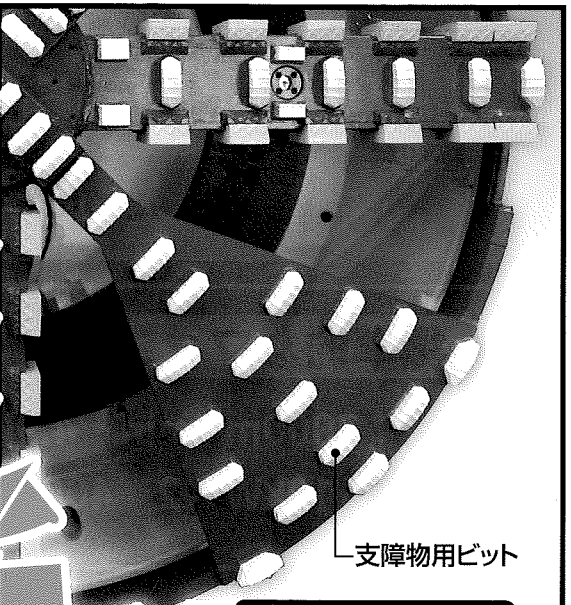
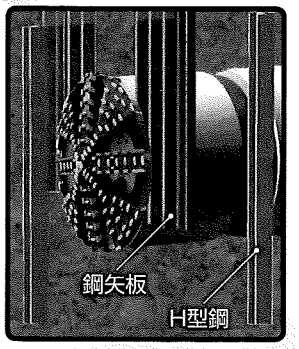
京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

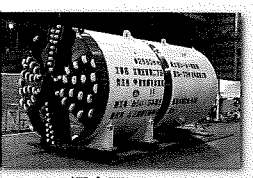


る!

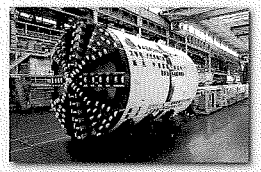
切削用の特殊ビット
と支障物を中央部か
残置されたH型鋼、



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

4年12月1日発行(毎月1回1日発行)　第43巻第12号　通巻508号　　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 12

vol. 43
no. 12
2012

Tunnels and Underground

土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工
礫が点在する崖錐を注入式フォアポーリングにより突破
厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削
集市街地での下水道管シールド立坑用地確保と周辺対策への取組み
設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方

日本トンネル技術協会誌



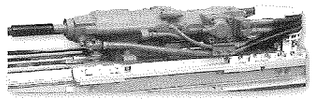
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

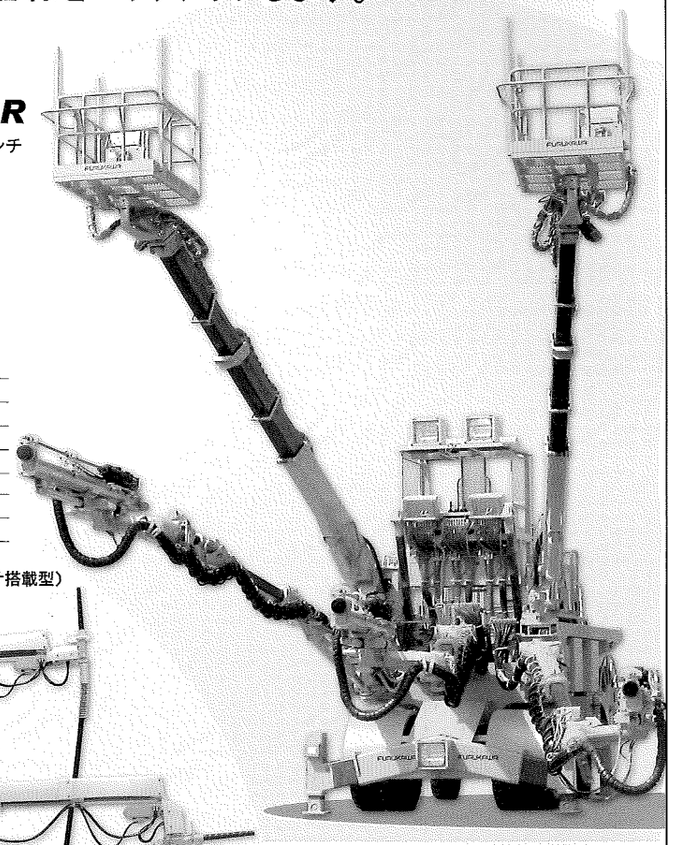
JTH2200R/JTH3200R

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

新世代型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載。

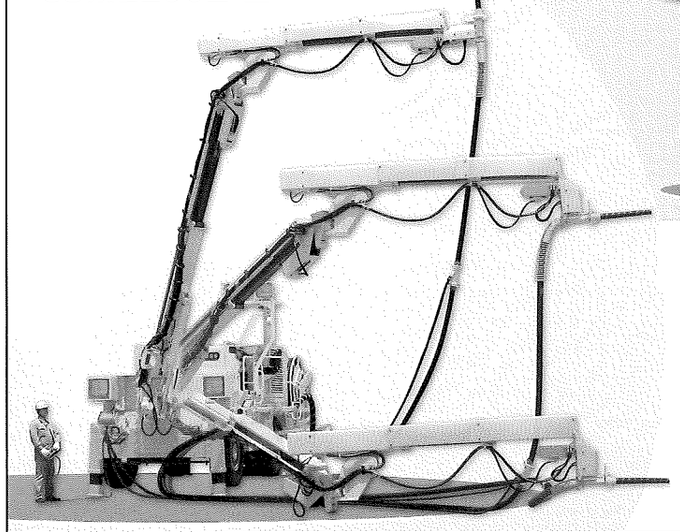


◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14,270 mm	14,760 mm
全幅	2,690 mm	3,140 mm
全高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高さ	8,490 mm	8,840 mm



自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



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

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

古河機械金属グループ

FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

本　社　〒103-0027　東京都中央区日本橋一丁目5番3号　特機部　☎03(3231)6966

札幌支店☎011-786-2222　東北支店☎022-384-8991　関東支店☎027-326-9611　名古屋支店☎0568-77-7700

関西支店☎06-6475-8221　広島☎082-832-3542　九州☎092-948-2010

長尺鋼管切羽補強工　　高付着型長尺鋼管切羽補強工

Me 工法

Metal eco

特許第 3882118 号

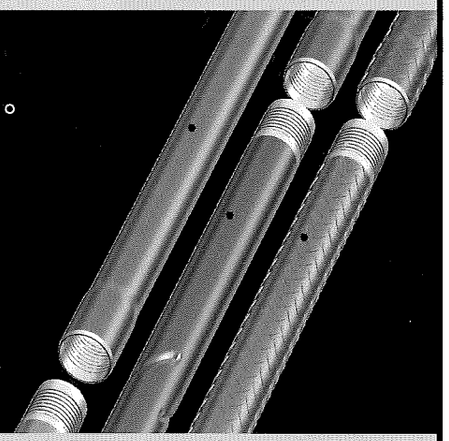
NETIS 番号:KT-080027

Me fix

Metal eco

エコロジー＆地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。





特徴①　分別回収による鋼材のリサイクル化

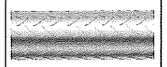
「Me 工法」の切除管は、掘削時に鋼管と注入材を分別回収できる構造で、鋼管のリサイクルが図れます。

特徴②　接続部拡径（ソケット方式）により鋼管の薄肉化

「Me 工法」は接続部拡径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管（Φ 76.3×4.2～4.5 ㎜）の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③　長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

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

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu≒12N/mm²)
ウレタン：4 倍発泡(qu：5±0.5N/mm²)、シリカレジン：3 倍発泡(qu：4+1.0/−0.6N/mm²)



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2丁目4番1号　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

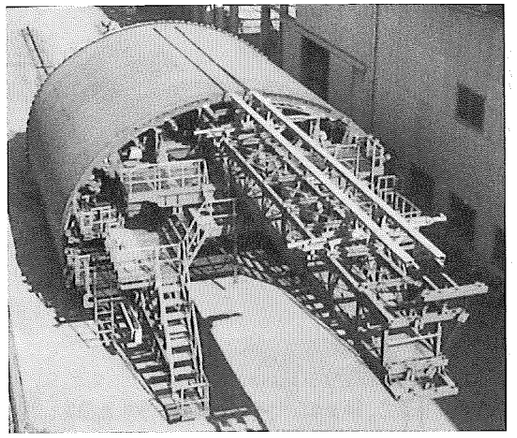
技術部　：東京都港区芝公園2丁目4番1号　TEL 03−6402−8256

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田(かいた)工場

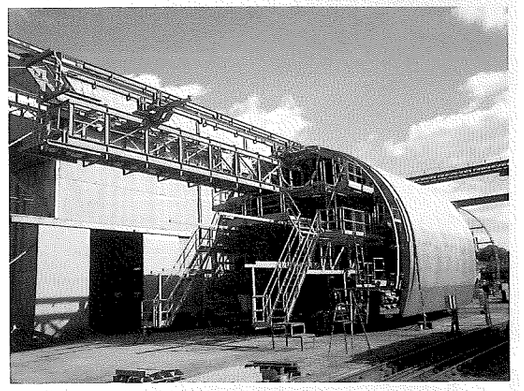
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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



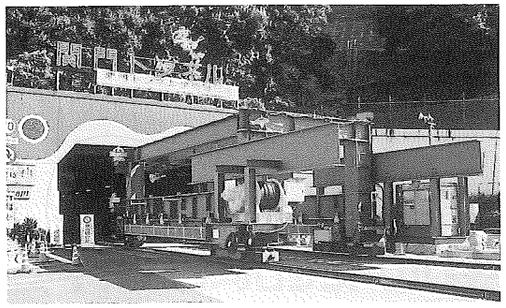
◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置

● トンネル床版撤去架台
勾配対応四駆型(関門トンネル)



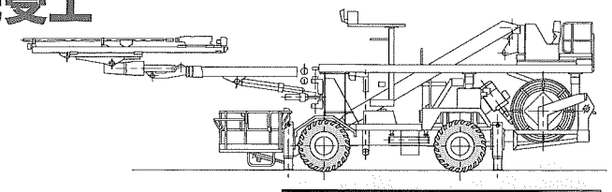
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充塡センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

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

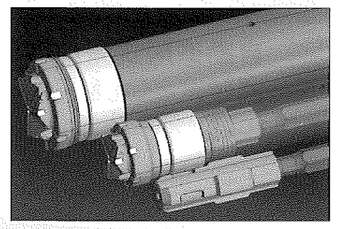
環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

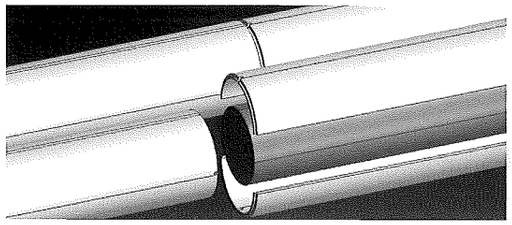


AGF-Me工法



- 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

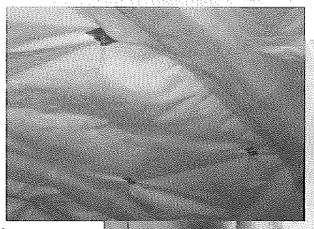
最後端部に接続される鋼管は、縦貫通スリット管を用いることにより、掘削時に露出した鋼管を折り曲げ除去するだけで、内部の硬化した注入材と鋼管とを分離して、分別処理を簡便に行えるようにした環境対応型長尺鋼管先受工です。





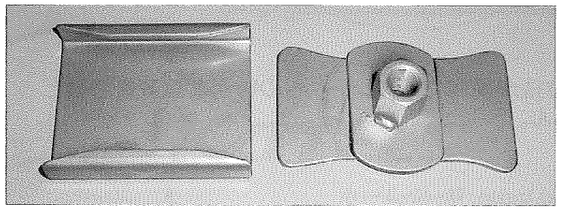
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

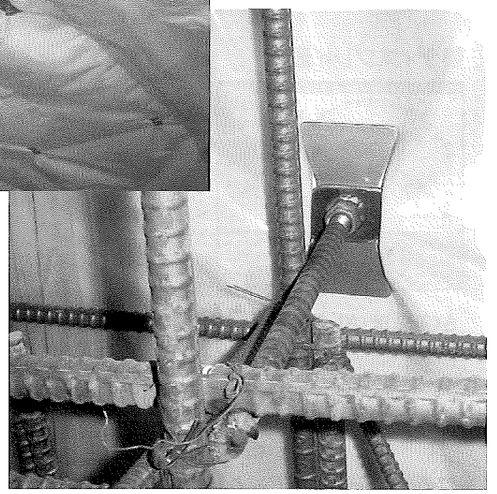
TKグリッパー



- 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

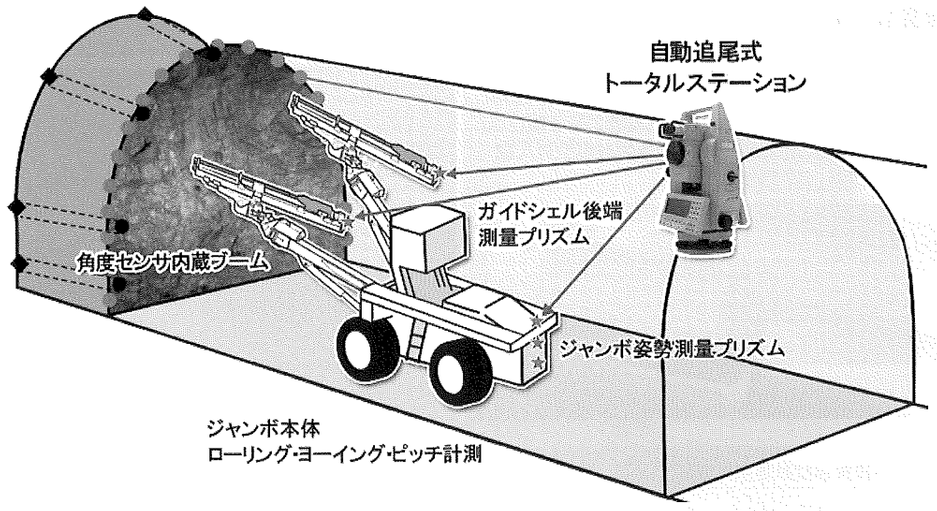
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

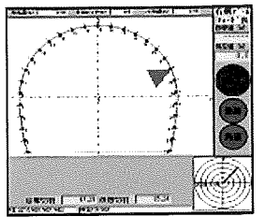
自動追尾式余掘り低減システム

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

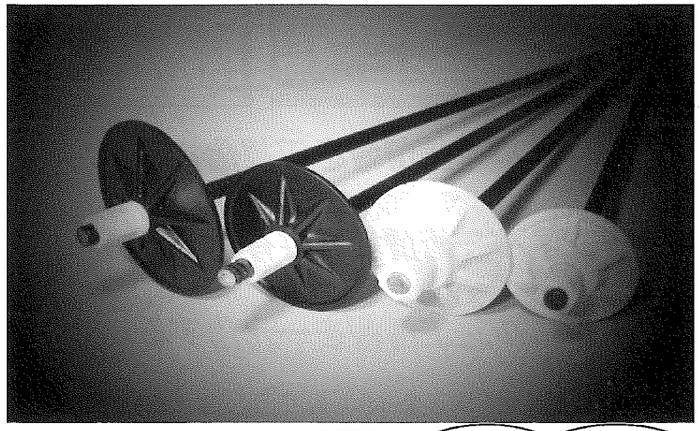
POWERTHREAD

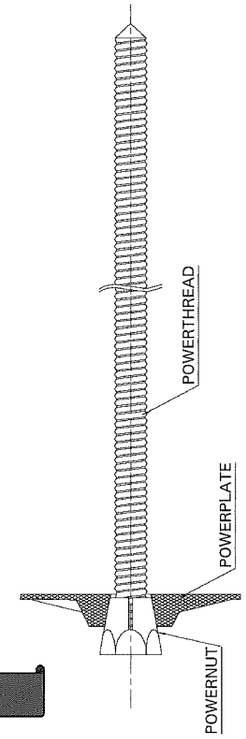
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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

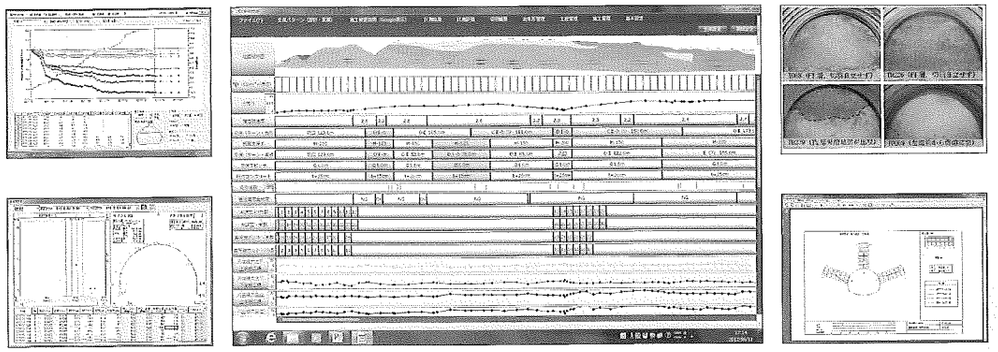
This August Debut

新時代の切羽情報管理システム

Cyber NATM 2nd Generation

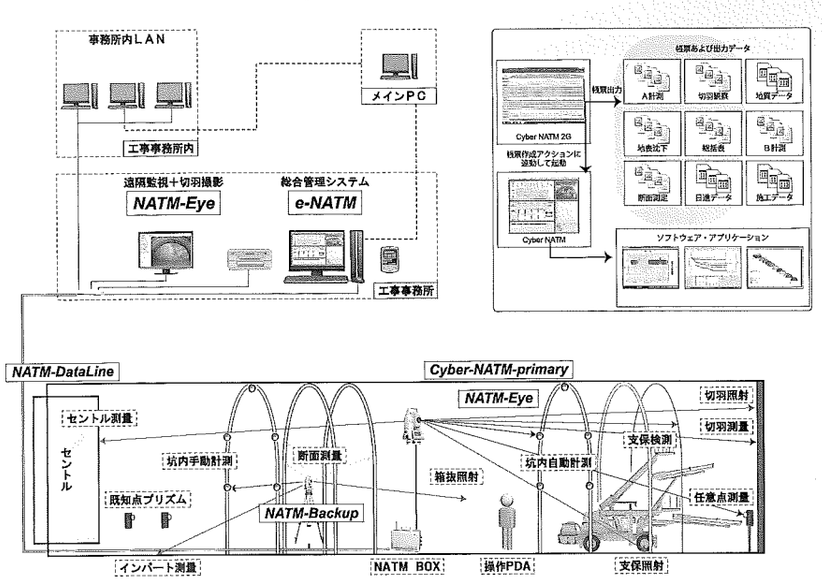
CYBER NATM　Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった



トンネルアーカイブス
IT Scroll management

- トンネル連続情報を可視化する
- トンネル技術情報を共有化する
- トンネル施工情報を一元化する



enzan KOUBOU

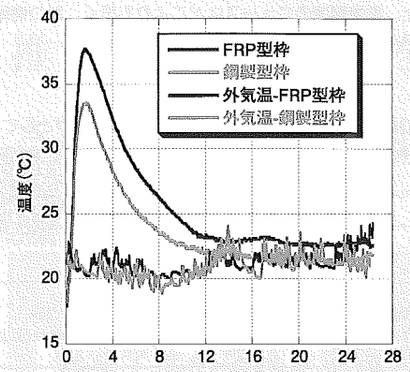
株式会社　演算工房　ENZANKOUBOU CO.,LTD.

■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

覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

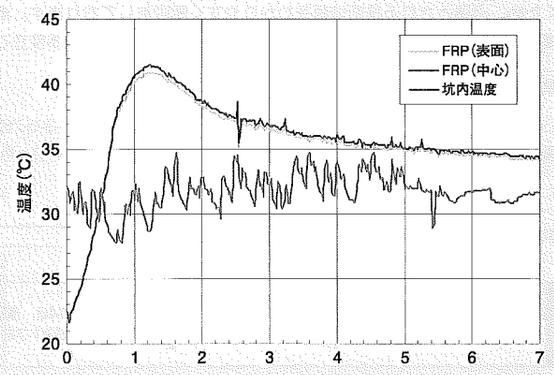
［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



■覆工コンクリート温度の比較

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

［㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測］

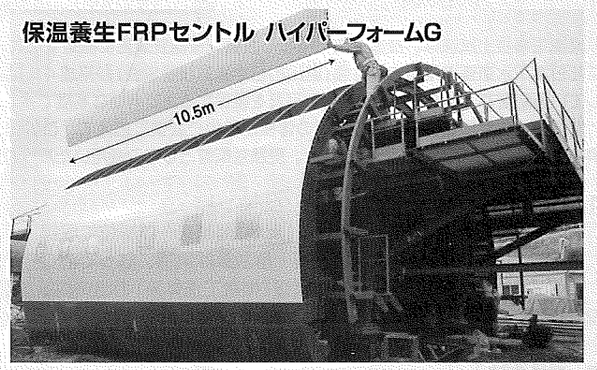


■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

特　徴

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

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

月刊推進技術
定期購読のご案内



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

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

申込方法

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

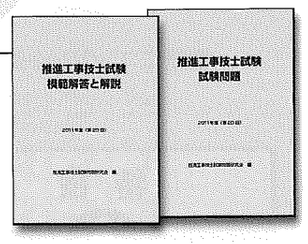
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

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

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

推進工事技士試験　過去10年間（平成14～23年度）
試験問題と模範解答・解説集
推進工事技士試験問題研究会編



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

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

平成24年度版
2月上旬発売予定

1．内容と特長
- ○過去10年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- ○各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- ○解説には設問に採用された図書（推進工法体系）の出典箇所を明記

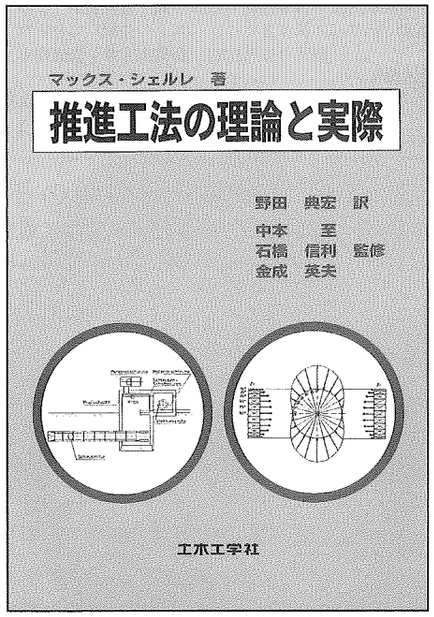
2．価格
各年度単位に 1set 2,000円（消費税・送料込）

3．申込方法
本図書のお申込は前金でお願いしています。
ご購入ご希望の方は、郵便局備え付けの払込取扱票に①「通信欄」に購入したい年度と冊数②「ご依頼人」欄に発送先の郵便番号、住所、会社（団体）名、氏名、電話番号を記入して郵便局からお申込下さい。
これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

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

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて
推進工法の理解を
さらに深める一冊



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

推 薦 の 言 葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

推進工法によって、下水道をはじめ多くの管渠が布設されている。下水道については一九六〇年にはわが国の普及率は十五％にすぎなかったが、今日では六〇％近くになっている。当初、一五〇〇キロしか施工実績がなかったが、近年の施工延長は年間一五、〇〇〇キロになっている。下水管渠の施工方法の選定にあたって、施工条件や建設環境、地下埋設物や地盤条件などの関係から、開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり、その中でもとくに推進工法の適用は多くなった。ところが、わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず、推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた。

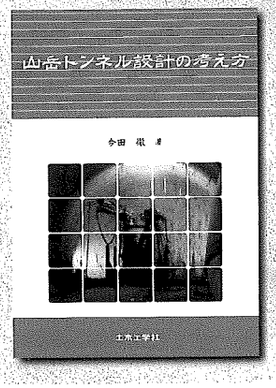
本書では、ドイツで推進工法の研究開発で著名なマックス・シェルレ博士が推進工法における いろいろな疑問について理論的に解明した古典的な名著である。博士は理論面のみではなく、実際の施工にも従事し、実務にも精通していたので、実務面の良さも持っている。

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

〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
tel: 03-3567-2888　fax: 03-3267-2807　http://www.tunnel.ne.jp
株式会社 土木工学社

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

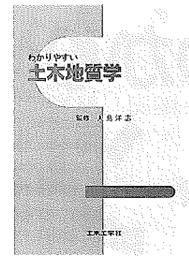
お申し込みは当社へ FAX，または，お近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)
にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上，お申し込みください．

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

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

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳
第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

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

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

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

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！

振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

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

株式会社 土木工学社

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

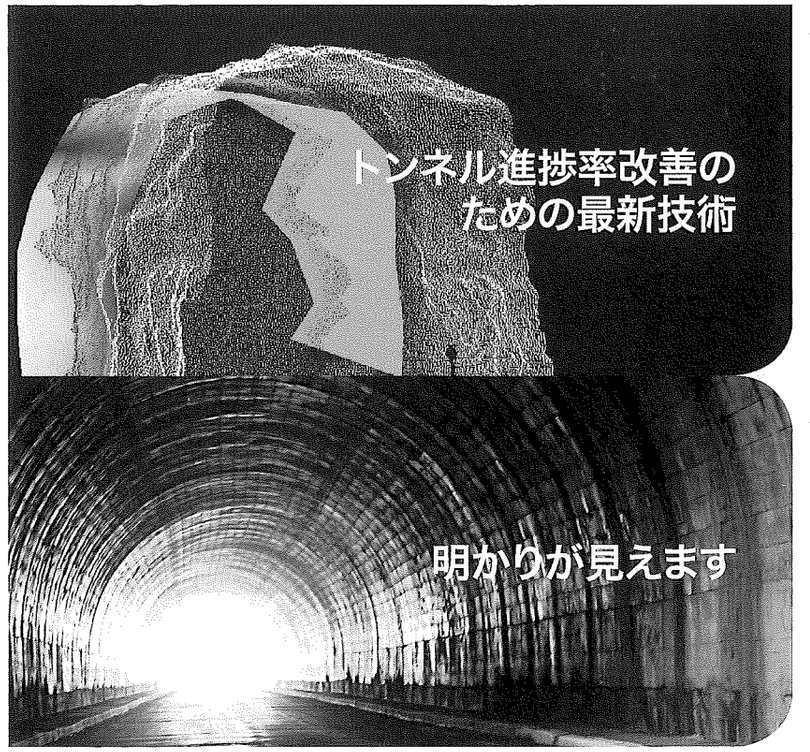
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

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㈹



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。

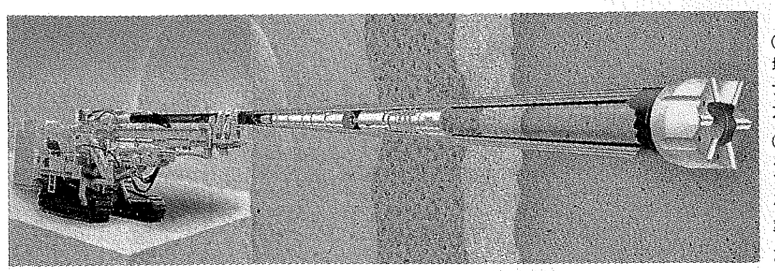
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

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

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道支店
tel ：0133-72-3715
fax ：0133-72-3716

■東北営業所
tel ：0198-26-0240
fax ：0198-26-0241

■関東支店
tel ：0268-62-1426
fax ：0268-62-1999

■大阪支店
tel ：072-677-2101
fax ：072-677-2109

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

快適な運転、優れた耐久性



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

●超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
●2重構造スーパーフレーム



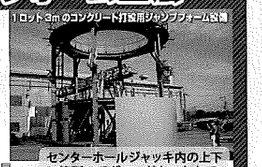
【仕様】 三菱ふそう製 FV50JJWD324		
キャブ付シャシ	全長	7.310m
	全幅	2.880m
	全高	3.060m

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

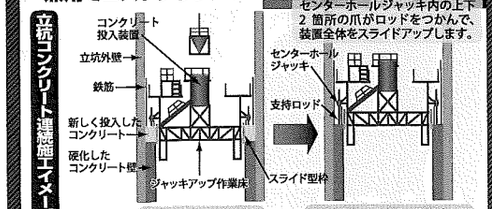
スーパージャッキシステム
トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

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

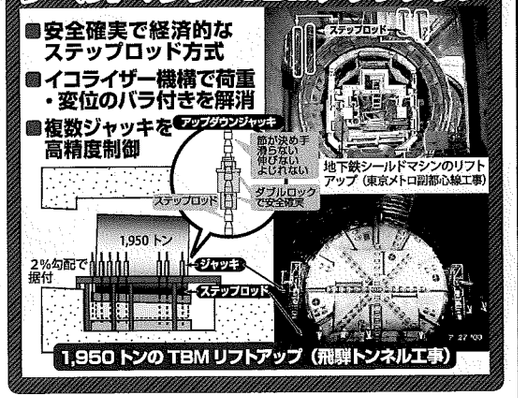


センターホールジャッキ内の上下2箇所の爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。



シールドマシン・TBMアップダウン

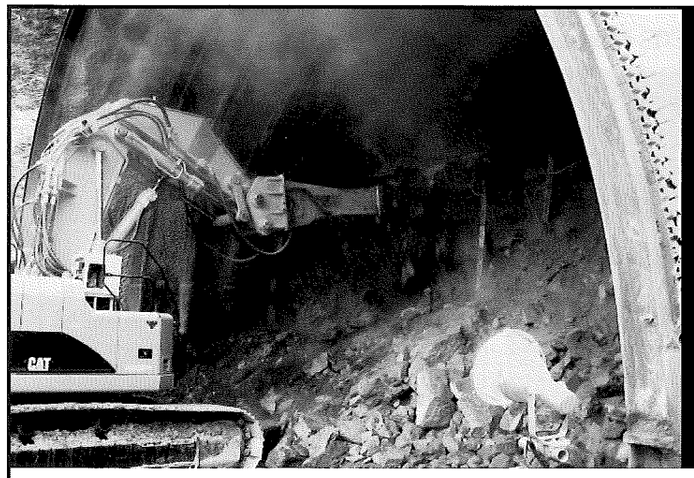
■安全確実で経済的なステップロッド方式
■イコライザー機構で荷重・変位のバラ付きを解消
■複数ジャッキを高精度制御



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

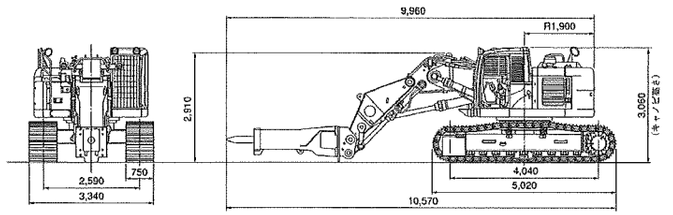
JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部 特殊工法グループ

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



大型ブレーカ

CAT325C
CAT328D



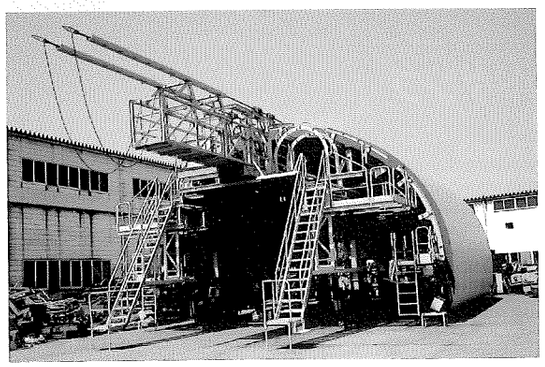
klea
株式会社 ケイ・リー
東日本支店：022-359-5331
西日本支店：06-6838-1372
尾道工場：0848-58-1124
機材センター：022-359-4951
URL http://klea.jpncat.com

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A

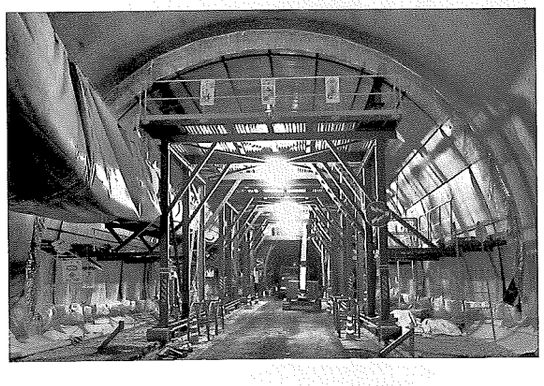


期待される効果・特徴

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

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.HR-080002-A



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501

滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789　大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

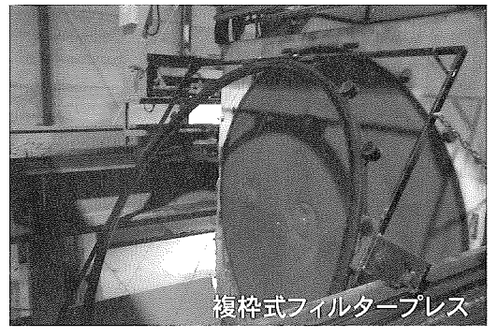
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫



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





10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

トンネルと地下　12月号目次　Vol.43, No.12, 2012 Dec.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

トンネル技術の継承と伝承

赤木　寛一……5

■研　　究

既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方

小島　芳之・野城　一栄……53

■計　　画

密集市街地での下水道管シールド立坑用地確保と周辺対策への取組み

―品川区による浜川雨水排水管工事―

武藤　　真……45

■施　　工

小土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工

―JR吾妻線付替横壁トンネルⅡ期工事―

中島　純也・鈴木　浩司・水野　弘二・岩本　義隆……7

巨礫が点在する崖錐を注入式フォアポーリングにより突破

―熊野尾鷲道路　大吹トンネル新鹿工区―

宮川　俊介・秋山　幸一・谷口　智洋……17

温泉とは？　温泉の有効利用は？　この１冊であなたの疑問を解決します!!



