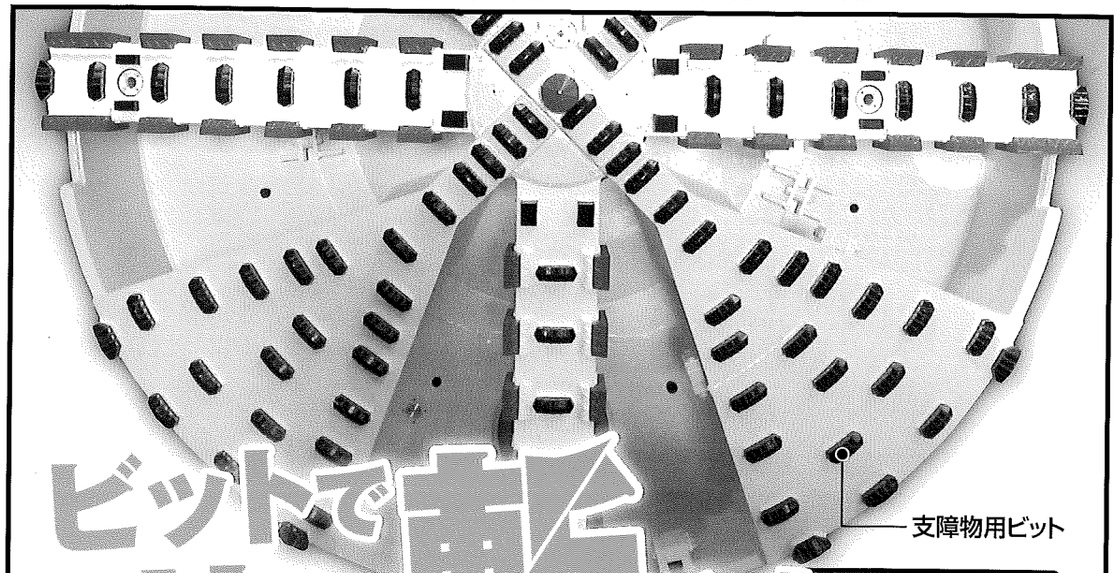
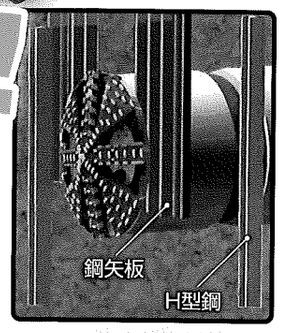
トンネルと地下　平成25年12月1日発行第44巻第12号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



ビットで杭を斬る！



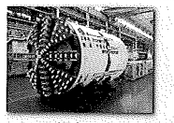
三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

特　長

- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。
- 切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。
- 周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

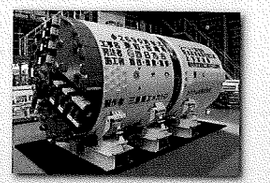
施工実績


φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面


φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(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


φ2690泥水式シールド
鋼矢板(Ⅱ、Ⅲ型)×12面

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

三菱重工メカトロシステムズ株式会社　都市開発部
神戸市兵庫区和田宮通五丁目4番22号　TEL.078-672-2872　FAX.078-672-2869
東京都港区港南二丁目16番5号　TEL.03-6716-4092　FAX.03-6716-5833

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-12
4910066191238
01500

平成25年12月1日発行(毎月1回1日発行)　第44巻第12号　通巻520号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 12

vol. 44
no. 12
2013

Tunnels and Underground

軟弱地盤上の高密度鉄道線区で大規模ボックスを開削工法で築造
61日間連続車線規制によるインバート再構築工事
首都高直下の踏切部などで変状対策を講じ開削トンネルを築造
電気防食を適用した地中送電洞道の劣化対策事例
シールド工事用二次覆工一体型セグメントの開発とその実用化に関する研究

日本トンネル技術協会誌



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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R-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 全高	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



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。

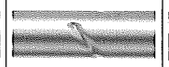
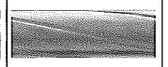
特徴②　接続部補強により鋼管の薄肉化

「**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

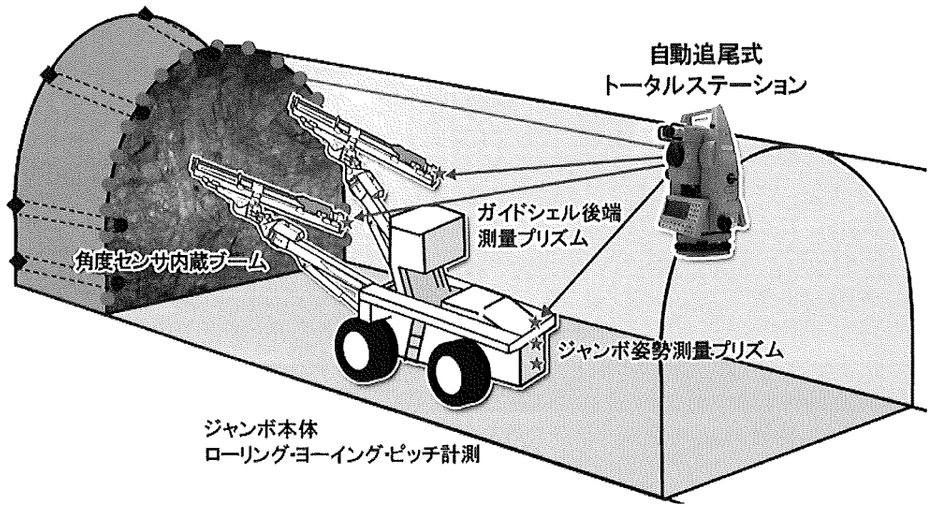
技術部　:東京都港区芝公園芝パークビル B 館　TEL 03－6402－8257

NETIS登録番号:KK-100049-A

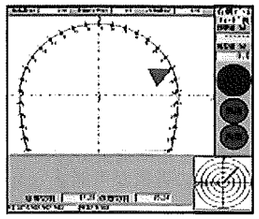
自動追尾式余掘り低減システム

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

FRD FURUKAWA 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

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

パターンボルトのGRP化

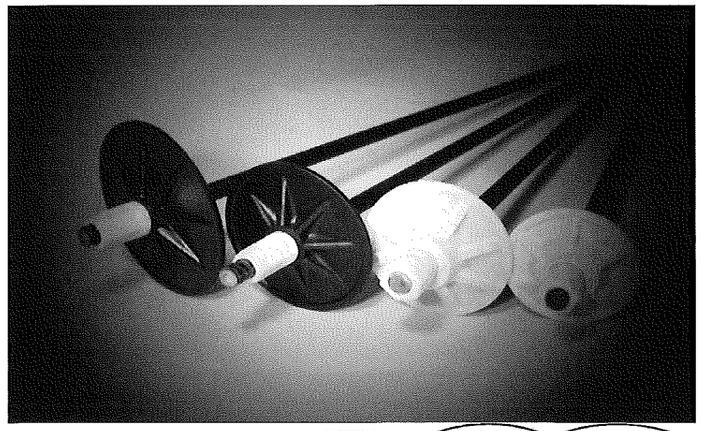
POWERTHREAD

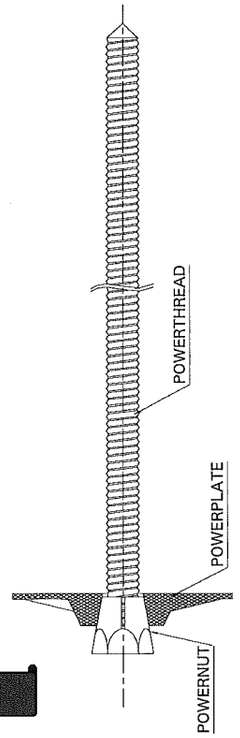
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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

This May Debut

TAG Navi–V（換気自動制御）

Automatic Ventilation Control System

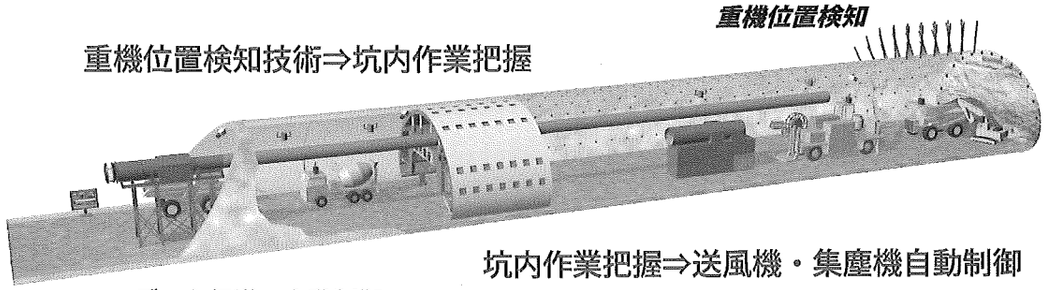
CYBER NATM

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

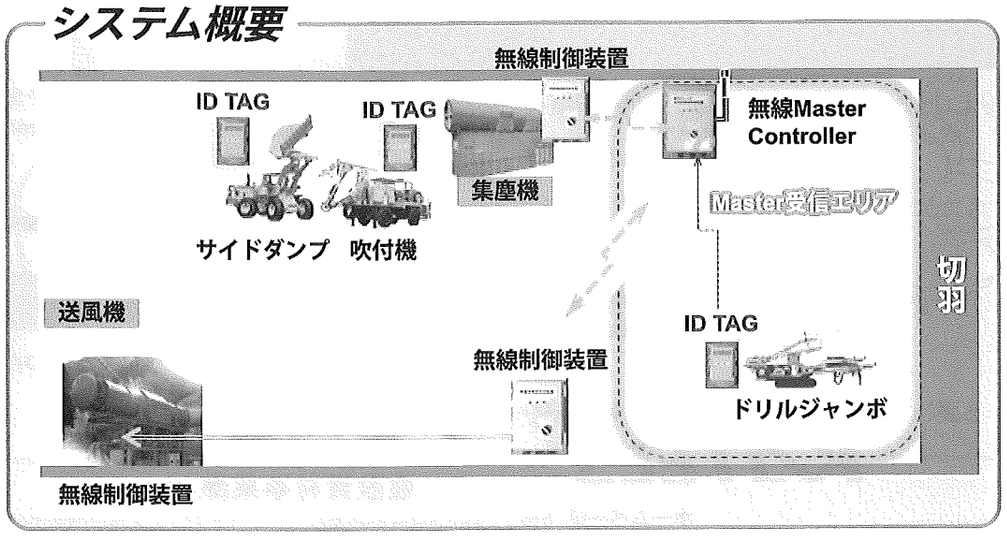
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



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



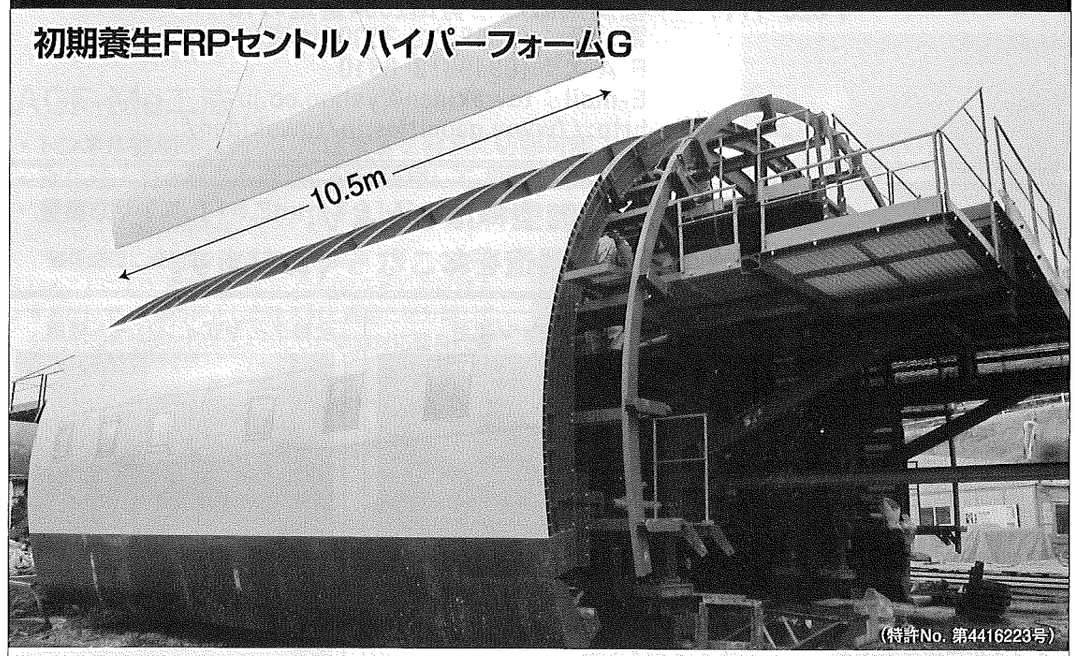
株式会社流機エンジニアリング

enzan koubou

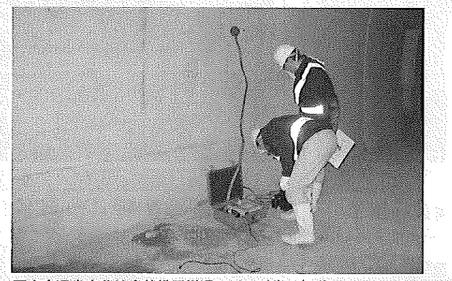
株式会社　演算工房　　*ENZANKOUBOU CO.,LTD.*

■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

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



■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢這トンネル ㈱フジタ施工

国土交通省東北地方整備局の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

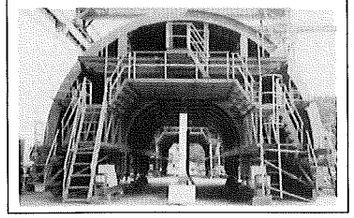
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田（かいた）工場

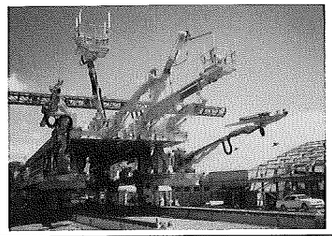
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp
ホームページ　http://www.geocities.jp/towakiden/

トンネル用鋼製型枠はもとより，
各種鋼構造物の設計・製造をおこなっております．

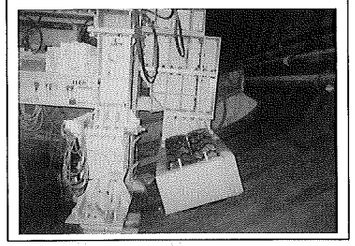
高流動コンクリート対応型
全断面ステンレスフォーム



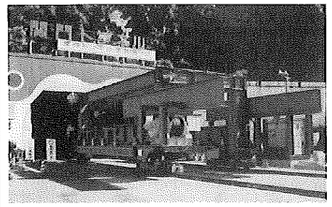
ワークステーション架台



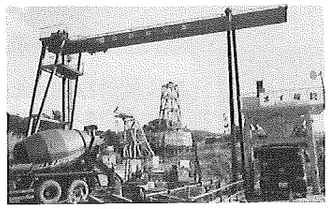
全輪タイヤ式インバート桟橋



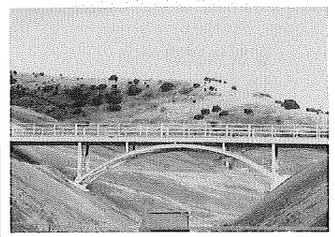
勾配対応全輪駆動式
トンネル床版撤去架台



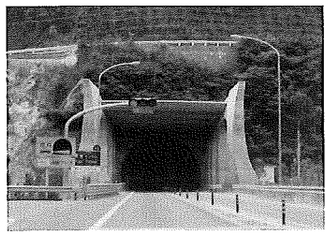
立坑ズリ出し設備
(4.5t×60m)



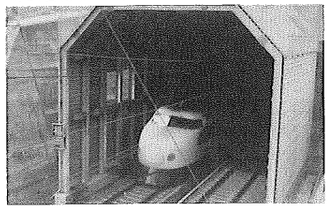
林道橋



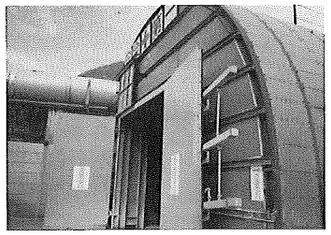
トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播鋼製緩衝工
(総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター



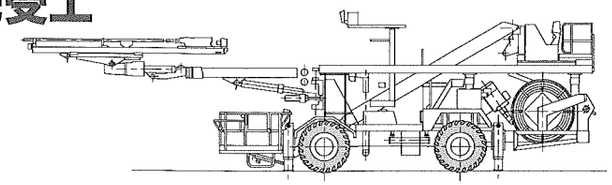
離島を含む九州一円中国四国圏内におきましては，
地の利を生かした営業・打合せ・納品・対応を行ってまいります．

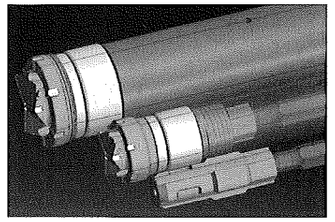
代表取締役社長 故福田隆彌の生前中は 格別なるご厚誼を賜りましたことに深く感謝し謹んで御礼申し上げます
今後共相変わりませず御付き合いの程宜しくお願い致します　　新代表取締役社長　福田雄介

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

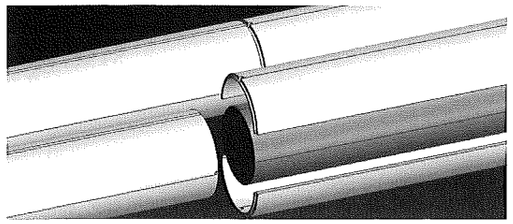


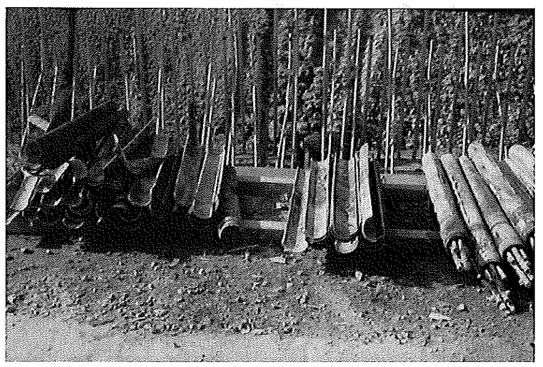


AGF-Me工法

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

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





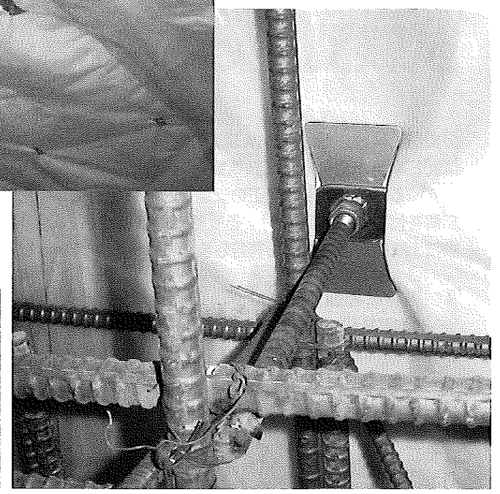
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

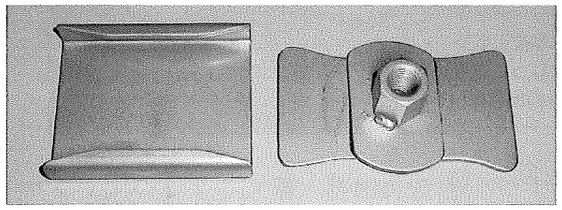
TKグリッパー

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

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







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

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

月刊推進技術
定期購読のご案内



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

わが国のライフラインなどのインフラ整備またはその再構築や新たな地下空間の築造に、掘削残土量やCO_2排出量を抑制し、なおかつ耐震性の高い推進工法のニーズが高まっています。月刊推進技術では、円滑かつ適正に推進工事を行っていただくため、必要とされる技術情報をわかりやすく解説をしております。また、推進関連のニュースはどこよりも早く、かつ情報満載でお届けしており、管渠埋設の計画・設計・施工の業務にお役立ていただける内容となっています。

申込方法

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

詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

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

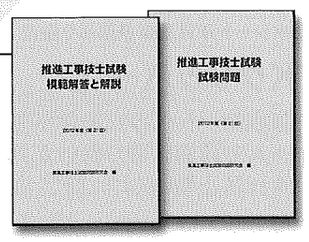
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201　株式会社 LSプランニング内
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail akasaka@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



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。

2013年度版は
2月上旬発売予定

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。

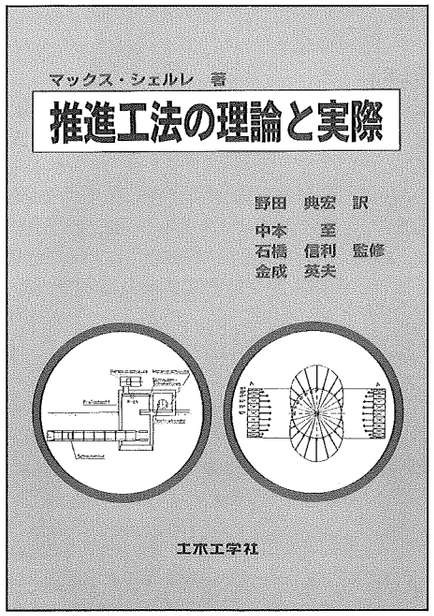
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。

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/
〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail oda@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様々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。

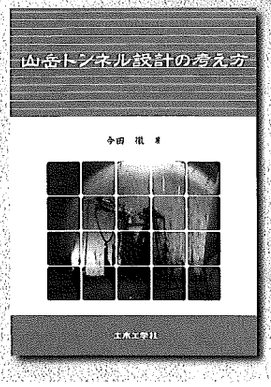
私たちは、野田氏（訳者）の翻訳を監修したわけだが、推進工法の理論面と実務面を実に詳細に解説している点に驚いた。したがって推進工法に従事し、一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う。

〒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

山岳トンネル設計の考え方



決定版

東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

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

《主要目次》

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

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい
トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価 1,500 円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

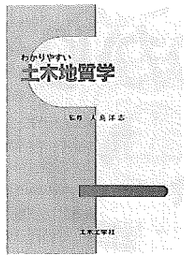
お申し込みは当社へ FAX，または，お近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)
にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上，お申し込みください．

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

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編　地質調査法

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

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

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

B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

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

A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

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

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

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

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

株式会社 土木工学社

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

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㈹

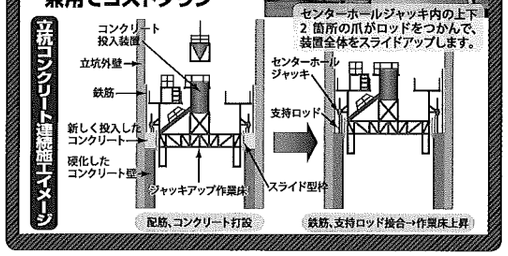
スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

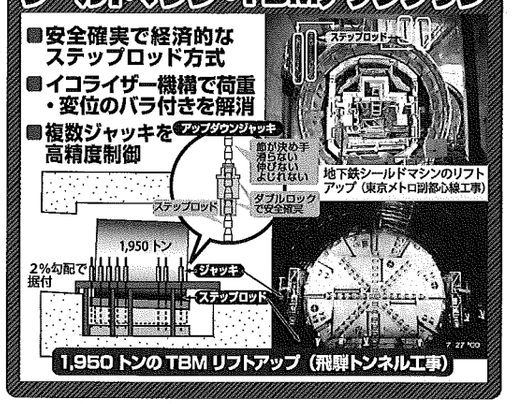
- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン





シールドマシン・TBMアップダウン

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



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

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ

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

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!!

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

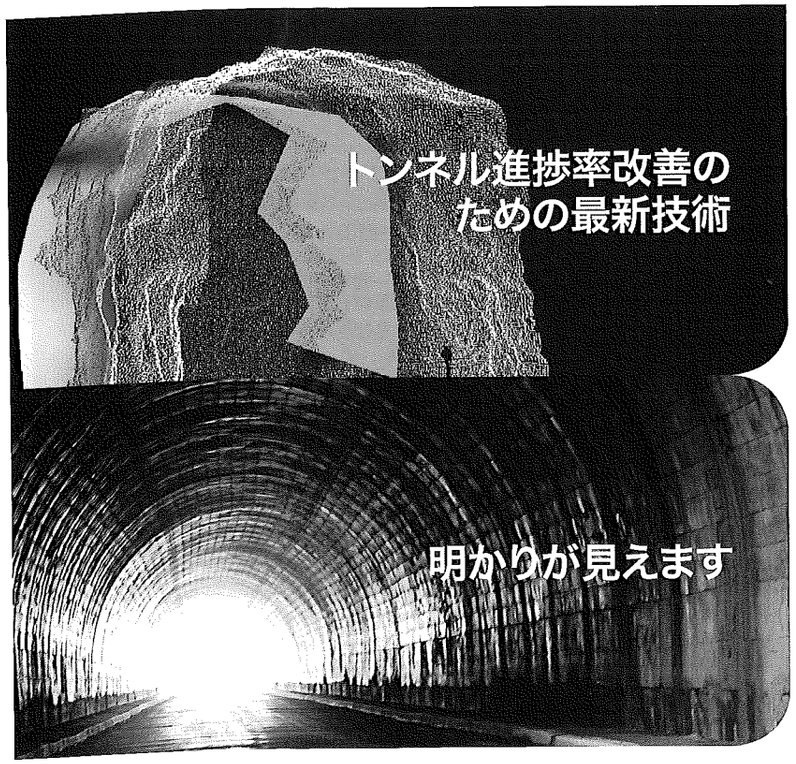
■九州支店
tel：0982-26-2111
fax: 0982-26-2290

【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	2,890mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,820mm	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	掲載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45TⅡ 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





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。

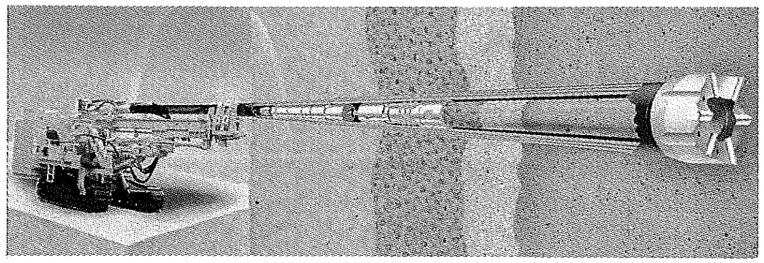
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

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

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

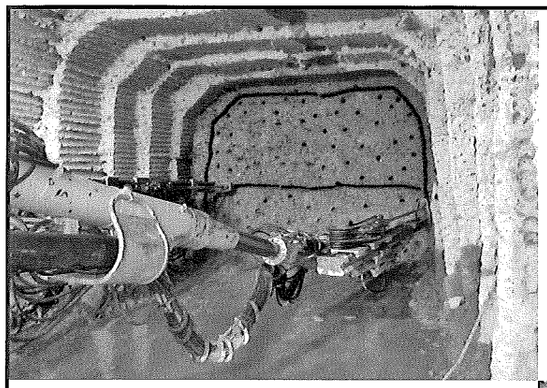
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

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

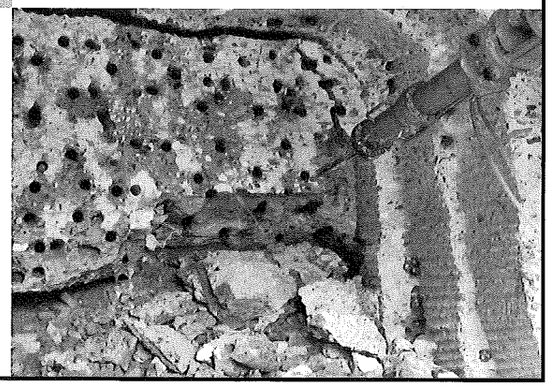
本社　〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F
TEL（03）6907-7888（大代表）　FAX（03）6907-7527

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



コンクリートを静かに掘る！

荒瀬ダム本体等撤去工事（熊本県企業局発注）において、ＦＯＮドリル工法を用いた割岩掘削により、コンクリートダム堤体を傷めずに仮排水トンネルを構築しました。



ＦＯＮ工法協会（NETIS：KT-980302-A）

住所：東京都武蔵野市吉祥寺東町2-17-1
TEL：0422-21-3177
ＨＰ：http://www.fon-drill.jp/index.html

正 会 員：㈱フジタ、㈱大本組、藤友工業㈱、
日本ロックエンジニアリング㈱、㈱福田組
賛助会員：ヤマモトロックマシン㈱、
ドリルマシン㈱、カヤク・ジャパン㈱

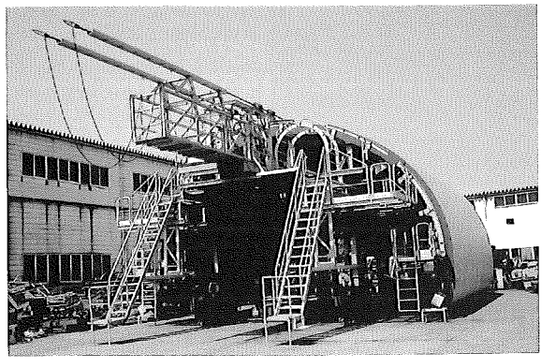


要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

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

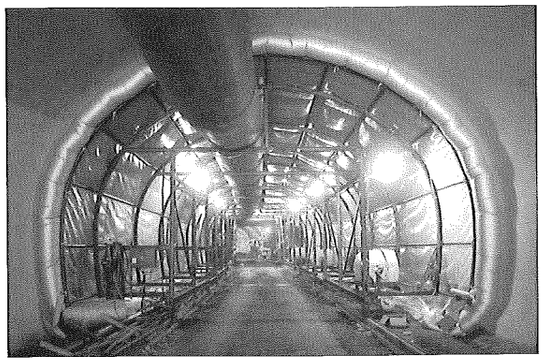


期待される効果・特徴

- 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

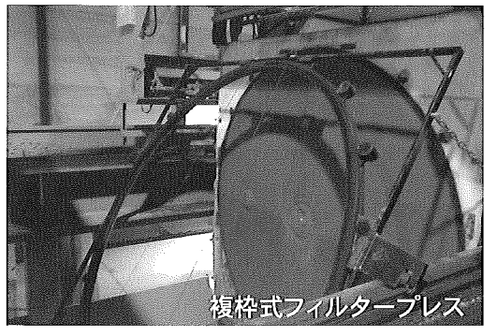
北陸鋼産株式会社
（旧社名　株式会社 佐賀）
URL http://www.hokuriku-kosan.co.jp
射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423
東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789　大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

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

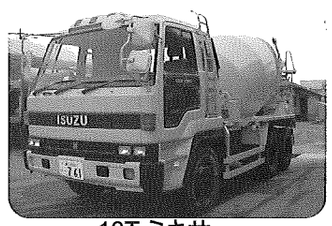
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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　12月号目次　Vol.44, No.12, 2013 Dec.

■巻　頭　言

経験と知識を結集させて
真下　英人……5

■研　　究

シールド工事用二次覆工一体型セグメントの開発とその実用化に関する研究
松浦　將行……53

■施　　工

軟弱地盤上の高密度鉄道線区で大規模ボックスを開削工法で築造
―東海道線　戸塚こ道橋―
木戸　素子・鳴海　彰三・松林　　誠・樫内　雅章……7

61日間連続車線規制によるインバート再構築工事
―上信越自動車道　日暮山トンネル―
丸山　　勝・中野　清人・天野　淨行・下村　哲雄……17

首都高直下の踏切部などで変状対策を講じ開削トンネルを築造
―京浜急行大師線連続立体交差事業―
矢野栄二郎・千本木　武・根岸　範明・板橋　信男……29



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

電気防食を適用した地中送電洞道の劣化対策事例
石塚　正寿・小椋　明仁・桑原　弘昌・大久保謙治……45

■連 載 講 座

トンネルにおける地下水対策（5）
―山岳トンネルと地下水―
「地下水対策」連載講座小委員会……63

■現場だより

「ぶんごどっこのお膝元」大分県佐伯市より
榊原　高範……16

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネル現場を思い出すたびに
佐藤　哲夫……37

■資　　料

土木情報
編　集　部……75

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……77

トンネルジャーナル
編　集　部……76

「トンネルと地下」平成25年・年間総目次
編　集　部……78

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……82

【表紙説明】　61日間連続車線規制によるインバート再構築工事
―上信越自動車道　日暮山トンネル―



上信越自動車道日暮山トンネルは延長2,000m級のトンネルで，平成15年に供用を開始した．建設当時，Ⅰ期線（上り線）では，膨張性泥岩に遭遇し，最大約300cmの天端沈下が発生した．そのため，Ⅱ期線（下り線）ではⅠ期線の膨圧区間を考慮し，大きくルートを変更している．平成22年8月5日，下り線のインバート設置区間で路面隆起が発見されたため，盤膨れの変状対策としてインバート再構築工事を車線規制の条件下において実施した．　写真は，車線規制化での施工状況である．

〔**写真提供**：東日本高速道路（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

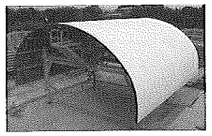
コンクリートトータル養生システム



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



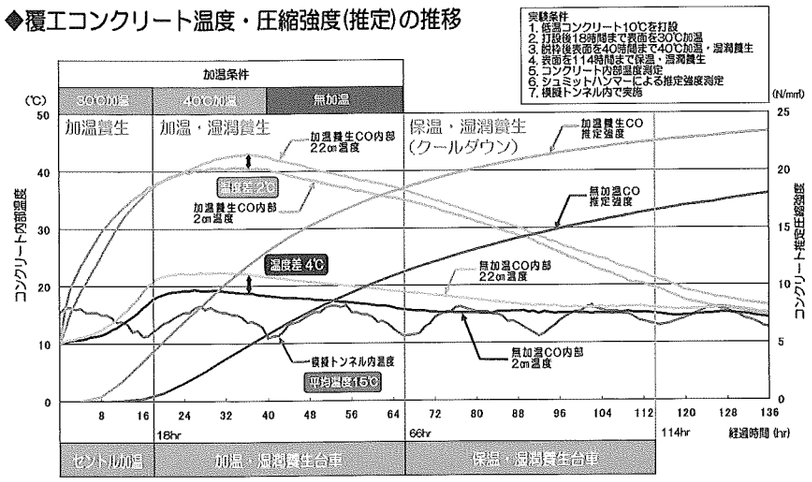
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生



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

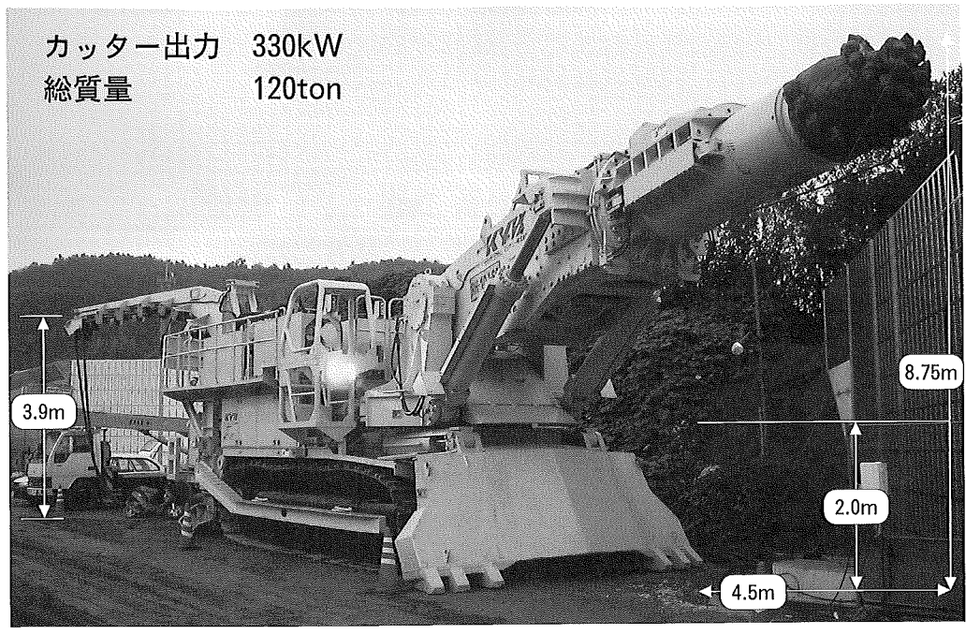
藤井義文
株式会社竹中土木執行役員

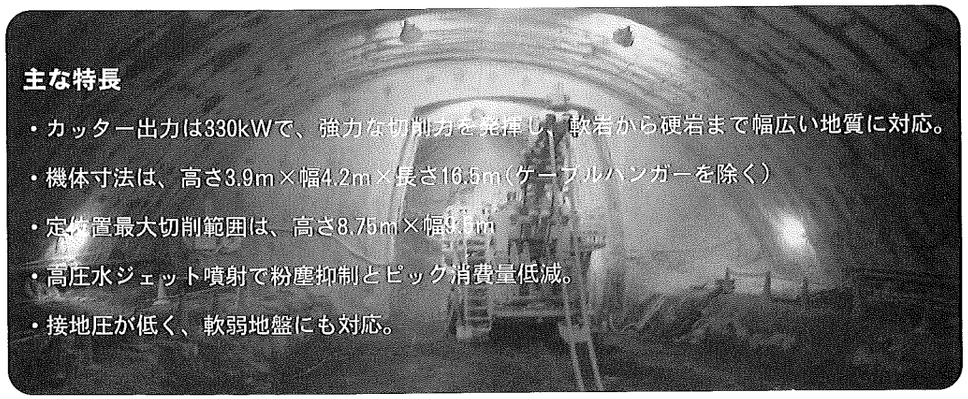
松原利之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

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

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
工務部流通土木グループマネージャー

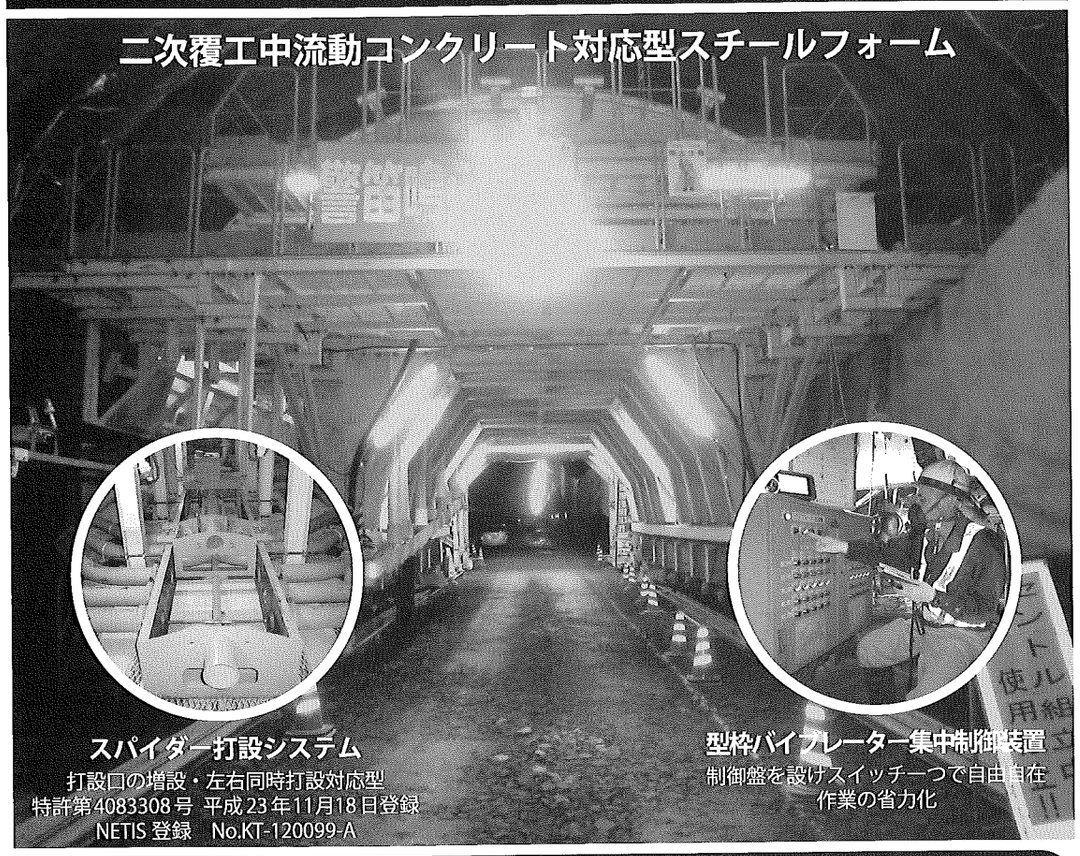
谷内雅之
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

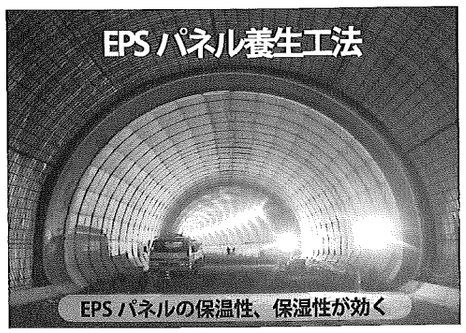
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

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. 12　掲載概要

掲載頁 7

軟弱地盤上の高密度鉄道線区で大規模ボックスを開削工法で築造
—東海道線　戸塚こ道橋—

東日本旅客鉄道(株)　木戸　素子

横浜市は，東海道線戸塚駅周辺地区を一体整備するため，市街地再開発事業と土地区画整理事業を推進しており，駅東西の交通機能の強化を図るため，東海道線40k750m付近で立体交差する都市計画道路柏尾戸塚線の整備を進めている．本工事は，工事桁工法により，幅19.5m，高さ7.8m，延長74m，1層2径間ボックスカルバート(片側2車線，車道のみ)を東海道，横須賀，東海道貨物の上下線計6線の線路直下，土かぶり2.2～3.2mに構築するものである．本現場は線路内での1晩あたりの作業時間が非常に短いなかで，工事桁の架設・撤去作業や仮土留め工など工夫をしながら施工を進めてきた．また，軟弱地盤で地下水位が高いことから，漏水対策として道路函体にひび割れを発生させない対応も検討してきた．

本稿では，仮土留め工，工事桁架設について述べるとともに，道路函体のひび割れ対策について報告する．

Build Large Box Tunnel under Dense Railway Tracks in Soft Ground with the Cut-and-Cover Construction
—Tokaido Line Totsuka Underpass—

By Motoko Kido, East Japan Railway Company

In order to redevelop the Totsuka station district of the Tokaido Line, Yokohama City is moving ahead with an urban redevelopment project and a land readjustment project. It is building Kashio-Totsuka Street of a city planning road to strengthen traffic function between east and west of the station that crosses under the JR Tokaido Line at around its 40k750 m mark. These works were to construct a one-story, two-span RC box tunnel with four lanes and no footpath of width: 19.5m, height: 7.8 m and length: 74 m using cut-and-cover method. The tunnel ceiling was 2.2-3.2 m under three double-tracks of the Tokaido, Yokosuka and Tokaido freight lines which were temporarily supported by beams spanning construction site. These works were limited to short work time on the tracks each night so construction was conducted with various techniques such as work of installation/removal of temporary beams and temporary earth-retaining walls. In addition, we considered measures against the occurrence of cracks in the box structure that might cause leakage under groundwater in the soft ground.


写真は道路函体完成

This report gives information on the temporary earth-retaining works and the temporary bridging works as well as on measures against cracks in the box.

