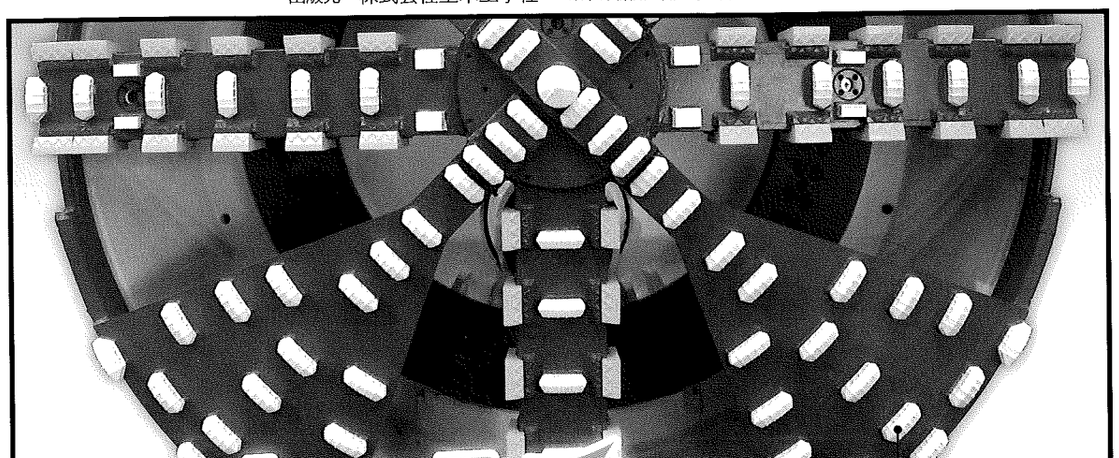
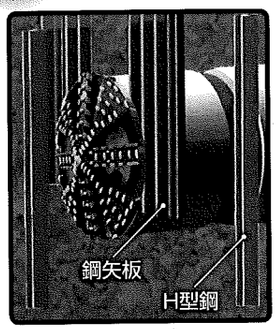
トンネルと地下　平成25年8月1日発行第44巻第8号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



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。

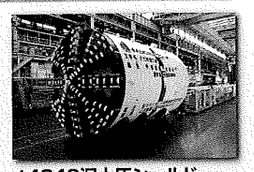


特　長

- 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
4910066190835
01500

平成25年8月1日発行(毎月1回1日発行)　第44巻第8号　通巻516号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 8

vol. 44
no. 8
2013

Tunnels and Underground

地盤切削JES工法で大規模函体を活線下施工
豊川用水直上部を観測施工で交差
連ボックスの道路および鉄道トンネルを供用しながら全周補強
軟弱粘性土層におけるφ3.9mのシールドをR10mで施工
繁華街における急曲線・急勾配シールド

日本トンネル技術協会誌



FRD FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R-Ⅲ / JTH3200R-Ⅲ

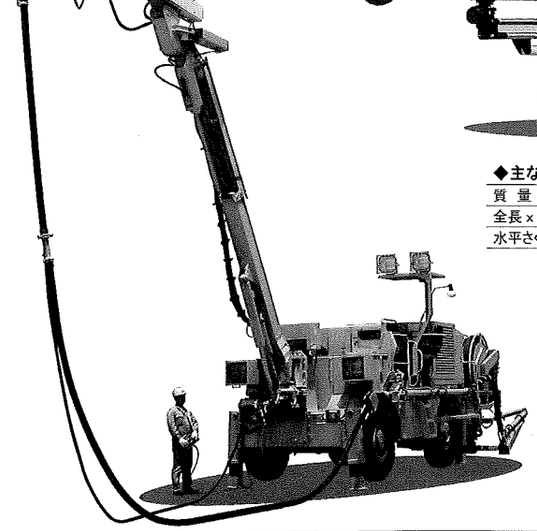
国土交通省　第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

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

新型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載



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



自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ

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

質　量	24 ton
全長 x 全幅 x 古高	15.6m x 3m x 4m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	13.3m x 10m

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　☎011-786-2222　東　北　☎022-384-8991　関　東　☎027-326-9611　名古屋　☎0568-77-7700

関　西　☎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

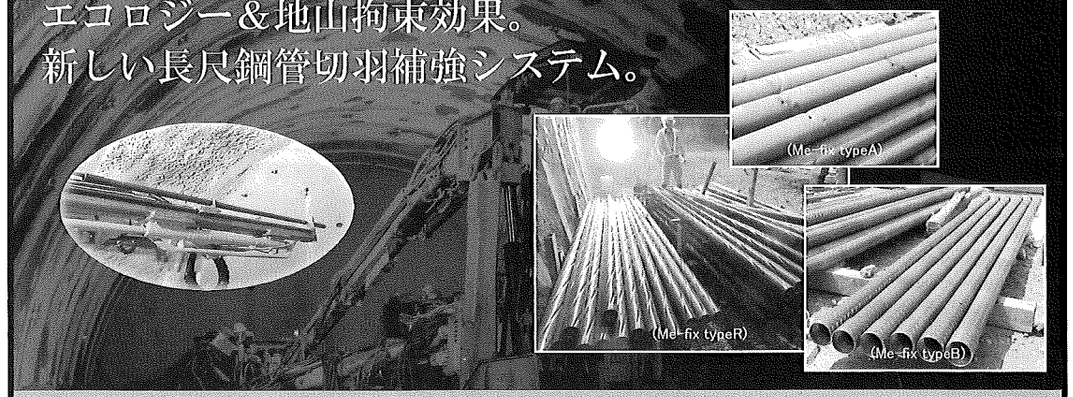
特許第3882118号

Me 工法
Metal eco

特許第4942211号

Me fix
Metal eco

エコロジー＆地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。



特徴①　分別回収による鋼材のリサイクル化　※特別仕様 NETIS番号:KT-080027

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

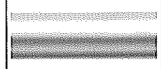
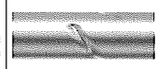
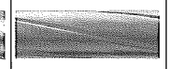
特徴②　接続部補強により鋼管の薄肉化

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

NEW!

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

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu≒12N/mm²)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

This May Debut

TAG Navi－V（換気自動制御）

Automatic Ventilation Control System

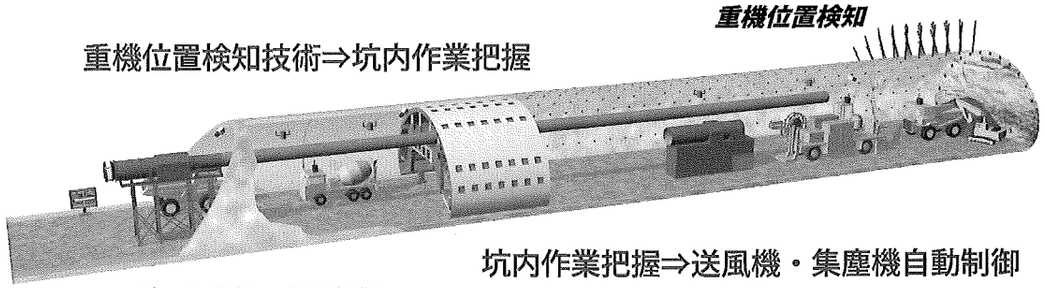
CYBER NATM

TAG Navi - V（換気自動制御）は坑内作業（削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等）を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送し、自動的にインバーター制御を行い、電気量とＣＯ2排出削減を目標とする新しい省エネルギー換気システムです

地球の為に出来ること

重機位置検知技術⇒坑内作業把握

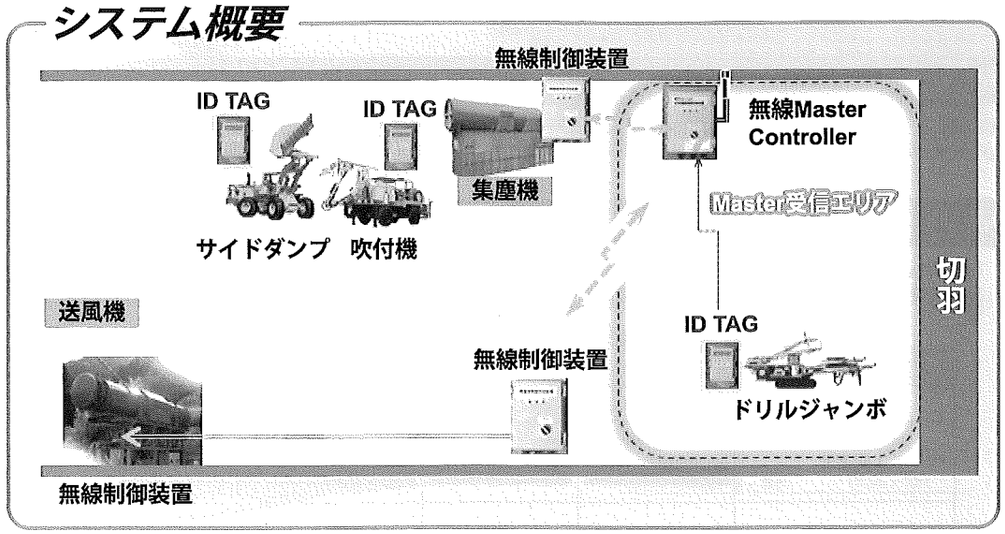
重機位置検知



坑内作業把握⇒送風機・集塵機自動制御

データ伝送・自動制御

システム概要



株式会社 流機エンジニアリング

enzan kouboU

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

パターンボルトのGRP化

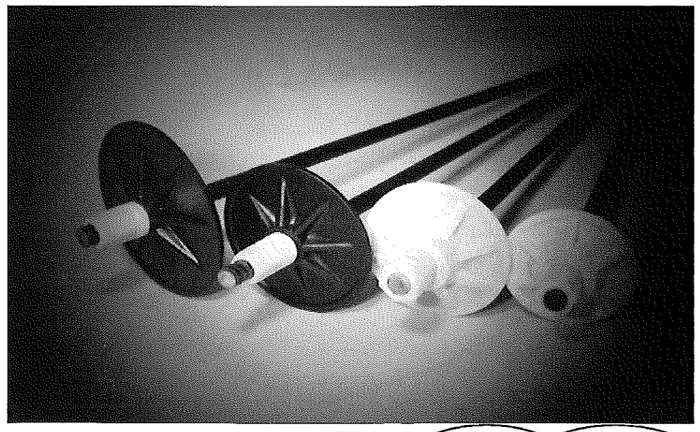
POWERTHREAD

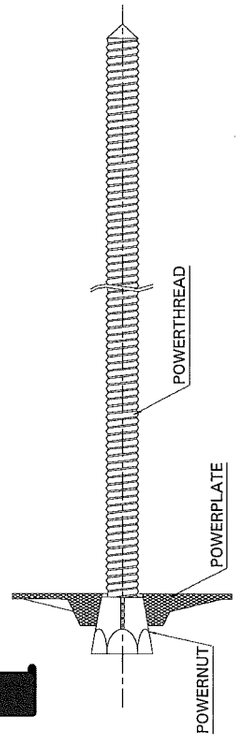
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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

中部営業部
TEL）052-331-8821 FAX）052-332-0164

東京支店
TEL）03-3260-8321 FAX）03-3266-1648

関西営業所
TEL）06-6578-3235 FAX）06-6578-3237

九州営業所
TEL）092-574-0856 FAX）092-574-0846

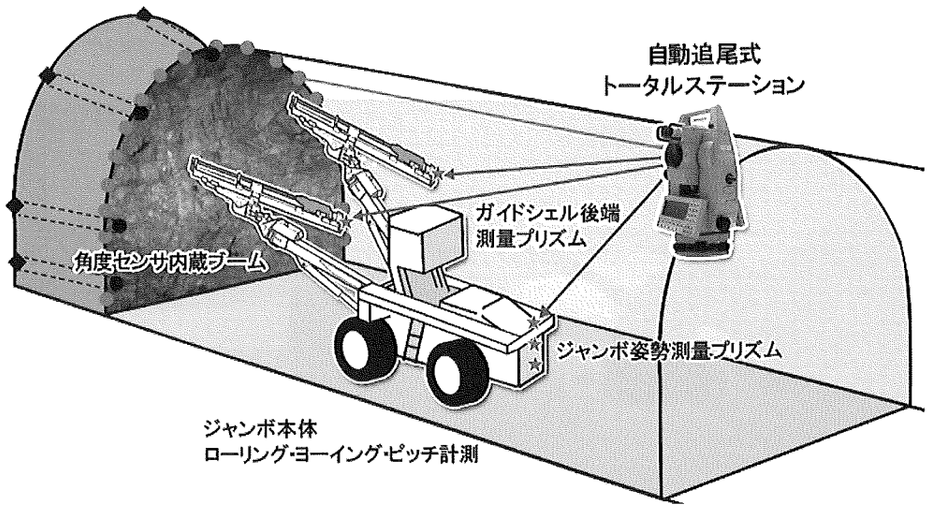
北海道地区（㈱エイチ・アール・オー）
TEL）011-821-5868 FAX）011-821-6644

NETIS登録番号:KK-100049-A

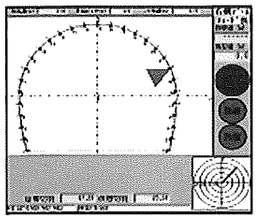
自動追尾式余掘り低減システム

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

MAC 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

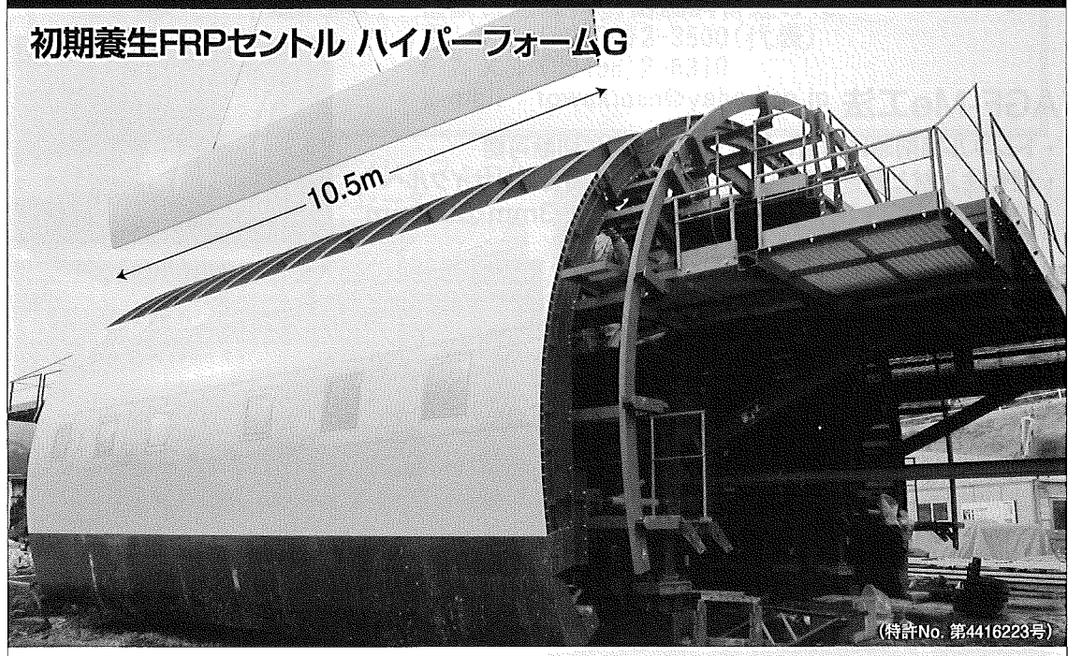
古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

〒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

新着ニュース

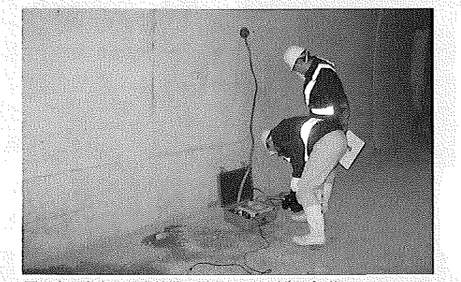
FRPセントルによる覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢這トンネル (株)フジタ施工

国土交通省東北地方整備局が発注した東北中央自動車道(相馬～福島)の楢這トンネル工事(全長1,492.8m)において、トンネル全線(非常駐車帯部を除く)で採用したFRP製セントルと非常駐車帯部で使用した鋼製セントルで施工された覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上する事が実証された。

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、寒冷地に最適
3. 剥離性がよく、ケレン作業が低減

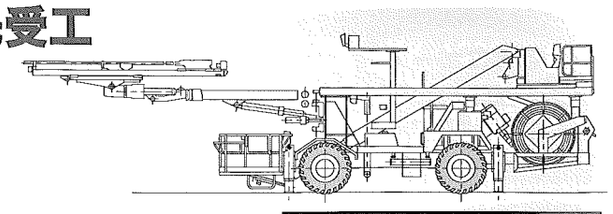
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 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

環境対応型長尺鋼管先受工

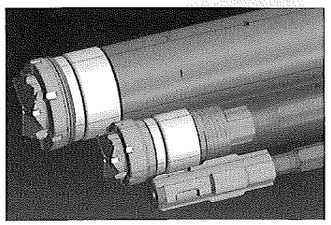
TOHO **AGF** System

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

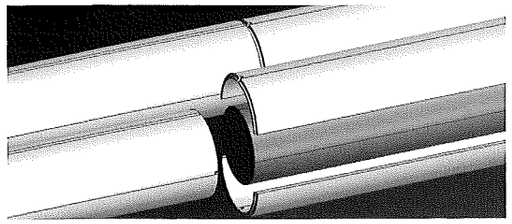


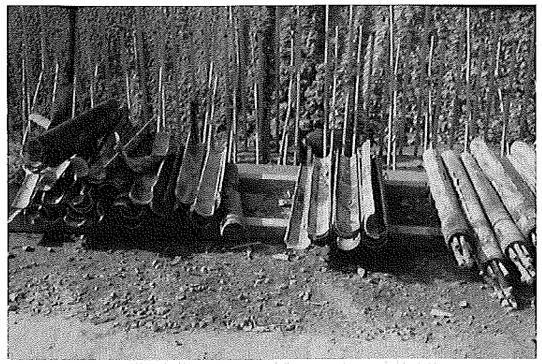
AGF-Me工法

- 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。





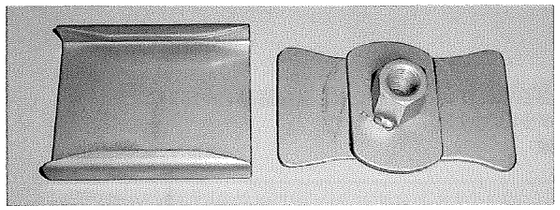
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

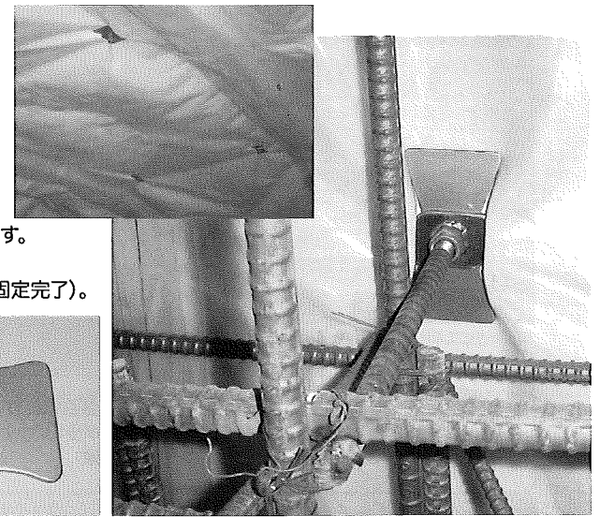
TKグリッパー

- 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)。





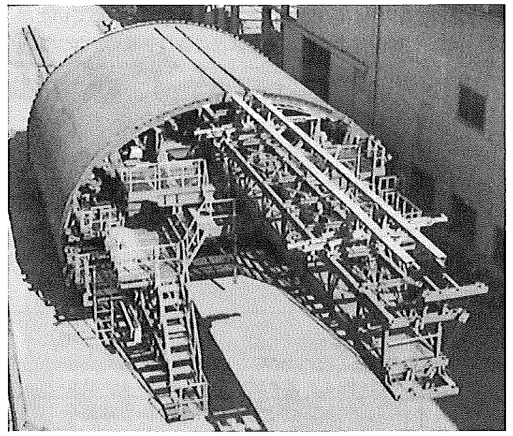
東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8　赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900　Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

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)

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

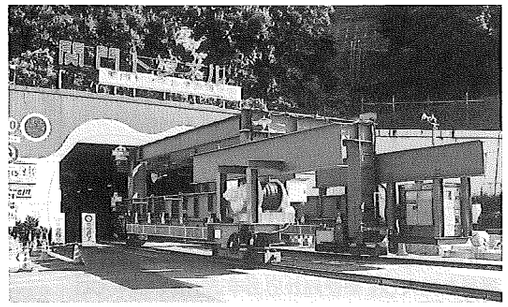
東和機電工業株式会社 頴田(かいた)工場
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

● 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

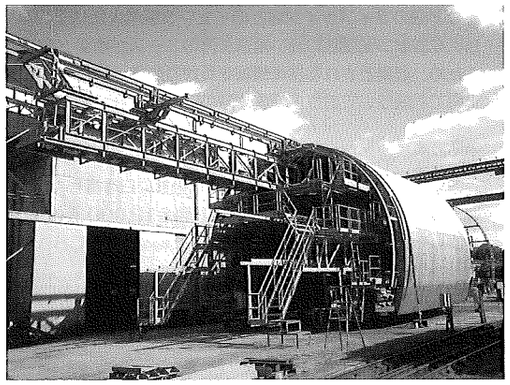


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

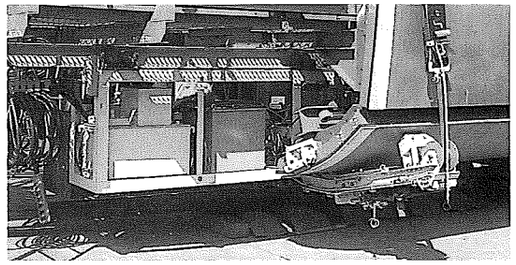
● トンネル床版撤去架台
勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 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．**

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。

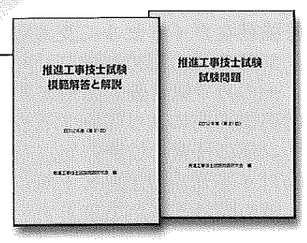
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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

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

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11年間（平成14～24年度）
試験問題と模範解答・解説集
推進工事技士試験問題研究会編



平成24年度版発売中!!

推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に㈱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。

１．内容と特長
- ○過去１１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。

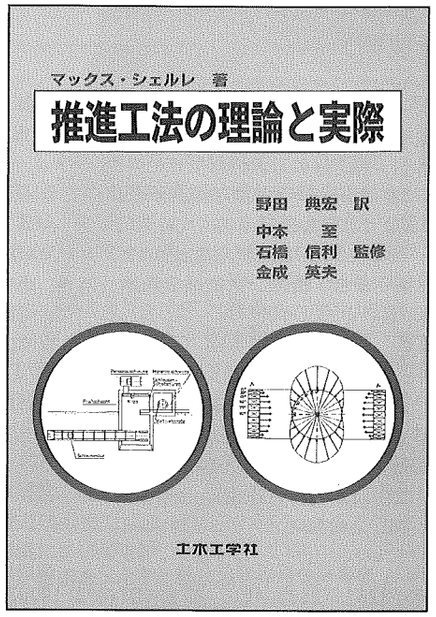
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

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

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　本体価格 2,000円　送料 290円

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

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

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

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

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

〈セグメントの新技術〉

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

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

き…り…と…り…線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

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〉

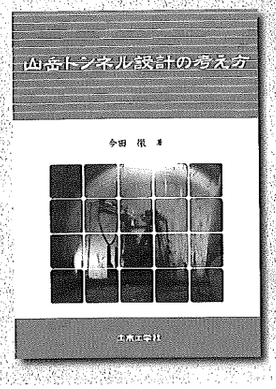
第1章　現状と展望，第2章　火薬類の基礎知識，第3章　発破技術の基本，
第4章　新しい発破技術，第5章　発破と環境問題，資料

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

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

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）

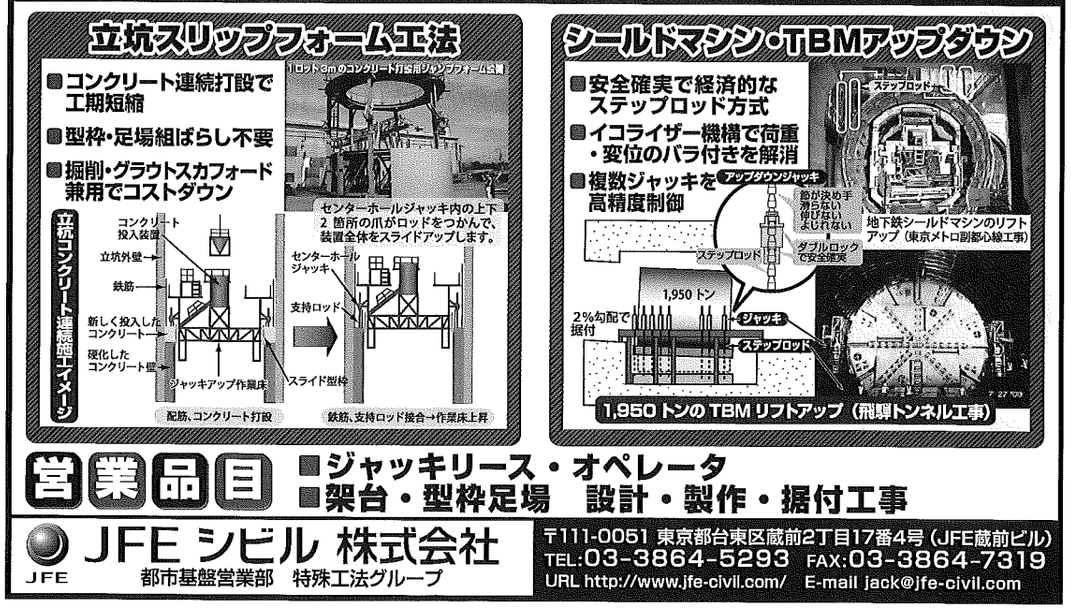
【営業品目】 複層タイヤ／油圧ホース／マテリアルホース／各種中古車／触媒／線路（中古）

中濃産業株式会社
代表取締役　土 田 義 弐

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㈹

スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！



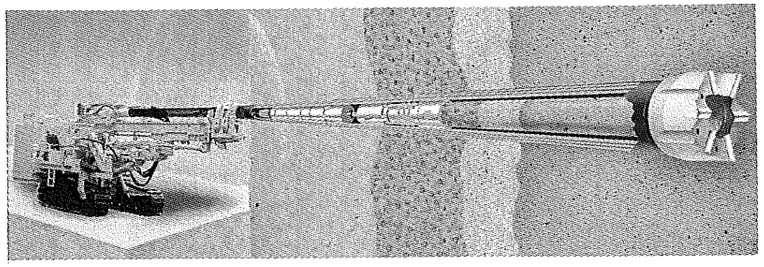
営業品目
■ジャッキリース・オペレータ
■架台・型枠足場　設計・製作・据付工事

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



クローラーだから小旋回
斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】 ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T
上部ミキサー：カヤバ製（混合容量4.5m³）

全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		(100ピッチ×98リンク)
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形 式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	搭載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】
- ドラム回転電動式（オプション）
- 生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ドラム回転&アイドルアップ機構
- オフロード法少数特例承認機（承認番号） NS-641

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

■北海道営業所
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



〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修
Ｂ５判 209頁 本体価格2,500円 〒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.地質路査 5.弾性波探査 6.電気探査 7.その他の物理探査法 8.ボーリング調査 9.ボーリング孔を利用して行う調査 10.室内試験 11.調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む) 12.水文調査・地下水調査 13.立地条件調査

第Ⅳ編 工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本 2.地山条件の調査の流れ 3.トンネル工事のための地山評価法 4.調査の成果

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

株式会社 土木工学社

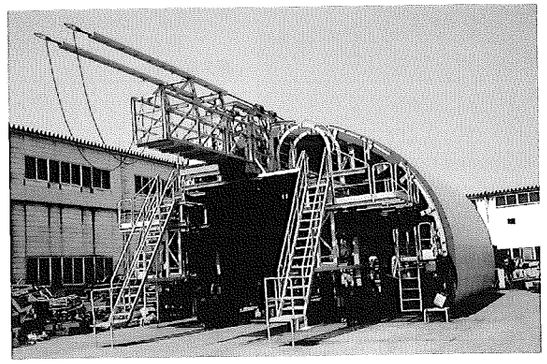
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03)3267-2888（代） 振替00110-8-190072

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-V

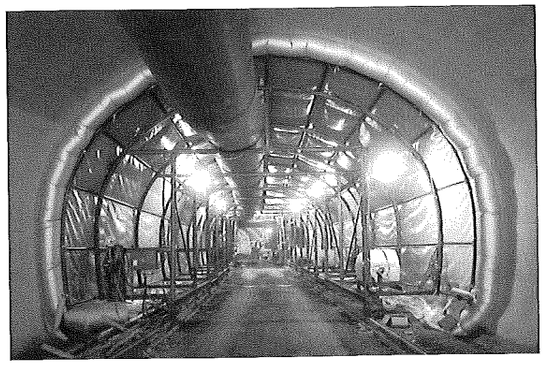


期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A （製造：株式会社マシノ）



期待される効果・特徴

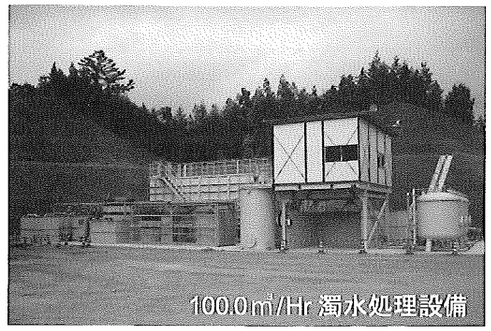
- セントルと養生台車を連続してシートで覆い，坑内通気から遮断し，乾燥収縮クラックを防止する
- 脱型直後の覆工コンクリートに水を噴霧し，湿潤状態を保持し，初期強度を向上させる
- 養生中に追加噴霧することで湿潤状態を長期保て，覆工コンクリートの長期強度が増進する
- ３台連結することにより７日間の湿潤養生が出来る

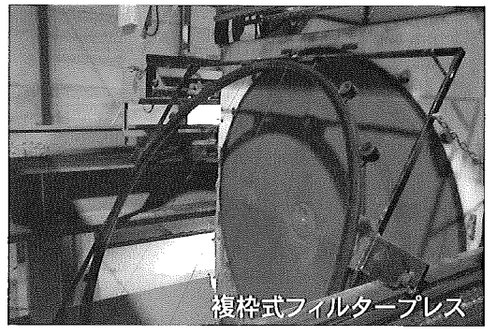
北陸鋼産株式会社
(旧社名　株式会社 佐賀)
URL http://www.hokuriku-kosan.co.jp
射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789　大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

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.44, No.8, 2013 Aug.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

土木技術者としての誇りと使命
水島　久尾……5

■施　　工

地盤切削JES工法で大規模函体を活線下施工
―高崎線桶川・北本間　二ツ家こ道橋新設―
本田　　諭・齋藤　　貴・井上　宏和・尾関　聡司……7

豊川用水直上部を観測施工で交差
―新東名高速道路　乗本トンネル―
大嶋　健二・河東　頼男・伊藤　智治・黒川　尚義……17

5連ボックスの道路および鉄道トンネルを供用しながら全周補強
―成田国際空港　木の根トンネル―
早川　　勇・工藤　嘉久・高橋　正登……27

軟弱粘性土層におけるφ3.9mのシールドをR10mで施工
―横浜市下水道　大岡川右岸雨水幹線―
脇本　　景・伊熊　信男・辻　　裕幸・柴田　岳彦……47

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

繁華街における急曲線・急勾配シールド
―東京電力　南池袋公園付近管路―
蓮見　　亮・吉本　正浩・太田　明彦……55

■連 載 講 座

トンネルにおける地下水対策(1)
―トンネル工事と地下水―
「地下水対策」連載講座小委員会……65

■現場だより

「豊かな自然に恵まれたまち」大分県佐伯市より
谷山　伸郎……16

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

都市トンネルの悩みと喜び
岩本　　哲……37

■資　　料

土木情報
編　集　部……35

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……54

トンネルジャーナル
編　集　部……36

海外文献速報
JTA国際委員会……73

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】

豊川用水直上部を観測施工で交差
―新東名高速道路　乗本トンネル―



新東名高速道路乗本トンネルは，延長約750mの2車線トンネルを上下線に2本双設するものである．本工事は，トンネルの下方に離隔約17m，斜角約50度で豊川用水第三号隧道が交差することから，新設トンネルの爆破に伴う動的影響および，トンネル掘削に伴うゆるみ荷重や変位・変形による静的影響が懸念された．そのため，既設隧道と交差する208mの区間において動的影響と静的影響の監視区間を設定し，既設隧道に与える影響を事前に予測したうえで交差部を施工した．写真は，豊川用水交差部で本設インバートを施工するために，吹付けインバートの埋戻土を撤去している状況である．

〔写真提供：中日本高速道路(株)〕(本文17頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生



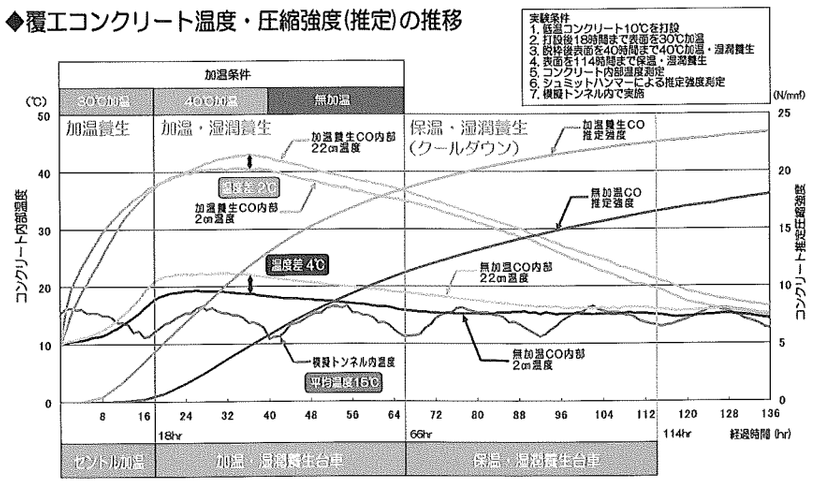
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

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

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県本巣市十四条 144 番地
TEL 058-323-2001 FAX 058-323-1176
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

東京支店 TEL 03-5836-0531
仙台営業所 TEL 022-259-2239
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製作・販売協力】
テクノプロ株式会社
株式会社 東宏

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔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

荻野竹敏
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長

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

西岡和則
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

長谷川雅彦
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

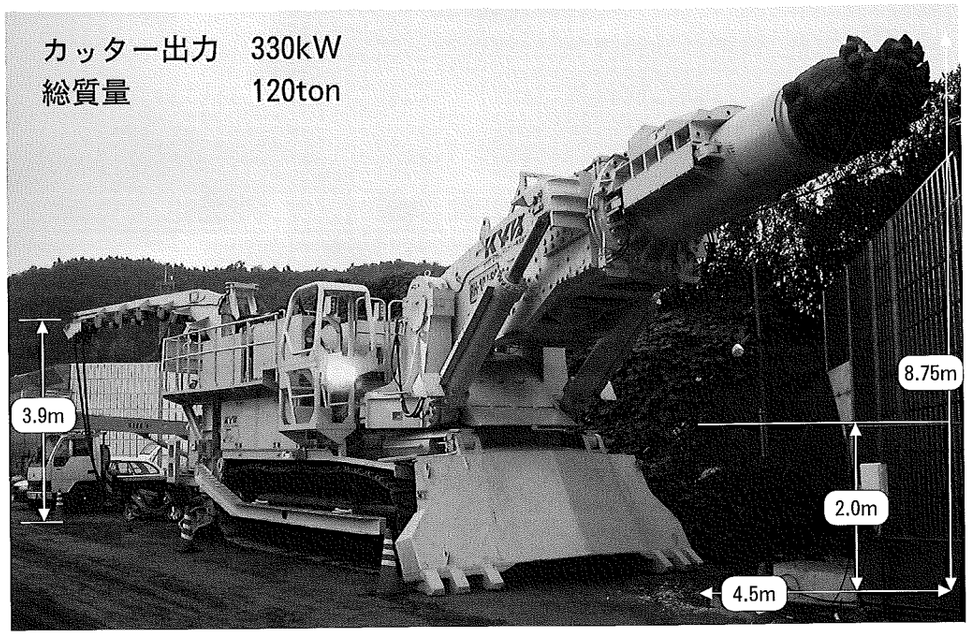
藤井義文
株式会社竹中土木執行役員

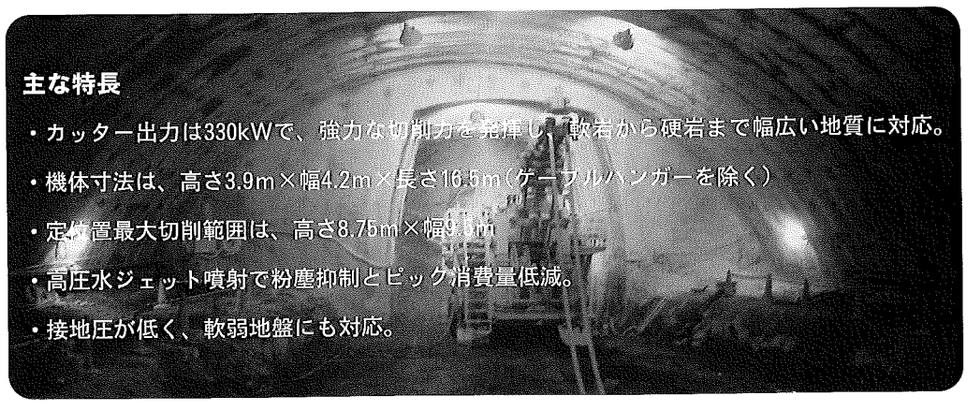
松原利之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術開発センター
地盤研究室長

小山幸則
立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

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

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

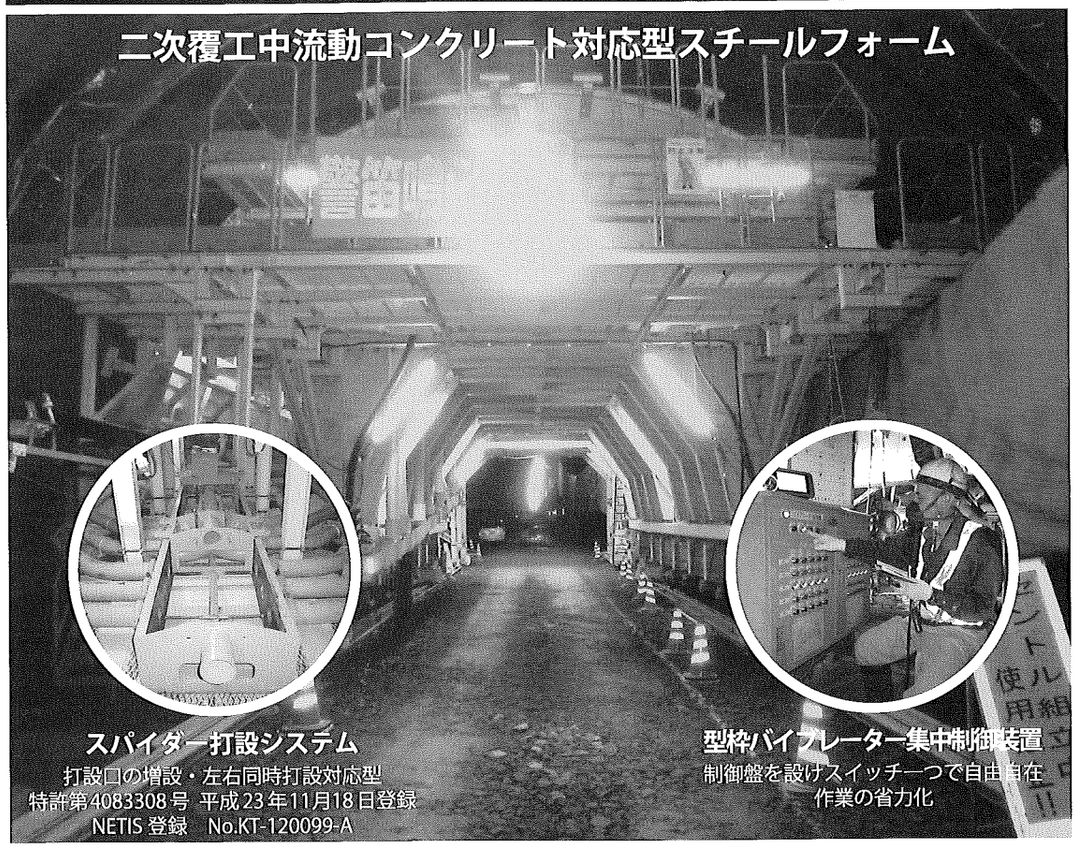
高橋晃
東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部地中送電グループ課長

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

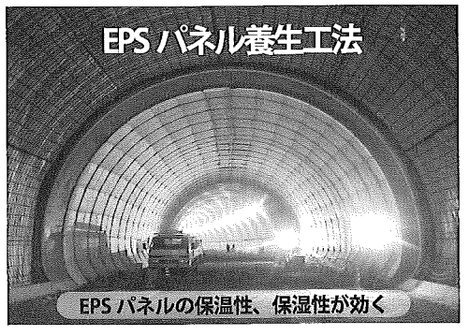
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

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	24	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	0
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年 6 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. 44　No. 8　掲載概要

掲載頁 7　地盤切削JES工法で大規模函体を活線下施工
—高崎線桶川・北本間　二ツ家こ道橋新設—

東日本旅客鉄道(株)　本田　　諭

高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事は，圏央道のうちJR高崎線との交差部に位置する線路下横断工事である．本工事では，HEP＆JES工法により幅員49mの 1 層 4 径間ボックスカルバートを構築する．今回，工期短縮を目的として，上床版エレメントの施工において新たに開発した地盤切削JES工法を採用した．この工法は，刃口先端に設置したワイヤーソーで支障物を切断撤去しながら施工するため地表面への変位が抑えられ，列車運行時間帯でのエレメント掘進においても安全性が高い掘進作業が可能である．本稿では，地盤切削JES工法の開発経緯ならびに実施工での実績について報告する．

Building Large-scale Box under In-service Tracks with Ground Cutting JES—Takasaki Line between Okegawa and Kitamoto New Construction of Futatsuya Underpass—

By Satoshi Honda, East Japan Railway Company

The new construction of the Futatsuya Underpass between Okegawa and Kitamoto on the JR Takasaki Line is the works to build road tunnel under the tracks located at the intersection of the JR Takasaki Line and the Metropolitan Inter-City Expressway. These works are to make a reinforced concrete tunnel of one-story and four-span with 49 m in breadth using the HEP and JES technipue. With the aim of shortening the construction period, the newly-developed 'ground cutting JES method' was adopted to build top slab elements. This technique controls displacement of ground surface by cutting and removing obstacles with a wire saw installed with a cutting edge tip. It makes works with a high level of safety possible in element boring during times when trains are in operation. This report gives information on the development of the ground cutting JES method as well as the results of the works.