続 きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井　康夫・俣野　恭寛　共著

新書判217頁　本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へFAX，または，お近くの書店にてお申し込みください

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

壁厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削

―都市計画道路大和川線シールド工事―

卜部　賢一・陣野　員久・石垣　兄太・天野　　聡……25

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門(８)

―マスムーブメント・滑落崖―

「地相入門」連載講座小委員会……61

■現場だより

「ホタルの里一色」山梨県身延町より

松田　正仁……16

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

アナログ土木屋の回想

―パイロット圧気差工法による世界最大級の圧気手掘り式シールドの施工ほか―

松下　寿一……35

■資　　料

土木情報
編　集　部……34

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……73

トンネルジャーナル
編　集　部……44

「トンネルと地下」平成24年・年間総目次
編　集　部……74

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】

壁厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削
―都市計画道路大和川線シールド工事―



都市計画道路大和川線は，慢性的な大阪都心部での渋滞緩和を目的として整備を進めている「大阪都心部における新たな環状道路」の一部を形成する全長約9.9kmの自動車専用道路である．本工事は，そのうち２区間(約1.9km)を大口径のφ12.54m泥土圧式シールドで掘削するもので，発進立坑には，さまざまな制約により国内最長となる３mのNOMST壁をシールド発進法線に対して平面的に約6°偏芯して配置し，シールドで斜め切削した．写真は，シールド発進状況である．〔**写真提供**：大阪府〕(本文25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

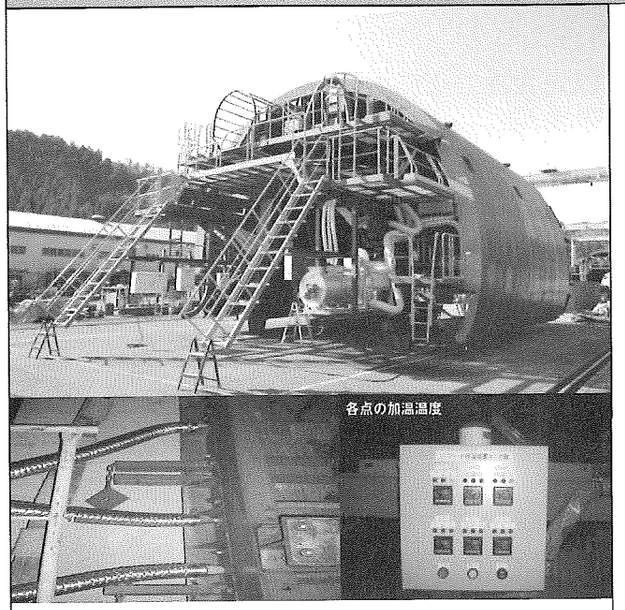
コンクリートトータル養生システム

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

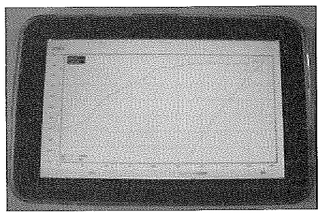
保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生





コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム





加温養生（型枠）

特殊角型鋼管を使用した型枠補鋼材から温風を送風し、型枠を加温します

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

東京支店　TEL 03-5836-0531 FAX 03-5836-0532

仙台営業所 TEL 022-259-2239 FAX 022-259-3664

九州営業所 TEL 092-918-3880 FAX 092-918-3882

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居　相　好　信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩　田　美　幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大　津　敏　郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

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

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小　松　敏　彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志　岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

福　家　佳　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

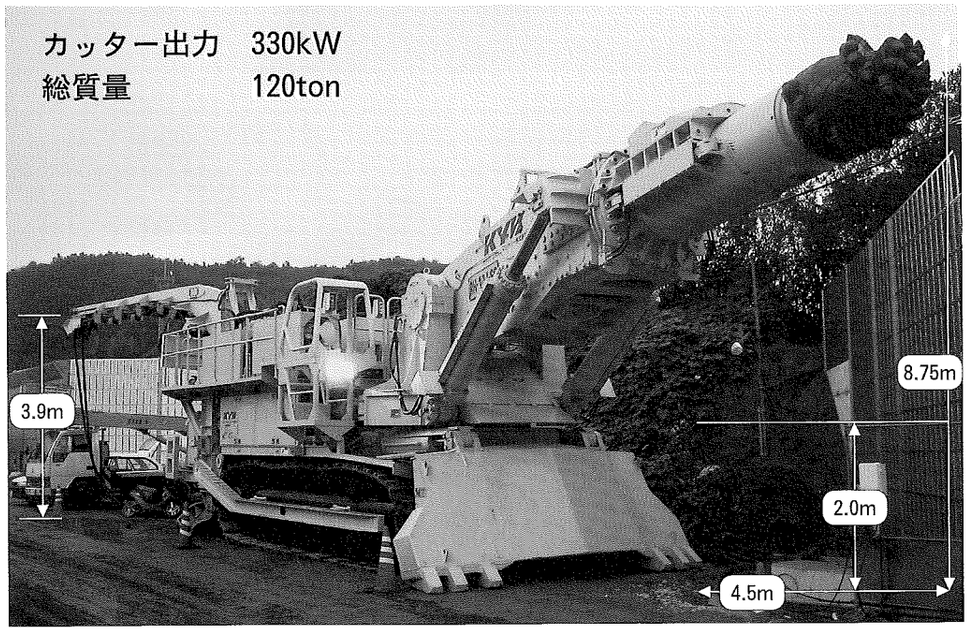
松　原　利　之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

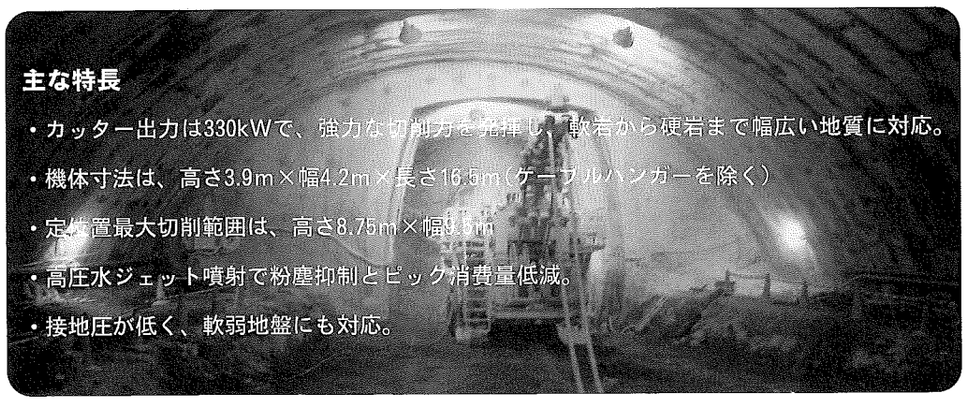
三　浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉　富　幸　雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

本社・営業　〒105-0012　東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル　TEL 03-5733-9444
カスタマーサービス相模事業所　〒252-0328　神奈川県相模原市南区麻溝台1丁目12番1号　TEL 042-767-2586
大阪支店　〒564-0063　大阪府吹田市江坂町1丁目23番地20号TEK第二ビル　TEL 06-6387-3371
西部支店　〒812-0016　福岡県福岡市博多区博多駅南1丁目7番14号 ボイス博多　TEL 092-411-4998
三重工場　〒514-0396　三重県津市雲出長常町1129番地11　TEL 059-234-4111

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

橋本定雄
（元）東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

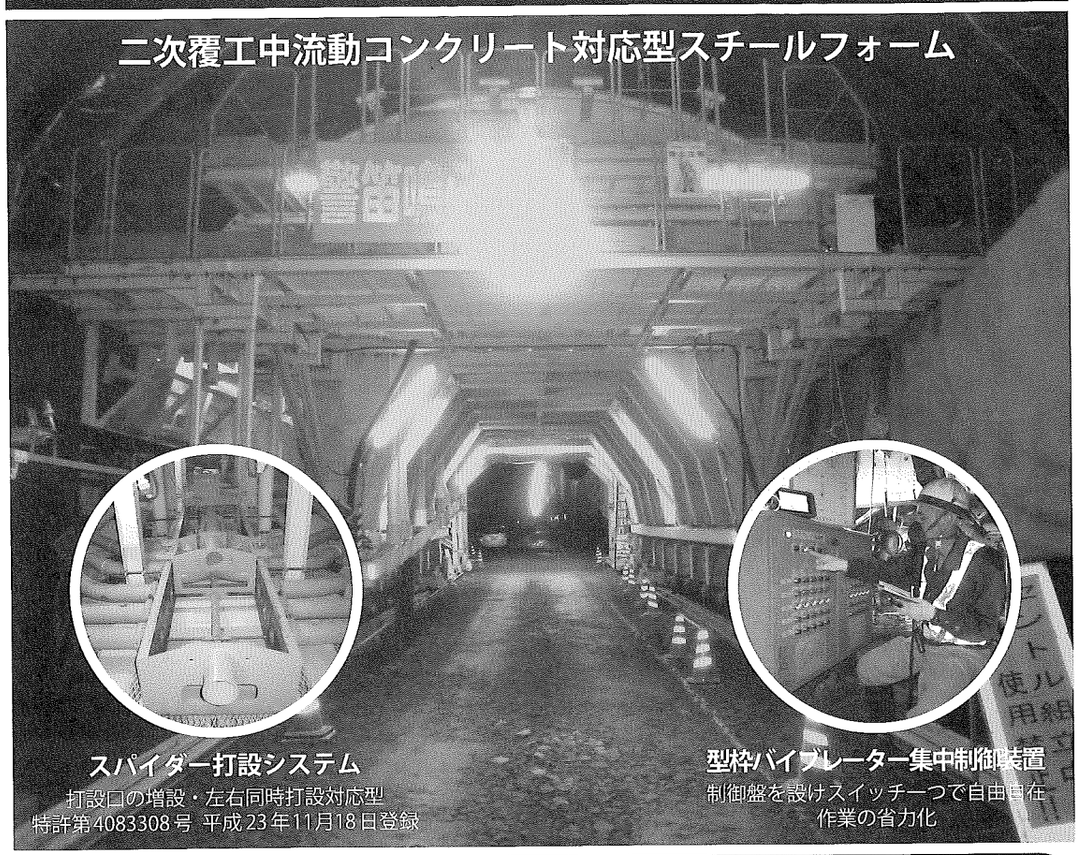
高橋晃
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

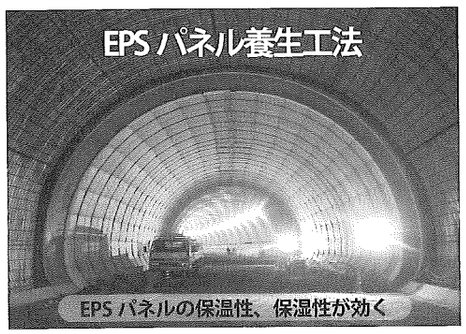
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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

平成24年4月30日　現在

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

一歩前進！　～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社

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

トンネルと地下　VOL. 43　No. 12　掲載概要

掲載頁 7

小土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工
—JR吾妻線付替横壁トンネルⅡ期工事—

東日本旅客鉄道(株)　中島　純也

国土交通省が建設を進めている八ツ場ダム事業に伴い，JR吾妻線の一部が水没するため，JR東日本では，現在，吾妻線付替工事を行っている．

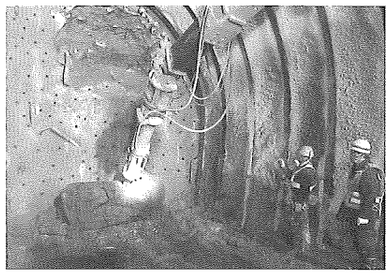
横壁トンネルは，トンネル延長1,720mのうち，終点方の約200mの土かぶりが2.2～5.3mときわめて小さいため，オープン掘削を行い，開削トンネルを構築する計画としていた．しかし，開削トンネル施工のための用地幅が確保できないことから，山岳トンネルで施工することとなった．

単線トンネルで上部置換工事を実施し，地表面の変位に留意しつつ，補助工法を行いながらNATMで施工を行った結果を報告する．

Shallow Single Track Tunnel Close to Houses—2nd Phase Works of Yokokabe Tunnel on Shifting of JR Agatsuma Line—

By Junya Nakajima, East Japan Railway Company

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has promoted the Yamba Dam Project which will submerge a part of JR Agatsuma Line of the East Japanese Railway Company. Therefore we are currently conducting shifting works of relevant track.


写真は切羽での割岩状況

Yokokabe Tunnel on Shifted line is 1,720 m in length and has extremely shallow section with cover of 2.2 to 5.3 m which is about 200 m in length near tunnel exit. Due to this small cover the initial plan was to build a cut-and-cover tunnel. Because of failure for acquisition of site for cut slope, the plan was changed to shallow tunnel built with conventional method.

This report gives information on the work results of substitution of soil cement for tunnel overburden and conventional tunnelling for single track using auxiliary methods with attention to surface displacement.

掲載頁 17

巨礫が点在する崖錐を注入式フォアポーリングにより突破
—熊野尾鷲道路　大吹トンネル新鹿工区—

(株)大林組　宮川　俊介

熊野尾鷲道路大吹トンネルの尾鷲側坑口部は，ルーズな未固結崖錐層中に直径１m以上の巨礫が点在する過去の事例が少ない地山条件であり，既知の地質情報のみでは，トンネル掘削時の切羽安定や地山挙動の予測が困難であった．そのため，施工に先立ち，坑口部の地質特性を詳細に調査したうえで，トンネル掘削時の切羽の安定性を評価し，地山性状に応じた適切な対策工を選定した．さらに，施工時に支保工の応力やトンネル周辺地山の変位などを計測し，評価することで，支保工や対策工の妥当性を確認した．

本稿では，このような特殊な地山条件のもとで，坑口部を安全かつ経済的に施工した経緯について報告する．

Penetration through Talus Ground Containing Boulders using Grouted Forepoling—Kumano-Owase Road Obuki Tunnel Atashika Section—

By Shunsuke Miyagawa, Obayashi Corporation

The ground near tunnel entrance on the Owase side of the Kumano-Owase Road Obuki Tunnel is loose unconsolidated talus deposit that contains boulders with a diameter of one meter or more. It is difficult to predict face stability and ground behaviour based on existing geological information, because we have little experience with such an unusual ground condition. For this reason, prior to construction, we evaluated face stability at the time of excavation and select measures appropriate for ground characteristics after a detailed investigation of geological characteristics at the tunnel entrance. Furthermore, we measured and evaluated the stress of steel support and shotcrete lining and ground displacement along tunnel during construction to confirm the validity of support and measures.


写真は避難坑切羽

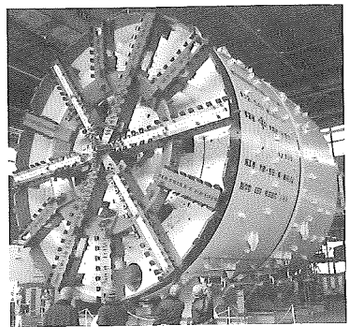
This report gives details of how the tunnel was constructed safely and economically under particular ground conditions.

掲載頁 25

壁厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削
—都市計画道路大和川線シールド工事—

大阪府　卜部　賢一

都市計画道路大和川線は，慢性的な大阪都心部での渋滞緩和を目的として整備を進めている「大阪都心部における新たな環状道路」の一部を形成する全長約9.9kmの自動車専用道路である．本工事は，そのうち2区間(約1.9km)を，泥土圧式シールド工法で施工している．発進立坑は，シールドで直接切削可能なNOMST(Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System)で構築し，さらに，さまざまな制約によりシールド発進法線に対して平面的に約6°偏芯して配置している．本稿は，国内最長となる3mのNOMST壁をφ12.54mの大口径シールドで，斜め切削した事例について報告する．



写真は泥土圧式シールド

Large Shield TBM Break through Three Meters NOMST Wall—Motorway Yamatogawa Line Shield Works—

By Kenichi Urabe, Osaka Prefectural Government

The Motorway Yamatogawa Line is 9.9 km in length that forms a part of the new ring road in Osaka city centre that has been promoted with the aim of relieving chronic traffic congestion in the city. This work is to construct 2 lots (approx. 1.9 km) of the entire line with EPB shield. The walls of starting shaft were constructed with NOMST (Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System) which allows direct breaking with a shield TBM. Furthermore, a wall inclined approximately six degrees to nomal traffic line of the shield in a plane due to various restrictions.

This report gives information on a case of breaking askew through Japan's biggest 3 m NOMST wall using large EPB shield of φ12.54 m.

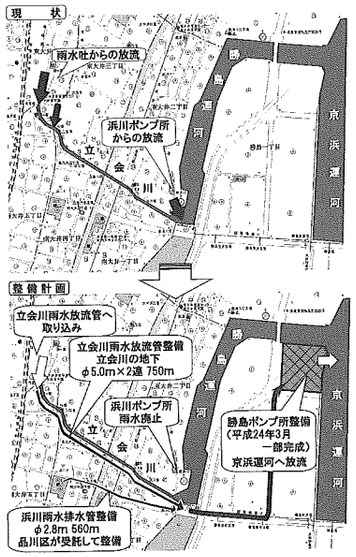
掲載頁 45

密集市街地での下水道管シールド立坑用地確保と周辺対策への取組み
—品川区による浜川雨水排水管工事—

品川区　武藤　真

下水道事業は，原則市町村の事務とされているが，東京都23区の下水道事業は，広域的観点から，東京都が事業を担っている．品川区では東京都から事業を一部受託するかたちで下水道事業を実施しており，区内における浸水対策などの下水道事業の促進を図っている．

品川区を流れる立会川は比較的小規模な河川であるが，流域の市街化が進み，浸水被害が頻発するとともに，合流式下水道からの越流水により水質の悪化が課題となっている．東京都では浸水被害の軽減および水質改善を目的として，立会川雨水放流管および浜川雨水排水管(浜川幹線)の整備を予定している．このうち，浜川雨水排水管のシールド工事について，区が受託し事業を実施する予定である．



図は立会川・勝島運河整備計画

本報告では，浜川雨水排水管シールド工事について，工事の概要，設計の考え方などを報告する．

Securing Site and Environmental Operation for a Sewage Tunnel in Crowded Area—Hamakawa Storm Sewer Works by Shinagawa City—

By Makoto Muto, Shinagawa City

Sewerage projects are, as a general rule in Japan, the work of municipalities but them in the special wards of Tokyo are promoted by the Tokyo Metropolitan Government from a large perspective. Shinagawa City has promoted sewerage projects such as flood inundation measures by accepting a part of them within the city on trust from Tokyo metropolitan government.

The Tachiai-gawa that runs through Shinagawa City is a comparatively small-scale river, but has frequently caused inundation damage due to the urbanization of the river basin and has a problem with deterioration of water quality due to influent combined sewer overflow. Tokyo Metropolitan Government has plans to develop the Tachiai-gawa untreated storm sewer and the Hamakawa storm sewer (Hamakawa sewer main) with the goal of reducing inundation damage and improving inland water quality. Hamakawa storm sewer shield works of these sewer project will be entrusted to the Shinagawa City.

This report presents a general philosophy of the process and design for the Hamakawa storm sewer shield works.

掲載頁 53

既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方

(公財)鉄道総合技術研究所　小島　芳之

筆者らは，これまで，既設の鉄道山岳トンネルの地震被害や復旧などに関する事例の分析，模型実験，数値解析を行い，山岳トンネルの地震被害メカニズムの究明と地震対策法の確立のための一連の研究を行ってきた．この成果をもとにして，既設山岳トンネルの地震対策と震災復旧のための計画・調査・設計の考え方を提案し，『既設山岳トンネルの地震対策・震災復旧マニュアル(案)』(2010年11月)を作成した．

本稿では，このマニュアルにおいて提案した地震対策と震災復旧の考え方について，その概要を紹介する．

Philosophy of Seismic Countermeasures and Disaster Repair for Existing Mountain Railroad Tunnels

By Yoshiyuki Kojima, Railway Technical Research Institute

Up until now, the authors have conducted a series of studies in order to clarify the mechanism of seismic damage and established seismic countermeasure to mountain tunnels with case analysis, model experiments and numerical analysis on cases related to earthquake damage and repair in existing mountain railroad tunnels. Based on the results of these sutudies, We published "the Proposed Manual for Earthquake Countermeasures and Disaster Repair for Existing Mountain Tunnels" in November, 2011 to propose the philosophy of plans, investigations and design for seismic countermeasures and disaster repair for existing mountain tunnels.

This report presents an outline of philosophy about the seismic countermeasures and disaster repair proposed in the manual.

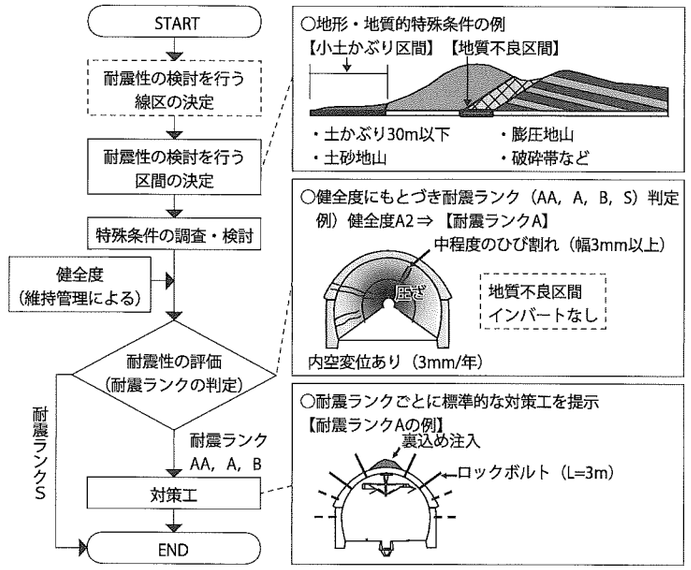
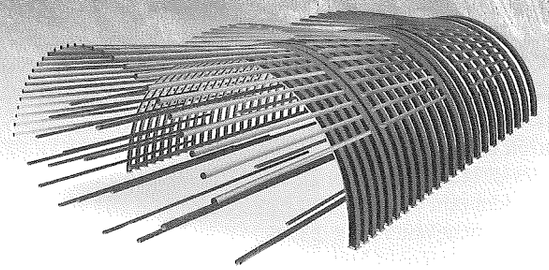


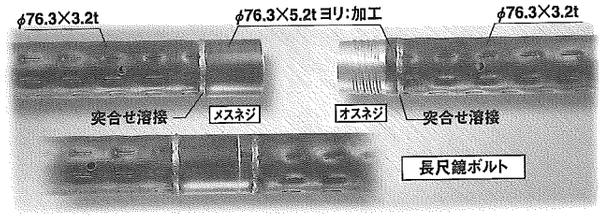
図-2　地震対策の検討の流れ

ユニークな発想でVEを提案



FIXチューブ(S型)（ストロング）

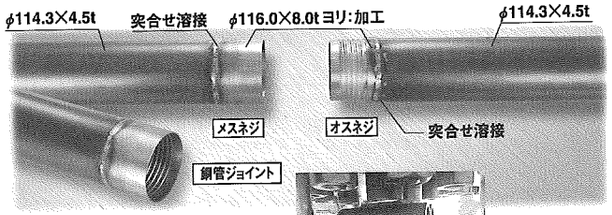
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



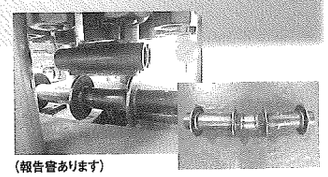


AGF-STD工法

※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!



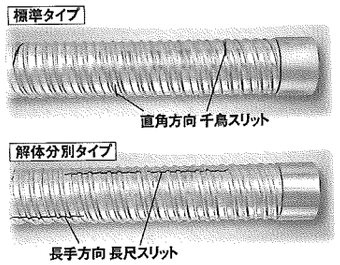
曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)

接続部の抗折力試験

撤去管の選択





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）



トンネル技術の継承と伝承

早稲田大学理工学術院教授
赤木寛一

今年は，春先よりトンネルに関係したニュースが相次いでマスコミを賑わせました．マスコミ各社は，トンネル専門家によるコメントを求めて，右往左往する事態となりました．これらのニュースを見聞きしながら考えさせられたのは，トンネル技術の継承と伝承の難しさであります．日本におけるトンネル技術は，未だ解決すべき問題は抱えながらも技術的にはほぼ成熟の域に到達したと言っても過言ではありません．その一方で，昨今の社会情勢の急激な変革の煽りを受けて，トンネル現場の減少，世代間コミュニケーションギャップなどのためにその技術を次の世代に伝えていくことがきわめて難しくなったとも言われています．日本トンネル技術協会におかれても，このトンネル技術の継承と伝承に向けた取り組みを既に始めておられます．この巻頭言では，学界に身をおく筆者が土木学会トンネル工学委員会で関係しているトンネル技術の継承と伝承を主な目的とした2つの出版事業についてご紹介して，その任を果たすことにしたいと思います．

土木学会トンネル工学委員会では，2005年10月にトンネル技術の継承と伝承を目的として技術小委員会にトンネル技術史部会を設置し，先達たちの肉声を記録し，日本における近代トンネル技術発展のプロセスを集約することとしました．このために，戦後の日本におけるトンネル技術を担ってきた先達たちへのインタビューを実施し，それをもとにして近代日本トンネル技術史に相当する『目から鱗のトンネル技術史―先達が語る最先端技術への歩み―』を2009年11月に出版しました．

具体的には，このトンネル技術史編纂の最初の仕事として，トンネル技術の継承と伝承の難しさについて，事業者，施工者，コンサルタントなどにおける実情を調査し，各分野の専門家と問題意識を共有しました．この成果を踏まえて，トンネル技術を山岳トンネルとシールドトンネルに大別し，戦後の日本におけるそれぞれの分野でトンネル技術開発を担ってきた山岳トンネル13名，シールドトンネル15名の先達たちに担当者が参上して直接お話を伺いました．その結果をもとにして，主に1945年以降のトンネル現場

の状況，各種のトンネル技術の導入，工夫，開発などの実態について，日本の近代トンネル技術史としてまとめることができました．

インタビューを重ねるにつれて，先達のトンネル技術開発に関するお話はどれも「なるほど，この技術はそういう背景で生まれたのか．」とその創意工夫と技術への思い入れに「目から鱗の」落ちる思いを抱くものばかりでありました．従来のトンネル技術史とは，一味異なるインタビューならではの臨場感と肉声の味を感じていただけるのではないかと自負するとともに，この本がトンネル技術の継承と伝承に少なからず寄与するものと期待しています．是非，ご一読いただければ幸いであります．

このトンネル技術史の編纂出版とあわせて，土木学会トンネル工学委員会で現在進められている出版事業のひとつに『トンネル用語辞典』の25年ぶりの改訂出版があります．旧版のトンネル用語辞典は，1987年３月にトンネルライブラリー第３号として出版されたものです．当時，編集委員長を務められた山本稔先生は，この用語辞典編纂の目的として，山岳，シールド，開削の３分野のトンネル技術の横割りを通してそれぞれの用語の統一を目指すとともに，海外との技術交流に資することを挙げておられました．この種の用語辞典の編纂出版を通じて，その時点でのトンネル技術に関する現状認識が記録され，保存されていくので，このたびの『トンネル用語辞典』の改訂出版は現状のトンネル技術の継承と伝承にも大きく貢献するものと期待されます．

新版の『トンネル用語辞典』は，パソコン上での利用を想定してpdfファイルに納められた辞典をDVDに収録して，用語一覧などを記載した小冊子を添えて出版する予定となっています．新版の編纂にあたっても山岳，シールド，開削の３分科会で作業を進めていますが，山本先生が目指されていたトンネル用語の統一につながるよう共通分科会を設けて用語の調整を図っています．収録予定語数は約4,100語と旧版の約2.6倍に増加させ，画像を利用した説明文など電子媒体ならではの強みを生かした辞典とすべく，編集委員会(委員長：朝倉俊弘先生)では2013年11月の出版を目指して鋭意作業が続けられています．

以上，トンネル技術の継承と伝承に関する土木学会トンネル工学委員会での活動状況の一端をご紹介させていただきました．これらのトンネル技術の継承と伝承を通して，きたる2013年が，日本トンネル技術協会，会員の皆様そしてトンネル関連業界にとって，よりよき年となるよう祈念いたします．

施工

小土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工

—JR吾妻線付替横壁トンネルⅡ期工事—

東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所高崎・長野課課員　中島純也
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所高崎工事区助役　鈴木浩司
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所高崎工事区施設技術係　水野弘二
大林・戸田共同企業体横壁JV工事事務所監理技術者　岩本義隆

1 はじめに

国土交通省が進める八ッ場ダム事業に伴い，JR吾妻線岩島駅～長野原草津口駅間のうち川原湯温泉駅を含む約６kmが水没することになる．そのため，JR東日本では，吾妻川の左岸から右岸に，約10.4kmにわたり線路付替工事を行っている．付替工事区間における横壁トンネルは，延長1,720mの鉄道単線トンネルである(図-1)．

当初，横壁トンネル終点方の196.5m間は，土かぶりが小さいことからオープン掘削により，開削トンネルにて施工する計画としていた．しかし，トンネル計画ルートに近接して家屋などがあり，施工に必要な用地を確保できなかったため，工事に着手することができない状態が続いていた．

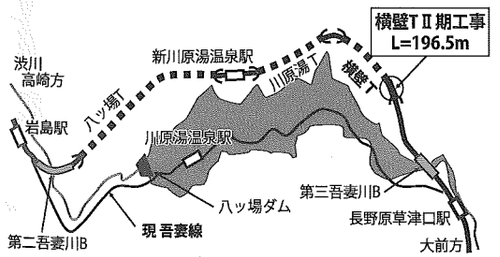


図-1　吾妻線付替概要図

本稿では，小土かぶり，転石混じりの未固結土砂地山において，民家に近接した山岳トンネルの設計，施工に際して，施工方法に関する検討内容，施工時および営業運転開始後の騒音・振動への配慮事項，施工結果などについて報告する．

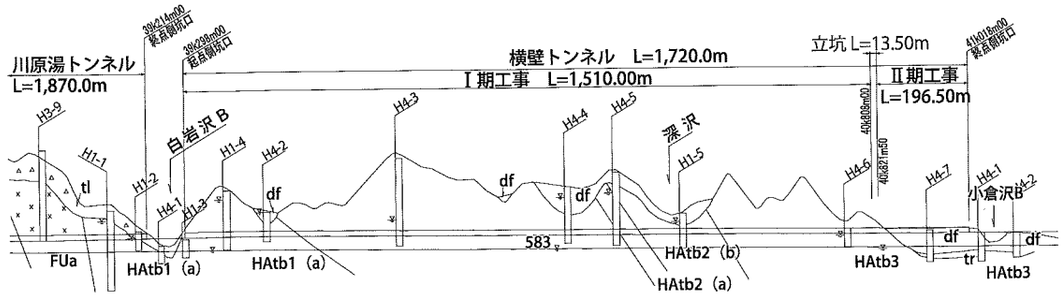
2 工事概要

2-1 横壁トンネル全体概要

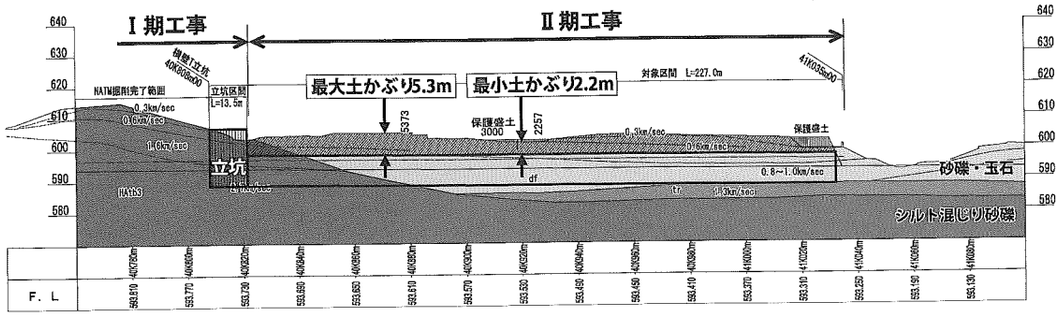
横壁トンネルは，延長1,720m，約30m²の単線馬蹄形トンネルである(図-2)．１章で述べたとおり，開削トンネルで計画していた終点方の196.5m間は，用地の関係から工事に着手できなかった．このためⅠ期工事では，付替国道との交差部に立坑を設け，国道敷に坑外ヤードを構築し，起点方に向かって1,510mのトンネル掘削を行った[1]．終点方の196.5m間については，用地確保ができてからⅡ期工事として施工することにした．

2-2 地形および地質概要

Ⅱ期工事区間は，土かぶりが2.2～5.3mときわめて小さい．地質は，新第三紀鮮新世の林層上部層の安山岩質凝灰角礫岩を基盤岩とし，その上の地表部に第四紀の段丘堆積物，土石流堆積物が分布している(図-3)．土石流堆積物は，GL－0.5～



図–2　横壁トンネル概要図



図–3　Ⅱ期工事地質縦断図

－30.8m間に分布し，φ50～500㎜の安山岩の角礫～亜角礫を主体とする礫が，70～80％と非常に多く含まれる．また，Ⅰ期工事の立坑構築時の実績より，転石，巨礫の存在も懸念された．

3　Ⅱ期工事区間の施工方法の選定

3–1　当初計画と施工法の比較検討

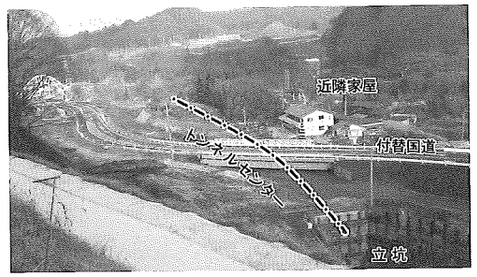
3–1–1　当初計画

Ⅱ期工事区間は，小土かぶりで民家に近接する厳しい条件に加え(**写真–1**)，事前の地質調査結果からも，礫や転石が多いことが予想されていた．とくに，Ⅰ期工事での立坑の土留め杭施工時には，2ｍを超える巨礫が出現し，杭打設が予定どおり進まず，困難な施工となった(**写真–2**)．

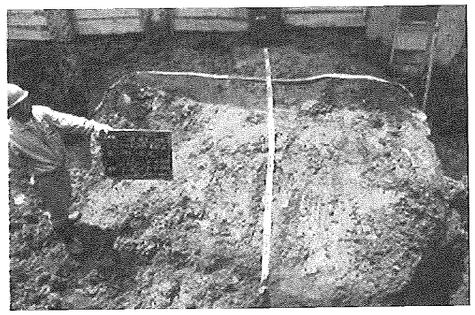
このように，Ⅰ期工事の立坑から終点方坑口に至る196.5mのⅡ期工事区間では，土かぶりが小さく，転石，巨礫の出現などの理由により，全面的にオープン掘削を行い，開削トンネルを構築する計画としていた．

3–1–2　施工方法の比較検討

当初計画のオープン掘削を行うには，約35mの

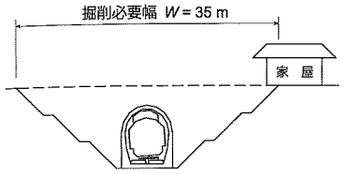


写真–1　トンネル地表部の状況



写真–2　立坑構築字の巨礫出現状況

掘削幅が必要となる．しかし，民家や墓地などの用地買収に，困難をきわめる箇所が含まれていたため，施工に必要な用地を確保できず，なかなか



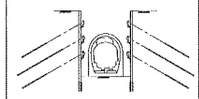
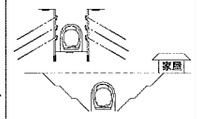
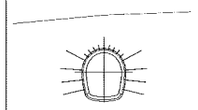
図–4　オープン掘削必要幅