掲載頁 17

61日間連続車線規制によるインバート再構築工事
—上信越自動車道　日暮山トンネル—

東日本高速道路(株)　丸山　勝

上信越自動車道日暮山トンネルは，Ⅰ期線(上り線)建設時に膨張性泥岩に遭遇し，最大約300cmの天端沈下が発生したため，円形に近い断面で克服し，平成5年に暫定2車線で開通した．また，Ⅱ期線(下り線)はⅠ期線の膨圧区間を考慮して大きくルートを変更したのち，平成15年に完成し，4車線の供用を開始した．

平成22年8月5日，下り線56.5KP付近の円形断面でないインバート設置区間で路面隆起が発見された．このため，インバートが損傷した盤膨れの変状対策として，インバート再構築工事を車線規制の条件下において管理基準を設定し，計測工を活用し監視を重視しながら完了させた．本稿では，インバート損傷の原因と対策工の効果について報告する．

Rebuild Invert Concrete through Continuous 61-day Lane-Closure—Joshin-etsu Expressway Nikkure-yama Tunnel—

By Masaru Maruyama, East Nippon Expressway Company Limited

In the works of The Nikkure-yama inbound Tunnel on the Joshin-etsu Expressway, they encountered expansive mudstone and max. approx. 300 cm of crown settlement occurred. They overcame the bad ground with applying an almost circular tunnel cross-section and the tunnel opened as two-lane expressway in 1993. Further, the route for the outbound line was widely changed taking the swelling pressure zone of the former tunnel into account. It was completed in 2003 and all four lanes were put into service.


写真はインバート損傷状況

On 5th August, 2010, heaving of road surface was found at the vicinity of the outbound 56.5 KP (kilometer post) in which an invert concrete was installed but not applied circular tunnel cross-section. We rebuilt invert concrete as a measure against heaving that damages inverts. We conducted the works applying control standards and placing emphasis on monitoring under condition of lane-closure. This report gives information on the causes of damages on invert concrete and the effects of countermeasures.

掲載頁 29

首都高直下の踏切部などで変状対策を講じ開削トンネルを築造
—京浜急行大師線連続立体交差事業—

京浜急行電鉄(株)　矢野栄二郎

京浜急行大師線連続立体交差事業は，大師線約5kmのほぼ全線を地下化することにより，東京大師横浜線(産業道路)をはじめとする計14か所の踏切を除去し，道路交通の円滑化や踏切事故の解消，鉄道によって隔てられていた地域の一体化などを促進する事業である．

産業道路との平面交差区間を含む，東門前駅付近から小島新田駅付近の約980mを第1期工事の段階的整備区間として平成18年9月より着手した．この段階的整備区間では，開削トンネル工法が採用されている．

開削トンネルの施工においては，鉄道営業線や周辺家屋・首都高速橋脚・地下埋設物などのインフラ設備への影響を及ぼすことないようさまざまな補助工法を用いた．

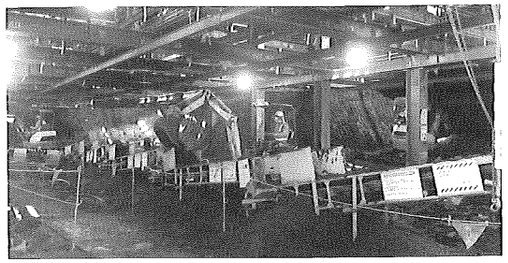
本稿では，その各種補助工法および計測管理と施工中の計測結果の検証について報告する．

Build Cut-and-Cover Railway Tunnel Surrounding by Road and Viaduct Piers with Measures Against Displacement —Keikyu Daishi Line Grade Separation Project—

By Eijiro Yano, Keikyu Corporation

The Keikyu Daishi line grade separation Project will remove a total of 14 crossings including one on the Tokyo Daishi Yokohama Road (Sangyo-Doro) with relocating approx. 5 km of almost all tracks of the Daishi Line to underground. It will make road traffic smoother and reduce crossing accidents and will promote the integration of areas separated by railway lines.

The 1st phase of works began in September, 2006 as a phased development zone of approx. 980 m from the vicinity of Higashi-Monzen Station to the vicinity of Kojima-shinden Station including the grade intersection on Sangyo-Doro. This section was built with cut-and-cover tunnelling technique.



写真は産業道路駅部掘削状況

Various auxiliary techniques were used so as not to affect infrastructures such as operating railway lines, residences around the site, Tokyo Metropolitan Expressway viaduct piers and underground installations.

This report gives information on each of these auxiliary techniques and monitoring control as well as verification of monitoring results during construction.

掲載頁 45

電気防食を適用した地中送電洞道の劣化対策事例

東京電力(株)　石塚　正寿

都心への電力供給の要である地中送電洞道(M洞道)は，1973年に竣工した現場打ちボックスカルバートである．経年劣化と漏水による内部鉄筋の腐食に伴い，コンクリートの劣化(浮き，剥離・剥落)が著しく，補修が必要と判断された．劣化機構を特定して顕在化した部位を復旧したのち，今後の内部鉄筋の腐食を確実に防止して洞道の耐久性を確保する目的から，初めて外部電源方式の電気防食工法を実施した．本稿では，この補修設計時の検討内容と施工概要を報告する．

Deterioration Countermeasures of Power Transmission Tunnels using Cathodic Protection

By Shoju Ishizuka, Tokyo Electric Power Company



写真は階段部陽極設置状況

A power transmission tunnel (M tunnel) that is central to electricity supply to the city core is in-situ RC box tunnel built in 1973. Concrete of M tunnel was judged that its deterioration (expanded crack, spalling) was considerable due to time-related deterioration and corrosion of rebar by leakage and that repair was required. After specifying deterioration mechanisms and repairing degraded spots, with the aim of guaranteeing cable tunnel durability we first installed cathodic protection system using an external power supply in the M tunnel to reliably prevent future corrosion of internal rebar.

This is a report of items considered in maintenance design and of the construction outline.

掲載頁 53

シールド工事用二次覆工一体型セグメントの開発とその実用化に関する研究

東京都　松浦　將行

下水道は，東京都民の生活や都市機能を地下で支える重要な都市施設であり，その機能を低下させることは許されない．そのため，東京都では老朽管渠を造り替える再構築事業を主要な事業として推進している．再構築事業を円滑に進めるうえで，下水道管渠の築造に多く採用されるシールドトンネルの建設コスト縮減や工期短縮への取組みが重要な課題となっている．

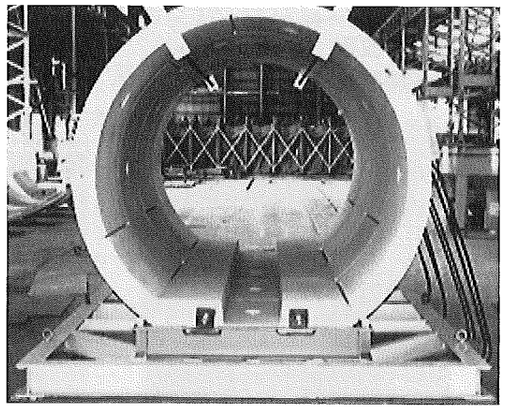
本研究は，二次覆工のもつ機能，とくに防食機能をセグメントにどのように代替させるか，セグメントの構造特性をどのように評価するか，また，各種の地盤条件に適応した構造解析手法はどのようなものがよいか，セグメントに作用する主荷重や施工時荷重である推力に対する耐荷性能をどのようにして確認するかなど，設計上や施工上の多くの課題に対して，「二次覆工一体型セグメント」を開発し，その実物大の載荷試験などを実施して，設計法などに検討を加えたものである．

Development and Practical Use of Segments Combined with Secondary Lining for Shield Tunneling Works

By Masayuki Matsuura, Tokyo Metropolitan Government

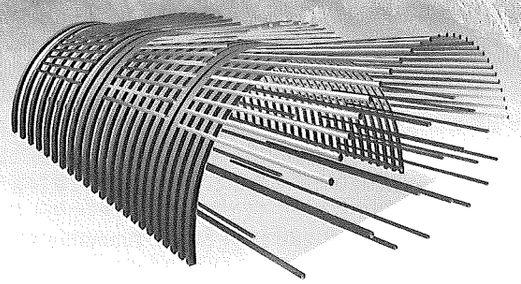
The sewage system of Tokyo is an important urban infrastructure that supports the urban life and municipal performance. It is inadmissible that this functionality should deteriorate. For this reason, Tokyo Metropolitan Government is making progress with a reconstruction project that improves dilapidated sewer pipes as a major project. Initiatives to reduce the construction costs and periods for shield tunnels which are usually adopted for sewage pipe installation is important in smooth progress of the reconstruction project.

The segments combined with secondary lining were developed in the basis on the specifications that meet agendas in design and construction such as how to substitute functions of secondary lining, in particular, the function of corrosion protection, how to evaluate segment structural properties, how to analyze the its structure depending on each ground condition and how to secure load carrying capacity of segment under possible loading cases including main load or thrust force from jacking. This report gives information on the development process using huge load tests for the actual segment and consideration of design methods, etc.



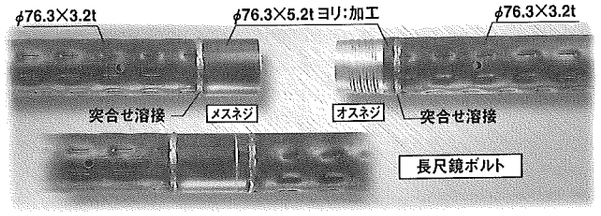
写真は4分割3ヒンジ構造のインバート溝付き二次覆工一体型セグメント(コンパクトセグメント)

ユニークな発想でVEを提案



FIXチューブ(S型)（ストロング）

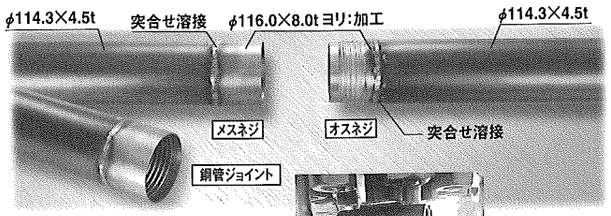
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



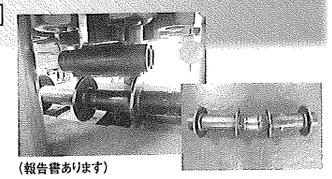


AGF-STD工法

※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!



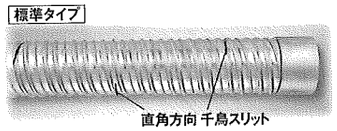
曲げ耐力30%UP!!



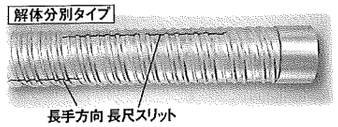
(報告書あります)
接続部の抗折力試験

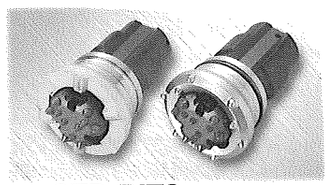
撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

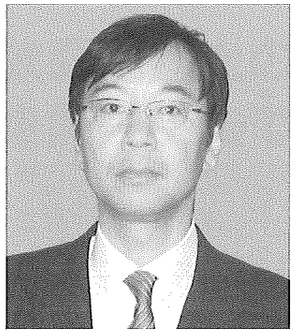
注入材・その他工法

※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）



経験と知識を結集させて

（独）土木研究所道路技術研究グループ長
真下英人

トンネルは経験工学と言われている．トンネルを理解するには，岩盤力学，土質力学，構造力学，コンクリート工学，地質学，機械工学など多くの分野の知識を必要とする．しかし，これらに関して十分な知識を有していてもトンネルの現場で遭遇するさまざまな問題に対して知識だけで対応できることは限られ，トンネル技術者は経験と知識にもとづいて総合的に判断することが求められる．解析手法による検討が行いやすい山岳トンネルの支保構造の挙動を例に挙げても，解析どおりの挙動を示すことは少なく，最終的にはこれまでの経験や事例を参考にして支保構造を決める場合が多い．これは，複雑な地山の挙動を現在の力学モデルでは表現しきれないことに加えてトンネルの場合は施工の仕方の影響が結果に大きく現れることが大きいためと思われる．

一方，最近ではコンピュータの能力向上と解析技術の進歩により，複雑な解析も比較的簡単に行えるようになってきている．おかげで解析を通じて得ることのできる知識も格段に増えてきており，解析がトンネル技術の進展に果たす役割は大きくなっている．代表的な例として有限要素法などの３次元の解析手法が挙げられる．トンネルの挙動は３次元の問題であるため，トンネルの挙動の把握には３次元解析が望まれるが，これまで３次元解析は容易ではないため，応力解放率という概念を用いて２次元解析が一般的に用いられてきた．３次元解析が簡単に行えるようになると，３次元で捉える必要がある現象の解明が進む．例えば山岳工法における早期断面閉合は，その効果とメカニズムに関する検討が３次元解析により進んでおり，不良地山対策としての近年の普及には３次元解析が少なからず貢献していると思われる．

しかし，いくら解析手法が進歩しても経験で得られたものの中には解析ではカバーできないものがある．シールドトンネルのセグメントを例にとると，解析によりトンネル完成時を対象にした設計を行うと，地盤条件が良い場合には厚さの薄いセグメントでも

構造は安定する．しかし，セグメントには完成に至るまでの施工過程でいわゆる施工時荷重が作用するため，地盤条件が良い場合は施工段階の方が完成時よりも荷重条件が厳しくなり，構造が不安定となることも有り得る．一方，セグメントの厚さについてはこれまでの経験からトンネル外径に対する比率の下限値の目安が得られており，これには施工過程で発生するリスクにも対応できるだけの安全率が見込まれていると考えられる．施工過程を考慮せず，完成時だけを対象にした解析を行うとセグメント厚さはこの目安よりも薄いものでも問題にならない場合があるが，施工過程で発生するリスクには対応できないおそれがある．経験的に用いられてきたものはそれなりに理に適っていることが多く，大きく変わる場合は，今一度，全体を見渡して考え方に欠けているものがないか確認することが重要なのではないだろうか．

今後，これまでに経験したことがない大断面トンネルや長大トンネルを建設するプロジェクトが始まる．トンネル技術者にとっては非常にやりがいのある仕事になるが，これまでと異なる新しい発想による技術が求められる．例えば，都市部の道路トンネルの分岐合流部では，3車線の本線トンネルをシールド工法で掘削した後に地中で切拡げを行い，これまでの実績をはるかに超える大断面の空間を構築することが必要となる．2車線トンネルでの切拡げの実績はあるため，参考になる部分もあるが，設計，施工などの仕方にはこれまで適用したことがない新しい技術の導入が必要になると思われる．未知のことについては，これまで以上に解析の果たす役割が大きくなると思われるが，解析結果は鵜呑みするのではなく，これまでの経験に照らし合わせて吟味することも必要である．また，設計は完成に至るまでの施工状況も考慮し，施工は設計の考え方を確実に反映させるなど，絶えず全体を見渡して判断することが必要である．すなわち，経験と知識を結集させて起こりうる事象を多面的，総合的に捉えることが重要と考えている．

土木技術の継承が大きな課題となっているが，トンネル技術は知識とともに経験も継承していかなければならない．経験には理屈では説明できないものもあるが，理屈がつくものはそうなることの原理を説明することにより，また，知識はできる限り現場で起こっている具体的な現象を示すことにより，少しでも次代のトンネル技術者が理解しやすいかたちで伝えて行かなければならないと思う次第である．

施工

軟弱地盤上の高密度鉄道線区で大規模ボックスを開削工法で築造

—東海道線　戸塚こ道橋—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所東海道課主席　木　戸　素　子
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所東海道課副課長　鳴　海　彰　三
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室主席　松　林　　誠
鹿島・鉄建・京急建設共同企業体JR戸塚工事事務所所長　樫　内　雅　章

1　はじめに

横浜市は，東海道線戸塚駅周辺地区を一体整備するため，市街地再開発事業と土地区画整理事業を推進しており，駅東西の交通機能の強化を図るため，東海道線40k750m付近(戸塚駅の東京方)で立体交差(アンダーパス)する都市計画道路柏尾戸塚線の整備を進めている．柏尾戸塚線は，国道1号の代替ルート(車道のみ)であり，朝夕のラッシュ時には東海道本線と国道1号の平面交差部である東海道踏切(通称「大踏切」)が，開かずの踏切となり交通渋滞を慢性化させているため，その開通は地域住民から大きな期待を受けている．

図-1, 2にそれぞれ位置平面図，全体図(平面図，

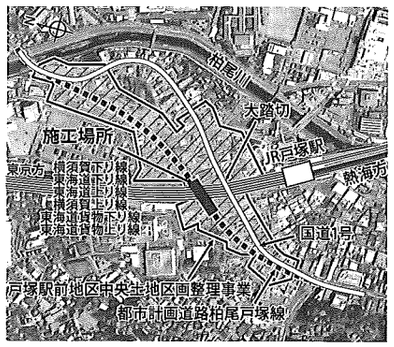


図-1　位置平面図

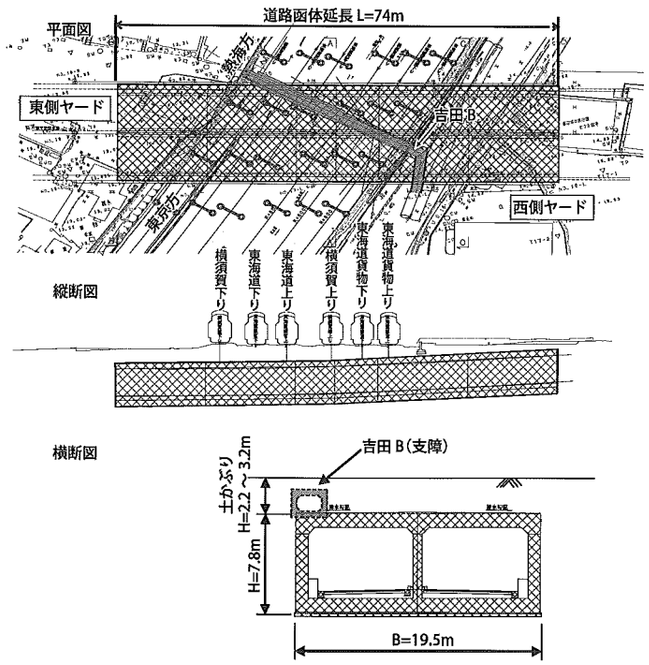


図-2　全体図(平面図，縦断図，横断図)

縦断図，横断図)を示す．当社は，柏尾戸塚線と東海道本線ほか(計6線)との交差部を含む延長約74m区間について，横浜市より委託を受け施工を行っている．工事は2005(平成17)年12月に着手し，2015(平成27)年1月の完成を目指している．

本工事では，非常に短い線路内に立入り可能な間合い(以下，「線閉間合い」)という厳しい条件下において，工事桁工法による線路下横断構造物の構築をしており，本稿では，この工事の設計・施工について報告を行う．

2　工事概要

本工事は，開削工法により，幅19.5m，高さ7.8m，延長約74m，1層2径間ボックスカルバート(片側2車線：車道のみ)の道路函体を東海道，横須賀，東海道貨物の上下線計6線の線路直下，土かぶり2.2～3.2mに構築するものである．

2-1　地盤条件

図-3に地層構成図を示す．

当該箇所の地層構成は東西方向に大きく異なり，東側は粘性土(Ac1，Ac2：N値＝2～3程度)，西側は砂質土(Ds1：N値＝28程度)が中心である．とくに東側には，粘性土の間に層厚5m程度の腐植土層(Pt層)が存在し，地下水位がGL－2mと高いため，立坑構築に伴って軌道下の地下水位が低下すると大きな圧密沈下を起こす懸念があった．

2-2　施工条件

道路函体の構築にあたっては，先に述べた腐植土層の地下水低下に伴う圧密沈下の懸念のほかに，東海道，横須賀，東海道貨物の上下線計6線の線路直下の土かぶり部に存在する吉田橋梁(水路ボックス)を撤去する際に，軌道への影響を最小限にする必要があった．これらの条件を鑑み，本工事では工事桁工法を採用した．

工事桁工法では工事桁の架設・撤去作業や仮土留め工など線路内で行う作業が非常に多く，これらの施工は終列車通過後から初列車までの線閉間合いで行うこととなる．本現場では線閉間合いが非常に短く，とくに貨物線部は作業可能な有効時間が76分という厳しい制約の中で施工を行った．

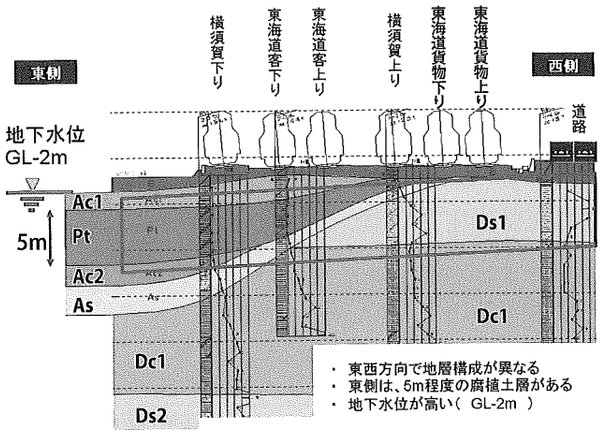


図-3　地層構成図(道路センター断面)

表-1　線路閉鎖間合い

時間	23	0	1	2	3	4	5
作業内容	30	30	30	30	30	30	30
横須賀線下り		0:38					5:02
東海道線客下り		0:37					5:04
東海道線客上り	23:54						4:29
横須賀線上り	23:54						5:08
東海道線貨下り		0:43			2:56		
		(0:43)				(4:03)	
東海道線貨上り		1:02			3:14		
		(0:30)				(3:56)	

通常間合い：作業有効時間 76 分
( ) 内は拡大間合い：作業有効時間 155 分

線路内作業は，線閉間合いで施工することが基本である．最終列車通過後の線閉着手手続きと初列車通過の約30分前までに線閉解除手続きをすることが必要であることから，これを差引いた時間を作業有効時間として作業計画を策定した．当該箇所での作業有効時間は，以下のとおりである．

① 通常間合い日(月，火，水，金，日)：東海道線・横須賀線199分間，東海道貨物線76分
② 保守間合い日(木，土)：全線ともに105分間
③ 拡大間合い日：東海道貨物線のみ155分間

東海道貨物線での作業有効時間が非常に短く，十分な作業時間が確保できないため，JR貨物と協議を行い，四半期に9日間(木，土に限る)は貨物列車1本を東海道線へう回させ，拡大作業有効時間155分間を確保した(表-1)．

3　工事桁工法による施工

図-4，5に，開削(工事桁)工法概要図，全体施工フローを示す．本現場は線閉間合いが非常に短いため，1晩あたりの作業量が少なく工程が長くなることが懸念され，軌道上からの作業の削減と作業効率の向上が求められた．このため仮土留め工の施工は軌道上と軌道下の2段階施工とした．施工手順は，軌道上から1次仮土留め杭の打設，土留め背面の止水を目的とした遮水壁工(地盤改良)および工事桁支持杭の打設を行ったあと，工事桁を架設する．工事桁架設後，1次掘削として工事桁下約4.0mの掘削を行い，この掘削面より軌道下に止水性のある2次仮土留め工を施工し，最終掘削面までさらに約8.0mの掘削を行った．なお，道路函体構築工に入るまでには全体工程の約6割を要している．

3-1　1次仮土留め工

1次仮土留め工は，軌道上から親杭式土留め壁工法(プレボーリング工法)により，親杭(H-400×400，L＝8.5～14.0m)の打設を行った．親杭は架空線の下で打設を行うためL＝2.5mの継杭とした．当夜の作業終了時は，オーガおよびH形鋼(親杭)を口元管内部で吊り下げ，口元管の開口部を鋼板で養生して列車が走れるように仮復旧し，後日の作業をロスなく続行できる作業手順とした．

3-2　2次仮土留め工

2次仮土留め工は，軌道下で高圧噴射併用機械

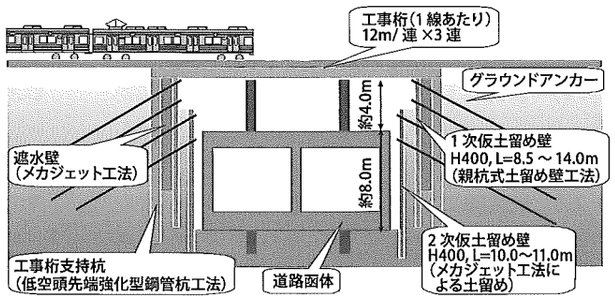


図-4　工事桁工法概要図

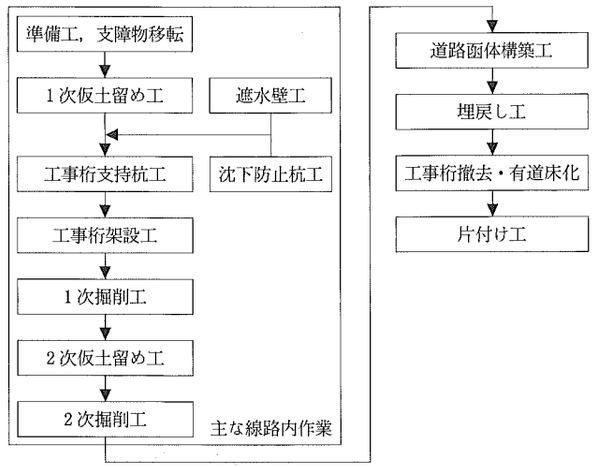


図-5　全体施工フロー

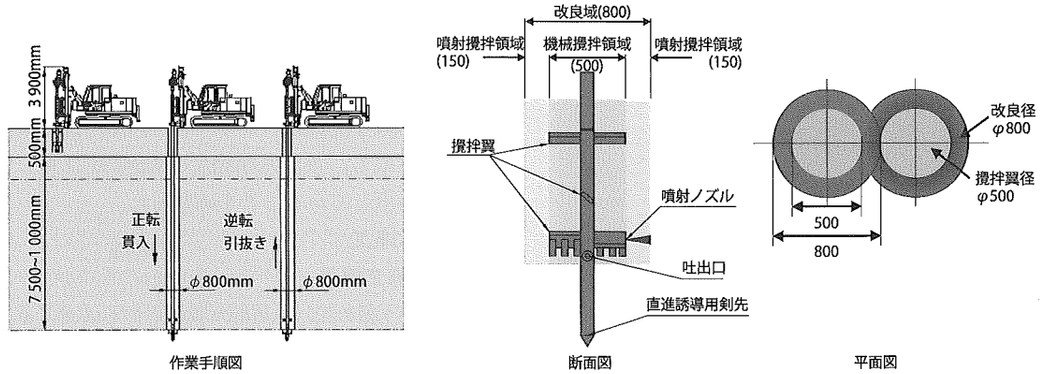


図-6　メカジェット工法概要図

攪拌工法(メカジェット工法)により改良体を造成し，この改良体に芯材(H-400×400，L=10.0～11.0m)の打設を行った(以下，「メカジェット工法による土留め」)．

図-6にメカジェット工法概要図を示す．メカジェット工法は，セメントスラリーを機械攪拌用ロッドの先端付近の吐出口から低圧で噴射するとともに，φ500㎜の攪拌翼先端から高圧噴射することでφ800㎜の改良体を造成するものである．施工試験などによって軌道への影響が少ない工法であることが確認されている．

3-2-1　試験施工および課題

メカジェット工法による土留めは実施工への適用が初めてであったため，事前に現場試験施工を行った．土質が東西で大きく異なるため，試験施工は線路脇の東・西両ヤードで実施した．**写真-1，2**に，試験施工状況を示す．メカジェット工法で改良径φ800㎜の改良体を造成し，この改良体に芯材(H-400×400，L=13.6～14.5m)を打設した．

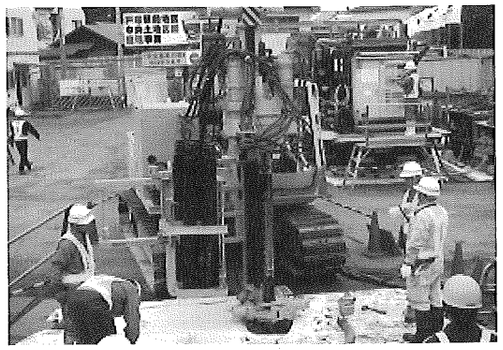


写真-1　試験施工状況(改良体造成時)



写真-2　試験施工状況(芯材打設時)

芯材の打設は，軌道下での狭隘な箇所での施工を想定し，本施工と同様にL=1.6m程度の継材とした．

この試験においての課題は，メカジェット工法による改良体に芯材の打設を可能とすることであり，セメントスラリーの最適な配合を求めるため，事前に室内配合試験を実施した．配合の条件としては，本現場への導入前から技術開発が進められてきた経緯を踏まえ，将来的に線路上からの施工を視野に入れて改良体を造成後，芯材の打設に1日(24時間)，列車運行の影響を考慮してさらに1日の余裕を考慮し，造成後48時間まで芯材の打設が可能となるようテーブルフロー値150㎜程度を確保すること，所定の一軸圧縮強度(土圧に対する設計基準強度619kN/m²)を確保すること，これらをすべての土質(シルト，腐植土，砂)において満足することとした．なお，一軸圧縮強度については，改良体からコアを採取し確認をした．

3-2-2　試験施工の結果

室内配合試験では，テーブルフロー値150㎜程度を確保できるように，各試料土について固化剤，遅延剤の添加量およびW/Cを変化させて最適な配合を検討した．決定した配合は以下のとおりである．

48時間後のテーブルフロー値：150㎜程度
固化剤：650kg/m³，W/C=100%
遅延剤：7%，増粘剤：2

試験施工の結果，24時間までの打設は可能であることがわかった．このとき芯材の打設はバイブロを併用し苦慮しながら行った．当初の目標では芯材の打設は造成後48時間までとしたが，結果は24時間までにとどまった．

一軸圧縮強度試験結果は，改良体から28日後のコアを採取し，設計基準強度619kN/m²に対して高い値を示していることを確認した．

3-3　本施工

3-3-1　施工概要

2次仮土留め工は，昼間に軌道下からメカジェット工法により改良径φ800㎜の改良体の造成を行い，夜間にこの改良体に芯材(H-400×400，L=10.0～11.0m)を打設した．作業時間帯を昼と夜に分けたのは，メカジェット工法と芯材の打設を行う機械が異なり，入替えを行う必要があったためである．そのため，造成から芯材の打設までの所要時間は12時間程度となった．芯材の打設は低空頭での施工となるため，L=1.6m程度の継材とした．

メカジェット工法による改良体は，芯材の打設までセメントスラリーが硬化しないように事前に実施した試験施工の結果を踏まえて施工し，問題なく完了した．

3-3-2　仮土留め壁の変位

仮土留め工として，今回初めてメカジェット工法による土留めを採用したため，仮土留め壁の変位について，設計値と計測値の比較について述べる．

設計では，列車への影響がないように芯材の根入れ長，断面計算，変位量および支保工の検討を実施している．設計では現地の土質にあわせて4断面で検討を行っている．もっとも厳しい条件の断面について，**表-2**に設計計算結果を示す．軌道に対する土留め壁の変位は，掘削段階ごとで許容値(軌道整備基準値×α)34㎜以下に収めるようにしており，1次仮土留め工で算出された最終変位71.48㎜に対してもプレロードをかける設計を行っている．これにより，軌道への影響に配慮している．**図-7**に仮土留め壁の変位(設計値と計測値の比較)を示す．

表-2　設計計算結果

土留め壁全長※1		10.0m(鉛直方向)	
断面計算(N/㎟)	H-400×400	曲げ応力度 σ	許容曲げ応力度 σ_a
		182.9	185
		せん断応力度 τ	許容せん断応力度 τ_a
		51.3	105
変位量(㎜)	施工ステップ	変位 δ_n	掘削段階ごとの変位量δ_s※2
	1次仮土留工完了段階	71.48	—
	1次掘削＋プレロード(GL.±0.0)	−59.50	—
	2次掘削(GL.−5.970)	32.71	32.71
	1次掘削＋プレロード(GL.−6.500)	27.71	−5.00
	最終掘削(GL.−6.500)	54.86	27.15

※1：2次仮土留め壁背面の地盤面から上の土留め壁H=1.0mは考慮していない．
※2：$\delta_s=\delta_{s_{i+1}}-\delta_{s_i}$：各掘削段階において前掘削段階からの最大変位の増分値．

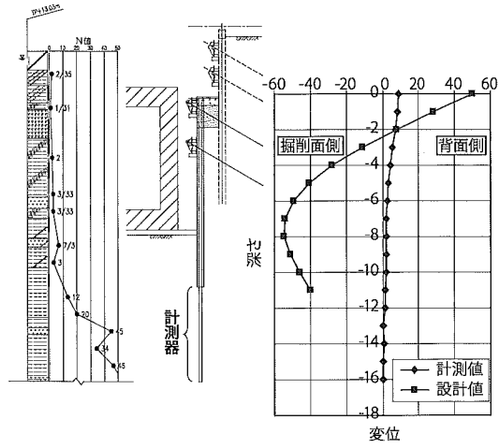


図-7　仮土留め壁の変位(設計値と計測値の比較)

設計値と計測値を比較すると，変位はかなり小さな値となっており，仮土留め工は安全側で施工されていることがわかった．これは，2次仮土留め壁の背面に1次仮土留め壁があったことから土圧が抑えられていること，変位の計算においては改良体の剛性を含んだ計算となっていないこと，軌道の沈下を防止するために1次仮土留め壁の背面に造成された後述する沈下防止杭の影響があること，などによると考えられる．

4　沈下防止杭工

腐植土層(Pt層)の圧密沈下対策として工事桁工法を採用し，あわせて遮水壁工を施工する．過去の戸塚駅付近の工事実績などを踏まえ，施工時の工事桁隣接軌道部分の沈下，完成後の躯体背面の沈下が懸念され，更なる対策が必要と考えた．このため，①工事桁の1スパン延伸，②恒久材による薬液注入，③機械攪拌による地盤改良の3案

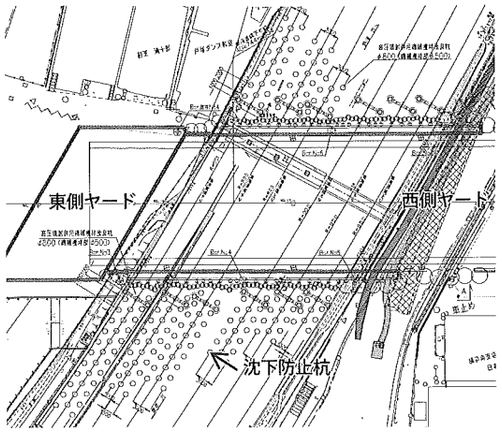


図-8　沈下防止杭の配置平面図

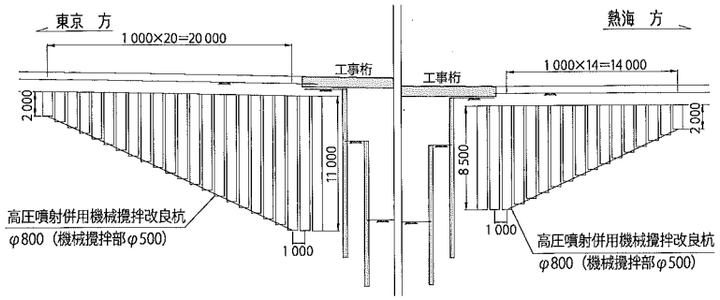


図-9　沈下防止杭の配置縦断図

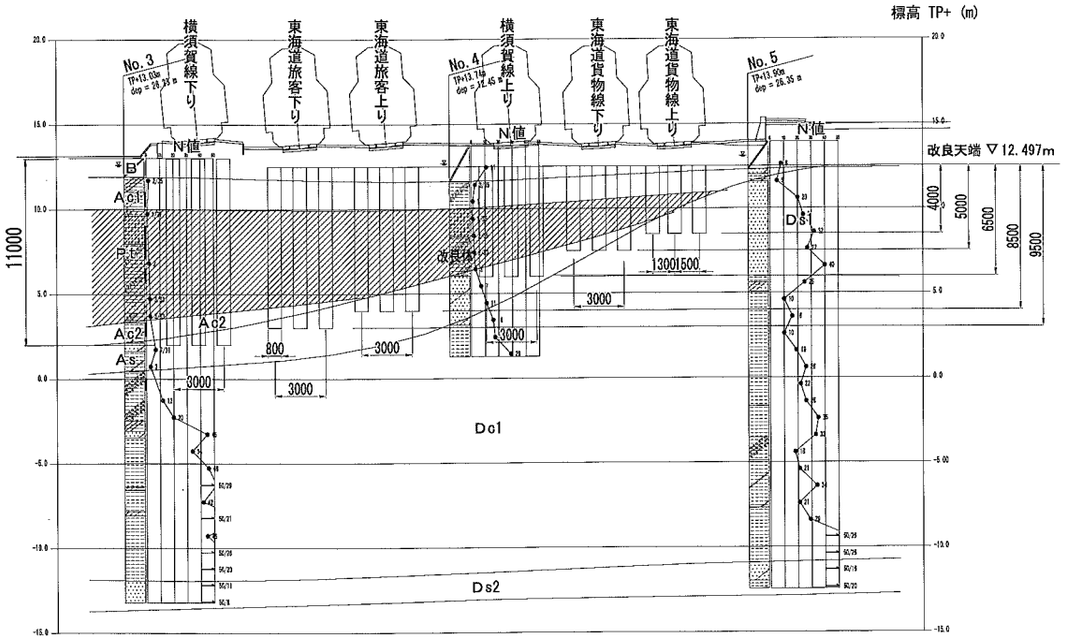


図-10　沈下防止杭の配置横断図

の中から経済性・施工性・工期・効果を総合的に評価し，③案を採用した．工法は遮水壁工と同じくメカジェット工法とし，腐植土層(Pt層)の局部的沈下を抑えることを目的としている．

図-8～10に沈下防止杭の配置平面図，配置横断図，配置縦断図を示す．メカジェット工法の施工範囲は軌道への影響を考慮し，腐植土層分布，腐植土層厚から平面配置・改良深さを決定した．施工数量は184本(改良径φ800，改良長2～11m)で，開削部から離れるに従い改良深さを徐々に浅くした．

メカジェット工法は1晩2台体制(1台1晩1本施工)で行う．遮水壁工と同じ工法なので，プラントなどを同一設備で使用できるため，段取り替えがなく，かつ施工会社で施工範囲を輻輳しないように配置でき，線閉時間を有効活用できた．

5　工事桁架設工

図-11，12にそれぞれ工事桁配置平面図と工事桁支持杭断面図を示す．工事桁は，東海道線・横須賀線・東海道貨物線の6線に18連(1線あたり12m/連×3連)を架設した．架設方法は，現場条件と線閉間合いが短く，鉄道クレーンなどの大型重機による1晩1連の一括架設が難しいため，主桁および枕木受桁(横桁)を順次組立てる分割架設とした．

5-1　工事桁支持杭工

工事桁支持杭工は，軌道への影響や軌道上からの施工量を極力少なくするため中掘り先端根固め鋼管杭を採用し，計48本(8本/線×6線)の鋼管杭(φ700㎜，t=19㎜，L=17m)を軌道内で低空

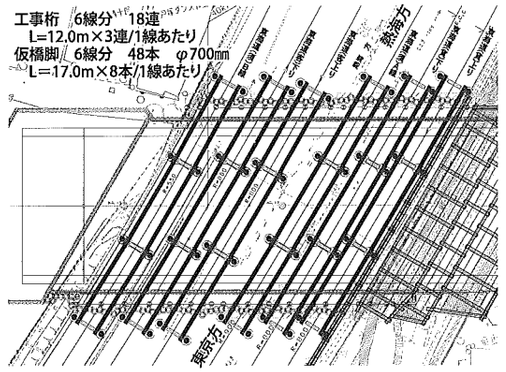


図-11　工事桁配置平面図

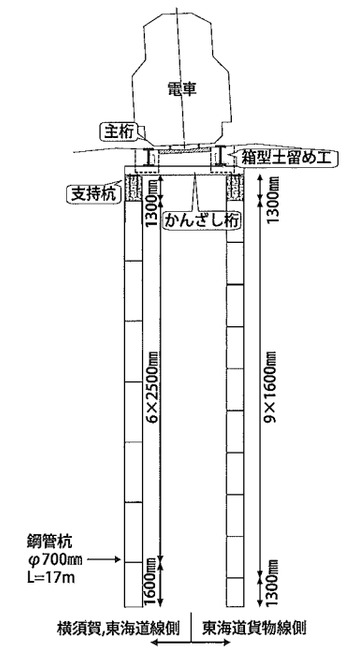


図-12　工事桁支持杭断面図

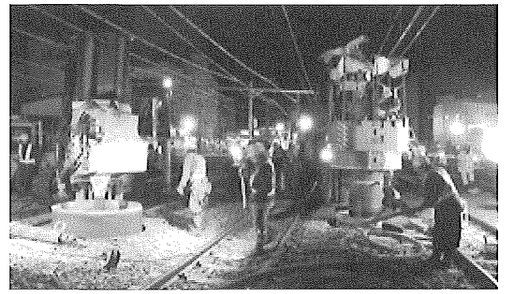


写真-3　鋼管圧入状況と口元管設置状況

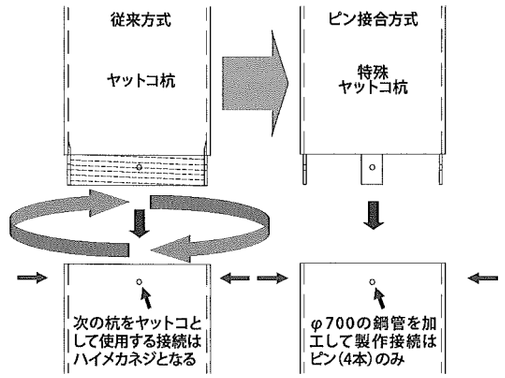


図-13　ヤットコ杭の詳細図

頭型回転圧入機により回転圧入した(図-12，**写真-3**)．

1晩あたりの施工延長は，これまでの鋼管杭の施工実績を参考にサイクルタイムを検証し，東海道客上下線と横須賀下り線は，架空線下での施工標準長さをL=2.5m×2本とした．しかし，超短時間での作業となる横須賀上り線と東海道貨物上下線では，作業サイクルタイムを考慮しL=1.6m×1本とした．各日の杭施工作業の最後には所定の深さまで圧入するために鋼管杭の杭頭に仮杭(以下，「ヤットコ杭」)を接続し，施工完了時は切り離す．このヤットコ杭をねじ式機械継手からピンだけで接続可能な継手に変更し，鋼管とヤットコ杭の接続時間の短縮を図った(**図-13**)．回転圧入完了後，鋼管とヤットコ杭を切り離す際，ねじが緩まず，切離し作業に時間を要するといったリスクも軽減することができた．

5-2　主桁架設工

工事桁の分割架設の中でもっとも時間がかかる主桁架設は，東海道貨物線では拡大の作業有効時

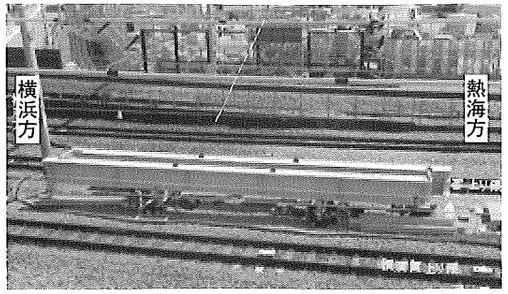


写真-4　主桁仮置き状況

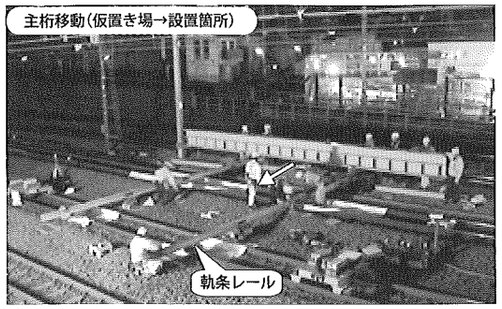


写真-5　主桁横移動状況

写真-6　主桁横移動状況

間155分を確保した時間内で完了するサイクルタイムとした．架設は，主桁を台車や横取り軌条を用いて架設位置まで運搬し，簡易な門形クレーンで桁を吊り降ろす方式で行った．さらに，主桁運搬時間を短縮するために，線間に主桁を仮置きするなどの工夫も施した(**写真-4～7**)．さらに主桁架設時間の短縮を図るため，鋼製の箱型土留め工に変更することにより主桁設置時の土のう撤去作業を不要とし，当夜作業を8分短縮可能とした(**図-14**)．この変更により，線路内での土留め杭打設が不要となり，準備作業の工期を2か月半程度短縮できた．



写真-7　主桁設置状況

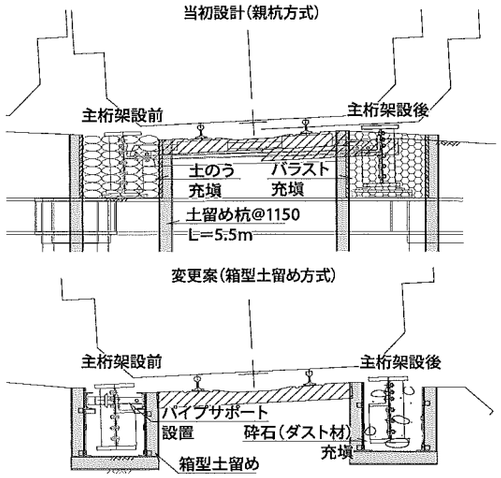


図-14　主桁設置図

6　躯　体　工

函体の構造は，6線分の線路と斜に交差していることや地下水位が高い軟弱地盤に位置することから不等沈下を懸念し，ブロック間は施工目地を設けずに連続した構造としている．また，函体は床版厚 $t=1.1$m，壁厚 $t=1.0$m程度と比較的部材厚が大きい．さらに施工は工事桁下の狭隘な箇所で行うこと，工程上暑中期にコンクリート打設を行うことから，ひび割れ発生の確率が高いのではないかとの懸念があり，対策を実施した．

対策は，温度ひび割れの発生確率を25%程度以下(ひび割れ指数1.45程度以上[1])とすることを目標とし，温度応力解析を行い検証した．その結果，上下床版と壁の部材厚が大きいことにより，コンクリート内の温度上昇量が大きくなることが判明し，低熱セメントを利用して温度上昇量の低減を図ることとした．

表-3　ひび割れ指数一覧

検討ケース	部　位		ブロック	最小ひび割れ指数
全部位　N 普通セメント	底版	内部	5BL	1.09
		表面	4BL	1.12
	側壁	内部	4BL	0.98
		表面	3BL	1.18
	上床版	内部	4BL	0.95
		表面	4BL	0.97
底版　N 普通セメント 側壁・上床版　L 低熱セメント	底版	内部	5BL	1.13
		表面	4BL	1.12
	側壁	内部	5BL	1.95
		表面	3BL	2.22
	上床版	内部	4BL	1.53
		表面	4BL	1.95
全部位　L 低熱セメント	底版	内部	5BL	2.27
		表面	4BL	2.35
	側壁	内部	4BL	1.39
		表面	3BL	2.02
	上床版	内部	4BL	1.52
		表面	4BL	2.16

※ただし，全部位Lのみ，側壁の誘発目地はなし

解析は，中央のボックス3ブロック分を取り出し，設計どおりに側壁に誘発目地のある条件で実施した．解析の結果，普通セメントの場合は，ひび割れ指数は0.95～1.18であったが，低熱セメントに変更した場合は，1.39～2.35と発生確率が低い値となった．解析結果にもとづき施工においては低熱セメントを全部位に適用することによりひび割れの発生を防ぐことができた．

解析結果を**表-3**，**図-15, 16**に示す．

本現場周辺は地下水位が高いことから，防水対策として函体周りには塗膜による防水工を入念に施し，この防水工を保護するための保護コンクリートも施工している．

7　お　わ　り　に

本工事では，厳しい作業時間の制約があるなかで，設計段階からの配慮や施工の工夫により各作業において課題に対処し，これまで無事故で工事を進めてきた．課題解決にあたり，ご尽力をいただいた多くの関係各箇所の方々にあらためて感謝を申し上げる．

現在，函体構築がほぼ完了(**写真-8**)し，工事桁撤去に向けた準備を進めており，2015年(平成27年)1月完成に向けて鋭意施工中である．今後も，安全の確保を最優先に，無事故で工事を進めていきたいと考えている．

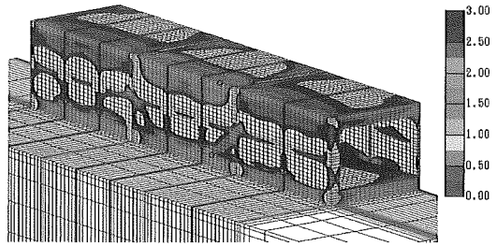


図-15　最小ひび割れ指数分布図(全部位N)

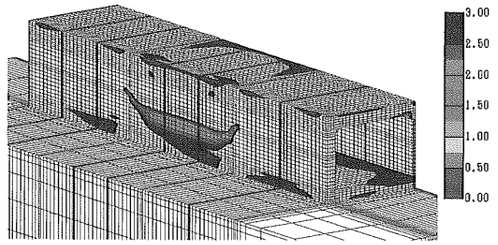


図-16　最小ひび割れ指数分布図(全部位L)

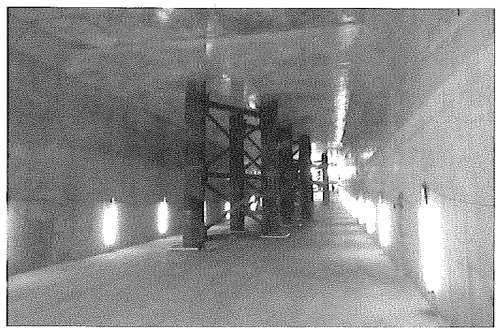


写真-8　道路函体完成

参　考　文　献

1) 土木学会：2012年度制定　コンクリート標準示方書〔施工編〕，2013.3.