写真は地盤切削JES工法の刃口

掲載頁 17　豊川用水直上部を観測施工で交差
—新東名高速道路　乗本トンネル—

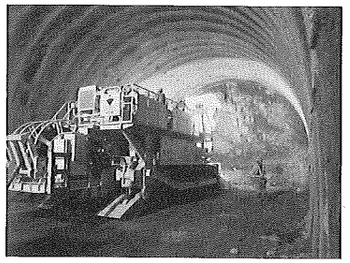
中日本高速道路(株)　大嶋　健二

乗本トンネル工事は，現在建設中の新東名高速道路の愛知県下延長55kmのうち，愛知県東部の新城市に位置し，延長約750mの 2 車線トンネルを上下線に 2 本双設する．乗本トンネルの下方に離隔約17m，斜角約50度で豊川用水第三号隧道が交差する．当既設隧道は，昭和30年代に建設され，新城市の大野頭首工から導水した水を下流の分水工と幹線水路に送水する，重要度の高い水路に位置づけされている．乗本トンネルを施工するにあたり，交差する既設隧道へ与える影響として，新設トンネルの爆破に伴う動的影響および，トンネル掘削に伴うゆるみ荷重や変位・変形による静的影響が懸念された．本施工では，既設隧道と交差する208mの区間において動的影響の監視区間と静的影響の監視区間を設定し，既設隧道に与える影響を事前に予測したうえで交差部の施工に取り掛かった．本稿は，その手法と結果について報告するものである．

Underground Crossing over Toyokawa Aqueduct with Observational Construction—New Tomei Expressway Norimoto Tunnel—

By Kenji Oshima, Central Nippon Expressway Company Limited

The Central NEXCO has built Shin-Tomei Expressway of approx. 55 km in Aichi Prefecture. The Norimoto Tunnel of the Shin-Tomei Expwy under construction is located in Shinshiro City in the east Aichi Pref. that is twin tunnel consisting of upbound and downboud two-lane tubes of approx. 750 m. The Toyokawa Aqueduct No.3 Tunnel intersects under the Norimoto Tunnel separated by approx. 17 m and at a skew of approx. 50 degrees. The existing aqueduct tunnel was constructed about 60 years before and it is positioned in an important aqueduct that supplies water conveyed from the Ono weir in Shinshiro City to downstream diversion devices and trunk waterways. In constructing the Norimoto Tunnel, there was concern about static damage due to displacement and deformation and load of loosen ground caused by excavation as well as dynamic damage due to tunnel blasting. This construction set up the 208 m stretch of a dynamic damage monitoring section and a static damage monitoring section that intersects with the existing tunnel and set about building the section after prior estimation of the damage on the existing tunnel. This report gives information on this technique and its results.



写真は機械掘削状況

掲載頁 27

5連ボックスの道路および鉄道トンネルを供用しながら全周補強
—成田国際空港　木の根トンネル—

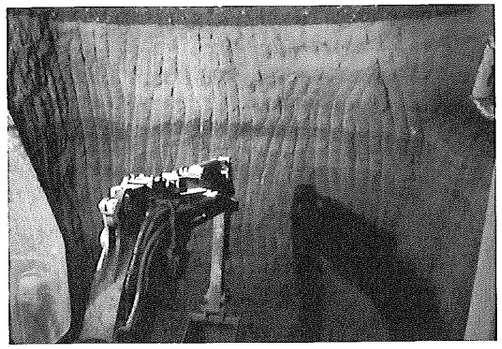
成田国際空港(株)　早川　勇

成田国際空港では，航空機の年間発着能力の拡大に向けて誘導路やエプロンの新設工事を進めている．木の根トンネルは，空港の南北を結ぶ供用中の地下トンネルで5連のボックスカルバート構造であるが，誘導路の新設に伴い緑地帯から誘導路直下となるために航空機荷重に耐えられるように補強工事が必要となった．補強構造は，既設トンネルの下は桁構造，側壁・頂版は既設トンネルとの間に空隙を確保した版構造であり，既設トンネルの中壁以外には荷重を作用させない構造とした．本稿では，供用中の既設トンネルに影響を与えることなく行った，①開放型簡易シールドによる下床桁導坑掘削，②既設トンネルと下床桁を密着させるための膨張性高流動コンクリート打設およびCCDカメラと充塡センサによる管理，③側壁・頂版の狭隘空間の型枠に砂型枠を使用した施工結果について報告する．

All-round Reinforcement Works of In-Service Five-span RC Box Tunnel—Narita International Airport Kinone Tunnel—

By Isamu Hayakawa, Narita International Airport Corporation

At Narita International Airport, construction works are underway to build a new taxiway and apron for the expansion of annual landing slots. Kinone Tunnel is an in-service underground RC box structure with a five-span that links the north and south of the airport. It has come to require reinforcement works to withstand aircraft load because facility above tunnel will change from green belt to taxiway in the new construction. The reinforcement works were to build bearing beams under bottom slab, and sidewalls and top slab which protect existing ones against direct loading by keeping space between them. Only the load of new top slab and aircraft will act on existing structure through bearings which are put directly over existing middle walls of it. This report gives information on 1) advancing excavation for bearing beams with simple open shield, 2) casting self-compacting concrete in order to place the bearing beams and the existing tunnel together and control casting through CCD cameras and filling sensors and 3) construction results using sand form in little space for sidewalls and top slab that were all conducted without any damage against the in-service existing tunnel.



写真は下床桁切羽状況

掲載頁 47

軟弱粘性土層におけるφ3.9mのシールドをR10mで施工
—横浜市下水道　大岡川右岸雨水幹線—

横浜市　脇本　景

大岡川右岸雨水幹線は泥土圧シールド工法によって仕上がり内径φ3,250㎜，延長1,945mの雨水貯留管を築造するものである．シールド路線のうち，R＝30およびR＝10の急曲線箇所が1か所ずつあり，対象土層はいずれもN値が1～3と非常に軟弱な沖積粘性土層となっている．本稿は，とくにR＝10部については余掘り量が大きくなることから，線形逸脱や地表面沈下防止のための対策についてトンネル内から実施可能な事前計画を立案し，地上からの補助工法を行うことなく急曲線施工を実施した結果について報告するものである．

φ3.9m Shield Drive around Bend with Radius 10 m in Weak Cohesive Soil—Yokohama Sewage O-okagawa Right Bank Storm Sewage Main—

By Kei Wakimoto, Yokohama City

The O-okagawa Right Bank Storm Sewage Main Project is to construct of a stormwater storage pipe of 3,250mm in inside diameter and 1,945 m in length using EPB shield. Plan alignment of sewage has two sharp bends, 30 m and 10 m in radius. Ground condition were extremely weak alluvial cohesive soil of 1-3 in N-value. This report gives information on the results of operating the shield on sharp bends with countermeasures workable from inside the tunnel which were designed to prevent alignment deviance or surface settlement in advance caused by enlargement of volume of outbreak at 10m-radius bend.



写真は急曲線部施工完了

掲載頁 55

繁華街における急曲線・急勾配シールド
—東京電力　南池袋公園付近管路—

東京電力(株)　蓮見　亮

東京電力(株)では，新設される地下変電所への電源供給ならびに変電所周囲既設送電設備への連系のために，東京都の池袋地区に洞道やマンホールなどの地中送電設備の建設を実施している．

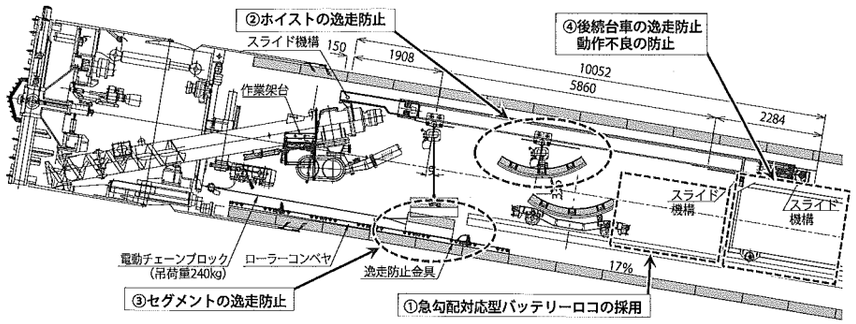
本工事は，SMW壁を本体利用した深さ約23mのシールド発進立坑工事および深さ約10mのシールド到達立坑工事，亘長約300mの内径φ3,000泥土圧式シールド工事などの建設を実施している．本報告では，シールド平面・縦断線形を決定するための埋設物探査，発進立坑工事(SMW工法・SEW工法)，到達立坑工事(杭打ち工)，シールド工事(急曲線施工(R＝15m)，急勾配施工(上り17%勾配)の概要について報告する．

Shield Tunneling Sharp Curve/Steep Slope in Downtown—Tepco Pipelines in vicinity of Minami-Ikebukuro Park—

By Akira Hasumi, Tokyo Electric Power Company

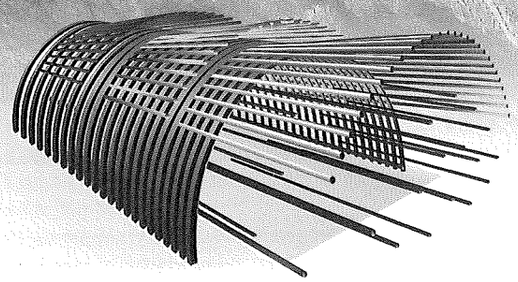
Tokyo Electric Power Company has implemented construction of underground electricity supply facilities such as tunnels and manholes in the Tokyo Ikebukuro area in order to supply at the newly built underground electrical substation and to interconnect the existing transmission facilities around the substation.

In these works we have built a shield starting shaft of a depth of 23 m using the SMW wall, and an arrival shaft of a depth of 10 m, and 300 m stretch of pipeline with EPB shield TBM of 3,000 mm in inside diameter. This report gives an overview of detection of buried object in order to determine the plan and longitudinal alignment of pipeline, starting shaft works (SMW technique, SEW technique), arrival shaft works (piling works) and shield tunneling works (sharp bent line (15 m in radius) and steep incline (ascent of 17%)).



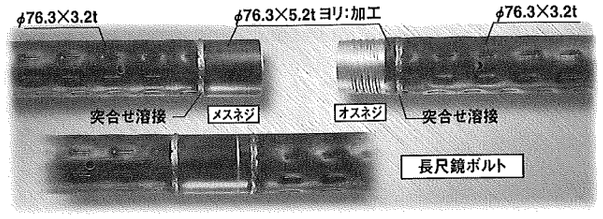
図は急勾配施工における設備対策

ユニークな発想でVEを提案



FIXチューブ(S型)（ストロング）

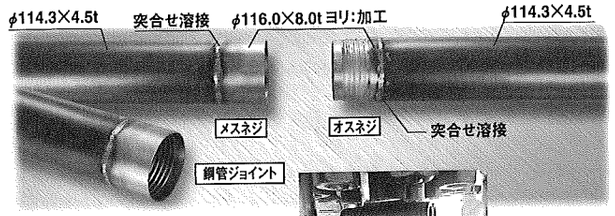
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



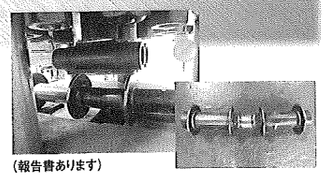


AGF-STD工法

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



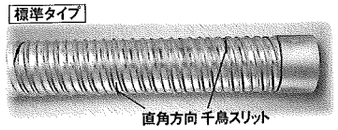
曲げ耐力30%UP!!



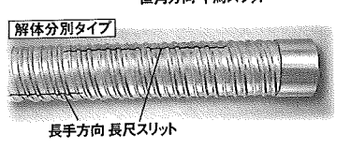
(報告書あります)
接続部の抗折力試験

掘去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

注入材・その他工法

※ウレタン系注入材：NEW-TSRF、NEW-TBU
※セメント系注入材：コロイダルスーパー、デンカES
※セメント系充填材：デンカPモル
※高速フォアポーリング：SP-IF工法
※高速ルートパイル：SPフィックスパイル工法
※φ27.2注入管、自穿孔ボルト各種在庫あり

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833　大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.072-990-0250 FAX.072-990-0251
http://www.st-eng.co.jp

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



土木技術者としての誇りと使命

大豊建設(株)代表取締役社長
水島久尾

わが国は島国であると同時に，列島の中央を山脈が縦断し国土の約75％を山地が占める山国です．1億2,000万人の国民が生活できる平地はきわめて少なく，海峡や山地によって分断されており，これらは数多くのトンネルや橋梁で結ばれています．また，世界有数の地震国であり，耐震性の高い構造物を整備する必要があります．そのため，社会資本整備に要するコストが欧米諸国と比較して割高になるとともに高い技術力も求められます．コスト縮減の要請に応えながら，経済発展の基盤を整備し，国民が安全に安心して暮らせる国土づくりを担うのが建設会社であり土木技術者です．

戦後わが国では社会資本整備が着々と進められ，国民は経済の発展と生活の利便性を手にすることができました．とくに1960年以降の高度成長期では大型の国家事業が進められ土木技術者も大きなやりがいと誇りをもって仕事ができた時代でした．トンネル分野に目を向けると1988年３月青函トンネル(全長53.85km)が世界最長の記録を更新して完成，その後新幹線が順次延伸され，北海道新幹線の開業が目前に迫っています．また，首都圏では川崎市と木更津市を結ぶ東京湾アクアラインがシールド工法を採用して1997年に開通し，東京，横浜から房総方面への時間が大幅に短縮されました．そして現在，首都高速道路中央環状品川線の全長８kmが外径12mを超えるシールドによってすでに貫通し，2014年度の全線開通に向けて工事中です．このトンネルの完成により高速湾岸線と高速３号渋谷線が結ばれ首都圏の交通渋滞緩和に大きく寄与することが期待されています．

このようにトンネルひとつとってみても土木は産業や国民の生活にかかわりの深い仕事です．筆者も土木技術者として多くのシールド工事を手掛け，国民生活の基盤整備に少なからず貢献してきたという思いはあります．ところが，近年，日本では土木に対する理解が不足し，人気が低迷している状況にあることは否定できません．『土木工学科』という名称の学科をもつ大学も数えるほどになり，建設会社に入社を希望する学生も減少しています．

では，なぜ土木の人気が低迷しているのでしょうか，それにはふたつの理由が考えられます．ひとつには，公共工事や建設産業に関係する負のイメージが挙げられます．公

共工事の発注を巡る一連の不祥事，環境破壊の元凶だとする一面だけを捉えた批判，「きつい・汚い・危険(3K)」といった労働上の問題などがあり，これらをマスコミが取り上げたことで国民の意識はマイナス方向へ傾き，その結果土木離れにつながりました．そしてふたつめは，国民の多くが土木の『ありがたさ』を感じなくなってしまったことです．都市部においてはインフラがほぼ整備され不便を感じない生活が当たり前になり，現在の生活がどのような施設によって支えられ，また維持されているのか意識することは少なくなっています．

社会資本，社会基盤の英訳はインフラストラクチャー(infrastructure)です．この単語は本来，下部構造，下部組織を意味します．つまり国民の生活や経済を下支えする役割を果たす目立たない存在と言うことができます．土木の仕事は完成して国民が使い始めたときから徐々にその存在が認識されなくなるのが宿命かも知れません．しかし，人々が生活するうえでなくてはならないものであることは間違いありません．日常では意識することがなくても，インフラは必要不可欠なものであることを多くの国民は理解していなければならないのです．土木技術者はインフラを整備するだけでは不十分で土木の大切さを国民に伝える使命もあると思います．

2011年３月11日，東日本大震災が発生し未曾有の被害をもたらしました．発生直後，真っ先に被災地に入り復旧活動にあたったのも建設会社です．津波による大量のがれきを除去して道を拓き，自衛隊やボランティアが被災地にたどり着けるようにしたのです．そして２年以上経過した現在も多くの土木技術者が復旧・復興に向けて奮闘しています．この東日本大震災を契機に日本国内では安全・安心な国土形成への関心が一層高まりました．首都直下型地震，南海トラフを震源とする地震の発生も予想されており，その対策の緊急性，重要性が増しています．加えて老朽化を迎える施設の維持，補修は待ったなしの状況にあります．土木技術者の果たすべき役割はますます大きくなってきているのではないでしょうか．

昨年の12月の政権交代後，新たな政権は『国土強靭化計画』を打ち出し，必要なインフラ整備に向けてフォローの風が吹き始めました．われわれは災害国日本を国民が安全に暮らすことができ，かつ経済成長が可能な国土にしていかなければならないのです．

これまで土木技術者は自らの仕事について国民に対してあまり積極的にアピールしてきませんでした．土木に対する国民の理解が深まることによって事業の執行が円滑になり，費用の低減につながります．また，土木を志す若者が増加することも期待でき，技術の伝承も可能となります．

土木に携わる者は，今こそ誇りをもって仕事にあたり，土木を国民にわかりやすい言葉で説明し，その重要性を理解してもらう努力が必要なのです．

施工

地盤切削JES工法で大規模函体を活線下施工

—高崎線桶川・北本間　二ツ家こ道橋新設—

東日本旅客鉄道(株)構造技術センター主席　本田　諭
東日本旅客鉄道(株)構造技術センター課長　齋藤　貴
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所高崎工事区区長　井上宏和
鉄建・鹿島・佐藤共同企業体監理技術者　尾関聡司

1　はじめに

線路下を横断する道路や水路などの構造物を施工する場合(以下，「線路下横断工」という)には，列車運行に支障を与えないことが重要であり，施工中の軌道変状を最小限に抑える必要がある．JR東日本(以下，「当社」という)では，軌道影響を抑えた線路下横断工法として，HEP&JES工法を開発し多くの施工を行ってきた．JES工法(Jointed Element Structure method)とは，特殊な継手(JES継手)を有する小断面の鋼製エレメントを順次挿入し，継手内部にグラウトすることで構造物として一体化する工法である．また，HEP工法(Highspeed Element Pull method)とは鋼製エレメントを到達側からけん引施工する工法である(図-1)．

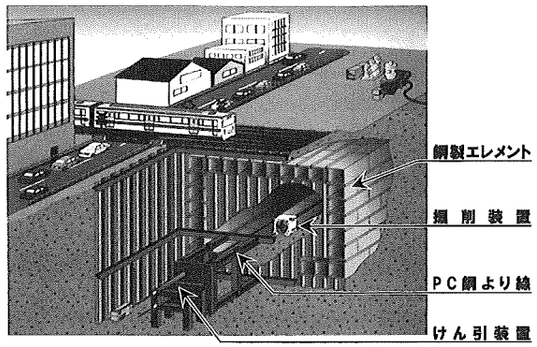


図-1　HEP & JES工法の概要図

一般的なエレメント工法では，けん引中に刃口が支障物を押上げることによる地表面(軌道)の隆起や，支障物の取込み，過度の土砂の取込みに起因する空隙の発生および地山の緩みによる軌道沈下などが懸念される．そのため当社では，土かぶりが小さい施工条件では，エレメント掘進を夜間の線路閉鎖間合いに限定したり，列車の徐行を行って施工しており，工期や工事費が増大する要因となっている．

そこで当社では，新たに地表面への影響を抑えた工法である「地盤切削JES工法」を開発した．本稿では，地盤切削JES工法の概要と実施工への適用事例について紹介する．

2　事業概要

JR高崎線桶川・北本間二ツ家(ふたつや)こ道橋(以下，「二ツ家Bv」という)は，建設中の圏央道(首都圏中央連絡自動車道)とJR高崎線の交差部に位置し，国土交通省(以下，「協定先」という)より当社が設計・施工を受託した線路下横断工事である(図-2, 3)．

構造物の主な諸元を，以下に示す(図-4, 5)．

構造形式：１層４径間ボックスカルバート

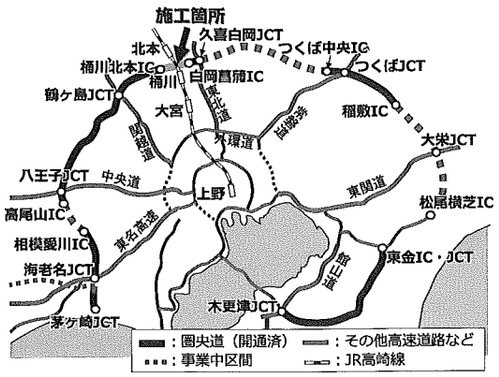


図-2　高崎線桶川・北本間二ツ家こ道橋新設工事

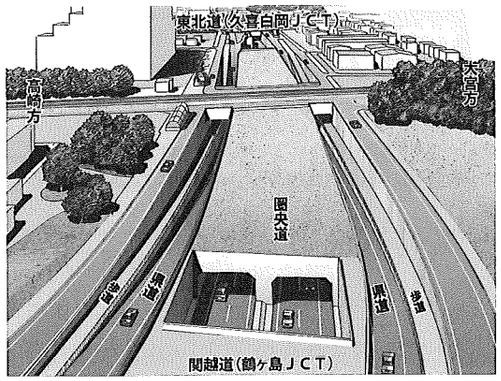


図-3　完成イメージ

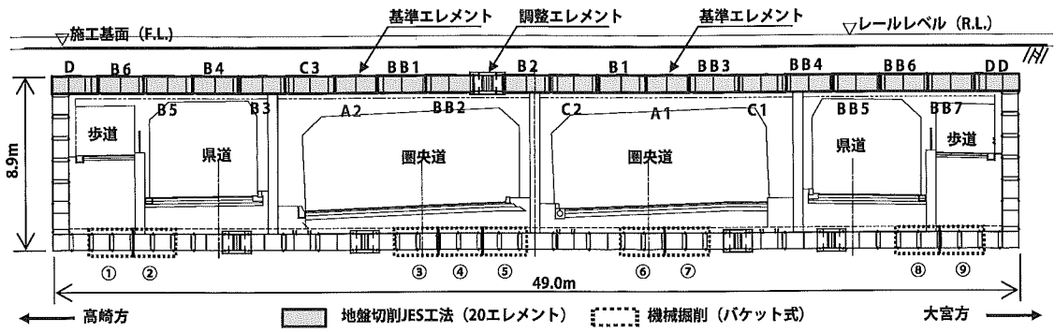


図-4　二ツ家Bv断面図

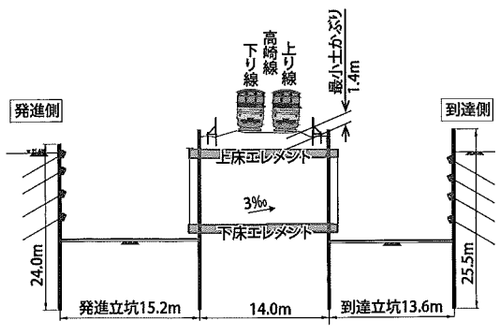


図-5　二ツ家Bv側面図

構造寸法：幅49.0m，高さ8.9m

延長16.2m（立坑土留め間：14.0m）

土かぶり：施工基面（F.L.）より1.4m

地下水位：F.L.－4.3m（H.W.L.）

当該線区は，夜間の線路閉鎖間合いが上り線218分（0：27～4：05），下り線249分（0：42～4：51）と非常に短い．さらに，二ツ家Bvでは上床版エレメントの施工数量が多いことから，エレメント掘進を線路閉間合いで施工した場合，工期の長大化が顕著であった．

協定先より圏央道の早期開通のため，工期短縮が求められていたことから，地盤切削JES工法を採用して列車運行時間帯でのエレメント掘進を行うこととした．今回，上床版エレメントの全20本に地盤切削JES工法を採用した．なお，エレメントの基本寸法は，通常のJESエレメントと同様の高さ0.85mであり，幅は運搬上の制約から2.3mとした．

本件名では，基準エレメントを2か所（A1, A2）とし，それ以降の一般エレメントは，先行施工されたエレメントの継手をガイドとして順次掘進を行っていくため，最大4エレメントが同時掘進される状況となった．なお，上床版にエレメントの施工誤差を調整するための調整エレメントを1か所設けている．

構造物には，排水性を考慮して線路横断方向に

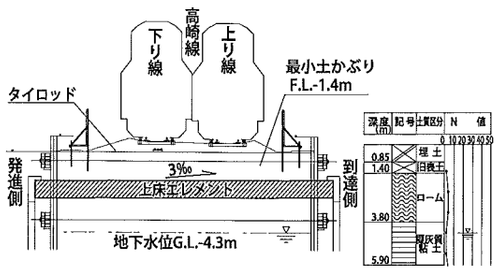


図-6　上床版エレメントの土質条件

勾配が付けられており，これによりエレメント掘進は発進より3‰の勾配で上向きに掘進する計画となっている．

ボーリング調査における上床版エレメント付近の土質条件を図-6に示す．調査結果では，N値2～3程度のローム層とされていたが，掘進中に切羽で確認した土質では，上床版エレメントの上半分程度は埋土であり，部分的に100～200㎜程度の玉石が混在していた．

3　地盤切削JES工法の概要

当社が開発した「地盤切削JES工法」は，従来のHEP&JES工法の刃口を改良したものである．

基本的な掘削方法は，人力掘削によっている．刃口の先端で切削ワイヤー（ワイヤーソー）を回転させることで地盤および支障物を切断し，掘削作業で撤去することで，支障物に起因する地表面の隆起や陥没がなく，施工中の地表面変位を抑えることが可能である（図-7）．

主な特徴は，以下のとおりである．

3-1　エレメント形状

鋼製エレメント（JESエレメント）は，刃口内部での作業空間を確保しつつワイヤーの駆動装置および排土用のベルトコンベヤを収める空間を確保するため幅広エレメント（2,070～2,280㎜）を基本とする．幅広エレメントを用いることで，エレメント施工本数を減らすことが可能であるとともに，人力掘削の作業性が向上されるため，工期短縮の効果が期待できる（図-8，写真-1）．

3-2　ワイヤーによる切削機構

切削ワイヤーは，無水エンドレスワイヤー（ϕ10.5㎜）を使用しており，切削時に水を使用しないことで地盤の緩みを生じさせない．ワイヤーの全長は11.4mであり，20㎜間隔でダイヤモンドビーズを設置している．

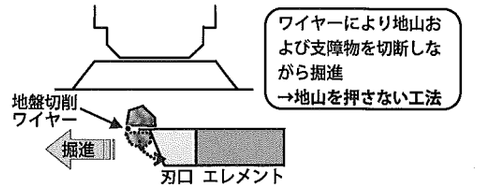


図-7　地盤切削JES工法のイメージ

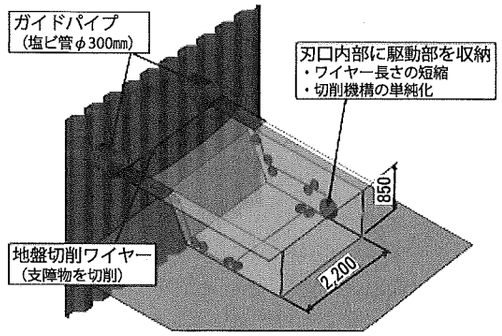


図-8　地盤切削JES工法の概要

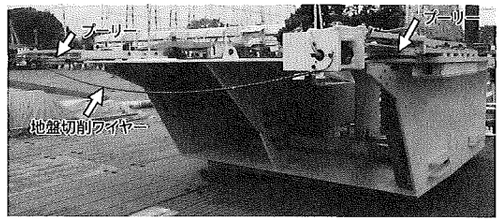


写真-1　地盤切削JES工法の刃口

ワイヤーは，刃口内部の電動モーターにより回転させる．地盤切削JES工法では，掘進途中でワイヤーが破断した場合には，刃口の内部から交換作業が可能となっており，軌道内での作業は不要である．

支障物の切削中は，刃口のけん引速度よりも，ワイヤーによる切削速度が遅れる場合がある（以下，「ワイヤー遅れ」という）．このような場合，切削ワイヤーがたわむことにより位置がずれるため，支障物を切削できワイヤー位置が元に戻るまでけん引を待つ必要がある．掘進速度を向上させ

るためには，ワイヤー遅れを解消する必要があり，刃口内部においてジャッキにより切削ワイヤーの張力を管理することとした．支障物が多い条件では，ジャッキ圧力を高めに設定しワイヤーの張力を上げることでワイヤー遅れの解消時間を短くする．

3-3　軌道の高低変位・通り変位対策

地盤切削JES工法は，土かぶりが小さい条件でも列車運行時間帯での掘進作業を行うことを前提として開発された．開発段階において，軌道の高低変位，通り変位に対する検討を行った．

軌道の高低変位に対しては，切羽前面の崩壊を防ぐことを目的として刃口前面の３次元円弧すべりの検討を行い刃口ルーフが突出した形状を決定した(図-9)．

軌道の通り変位に対しては，けん引に伴う刃口上部土塊の滑動の検討を行い，必要に応じてフリクションカットの対策を行うこととした．ただし，今回の施工では，対策は不要であった．

3-4　掘進に伴う姿勢制御

地盤切削JES工法では，軌道変位につながりやすい刃口前方の先掘りを行わないことから，施工精度を高めるためには，刃口の方向を制御する方法を検討する必要があった．

二ツ家Bvの施工では，エレメントを上り勾配で施工するため，上向きにエレメントの姿勢を向ける方法が不可欠であった．また，エレメント幅が広いため，掘進に伴い継手が嵌合していない側が沈む傾向(刃口のローリング)があり，対策が必要であった．

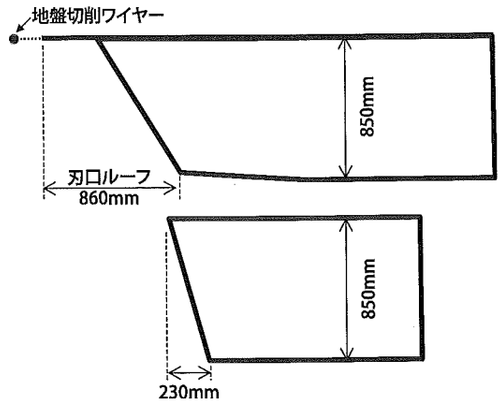


図-9　刃口形状(上段：地盤切削JES工法，下段：通常JES工法)

今回，新たな刃口の姿勢制御方法として，刃口の下面にテーパーを設け，これによりJES継手が嵌合していない側に上向きの力が作用する方法を考案した(図-10)．基準エレメントでは，掘進方向の全面に30㎜の均等なテーパーを設けることとし，一般部エレメントではJES継手が嵌合していない側に最大50㎜の片側テーパーを設けることとした．

掘進中のエレメントの姿勢を把握し，掘削方法を変更するために，刃口内部に自動レベル計を設置し，立坑背面に不動点を設置し計測を行った．また，ローリング計，ピッチング計を設置し，これらの計測データをすべて管理室のモニター画面で確認することで，リアルタイムで刃口の姿勢が確認できるようにした．

掘進は150㎜を１サイクルとしてけん引(ワイヤーによる切削)，掘削作業をくり返す．掘進では，計測データにもとづきテーパー部分の地山の掘削方法を変更することで刃口の姿勢を制御する．計測データの値と設計値の差を管理モニターで確認し，これにもとづき，あらかじめ定めた掘削パターンを切羽の作業員に指示する．

掘削パターンは，以下のとおりである．

(１)　刃口断面どおりに掘削

刃口の断面どおりに掘削し，刃口がテーパー部分の掘り残した土に乗り上げることで上向きに方向を修正する．

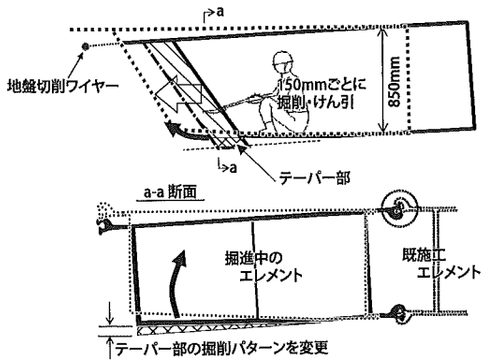


図-10　刃口の姿勢制御(ローリング対策)

(２)　刃口底面の突き崩し

テーパー部分の土を突き崩し，その土に乗り上げることで姿勢をやや上向きに修正する．突き崩す深さにより，上向きの効果を制御する．

(３)　刃口底面のすき取り

テーパー部分の土をすき取ることで土に乗り上げずに姿勢を維持する．すき取る土の深さにより，上向きの作用を制御する．また，テーパー部分の土をすべてすき取ることで，刃口を下向きに制御する．

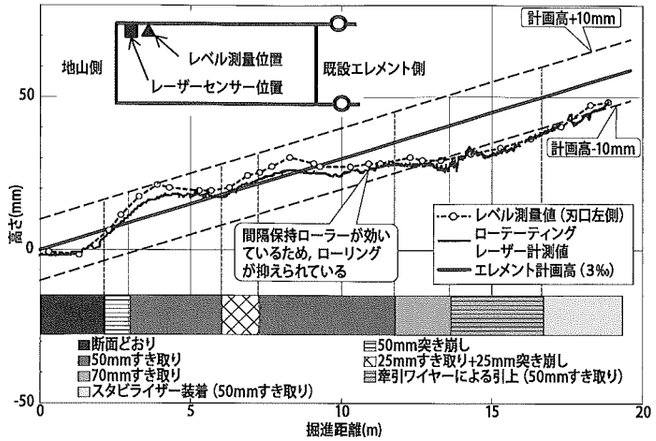


図-12　施工確認試験の結果

(４)　ワイヤーの通り変更

刃口下面のテーパーだけで上昇傾向にできない場合を想定して，けん引ワイヤーの通りを変更する機構を取り入れた．地盤切削JES工法では，けん引を刃口側面の上下段に配置したPCケーブルで行うが，下側のPCケーブルを刃口内部の鉛直ジャッキにより押し下げることでケーブルの通りを上向きに修正し，刃口を上向きに制御する．

4　施工確認試験の実施

本施工に先立ち，姿勢制御の効果を確認するために施工確認試験を実施した(図-11)．施工確認試験では，先行して施工されたエレメントを模擬するため，JES継手を設置した架台(模擬エレメント架台)を埋設した．地盤切削JES工法により20mの掘進を２回実施した．１回目の掘進では先行エレメントが正規の位置に施工されていることを想定した継手位置とした．２回目は先行エレメントに施工誤差があり延長方向で上下に蛇行，ローリングしているケースを想定した継手位置とした．これは，先行エレメントに施工誤差がある場合でも，それに追随することなく精度管理が可能であるか確認することを目的とした．

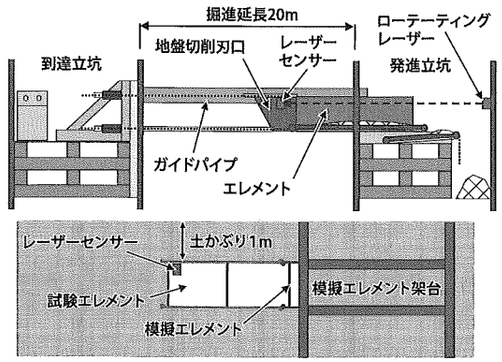


図-11　施工確認試験の概要

試験では，自動計測データの有効性を確認するとともに，掘削パターンにより刃口の姿勢制御が可能であることを確認した(図-12)．なお，試験場の土質条件と実施工の地盤条件が異なるため，掘削パターンについては現場条件での確認が必要である．

5　施　工　結　果

今回，地盤切削JES工法が列車運行時間帯での初めての適用となるため，軌道の影響を確認しながら段階的に施工時間帯を拡大した．これまでの事例より，刃口先端位置が軌道中心の前後1.5mの範囲内を掘進している場合に軌道変位が発生する可能性が高いことが判明しているため，当社ではこの範囲を軌道影響範囲と定義し，重点的な監視と施工管理を行っている．

今回，基準エレメントについて，軌道影響範囲内を線路閉鎖間合いで掘進し，軌道変状が警戒値内で管理可能であることを確認したのち，以後のエレメントは段階的に列車運行時間帯での掘進

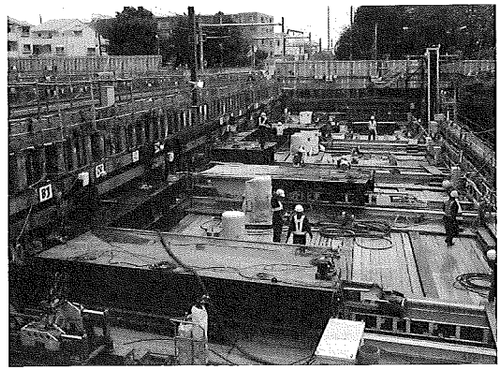


写真-2　二ツ家Bv施工状況

(昼夜作業)に移行した．

地盤切削JES工法の施工状況を**写真-2**に示す．上床版エレメント施工は，平成24年９月下旬～12月下旬である．当初，通常のJES工法により夜間線路閉鎖間合いで施工する場合の上床版施工期間を準備工も含めておおむね10か月程度を計画していたが，約５か月で施工を完了することができた．

主な施工結果は以下のとおりである．

5-1　施工速度について

表-1に施工ステップごとの施工速度を示す．地盤切削JES工法により昼夜施工を行った場合，軌道影響範囲を線路閉鎖間合いで施工した場合に比べて，エレメント１本を到達させるために必要な期間をおおむね1/2～1/3程度に短縮できた．

5-2　支障物の切削状況

地盤切削JES工法により掘進中に切削ワイヤーにより切断撤去された支障物の状況を**写真-3**に示す．施工では，玉石や地中に存置されていた木製電柱，電車線の引止め基礎(コンクリート製)など事前に把握できなかった支障物が出現したが，いずれも問題なく切断撤去できた．通常の人力掘削で撤去する場合には，刃口の範囲外の部分が過大に取り除かれ，空隙の発生が懸念されるが，地盤切削JES工法では刃口の断面どおりに撤去することが可能である．

5-3　エレメントけん引力について

地盤切削JES工法で施工したエレメントのけん引力(BB1，BB3)を**図-13**に示す．通常のHEP＆JES工法におけるけん引力は，刃口の先端抵抗

表-1　施工ステップごとの施工速度

	線路閉鎖施工	夜間(21:30～)施工	昼夜施工
１日あたり掘進長	0.9～1.2m	0.9～1.5m	2.0～4.0m ※2 方合計
到達までの平均作業日数	14日	13～17日	4～7日

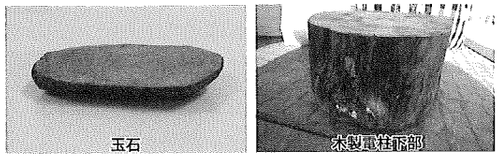


写真-3　切断撤去された支障物

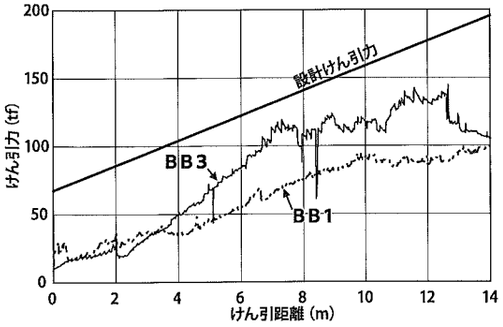


図-13　エレメント掘進時のけん引力(BB1，BB3)

(P_1)，エレメント周面摩擦(P_2)および継手抵抗(P_3)を合計したけん引抵抗の総和($P=P_1+P_2+P_3$)を計算し，安全を考慮し20%割増した設計けん引力($P_d=P\times1.2$)を上限値として管理している．

今回の施工では，いずれも設計けん引力(P_d)よりも小さい範囲内で施工できた．地盤切削JES工法では，切削ワイヤーで刃口前方に溝を作りながらけん引するため，刃口の先端抵抗が少ないことが要因であると考えられる．これにより地盤切削JES工法は，従来のHEP&JES工法と同様のけん引設備で施工可能であることが確認できた．

5-4　施工精度

施工では，ボックスの内空断面を確実に確保するため，発進立坑において設計レベルに対してエレメントを30㎜高く設置して発進した(以下，「計画レベル」という)．当社の仕様書における施工管理値は，目標に対して掘進距離の0.2%(L/500，L：掘進距離)以内であり，全20エレメントでい

ずれも管理値内で施工することができた．

図-14は，高崎方のB4エレメントと，大宮方のBB5エレメントについて刃口の軌跡と掘削パターンを比較したものである．施工では，全エレメントについて，掘削パターンにより刃口の姿勢を制御することが可能であった．今回，刃口テーパー下部の50㎜の土砂について，すき取り量を10㎜ごとに掘削パターンを設定したが，刃口を水平もしくは下降傾向にするために考案した突き崩しは行わなかった．

また，上床エレメントのテーパー部分の地山はロームであるが，掘削中に確認したところ高崎方と大宮方では粘性に差があり，高崎方の地山の方がやや粘性が高いようであった．これにより掘進したエレメントのうち高崎方は比較的上昇傾向が得られやすく，すき取り量が多く上昇傾向を抑えるパターンを多用した．一方で，大宮方は刃口が沈下する傾向が強かったため，すき取り量が少なくテーパー効果が得られる掘削パターンとなった．

今後の施工では，適用する地盤条件によりテーパーの効果が異なるため，施工場所ごとに掘削パターンを検討する必要があると考えている．

5-5　軌道への影響

本工事では，上床版エレメントの掘進に先立ち，レールの張り出し防止を目的としたロングレールの定尺化および軌道陥没対策として簡易工事桁の設置を行った．軌道変位は，上下線に自動計測器

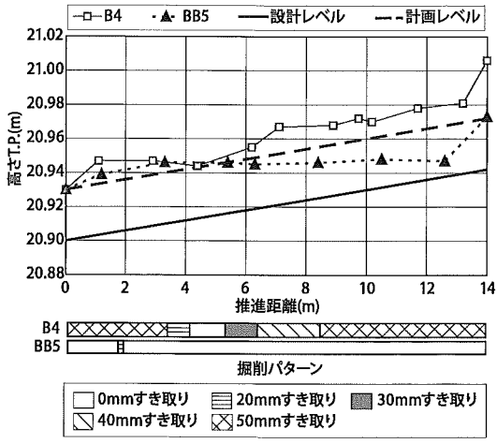


図-14　掘削パターンと刃口の軌跡について

(リンク式計測器および水準計)を設置し，３分間隔で計測を行った．計測器の測点間隔は2.5m間隔であり，各エレメントの直上に必ず測点があるよう配置した．

軌道変位の管理値を**表-2**に示す．軌道変位は，当社のマニュアルにもとづき10m弦の測定値により警戒値($A\times0.4$)，工事中止値($A\times0.7$)，限界値(A：軌道整備基準値)の３段階で管理した．

これまでの施工実績では，刃口先端が軌道中心の1.5m手前の範囲に入る状態から先行隆起が発生し，刃口先端が軌道中心を通過したあと，後続して沈下が生じる傾向が見られている．二ツ家Bvの施工では，先行隆起はほとんど見られなかった．**図-15**は各エレメント掘進で発生した後続沈下量である．変位量は刃口の先端が軌道中心を通過してから，軌道整備の影響でデータが不連続となる時点までの変化量である．軌道変位は10m弦でおおむね3～4㎜程度であり，軌道への影響が小さいことが確認できた．