工事着手ができなかった(**図–4**)．そのため，早期工事着手に向け，施工方法の再検討が求められた．そこで，「①案：土留め工法」「②案：土留め工法＋オープンカット工法」「③案：トンネル工法」の3案で比較検討を行った(**表–1**)．

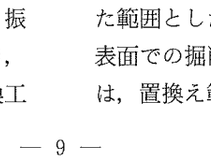
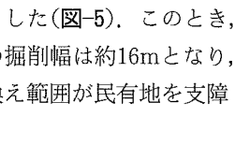
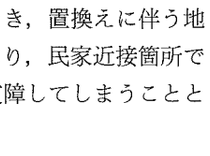
①案，②案ともに，計画ルートに近接する家屋直近での土留め杭の施工は，騒音・振動の発生，民有地内へのアンカー施工に対する了解などの問題が懸念されたため，不採用となった．

③案については，トンネル施工中，トンネル上部の用地の制約を受けないうえに，地上および周辺へ与える影響がもっとも小さいことから，トンネル工法について深度化を行うことにした．

表–1　工法比較

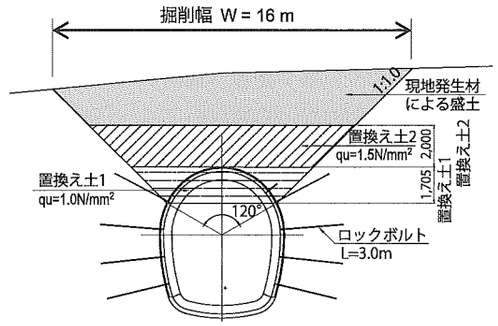
	①土留め工法	②土留め工法＋オープンカット併用	③トンネル工法
略図			
騒音振動	大きい・杭の本数多い【×】	大きい・杭の本数少ない【×】	小さい【○】
家屋への影響	影響が大きい【×】	影響が大きい【×】	影響が小さい【△】
小土かぶりでの施工	施工しやすい【○】	施工しやすい【○】	施工しにくい【△】
総合評価	×	△	○

表–2　改良工法比較

	①置換工法	②垂直縫地	③坑内からの補助工法
略図			
施工性	特殊機械はいらない【○】	転石が多いと施工時間がかかる【△】	坑内での作業となる【△】
経済性	特殊機械はいらない【○】	削孔数多い【△】	掘削サイクルに大きく影響【△】
改良効果 安全性	改良部は確実に改良でき信頼性高い【○】	注入材の流出の可能性がある【△】	トンネル天端周囲は改良可能【△】
総合評価	○	△	△

3–2　トンネル工法の深度化

土かぶりが小さい区間で，天端部や側壁部に巨礫が出現した場合，天端崩落，地表面沈下，近接する家屋への影響などが懸念された．そのため，とくに天端部の改良方法について比較検討を行った．過去のトンネル工事の実績を調査し，「①案：置換工法」「②案：垂直縫地」「③案：坑内からの補助工法」を比較した(**表–2**)．過去の鉄道工事の施工実績では，土かぶりが5ｍ未満の場合は，地表から改良する①案，②案が採用される場合が多い．本工事では，対象延長が196.5mと長いため，②案の垂直縫地では，孔数が非常に多くなり，不経済となるとともに，民家近接箇所での騒音・振動も懸念されたため，天端部を確実に改良でき，巨礫を事前に除去できる利点がある①案の置換工法を採用することとした．上部の置換範囲は，S.L.より120°とし，掘削断面より45°で立ち上げた範囲とした(**図–5**)．このとき，置換えに伴う地表面での掘削幅は約16mとなり，民家近接箇所では，置換え範囲が民有地を支障してしまうことと



図–5　上部置換図

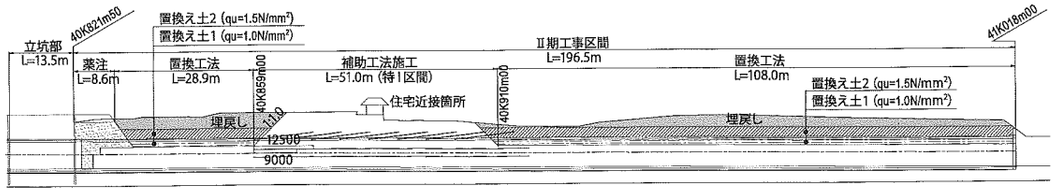


図-6　置換区間と補助工法区間

なった．そこで，用地の制約を受ける民家近接箇所は，③案の坑内からの補助工法で対応することとした(図-6)．

3-3　準備工事

3-3-1　置換工法

置換強度については，過去の実績調査，FEM解析を行い，トンネル掘削断面内上部1.7mを一軸圧縮強さ1.0N/㎟(以下，低強度)，トンネル上部2.0mを1.5N/㎟(以下，高強度)とした．なお，当該地山は，転石・巨礫を多く含み，改良土に適さないことから，購入砂を用いることとした．セメント添加量は，近傍で行った国土交通省発注工事の試験結果および室内試験結果より配合案を決定した．さらに試験施工を行い，最終配合として，低強度で82kg/m³，高強度で210kg/m³の添加量とした．セメントと購入砂の攪拌は作業ヤードで行い，現地に運搬後，締固めを行った．なお，改良体上部は，現地発生土により原形復旧を行った(写真-3)．

3-3-2　坑口付け

Ⅰ期工事の立坑から終点方に向かい，Ⅱ期工事の坑口付けを行うが，当初計画では，立坑より終点方の施工は，オープン掘削により開削トンネルを施工する予定だったため，Ⅰ期工事で施工した立坑土留めアンカーの多くがトンネル掘削断面に支障することとなる．親杭および腹起しを撤去する際に，原地山のまま坑口付けを行った場合，土留め背面の地山が不安定になり，崩壊が懸念された．そのため，土留め背面の改良については薬液注入工による改良とした(図-7)．

また，トンネル掘削断面に支障するアンカーについて検討した結果，存置できるものは16本中1本のみであり，15本は撤去が必要なことが明らかとなった．このため，代替アンカーの設計を行い，新たに6本のアンカーを追加施工した．



写真-3　上部置換状況(終点坑口より臨む)

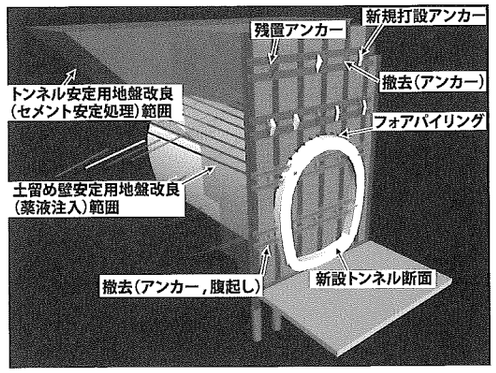


図-7　Ⅰ期工事の土留めアンカー

3-4　トンネル工事

Ⅱ期工事は，施工延長196.5mの単線トンネルであり，土石流堆積物からなる地山であることから，機械掘削方式を採用した．掘削工法は，補助ベンチ付き全断面掘削工法とし，S.L.−1.5mを補助ベンチ高とした．なお，補助ベンチ長は，支保工間隔と同じ1.0mとした．坑内運搬方式は，掘削延長が200m未満のため，タイヤ方式を採用した．

3-4-1　上部置換区間の支保工

上部置換区間の支保パターンは，吹付けコンクリート(t=200㎜)，鋼製支保工(H125)，ロックボルト(L=3.0m)を基本とした．なお，トンネル上部は，セメント改良により置換を行って安定していることから，天端部のロックボルトは省略した(図-8)．また，側壁部のロックボルト(L=3.0m)については，削孔時，孔壁が自立しない箇所では，自穿孔ボルトを使用した．

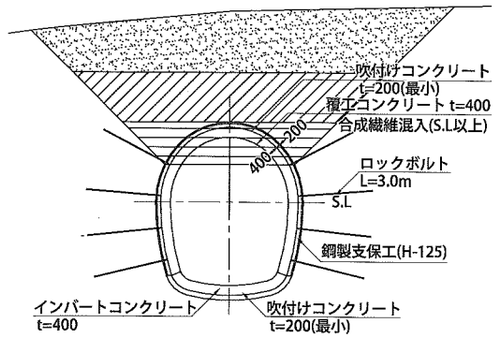


図-8　上部置換部の支保パターン

3-4-2　民家近接区間の補助工法および支保工

トンネル上部の置換に際して，一部，民家に近接する区間(以下，特Ⅰ区間)では用地の制約を受け，上部置換を行うことが不可能であった．とくに，トンネル断面右側は民有地であり，設計トンネル掘削ラインより，用地境界まで400㎜程度しか確保できないという厳しい制約を受けた．このように特Ⅰ区間は，土かぶりが約3.0mときわめて小さく，かつ民家に近接することから，Ⅱ期工事区間の中でもっとも注意を要する箇所として捉えていた．そのため，地表からの置換工法に代えて，トンネル坑内からの補助工法により施工を行うこととした．

天端部の安定のため，ϕ114.3㎜，L=12.5m，13本/断面の長尺先受け工(AGF)を採用した．長尺先受け工は9.0mシフトで施工するのが一般的であるが，本区間は6.0mシフトとし，常に鋼管改良体をラップさせることにより，天端沈下に対して高い剛性を確保できるようにした．しかし，トンネル断面右側の2本については，鋼管の先端部分が民有地内に入ってしまうため，短尺の注入式フォアポーリング(L=3.0m，@1.0m)とした．また，鏡面の安定のために鋼管ボルト(ϕ76.3㎜，L=12.5m，14本/断面)を施工した．

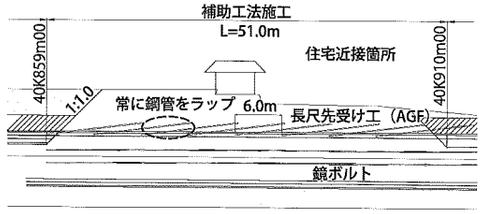


図-9　特Ⅰ区間補助工法図

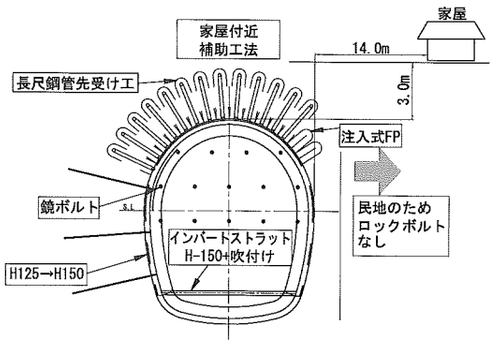


図-10　特Ⅰ区間支保パターン

同様に，トンネル断面右側のロックボルトについても民有地内への打設ができない．しかし，標準支保パターンの支保部材であり，土砂地山における側方すべりに対する効果を期待し，左側のロックボルトについては打設することとした．なお，右側のロックボルトを省略することに対するトンネルの安定性の確保を目的として，鋼製支保工のランクアップ(H125→H150)およびインバートストラットを設置した(図-10)．

3-4-3　巨礫への対応

トンネル掘削時，坑外に搬出できない大きさの巨礫が出現した場合，切羽で割岩しなければならない．上部置換区間では，置換に伴う掘削時に天端部の巨礫撤去が可能であるが，側方部に巨礫が出現し抜け落ちた場合，トンネルの安定性を損なう可能性があった．とくに，土かぶりが小さく家屋が近接している特Ⅰ区間において，大型ブレーカで巨礫を割岩した場合，地表部に騒音・振動が伝播することが懸念された．また，今回のトンネル断面で採用可能な大型ブレーカの破砕力では，割岩できない巨礫が出現した場合，掘削ができなくなることが想定された．その対策として，穿孔

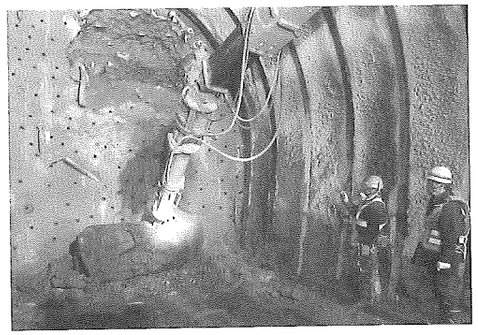


写真-4　切羽での割岩状況



写真-5　計測小屋とターゲット

した孔に油圧力によりくさびを打ち込み，くさびを拡幅させて巨礫を破砕する超大型油圧式割岩機を配置し，騒音・振動を極力低減させる施工法を採用した(**写真-4**)．

3-4-4　施工機械の選定

掘削機械は，油圧ブレーカ(900kg級)，バックホウ(0.25 m³級)を主とし，巨礫対応の割岩機も配置した．ずり出し機械は，トンネル掘削時の施工基面幅の制約により，タイヤ方式で使用するホイールローダ(1.5m³)と10tダンプの組み合わせが不可能であり，かつ掘削延長も200m未満であることから，切羽から立坑入口までロードホールダンプ(3 m³)で直接運搬する計画とした．吹付け機は6～22m³級(コンプレッサー搭載型)とし，ジャンボは，2ブーム1ケージ式，190kg級を使用した．

4　特Ⅰ区間の計測工

4-1　計測体制

特Ⅰ区間の51.0m間は，民家が近接しているため，通常区間のA計測(内空変位測定，地表面沈下測定)に加え，①地表面沈下計測(自動追尾式トータルステーション)，②据置き型地表面傾斜計A(加速度センサータイプ)，③据置き型地表面傾斜計B(家屋の傾斜測定のための高精度の傾斜測定)を設置して計測を行った．

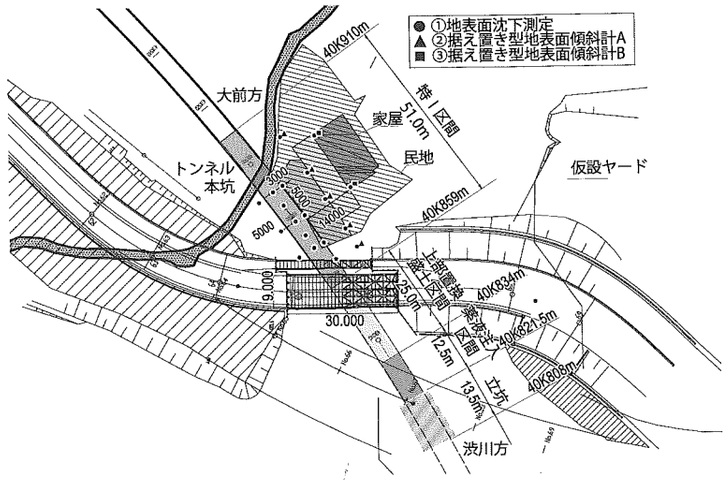


図-11　特Ⅰ区間計測工

地表面沈下計測の測定は，延長方向5 m間隔，計25か所の計測点を設置し，掘削に伴う地表面沈下を自動追尾式トータルステーションで24時間計測による監視を行った．トンネル横断方向にもっとも大きな傾斜が発生されると予想される民有地との用地境界に傾斜計を5か所設置した．設置した傾斜計は，加速度センサータイプの据置き型二軸傾斜計とし，縦横断方向の傾斜計測を行った．また，都市土木における近接構造物の計測管理にも用いられている高精度据置き型二軸傾斜計を家屋の土間コンクリート上に設置し，縦横断方向の傾斜計測を行った(**図-11**，**写真-5**)．

4-2　管理基準値

地表面沈下，傾斜計などの計測値を施工に反映させることを目的とし，地表面管理基準値の予測値をFEM解析により決定した．FEM解析の結果，

表-3　管理基準値

管理レベル		Ⅰ(予測値)		Ⅱ(ⅠとⅢの平均値)	Ⅲ(限界値)
管理規準値	地表面沈下(mm)	21mm		32mm	44mm
	トンネル天端沈下(mm)	20mm		31mm	42mm
管理体制区分		通常体制	注意体制	警戒体制	厳重警戒体制
予想される事象		切羽・支保安定		切羽押出し	切羽はく落
管理体制	定期計測通常施工		通常施工	施工中断	施工停止
			計測頻度・点検強化	応急対策検討	対策工協議
				計測間隔・頻度強化	管理規準値の再評価

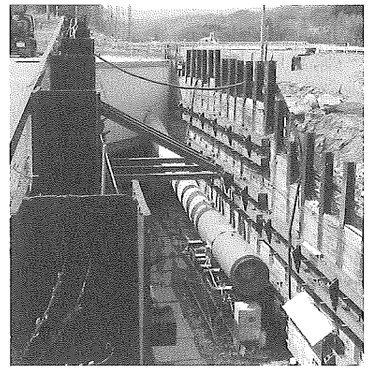


写真-6　坑口部防音対策

トンネル直上部の地表面沈下量は21mmと予測され，さらに，天端部に限界ひずみが発生するまでのケースを解析し，その地表面沈下量は44mmとなった．解析結果より，地表面沈下量，天端沈下量に対応する管理レベルと管理体制をまとめ，実際の施工に反映させた(**表-3**)．

5　トンネル掘削結果

5-1　近隣家屋に対する作業上の配慮事項

当初計画では，立坑部(発進坑口)を防音壁，防音上屋で囲い(**写真-6**)，10h 2方での作業を計画していた．しかし，深夜時間帯での近隣住民への影響を考慮し，作業時間帯を7：00～24：00に限定し，1の方を7：00～16：00，2の方を16：00～24：00とした．

さらに，民家近接箇所である特Ⅰ区間では，ブレーカ掘削，ずり出しなど，騒音・振動が家屋に影響する作業は，21：00までに限定した．

5-2　トンネル掘削状況

トンネル掘削は，立坑土留め鋼材の切断(鏡切り)から慎重に開始した．湧水は滲む程度であり，当初より心配されていた土留め背面の地山崩落はなく，薬液注入の効果が確認できた．その後，特Ⅰ区間までの延長37.5m間は，巨礫の出現はなく，上半先進ミニベンチ工法で掘削を行った．進行は日進1.79m，月進換算で43mであった．

その後，トンネル内からの補助工法(長尺先受け工と鏡ボルト併用区間)を採用した特Ⅰ区間に入り，延長51m間を日進1.16m，月進27.8mで施工した．長尺先受け工および鏡ボルトの削孔は，高い確率で転石に当たるため，通常に比べ多くの削孔時間を要した．注入材は，転石が多数存在する未固結な礫質土であることから，シリカレジン系を採用した．

特Ⅰ区間は，民家にもっとも近接して掘削する区間であり，民家周辺およびトンネル直上の変位を自動計測にて監視しながら掘削を行った．切羽通過約8 m手前で地表面が数mm隆起し，切羽通過時は沈下する現象が見られた．切羽通過前の隆起は，長尺先受け工の注入による影響と推測される．施工前後での地表沈下量の最大値は4 mmで収まり，近接する民家への影響はなく，補助工法の効果を確認することができた．また，天端沈下，内空変位とも3 mm程度で収まった．民有地側(トンネル断面右側)にロックボルトを打設できないため，左右の内空変位差によるトンネルの変形が懸念されたが，計測誤差以上の変位差は認められなかった．

また，鏡ボルトについては，切羽の押出しや崩壊もなく，その効果が高く発揮され地山に適合した工法であったと考えられる．

特Ⅰ区間通過後，地表から上部置換え工法を行った残り108m間の掘削は，天端部の改良地山が安定していることから，崩落や抜け落ちなどもなく順調に掘削することができた．この区間の日進2.29m，月進54.9mであった．掘削時には，1 mを超える礫も出現したが，切羽での超大型油圧式割岩機による割岩は数回程度であった(**写真-7**)．

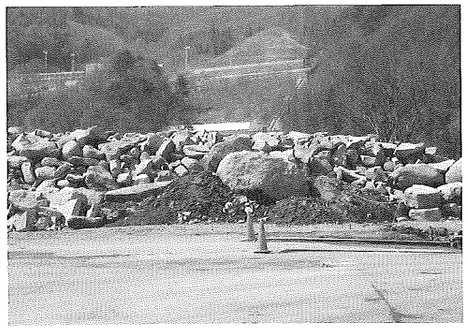


写真-7　掘削した礫状況

5-3　特Ⅰ区間のインバート施工

当初計画では，トンネル貫通後に特Ⅰ区間のインバートの施工を行う計画であった．しかし，インバート施工時の作業音が，到達坑口からトンネル外部に漏れることを防ぐため，貫通まで3mを残した状態で，特Ⅰ区間のインバートを施工した．インバート施工に際しては，小土かぶりであるためインバートストラット撤去時に大きな変位が出ることが懸念された．しかし，インバートストラット撤去，インバート掘削，吹付けコンクリートを連続的に施工した結果，内空変位，天端沈下，地表面沈下とも顕著な変位の増加は確認されなかった．

6　軌道敷設計画

6-1　騒音・振動に配慮した軌道構造

施工中の騒音・振動だけでなく，営業運転開始後の列車走行時の地上部への騒音・振動に配慮した軌道構造の比較検討を行った．

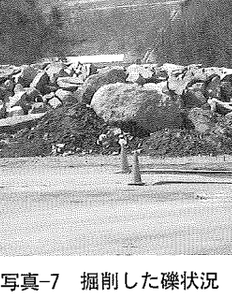
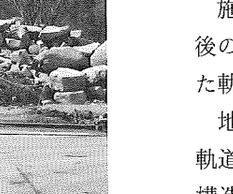
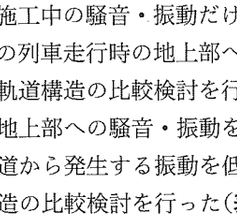
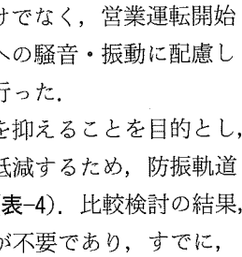
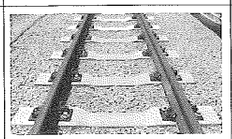
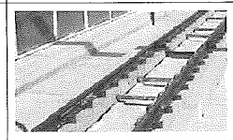
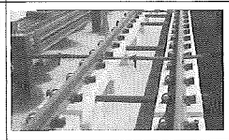
地上部への騒音・振動を抑えることを目的とし，軌道から発生する振動を低減するため，防振軌道構造の比較検討を行った(表-4)．比較検討の結果，トンネル断面形状の変更が不要であり，すでに，JR東日本で使用承認を受けている軌道構造の中で，騒音・振動に対する防振効果がもっとも優れている角型防振装置式フローティングラダー軌道を採用することとした(図-12)．

6-2　台座コンクリートの施工

施工順序は，インバート施工後，覆工コンクリートを施工するため，課題としては以下の点があげられた．

① インバート施工時にラダー軌道の台座コンクリートまで施工した場合，覆工背面の防水シートや覆工コンクリートの鉄筋の運搬時に車両系機械の通行が困難となる．

表-4　軌道構造の比較

	弾性バラスト軌道 【当初計画】	L形台座防振材式 フローティングラダー軌道	角型防振装置式 フローティングラダー軌道	コイルばね防振軌道
略図				
写真				
経済性	○	△	△	×
設計仕様承認	あり	なし	あり	なし
トンネル断面への影響	—	断面変更なし	断面変更なし	断面変更あり

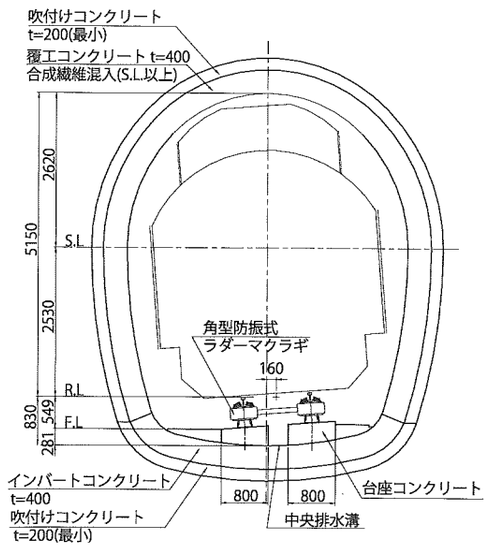


図-12　フローティングラダー軌道断面図

② 台座コンクリートのアンカー筋をインバート施工時に埋込む必要があるが，アンカー筋が突き出し，後続の作業の障害となる．

このような施工上の課題に対し，台座コンクリートを凸形状とするのではなく，インバート上の床版コンクリート高さを設計高さより高くすることにより，台座コンクリート部を凹形状に箱抜きし，覆工コンクリート施工時には，H形鋼，敷鉄板で養生することで，車両通行が可能となるように工夫した(図-13)．

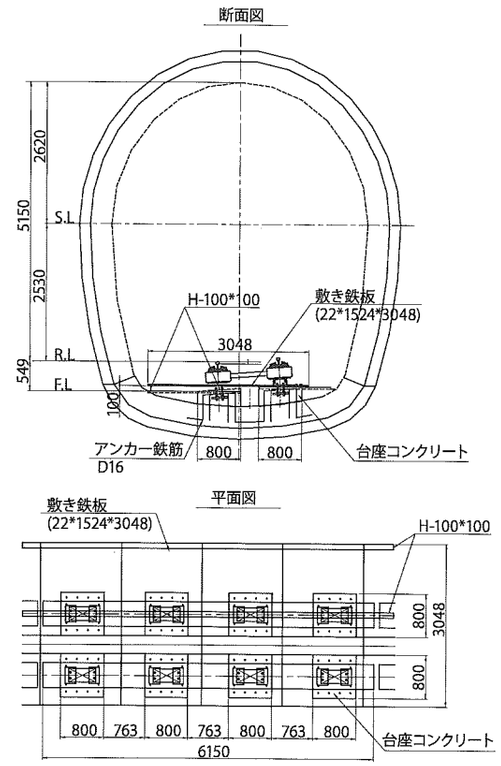


図-13　台座コンクリートの施工

7　おわりに

横壁トンネルⅡ期工事では，用地の制約により，開削トンネルを山岳トンネルに変更し施工を行った．山岳トンネルの施工に際しては，極小土かぶり，転石混じりの未固結土砂地山，民家に近接などのさまざまな厳しい制約条件下にあった．しかし，施工方法，補助工法などについて十分な検討を行い，入念な計測・施工管理のもと慎重な施工を行った結果，無事に掘削を終えることができた．

今回の工事にあたり，ご指導，ご助言をいただいた関係各位に厚く感謝の意を表します．

参考文献

1) 岡野法之・辻徹・中島純也・河南幸治：単線断面でトンネルワークステーションに挑戦，JR吾妻線付替横壁トンネル，トンネルと地下，Vol.36，No.10，pp. 7-16，2005.10.

建設工事の地質診断と処方
石井康夫・矢嶋壯吉 共著　A5判326頁　本体定価4,300円(〒340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



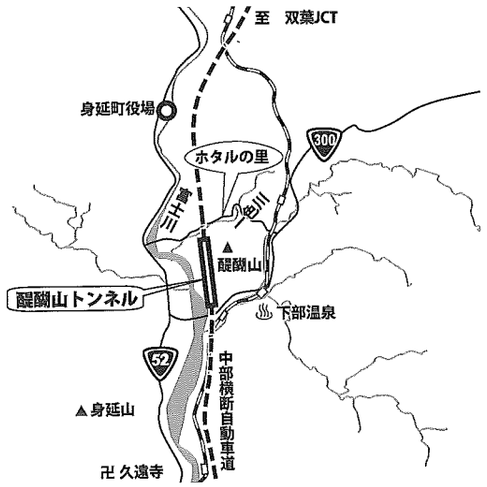
「ホタルの里一色」山梨県身延町より

松 田 正 仁

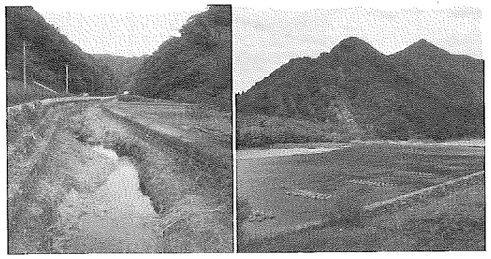
身延町は山梨県の南部に位置し，その中央を，北から南に日本三大急流の一つである富士川が流れる自然豊かな町である．地形的に平坦となったところは，富士川沿いと支流の中～下流域およびその合流付近にかけてのみであり，狭隘な山々と富士川沿いを縫うように集落や交通網が発達している．

主要な交通路であるJR身延線および国道52号が，それぞれ富士川の東西を南北に走り，中央東部を国道300号が東西に走る．これらに沿って町の見どころである，北部の「和紙の里なかとみ」，南部の「身延山久遠寺」，早川町内に飛び地で存在する西端の「七面山」，東部の「下部温泉郷」や富士五湖の一つである「本栖湖」がある．

醍醐山は，一色地区および波高島地区にかけて広がる標高634.8mの急峻な山地からなり，今話題の東京スカイツリーと同等の高さを有する．当現場「醍醐山トンネル」の現場名に冠するように，その地を代表する雄大な山として地元に密着し，住民から親しまれている．山のすぐ西を流れる富士川へは一気に落ち込み，飯富地区からの眺望では，対岸に実に壮大で圧巻な「屏風岩」が形成されている．この屏風岩は，高さ218m，幅136mに及ぶ岩盤が四十四に折れてあたかも半



位 置 図



(左)ホタルの里　一色川
(右)醍醐山(中央右奥)と屏風岩(正面手前)と富士川

屏風に似ているのでこの名がある．

醍醐山の北側を流れる一色川は，ホタルの自然繁殖で東日本一を誇る．かつて一色川のホタルは農薬と合成洗剤の使用や乱獲により絶滅の危機となり，地元の子供や女性たちの呼びかけで保護活動が始まった．台風の急な出水で，ホタルのエサとなるカワニナやホタルの幼虫が流されるため，護岸にこけが生えるように工夫したホタル水路を築造したり，カワニナ避難用のホタル池を造成したりしている．ホタルは7月に孵化し，幼虫として約9か月かけて育ったのち，5月下旬から6月下旬にかけて成虫となって飛び回る．

一色地区では，ホタルが飛ぶ時期には，川沿いにガードレールなどに遮光ネットを張り，また，乱獲防止のためにパトロールなどを実施するなど保護活動に力を入れている．6月第2土曜日にはホタル祭りが開催され，観光面でも「ホタルの里一色」として付加価値を高めている．

中部横断自動車国道は，静岡県静岡市を起点に山梨県甲斐市を経由して長野県小諸市に至る延長132kmの高速自動車道である．沿線の方々が安心して暮らせるネットワークの構築，物流体系の確立などに寄与すると期待されている．醍醐山トンネル工事は延長2,409mで，平成22年5月より掘削を開始し，平成24年10月末現在，1,570mの進捗である．

現場では，「地域環境に配慮した醍醐山トンネル工事にむけて」のスローガンのもと，平成26年3月の竣工に向け鋭意工事を進めている．

(戸田建設(株)醍醐山トンネル作業所長)

施工

巨礫が点在する崖錐を注入式フォアポーリングにより突破

—熊野尾鷲道路　大吹トンネル新鹿工区—

(株)大林組熊野大吹トンネル工事事務所所長　宮 川 俊 介
(株)大林組熊野大吹トンネル工事事務所現場代理人　秋 山 幸 一
(株)大林組熊野大吹トンネル工事事務所工事長　谷 口 智 洋

1 はじめに

一般国道42号熊野尾鷲道路は，三重県尾鷲市と熊野市を結ぶ延長18.6kmの自動車専用道路である．この地域は，年間降雨量が約4,000㎜の豪雨地域であり，代替路線として，医療や防災面における地域住民の安全・安心の確保や，恵まれた自然環境や歴史的文化遺産を活かした地域振興を支援する道路として期待され，鋭意，建設が進められている．

そのうち，大吹トンネルは最終点側に位置する延長3.3kmの山岳トンネルで，尾鷲側，熊野側に工区を2分割し，施工が進められている．尾鷲側坑口部は，直径1ｍを超える巨礫が崖錐層中に点在する過去の施工事例が少ない地山条件であり，トンネル掘削時の巨礫の抜落ちや，それに起因する地山崩壊などの地山挙動の予測が困難であった．

本稿では，上記の地山条件のもと，坑口部を安全に施工した経緯について報告する．さらに，補助工法として採用した注入式フォアポーリングについて，FEM解析により注入効果を検討した結果も示す．

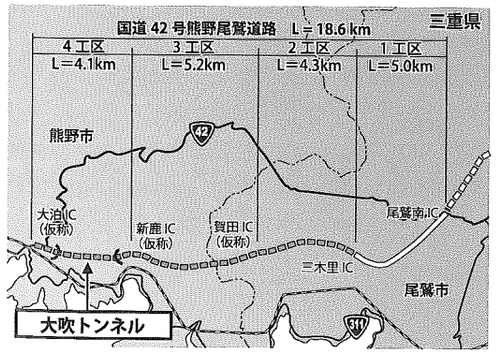


図-1　位置図

2 工事概要

工事概要を**表-1**に示す．大吹トンネル延長3,313mのうち，本工事では尾鷲側の1,421mを担当した．交通運用形態は暫定2車線であり，換気

表-1　工事概要

工事名	平成20年度熊野尾鷲道路 大吹トンネル新鹿工区工事	
工事場所	三重県熊野市新鹿町	
工期	平成21年3月11日～平成24年3月16日	
発注者	国土交通省中部地方整備局	
施工者	(株)大林組	
工事内容	本坑	延長　1,420.969m 掘削断面積　75.2～92.5m²
	避難坑	延長　1,374.971m 掘削断面積　16.0～18.7m²

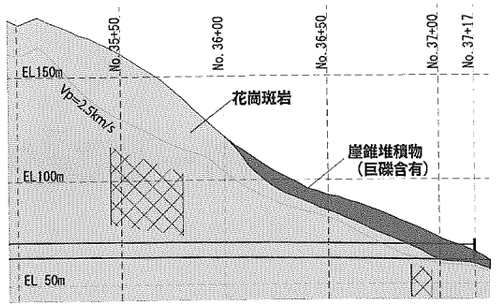


図-2　坑口部地質概要

方式として防災等級がAの縦流換気方式(換気区間長2,000mを超える)を採用しているため，避難坑を有する．

地形は，急峻な山地が海に迫るリアス式海岸地域に位置することから，平地部が狭く，山地部に直線状の谷や断層鞍部が複数分布する．本工事の坑口部は久保川により低地部が形成されるも，山地部との縁辺部は崖錐が緩傾斜に分布する．

地質は，主に熊野酸性岩類の硬質な花崗斑岩で構成され，崖錐が分布する坑口部は，直径１m以上の巨礫が点在する(図-2)．

3　巨礫を含有する崖錐層における技術的課題

坑口部の崖錐層中に巨礫が点在する地山条件でのトンネル施工事例は少なく，既往の施工事例を参考とした補助工法の選定は困難であった．そのため，地山性状に応じた適切な補助工法を選定し，安全性と経済性を確保しながら，トンネル掘削作業を行うことが課題であった．