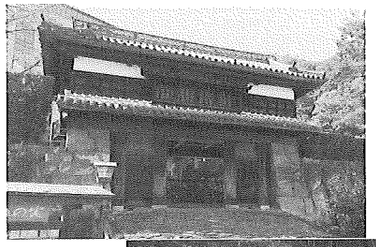
現場だより 2013 トンネルと地下

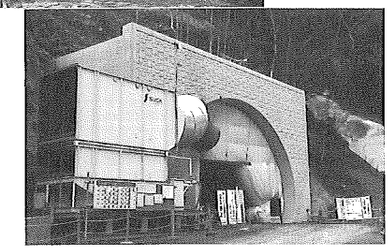
「ぶんごどっこのお膝元」大分県佐伯市より

榊 原 高 範

電話の相手が突然「大分って……たいへんなところですね……．」と言った．慌ててテレビをつけると，「大分市の複合商業施設でイノシシ暴走！」の報道がされていた．佐伯市はその大分市内から南に高速道路で約40分．（今のところ）終点である佐伯ICを降りると広がる城下町である．

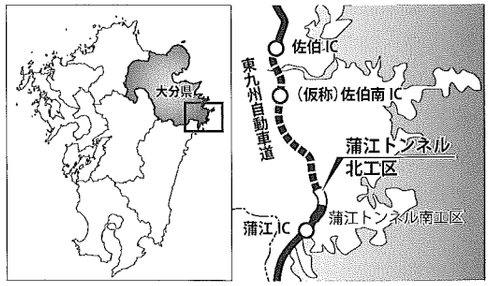
江戸時代より少し前，佐伯２万石の藩主として尾張の在郷武士である毛利公が入部．毛利公は元々「森」公で，木下藤吉郎配下のころに安芸の毛利輝元公より姓を賜ったとされる．番匠川の河口，八幡山に築かれた鶴屋城址は，徒歩20分の山頂から市街地が一望できる．櫓門内には文化会館，毛利家菩提寺の養賢寺までの石畳の700mは武家屋敷と瓦葺の小屋根をもつ土塀が立ち並び，歴史と文学の道として整備されている．春には大名行列が練り歩き，夜には竹灯籠に照らされて幻想的な佇まいを見せる．また，殿様マークの「さいき殿伝（でんでん）」として地元特産品の統一ブランド化が図られるなど「佐伯藩」は現代の町おこしにも一役買っている．初代毛利高政公は「山焼き禁止令」を出して，「魚つき林」の保護を目的とされたとか．「さいきの殿様『浦』でもつ」「浦の恵みは山でもつ」の言葉そのままに海と山から，たくさんの幸がもたらされてきた．海路は瀬戸内・四国・関西に広がり，現在の佐伯港には県内水産生産量の6.5割が水揚げされる．陸路においては，干鰯・佐伯木炭などが行商人の手で宮崎や福岡に運ばれ，それはやがて人手の広がりとなって佐伯稼業人と呼ばれた．中でも隧道掘削において，腕とプライドを備えた者たちは「豊後土工（どっこ）」と称され，日豊本線開通時や列島開発時代において活躍し，技術と勇気が評価されている．





（上）鶴屋城三の丸櫓門　（下）坑口状況

さて，そんな豊後土工のお膝元，佐伯で現在進められているのは，佐伯ICから宮崎県との県境近くの蒲江ICをつなぐ高速道路の延長工事である．現在は県道37号青山経由と国道388号畑野浦経由の２とおりあり，どちらも佐伯市街地から約40分で日向灘に面する蒲江湾に到着する．古くは藩の財源である干鰯を生産し，海の体験ブルーツーリズムの提唱，蒲江湾全体の広域養殖漁場計画が進むなど，まさに「浦」を中心とした地域である．神楽の祖を日向国にもつといわれる岩戸神楽を伝承するなど，宮崎県との関係も深い．



位　置　図

蒲江トンネル北新設工事は延長2,819mのうち佐伯側1,148mを施工する．佐伯市街地より約15km離れた県道37号線沿いに坑口をもち，付近には鹿や猿（これは目撃した），もちろん猪（これは地元の人談）も生息している．平成24(2012)年５月に着手し，平成25(2013)年11月には掘削が完了する予定である．電気設備や舗装工事を含む19社23工事からなる蒲江地区事故防止連絡協議会との連携も密にし，東九州道佐伯蒲江間の平成27年度の開通を目指している．

（(株)大本組蒲江トンネル作業所現場代理人）

施工

61日間連続車線規制によるインバート再構築工事

—上信越自動車道　日暮山トンネル—

東日本高速道路(株)関東支社佐久管理事務所所長　丸　山　　勝
東日本高速道路(株)関東支社佐久管理事務所副所長　中　野　清　人
東日本高速道路(株)関東支社佐久管理事務所改良担当課長　天　野　淨　行
(株)大林組上信越佐久トンネル工事事務所監理技術者　下　村　哲　雄

1　はじめに

上信越自動車道は，群馬県藤岡市で関越自動車道から分岐，西進し，長野県千曲市で長野自動車道，新潟県上越市で北陸自動車道と接続する延長203kmの高速道路である．日暮山トンネルは，図-1に示すとおり碓氷軽井沢IC～佐久IC間に位置している延長2,000m級のトンネルである．

Ⅰ期線(上り線)は，超膨張性泥岩に遭遇し，最大約300cm程度の天端沈下・内空変位が発生したため，円形先進導坑を併用し，厚肉の覆工コンクリートとインバートとで円形に近い断面で克服し[1]，平成５(1993)年３月に暫定２車線で開通した．Ⅱ期線(下り線)は，Ⅰ期線の膨圧区間へ影響を与えないように大きくルート(平面・縦断)変更し，平成14(2002)年10月に完成した．

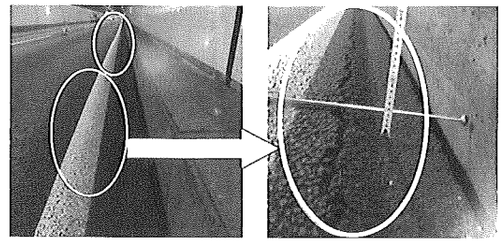


写真-1　路面隆起(盤膨れ)の状況

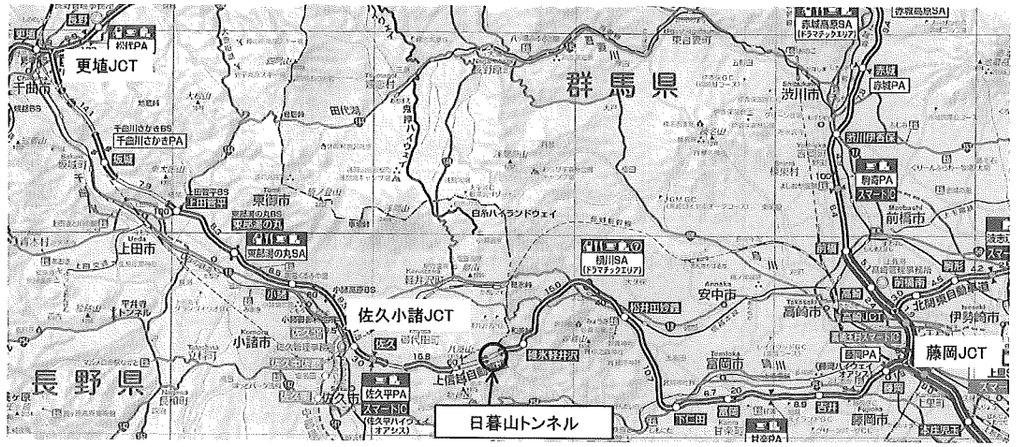


図-1　位置図

その約８年経過後，平成22(2010)年８月５日，下り線のインバート設置区間において路面隆起が，**写真-1**のとおり発見された．

本稿は，この盤膨れの変状発生から対策工の検討，施工状況と効果の概要について報告するものである．

2　変状状況と原因の推定

変状の確認後，直ちに詳細点検，詳細調査を実施し，外部の有識者から組織したトンネル保全検討委員会を開催し，変状に対応すべく対策工の選定へ向け，検討を始めた．

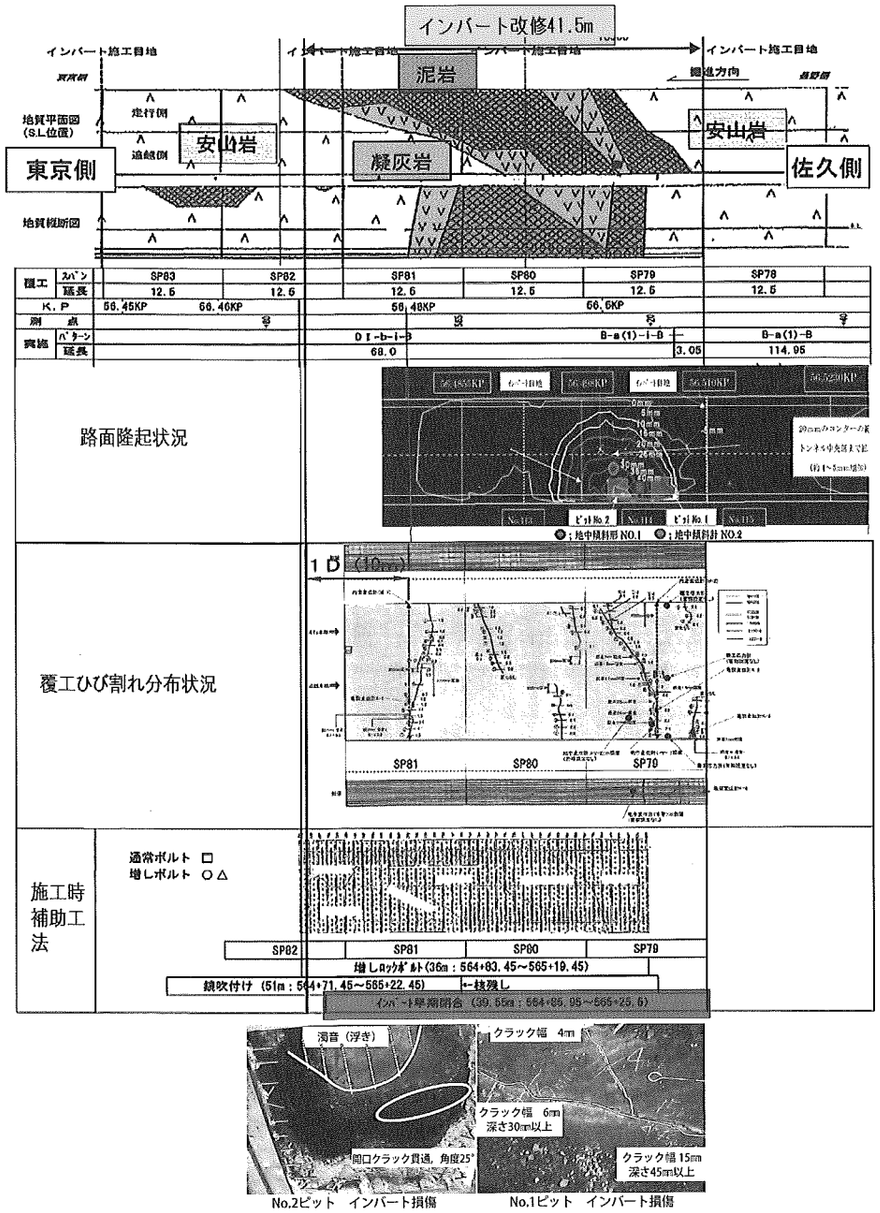


図-2　盤膨れ状況とピット部内インバート損傷状況

2-1　変状状況

平成22(2010)年11月時点の路面全体の盤膨れ状況とピット掘削時のインバートの状況を**図-2**に示す．変状状況は以下のとおりである．

- ピットNo.2付近で最大隆起約50㎜程度で，覆工SP79とSP80の両方で約18.5mの範囲が隆起した．
- No.1ピットでは複数のひび割れ，No.2ピットでは80㎜開口した貫通ひび割れを確認．ともに中性化が進行し，損傷してからかなりの時間が経過している．
- 変状確認後，２か所の路面隆起は**図-3**のとおり22.7㎜/年で，内空変位（１～２㎜/６か月）より大きい．
- 覆工コンクリートSP79～SP81には幅1.0㎜程度の横断方向ひび割れが連続しているが，覆工コンクリート応力は小さい．
- 舗装版の鉄筋の応力は，引張強度の３割程度の引張力がかかり，地圧を受けていた．

各々の観測項目に対して管理基準値を設け，モニタリングを開始し，継続することとした．

2-2　原因の推定

建設時の資料(**図-4**)から，変状箇所は土かぶり130mの大崩落[2]を起こした箇所から長野側(東)へ200m程度の位置にある．堅固な安山岩と予測されていたが，脆弱な泥岩・凝灰岩互層が下半盤から上がってきて大きな変位が発生したため，支保パターンをBからＤＩへ変更し(**図-2**)，増しボルトや増し吹付けコンクリートなどで補強したが，最終的にインバートコンクリートで断面を閉合し，変位を収めた．インバートが壊され急激に路面隆起した盃山トンネル[3]のように，建設時に大きな変位に対し補助工法を駆使した状況であったことから，盃山トンネルと同様な原因(**図-5**)が考えられた．断面閉合で打込まれたインバートコンクリートが若材齢時に地圧を受け局所的に変形し，表面に分離面が発生した．そして分離面を残したまま硬化し，変位が収束しトンネルはいったん安定した．供用後，センタードレーンから水が集まりやすい条件のもと，インバート下の地山に水が浸入し強度低下を起こし，長い時間をかけ塑性圧が増加し，ついにインバートが損傷したという推定結

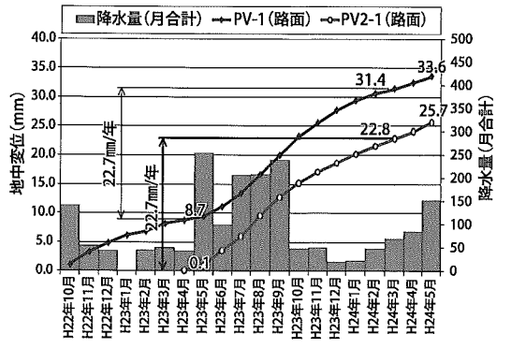


図-3　変状発見後の路面隆起状況

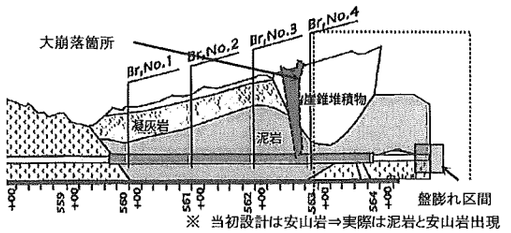


図-4　地質縦断図(建設時資料)

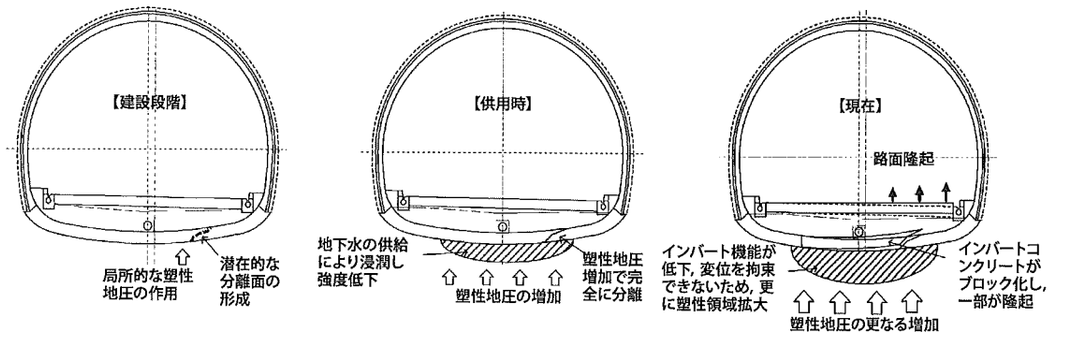


図-5　変状のメカニズム(仮定)

果にもとづき検討を進めた

3　対策工の設計検討

3-1　類似事例による設計と施工計画

過去に供用中のトンネルでインバートが損傷した事例はきわめて少ないが，まず，類似事例(**表-1**)を調査し，設計に必要な事項を抽出した．

- いずれもトンネル完成から変状発生(発見)までに長い年月を要している．
- インバート損傷事例は地山等級がDⅡもしくはEと低く，建設時に変形を収めるために補助工法を多用している．建設時，地山が比較的良いと判断しインバートを設置しなかった盤膨れとは地山が明らかに異なる．
- 変位が急激に進行する中，断面閉合された若材齢時点でコンクリートが壊された可能性が高い．
- 変位速度が大きい盃山トンネルは，上半半径の2倍のインバート半径を採用し，当初より強度を増加し円形に近い形状で増厚し耐荷力を向上させている．変状発生時に変位が収束していた風波トンネル[4]では，インバートの一部損傷箇所を打替え後，路盤をすべてコンクリートとした．

日暮山トンネルの位置は，前後に長大トンネルがある連続トンネル区間にあること，上下線の路面高の差が大きいことから，盃山トンネルのように下り線を止め，上り線を対面通行とすることは現実的に困難であった．また，一般国道のトンネルでインバート損傷を再構築した事例があり，当該トンネルと同レベルの隆起速度があったが車線規制にて施工されたことを考慮し，車線規制にて検討する方針とした．

表-1　類似事例

路線名 トンネル名	山形自動車道 盃山トンネル(上り線)	北陸自動車道 風波トンネル(下り線)	一般道の類似トンネル
建設時期	1989～1990年	1986年	—
変状発生 (完成から経年)	2008年8月 (18年後)	2006年9月 (20年後)	不明 (20年以上経過)
岩種	流紋岩質凝灰岩	凝灰角礫岩，帯状灰緑色粘土層凝灰岩	—
支保構造	DⅡ(E)	DⅡ(E)	在来工法，覆工厚80cm
建設時の補助工法など	・増し吹き，増しRB，鏡対策 ・天端対策 ・水抜きボーリング ・生コンクリートによる早期閉合インバート ・インバートに支保工併用区間あり	・増し吹き ・鋼繊維入り覆工コンクリート ・生コンクリートによる早期閉合インバート	—
損傷状況，変状の進行性	・路面隆起は当初30cm/日，最大で90cm/日以上 ・インバートせん断破壊 ・下半に水平クラックが開口 ・路面隆起の進行性大	・路面隆起5cm程度 ・覆工側壁せん断破壊一部 ・インバートは一部破壊 ・変形は収束済	・路面隆起は30cm/年 ・インバートがせん断破壊
変状原因(推定)	・閉合インバート若材齢時，大きな応力が加わり分離面発生 ・供用後にセンタードレーンの水が浸入し，インバート下の地山が強度低下 ・塑性圧が増加し破壊に至る	・塑性圧によりインバート一部と巻厚の薄い覆工が壊された．ともに部分的な範囲．	・膨張性地山による膨圧など
対策工	・延長L＝104m ・インバート撤去，再構築：インバート半径(R_3＝上半半径R_1×2) ・コンクリート24N/mm²で鋼繊維入り ・鋼製支保工をインバート内設置	・延長L＝27m ・インバート損傷部は生コンクリート打替え ・路盤は生コンクリート打設し補強 ・上下半はボードで内巻き補強	・施工延長L＝60m ・インバート撤去，再構築(R_3＝R_1×2) ・側壁にRBを併用
規制	通行止め	1車線規制でインバート補強，内巻工で一時的に通行止め	1車線規制

3-2　インバートの設計

道路トンネルにおいて盤膨れ対策で施工されたインバート構造は，耐久性を考慮しインバート半径を上半半径の2倍とした円形に近い形状が採用されている．今回，規制下で先行する新設インバート(片側)は，既設インバート(残り半分)といったん閉合し変形を抑制できるようにするため，**図-6**の形状を設定した．インバート中央部ではコンクリートが厚くなるが，既設といったん連結し支保の効果を発揮できる．

既設インバート半径：R_{30}

上　半　半　径：R_1

盤膨れ対策インバート半径：

$$R_{31}=R_1\times 2 \qquad (1)$$

提案するインバート半径：

$$R_{32}=(R_{30}+R_{31})/2 \qquad (2)$$

インバート中心半径は式(2)となり，上半半径の2倍より小さくなるが，既存インバートへの摺り付け部分を除くと上半半径の2倍のインバートとなる．早強セメントにより24N/mm²へ強度を上げ，局部的な曲げなどにも対応できるよう鋼繊維(0.5vol%)を混入した．また，施工時の安全性確保を目的として，鋼製支保工(HH-154×151×8×12)を1.5mピッチに設置した．

3-3　対策範囲と施工手順

インバートの再構築範囲は，変状状況と施工記録(**図-2**)から，下記のとおり41.5mとした．

- 東京側は泥岩から安山岩へ徐々に変わる地質である．覆工スパンSP81のひび割れから1D(D：掘削幅で約10m)を含めた．
- 変位抑制対策のため早期インバート閉合した区間は損傷を受けている可能性が高いと考え，対策範囲設定で考慮した．
- 長野側は，路面隆起が覆工スパンSP79の範囲で留まる．SP78はすべて硬質な安山岩のため，範囲外とした．

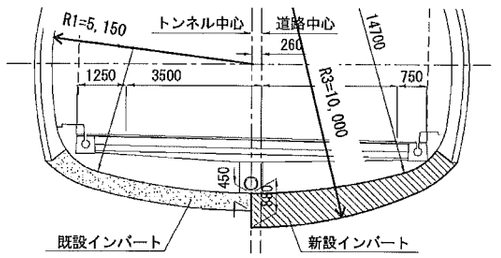


図-6　車線規制を考慮したインバート形状

図-7に施工ステップとインバート施工順序を示す．インバートの施工単位幅は，数値解析結果により周辺地山の安定性確保と覆工コンクリートへの影響を考慮し，6m幅を基本としてブロック分けした．走行側7ブロック，追越側7ブロックの計14ブロックとし，施工順序は損傷が大きいと想定された追越側から着手し，その後，車線を切替え，走行側を再構築することとした．1ブロックごとにインバート取り壊し～地山掘削～支保工設置～コンクリート打設を順次行い，次施工ブロックは隣接しないブロックとした．施工に先立ち，STEP 2の走行車両の通行帯と工事箇所とを分離する仮設土留め杭は，インバートが損傷していることを踏まえ，安全性を考慮しインバートを貫き地山に貫入し定着させる構造とした．

4　施工段階での工期短縮検討

4-1　施工計画検討

工事発注後，車線規制による土日の渋滞予測を精査したところ，7月中旬の3連休(海の日含む)は交通量が多く，大きな渋滞が発生する見通しとなった．渋滞だけでなく事故のリスクを最小限にするために，3連休前の7月12日までに工事完了することが求められた．また，コンクリートプラントは日曜日と第2，4土曜日は稼働不可，さらに出荷時間は7：30～17：00に限定された．これらの制約条件から，休日なしの昼夜連続車線規制の工事体制において一連の施工サイクルを合理的かつ短期間で施工する方法を検討した．その結果，2ブロックを1セットとして並行して施工するサイクルが全体工程を効果的に短縮できる可能性があることがわかった．ただし，隣接するブロック2つを1セットとすると，トンネルの安定性を損なう恐れがあるため，必ず1ブロック以上離すこととした．これを実現させるため，下記の2点を

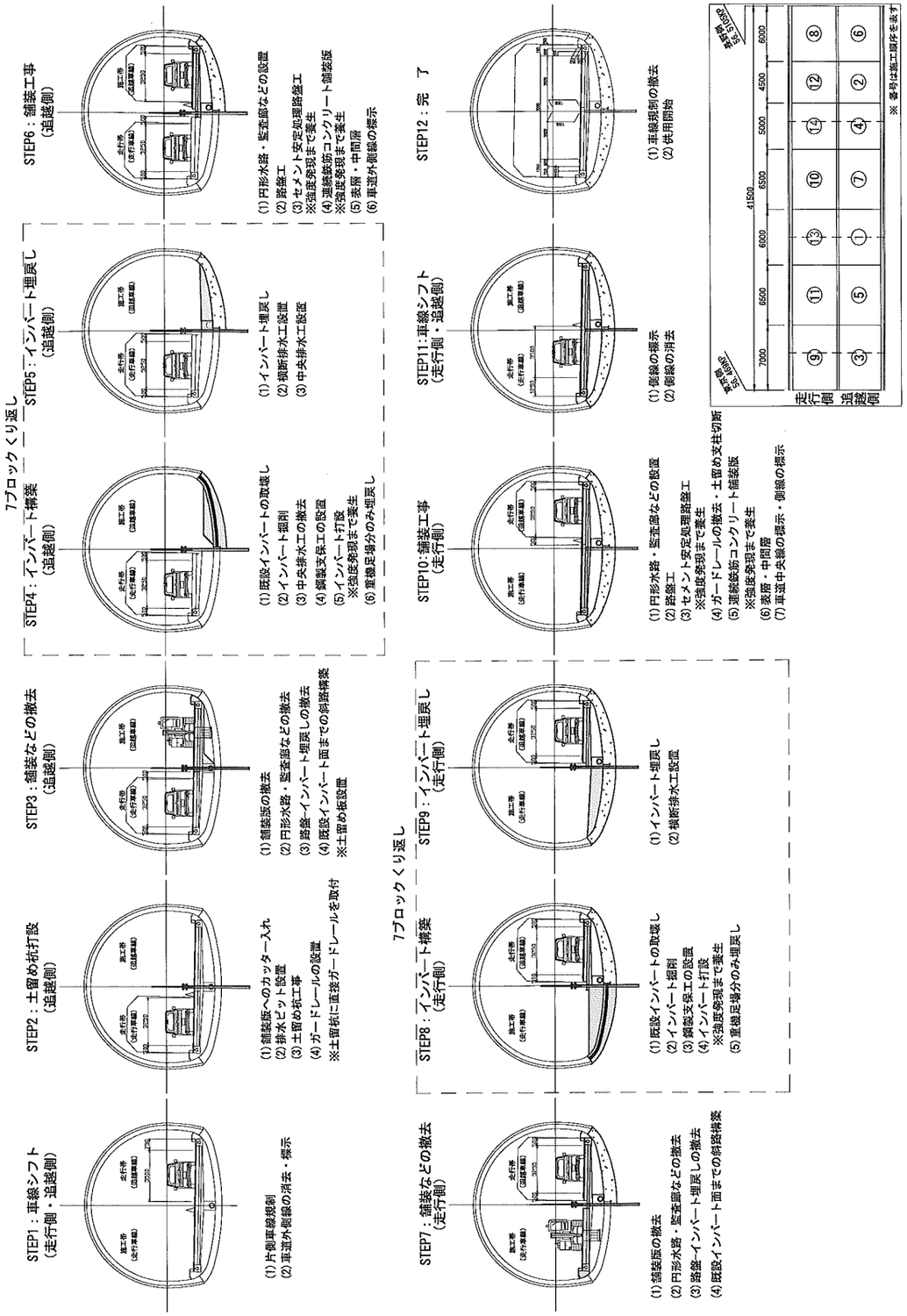


図-7　施工ステップとインバート施工順序

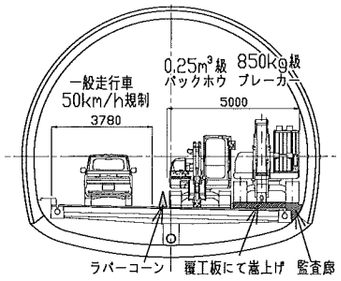


図-8　規制範囲内での機械離合イメージ

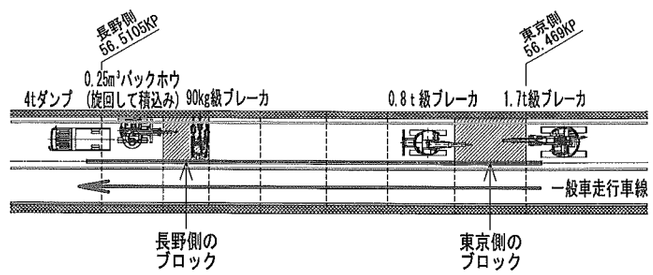


図-9　2ブロック並行施工時の掘削機械配置

表-2　インバートコンクリートの配合

材齢24時間における圧縮強度	粗骨材の最大寸法	スランプ	空気量	セメントの種類	最低セメント量	鋼繊維混入率	乾燥収縮低減剤量
24N/mm²	20mm	15cm	4.5%	早強ポルトランドセメント	457kg/m³	0.5vol.%	4kg/m³

検討した．

（1）　掘削機械の選定

車線規制内での作業となるため，覆工板を利用して規制範囲の作業幅は最大で約５mとした(図-8)．２ブロックを施工するには，機械同士の離合が可能となる機械選定が必要である．図-9に示すように，残土などの搬出用ダンプ(４t)が出入する長野側は，積込み機械用の0.25m³級バックホウと掘削・取壊し機械用の0.8t級ブレーカを配置した．0.8t級ブレーカのみでは工程が確保できないため，離合不要の東京側には1.7t級ブレーカを配置した．また，側壁下面や土留杭周囲の掘削用に90kg級ブレーカも配置し，合計３台のブレーカで掘削することとした．図-9に長野側のブロックと東京側のブロックを並行し施工している機械配置を示す．

（2）　インバート埋戻し時期の検討

表-2に示すとおり，インバートコンクリートには早強セメントを用い，標準養生で24時間後に24N/mm²以上強度が発現する配合とした．打設終了後５時間後に埋戻し，先行する長野側ブロックの上を4t ダンプが通り東京側ブロックへ移動することが不可欠であった．このために現地において加温し，湿潤養生を行い強度の発現状況を確認した結果(図-10)，打設後５時間で埋戻しに必要なコンクリート強度1.0N/mm²程度を十分に確保できた．

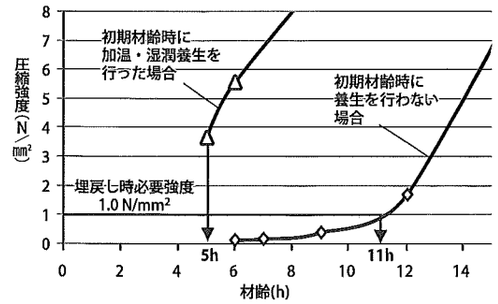


図-10　コンクリート初期材齢強度試験結果

4-2　計測計画と管理基準

一般車両を通しながら工事中の安全性を確保するため，図-11に示す自動追尾式トータルステーションにより，内空変位・天端沈下(８測線)，路面隆起(11測線)を計測する．併せて覆工コンクリート応力，インバートコンクリート応力，支保工応力などについても，すべて１時間ごとに自動計測した．これら管理基準については，該当する基準で参考となるものがないため，類似の事例や数値解析の結果から表-3のとおり設定した．とくに，異常発生時に迅速な対応ができるよう，24時間体制での有人モニタリングによる常時監視，そして関係者へ警報メールを一斉に自動送信するシステムを活用し周知を図った．このメール通報とともに社員，点検員，および施工者が現地で変状状況と一般車両の通行安全性を確認するというものである．また，内空変位が増加した場合にトンネル構造が不安定化しないよう，図-12に示す切梁・

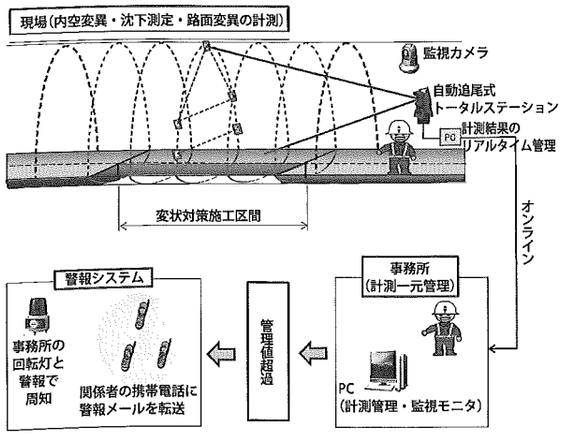


図-11　トータルステーションによる計測監視体制

表-3　日暮山トンネル車線規制下での管理基準(案)

(a)　内空変位

体制区分		警戒体制	緊急体制	非常体制
通行規制など		50km/h規制	50km/h規制	通行止め
基準値(累積値)		5 mm	10mm	15mm※
監視体制	観測頻度	1時間ごと	1時間ごと	1時間ごと
	警報連絡	警報メール	警報メール	警報メール
対応内容	応急対策	・観測強化	・鋼製支保工(上)を追加	・掘削中止 ・埋め戻し ・3m幅へ見直し

設計時の数値解析結果や類似トンネルの実績を参考とした.
※社員，点検員，および施工者が現地で変状状況を確認して通行止めか否かを判断.

(b)　路面隆起

体制区分		警戒体制	緊急体制	非常体制
通行規制など		50km/h規制	50km/h規制	通行止め検討
基準値(累積値)		5 mm	10mm	15mm※
監視体制	観測頻度	1時間ごと	1時間ごと	1時間ごと
	警報連絡	警報メール	警報メール	警報メール
対応内容	応急対策	・観測強化	・観測強化 ・社員，交通巡回員により，実走行をくり返す	・社員の巡回，交通警備員の旗振りで速度制限を徹底する ・段差注意看板の設置

※社員，点検員，および施工者が現地で変状状況，車両走行状況を確認して通行止めか否かを判断.
※建築限界の余裕高さを考慮する.

腹起しによる突張り構造をいつでも追加できるよう上部鋼製支保工をあらかじめ準備し対応を図ることとした.

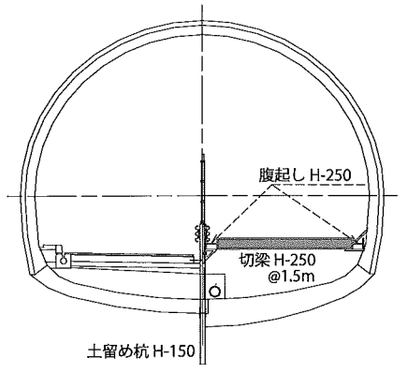


図-12　上部鋼製支保工

5　施　工　結　果

5-1　インバート損傷状況

インバートの損傷は図-13のとおり舗装の最大隆起箇所を中心に最大で21cm隆起し，コンクリートを貫通するひび割れが入っていた(写真-2)．ひび割れの主方向は45°であり，盃山，風波と同様にせん断破壊している状況であった．ひび割れの開口幅も最大で10cm以上開いていた.

インバートセンター付近では既設インバートが地山から最大で20cm程度，押し上げられていた．新設側インバートの上面を既設インバートの上面にすり合わせる必要性から，設計より厚いインバートとなり，最大で1mの厚さを越えた.

5-2　地山および湧水の状況

盤膨れの著しい箇所は，図-14に示すとおり泥岩層であり，その土質試験結果を図-15に示す．膨張性の指標の中で一軸圧縮強度，浸水崩壊度，吸水膨張率，地山強度比，陽イオン交換容量CEC，モンモリロナイト含有量，自然含水比が，膨張性の目安となる数値を上回り，とくに浸水崩壊度，吸水膨張率，地山強度比が顕著であった.

掘削時には泥岩の底面から2L/minの湧水が見られた．施工箇所の上流(安山岩)側から130L/minの湧水が中央排水から流れてきていた．写真-3に示すように30L/minの湧水はφ300のセ

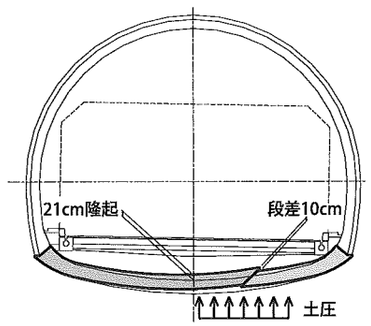


図-13　インバート損傷状況

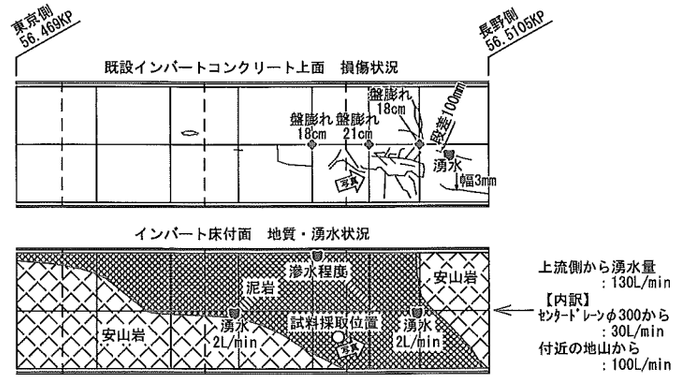


図-14　インバート損傷，地山および湧水状況

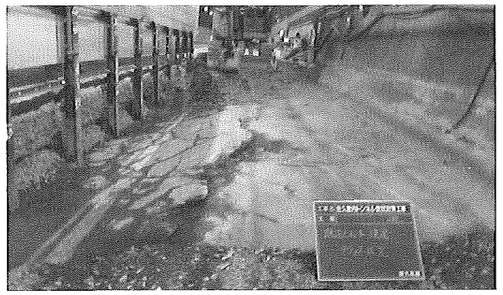


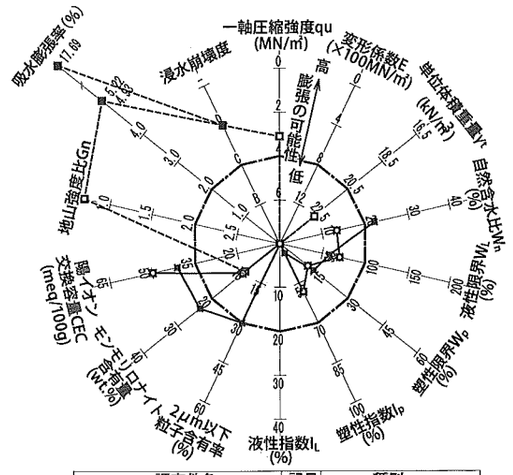
写真-2　インバート損傷状況

ンタードレーン内から流れてくるため上流側釜場からポンプアップできるが，残り100L/minはセンタードレーン付近の地山から掘削面に流入してきた．本現場の変状は上流側からの湧水の浸水により顕著な強度低下を示す泥岩層の特性により引き起こされたことが論理的に裏づけられた.