基準エレメントについて，刃口の軌跡とエレメントの出来形を比較したものを**図-16**に示す．A1エレメント(基準)は，発進後の上向き傾向が大きいため途中で掘削パターンを調整した結果，刃口の軌跡が凸状に掘進されている．エレメントの施工完了後に測量したデータではおおむね一定勾配

表-2　軌道管理値

	通り	高低	水準	平面性
警戒値	8	8	7	7
工事中止値	15	15	12	12
限界値	22	22	18	18

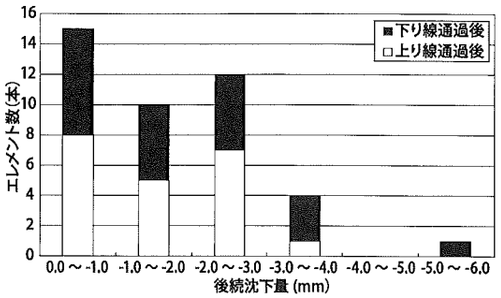


図-15　軌道下通過後の後続沈下量について

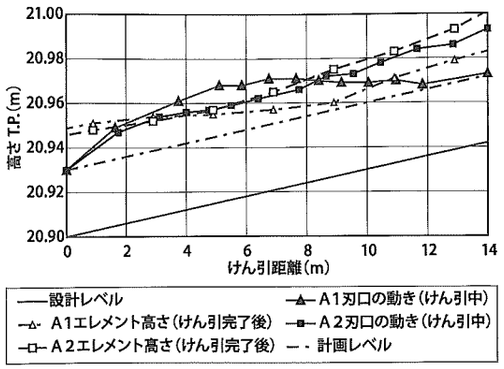


図-16 刃口の軌跡とエレメント高さの比較

でエレメントが挿入されていた．施工精度のためには刃口の姿勢を制御することが必要であるが，エレメントの剛性の影響で必ずしも刃口の軌跡(動き)にエレメントが追従しないものと考えられる．

一方，A2エレメントは，ほぼ一定の勾配で掘進しているが，掘進後のエレメント高さは刃口軌跡とのずれが少ない．A1エレメントのように，刃口の軌跡よりもエレメントの設置位置が低い場合には，エレメントの上部に空隙が発生した可能性があり，軌道変位も計測されている．今後の施工では，掘進は一定勾配で行うよう管理することを前提として刃口の姿勢制御を行うように位置づけていく．また，急激な方向制御を行った場合には，裏込め注入をこまめに行うなどの検討を行っていきたい．

5-6 切削ワイヤーの耐久性

今回施工では，1エレメントごとにワイヤーを交換することとしたが，20エレメントのうち10エレメントで掘進途中にワイヤーが破断した．破断の原因は，破断面の確認より疲労による破断と推定された．地盤切削JES工法では，切削ワイヤーをφ180～200㎜のプーリーにより屈曲させて回転しており，とくに先端のプーリーでは，刃口内部から90度以上の急角度で方向を変更している．さらに，支障物を切断する際に発生するワイヤー遅れにより，先端プーリー位置で局所的にワイヤーの応力が高まり疲労で破断するものと推定される．

なお，施工に先立ち実施したワイヤーの耐久性確認試験では，長時間回転しても破断は発生していない．

破断したワイヤーを確認したところ，ダイヤモンドビットに摩耗が見られなかったことから，対策として，ダイヤモンドビットの間隔を広げることでワイヤーの柔軟性を高めた．その結果，耐久性が向上している．今後，地盤条件が軟弱な場合にはダイヤモンドビットを減らすなど，ワイヤーの仕様を変更していく予定である．

なお，ワイヤー交換は，刃口内部で作業が可能であるが，刃口のルーフより先掘りとなるため，線路閉鎖間合いで実施した．ワイヤー交換作業による軌道変位(沈下)は，発生しなかった．

6 下床版施工における機械掘削(バケット式)

側壁エレメントは，十分な土かぶりがあるため機械掘削(オーガー式)にて昼夜施工を行った．

下床版エレメントについて当初計画では，機械掘削(オーガー式)を基本として，エレメントの割付けでエレメント幅を標準化できない箇所は人力掘削とする計画であった．しかし，立坑の掘削中に硬質な地盤が存在していることが判明したため，計画を変更し機械掘削(バケット式)を採用することとした．

機械掘削(バケット式)は内部のバケットアームにより掘削した土砂を排土装置(ギャザリング)とベルコンで排土する機構である(写真-4)．機械掘削(バケット式)に関して，これまで標準サイズのエレメント(□0.85m×1.035m)に対応した機械で



写真-4 機械掘削(バケット式)

の施工実績があったが，今回新たに幅広エレメントサイズ(□0.85m×2.07m)に対応したバケット式掘削機(以下，「幅広タイプ」という)が開発されたことから，実施工で採用し，施工本数を減らすこととした．

本来，当初より幅広エレメントサイズのエレメントを製作し適用する方がコストや作業性で有利である．今回は，途中で計画を変更したため，既に製作されていた標準サイズのエレメント2本をボルトで仮連結(ダブリング)し，バケット掘削機(幅広タイプ)で掘進した．

7 おわりに

線路下横断工では，土かぶりが小さい場合，夜間線路閉鎖間合いで施工を行うため，工期や工事費の増大を招くことが多い．今回，新たに地盤切削JES工法を開発し，二ツ家Bvに適用した結果，軌道への影響を抑え安全にエレメント掘進が行えることが確認できた．地盤切削JES工法は，昼夜施工を行うことで，線路閉鎖間合いに限定した施工に比べてコストアップにならず工期短縮を図ることが可能である．また，地表面に変状を与えないことでリスク低減が図られる．地盤切削JES工法は，鉄道工事にかかわらず地表面に変状を与えず実施する同種のプロジェクトに適用が可能であり，本報告の内容が参考になれば幸いである．

参考文献

1) 先端建設技術センター：HEP&JES工法，先端建設技術・技術審査証明報告書(更新)，2005.11.
2) JR東日本：非開削工法設計施工マニュアル，2009.7.
3) 小泉秀之・森山智明・桑原清・有光武・山村康夫・鈴木唯夫・中村征史：地表面変位を抑えたエレメント推進工法の開発，第44回地盤工学研究発表会，pp.1289–1290，2009.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は弊社ホームページ(http://www.tunnel.ne.jp)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます．
2. 原稿のボリュームは，原則として刷上がりで8頁以内とします(図・表・写真含む)．
3. 原稿掲載の採否は，本誌編集委員会で審査のうえ決定します．
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします．
5. 原稿は，原則として返却いたしません．

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

現場だより トンネルと地下 2013

「豊かな自然に恵まれたまち」大分県佐伯市より

谷 山 伸 郎

大分県の地図をよく見ると，坊さんが拝んでいるように見える？

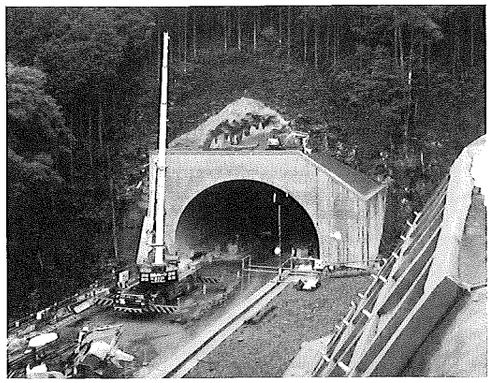
佐伯市はその足元(大分県南東端)，大分市の南東約60kmの場所に位置し，南は宮崎県境に接している．市の南部から西部にかけては「祖母傾国定公園」の一角をなす山々に囲まれ，東部は遠くに四国を望む豊後水道に面し，「日豊海岸国定公園」に指定されている約270kmに及ぶ美しいリアス式海岸が続いている．また，市内を流れる一級河川の番匠川によってできた県南最大の沖積平野に市街地が拓けており，県南地域の中核都市となっている．

2005年の合併により広大な新「佐伯市」が誕生し，九州で一番広い面積をもつ市となった．ちなみに佐伯市の面積を2.4倍すると，東京都の広さとなる．読みは「さいき」で，「さえき」は間違いである．JR九州・佐伯駅の駅名表示の読みも「さいき」となっている．

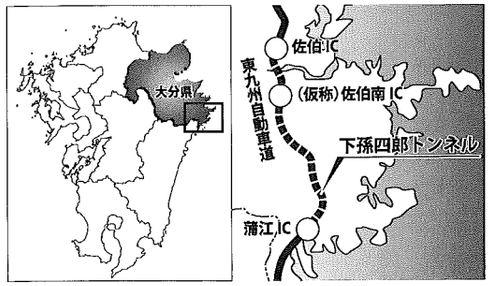
現在，佐伯市は生鮮魚介類を素材とした食のまちとして売り出し中で，近年は宮崎県の県北地域とタイアップし，伊勢エビなど海の食材をテーマにした食観光のルートも立ち上がっている．さらに，市に古くから伝わる郷土料理「佐伯ごまだし」を目玉とした観光客誘致に取り組む活動も始まっている．ごまだしとは，焼いたエソ類などの魚の身，胡麻，醤油などを混ぜ，すり潰して作られる料理で，湯に溶いてうどんを入れ，「ごまだしうどん」として食すのが一般的である．

海の幸も豊富で私個人の味覚では緋扇貝は本当に美味しい．

東九州自動車道は，福岡県北九州市を起点とし，大分県，宮崎県を経由し，鹿児島県鹿児島市に至る延長約436kmの高規格幹線道路である．「佐伯～県境」間，約30kmは新直轄事業として工事がすすめられており，2013年２月16日，東九州道の蒲江～北浦間(約14km)が開通し，大分・宮崎両県が初めて高速道路(無料区間)でつながった．開通に伴い催された記念イベントは歓迎ムード一色となり，大分県側と宮崎県側双方の会場あわせると，２日間で約２万人の集客があったそうである．また，開通後初の大型連休ゴールデンウィークは，佐伯市蒲江の「道の駅かまえ」には宮崎などの県外ナンバーの車がどっと押し寄せ，地元産の伊勢エビ，緋扇貝，また，旬の岩ガキなど，新鮮な海の幸は大人気であった．



下孫四郎トンネル施工状況



位 置 図

現在，建設中の区間は佐伯～蒲江間(約20km)であり，この区間が開通すれば，大分と宮崎県は直接つながる．そうなれば交通ネットワークが充実し，地域力(地域振興，防災など)の向上につながるものと期待される．この区間には９本のトンネルがあり，そのうちのひとつが当下孫四郎トンネルである．2012年８月にトンネル掘削を開始し，2013年１月に掘削は完了し，覆工も終点側の坑門工を残すのみとなっている．

今日も一声「ご安全に!!」の声掛け運動で，無事故・無災害で2013年７月の完成を目指して鋭意施工中である．

((株)竹中土木下孫四郎トンネル作業所所長)

施工

豊川用水直上部を観測施工で交差

—新東名高速道路　乗本トンネル—

中日本高速道路(株)豊川工事事務所工事長　大 嶋 健 二
中日本高速道路(株)豊川工事事務所技師　河 東 頼 男
(株)大林組第二東名乗本工事事務所所長　伊 藤 智 治
(株)大林組第二東名乗本工事事務所工事長　黒 川 尚 義

1 はじめに

乗本トンネル工事は，現在建設中の新東名高速道路の愛知県下延長55kmのうち，愛知県東部の新城市に位置し，延長750mの２車線トンネルを上下線に２本双設する．

乗本トンネルの下方に離隔約17m，斜角約50度で豊川用水第三号隧道(以下，既設隧道)が交差する．既設隧道は，昭和30年代に建設され，新城市の大野頭首工(おおのとうしゅこう)から導水した水を，下流の分水工と幹線水路に送水する重要度の高い水路に位置づけられている．

乗本トンネルを施工するにあたり，交差する既設隧道へ与える影響として，新設トンネルの爆破に伴う振動が及ぼす動的影響，およびトンネル掘削に伴うゆるみ荷重や変位・変形による静的影響が懸念された．本施工では，既設隧道と交差する208mの区間において動的影響の監視区間と静的影響の監視区間を設定し，既設隧道に与える影響を事前に数値解析で予測したうえで，計測・監視体制を強化し，交差部の施工に取り掛かった．

計測は，既設隧道に近接する鉛直ボーリング孔内に設置した３次元地中変位計と３成分分振動計を用いて，常時自動監視した．さらに，先行トンネルの施工で得られた計測データを後行トンネルの影響予測に反映させ，予測精度の向上を図った．本稿ではその手法と結果について報告する．

2 工事概要

2-1 工事概要

乗本トンネルは，新東名高速道路の浜松いなさJCTと豊田東JCT間のいなさ側に位置し，掘削断面積約80m²，延長は上り線775m，下り線746.486mで，非常駐車帯(L＝67m，掘削断面積約100m²)と避難連絡坑(L＝19.9m，掘削断面積約18m²)を各々１か所施工する双設トンネルである(図-1)．

トンネル工事は平成24年９月より西側坑口から下り線の掘削を先行して開始した．下り線は，早期貫通を目的に同年11月より東側坑口からも掘削を開始し，平成25年３月に掘削を完了した．後行の上り線は，平成24年10月より西側坑口から掘削

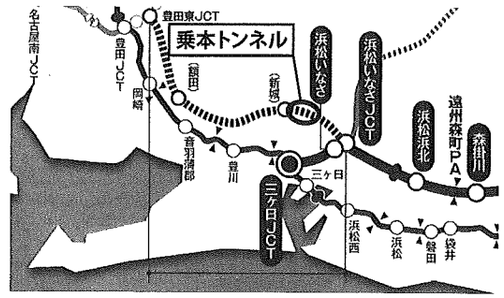


図-1　工事位置図

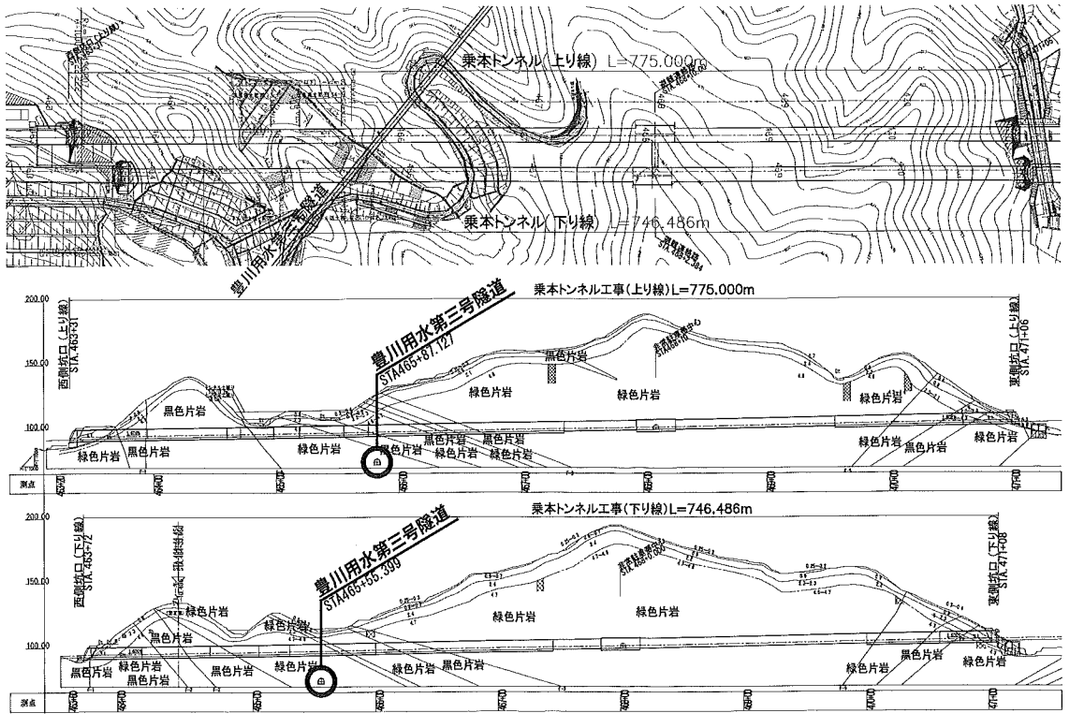


図-2　平面図・地質縦断図

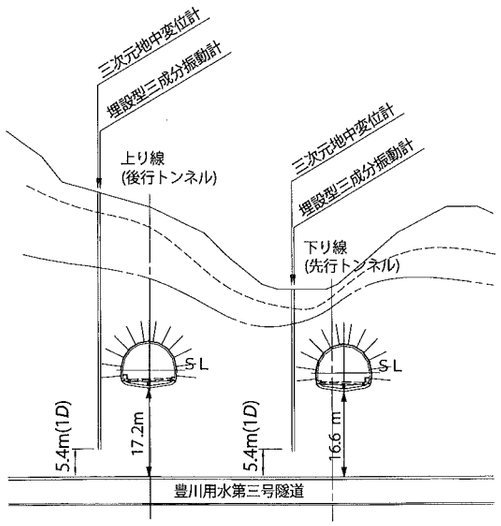


図-3　乗本トンネルと既設隧道との断面位置図

を開始し，平成25年５月末現在で坑口から480m地点を掘削中である．

2-2　既設隧道との位置関係

既設隧道は，下り線とは西側坑口から193.9mの位置で，上り線とは256.1mの位置で，平面的に約50度で乗本トンネルに交差する(図-2)．断面的な位置関係を図-3に示す．既設隧道の掘削幅は5.4mである．乗本トンネル下方からの離隔は，先行の下り線では16.6m，後行の上り線では17.2mである．

既設隧道との交差部の施工は，先行した下り線は平成24年９月下旬～平成25年２月に影響区間(STA.464＋51～STA.466＋59，L＝208m)の施工を行った．

後行の上り線は，平成24年11月～平成25年４月に影響区間(STA.464＋83～STA.466＋91，L＝208m)を施工した．

3　地　質　概　要

乗本トンネルの地質縦断図を図-2に示す．本工事の代表的な地質は，中生代白亜紀前期の三波川帯に属する，泥質の黒色片岩，塩基性の緑色片岩が主体となっている．

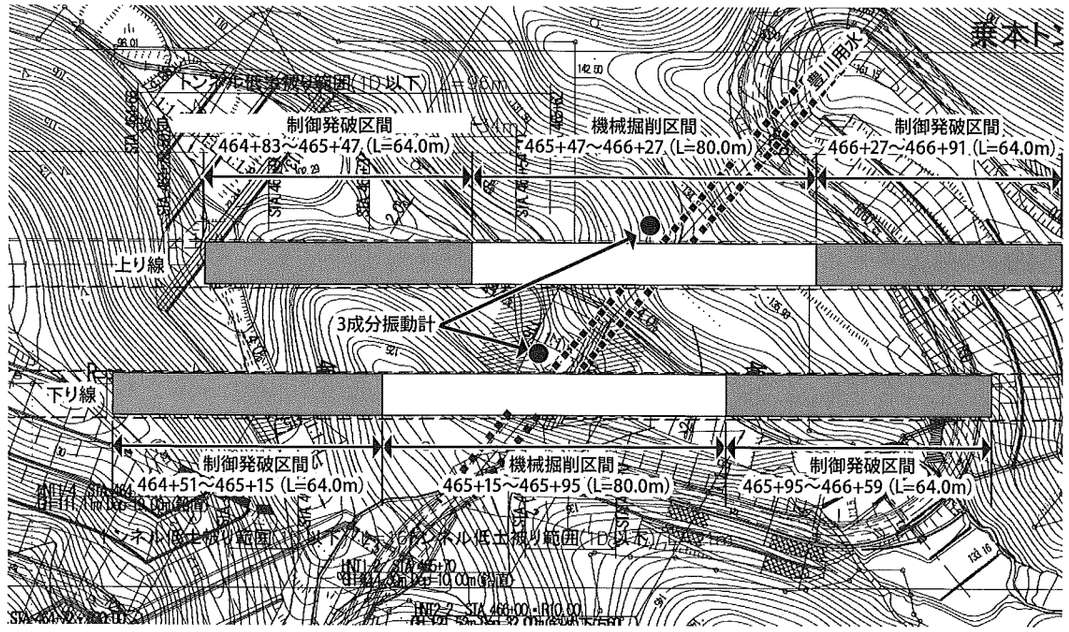


図-4　影響監視区間の掘削方法の位置図

既設隧道交差部分の地質は，軟質な黒色片岩と比較的硬質な緑色片岩が互層となる複雑な地層構成を呈している．

4　影響監視区間の設定

4-1　動的影響

トンネル掘削時の発破に伴う振動の影響を最小限に抑制するため，動的影響監視区間をL＝208m設けた．動的影響監視各区間の掘削方式を図-4に示す．事前の振動予測から既設隧道交差部を中心に80mの区間では，機械掘削方式を採用した．

また，機械掘削区間の前後64mでは，発破時に発生する振動を低減させるためにEDD雷管による制御発破工法とした．機械掘削区間に使用した機械は中硬岩から硬岩まで対応可能な300kW級の自由断面掘削機である．

4-2　静的影響

新設トンネルの掘削に伴う新たな静的な荷重や隆起などの変位・変形の影響を監視するため，図-5に示すように，既設隧道の中心より上方45°範囲に該当する区間のL＝63mを静的影響監視区間に設定した．

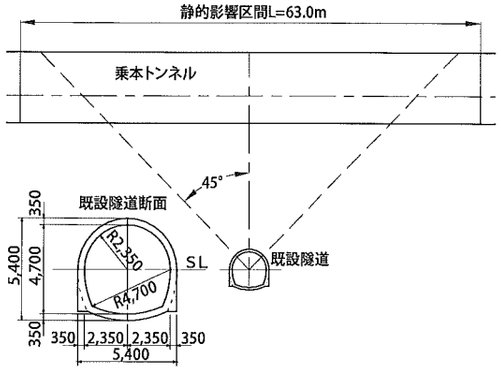


図-5　静的影響区間の設定

5　動的影響について

5-1　影響予測と管理レベルの設定

制御発破区間の施工に先立ち，３次元振動予測解析プログラムにより，既設隧道に発生する振動を予測した．解析手法は地層構成を考慮した振動伝播予測が可能な３次元薄層要素法を用いた手法である．

まず，下り線は交差部から128m手前，上り線は交差部から180m手前の影響範囲外での試験施工により，制御発破による３方向の振動波形を測

定した．試験施工は本掘削と同様にEDD雷管による制御発破を本掘削で想定される火薬量で行った．次に，測定した発破振動の加速度波形を用いた逆解析により，制御発破掘削による外部加振力を算出し，外部加振力と地山モデルを用いて，既設隧道に発生する振動速度の最大値を評価した．予測結果を図-6に示す．下り線では既設隧道直上の発破による最大振動速度は，既設隧道管理者との協議で設定した許容値である4 cm/secを大幅に下回る0.15cm/secとなった．上り線についても予測される振動速度は0.31cm/secで，許容値を大幅に下回る結果となった．予測結果をもとに管理レベルを設定した．管理レベルⅢは，許容値の4 cm/secの80%，管理レベルⅡは許容値の50%とし，管理レベルⅠは上記の予測解析結果として設定した．設定した管理レベルを表-1に示す．

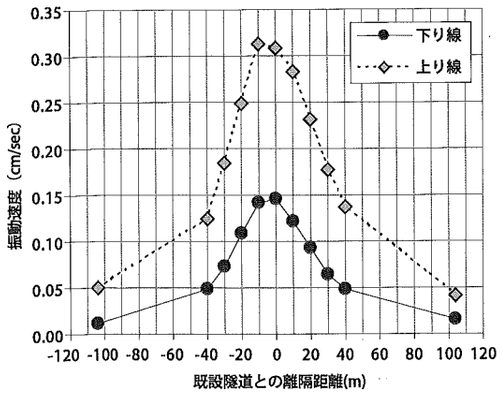


図-6　振動速度予測解析結果

表-1　振動速度管理レベル

管理レベル		管理レベルⅠ	管理レベルⅡ	管理レベルⅢ	
管理基準値	下り	0.15cm/sec	2.00cm/sec	3.20cm/sec	
	上り	0.31cm/sec	2.00cm/sec	3.20cm/sec	
管理体制区分		通常体制	注意体制	警戒体制	厳重警戒体制
施工体制		通常施工	通常施工	施工中断	施工中止
管理体制		通常計測	原因分析	原因分析 発破パターンの見直し	原因分析 掘削工法の見直し

5-2　振動速度計測

供用中の既設隧道の覆工で直接振動を測定することはできないため，動的影響監視区間の振動速度は，地表から実施したボーリング孔に埋設型3成分振動計を設置して計測した．振動速度計は既設隧道から1.0Dの5.4mを確保した離間で設置した．振動計の測定精度は0.01cm/secである．計測方法はトリガー方式で，測定されたデータは，インターネット回線により工事事務所に自動転送されるシステムを採用し，常時自動監視を行った．

5-3　制御発破区間の施工結果

EDDによる制御発破は，下り線において平成24年9月下旬から，上り線においては平成24年11月から開始した．振動速度の測定結果を図-7に示す．観測された振動速度は，おおむね管理レベルⅠ（予測値）以下で，最大でも0.24cm/sec以下であった．これは，事前に予測した振動速度が妥当な結果であったと考えられる．

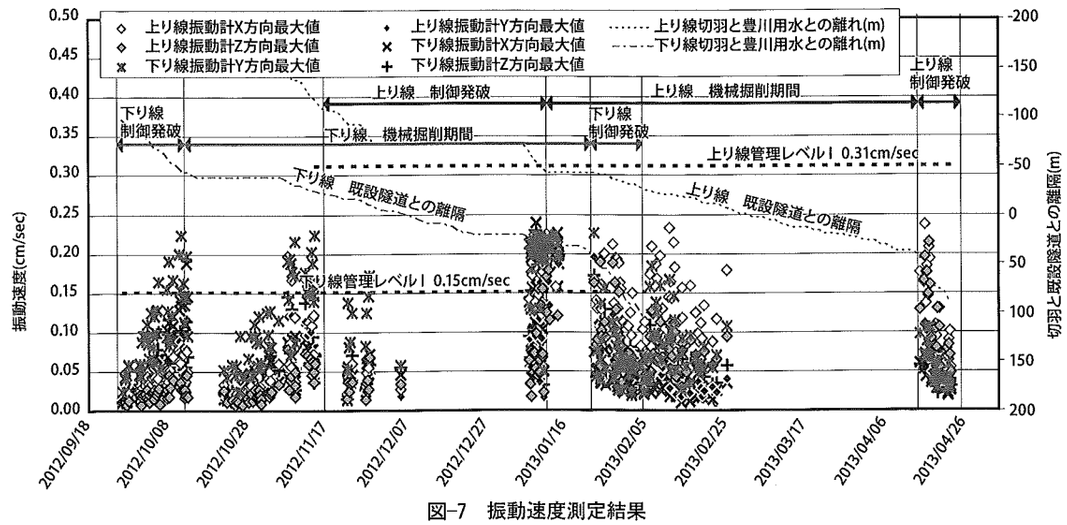


図-7　振動速度測定結果

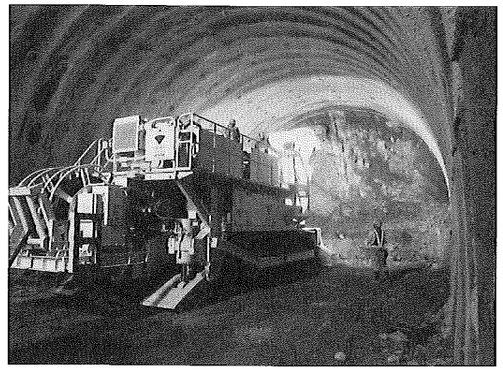


写真-1　機械掘削状況

以上より，現地点では発破振動による既設隧道への影響は発生していないと判断できた．

5-4　自由断面掘削機による施工

発破振動による影響をなくすため，既設隧道直上の交差部80m区間の掘削は，300kW級の自由断面掘削機を使用し，掘削工法は補助ベンチ付き全断面掘削工法で施工した．掘削状況を写真-1に示す．

6　静的影響について

6-1　静的影響予測の概要

既設隧道に与える静的影響は，3次元弾塑性解析により予測した．解析の予測精度は，解析モデルの地層状況および各地層の物性値に左右されるため，これらを精度よく把握することが重要である．

そこで本工事では，事前に実施した地表からのボーリング結果を反映するとともに，交差部の手前に試験施工区間を設け，試験区間でのトンネル掘削に伴う地山変位を計測して地山物性値を再評価し，予測精度の向上を図った．また，後行トンネルの影響予測に先行トンネルの施工により得られた情報を反映させた．静的影響予測のフローを図-8に示す．

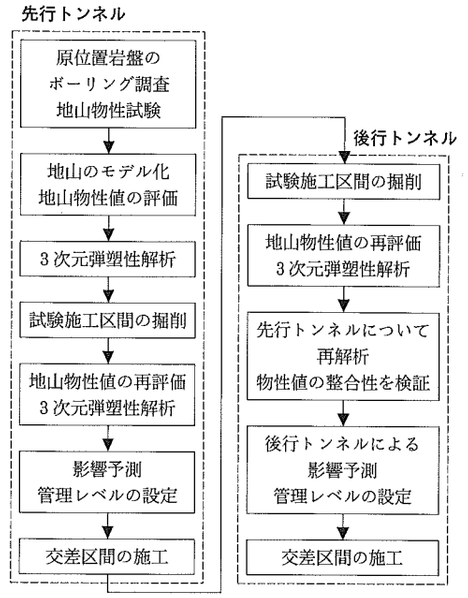


図-8　静的影響予測のフロー図

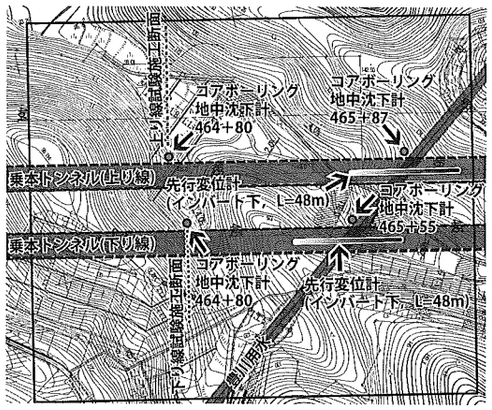


図-9　事前調査ボーリング位置図

6-2　事前調査

事前調査として，地表からコアボーリングを実施した．コアボーリングの本数は，上下線交差部と試験施工区間で合計4本である．ボーリング位置を図-9に示す．採取したボーリングコアでの地山物性試験，および孔内水平載荷試験から地山の変形係数を，ボアホールカメラにより孔壁を観察することで地層の区分や亀裂の状況などを3次元的に把握した．

また，上下線交差部の60m区間でトンネル断面内からインバート下部に水平コアボーリングを実

施し，地質状況を3次元的に評価した．さらに，掘削に伴う地中変位を計測するため地表からのボーリング孔には，3次元地中変位計を設置した．3次元地中変位計は，測定点の3方向の変位を1本のボーリング孔内で計測できるシステムである．沈下や隆起の鉛直方向に加え，切羽の進行による水平方向の2成分の変位も計測することができる．

また，インバート下面下の水平ボーリング孔には，掘削による先行隆起量を計測する目的で圧力式沈下計を設置した．計測点は2～5mの間隔で13測点である．

6-3　試験施工の結果と物性値の再評価

先行する下り線の試験施工は西側坑口から95.5mの位置から，46m区間で実施した．既設隧道の交差部からは約98m手前の位置である．試験施工時に測定したz軸方向の地中変位計の経時変化図を**図-10**に示す．地表部と最深部のセンサー(−29.9m)間で1.4㎜の縮み変位が発生している．この変位量をもとに3次元弾塑性解析により再現解析を実施した．再現解析は地山の変形係数を変化させて変位をフィットさせた．

事前調査から得られた物性値と再現解析で再評価した物性値の比較を**表-2**に示す．再現解析の結果，事前調査より得られた変形係数を2倍にすることで試験施工の地中変位量をフィッティングすることができた．また，事前調査結果をもとに作成した地層構成モデルを**図-11**に示す．

新設トンネル周辺部の地質は，緑色片岩(Sg)と黒色片岩(Sb)の互層で，既設隧道周辺部については緑色片岩が主体である．

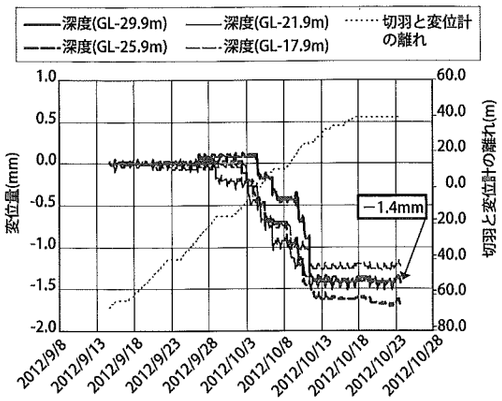


図-10　地中変位計データ(試験施工)

表-2　物性値一覧

地　山	再現解析値	室内，原位置試験から得られた値				
	変形係数E (MN/m²)	変形係数E (MN/m²)	ポアソン比ν	単位体積重量γ (MN/m³)	粘着力c (MN/m²)	内部摩擦角ϕ (°)
Sg(緑色片岩)	2,260	1,130	0.314	0.030	27.5	37.2
Sb(黒色片岩)	1,336	668	0.314	0.030	27.5	37.2
Sg/Sb(互　層)	1,778	889	0.314	0.030	27.5	37.2
CL(表層・破砕層)	1,000	500	0.350	0.022	0.4	40.0

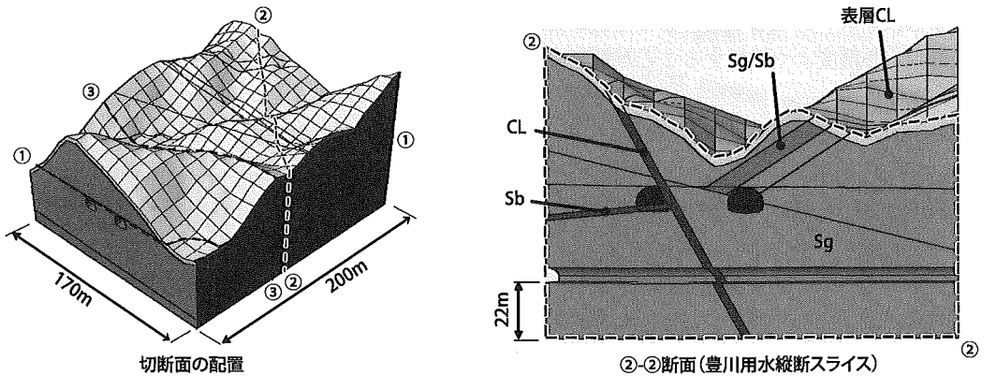


図-11　解析モデル図

6-4　支保パターンの選定と施工方法

静的影響区間に採用した支保パターンを**図-12**に，支保構造の仕様を**表-3**に示す．新設トンネルの掘削に伴う既設隧道の上方への変位・変形および，それによる既設隧道の覆工応力の増加が懸念される．

本工事では，早期に掘削内空断面を閉合することで，トンネル下部地盤の隆起による変形を抑制することを目的に，上半切羽から6m以内で鋼アーチ支保工と吹付けコンクリートによる閉合，上半切羽から1.5Dの18m以内で本設インバートを施工した．さらに，インバート下部の地山変位を抑制する目的で，インバートの底部より下向きに通常のAGF鋼管に比べ，地山との摩擦力が7倍の窪み付き鋼管(ϕ114.3㎜，t= 6 ㎜，L=6.0m，3.5本/m)を打設した．また，トンネル掘削に伴う地山の先行変位を抑制する目的で，注入式長尺鏡ボルト(L=12.5m，11本/断面，7シフト)を採用した．補助工法の概要を**図-13**に示す．

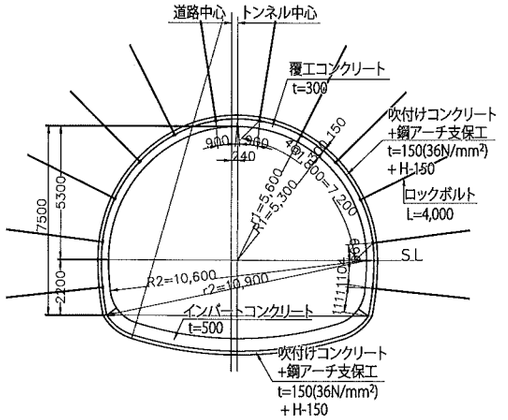


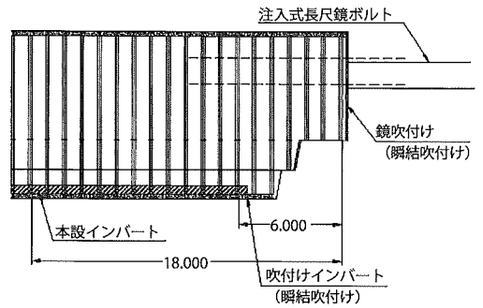
図-12　支保パターン図

表-3　支保構造の仕様

支保パターン名		DI-b-H(a)-B
1掘進長		1.00m
吹付け厚		15cm
支保部材	圧縮強度(σ_{28})	36N/㎟
	鋼アーチ支保工	H-150
	ロックボルト工	L=4.0m，290kN，12本
併合部材	構造部材	上・下半と同様
	併合時期	吹付けインバート　6m以内 本設インバート　18m以内

6-5　予測解析結果と管理レベルの設定

試験施工結果をもとに実施した交差区間の予測解析結果を**図-14**に示す．予測結果では，地中変位計の設置箇所における変位量は，地表から最深部のセンサー(GL−29.9m)間で1.3㎜の縮み変位，インバート下部の先行変位量は3.0㎜の隆起と予



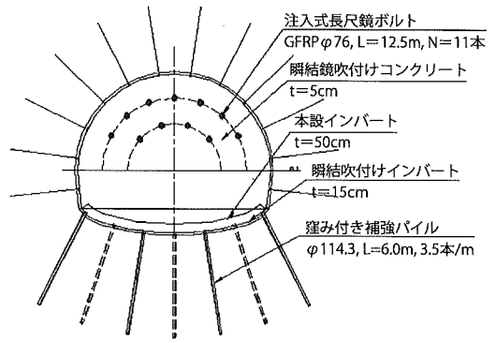


図-13　補助工法の概要図

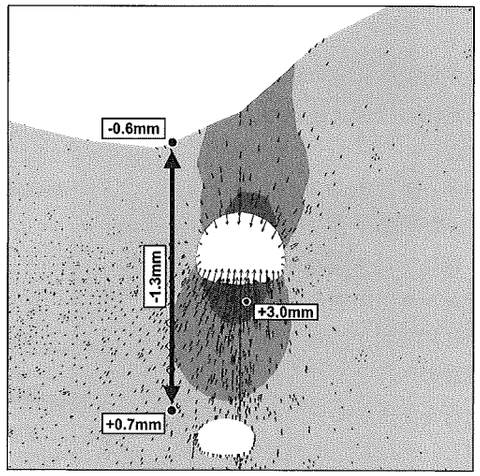


図-14　予測解析結果

表-4 管理レベル

変　位	管理値レベルⅠ(解析予測値)	管理値レベルⅡ(中間値)	管理値レベルⅢ(豊川用水許容値到達時)	備　考
先行地山変位(インバート下鉛直)	3.0	4.0	4.9	＋：隆起
地中変位(鉛直)	−1.3	−1.7	−2.0	−：縮み

測された．

予測結果をもとに管理レベルの設定を行った．管理レベルⅠは，解析により得られた変位量とした．管理レベルⅢは，既設隧道の覆工引張応力の増分が設計基準強度の６％に達する変位量を許容変位量[1]として設定した．管理レベルⅡは管理レベルⅠとⅢの中間値とした．先行トンネルについて設定した変位量の管理レベルを表-4に示す．

6-6 静的影響区間の施工結果

計測された３次元地中変位計の計測結果およびz軸方向変位の経時変化図を図-15, 16に，先行変位の経時変化を図-17に示す．また，静的影響区間の施工状況を写真-2, 3に示す．

最深部のz軸方向変位の実測値は0.05㎜程度と，予測値の最大変位量1.3㎜よりも小さい値となった．この結果は，試験施工区間の地山状況が軟質な黒色片岩主体であったため，実際の変形係数よりも安全側に設定したこと，および施工区間は比較的な硬質な緑色片岩層と軟質な黒色片岩層の互層であり，孔内水平載荷試験から得られた変形係数が安全側の値であったことが原因と考えられる．インバート下部に設置した先行変位計測の結果では明確な地山の隆起は確認できなかった．

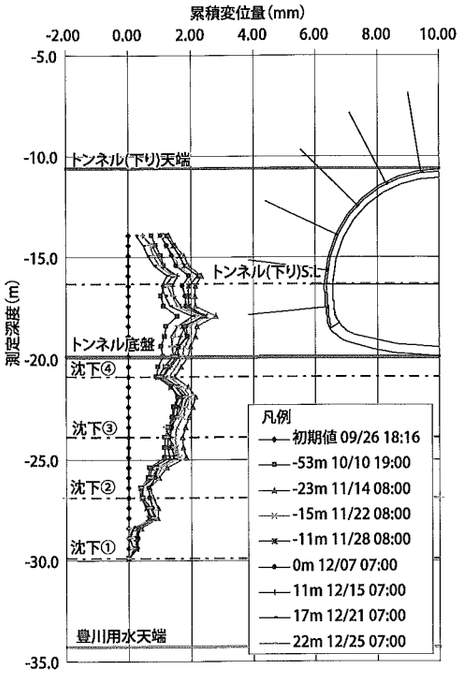


図-15 ３次元地中変位計計測結果

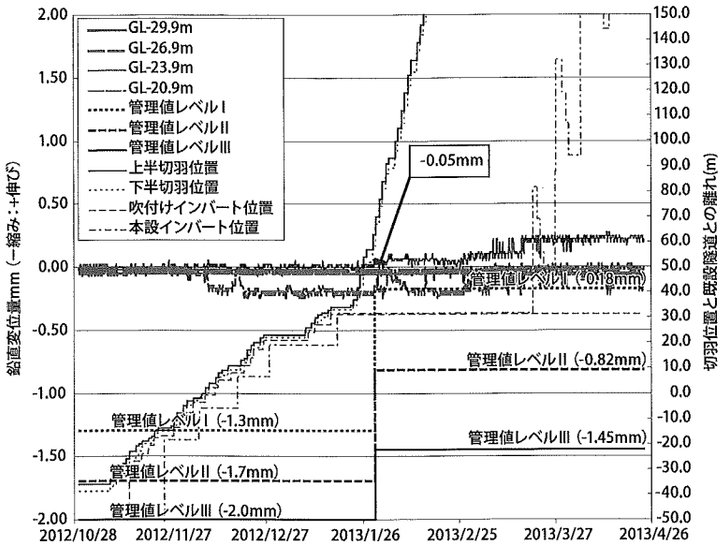


図-16 ３次元地中変位計計測結果(z軸)

6-7 後行トンネル(上り線)の影響予測

後行トンネルについても，先行トンネルの場合と同様に，事前に試験施工区間を設けて変形係数の再評価を行った．なお，先行トンネルの掘削の影響を考慮し，試験施工で再評価した変形係数を用いて先行トンネルの