表-2　坑口部施工における技術的課題

検討・実施事項	内　　容
①地質特性の詳細調査	・切羽安定性に影響を与える巨礫の大きさ，崖錐層中の分布状況，崖錐堆積物の強度・変形性能など，地山性状の事前把握
②切羽安定性の評価と対策工の選定	・地山調査結果をもとにした切羽安定性の評価 ・切羽の安定を確保できる掘削工法および補助工法の選定
③施工時の支保工や対策工の妥当性確認	・支保構造の妥当性確認 ・周辺地山の挙動の把握などによるトンネルの安定性評価

当課題を解決するためには，施工に先立ち，坑口部の地質特性を詳細に調査したうえでトンネル掘削時の切羽安定性を評価し，その結果を対策工の選定に反映する必要がある．さらに，掘削時の地山挙動を把握し，支保工や対策工の妥当性を速やかに確認することが重要となる．本工事における課題解決に向けた検討・実施事項を表-2に示す．

4　技術的課題の解決策

4-1　地質特性の詳細調査

トンネル掘削時において，巨礫が切羽の安定性に与える影響は，巨礫の大きさや分布性状，巨礫を内包する崖錐堆積物の強度・変形特性に左右されると考えられる．そのため，図-3に示す調査ボーリング(水平１本，垂直10本)を計画するとともに，鉛直ボーリング孔で標準貫入試験と水平載荷試験を行い，切羽の安定性評価に必要となる崖錐堆積物の強度・変形特性を把握した．さらに，トンネル脚部の安定性を評価するために，坑口付け後のトンネル基盤高で平板載荷試験を実施した．

4-2　切羽安定性の評価

対策工の選定に先立ち，以下に示す２つの評価方法により切羽安定対策の要否を判断した．

（１）　切羽安定実績図を活用した切羽安定性評価法

トンネルの土かぶり比と変形係数(≒みかけ弾性係数)の関係から切羽安定性を評価する手法で，多数の施工実績にもとづいて，切羽の安定性を「安定領域」「やや不安定領域」「不安定～崩壊領域」の３段階で評価するものである(図-4)．これにより，巨礫を内包する崖錐層としての切羽安定

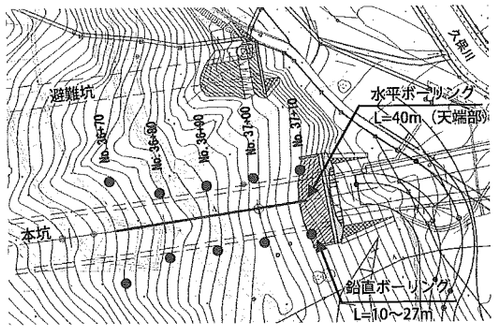


図-3　調査ボーリング平面図

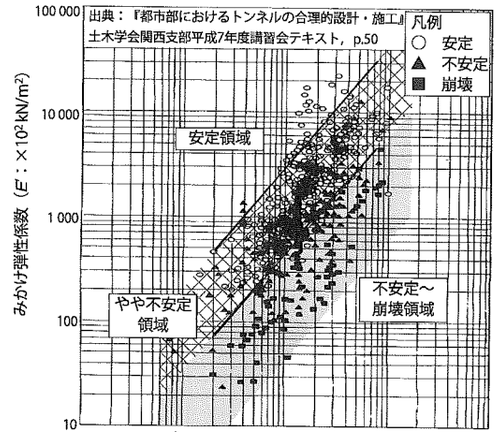


図-4　切羽安定実績図

性評価が可能となる．

（２）　避難坑施工結果にもとづく切羽安定性評価法

本坑に先立ち掘削する避難坑において，切羽の安定性や巨礫の抜落ちの有無などに着目した施工結果を，本坑の切羽安定性評価に反映する手法である．これにより，巨礫を含む地山としての切羽安定性評価が可能となる．

4-3　対策工の選定

地山性状に応じた適切な補助工法の選定を可能とするため，前述の調査ボーリングで得る地山物性値を活用し，「掘削時の前方地山のゆるみ幅と鏡面の安定性の評価」および「許容支持力度にもとづく支保工脚部の安定性の評価」を行い，避難坑の施工結果をあわせて考慮し，対策工を選定する．

4-4　支保工・補助工法の妥当性確認

（１）　支保工応力測定の実施

坑口部における支保部材の応力状態を把握する目的で，図-5に示すB計測(鋼製支保工応力測定，吹付けコンクリート応力測定，ロックボルト軸力測定)を計画した．これにより，個々の支保部材の応力照査や作用荷重分担率の把握ができるため，支保構造の妥当性を確認できる．

（２）　天端部先行変位測定の実施

坑口部は土かぶりが小さく，地山の緩みが地表面まで達しやすい．本工事では，巨礫の存在により緩みが拡大して地山崩壊につながることが懸念された．そのため，4-1節で述べた水平ボーリング孔に圧力式沈下計を設置し，切羽前方地山の沈下量を計測することとした．これにより，掘削時の先行変位(切羽到達までに発生する沈下量)や緩み範囲を定量的に把握できるため，異常な先行変位に対して早期対応が可能となる．また，NATMにおける先行変位は全変位の30～40%程度となる場合が多く，先行変位を把握することで，最終変位の予測が可能となり，対策工の妥当性を早期に確認できる．

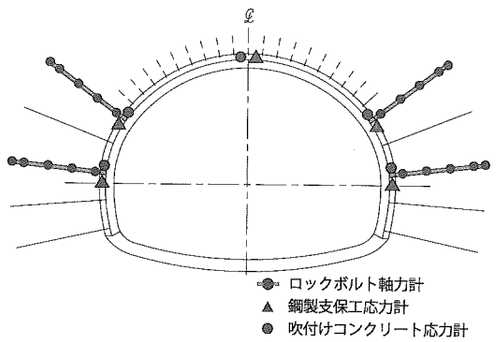


図-5　計測B配置図

5　解決策の結果と技術的評価

5-1　地質特性の詳細調査結果

調査ボーリングのコア観察より明らかとなった巨礫の大きさ・分布性状と崖錐堆積物の性状を以下に示す．

- 地表から８～12mの厚さで崖錐層が分布し，その下方には基盤岩となる花崗斑岩が分布する．
- 巨礫の大きさは１m程度が主体で，２mに達するものも存在する．巨礫の分布間隔(巨礫側部間距離)は１～４mである．
- 巨礫を内包する未固結の崖錐堆積物は，花崗斑岩が風化しマサ化したシルト質土である．
- 崖錐堆積物中には30～50cm程度の玉石も分布し，局所的に玉石が集中している箇所がみられる．

また，巨礫を内包する崖錐堆積物における標準

表-3　孔内試験結果

試験項目	試験結果
N　値	8～22
変形係数(N/mm²)	24.7～65.6

貫入試験および水平載荷試験の結果を**表-3**に示す．N値が22以下でバラツキの多い固結度の小さな地山であり，本坑のトンネル掘削に伴い巨礫が抜落ちる可能性が高いと評価した．

5-2　切羽安定性評価結果

（1）　切羽安定実績図を活用した切羽安定性評価

図-6は，切羽安定実績図に，本工事の崖錐堆積物の試験結果をプロットしたものである．その結果，「やや不安定」～「不安定～崩壊」の領域に分布するため，天端・鏡部の切羽安定対策が必要であると判断した．

（2）　避難坑施工結果にもとづく切羽安定性評価

避難坑の掘削支保パターンを**図-7**に，切羽状況写真を**写真-1**に示す．長さ2mの充填式フォアポーリングを採用した幅5.3m×高さ4.1mの避難坑掘削では，巨礫の抜落ちなどは発生せず，切羽の安定が確保された．そのため，幅12.5m×高さ7.7mの本坑掘削(上半先進ベンチカット工法)でも，適切な対策工で鏡面の安定を確保すれば，長さ5m程度以下の先受け工(フォアポーリング)でも巨礫の抜落ちを防止(＝切羽の安定確保)できると判断した．

5-3　切羽安定対策工の選定

切羽安定対策は，トンネル掘削に伴う緩み幅に着目し，それを必要先受け長とする先受け工を比較検討することにより決定した．緩み幅は，**表-4**に示す詳細地質調査結果から得た地山物性値を用いて「村山が提案する前方地山の螺旋すべりに着目した方法」により算出した．その結果，緩み幅は2.7mとなった．

対策工(天端・鏡部の切羽安定対策)比較検討結果を**表-5**に示す．長さ5m程度以上の注入式長尺フォアパイリング(対策案A)は，巨礫の影響による鋼管打設精度の確保に問題がある．また，長さ3mの注入式フォアポーリングを掘削サイクルごとに打設する対策案Bは対策案Aより不経済な対策となる．そこで，経済性の向上が見込める長さ4mの注入式フォアポーリングをトンネル掘削2mごとに施工する対策案Cを選定した．なお，注入材は，崖錐堆積物が粘土分の少ない未固結地山であったことから，浸透性が良く，土粒子間結合力の高いウレタン系の注入材とした．注入量は技術資料にもとづき，先受け材1mあたり10kgとした．

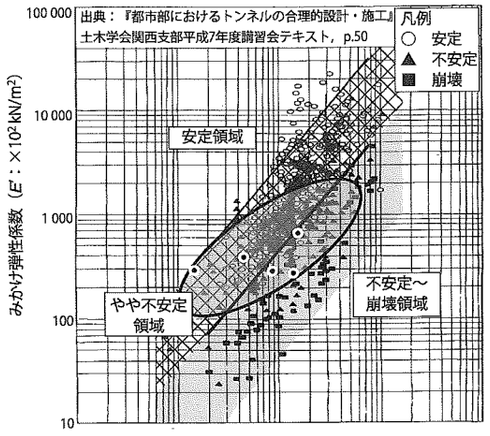


図-6　切羽安定実績図

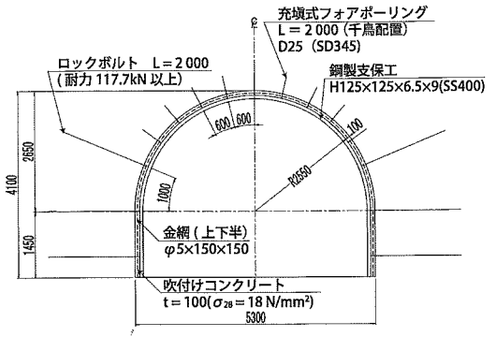


図-7　避難坑支保パターン図



写真-1　避難坑切羽

表-4　地山物性値

項　目	物性値	備　考
単位体積重量γ_t (kN/m³)	22.1	NEXCO中央研究所 $\gamma_t=11.5+3.9\times\log N$
内部摩擦角ϕ (度)	32.5	建築基礎構造設計指針 $\phi=\sqrt{20N}+15$
粘着力C (kN/m²)	0.0	風化マサ土

表-5　対策工比較検討

		対策案A	対策案B	対策案C
天端部	補助工法	注入式長尺フォアパイリング 鋼管STK400，ϕ114.3mm，t6 mm	注入式フォアポーリング 中空鋼管ボルト，STK400，ϕ27.2mm	注入式フォアポーリング 中空鋼管ボルト，STK400，ϕ27.2mm
	施工本数(/断面)	27本(@450mm)	19本(@600mm)	19本(@600mm)
鏡部	補助工法	長尺鏡ボルト GFRP管，ϕ76mm，t8 mm	GFRP鏡ボルト 中空樹脂ボルト，ϕ30.5mm	GFRP鏡ボルト 中空樹脂ボルト，ϕ30.5mm
	施工本数(/断面)	5本	16本	16本
施工仕様	打設長	12.5m	3.0m	4.0m
	シフト長(打設間隔)	9.0m	1.0m	2.0m
効果および施工性		長尺先受けの梁効果により前方地山の緩み抑制効果は高く，地表面沈下対策としても有効 巨礫分布下の長尺穿孔性能の確保が課題 △	短尺の先受けによる前方地山の改良によりトンネル掘削時の緩みを抑制 切羽地質性状に応じて補助工法仕様を変更することで柔軟な対応が可能 ○	短尺の先受けによる前方地山の改良によりトンネル掘削時の緩みを抑制 切羽地質性状に応じて補助工法仕様を変更することで柔軟な対応が可能 対策案Bより打設密度は低い ○
経済性		△	△	○
総合判定		△	○	◎

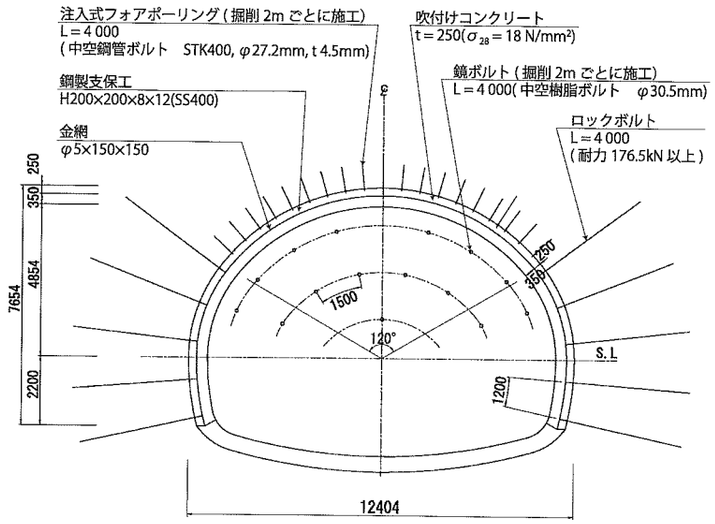


図-8　本坑支保パターン図

表-6　注入式フォアポーリングの仕様変更

	変更前	変更後	備　考
シフト長(m) (延長方向打設間隔)	2	1 (毎切羽)	
打設本数(本)	19	9.5 (10，9本千鳥配置)	打設密度 一定
設計注入量(kg/m)	10	20	注入量 2倍増加

脚部の安定対策は，トンネル掘削時の緩み土圧がTerzaghiの理論式により80kN/m²と推定され，それに対し，平板載荷試験結果から得られた許容支持力が424.3kN/m²以上となったことから，不要と判断した．

5-4　切羽安定対策工の見直し

坑口から**図-8**に示す支保パターンで掘削したところ，鏡ボルトの施工により鏡面の安定を確保できたが，天端部は地山改良効果が不十分なことに

起因する先受け芯材間の地山の抜落ち(巨礫の抜落ちは見られない)が，たびたび見られた．そこで，礫を覆う未固結土の地山改良効果を向上させるために，注入式フォアポーリングの１本あたり注入量の増加と打設方法の変更(打設密度一定でシフト長を変更した千鳥配置)を行った(**表-6**)．その結果，天端部地山の抜落ちは解消された．

5-5　支保工および補助工法の妥当性

（１）　支保工応力測定結果から得られた知見

鋼製支保工・吹付けコンクリート応力測定とロックボルト軸力測定から得られた知見を以下に示す．

- 鋼製支保工と吹付けコンクリートの軸力は，おおむね各許容応力から換算した軸力(耐力)の50%以下であった．
- 鋼製支保工と吹付けコンクリートの荷重分担率は右側壁部を除き同程度であった(**表-7**)．
- 初期段階で大きな緩み荷重が作用した場合などの現象や，鋼製支保工への荷重負担の偏りもなく，適度に鋼製支保工に荷重が作用・分担された妥当な支保工であったと考えられる(表-7)．
- 鋼製支保工応力と吹付けコンクリート応力の局所的な増大(右肩)が観測されたが(**図-9**)，これは，未固結崖錐層の不均質性や巨礫の影響によるものと考えられる．
- ロックボルトは，巨礫の縫付け効果や未固結崖錐堆積物への内圧効果などを期待するものであるが，軸力分布性状から判断して，その長さはおおむね妥当であったと判断できる(**図-10**)．

表-7　支保工軸力と荷重分担率

	耐　力	計測箇所				
		天端	右肩	右側壁	左肩	左側壁
A吹付けコンクリート軸力(kN)	1,125	150.0	400.0	625.0	150.0	0.0
B鋼製支保工軸力(kN)	1,334	174.0	445.0	286.0	165.0	96.0
A/B　(%)		86.2	89.9	218.5	90.9	—

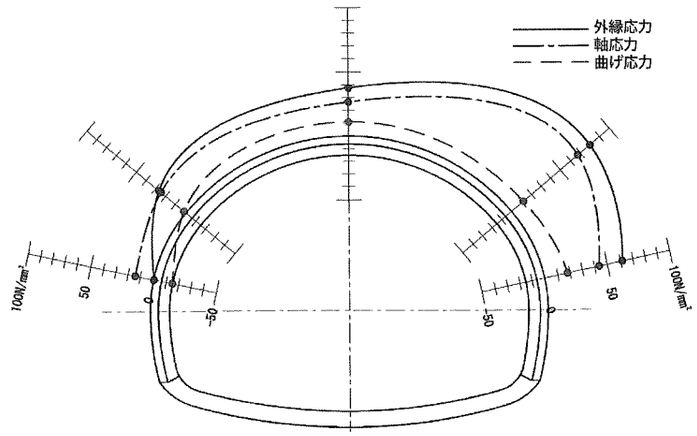


図-9　鋼製支保工応力分布

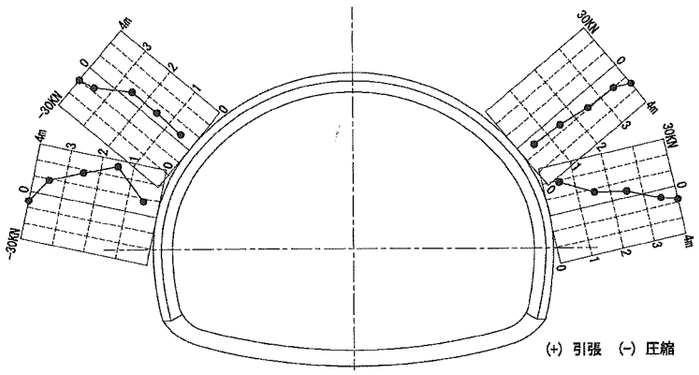


図-10　ロックボルト軸力分布

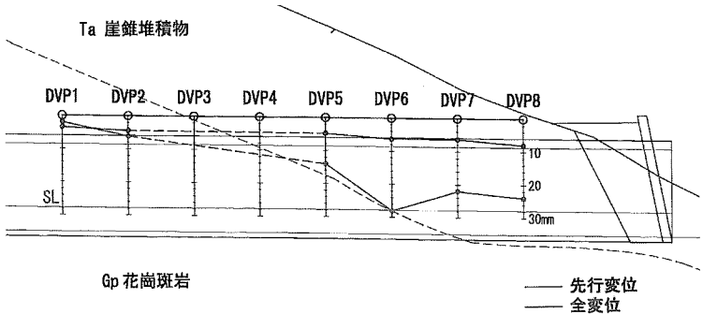


図-11　先行変位計測定結果

（２）　天端部先行変位測定結果から得られた知見

水平ボーリング孔を用いた崖錐層部の沈下量測定結果から得られた知見を以下に示す．

- 先行変位量は4.8～8.0㎜と小さな値で，全変位量(14～28㎜)に対する先行変位率は23～34%であった(**図-11**)．
- 先行変位量から，全測点で，切羽到達時に全変位量が30㎜以下に収まることが予想され，対策工が妥当であることを早期に確認できた．
- 注入量を増加して未固結崖錐堆積物の地山改良効果を向上させたことが，先行変位量の抑制，さらには切羽・天端部の安定確保(巨礫の影響低減も含む)につながったと考えられる．

6　注入効果の解析検討

ウレタン注入式フォアポーリングの設計手法は，既往の実績を考慮した標準設計を適用することが多く，その注入量は１mあたり10～20kgとしている．しかし，注入メカニズムや注入効果は明確になっていない．そこで，**図-12**に示すフローに従い，注入効果についてFEMによる解析的検討を実施した．

6-1　注入範囲の確認

地上部より鉛直調査ボーリングを実施し，ウレタン注入材の注入範囲を確認した．調査は注入量を１mあたり20kgとした箇所である．その結果，トンネル掘削外周より1.5mの範囲を脈状に注入されていることを確認した．

6-2　トンネル周辺地山の地盤物性の推定

解析入力物性値であるトンネル周辺地山の変形係数を，避難坑の掘削時の変位計測結果より，FEM逆解析により求めた．この逆解析では，トンネル周辺地山の変形係数を変化させ，FEM解析により天端沈下量を求め，計測実測値に対応する変形係数値をトンネル周辺地山の変形係数とした．地山の単位体積重量は22.1kN/m³，応力解放率は35%とした．その結果，避難坑トンネル掘削時に発生した天端沈下量は5.9㎜であり，その値に対応する変形係数は25N/㎟となった．

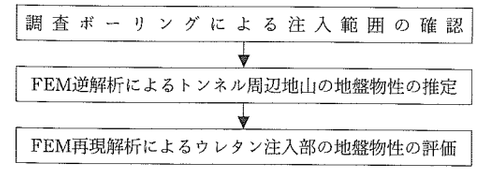


図-12　検討フロー

6-3　ウレタン注入部の地盤物性の評価

ウレタン注入による改良効果を以下に示す方法で検証した．ウレタン注入範囲(6-1節で明らかとなったトンネル外周1.5mの範囲)の変形係数を変化させ，FEM解析を実施し，各々の天端沈下量を求める．そして，掘削時の天端沈下実測値に相当する変形係数値を求め，6-2節で求めたトンネル周辺地山の変形係数値(＝25N/㎟)と比較した．**図-13**に解析モデルを示す．

天端沈下量の実測値は14.5㎜であったことから，この沈下量に相当する改良部分の変形係数は約

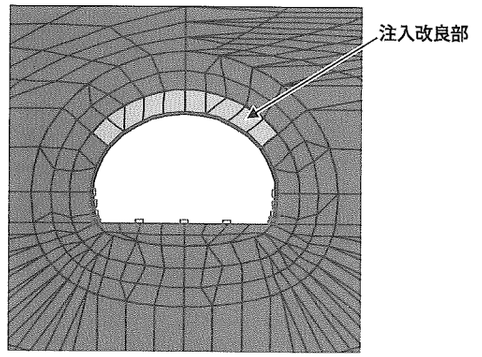


図-13　FEM解析モデル

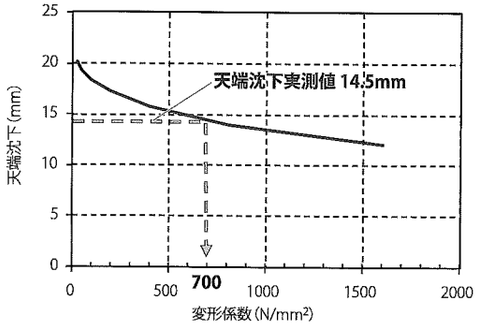


図-14　FEM解析結果

700N/㎟となり，大幅(約28倍)に変形係数が改善された結果となった(図-14)．

7 ま と め

未固結崖錐層中に巨礫が散在する坑口部のトンネル掘削において，事前に地質特性を詳細に調査し，その結果をもとに切羽安定対策の要否検討と対策工の選定を行った．対策工は，巨礫の抜落ちの可能性などを避難坑の施工実績から判断し，注入式フォアポーリングを採用した．また，実施工では，選定した注入式フォアポーリングの軽微な見直し(１本あたりの注入量の増加など)のみで，安全性を確保しながら経済的に施工を進めることができた．本施工実績は，注入式フォアポーリングの「注入による地山改良効果」と「先受け芯材と地山改良による巨礫の縫付け・抜落ち防止効果」を最大限に活用した事例として，今後の同種地山条件下におけるトンネル施工へ反映できるものであると考える．

最後に，本工事の施工にあたり，国土交通省中部地方建設局紀勢国道事務所の関係各位に，多大なるご指導をいただいた．誌面を借り，深甚なる謝意を表する次第である．

わかりやすい トンネルの力学
B５判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円
福 島 啓 一 著

NATM の導入以来，トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって，トンネルの力学がますます重要視されるようになった．
本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し，設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき，また，計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である．

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

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

施工

壁厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削

—都市計画道路大和川線シールド工事—

大阪府富田林土木事務所松原建設事業所道路第一グループ主査　卜 部 賢 一
大阪府富田林土木事務所松原建設事業所道路第一グループ副主査　陣 野 員 久
大鉄・吉田・森・紙谷共同企業体大和川線シールド作業所主任技術者　石 垣 兄 太
大鉄・吉田・森・紙谷共同企業体大和川線シールド作業所工務課長　天 野 聡

1 はじめに

都市計画道路大和川線(以下，大和川線)は，平成13年８月に都市再生プロジェクトとして決定した「大阪都心部における新たな環状道路」の一部を形成し，慢性的な大阪都心部での高速道および一般道の渋滞緩和を目的として平成18年度より整備を進めている．

大和川線は，堺市堺区築港八幡町で阪神高速道路４号湾岸線より分岐し，松原市三宅中で同14号松原線に連絡する全長約9.9kmの自動車専用道路であり(図-1)，周辺環境保全および環境負荷低減の観点から路線延長の約６割をシールドトンネルや開削トンネルによる地下構造としている[1]．

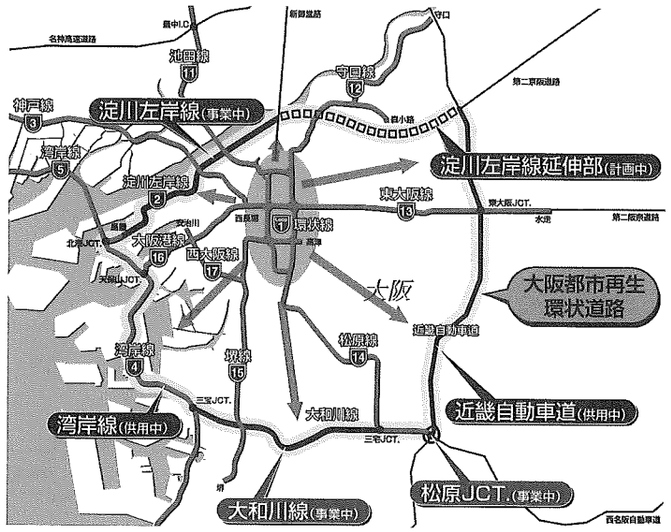


図-1　大和川線概略位置図

「都市計画道路大和川線シールド工事」(以下，本工事)は，その大和川線のうち，常磐西ランプから天美ランプまで２区間(一部開削工事区間を挟む)の約1.9kmについて，大阪府および堺市を事業主体として，外径φ12.3mの併設円形断面トンネルを泥土圧式(気泡)シールド工法により，１台のシールドでUターン施工するものである．

本稿では，国内最長となる壁厚３mのNOMST(Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System[2])切削について，φ12.54mの大口径シールドであることに加え，斜め切削となった特殊性をふまえて報告するものである．

2　工　事　概　要

2-1　工事内容

工事内容，工事全体図を**表-1**，**図-2**に示す．

2-2　施工順序

本工事の施工順序を**表-2**に示す．なお，発進，到達，中間(回転)立坑(No.3～6立坑)については，別途，本工事よりも先行して施工を進めている(No.3立坑は阪神高速道路(株)により施工)．

表-1　工事内容

工事名称	都市計画道路大和川線シールド工事
発注者	大阪府富田林土木事務所
施工者	大鉄工業・吉田組・森組・紙谷工務店共同企業体
施工場所	堺市北区常磐町2丁～松原市天美北6丁目
施工延長	(堺市区間)約1,010m×往復 (松原区間)約　880m×往復 (合　　計)約3,780m
併設離隔距離	最小1.1m(約0.09D：D＝掘削外径)～2.97m
平面線形	最小R＝381.1m
縦断線形	最大i＝30.0‰
土かぶり	13.3～33.3m(約1.0～2.5D)

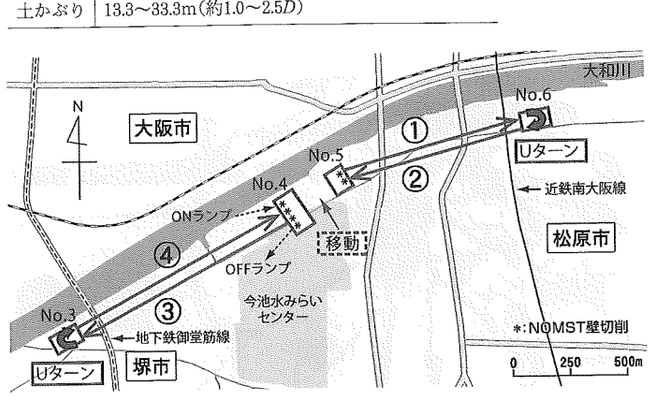


図-2　工事全体図

表-2　施工順序

施工順序	施　工　内　容
1	No.5立坑内でシールド現地組立て
2	東向き掘進(No.5→No.6)(図-2，①)
3	No.6立坑内でUターン
4	西向き掘進(No.6→No.5)(図-2，②)
5	No.5立坑に再到達後，No.5立坑からNo.4立坑へ約230mシールド移動
6	西向き掘進(No.4→No.3)(図-2，③)
7	No.3立坑内でUターン
8	東向き掘進(No.3→No.4)(図-2，④)
9	No.4立坑内でシールド解体

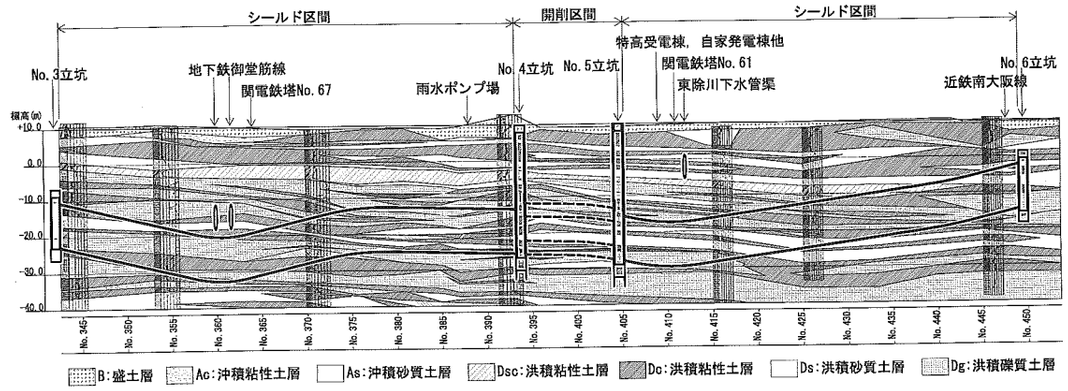


図-3　土質縦断面

2-3　土質概要(図-3)

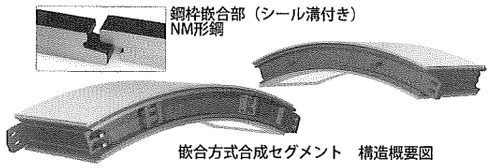
掘削対象地盤の大半は，上部洪積層(高位段丘層)であり，砂・礫・粘土層の激しい互層状態を示している．

その特徴を以下に示す．

- 砂・礫質土のN値は60を超え，また，粘性土のN値は10～20であり，硬質な地盤である．
- 最大礫径は60㎜程度で，巨礫と呼べるほどの礫は出現していない．
- 均等係数10程度の砂層が部分的に介在しているため，切羽の安定に注意を要する．
- 掘削土全体の細粒分含有率は，一部を除き30％を超えている．
- 現場透水試験による砂層の透水係数は，おおむね10^{-3}～10^{-2}(cm/sec)オーダーで微粒砂～中粒砂に相当する．
- シールド中心部の水圧は，130～250kPaである．
- 可燃性ガス(メタンガス)は検知されていない．

表-3　近接構造物一覧

構造物名称		離隔距離
今池水みらいセンター施設	特高受電棟基礎杭	鉛直離隔　3.1m
	自家発電棟基礎杭	鉛直離隔　3.1m
	雨水ポンプ棟	水平離隔　6.7m
	地下管廊基礎杭	鉛直離隔　0.4m
	東除川下水管渠	鉛直離隔　11.9m
	雨水ポンプ棟：堺市区間	鉛直離隔　11.2m
関電鉄塔　No.新61		水平離隔　2.5m
近鉄南大阪線		鉛直離隔　8.6m
関電鉄塔　No.67		水平離隔　22.5m
地下鉄御堂筋線		鉛直離隔　2.1m：下越し



嵌合方式合成セグメント　構造概要図

写真-1　NMセグメント

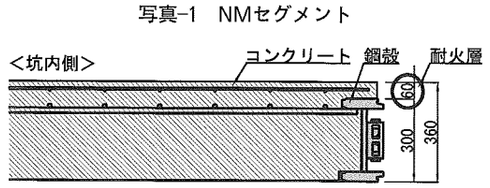


図-4　セグメント断面図

表-4　セグメント概要

種　別	合成セグメント(NMセグメント)
外　径	ϕ12.3m
厚　さ	360㎜(そのうち60㎜は耐火層：**図-4**)
幅	1,800㎜(×1,981リング) 1,400㎜(×161リング)
分割数	8ピース＋K(軸方向挿入式)
継手構造	ワンパス継手によるボルトレス構造

2-4　近接構造物

本工事においては，多数の重要構造物との近接施工を行う．**表-3**に各重要構造物の名称と離隔距離を示す．

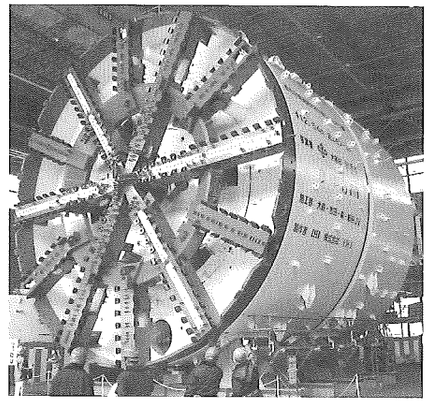


写真-2　泥土圧式シールド

表-5　シールド概要

外　径	ϕ12.54m
機　長	12,785m
総推力	144,000kN(1,166kN/m^2)
シールドジャッキ	3,000kN×2,550㎜×48本
カッタトルク	常用 32,610kN-m(α＝16.4)
カッタ回転数	0.4rpm(V＝15.7m/min)
中折れ角	(左右)2.0°，(上下)0.5°
コピーカッタ	4か所(2か所予備)，ストローク150㎜
その他	裏込めモルタル同時注入装置(×4か所) 半自動セグメント組立て装置 テールクリアランス測定装置(×4か所) チャンバ内補助アジテータ(×2基)

2-5　セグメント

セグメントは，『シールドトンネル設計マニュアル』[3]に準じて構造検討を行った結果，全線にわたり耐火一体型の合成セグメント(NMセグメント(**写真-1**))を使用することとした．

表-4に，使用するセグメントの概要を示す．

2-6　シールド(写真-2)