地山に湧水が接する量を低減するためドレーンマットとフィルター材で水みちを設置し，その上にシートを敷設して，湧水とインバートコンクリートを完全に分離させ，確実にコンクリートの強度が発現できるよう努めた．最上流側の地山からの湧水は既設インバート上面程の高さから流れ出ており，最終的に新設インバート上に再設置した中央排水管内に取り込んだ.

5-3　路面隆起，内空変位

施工中の路面隆起の経時変化を図-16に示す．路面隆起は舗装版にカッタを入れた時点で発生し，先行の追越側インバートコンクリートを打設し既設インバートといったん閉合しても収束傾向とな



調査件名	記号	種別
膨張性地山を示す指標		
H25日暮山トンネル		No.1
インバート変状箇所土質試験		No.2
H22上信越自動車道		GL-1.40～1.50m
佐久管理事務所管内		GL-4.80～5.00m
トンネル性状調査		

図-15　泥岩の膨張性に関する試験結果



写真-3　上流側からの湧水処理

り，後行の走行側インバートコンクリート打設が完了後に収束した．路面隆起は追越側施工終了時に走行側で最大となったが，管理基準にもとづいて社員，点検員および施工者が現場総点検し，安全性を確認した．前述の委員会にも現地で安全性を確認いただいた．さらにトータルステーションの路面高から路面の縦断方向の凹凸と勾配(図-17)を定量的に把握し，路面性状の安全確認に終始，努めた．

内空変位は，直近のインバートコンクリートに切断用のカッタを入れると下半部が内空側へ変位し，支保工設置後に収束傾向が見られ，コンクリート打設完了後，多少時間遅れはあるものの収束傾向を示した(図-18)．この挙動は追越側施工時だけではなく，走行側でも生じており，応力解放は同一断面で２度，生じることになった．結果的に内空変位は最大でも７㎜であったため，応急対策として準備していた上部鋼製支保工を使用することはなかった．

5-4　インバートコンクリート応力

新設インバートのコンクリート応力および支保工応力の経時変化を各々図-19, 20に示す．インバートのコンクリート応力は，１か所が４N/㎟を超える以外は２N/㎟以内に収まり，設計強度(24N/㎟)に対して十分に小さい．支保工応力は，最大でも60N/㎟以内であり，設計強度(440N/㎟)に対して十分に

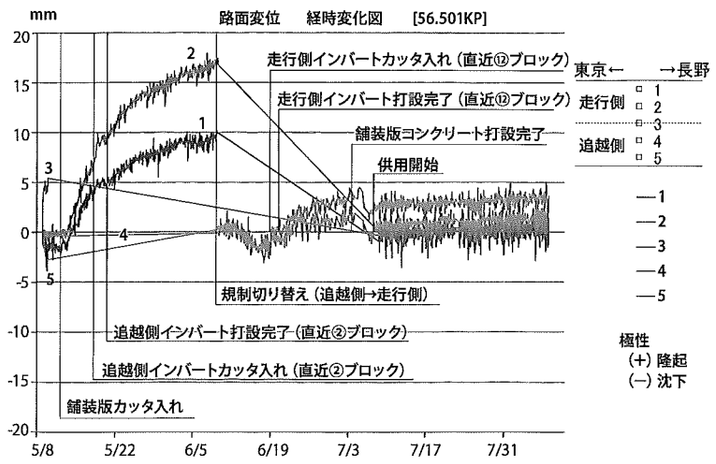


図-16　路面隆起量経時変化(最大変位測点)

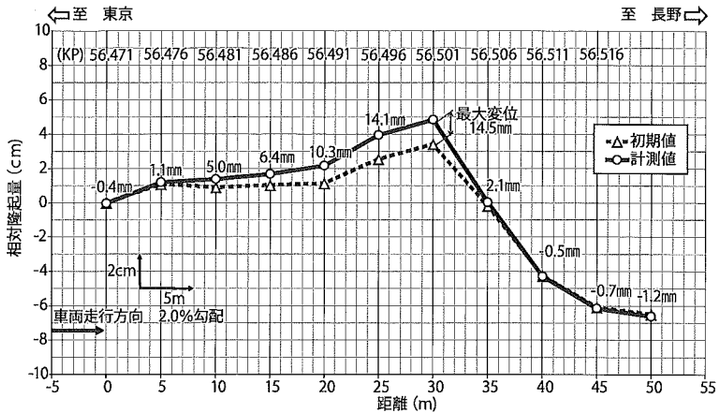


図-17　トータルステーションを活用した路面隆起管理結果

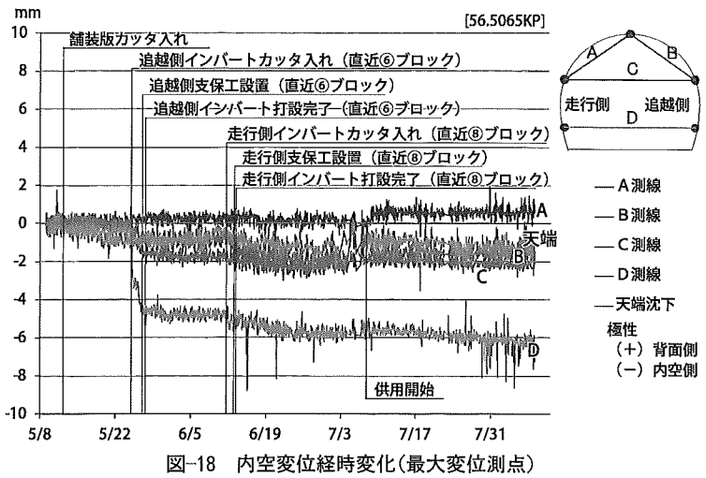


図-18　内空変位経時変化(最大変位測点)

小さい．インバート単位長あたりの軸力換算で比較すると，最大値でコンクリートが3,600kN/m，支保工が180kN/mなのでコンクリートに作用する力に比べ，支保工に作用する力は小さく荷重分担率も少ない．しかし，インバート撤去後から生コンクリート打設までの間の安定性の確保，若材齢コンクリートの荷重軽減に寄与するなど効果を果たしている．インバート打設後は温度上昇の影響により一時的に圧縮応力が大きく発生し，１週間程度で落ち着く傾向がある．走行側のカッタ入れ時には再度，応力解放されて圧縮応力が減少している．現段階ではコンクリート応力および支保工応力ともに完全には収束しておらず圧縮側に若干であるが微増する傾向があるため，今後，継続的に計測を行う予定である．

5-5　部材断面耐力評価

図-21は，終局限界状態を表すインバートコンクリート断面性能曲線(新設・既設とも)にコンクリート応力計から得られる実測値(供用後１か月間)をプロットしたものである．軸方向力300kN/m，曲げモーメント2,000kN・m/mが作用しており，新設断面(t=571～875㎜，７日強度50N/㎟発現)の終局限界状態から見ると10倍程度の安全率を確保できている．一方，既設断面(t=450㎜，18N/㎟)では，すでに終局限界状態は超えていることから，地圧に対抗できずに安定を損ねており，若材

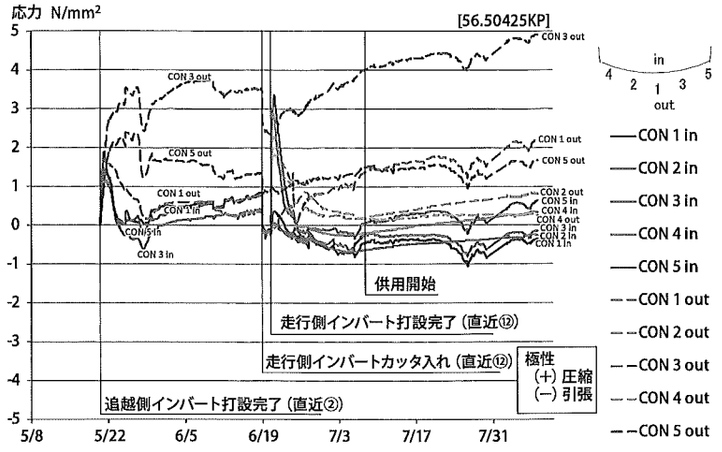


図-19　インバートコンクリート応力(最大盤膨れ地点)

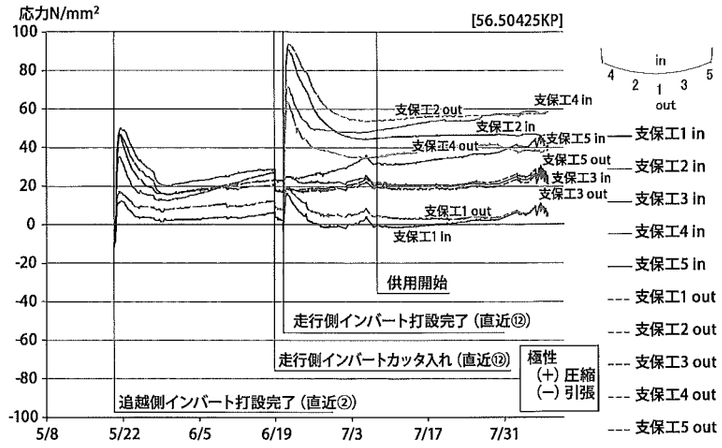


図-20　インバート支保工応力(最大盤膨れ地点)

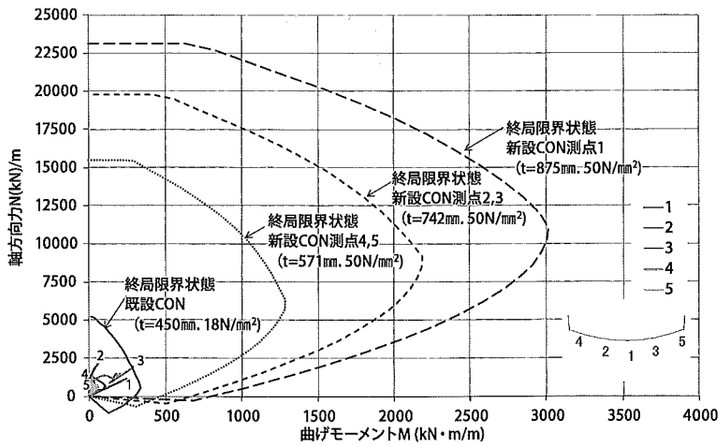


図-21　断面性能曲線と実測値

齢時で硬化中のコンクリートが局所的に変形・破壊されたという推定メカニズムを裏づけている．

6　対策工の効果と評価

施工を通して明らかとなった既設インバートの損傷状況，地山および湧水の状況，および計測の結果から得られた知見を列挙する．

① 変状は，上流からの湧水が損傷したインバートを通り，水により膨張しやすい特性の泥岩に供給されて盤膨れが拡大したことがほぼ検証できた．

② 新設インバートと既設インバートで閉合された途中段階での断面構造により，路面隆起は収束傾向へ改善，内空変位の収束についてはとくに有効であった．

③ インバート取壊しからコンクリート打設完了までに内空変位が増加した．1ブロックごとに短時間で閉合することが重要であり，今回は36～60時間であった．ブロックの施工幅4.5～7.0mはほぼ妥当であったと考えられる．

④ 早強セメントにより高い初期強度が発現され，これが変位抑制に効果があったと考えられる．鋼製支保工の軸力分担率は小さいが，生コンクリート打設までの間の安定性を高め，若材齢時のコンクリートに作用する荷重を軽減できる．

⑤ M-N曲線から断面性能を照査した結果，既設インバート(18N/㎟，t=450㎜)では安定性の確保が困難であり，強度を上げ円形に近い形状の新設インバート(50N/㎟，t=450～880㎜)では安定性が確保されていることがわかった．

⑥ 内空変位はおおむね管理基準値内で収まり，アーチ部も含めて不安定化することはなく，ほぼ管理基準値の設定は妥当であった．

⑦ 2ブロック並行施工，ブレーカ追加による能力の向上，早期の埋め戻し養生(5時間以内)などにより，設計時の工期から24日間短縮し，7月の三連休前までに完了した．

7　おわりに

供用中の高速道路を車線規制するうえでの安全対策として広報，速度規制，視認性確保，走行車線幅の確保などを十分に行いながら，61日間の長期にわたる昼夜連続の工事となったが，幸い，通行車両の大きな事故は発生しなかった．今回の車線規制の下で実施したインバートの再構築工事は，高速道路において初めてのことである．しかしながら，トンネル盤膨れ対策は，通行止めを実施して工事を行うか，車線規制により工事を行うか，高速道路を利用するお客様の影響を最小限に抑え，かつ，安全に工事を行うことができることを重要視して選択すべきである．そのためには現地条件を十分に勘案することが重要である．本工事で採用した昼夜連続車線規制が，今後の選択肢の一つとなれば幸いである．

最後に，変状発生から対策工事の実施と評価まで，有識者で組織したトンネル保全検討委員会を現地において適宜，開催してきた．その間にご指導いただいた西村和夫委員長はじめ関係された委員の方々に深く感謝の意を表したい．

参考文献

1) 中村良明・羽田勝・木曽伸一：超膨張性泥岩を克服，上信越自動車道日暮山トンネル，トンネルと地下，Vol.24，No.1，pp.7-14，1993.1.
2) 藤田芳那・谷井啓春・高橋浩・菊池裕一：土かぶり130mの地表面陥没に至った大崩落，上信越自動車道日暮山トンネル東工事，トンネルと地下，Vol.34，No.1，pp.7-16，2003.1.
3) 佐久間智・菅原徳夫・多田誠・遠藤祐司：供用中に発生した急激な盤ぶくれ変状を復旧する，山形自動車道　盃山トンネル(上り線)，トンネルと地下，Vol.40，No.12，pp.27-37，2009.12.
4) 小林弘元・白濱龍・畝田篤志・柴田勝博・永渕洋・山本拓治・塑性圧によるトンネルの変状と対策事例について(その1 調査および設計)，土木学会第64回年次学術講演会，pp.631-632，2009.9.

施工

首都高直下の踏切部などで変状対策を講じ開削トンネルを築造

—京浜急行大師線連続立体交差事業—

京浜急行電鉄(株)鉄道本部施設部工務課課長補佐　矢野栄二郎
京浜急行電鉄(株)鉄道本部施設部工務課主席技術員　千本木武
鹿島建設(株)・西松建設(株)・大豊建設(株)特定建設工事共同企業体所長　根岸範明
鹿島建設(株)・西松建設(株)・大豊建設(株)特定建設工事共同企業体工事課長代理　板橋信男

1　はじめに

京浜急行電鉄は，都心から川崎・横浜を経て三浦半島に至る本線，空港線，大師線，逗子線，久里浜線の計5つの営業路線，87.0kmにおいて，1日約120万人を輸送している．

大師線連続立体交差事業は，川崎市の都市計画事業であり，**図-1**に示す京浜急行大師線のほぼ全線を地下化し，都市計画道路国道409号をはじめとする計14か所の踏切を除却するものである．

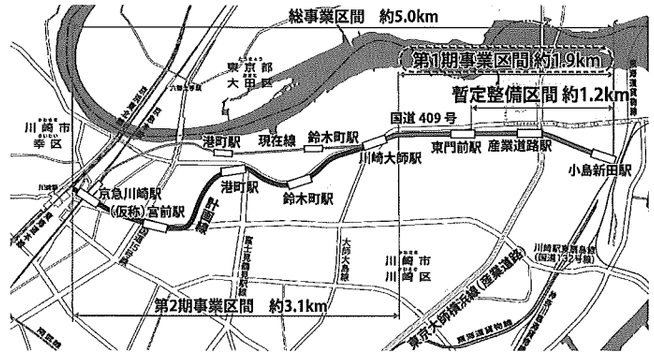


図-1　大師線連続立体交差事業平面図

本事業区間には，3か所のボトルネック踏切道，京急川崎(大)第2踏切道(国道409号)，鈴木町第1踏切道(国道409号)および産業道路第1踏切道(主要地方道東京大師横浜線)の踏切があり，慢性的な交通渋滞を引き起こしている．

本事業の効果を早期に発現させるため，東門前駅付近から小島新田駅付近の約1.2kmの区間を暫定整備区間として，産業道路第1踏切道を含む3か所の踏切を除却すべく平成18年9月に工事着手した．

暫定整備区間は4工区に分けて施工しており

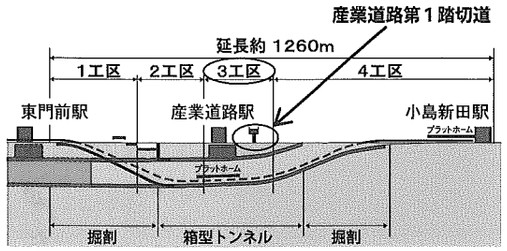


図-2　暫定整備区間縦断図

(**図-2**)，本稿は第3工区が施工する産業道路駅部および産業道路第1踏切道直下の開削トンネル工事における補助工法と計測管理について報告するものである．

2　第3工区の工事概要

施工箇所は，産業道路駅ホーム直下とボトルネック踏切である産業道路第1踏切道直下の条件での施工環境である．また，産業道路第1踏切道部は直上に首都高速横羽線(**図-3**，**写真-1**)，踏切直下には多くの地下埋設物が存在する施工環境である．第3工区の代表的な断面(駅部)を**図-4**に示す．



図-3　第3工区平面図



写真-1　産業道路第1踏切道部

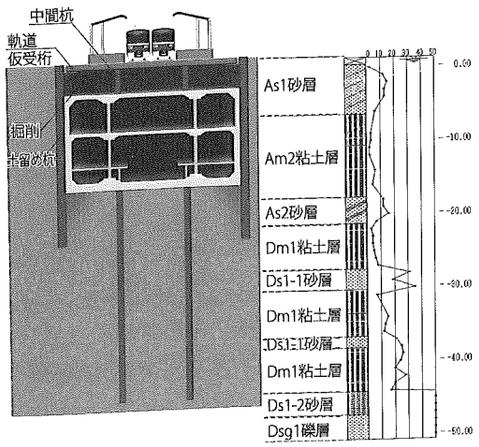


図-4　産業道路駅部断面図柱状図

3　地　質　概　要

現場は多摩川下流域右岸の標高2m以下の低地であり，表層にはN値が2～15程度の砂質土層が約8m厚で堆積している．その下層にはN値3～30程度の粘性土層と砂質土層が互層構成となっており，GL－45mにN値50以上の礫質土層が現れる．

4　仮　設　計　画

4-1　地下埋設物の保安措置

産業道路第1踏切道部には多くの地下埋設物があるため(**表-1**)，土留め壁および軌道仮受け杭の設置に先立って調査を実施し，干渉する埋設物の移設・撤去工事および吊り防護を実施した(**図-5**)．

4-2　土留め壁

施工ヤードが確保できる箇所はソイルセメント地下連続壁(SMW工法)とした．その他，使用できる施工機械や施工時間の制約や民家近接の状況により，複合鋼矢板壁(Kドメール工法)，単軸場所打ち杭地下連続壁(BH杭，PIP杭工法)を**表-2**に示すとおり使い分けた．

4-3　掘削工

産業道路駅部は，地上部に軌道およびホームを

表-1　地下埋設物一覧表

埋設企業者	管　種	深・度
東京電力	HP　φ1,650㎜	GL－2.5m
東京ガス	鋼管　φ300㎜	GL－1.5m
N　T　T	鋼管　φ100㎜	GL－1.2m
上　水　道	HP　φ600㎜	GL－2.7m
工業用水	HP　φ1,500㎜	GL－2.7m

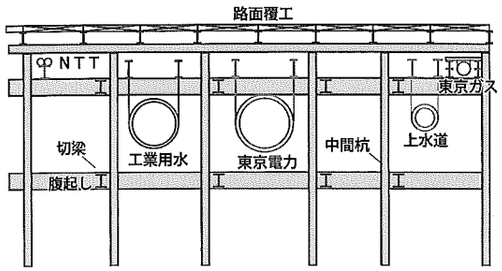
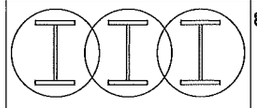
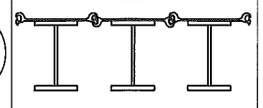
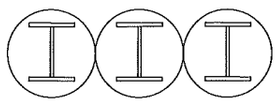
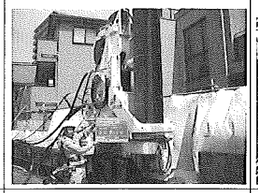
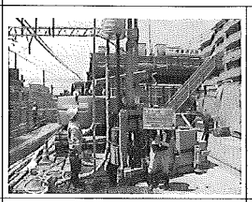
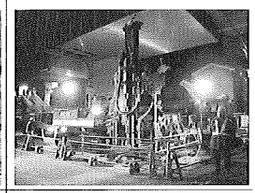


図-5　吊り防護図

表-2　土留め壁一覧表

名　称	ソイルセメント地下連続壁	複合鋼矢板壁	単軸場所打ち杭地下連続壁	
工法名	SMW工法	Kドメール工法	BH杭工法	PIP杭工法
図				
施工状況				
施工条件	施工ヤードが広い	民家が近接し非常に狭隘 止水補助工法が不要	民家および駅施設などが近接し施工ヤードが非常に狭隘	施工ヤードが狭隘

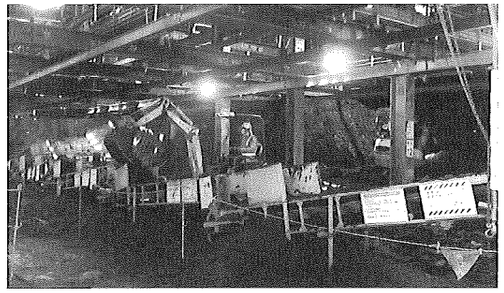


写真-2　産業道路駅部掘削状況

有しており，掘削した残土の揚土場所が限られている．そのため，残土の水平運搬にベルトコンベヤを採用した(**写真-2**)．また，掘削残土の含水比低減とトラフィカビリティー確保のために，ディープウェルによる地下水位低下工法を採用した．

5　工事によるリスクと対策工

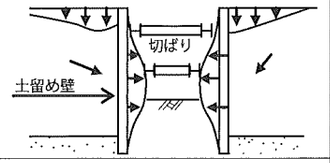
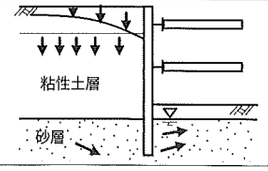
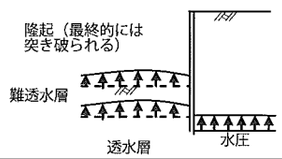
本工事におけるリスクと，そのリスクに対し本工事で実施した設計上の対策工を記す(**表-3**)．

5-1　土留め壁変位による周辺地盤の変位

土留め壁の変位に伴い周辺地盤が沈下することにより，近接する周辺家屋・地下埋設物・首都高速の橋脚に影響を与えるリスクがある．床付け付近の地盤が軟弱な粘性土層であるため，土留め壁変位対策として，床付け面から1.5m下の範囲に底版改良工(地盤改良工法の中で，単位時間あたりの改良土量がもっとも大きいSuperJet-Midi工法)を実施した(**図-6**)．

産業道路第1踏切道部では，首都高速道路(株)

表-3　本工事におけるリスクと対策一覧表

		1. 土留め壁変位による周辺地盤の変位	2. 地下水位低下による周辺地盤の変位	3. 床付け面の変状による土留め壁および中間杭の変位
リスク	事象			
	内容	土留め壁の変位の約1/2が地盤沈下量 影響範囲は掘削深さの45度	土留め壁欠損部からの漏水 土留め壁下端からの地下水の流入	盤ぶくれによる土留め壁および中間杭の隆起 底版改良は床付け面の安定目的ではなく土留め壁の変位抑制
	模式図			
対策工		プレロードの導入による変位抑制 支保工段数追加による変位抑制 支保工材のランクアップ	土留め壁背面の薬液注入による止水 土留め壁下部の薬液注入による止水	土留め壁下部の薬液注入による止水 底版改良厚の増加

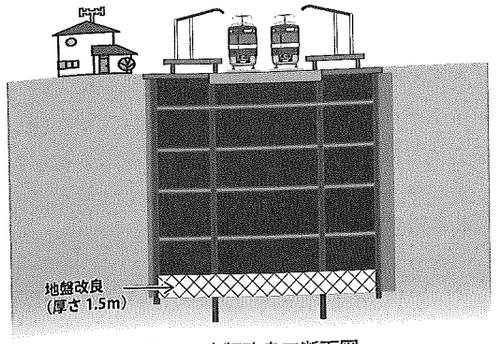


図-6　底版改良工断面図

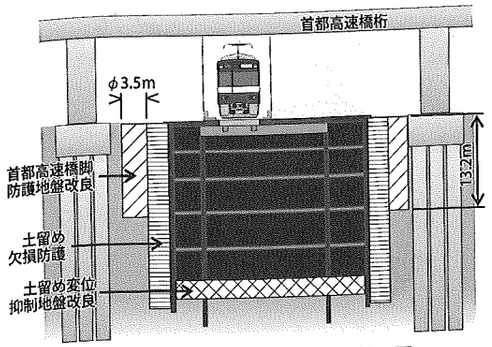


図-7　首都高速橋脚変位抑制工断面図

との協議により，首都高速橋脚の変位を３㎜以下に抑止する必要があった．FEM解析を行った結果，土留め壁の変位を20㎜以下に抑止する必要があったが，底版改良および土留め支保工材のランクアップのみでは変位が50㎜発生し，20㎜以下に抑止することができなかった．そこで，土留め壁と首都高速橋脚との間を地盤改良し，首都高速橋脚近接部の土留め壁背面にかかる主働土圧を低減し，首都高速橋脚の変位を抑制した(図-7)．

5-2　地下水位低下による周辺地盤の変位

施工ヤードが狭隘な箇所の土留め壁は，単軸場所打ち杭地下連続壁(BH杭，PIP杭)にて施工を行うため，ソイルセメントがラップできない．そのため，土留め背面からの漏水により地下水位が低下する可能性があった．そこで，止水対策として，薬液注入工にて土留め背面の改良を行った．また，産業道路第１踏切道部の地下埋設物による土留め壁欠損部からの漏水対策として，土留め欠損防護工(SuperJet-Midi工法)を実施した(図-8)．

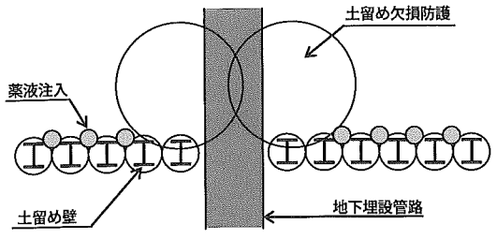


図-8　土留め壁漏水対策工平面図

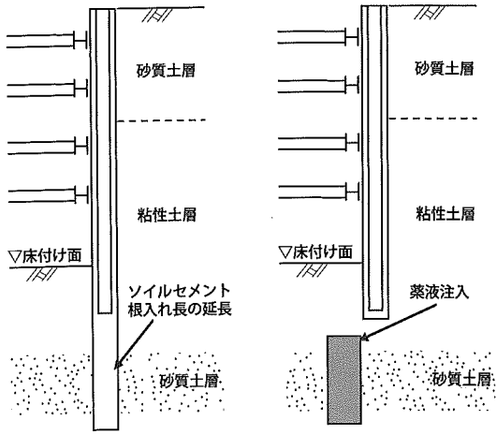


図-9　盤ぶくれ対策工断面図

5-3　床付け面の変状による土留め壁および中間杭の変位

床付け面付近の土質は粘性土であるが，床付け面から7.4m下に透水層(砂質土層)がある．そのため，盤ぶくれ対策工として土留め壁のソイルセメントの根入れ長延長や透水層に薬液注入工を実施した(図-9)．

6　計　測　工

6-1　計測管理項目

計測管理項目を表-4と図-10に示す．

土留め壁および土留め支保工の変位計測は，一般的手法である挿入式傾斜計およびひずみ計を取り入れている．

産業道路第１踏切道部では，首都高速横羽線が近接しているため，首都高速橋脚の傾斜および沈下を測定し，周辺地盤の変状についても挿入式傾斜計にて計測している．

周辺地盤・地下水位・床付け面の変状については，水準測量と水位計にて計測している．

6-2　計測管理フロー

計測管理は，計測結果をもとに管理基準値との比較を行い，工事続行の是非，対策工について検討を行うものである．図-11

表-4　計測管理項目一覧表

	計測管理項目	計測方法		計測頻度
土留め壁変位	土留め壁変位計測	挿入式傾斜計	自動	毎日
	土留め支保工軸力計測	ひずみ計	自動	毎日
	土留め支保工油圧計計測	油圧ゲージ	手動	２週間に１回
近接構造物	首都高速橋脚変位計測	水盛式傾斜計・沈下計	自動	毎日
	周辺地盤変位計測	挿入式傾斜計	自動	毎日
周辺地盤の変位	地表面測量	水準測量	手動	２週間に１回
地下水位	地下水位計測(観測井戸)	水位計	手動	毎日
床付け面の変状	レールレベル測量	水準測量	手動	２週間に１回
	土留め壁天端測量	水準測量	手動	２週間に１回
	中間杭レベル測量	水準測量	手動	２週間に１回

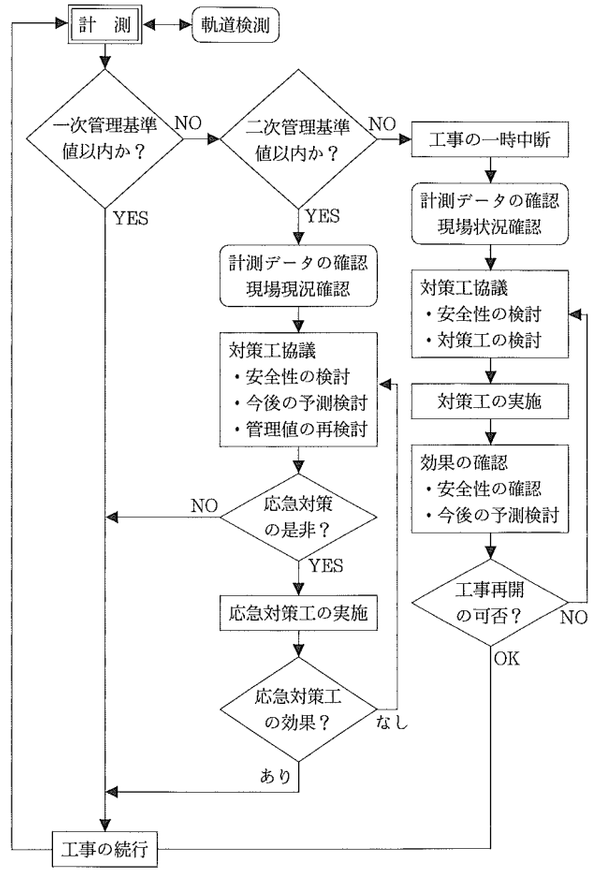


図-11　計測管理フロー

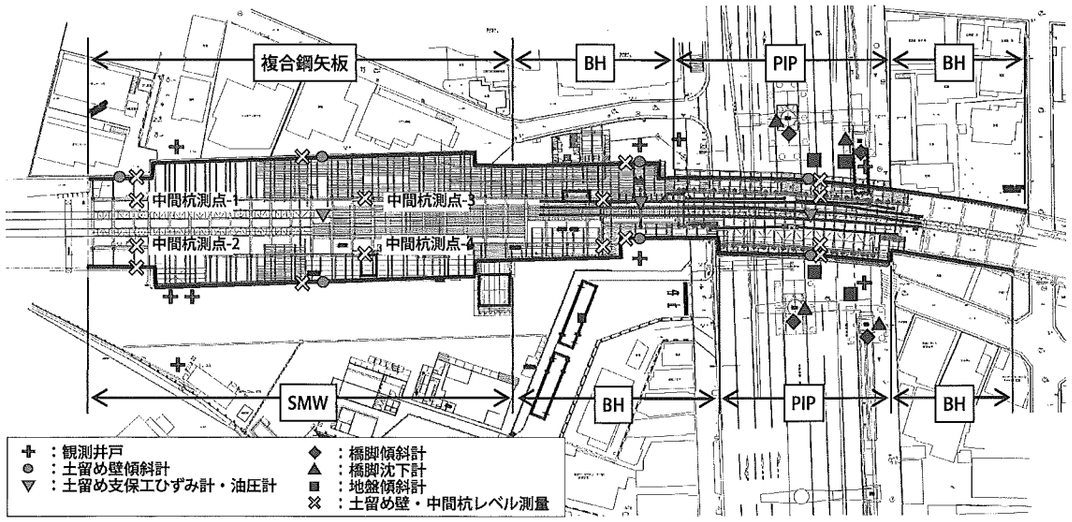


図-10　計測工平面図

に土留め壁変状計測の管理フロー図を示す．

6-3　管理基準値

当該事業の全工区合同の設計協議において，土留め壁の許容変位を50㎜と設定した．これは，他の連続立体交差事業(市街地での地下化工事)や一般建築物の許容変位量を参考に定めた値である．

土留め壁が50㎜変位した場合でも，土留め壁の応力度は許容応力度の50%程度しか発生せず，土留め壁の変位が50㎜を超えたからといって直ぐに土留め壁の崩壊に至るわけではない．

『鉄道構造物等設計標準・同解説　開削トンネル』(鉄道総合技術研究所)では，掘削・土留め支保工の計測管理における管理基準値の目安として，一次管理基準値を設計値の80%，二次管理基準値を設計値の100%とすることが示されている．

以上のことから，近接家屋の安全確認における管理基準値を**表-5**のように設定した．

計測値による具体的な対応策を**表-6**に記す．

6-4　計測結果

6-4-1　土留め壁変位と土留め支保工軸力

実際の計測結果を**図-12**に記す．

1次掘削完了時は，土留め壁頭部の路面覆工や軌道仮受け桁の水平継材が切梁としての効果を発揮したため，土留め壁の変位は10㎜以下となった．

2次掘削完了時は，1次掘削時の変位がほとんど発生していなかったため，土留め壁全長にわたり設計値のおおむね50%の変位量であった．

3次掘削完了時から床付け完了までの変位量は，管理基準値である50㎜に対しても最大で18㎜の変位量であった．GL±0～－6.5mまでの変位が設計値よりも大きな値となったが，掘削に伴い主働側に変位した土留め壁は受働側に変位しないためである．また，土留め壁から1m離れた地点の周辺地盤の計測結果(**図-13**)を確認したが，周辺地盤の沈下への影響が小さいことがわかった．

GL－6.5m～床付けまでの変位が設計値の半分以下の値となったが，GL－6.5m以深の粘性土層が設計値より高い強度であったためと推定される．

土留め支保工の軸力は，2次掘削完了時で設計値を若干上回ったため，土留め支保工の再計算を実施した．その結果，許容応力内であることを確認し，管理基準値以下であることも確認した．3次掘削以降ではいずれも設計値および管理基準値以下であった．

土留め壁変位および土留め支保工軸力ともに，1次掘削から床付け完了まで管理基準値を上回ることがなく施工することができ，周辺地盤への影響を抑制することができた．

今後のステップにおいて，土留め壁変位および土留め支保工軸力が最大になるのは躯体構築時の1，2段目支保工撤去段階であるため，これまで同様に自動計測管理により土留め変位を継続して監視していく．

6-4-2　近接構造物

近接構造物である首都高速の橋脚の変状計測結果を**図-14**に示す．産業道路第1踏切道部は現段階では1段目土留め支保工設置完了段階であるため，橋脚の傾斜は1㎜以内であり，鉛直変位は1.6㎜以内とほとんど変位は発生していない状態である．今後も施工に合わせ，継続して計測を実施していく．

表-5　土留め壁変位と土留め支保工軸力の管理基準値

管理項目		一次管理基準値(設計値の80%)	2次管理基準値(設計値の100%)	最大軸力発生のタイミング
土留め壁変位(㎜)		40	50	――
土留め支保工の軸力(kN/本)	1段目	976	1,220	1段目設置時
	2段目	1,850	2,320	2段目設置時
	3段目	1,286	1,608	4段目撤去時
	4段目	547	684	床付け完了時

表-6　土留め壁異常変位発生時の対策工

状況		対応策
①	実測値≦1次管理基準値	この場合，土留め支保工については別段問題なく工事を続行するが，その値が過小な場合，切梁，腹起しのピッチ，部材などのランクダウン，プレロードの要否について再検討する．
②	1次管理基準値＜実測値≦2次管理基準値	2次管理基準値を許容値としているので，実測値がこの範囲内にあれば問題ないが，次段階掘削で2次管理基準値を上回るか否かを十分検討し，上回る可能性がある場合には対策の決定およびその準備にとりかかる．
③	2次管理基準値＜実測値	このような事態となったときは，工事を一時中断し土留め支保工全体および掘削深さ，切梁，腹起しピッチ，部材プレロードなどを再検討し，対策を協議する．

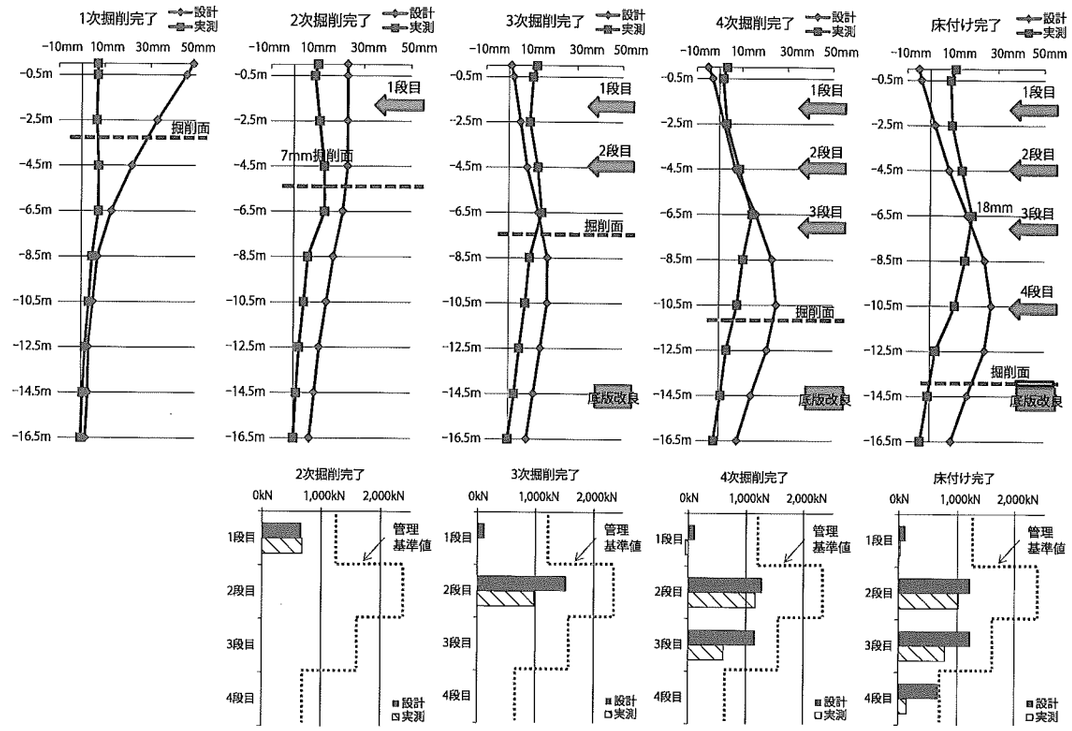


図-12　土留め壁変位・土留め支保工軸力計測結果

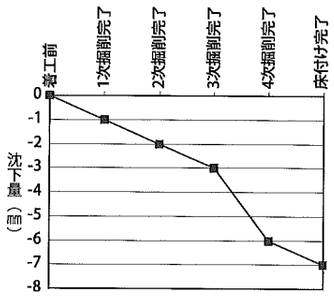


図-13　周辺地盤計測結果

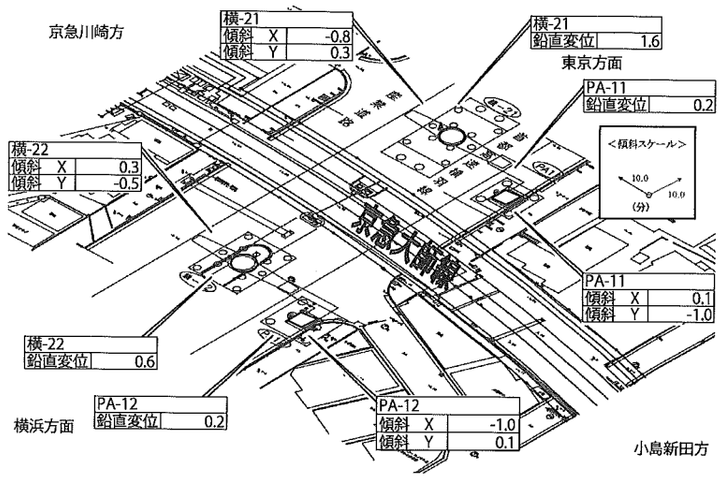


図-14　首都高速橋脚変状計測結果

6-4-3　床付け面の変状

産業道路駅部の起点方中間杭測点1，2および終点方測点3，4(図-10)での掘削工事の着工前から床付け完了までの中間杭レベル測量の測定結果を**図-15**に示す．

掘削を開始した時点から，中間杭レベルが平均して約2㎜上昇し盤ぶくれの性状を示したため，床付け面以深にある透水層の地下水位測定を行うこととした．

2～4次掘削までは，中間杭のレベルが平均

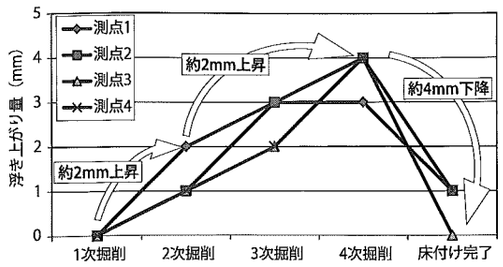


図-15　中間杭変位計測結果

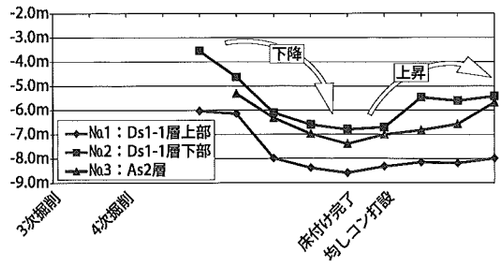


図-16　深層部地下水位計測結果

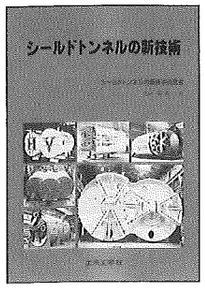
して２㎜上昇したが，４次掘削から床付け掘削の段階では，中間杭のレベルが下降した．これは，床付け掘削時に床付け面の中間杭周りからの湧水発生に起因して，床付け面以深にある透水層の地下水位が下がったためと推定される(図-16)．

また，均しコンクリートを打設完了後は，中間杭からの湧水が遮断されたため，地下水位が上昇傾向を示している．なお，この深層部地下水位の上下に伴う，軌道および周辺地盤の計測結果を確認したが，この現象に起因する変状は発生していない．

7　おわりに

さまざまな補助工法を用い，計測管理を行うことで，周辺家屋や営業線・首都高速の橋脚・地下埋設物などのインフラ設備への影響を及ぼすことなく施工を進めてきた．

今後は，主に躯体構築および仮設構造物の撤去工事の施工となるが，地下化切替えに向け，これまでの計測管理をもとに，安全性の確認を行いながら，無事故・無災害で工事を完了させていく所存である．