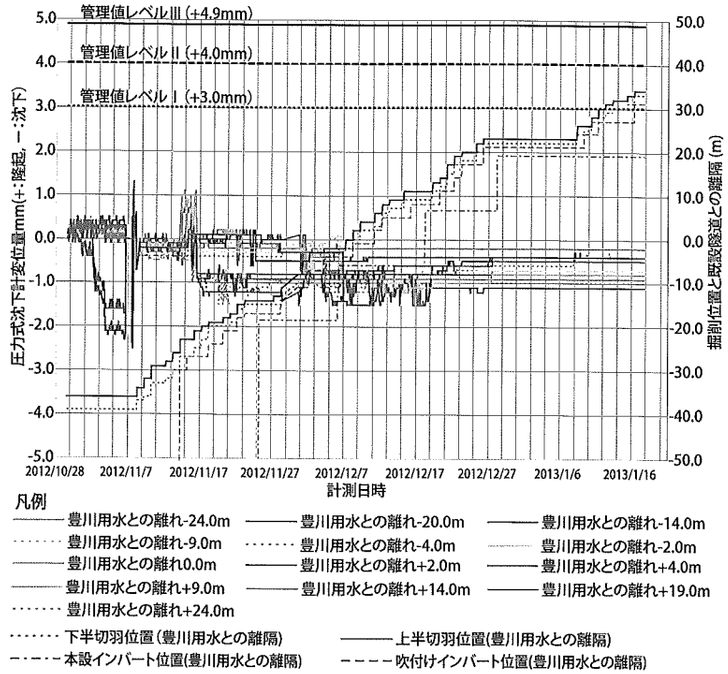


図-17 先行変位経時変化図

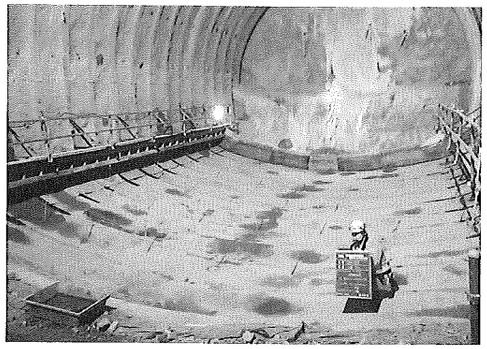


写真-2 仮閉合インバート

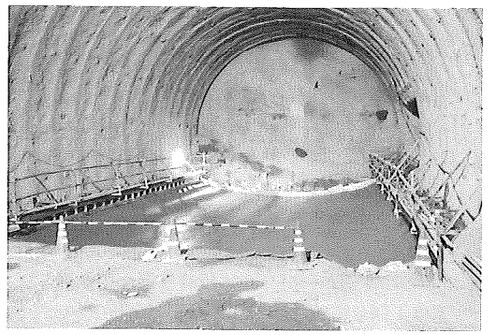


写真-3 本設インバートコンクリート閉合

交差区間の再解析も行った．

後行トンネルでの試験施工の変位量は−0.05㎜であり，この実測値をもとに再評価を行った結果，変形係数は当初の20倍となった．この変形係数を用いた先行トンネル交差部の解析結果は，実際の先行トンネル交差部の変位量とほぼ一致した．これにより，試験施工と先行トンネルの施工結果の整合性が確認できた．

また，後行トンネルの施工の影響を考慮して，先行トンネルの管理レベルを再設定した．解析結果より，既設隧道の覆工コンクリートの応力増加は，後行トンネル施工時で最大値が発生し，そのときの先行トンネルの

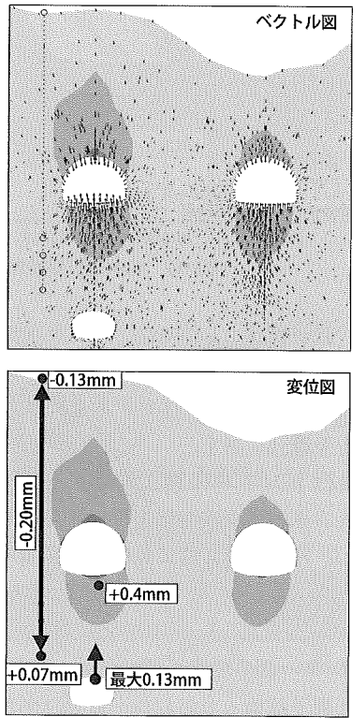


図-18 影響予測解析結果(上り線)

表-5　管理レベルの設定(上り線)

変位		管理値レベルⅠ(解析予測値)	管理値レベルⅡ(中間値)	管理値レベルⅢ(豊川用水許容値到達時)	備考
上り線(後行トンネル)	先行地山変位(インバート下鉛直)	0.4	2.2	4.0	+：隆起
	地中変位(鉛直)	−0.2	−1.1	−2.0	−：縮み
	豊川用水応力(N/mm²)	0.256	——	1.200	+：引張(最大値は上り線で発生)
下り線(先行トンネル)双設の影響考慮	地中変位(鉛直)	−0.18	−0.82	−1.45	−：縮み
	豊川用水応力(N/mm²)	0.195	——	0.919	+：引張(最大値は上り線で発生)

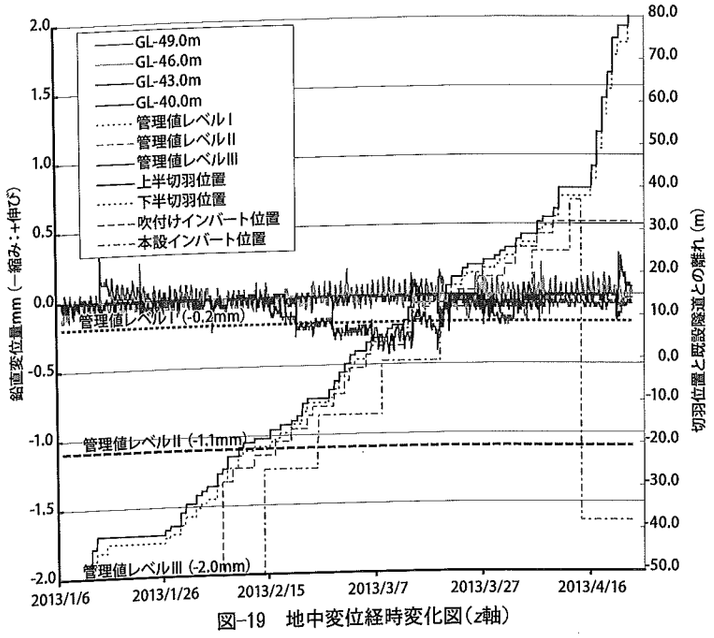


図-19　地中変位経時変化図(z軸)

変位量の許容値は−1.45mmと，先行トンネル施工時に設定した−2.0mmより小さな値となった．予測解析結果を図-18に後行トンネルで設定した管理レベルを表-5に示す．

6-8　後行トンネルの施工結果

後行トンネルは平成25年1月から交差部の施工を開始し，平成25年4月に静的影響区間の施工を完了した．z軸方向の地中変位計の計測結果を図-19に示す．地表(GL−0m)から最深部(GL−49.0m)のセンサー間の変位量は，−0.1〜−0.2mmの縮みで，影響予測値とおおむね一致し，小さな値となった．精度のよい情報化施工を実施できたと考える．

7　おわりに

既設重要構造物直上部の新設トンネル施工にあたり，既設構造物への影響を動的影響と静的影響に区分し，各々について精度の高い影響予測を事前に行い，対策工を実施することで既設構造物に対する影響を最小限に抑制することができた．

本工事では，3次元解析において室内試験・原位置試験で得られるデータを，事前に試験施工区間を設けることで，物性値の再評価を行い，解析精度を向上させた．さらに，先行トンネルの施工から得られた情報を，後行トンネル施工の予測に反映させることで，予測値と実測値がほぼ一致する結果が得られた．これにより許容変位量を逸脱することなく，既設隧道への影響を最小限に抑制し施工することができた．

最後に，貴重なご意見をいただいた関係各位に感謝いたします．

参考文献

1) 中日本高速道路(株)ほか：設計要領，第3集トンネル本体工保全編(近接対策)，p.24，2006.7.

施工

5連ボックスの道路および鉄道トンネルを供用しながら全周補強

—成田国際空港　木の根トンネル—

成田国際空港(株)整備部門工事部副主幹　早川　勇
(株)大林組東京本店成田木の根補強工事事務所工事長　工藤嘉久
(株)大林組土木本部生産技術本部設計第四部部長　高橋正登

1　はじめに

成田国際空港では，航空機の年間発着能力を現在の25万回から27万回へ拡大するために，①B滑走路西側誘導路，②横堀地区エプロン(駐機場)ならびに③誘導路の新設工事を行っている(図-1)．このうち，②横堀地区の工事では，既設の誘導路をエプロン化するのに伴い，南側に新たな誘導路を建設する計画である．

木の根トンネルは，新設する誘導路の直下に位置する5連のボックスカルバート構造の地下トンネル(延長160m)で，私鉄の営業線，一般道路，

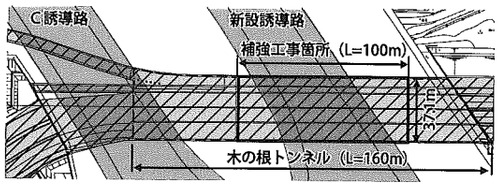


図-2　トンネル補強箇所

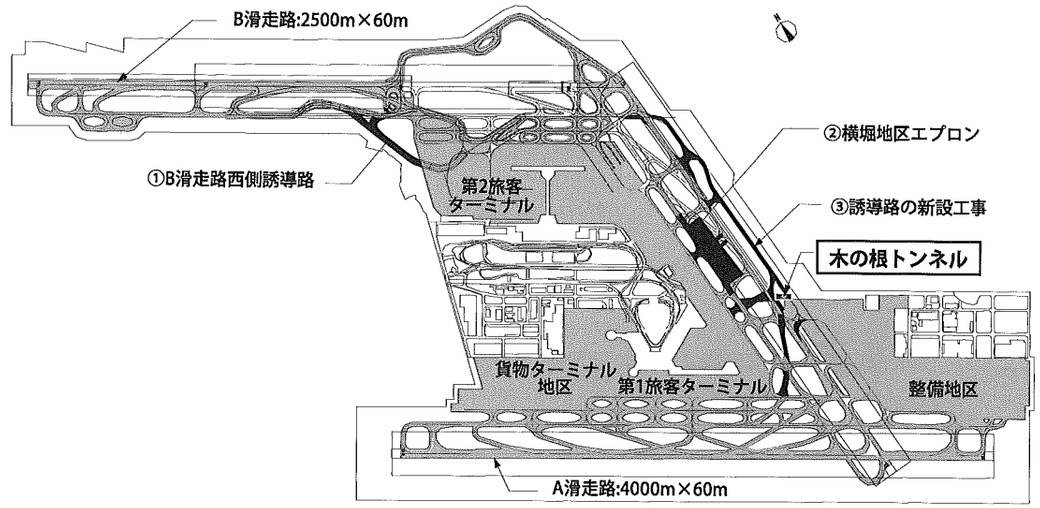


図-1　空港内整備概要と木の根トンネル位置

歩道および空港内道路として供用されている．既設トンネルの状態では，航空機荷重に耐えられないことから，新設する誘導路直下の延長100m部分について補強することとなった(図-2)．

本稿では，既設トンネル補強工事における下床桁掘削の工法選定とその施工結果，既設トンネル直下の下床桁ならびに既設トンネルとの間に空隙を確保した側壁・頂版の施工結果について報告する．

2　工　事　概　要

工事概要を表-1に示す．工事の構造概要図を図-3に，断面図を図-4, 5に示す．

2-1　本体構造

本工事の構造的な特徴として，以下の2点が挙げられる．

表-1　工事概要

工事名称	木の根トンネル補強工事
発注者	成田国際空港(株)
工　期	2011年6月24日～2013年8月31日
工事内容	トンネル補強工　一式 下床桁　5,600m³ 頂版，側壁　8,100m³ 隔壁補強　200m³ 土工事　30,000m³

（1）　既設トンネル直下は桁構造で補強する

既設トンネル直下を版構造ではなく桁構造で補強する理由は，既設トンネルを仮受けする工程をなくすとともに，下床桁導坑掘削と桁の構築を別々の場所で同時施工でき，工程を短縮できるからである．

（2）　既設トンネル側部および頂部は版構造で補強し，既設躯体との間に空隙を設ける

側壁は既設トンネルと200㎜の空隙を確保して補強する．また，頂部は既設トンネルの中壁直上に沓を設置し，新設する頂版はその沓で支持された版構造とし，既設トンネルと150～250㎜の空隙を確保する．これは，完成時の航空機荷重による上載荷重，地震時の側圧を直接既設トンネルに作用させないためである．

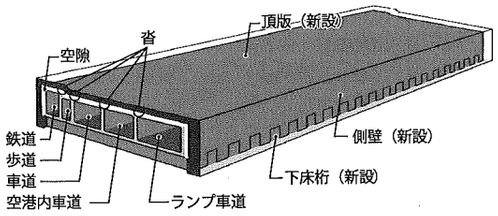


図-3　構造概要図

表-2　土質定数

土質名	記号	N値	γ (kN/m³)	φ (°)	c (kN/m²)
ローム	Lm	3	14.0	0	15
ローム質粘土	Lc	4	16.0	0	30
第1砂質土	Ds1	14	18.0	30	0
第2砂質土	Ds2	16	17.5	30	0

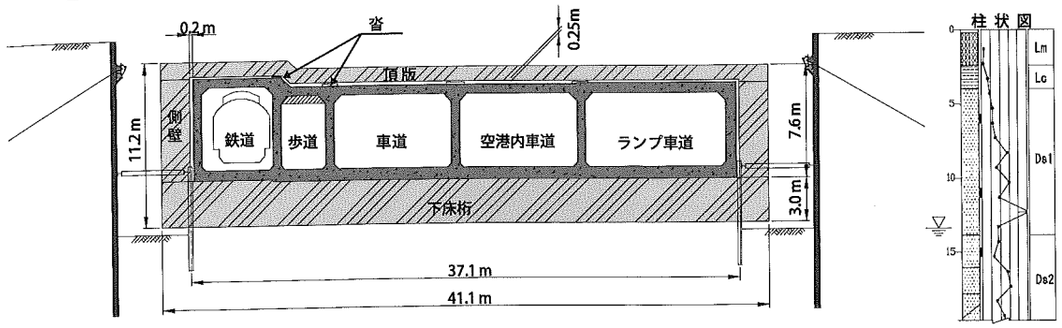


図-4　横断図

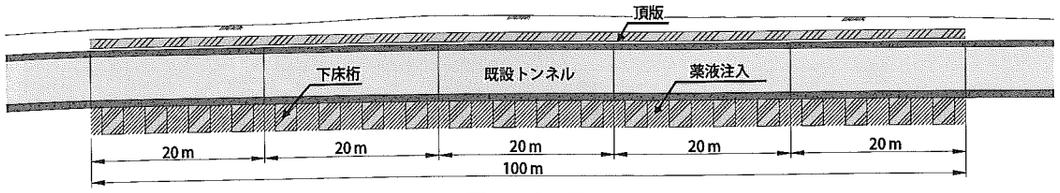


図-5　縦断図

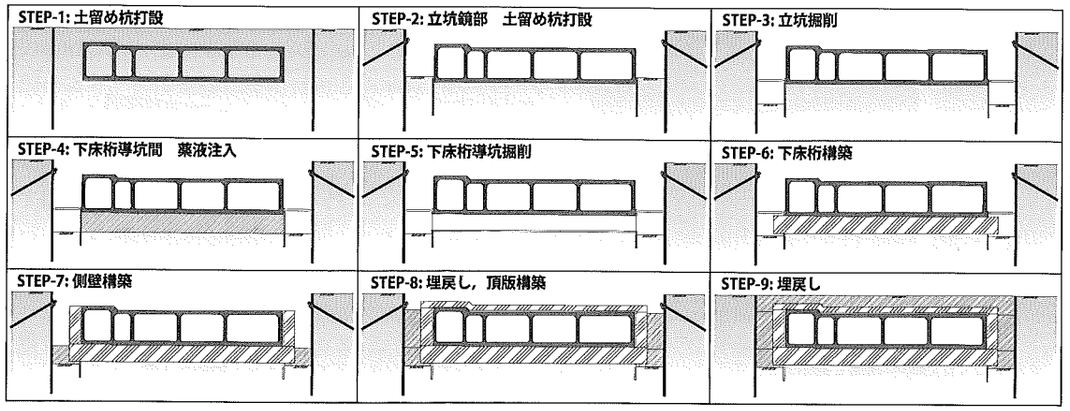


図-6　施工ステップ図

2-2　土質条件

土層構成は，図-4の土質柱状図に示すとおり，地表面からローム層(Lm)，ローム質粘土層(Lc)，洪積砂質土層(Ds1，Ds2)が堆積している．下床桁掘削範囲はDs1層に位置し，一部N＝50を示す硬質層が介在する．地下水位は下床桁の床付け面とほぼ同じである．各土層の土質定数を表-2に示す．

2-3　施工順序

施工ステップ図を図-6に示す．既設トンネルの両側に立坑を築造し，下床桁施工および側壁構築の作業スペースとして利用した．土留め壁は親杭横矢板形式で，支保工はグラウンドアンカー1段と切梁1段の併用とした．

3　下床桁導坑掘削

3-1　下床桁導坑掘削方法の選定

下床桁は，幅2.5m，高さ3.0mの断面形状で，既設トンネルを横断する方向に5.0m間隔で延長37m×20本設置する．既設トンネルの構造目地が20m間隔のため，1ブロック4本の下床桁となる．工法選定条件として，以下の項目を満足したうえで最適な工法を選定する必要があった．

①　掘削時の既設トンネルへの影響が小さいこと

②　既設トンネルと下床桁を密着できること

下床桁掘削範囲の地盤は洪積砂質土層であり，地下水位も床付け以深のため掘削方法は開放型とした．

工法選定は法切り掘削工法，開放型シールド工法，開放型簡易シールド工法の中から選定した．表-3に工法比較表を示す．3工法の中で既設トンネルへの影響が小さく，既設トンネルと下床桁を密着できる開放型簡易シールド工法を選定した．この工法の補助工法として，下床桁間の地山に薬液注入を行い，切羽側面の自立性を高めるとともに，支保工に作用する土圧を低減し，セグメントを簡易な支保工構造(H形鋼，横矢板)とした．

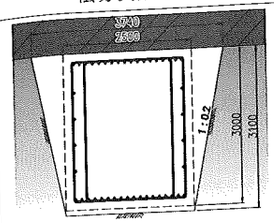
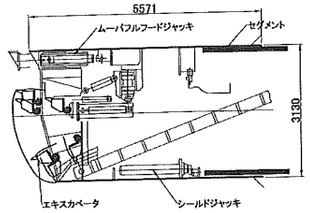
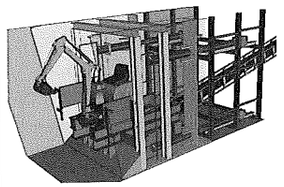
3-2　施工結果

本工事では，図-7に示すとおり5台のシールドにより掘削した．なお，下床桁掘削箇所は既設トンネルの沈下を抑制するため，各ブロック20mで1か所とし，下床桁コンクリートの打設が完了してから，次の下床桁掘削を開始する計画とした．

掘削機械は，狭隘なシールド内での施工性を考慮して0.03m³バックホウ(マシン高2.1m，マシン重量1.1t)で計画した(図-8)．

実施工では，掘削地盤の自立性が高くバックホウの爪しか貫入できないほど硬質な地盤であった(写真-1)．また，既設トンネル下の均しコンクリートについてもバックホウで剝離できると想定して

表-3　下床桁掘削工法比較表

	法切り掘削工法	開放型シールド工法	開放型簡易シールド工法
工法概要			
	導坑側部を薬液注入で強度増加したあと，側部は土留めを使用せず1：0.2の勾配で掘削する．	開放型シールドにより切羽周辺を支保して掘削する．掘進完了後，シールドテール部で鋼製セグメントを組立てる．シールドはセグメントを反力に推進する．	導坑側部を薬液注入で強度増加したあと，開放型簡易シールドにより掘削する．掘進完了後，シールドテール部で支保工を架設する．シールドは支保工を反力に推進する．
支保構造	なし	鋼製セグメント	H形鋼＋横矢板
既設トンネルへの影響	× 側部は1：0.2の勾配で掘削するため，既設トンネルを支持するスパンが大きくなり，3案の中でもっとも沈下が大きくなる．	○ シールドおよびセグメントで支持されているため影響はもっとも少ない．	△ シールドおよび支保工の天端が開放されているが，側部は支保されているため支持スパンは掘削幅となる．
既設トンネルとの密着性	○ 既設均しコンクリートを撤去するため，新設コンクリートが直接密着する．	△ 既設均しコンクリートは撤去するが，既設トンネルとの間にセグメントを介する．セグメントと既設トンネルとの間は無収縮モルタルを充填し密着させる．	○ 既設均しコンクリートを撤去し，支保工の天端が開放されているため，新設コンクリートが直接密着する．
掘削工程	○	×	△
判定	×	△	○

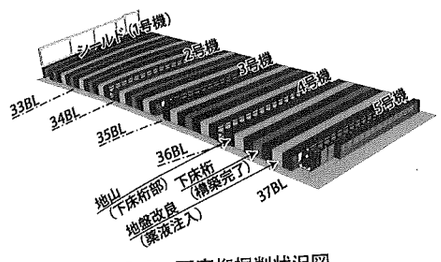


図-7　下床桁掘削状況図

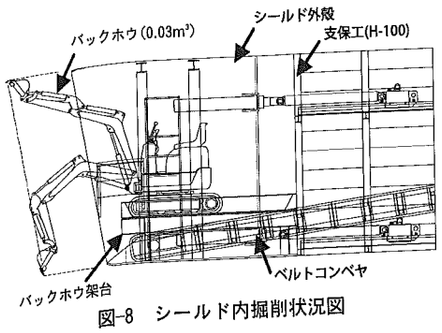


図-8　シールド内掘削状況図

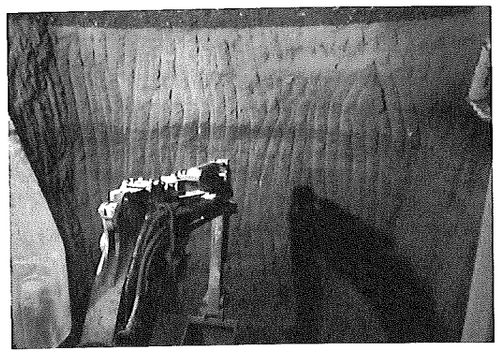


写真-1　下床桁切羽状況

表-4　追加試験結果

	事前調査結果	追加試験結果
土質定数	$\phi=30°$ $c=0\text{kN/m}^2$	$\phi=33.9\sim38.1°$ $c=2.7\sim23.9\text{kN/m}^2$ (三軸圧縮試験)
均しコンクリート	呼び強度 13.5N/㎟	一軸圧縮強度 32.9N/㎟

いたが，非常に堅固で剥離できなかったため，人力斫りにより撤去することになった．これらの要因により，掘削進捗は当初計画の約半分であった．

掘削途中での追加土質調査の結果，下床桁掘削範囲の砂質土は，粘着力$c=2.7\sim23.9\text{kN/m}^2$を有することが判明した．また，均しコンクリートについても，圧縮強度が呼び強度より大幅に大きいことが判明した(表-4)．

工程回復の手段として，掘削機械の見直しを実施した．シールド内のバックホウの作業空間を拡大させ，0.1m³バックホウ(マシン高2.5m，マシン重量3.4t)に大型化させた．これにより，バケットの爪だけでなくバケット全体を地盤に貫入でき，地山を切り崩しながら掘削することが可能となった．さらに，均しコンクリートについてもバケットで剥離でき，人力での斫り作業をなくすことができた．これにより掘削工程を短縮することができた．

4　下床桁コンクリート打設

4-1　配合選定

下床桁断面図を図-9に示す．下床桁は，既設トンネル下部での閉塞された空間内での構築作業であり，補強鉄筋や土留め支保工が配置されているため，人力によるコンクリートの締固めは困難であった．そこで自己充填性を有する高流動コンクリートを適用することとした．さらに，既設トンネルとの密着性を確保するために，上層の1.5m部分には特殊アルミニウム粉末を添加した膨張性高流動コンクリートを採用した．

目標とする自由膨張率の確保に必要なアルミニウム粉末の混入量を検討するため，混入量を変化させた膨張性高流動コンクリートを製造して自由膨張率を測定した(図-10)．試験の結果から，実施工ではアルミニウム粉末を30g/m³混入することにした．

なお，膨張性高流動コンクリートは，レディミクストコンクリート工場で製造した高流動コンクリートをアジテータ車にて現場まで運搬したあと，アジテータ車のホッパからアルミニウム粉末を投入し，ドラムを攪拌して製造した．

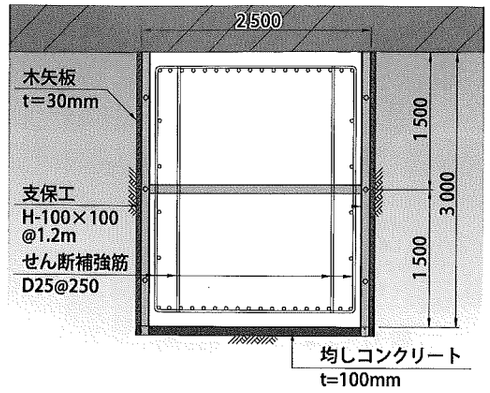


図-9　下床桁断面図

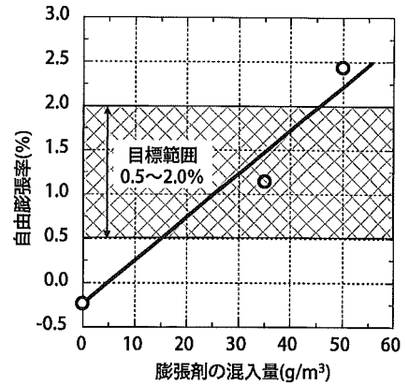


図-10　自由膨張率の測定結果

4-2　コンクリート打設方法

下床桁のコンクリートは，下層と上層の2層に分けて打設する計画とした(図-11,12)．

下層部分(下側1.5m)の打設方法は，下床桁内の全長に1本の配管を配置し，片側からコンクリートを打設する方法とした．施工時の状況を写真-2に示す．配管には6m間隔でT字の分岐管を設置し，各々にシャッターバルブを取付けた．コンクリートは2層(750㎜/層×2層)に分けて打設することとし，開放する分岐管を順次変更させてコンクリートが均等に打ち上がるようにした．コンクリートの流動勾配は約10%で，ほぼ平坦に打設することができた．

なお，1か所の分岐管からの打設時間が長くなると，それより先端側の配管が閉塞するおそれが

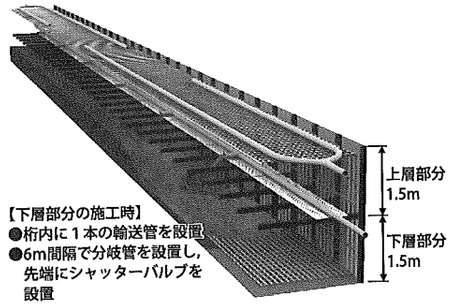


図-11　下層コンクリート施工状況図

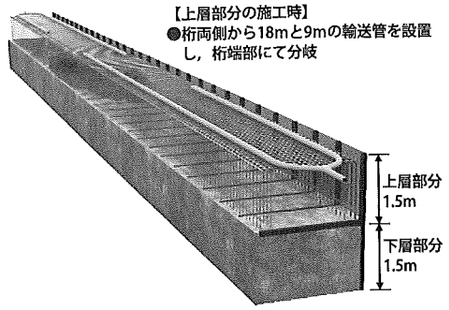


図-12　上層コンクリート施工状況図

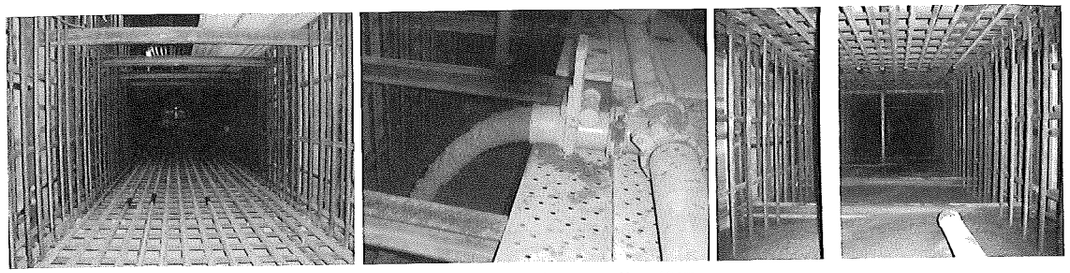


写真-2　下層コンクリート施工状況

あったため，定期的にすべてのシャッターバルブの開閉操作を行い，配管の閉塞を防止した．

上層部分(上側1.5m)の施工では，下床桁の両側からコンクリートを打設した．配管は両端部の裾型枠外側にて分岐させ，18mと９mの配管を２本設置(打設後残置)した．上層部分についても打設は２層に分けて行った．既設トンネルと密着させる２層目の打設では，空隙の発生を防止するため，桁の中央部から順次充填するようにした．

打設時期が５～８月と大半の施工時においてコンクリート温度が30°を超えていたが，配管を閉塞させることなく打設することができた．

4-3　充填管理方法

上層コンクリートは下層のように目視による充填確認ができないため，充填センサおよびCCDカメラを用いて充填確認を行った(図-13)．

CCDカメラは，既設トンネル下面と上鉄筋との空間(約160㎜)にワイヤーを通し，ロープでたぐり寄せることで可動できる構造とした．CCDカメラで内部の状況を撮影し，コンクリートの流動性の確認と充填状況をモニター映像から確認した(写真-3)．

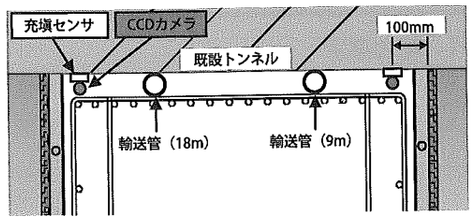


図-13　CCDカメラ，充填センサ設置図

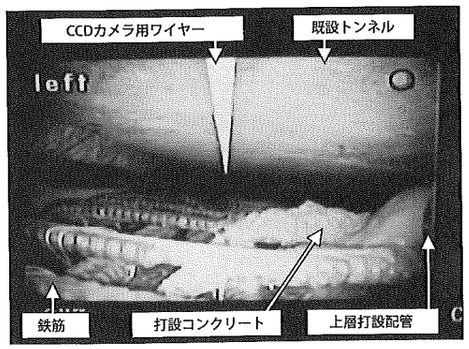


写真-3　CCDカメラによる桁内部の映像

充填センサによる充填確認状況を写真-4に示す．充填センサがコンクリートに接触すると，モニター上にてセンサ設置位置の色が変化するように設定しておき，リアルタイムに充填状況を確認できるようにした．

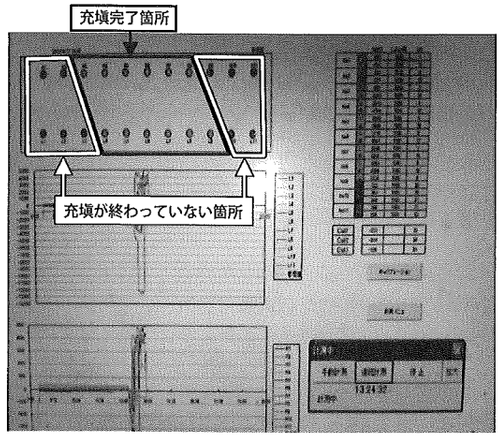


写真-4　充填センサのモニター画面

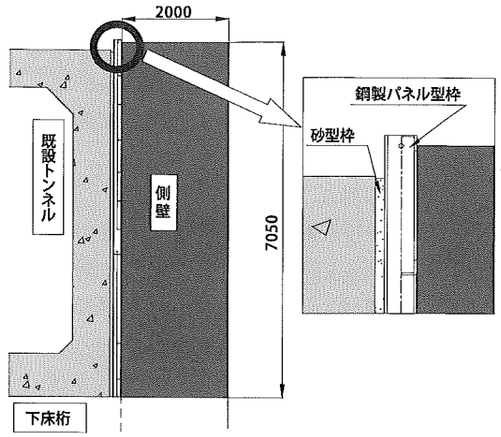


図-14　側壁型枠概要図

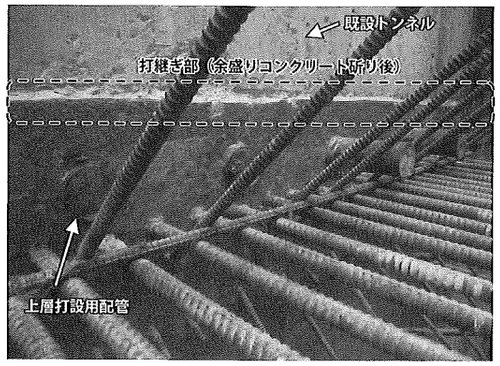


写真-5　既設トンネル境界部の仕上がり状況

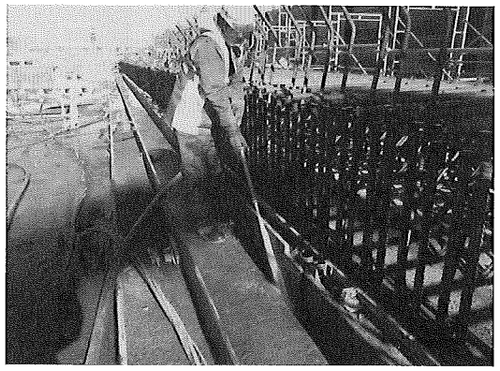


写真-6　側壁砂型枠洗い流し状況

コンクリートの打上がり完了は，裾型枠を嵩上げしておき，下床桁天端から800㎜の高さまで余盛りするようにした．これは，特殊アルミ粉末による発泡膨張を拘束するためで，膨張圧と均衡するように設定した．

既設トンネルと下床桁の境界部の仕上がり状況を写真-5に示す．境界面に隙間は発生しておらず，既設トンネルとの確実な密着性を確保できた．

5　側壁・頂版型枠の施工

5-1　側壁の施工

側壁の型枠支保工は，大型鋼製パネル型枠と砂型枠支保工を併用した(図-14)．既設トンネルと



写真-7　側壁鋼製パネル型枠撤去状況

鋼製型枠間の砂は側壁コンクリート圧縮強度５N/㎟を確認後に，ウォータージェットにより洗い流し，側壁下端に設置した仮設開口部から砂を回収した．その後，縁が切れた鋼製パネル型枠をクレーンにて揚重した(写真-6, 7)．鋼製パネル型枠

の背面を砂で密充した支保工は，コンクリート側圧に耐えることができ，砂洗い流し後の鋼製パネル撤去もスムーズに行えた．これにより，既設トンネルと側壁との間に200㎜の空隙を確保することが可能となった．

5-2　頂版の施工

頂版工の型枠支保工は，ジベル筋付きの鉄板と砂型枠を併用し，鉄板を存置させる計画とした(**図-15，写真-8**)．既設トンネルと側壁間は既に

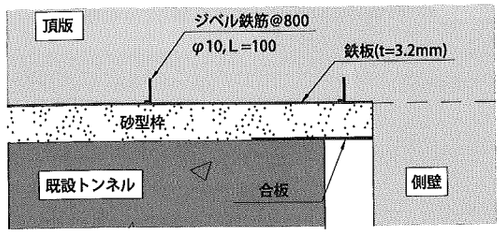


図-15　頂版型枠概要図



写真-8　頂版砂型枠敷均し状況



写真-9　頂版砂型枠洗い流し状況

空間が確保されているため，空間内に砂の流入を防ぐために合板を設置し，砂撤去後に回収した．充填した砂は頂版コンクリート圧縮強度14N/㎟を確認後に，逆噴射ノズルを取付けたウォータージェットを使用して撤去を行った．逆噴射ノズルは砂型枠内部にあらかじめ設置したワイヤーをガイドにして，ウインチによって送り込み，引抜き作業をくり返すことで内部の砂を洗い流し，バキューム車により回収した(**写真-9**)．

使用した砂は，密閉空間内からウォータージェットで洗い流しできるように，シルト分が少ない山砂が適していることを事前の試験施工により確認していた．これらの方法により，既設トンネルと頂版との間に150～250㎜の空隙を確保することができたが，1ブロックが37m×20mと広く，勾配がないため，20mもの距離をウォータージェットで洗い流すのに時間を要した．頂版の砂撤去方法には，まだ改善の余地が残されている．

6　おわりに

本工事を通じて，既設トンネル直下での下床桁掘削において，開放型簡易シールドによる掘削を選定し，供用中の既設トンネルへ影響を与えることなく施工を完了することができた．

下床桁の構築では約37mの閉鎖空間内でのコンクリート打設となったが，今回の条件に適した配合選定，打設方法，充填管理方法を計画し，既設トンネルに密着したコンクリートを打設することができた．また，充填センサとCCDカメラを用いてリアルタイムに充填状況を把握することが有効な管理手法であることが確認できた．

側壁・頂版の構築では，狭隘空間の型枠に砂型枠を適用することにより，既設トンネルとの間に空隙を確保することができた．砂の撤去方法は，側壁についてはウォータージェットで洗い流しがスムーズに行えたが，頂版についてはまだ改善の余地が残されている．

本稿が類似工事の参考となれば，幸いである．

土木情報 No.482 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
北陸農政	庄川左岸農地防災事業荒又排水路(福岡工区)その9	松本建設	132
〃	〃 (吉住工区)その11	笹嶋工業	158
九州農政	H24肝属中部(2期)農業水利事業5号サイホンその他	青木あすなろ建設	236
関東地整	渋谷駅東口地下歩道(南東部)構築	東急建設	1,340
〃	中部横断大島地区T	大成・名工JV	4,349.5
近畿地整	紀北西道路根来T他	佐藤工業	3,580.1
〃	近畿自動車道紀勢線周参見第一T	鴻池組	2,238.4
〃	〃 見老津第二T	三井住友建設	2,628
〃	〃 安宅地区T	西松建設	2,011
〃	丹波綾部道路丹波PA函渠他	公成建設	236
〃	〃 和知T	安藤・間	1,172.89
水資源機構	水浦水路T	梅林建設	549
中日本高速道路	東名高速道路都夫良野他4トンネル補修	熊谷組	139
都・水道局	東大和市清原1丁目地内送水管(2000㎜)用立坑築造	鴻池・前田JV	949
都・下水道局	江東区木場一，六丁目付近再構築	西松・奥村組土木JV	1,434.7
〃	豊島区池袋二，四丁目付近再構築	アイサワ工業	608
〃	中野区本町二丁目，弥生町一丁目付近枝線	日本国土開発	399.3
〃	北多摩二号水再生センター・浅川水再生センター間連絡管その3	前田建設工業	689.85
山梨県	R411号上萩原BPトンネル	岩波・広川JV	450
牛久市	24社総交公下第8号，田宮地区雨水管渠布設	篠崎・ミーサンJV	113
神栖市	神契公告第65号，25北公共埠頭1号雨水幹線整備	常総開発工業	265
茅ケ崎市	合流式下水道緊急改善(第二工区)整備	湘南いざわ	118.52
伊勢原市	H25公下事業第9工区	池田建設	136.78
長岡市	建受2号送配水管移設	北栄・大石JV	260



多様化する
シールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B5判　141頁　本体価格2,500円

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

2012年度土木学会賞　88の個人とプロジェクトなどを表彰

土木学会は６月14日に開催した定時総会において，2012年度の土木学会賞が授与され，18部門にわたり88の個人やプロジェクトなどが表彰された．

おもな受賞は以下のとおり．

【功績賞】

今田徹((財)国土技術研究センター技術顧問)．ほか５名．

【技術賞】

神戸高速鉄道・阪神電気鉄道・大林・鹿島JV：１万トンの供用中トンネルの撤去を伴う都市部国道直下での地下ターミナル駅の改良(前例のない駅改良技術の結集)．

九州地整北九州港湾・空港整備事務所：沈埋トンネル「若戸トンネル」の建設，日本の沈埋トンネル技術の集大成．

鉄道・運輸機構青森新幹線建設局・鹿島・鉄建・梅林・田中JV：山岳工法とシールド工法の境界領域における「SENS」の高速掘進，北海道新幹線津軽蓬田トンネル．



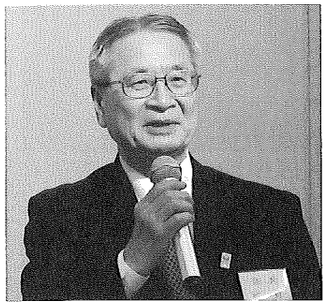
若戸トンネル開通式(写真提供：土木学会)

中日本高速道路：新東名高速道路(第二東海自動車道　横浜名古屋線)御殿場JCTから三ケ日JCT 162kmの開通(高速道路史上最長の開通)．

東日本高速道路：東日本大震災により被災を受けた高速道路の復旧事業．

東日本旅客鉄道：東京駅丸の内駅舎保存・復原工事，東京駅丸の内周辺整備計画．ほか５件など．

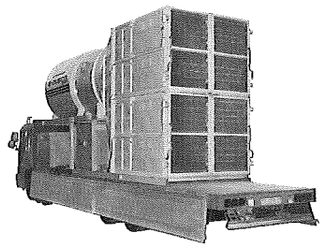
アンダーパス技術協会　第８回定時総会開催



アンダーパス技術協会は去る６月14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，植村誠会長による毎年恒例の「健康長寿のはなし」では，70歳を迎えた際の気力の持ち方などの紹介があった．

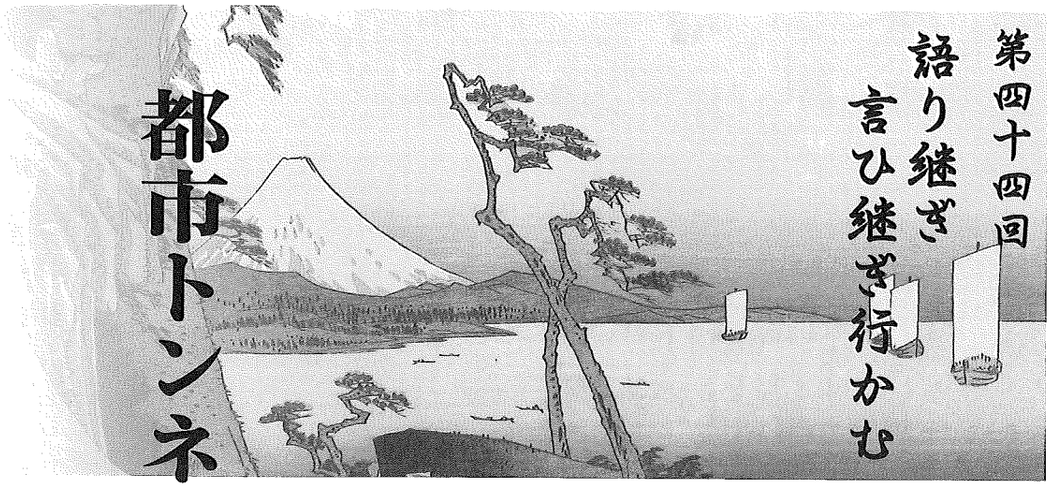
その後，平成24年度事業報告・決算報告，平成25年度事業計画・予算が審議され，満場一致で承認された．総会終了後には，事務局より所有工法の施工実績の紹介があり，所有している４工法での総数は1,286件で，国内1,030件，海外256件，各工法での内訳はフロンテジャッキング工法848件，アール・アンド・シー工法379件，ESA工法42件，SFT工法17件と発表された．

e'-DUSCO240が日本産業機械工業会会長賞を受賞


e'-DUSCO240

古河産機システムズのトンネル工事用電気集じん器「e'-DUSCO240（イーダスコ・ニーヨンマル)」が，(一社)日本産業機械工業会が主催する第39回優秀環境装置表彰において，日本産業機械工業会会長賞を受賞した．