本工事では泥土圧式シールド(気泡シールド)工法を採用した．シールドの概要を**表-5**に示す．

3　シールド発進計画

3-1　発進立坑設計条件

まず，発進立坑となるNo.5立坑は，以下の設計条件よりニューマチックケーソン工法を採用した．

- No.5立坑からNo.4立坑間は，常磐東ランプ

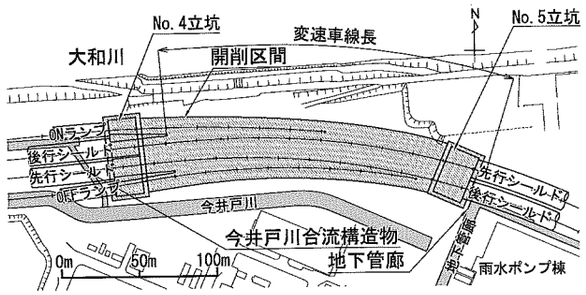


図-5　開削部全体図

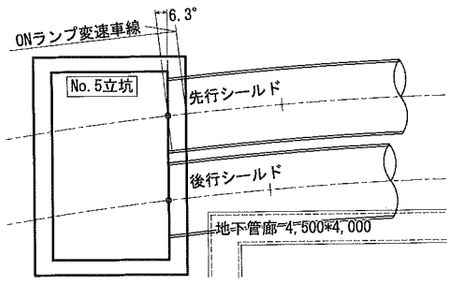


図-6　立坑位置関係図

との合流部となり，上部に換気所を設置するため，開削工法による施工となる．

- 全体工程計画ではシールド発進時期までに，開削区間全域のトンネル構築を完成させることができないため，立坑部分のみ先行して構築を進める必要があった．
- 土留め方式の場合，土留め壁の根入れ深度が大きくなり，経済的に劣るものであった．

次に，ケーソンの沈設平面位置については，次のような条件があった．

- 開削区間は，今池水みらいセンター(大阪府南部流域下水道事務所所管)の一部敷地内を占有しており，西側には今井戸川の流末合流構造物が，東側には今池水みらいセンターの管理用施設(地下管廊：内空×幅＝4.500×4,000)がある．
- 開削区間内に，ONランプ合流部の変速車線長を確保しなければならない(**図-5**)．

その結果，発進立坑が，シールド法線に対して約6°偏芯することとなった(**図-6**)．

なお，ケーソンの形状寸法は，幅36.1m(壁厚2.5m)×25.2m(壁厚3.0m)の矩形であり，刃口までの最大沈設深度は約47.9m，シールド中心はGL－34.8mとなっている(**図-7**)．

3-2　発進方式

No.5立坑の坑口部の躯体壁面には，シールドで直接掘削可能なNOMSTを採用した．NOMSTには，主に炭素繊維強化樹脂ロッド(中弾性CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics)ロッド材φ20：保障引張耐力260kN)を使用し，コンクリートの設計基準強度は，f_{ck}＝30N/mm²である．

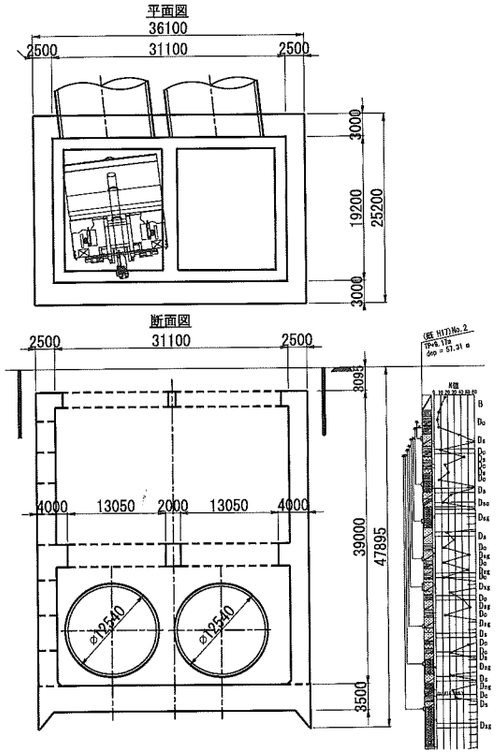


図-7　立坑構造図

4　NOMST切削の問題点と対策

4-1　切削性能の向上

4-1-1　石灰石骨材

本工事でのNOMSTは，φ12.54mの大口径シールドであることに加え，国内最長となる壁厚3.0mの高強度RC壁の切削となることから，施工期間の長期化や，騒音・振動の発生が懸念された．

そこで，切削性能向上対策として，NOMST壁のコンクリートの粗骨材には石灰石骨材を使用することとした．

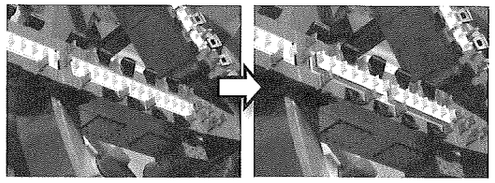


写真-3　可動式先行ビット

4-1-2　NOMST用先行ビットの配置

シールドのNOMST用先行ビットは，最外周に3条のシェルビットを，内外周部には幅30mmの強化先行ビットをピッチ75mmで2条配置し，耐久性を考慮して20mmの高低差配置とした．

また，到達時の切削性低下防止対策として，可動式強化先行ビットを装備した(**写真-3**)．

上述の先行ビット配置により，微速推進制御での5mm/min掘進時においては，2条配置の各ビット切り込み深さを6.25mmとした．

4-2　斜め切削の対応

4-2-1　概　要

NOMST切削をスムーズに行うためには，推力をカッタ全面に均等に作用させ，安定した切り込み深さを確保することが重要となる．

しかし，No.5立坑の壁面はシールド発進法線に対して水平方向に約6°偏芯している．よって，NOMST切削の初期段階においては，カッタの片側はコンクリート面に接触しているが，もう一方は前面に抵抗するものがない状態，いわゆる「片あたり」の状態となる．そのため，以下の問題点が予測されたので，対策工を検討することとした．

① シールドの方向制御不能
② カッタビットの偏摩耗や脱落による振動・騒音の増大
③ NOMST壁の予期せぬ大割れ
④ 推力がシールド片側のみに作用することによる，カッタ支持脚の座屈変形，および旋回環の損傷

4-2-2　対策工

(1)　高圧噴射改良

NOMST壁を斜め切削した場合，切削終盤の地山側では壁面が三角形状に残置され，その部分が大割れし，チャンバ内で閉塞することが懸念された．

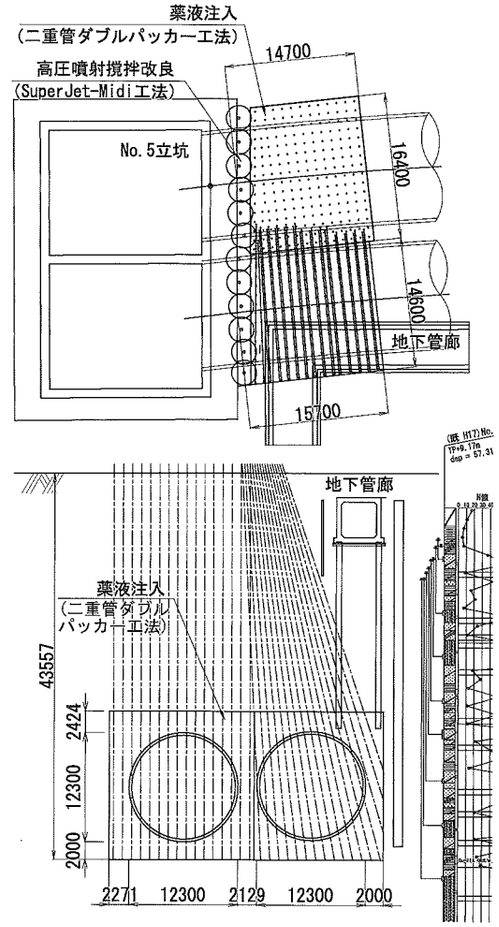


図-8　発進到達防護改良

そこで，NOMSTの背面に高圧噴射撹拌工法(Superjet-Midi工法，φ3.1m×12本，1列)による地盤改良を実施して地盤反力を高め，NOMST壁の固定を図るとともに，低速掘進時における地山の取り込み過多を防止した．

なお，立坑内部への出水防止のため，薬液注入(二重管ダブルパッカー工法)による地盤改良もあわせて実施した(**図-8**)．

(2)　先行ハツリ

1)　対策案の比較検討

切削初期段階の「片あたり」について，切削す

表-6　対策案比較表

	【鏡面増し打ち案】	【鏡面先行ハツリ案】
概要	・エントランス内部の鏡面に，カッタフェースに正対する増し打ちコンクリートを打設する．	・鏡面をカッタフェースと正対する状態になるまで，先行ハツリを行う．
長所	・施工期間が短い ・壁面構造にあたえる影響がない	・チャンバ閉塞のリスクが少ない
短所	・鏡面切削中に増し打ちコンクリートが剝落し，チャンバ閉塞となるリスクが高い	・施工期間が長期化する ・壁面構造の検討が必要となる

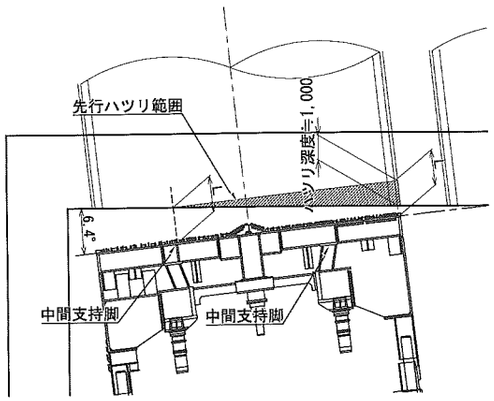


図-9　先行ハツリ計画図

表-7　測定値および応力算定結果

No.	測定値 ε_x (μ)	ε_y (μ)	ε_{xy} (μ)	ε_{max} (μ)	ε_{min} (μ)	ϕ ε_{max}方向 (度)	ϕ ε_{min}方向 (度)	σ_{max} (N/mm²)	σ_{min} (N/mm²)
1	−28	−13	−10	−7.6	−33.4	−27.2	62.8	−0.34	−0.75
2	−40	0	4	11.2	−51.2	−25.1	64.9	−0.03	−1.02
3	−31	3	−13	3.0	−31.0	−1.7	88.3	−0.10	−0.64
4	−36	9	9	18.3	−45.3	−22.5	67.5	0.15	−0.86
5	−38	9	19	26.4	−55.4	−27.5	62.5	0.27	−1.03
6	−48	3	−13	4.7	−49.7	−10.2	79.8	−0.16	−1.02

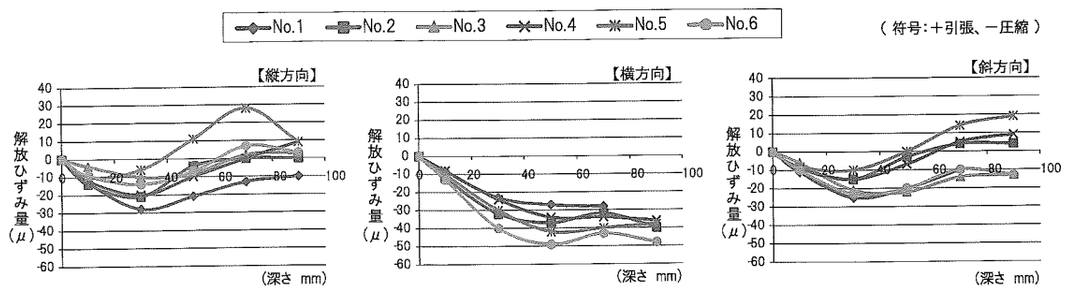


図-10　ひずみ計測結果

る壁面(以下，鏡面)への対策案を検討した．

表-6より，とくにチャンバ閉塞のリスクを重要視し，鏡面先行ハツリ案について詳細検討することとした．

2)　先行ハツリの評価方法

ハツリ深度は，切削開始時にカッタのすべての中間支持脚正面が鏡面に接触するものとして設定し，最大約1,000㎜とした(**図-9**)．

したがって，先行ハツリ後の壁厚2,000mでの応力度照査により，先行ハツリの評価を行うこととした．

3)　現有応力の測定

まず鏡面に発生している現有応力の確認を行った．鏡面の現有応力は，応力解放法[4]により測定した．その手順を以下に示す．

①　ハツリ前の鏡面のコンクリート表面に，ひずみ計を貼りつける．ひずみ計は，縦，横，斜め45°の３方向に貼りつける(×６か所)．

②　ひずみ計を貼りつけた部分の外周をコンクリートカッタで切断する．切断深度は，10㎜，30㎜，50㎜，70㎜，90㎜の５段階で行う．

③　切断中の各段階において，ひずみ量(圧縮量)を測定し，

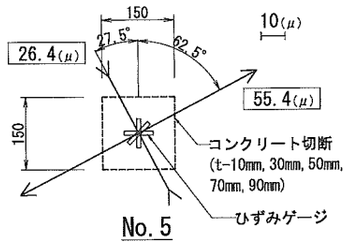


図-11　主応力および主応力方向

主応力を算定する．

測定値および算定結果を**表-7**，**図-10, 11**に示す．

4)　発生応力シミュレーション

計測結果をもとに躯体に作用している外力を想定し，ハツリ後におけるコンクリート面の引張応力について壁部を梁部材としてモデル化した骨組み解析によるシミュレーションを実施した．

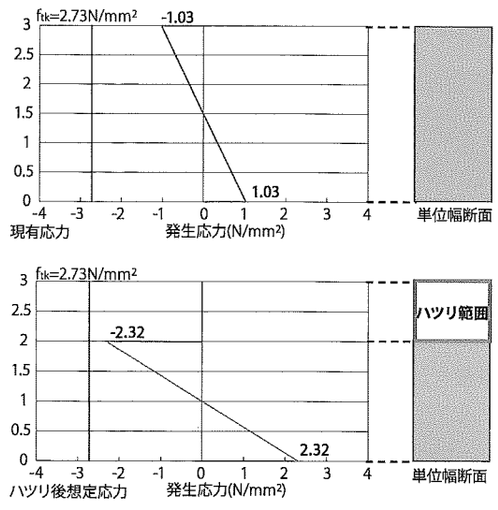


図-12　シミュレーション結果

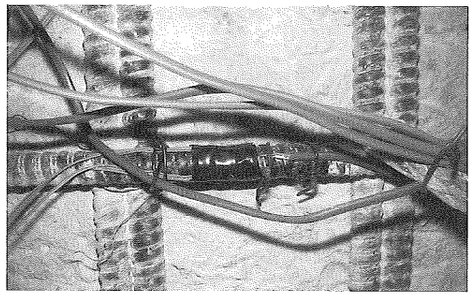


写真-4　ひずみゲージ貼付状況

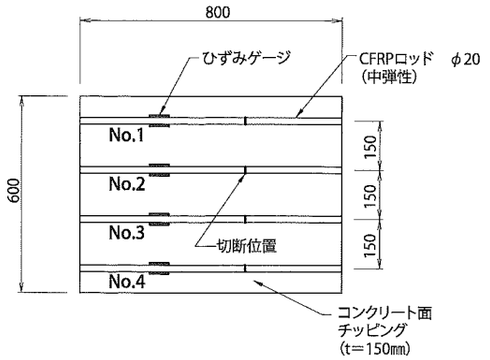


図-13　ひずみゲージ貼付位置図

解析結果では，ハツリ後の発生応力は，2.32N/㎟と想定され，許容引張応力f_{tk}=2.73N/㎟を満足した(**図-12**)．

5)　CFRPロッドの応力測定

さらに，CFRPロッドについても，鉄筋応力解放法[5]により現有応力の確認を行った．

コンクリート面をチッピングしてCFRPロッドを４本露出し，ひずみゲージを上下２か所ずつ貼りつけたのち切断し，ひずみ量を測定した(**写真-4**，**図-13**)

測定結果から，CFRPロッドの現有応力は圧縮側8.25N/㎟と確認された(**表-8**)．この結果から，CFRPロッドに過度な引張応力は作用していないと判断し，計画深度まで先行ハツリを行った．

ハツリ後の鏡面からは湧水などは確認されなかった(**写真-5**)．

表-8　CFRPロッド応力測定結果

(＋引張，－圧縮)

		ひずみ量(μ)	応力(N/㎟)	上下平均
No.1	上	208	24.92	5.89
	下	−110	−13.15	
No.2	上	82	9.81	10.16
	下	88	10.50	
No.3	上	−27	−3.23	9.81
	下	190	22.85	
No.4	上	−252	−30.23	7.16
	下	371	44.54	
				8.25

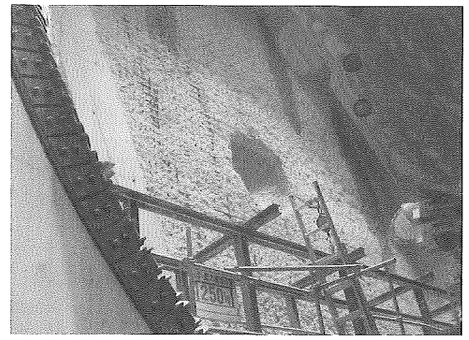


写真-5　先行ハツリ

5　NOMST切削の施工結果

5-1　添加材

鏡面の先行ハツリ完了後，シールドジャッキを使用して，鏡面直前の所定位置までシールド押し出しを行った．その後，チャンバ内に高粘性な可塑状充塡材(クレーショック)をフィッシュテール高さまで充満させたのちNOMST切削を開始した．

5-2　切削状況

NOMST切削中の添加材には，チャンバ内での切削粉の再固結防止を目的として，遅延材水溶液(裏込め安定剤5 kg/m³濃度)を注入しながら切削を行った(**写真-6**)．

切削中は，チャンバ内補助アジテータのトルク，およびチャンバ内の土圧分布を監視して，排泥(コンクリート切削粉とクレーショックの混合物)の性状を確認しながら遅延材の添加量を調整した．

なお，今回は立坑下から地上への排泥運搬設備として，垂直ベルコンを使用した．これは，切削断面が大口径であることから，ずり缶などの使用は施工性，安全性の面から不向きであると判断したためである．よって，垂直ベルコンで運搬可能な性状とすることにも配慮しながら添加材量の調整を行った．

その結果，遅延材溶液の注入実績は，20%程度であったが，垂直ベルコンでの揚土に支障することなく，良好な施工性を確保することができた．これは，チャンバ内に先行充塡したクレーショックがNOMST切削片と一体化した成果と考える．

掘進中の施工管理値は，カッタ許容トルク70%以下，推力100,000kN(総推力の70%)以下，ジャッキスピード2～5 ㎜/minと規定した．

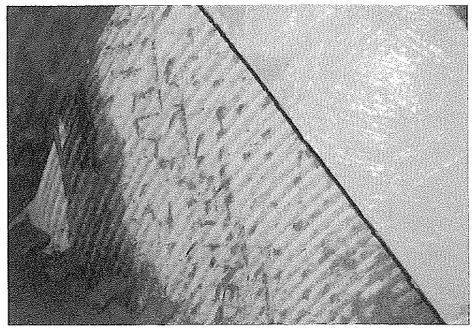


写真-6　NOMST切削状況



写真-7　CFRPロッド切断面

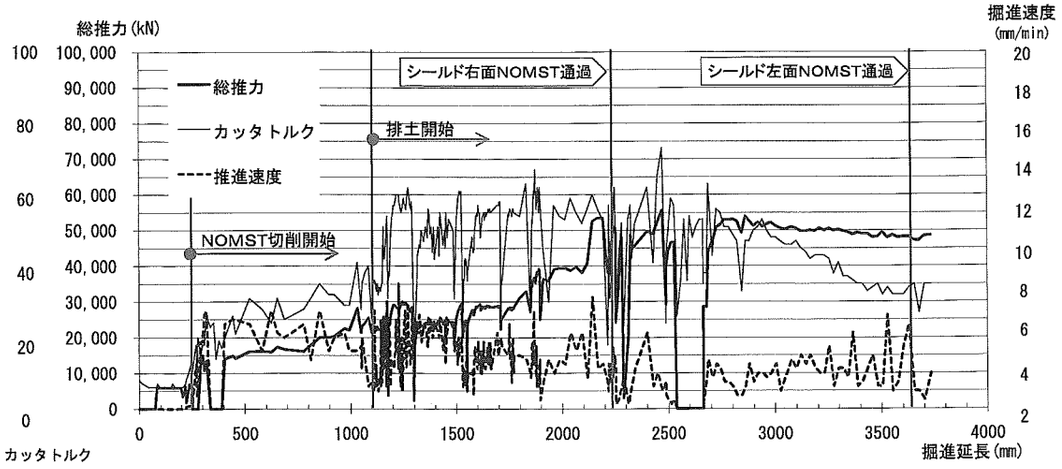


図-14　NOMST切削状況

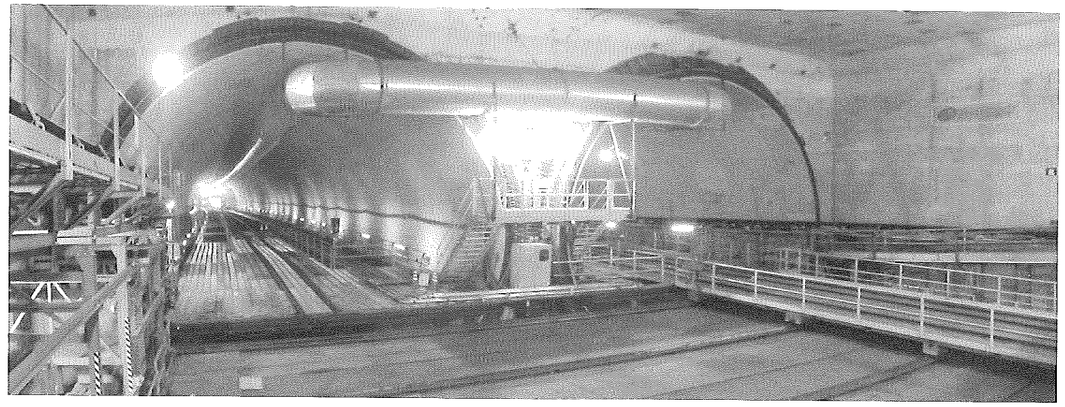


写真-8　中間立坑(No.6 立坑)

掘進中は，NOMST切削による振動・騒音はほとんどなかった．また，シールドの姿勢制御不能も発生しなかった．

施工実績として，所要日数5日(9片番)，掘進時間約900分で，延長約3,400㎜の切削を完了し，平均ジャッキスピードは約3.8㎜/minとなり，良好な結果を得ることができた(**図-14**)．

切削中に排泥から回収したCFRPロッドの切削片は，長さ60～100㎜前後で鋭利な切断面を有しており，強化先行ビットにより良好な切削が行われたことがうかがえる(**写真-7**)．

6　おわりに

都市計画道路大和川線シールド工事は，平成23年1月に発進後，中間立坑での到達～回転～再発進を経て，現在，No.6 立坑への再到達を目指して後行シールドの掘進中(平成24年8月時点，**写真-8**)である．

また本工事では，国内でもまれな大断面超近接シールドであるとともに，多数の重要構造物との近接施工を行う．それらの結果については，別の機会に施工報告させていただく予定であるが，まず本工事の最初の課題であったNOMST発進を無事完了し，ここに報告することができた．

これもひとえに本工事に携わった関係者各位のご尽力の賜物によるものであり，深く感謝の意を表する次第である．

参考文献

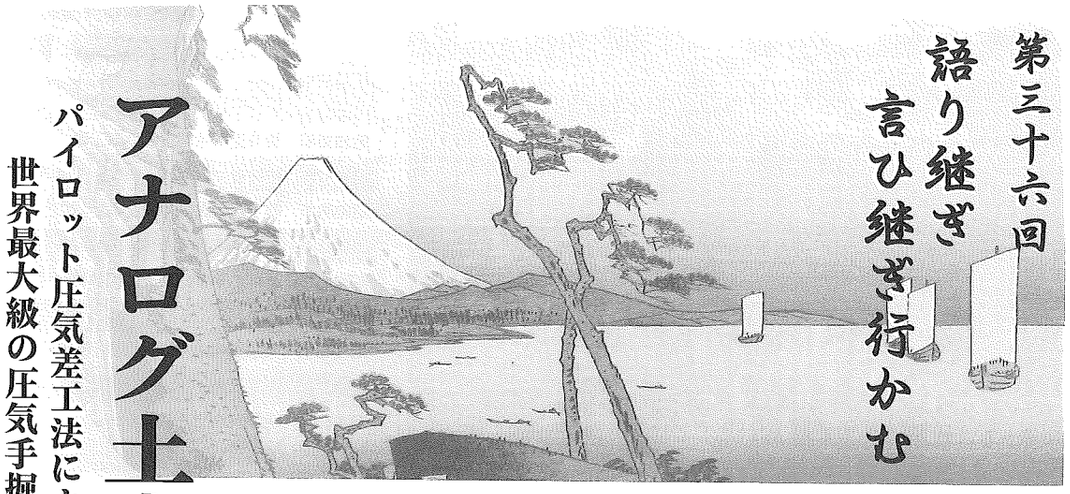
1) 志村敦・藤原勝也・辻野博史・岩住知一：超近接長距離併設シールドトンネルの設計，阪神高速大和川線シールドトンネル，トンネルと地下，Vol.41，No.11，pp.43-50，2010.11.
2) NOMST研究会：NOMST[Novel Material Shield-cuttable Tunnel-wall System]，1997.7.
3) 阪神高速道路：シールドトンネル設計マニュアル，2007.7.
4) 西弘明・三田村浩・小沢靖・岸徳光：応力解放法によるコンクリート構造物の応力測定，平成16年度土木学会北海道支部　論文報告集，No.61，2002.
5) 横山和昭・長田光司・室井智文・加藤卓也：鉄筋切断法による実PC橋の残存プレストレス測定に関する検討，プレストレスコンクリート技術協会　第13回シンポジウム論文集，2004.

セグメントの新技術
小泉　淳 監修　B5判132頁　本体定価2,000円(〒290円)
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代)　振替 00110-8-190072

土木情報 No.474 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
北海道開発局	R231石狩市新雄冬岬T	前田・荒井JV	4,080.5
東北地整	北上川下流後谷地排水樋門新設	奥村組	667.7
関東地整	大野地区樋管新設	扶桑建設	175
〃	圏央道桶川地区函渠その２	フジタ	906
〃	中央環状品川線五反田換気所換気塔設置	間・日本国土・西武JV	189
北陸地整	釜ケ渕排水T	岡谷組	175
〃	能越道脇地区女良農免道路函渠	竹沢建設	243
〃	〃 〃 函渠その２外	松本建設	215
〃	〃 排水函渠	岡部	198.2
近畿地整	丹波綾部道路出合T	戸田建設	1,760.8
〃	近畿自動車道紀勢線十九渕第１T	清水建設	992.2
九州地整	東九州道（佐伯～蒲江）山口第１T新設	前田建設工業	1,560.7
都市再生機構	浦和東部第二地区H24公下（その２）他１件	島村工業	325
日本下水道事業団	富山市松川貯留管建設	佐藤・前田JV	2,878.2
東日本高速道路	北海道横断自動車道天狗山T	間・佐藤JV	4,910
北海道	道道元地香深線交付金地方道（トンネル工）	大成・岩倉・藤JV	3,886.5
群馬県	社会資本総合整備（地域自主戦略交付金事業）（下水）管渠築造（伊勢崎幹線第1-4-1工区）	鈴木建設	143
〃	〃 （伊勢崎幹線第1-4-2工区）	栗原工務店	267
都・財務局	街路築造に伴う排水管設置（24北南-西東京３・２・６）	菊池建設	292.01
都・下水道局	北区十条台二丁目，板橋区加賀二丁目付近再構築	村本建設	453.45
〃	北多摩二号水再生センター・浅川水再生センター間連絡管立坑設置	オリエンタル白石	320
神奈川県	酒匂川流域下水道箱根小田原幹線管渠築造（その１）	西武・東海・新栄JV	884.45
山梨県	小伏沢地区上野原用水路T	天野・井口JV	410
長野県	H24県営ため池等整備事業長野３期地区幹線排水路分水工	川中島建設	119.9
〃	H24社会資本整備総合交付金（道路）（主）天竜公園阿智線下伊那郡阿智村伍和（伍和T）	吉川建設	912.5
愛知県	第２犬山幹線第２工区（その２）外送水管布設	大興・丸周．永井JV	810
滋賀県	西部幹線下流５工区送水管	青木あすなろ・岡山JV	601
大阪府	寝屋川流域下水道寝屋川四条畷増補幹線（第１工区）下水管渠築造	久本・島田JV	837.3
兵庫県	R178浜坂道路久谷第２T	川嶋建設	728
奈良県	R309丹生BP社会資本整備総合交付金事業（道路改良）	鹿島・三和JV	1,603.38
福岡県	若宮宮田直方幹線（34工区）下水管築造	アイサワ・有田JV	204.71
東京都新都市建設公社	昭島都市計画公下中部１号幹線築造	鹿島・都市JV	1,040
宇都宮市	合流改善貯留施設築造第２工区（中部第６地区市道265号線外１路線）	菊地・野沢JV	273.45
さいたま市	芝川左岸第2-1排水区下水道（北建-24-22）	ユーディケー	120
立川市	立川市公共下水道西砂川雨水第1幹線築造第11期	日特建設	174.8
横浜市	（仮称）環状４号線口径1200㎜配水管新設（その39）	馬淵・土志田JV	560.96
藤沢市	善行地内雨水管渠築造	大和小田急・大旭JV	369.07
上越市	上新下24-1号下水道雨水管渠築造その１	加賀田・田中JV	130
神戸市	大容量送水管（奥平野工区）鋼管	JFEエンジニアリング	1,208.69
〃	中突堤ポンプ放流渠築造（その１）	大成・北浦JV	1,456
福岡市	月隈第27雨水幹線築造	間・大豊・福東JV	1,220.8



アナログ土木屋の回想

パイロット圧気差工法による世界最大級の圧気手掘り式シールドの施工ほか

（元）佐藤工業（株）
松下 寿一

はじめに

平成14年に65才で土木屋を卒業してから10年が経過した．サラリーマン時代から続けている野菜作りはどうにか板についてきたが，最近の写真を見ると，子供のころに鹿児島川内の田舎で見慣れていた父親の疲れた姿に，どことなく似てきたように感じる今日このごろである．

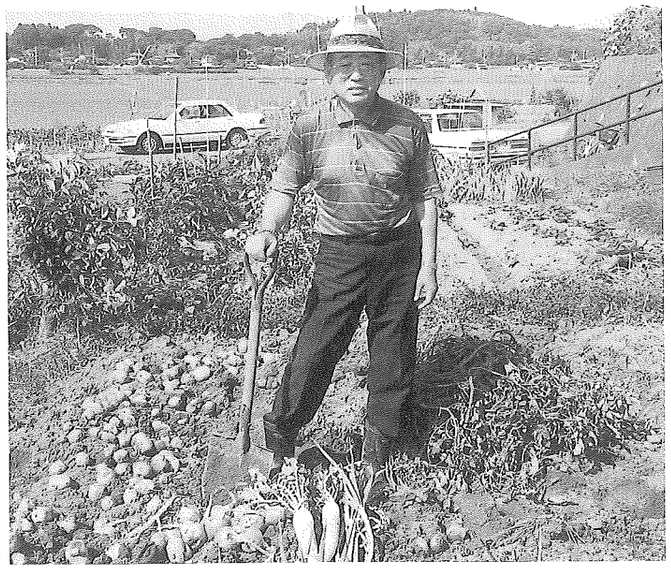
若いころに現場で経験した土木工事と，のちのち支店や本社の管理業務のなかで見てきた工事とでは，その仕事の進め方は大きく変化していたように思えた．ましてや畑の土しか見てこなかった最近の10年の間にどのように変化したのか想像することもできない．こんな私の若いときの経験が，『トンネルと地下』の読者に伝え継ぐほどの技術や教訓にはならないと思うが，半世紀前の世相，その時代の工事現場，土木屋の日常を思い出すまま記してみたいと思う．

私はNATMトンネルも泥水シールドも経験していないし，本稿で主に述べる私が経験した「圧気手掘り式シールド工法」は，現在では無用に近い工法である．若い読者の役に立つのか懸念しているが，昭和のアナログトンネルの話のなかに骨董品的価値を見出してくれる読者がいれば大変光栄である．

山岳トンネル現場での思い出

確か『黒部峡谷：黒部川第四水力発電所建設記録』という題名だったと思う．厳寒の作廊谷のトンネル内宿舎に冬営して，黒四ダムに通じる作業用の黒部ルートと導水路の２本のトンネル建設工事に携わる人間集団のドキュメンタリー映画を観て感動し，佐藤工業の入社試験を受けることにした．トンネル工事に惹かれたというよりも，九州の故郷では見たことのない強烈な黒部の自然の映像に圧倒されたのだと思う．

入社式で，この黒部ルートで発破工法による月進521mの新記録を樹立したと聞かされたが，当時



著者近影．収穫の喜びは貫通の喜びと同じ

著者略歴

昭和34年	九州大学工学部土木工学科卒業 佐藤工業(株)入社 群馬県営中之条発電所建設工事
昭和35年	東海道幹線城堀ずい道工事
昭和37年	中央線々増小仏ずい道西工事
昭和39年	都下水道大森幹線工事
昭和41年	営団地下鉄州崎工区工事ほか
昭和43年	都営地下鉄白山工区工事ほか
昭和47年	広島支店土木課長
昭和49年	東京支店土木課長
昭和51年	都下水道小岩ポンプ所建設工事ほか
昭和55年	横浜支店土木部長
昭和58年	海外工事部次長
平成３年	セグメント工場長
平成９年	佐藤工業(株)退社 (株)東京設計事務所入社
平成14年	(株)東京設計事務所退社

この記録がどれほどのものかを十分には理解できていなかったように思う．同期入社の多くが東京オリンピック前のインフラ整備のための都市土木現場に割り振られたが，私は東京支店の水力発電所工事現場勤務の辞令を貰った．

１週間ほどの新人研修の最後に，同業他社，異業種企業との合同研修があり，東京電力中興の祖である木川田一隆社長の激励の講演を聴いた．そのあと，普通列車にゆられ，赤城山を眺めながら上越線と吾妻線の分岐点，渋川駅に着いた．乗換えを待つあいだ，ホームで食べたうどんの味は，九州の味とは随分違うと感じた社会人１年生であった．

■群馬県営中之条発電所

私にとって中之条発電所工事が最初の現場であった．調圧水槽から放水口までの工区のなかで，発電所と放水路の現場員として１年間，昼夜の別なくほとんど無休で勤務した．放水路トンネル掘削作業は昼夜２シフトであったが，社員に夜勤はなく，機械の故障や測量チェックで，真夜中に世話役が起こしに来ることが再三であった．

作業員の月給日の翌日，翌々日には多くの作業員が無断で休み，作業は停滞したが，現場員は無休であった．家族のある先輩職員はこの日の前後に交替で，２日の休暇をとって東京や埼玉に帰ったが，それでも最終・始発の電車を利用していたように思う．月に１日だけの全休日となったのはこの工事の終わる昭和35年ごろであった．

新入の現場職員の日課は出面取りと測量である．大学で勉強した測量は既存の構造物や地形を図面化することが主であったが，現場の測量は図面を現地に実現することであり，学校での測量実習が直ちに役立つようなことはなかった．帳張りかけ，墨出し，ダボ設置など，一から先輩に教えてもらいながら，算盤，スケール，野帳を胸ポケットに，腰には釘，金槌，ペンチなどを入れた大工袋をぶら下げて歩く毎日であった．