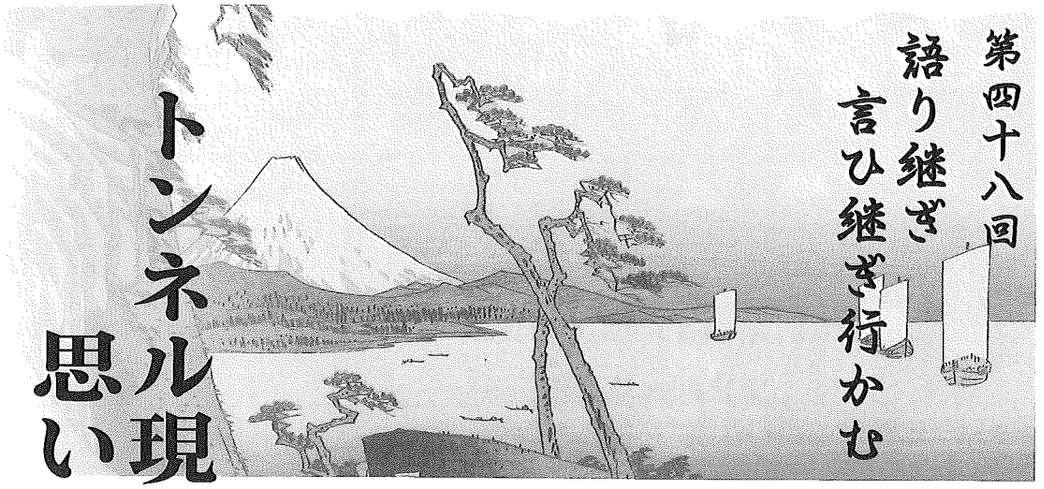
シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

Ｂ５判　285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

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



トンネル現場を思い出すたびに

(元)戸田建設(株)
佐藤　哲夫

はじめに

私は昭和36(1961)年に入社し，東北支店に赴任しました．最初の10年間は衛生処理場，河川工事，海岸堤防，鉄道工事，東北自動車道などの多岐にわたる構造物を担当していました．トンネルとのかかわりは昭和47(1972)年からで，トンネルに対しては素人のため，あらゆるものに興味を持ちました．

トンネル現場で最初に感じたことは，矢板工法のためかも知れませんが，坑夫とは材料を無駄にしても意に介さない集団だという思いでした．矢板，キャンバーを坑内に余計に搬入し，残った材料を坑内に置いたままで次の掘削に入り，なんとドーザショベルで踏みつぶす状況を多く見かけました．このことで彼らと喧嘩したことを思い出します．

当時はオイルショックなども起きましたが日本列島改造論が唱えられており，東北地方も高速道路，新幹線といった大型工事が多く，また一般道においても改良，新設工事，ダム建設における付替え道路などのトンネル工事が切れ目なく発注され，現場が終わるころには次の現場があるという状況でした．もっとも山岳地帯の辺鄙な場所での工事が多かったものです．

昭和59(1984)年まで矢板工法の６現場を経験して，トンネルの楽しさ，難しさを実感し，やっとトンネルマンとして目覚めたころ，NATMに移行し，その後９現場を経験しました．工期も長い現場が多くなり，腰を落ち着けて仕事ができるようになりました．前半は発破による掘削，後半は都市近郊，強度の低い地質などの工事で機械掘削の現場が多くなりました．

ここでは，トンネルでの経験を思い出すままに記述しますが，現役のトンネル技術者諸氏に伝わるものがあれば幸いです．

トンネル現場で教えられたこと

■最初の現場

私が経験した最初のトンネル現



区界トンネル開通式(筆者：右から２人目)

場は，盛岡から宮古に抜ける国道106号の区界(くぎかい)トンネル工事です．L＝250mと短いトンネルですが，坑口からすぐにJR山田線の下を掘るため，建設省と国鉄の協議が長引いて１年遅れで掘削に入りました．坑口付け後，LW注入を行い，軌条桁を掛け，JR保線区の立会いで１発破ごとに軌条沈下をレベルで監視していると，「実際に目で見るのが一番だ」と保線区の方が水準器片手に状態を確認し，沈下があれば道床を突き固めて軌条の修正を行うという対応をしながらの掘削でした．線路下通過５mほどで沈下が収まり，立会い工事は終了しました．その後はトラブルもなく掘削を終えています．

当時，明かり工事におけるコンクリートは生コンクリートが主流でしたが，トンネルでは現場練りが主で，プラントを設置しておりました．昭和52(1977)年ごろから生コンクリートに代わった記憶があります．冬期は気温－20℃となり，厳しい環境で骨材凍結防止対策に翻弄されました．掘削機械はドーザショベル，バックホー，ダンプトラック，レッグ付き削岩機，コンクリート打設はポンプ車，ムカデコンベヤくらいでNATMに比べれば雲泥の差と思います．

トンネル工事は天候に左右されませんが，掘削時は切羽だけが作業場所であるため，トラブルを出さないように，ひと間ひと間確実に仕上げて，１日の掘削進行長を無理なく持続できるように職員と坑夫が一致協力すること，安全と進行を妨げないよう測量は坑夫の休憩時に実施すること，資材はトラブル時にすぐ対応できるよう常に一定量確保しておくことなどを学びました．これは現在でも同じことだと思います．

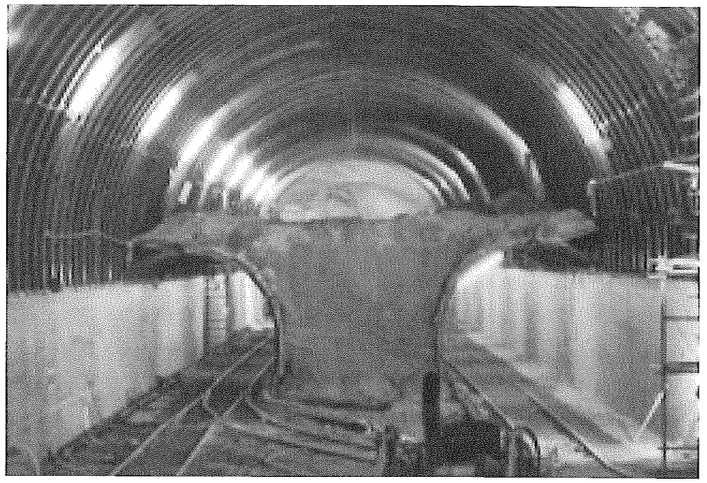
■矢板工法での最後の現場

私が経験した矢板工法の最後の現場は，昭和57(1982)～59(1984)年に携わった津軽トンネル(母沢工区)です．このトンネルは中小国駅と青函トンネル坑口間のアプローチ線の今別町地内に位置し，津軽トンネル5,950mの５工区に分けられたうちのひとつです．横坑(600m)を経て，本坑(950m)を側壁導坑先進上部半断面レール工法で人力掘削したものです．地山は半固結砂岩が主体で湧水が多く，流砂による事故が懸念されたため，横坑右側(本坑起点側)より調査を兼ねて水平ボーリング200mを実施し，横坑の掘削に入りました．流砂により切羽が止まることもありましたが，200mごとに拡幅部を作り，水抜き水平ボーリングを行って本坑に無事到達しました．

本坑に入り，起点側へ向かって

著者略歴

昭和36年	戸田組入社
昭和47年	東北地建　区界トンネル
昭和50年	日本国有鉄道 東北新幹線小沢田トンネル
昭和53年	東北地建 浅瀬石川ダム温湯トンネル
昭和54年	東北地建 同上深川水路トンネル
昭和56年	会津若松市 東山上水施設ずい道他
昭和57年	日本鉄道公団 津軽線津軽トンネル
昭和60年	日本道路公団 山形横断道星の城トンネル
昭和61年	福島県 新宮川松坂トンネル
平成元年	東北地建 片倉森第２トンネル
平成2年	岩手県 宮古港線小山田トンネル
平成4年	秋田県 ぶな森トンネル(通称)
平成8年	北海道開発局　小樽環状道路望洋台トンネル
平成10年	日本道路公団 第二東名沼津トンネル
平成13年	北陸地整　金沢東部環状道路卯辰トンネル(その４)
平成14年	鉄道・運輸機構　北陸新幹線高丘トンネル(南)
平成15年	戸田建設退社



津軽トンネル/側壁導坑と上半断面

側壁導坑を掘削，進行するにつれて踏まえ部より湧水があり，湧水処理として短尺ウェルポイント工(L＝1.2～1.5m)を実施しました．真空ポンプなどの設備は左右導坑間に連絡坑を掘って設置しました．ウェルポイントは表面水が引くまで２～３日かかるため，坑夫が「こんな効かないポンプは邪魔」といって，ライザーパイプを抜いてしまうことがありましたが，よく説明し実際に水が引き始めるとその後は率先してパイプを打ち込むようになりました．一方，地下水位が下がり始めると，ライザーパイプが短いためエアを吸わないようにバルブの調整が忙しくなりました．

上半部は湧水もなく，むしろ乾燥による流砂が心配されましたが，石灰化した貝の化石が層状に入り，切羽は安定していました．土かぶりの大きい他工区でも，ディープウェルなど多くの水抜き工を施工しており，全体的に地下水位が低下して湧水が少なくなったとも考えられます．

私はそれまで延長400m以上のトンネル経験がなく，また比較的安定した地質で大きな困難もなく工事に携わっておりましたが，当現場に赴任し，山を侮ることなく種々の工法を駆使して安全性を確保すること，また「現場を綺麗に維持するためには足元から」と，煙草の吸殻を拾う所長の行動を見て，暗いイメージを明るいイメージに変えようとする努力を怠らぬことなどを教えられました．

NATMへ移行した後

トンネル掘削は矢板工法からNATMに変わり，いくつか苦労したことがあります．一番の苦労は，当初，乾式で吹付けコンクリートを行っていたため，そのリバウンド量を軽減することでした．冬期にリバウンドが多くなり，コンクリート配合，急結剤の検討などを行いましたが，効果はあまり出ませんでした．原因は，今になって思えば，骨材の乾燥状態を一定に保てなかったことだと思っています．乾式は最初の現場のみで，あとは湿式に変わりました．

ロックボルトでは岩質や割れ目などによる孔荒れの問題があり，また覆工コンクリートにおいては全断面セントルによる打設で覆工厚が30cmと薄く，人が中に入ってバイブレーターが掛けられない状況で，防水シートの保全を含めて打設品質の確保が大きな課題となりました．コンクリート打設口部でシートに直にコンクリートが当らない対策，セントルの窓を増やして流し込む範囲を短くするなど，地道な工夫で対応しました．

トンネルの変状

トンネル工事は，地質が一定で安定しておれば心配なく掘削できますが，実際は掘削途中での地質変化，割れ目の入り方，方向，湧水などによる天端崩落，盤ぶくれ，支保工根足部の支持強度不足による沈下など，さまざまな変状がおきて苦労された方も多々おられると思います．ここでは，矢板工法時代とNATM時代で，私の経験した典型的な変状事例を紹介します．

■矢板工法での変状

矢板工法で大きな変状を体験したのは，昭和50年台前半(1980年ごろ)のトンネル工事です．トンネルが３本あり，終点側より起点側へ順次掘削して１本目を掘削完了し，変状は２本目のトンネルL＝400mで発生しました．地質は角礫凝灰岩で土かぶりは30～40m，上半先進工法で掘削しており，貫通地点は地山のしっかりとしたと

ころで行うものとし，60mを残して迎え掘りを行っていました．

覆工は１本目のトンネルが完了し，２本目も上半切羽から100mほど離れた位置まで進んでいましたが，地山も安定しているということでセントルを解体し，迎え掘りをしている起点側から覆工する段取り替えを行っていたところでした．

2，３日間降雨があり，見回りに出た職員より矢板が鳴っていると報告がありました．確認したところ支保工に沈下が生じていたため，根固めコンクリートを打って経過を観察しました．しかし沈下が収まらず，手配した松丸太がすぐ入手できないため杉丸太で支保工を抑えたものの，一晩で折れてしまいました．変状区間は約30mで，セントルを組み直して覆工を変状区間ぎりぎりまで進めて縫い返しに入りました．縫い返しと覆工を３間（３m）ずつくり返し行い，２か月ほど費やして施工を完了しました．あと荷的な変状に力ずくで対処するという矢板工法ならではの対応でしたが，このように変状が起きると精神的にダメージを受け，出費や時間も掛かります．覆工の目地も増えて漏水箇所も多くなり，残念ながら出来栄えも良いものとは言えませんでした．

■NATMでの変状

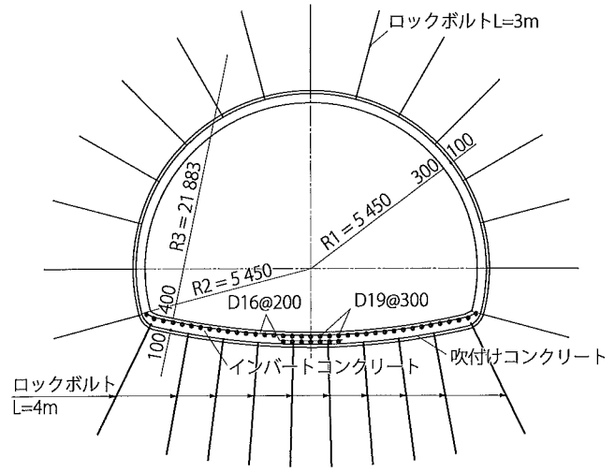
NATMで変状を経験したのは平成(1990)年代当初の道路トンネル工事L＝875mで，２工区に分かれて迎え掘りを行ったものです．

１工区側の地質は花崗岩で，風化や熱水変質作用を受けて軟質化しており，掘削タイプはB～DⅠでした．Bタイプは10mほどで，CⅠ，CⅡが主でした．反対工区も花崗岩でしたが亀裂が多いものの非常に硬く，掘削タイプはBが主となっていました．

１工区の坑口部は花崗岩の強風化した真砂土で，坑口付け時に法面の崩落などがありましたが，その後のトンネル掘削は順調に進みました．ところが，坑口から390m地点をCⅠタイプで掘削中に，吹付けコンクリート完了部で天端崩落が発生しました．そのため，鋼製支保工のあるCⅡタイプに変更して掘削を進めました．当該区間の内空変位にはとくに異常はなく，覆工では設計どおりインバートなしの施工を行いました．舗装工事も完了して供用を開始しましたが，１年５か月後，崩落発生部付近で車道および歩道部の通行に支障をきたす路面隆起が生じました．４か月間の全面通行止めをしてL＝79.5m区間の盤ぶくれ対策工事（インバート新設工事）を行っています．

変状は車道，歩道部に隆起，亀裂，目地切れなどが発生したものですが，アーチコンクリートに変状は見られませんでした．変状の程度は，もっとも大きいところで27cmの隆起で，目視によっても確認できるほど顕著なものでした．亀裂は歩道部に集中し，最大幅は５㎜程度で，車道部では少なく，監査廊部ではほとんど見られませんでした．これらの事象から，基本的な対策としてインバート部を新たに掘削し，吹付けコンクリート施工（t＝10cm）と下向きのロックボルト打設（L＝４m ctc 1.2m），インバートコンクリートを新設（t＝40cm）する対策を選定しました．

対策工の施工に先立ち，試掘を行い，支持地盤の状況と施工性を確認しました．岩盤は亀裂質で変質が進み，一部粘土化しているものの地山状況はルーズではなく，センタードレン部も水による軟弱化が見られないため，計画しているインバートにより地圧に耐えられると判断しました．



道路トンネル/対策工断面図

片側施工で対策工を行うこととし，足付け部のコンクリート舗装の切断から開始しました．地山を緩めないように，掘削は覆工目地部を中心にして左右1.75m振り分けて3.5m幅で行うものとし，歩道側から１つおきに実施しました．足付け部インバート閉合後，中間部の施工を行いました．内空変位は歩道側舗装撤去と掘削で３～４㎜生じ，インバートコンクリート打設でいったん収まりました．そして監査廊側の舗装撤去と掘削で３～４㎜の変位が累加されて最大７㎜程度の変位で収束しました．片側施工のため，全断面が閉合されるまで変位は継続的に発生すると予想されましたが，ロックボルトのネジ部をいっぱいに出し，インバートと一体化したことも，継続的な変位を抑制できた一因と思われます．

覆工のクラックは最下部よりSL上約1.5mまでの中間部で幅0.5㎜以下，アーチ部は0.4㎜以下またはヘアクラックで数m程度の長さのものもありましたが，進行は変位の収束とともに収まりました．天端沈下量は最大で４㎜でした．

供用中のトンネルの改修工事は通行止めや交通規制を実施して施工する場合，多方面に影響を及ぼします．トンネル施工中に変状の兆候を捉えることが一番ですが，内空変位などに異常値が現れないと見過ごしてしまうことが多々あります．岩片を水浸して劣化度合いを確認してみるとか，地質についての花崗岩地帯は高強度で安心というような先入観を持たないことが大切だと思います．

中壁分割工法（CD：センタダイアフラム）

今でこそ，地質不良地山においても長尺先受け工法，長尺鏡止め工法などで切羽の安定性を高め，大型機械を用いて大きな加背で効率的に掘削を行うことが主流となっており，沈下抑制に対しても断面の早期閉合によって対応することが行われています．信頼性の高い補助工法の開発や地山安定性確保に対する考え方の変遷によるものと思われますが，少し以前までは，切羽安定と地山変位抑制の大原則は加背を小さくすること，すなわち断面分割工法が主流であった時期がありました．ここでは私が経験した２例を紹介します．

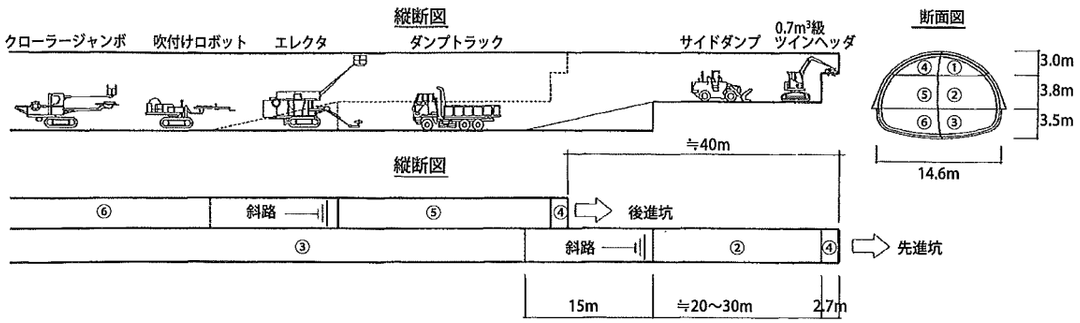
■地すべり地での道路トンネル

谷側に住宅団地のある道道小樽環状線望洋台トンネル建設予定地周辺では，地すべりの兆候が見られていました．トンネル掘削により地すべりが発生した場合，下方の団地に被害が出るということで，すでに山側に集水井７か所，谷側に集水井１か所と計画トンネルの谷側に地すべり抑止杭が134m間にわたって施工されている状況でした．

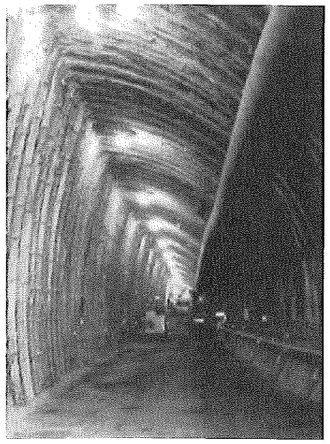
トンネルの地質は火山礫凝灰岩～凝灰角礫岩が主体で，強い風化を受け，軟質化した亀裂質または脆弱な地質で，地山区分が「E種」相当とされていました．また，掘削断面積は129m²と大きく，偏平で周辺地山の地すべりの誘発も危惧されることから，地山全体の変形抑止と切羽の安定性確保のために，掘削断面を小さく加背割りする中壁分割工法である６分割CD-NATMが採用されました．

縦断勾配が６％ときついため，掘削は排水を考慮して起点側から，断面に対しては谷側（右）より行うことにしました．分割は先進坑（右側）を３分割（①上段部，②中段部，③下段部）とし，後進坑（左側）も３分割（④上段部，⑤中段部，⑥下段部）としています．上段部のベンチ長は３間@0.9m＝2.7mを確保しつつ，ひと間掘削完了後，中段部ひと間の掘削をくり返して中段部を20～30m進行させます．その後下段部の掘削を10～15mで２サイクル行い，同時に中央排水溝，インバートストラットを設置して吹付けコンクリートを施工し，先進坑の閉合を完了します．後進坑掘削は先進坑の下半部完了区間内とし，先進坑とほぼ同様な施工を行いました．

CD工法でとくに気をつけたのは，先進坑の出来形に後進坑がすべて左右されることから，先進坑の上段部支保工の建込み精度を上げることでした．アーチ支保工の根足部が過掘り状態となるため１次吹付けコンクリートで過掘り部を埋めることを徹底し，支保工の移動と沈下防止を図りました．補助工法には，上段部にルーフボルト＋ウレタン注入（ウレタン注入式フォアポーリング），中段部にフットパイル＋ウレタン注入を採用しましたが，ウレタン注入は土かぶりが大きくなるにつれて注入



望洋台トンネル/6分割施工概念図



望洋台トンネル/先進本坑

圧が上昇し，注入量も減少する傾向を示しました．

後進坑の掘削が進むにつれて中壁は後進坑側へ変位し，後進坑下段部掘削時点で40㎜程度となりましたが，全断面閉合後はそれ以上の変位を生じませんでした．坑内の沈下量は天端部で40㎜，中段部で56㎜生じましたが，全断面閉合によって沈下は急速に収束しています．一方，地表面沈下量は坑口より110m地点で85㎜の最大値が計測されました．地表の伸縮計，地中傾斜計，抑止杭応力計には地すべり挙動と想定される変化はなく，坑内計測データも管理基準以内で収束しているため，地すべり発生の可能性は低いとの結論を得て，無事，掘削を完了することができました．

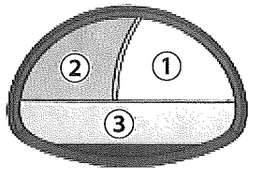
なお，当工法で大きな課題のひとつであった中壁撤去は，変位挙動の収束が確認された後進坑下段部掘削，閉合から100m経過時点から着手し，5間，10間，15間連続と，撤去スパンを段階的に増やす試験施工を行いましたが，いずれもアーチ支保工には大きな変化はありませんでした．中壁撤去での注意点は，吹付けコンクリートを壊す際にアーチ支保工とボルトで固定されている中壁鋼製支保工を，直接，油圧ブレーカで打撃しないことでした．

また，中壁鋼製支保工を外す作業は，アーチ部天端からインバートストラットまで10m近くと非常に高く，アセチレンガスで継手ボルトを切断するとき，倒れないよう機械で固定(挟む)しないと危険なため，最初はエレクターで作業をしましたが，挟む角度により支保工がすべり落ちることが判明しました．支保工は撤去後にさらに切断するため，切断，積込みのできる専用解体機械を使用することとしました．その際，支保工を外すときは挟む作業のみを行い，切断は集積場所で行うものとして，支保工を坑外に搬出するよう作業範囲を決めて使用しました．

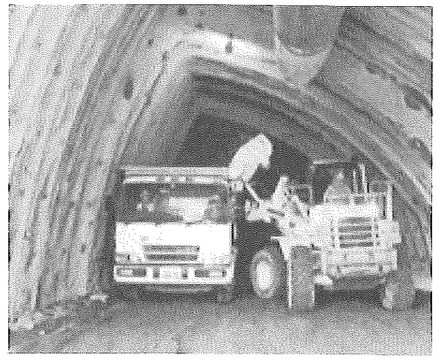
■大断面トンネルでのCD工法

第2東名高速道路沼津トンネル工事は断面積183㎡，偏平率0.68，完成3車線で計画されており，道路トンネルとしては国内外に例を見ない大断面でした．静岡県内にはトンネルが36本計画されており，そのうちの1本が沼津トンネルでした．地質は愛鷹火山砕屑物(愛鷹凝灰角礫岩)で1軸圧縮強度は1～5N/㎟と小さく，地山強度比も0.6～1.2と小さいため，上部半断面を2分割の加背割りとするCD工法が採用されました．それまでに日本道路公団(JH)においてCD工法を採用したのは2例あり，いずれも数十mだけで，トンネル全長にCD工法を採用するのは初めてとのことでした．

上り線は延長L＝597mで，山側(右)を先進坑とし，坑口部は上下半中壁分割工法(4分割CD)，中間部は上半中壁分割工法(3分割CD)で掘削しました．中壁撤去においても天端沈下の増分などはほとんどなく，安定した施工を行っています．一方，延長L＝647mの下り線においては，途中で上半先進工法に変更となりましたが，機械の入替えは行わず，3分割用の機械で施工を継続し，断面に対して相対的に小型となったものの，進行に大きな影響はありませんでした．



沼津トンネル/3分割加背割図



沼津トンネル/上半先進坑ずり積込み

当トンネルでは，高強度吹付けコンクリート(σck＝36N/㎟)の使用により吹付けコンクリート厚を5㎝低減し，高規格支保工の採用(SS540相当)によりH形鋼サイズを1ランク下げることや覆工コンクリートの高強度化(σck＝30N/㎟)で覆工厚を10㎝低減するなど，経済性を向上させる対応が図られています．

一方，上半部の覆工コンクリートは，スチールファイバーを現地でミキサー車に投入，混合して打設し，引張強度の改善と剝離落下防止を図りました．また，開通後のトンネルの安定性を確保するため，インバートは全長にわたり設置する設計となっています．

近年，夏期の気温が高く，熱中症が社会問題にもなっていますが，高強度吹付けコンクリートはセメント量が多いぶん，硬化熱も高く，坑内温度が上昇傾向となるため注意が必要だと考えられます．幸い，当工事は事故もなく完了しましたが，坑門工が上下線4か所もあり，覆工工事開始前に延長などの協議が完了しなかったため，手戻りが生じたのが悔やまれます．

このような大型工事のCD工法に携われたのは誇りではありますが，煩雑となる計測管理，検討委員会の資料作成など，通常のトンネル工事にはない要素が多々あり，日中の施工管理，夕方からの書類作成と，職員への負担が大きかったと思います．

鏡面自立対策工(シリカライザー注入)と坑門モジュラーチ工法

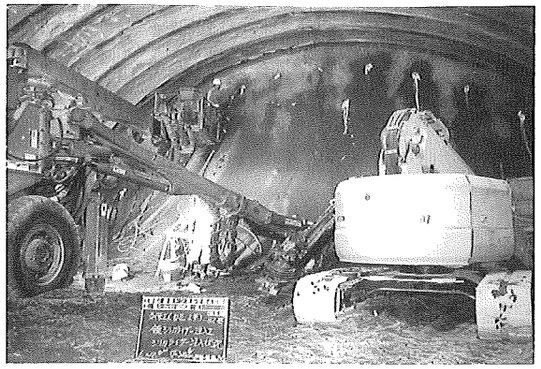
延長L＝1,220mの金沢東部環状道路卯辰トンネル工事は，先行工事において，切羽からの湧水による流砂，崩落などで掘削は困難を極め，起点側から612m，終点側から200m間の掘削が完了し，L＝392mの掘削が残っていました．今回の工事で残り区間の掘削と坑門工L＝16mを施工してトンネルを完成させました．

掘削断面積が147㎡の大断面トンネルで，地質は未固結または半固結の砂岩層・砂礫層で天端上部に薄い泥岩層があり，それが遮水層となって地下水が帯水していました．

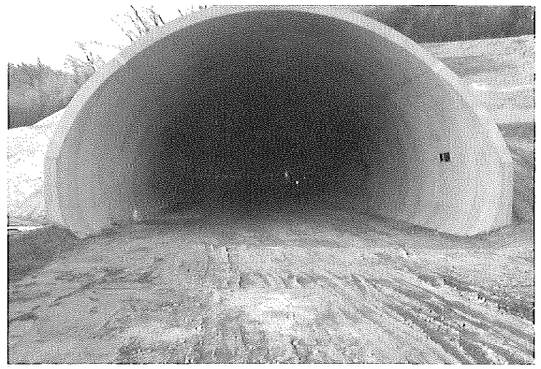
掘削再開前の終点側切羽付近では泥岩層が天端すれすれに位置しており，ホースで導水(9L/min)している状況でした．切羽は2か月間停止していたため，掘削の再開時に鏡ボルト15本＋高浸透ウレタン30kg/本を打設し，鏡安定対策としました．ツインヘッダで，リング状に鏡吹付けコンクリートを切削して慎重な施工を行いましたが，肩部付近で小崩落があり吹付けコンクリートで抑えながらの掘削となりました．

10m進んだあたりから鏡面の自立が困難となり，試験的にシリカライザー(水ガラス系注入材)をφ700，L＝8.0m，10本の規模でリングカットの鏡面に注入し，6mの掘削によって注入効果を確認しました．注入孔間隔の広い箇所で小崩落があるものの，鏡面の全体的な自立は確保され，所期の目的は達せられました．

その後，進行との兼ね合いからシリカライザーの注入仕様を検討し，1本あたりの長さL＝12m，注入量300L/m，合計15本を決定しました．作業の流れは，坑夫による注入パイプの設置に半日，専業者による注入作業が1日半，そして上半掘削10mに5昼夜，下半掘削，斜路設置10mを1昼夜で行うものでした．



卯辰トンネル/鏡補強工



卯辰トンネル/坑門(モジュラーチ工法)

シリカライザーの施工後は，鏡面の安定性が確保されて安全な掘削を行うことができました．薬液注入は時間と工事費がかかるため，最適な注入量の計画が必要ですが，改良範囲がまばらにならぬよう，十分な配慮が必要です．

一方，坑門工は竹割り式であったため，セントルを撤去後の場所打ちコンクリート施工では工期が間に合わず，沼津トンネルの高盛土部の水路トンネルでも施工したモジュラーチ工法(２次製品)を採用しました．既設覆工コンクリートとの取り合いに苦労しましたが，出来栄えは非常に良いもので，二次製品の使用も一考ではないでしょうか．

おわりに

矢板工法からNATMに代わり，１次支保の剛性や品質が向上して安心感が強くなりました．しかし，ＣＩタイプ以上の区間において，吹付けコンクリートもろとも崩落する事故が起きていることも事実です．とくに夜間は職員の立会いもなく，坑夫のみの作業となりますので切羽の異常の有無を確認し，共通の認識を持つことがとても大事だと思います．

10年前に比べると公共事業に対する風当たりも強く，厳しい予算のなかで職員も作業員も少ない配置での体制にならざるをえません．１人でも体調が悪くなり，休むとさらに少人数となり，慣れない機械の操作も重なって事故につながります．一人一人が自覚を持って健康管理を行うことがますます大切になると思います．

また，工事の初めに地元説明会を開催すると，地元の方から，飯場(宿舎)に来る作業員が怖いと言われることがあります．そんなとき，私はいつも，作業員だって家に帰れば一家の長で，皆さん同様に家族だっておりますよ，と強調し，親近感を持っていただきました．

最後に工事に携わった方々のご協力で，いずれのトンネル工事も頓挫することなく，まっとうできたことを感謝申しあげる次第です．

施工

電気防食を適用した地中送電洞道の劣化対策事例

東京電力(株)神奈川支店横浜支社地中送電保守グループ副長　石塚正寿
東京電力(株)神奈川支店設備部管路設備保全担当(課長)　小椋明仁
東京電力(株)パワーグリット・カンパニー工務部 管路・土木技術担当　桑原弘昌
化工建設(株)工事技術部主査　大久保謙治

1 はじめに

東京電力では，安定した電力供給のため既存洞道および付帯構造物の補修・補強を進めている．その中でも都心への電力供給の要であるM洞道No.1D～No.2D(**図-1**)は，昭和48(1973)年に竣工し，経年劣化および塩害の影響を受けてコンクリートの剝離・剝落，ひび割れからの漏水などが顕在化し，補修・補強が必要と判断されたことから，事前に劣化の詳細調査を行ったうえで補修工法を選定し，平成24(2012)年度に漏水と塩害に着目して補修を実施した．

2 設備概要

M洞道は，高速道路，地下鉄に近接した他企業併設の２層ボックス構造で，高速道路横断部，階段部(A)，階段部(B)からなる現場打ちボックスカルバート(**表-1**，**図-2**)である．昭和48(1973)年に地下鉄と洞道部が竣工し，昭和53(1978)年に高速道路が竣工している．洞道の構造一般図(縦断図，断面図)，断面状況を**図-3**，**写真-1**に示す．

表-1　設備概要

項　目	諸　元
竣工年度	昭和48(1973)年，38年経過
洞　道	２層ボックス構造(下層部他企業洞道)
構　造	ボックスカルバート，現場打ち
内寸法	幅1.8m×高さ2.1m
土かぶり	7.5～13.2m
土　質	軟弱粘性土(N=1)
地下水位	W.L.＝G.L.－0.25m

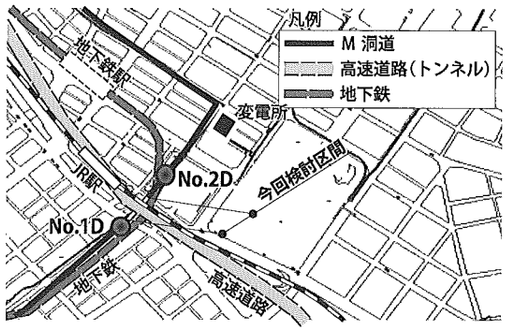


図-1　対象洞道案内図

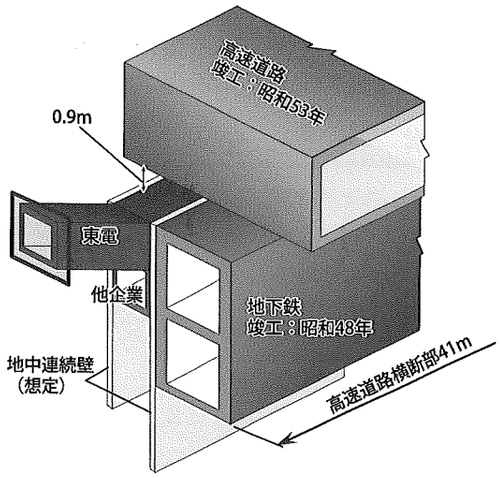


図-2　交差部概要図

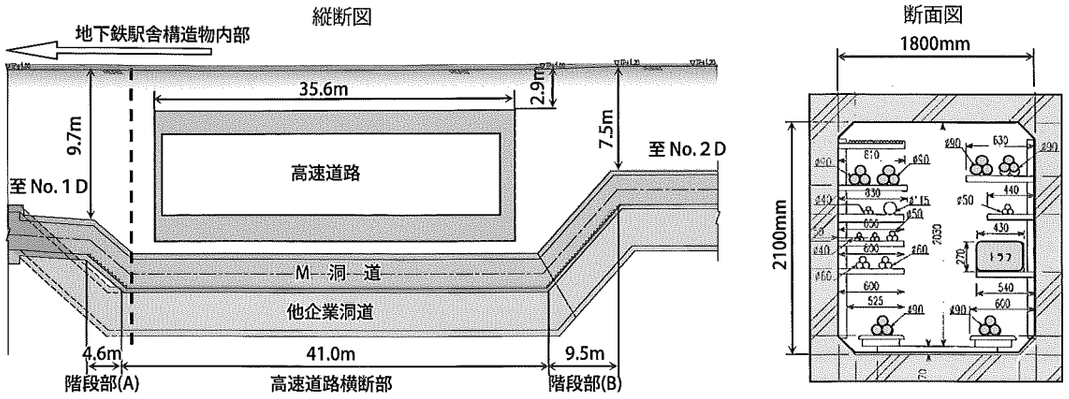


図-3 構造一般図(縦断図，断面図)

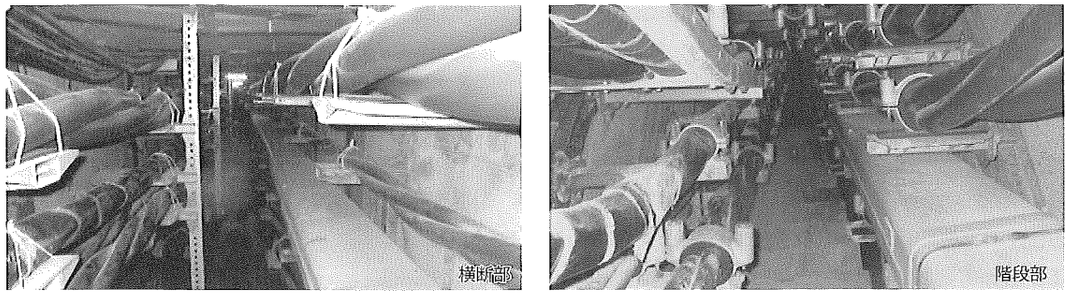


写真-1 高速道路横断部，階段部

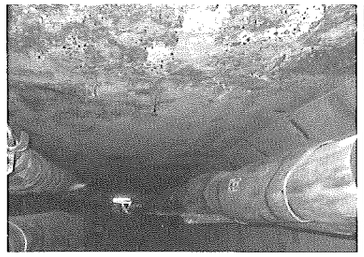


写真-2 頂版部骨材露出，漏水

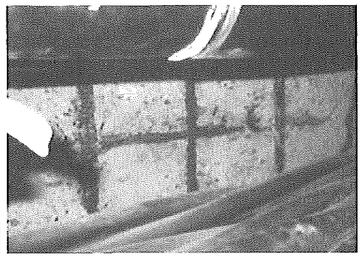


写真-3 横断部左側壁浮き，剝離・剝落

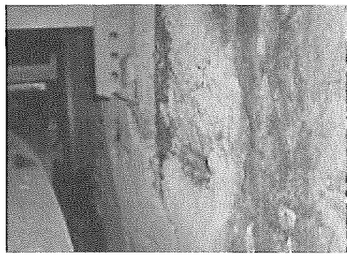


写真-4 横断部右側壁鉄筋露出

3 劣 化 状 況

M洞道は日常点検時に，コンクリートの浮き，剝離・剝落，骨材露出，鉄筋露出，鉄筋腐食，ひび割れ，漏水などの劣化が報告されており，早急な対策が望まれていた(写真-2～4)．

4 劣化状況の詳細調査

日常点検および塩化物イオン量と圧縮強度の確認試験結果から，今回の補修対象区間であるNo.1Dマンホール～No.2Dマンホール間が，M洞道の中でもっとも劣化が進行していると判断された．そこで，劣化状況の詳細調査(表-2)を実施して劣化機構，劣化進行過程を把握することで，最適な補修工法および補助工法を選定した．

同区間では，部分的にコンクリートのかぶり不足による中性化によって劣化した部位もみられるが，鉄筋腐食による劣化が広範囲にみられた．また，部分的に孔食による断面欠損が確認された．さらに，鉄筋位置での塩化物イオン量が腐食発生限界塩化物イオン量(1.2kg/m³：1.6～30.5kg/m³)を越えていることから，鉄筋腐食にいたった支配的な劣化機構を塩害と判断した．それぞれの劣化進行過程により，補修工法および補助工法(表-3)を選定した．

表-2 調査結果一覧

調査箇所	部 位	表面状態	最大主筋かぶり	調査・試験値			鉄筋腐食段階	主筋位置の塩化物イオン量	劣化進行過程
				最小圧縮強度	主筋位置塩化物イオン量	中性化深さ			
			(mm)	N/mm²	kg/m³	mm			
階段部(A)	頂版	劣化小	64	—	0.3	—	—	限界値以下	潜伏期
	側壁(左)	劣化小	83	—	12	41	B	限界値以上	進展期
	側壁(右)		110	—	8	26	B	限界値以上	進展期
	中床版	—	—	—	—	—	—	—	—
横 断 部	頂版	劣化中	64	—	0.2	—	—	限界値以下	潜伏期
	側壁(左)	劣化大	55	25	22	45	A，B	限界値以上	加速期前期
	側壁(右)	劣化中	56	29	30	35	A，B	限界値以上	加速期前期
	中床版	劣化小	50	—	17	0	A，B	限界値以上	進展期
階段部(B)	頂版	劣化中	75	—	6	—	—	限界値以上	進展期
	側壁(左)	劣化中	149	—	1	28	健全	限界値以下	潜伏期
	側壁(右)	劣化中	143	—	0.3	25	健全	限界値以下	潜伏期
	中床版	—	—	—	—	—	—	—	—

表-3 箇所別補修補強工法対策表

箇 所	部 位	劣化進行過程	補修工法	補助工法
階段部(A)	頂版	潜伏期	断面修復(局部)	漏水補修(止水)ひび割れ補修
	側壁(左)	進展期	外付けチタンリボンメッシュ陽極方式電気防食	
横 断 部	頂版	潜伏期	断面修復(局部)	
	側壁(右)	加速期前期	外付けチタンリボンメッシュ陽極方式電気防食	
	中床版	進展期	歩床版撤去・復旧	
階段部(B)	頂版	進展期	外付けチタンリボンメッシュ陽極方式電気防食	
	側壁(左)	潜伏期	断面修復(局部)	

5 対 策 検 討

5-1 断面修復工

顕在化した劣化部の浮き部，剝離・剝落部のはつり深さは，50mmとした．断面欠損した鉄筋は，鉄筋裏まではつり取り，新たに鉄筋を添筋して復旧することとした．断面修復後に電気防食による対策を実施することから，収縮が少なく，既設コンクリートとの付着性に優れ，電気抵抗率の低い(50kΩ・cm以下)補修材料を使用することとした．

5-2 止水工法

塩化物イオンは，漏水部から電気防食未施工部



写真-5 施工前漏水状況(可視光)

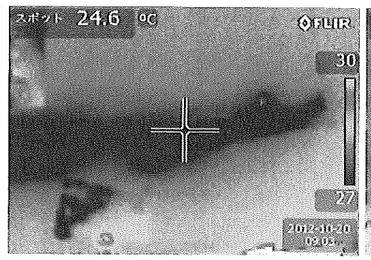


写真-6 施工前漏水状況(赤外線)

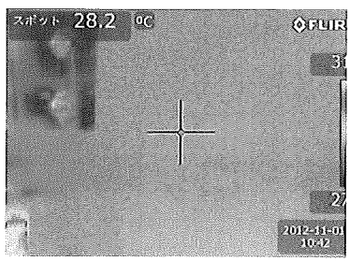


写真-7 施工後漏水状況(赤外線)

(頂版，側壁)へ供給される．塩化物イオンの拡散により鉄筋の腐食に伴う劣化が懸念されること，また，水分の供給により電気防食稼働時の防食電流が不均一になる可能性があることから，止水材は長期耐久性に優れたアクリル系樹脂材を選定した．

また，赤外線カメラにより漏水部を特定・記録し，施工前(**写真-5, 6**)と施工後(**写真-7**)の比較をすることで止水の効果を管理することとした．

5-3　電気防食工法

電気防食工法では，一般的に面状陽極，線状陽極，点状陽極が使用されている．施工部位全面に対しての金属片除去およびコンクリートの下地処理が難しいと判断される面状陽極と，狭隘部でのコンクリート削孔が物理的に難しいと判断される点状陽極は，対象外と判断した．そこで，腐食状況，塩化物イオン量により陽極量(ピッチ)を変更できる線状陽極を選定した．

さらに，施工時に溝形成が必要な線状陽極方式は，狭隘部でカッタなどを使用した際に，ケーブルを破損，切断する可能性があると考えられたことから，陽極貼付け方式を検討・選定した．

貼付け方法について試験施工などの検証を実施することで防水機能をあわせ持った工法に変更(特許申請済)した．

検討した陽極の概要と電気防食工法を，それぞれ**図-4**，**表-4**に示す．

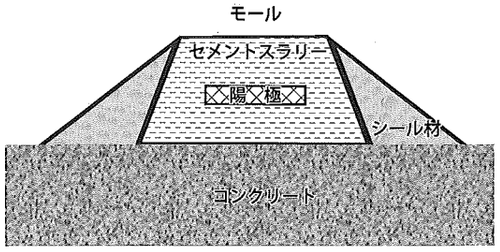


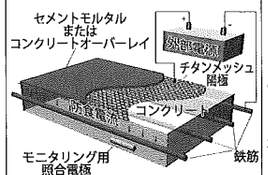
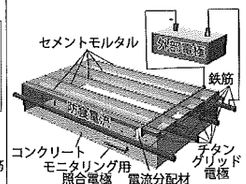
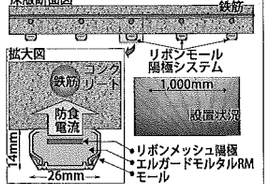
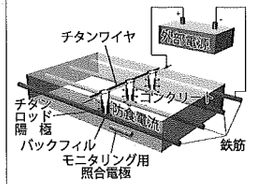
図-4　陽極概要図