同賞は，環境問題に対処するため優秀な環境装置を選定し，その開発者を顕彰することにより，環境保全技術の研究・開発および優秀な環境装置の普及の促進を図り，地球環境の保全に資することを目的とするもの．高い集じん効率でトンネル工事現場での安全でクリーンな作業環境を構築しながら，従来方式と比べて70％も消費電力を節約して二酸化炭素排出量を削減する同機の性能が，高く評価された．



都市トンネルの悩みと喜び

岩本　哲
(元)前田建設工業(株)

はじめに

私は昭和47(1972)年に前田建設工業(株)に入社した．最初に配属された先は，長野県大町市を流れる高瀬川上流に建設されていた新高瀬川発電所のダム現場であった．この年は沖縄がアメリカから返還された記念すべき年でもあった．

配属されたダム現場は，当時東洋一と言われたロックフィルダムの現場で，新入社員が，私のほか土木，機電社員二十数名が研修生という立場で，工事で使用されている大型重機(32tダンプトラック，9 m³パワーショベルなど)の運転・管理について約半年間の実地研修を行った．そのときのダンプトラック，ショベルのタイヤの径が背丈以上の２mほどもあり，こんなに大きい重機があるのかと圧倒された．

研修期間中，この大型ダンプを運転する機会があり，土捨て場で土砂をダンプアップしたあと，戻ろうとしたとき，ベッセルが完全に降りていなかったことを確認せずに発進したため，エアー管を引掛けて破損させ，これが原因で数日間作業ができなかった．そのことで，100万円/日の損をさせたと所長からこっぴどく叱られた記憶がある．

また疲れて小休止のため同僚と腰をおろしていると「作業員が汗を流して働いているときに，腰掛けて休むとはなにごとか．現場で座るときは作業員が休憩する10時と15時のときだけだ」と上司から注意され，学生気分が抜けきらない当時の私にとって，強烈な言葉として残った．

それ以後，一つの作業を終えたあと，次の作業(動作)に移るときは，まず周囲の安全を確認することや小休止のとき注意されたことを肝に銘じ，現場で働く者としての最低限のルールとして心がけるようにした．

研修期間中のこれらの体験が以後，三十数年，工事に臨む現場人としての心構えの原点であり基本



アクアライン貫通式(前列右から５人目が筆者)

著者略歴

昭和47年４月	前田建設工業(株)入社 東京電力　新高瀬川発電所
昭和48年１月	本店　技術研究部
昭和49年12月	帝都高速度交通営団11号線室町１工区
昭和55年12月	東京都下水道局　芝浦幹線その５立坑設置工事
昭和57年７月	東京都下水道局　芝浦幹線その７工事
昭和59年９月	東京都下水道局　芝浦幹線その７二次覆工工事
昭和61年６月	東京都下水道局　芝浦幹線その７人孔設置工事
昭和62年４月	本店　東京湾横断道路プロジェクト室
平成元年６月	東京湾横断道路　木更津人工島中工事　工事課長
平成４年12月	東京湾横断道路　中央トンネル木更津北その１工事　副所長
平成８年10月	東京湾横断道路　中央トンネル木更津北その２工事　所長
平成10年４月	本店　土木部
平成11年３月	日本鉄道建設公団　常新三ノ輪T　所長
平成16年２月	台湾高雄地下鉄橋線CO2工区　所長
平成18年12月	台湾台北地下鉄松山線CG590A 工区　所長
平成20年11月	前田建設工業(株)定年退職

となった．

当時，都市土木のトンネル工事の主流は断面の大小の差こそあれ，全断面開放型圧気併用の手掘り式シールド工法であった．その後シールド技術が進歩し，全断面密閉型の泥水式シールド工法，泥土圧式シールド工法へと変遷し，それまでの手掘り式と比較して，掘進管理システムが確立され，安全かつ地上・地下構造物への影響も最小限に抑えることができるようになったと感じている．

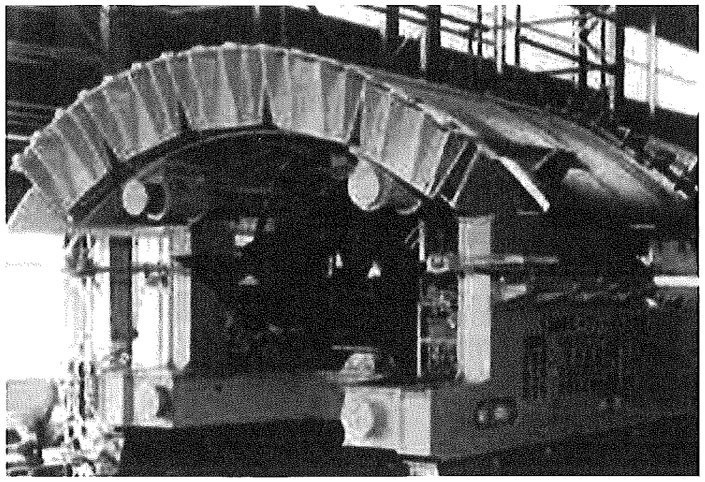
近年は深層化に伴う長距離，高速施工，分岐型シールドへのニーズが高まっているが，公共事業縮小，経済の停滞などにより全体の工事量が圧縮されるなか，シールド工事自体も減少し，経験する機会も少なくなっていくことも考えられる．ただシールドの基本的な考え方は大きく変わることはないと思われるので，これまで体験したなかの一端ではあるが，述べさせていただき，少しでも参考になれば幸いである．

メガネ形シールド駅

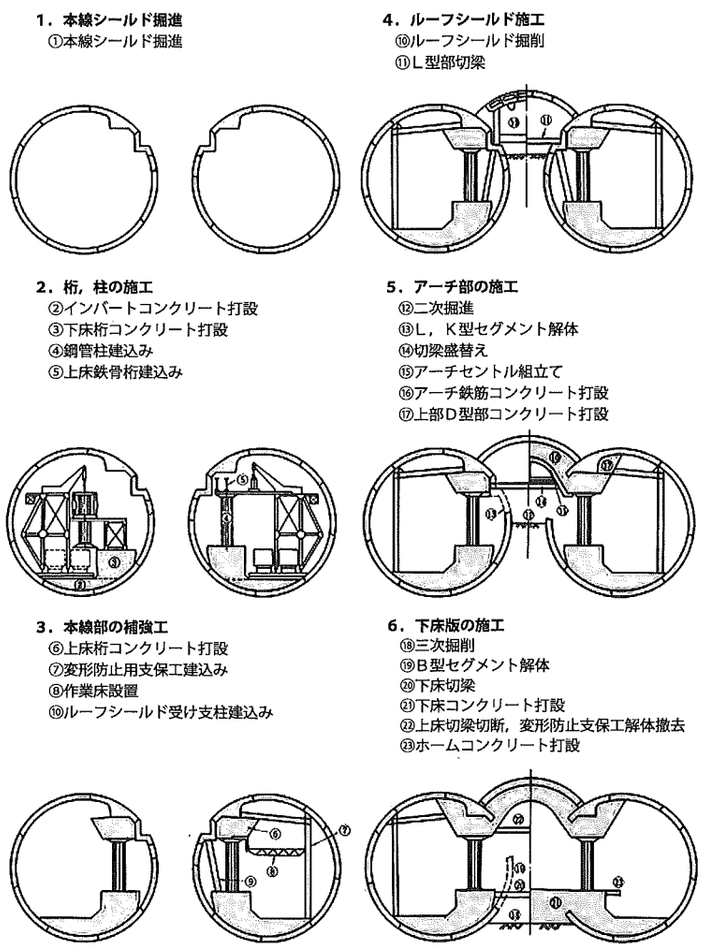
私が最初に携わったシールド工事は，帝都高速度交通営団地下鉄11号線室町１工区で，現在の東京メトロ半蔵門線の三越前駅のシールド駅工事である．

本工事は，日本銀行本館が近傍にある外堀通りに築造された立坑を発進基地として，三越前の中央通りに築造された立坑までの250m区間を，補助工法として圧気と薬液注入を併用した全断面開放型半機械式シールド工法により，単線セグメント外径φ8,000㎜のシールドトンネルを離間２mで併設し，中間部の接合をルーフシールド工法(セグメント半径3.73m)により，メガネ型シールド駅を築造したものである．

路線は両側に高層のビル群が立ち並ぶ道路直下を掘進し，かつ路線沿いに日本橋川が流れる厳しい施工条件下での施工であった．掘削対象の地質は，ビル基礎の支持地盤である東京礫層と下部東京砂層が主体であり，掘削による崩壊性を有する土質とともに，被圧された地下水が存在し，湧水による施工上の困難性を増していた．



ルーフシールド



ルーフシールド施工順序図

また，ルーフシールド工法にはスライドベッドとなるL型，接続部にD型の特殊形状のセグメントを用いるため，２本の本線セグメントの上下・左右の蛇行とローリングを最小にとどめることが，施工上の課題であった．

ルーフシールド工法による駅部の築造は，図のような施工順序にて行った．

シールドの掘進運転は，切羽地質状況，シールドのステアリング性能を判断し，掘進精度を確保するため，当社職員が自ら行った．線形管理では，線形測量を１リング掘進ごとに実施し，シールドの方向，軌跡をとらえ，セグメントポジションとあわせて管理図表にプロットし，軌跡予想，掘進方向の決定を行い，それに従ってジャッキの選定，所要ジャッキのストローク差を決定した．また，シールドのピッチング，ヨーイング，セグメント抜け出し時の変化を観測し，方向制御を行った．２本目のシールド掘進では，先行した１本目のシールドの蛇行量のデータにもとづき，極力，相対蛇行量を抑えるべく，１本目にあわせて蛇行調整を行いながら掘進を行った．

ローリング管理は，通常のシールドではあまり問題とならないが，特殊なL型，D型セグメントを使用しているため，ルーフシールド施工の難易に直接影響する．ローリングの発生方向は事前に予測できたので，セグメント組立て時に，まずこれらのセグメント位置を拘束し，テールから抜け出し後，裏込め注入硬化後，セグメントが安

定するまで，真円保持装置によりローリングの拘束を行った．

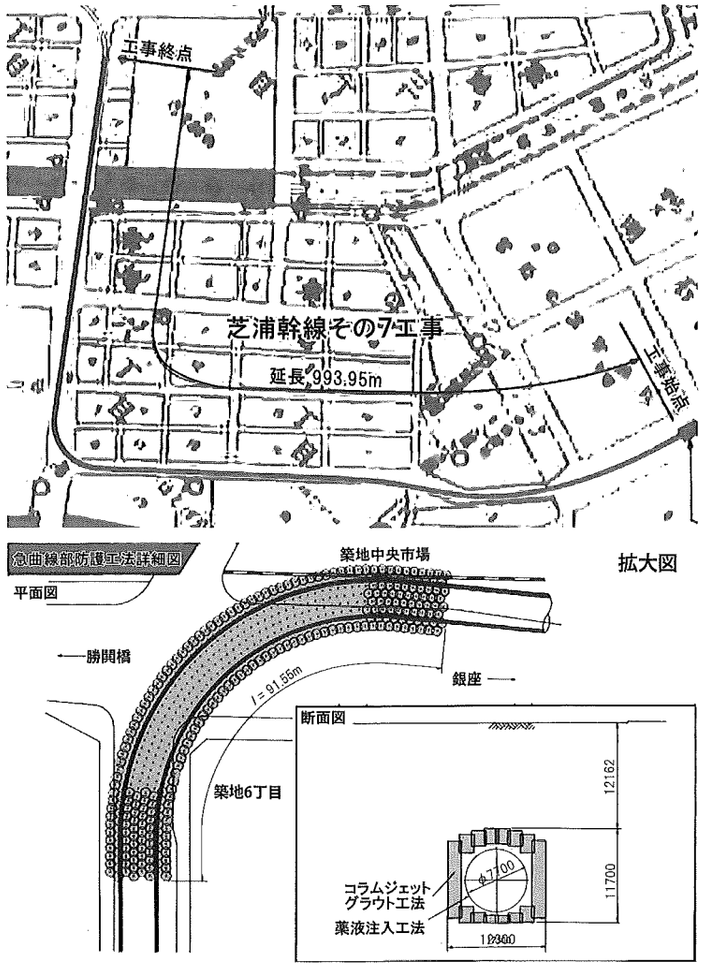
以上，蛇行量，ローリング量を抑えるための対策を講じた結果，あとのルーフシールド工法による中間部施工になんら支障を生じることはなかった．

私が初めて体験した当シールド工事が，以後のシールド工事における施工管理の基本となり，現場でサイクルタイムや歩掛りを取るよう厳しく指導された経験もあわせて，後に体験するシールド工事の施工計画書の作成，施工管理，工事費の見積りにおおいに役立った．

大口径泥水式シールドにおける急曲線施工

東京都下水道局発注の芝浦幹線その7工事は，東電との共同管路であり，セグメント外径φ7,700㎜，延長980mを泥水式シールド工法にて施工したものである．路線は中央区明石町から区道を通り，築地中央卸売市場に面した晴海通りをほぼ直角に方向変換して掘進する．地質条件は区道が沖積シルト層，晴海通りが洪積帯水砂層で，地下水位はGL−4 ～ 6 m付近にあった．

路線が直角に方向変換する区域の環境条件は，築地市場に近接し銀座を控えた商業地域であり，幹線道路としての交通量の多さに加え，市場関係の大型車両が深夜から未明にかけて集中する特殊地域であった．大口径シールドトンネルの方向変換に必要な大規模かつ深い立坑を開削工法にて長期間にわたり施工することは，道路交通の確保など周辺環境の維持がきわめて困難であった．このため，地下施工を主とした施工法について周辺環境への適合性，作業の安全性および経済性などを総合的に検討のうえ，シールドトンネル急曲線施工による方向変換を計画するものとした．



急曲線区間平面図・断面図

急曲線の線形の選定は，交差点部の道路幅員から許容される最大回転半径を採用するものとし，回転半径45mにて計画を行うものとしたが，計画の立案にあたっては，とくに周辺地山の安定，線形の保持について十分な技術的配慮が必要であった．

本工事ではシールド単体での急曲線施工における必要余掘り量は約25cmと計算されたが，中折れ機構を装備した場合でも約17cmが必要とされ，余掘り低減効果は低く，中折れ機構のみでも急曲線通過は困難と判断した．そこで非中折れ式でも線形を確保可能な補助工法として，曲線外側に回転反力と線形離脱防止，内側に余掘り崩壊および線形離脱防止を目的に，高圧噴射攪拌工法によるガイド壁を計画した．

ガイド壁の施工にあたっては，曲線施工に必要な余掘り量25cmに対し，余裕を見込んで機械外径より50cm離間を取るように配置を決定した．

急曲線区間のセグメントは，一般部のRCセグメント(幅90cm)に対し，スチールセグメント(幅45cm)を採用した．

シールド施工中の管理としては，線形予測管理を中心として考え，掘進結果，測量結果，使用セグメントにもとづいて，事前に10リング先までの軌跡を最適線形として算出し，ジャッキストローク，必要余掘り量を管理値として施工を行った．

また線形を確実に保持する手段として，反力となる組立てられたセグメントの固定が重要であったため，外側の余掘り部分に早期拘束ができる裏込め材として，可塑性で流動性が低く早期強度の高い配合を開発して使用した．

トンネル内では，曲線内側のリング継手には挟み板による目開き抑制と，トンネル軸方向には変形防止工を設置し，推力による変形を防止した．今回の急曲線施工においては，事前検討から実施工まで，先の工事で経験した管理手法がおおいに役立つこととなった．

本工事で泥水式シールド工法が採用された当時は，まだ当工法が導入された初期段階であったため，切羽保持に必要とされた泥水管理が重要な管理項目であった．

急曲線までの掘進途中にて，下水用ボックスカルバート施工時の山留めと思われるシートパイルにぶつかり，チャンバ内を限定圧気し，切羽前面で切断撤去するというトラブルに遭遇したが，まさか泥水式シールドの施工で，圧気を掛けることになろうとは思いもしなかった．図面上には記載されてなく，支障物はないものと信じて掘進をしたことが，トラブルを招いた原因であり，反省すべき点である．

今回のように切羽前方の地山状況を視認できないことは当工法の弱点であるが，埋設物調査，存在が想定される地中の支障物については，事前に詳細に調査することが肝要と再認識させられた．

海を越え，海を拓く

東京湾横断道路(東京湾アクアライン)は，神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ全長約15kmの自動車専用道路である．このうち，中央トンネル木更津北工事は，木更津市中島沖合約 5 kmの海上に建設された木更津人工島(海ほたる)をシールド工事の発進基地として，セグメント外径φ13.9m，延長2,419mのトンネルをシールド外形φ14.14mの泥水式シールド工法により築造したものである．

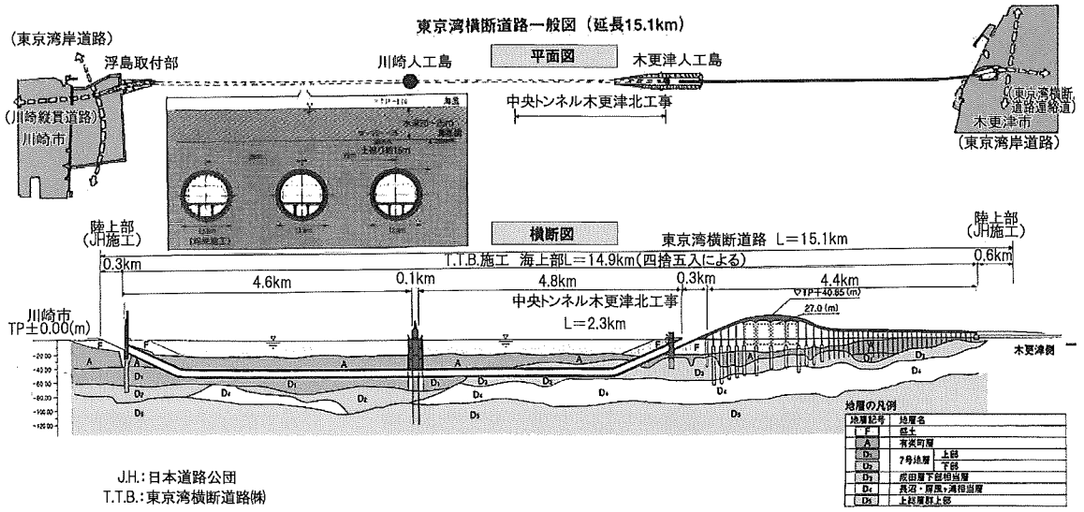
木更津人工島から900m間は 4 %下り急勾配の斜路区間となっている．そのうち470～680mが海底地盤にセメント混合処理した人工盛土地盤と，埋積谷の軟弱地盤を深層混合処理工法にて改良された地盤であり，それ以降は自然地盤の沖積粘性土と洪積粘性土，砂層の互層が出現する土層構成となっている．

人工盛土区間においては，シールド直径に対し土かぶりが0.7Dと小さく，浮力によるトンネルの浮き上がり，泥水の劣化による泥水輸送，処理設備への影響など，シールドを施工するうえで厳しい条件となっていた．

本工事はとくに大断面であることからすべてが高所作業となり，取扱う資機材が大重量物となるため，セグメント組立てを始め，各工種について自動化を図った．

また本工事の特徴は，今まで経験してきたシールド工事と違い海上工事であったことである．本工事では，橋梁により陸地とつながるまでは人員，資機材はすべて海上輸送に頼らざるを得ず，荒天になると輸送がストップし，直接作業に影響するため，気象情報を確認，解析し，出港の可否を判断することも管理項目の一つであった．

シールドは兵庫県の播磨にある工場で製作されたあと，大きく 2 分割して台船に積み，約700kmの距離を人工島まで海上輸送した．輸送中は事務所内に曳航管理室を設置し，24時間体制で逐一船団の位置，状況，気象情報を確認し，連絡を取り合った．途中荒天に遭遇し避難する事態が生じ，避難先を決めていたとは言え，一瞬緊張したが，大きなトラブルもなく 2 昼夜ほどかけ，無事，東京湾に到着することができた．海上工事では輸送や荒天による作業ができな



J.H.：日本道路公団
T.T.B.：東京湾横断道路㈱

東京湾アクアライントンネル平面・縦断図

いといったリスクはあるが，シールドのほか，大型で大分割，大重量の各種設備などを大型クレーン船にて短期間で設置・組立てができるのは，海上工事のメリットでもある．

いよいよ掘進を開始しようとする日に低気圧の思わぬ発達により海上が荒れ，交通船が航行できなくなるという事態が生じた．結果，夜間作業の人員と交代ができなくなり，私を含め昼間作業に従事していた全員がそのまま夜間作業をする羽目となり，貯蔵していた非常食を食べて引き続き夜間作業を行うという海上工事であったがゆえの体験をした．

斜路区間で深層混合処理土を掘進中，現場からシールドに異音が発生しているとの連絡を受け，急ぎ現場に行ったところ，シールドのカッタ回転軸からの異音のようであった．メーカーを呼んで調査した結果，センターカッタのベアリングが破損し，シャフト部が後退して生じたものであった．原因は船舶などから落下した鉄片や錨鎖などが処理土に混じっており，短期的に想定以上の圧力がセンターカッタ部に集中し，ベアリングの一部が損傷し，気がつかず掘進を続けたことによりベアリング全体が損傷したものと思われた．損傷部を補修するためチャンバ内に限定した部分圧気(0.2MPa未満)をかけて作業を行い，この修復に約1か月を要した．

とくに苦労したことは残土の処理である．海上輸送時は荒天になると土運船が航行できなくなるため，風向きによって反対側に土運船を係留して残土を積み，そのほか，島内に土砂の仮置き場所を探して対応した．

橋梁が通行可能になったのち，掘削土砂は木更津市金田地区に設置される料金所の盛土に有効活用されることになっていたが，受け入れ条件が厳しく，一次処理土は含水比30％以下に設定されていた．そのため，毎日，含水比試験を実施し，含水比の値を確認後，運搬していたが，受け入れ側で水分が多いと判断され返されることも多々あった．

そこで振動篩機の篩の傾斜を調整するなど，処理土を少しでも長く篩の上に滞留させて水分を除去するよう改善し，またストックヤードのコンクリート面に溝を作り，その上に排水用のマットを敷き，処理土の排水を心がけ含水比の低減に努めた．しかし降雨時および荒天時の越波で基準を満たせないこともあり，なかなか思いどおりの運搬ができなかった．

応急措置として堆積した土砂をバックホウでかき揚げ，天日乾燥による水分の除去を図り，多少なりともストック量を確保することで，掘進工程に影響が出ないように調整を図った．二次処理土は改質したことで問題はなかった．

掘進中は，φ14mという5階建てのビルに相当する掘削断面であることから，セグメント組立て(90～110分)の間に，チャンバ内で土砂が沈降し，掘削開始時に排泥管の閉塞が懸念されたので，掘進完了後，通常の時間より長目に泥水を循環させ，管内およびチャンバ内を新しい泥水に置き換えることに努めた．さらに掘進開始時には数分間チャンバ内循環をさせて掘進を行うなど，通常のシールド工事では考えられなかったことを経験した工事でもあった．

工事期間中は日ごろの家族への苦労に感謝するとともに，親子兄弟がどのような仕事をしているかを理解し協力してもらうため，毎年1回現場見学会を開催し，近くの海岸で，潮干狩りや焼き肉パーティーなどを実施した．

営業線下・小土かぶり下の施工

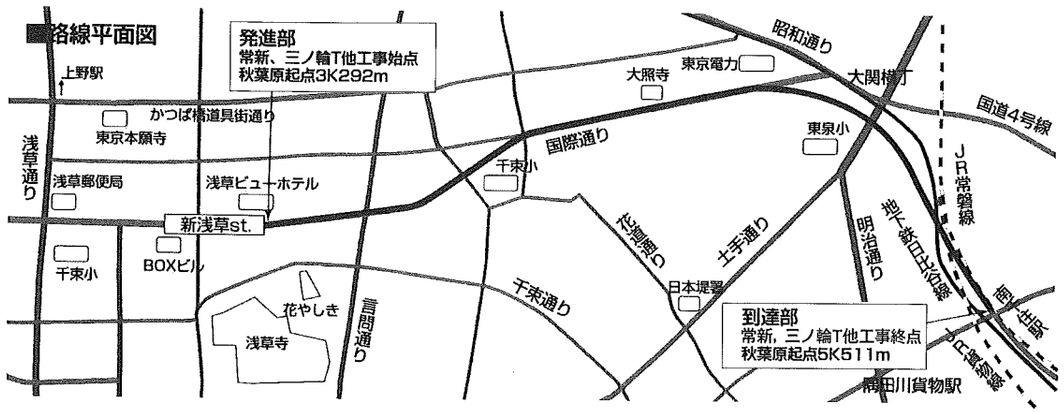
当工事は秋葉原を起点とし，つくばに至る58.3kmの鉄道のうち，浅草から南千住までの2,219mをセグメント外径φ10mの複線断面のトンネルを泥水式シールド工法にて築造したものである．当工事のセグメントは当初高剛性の継手であったが，VE提案でコッター・クイックジョイント継手に変更し採用された．当継手は大断面では初めて使用されたものである．

発進基地である浅草駅付近は，浅草寺を控えた雷門，仲見世があり，春は三社祭り，夏はサンバカーニバルなどのイベントが開催され，観光客や見物客で賑わう地域である．

路線は国際通り直下を通り，住宅地，東京メトロ日比谷線，JR貨物線下を斜めに横断し，かつJR常磐線下を縦断する計画となっていた．

工事終点までの上記約300m区間は3.3％の上り勾配で，土かぶりが1.0～0.4*D*の軟弱シルト地盤で，土かぶりが漸次小さくなる区間であったため，この通過に対する鉄道の変状対策に細心な施工管理が要求された．

基地となる駅部は国際通り中央



常磐新線三ノ輪トンネル路線平面図および到達部写真

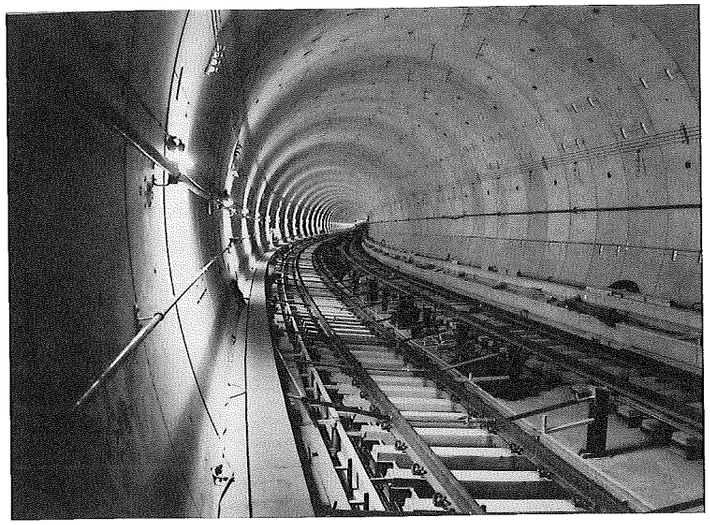
部に築造され，周辺には，処理設備を設置できる用地がなかったため，駅部の地下4階に設備を投入・設置した．

掘削された土砂は垂直コンベヤで地上に設置した土砂ホッパーまで排出することとし，その他の設備も駅構内のスペースを利用した．

土砂ホッパーに土砂をストックするため，ベルコンの音や土砂の落下音など，昼夜間の作業に騒音の発生が想定されたので，防音建屋幅＝6m，長さL＝30m，高さH＝20mで囲うこととした．しかし，沿道から日照の問題を提起されたため，設置前後について四季ごとの日照を時間ごとに比較検討し，数回の説明を経てなんとか了解を得，工事を進めることができた．また防音建屋を建てたことで，道路を隔てた反対側の飲食店およびその他の商店がわからなくなるため，商売に影響がでるとの苦情もあり，隣接工区と共同で，国際通りの両側に反対側のビルや商店を描いた看板を立て通行人にわかるようにした．

営業線下の施工に際しては，事前にFEM解析により軌道変位を予測した結果，地盤強化を行うことで，各鉄道事業者が定める軌道整備基準の管理値内での施工が可能であることがわかった．これをもとに発注者である日本鉄道建設公団((現)鉄道・運輸機構)と各鉄道事業者が協議を重ね，各鉄道事業者の設計施工により地盤改良を行うこととなった．

シールド施工中は発注者，各鉄道事業者および各JVの事務所とシールド中央管理室にモニターを設置し，シールド通過中および通過後3か月の間，24時間体制で軌道変位をトータルステーションで自動計測を行い，監視することとした．万一管理値を超えたときには警報が鳴り，ディスプレイ上に変状箇所が表示されるように設定した．また，機器に頼るだけでなく目視による軌道変状を監視し，変状が発生した場合は各鉄道事業者に依頼して軌道整備で対応することとした．



コッター・クイックジョイントセグメント組立て状況写真

シールドの掘進は国際通り直下を通過したあと，密集した住宅地や各鉄道交差箇所に入る前に，約100mのトライアル区間を設定して，計画した掘進管理値が適正であるか否かの確認をするため層別沈下計および傾斜計を設置し，シールド通過時の地盤の挙動を調査し，泥水圧，裏込め注入圧，掘進速度などの管理値を検証した．

計画した泥水圧＝自然水位＋20kPaではシールド通過時15㎜の地表面の沈下が見られ，通過中沈下が増大したため泥水圧を＋35kPaに順次上げた．その結果，シールド通過時に1m直上の沈下計は5.4㎜沈下し，裏込め注入で3.7㎜隆起したが，それ以外の沈下計は通過時の顕著な変位は見られず，地表面沈下は0㎜，後続沈下量も最大7㎜で収まった．

以上から，設定泥水圧を自然水位＋35kPaに修正し，掘進速度25㎜/分，裏込め注入圧を泥水圧＋150kPaにて営業線下の掘進を行った．

営業線下掘進時は重大事故の未然防止を図るため，掘進時間は朝夕のラッシュ時の時間帯を避けて行った．また土かぶりが漸次小さくなるので，泥水圧を10リング(15m)ごとに5kPaずつ低減しながら掘進した．

掘進期間中は，変状を各鉄道事業者の一次管理値である警戒値以内で収めることができたが，シールド通過後警戒値を超えそうになった時点で，3～5回，軌道整備を実施した結果，列車運行に支障を与えるような事態に陥ることなく到達することができた．

これは日本鉄道建設公団はじめ各鉄道事業者の協力を得て，お互い情報を共有した情報化施工の成果と言える．

台湾高雄地下鉄工事

台湾高雄市政府から委託された第3セクターの高雄地下鉄(株)から発注された工事で，駅部の土木・建築工事，トンネル，各種設備および軌道一式を請け負った工事である．

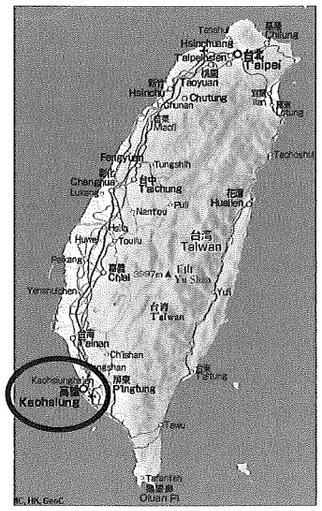
当時，高雄市の公共交通機関はバスしかなく，市民の足はもっぱらバイク・タクシーであった．これらの代替として，大量輸送の充実と排気ガスによる大気汚染の抑制，街並みの整備などの環境整備を目的に，鉄道網が建設されることになった．

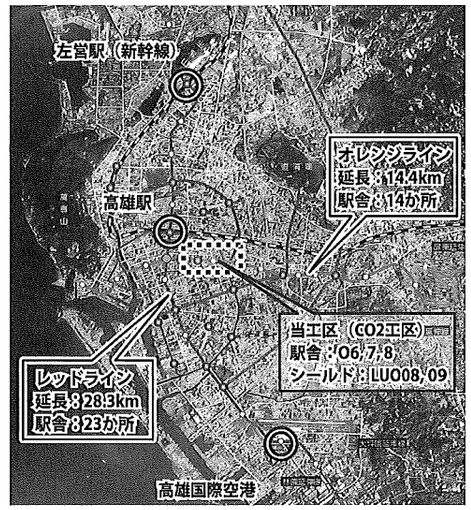
路線は南北レッドライン(紅線)28.3kmおよび東西オレンジライン(橘線)14.4kmの2路線で，そのうち，当工事CO2工事は後者の橘線の約2kmに駅3か所(O6～O8)とその間を泥土圧式シールド工法によりシールド外径φ6.3m，セグメント外径φ6.0mのトンネルをLuo08(O6～O7駅間)はL＝427m，Luo09(O7～O8駅間)はL＝852mを到達立坑で各々Uターンさせ，併設トンネルを築造した．

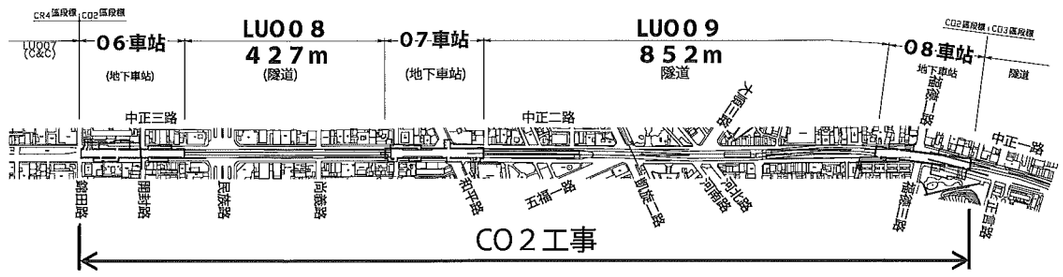
掘削対象の地質は，砂漠の砂に似て成田砂層より均等係数が小さく，水を含むと流動性が高く崩壊性の高い土質であった．砂と言っても日本の砂と違い，圧密の状況が観測されるなど，日本には見られない土質性状であった．

ここでは特異な土質性状であったがゆえの失敗事例について述べてみたいと思う．

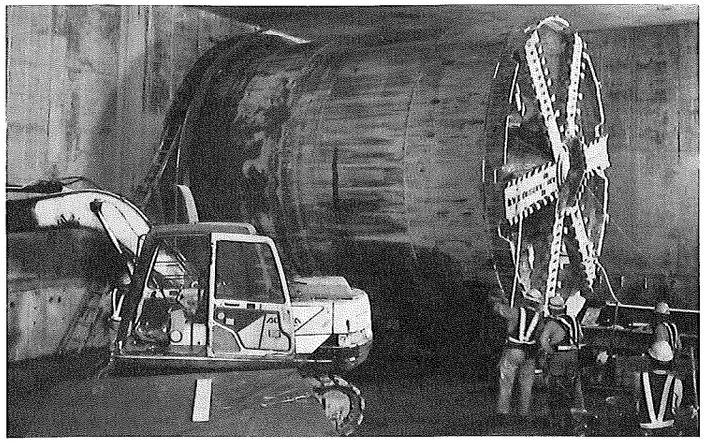
Luo08においてO6より掘進してきた下り線のシールドをO7駅部の到達立坑でUターンさせたのち，上り線の初期掘進を開始した．初期掘進完了後，坑口処理をするた







路線平面図



Luo09(O7－O8駅間)Uターンのためのシールド引抜き状況

め注入をした際，エントランスパッキンとセグメント間に裏込め材のかけらが挟まり，そのわずかな隙間が水道(みずみち)を形成し，水と土砂，というより泥水が流出してきた．

ウェスなどで流出箇所を塞ぐとともにOH注入するが，流出速度が速いため固化するまえに薬剤が流れ込み，流出を食い止めることができなかった．その間にも泥水が立坑内に流れ込んできたため，裏込め注入用LWのゲルタイムを短くし，流出している近傍のセグメントのグラウトホールから注入し続けなんとか食い止めることができた．しかしその間にもさらに泥水が流出していたため，後日，空洞調査を行い，空洞が認められなかったのでひと安心した記憶がある．

おわりに

都市トンネルの施工は，沿道住民および周辺地域に対する配慮が必要であり，対応によっては工事にも影響することが多々ある．とくに振動・騒音については，まずはそれらが少ない機器を選定して使用することが肝要である．

とくに閑静な地域では夜間シールドが発する音や振動が，地中を伝搬し住民に不快感を与え，掘進時間帯の変更を余儀なくされることもあれば，社会問題にもつながるおそれもある．したがって，都市部では工事に対する住民の理解と協力が不可欠であり，住民の声を十分聞きながら対応していくことが重要と考える．

シールドの掘進管理手法は大きくは変わらないと思うが，地盤条件，環境条件などにより工事に対する課題は異なってくる．そのため，計画段階からしっかりと課題を整理・解決し，工事を進めていくことが重要と考える．しかし，施工中は計画では考えられなかったことにも遭遇することがあるので，そのつど十分に検討し，かつ改善・改良を加えていくことが大事である．

本稿では述べなかったが，ある現場で危うく陥没事故につながるようなアクシデントがあった．

掘進完了時点でモニタの画面を見ていたところ，ベルトコンベヤに排出されてくる土砂がいっこうに減らないため，即設備の運転を停止させ，現場に行った．土砂ホッパーの土量を確認したところ，所定の土量より過大に取り込んでいることがわかった．

地山を呼びこみ，緩ませた可能性が考えられたため，急遽，注入業者を手配し探査ボーリングを実施すると，シールド切羽前面２～３mまで地山が緩んでいることがわかり，充塡注入させたことがある．これは中央管理室にいた担当者が疑問を抱かず，計器を過信しすぎたことにあったと考える．

今後シールド工事は泥水式，泥土圧式シールド工法を主体とした施工法として発展していくと思うが，計器・データを過信せず，改めて自分の目で現場を確認することを心がけていただきたい．また近年，補助工法として採用されなくなった圧気工法は，地下水対策として有効な工法であり今後とも忘れてはならない工法であろう．

最後に，これまでご指導いただいた発注者，先輩，現場でともに苦労をした同僚の皆さんに心より感謝を申し上げます．

施工

軟弱粘性土層におけるφ3.9mのシールドをR10mで施工

—横浜市下水道　大岡川右岸雨水幹線—

横浜市環境創造局下水道管路部管路整備課長　脇本　景
横浜市環境創造局下水道管路部管路整備課担当係長　伊熊信男
鹿島・五洋・松尾建設共同企業体監理技術者　辻　裕幸
鹿島・五洋・松尾建設共同企業体担当技術者　柴田岳彦

1　はじめに

横浜市では，市の中心部を流れる大岡川の中流域である南区内の浸水対策および合流式下水道の改善のため，老朽化した管きょの更新事業に合わせて雨水排除能力の増強や汚水遮集量の増加を図っている．

大岡川右岸雨水幹線は，この浸水対策の一環として大雨時に既存施設の排水能力を超える量の雨水を取り込む貯留管を築造するものであり，当流域の地盤の低い地域の雨水を貯留することにより目標整備水準を５年確率降雨(おおむね50㎜/h)から10年確率降雨(おおむね60㎜/h)に向上させ，当該地域における浸水被害の軽減を図ることを目的としている．

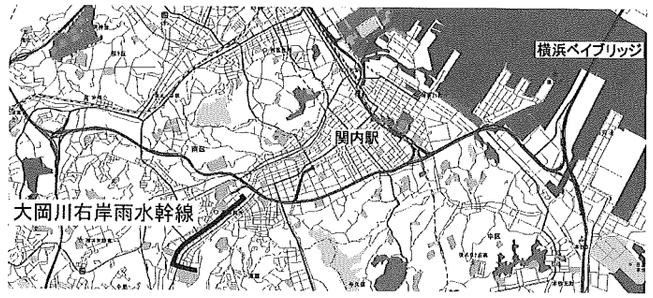


図-1　幹線位置図

2　工事概要

2-1　全体工事概要

工事件名：南部処理区大岡川右岸雨水幹線下水道整備工事
発注者：横浜市環境創造局
施工者：鹿島・五洋・松尾建設共同企業体
工事場所：横浜市南区宿町１丁目23番地先～大岡１丁目13番地先
工　　期：平成21年２月13日～平成23年３月30日

2-2　主要工事内容

シールド工(泥土圧式シールド工法)
施工延長：1,945.3m
土かぶり：17.0～18.7m
曲線半径：R＝10，30，200m
縦断勾配：上り1.0～5.57‰
セグメント種類
標準部およびR＝200部：RCセグメント(幅1,000㎜，外径3,750㎜，桁高250㎜)

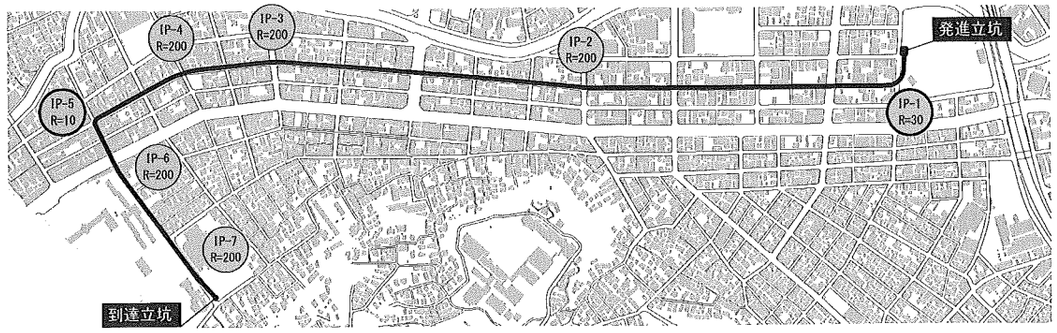


図-2　路線平面図

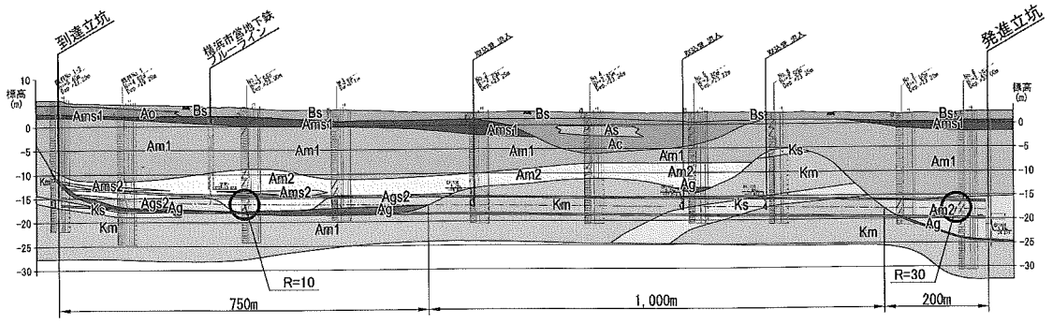


図-3　推定地質縦断図

R =30部：鋼製セグメント(幅300㎜，外径3,750㎜，桁高175㎜)