急斜面にある引照点にトランシットを据え付けるのには苦労した．木製セントルによるトンネルの巻立ても経験し，作業員に交じってコンクリートのネコ攻めを行った．巻厚チェックに立ち会っていた県の監督さんもバイブレータをかけてくれるような時代であった．

毎週土曜の夜は食事に酒が供され，白黒テレビでザ・ピーナツの歌番組を見ながら宴を楽しんだ．昭和35年５月に工事が完了し，多くの仲間とともに東海道新幹線工事現場に向かった．残務整理のために残った仲間たちは，その後，さらに奥のダム工事現場に赴任していった．

■東海道新幹線城堀ずい道

城堀ずい道は，東海道本線湯河原駅の山側に基地を設け，横坑を作業坑として，1,415mの本坑を築造する工事であった．この工事には乗り込みから参加して，最初は仮設備を担当した．仮設用地は湯河原駅構内を一部含み，そこに活線に近接した設備を作った．

今日であれば，振動・騒音など相当厳しい対応が必要と思われるような設備であった．工事区や駅からは特別の指導はなかったが，列車運行に支障しないよう，計画も施工も慎重に行った．

トンネルずりを利用して骨材も生産したが，砕石，砕砂を使ったコンクリートはポンプ圧送が容易でなく，覆工作業の初期にはポンプやパイプを詰まらせるなど，かなりの苦労をすることになった．

ミカン山を掘割った明かり部の２か所の跨線橋は，請負者で設計することになっていた．橋梁担当となった私は，早稲田大学の神山先生(コンクリート工学)の指導を受けるため，東海道線に乗って，大学へよく通った．

昭和36年，このころの東海道本線沿線は新幹線工事の最盛期で，とくに小田原以西では在来線のすぐ山側にトンネルを連続して施工中で，あちこちに建設会社の看板を掲げたバッチャプラントが車窓から望見された．

この現場では，九州の炭坑離職者約30人が準職員として雇用され，トンネル工事に必要な機械工，鍛冶工，電気工，運転工，発破士などとして従事していた．当時，国鉄には工事工手という職種の叩き上げの年輩監督がいて，測量，型枠・鉄筋の検測，コンクリートの巻厚などに厳しい注文をつけられた．会社でも，国鉄の技術者OBや工手OBを社員に採用して，工事区とのコミュニケーションを図ってくれた．

工手は現場作業に精通していて，その活躍のありさまは，丹那トンネルの工事誌などでもたびたび語られている．相手にすれば手強いが，味方にすれば非常に頼りになる存在で，この工手OBにはあらゆる場面で助けてもらった．また，坑内外のレール保守のために国鉄保線区OBにも来てもらった．

トンネルは当時の標準的な底設導坑先進工法で掘進し，上半の支保はH-300で行った．東海道新幹線の工事のなかでも，かなり早期に発注されたこの工事は木製支保工で発注されていた．この当時，すでに斧指という職人は少なくなっており，発注者も入札する側も当然なんらかの鋼製支保工への設計変更が必要と考えていた．現場では従来の古レールでは強度や調達に問題があると考え，当時圧延による生産が始まったばかりのH形鋼に着目した．新日鐵(当時は八幡製鉄)の協力を得て，種々検討ののち，静岡幹線工事局の坂元貞夫局長の指導も受けて，実用化の目途を立てた．

手始めに，横坑には，レール支保工を使用したが，底設導坑にはH-100～H-125を試用するなどして，鉄道トンネルとして，わが国で初めてH形鋼支保工が，このずい道に適用されることになった．支保工は巻厚によって加工寸法が異なるため，専門業者がベンダーを備えた加工場を作って，現場の要求に応えてくれた．現場には製材所も建て，支保工ピッチに合わせた寸法の松矢板を，原木から挽いて切羽に送り込んだ．

■中央線々増小仏ずい道

中央線高尾駅以西の複線化のために，既存のトンネルに並行して鉄道単線トンネルを新設する線増工事で，神奈川県相模湖町側の約1,600mが担当工区であった．

トンネルはV形鋼支保工を用いた全断面掘削で，ずり積込みにはコンウェイショベルを使用した．このショベルは昭和36年に開業した北陸トンネルで使用されたものを国鉄から貸与され，オペレータも機械と一緒に移動して来ていた．

入社後の４年間，これら３か所の山岳トンネル工事現場では，自分の身を守るための安全を徹底して教えてもらった．たとえば，「現場にある板は絶対に踏むな(釘が生えている，下に穴がある)」などを現場赴任の初日に所長に言われた．このような実体験にもとづく安全講話には，説得力があり，以後は私自身がこれらのことを，新入現場員に言い続けてきた．

シールド工事の勉強

昭和38年６月に東京支店勤務となり，シールド工事の勉強をすることになった．折から，わが国では，地下鉄道，下水道などの工事が，従来の開削工法からシールド工法に切り替えられようとしてお

り，シールド工法の需要が急増する気運が見え始めていた．しかし，身近でのシールド工事はまだ珍しく，営団地下鉄の丸の内線永田町ルーフシールド工事の工事記録と名古屋市地下鉄覚王山工区の技術資料を取り寄せ，シールドの「シ」の字も知らなかった私は，想像をめぐらしてシールド工法を理解することに努めた．また，海外のテムズトンネルの数少ない資料から，シールド工法の原理を勉強するよう努めた．

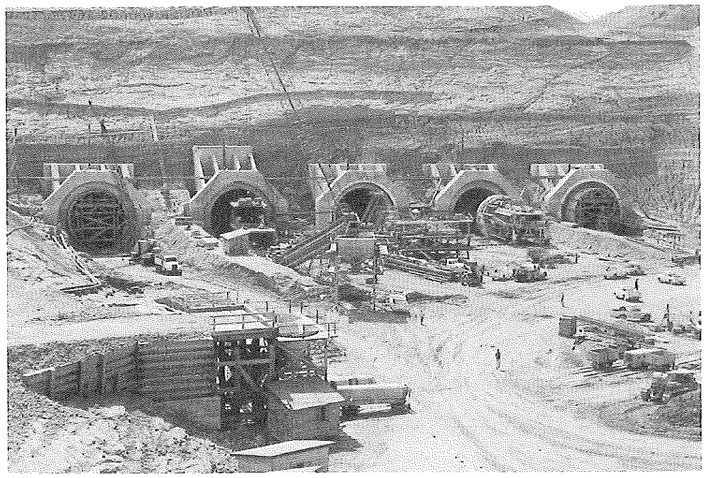
■パキスタン・マングラーダム（MANGLA DAM）

翌年に東京オリンピックを控えた昭和38年９月，パキスタンで稼働中のロビンスのトンネルボーリングマシンの実態調査をすることになり，私を含む３人の技術社員がパキスタン・マングラーダム工事現場に出張した．当時はまだ，日本人が自由に海外に行ける状況ではなかったが，小松製作所と商社の丸紅の協力を得て，１人500ドルの滞在費を持ち，資金が底をつくまでの45日間，現場に近いジェラムの安ホテルから現場へ日参することになった．

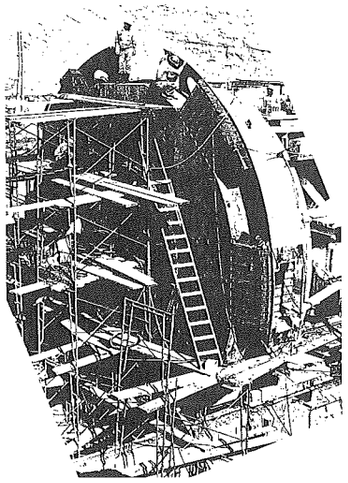
現場は，現在の首都イスラマバードの南東約80km，印パ国境付近のカシミールに近い土漠地帯（さらさらの砂の砂漠と違って固まった地盤の乾燥地帯）にあり，世銀借款によるインダス川支流ジェラム川の水力開発（100万kW）を，米国のアトキンス社をメインにする数十社が共同施工していた．

ボーリングマシンは，１台で延長495mの導水路を，25m間隔に５本並列で順次掘削するものであった（写真参照）．トンネルは２シフトで掘進していて，われわれは昼間だけ見学させてもらったが，トンネルから次のトンネルへのマシンの移動などの段取り替えは，150 tクレーンほかの大型機械を使用して夜間に行われ，朝来てみると現場の様相が一変していることもあった．

トンネル工事には20人以上の作



マングラーの導水路トンネル（マシン外径φ11.2m，25mピッチでトンネルが構築されていた）



整備中のロビンス・トンネルボーリングマシン（粘土掘削用カッタを装備中）



パキスタンの土漠（固まった地盤の乾燥地帯）

業員がいたが，若いアメリカ人が１人で作業を指示していた．彼の言動には外国で働いているという雰囲気が全くなかった．後年，海外工事に関係するようになって，日本人がなかなか現地と同化できないのを見て，欧米人の異国進出の歴史の深さを痛感することになった．

ジェラムはダムサイトから10kmほどの直近の町であるが，ここから工事現場に行く途中にいわゆる「ダムの町」が作られていた．生活，娯楽，医療，教育などの施設が整い，現場で働く人たちは，管理職も作業員も，この作られた町だけで暮らしていた．したがってジェラムの町は工事現場に近いという雰囲気はなく，早朝のコーラン以外は静穏な町であった．

パキスタンは歴史的に親中国の国であり，われわれも町では中国人かとよく聞かれた．カラチ，ラホール，ラワルピンジも平和で安全な都市というイメージであったが，アフガニスタンとの国境カイバル峠に近いペシャワール以西には近づかないよう，当時も忠告された記憶がある．近年パキスタンでは大洪水が頻発しており，大規模な治水ダムの必要性がいわれている．争乱のない国になって欲しいと願うばかりである．

私たちがパキスタンから帰国した直後の11月23日早朝，ケネディ大統領が暗殺された．この日は日米間のテレビ宇宙中継実験が初めて行われた日で，あらかじめ録画されていた大統領から日本国民への挨拶の試験放送に替わって，ダレスで凶弾に倒れた生々しい悲劇の瞬間の映像が，アメリカから送られてきた．

■営団地下鉄５号線洲崎工区土木工事

江東区深川で施工されたこのシールド工事について，2003年の産経新聞紙上で，営団のOB，現役の技術者が次のように回想されている．「営団初の本格的シールド工事，当時の新工法が今は地下鉄の標準工法，掘る作業は人力から機械に変わったがシールド工法のすべての原点」と．

シールド工法で発注された門前仲町駅～東陽町駅間と木場駅の５工区のうち，当社は木場～東陽町の下り線側を担当した．地質は沖積の砂質シルトで，50kN/m²（0.5 kg/cm²）程度の圧気で切羽の安定に問題はなかったが，推進に際してシールドが前傾する傾向にあったため，シールド下部先端にそり状のものを溶接して推進した．

シールド直上の地表面沈下が大きく，路面を走っていた都電のパンタグラフが届かなくなり，枕木のふかし上げが必要な箇所もあった．大雨時に氾濫水の流入を防ぐために，鋼製の蓋を開口部に常備し，天気予報に応じて実際に封鎖したこともあった．

この工事も，その前に経験した下水道シールド工事も，隣工区は熊谷組で，所長・主任とも同じ人が赴任していて，いろいろと教えていただいた．シールド工法がまだ特殊工事であり，専門技術者も少なかったために，同じ技術者が隣工区で出会うことは珍しいことではなかったのである．

■都営地下鉄６号線白山工区

白山シールド工事は，当時の世界最大級のシールド外径10.72mの円形断面を，複雑な互層をなす地下水位の高い洪積層に構築するものであった．掘進の補助工法としてパイロットシールドによる地下水位低下を図るなど，特別な工法を開発・実用化した．

工事概要

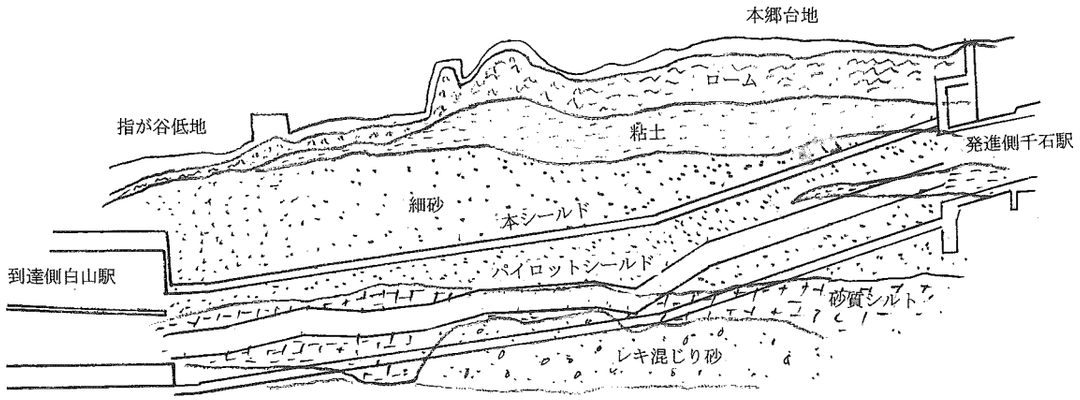
工事は，巣鴨方の千石駅の一部約60mを発進基地として，複線のシールドトンネル約780mを，圧気手掘り式で築造するものであった．ルートは，国道17号線（当時の白山通り，現在は旧白山通り）を２度斜め横断しながら水道橋方面に南下し，本郷台地の西の縁を通り，西方の白山台地との境の指ヶ谷の低地に建設される白山駅に到達するものであった．白山駅はニューマチックケーソンを施工中で，到達側の地質が良くないことが予見された．

地質調査

昭和43年秋，千石駅となる民有地の立ち退きがまだ済んでいない現場に乗り込み，地質調査を開始した．

ボーリングの結果，地質縦断的には本郷台地と指ヶ谷低地の区分は明確でなく，シールドの切羽には，断面上部に細砂層，下部に砂質シルト層が現出することがわかった．上部の関東ローム層の下には板橋層と呼ばれる不透水層があった．

当時，砂層中の営団地下鉄シールド工事が難渋して，パイロットトンネル工法を採用していると仄



白山シールド縦断図

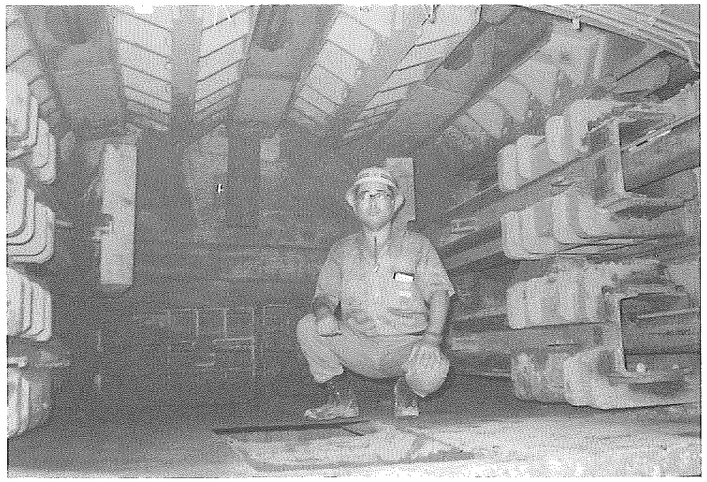
聞していたし，会社で施工中の上下水道工事でも，砂層中のシールド工事は，沖積層でも洪積層でも切羽からの流砂に悩まされており，砂層では圧気は効かないことが常識になりつつあった．

そのため，地質調査を，水抜きトンネルを先進掘削することをある程度意識しつつ，設計変更の資料を得る目的も兼ねて行った．問題の砂層の生の状況を知る目的で，立ち退きの終わった発進立坑用地内で深礎による調査も行った．

φ2.0mのコルゲート枠を使用して，深礎掘削中の昭和43年12月10日，府中で3億円事件が発生，冷たい雨のなか，白山通りでパトカーと白いカッパの警察官が検問を行っていた．深礎は，砂層に到達した深さ15mの時点から流砂による空洞が発生し，コルゲート枠の沈下とボルトの破断が起こり，深度17mで掘削を断念した．

パイロットシールド

深礎掘削の経緯から砂層への取組みが容易でないことを改めて認識し，水抜きを目的としたパイロットシールドの承認願いを提出した．



白山シールド切羽にて

交通局でも発注前から水抜きトンネルの考えがあったようで，この願いは承認され，φ10.5mの断面の中にφ2.6mのパイロットシールドを通すことになった．

本シールド発進までにパイロットシールドを貫通させるべく，ルート始終点に新たにパイロット用立坑を築造し，両口より掘進した．水抜きに有利なようにパイロットは砂層中に通す予定で発進した．平均90kN/m²(0.9kg/cm²)の圧気をかけて掘進したが，湧水を止められず，流砂に悩まされ，掘進は停滞して，やむを得ずシルト層に逃げ込んだ．このため縦断的に大きく蛇行しながら掘進した．

パイロットトンネル内への排水を促進するための排水スクリーン，ウェルポイント式の排水パイプ設置などを実施した．その結果，断気後のパイロットトンネルに流入した地下水量は全体で1.7m³/分，地下水位は，トンネル中心から10～15mの観測井戸では7～9m低下したが，本シールドの断面内にはまだ3～5mの水頭が残っていると推定された．

隔壁盛り替え工法

本シールドは最初から50kN/m²(0.5kg/cm²)で圧気掘進したが，当初はパイロット内に130mごとに5か所ほど隔壁を設置し，進行に従って順次圧気を盛替えてゆけば，無圧気区間での排水も進み，切羽の湧水も少なく安定した掘削ができるはずと考えていた．しかし実際には仮壁撤去直後から切羽への湧水が止まらず，このことから，切羽の砂層から浸透した圧気が地山中に滞留して，坑内気圧と地山内気圧に差がなくなり，圧気の意味がなくなっていると推測した．このことを，地下水が圧気に慣れてしまうと表現していた．

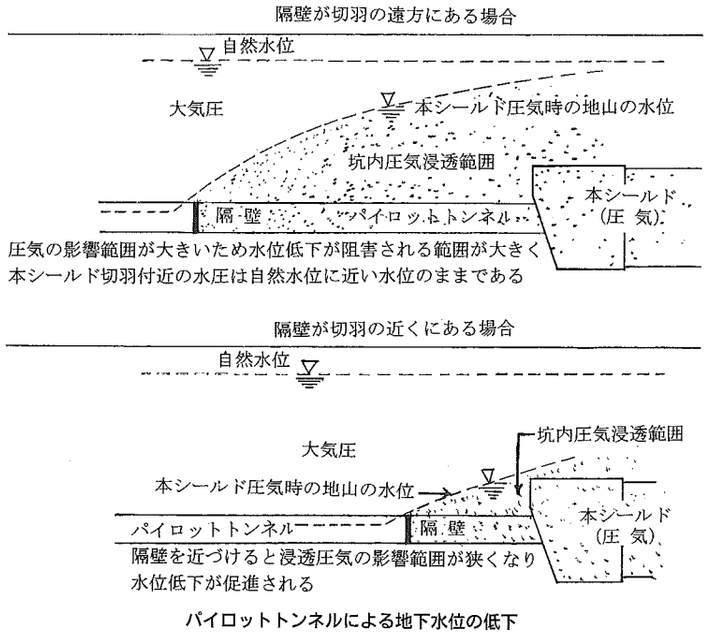
圧気が地山中に滞留するのを防止する目的で，隔壁を切羽に近い位置に移動したところ，切羽への湧水は完全になくなった．以後は隔壁の盛替えを30mごとに実施し，全区間の掘削をドライワークで行うことができた．パイロット無圧気部への無酸素空気の噴出を懸念したがそのようなことはなかった．

パイロットトンネルは，切羽地山の安定度を増す効用もあった．断面のほぼ中央にスチールセグメントで固められた空間があることで，切羽が開放される高さと幅が縮小され，自立性も良くなって，山留めが容易になり，切羽作業を安心して行うことができた．

ロック故障による空気噴出事故

あるとき，セグメント搬入台車が，材料ロック内での運転ミスで，坑内側扉に衝突して扉をこわし，坑内空気が噴出する事故が発生した．

延長約700mのトンネル内の気圧60kN/m²(0.6kg/cm²)は6分間で0になった．坑外側の扉を閉めるなどの作業は空気の噴出中は不可能で，気圧が0になってから坑外側の扉を閉め，3時間かけて坑内圧を回復した．この間，切羽では，進行左側のシルト上面からの湧水による流砂で，断面外側に1m³ほどの空洞が発生した．また裏込め注入孔の蓋が数箇所はずれて，空気，水，砂が噴出し，各1～2m³の空洞が発生した．地上への直接の影響はなかった．



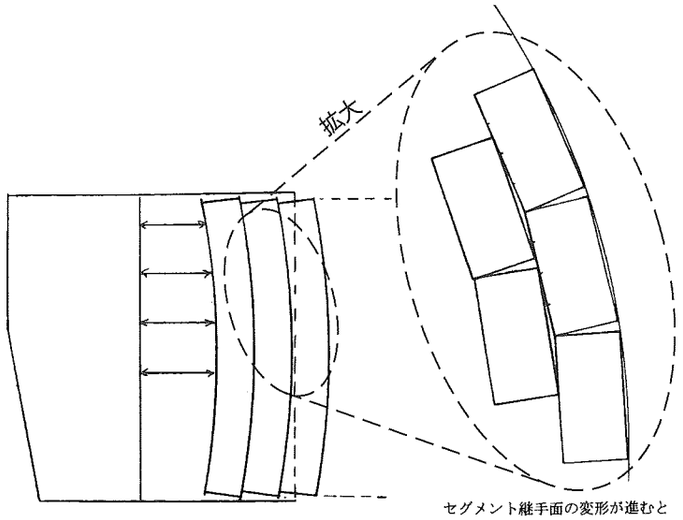
パイロットトンネルによる地下水位の低下

ボルト不貫通とセグメント損傷

掘進中に，セグメントリング間の継手ボルトが挿入しにくくなる問題はよく発生している．この原因のほとんどは，推進ジャッキの偏った使用が重なって，リング間の継ぎ手面が平面形状をなさなくなっているからで，ピースとピースが折れ曲がって組立てられているのが大きな理由と考えられる．ボルト孔径に余裕があるうちは，なんとか挿入できても，最後は挿入不可能になってしまう．

当工事でも掘進当初のカーブ区間でボルトが通りにくくなり，推進に使用しなかったジャッキの付近のセグメント数リングに，引張亀裂が入るトラブルが発生し，発注者の許可を得て，やむを得ずリング間の縁切りを行った．縁切り前後でリング間に発生した隙間の差の大きさは50mm以上あった．縁切り箇所は細ボルトで連結し，10cm以上の隙間を空けて高強度コンクリートを充填した．2次覆工は鉄筋を入れて補強を行った．

シールドは断面が大きいほどカーブ推進は容易であるが，それだけ蛇行もしやすく，推進ジャッキを偏って使用する場合が多い．当現



ボルト不貫通とセグメント損傷がおこる仕組み

場では，このトラブル以後，脱着可能な抵抗板を製作し，随時刃先に取付けて，推進ジャッキをできるだけ全周均等に使用しながら推進し，以後，問題なく掘進することができた．

私は後年，セグメント工場で東京湾横断道路のRCセグメント製造を担当したが，現場で同様のボルト不貫通の問題が起こり，現場から製作精度を疑われたことがある．このときは工場で追加の仮組み検査を実施するとともに，現場に行ってジャッキストロークを計測し，リング面が平面になっていないことを立証して原因を説明し，現場に対応をお願いした．

東京湾の工事のように，セグメントボルトの締付けトルクが厳しく規定されていても起こるのだから，シールド機械や測量技術が進歩しても，この問題は今後も残っていくのではないか．ボルト不貫通，ひいてはセグメント損傷を防止するために，ジャッキストロークの自動測定や光学的計測の技術が既に開発されているとは思うが，いかがであろうか．

沿道の問題

コンプレッサーからの低周波による窓ガラスの振動には，パテ詰めにより窓ガラスを固定した．推進時に機械が地山との摩擦を切る振動には，事前に通過日時を連絡するなどで我慢をしてもらった．

地表面沈下による家屋の壁・床・塀などのクラック，建具の不具合

構築の外側30m範囲内の家屋245物件を事前調査し，苦情には専任の事務職員を置き，建築職員，大工，左官職による巡回と応急処理で対応した．応急処理件数は83件，最終的に交通局にご苦労をかけて行った補償は99件であった．

地表面沈下量は平均25㎜であったが，終点側の指ヶ谷低地にある墓地付近では70㎜の沈下が見られた．シールド直上にあるお寺の本堂は高床式であったので，尺角とスクリュージャッキで仮受けして，沈下に対処した．

井戸の枯渇・濁り・漏気

片側100m以内にある井戸は138件．このうち構築の外側10mの範囲内の26件は事前に埋めて廃止．70件に影響があり，工事完了後，再使用できなくなったもの65件を，交通局で金銭補償された．水道水を使わない豆腐屋数軒は，トンネルより深い井戸を掘って提供した．

沿道問題は建設工事では避けて通れない問題である．苦労も多いし，あからさまに語りたくない面もある．しかし，もう少し，知恵を絞っていれば，金をかけていれば，進行を抑えていれば等々，今にして思えば内心忸怩たるものがないでもない．その思いからあえて実体を述べさせてもらった．

漏水処理

隔壁盛替え工法によって，本シールドの切羽では完全なドライワークが可能であったが，進行に従って，後方のセグメント目地などからの漏水が発生してきた．ここでも坑内から漏洩した圧気が地中に滞留して，坑内圧が有効に働かなくなっていることを実感した．圧気シールドが主力の当時，帯水砂層での最大の悩みであったと思っている．

止水工事

掘進中は随時，目地のコーキング補修，ボルトパッキングの交換，クレーサンドエアモルタル注入などを実施し，掘進完了後の断気前の時点での漏水量は0.3m³/分であった．しかし断気後２か月目には



英国ブライトンのマリナーワーク現場．正面が筆者，右端が北村専務理事

1.1m³/分になり，さらに増加することが予想されたので，トンネル延長の約８割に相当する600m区間で，LW薬液を660m³注入して，0.2m³/分まで下げることができた．２次覆工後もこの漏水は止めることができなかった．

現在はテールパッキングの改良や水膨張シール材の開発で，シールドトンネルの漏水は皆無に近いと聞いている．施工，保守，環境などの面で大変喜ばしいことと思っている．

ヨーロッパでの Film Show

昭和53年秋，国際トンネル協会の理事会がパリで開催され，当時，日本トンネル技術協会専務理事であった北村市太郎氏が出席された．このとき佐藤工業，西松建設，鉄建建設が同行するよう要請があり，各社が特殊なシールド技術を宣伝することになった．

私は土圧シールドの８㎜フィルムを持って同行し，パリ，アントワープ，マンチェスター，ロンドンの４か所で上映させてもらった．上映会場の多くに，日本人も集まってくれた．当地で開かれた学会に出席していた大学教授や，地質調査の専門家，商社マンなど多彩な顔ぶれの日本人に，ヨーロッパに来て会えたことが不思議に思え，また本当に驚きであり，感動であった．

２週間の滞在期間中，各国のトンネル協会の案内で工事現場見学をすることができた．イギリスでは地下鉄の圧気シールド，炭坑の斜坑シールド，道路トンネル，マリーナ工事などをICE(英国土木学会)の役員が案内してくれた．

土木学会が炭坑の現場を案内してくれることは，日本ではあまり考えられないだけに，感動も大きかった．われわれ４人をICEの会員にしてくれるという話もあったが夢に終わった．

お わ り に

私の現場経験は，明かり工事，RCセグメント製造を含めて19年と，土木屋人生43年の半分に満たない．そのなかで，かなり若いころに経験した地下鉄複線シールドの施工を，主に書かせていただいた．古い話ばかり書いてきて申しわけないと思うが，温故知新の言もある．アナログ土木屋の独りよがりの回想として読み捨てていただければ幸いである．

「自分に都合の悪いことは起こって欲しくない，起こるはずがない，起こらないことにしよう」というのが日本人の伝統的な思考パターンといわれている．建設災害に限らず，社会的事件，事故の多くが，関係者のこの思考構造に起因して起こっていることは，最近の事例で明らかである．想定外という言葉は，想定はしていたが対策はとらなかった，ということと世間は受け取るようになっている．

若い人たちにはデジタル，アナログを問わず，先人たちの成功と失敗の歴史を貴重な糧として，現在携わっている仕事に反映し，人災と非難されるような事態を起こさないような努力を期待している．

トンネルジャーナル

鳥取西道路　古海トンネル(仮称)が貫通

中国地整鳥取河川国道事務所が整備する一般国道9号鳥取西道路「古海トンネル(仮称)」が9月10日貫通した．貫通式典には近隣住民ら約90名が集まり，掘削機による実貫通の瞬間を体験した．

同トンネルは，鳥取IC～鳥取空港IC(仮称)間に位置する全長381mの暫定2車線断面のトンネルで，鳥取西道路に計画されている8か所のトンネルのなかでは最初の貫通となる．

同道の計画路線には多くの遺跡が周知され，当初，切土構造で計画されていた同区間にも，保存が必要な古墳群が確認された．これにともない，構造がトンネルへ変更され，古墳の下を掘削する箇所では，地表面に影響がない慎重な掘削が必要とされた．

地山は主に流紋岩からなり，当初は発破掘削NATMを用いたが，坑口から約60m付近から，亀裂が多く風化が進んだD等級の地山が連続したため，機械掘削に切り替え，とくに風化が著しい区間では補助工法として，天端部に注入式フォアポーリング，切羽には長尺鏡補強を行い掘進した．

現道の国道9号は鳥取県東部の東西間を結ぶ主要幹線道路．周辺に代替路がなく，通勤時間帯や観光シーズンには慢性的な渋滞が発生する．同道の整備により，現道の渋滞緩和を図るとともに，供用済みの中国横断自動車道姫路鳥取線と青谷羽合道路を結び高規格幹線道路ネットワークを形成する道路として，早期供用が期待されている．



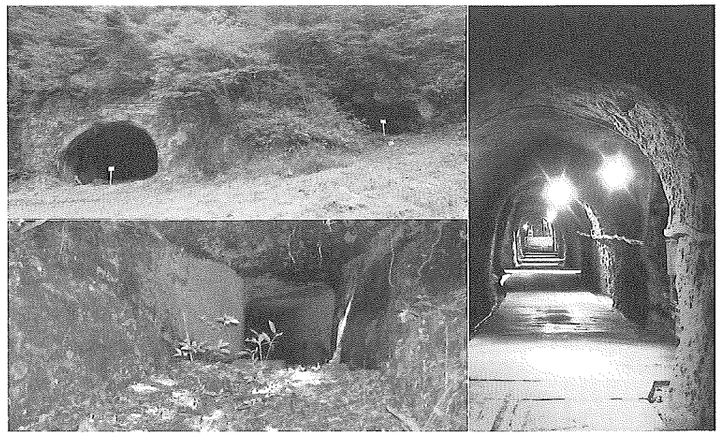
2012年度土木学会選奨土木遺産が決定

土木学会は2012年度土木学会選奨土木遺産を発表した．これは同学会が選定委員会(委員長：篠原修)を設け，まちづくりへの活用などを促すことを目的に幕末～昭和20年代に造られた近代土木遺産を対象として，認定を行っているもの．今年度選定された25点のうち，トンネル・地下構造物は以下の3点．

万世大路：福島県福島市と山形県米沢市を結ぶ．明治・昭和期の先端土木技術を駆使し，山形・福島両県の物流と人の交流と絆を育んだ歴史的地域資産．竣工は初代が1881年，2代目が1936年．

東京動力機械製造(株)地下工場跡：栃木県那須烏山市に位置する．戦車製造の軍需工場として人力だけで建造された総延長600mの素掘りトンネル群で衣装・技術力を超越した迫力が感受される．竣工は1945年．

キリズシのトンネル：大分県中津市と宇佐市を結ぶ．当時では珍しい矩形断面(2m×2m)を延長約70mにわたり手掘りで施工された．後世に残すべき貴重な土木遺産．竣工は1872年．



(左上)万世大路．左が2代目，右が初代の米沢側坑口の現況，(左下)キリズシのトンネル，(右)東京動力機械製造(株)地下工場跡．すべて(社)土木学会提供

計　画

密集市街地での下水道管シールド立坑用地確保と周辺対策への取組み

—品川区による浜川雨水排水管工事—

品川区防災まちづくり事業部河川下水道課長　武　藤　　真

1　はじめに

下水道事業は，原則市町村の事務とされているが，東京都23区の下水道事業は広域的観点から，東京都が事業を担っている．

品川区では東京都から事業を一部受託するかたちで下水道事業を展開しており，浸水対策の促進を図っている．

本稿では，品川区の下水道事情について概説し，後半で，品川区が受託している事業のうち，平成24年度より施工中の「浜川雨水排水管(浜川幹線)」の工事について，工事概要を報告する．

2　品川区の概要

2-1　概要・地形

品川区は，東京都の南部に位置し，22.72km²の面積を有し，人口は366,539人である．全国に約1,700ある区市町村と比較すると，1,530番目程度の大きさであるが，人口は約60番目である．その結果，人口密度としては約10番目となり，市街化が進んだ高密度な都市となっている．

品川区の地形は，区の南北を縦断する東海道本線を境に，東側が埋立てを中心とした低地部，西側が台地部となっている．この台地の中を目黒川および立会川の2つの中小河川が流れている．

2-2　浸水被害状況

品川区では，その地形特性から，河川沿いの低地部などにおいて，いわゆる都市型水害と言われる流域の都市化を背景とした浸水被害が頻発している(図-2)．とくに平成11年には，区内で時間最大77㎜，総雨量81㎜の集中豪雨により，床上

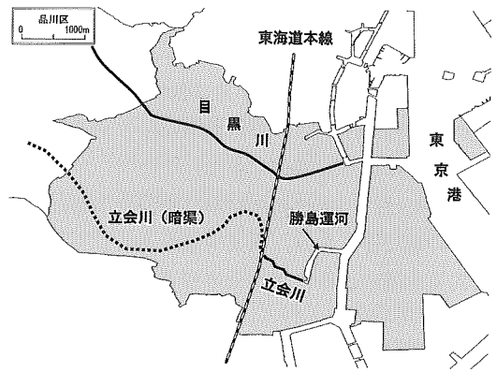


図-1　品川区地形

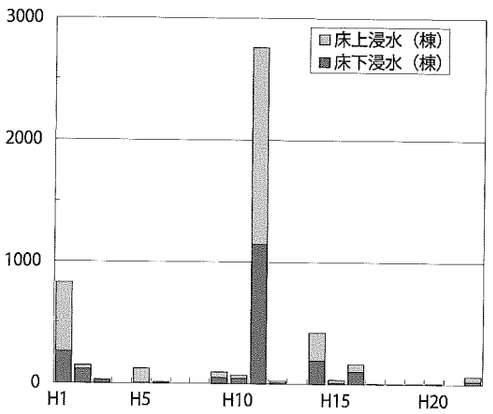


図-2　品川区浸水被害

1,614棟，床下1,134棟もの被害が生じた．近年，大規模な浸水被害をもたらす豪雨は幸いのところないが，局所的な浸水被害が続いている．

区民の財産を守るためには，下水道の整備などを着実に進め，区としても少しでも浸水被害を軽減する努力が必要である．

3 都と区の連携による効率的な下水道整備

3-1　下水道事業の受託

公共下水道事業は，原則として市町村の事務であるが，東京都区部は，人口や業務機能が高度に集積し，市街地が広範囲に広がっているため，東京都が広域的な観点から下水道事業を担っている．