5-4　ケーブル移動

従来の洞道の補修では，立金物で支えたケーブルを移設または撤去して，代替送電ルートを確保したあとに施工していることから，多くの工期と費用を必要とした．

本工事では，既設の立金物撤去前に，洞道歩床部に仮立金物を設置(**写真-8**)してケーブルを仮受けすることにより，既設立金物撤去で得られたスペースに電気防食の陽極材を設置することが可能となったことから，ケーブルの移設などが不要となった．

表-4　電気防食陽極方式選定表

工法名	面状陽極方式	線状陽極方式		点状陽極方式
	チタンメッシュ陽極方式	チタンリボンメッシュ陽極方式	外付けチタンリボンメッシュ陽極方式	チタンロッド方式
工法概要	網目状チタン陽極をコンクリート表面に固定し，モルタルで被覆して陽極システムを形成する方式	一定間隔に切削した溝に，線状チタン陽極を固定し，溝にモルタルを充填して陽極システムを形成する方式	プラスチック釘でコンクリートに固定した外付けモール内に線状チタン陽極を設置し，モール内にモルタルを充填して陽極システムを形成する方式	一定間隔に直径12㎜の孔を穿孔し，孔に棒状陽極を専用バックフィル材とともに挿入して陽極システムを形成する方式
工法概念図				
洞道への適用性	メッシュ材貼付けの際にケーブルの移動が伴い，さらに，表面仕上げのモルタルが剥離する可能性がある．メッシュ材が幅1.2mのロールになっておりケーブル背面への搬入が困難	溝切削にはコンクリートカッタやブレーカを使用するため，ケーブルの移動が必要となり洞道での施工は不可能	コンクリート表面に突起物が並ぶが立金物より低いため，実質的な断面減少にはならない ケーブルの移動の必要がない	孔や溝切削にはコンクリートカッタやブレーカを使用するため，ケーブルの移動が必要となり洞道での施工は不可能

5-5　歩床部

塩化物イオンを多量に含み，脆弱したコンクリートを撤去・復旧後に，目視による状況確認が可能な樹脂製グレーチング(**写真-9**)を敷設することとした．

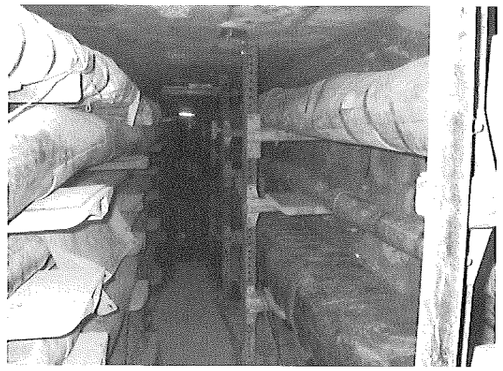


写真-8　仮立金物設置状況

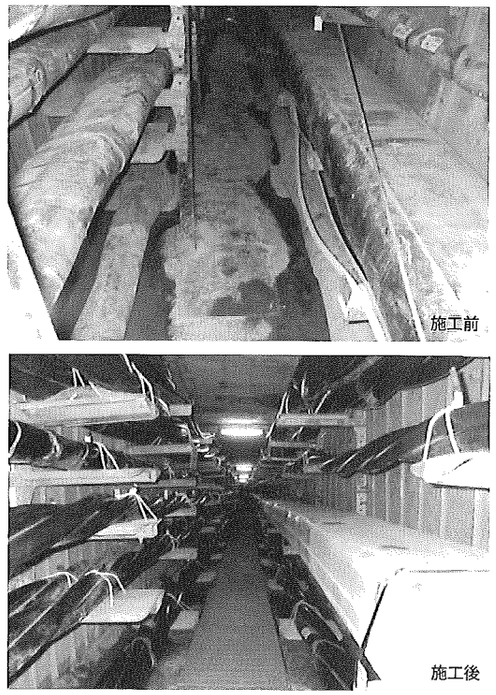


写真-9　歩床部状況(上段：施工前，下段：施工後)

6　施工前調査

施工に先立ち，劣化状況の把握と補強の必要性を判断する目的で再調査を行い，以下の対策を追加した．

(1)　腐食鉄筋への添筋

既設鉄筋のうち，腐食の著しい箇所などについては，鉄筋を添筋した．

(2)　電気防食施工範囲外から供給される漏水

電気防食対策を施工する範囲外で漏水がみられ，施工範囲内に供給される可能性があることから，止水工を追加した．

(3)　電気防食陽極量の不足

添筋(主筋，配力筋)により鉄筋量が増加し，陽

表-5　解析条件

解析条件	元設計	250㎜＋添筋	200㎜＋添筋
陽極設置間隔(㎜)	250	250	200
添筋の有無	なし	あり	あり
印加電圧(V)	0.748	0.68	0.603
電流密度(mA/m²)	11.04		
鋼材自然電位(mV)	-330 (vs CSE)		
鋼材分極抵抗(Ω・m²)	5.89(電流密度が 2.4×10^{-2}A/m²未満)		
表面積あたりの鋼材分極抵抗(Ω・m²)	2.04(電流密度が 2.4×10^{-2}A/m²以上)		
コンクリート抵抗率(kΩ・cm)	15		

100mV以上の分極量を確保できない

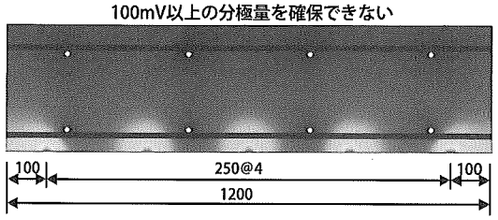


図-5　陽極ピッチ250㎜＋添筋

100mV以上の分極量を確保できる

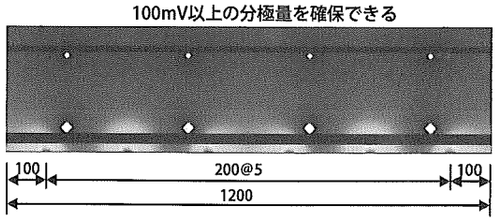


図-6　陽極ピッチ200㎜＋添筋

極量の不足が懸念されることから有限要素法(**表-5**)により，洞道内側に鉄筋を添筋した場合の分極量(陽極ピッチ)を解析した．防食基準である100 mVの分極量が得られるように陽極ピッチ(電流密度図)を当初設計の250㎜から200㎜に変更した．

図-5, 6に示す電流密度図は，側壁を上部から見た場合の断面で表現しており白丸は主筋，黒線は配力筋である．

7 施　　工

7-1 仮立金物設置工

ケーブル仮受け用の立金物を設置(**写真-10**)した．ケーブルを仮受けすることにより，ケーブルと側壁間に100㎜以上の施工スペースを確保した．

7-2 断面修復工

劣化部のかぶりコンクリートをはつり取り(**写真-11**)，鉄筋の添筋・ケレン後，左官により修復した．断面修復材は付着性に優れて，電気防食稼働時の抵抗を少なくする必要があることから電気抵抗率の低い(10kΩ・cm)無機系セメント材を使用した．

また，鉄筋の防錆材は，電気防食を行うことから使用していない．

7-3 止水工

ひび割れ部は，注入後に電気防食を施工するため，防食電流分布に影響しない超微粒子セメント系スラリーを低圧注入(**写真-12**)した．漏水部は，

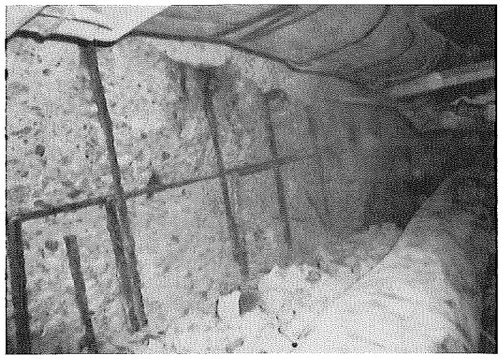


写真-11　コンクリートはつり状況



写真-12　ひび割れ部注入状況

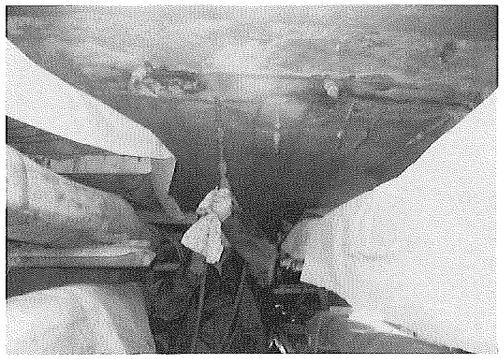


写真-13　止水状況



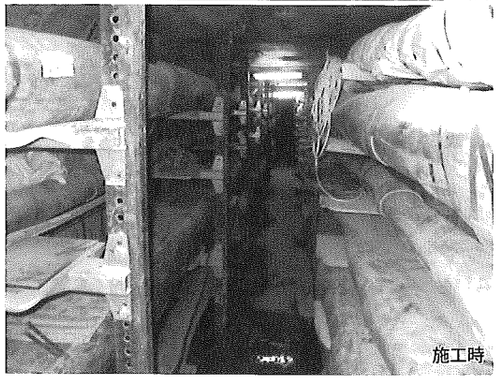


写真-10　仮立金物仮受状況(施工前，施工時)

注入用治具を削孔穴にセットし，アクリル系2成分合成樹脂を専用機械で高圧注入(**写真-13**)した．施工部は赤外線により止水を確認した．

7-4 電気防食工

コンクリート表面をケレンしてモール陽極の貼付設置・防水樹脂シール後，モール内に無収縮セメントスラリー(**写真-14**)を注入した．モルタルの硬化後，通電用のディストリビュータを(**写真-15**)設置し，スポット溶接により陽極と接続(**写真-16, 17**)した．また，モニタリング用の照合電極(**写真-18**)を横断部2か所，階段部2か所，検証部(電気防食未施工)1か所に設置し，モルタルで埋戻した．

陽極，ディストリビュータ設置後，仮通電試験



写真-14　無収縮セメントスラリー注入状況



写真-17　階段部陽極設置状況

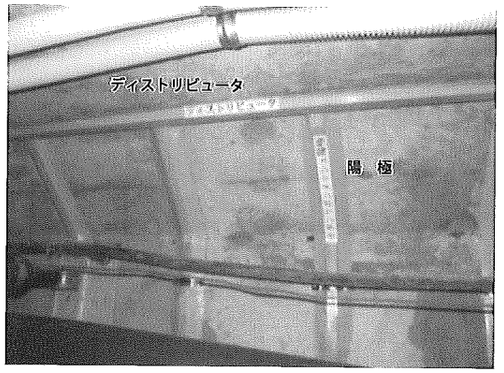


写真-15　陽極，ディストリビュータ設置状況

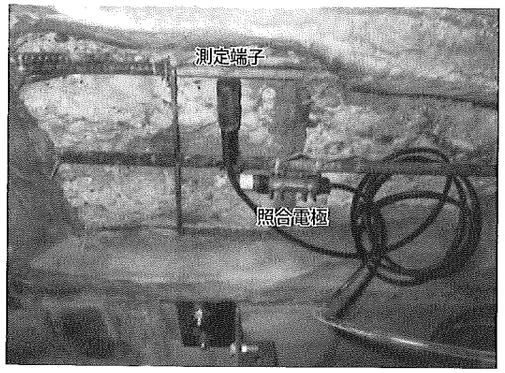


写真-18　照合電極設置状況

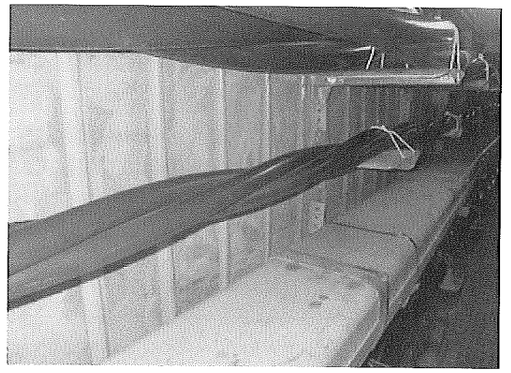


写真-16　側壁部陽極設置状況

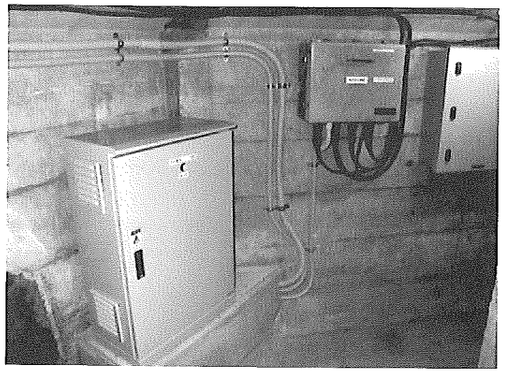


写真-19　直流電源装置

表-6　通電試験結果

（単位：mV）

部　位	自然電位	分極量	復極量
	通電前電位	通電後電位	通電停止後電位
階段部A	537	197	214
横断部左	531	107	100
横断部右	404	147	162
階段部B	534	147	162
通電条件	電流密度：13mA/m²		

により照合電極の安定性と回路状況を確認した．配線・配管，直流電源設置(**写真-19**)後，通電試験により設定電流量を決定し，平成25(2013)年3月に通電を開始した．分極量(自然電位とコンクリートの抵抗をキャンセルした通電電位との差)および復極量(通電停止24時間後の電位)は，防食基準値(100mV)以上を示した．

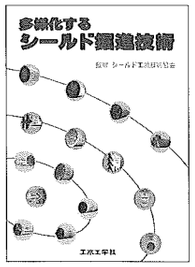
8　おわりに

当社では，洞道の補修対策として外部電源方式による電気防食を初採用した．その効果の確認と検証を継続して実施する計画である．今後も重要構造物の効率的な維持管理の構築を目指して経済的で効果の高い工法を検討し，確実な施工を行うことで電力の安定供給に努めていきたい．

参考文献

1) 土木学会編：電気化学的防食工法　設計施工指針(案)，コンクリートライブラリー，No.107，土木学会，2001.11.

2) 鹿島篤志・佐藤唯・山本誠・皆川浩・久田真：FEM解析による電気防食工法の電流と分極分布の再現性に関する実寸大供試体を用いた検討，日本材料学会，第12回コンクリート構造物の補強，アップグレードシンポジウム，2012.



多様化する
シールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B５判　141頁　本体価格2,500円

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

〔掲載工法〕

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

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

研　究

シールド工事用二次覆工一体型セグメントの開発とその実用化に関する研究

東京都公営企業管理者下水道局長　松　浦　將　行

1　研究の背景と目的

下水道は，東京都民の生活や都市機能を地下で支える重要な都市施設であり，その機能を低下させることは許されない．そのため，東京都では老朽管渠を造り替える再構築事業を主要な事業として推進している．再構築事業を円滑に進めるうえで，下水道管渠の築造に多く採用されるシールドトンネルの建設コスト縮減や工期短縮への取組みが重要な課題となっている．

近年，シールド工法の技術は著しく向上した．施工精度の向上は大規模な蛇行修正を必要としなくなり，また水膨張性のシール材が日本において開発された結果として，漏水はほとんど見られないほどに止水性が向上した．一方，シールドトンネルの主構造部材であるセグメントにも改良が重ねられ，とくにトンネルの内面が平滑になるような継手が開発された結果，下水の流れにも支障がなくなり，所定の流量も確保できるようになった．これらのことから，下水道シールドトンネルにおける二次覆工は，防食機能の確保が主目的に施工されるものとして整理できる．

本研究は，二次覆工のもつ機能，とくに防食機能をセグメントにどのように代替させるか，セグメントの構造特性をどのように評価するか，また，各種の地盤条件に適応した構造解析手法はどのようなものがよいか，セグメントに作用する主荷重や施工時荷重である推力に対する耐荷性能をどのようにして確認するかなど，設計上や施工上の多くの課題に対して，「二次覆工一体型セグメント」を開発し，その実物大の載荷試験などを実施して，設計法などに検討を加えたものである．

2　下水道の現状と課題

東京の下水道は，明治17(1884)年にわが国初の近代下水道として神田に建設されたのが始まりで，それから100年余の歳月をかけて，平成６(1994)年度末に東京都区部における下水道の普及率は100%がほぼ達成された[1]．**図-1**に示すように，長い年月を費やして下水道管渠は整備され，現在では，地盤沈下の進行や急激なモータリゼーションなどの外的な影響を受け，物理的な劣化や機能の低下をきたしてきている．このような状況を踏

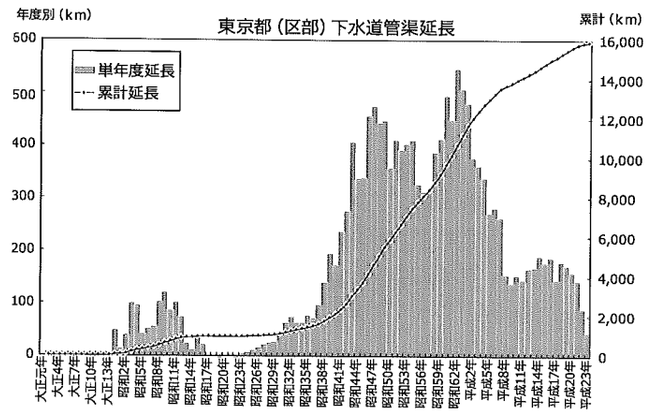


図-1　年度別管渠敷設延長の推移

まえ，東京都では，古くなった下水道管渠を新しく造り替えるとともに，既存施設の能力不足の解消を図る再構築事業を計画的に行っているところである．

再構築事業で必要とされる幹線や主要枝線の建設は，土地の高度利用化，地下埋設物の輻輳化などから，周辺地盤や環境などへの影響が少ないシールド工法で施工される傾向にある．下水道用のシールドトンネルでは，一般的に現場打ちコンクリートなどによる二次覆工を巻立てる場合が多い．二次覆工施工の目的のうち，「蛇行修正」「内面平滑化」に関しては，施工精度の向上および内面が平滑なセグメント(以降「内面平滑型セグメント」と呼ぶ)の開発によって，一次覆工のみで下水道の使用目的に対し満足できる状況が得られるようになった．また，止水効果が高いシール材が開発されたことにより，二次覆工の省略が可能となり，一次覆工のみで実用上の問題は生じない．したがって，下水道用シールドトンネルにおける二次覆工の主目的は，防食機能の確保にしぼられた．

このような経緯から，二次覆工一体型セグメントの開発が進められることになった．そこで開発にあたり，シールド技術の開発経緯や施工実績，経済的合理性などを踏まえ，二次覆工一体型セグメントの実用化を進めるための考え方や目的を明確にした．

3 二次覆工一体型セグメントの開発

3-1 二次覆工を代替する機能の確保

3-1-1 基本構造と適用範囲

下水道シールドでは，一般に「シールド工事用標準セグメント」[2] を採用しており，二次覆工一体型セグメントの基本構造は，このセグメントの内面に50㎜の無筋コンクリート層を防食層として付加させたものである．防食層は，セグメント工場などにおいてセグメントの製作と同時に，または一連の工程のなかでセグメントと一体に成形するもので，防食層のコンクリートには，鉄筋コンクリートセグメントに用いるのと同じ設計基準強度f'_{ck}＝42N/㎟以上で，水セメント比が35～40%程度の水密性に優れた高い品質を有するものを用い，従来の二次覆工を代替する耐久性を確保するものとした．**表-1**は二次覆工一体型セグメントの適用範囲を示したものである．

表-1　二次覆工一体型セグメントの適用範囲

環境条件	適用管渠の種類	備　考
一般の環境	①雨水管渠(分流式および合流式のピークカット管渠) ②処理水放流管渠 ③雨水貯留管渠(合流式のピークカットによる暫定貯留管渠)	二次覆工省略型セグメントを適用対象とする管渠の種類
腐食性環境	合流管渠	二次覆工一体型セグメントを適用対象とする管渠の種類
	汚水管渠	

表-2　中性化深さの推定値

推定式	50年での中性化深さ推定値(㎜) (W/C=43%)
①土木学会式	5.0
②岸　谷　式	5.7
③浜　田　式	14.9
④白　山　式	5.0
⑤依　田　式	1.1

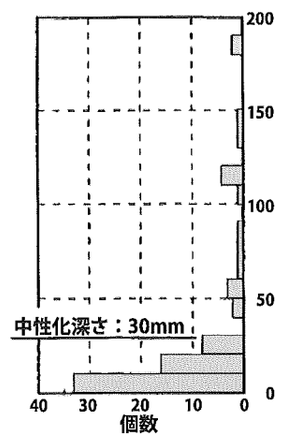


図-2　中性化深さ実態調査結果

3-1-2 腐食性環境における防食機能の確保

防食層は，主として二次覆工一体型セグメントの耐久性を確保することを目的として設けるものである．**表-2**は現時点で経年50年を想定したコンクリートの中性化深さの推定値が15㎜以下であることを示している．**図-2**は建設後50年以上を経過した合流管渠の中性化深さの実態調査の結果で，30㎜以下が75%以上であることを示している．これらの結果に施工上からの必要厚さを考慮して，防食層の厚さは50㎜を確保するものとした．

3-2 構造解析手法の確立

3-2-1 断面力および応力度の計算手法

二次覆工一体型セグメントは防食層を有することから，これに配慮して構造計算を行わなければならない．構造計算においては，防食層を**表-3**に示すように扱うこととした．これは，防食層が永年の供用中に劣化や摩耗によって浸食される可能性があることに配慮した結果であるが，その定量的な評価は困難なため，安全側の設計となるように配慮したものである．**図-3**および**表-4, 5**は，所

表-3　二次覆工一体型セグメントの構造計算

①断面力の算定は，防食層を考慮して行う(自重，剛性)
②応力度の算定にあたっては，防食層を考慮しない(図心)

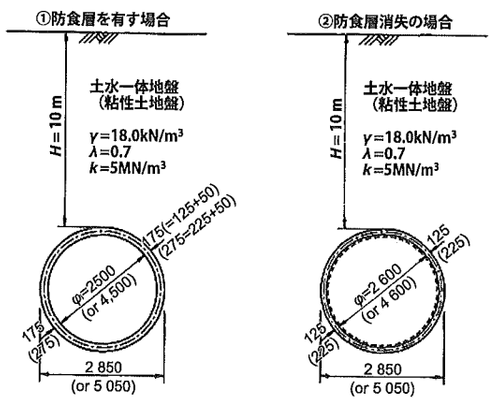


図-3　防食層の有無による試設計断面

表-4　各ケースの構造計算諸元

項目		構造計算諸元		
防食層の取扱い		①防食層を所定厚有する場合	②防食層が消失した場合	③防食層を安全側に扱った場合
仕上り径 φ2,500	ケース名	case 1-1	case 1-2	case 1-3
	外径 D_o(㎜)	2,850	2,850	2,850
	セグメント厚 h(㎜)	175	125	175(自重，剛性)，125(図心)
	図心半径 R_c(m)	1.3375	1.3625	1.3625
	断面2次モーメント I(m⁴)	4.661×10^{-4}	1.628×10^{-4}	4.661×10^{-4}
	断面積 A(m²)	0.175	0.125	0.175
	自重 g(kN/m)	4.55	3.25	4.55
仕上り径 φ4,500	ケース名	case 2-1	case 2-2	case 2-3
	外径 D_o(㎜)	5,050	5,050	5,050
	セグメント厚 h(㎜)	275	225	275(自重，剛性)，225(図心)
	図心半径 R_c(m)	2.3875	2.4125	2.4125
	断面2次モーメント I(m⁴)	2.080×10^{-3}	1.391×10^{-3}	2.080×10^{-3}
	断面積 A(m²)	0.330	0.270	0.330
	自重 g(kN/m)	8.58	7.02	8.58

表-5　最大断面力の一覧

(1)　φ2,500㎜，h＝175(＝125＋50)㎜

	case 1-1	case 1-2	case 1-3
曲げモーメント (kNm/R)	55.6 (1.0)	42.8 (0.77)	57.0 (1.03)
軸力 (kN/R)	320.1 (1.0)	327.8 (1.02)	326.3 (1.02)
せん断力 (kN/R)	112.2 (1.0)	91.5 (0.82)	113.5 (1.01)

(2)　φ4,500㎜，h＝275(＝225＋50)㎜

	case 2-1	case 2-2	case 2-3
曲げモーメント (kNm/R)	119.1 (1.0)	95.5 (0.80)	120.0 (1.01)
軸力 (kN/R)	632.1 (1.0)	633.8 (1.00)	639.0 (1.01)
せん断力 (kN/R)	167.0 (1.0)	153.3 (0.92)	168.3 (1.01)

※(　)は防食層ありのケースの発生断面力を1.0 とした比率

定の防食層を有する場合(完成直後の状態)と防食層を有さない場合(将来防食層が劣化して消失した状態を想定)の試設計結果を示したものである．防食層を無視して応力度の照査を行えば，防食層を有する場合の構造計算が厳しい断面力を与えていることが確認できる．このことから，二次覆工一体型セグメントの断面力の算定は防食層を考慮して行い，応力度の照査では防食層を無視した断面で行うこととした[3]．

3-2-2　セグメントリングの構造設計手法を選定するための試設計

（1）　試設計の目的

東京都では，下水道シールド工事用のセグメントの設計には慣用計算法を用いてきた．二次覆工一体型セグメントを導入するにあたっては，その採用対象となるセグメントの型式が多岐にわたることが予想されたため，それぞれの構造特性や地盤条件などによっては，慣用計算法の適用が危険側の計算結果を与えることが懸念された．

そこで，二次覆工一体型セグメントが主に適用されると考えられる仕上り内径φ2,500～φ4,500㎜のトンネルを対象として，各種の地盤条件に対する試設計を実施し，設計計算に用いる構造解析手法の選定[4]を行った．

（2）　試設計の条件

試設計は以下の条件で実施した．

地盤条件は，『シールド工事用標準セグメント』[2]を参考に，**表-6**に示す9とおりに設定し，それぞれの地盤条件に対して，3種類(H=10m, 20m, 30m)の土かぶりを設定した．

セグメントは，『シールド工事用標準セグメント』[2]を参考に，トンネル外径，セグメント厚さ，セグメント分割を**表-7**のように設定した．セグメント継手の回転ばね定数は，パラメータスタディによって設定した4種類の無次元化した継手曲げ剛性k_θ^*を用いた．k_θ^*の設定は**図-4**を参照されたい．

表-6　地盤条件

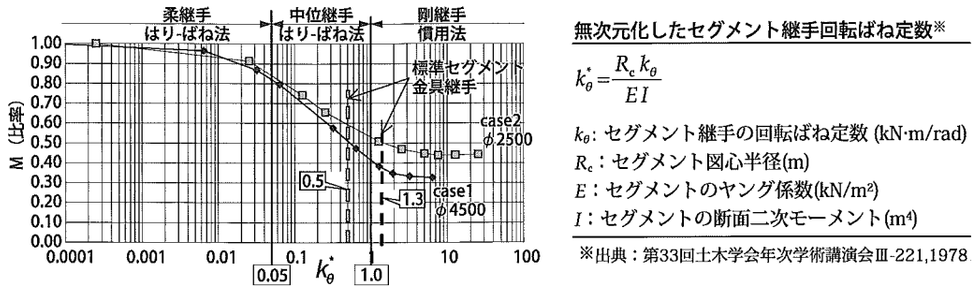
地盤の分類	土の工学的分類	λ	k (MN/m³)	土かぶり
土水分離地盤	非常によく締まった砂質土	0.35	50	H=30m
	締まった砂質土	0.45	30	H=20m
	緩い砂質土	0.55	10	H=10m
	固結した粘性土	0.35	50	H=10m, 20m, 30m
	硬い粘性土	0.45	30	H=10m, 20m, 30m
	中位の粘性土	0.50	10	H=10m, 20m, 30m
土水一体地盤	中位の粘性土	0.65	10	H=10m, 20m, 30m
	軟らかい粘性土	0.70	5	H=10m, 20m, 30m
	非常に軟らかい粘性土	0.75	0	H=10m, 20m, 30m

※砂質土は地盤条件に相応する土かぶりを対象に設定した．

表-7　セグメント条件の比較

仕上り内径 ϕ_i(㎜)	2,500	3,000	3,500	4,000	4,500
標準桁高 h(㎜)※1	175 (～300)	200 (～325)	225 (～350)	250 (～375)	275 (～400)
セグメント幅 B(㎜)	1,000	1,000	1,000	1,200	1,200
分割数	5	5	6	6	6
リング継手ボルト数	13	13	16	16	16
セグメント継手曲げ剛性※2	k_θ^*=∞, 1.0, 0.05, 0の4種				

※1：セグメント桁高は，二次覆工相当厚50㎜を含む
※2：セグメント継手曲げ剛性は，パラメータスタディより設定した(図-4)



無次元化したセグメント継手回転ばね定数※

$$k_\theta^* = \frac{R_c k_\theta}{EI}$$

k_θ：セグメント継手の回転ばね定数 (kN·m/rad)
R_c：セグメント図心半径(m)
E：セグメントのヤング係数(kN/m²)
I：セグメントの断面二次モーメント(m⁴)

※出典：第33回土木学会年次学術講演会Ⅲ-221,1978

図-4　パラメータスタディによる継手剛性の設定

（3）　試設計の結果

図-5, 6は試設計の結果を示した図である．

これらの図は，算出された最大曲げモーメントの比と地盤条件との関係を，仕上り内径，土かぶりごとに，継手の無次元化した曲げ剛性をパラメターとして比較したものである．継手の無次元化した曲げ剛性をk_θ^*=∞としたものが慣用計算法である．これらの図中の縦軸である最大曲げモーメントの比は，慣用計算法によって算出された最大曲げモーメントを1.0として，それと継手の曲げ剛性をk_θ^*=1.0，0.05，0として「はり-ばねモデル計算法」によって算出した各々の最大曲げモーメントとの比である．

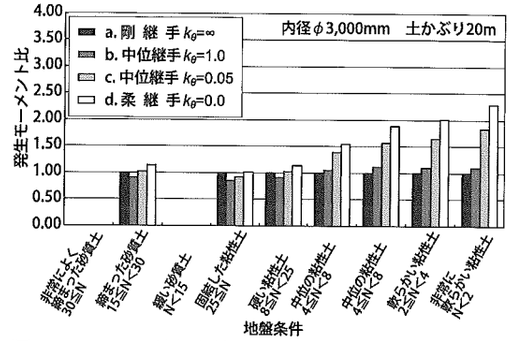


図-5　φ3,000の地盤条件と継手剛性による発生曲げモーメントの比較

図-6　φ4,000の地盤条件と継手剛性による発生曲げモーメント

3-2-3　試設計結果にもとづく構造解析手法の選定

（1）　試設計ケースにおける慣用計算法の適用

表-8は試設計で設定した地盤条件と継手の曲げ剛性の組合せに対して，慣用計算法の適用性を判定した結果を示したものである．

試設計の各ケースにおいて，はり-ばねモデル計算法を用いて算出した断面力が，慣用計算法で算出した断面力を上回る比率が5％以内にあるものは慣用計算法が適用できるものと判定した．これは，本研究では『シールド工事用標準セグメント』[2]を想定して試解析を行ったが，実際には設計時の配筋などの組合せで，多少の断面力の増加に対応可能であると判断したためである．

（2）　試設計のケースと慣用計算法の適用範囲

表-8から，慣用計算法の適用の可否は管渠の仕上り内径によらず，主として地盤条件と継手の曲

表-8　試設計ケースにおける慣用法の適用性

		土水分離地盤																				土水一体地盤											
		非常によく締まった砂質土				よく締まった砂質土				緩い砂質土				固結した粘性土				硬い粘性土				中位の粘性土				中位の粘性土				軟らかい粘性土				非常に軟らかい粘性土			
		a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.	a.	b.	c.	d.
φ2,500	H=10m									○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=20m					○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=30m	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
φ3,000	H=10m									○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=20m					○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=30m	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
φ3,500	H=10m									○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=20m					○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=30m	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
φ4,000	H=10m									○	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=20m					○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=30m	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
φ4,500	H=10m									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=20m					○	○	○	○					○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×
	H=30m	○	○	○	○									○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×	○	○	×	×

【凡例】○：慣用法の適用可能　　×：慣用法の適用不適切(慣用法での設計曲げモーメントの1.05以上)
【備考】地盤条件で記号a, b, c, dはセグメント継手の曲げ剛性を示し，それぞれ以下の条件である．
a：k_θ^*=∞(慣用計算法)　b：k_θ^*=1.0(はり-ばねモデル)　c：k_θ^*=0.05(はり-ばねモデル)　d：k_θ^*=0.0(はり-ばねモデル)

表-9　試設計ケースによる慣用法の適用範囲

土質条件	土水分離地盤																		土水一体地盤								
	非常によく締まった砂質土			よく締まった砂質土			緩い砂質土			固結した粘性土			硬い粘性土			中位の粘性土			中位の粘性土			軟らかい粘性土			非常に軟らかい粘性土		
セグメント継手剛性k_θ	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0	∞〜1.0	1.0〜0.05	0.05〜0.0
慣用計算法の適用性 H=10〜30m ϕ2,500〜4,500㎜	○	○	○	○	○	○	○	△	×	○	○	○	○	○	○	○	△	×	○	△	×	○	△	×	○	△	×

【凡例】：○：適用可能　△：要検討のうえ判断する必要あり　×：適用不可

【備考】：上表適用範囲の判定は，継手剛性の範囲の境界値での試設計結果(表-8)より以下のように判定した．

試設計ケースでの判定		
継手剛性の高い側での判定	継手剛性の低い側での判定	その範囲の適用性
○	○	→ ○
○	×	→ △
×	×	→ ×

げ剛性によるものと判断できる．土かぶりは相応する荷重条件のもとに慣用計算法によって必要なセグメント厚さを設定したことから，土かぶりによる顕著な影響は見られなかった．このことから，地盤条件に対して試設計に用いたセグメントの継手曲げ剛性から慣用計算法の適用範囲を設定した．表-9はその結果である．

4　二次覆工一体型セグメントの実用化

4-1　腐食性環境における耐久性試験

防食層コンクリートの耐久性を検証するため，以下の要領でコンクリート供試体の曝露試験を行った．

- 曝露場所：東京都下水道局新河岸水再生センター濃縮槽第4槽返水桝内
- 曝露期間：約1年間(2002年12月19日〜2003年12月17日)
- 曝露環境：平均硫化水素濃度，約90ppm

供試体は表-10に示すとおり，防食層に用いるセグメント用のコンクリートと現場打ちの二次覆工用コンクリートの2種類の配合により作成し，曝露試験による腐食度の相違を確認した．

曝露試験後のコンクリート腐食量は，以下のように定義した(図-7参照)．

コンクリートの腐食量＝腐食深さ＋劣化深さ

曝露試験の結果を図-8に示す．防食層コンクリートの腐食量は6.1㎜で，現場打ちの二次覆工用コンクリートの腐食量13.2㎜の約半分程度であった．

表-10　実験供試体コンクリートの概要

	二次覆工コンクリート(現場打ちコンクリート)	防食層コンクリート(セグメント用コンクリート)
設計基準強度	24N/㎟	42N/㎟
セメント量	319kg/m³	340kg/m³
単位水量	175kg/m³	138kg/m³
水セメント比	55%	41%

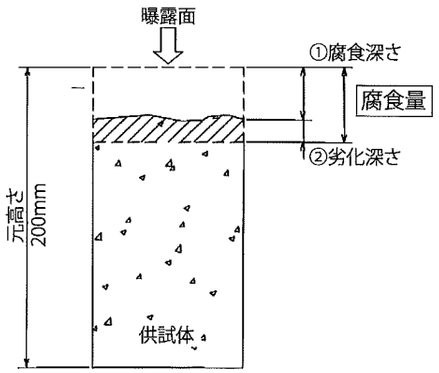


図-7　腐食量の測定箇所

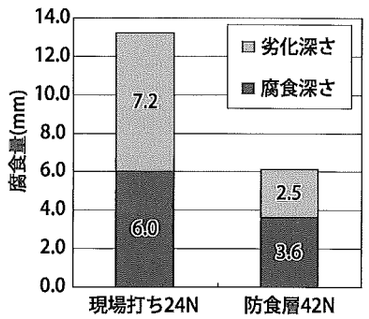


図-8　腐食量の測定結果

一方，吉本らによる既往の腐食量の推定式[5](式(1))を用いて，供用年数と腐食量の関係を算出すると，表-11に示すようになった．

$$d=1.33\times(C\,T)^{0.5} \quad (1)$$

ここに，

d：腐食量(㎜)

C：平均硫化水素ガス濃度(ppm)

T：供用年数(年)

曝露期間と平均硫化水素濃度から推定された腐食量は13.3㎜であり，これは，曝露試験による現場打ちコンクリートの腐食量13.2㎜とほぼ一致している．また，測定結果と東京都下水道局の既設管渠調査[6]から係数αの値を求めると，現場打ちコンクリートはα＝1.0，防食層コンクリートはα＝0.5となり，腐食量の推定式を以下のように表すこととした．

$$d=1.33\times(C\,T)^{0.5}\times\alpha \quad (2)$$

この推定式により防食層コンクリートの腐食量を計算した結果が表-12である．この表から，硫化水素ガス濃度が100ppmの環境で50年以上の耐久性を有する防食層コンクリートに要求される厚さは少なくとも50㎜以上と推定される．

平均硫化水素ガス濃度100ppmの環境は，水再生センターなどで観測されるような高濃度の環境であり，実際の管渠ではこれより低い濃度である．このことを考慮すれば，二次覆工一体型セグメントの防食層の厚さは，50年以上の耐用年数を満足させるのに50㎜で十分であると判断した．

表-11　コンクリート腐食量の推定

(単位：㎜)

供用年数 T(年)	平均硫化水素ガス濃度C(ppm)				
	1	5	10	50	100
1	1.3	3.0	4.2	9.4	13.3
2	1.9	4.2	5.9	13.3	18.8
5	3.0	6.7	9.4	21.0	29.7
10	4.2	9.4	13.3	29.7	42.1
20	5.9	13.3	18.8	42.1	59.5
50	9.4	21.0	29.7	66.5	94.0

【備考】本実験結果(1年，平均90ppm)
- 現場打ちコンクリート：13.2㎜
- 防食層コンクリート：6.1㎜

表-12　防食層コンクリートの腐食量の推定

(単位：㎜)

年数 T(年)	平均硫化水素ガス濃度C(ppm)				
	50	100	150	200	250
1	5	7	8	9	11
5	11	15	18	21	24
20	21	30	36	42	47
50	33	47	58	67	74

4-2　セグメントの単体曲げ試験によるひび割れ幅の検討

4-2-1　実験方法

二次覆工一体型セグメントと標準セグメントの2種類の実物大の供試体を用いて曲げ載荷実験を図-9に示す方法で行った．

ひび割れの発生は配力筋間隔の差による影響も考えられるため，表-13に示すとおり二次覆工一体型セグメントと標準セグメントのそれぞれについて配力筋間隔が75㎜，150㎜，300㎜の3種類の供試体を製作した．

実験手順を表-14に，実験供試体の概要を表-15および図-10に示す．

4-2-2　実験結果および考察

各供試体の初期ひび割れ，許容ひび割れ，鉄筋の許容応力度および鉄筋の降伏応力度に相当する

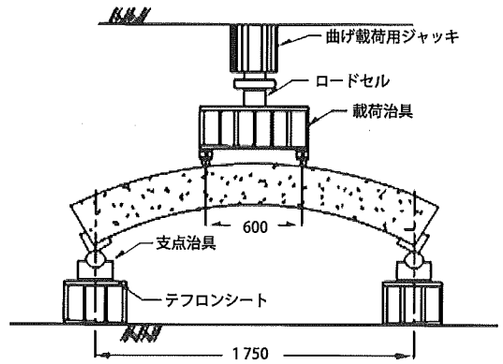


図-9　実験概要図

表-13　実験ケース

配力筋間隔	標準型セグメント	二次覆工一体型セグメント
@75㎜	1	1
@150㎜	1	1
@300㎜	1	1

表-14　実験手順

状　態	内　　容	測 定 項 目
～初期ひび割れ発生	初期ひび割れ発生を観察し目開き計(Ⅱゲージ)を設置	ひび割れ状況，ひび割れ幅
～許容ひび割れ幅	所定のひび割れ幅※1になったときに観察記録	ひび割れ状況，ひび割れ幅，間隔
～鉄筋許容応力度	所定の荷重になったときに観察記録	同上
～鉄筋降伏～破壊	最終破壊時に観察記録	同上

※1：初期ひび割れ時の幅とⅡゲージの読みで，ひび割れ幅が所定の幅(許容幅)に達したとき

表-15　供試体の概要

	外径(mm)	内径(mm)	厚さ(mm)
二次覆工一体型セグメント	3,050	2,650	200(＝150＋50)
標準セグメント	2,950	2,650	150

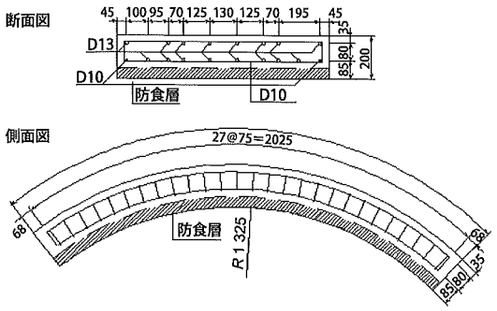


図-10　供試体概要図

荷重を表-16に示す．最終荷重は鉄筋の降伏応力度相当の160kNとした．

初期ひび割れ発生荷重は，標準セグメント，二次覆工一体型セグメントともに計算値に近い値を示しているが，防食層を一体化させたことによる断面性能の増加が認められた．また，許容ひび割れ幅における荷重は，設計値に対して1.4倍以上の値を示した．一般的な配力筋のピッチである有効高さ相当の@150mmに着目すると，一次覆工のひび割れ幅と二次覆工のひび割れ幅が，ほぼ比例していることがわかる．したがって，一体成形された防食層はかぶりとして評価することができる．

図-11は荷重とひび割れ幅の関係をしたものである．ひび割れがセグメント内面側の鉄筋(引張鉄筋)位置に到達したときのひび割れ幅は，標準

表-16　ひび割れ発生状態の荷重

(単位：kN)

		設計値	配力筋間隔(mm)		
			@75	@150	@300
初期ひび割れ発生時 $\sigma_{ct}=0.23\sigma_{ck}^{2/3}$	標準型	36.2	40	32	30
	一体型	64.3	—	60	62
許容ひび割れ幅発生時 $W_a=0.0035c$	標準型	48.7	75	75	75
	一体型	67.1	120	105	94
鉄筋許容応力発生時 $\sigma_s=196N/mm^2$	標準型	90.4	99	129	100
	一体型	90.4	140	127	151
鉄筋降伏応力発生時※ $\sigma_y=345N/mm^2$	標準型	159.3	160	160	160
	一体型	159.3	160	160	160

※最終荷重は，計算上の鉄筋降伏荷重までの載荷とした．

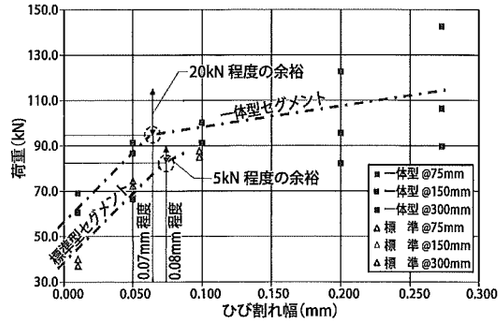


図-11　荷重とひび割れ幅の関係

セグメントの場合は0.08mm，一体型セグメントの場合は0.07mmであり，一体型セグメントは標準セグメントに比べてひび割れ幅が小さいことがわかった．さらに，許容ひび割れ幅も標準セグメントでは0.098mmであるのに対し，一体型セグメントは0.273mmであり，一体型セグメントは標準セグメントに比べて許容ひび割れ幅に至るまでの荷重に余裕があると判断される．