R =10部：袋付き鋼製セグメント(幅300㎜，外径3,680㎜，桁高145㎜)

流 入 部：補強付き鋼製セグメント(幅1,000㎜，外径3,750㎜，桁高175㎜)

表-1　土層構成

地質年代		地層名	主な地層名	記号	N値
現世		埋土	礫混じり粘性土 粘性土	Bs	0.6～3.4
完新世	沖積層	第一粘性土層	粘土 砂質粘土 有機質シルト	Ac	0.9～2.5
		第二粘性土層	砂質シルト 砂質粘土 シルト 砂混じりシルト	Ac	1～5
		沖積砂質土層	礫混じり細砂 シルト質細砂	As	5～6
		有楽町層 上部砂質粘性土層	砂質シルト 砂質粘土 シルト質細砂 シルト	Ams1	0.5～3
		有楽町層 上部粘性土層	砂混じりシルト シルト 砂質シルト シルト質粘土	Am1	0～6
		有楽町層 下部粘性土層	砂混じりシルト 粘土質シルト 砂質シルト シルト質粘土	Am2	0～13.5
		有楽町層 下部砂質粘性土層	礫混じり細砂	Ams1 (Ags1)	10.5
		有楽町層 下部礫混じり砂質土層	細砂 シルト質細砂	Ags2	8～10.5
		基底礫層	砂礫 礫混じり砂	Ag	4～30
前期更新世～鮮新世	上総層群	上星川層 中里層	微細砂	Ks	27～187.5
			泥岩	Km	21～187.5

2-3　地盤条件

表-1および**図-3**に土層構成および地質縦断図を示す．本工事の施工場所は，大岡川流域に発達する沖積低地(大岡川低地)に位置し，GL－5～18m付近まで軟弱な沖積粘性土層が厚く分布している．それ以深はN>50の上総層群の泥岩(土丹)層となっており，泥岩層上部には礫質土層が薄く堆積している．

シールド掘進土層は，発進坑口から約200mがN値１～３と非常に軟弱な沖積粘性土層，その後約1,000mが泥岩層となり，後半の約750mは再び軟弱粘性土層という構成となっている．本稿で報告する急曲線施工箇所は発進坑口から1,500m付近の軟弱な粘性土層(Am2)である．

3　施　工　計　画

シールド工法の急曲線施工において懸念すべき事項として，曲線線形の逸脱防止と余掘りによる周辺地盤の沈下対策が挙げられる．

急曲線施工を実施する際，対象土層によっては曲線方向へシールドを屈曲させるための反力を確保する目的や，曲線施工に必要なシールド外周の余掘り部の崩壊防止を目的とした補助工法が必要となる．補助工法としては地上から地盤改良が採用されることが一般的であるが，主要都市部においては，実施工における道路交通状況や近隣建物，地下埋設物などの施工環境により，地上からの補助工法の施工に制約を受けることが多く，本工事においても狭隘な交差点直下というきわめて困難な施工環境であったため，すべて坑内から実施できる補助工法を計画した．

曲線線形の確保と余掘り量低減，および余掘り部の崩壊防止対策として講じた事項を以下に示す．

3-1　シールド仕様

急曲線施工の場合，線形確保のため曲線内側の余掘り量はシールド機長に比例して大きくなり，

表-2　シールドの主な仕様

シールド寸法	掘削外径：φ3,940㎜ シールド外径：φ3,900㎜ 機　　長：5,800㎜
テールブラシ	2段(後段ウレコンシール) テールグリス自動注入
シールドジャッキ	1,127kN×1,150㎜st×32.3MPa×12本 総推力 13,524kN(1,132kN/㎡)
カッタ	1,194kNm(α=20.1，常用最大) 1.3min^{-1}，油圧駆動
中折れ装置	右5.0°，左16.3°，上下1.0°

図-4　セグメント分割図

写真-1　シールドの全景

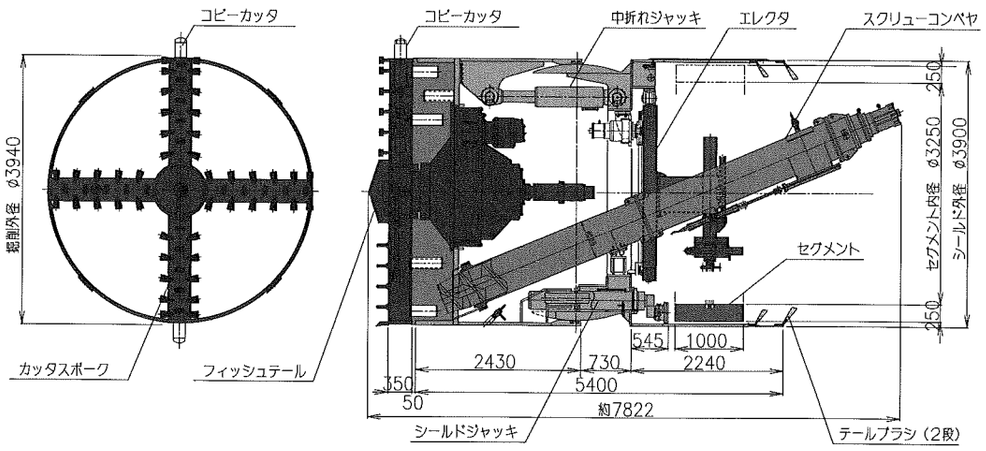


図-5　シールドの構造

余掘り量が大きくなるほど周辺地盤の変状や地表面沈下を引き起こす可能性が高くなる．そこで本工事では標準セグメント幅を1.0mとし，さらに**図-4**に示す半径方向挿入型のセグメントを採用することによりセグメント組立てスペースを狭くしてシールド機長を可能なかぎり短縮した．また，右30*R*，左10*R*の急曲線を考慮した左右非対称型の中折れ装置を装備するなど，余掘り量を極力小さく抑える仕様とした．**表-2**と**図-5**にシールドのおもな仕様と構造図を示す．

3-2　セグメント計画

3-2-1　袋付きセグメント

シールドのテールから抜けたセグメントを確実に地山に拘束させて曲線施工時の反力を得ることを目的とし，設計段階からセグメント背面に袋を折り畳み装備した「袋付きセグメント」が採用された．セグメント背面に取付けられた袋内へ注入材を充填することにより余掘り部分全周に袋が膨らみ，セグメントを地山に拘束させる構造となっている(**図-6**参照)．

3-2-2　縮径セグメント

シールド外径φ3,900㎜に対し，曲線半径10mの急曲線施工の場合，直線部と同径のセグメントではテールクリアランスが不足して施工が不可能となるため，当該区間については標準のセグメント外径φ3,750㎜(桁高175㎜)に対し，φ3,680㎜(桁高145㎜)の縮径セグメントが採用された．

3-2-3　高剛性セグメント

急曲線施工の対象土層は*N*値３以下で鋭敏比も大きい沖積粘性土層であることから，袋付きセグメントだけでは曲線施工時に生じる推力の偏心に対して地山自体の拘束力が不十分となることが懸念された．そのため，標準仕様の鋼製セグメント主桁厚14㎜に対して板厚19㎜にサイズアップするとともに，曲線内側のリング間接続ボルトを倍にすることによりセグメント全体の剛性を高め，シールド後方の拘束力向上を図る計画とした．

3-2-4　セグメント割付け

当初設計ではオールテーパで３リングに１か所の袋付きセグメントで計画されていた．曲線半径10mに対応する鋼製セグメントの場合，テーパ量が大きく，構造上テーパセグメントの背面に袋を装着することができないため，セグメント割付けを見直し，袋付きセグメントとテーパセグメント(テーパ量120㎜)の割付けを１：６とした．また，急曲線を施工する際，曲線出入口部においてシールドの姿勢と組立てが完了したセグメントとの方向ずれが生じ，テールクリアランスが不足することが懸念される．十分なテールクリアランスが確保できない場合，セグメントとシールドにせりが生じ，せりによってシールド推力が増大すると同時に，トンネル縦断方向断面力によってRCセグメントの割れ・欠けといったトラブルを生じさせることとなる．本工事ではそれらの懸念に対し，テールクリアランスが上下左右均一になるようシールドとセグメントの相関位置を整えることを目的

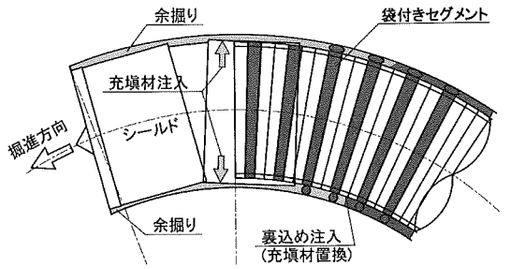


図-6　袋付きセグメント概略図

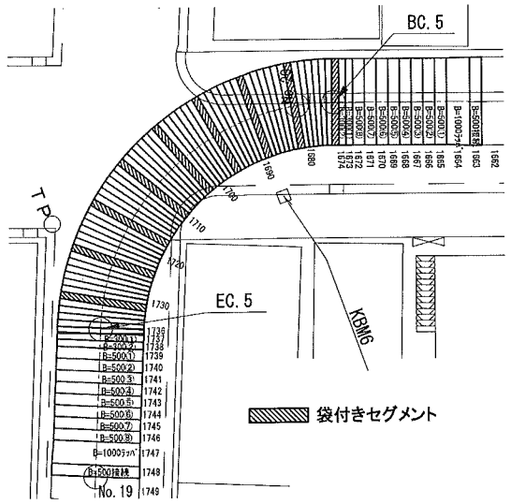


図-7　*R*＝10部セグメント割付け図

表-3　裏込め注入材の配合

材料名	単位	標準配合	*R*＝10配合
固化材	kg	230	280
助　材	kg	30	29
安定剤	kg	2.3	2.8
水	L	846	794
急結材	L	65	100

表-4　裏込め注入材の初期強度

項　目	単位	標準配合	*R*＝10配合
１時間強度	N/㎟	0.028	0.087

とし，曲線出入口部の１機長分の区間を鋼製セグメントに替えることにより不具合を回避する計画とした．

3-3　裏込め計画

3-3-1　裏込め注入材の配合

シールド掘進時の推力の偏心によりシールド後方のセグメントが動いてしまうと所定の曲線線形を確保できなくなるため，できるだけ早期にセグメントを地山に固定させるよう，曲線部における裏込め注入材の配合を初期強度の高い配合に変更し，袋付きセグメント部への注入も同配合の材料を注入する計画とした(**表-3, 4**参照)．

4　施工時の課題と対策

4-1　袋付きセグメントへの注入時期

曲線シミュレーションの結果，袋付きセグメントがシールドのテールから抜けるタイミングが曲線内側と外側で異なり，曲線外側がテールから抜けた時点では内側はまだシールド内にあり，袋への注入は，曲線内側で袋付きセグメントがテールから抜けたときに初めて可能となることが判明した(**図-8**参照)．

袋への注入が可能となる時点で曲線外側ではすでに３リング前方のセグメントがテールから抜けている状態になり，シールドのテールから袋までの３リング，約１mの区間をシールド後胴から打込んだ中間充填材によりテールボイド部を保持することになる．とくに本工事においては縮径セグメントを採用しているため，直線区間よりもテールボイド量が大きく，地表面沈下を引き起こしかねない状況であった．

そこで曲線内側の余掘り部およびテールボイド部の地山崩壊防止のため，中間充填材として余掘り部の安定性が高い「クレーショック」を併用することとした．クレーショック工法とは，主材である高濃度の加泥材と，塑強調整材であるB液の

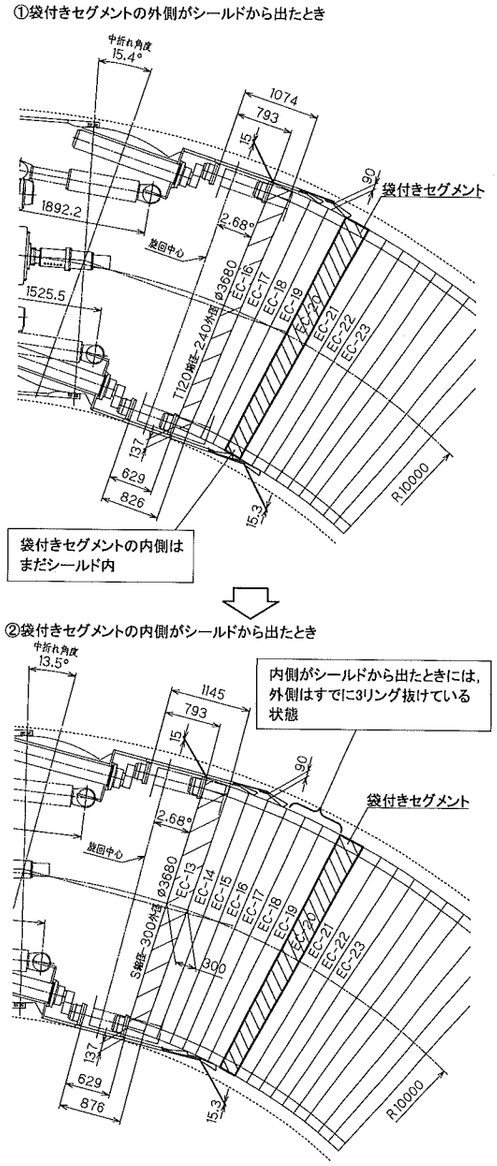


図-8　*R*＝10曲線施工シミュレーション

2液を別々の配管を用いて圧送し，注入口直前で2液を所定の混合比で混合して，高粘性な塑性流動化ゲルに変化させて空隙部を充填する工法である．主に余掘り部の崩壊に伴う地盤沈下による地上周辺建物への影響回避のため，余掘り部の先行充填対策として使用される．

曲線施工中は余掘り量に相当する量以上のクレーショックを掘進中同時に注入することにより，余掘り部の確保と崩壊を防止する．なお，注入したクレーショック材は塑性流動性があり固化しないので，掘進に伴って行う裏込め注入によりシールド前方に押し出されて完全に置換され，地盤改良と同等の効果が期待できる．

4-2　曲線内側のセグメント目開き

急曲線掘進時は曲線外側のジャッキ反力が増大するため，曲線内側に引張力が生じ，セグメントのリング間接合部が目開きすることが懸念される．過去の急曲線施工事例でも同様な事象が報告されていることから，目開き対策としてリング間をブルマンで拘束する計画とした．

5　施　工　実　績

5-1　掘進実績

急曲線部の施工は日進6R(昼夜片番3R)，所要日数14日で計画していたが，実施工では曲線線形の逸脱や推力上昇，余掘りによる地表面沈下などのトラブルもなく順調に推移し，所要日数11日(日平均7.7R)で曲線施工を終えた．

5-2　一次覆工品質

縮径セグメントから標準径に戻すために設置したラッパ型セグメントを通過する際，テールとセグメントとの間に過大な摩擦力による推力上昇に起因して，ラッパ型セグメントに若干の変形が見られた．しかし，曲線区間施工時の推力は安定し，高剛性セグメントの採用やリング間の増しボルト締結，ブルマンによるセグメントの目開き防止対策の効果もあり，曲線部におけるセグメントの変形や破損，漏水なども見られなかった．

5-3　線形出来形

施工前に実施した曲線シミュレーションに従い，

表-5　掘進実績

項目	急曲線区間(85R)	
	進　捗	施工日数
計画	6R/日(昼夜)	14日
実績	7.7R/日(昼夜)	11日

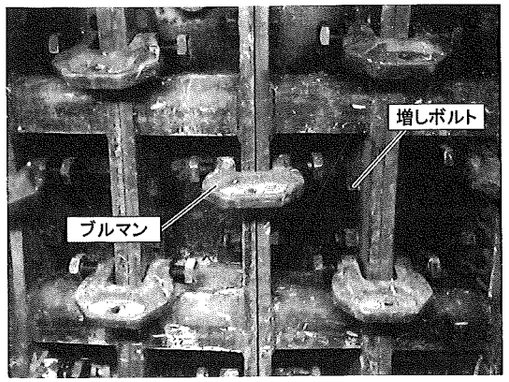


写真-2　目開き防止対策

1リングごとの余掘り量(コピーカッタのストローク)やジャッキストローク長，ジャイロ方向角，中折れ角度を設定し，またセグメント組立て完了後の測量およびテールクリアランスの確認を毎リング実施するなど，常に線形逸脱のないことを確認しながら掘進を行った．その結果，一次覆工管理値内(±50㎜)を超過することなく曲線部を通過した(図-9参照)．

5-4　クレーショック注入

クレーショック注入は計画余掘り量の120%注入とし，注入圧は地表面に影響が出ないよう，裏込め注入圧(0.2～0.4MPa)と同等の注入圧とした．計画注入量と実績注入量との比較を表-6に示す．

5-5　不具合事例

本工事では急曲線施工時の余掘りによる地表面沈下の防止を最優先として施工を行った．前述のとおり袋付きセグメントの曲線内側がシールドから抜け出たときにはすでに外側は3リング前方までテールから抜け出ている状況にあるため，地表面沈下防止のために余掘り部およびテールクリア部へのクレーショック材注入および裏込め材の即時注入を実施した．その結果，袋付きセグメントより手前で注入していた裏込め材が袋付きセグメントの背面に回り，十分に袋を膨らませることができなかった．袋付きセグメントとしての効果を発揮させることができなかったものの，袋内に注入する予定の裏込め材を別の注入孔から注入することによりセグメントを地山に固定し，セグメント後部が動くことなく曲線施工を完了した．

急曲線施工における袋付きセグメントの採用にあたっては，その効果を最大限に発揮させるために，曲率半径やシールド機長，セグメントの割付け，テーパセグメントのテーパ量などの諸条件を十分に検討する必要がある．

6　お　わ　り　に

本シールドは平成22年2月に発進し，地中障害物により約1年の地中待機期間があったものの，再発進時のトラブルもなく，また地下鉄構造物直下の施工においてもほとんど影響を与えることなく通過し，平成23年3月に無事到達した．

シールド到達後は坑内の二次覆工および仕上げ工事を進め，平成25年4月で坑内作業をすべて完了している．

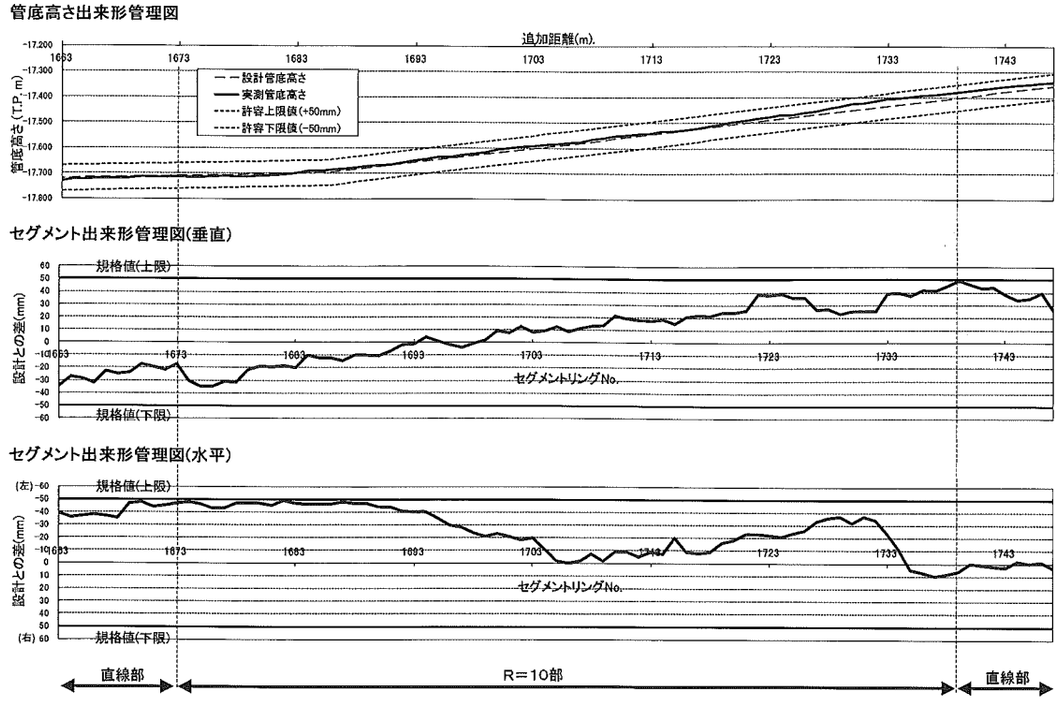


図-9　一次覆工出来形管理図

表-6　クレーショック注入実績

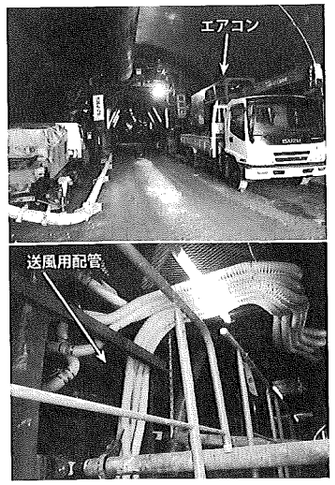
	注入量(L)	余掘り量に対する割合
計画	20,093	120%
実績	20,790	124%



写真-3　急曲線部施工完了

工法・技術・製品ニュース

工法　覆工コンクリートの高品質化　セントル養生システム



(株)鴻池組
URL　http://www.konoike.co.jp/

鴻池組は，覆工コンクリートをセントル養生期間中に冷却・加温することで品質・耐久性向上を図る「春秋コンクリート-セントル養生システム」を，初適用した．

春秋コンクリートは，覆工コンクリートの打込み時と打込み後を，ひび割れの発生しない適度な温度，すなわち春・秋期の温度環境下に維持して施工する．この適用にあたり，コンクリートの品質向上が強く求められているトンネル覆工に焦点をあて，岐阜工業および流機エンジニアリングと共同で専用のセントル養生システムを考案・実証した．

システムは，エアコンで調整した空気(夏期冷却時：10～15℃，冬期加温時：30～40℃)をセントルに設置した送風用配管に通風して，セントル・スキンプレート表面を冷却・加温するとともに，コンクリート打設空間内にも同じ空気を送気して空間内の温度を調整する．

同社技術研究所で行った室内試験では，コンクリートの材齢91日における圧縮強度が約30%向上することを検証した．この結果をふまえて適用されたトンネル現場では，夏期に冷却施工を，冬期に加温施工を行い，コンクリートの材齢91日における圧縮強度が約10～20%向上することを確認し，ひび割れのない・美しい覆工コンクリートを構築することができたとしている．

製品　5つの特徴と高いデザイン性をもつ電動ナットランナー



Tensor ES と Power Focus 600

アトラスコプコ(株)産業機器事業部
Tel　03-3402-1911　Fax　052-932-1141
URL　http://www.atlascopco.co.jp/

アトラスコプコは，新型ナットランナー「Tenser ES」と「Power Focus 600」の販売を開始した．

同機は，次の5つの「E」をキーワードに開発され，電動ナットランナーシステムの生産性を向上させる．

①簡単であること(Easy to use)：直感的にプログラム操作が可能なディスプレイを搭載．

②経済的で効率的(Economic and Efficient)：最大16種類の作業を1本のツールに集約可能．頑丈なツールの構造はランニングコストの低減に貢献．

③エネルギーの節約(Energy Saving)：電動化することでエネルギーを最大85%削減．

④エラープルーフ(Error Proofing)：トルクトランスデューサを内蔵し，締付け精度は±7.5%を保証．

⑤エルゴノミクス(Ergonomics)：独自に開発した画期的な締付方法Turbo Tight の制御で，従来ツールと比べ大幅に反力が軽減．

製品　Caterpillar 初のハイブリッド油圧ショベルを国内導入



キャタピラージャパン(株)広報グループ
Tel　03-5717-1122
e-mail: cjl-public.cat.com

キャタピラージャパンは，ハイブリッド油圧ショベルCat 336E L H (バケット容量1.5m³，運転質量35.6t)を日本国内に導入した．

同機が採用する油圧ハイブリッドシステムは，旋回ブレーキ時のエネルギーを回収し，これを電気エネルギーではなく，油圧エネルギーとして蓄え，旋回加速時に放出するもの．エネルギーロスが少なく，効率的なシステムで，従来機(Cat336D)と比べると，同等の生産性を維持したまま，燃費効率を最大30%低減することが可能としている．

油圧ハイブリッドシステムのメンテナンスは高圧容器取扱いに関する資格などを必要とせず，容易にメンテナンスが可能となっている．

施工

繁華街における急曲線・急勾配シールド

—東京電力　南池袋公園付近管路—

東京電力(株)工務部送変電建設センター　蓮見　亮
東京電力(株)建設部土木・建築技術センター　吉本正浩
清水・大林・安藤・間・西武建設共同企業体現場代理人　太田明彦

1　はじめに

東京電力(株)では，新設される地下変電所への電源供給ならびに変電所周囲既設送電設備への連系のために，東京都の池袋地区に洞道やマンホールなどの地中送電設備の建設を実施している．

当該箇所は，日本有数の繁華街であり，都道明治通りなどの主要道路に多くの埋設物が輻輳した地域であることから，既設送電設備への連系方法は非開削工法を採用した．本工事では連系するルートごとに，内径φ3,000泥土圧式シールド，内径φ2,400泥土圧式推進，内径φ1,000泥濃式推進を採用し，施工を実施した．

本稿では，これらの工事のうちφ3,000泥土圧式シールドについて報告する(図-1)．



図-1　工事概要図

2　工事概要

2-1　工事概要

工事件名：南池袋公園付近管路新設工事
工事場所：南池袋地先
工事期間：平成22年5月～平成26年10月
企業者：東京電力(株)工務部送変電建設センター
施工会社：清水・大林・安藤・間・西武建設共同企業体

2-2　工事内容

(1)　発進立坑(矩形)
土留め：SMW工法(ソイルセメント柱列式連続壁工，芯材H-600×200@600)
掘削規模：B9.8m×L27.5m
壁　　厚：0.6m(H形鋼芯材の本体利用)
深　　さ：23.6m(床付け)

(2)　到達立坑(矩形)
土留め：シートパイル(Ⅳ型)
親杭横矢板(H350，H300)
掘削規模：B7.6m×L14.4m
壁　　厚：0.45m
深　　さ：11.0m(床付け)

(3)　シールドトンネル
施工方法：泥土圧式シールド工法
内　　径：3.0m(外径3.4m)
RCセグメント：幅1,000㎜，厚さ200㎜
271リング

ST セグメント：幅300㎜，桁高125㎜
111リング
分　　割　　数：6分割
継　　手：ボルトボックス継手
（片側埋込み，リング間・セグメント間）
掘 進 距 離：300.3m
土 か ぶ り：GL－5.4～－18.0m
平面曲率半径：R＝15m，120m
縦断曲率半径：R＝200m
縦 断 勾 配：上り17%勾配

3　シールドの平面・縦断線形

3-1　シールドの平面・縦断線形

シールド平面線形は，占用が可能な道路形状に合わせた線形としたため，曲率半径R＝15mの急曲線部を含む．

シールド縦断線形は，到達立坑深さなどの工事規模の縮小および周辺道路への影響を最小限にとどめることを目的とし，他企業近接構造物の残置杭を下越し後，シールドの急勾配施工（上り17%勾配）となる線形とした．

3-2　他企業埋設物深さの探査

図-2にシールド平面線形を，**図-3**に縦断線形を示す．

図-2に示したように，当該工事のシールド平面線形は発進後，地下鉄の躯体下を通過する．そのため，施工時に地下鉄近傍で残置杭や既設埋設物に遭遇した場合，施工不能および上部構造への影響が懸念され，事前にボアホールレーダー探査および鉛直磁気探査を実施し，地下鉄躯体深さならびにH形鋼などの支障物の存在を確認した．**図-4**に埋設物探査結果を示す．

既存資料とほぼ同じ位置で，地下鉄躯体の反応がみられ，躯体底盤以深にH形鋼などの支障物は検出されなかった．したがって，地下鉄躯体底盤以深のシールド通過部にH形鋼などの支障物がないことを確認した．

図-3に示したようにシールド縦断線形は他企業近接構造物の残置杭を下越し後，急勾配施工（上り17%勾配）を実施する．

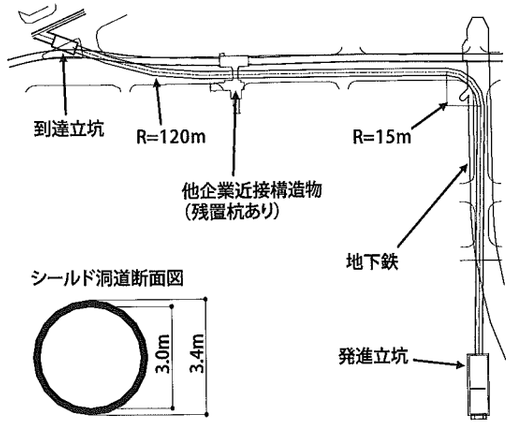


図-2　シールド平面線形

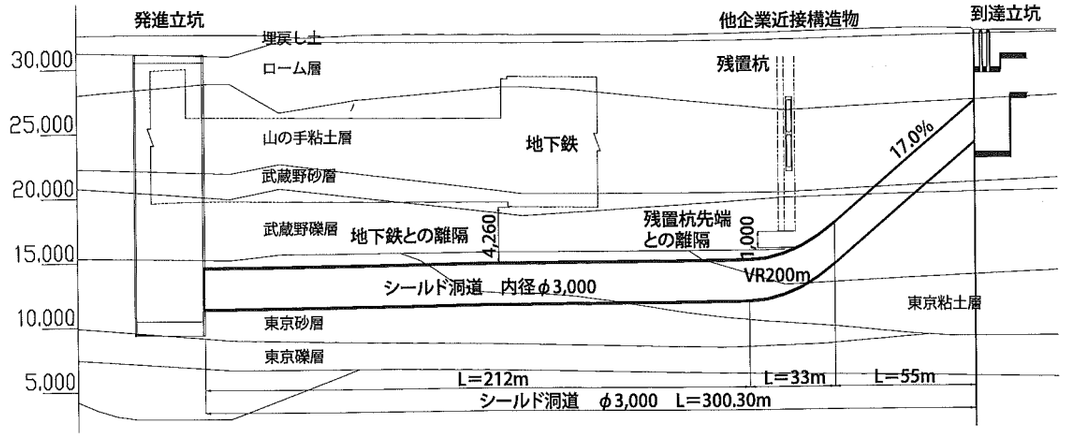
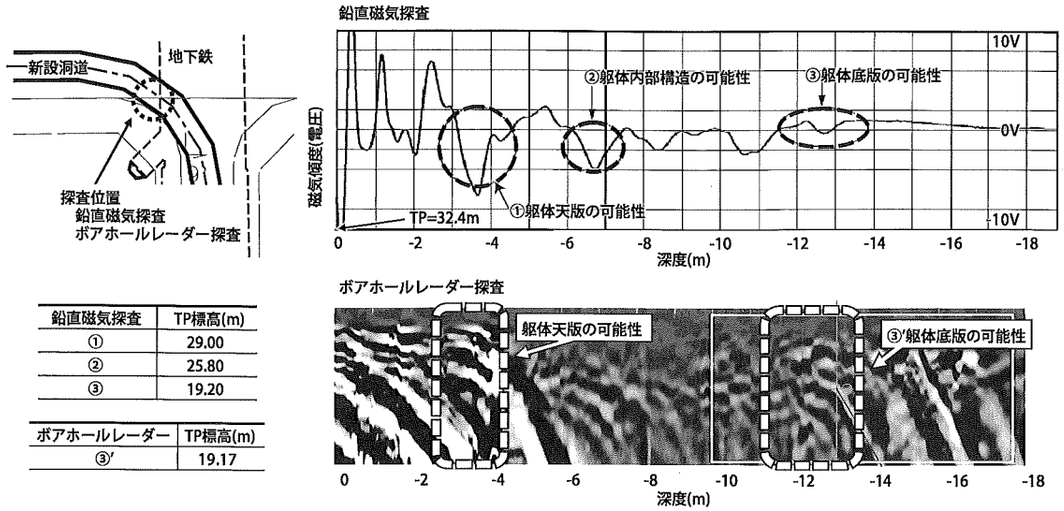


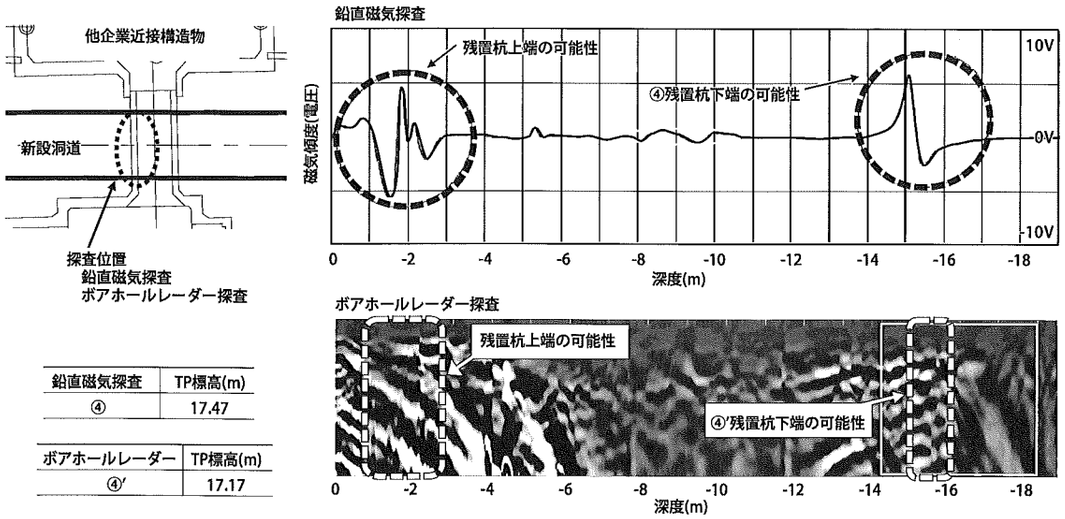
図-3　シールド縦断線形



鉛直磁気探査	TP標高(m)
①	29.00
②	25.80
③	19.20

ボアホールレーダー	TP標高(m)
③'	19.17

図-4　地下鉄近接部埋設物探査結果（鉛直磁気探査，ボアホールレーダー探査）



鉛直磁気探査	TP標高(m)
④	17.47

ボアホールレーダー	TP標高(m)
④'	17.17

図-5　残置杭近接部埋設物探査結果（鉛直磁気探査，ボアホールレーダー探査）

そのため，シールド縦断線形を決定するためには残置杭深さを正確に把握することが必要不可欠であり，本地点においても事前にボアホールレーダー探査および鉛直磁気探査を実施し，残置杭深さを確認した．**図-5**に埋設物探査結果を示す．

なお，ボアホールレーダー探査結果と鉛直磁気探査結果は，比較的よく一致しているため，安全側としてボアホールレーダー探査結果を考慮し，シールド縦断線形を決定した．

4　施　　工

4-1　発進立坑

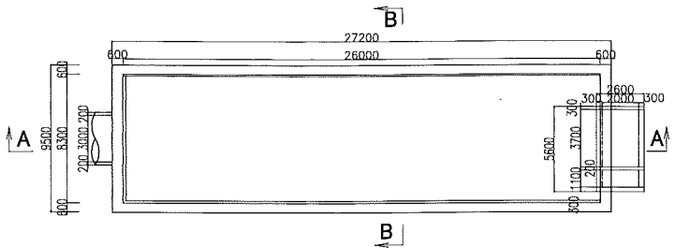
図-6に発進立坑の構造図ならびにボーリング調査結果を示す．発進立坑の床付け深さはシールドトンネルに近接する地下鉄との離隔から決定した．

4-1-1　SMW工法（H-600×200@600）

土留め壁は，掘削規模（L27.50m×B9.8m，掘削深さGL－23.6m），対象土質，地下水位（GL－



当該施工箇所



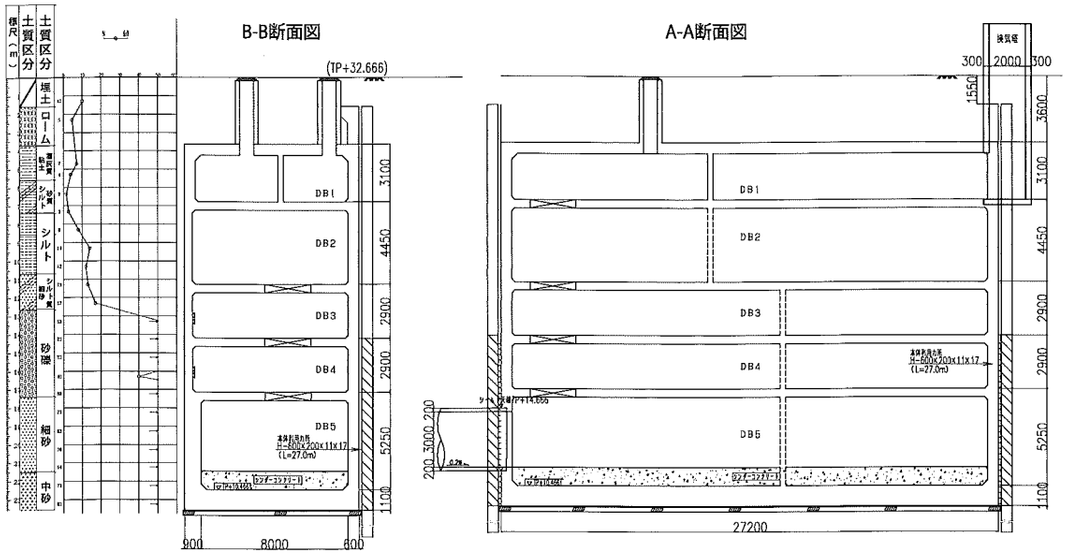


図-6　発進立坑構造図

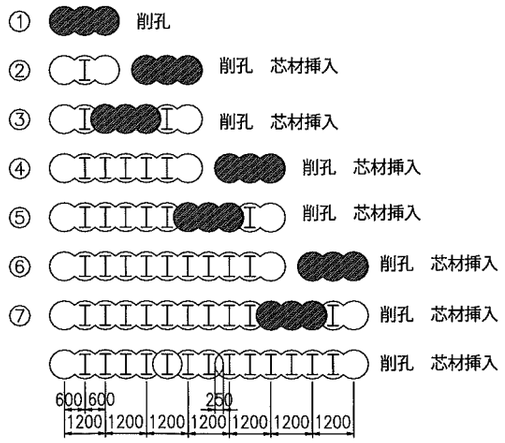


図-7　造壁順序図

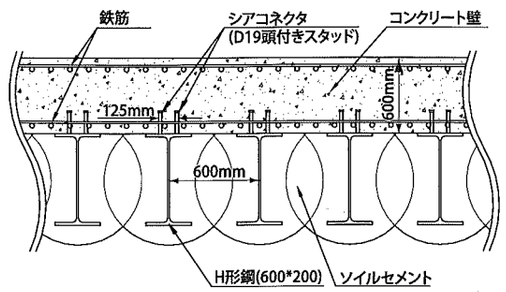


図-8　SMW本体利用部　断面図

5.0m)を考慮してSMW工法を選定した．SMWの造壁は，エレメント間の連続性および鉛直精度を確保するため，原則として各エレメントの両端部を完全にラップさせて施工を行った．ただし，入隅・出隅部については片側のみラップさせる連続エレメント造成とした．

図-7に造壁順序図を示す．鉛直精度(1/150以下)については，2方向からトランシットにて確認を行いながら施工を実施した．

また，本工事では発進立坑内の掘削土量および

土留め面積の縮小を目的に，H形鋼芯材の本体利用を採用し，構造物の合理化を図った．

断面図を**図-8**に示す．設計については，『H形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き』[1]に準拠した．

4-1-2　シールド発進防護方法(SEW工法)

本工事でシールドの発進方法について比較検討を行った結果，工期・コストの観点からSMWの芯材に人工木材(FFU材)を使用し，シールドにより土留め壁を直接切削する工法(SEW工法)を適用した．FFU材は**写真-1**に示すようにH形鋼芯材にボルトと添接板を用いて接合した(**図-9**)．



写真-1　FFU接合状況

4-2　到達立坑(シートパイル，親杭横矢板)

図-10に到達立坑の構造図ならびにボーリング調査結果を示す．到達立坑の深度は，立坑必要内空寸法，シールド到達時の土かぶり(1.5*D*以上＝5.0m以上)から決定した．

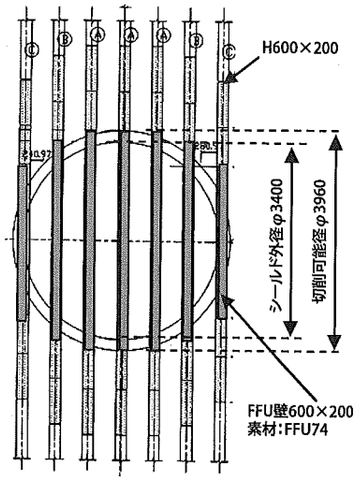


図-9　FFU配置図

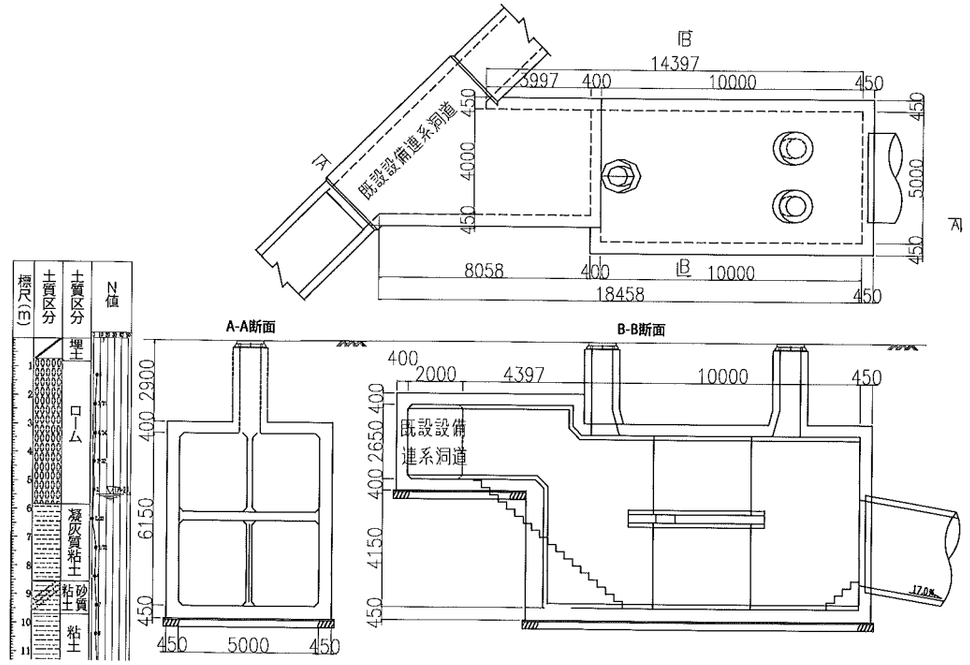


図-10　到達立坑構造図

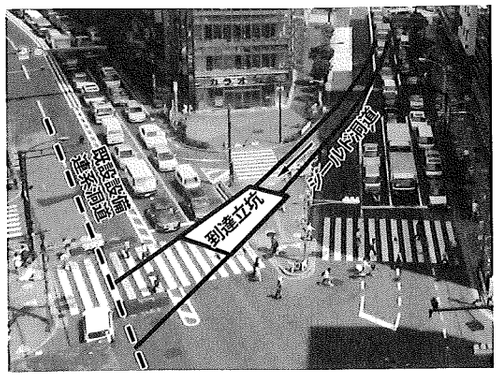


写真-2　到達立坑構築箇所

杭長は13.0～14.0mとした．事前のボーリング調査にて，土留め杭の根入れ箇所に礫層が存在していることが確認されていたため，一般的なサイレントパイラ工法での施工は不可能であった．そのため，オーガ併用シートパイル圧入(HAS)工法・親杭横矢板工法を採用した．**写真-2**に到達立坑構築箇所を示す．