一方，品川区では，過去に浸水被害が多発したことから，区内における浸水対策を促進させ，早期に被害を軽減することを目的に，昭和61年度より，品川区が東京都から事業を受託し，区として下水道の整備を実施している．

区による下水道整備は，当初は，浸水被害の大きかった目黒川沿いの雨水対策用の下水道管シールド工事などを実施してきた．

近年では，下水道にかかわる課題が多様化してきていることもあり，震災対策，老朽化対策，合流式下水道の改善対策，雨水浸透事業についても受託し，幅広く下水道事業を推進している．

3-2　都と区の連携による効果

品川区が受託して，下水道事業を実施することは，大きく３つのメリットがある．

１つは，地域の情報をより詳細に把握しているため，設計などにきめ細かく反映できることである．

例えば，シールド工事の作業ヤードを選定する際に，区では，区立公園や区施設用地をはじめ，統廃合された学校用地などをきめ細かく調査し，幅広い候補地の中から適地を早期に選定することも可能である．

２つ目として，住民にとって身近な立場として，住民要望に対して，より円滑かつ迅速に対応できることである．長期にわたる事業では，例えば用地借地から用地復旧まで区が一貫して事業を実施するなど，住民との信頼関係を保ちつつ，事業を完遂できる．

３つ目として，区役所職員の技術力向上に寄与できることである．シールド工事や開削工事を区役所職員が直接経験することは，土木技術者として大きな能力向上の機会となっている．受託工事で得た技術を区内の他の事業にフィードバックしていくことで区の事業全体の技術力向上にもつながっている．

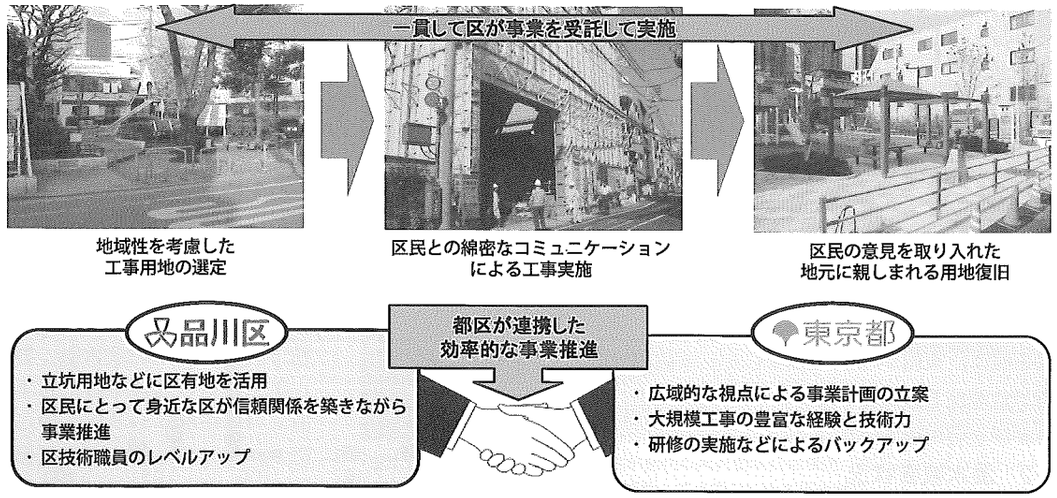


図-3　都と区の連携による効率的な下水道整備

4 立会川・勝島運河流域における下水道整備計画

4-1　立会川・勝島運河の現状

今年度より，品川区で事業を受託し整備中の「浜川雨水排水管(浜川幹線)」の建設について紹介する．

はじめに浜川雨水排水管の対象流域である品川区の立会川流域およびその下流部の勝島運河の流域において進められている浸水対策事業および合流式下水道の改善のプロジェクトを説明する．

立会川は品川区を東西に流れる中小河川であり，河口から750mの地点までは，いわゆる開渠として流れているが，それより上流は暗渠化され下水道施設として利用されている．流域面積は約8.1 km^2，河川延長7.41km(開渠750m)である．

小規模な河川であるが，先に述べたように流域のほとんどは市街化され，雨水の大部分は下水道を通じて短時間に河川に流出し，一度溢れると被害は甚大なものとなる．

立会川が流れる先の勝島運河は，沿岸部の埋立てにより形成された運河であり，周囲に埋立てが続いたことにより，閉鎖的な水域となっている．一方，立会川流域の下水道は東京都区部の大部分と同じように，合流式下水道の方式で下水道管が整備されており，雨水と汚水を同一の下水道管で流すという特性上，大雨時には汚水混じりの雨水が放流される．したがって降雨後は，勝島運河のような閉鎖性水域では水質悪化や悪臭の影響が見られ，その改善が大きな課題となっている(写真-1)．



写真-1　降雨後の勝島運河

4-2　水質改善に向けた取組み

立会川・勝島運河の水質改善に向けては，さまざまな取組みを実施しており，その取組みは図-4のように分類される．

(１)　流量の確保

平成14年から，JRが地下30mに建設したトンネルに湧出する地下水を導水している．送水量は１日あたり約4,500m^3にもなり，源頭水源をほとんど持たない立会川にとっては貴重な水源となっている．このJRからの湧水を導水してから，立会川の水質や臭気の課題は大幅に改善されている．

なお，このJR地下トンネルの湧水導水に必要な送水設備としては，送水管の延長が12,300m(トンネル区間8,500m，地上区間3,800m)，最大6.5 m^3/分のポンプを設置している．この整備に必要となる事業者の負担は約30億円であったが，年間数億円にもなる下水道料金を節減できることから，事業者側にもメリットのある事業となっている．

(２)　河川の直接的な浄化

河川を直接浄化する手法として，立会川の河川の中に高濃度酸素溶解水を溶け込ませ，貧酸素状態(汚れのため酸素の少ない状態)の改善を行っている．

(３)　合流式下水道の雨天時処理量の増加

雨天時に立会川に放流される汚れの量を減らすために，合流式下水道の改善事業を進めている．

これまでは，雨天時における下水をより多く水再生センターに送水するために下水道管の整備が行われてきた．具体的には，雨天時に処理する下水の量を，以前は晴天時に流れる汚水の量(Q)の

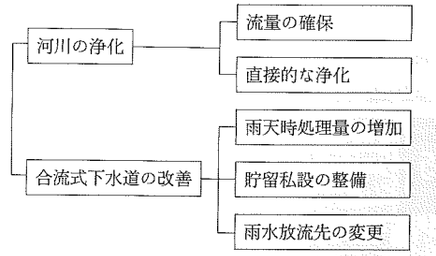


図-4　水質改善の取組みの分類

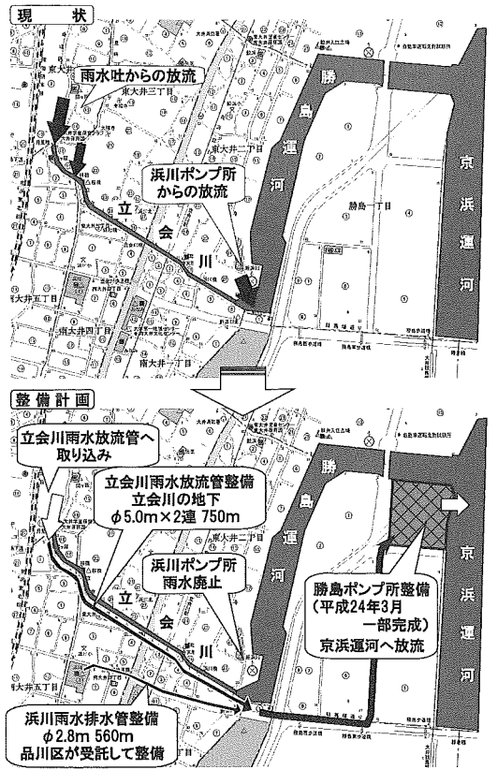


図-5　立会川・勝島運河整備計画

2倍(2Q)であったものを，5割増しの3倍量(3Q)に増やしている．

(4)　雨天時の放流先の変更

立会川・勝島運河流域におけるさらなる合流改善の取組みとして，立会川・勝島運河に放流されている雨水を，水質への影響が比較的少ない地点へ放流先を変更する．

具体的には，現在，立会川(開渠部)に直接放流している下水道と，勝島運河に放流している浜川ポンプ所に対して，新たに「勝島ポンプ所」およびそれに接続する下水道管として「立会川雨水放流管」「浜川雨水排水管(浜川幹線)」などを整備する計画である(図-5)．

5　浜川雨水排水管および立会川雨水放流管の整備

5-1　立会川雨水放流管の整備

立会川雨水放流管は，現在の立会川に流れる洪水の大部分を取り込み，河川の地下に洪水を流すための下水道管である．洪水は地下を流れ，新たに整備した勝島ポンプ所を経由して，閉鎖的ではない(流れを有する)京浜運河に放流する計画である．

立会川雨水放流管は立会川の洪水の大部分を取り込むため，その規模は内径5.0mの下水道管を2本，延長750m，深さ約20mとする．

本事業は，東京都下水道局が実施するが，河川からの洪水を取り込む位置に，品川区の区施設が位置していたことから，都と品川区が協議した結果，区施設を工事期間中，仮移転することとした．

区施設は高齢者のデイサービスなどとして利用していたことから，利用者へのきめ細やかな対応を図るとともに，建物の移転にかかわる調整などを円滑かつ迅速に進めるため，区施設の仮移転に関する事業については，東京都から品川区が受託している．

5-2　浜川雨水排水管建設工事

5-2-1　整備目的

浜川雨水排水管(浜川幹線)は，品川区の低地部の雨水を汲み上げ勝島運河に排水している浜川ポンプ所の雨水排水機能を，勝島ポンプ所に切り替えるための下水道管である．

これにより，浜川ポンプ所から勝島運河への雨水の放流はなくなり，勝島ポンプ所から京浜運河への放流となる．

浜川雨水排水管の整備は，品川区が東京都から受託して事業を実施する．

5-2-2　管布設工法

浜川雨水排水管の概要は以下のとおりである(図-6)．

- 路線延長：約550m
- 仕上がり内径：φ2.8m
- 土かぶり：約17～18m
- 線形：発進直後に$R=40$mの曲線，ほかはおおむね直線
- 土質：N値50以上の細砂層，N値10～20の粘性土層
- 地下水位：GL－1.6～－5.8m



図-6　浜川雨水排水管　平面・縦断計画

工法については，条件を踏まえ種々検討した結果，泥土圧シールド工法を選定している．

5-2-3　シールド発進立坑位置の検討

今回の施工で大きな課題のひとつは，シールド発進立坑位置であった．

シールド発進基地として，作業ヤードは約1,000～1,500m²は必要になるが，区内は市街化が進み，適地はそう多くはない状況であった．借地できるような民地はなく，やはりオープンスペースとしては区立の公園用地しか見当たらず，今回は区立公園である「浜川公園」を候補地として選定した．

浜川公園は，昭和49年に開園した公園で，面積4,388m²を有し，区内の公園としては比較的規模が大きい．

公園は，その広さを活かし，遊戯ゾーン，多目的広場，築山，桜並木など多様な要素を備えており，とくに春には地元による桜まつりが開催されるなど地域に親しまれている．

したがって，シールド発進基地を公園内にどのように配置していくかを慎重に検討する必要があった．

5-2-4　シールド発進基地の検討

（1）　既設水道配水管シールド位置の課題

浜川公園北西部を通過している配水管のシールドは，セグメント外径φ2,256㎜，土かぶり約29mであり，浜川雨水排水管の施工深さから考えると，高さ位置においてトンネルどうしが干渉することはないと判断される．しかし，立坑位置については，土留め壁の根入れ深さを考慮すると，配水管シールド上に立坑を設置することは困難である．

（2）　樹木の課題

公園内には大樹が植えられている．品川区では，「水とみどりの基本計画・行動計画」を平成23年度に策定するなど，みどりを重要な資産と認識している．

とくに桜の木は，周辺住民にとって重要な存在であり，立坑位置，作業ヤードの設置場所を検討する必要がある．

（3）　公園利用の課題

品川区には，十分な公園が整備されておらず，周辺住民の貴重な憩いの場である公園の利用を，できるかぎり確保することが重要である．また，公園の前面となる位置を避けるなどの工夫も必要である．

（4）　施工上の課題

シールド施工中は，セグメントの搬入，掘削土砂の搬出による車両の頻繁な出入りがあるため，周辺道路から発進基地への進入路を確保する必要がある．また，立坑位置によるシールド線形も考慮する必要がある．

こうした条件を踏まえ，発進ヤードの設置位置として以下の3案を比較検討した．

A案：公園北側の角（メインエントランス）

B案：公園南側の中央付近

C案：公園南東側の中央付近

比較検討した内容を**表-1**に示す．

A案は，シールド線形として有利であり，面積も最小限となるが，桜の大木を6本移植する必要があり，困難と判断した．

C案は，桜などの樹木の移植がもっとも少なく，有利な案と考えたが，公園の利用実態などを調べた結果，公園の利用が多いスペースに防音ハウスを占用することから，不利な案と判断された．

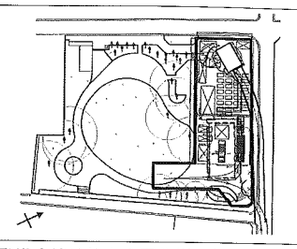
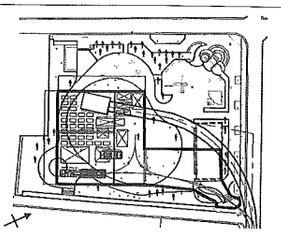
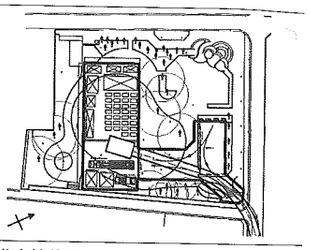
B案は，桜の移植が2本あるが，そのうち1本は幼木であり，移植が容易であることなど，A，C案と比較し相対的にもっとも有利な案と判断し，採用することとした．

5-2-5　説明会

浜川雨水排水管の基本的な整備方針が確定した段階で，公園を約4年間という長期にわたって占用することもあり，周辺の住民に対して設計の説明会を開催した．公園の利用計画など十分な事前検討を行ったことから，説明会で大きな反対意見もなく，理解が得られたものと判断している．

資料は品川区のホームページに掲載しているので，興味があればご覧いただきたい（http://www.city.shinagawa.tokyo.jp/ct/other000032200/setumeikai.pdf）．

表-1　浜川公園における発進立坑・作業基地の検討

	A 案	B 案	C 案
概要図			
概要	発進立坑地位を公園北側の角に設置して発進ヤード（防音ハウス）を北東側の道路に沿った形で配置する．工事車両の出入り口は，公園東側の角付近に設け南東側に車両の切り返し場所を設ける（基本設計案）．	発進立坑を公園南側の中央付近に設置して，発進ヤード（防音ハウス）を南東側に寄せて配置する．工事車両の出入り口は，公園東側の角付近に設ける．車両の切り返しは防音ハウス内とする．	発進立坑位置を公園南東側の中央付近に設置して発進ヤード（防音ハウス）を南西側に配置する．工事車両の出入り口は，公園東側の角付近に設け北東側に車両の切り返し場所を設ける．
シールド線形	シールド延長：約539m 発進後の曲線半径：R＝50m 3案中，シールド延長の長さは中位．曲線半径は大きい．	シールド延長：約550m 発進後の曲線半径：R＝40m 3案中もっともシールド延長が長い．	シールド延長：約532m 発進後の曲線半径：R＝30m 3案中発進後の曲線半径がもっとも小さい．
公園内撤去物	主な撤去施設：防火水槽，メインエントランス，園名石，コンビネーション遊具，ベンチ，砂場，水のみ場，球戯場，サブエントランス 3案中，撤去施設物がもっとも多い．	主な撤去施設：水のみ場，球戯場，サブエントランス 3案中，撤去施設物がもっとも少ない．	主な撤去施設：球戯場，サブエントランス，公園灯，野外卓 撤去施設物が比較的少ない．
樹木の移植	桜：6本，街路樹（北東側）：6本 移植する樹木に桜6本と北東側街路樹6本を含む．	桜：2本，街路樹（北東側）：0本 移植する樹木に桜2本を含む．	桜：1本，街路樹（北東側）：0本 移植する樹木に桜1本を含む．
工事車両の進入路	公園南東側のサブエントランス付近から進入，場内で切り替えして同場所から退出する．	公園南東側のサブエントランス付近（北西寄り）から進入，場内で切り替えして同場所から退出する．	公園南東側のサブエントランス付近から進入，場内で切り替えして同場所から退出する．
周辺からの景観	メインエントランスを撤去して防音ハウスを設置するため景観を大きく阻害する．とくに北西，北東側道路に面するため周囲への威圧感が大きい．	防音ハウスは公園の内部に設置され，公園周囲の大樹が多く残るためA案に比べて景観上の影響は少ない．サブエントランス部分は，工事車両の出入り口となる．	防音ハウスは公園の内部に設置され，公園周囲の大樹を残すためA案に比べて景観上の影響は少ない．サブエントランス部分は，工事車両の出入り口となる．
公園の利用	メインエントランス，サブエントランスともに撤去されるため，公園内へのアクセスが限定される．	メインエントランスが残されるため，公園北西側の利用は，比較的しやすい．	メインエントランスが残されるが，公園の利用は，北側付近に限られる．
交通上の安全性	歩道は，維持されるがサブエントランス部における工事車両の出入りが発生する．防音ハウスが，道路境界近くに設置されるため公園北側の交差点で視認が阻害される．	歩道は維持されるが，サブエントランス部における工事車両の出入りが発生する．	歩道は維持されるが，サブエントランス部における工事車両の出入りが発生する．
施工性	立坑位置が，道路近くとなるため土留掘削で架空線や交通の制限を受ける（立坑時）． 施工性について，とくに問題はない（シールド時）．	立坑位置が公園奥となるため，土留掘削で架空線や交通の制限を受けにくい（立坑時）． 施工性について，とくに問題はない（シールド時）．	立坑位置が，公園奥となるため土留掘削で架空線や交通の制限を受けにくい（立坑時）． 工事車両の進入場所と資材（セグメント）の仮置き場所の間に立坑があるため資材の移動など施工性に劣る（シールド時）．
作業ヤード面積	防音ハウス面積：900m² 工事車両入出用地：352m² 合　　計：1,252m²	防音ハウス面積：1,023m² 工事車両入出用地：440m² 合　　計：1,463m²	防音ハウス面積：900m² 工事車両入出用地：541m² 合　　計：1,441m²

5-2-6　今後のスケジュール

浜川雨水排水管の工事は平成24年秋ごろに現場着手し，平成25年度末まで立坑およびシールド工事を予定している．続く人孔設置，接続管渠の工事を平成27年度にかけて施工し，公園の復旧は平成27年度末を予定している．

6　おわりに

全国的な傾向ではあると思うが，品川区でも土木技術者は年々減少してきており，マンパワーの確保が課題となっている．

東日本大震災後，復旧，復興を急いでいる東北地方の各自治体では，技術職員の不足が叫ばれており，品川区からも応援職員を派遣しているところである．一方，首都圏においても首都直下地震のおそれが高まっており，発災後は区役所の技術職員も十二分の対応が求められることとなる．

品川区としては，引き続き下水道事業を東京都から受託するなどして，下水道事業の推進はもとより，職員一人ひとりの技術力を高め，人的側面からも災害への備えを万全にしていきたい．

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．

〔目　次〕 **第一章　概説**　1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場　2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況　3. 今後の技術開発の方向性　**第二章　調査・計画編**　1. シールド工法の調査技術　2. 断面および線形計画　3. シールド機種の種類と選定　4. 新しいシールド工法　**第三章　設計・施工編**　1. 覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術　2. 立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化　3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定　4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法　5. 切羽の安定と地盤変状防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定　6. 地盤変位の理論と実際
付録　1. セグメントの設計例　2. 地盤変位予測解析手法の例　3. シールド工事の施工計画

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

既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室室長　小　島　芳　之
(公財)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　野　城　一　栄

1　はじめに

山岳トンネルは耐震性に富む構造物である．実際，東日本に未曾有の大災害をもたらした2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震でも，新幹線トンネルの一部に路盤隆起が生じた以外は大きな被害がなかった[1]．しかし，過去の地震ではトンネルに大被害が生じたことは少なくなく，最近の2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震において，トンネルにおける被害の復旧工事が鉄道の運転再開のボトルネックとなったことは記憶に新しい[2]．

一方，建設技術の進歩により，近年の新幹線などの鉄道路線には，山岳トンネルが占める割合が増加している．この点も鑑みれば，山岳トンネルの耐震性を正しく評価し適切に対策を講じることは，路線全体の地震に対する安全性・復旧性の向上に寄与するものと考えられる．

鉄道山岳トンネルにおける地震対策の研究の先駆けは，吉川(1979)による震災事例調査[3]である．その後，1995年兵庫県南部地震での六甲トンネルの被害などに鑑み，朝倉ら(1998)により被害メカニズムの研究が行われた[4]．

筆者らは，これらの成果を踏まえ，新潟県中越地震を契機として山岳トンネルの地震対策の研究を進めた．2006～2008年度には京都大学，鉄道・運輸機構との共同研究(運輸分野の基礎的研究推進制度による)も実施した[5]．さらに，2009年度に学識経験者，鉄道事業者，鉄道・運輸機構，鉄道総研で構成される「既設山岳トンネル地震対策マニュアルに関する検討会」(委員長：朝倉俊弘・京都大学大学院教授)を設け，『既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル(案)』(2010年11月)[6]を作成した．

本稿では，本マニュアルで示した内容をもとにして，地震対策および震災復旧の考え方の概要を紹介する．

2　マニュアルの目的と構成

本マニュアルは，既設の鉄道山岳トンネルを対象として，地震に対する安全性を向上させるために実施する地震対策(事前対策工)と，地震で被災した際の震災復旧(復旧工)の両方について，考え方を示すものである．

図-1に目次構成を示す．第１～３章がマニュアル本体であるが，付属資料では，過去の実績が最

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

図-1　マニュアルの目次構成

良のお手本であるというトンネル工学の基本原則に則り，事例集を重視し，また，極力詳細がわかるよう質・量両面から充実を図ったほか，事例分析結果や過去の研究成果もとりまとめた．

3 地震対策

3-1 地震対策の現状

これまで，鉄道山岳トンネルで地震対策が講じられた例は少ないが，**表-1**に示す3つの事例がある．表からわかるように，新幹線トンネルを対象とし，耐震性の検討を行う区間を想定活断層あるいは震源域とトンネルとの距離を参考にして設定し，その区間内のトンネルに対して対策が講じられている．本マニュアルでは，これらの実績を参考にして地震対策の考え方を整理した．

3-2 地震対策の検討手順

図-2に地震対策の検討手順を示す．以下，この手順に沿って枠内の項目を概説する．

なお，「耐震性の検討を行う区間の決定」の前に検討対象線区を決める必要がある．例えば，新幹線や都市鉄道は地震被害による社会的影響が大きく，地震被害リスクが大きい．しかし，こういったリスク評価はマニュアルの範囲を超えており，橋梁や土構造物など鉄道全体を支える他の構造物の耐震性も評価したうえでバランス良く行う必要があることなどから，本マニュアルでは，検討対象線区が決定された後の考え方を示している．

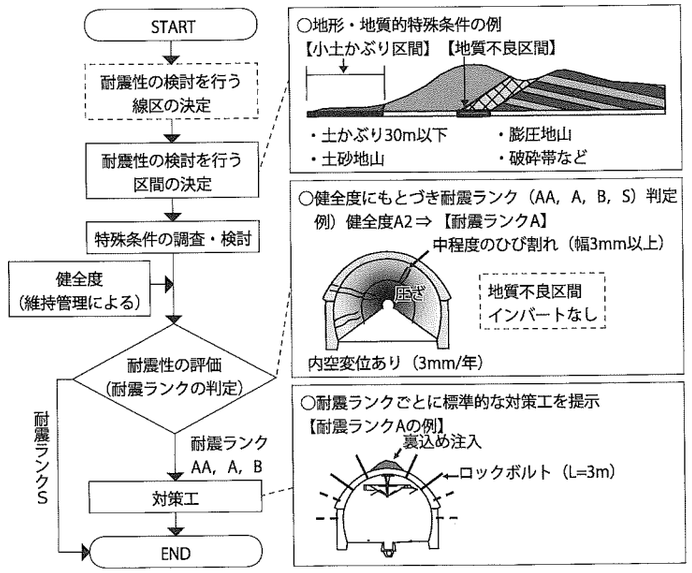


図-2　地震対策の検討の流れ

3-3 耐震性の検討を行う区間の決定

検討対象線区が決定された後は，例えば，活断層の位置・確実度・活動度，活断層とトンネルとの距離をもとに，耐震性の検討を行う区間を決定し，検討対象とするトンネルを抽出する．

図-3に，既往の被害事例について，地震断層面からの距離と被害程度との関係を整理した結果を示す．地震断層面からの距離，マグニチュードと地震被害の程度は一定の関連があることから，耐震性の検討を行う区間の決定にあたっては，この実績が参考になるものと考えられる．

3-4 調査と耐震性の評価

3-4-1 特殊条件とその調査

（1） 特殊条件

特殊条件とは，地震動の規模（地震の大きさ，

表-1　鉄道トンネルの地震対策の実施事例

事　例	検討区間	活断層の考え方	備　考
東海地震対策（国鉄）	・東海地震防災対策強化域内 ・新幹線	（東海地震）	地震被害の軽減 86～92年度
活断層近傍トンネルの地震対策（国交省脱線対策協議会）	・活断層交差箇所から±100m ・新幹線	確実度Ⅰ 活動度B以上※）	活断層変位による直接被害の軽減 05～07年度
新幹線の地震対策（JR東日本）	・活断層5km ・新幹線	確実度Ⅰ 活動度B以上※）	地震被害の軽減 09年度～実施中

※）『新編日本の活断層』[7]による．

断層面からの距離）以外にトンネルの地震被害に影響を与える要因のことであり，**表-2**に示すようにまとめられる．**図-4**は，1923年関東地震から2007年新潟県中越沖地震までの山岳トンネルの被害について，被害程度別の，被害トンネル数に対する特殊条件を有するトンネルの占める割合を示したものである．図より，特殊条件の介在により被害規模が大きくなる傾向が明らかである．

そのため，耐震性の評価には，特殊条件を抽出するための調査を行うことが重要である．

（2） 特殊条件の調査方法

表-3は，特殊条件に関する調査方法をまとめたものである．ここに示す方法は，通常の維持管理で行われている調査方法（『鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造

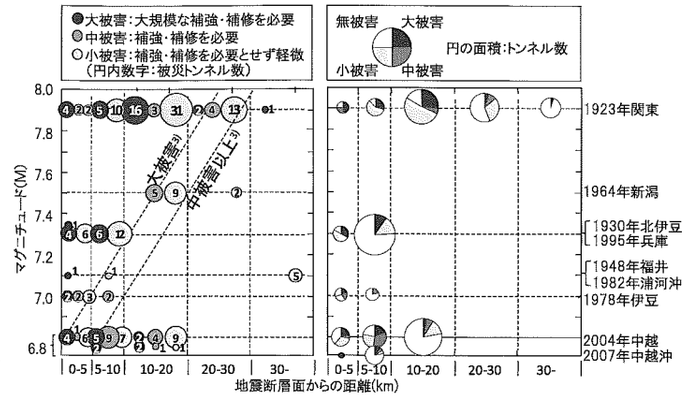


図-3　地震断層面からの距離と被害程度との関係

表-2　特殊条件

分　類	特殊条件
構造的なもの	構造不良（背面空洞・巻厚不足など）
	材料劣化・材質不良
	インバートなし※1
地形・地質的なもの	小土かぶり区間（坑口部含む）
	偏圧・地すべり区間
	地質不良区間（破砕帯，膨圧地山，土砂地山など）
	地質急変箇所

※1：将来的に安定を損なうおそれのある地山の場合のみ（例：塑性圧，緩みによる鉛直圧を生じやすい地山）

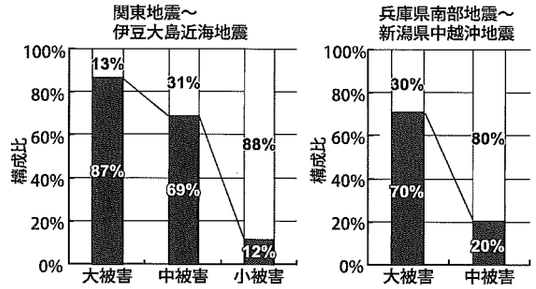


図-4　被害トンネル数に対する特殊条件を有するトンネルの占める割合

表-3　特殊条件に対する調査方法

分　類	特殊条件	特殊条件が疑われる事象	調　査　法
構造的なもの	構造不良	—	・覆工ボーリング，電磁波探査
	材料劣化・材質不良	—	・目視，打音調査，室内試験
	インバートなし※1	—	・資料調査（設計図書，工事記録，竣工図など）
地形・地質的なもの	小土かぶり（坑口部を含む）	—	・資料調査（地形図，地質図，設計図書，工事記録，竣工図など），地表踏査，地質調査（ボーリング，室内試験など）
	偏圧・地すべり	・土圧による変状or履歴あり ・難工事※2	・資料調査（地形図，地質図，工事誌，航空写真判読，災害記録など），聞き取り，地表踏査，地質調査（ボーリング，室内試験など）
	地質不良 ・破砕帯 ・膨圧地山 ・土砂地山など	・土圧による変状or履歴あり ・路盤変状or履歴あり ・難工事※3	・資料調査（地形図，地質図，設計図書，工事記録，竣工図など），聞き取り，地質調査（ボーリング，室内試験など）
	地質急変	—	・資料調査（地形図，地質図，設計図書，工事誌，工事記録，竣工図，航空写真など），地表踏査，地質調査（ボーリング，室内試験など）

※1：将来安定を損なうおそれのある地山のみ　　※2：例えば，変形，崩壊の履歴ありなど
※3：例えば，押し出し，崩壊・流出の履歴ありなど

物編)トンネル』[8])と変わるものではないが，「小土かぶり」「地質不良」「地質急変」については，通常の維持管理では必ずしも詳細に調査されない項目なので，改めて行う必要のある調査もある．

3-4-2　耐震性の評価(耐震ランクの判定)

「耐震ランク」によって耐震性を4段階に区分する方法を提案した．耐震ランクとは，地震対策の優先度を示す指標で，**表-4**に示すようにAA, A, B, Sの順に優先度が高くなる．耐震ランクは，**表-5**に示すように，維持管理における検査で判定された健全度(A1, A2, B, C, S)と，前述の特殊条件の介在状況を考慮して判定する．すなわち，地形・地質的な特殊条件あるいは構造的な特殊条件に該当する場合は，適宜耐震ランクを補正する．耐震ランクがAA, A, Bの場合は，対策工の選定・設計に移る．

表-4　耐震ランクの定義

耐震ランク	構造物の状態
AA	大規模地震時にトンネルの崩壊や路盤部の大きな被害が生じるおそれがある
A	大規模地震時に覆工の大規模な剥落や大きな変形が生じるおそれがある
B	大規模地震時に覆工の剥落や変形が生じるおそれがある
S	大規模地震時に覆工の剥落や変形が生じるおそれがない

- 坑口部において，上部地山の斜面崩壊によって坑口が土砂で閉塞されるおそれがあるなどの場合は適用外．
- 大規模地震：M7程度の直下型地震がトンネルと断層面からの距離5～10km以内の位置で生じた場合を想定

表-5　耐震ランクの判定基準の例

特殊条件の例		維持管理における健全度※1 C～B	健全度 A2	健全度 A1
覆工厚が著しく不足		B	B	A
小土かぶり	インバートあり	B	B	A
	偏圧・地すべり	B	A	A～AA
	インバートなし	B	A	A～AA
地質不良	インバートあり	B	B	A
	建設時に難工	B	A	A～AA
	インバートなし	B	A	A～AA
地質急変	インバートなし	B	A	A～AA
特殊条件なし		S	B	A

※1：外力による変状に関する健全度(『鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル』など参照)．

3-5　対策工の選定と設計

対策工は，耐震ランクごとに**表-6**に示すように，耐震ランクAとBに対して選定方法が示されている．すなわち，裏込め注入を対策の基本とし，耐震ランクAの場合は剥落防止も兼ねてロックボルト(内面補強工でも可)を追加することとした．なお，耐震ランクAAについては，既変状の程度が大きく対策工も大規模なものとなると考えられるので，対策工の標準的な組み合わせを提示するまでに至っておらず，過去の事例や標準設計を参考にし，個別に検討する．

地震対策としてのロックボルトには，以下のような役割があると考えられる．

- 覆工の剥落対策(アーチ部に打設することにより覆工を地山に縫いつけて剥落を防止)
- 覆工の変形・盤膨れの抑制(側壁～アーチに打設して覆工の変形を抑制し圧ざなどの発生を防止．路盤部に打設し盤膨れを抑制)

これらの点を考慮し，ロックボルトの標準パターンを，**表-7**のように3種類に整理した．

表-6　耐震ランク別の標準的な対策工

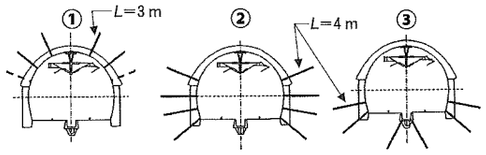
対策工＼耐震ランク	S	B	A	AA
裏込め注入	—	○	○	別途検討
ロックボルト	—	—	○	
内面補強工	—	—	△	

○：原則として適用　　△：ロックボルトの代替として適用

表-7　ロックボルトパターン

ロックボルトパターン	適用箇所
①アーチ部主体型	主にアーチ部にひび割れなど※1,3,5
②側壁部主体型	主に側壁部にひび割れ，水平内空の縮小など※2,3,5
③路盤部主体型	地質の悪い箇所でかつインバートがないなど※4

※1：ひび割れはあるが土圧による変状でない箇所など
※2：側壁部にひび割れが多い箇所，水平内空変位の縮小が確認されている箇所など
※3：変状の状況に応じ，①と②を重ね合わせる．
※4：地質の悪いがインバートがない箇所などには③を追加．
※5：覆工の著しいブロック化，十分な引き抜き耐力を期待できない場合などは内面補強工についても検討．