以上のことから，防食層を有する二次覆工一体型セグメントのひび割れ照査を行う場合，防食層を含めたかぶりで算定できることがわかった．しかし，防食層は劣化することを想定していることから，実際の設計に際しては，一次覆工のかぶりで照査することにした[7]．

また，二次覆工一体型セグメントは，無筋コンクリートの防食層が掘進施工時のシールド推力に

対して弱点となることが考えられたため，実施工時の目違いなどを想定した条件で推力試験を実施し，防食層部の安全性を確認した．なお，推力試験に関しては，3次元FEM解析により，ひび割れの発生箇所やひび割れ発生荷重の妥当性を確認した．

一方，継手曲げ試験の結果から，開発された内面平滑型継手を用いたセグメントは，『下水道用標準セグメント』と同様な設計法を用いることができ，その適用範囲も同様と考えてよいことが確認された．また，リング継手の引張強度およびせん断強度は，適切な補強鉄筋を配置することで十分に確保でき，その照査は継手金物の縮径部について行えばよいことを確認した．

5　二次覆工一体型4分割3ヒンジセグメントの開発と設計

建設費の縮減，環境への影響の低減，維持管理の効率化という視点から「4分割3ヒンジ構造のインバート溝付き二次覆工一体型セグメント」の開発を進めた(写真-1)．

ここでは，このセグメントに適した設計法について提案を行い，その実物大の供試体を用いた載荷試験を実施して，提案した設計法の妥当性を検証した．すなわち，トンネルの構造的な安定性とコスト縮減の立場から，セグメントリングの構造系を静的に安定となる「3ヒンジリング構造」と評価することとし，シールドテール内でリングを閉合する際の施工上の問題から，図-12に示すとおりセグメントリング自体は4分割とし，継手の1か所を剛結合とする構造にした．

このセグメントを用いたリング載荷試験の結果，セグメントリングは「3ヒンジ構造」として挙動することが確認できた．提案した設計法は，ヒンジ構造とみなした継手は完全なヒンジとして評価して，その回転ばね定数はゼロとし，剛結合とした継手は本体と同等の曲げ剛性を持つものと評価して，回転ばね定数は無限大とし，図-13に示すとおり「はり-ばねモデルによる計算法」[8]を適用することとした．

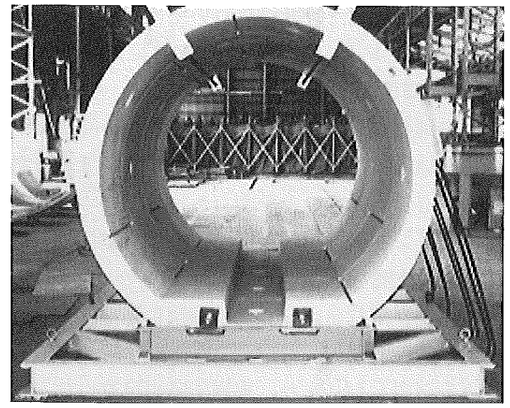


写真-1　コンパクトセグメント

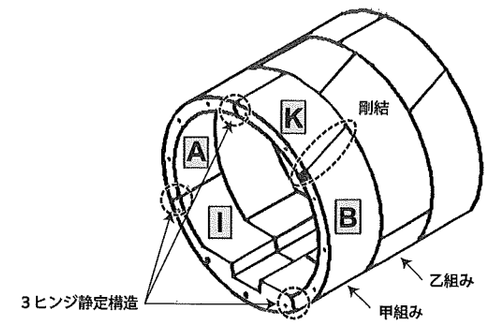


図-12　4分割3ヒンジの構造(千鳥組み)

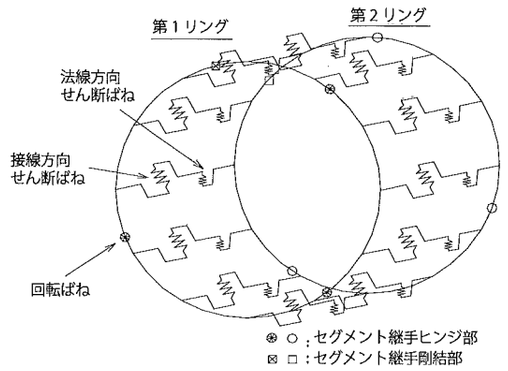


図-13　はり-ばねモデル

6　結　　論

これまでの研究の結果，以下に示す結論が得られた．

二次覆工一体型セグメントの基本構造は，標準セグメントの内面に防食層をあらかじめ一体的に成形させることとし，防食層の厚さは50mmを確保

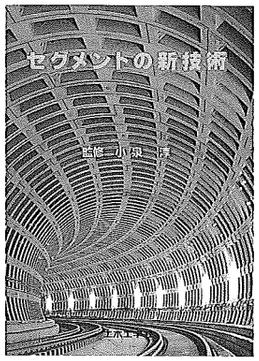
することとした．設計法については，良質地盤では，セグメントの継手の曲げ剛性によらないで「慣用計算法」が適用できるものとし，良質地盤以外の地盤条件では，セグメント継手の曲げ剛性が小さい場合には，「はり-ばねモデル計算法」を用いる必要があることを明らかにした．

セグメントの耐荷性能については，単体曲げ載荷試験の結果，一体成形された防食層のコンクリートは，ひび割れおよび変位の抑制に寄与でき，標準セグメントに比べて耐荷性能の面で有利であることを確認した．また，実施工時の目違いなどを想定した条件で推力試験を実施し，防食層部の安全性を確認した．なお，推力試験に関しては，3次元FEM解析により，ひび割れの発生箇所やひび割れ発生荷重の妥当性を確認した．

「二次覆工一体型4分割3ヒンジセグメント」については，リング載荷試験の結果，セグメントリングは「3ヒンジ構造」として挙動することが確認できた．設計法は，ヒンジ構造とみなした継手は完全なヒンジとして評価して，その回転ばね定数はゼロとし，剛結合とした継手は本体と同等の曲げ剛性を持つものと評価して，回転ばね定数は無限大とし，「はり-ばねモデルによる計算法」の適用が妥当であることを検証した．

参 考 文 献

1) 東京都下水道局：下水道東京100年史，1989.3.
2) 日本下水道協会：シールド工事用標準セグメント—下水道シールド工事用セグメント—，2001.7.
3) 東京都下水道局：二次覆工一体型セグメント設計・施工指針，2005.6.
4) 松浦將行・高久節夫・斉藤正幸：二次覆工一体型セグメントとその標準化，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.12，2002.11.
5) 日本下水道事業団：下水道構造物に対するコンクリート腐食抑制技術及び防食技術の評価に関する報告書，2001.3.
6) 下水道新技術推進機構・東京都下水道局：シールド工法の合理的施工に関する共同研究その2報告書，1999.
7) 松浦將行・高久節夫・横田正和・小泉淳：二次覆工一体型セグメントの実用化に関する研究，土木学会論文集F，Vol.63，2007.11.
8) 前田正博・串山宏太郎・松浦將行：二次覆工一体型4分割3ヒンジセグメントの開発と設計手法の提案，土木学会論文集，No.743，Ⅲ-64，2003.9.



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　〒290円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として，過去10年間に開発され，実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し，また，土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し，同じフォーマットで紹介したものをもとに，新たに「セグメントの新技術」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．

連載講座

トンネルにおける地下水対策（5）

—山岳トンネルと地下水—

「地下水対策」連載講座小委員会

① 山岳トンネルの設計における地下水の考え方

山岳トンネルの設計において，掘削時に湧水が想定される場合，地下水による地山強度の低下を考慮する必要がある．強度劣化の度合いは地質，湧水量，湧水圧などにより異なり，さらに，トンネル構造，掘削工法，掘削方式とも関係するため，これらを総合的に考慮して検討する必要がある．

また，施工時および供用開始後にトンネルが周辺の地下水環境に与える影響を十分検討する必要がある．トンネル掘削時の湧水による地下水位の低下に伴う河川水や井戸水の枯渇，地盤沈下が発生することがある．トンネル供用開始後も同様の現象が生じることがあるため，これらを考慮して設計する必要がある．

1-1　地質と地下水の関係

硬岩～中硬岩においては地下水が地山の安定性に大きく影響を与えることはないが，突発湧水と断層や弱層部での湧水を伴う切羽崩壊に注意する必要がある．

未固結地山や土砂地山においては，湧水を伴う切羽崩壊発生など，地下水が地山の安定性に大きく影響することが多い．均等係数の小さい砂質層では地下水により流動化現象が生じることがあり，また，過度に排水して乾燥状態になると見かけの粘着力が低下することにより地山が不安定になる．砂質層と粘土層などの難透水層との互層の場合，砂質層内の地下水が難透水層により遮断され，切羽が難透水層を通過した時点で被圧地下水が大量の土砂とともにトンネル内へ流出することがある．

1-2　地下水と周辺環境

山岳トンネルは排水構造として設計するのが一般的である．覆工背面の地下水を排水工により導水することにより覆工内面への漏水を防止し，また，覆工に過大な水圧を作用させない構造としている．その場合，トンネル完成後はトンネル周辺の地下水位は掘削以前と比較して低下するのが一般的である．

それに対して，トンネル供用後の地下水位低下が周辺環境へ何らかの影響を与える場合，地下水位の低下を防ぐために覆工は非排水（ウォータータイト）で，水圧に耐える構造と形状で設計されることがある．この場合，覆工に力学的機能を持たせる必要がありRC構造となるが，覆工厚と鉄筋量が大きくなり，相当な費用を要することがある．

掘削時に坑内への湧水の流入を完全に遮断することは困難であるが，地下水位の低下が問題となる場合には薬液注入などの止水工法により流入量を減少させることは可能である．その際，地下水の水脈，賦存量，供給源を考慮し，かつ，環境への負荷が小さい工法を採用する必要がある．

② 山岳トンネルにおける地下水対策

山岳工法によるトンネルの掘削では，多くの場

合，切羽は地下水面以下となり，トンネル内への地下水の流入は避けられない．その際，以下のような問題の発生が想定される．

① 切羽周辺地山の安定性の低下
② 支保工の品質低下
③ 地下水位低下に伴う地表面沈下，井戸水の枯渇など，周辺環境への影響
④ 坑内の泥濘化などによる作業効率の低下

①について，大量の湧水を伴う土砂の流出により切羽が崩壊する場合がある．また，主として未固結地山の場合であるが，間隙水圧により土粒子間の有効応力が低下することにより地山のせん断強度が減少し，地下水面下の地山の見かけ強度が低下することにより，切羽が不安定化する．

②について，吹付け面の湧水による吹付けコンクリートの付着不良，定着材が湧水で流出することによるロックボルトの定着不良などにより支保工の品質が低下するおそれがある．

③について，掘削による水位低下の影響範囲は，応力解放による地表面沈下の影響範囲よりかなり広くなる．また，一般に地下水の水脈は複雑であるため，かなり遠方の思わぬ場所の井戸水や沢水の枯渇を招くことがある．

④について，路盤上の湧水が適切に排水処理されないと，重機などの走行に伴い路盤が泥ねい化し，作業効率と安全性が低下する．また，泥ねい化が極端に進行すると，支保工の足元の支持力が低下し，支保工が沈下することもある．

2-1　地下水対策工法の概要

山岳工法は地下水をトンネル内へ排水することを前提としたトンネル掘削工法である．通常，湧水量は切羽付近でもっとも大きくなるため，そのままの状態では切羽の安定性を損ない，掘削作業に影響を及ぼす．そのため，何らかの対策工法により坑内へ流入する地下水の量，とくに切羽付近の湧水量を少なくする必要がある．

地下水対策工法は排水工法と止水工法に大別される(**表-1**)．排水工法は積極的に地下水を抜くことにより，切羽へ流入する地下水を排水し，また，トンネル周辺の地下水位を低下させる工法である．

表-1　山岳工法トンネルの地下水対策工法[1]

基本概念	区　分	工　種
排水工法	重力排水工法	水抜きボーリング，水抜き坑
	強制排水工法	ディープウェル，ウェルポイント
	併用工法	上記工法の併用
止水工法	止水注入工法，凍結工法，圧気工法，遮水壁工法	
併用工法	薬液注入，補助的な圧気など，止水工法と排水工法の併用	

これに対し，止水工法は地下水の流路を遮断し，坑内へ流入する湧水を抑制する工法である．一般的には工費が安く施工が容易な排水工法が採用されることが多いが，地下水の量が多く排水工法では水位の低下が困難な場合や，地下水位の低下による周辺環境への影響が懸念される場合は止水工法が採用される．

2-2　排水工法

トンネルの土かぶりが大きく，湧水量が多い場合，坑内からの水抜きボーリングや水抜き坑の施工が確実性が高く，有利である．しかしながら掘削作業に支障を来す場合があることを考慮する必要がある．また，トンネルの土かぶりが小さく，かつ湧水量が比較的少ない場合は，掘削作業と並行して坑外から施工できるディープウェルやウェルポイントが経済的である．

未固結な砂質地山の場合，均等係数が5以下で細粒分が10%以下の場合，切羽面が不安定になりやすいとされている．このような地山では過度に水を抜いて地山の含水量を低下させるとかえって地山が不安定になり，切羽の崩落を招く恐れがあるため，切羽の状態をよく観察しながら排水量を管理する必要がある．

2-2-1　水抜きボーリング，水抜き坑

水抜きボーリングは切羽の前方に向けてϕ50～250㎜程度のボーリングを行い，重力排水により湧水圧，地下水位を低下させる方法である．一般的に穿孔にはボーリングマシン，ドリルジャンボが使用される．**表-2**に穿孔機の種類を示す．

ボーリングによる水抜きについては，事前調査資料や施工中の調査にもとづいて切羽前方の地質構造と帯水状況を十分に把握したうえで，予想さ

表-2　穿孔機の種別[1]にもとづき作成

穿孔機名称	概　要
ロータリー型穿孔機	もっとも一般的な穿孔機．確実なコア採取が可能．高水圧・大量湧水には不適格．
トップドライブ型穿孔機	リバースサーキュレーション工法により崩壊性の地山，断層破砕帯での掘削とコア採取が可能．
クローラ搭載型 ロータリーパーカッション穿孔機	高能率であるため，週末の切羽停止時に100m程度の掘削が可能．コア採取はできない．
ドリルジャンボによる探り削孔	短時間で50m 程度までの穿孔が可能．状況に応じ，随時実施することができる．

表-3　水抜きボーリングの分類[1]

種別	長さ，径	工　法	コアの有無	施工位置	適用機械
A 長尺	L=200～500m程度 ϕ100～250㎜程度	主としてシールドリバース，あるいはワイヤライン工法	無～有	通常，断面外のボーリング座から	トップドライブ式，ロータリー式(ワイヤライン)
B 中尺	L=50～200m程度 ϕ86～136㎜程度	主として普通ロータリー工法，状況によりAとCの工法	無～有	通常，断面外のボーリング座から	ロータリー式
C 中尺	L=50～150m程度 ϕ86～101㎜程度	主としてノンコア，状況によりロータリーパーカッションコア，ロータリーコア	無～有	切羽から	ロータリーパーカッション式，ロータリー式
D 短尺	L=10～50m程度 ϕ65～116㎜程度	ノンコア	無	切羽から	ジャンボによるパーカッション式

表-4　水抜きボーリングの工法別特徴[1]

種別	工法の特徴	採用が適当と考えられる具体的な状況
A 長尺	・確実に長い距離の水平ボーリングが可能になる ・固結している地山ではコアが採取される ・普通工法に比して，掘進速度が大きく，コア採取が可能である(ワイヤライン工法)．	・前方の地山についての情報がほとんどなく，地質調査の意味合いが大きい場合． ・長い時間の水抜きが必要だと思われる場合． ・大きな地質変換点があり，その前方が大帯水層および高水圧を持つと予測される場合(シールドリバース工法)． ・水抜きに加えて，コア採取が必要な場合(ワイヤライン工法)．
B 中尺	・汎用機械を使用するため，従来は水抜き対策工の基本となってきた．通常はラップ区間を設け，ボーリングをくり返すことが多い ・確実なコアの採取が可能であるが，掘進速度が遅いため，複数のボーリングマシンを使用する場合が多い．	・まとまった湧水を伴う帯水層が長い区間にわたって断面的に連続すると予想される場合． ・連続性に乏しい複雑な地質状態で，切羽前方の地山状況が十分に把握できない場合．
C 中尺	・休日などの作業休止時に比較的短時間でボーリングが可能であるため，近年適用事例が多い ・地質調査も含めて，切羽進行に合わせて実施される場合も多い ・Bのボーリングと組み合わせて実施される場合がある ・TBM工法で適用される例が多い	・長尺の水抜きボーリングを実施した区間で，排水実績からなおまとまった残留水があると判断される場合． ・長尺の水抜きボーリングなしの区間で，帯水層が断面内に出現するが，その区間長が100m程度以内と予測される場合． ・問題となる地層が連続して出現するが，それまでの施工実績から切羽全体の湧水量がさほど多くないと判断される場合． ・それまでの地質構造を切って，粗粒の堆積物(砂層，礫層)がレンズ状に出現した場合． ・連続性に乏しい複雑な地質状態で，切羽前方の地山状況が十分に把握できない場合．
D 短尺	・ジャンボで，探り削孔が可能である． ・過大湧水帯や不良地山では計画どおりの削孔長が確保できない	・長尺や中尺の水抜きボーリングで捉えきれない，小規模のレンズ状の帯水層が切羽近くに存在する可能性がある場合． ・長尺や中尺のボーリングで，切羽付近の湧水量が減少していない場合，切羽付近に多くのボーリング孔を穿孔した方が有効な場合． ・湧水量が少なく，長尺や中尺のボーリングが必要ない場合． ・吹付け，ロックボルト作業の品質向上のため

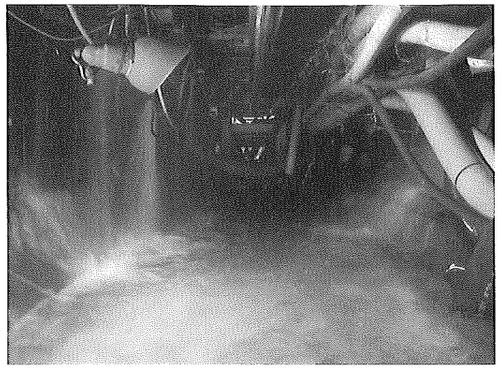


写真-1　TBM坑内での湧水状況

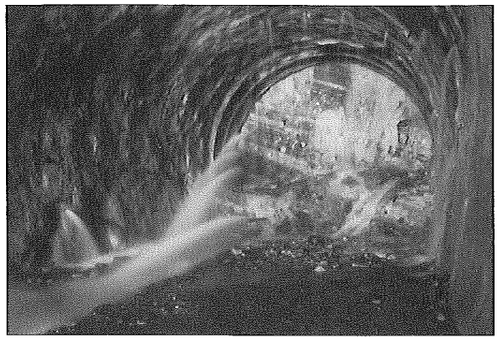


写真-2　切羽での湧水状況



写真-3　パイロット孔での水抜きボーリング

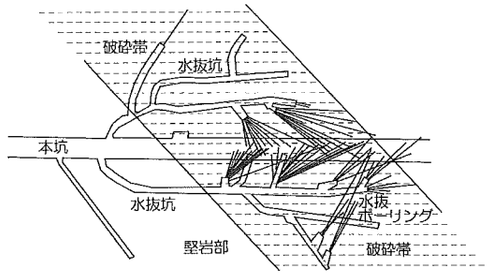


図-1　水抜き坑・水抜きボーリングの例[2]

また，水抜きボーリングの目的は単に地下水を導水するものではなく，切羽付近へ集中する湧水をバイパスさせて水位を下げることにより切羽の安定性を確保するとともに作業性の向上を図るものである．したがって，帯水状況によっては不用意に切羽付近からボーリングを行うと，かえって切羽への湧水の集中を招くこともあるので十分注意する必要がある．

水抜きボーリングの施工方法は地質，湧水量，削孔長により数種類に分類できる．**表-3**に施工延長や施工条件による分類例を示す．また，**表-4**には各種別の特徴と採用が適当と考えられる具体的な状況を示す．分類中，AとBは切羽前方に高圧，大量の帯水層の存在が予想される場合などに，掘削作業と競合しないようボーリング横坑などを設置して断面外から施工されるのが一般的である．CとDについては常にある程度の湧水を伴う区間で掘削サイクルに組み入れるか，あるいは毎週末での施工で水抜きを行うものである．

断層破砕帯など，地下水が大量で水抜きボーリングだけでは効果的に排水できない場合，水抜き坑を併用することがある(**図-1**)．水抜き坑はそれ自体の排水効果に加えて，本坑の掘削作業と競合することなく水抜きボーリング工を施工することができるため，効果的な対策工である．

2-2-2　水抜きボーリングの施工例

高社山(こうしゃさん)トンネルは土かぶり最大350mで火山角礫岩，凝灰角礫岩，凝灰岩などの火砕岩類を主体としており，厚さ5～10mの安山岩溶岩が狭在している[3]．高社山では山麓に多数の湧水が見られ，また，地表からの調査ボーリングではトンネル施工基面より約180mの水頭(およそ1.8MPa)を持つ湧水帯が確認された．予想される湧水帯の手前約250mの坑内から実施した水平調査ボーリングでは最大2.2m³/minの湧水量と1.1MPaの湧水圧が確認された．そのため，坑内からの先進水抜きボーリング(φ125㎜，L=200m程度)が計画された(**図-2**)．

先進水抜きボーリングの総数は61本，のべ施工延長L=9,554m，おおむね1本あたり約250mのボーリング延長で最大長は約300mであった(**図-3**)．最大湧水量は3.2m³/min/本(**写真-4**)，坑内湧水量合計は，ピークで24m³/minにも及んだ[2]．

2-2-3　ウェルポイント工法，ディープウェル工法

ウェルポイント工法は，ウェルポイントと呼ばれるL=0.7～1.0mの集水管を地盤に設置し，真空ポンプによる負圧で地下水を吸引する工法である．真空ポンプを用いるため，一般的に地下水位低下は5～8mが限度であるとされる．山岳トンネルの場合，坑内からの施工では上半部を先行させて上半盤から施工を行うが，とくに透水係数が小さい地山の場合，所定の水位低下を得るまで時間がかかるため，地上部からトンネルの掘削に先行して施工する場合もある．

ディープウェル工法はφ300～600㎜程度の深井戸を地表部からトンネル掘削に先行して掘削し，井戸内に設置した水中ポンプにより排水するものである．土かぶりが小さい場合に適用されることが多く，一般的に深さ15～30mの場合が多いが，深さ50～150mの大深度ディープウェルが施工される場合もある．ウェルポイント工法と比較して排水効果が大きく，また，トンネル掘削に先行して地表面から施工するため，掘削作業と競合しないという利点がある．

両工法の詳細については本講座第3回で詳述しているため，ここでは省略する．

2-2-4　ウェルポイント工法の施工例

麦生田(むぎうだ)トンネルは九州新幹線鹿児島ルートで初めて地下水位以下のシラス地山で掘削されたトン

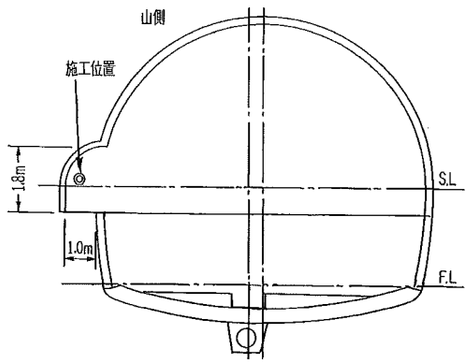


図-2　先進水抜きボーリング断面位置[2]

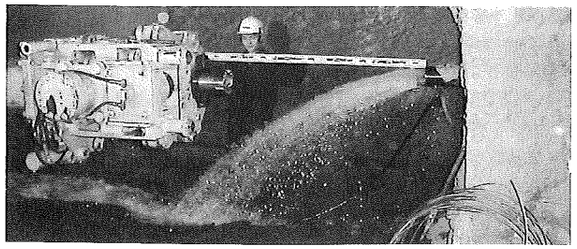


写真-4　先進水抜きボーリングの湧水状況(3.2m³/min)[3]

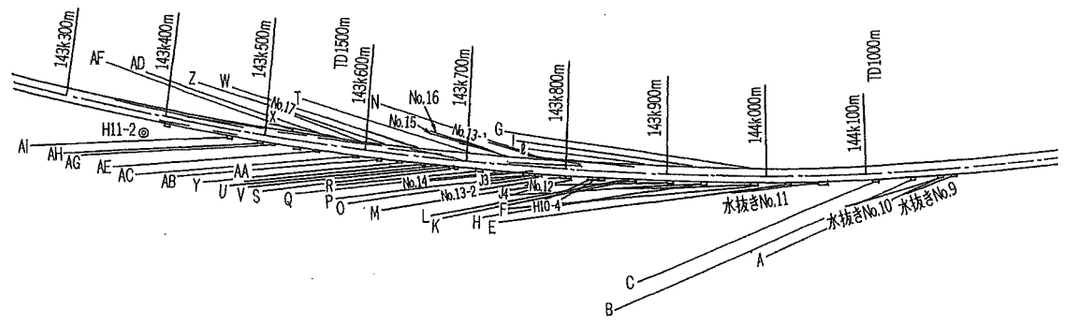


図-3　先進水抜きボーリングの実施状況平面図[3]

ネルである[3]．乾燥した擾乱を受けていないシラスはかなりの強度を持っており，自立性が高い．しかしながらある限度以上の含水比になると急激に強度が低下し崩壊しやすくなる．麦生田トンネルにおいても掘削時の安定を確保するため，切羽をドライな状態に保つ必要があった．種々の検討の結果，地下水位低下工法としてウェルポイントが採用された．

上半ウェルポイントはL＝13.5m×10本を上半切羽底面から前方下向き12度で打設した．これにより切羽前方10mの区間の水位を低下させた後に上半切羽を10m進める．これを10mごとにくり返して掘削を進めた．下半と路盤部のウェルポイントは，上半および下半部側壁下部からトンネル外下方に向けて３mピッチでL＝8.1mおよび6.6mのものを施工し，それぞれの盤高さより１m程度の水位低下を図った(**図-4, 5**)．

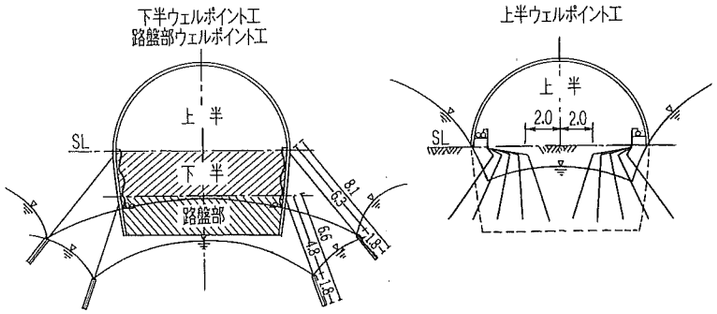


図-4　ウェルポイント横断図[4]

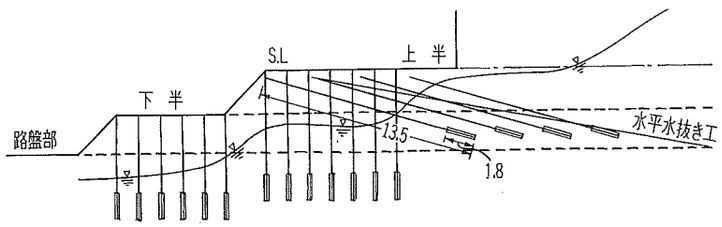


図-5　ウェルポイント縦断図[4]

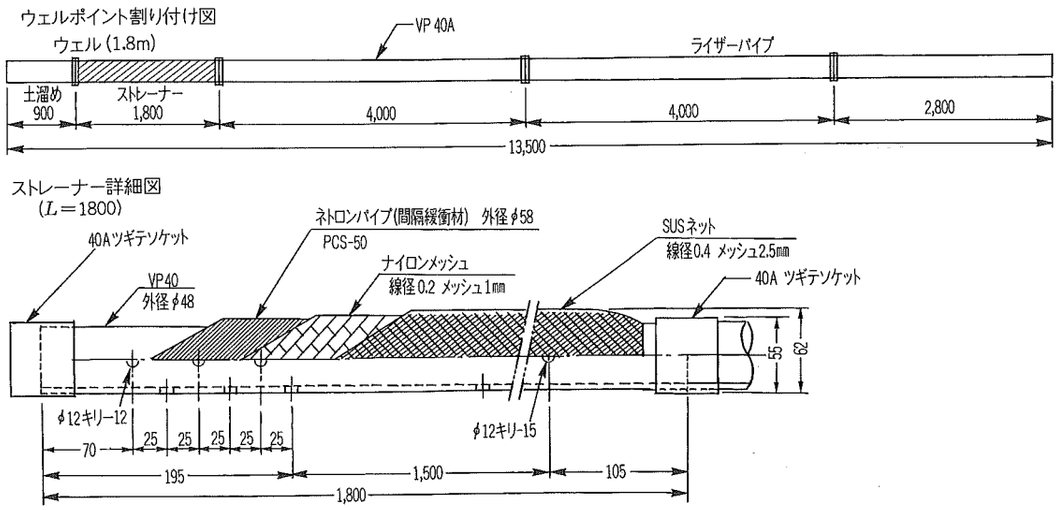


図-6　ウェルポイント詳細図[4]

上半ウェルポイントの材料は，掘削時に容易に撤去できるよう，塩ビパイプを使用した(**図-6**)．また，施工角度が下向き12度でシラス地山の孔壁の崩壊が予測されたため，二重管で予定深度まで掘削し，掘削完了後に内管を回収し，外管の中にウェルポイントを設置する工法を採用した．

トンネル掘削にあたって，坑外および坑内に水位観測孔を設置し，トンネル周辺の水位低下状況を確認した．坑外の水位観測孔は縦断方向に20～30mごとに，横断方向はトンネルの左右

25mと50mの位置に設置した．坑内の水位観測孔は掘削底盤に20mごとに設置した．いずれの観測孔でもウェルポイントの効果が確認された．また，遮水層(シルト層)が出現したためにウェルポイントによる水位低下に時間がかかった区間では長尺水平水抜きボーリングを併用した．

2-3　止水工法

山岳トンネルの湧水対策は排水工法が一般的であるが，排水工法では地下水位を下げることができない大量の地下水が存在する場合，また，排水による地下水位低下が河川水の枯渇や地盤沈下などを招き，周辺環境への影響が懸念される場合には止水工法が採用される．一般的に止水工法は排水工法と比較して工費が高くなることが多い．通常採用される止水工法は注入工法と遮断壁工法がある．

2-3-1　注入工法，遮断壁工法

注入工法はセメントミルクなどの非薬液系注入材や水ガラスなどの薬液系注入材をトンネル坑内または地表面などから地山内に圧入し，地山の亀裂や空隙を閉塞することで透水係数を低下させることによりトンネル内に流入する湧水を抑制する．一般的に薬液系注入材は浸透性が大きく，硬化時間が短いため止水のための注入に適している．それぞれの注入効果は亀裂や空隙の性状，砂質系地山か粘性土系などの地山性状により異なるため，施工条件にもっとも適した注入材を選択する必要がある．止水のために必要な注入材の種類，注入量および注入範囲は地質調査結果と試験施工などを元に決定される．

注入は，トンネル全周のある範囲まで止水ゾーンを形成して地下水を遮断し，また，止水ゾーンが水圧を負担することにより覆工に直接水圧が作用することを防ぐものである．また，注入による地山改良によりトンネルに作用する土圧の低減効果も期待できる．**図-7**(a)に示すように注入領域が狭いとトンネル近傍まで水圧が作用し地山が不安定になることがある．また，図-7(b)のように注入領域を広く取り過ぎると地山の安定性は大きくなるが，不経済になり，周辺環境への影響が大

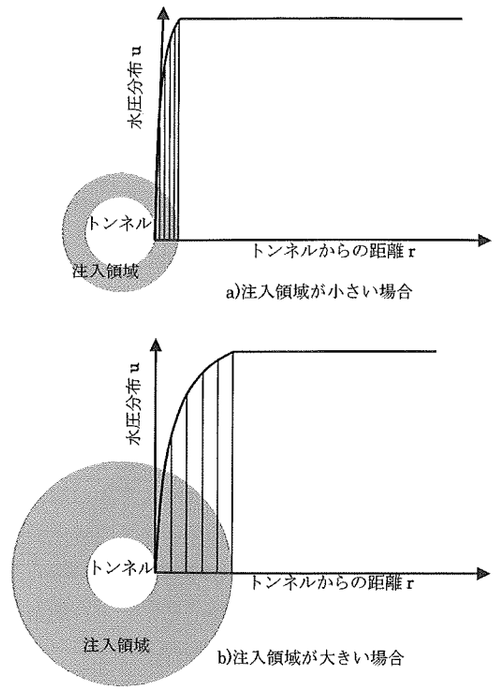


図-7　トンネル周辺の注入領域と水圧との関係

きくなることがある．

止水工法として採用される遮断壁工法はトンネルの両側，掘削による緩み領域から離れた位置に遮水壁を設け，水脈を遮断することによりトンネル周辺の地下水位を低下させ，湧水量を低減するものである．山岳トンネルで採用される遮断壁には地中連続壁が用いられることが多い．また，止水注入と同様に地表面沈下抑制や周辺構造物への影響低減などの効果がある反面，遮断壁がトンネル周辺地山に不連続面を形成することにより，掘削時の変位が増大することがあるので，計画にあたっては十分な検討が必要である．

2-3-2　注入工法の実施例

新宇治川放水路トンネル[5]で，周辺環境対策としての止水注入の施工例を示す．

トンネルが通過する山体は，標高100～170mと比較的低く，かつ地下水位が地表近くまであり全般的に保水性の良い地山である．地表部では稜線近くまで水田が耕作されるなど，地下水が生活用水や農業用水に広く利用されている．ボーリング

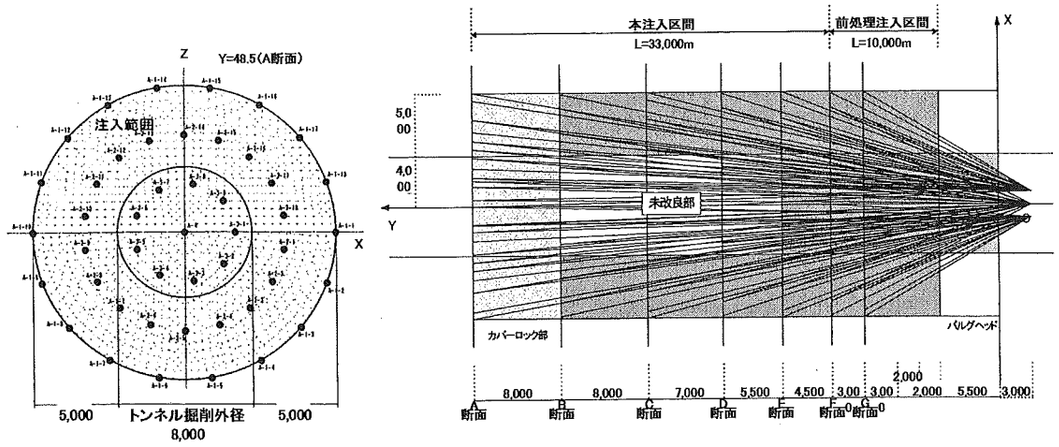


図-8　放水路トンネルの注入孔配置[5]

調査の結果，40mにわたる大量湧水区間が存在し，この区間を湧水対策なしで掘削すると農業用水，生活用水の枯渇を招くことが予想された．そのため，この湧水区間ではあらかじめトンネル断面を含む全周に止水注入が計画された．

注入ゾーンはトンネルの外周から５mの範囲で設定し，注入材は水ガラスと高炉コロイドセメント，注入率は５%，最大注入圧は水圧の３～５倍とした．図-8に注入孔配置を示す．

なお，覆工は非排水構造(ウォータータイト)で施工された．

(文責：笹尾春夫・(公財)深田地質研究所)

参　考　文　献

1) 土木学会：山岳トンネルの補助工法―2009年版―，トンネルライブラリー20，2009.9.
2) 今田徹：山岳トンネル設計の考え方，土木工学社，2010.10.
3) 依田淳一・越川俊幸：火砕岩類の高圧湧水帯を水抜きボーリングで突破，北陸新幹線　高社山トンネル北工区，トンネルと地下，Vol.35，No.2，pp.7-12，2004.2.
4) 松本雄二・須長誠・大島洋志・加藤僚一：地下水面下のシラス地山に透水路盤を採用，九州新幹線 麦生田トンネル，トンネルと地下，Vol.31，No.8，pp.7-14，2000.8.
5) 森安弘・中谷幸一・草信元春・森本精郎・岡林福好：水圧1.1MPaに耐えるウォータータイトトンネル，第55回施工体験発表会，pp.57-64，2004.

③　山岳トンネルと環境問題

3-1　トンネル掘削が水循環に与える影響

大半の山岳トンネルは排水構造となっているため，掘削により山体中の地下水が流出し，地表水も含めた水循環全体に対して大きく影響を及ぼすことがある．

3-1-1　水循環の変化

山地の水循環は，降水，蒸発散，地表流出，地下浸透，地下水流動，地表への湧出などから構成され，それぞれが相互に密接な関係にある．

山体にトンネルが掘削されると，地下水がトンネル内に湧出することにより，地下水だけでなく地表水も含め水循環全体に変化が生じ，さまざまな影響が発生することになる(図-9)．

これら自然の水循環の関係をおおまかに水収支式で示すと下記のようになる．

$$R=E+D+G+S$$

上式は，降水量(R)が，流出成分である蒸発散量(E)，地表流出量(D)，地下水流出量(G)と貯留される量(S)の合計に等しいことを示している．

この水循環にトンネル湧水量(T)が加わると，地下水位低下による貯留量の減少(ΔS)，地表流出量の減少(ΔD)，地下水流出量の減少(ΔG)という形で水収支に変化を与えることになる．

$$R=E+(D-\Delta D)+(G-\Delta G)+(S-\Delta S)+T$$

トンネル湧水発生により，トンネル掘削前後で

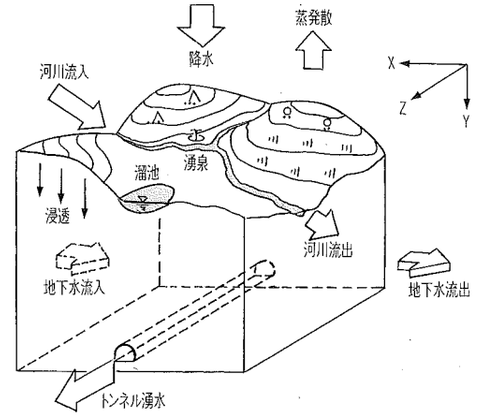


図-9　水循環イメージ

水収支が変化し，地表流出量と地下水流出量が減少する結果となる．

3-1-2　トンネル湧水

一般にトンネル湧水量は掘削の進行とともに増大し，断層破砕帯などに遭遇するなど一時的に大量出水するが(集中湧水量)，トンネルが貫通してしまうと徐々に湧水量は減少し，ほぼ安定した湧水量(恒常湧水量)に落ちついていく(図-10)．

単純化すると，集中湧水量が地下水位低下に伴う地下水貯留の減少量(ΔS)に，恒常湧水量が河川や地下水の流出量の減少量($\Delta D+\Delta G$)に相当するとみなせる．

$$T=(\Delta D+\Delta G)+\Delta S$$

3-1-3　地下水位の低下

山体中の地下水は，表層土壌や風化が進んだ岩盤中に存在する浅層地下水と，深部岩盤中の亀裂や間隙中に存在する深層地下水に大別できる．

降水の多くは透水性の高い表層土壌や風化層中を流動する浅層地下水となり，比較的早く斜面を流下し谷部で地表へ湧出する．このため，降水の影響を受けやすく，湧水や沢水など地表水とも密接な関係を有している(図-11)．

一方，深部岩盤へ浸透した水は透水性が低いためゆっくりと流動し，一部は地下水を経て規模の大きな谷へ流出し，残りは地下水として下流へ流下していく．

深部岩盤中にトンネルが掘削された場合には，

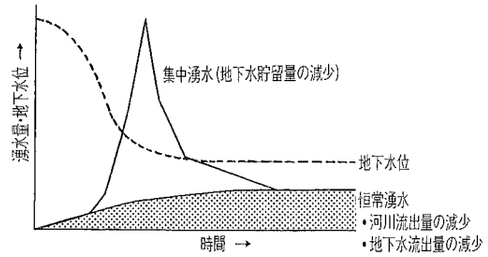


図-10　トンネル湧水量の変動イメージ

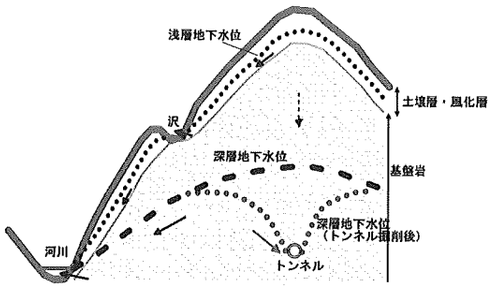


図-11　浅層地下水と深層地下水のイメージ

主として深層地下水に影響を与え，浅層地下水には影響を与える可能性は小さい．ただし，断層破砕帯など透水性の大きなゾーンが存在する場合には，浅層地下水や地表水へも影響を与えることになる．

3-1-4　地表水流量の減少

浅層地下水も深層地下水も谷部で地表に湧出しているため，地下水位低下は地下水から地表への湧出量の減少を引き起こす．この結果，湧水が枯渇したり，沢水の水量が減少したりすることがある．とくに，降雨の少ない時期に影響が顕著に現れることが多い．

深部岩盤中に掘削されたトンネルであっても，断層破砕帯などの存在により，沢水や河川の水量減少を引き起こす可能性はある．

3-2　発生する環境問題

地下水位低下や地表水流量減少は，さまざまな環境問題を引き起こすことになる．水量面だけでなく，水質やずり処理などに伴う問題も発生する可能性がある．

3-2-1　地下水位低下・地表水流量減少による問題

(１)　水利用への影響

戦前の丹那トンネルを始め，水利用に対する影

響は古くから常に重要な環境問題であり続けている．

水道施設の整備が進み，小規模な利水施設は減少しつつあるが，山間部ではまだ自然の湧水や沢水を水道用・生活用などに利用している地区は多く存在する．そのため地区住民にとってきわめて重要な問題になる場合がある．

また，農業用や養魚用に利用されている井戸や沢水が存在したり，温泉が利用されていると問題になる可能性がある．

（2） 水環境への影響

直接に水利用の対象となっていなくても，湧水や滝など自体に存在価値がある場合がある．全国的に著名な名水だけではなく，地元で有名な湧水や滝などへの影響が問題となることが増えている．

とくに都市近郊に位置するトンネルでは，重要な問題として取り上げられることが多くなっている．

水の存在自体(水量や水質)に価値を見出すため，水利用のように補償対策により対処するわけにはいかないことがあり，施工対策が必要となる場合がある．

（3） 生物への影響

一般に山地の植生は降水の涵養を受けている地表付近の土壌水に依存しており，トンネル掘削により深部岩盤中の地下水位が低下したとしても，影響が及ぶ可能性は小さい．

ただし，ワサビなど湧水・沢水に依存している植物や土かぶりの小さな区間で乾燥に敏感な植物に影響を与える可能性は否定できない．また，沢・河川などに生息する淡水魚ほかの水生生物も，流量減少により影響を受ける可能性がある．