4-3　シールドトンネル(泥土圧式)

4-3-1　施工条件

シールドの平面・縦断線形および地質図を図-2，3に示した．地下鉄との離隔4.2m(1.0*D*以上＝3.4m以上)および他企業近接構造物の残置杭との離隔1.0mをコントロールポイントとしたうえで，急勾配区間の上り勾配は，到達立坑の浅層化に対し1.5*D*以上(5.0m以上)の土かぶりを確保した．その他の区間については，トンネル内の排水勾配(最低0.2%)を確保する線形とした．

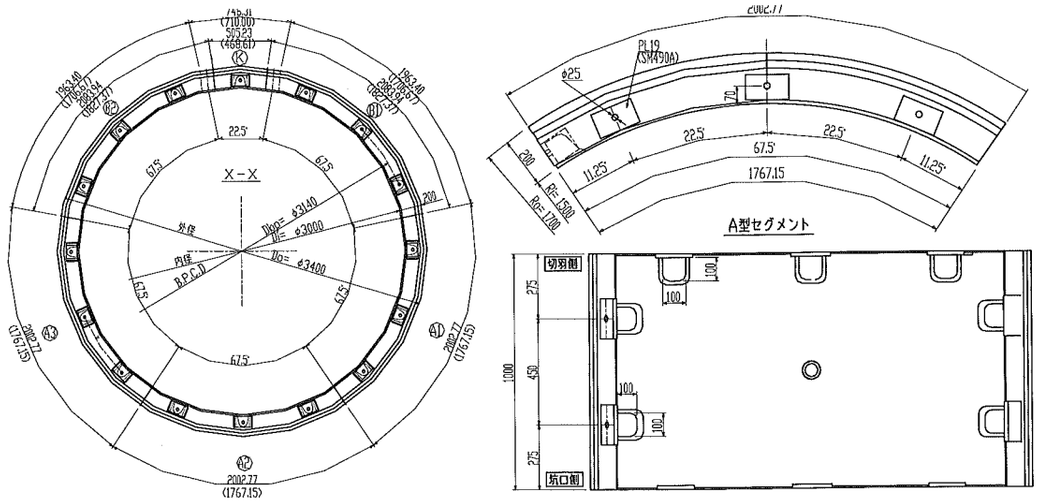


図-11　RCセグメント構造図

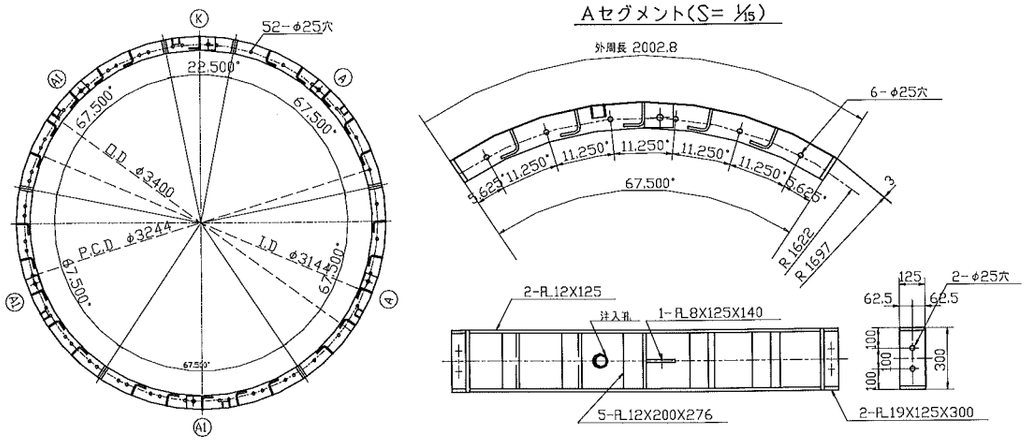


図-12　STセグメント構造図

4-3-2　RC・STセグメント

RCセグメントの構造図を**図-11**に示す．RCセグメント幅は，曲率半径*R*＝15mの箇所をセグメント台車が通過する際に，シールド後続台車とRCセグメントが接触しないことを事前に検討したうえで，セグメント幅を決定した．

STセグメントの構造図を**図-12**に示す．STセグメントは，曲率半径*R*＝15mの区間および曲率半径*R*＝15mの前後の緩衝区間(半機長＝3m)に使用した．

なお，リング間，セグメント間のボルトは止水性，目開き防止を考慮し，標準の2倍の本数を配置した．また，急曲線施工(曲率半径*R*＝15m)時にSTセグメントとジャッキの偏心量を計測し，安全性の確認・設計の妥当性も確認した[2]．

4-3-3　急曲線施工(曲率半径*R*＝15m)

急曲線部における掘進については事前にカーブシミュレーションを実施し，つぎの施工上の課題を抽出したうえで対策を施し，施工を実施した．

(1)　テールクリアランスの確保対策

図-13に急曲線部におけるカーブシミュレーションを示す．カーブシミュレーションを実施した結果，カーブ外側のテールクリアランスは約10㎜確保できる結果が得られた．シミュレーション結果を踏まえたうえで，本工事ではシールドとセグメントが競る可能性をより低減させるため，さらなるテールクリアランス確保を目的として，セグメントの組立てをエレクタの正規位置よりもさらに300㎜後方で実施した(**図-14, 写真-3**)．後方組立てを行った結果，順調に施工を進めることができた．

(2)　セグメントの目開き対策

図-15に急曲線部施工時の目開き発生概念図を示す．

セグメントに目開きが発生した場合，シールドの掘進管理，線形精度，止水性に影響を及ぼすことが想定される．そこで，本工事では目開きを防止するために，STセグメント間のボルトを標準の2倍の本数にし，締付け金具を設置した(**写真-4**)．

締付け金具を設置した結果，ジャッキ推力の偏荷重による目開きは最大でも3㎜程度であった．

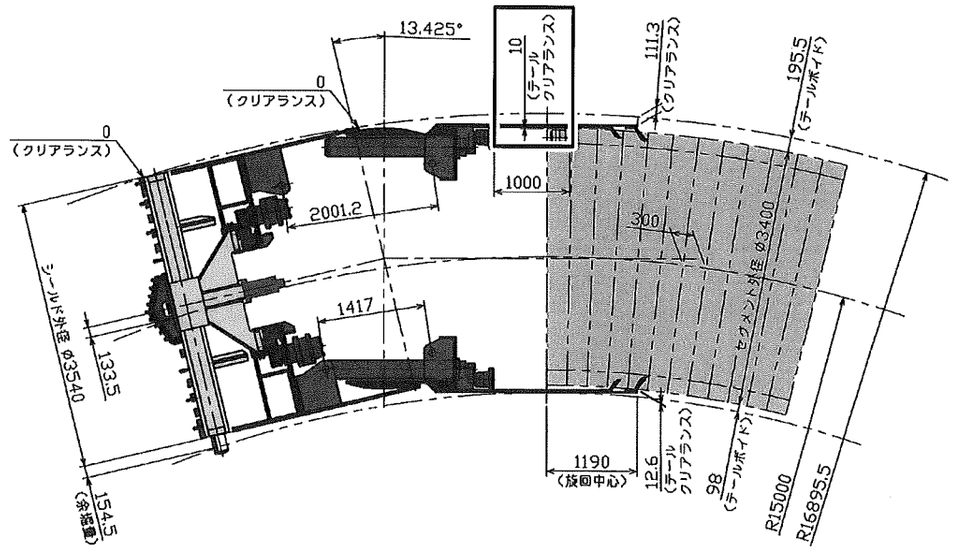


図-13　カーブシミュレーション

また，掘進中のジャッキ推力によるセグメントの著しいずれ，変形も生じず，線形精度も良好な効果が得られた．

なお，急曲線出口部のRCセグメントのリング間継手部(埋込側)周囲にヘアクラックが発生したが，性能上問題ないことも確認した[3]．

4-3-4 急勾配施工(上り17%勾配)

図-3に示したように，本シールド区間の到達立坑手前から約88mは上り17%勾配である．本工事

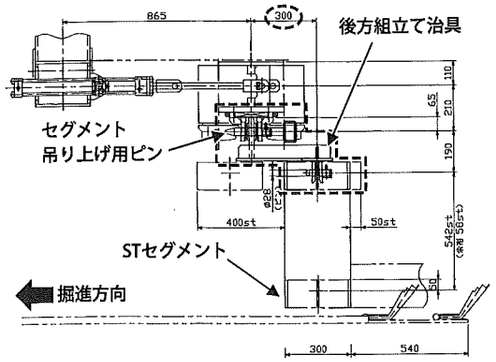


図-14 後方組立て治具

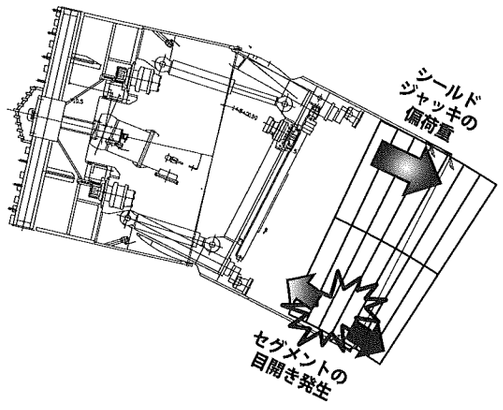


図-15 急曲線施工時目開き発生概念図

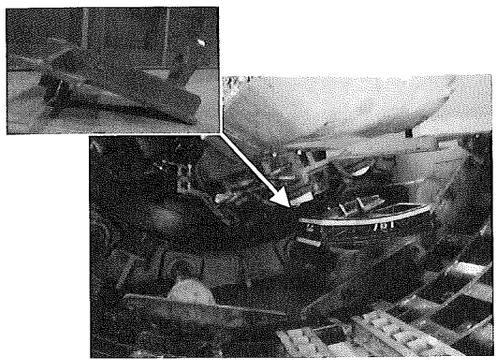


写真-3 後方組立て治具

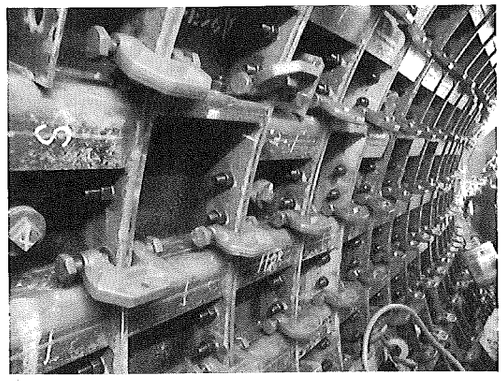


写真-4 締付け金具設置状況

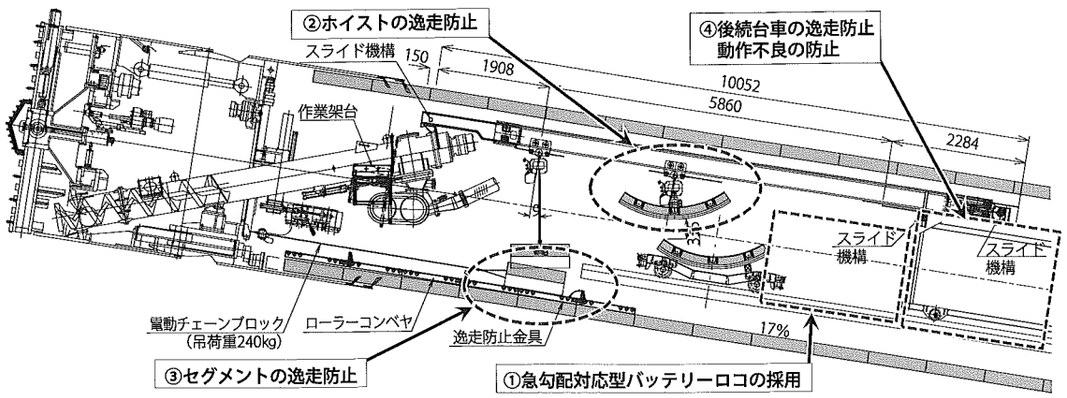


図-16 急勾配施工における設備対策図

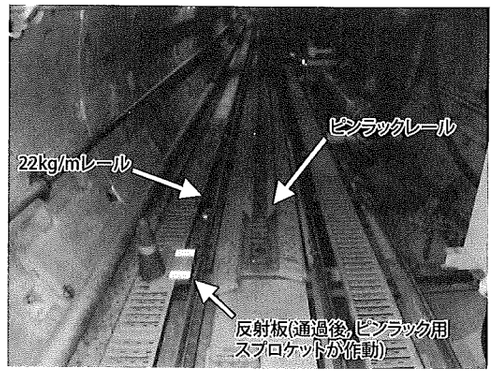




写真-5 急勾配軌条，ピンラックサーボロコ

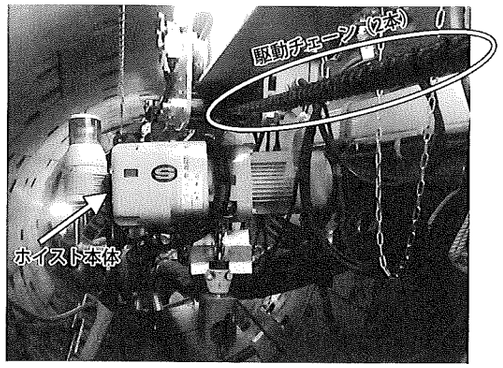


写真-6 電動ホイスト

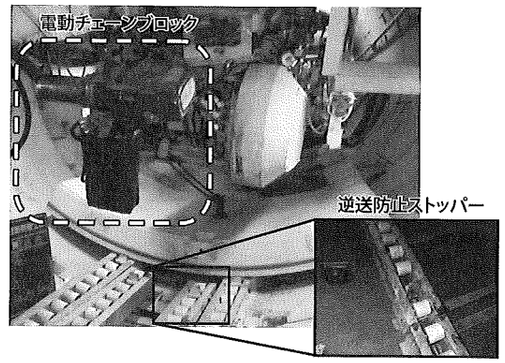


写真-7 セグメント引込み状況

では，急勾配施工時(上り17%勾配)の設備面の安全策を事前に検討し，施工を実施した．急勾配部を施工するにあたり検討した事項を**図-16**に示す．

(1) 急勾配対応型バッテリーロコについて

当該区間は「安衛則 第202条 軌道のこう配」で示された勾配(千分の五十以下＝5%以下)を満たしていないため，急勾配(5%以上)対応用に開発され，サーボモーターを搭載した「ピンラック式バッテリーサーボロコ」を採用した．ピンラック式バッテリーサーボロコは，従来のサーボロコにピンラック用スプロケット(ラックギヤ)を加えて装備し，平坦部では通常の車輪の駆動力，急勾配部ではこれに加えてスプロケットの駆動力を得る構造となっている(**写真-5**)．

(2) ホイスト逸走防止

急勾配区間では，セグメント吊り状態でホイストが滑動する危険性が考えられた．そこで，本工事では勾配部で滑動しない機構を備えたチェーン・トロリー式電動ホイストを採用するとともに，駆動チェーンをダブルに装備して万が一のチェーン切断に備えた(**写真-6**)．

(3) 切羽部でのセグメント逸走防止

セグメントをローラーコンベヤにて切羽へ引込む際，急勾配によりセグメントが滑動する危険性が考えられた．そこで，セグメントの引込みにはスクリューコンベヤ下部に設置した電動チェーンブロックを使用するとともに，ローラーコンベヤには逆送防止ストッパーを設置した(**写真-7**)．

(4) 後続台車の動作不良，逸走防止

急勾配区間では，後続台車の連結が外れ，台車が逸走(滑落)する可能性が考えられた．そこで，後続台車間の連結棒に加えて逸走防止装置(ロックピン)を設置し，万一連結が外れた場合も逸走しない構造とした(**写真-8**)．

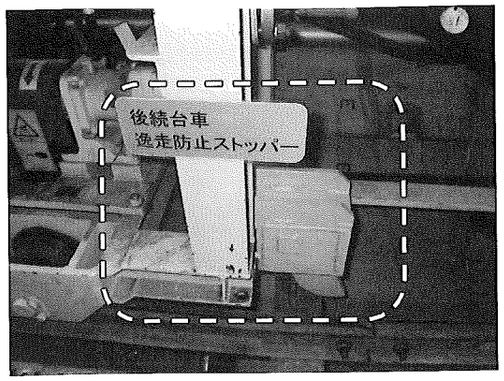


写真-8 後続台車逸走装置

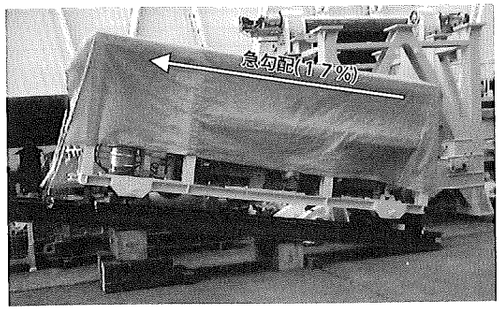


写真-9 後続台車動作確認状況

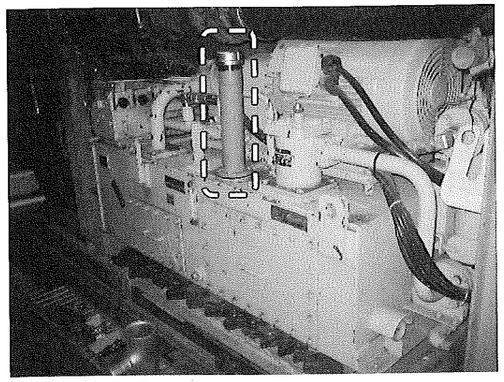


写真-10 バルクヘッド嵩上げ状況

また，急勾配状態(上り17%勾配)まで後続台車が傾くことにより，予期せぬ動作不良が発生する可能性が考えられたため，事前に地上で後続台車を予定勾配まで傾け，動作不良が生じないことを確認した(**写真-9**)．施工時はオイルタンクのバルクヘッドからの油漏れを防止するために，バルクヘッドを嵩上げし，油漏れを防止した(**写真-10**)．

なお，シールド後方のロータリーポンプユニットについては，急勾配状態(上り17%勾配)時に動作不良が生じたため，ロータリーポンプユニット台車に逆勾配を与え，急勾配状態を緩和し，施工を実施・完了した．

5 おわりに

都市部の工事では，多くの埋設物が地下に輻輳しているため，線形を確定させるためには多くの調査が必要である．それらの埋設物位置を踏まえたうえで，公共への影響を最小限に留めることを念頭に置いた結果，当工事では約300mの掘進長さに対して，急曲線・急勾配を含む非常に複雑な線形を採用する結果となった．

2010(平成22)年5月に本格的に工事着手し，2011(平成23)年12月にϕ3,000泥土圧式シールドが到達立坑に到達した．現在は，発進立坑の躯体構築などを実施し，最終的には2014(平成26)年10月末の工事竣工へ向け，鋭意施工している．

本工事は，地域の方々をはじめ，道路管理者，交通管理者ならびに埋設企業など多くの関係者の方々のご理解・ご協力により，実施することができたものです．改めまして感謝申しあげます．

参考文献

1) 日本トンネル技術協会土留め壁利用特別検討会：H形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き，2002.7.
2) 花輪高史・吉本正浩・増子雅洋・中村智史：急曲線シールド施工時のセグメント部材設計におけるジャッキ推力の偏心に関する一考察，土木学会論文集F1(トンネル工学)特集号，Vol.68，No.3，pp.119-131，2012.11.
3) 蓮見亮・花輪高史・吉本正浩・中村智史：急曲線シールド出口部のRCセグメントに生じたひび割れに関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.22，pp.295-302，2012.11.

業界案内 2013

目次 掲載順不同

コンサルタント業 I
建設業 III
建設機械業 IV
建設資材業 V

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 土方 聡

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

問い合わせ先：技術開発センター
〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1
TEL：042-307-7110 FAX：042-330-1050
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●トンネル近接施工の影響検討・計測管理●建築・設備の設計・施工管理●IPH(内圧充填接合補強)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：03-5847-7825
E-mail：y-yamakoshi@metro-dev.co.jp
URL http://www.metro-dev.co.jp

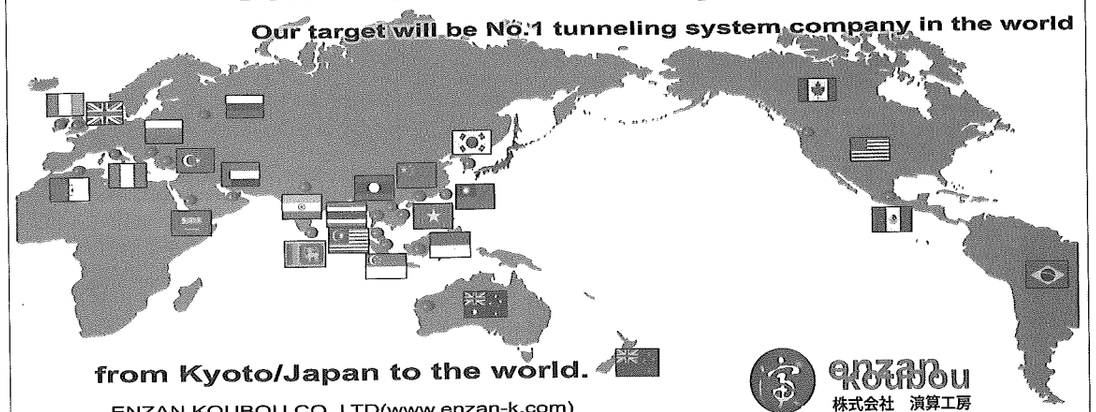
株式会社 演算工房

代表取締役　林　　稔

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING system for TUNNEL

Our target will be No.1 tunneling system company in the world



from Kyoto/Japan to the world.

ENZAN KOUBOU CO.,LTD(www.enzan-k.com)

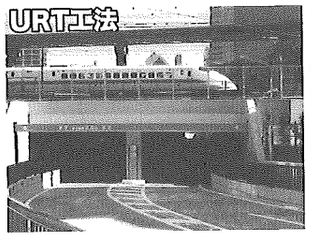
株式会社　演算工房

問い合わせ先：営業部
〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237-3　　TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200
E-mail：info-staff@enzan-k.com　　URL http://www.enzan-k.com

URT協会

協会長　山田　和男

URT協会(Under Railway / Road Tunnelling Method Association)は，
URT工法(Under Railway / Road Tunnelling Method)と，**PCR工法**(Prestressed Concrete Roof Method)をもって，
安心・安全・確かな技術で交通を遮ることなく鉄道・道路等の直下を横断する，
さまざまなトンネルを構築する工法の研究開発・普及に取り組んでおります．



URT工法は，鉄道または道路を挟んで発進立坑および到達立坑を設け，必要なトンネル断面を箱型中空の鋼製エレメントで取り囲み覆工する工法です．



PCR工法は，路盤下横断構造物を上部路面を供用しながら，方形断面の PCR 桁を地中に並列推進し，これにプレストレスを導入して，非開削で本体構造物を構築する工法です．

協会会員　(全36社, 50音順, 平成25年1月現在)

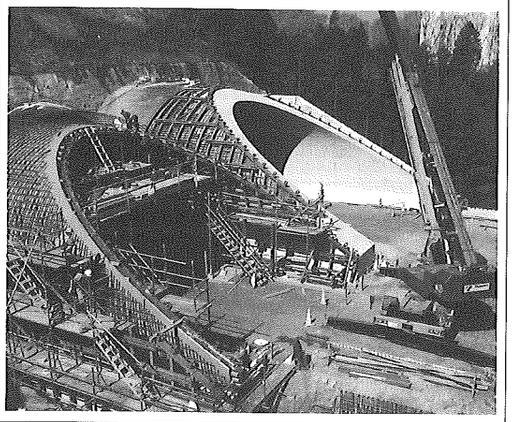
(株)IHI	(株)奥村組	(株)熊谷組	清水建設(株)	鉄建建設(株)	西松建設(株)
(株)淺沼組	オリエンタル白石(株)	広成建設(株)	(株)錢高組	東急建設(株)	日本ケーモー工事(株)
(株)安藤・間	(株)加賀田組	(株)鴻池組	第一建設工業(株)	東鉄工業(株)	(株)不動テトラ
石川島建材工業(株)	鹿島建設(株)	佐藤工業(株)	大成建設(株)	戸田建設(株)	前田建設工業(株)
伊藤組土建(株)	九鉄工業(株)	三軌建設(株)	大鉄工業(株)	飛島建設(株)	三井住友建設(株)
大木建設(株)	窪田工業(株)	ジェイアール東海建設(株)	(株)竹中土木	南海辰村建設(株)	名工建設(株)

問い合わせ先：事務局
〒130-0026　東京都墨田区両国2-10-14両国シティコア(石川島建材工業(株)内)　　TEL：03-3633-6280　FAX：03-6271-7298
URL http://www.urt.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：t.takahashi@kibekensetsu.co.jp
URL http://www.kibekensetsu.com

東亜建設工業

代表取締役社長　松尾　正臣

総合建設業

問い合わせ先：土木事業本部　技術部
〒163-1031　東京都新宿区西新宿3-7-1新宿パークタワー31F
TEL：03-6757-3841　FAX：03-6757-3846

URL http://www.toa-const.co.jp

新日本開発株式会社

グループ代表取締役　箕井　　伸

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

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

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

伝統のトンネル技術を中心に，ダム・シールド・都市土木工事などの得意分野で，高品質施工に挑戦しています．

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，シールド工事用機器類，資材のリース，および販売
バッテリーロコ，ズリ等運搬台車，掘削積込み機械，覆工コンクリート関連機械，レール，分岐器ほか

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 サンドビック株式会社 SMCカンパニー

カンパニープレジデント　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

URL http://sandvik-jp.com/

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，スロットドリル，インパクトオーガドリル，空圧さく岩機，エキセントリックリッパー

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

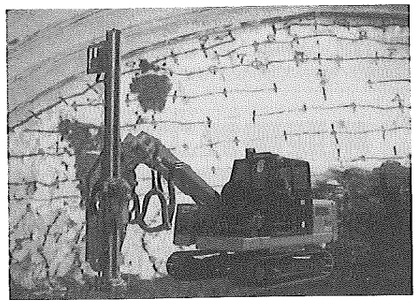
ロードヘッダ，ツインヘッダ等の掘削機，および動翼可変ピッチ制御コントラファン，エムデックス(バグフィルタ式集じん機)といったトンネル工事用換気設備を提供しています．

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)，発破器類，NRC(非火薬破砕剤)

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

連載講座

トンネルにおける地下水対策(1)

—トンネル工事と地下水—

「地下水対策」連載講座小委員会

① 連載をはじめるにあたって

わが国は山岳地形のため平均1,700㎜/年もの降水量があり，このため地下水も豊富である．これらの降雨などにより地中に浸透した地下水は，大気と接する不圧帯水層，上部を難透水層でカバーされた状態の被圧帯水層，また難透水層の上にたまった状態の宙水層などに存在している．これらの地下水は，生活用水，農業用水，工業用水として古くから利用されており，貴重な地下資源として活用されている．

これらの地下水位は変動しながら存在しているが，この水位が大きく低下した場合には，軟弱な粘土層では地盤沈下や既設構造物の沈下・変状，渇水などの問題を発生させるおそれがある．また，反対に地下水位が大きく上昇した場合には，表層のゆるい砂層においては液状化の危険度の増大をまねき，既設地下構造物に対しては漏水の増加や浮き上がりの危険性の増大などの問題を発生させることが考えられる．

このため，トンネルなどの線状地下構造物を構築する場合，施工時ばかりでなく完成後も地下水環境に悪影響を及ぼさないように考慮することが重要である．とくに近年，都市部においては，鉄道や高速道路，地下水路などの地下化が進展しており，さらにこれらの構造物が大深度化，大規模化してきているため，地下水環境に対する対策の重要性は高まってきている．

表-1 「地下水対策」連載講座小委員会

	氏　名	所　属
委員長	清水　　満	東日本旅客鉄道(株)
委　員	高坂　信章	清水建設(株)
〃	笹尾　春夫	(公財)深田地質研究所
〃	藤原　幹之	国際航業(株)
〃	水上　博之	メトロ開発(株)

本講座では以上の観点から，トンネル工事と地下水のかかわりについて，開削トンネル，シールドトンネル，山岳トンネルを対象に施工中の対策を中心に述べるが，施工後の影響やその対策についても述べる．また，既設地下構造物が地下水から受ける影響や，地下構造物が地下水に与える影響についても述べる．

なお，本講座は，以下の７項目について掲載を予定している．

① トンネル工事と地下水：地下水位の近年の推移，地下工事の大深度化・大規模化，地下工事と地下水のかかわりについて解説する．

② 地下工事における地下水トラブル：工事の安全性・作業性にかかわるトラブル，周辺環境に関するトラブル，経済性や工期に関するトラブル，地下水の各種トラブルに対する予防などについて解説する．

③ 地下工事のための地下水制御技術：地下水位低下工法，止水工法，抗水圧工法，リチャージ工法などの地下水の制御技術について解説する．

④　シールドトンネルと地下水：シールドトンネルの設計における地下水の考え方，シールド工法における地下水対策など，シールド工法における地下水の問題について解説する．

⑤　山岳トンネルと地下水：山岳トンネルの設計における地下水の考え方，山岳トンネルと環境問題，山岳トンネルにおける地下水対策など，山岳トンネルにおける地下水の問題について解説する．

⑥　地下構造物が地下水から受ける影響：揚水規制に伴う地下水位の変動，既設地下構造物の地下水対策，地下構造物への漏水とその有効利用など，主に都市部の地下構造物の問題について解説する．

⑦　地下構造物が地下水に与える影響：地下水位変動が及ぼす環境影響・地盤災害，環境保全・地盤防災のための地下水対策など，地下構造物が地下水へ与える影響について解説する．

② 地下水と地下工事の現状

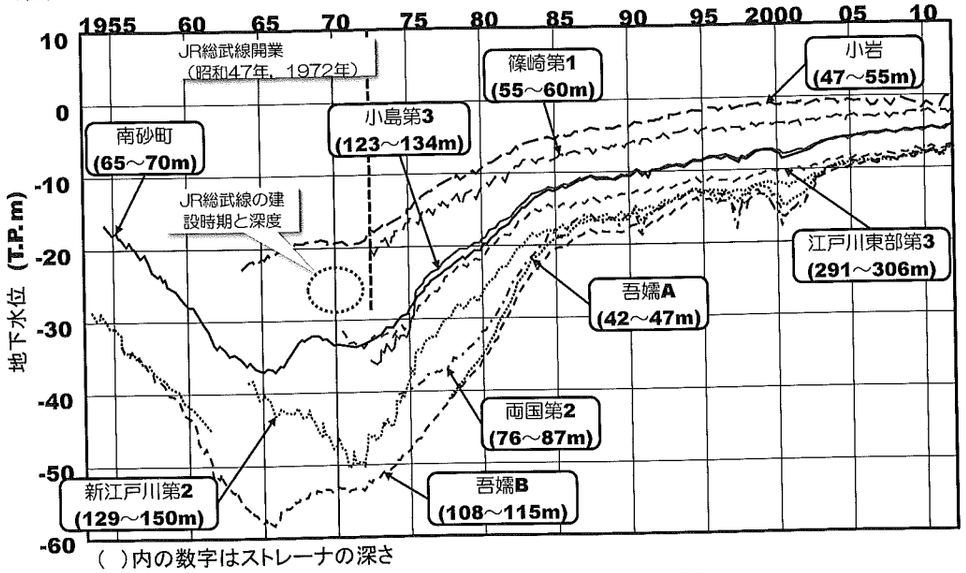
2-1　地下水位の上昇

都市部の地下水位は経年的に上昇傾向にある．とくに東京や大阪などの大都市部においては1970年代以降，地下水位が数十mというオーダーで上昇してきた．東京都における地下水位経年変化の例を図-1に示す．この図より明らかなように東京都低地部の深層地下水はここ40年間で20～40m程度上昇している．

第２次世界大戦後の高度成長時代，工業用水やビル用水として地下水が多量に利用されていた．地下水の過剰汲み上げにより地下水位が大きく低下し，この影響により地盤沈下が進行した．東京都低地部においては，地盤標高が海水面より低いゼロメートル地帯が出現し，高潮や豪雨による水害発生の危険度が高い地域が拡大した．

このような地盤沈下のさらなる進行を抑制するために，地下水の揚水を規制する法律や条例が1960年代以降，次々と施行された．この効果により地下水位は上昇に転じ，地盤沈下は沈静化した．

図-1からも明らかなように，地下水位は未だ上昇傾向にあるもののその上昇速度は緩やかになってきている．また東京湾中等潮位（TP０m）よりも低い状態にある．地下水は山地部に降った雨や雪が地中に浸み込み地中を流動し，海へ流出するという循環をくり返している．したがって，地下水位が海水面よりも低いという状態は自然界の中では考えにくい．地下水位が海水面より低い原因



（　）内の数字はストレーナの深さ

図-1　東京都における地下水位の経年変化[1]に加筆修正

として，首都圏近郊においては未だに地下水が揚水利用されていることが挙げられる．図-2は首都圏近郊（埼玉県，千葉県）の揚水量と地下水位の関係を図化したものである．両者が線形関係にあり，揚水量の減少が地下水位の上昇と密接に関係していることを示している．今後，さらに地下水揚水量の削減が進んだ場合，地下水位が上昇することを示唆している．

もうひとつの原因として地下鉄道やビル地下室への地下水湧出（漏水）も挙げられる．大都市部に網の目状に張り巡らされた地下鉄道網から湧出している地下水は相当な量に上る．地下水位の上昇に伴い漏水量も増加するため，地下水位の回復を抑制していると考えられる．

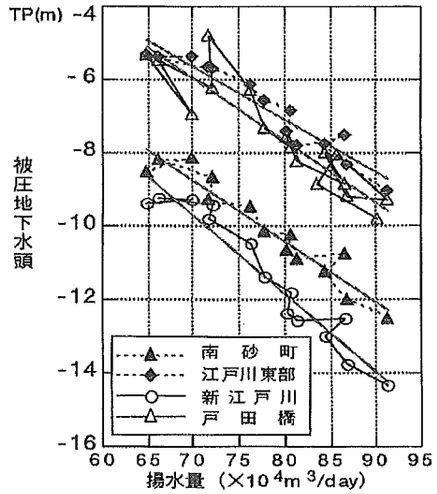


図-2　東京の地下水位と近郊揚水量の関係[2]

また，地下水位の上昇により地下工事は難しいものになった．1972（昭和47）年に営業運転を開始したJR総武線総武トンネルは最深部がGL－30m程度（TP－28m）の大深度地下構造物であるが，当時は地下水位が低下していたため地下水対策をほとんど施すことなく施工可能であった．現状の地下水位で同様の地下工事を行う場合には，多量の揚水を行うか，某大な費用をかけた止水対策が必要になるであろう．

2-2　地下工事の大深度化・大規模化

大都市部の地下には，電気，ガス，上下水道，通信インフラなどのさまざまな管路や，地下鉄道，地下道路などが埋設，建設されている．既存の地下構造物をよけるためには，より深い地下を利用する必要がある．

図-3は東京の地下鉄について，地下鉄の開業年とトンネル部最大深度の関係をグラフ化したものである[3]．昭和初期および戦後まもなくに建設された銀座線，丸ノ内線などは地表面からせいぜい十数mという深さである．丸ノ内線以降に建設された地下鉄は新しいものほど年々深くなっている．平成12年に開業した都営大江戸線は最深部がGL－50mに達する．

平成13年４月に「大深度地下の公共的使用に関する特別措置法」が施行され，三大都市圏（首都圏，近畿圏，中部圏）においては地下40m以深，あるいは建築物の基礎支持地盤の上面から10m以

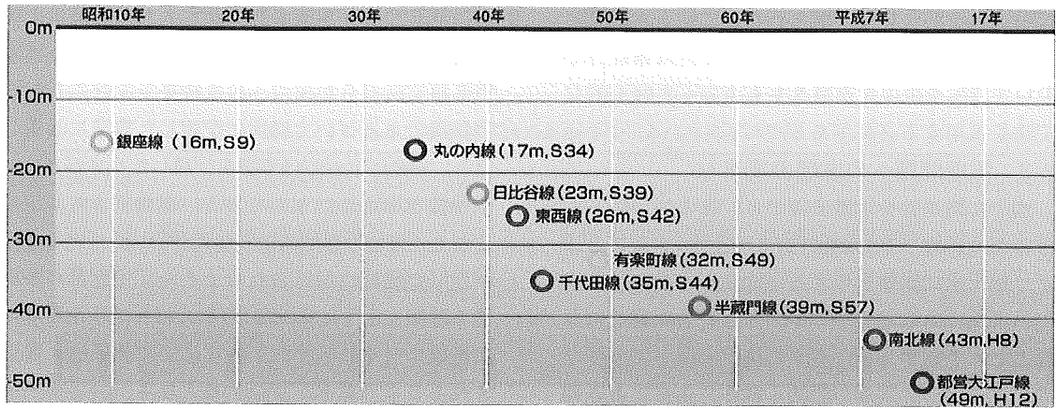


図-3　東京の地下鉄におけるトンネル部最大深度の推移[3]

深の地下は通常は利用されない空間として土地の所有者に補償を行うことなく公共の利益となる事業のための空間として利用できることになった．用地買収などを行わずに公共事業を円滑に進めることができること，合理的なルート選定により事業期間の短縮，コストの縮減が可能になることなどがメリットとして挙げられている．リニア中央新幹線や東京外かく環状道路都内区間などは，この法律を適用して事業が進められる計画となっている．

表-2　地下水位の変化により発生が想定される環境影響[4]を加筆修正

		地下水位上昇	地下水位低下
地下水利用面への影響	水量変化	・増加	・井戸枯れ ・水田減水深増加
	水質変化	・滞留 ・汚染物質拡散	・塩水化 ・酸化
地盤・構造物への影響	地　盤	・液状化危険度増大 ・地盤の湿潤化 ・凍上と融解時の沈下 ・水浸沈下(コラップス)	・圧密沈下 ・地表の乾燥化
	構造物	・構造物浮き上がり ・構造物への漏水増大	・ネガティブフリクション ・杭の腐食 ・地中埋蔵文化財への影響
自然環境・動植物生態系への影響	自然環境	・湖沼，池の氾濫 ・地表の気象変化	・湧水枯渇 ・河川，湖沼の減水 ・地表の気象変化
	動植物生態系	・根腐れ	・植物の枯死 ・水生生物，水生植物への影響

地下工事が大深度化するとそれだけ大きな地下水圧のもとでの工事となる．これをいかに軽減，制御するかによって工事の安全性や経済性は大きく左右される．地下水位低下工法(排水工法)により地下水位を下げて施工しようとすれば，多量の揚水が必要になる．止水工法により地下水の浸入を抑えて施工しようとすれば，大きな水圧に耐えられる止水構造が必要となり膨大な工費，工期がかかる．

さらに，大深度化・大規模化により施工期間も長期化する．排水工法の場合は，地下水位を低下させる期間が長期化するし，止水工法では長期にわたって安定した性能を維持できる対策が必要となる．数年間という期間にわたって地下水対策としての機能が要求されるため，長期的な信頼性が高い工法，ランニングコストも考慮した経済的な工法を採用する必要がある．

2-3　環境問題への意識の高まり

地下に構造物を建設すること，あるいは建設工事のために地下水を制御(排水や止水)することにより地下水に影響を与える可能性がある．地下水位の低下による地盤沈下が大きな社会問題を引き起こしたことや，近年，地下水位が回復して良好な地下水環境への回帰が認められることなどから地下工事による地下水環境影響に対する関心は高い．

表-2には地下水位の変動により発生が想定される環境影響の例をまとめた．この表に示すように地下水位の低下による影響だけでなく，地下水位が上昇することによってもさまざまな環境影響が想定される．とくに，都市部(低平地部)において発生が懸念されるのは，地下水位低下による軟弱地盤の圧密沈下，地下水位上昇による地下構造物への漏水増大などである．山岳部を含めて発生が想定される環境影響としては，地下水位低下による井戸枯れ，湧水枯れ，また地下水位が低下しても上昇しても発生の可能性がある動植物など生態系への影響がある．

高速自動車道や新幹線鉄道などの大規模公共工事に対しては，平成９年に制定された「環境影響評価法」が適用される．この法律は，事業を実施する事業者自らが環境への影響を予測評価し，この結果にもとづいて環境に配慮した事業に改善したり，場合によっては事業を回避したりするといった手続きを定めたものである．環境基本法に定められる「環境の自然的構成要素(例えば，「地下水」)が良好な状態に保持されること」，「生態系の多様性の確保とともに自然環境(例えば「地下水環境」)が地域の自然的社会的条件に応じて体系的に保全されること」などが評価対象となる．

「大深度地下の公共的使用における環境の保全に関わる指針」[5]においても環境の保全のための検討項目の第一に「地下水」が挙げられており，「事業区域及びその周辺の地下水に係る特性の調査を行い，施工時及び供用後の地下水への影響を把握するとともに，地下水への影響を生じるおそれがある場合には，環境の保全のための措置を講じる」[5]ことが定められている．

2-4　トンネル工事と地下水のかかわり

地下水位より深い地下にトンネルを掘るとき，工事を安全かつ円滑に進めるためには地下水対策が必須となる．地下水位をいかに低下させるか，あるいは地下水の浸入をいかに止めるかといった対策である．かつては専らこの視点から地下水対策を検討してきた．しかし，先に述べた地下水位の上昇，地下工事の大深度化，環境影響への関心の高まりなどといったさまざまな状況を背景として，より多面的な視点から地下水対策を考えることが必要になってきた．

表-3にトンネル工事において地下水対策を検討する際に考慮すべき４つの視点を示した．地下水対策の検討にあたっては「地下水から受ける影響」だけでは不十分であり，「地下水に与える影響」をも考慮しなければならないことを示している．また，従来は施工中のことだけに着目した地下水対策について検討してきたが，施工後のことにも配慮した地下水対策を採用することが必要となることを示している．

（１）　視点１：施工時に地下水から受ける影響

トンネル内に地下水が浸入してくると工事の作業性が著しく低下する．砂質地盤では多量の湧水とその排除が必要になるし，粘性土地盤では掘削面が泥濘化してトラフィカビリティー，ワーカビリティーの低下を招く．掘削面の緩みが発生したり，湧出する地下水の流れによりコンクリートのセメント分が流出するなど品質的にも多大な影響をもたらす場合がある．さらには，ボイリング，盤ぶくれといった掘削底面の破壊現象，切羽の崩壊など安全上の重大事故を誘発する場合もある．開削トンネル工事においては土留め壁からの出水，土砂流出という事故も頻発している．

