファン

定格：2000m³/min・4.9kPa
動力：110kW×2　400V



220kW(110kW×2)　ファンと同風量で・・・
動力もCO_2も従来比(最大負荷時)の

省エネ型へ

32%の節電&削減！(150kW)

〔風管φ1500 使用時　中距離(0 ～ 1000m)〕

EZ－2000Q

風量・圧力	動　力	騒音値
2000m³/min・2.94kPa	150kW　400V	74dB(最小値)

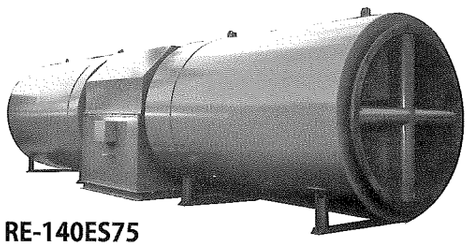


66%の節電&削減！(75kW)

〔風管φ1500 使用時　短距離(0 ～ 500m)〕

エアロMAX★uno

風量・圧力	動　力	騒音値
2000m³/min・1.5kPa	75kW　400V	78dB(最小値)



RE-140ES75

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 COI 聖坂ビル
℡：0120-449-881
URL：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)