とくに保全すべき貴重種が生息している場合には重要な課題となるが，保全対策にさまざまな制約がある場合もあり，事前に十分な調査検討が必要となる．

3-2-2 水質変化による問題

（1） トンネル湧水の排水による影響

トンネル湧水に有害物質が含まれている場合はもちろんであるが，それ以外にも水温やpHなどがトンネル湧水と排水先の河川水などで大きく異なるため問題となることがある．

地表水の水温が高い夏季などに水温の低いトンネル湧水を排水することにより，農業用水利用に支障が生じたり，水生生物に影響を与えたりするケースである．

（2） 掘削ずりからの排水による影響

近年各地で事例が報告されている問題で(八甲田トンネル，甲子トンネル，中越トンネルなど)，多くの地域で潜在的なリスクが存在する．

掘削ずりに含まれる黄鉄鉱など硫化鉱物が酸化し，酸性水が発生したり，酸性水が重金属を溶出させたりする問題である．酸性水は掘削ずりが埋め立てられて数年後に顕在化する場合もあり，施工時から必要な試験・モニタリングなどを行い，長期的な見通しを持った対応が必要となる．

平成22年改正の土壌汚染対策法から自然由来の重金属など(ひ素，鉛，ふっ素，ほう素，水銀，カドミウム，セレン，クロムなど)も法の対象となった．

3-2-3 その他の問題

山岳トンネルでは地下水位低下による地盤沈下が生じることはほとんどないが，軟質な堆積物が分布するなど特殊な条件下では局所的に地盤沈下が生じる可能性があるので留意が必要である．

3-3 環境問題の防止・軽減対策

環境問題を防止・軽減するための対策は，大きく計画段階での配慮，施工段階での施工対策，補償対策に分けられる．

3-3-1 計画段階での配慮

計画段階において十分な調査・解析などを行い，その結果にもとづいて環境問題に留意した計画とすることが，環境問題の防止・軽減に有効である．

地質・水文などの現地調査を踏まえて環境問題に対する影響を評価し，路線選定や縦断線形に反映させる．また，数値解析など定量的な手法を活用することにより，より効果的な検討が可能となる．

事例1：高山清見道路小鳥トンネル

計画ルート上部に水芭蕉が群生する湿原があり，

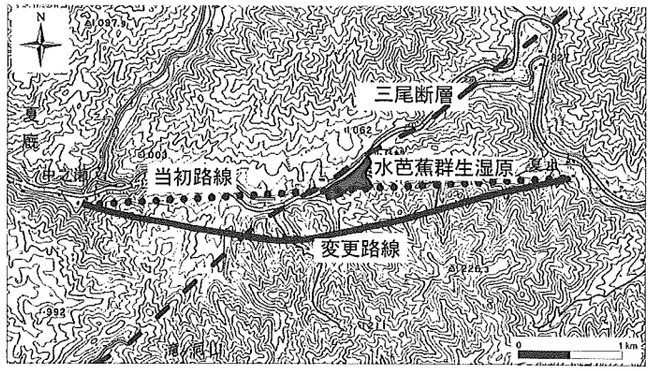


図-12 小鳥トンネル路線図

トンネルと交差する断層破砕帯からの湧水により湿原への影響が懸念された．

当初は湿原の直下をトンネルが通過する計画であったが，現地調査や予測評価の結果から，湿原への影響の防ぐためには路線を200m程度移動させることが効果的と判断された(図-12)．

この結論にもとづき路線が変更され，湿原への影響は回避され，計画段階での配慮が功を奏した事例といえる．

3-3-2 施工対策

山岳トンネルは排水構造が一般的であるが，地下水位低下を抑制するために，止水注入や止水構造が採用される場合がある．

止水構造は，土かぶりが大きな山体では高い水圧に抗する構造とする必要や，完全な止水を実現する必要など，多くの課題がある．このため，土かぶりが大きな区間に止水構造を採用した事例はまだ少ない．

止水注入は，注入によりトンネル周辺の地山の透水係数を低下させ，湧水量を極力抑制する方法であるが，透水係数は一般に10^{-5}cm/secレベルが限界とされており，湧水を完全に抑止できるわけではない．

事例2：圏央道八王子城跡・高尾山トンネル

御主殿の滝や琵琶滝など滝の保全がとくに重要な課題となったトンネルである．流水そのものの存在が問題となったため，対策として止水注入と止水覆工からなる施工対策が実施された．

八王子城跡トンネルでは，止水構造完成後に地下水位が回復し，御主殿の滝は保全されている．

また，高尾山トンネルでは，施工中も含め琵琶滝に対する影響を防ぐことに成功している．

3-3-3 補償対策

水利用に対して不足水量を代替給水したり，金銭補償する対策である．一般にトンネル掘削時の水量減少などに対して直ちに対応する応急対策と，トンネル完成後も永続する水量減少などに対して実施する恒久対策に分けられる．

飲料用・生活用として唯一の水源として利用されている場合，緊急性が高いため直ちに応急対策で給水し，その後に恒久対策を実施するケースが多い．とくに水道施設の場合は，多数の住民に深刻な影響を及ぼすことになるため，事前準備も含め早急な対策実施が必要となる．

水田などに利用されている農業用や養魚用の場合，影響が大きいため応急対策が必要となる．ただし，代替水を給水できない場合は，作物の減収補償などの金銭補償を行うケースもある．

また，直接日常生活に関係しない用途に利用されているものについては，恒久対策のみの解決とすることも多い．

3-4 今後の課題

近年土かぶりの大きな長大トンネルの施工事例が増え，影響が広範囲に及ぶケースが増加している．また，水資源だけではなく水環境や生物への影響も重要な課題として取り上げられる傾向が強くなっている．さらに，自然由来重金属など新たな問題もあり，今後ますます環境問題に配慮したトンネル施工が重要となってくる．

さまざまな環境問題に対して，施工段階だけではなく，路線選定など計画段階から配慮することにより，多くの問題を防止・軽減させることは可能であり，十分に事前の調査・検討を行いつつ対処していくことが求められる．

一方，トンネルから排水される湧水は貴重な水資源として利用もされている．丹那トンネル湧水

が熱海で利用されている事例など，多くのトンネルで重要な水資源となっている．環境問題を防止・軽減するという観点に加えて，トンネル湧水を水資源として積極的に生かす観点も含め，これらの問題に対処していくが望まれる．

（文責：藤原幹之・国際航業(株)）

参 考 文 献

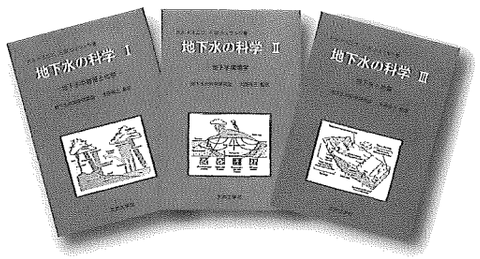
1) 大島洋志：建設工事に関わる地下水の様々な問題，平成11年度シンポジウム予稿集，日本応用地質学会，1999.
2) 大島洋志：増補 私の地質工学随想，2012.
3) 大島洋志：私のトンネル路線選定秘伝，応用地質，Vol.45，No. 4，2004.
4) 足立賢一・千場洋・吉富幸雄・野中良裕：山岳トンネルにおける高水圧ウォータータイトの施工，トンネルと地下，Vol.38，No.11，pp.17–24，2007.11.
5) 国土交通省相武国道事務所：平成22年度第３回トンネル技術検討委員会資料(八王子城跡トンネルの水環境について)，相武国道事務所ホームページ，2010. http://www.ktr.mlit.go.jp/sobu/10ir/committee/22_3pdf/1-1.pdf.
6) 品川俊介：建設工事における自然由来の重金属汚染への対応の現状と課題，平成20年度特別講演およびシンポジウム予稿集，日本応用地質学会，2008.
7) 大島洋志監修：わかりやすい土木地質学(第４版)，土木工学社，2002.
8) 前田良文・和田信良・近森博・土田淳也：名水百選など周辺水環境に配慮し中央導坑方式を採用，トンネルと地下，Vol.40，No.8，pp.17–25，2009.8.
9) 国土交通省相武国道事務所：平成23年度第１回トンネル技術検討委員会資料(高尾山トンネルの施工状況等について)，相武国道事務所ホームページ，2011. http://www.ktr.mlit.go.jp/sobu/10ir/committee/23_1pdf/1-1.pdf.
10)「山岳トンネル工事の環境保全」連載講座小委員会：山岳トンネル工事の環境保全(10)，トンネルと地下，Vol.34，No.4，pp.63–75，2003.4.

■図書案内

地 下 水 の 科 学 — 全３巻 —

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

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



第Ⅰ巻 地下水の物理と化学
4,078円＋税 B5判
■序論■岩石における空隙の起源と透水性■地下水の動き■岩石の弾性的な性質と流れの方程式■水理試験（モデル，方法と応用）■溶質と粒子の輸送■汚染物質の水理地質学入門

第Ⅱ巻 地下水環境学
4,272円＋税 B5判
■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数学理論■地下水による物質輸送（水質編）■地下水による物質輸送（地質編）■物質の輸送のモデル■輸送プロセスとパラメータ同定■水質浄化対策

第Ⅲ巻 地下水と地質
3,689円＋税 B5判
■水資源■堆積盆水循環における地下水■地殻における地下水■地下水流動における熱輸送

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

土木情報 No.486 今月の主な入札結果

（10月10日～11月９日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
九州農政	沖永良部農業水利事業地下ダム止水壁(4工区)	鴻池組	743.8
関東地整	中部横断和田T	安藤ハザマ	2,251.1
〃	〃 角打T	飛島建設	1,823
〃	〃 一色T	清水建設	2,567.5
〃	H25新笹子T補修	日特建設	114.5
近畿地整	丹波綾部道路大簾T	鴻池組	896.37
〃	天ヶ瀬ダム再開発トンネル放流設備減勢池部	大林・飛島JV	1,440
〃	和歌山岬道路平井T	戸田建設	1,367.4
四国地整	H25–26朝倉T	飛島建設	1,082.8
中国地整	仁摩温泉津道路天河内第２T	竹中土木	430.2
防衛省	相模米軍(H25)雨水排水(0030)等	五洋建設	1,258
〃	座間(H25)宿舎下水道	竹中土木	307
水資源機構	小石原川ダム仮排水路T	清水建設	1,727
宮城県	東舞根T	橋本店	1,520
栃木県	一般県道板荷引田線板荷引田T(仮称)本体	大成・生駒・猪股JV	1,591
都・水道局	文京区後楽一丁目地先配水本管(800㎜)布設替	五洋建設	1,114
都・下水道局	業平橋ポンプ所施設再構築その３	大本組	1,417
〃	北区豊島三，四丁目付近再構築に伴うシールド機整備及び保守管理	日立造船	107.1
〃	千代田幹線立坑	株木建設	1,385
長野県	H25県営農道整備事業佐久南部２期地区臼田佐久穂T	佐藤・竹花JV	1,264
愛知県	R151太和金T(仮称)	名工・鈴中・熊谷JV	1,640
大阪府	寝屋川流域下水道中央(一)増補幹線(第６工区)下水管渠	国誉建設	539
鳥取県	街路滝山桜谷線T	安藤ハザマ・大晃JV	1,132.67
長崎県	一般県道諫早外環状線道路改良((仮称)４号T)	清水・星野・荒木JV	5,462.02
都・都市づくり公社	清瀬市公下柳瀬川右岸５号雨水幹線	淺沼・今村JV	632
柏市	大津川左岸第４号雨水幹線(25–11工区)	永和・岡野JV	398.75
横浜市	谷本汚水幹線移設(高速横浜環状北西線付帯)	横浜建設	131
長野市	北八幡11号雨水幹線	フジタ・飯島JV	868.8

E. フック・E. T. ブラウン共著
岩盤地下空洞の設計と施工
理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B５判・442頁・上製本 本体価格 9,800円（〒450円）

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

トンネルジャーナル

幌延深地層研究センター　深度350m　調査坑道が貫通

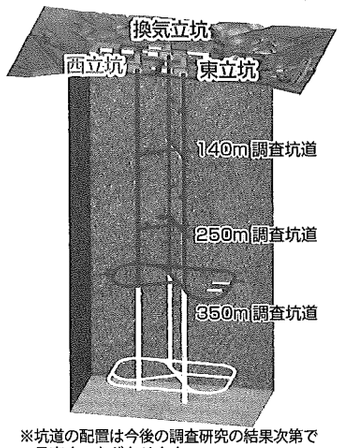
日本原子力研究開発機構が整備する幌延深地層研究計画地下研究施設において，深度350m調査坑道の周回坑道(東)が10月９日に貫通した．これにより深度350m調査坑道全域が貫通したことになる．

同機構では，高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を行う目的で，2005年から北海道天塩群幌延町で調査坑道の整備に着手．これまでに，立坑３本および深度140mと250mの水平坑道などを施工してきた．

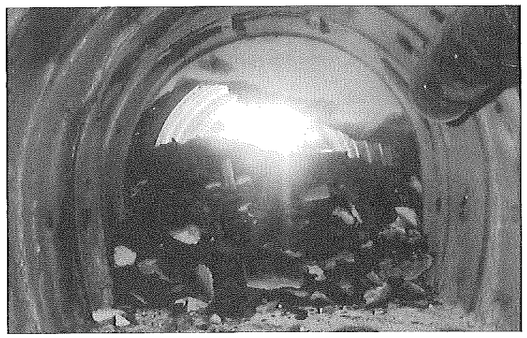
今回貫通した調査坑道は，深度350mに計画された約470mの周回坑道と約120mの連絡坑道．現在は試験坑道の一部を掘削しており，合計約760mを整備する．2012年３月に着工し，仕上り幅４m，高さ3.1mの３心円馬蹄形断面(掘削断面積16.4m²)を機械方式NATMにより掘進した．平均月進は35m．

地山は稚内層の珪質泥岩で，事前調査でメタンガスを含有することが確認されたため，管理・監理体制を構築したうえで，地上の新鮮な空気を強制的に地下に送ることによる換気や，掘削における内燃機関の使用禁止，防爆機器の採用をおこなった．また，湧水の想定される断層などには止水のためプレグラウトを実施するなど，施工の安全確保に努めた．

貫通した坑道を含む地下施設では，今後，地質環境調査技術，坑道を対象とした建設技術，地下施設とその周辺影響領域を包含する地質環境特性の長期変遷評価技術，堆積岩環境における処分場の設計・施工や人工バリアにかかわる技術，安全評価手法などにかかわる技術などの開発がすすめられる．



※坑道の配置は今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります



(左)地下施設の概要　(右)350m調査坑道の貫通の瞬間　いずれも(独)日本原子力研究開発機構提供

『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)

工法・技術・製品ニュース

製品 小型ホイールローダ２機種を新発売



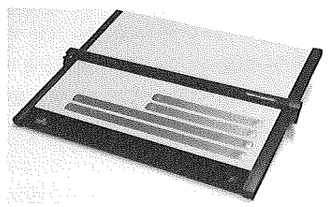
CAT 924K

キャタピラージャパン(株)
コーポレート パブリック アフェアーズ・ジャパン
Tel 03-5717-1122
E-mail: cjl-public@cat.com

キャタピラージャパンは，小型ホイールローダ２機種を発売した．発売したのはCat 924Kホイールローダ(バケット容量2.1m³，運転質量11.8t)とCat 930Kホイールローダ(同2.5m³，12.85t)．それぞれCat 924H，Cat 930Hのフルモデルチェンジ機．

今回のモデルチェンジでは，クリーンな排出ガスと燃費低減を両立したCat C6.6エンジンを搭載し，定評ある電子制御テクノロジーに加え，NRS(NOx Reduction System)や最新のアフタートリートメント技術の導入により，高い環境性能を実現し，オフロード法2011年基準に適合させた．また，国土交通省超低騒音型建設機械の指定を取得するなど，各種法規制に対応したほか，クラストップの最大掘起力に加え，新型のパフォーマンスバケットの採用により，荷こぼれを最小限に抑え，効率良く作業を行うことができるなど優れた掘削性能を実現させた．

製品 スムーズで敏速なカーソル移動を実現した平行定規



(株)ムトーエンジニアリング
Tel 03-6758-7120
http://www.mutoheng.com/

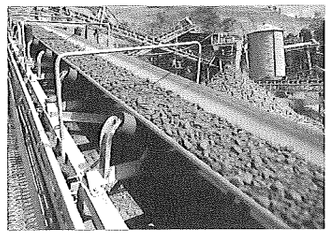
ムトーエンジニアリングは，新型のA2サイズ平行定規「ライナーボード UT-06」の販売を開始した．

同製品は現行のM-06N5の高精度を継承し，ステンレス製ワイヤー駆動方式を採用，スムーズで敏速なカーソル移動を実現する．また，使いやすく改良されたスケールの無段階フロート調整機構は左カーソル部に，基線調整機能は右カーソル部に搭載し，図面張替え時に威力を発揮する構造とした．スケールグリップについては，人間工学にもとづいた定評ある形状を採用したほか，スケール部にはポケットタイプの三角定規も置ける仕様とした．

業界トップクラスの重量2.5kgと可搬性に優れるほか，図面の張替えが容易なマグネード製図版，滑りにくいゴム足や奥行きの狭い机でも製図が可能になるすべり止めスポンジのほか，ワイヤークランプ方式を採用したブレーキ構造を採用し，傾斜角度も1, 3, 5度の３段階とするなど使いやすさを追求した製品とした．

価格は38,800円(税別)

製品 コンベヤベルトが資源循環技術・システム表彰 奨励賞 受賞



横浜ゴム(株)広報部
TEL 03-5400-4531
http://www.yrc.co.jp/

横浜ゴムは「長寿命及び資源再生原料配合のコンベヤベルト開発」で(社)産業環境管理協会主催の「平成25年度資源循環技術・システム表彰」で奨励賞を受賞した．

受賞対象となったコンベヤベルトは，2012年に発売された「Duotex(デュオテックス)」．各種バラ物搬送に適した一般用途向けシリーズとして，国内のトンネル現場でも使われている．国内最高レベルの耐摩耗性，耐屈曲性を達成するなどコンベヤベルトとしての基本性能を強化すると同時に，製品を通じた環境負荷の低減に取り組み，カバーゴムと内部コートゴムの資源再生原料の配合比率を従来品より高めた．これにより，カバーゴム製造過程における現在の資源再生原料の使用量は月間15～20tとなっている．

資源循環技術・システム表彰は経済産業省が後援，廃棄物の発生抑制，再使用，再資源化に資する優れた事業や取り組みの奨励・普及を目的として，1975年から実施されている表彰制度．

「トンネルと地下」2013年１～12月号総目次

〈平成25年・年間総目次〉

巻 月号 頁

巻頭言

年頭のご挨拶……佐藤　信彦　44　1　5
トンネル技術の継承について…山崎　政俊　44　2　5
大災害の教訓……小島　治雄　44　3　5
将来への基礎造り……水口　宇市　44　4　5
鉄道トンネルの現状と技術開発……
……中井　雅彦　44　5　5
復旧から復興へ……井手　和雄　44　6　5
100年のためのシームレスプロセス ……
……遠山　雄一　44　7　5
土木技術者としての誇りと使命……
……水島　久尾　44　8　5
ダム建設とトンネル工事……進藤　裕之　44　9　5
トンネル技術の発展と今後について思うこと……
……元木　　洋　44　10　5
求む!!　未来の優秀な技術者　見波　　潔　44　11　5
経験と知識を結集させて……真下　英人　44　12　5

報　告

海外におけるトンネル支保工の事例調査……
JTA山岳工法小委員会支保ワーキング　44　5　41
アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(１)……
JTA山岳工法小委員会支保ワーキング　44　6　41
アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(２)……
JTA山岳山岳小委員会支保ワーキング　44　7　41
土圧シールド工法の掘削土砂に関する調査結果……
……並川賢治・吉川直志・長田光正　44　9　47
「ITA総会および世界トンネル会議(ジュネーブ)」報告
……日本トンネル技術協会　44　10　33

研　究

小土かぶり山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震設計法の提案……宮林秀次・井浦智実　44　1　57
高速道路２車線トンネルにおける高規格支保構造の標準化……岩尾哲也・中田主税　44　3　57
列車振動を活用したトンネル覆工のはく落監視法に関する研究……瀬下雄一・津野究・杉山俊幸　44　4　53
供用中の山岳トンネルで発生する路盤隆起現象とその対策工の効果……
嶋本敬介・野城一栄・鈴木尊・朝倉俊弘　44　5　51
事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性…八木弘・浅野剛・土門剛・西村和夫　44　6　49
静的載荷試験による開削トンネル側壁破壊時の耐力に関する検討…川西智浩・清野純史・井澤淳　44　7　51
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……
久武勝保・大野司郎・鈴木啓介・小林嵩　44　9　57
フライアッシュを用いた覆工用高充填コンクリートの開発……
佐藤貴史・萩原秀樹・秋田勝次・桜井邦昭　44　10　43
高速道路トンネルにおける中流動覆工コンクリートの標準化……岩尾哲也・水野希典　44　11　43
シールド工事用二次覆工一体型セグメントの開発とその実用化に関する研究……松浦將行　44　12　53

解　説

首都高速道路のトンネル構造50年の歩み……
……吉川直志　44　2　51
SPR工法の開発と実用化の経緯 ……
髙見浩三・前田正博・藤井重樹・足立邦夫　44　9　27

計　画

トンネル掘削に伴う地下水流動対策検討〈新名神高速道路　箕面トンネル〉……
……伊藤哲男・宇根孝司・佐伯徹　44　9　17
九州新幹線西九州ルート諫早・長崎間のトンネル群……
……萩原渉・村山正巳　44　10　15

施　工

【鉄道トンネル】

沢と交差する小土かぶり区間を地山改良工で掘削〈九州新幹線西九州ルート　三坂トンネル〉……
本野一男・井浦智実・稲永岳洋・秋保琢　44　1　7
完成をむかえた山梨リニア実験線(延伸区間)のトンネル群……
…渡辺隆・古谷佳久・山本武史・村上明　44　4　7
SENSで平均月進190mを達成〈北海道新幹線　津軽蓬田トンネル〉……
宮嵜俊彦・三上美輝雄・田中淳寛・西川幸一　44　7　7

【道路トンネル】

超近接双設トンネルを無導坑方式・早期閉合により施工〈舞鶴若狭自動車道　鳥浜トンネル〉……
中堀千嘉子・稲垣太浩・牛田和仁・奥野哲夫　44　1　15
鉄道高架橋から離隔２mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設〈総武線市川・本八幡間外環こ道橋〉……
廣井利行・齋藤貴・三丸英壽・亀山貴弘　44　2　7
東紀州命の道　熊野尾鷲道路最後のトンネルを貫く〈国道42号　新鹿トンネル〉……
……新庄大作・森山祐三・富澤直樹　44　2　17
新技術を用いた沈埋工法により洞海湾を横断する〈新若戸道路　若戸トンネル〉……森山安夫　44　3　19
高水圧下で曲線パイプルーフを利用した地下接続工(Uターン路)の同時施工〈首都高速中央環状品川線シールドトンネル〉……
水谷正史・五十嵐央・簗取優丞・谷口敦　44　3　27
地上発進・地上到達で大断面シールドを施工〈首都高速中央環状品川線 大井地区トンネル〉 ……
……五十嵐央・井澤昌佳　44　4　17
前例を生かし水抜きボーリングを駆使して未固結砂質地山を掘る〈主要地方道金沢井波線　清水田島トンネル〉……
宮本義浩・川村國夫・本野圭司・筒井弘之　44　5　17
線路直下40cmを函体けん引(SFT)工法で施工〈予讃線石手架道橋新設〉…角野拓真・武田純一　44　6　7
最小土かぶり３m・最小離隔２mで双設トンネルを掘る〈京都第二外環状道路　北春日トンネル〉……
……滋野勝稔・今中晶紹・佐藤将路　44　6　17
増粘剤を用いた中流動覆工コンクリートの品質および施工管理〈舞鶴若狭自動車道　田上トンネル〉……
中堀千嘉子・稲垣太浩・山本正・松田敦夫　44　7　17
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　44　8　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　44　8　17
熱水変質軟弱層による施工中の盤膨れを縫返し工で克服〈国道231号　新送毛トンネル〉 ……
……佐々木隆・宇治川徳夫・石黒聡　44　11　7
地すべり地形のトンネル坑口部を対策工と動態観測で突破〈国道49号　新揚川トンネル〉……
横山一星・武藤正広・本間宏記・中村伸也　44　11　17
軟弱地盤上の高密度鉄道線区で大規模ボックスを開削工法で築造〈東海道線　戸塚こ道橋〉……
木戸素子・鳴海彰三・松林誠・樫内雅章　44　12　7
61日間連続車線規制によるインバート再構築工事〈上信越自動車道　日暮山トンネル〉……
丸山勝・中野清人・天野淨行・下村哲雄　44　12　17

【地下鉄トンネル】

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消(その２)〈東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線開削工事〉……
…伊藤聡・嶋田司・岩橋公男・西本浩二　44　2　25
世界歴史遺産都市における大規模地下駅の建設〈ボスポラス海峡横断鉄道トンネル工事〉……
……岩野政浩　44　3　7
住宅密集地に近接した営業線の地下化切替え〈京王電鉄調布駅付近連続立体交差事業〉……
…岩村忠之・松田茂広・千田馨・鏑木毅　44　3　47
道路・動物公園直下の小土かぶり駅部大断面を中壁分割工法により施工〈仙台市高速鉄道東西線　八木山トンネル〉……
吉野弘明・河村和信・山本敏明・鶴原敬久　44　4　25
有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消(その３)〈東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線シールド工事〉……
……伊藤聡・嶋田司・山上享・根岸秀男　44　5　27
首都高直下の踏切部などで変状対策を講じ開削トンネルを築造〈京浜急行大師線連続立体交差事業〉……
矢野栄二郎・千本木武・根岸範明・板橋信男　44　12　29

【サービストンネル】

取水口ケーソンと取水路シールドを海底下で接合〈JR川崎火力発電所４号機取替増強に伴う取水設備新設〉
小島淳史・白石浩三・秀嶋桂・渡辺幸喜　44　1　23
全長44.6km，最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く〈マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル〉
……河田孝志・仲野義邦・水戸聰　44　1　33
深度30mの高水圧下での４mの大口径推進工事〈東京都下水道　東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠〉…
永田有利雄・吉村啓一郎・中西正継・仁科真二　44　2　33
大断面シールドが離隔40cmで近接する既設電力洞道の挙動…石川利明・株木康吉・中野内美孝　44　4　45
急勾配・小土かぶり条件下における函体推進(R＆C)工

法の施工〈関西線平野駅改良　馬場地下道新設〉……
……太田浩史・氷上洋一　44　5　7
地下鉄直下の崩壊性地盤におけるS字急曲線シールド〈大阪市天満堀川抽水所　雨水滞水池築造工事〉……
……臼田利之・熊本尚紀・伊藤寛基　44　6　25
大型埋設物を切回し地下鉄直上に短期間で通路を築造〈東京メトロ東西線・パレスホテル東京　地下通路〉…
河端充弘・青木正明・神原聡・渡邊裕介　44　7　33
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　44　8　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　44　8　47
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　44　8　55
双設シールドの間に矩形PCウェル工法でEVシャフト35mを築造〈東京メトロ千代田線　新御茶ノ水駅〉……
柳迫久・眞弓恵佑・立石健二・戸田雅明　44　9　7
可燃性ガス発生地域における重要構造物直下のシールド〈川崎市下水道　大師河原貯留管〉……
須藤友教・羽嶋南州・平田和雄・松尾琢夫　44　10　7
住宅密集地における営業線直下を横断するEV通路の築造〈東京メトロ丸ノ内線　中野新橋駅〉……
伊藤聡・田端二三夫・北山由奈・三宅英晴　44　11　27
市街地の地下30mでの凍結工法による既設管渠との地中接合〈名古屋市下水道　権現通第2雨水幹線〉……
……尾宮邦昭・羽根康演　44　11　33
電気防食を適用した地中送電洞道の劣化対策事例……
石塚正寿・小椋明仁・桑原弘昌・大久保謙治　44　12　45

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(9)〈断層とトンネル工事(1)〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　1　69
トンネル技術者のための地相入門(10)〈断層とトンネル工事(2)〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　2　63
トンネル技術者のための地相入門(11)〈火山地形におけるトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　3　65
トンネル技術者のための地相入門(12)〈火砕流台地・カルスト・残丘におけるトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　4　61
トンネル技術者のための地相入門(13)〈地形改変地に計画されたトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　5　61
トンネル技術者のための地相入門(14)〈地相をよく観て路線選定を行う(とくに水問題を対象に)〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　44　6　59
トンネル技術者のための地相入門(最終回)〈座談会〉…
……「地相入門」連載講座小委員会　44　7　59
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　44　8　65
トンネルにおける地下水対策(2)〈地下工事における地下水トラブル〉……
……「地下水対策」連載講座小委員会　44　9　65
トンネルにおける地下水対策(3)〈地下工事における地下水対策〉……
……「地下水対策」連載講座小委員会　44　10　53
トンネルにおける地下水対策(4)〈シールドトンネルと地下水〉……
……「地下水対策」連載講座小委員会　44　11　61
トンネルにおける地下水対策(5)〈山岳トンネルと地下水〉…「地下水対策」連載講座小委員会　44　12　63

現場だより

「日本一の海岸美」岩手県田野畑村より ……
……佐々木照夫　44　1　14
「阿賀の舟唄」にのせてトンネルを掘る ……
……横山正士　44　2　16
「善光寺平に結ばれる　人と地域がきらめくまち」ながのより……山口耕二　44　3　37
「民話の里」遠野市より ……増田丑太郎　44　4　15
「戦国の世に思いを馳せ」愛知県新城市より ……
……伊藤敦信　44　4　16
日本一「すみたいまち」をめざす岩手県住田町から……
……藤原正雄　44　5　16
「水のふるさと」相模原市緑区より ……
……川口幸治　44　5　26
「豊かな自然と食材・伊達なまち」愛媛南予・宇和島市より……原　康彦　44　6　15
「マジムンが生息する島」奄美大島より ……
……宮本正治　44　7　15
「豊かな自然に恵まれたまち」大分県佐伯市より ……
……谷山伸郎　44　8　16
「縄文の里」八戸より ……伊藤毅浩　44　9　15
「手袋の町」讃岐・東かがわより ……
……藤原良二　44　10　14

世界遺産熊野古道「長井坂ルート」に沿って……
……黒見正彦　44　11　16
「ぶんごどっこのお膝元」大分県佐伯市より ……
……榊原高範　44　12　16

語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

トンネル技術者よ，世界に羽ばたけ！……
……満下直紀　44　1　45
私の歩んだトンネル史……岡本祥太郎　44　2　43
我がトンネル人生〈「山のゆるみは気のゆるみ」を肝に銘じて〉……昆布明弘　44　3　39
貫通発破の魔力に魅せられて……藤田筆司　44　4　37
トンネルの旅に魅了されて……猪俣　正　44　5　35
寺子屋 シールド物語入門 ……松村信雄　44　6　33
モグラ人生30年「人間力」で克服する……
……小田重雄　44　7　25
都市トンネルの悩みと喜び……岩本　哲　44　8　37
緊張連続 トンネル人生の面白さ ……
……大内　悟　44　9　35
語り伝えたいこと……岸　信正　44　10　23
技術への挑戦と作業所内の和で難工事を克服……
……鶴谷武憲　44　11　53
トンネル現場を思い出すたびに…佐藤哲夫　44　12　37

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会報

1. 会員の現状

	10月31日現在
個人会員	873名
団体会員	203名
推薦会員	212名
特別会員	14名
名誉会員	0名
賛助会員	127名
合　計	1,429名

2. 委員会の開催状況(10月 1 日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会(10/1)
木村宏幹事長ほか10名，組織の見直しを検討

広報小委員会会誌WG(10/4)
大島洋志主査ほか12名，11月号の会誌と 3 か月計画を検討

◎国際委員会

国際委員会(10/28)
猪熊康夫委員長ほか 6 名，活動方針を検討

海外文献小委員会対外広報WG(10/4)
清水健志主査ほか12名，Tunnelling Activities in Japanの掲載テーマを検討

海外文献小委員会海外ニュースWG(10/31)
清水健志主査ほか 8 名，英文原稿を査読

◎事業委員会

事業委員会(10/29)
桑原彌介委員長ほか14名，催物開催報告と計画を検討

40周年記念事業実行幹事会(10/22)
久多羅木吉治幹事長ほか13名，統一テーマおよび実施項目を検討

計　7回開催　81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(10/15)
豊澤康男委員長ほか14名，報告書(案)および40周年記念事業計画案を検討

都市トンネル小委員会打合せ会(10/23)
五十嵐明幹事ほか 8 名，シールド技術変遷史編集方針を検討

山岳トンネル小委員会支保WG(10/25)
蓼沼慶正主査ほか18名，文献調査結果を検討

都市部近接施工ガイドライン編集小委員会(10/30)
小山幸則委員長ほか40名，委員会設置経過説明および作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

北海道新幹線(本州方)トンネル委員会機械化施工WG(10/24)
小山幸則委員長ほか35名，作業方針を検討

大深度シールド技術検討委員会(10/28)
今田徹委員長ほか64名，設計手法を検討

計　6 回開催　185名出席

合計　13回開催　266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/
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. 12～15	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)

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

4. 平成25年度催物開催現況

(平成25年11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	20	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	27	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	16	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	14	北海道	1.8
相鉄・JR直通線西谷トンネル現場研修会 —西谷トンネル—	2013. 9. 3	30	神奈川県	2.5
五反田川放水路トンネル現場研修会	2013.10.11	28	神奈川県	2.0
中央環状品川線大橋連結路工事現場研修会 —EF連結路トンネル工事トンネル—	2013.11.14	30	東京都	1.4
関東地区道路トンネル現場研修会 —下塩原第二トンネル—	2013.11.28	25	栃木県	2.0
(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
(講演・講習会)				
第15回ステップアップ研修会(シールド部門)	2013.10. 2, 3	26	東京都	13.0
第16回ステップアップ研修会(山岳部門)	**2013.12. 5, 6**	**30**	**東京都**	**9.9**

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

ITA WebSite/ITA@Newsに関するお知らせ

国際委員会

■ITAおよび加盟国の動向を知りたい方
Webサイト(http://www.ita-aites.org/en/)には，さまざまな情報が閲覧できるようになっています．

■ITA@newsの配信を希望される方
WGやコミッティーの活動状況や成果物の発刊をはじめITAがサポートする催物や国際会議開催案内，ITA加盟国の活動報告などの概要が配信されます．受信申し込みはhttp://www.ita-aites.org/en/corporate-website からご登録してください．

■ITA 作業部会について興味のある方
作業部会関連の情報がWebサイトに掲載されています．閲覧希望者はhttp://www.ita-aites.org/en/wg-commitiess/working-groups をご覧ください．

※質問や疑問点などございましたら日本トンネル技術協会の関(担当)までお問い合わせください．
TEL：03-3524-1755

1月号予告[1月1日発売予定]

- ●レーザーリモートセンシングを用いたトンネル覆工コンクリート剝離検知装置の開発
- ●在来線用トンネル覆工検査車の開発
- ●中部横断自動車道　八之尻トンネル
- ●東九州自動車道　落鹿トンネル
- ●国道25号　御堂筋共同溝

【連載講座】

- ●トンネルにおける地下水対策(6)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆2013年も今月で終わりです．今年の夏はとくに暑く，各地で40度を超える猛暑となりました．秋になると毎週のように台風が接近し，大島では甚大な災害が発生しました．また，スポーツ界では7年後のオリンピックが東京に決定し，歓喜に酔い知れ，プロ野球では楽天イーグルスが初の日本一に輝き，被災地に大きな希望を与えてくれました．海外では，今年最大の台風がフィリピンに上陸し，想像を絶する被害をもたらしました．トルコでは，ボスポラス海峡を横断する地下鉄が開業し，日本から安倍首相も出席して開通式が行われました．同トンネルは，本誌でも2005年4月号(Vol.36，No.4)に概要を，2008年1月号(Vol.39，No.1)には特集「海外のトンネル工事」の中で全体の工事内容，今年の3月号(Vol.44，No.3)には地下駅の建設，また，2009年12月号(Vol.40，No.12)では，連載講座「沈埋トンネル」の中で施工事例が紹介されております．同トンネルは世界最深となる60mの海底に敷設するため高度な技術力，埋蔵文化財に配慮しながらの地下駅建設など，歴史都市ならではの施工が要求されました．

◆さて，『トンネルと地下』では，今年も多くの方にご多忙な業務の合間を縫ってご執筆いただきました．内訳は，報告(5編)，研究(10編)，解説(2編)，計画(2編)，施工(40編，うち鉄道(4)，道路(16)，地下鉄(7)，サービス(13))です．また，毎号に「連載講座」「現場だより」「語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ」をご執筆いただきました．

◆来年もより充実した誌面をご提供するとともに，弊誌をご購読いただいている方々にとって良い1年になることを心よりお祈り申し上げます．

(K.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(一社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(一社)日本トンネル技術協会へご連絡ください．

トンネルと地下
第44巻 第12号〔通巻520号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年11月20日　印刷
平成25年12月1日　発行

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

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

購読料

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

本誌広告のお申し込み方法

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

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



図書案内

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際



マックス・シェルレ　著，野田典宏　訳，
中本　至・石橋信利・金成英夫　監修
8,500円＋税　B5判

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

わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

地質工学概論



菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）



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

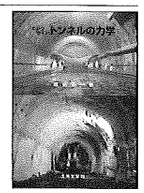
地球という複雑なシステムを循環する水，とくに地下水循環を考え，汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため，水の物理的・科学的性質，地球の状況，水資源としての地下水の状況，地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した．

第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
4,078円＋税　B5判

第Ⅱ巻　地下水環境学
4,272円＋税　B5判

第Ⅲ巻　地下水と地質
3,689円＋税　B5判

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下



1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

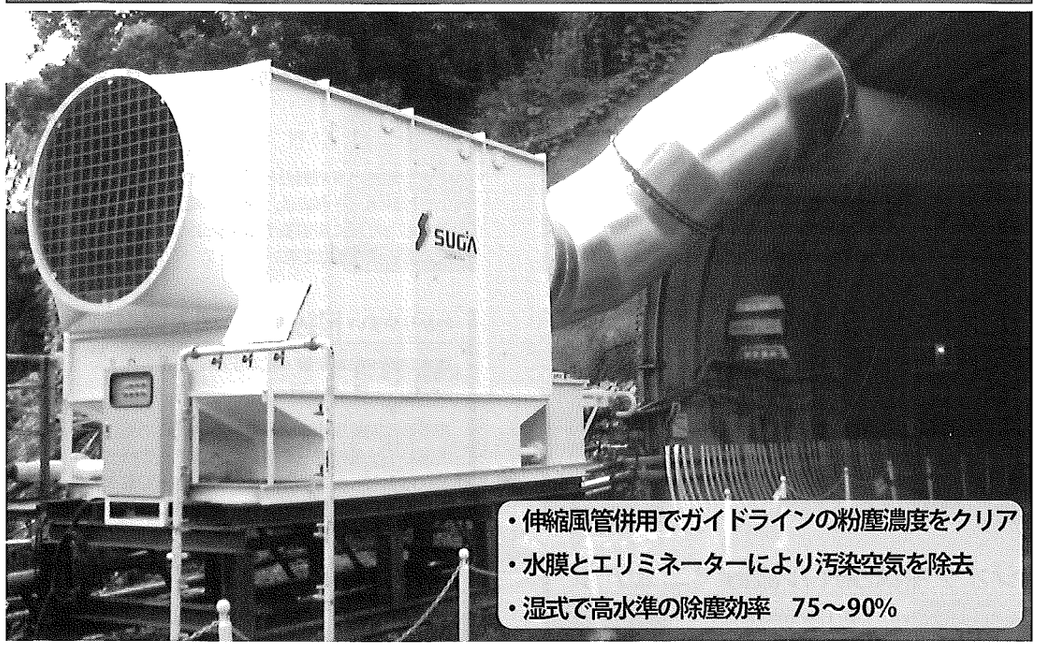
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

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

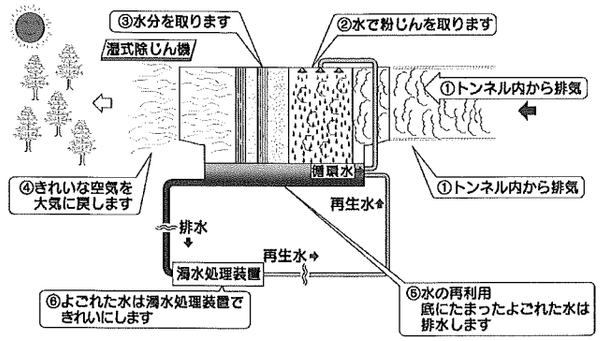
新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

湿式除塵機 シャワーエリミナー

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



除じん機による浄化フロー



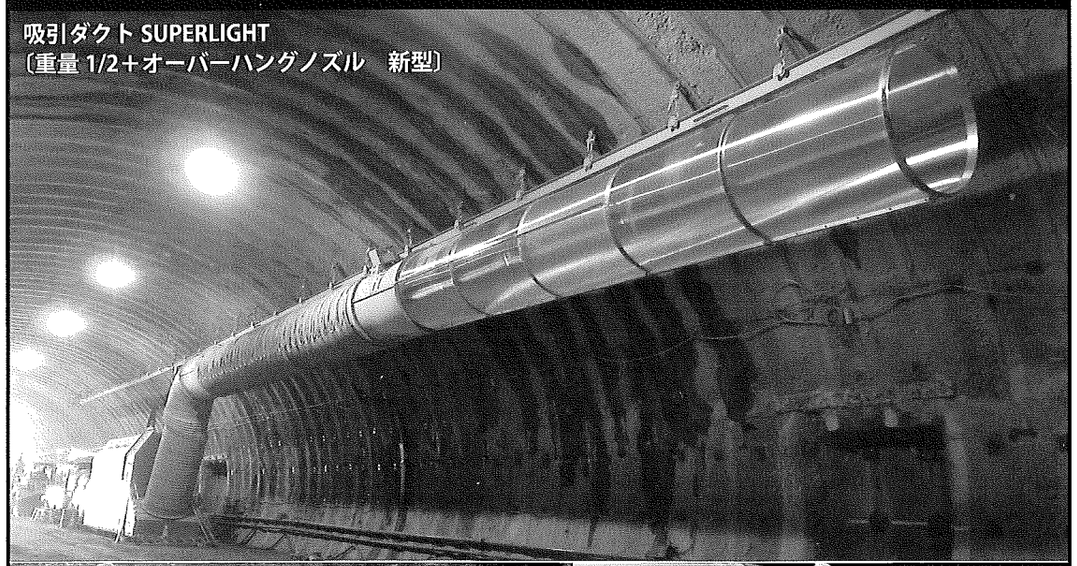
機　種

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

流機エンジニアリングだから出来ること
お客様の「できたらいいな」を実現します

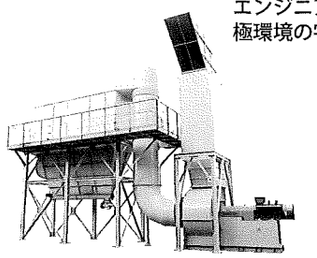


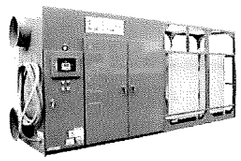
トンネルに止まらず特殊な一品モノにもお応えします

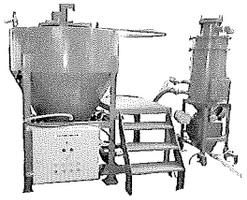
〈産業用集塵機　Iシリーズ〉

集塵、脱臭、除湿、水処理など環境装置を主とする、
エンジニアリングメーカーです。
極環境の宇宙、原子力、トンネルなどの装置開発も手がけています。


400㎥/min
コークス・マンガン


1500㎥/min スラブ研削


工業用大型エアコン


急結剤補給やコンクリート
補強繊維の自動定量送り機

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 いちご聖坂ビル
TEL：03-3452-7400
URL：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)