このような地下水によるトラブルを防止するために地下水対策を採用することになるが，これによって，多額の工費，長期間の工期がかかることも地下水から受ける影響といえる．地下水がなければトンネル工事は安く，早くできる．

（２）　視点２：施工時に地下水に与える影響

トンネル工事のために地下水位低下工法(排水工法)を採用すると現場内だけでなく，現場周辺の地下水も低下させる場合がある．前述のように地下水位の低下は井戸枯れ，地盤沈下などのさまざまな地盤環境影響をもたらす可能性がある．このような地下水に与える影響についても考慮した最適な地下水対策を検討することが必要である．

このことは都市部のトンネルのみならず山岳トンネルにおいても重要な事項である．山間部においては水道施設が整備されておらず，生活用水を井戸水や湧水に依存している村落が少なくない．このような地域でトンネル施工による地下水位低下が発生すると，住民の生活自体を脅かす重大な問題になる．

（３）　視点３：施工後に地下水から受ける影響

地下水面下に存在する完成後の地下構造物は常

表-3　トンネル工事と地下水のかかわり：４つの視点[6]を加筆修正

	地下水から受ける影響	地下水に与える影響
施工中	■視点１：施工時に地下水から受ける影響 ・地下水による作業効率の低下 ・地下水による構造物品質の低下 ・ボイリング，盤ぶくれなど掘削底面の不安定化 ・山留め壁からの出水，土砂流入 ・工事費の高騰，工期の延長	■視点２：施工時に地下水に与える影響 ・現場周辺の地下水位低下(井戸枯れ，湧水枯渇) ・地下水質の変化(塩水化など) ・地下水位低下による地盤沈下
施工後	■視点３：施工後に地下水から受ける影響 ・地下水圧による地下構造物の浮き上がり ・地下構造物内への地下水流入	■視点４：施工後に地下水に与える影響 ・地下水流の遮断により発生するさまざまな地盤環境影響

に地下水に晒されている．先に述べた地下水位の上昇と相まって地下構造物が地下水から受ける影響も深刻化してきている．

第一は地下構造物が浮力を受けて浮き上がるという問題である．第二は構造物内部に地下水が流入(漏水)して，その排除が必要になるという問題である．いずれも構造物が計画・施工された当時の地下水位であれば大きな問題にはならなかったが，地下水位の上昇によりこのような問題が顕在化してきた．この詳細については，本講座「地下構造物が地下水から受ける影響」において詳述する．

(4)　視点4：施工後に地下水に与える影響

地下鉄道，地下高速道路などの長大地下トンネルが建設されると構造物あるいは建設時に設置した土留め壁により地下水の流れが遮断されるという問題が発生する場合がある．地下水流の遮断により上流側では地下水位の上昇，下流側では地下水位の低下という現象が起こり，これがさらに表-2に示すさまざまな環境影響を誘発する可能性がある．この事象は施工時のみならず，完成後も恒久的に残る問題であり，十分な配慮が必要である．

例えば，**図-4**のような開削トンネル施工時の地下水対策を検討する場合，施工中のことだけを考えるならば(a)のように土留め壁を難透水層まで根入れして地下水の浸入を防止する止水工法が，周辺地下水への影響低減という観点で有効な工法である．しかし，この構造物が長距離にわたって建設されると地下ダムのような効果により恒久的な地下水位変化をもたらす結果になる．土留め壁を難透水層まで根入れしない(b)のような工法をとるか，あるいは地下水流動保全のための対策を採用する必要がある．この詳細については，本講座「地下構造物が地下水に与える影響」において詳述する．

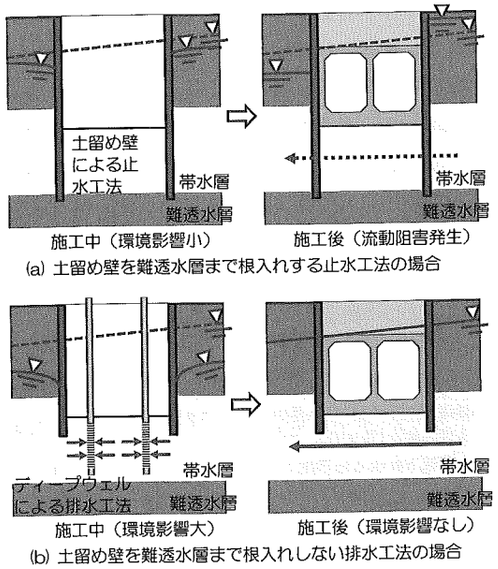


図-4　施工後の影響を考慮した地下水対策の比較検討の例

③ 地下水対策の設計技術

本講座では基本的に設計関係の話題は取り上げない．講座のはじめにあたって数値解析を中心とした設計技術に関して若干触れておく．

3-1　設計手法の概要

地下水対策の設計手法として理論解による方法と差分法や有限要素法などを用いた数値解析手法(浸透流解析)がある．掘削範囲が比較的狭い立坑や単独地下構造物などは，掘削範囲を巨大な井戸と考えて井戸理論式を用いた設計を行うことが多い．一方，トンネルの場合は縦断方向に長い構造物であるため，井戸理論式を適用することは難しい．単純なモデルであれば，トンネル横断方向の断面二次元モデルを想定して，ダルシーの一次元浸透理論により流量や水位を計算することが可能である．しかし，このような簡単なモデルが適用できる問題は限られているため，複雑な地盤条件や境界条件を考慮できる数値解析手法を用いた設計を行うことが一般的になってきている．

3-2　解析の空間場

トンネル周辺の地下水は，水平方向にも鉛直方向にも流れる三次元的な流れになる．したがって，設計計算においても三次元モデルを用いることが理想的である．近年，計算機の発達，解析プログラムの改良などが進み三次元解析も比較的容易に実施できる環境が整ってきた．しかし，三次元解析のためのモデル作成には多大な労力がかかるため地下水対策が大きなウエイトを占める工事でしか実施されていないのが実状である．地下水の解析は現場の中だけでなく現場周辺数kmといった広範囲にわたる地盤情報を入力する必要がある．このような広範囲の情報を正確に入手することは難しく，三次元解析を実施しても必ずしも正確な結果が得られるとはいえない．

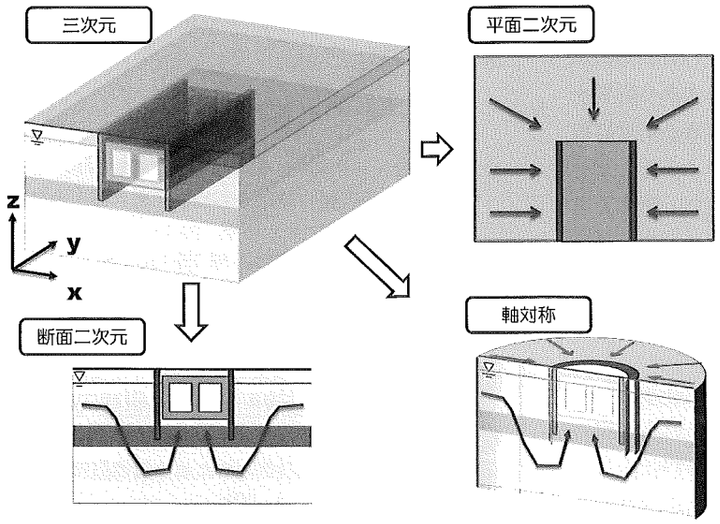


図-5　トンネル工事における解析モデル(空間場)の取扱い

このような観点から，**図-5**に示すような簡易モデルに置き換えて解析を行う．

(1)　平面二次元モデル

x–y 平面の地下水流れを解析するもので鉛直方向の流れは考慮できない．ある平面位置における水位は深さ方向に一定と仮定するため，山岳トンネルなどでトンネル上部に地下水が残留する状況は表現できない．広域的な地下水の流動状況を評価する問題などに適している．解析領域の周辺にさまざまな境界条件を設定することができるため，自然状態の地下水流動状況も再現できる．

地下水位の変動による透水量係数(透水係数と地下水流動層の厚さをかけたもの)や貯留係数の変化を考慮できる準三次元モデルも使われている．準三次元モデルも平面方向の地下水流れだけを対象とした解析手法である．

(2)　断面二次元モデル

奥行き方向に長く続くトンネル問題では x–z 平面を対象とした断面二次元モデルが利用されることが多い．このモデルではモデル奥行き方向に回り込む地下水の流れを考慮できないが，トンネル横断方向の水平・鉛直流れが考慮できる．左右の境界に異なる条件を設定できるため，トンネル横断方向の自然地下水流れを考慮できる．

(3)　軸対称モデル

工事範囲および解析対象領域を円形で仮定して解析するモデルである．前述のようにトンネルのように縦断方向に長い構造物の解析には適していない．トンネルの問題ではあまり使われることはない．このモデルでは周辺の境界条件も一定として設定されるため，自然状態の地下水流れを考慮できない．

3-3　解析の時間場

設計計算においては，地下水位や流量の時間的な変化を考慮する非定常問題と，十分な時間が経過して地下水位，流量が一定となった状態を評価する定常問題がある．

通常，トンネル工事の期間は長期にわたるため定常問題として検討することが一般的である．定常問題として設計を行う場合は，地盤の透水特性として透水係数(透水量係数)のほかに影響圏距離(影響圏半径)というパラメータが必要になる．理論式による設計ではこれらを設計条件として直接入力する．数値解析の場合は，解析領域の広さが影響圏半径に相当する．したがって，定常解析による設計では解析領域をどの程度の範囲までとるか，またどのような境界条件(水位固定，流量固定，不透水など)を与えるかが計算結果に大きく影響する重要なファクターとなる．

一方，トンネルの掘進に伴う切羽湧水量の経時的変化，周辺地下水位低下の経時的広がりなどを評価する場合は，非定常問題として検討する．非定常問題として設計する場合は，地盤の透水特性として透水係数(透水量係数)のほかに貯留係数と

いう水位変動のスピートを支配するパラメータが必要になる．非定常問題においては解析開始時点の水位分布(初期条件)も解析結果に大きく影響するため，現場周辺の水位データをできるだけ詳細に収集し，これに適合した条件を与えることが必要である．非定常解析を実施する前に，現状を再現する定常解析を実施して計測データと解析結果の整合をとり，境界条件の適合性を評価するステップをとることが一般的である．

④ おわりに

「トンネルにおける地下水対策」という講座のはじめにあたって地下水と地下工事の現状を振り返り，トンネル建設にあたってどのような視点から地下水対策を検討すべきかを述べた．

次回以降，開削トンネル，シールドトンネル，山岳トンネルの各々について地下水とのかかわりを詳述していきたい．

(文責：清水満・東日本旅客鉄道(株)/高坂信章・清水建設(株))

参考文献

1) 川合将文・川島眞一・石原成幸・高橋賢一：平成23年の地下水位変動の特徴，平成24年東京都土木技術支援・人材育成センター年報，pp.131–150，2012.
2) 三宅紀治：首都圏における地下水の話題，平成10年度地下水情報に関する報告書，平成11年度特別講演会講演論文，地下水地盤環境に関する研究協議会，pp.130–139，1999.
3) 国土交通省：新たな都市づくり空間，大深度地下パンフレット，国土交通省都市・地域整備局，2005.
4) 「地下水流動保全のための環境影響評価と対策」編集委員会：地下水流動保全のための環境影響評価と対策，地盤工学会，p.3，2004.
5) 国土交通省：大深度地下の公共的使用における環境の保全に係る指針，国土交通省都市・地域整備局，12p，2004.
6) 「地下水を知る」編集委員会：地下水を知る，地盤工学会，p.114，2008.

■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

海外文献速報

(社)日本トンネル技術協会 国際委員会

軟弱地山における新しい地山補強方法/ Hammering home soft ground issues

By D. Rendal, P. Grasso, F. Rizzo, L. Pinchiaroglio, A. Eusebio and M. Pescara: World Tunneling, May, 2012, pp.38–39

現在南イタリアにおいて建設中である双設道路トンネル(全長780m，掘削断面150～170m²，最大土かぶり65m)において，全断面掘削による機械掘削で施工していたが，変質した粘土混じりの軟弱な千枚岩に遭遇し，内空変位は15㎜/日程度発生し，さらに過剰な間隙水圧により切羽崩壊を招いた．

本トンネルは，安定性を確保するために，フォアポーリングや長尺鋼管先受け，鋼製支保工，吹付けコンクリートやロックボルトを採用する設計とし，また，シングルシェルとはせず覆工コンクリートの打設も計画されていたものの，切羽崩壊後は更なる対策が不可欠となった．

このため，補助工法の採用を検討したが，通常のGFRP管による先受けでは地山との定着力が得られず，また水抜き孔の数も不十分であり，十分に機能を果たさなかった．これより，新たに開発された先受け管を採用した．

この新しい先受け管は，図-1に示すように，

① 全長20mのうち，手前10mはGFRP管と周囲は鞘状となった袋により構成されており，先端10mは水抜き用有孔塩ビ管となっているタイプ

② 全長20mにわたってGFRP管と周囲は鞘状となった袋により構成されたタイプ

となっている．

この鞘状となった袋にモルタルを注入することにより，通常のGFRP管先受けで施工する注入方法と比較すると地山との付着力は格段に向上する．この付着力の向上により地山に確実に定着するとともに，注入による袋の膨張に伴い先受け孔周辺地山を圧縮することによる拘束力が発生し，みかけの粘着力が増加する．

また①のように先端側10mを水抜き管とすることにより，掘削前の地山を補強し間隙水圧を低下させる効果がある．

本トンネルで通常の外径60㎜のGFRP管のみの場合と開発した鞘状管を比較したところ，通状管では注入圧力は4 barまでしか上昇しなかったのに対し，鞘状管は15 barまで加圧可能であり，定着力も大幅に向上した．

このように強い引抜き耐力を有する先受け工と水抜きを1本の管で分担する仕組みとしたことにより，地山の状況にかかわらず切羽前方を改良することが可能となった．

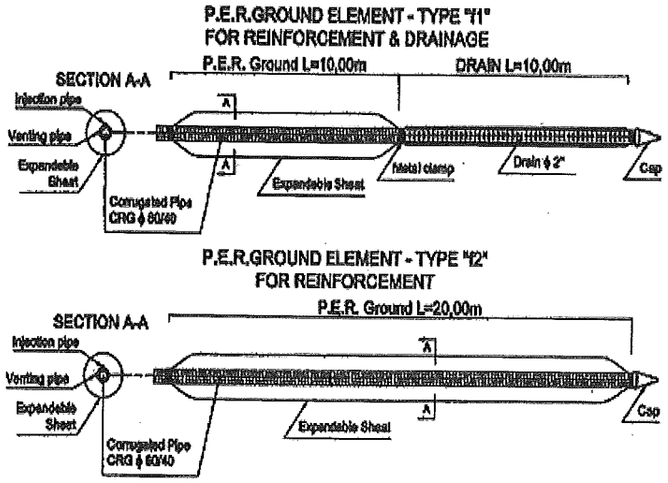


図-1　開発された先受け管

(文責：野間達也・(株)フジタ)

Nazzano道路トンネルの拡幅/Nazzano method

By Pietro Lunardi, Mario Cangiano, Andrea Belfiore: Tunnels & Tunnelling International, June, 2012, pp.54–58

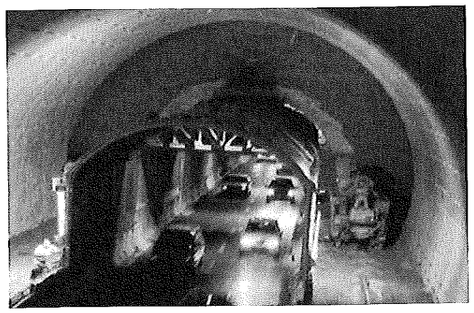
道路を閉鎖せずに拡幅するという世界で初めての双設トンネルの事例.

Nazzano道路トンネルは，延長337mでA1ミラノ–ナポリ自動車道のオルテとフィアーノロマーノ間にあり，拡幅後のトンネルは，幅20.5m，高さ9mである.

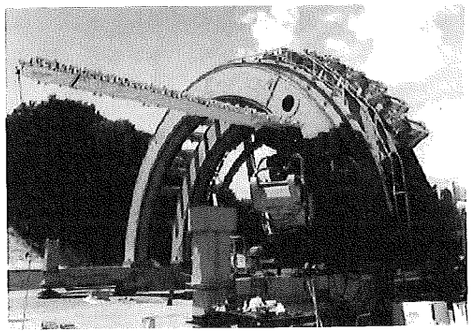
地質はシルト質海砂粒度で細～中程度である.土かぶりは最大45m，地下水位はトンネル側壁レベルである.

拡幅技術には，プレライニング(プレカット工法)とRCコンクリートセグメント覆工が採用された.また，車道と工事サイトの分離には，長さ約60mの鋼製プロテクタを用いた.

基本的な掘進サイクルは以下のとおりである(切羽～セグメント覆工間の距離は5m).



図–1 拡幅状況



図–2 プレカット機

① 前方地山プレカットライニング L=4.5m, t=300㎜，ラップL=1.5m

② セグメントライニング(第1アーチ組立して) L=1.0m

③ 第1掘進1m，同時に既存トンネルの取り壊し②，③を2回くり返し①へ戻る

工事は，8年9か月を要した(1998年9月～2007年5月).その期間の内訳は次のとおりである(掘削は2003年1月開始).

- 44%：第1回入札での問題への対応.第2回入札の手順の策定(設計協議).
- 25%：北行きトンネルの建設準備.地盤特性に対応するための調整など.
- 自動車トンネルの拡幅掘削に費やされた期間の割合はわずか31%である.

(文責：畑生浩司・鉄建建設(株))

北米におけるレイズボーラー工法について/Raising standards in North America

By Patric Hudd: WORLD TUNNELING, July / August, 2012, pp.13–16

伝統的に，北米における硬岩の鉱山では，直径3～3.65m，深度300m程度の大口径・大深度となるレイズボーラー工法が採用されてきたが，最近ではカナダにおいて直径5.52m，深度900mのレイズボーラー工法が開発された.このような大口径のレイズボーラー工法の開発は，鉱山における換気坑のみならず，アクセス坑道やトンネル分野にも拡大可能となっている.

レイズボーラー工法の歴史としては，リーミング技術は1949年に開発され，1950年代末に現在の形式の先駆けとなる技術が開発された.第1の転換点としては1962年に開発されたRobbins 41Rであり，従来工法と比較して掘削効率が高く，作業環境に優れ，なんといっても坑外で操作するために安全が確保されている.本工法の技術革新は進み，2007年にカナダのCementation Canada社の鉱山で採用された深さ694m，直径5.52mのレイズボーラーは第2の転換点といえる.現在同社

表–1 Cementation Canada社保有のレイズボーラー

機種名	掘削径(m)	最大掘削深度(m)	最大トルク(kNm)	最大スラスト(kN)
Robbins 123R	3.1～5.5	900	540	8,923
Robbins 97R	2.7～5.0	800	447	6,845
Strata 950	3.7～6.0	1000	1061	11,500

で保有している機種を表–1に示す.

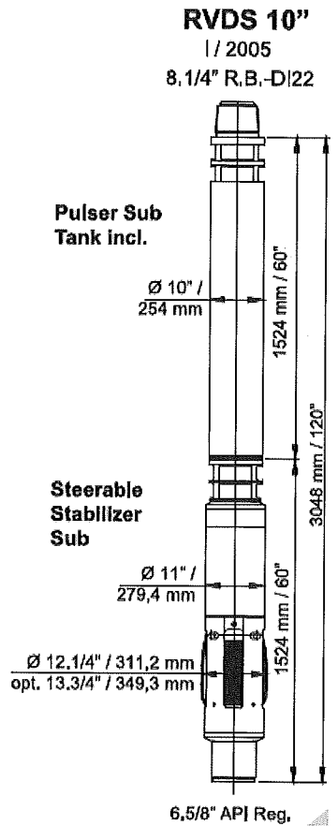
レイズボーラー工法においてパイロット孔を正確に穿孔することは，プロジェクトの成否を握る問題であり，これは立坑構築時のみならず，完成後の使用時にも影響を与える.さらに，垂直でまっすぐなパイロット孔を穿孔することによりリーミング時の周辺摩擦を低減できる.Cementation Canada社は欧州において1991～1993年に開発された穿孔方向を自動修正可能なMicon社製のRVDS(Rotary Vertical Drilling System)を採用している.

RVDSは，制御装置，発電装置，計測・記録装置により構成されている(図–1).発電装置は掘削時に使用される掘削泥水の循環によりタービンを回転させ発電し，この電気により制御装置および計測・記録装置を作動する.

計測・記録装置は穿孔軸に対する正確な現状の角度を検出し，制御装置に制御方向を伝達する.ビットの直後に配置されている制御装置は独立した4枚のスタビライザーにより構成されており，スタビライザーを坑壁に圧着することにより方向を制御する.計測した位置データは泥水圧力波を利用したマッドパルス方式により送信され，操作盤にリアルタイムで伝達される.このように，循環泥水を使用して発電するため，自己完結型の装置となっており，またRVDSは自動的に位置を制御し，位置を伝達するため，オペレーターは異常があるかのチェックを行えばよい.

Cementation Canada社はRVDSを使用して深度800mに対して誤差±80㎜を達成している(注：Micon社のHP実績では，785mの深度に対して誤差0.38mとなっている).

施工の留意点としては，大口径となれば常に一定のずりが発生するのでずり処理について綿密に



図–1 RVDSの模式図(Micon社HPより)

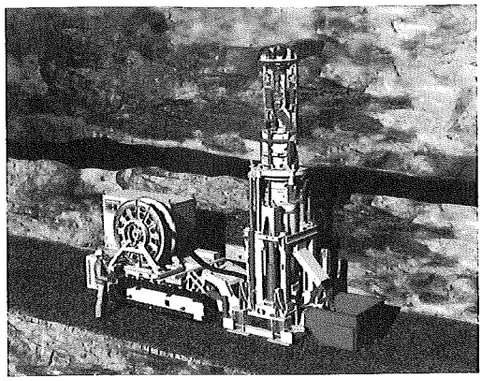
計画を作成すること，部品の消耗に対する手配を怠らない点，などが挙げられる.

(文責：野間達也・(株)フジタ)

スロットホールを掘削する新技術/New Technology for Creating Slot Holes

TUNNEL, August, 2012

地下鉱山では，小口径の鉛直もしくは傾斜したスロットホールをたくさん掘削する必要がある.この目的で，マイクロトンネル掘削のパイプジャッキ法にもとづいて遠隔操作のできる新しいボックスホールボーリングマシン(BBM)が開発された.新しいBBM技術では，より高い安全基準と最小ドリフト長を用いることで高い生産速度を確保し，通常の発破工法と比較して，時間を大きく節約できる.スロットホールを早く，より安全に建設す



BBMシステム概観

ればするほど実際の鉱山での生産を早く開始，再開できる．今日ではBBMは通常ブロックケービング法と一緒に主に金属鉱山で用いられ，換気立坑掘削，生産・運搬レベル間の鉱石運搬用の坑道掘削だけでなく，生産過程でドローポイント(鉱石の抽出点)の構築に大きく貢献する．

BBMは，硬岩層で径が最大1.5m，最長60mの鉛直もしくは傾斜したスロットホール(鉛直から±30°の範囲)を素早く安全に構築するために開発された．遠隔操作の機械のため，設計では主に安全性の増強，高い生産性，素早い移動と最小空間での稼働性などが鍵となるファクターである．コンパクトクローラユニットは，閉鎖された地下条件で柔軟に素早く移動できる．またモジュラーの設計により，空間的に狭い環境でも操作が可能である．ジャッキフレーム，掘削ユニット，ケーブルドラムと電源箱は別々に置くことができる．

原位置試験：BBM1100のプロトタイプを2011年初頭に組み立てた後，ドイツ南部のBlack Forestにある小さな「Ciara鉱山」で4週間にわたり実証試験を実施した．一軸強度が最大250MPaの岩盤状況下で，鉛直，および傾斜した径1.1mの孔を5時間で9m掘削した(瞬間掘進速度は毎分80～100㎜)．

Cadia East地下プロジェクトへの適用：オーストラリア，シドニーの260km西，ニューサウスウェールズにある「Cadia East」はオーストラリアで最大の地下鉱山であり，使用年数が約30年の世界でもっとも深いブロックケービング鉱山で，埋蔵原石材料の掘削を2005年に開始した．鉱脈は長さ約2.5km，幅600mで，深さは1.9kmにも及ぶ．これらの埋蔵鉱からは約1,900万オンスの金と300万トンの銅を算出すると見積もられている．2011年9月に搬送後，BBMは深度約700mでの試掘削と立上げ中に一軸強度が200MPaに及ぶ亀裂性でブロック状の岩盤で3本の鉛直孔を深さ約18mまで掘るのに成功した．2013年の生産開始をめざし，BBMは現在深度約1,000mでドローポイントの開発に用いられている．2012年6月現在で40本以上のスロットホールが平均長16.5m，平均掘進速度毎時1.5m(週3本ペース)で掘削されている．今後BBMは同鉱山で2基目が，そしてもう1基がチリ市場で運用される予定である．

(文責：小川豊和・大成建設(株))

安全にトンネルを通過？トンネル火災で人はどのような行動を取るか/Safely through the Tunnel? -How People behave in Tunnel Fires

TUNNEL, August, 2012

道路トンネルで万一火災が発生したら，迅速に正しく行動することが大切である．危険を早期に発見し，火災発生を知らせる音を鳴らし，トンネルから避難することで人命を救うことができる．運転者の多くが危険に正しく反応せず，間違った行動で危険に身をさらすのは依然重要な問題点として残っている．トンネル火災では，例えば緊急電話で援助を要請し，安全確保のために避難出口を用いる目的で，車をできるだけ早く離れることがとくに重要だとされている．

ここでは，45人の被験者を無作為に3グループに分け(Gr. 1：安全行動に関する事前情報なし．Gr. 2：安全パンフレットを予習．Gr. 3：パンフレット予習とバーチャル運転シミュレータを用いた火災時の正しい行動訓練)，トンネル内で火災を伴う事故の現場シミュレーションを行い，観察要項(observation protocol)とビデオ収録にもとづく行動観察結果を報告している．

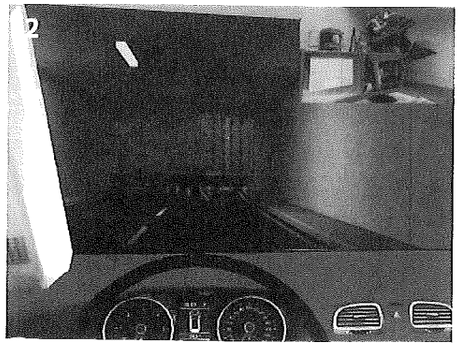


図-2 バーチャルドライビングトレーニングのスクリーンショット

情報，訓練なしのGr. 1では，不適切で自ら危険を招く行動が真っ先に生じた．場合によっては20%以上の人が，すっかり煙に包まれるまで車の中にとどまった．事故現場近くの緊急避難口や緊急電話を見つけようとしたのは，このグループの半数以下であり，被験者の中には火災に近づきすぎた，車の中に留まった，戻ろうとした者がおり，かなりの危険を意味する．

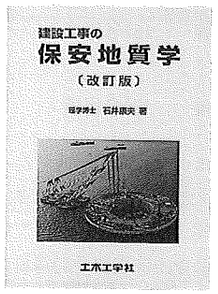
これに対し，予備知識を与えられたGr. 2の75%と訓練を受けたGr. 3すべての被験者は正しい対応をし，非常出口やSOS電話の方向に向かって事故現場の車から離れた．

Gr. 1では，男性と女性が異なる行動を取ったという結果も得られている．SOS電話や非常出口を真っ先にめざしたのはすべて女性であった．男性の被験者は，車に留まる傾向があった．パンフレット情報(Gr. 2)は，男女間の差を減らすのに十分であった，またバーチャル空間での訓練は，調査にかかわった男性の好ましくない行動をすべて消し去っている．その他，行動形態とは別に，自己救済までに経過する時間も大切なファクターである．訓練を受けたGr. 3は他のグループより平均で20秒も早く非難した．行動に関する訓練が手順の記憶の中に取り込まれていると言う理由によるとしている．

安全基準の考え方は，事故などの重要なイベントが起きる確率を減らすこと(一次防止策，例：眠気の兆候を運転者に告げる居眠り警報システム)であり，危険なことが万一起きたとき，使用者のために被害の程度(二次防止策)を減らす必要があることである．上記のシミュレータ訓練は一次，二次防止策の両方に分類されている．

人的なミスはトンネル火災の場合致命的である．万が一使用者が予想どおり「合理的に」行動をしない場合，最新の安全基準であっても絶対的な安全を提供することができない．使用者の行動を改善するためのアプローチとしてバーチャルリアリティによる行動訓練の適用が強調される．

(文責：小川豊和・大成建設(株))



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

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会報

1. 会員の現状

	6月30日現在
正会員	1,400名
団体会員	304名
個人会員	1,096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(6/4)

大島洋志主査ほか11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)

福井勝則主査ほか14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)

清水健志主査ほか7名，英文原稿を査読

◎事業委員会

40周年記念事業準備会(6/10)

久多羅木吉治主査ほか3名，これまでの検討資料の取りまとめ方針を検討

計　4回開催　39名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

安全環境小委員会シールドトンネルトラブル事例調査WG(6/11)

桧皮政輝委員ほか3名，事例内容を確認

安全環境小委員会(6/21)

豊澤康男委員長ほか14名，調査資料の取りまとめ方針を検討

◎受託研究特別委員会

補修補強調査特別検討会海外文献調査WG(6/27)

横尾敦主査ほか6名，報告書を検討

小断面掘削工法特別検討会(6/3)

吉富幸雄委員長ほか12名，報告書原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会幹事会(6/4)

中村隆良委員長ほか11名，検討条件および課題を整理

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(6/14)

河本武志主査ほか13名，報告書原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(6/18)

守屋洋一主査ほか16名，報告原稿を検討

地盤隆起対策特別委員会(6/7)

小泉淳委員長ほか21名，変形モードとメカニズムを検討

中流動覆工コンクリート特別委員会幹事会(6/24)

松岡茂幹事長ほか15名，報告書原稿を検討

相鉄・JR・東急検討委員会開削駅WG(6/28)

舘山勝座長ほか30名，非開削部の施工法を検討

計　10回開催　151名出席

合計　14回開催　190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.wtc2014.com.br/　論文募集中
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22～28	ドヴロヴニク（クロアチア）	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコングレス「Uniting Our Industry」	2016.6.12～6.15	サンフランシスコ（アメリカ）	Underground Construction Association of SME International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会）

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください．TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

4. 平成25年度催物開催現況

（平成25年6月現在）

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
（現場研修会）				
横浜市下水道トンネル工事現場研修会 ―中部処理区本牧第二幹線―	2013. 5.16	30	神奈川県	2.5
東北道路トンネル現場研修会 ―国道106号新川目トンネル―	2013. 5.27	25	青森県	2.0
中部地区道路トンネル現場研修会 ―県道牛川トンネル(仮称)，新東名乗本トンネル―	2013. 6. 7	25	愛知県	3.5
中国地区道路トンネル現場研修会 ―東広島・呉道路金剛山トンネル―	2013. 7.18	25	広島県	1.8
北海道道路トンネル現場研修会 **―道道西野真駒内清田線(こばやし峠)トンネル―**	**2013. 8. 1**	**25**	**北海道**	**1.8**
（施工体験発表会）				
第72回(山岳)「課題克服に取り組んだ工事―周辺環境への配慮，創意工夫，効率化―」	2013. 6.25	155	東京都	4.6
第73回(都市)「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」	2013. 6.26	93	東京都	5.3

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

会員加入およびご活用依頼について

一般社団法人日本トンネル技術協会

当協会は，トンネルおよび地下空間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，諸活動を実施しています．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(http://www.japan-tunnel.org/Kaiin)をご参照願います．

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，webmaster@japan-tunnel.org にメール送信お願いいたします．

9月号予告[9月1日発売予定]

- トンネル建設が地すべり挙動に及ぼす影響に関する実験的研究
- 新名神高速道路　箕面トンネル
- 東京メトロ千代田線　新御茶ノ水駅
- SPR工法の開発と実用化の経緯
- 土圧式シールド工法の掘削土砂に関する調査結果

【連載講座】

- トンネルにおける地下水対策(2)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆本誌編集参与で前編集委員長の橋本定雄様が6月23日に永眠されました．享年82歳でした．ここに謹んでお悔やみ申し上げます．
◆橋本様のことを語るには分不相応ですが，この場を少しお借りしたいと思います．橋本様は昭和5年，東京府荏原郡(現・世田谷区)駒澤町上馬にお生まれになりました．昭和28年，東京大学工学部を卒業され，東京都水道局に入られました．昭和37年に水道局から下水道事業が分離され下水道局が発足し，以降下水道局で従事されました．昭和60年には下水道局長を務められ，東京都退職後は東京都地下鉄建設(株)の専務取締役や東京港埠頭公社の理事長など歴任されました．本誌編集委員会ではほぼ創刊時の昭和46年からメンバーに加わっていただき，本号まで本誌の編集に携わっていただきました．また，平成元年から平成17年までの約16年間は編集委員長も務めていただきました．
◆橋本様との思い出は，本誌においては協会設立20周年の記念も兼ねた創刊300号と江戸開府400年記念で「東京の地下構造物」と銘打って特集した400号の編集はとくに印象に残っております．しかしながら，本誌の編集よりかは大好きなカラオケやゴルフを楽しんでいる姿のほうがより印象的に思い出されます．
◆この編集後記を書いている際，司馬遼太郎先生の『国盗り物語』読んでおりました．この本は全4巻で前編2巻は斎藤道三が主人公で，後編2巻は織田信長が主人公です．第4巻に織田信長が稲葉山城を落として町の名を「岐阜」と改名したとあります．「岐阜」の「岐」の字は中国の「岐山」から取ったと書かれていました．「岐山」は書を大変好まれた橋本様の雅号です．何か縁のようなものを感じました．今はただ安らかにお眠りいただき，草葉の陰から本誌を見守っていただきたいと思います．

(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．
★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第44巻 第8号〔通巻516号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年7月20日　印刷
平成25年8月1日　発行

一般社団法人 日本トンネル技術協会
会長　佐藤　信彦
〒104-0045　東京都中央区築地2丁目11番26号(築地MKビル6階)
TEL：03-3524-1755
FAX：03-5148-3655
http://www.japan-tunnel.org
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．
■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

トンネル工事用 電気集じん器
e-DUSCO 240
イーダスコ・ニーヨンマル
究極の省エネ
70%も節電
NETIS
公共工事等における新技術活用システム
登録番号:TH-100024-A


地球環境で経済産業省後援、第39回優秀環境装置表彰において日本産業機械工業会会長賞を受賞しました。

クラス最高の集じん効率95%
従来の電気式では達成できなかった95%以上の高集じん率を確保。

微細粉じんも逃さない電気式
電気式だから人体に有害な微細粉じん(0.2~5μm)も捕集できます。

現場メンテナンスは手間いらず
放電電極は丈夫で長持ちするブレード式により断線故障無く安心して御使用頂けます。
捕集した粉じんもラクラク処理。

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量でCO2削減を実現するエコ製品です。

仕様	
品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m³/min、任意設定の4モード
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高※1	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

※1　車両高さは含まれていません。
※2　JIS Z 8808により測定した値です。

古河機械金属グループ
古河産機システムズ株式会社　URL:http://www.furukawa-sanki.co.jp/
本　社
〒100-8370　東京都千代田区丸の内2-2-3
第二営業部　☎03-3212-7804
大阪支店　☎06-6344-2532　名古屋支店　☎052-561-4580　札幌支店　☎011-784-1179
東北支店　☎022-221-3532　九州支店　☎092-741-5193　小山工場　☎0285-23-8662

図書案内

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．

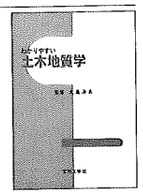
推進工法の理論と実際



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）



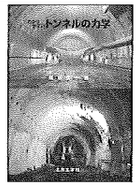
P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著，
地下水の科学研究会・大西有三　監訳

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

株式会社 土木工学社

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

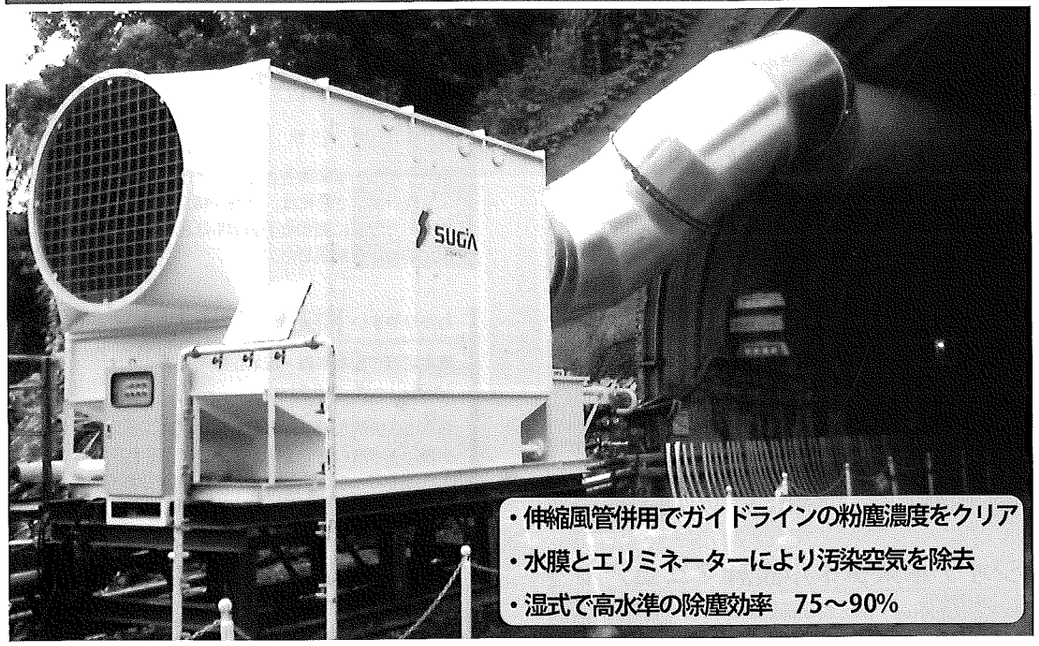
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

(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

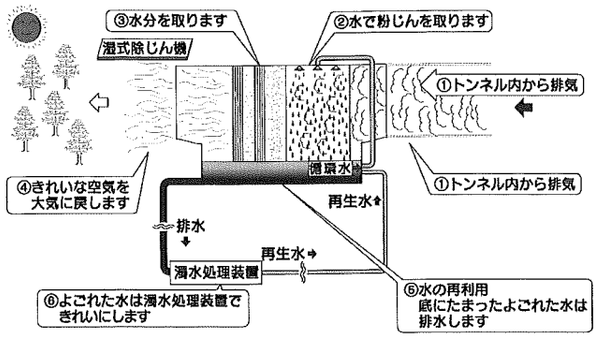
新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

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



除じん機による浄化フロー



機　種

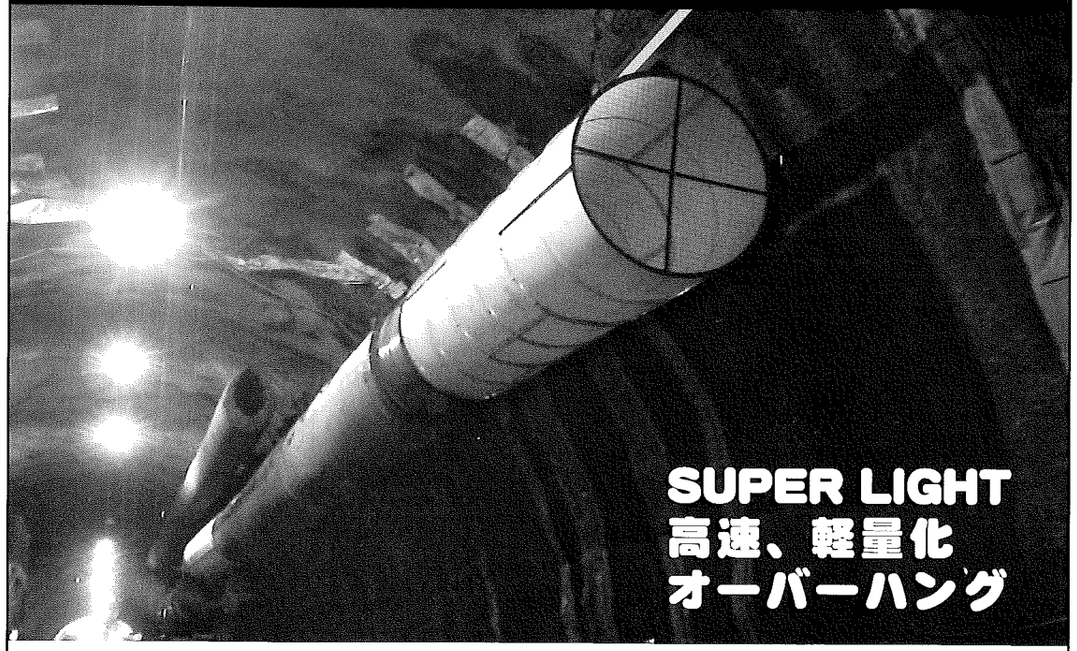
①1500㎥/min　動力：7.5kW
②2000㎥/min　動力：11.0kW
＊動力は循環ポンプのみ
＊使用水は再生水循環式

SUGA スガキカイ　菅機械工業株式会社
URL http://www.suga-kikai.co.jp

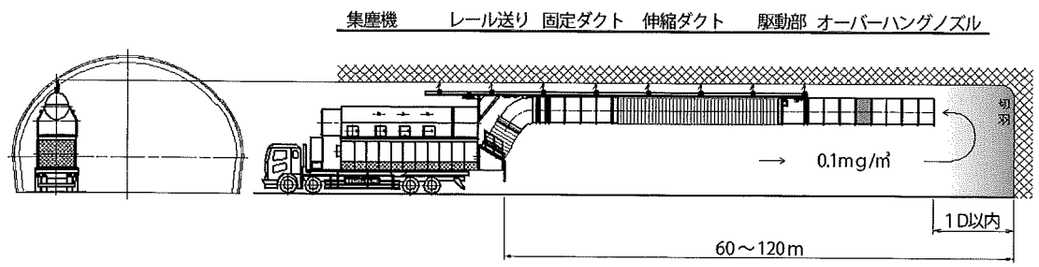
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

時代は吸引捕集方式へ・・・

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



- 吸引捕集方式は切羽直下で粉じんを吸引し、切羽の作業員を守ります。
- フィルタ式集塵機で大気レベルに清浄化、トンネル全域をきれいにします。
- 発破後の換気時間を短縮、余掘防止など生産性も向上します。
- 国際トンネル協会 (ITA) も推奨している方式です。



最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング
〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
℡：0120-449-881
URL：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)