4　震災復旧

4-1　震災復旧の現状

図-5は，過去の事例についてトンネルの震災復旧に要した期間を整理したものである．この図より，はつり落としや剥落対策程度なら早期に復旧できるが，改築や大規模な補強の場合は長期間を要することがわかる．これらの中には，トンネルの被害が線区の運転再開時期を左右したものもあった．その理由は，被害状況の把握に時間を要したこと，復旧資機材の搬入路の確保が難しかったこと，狭い坑内での非効率な作業を強いられたことなどが挙げられる．

また，坑口部が斜面災害により被害を受けた場合は，斜面対策に多くの時間を要した．一方で，山岳トンネルの被害は頻繁に起こるものではないため，復旧計画に手間取ることもその理由の一つとして考えられる．

このような実態に鑑み，手戻りなく復旧を行う

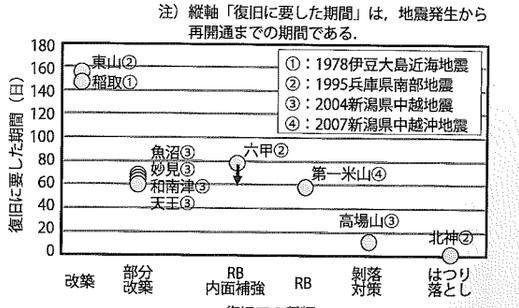


図-5　復旧工の種類と復旧に要した期間

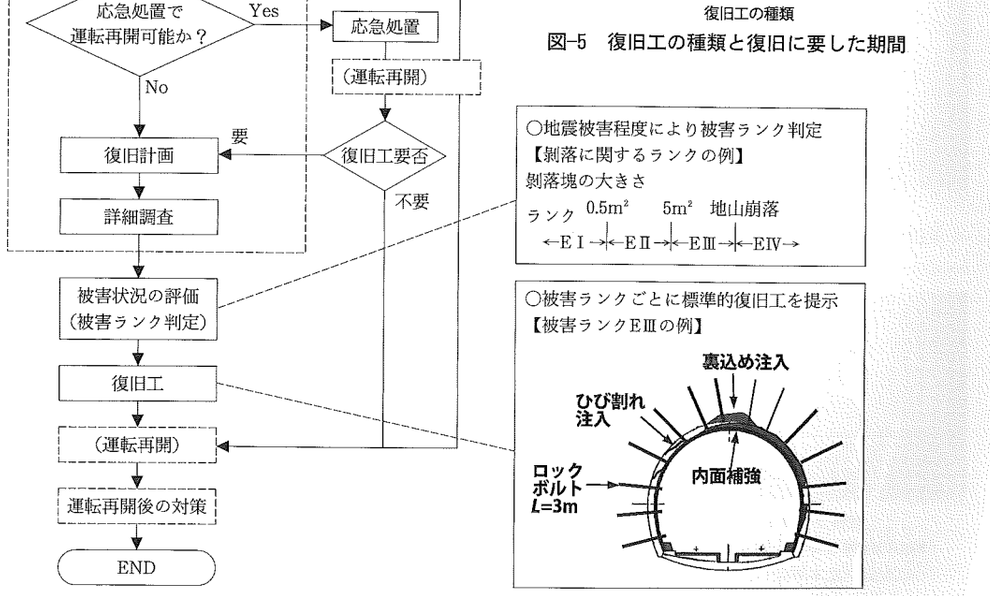


図-6　震災復旧の検討の流れ

ための一助になるよう，山岳トンネルの震災復旧の方法を体系づけて示すことにした．

4-2　震災復旧の実施手順

図-6に，復旧の一般的な実施手順を示す．4-3節以降では，この手順に沿って概略を紹介する．

4-3　調査・計画と被害状況の評価

4-3-1　調査・計画

（1）　概略調査

地震後の緊急調査により被害があると認められた場合には，まず目視などにより概略の被害を把握する．概略調査では，運転再開に支障となる健全度AA，A，αと判定される箇所があるかどうかの確認が主目的となる．健全度AA，A，αの箇所がある場合は措置が必要となるが，応急処置のみで運転再開が可能となる場合もある．

（2）　復旧計画の策定

応急処置で運転再開ができない大きな被害の場合は復旧計画を立てる．この場合，トンネルも含めた路線全体の被害状況と復旧計画も考慮する．

前述のように，トンネルが大きな被害を受けると復旧に数箇月を要し線区の運転再開時期を左右することがあるので，被害の全貌を早期に把握し，資機材搬入路の確保も含めこの区間の復旧が優先されるよう迅速に復旧計画を立てる必要がある．

なお，裏込め注入や剝落対策後に実施されるロックボルトなどは，運転再開後の実施も可能なので，復旧計画に考慮すると良い．

（3）　詳細調査

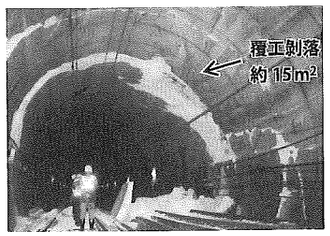
復旧計画を策定したうえで詳細調査を実施し，被害ランクの判定と対策工の設計を行う．詳細調査では，専門的な調査・計測が求められる場合もある．

4-3-2　被害状況の評価（被害ランクの判定）

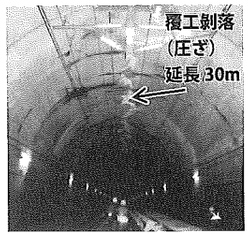
被害状況の評価にあたり，まず4つの被害形態，すなわち「ひび割れ，剝落・崩落」「残留変位，残留変形」「路盤部の被害」「斜面災害による被害」ごとに，被害ランクに区分する方法を提案している．**表-8**は被害ランク区分を示したもので，EⅠ～EⅣの4ランクがあり，EⅣがもっとも被害程度が大きい．また，表-8に示した地震被害形態のうち，もっとも一般的な形態は「ひび割れ，剝落・崩落」なので，これについて，剝落面積の大きさに応じて被害ランクの判定指標を示した．

表-8　被害ランク区分と判定の目安

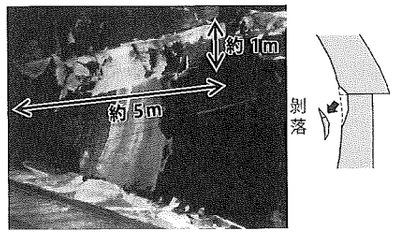
被害形態＼被害ランク	EⅠ	EⅡ	EⅢ	EⅣ
ひび割れ，剝落・崩落（m²）	小規模（～0.5）	中規模（0.5～5）	大規模（5～）	地山崩落を伴う
残留変位，残留変形	—			建築限界を大幅に支障など
路盤部の被害	—			著しい路盤隆起，陥没など
斜面災害による被害	—			土砂流入による閉塞など



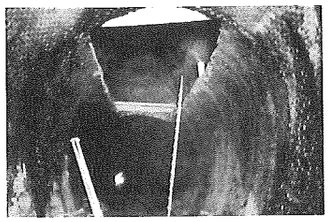
被害ランクEⅢ
（アーチ～側壁部の面積の広い大規模剝落）



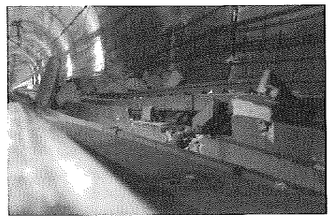
被害ランクEⅢ
（アーチ天端部の延長が長い大規模剝落）



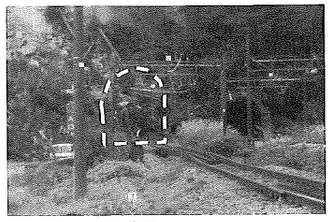
被害ランクEⅡ
（アーチ・側壁の水平打ち継ぎ目部の中規模剝落）
（出典：小山ほか（1996））



被害ランクEⅣ
（地山の崩落を伴う大規模な剝落）
（出典：土木学会（1927））



被害ランクEⅣ
（著しい路盤部の隆起）
（出典：JR東日本工事誌（2005））

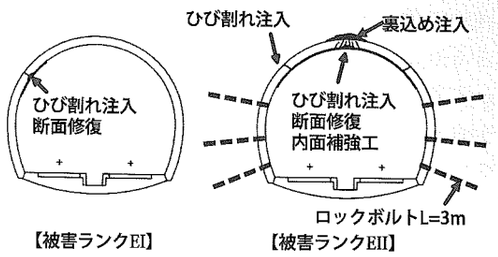


被害ランクEⅣ
（斜面崩壊による坑口部の埋没）
（出典：JR東日本工事誌（2005））

図-7　被害形態ごとの被害ランクの事例[9)~11)]

表-9　被害ランクと設計方法

被害形態＼被害ランク	EⅠ	EⅡ	EⅢ	EⅣ
ひび割れ，剝落・崩落	標準設計			
残留変位，残留変形	—			別途検討
路盤部の被害				
斜面災害による被害				



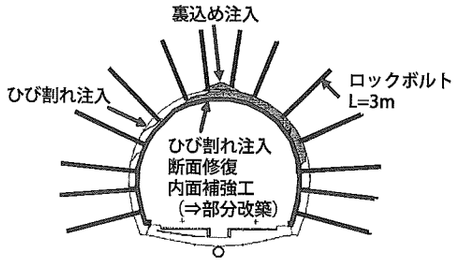


図-8　被害ランク別の標準的な対策工

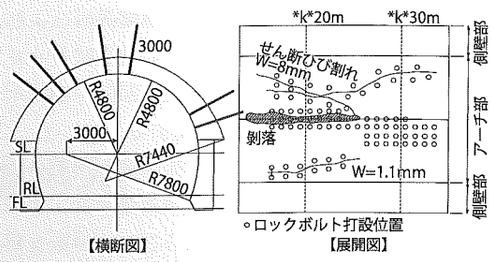


図-9　復旧工の事例の一例

なお，実際の地震被害現象は多様であり，図-8で示した標準的な復旧工だけではすべての状態に対応することは難しい．そのため，復旧工の具体的な事例を多数提示することにより，設計の参考になるように配慮した．**図-9**に「付属資料」に掲載した復旧工の事例の一例を示す．

また，被害ランクEⅣは，既往事例が少なく個別対応が必要となること，被害程度が大きく復旧工も大規模になることなどから，復旧工の標準的な組み合わせを提示するまでに至っておらず，過去の事例を参考にして個別に検討することとなる．

5　おわりに

2010年11月発刊の『既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル（案）』の内容をもとに，既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧を実施する際の考え方を示した．取扱う範囲が山岳トンネルの耐震という狭い範囲のものであるが，山岳トンネルが被災した場合の備えとして，現時点の地震対策の考え方を整理する意義があると考え，マニュアルにとりまとめることを試みたものである．

本マニュアルには，2008年度までの鉄道山岳トンネルの地震対策と地震被害とその復旧の事例がほぼ網羅されている．鉄道事業者の保守担当者はもちろんのこと，トンネルにかかわる，さまざまな技術者の方々の参考にしていただければ幸いである．

山岳トンネルの耐震性の研究は緒に就いたばかりであり，未解明の部分も多く残されている．今後も引き続き研究を深めてゆきたいと考えている．

なお，本マニュアルの一部には，鉄道・運輸機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」によ

り，京都大学，鉄道総研，鉄道・運輸機構により実施した共同研究「山岳トンネルの地震被害メカニズムと耐震性向上に関する研究」(2006～2008年度)の成果を活用したことを付記する．

最後に，朝倉俊弘・京都大学大学院教授をはじめとした「既設山岳トンネル地震対策マニュアルに関する検討会」委員各位，ならびに，貴重な事例の提供に惜しみなくご協力いただいた鉄道事業者各位に，深甚なる感謝の意を表する．

参　考　文　献

1) 東日本旅客鉄道：特集/東北地方太平洋地震と鉄道構造物，SED，No.37，2011.11.
2) 清水満：JR東日本におけるトンネル地震被害の事例，トンネルと地下，Vol.43，No.4，pp.37-48，2012.4.
3) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災と地震対策，トンネルと地下，Vol.15，No.8，pp.33-42，1984.8.
4) 朝倉俊弘・志波由起夫・松岡茂・大矢敏雄・野城一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム，土木学会論文集，No.659/Ⅲ-52，pp.27-38，2000.9.
5) 野城一栄・小島芳之・深沢成年・朝倉俊弘・竹村次朗：地質不良区間における山岳トンネルの地震被害メカニズム，土木学会論文集，Vol.C-65，No.4，pp.1062-1080，2009.12.
6) 鉄道総合技術研究所：既設山岳トンネル地震対策・震災復旧マニュアル(案)，2010.11.
7) 活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991.3.
8) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)トンネル，2007.1.
9) 小山幸則・朝倉俊弘・佐藤豊：兵庫県南部地震による山岳トンネルの被害と復旧，トンネルと地下，Vol.27，No.3，pp.51-61，1996.3.
10) 土木学会編：写真第334(土気トンネル)，大正12年関東大地震震害調査報告，第二巻，鉄道・軌道之部，1927.3.
11) 東日本旅客鉄道：新潟県中越地震震災復旧工事誌，2005.10.

■図書案内

地　下　水　の　科　学　— 全3巻 —

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

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



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

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

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

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

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(8)

—マスムーブメント・滑落崖—

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

本講座(7)に「地すべり」について事例と合わせて記載したが，今回は引き続き「大規模なマスムーブメント」と，地すべり地形を判読するときに最初に注目する「滑落崖」について記述する．

② マスムーブメントと建設工事

2-1　マスムーブメントとは

建設技術者の多くは，マスムーブメントというと，いわゆる「離れ山(放れ山)」のような，巨大な地塊が移動した大規模地すべり的なものをイメージしやすい．しかし，鈴木[1]によると，地形学的には，地形物質が重力のみに起因して，高所から低所に集団(mass)をなして，クリープ，落下，滑動，流動，圧密などの形態をとりながら移動する現象をマスムーブメント(mass movement：集団移動)と総称する．集団移動で形成された地形種を一括してマスムーブメント地形(mass movement landforms：集団移動地形)と総称する．マスムーブメントは，次の8種の基本的類型に大分類できる(図-1)．

① 匍行：クリープ(creep)
② 落石：自由落下(fall)
③ 崩落：滑落(slip)・崩れ落ち(slump)
④ 地すべり・滑動(slide)
⑤ 土石流：流動(flow)
⑥ 陥没：空洞天井部の自由落下(sink)
⑦ 地盤沈下：物質除去を伴わない地盤の圧密沈下(subsidence)
⑧ 荷重沈下：上載荷重による地盤の圧縮または弾性的沈下と側方の隆起(settlement)

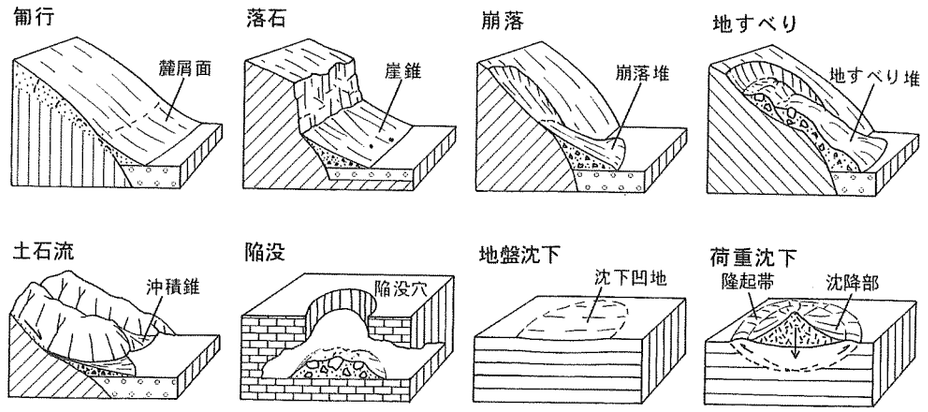


図-1　集団移動地形の基本類型[1]

集団移動した物質が静止したものを定着物と呼ぶ．マスムーブメント地形では，定着物が非固結状態であること，集団移動の再発を誘発することがある点でしばしば難工事となる．したがって，建設工事の立案にあたって，個々の建設地で起こりうる集団移動の様式を2.5万分の1地形図の読図で，たとえ定性的でも予測しておくことはきわめて重要である[1]．

2-2　マスムーブメントとトンネル工事

集団移動地形における主な建設工事の諸問題を**図-2**に示す．

マスムーブメントの定着地形は高まりになっているので，それをトンネルで通過する例は多い．しかしその定着物質は非固結の岩屑で構成され，かつ斜面上方から応力を受け，下部では地下水も多い．トンネル掘削では，落盤，盤膨れ，余掘り，湧水，偏圧などの発生でしばしば難工事となり，完成後も変形することがある．

崖錐では落盤・偏圧がもっとも発生しやすく，トンネル掘削が途中で放棄された場合もある．近傍に落石や落盤のある地形場がある場合に，それと同様の地形場ではトンネル内部で落盤事故が発生しやすい(例：国道229号豊浜トンネル・北海道)．地すべりの発生でトンネル自体が消失したこともある(例：旧国鉄飯山線高場山トンネル)．ゆえに，トンネル延長が多少長くなっても，集団移動の定着物質を避けて基盤岩(健岩)の中にトンネルを「振り込む」べきである．それが安全で，かえって長期的には安価なトンネル計画となる[2]．

非常に規模の大きい地すべりでは，地質調査で普通の地山と考えられていたものが，トンネル掘削開始後に，開口亀裂や流入粘土が発達したり，深部まで風化が進行したりする，などの状況変化から再調査の結果，地すべり土塊と判明した事例もある．

また，トンネル工事では受働側の土塊を掘削し

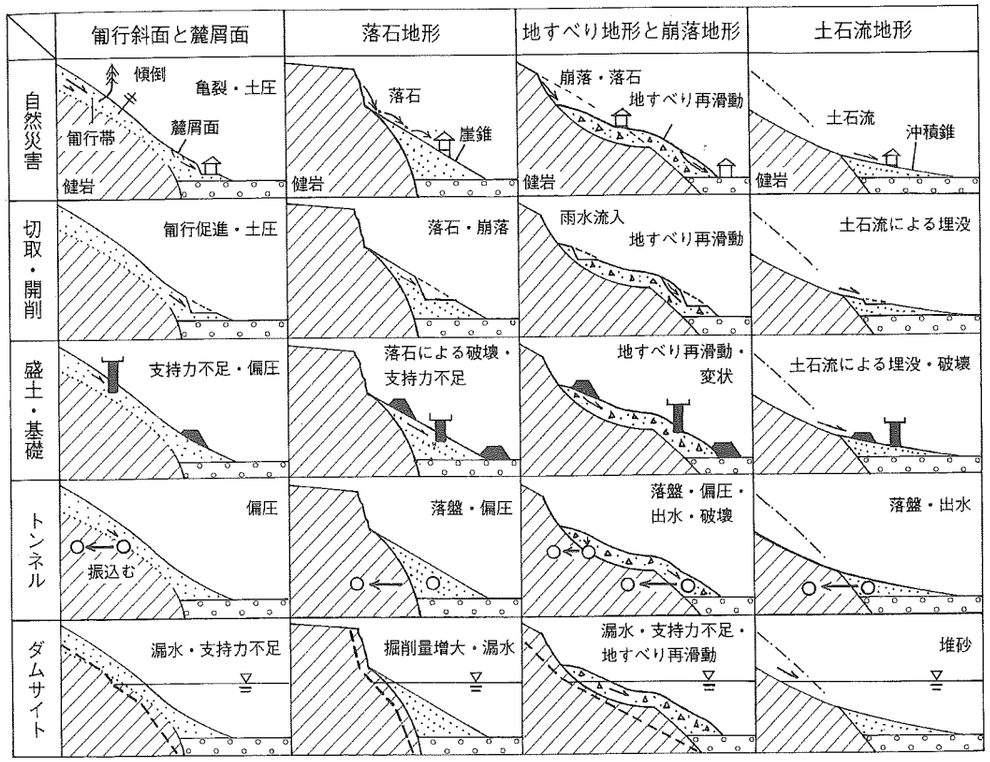


図-2　集団移動地形における主な建設工事の諸問題[1]

てバランスを崩すほか，掘削による緩みや発破振動が，地すべり土塊や崖錐などの定着物質の再移動を誘発する懸念もある．

ここでは，大規模なマスムーブメントにおけるトンネル工事の事故例を紹介する．これらの事例を通してマスムーブメントの理解が進むことを期待する．

③　事例にみる大規模なマスムーブメント

事例1：赤岩トンネル

(1)　概　要

すでに述べたように，地すべり地帯では，地すべり面より下方または背後の基盤岩(健岩)の中にトンネルを「振り込む」ことが望ましい．しかし，坑口位置やルートの制約で，やむを得ず地すべり面と交差するトンネルを施工する場合もある．

ここでは北海道の道道夕張新得線の赤岩トンネルで大規模地すべりとトンネルが交差した事例とその対策を示す．

ここでは，表層に多数の地すべりブロックがあり，2.5万分の1地形図から大規模地すべりブロックを判読するのは困難だが，このような事例もあったということで紹介する．

(2)　地形・地質

トンネルが位置する地域は，神居古潭帯に属する，蛇紋岩と各種変成岩からなる地域である．

図-3にトンネルルート周辺の地形図を示す．河川沿いは，激しい下方浸食のため両岸に断崖の続く峡谷となっている．南北に延びる主尾根の西側は急峻な斜面であるが，東側は尾根から河川沿いの断崖直近まで，緩傾斜の斜面となっている．

(3)　地すべりの形状

トンネル線形上の地形は，当初から地すべり地形と認識されていた．問題となった大規模地すべり以外にも，緩傾斜地形の部分には多数の地すべりが分布しているが，いずれも地すべり面は地表付近にあり，トンネル深度まで達する地すべり面はない．

事前調査ではトンネルの南側に大きな地すべり地形があり，トンネル坑口から500～550m付近ですべり面がもっとも深くなるが，トンネルルートを山側に振ることにより，トンネルと地すべり面との離隔距離を2*D*以上とれるように設計されていた．そのためトンネルの平面線形は山側に湾曲している．

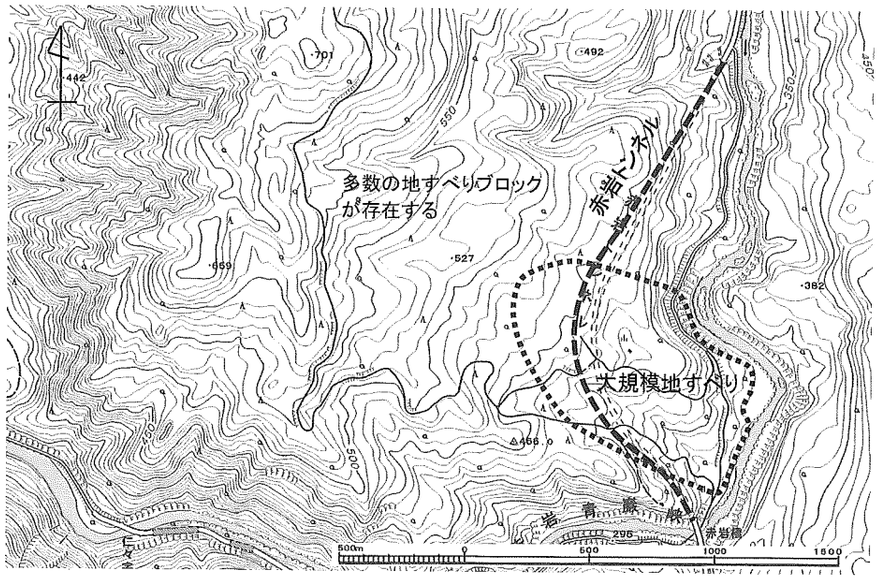


図-3　赤岩トンネル周辺の地形

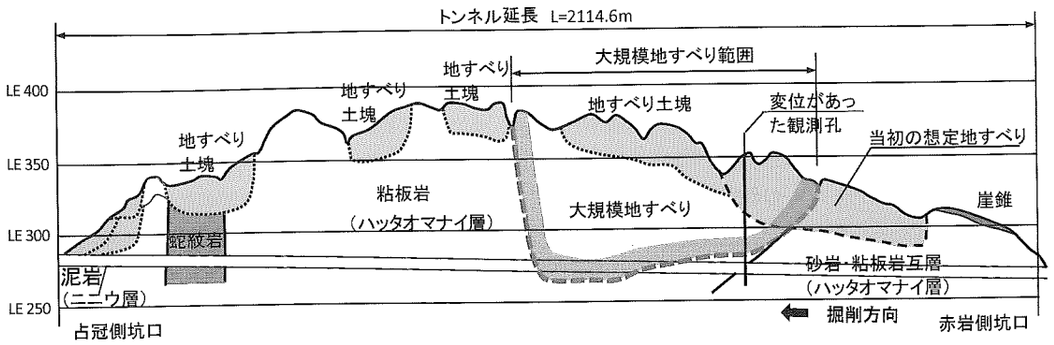


図-4 赤岩トンネル縦断図

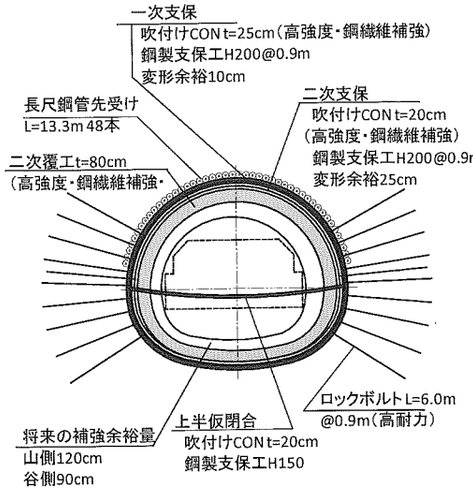


図-5 大規模地すべり区間支保パターン

トンネル掘削開始直前に，坑口から630m付近の地表から新たな調査ボーリングを実施したところ深部に変位が認められ，地すべり面が想定よりトンネルに近いことが判明した．さらに，トンネル坑内からもボーリング調査を実施して，地すべり面がトンネルと交差することがほぼ確実となった．そのため，上半掘削を停止し，地すべりの全体像を把握するため，追加地質調査を実施した．

調査の結果，トンネルと交差する地すべりは，長さ800m×幅500m×深さ120mという大規模なものであり，傾斜計データから3㎜/月の変動があることがわかった．

（4） 大規模地すべり区間の対策

国内外でも例のない大規模な地すべり地形と交差するトンネルの施工となることから，工事の必

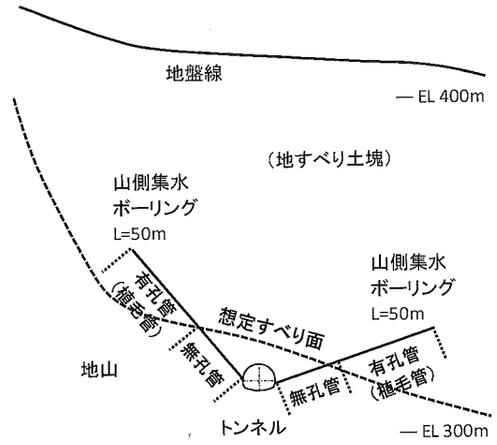


図-6 坑内からの水抜きボーリング

要性，ルート変更を含めた今後の方針について検討された．検討の結果，①大規模地すべり土塊を回避するルート選定は不可能であること，②トンネル掘削と坑内からの水抜きによる地下水位低下の効果で地すべりの変動が落ち着く傾向にあることから，トンネルルートの変更はせず，大規模地すべり土塊との交差部を突破する方針に決定した．

トンネルそのものと，坑内から実施する水抜きボーリングによる地下水位低下の効果で地すべり変動の抑制が見込まれたが，①過去には地すべりによりトンネル覆工コンクリートが破壊に至った事例もあること，②地下水位低下による地すべりの抑制効果は不確定要素が多いこと，などから二次覆工巻厚を80cmとし，将来的な内巻コンクリート補強の余裕量として山側に120cm，谷側に90cmを確保する170m²の拡幅断面として計画した．

（5） 集水ボーリングの施工

地すべり土塊内のトンネル通過後，さらに地下水位の低下を図るため，坑内集水ボーリング（L＝55m×55本）を施工した．坑内集水ボーリングにより，当初と比較してトンネル山側で22～55m，谷側で75mの水位低下がみられた．水位低下により大規模地すべりの動きは当初の3㎜/月から0.1㎜/月まで減少した．

（6） トンネル完成後の状況

赤岩トンネルは，平成19年3月の竣工後も地すべりの孔内傾斜計計測と地下水位計測，覆工応力や覆工目地段差計測を実施しており，竣工から現在まで計測値に異常は見られていない．

事例2：用瀬第三トンネル

（1） 概 要

鳥取自動車道用瀬第三トンネルは，国道53号の鳥取市内手前約10kmの千代川西側に位置している．平成18年6月には二次覆工まで完了したが，隣接する美成地区チェーンベース造成工事で，深い位置での変位が確認され，大規模な地すべりの進行が明らかとなった．

（2） 地形・地質

当該地区の地形図を図-7に示す．美成地区は緩やかな尾根をなす丘陵であり，周辺よりも緩やかな地形となっている．切土のり面付近の地形は，過去の地すべりによって形成された分離丘的な山体形状となっている．美成地区の地質は，古生代に形成された変成岩類と，これを不整合に覆う新第三紀中新世の火山礫凝灰岩からなり，緩く北西側に傾斜する地質構造となっている．

（3） 地形判読と地すべりの概要

美成地区の山体の背後には，旧滑落崖と見られる急斜面が存在して，地すべり地形を呈している．切土のり面の地層は，横方向への連続性が悪く，分断された構造が認められることから，当該地山は，過去の地すべりによる移動岩塊であると判断された．切土のり面を構成する山体の背後に回り込むような谷地形が存在し，沢から供給される水も多い．地すべりブロック内の水位は，全体的に高く，地すべり土塊の2/3程度が水浸している．この大規模地すべりは，活動がきわめて緩慢であり，高速道路の施工以前に顕著な変位が認められることはなかったが，のり面の切土中に変位が加速したため，対策が必要となった．

（4） 切土部地すべり対策工の設計と施工

検討の結果，地すべり対策工は以下のように計

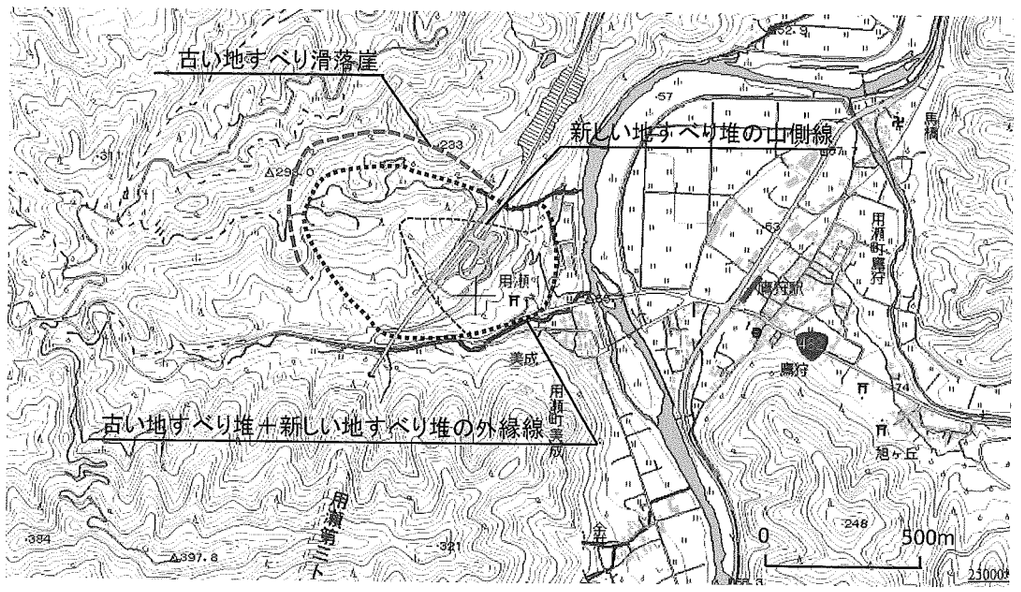


図-7 用瀬第三トンネル周辺の2.5万分の1地形図

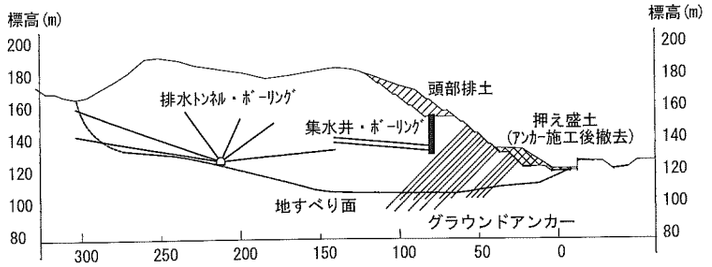


図-8 地すべり対策工標準断面

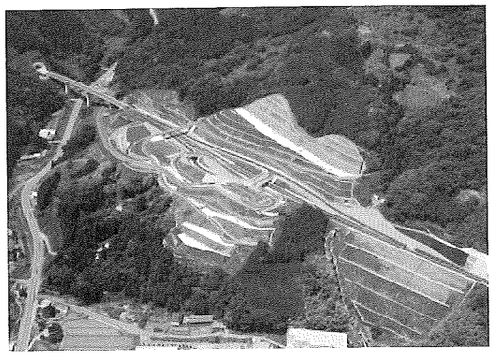


写真-1 完成した美成チェーンベースエリア

画した．**図-8**に対策工の標準断面を示す．

① 抑制工：排土工＋集水井工(6基)＋集水井内水抜きボーリング工，排水トンネル工(1本)＋坑内水抜きボーリング工

② 抑止工：グラウンドアンカー工(受圧板方式)総本数1,130本， 総延長約55.8km，1本あたりの平均施工長約49.0m

一般にグラウンドアンカーでは，グラウンドアンカー長が30m を超えると，長尺グラウンドアンカーと定義される．当工事では実に1,000本が30mを超える長尺アンカーで，グラウンドアンカー長60m以上のものも多数存在しており，わが国で類を見ないほどの長尺かつ設置ピッチの狭いグラウンドアンカーの施工となった．

(5) 排水トンネルの設計と施工

地すべり対策で計画した地下水排除工は，排水トンネルと切土のり面部集水井からの水抜きボーリングである．地下水は，主に山体背面の谷を流れる才ヶ谷川から浸入してきていると考えられた．そのため，排水トンネルは，坑口を才ヶ谷川下流部近傍に設け，排水トンネルからの排水ボーリングを山側と谷側でバランス良く配置できるように地すべり土塊内に配置した．

排水トンネルは，地すべり面より下に設け，上向き排水ボーリングにより地下水を排除するのが基本とされていたが，地すべり面の深度と規模が大きく，地すべり土塊下部に排水トンネルを設置した場合，排水トンネルが長距離になるため，地すべり土塊内に排水トンネルを計画した．掘削による地山緩みと発破振動が地すべりを誘発する危険性があるため，NATMの機械掘削とした．

(6) 地すべり面の確認と水抜き工の効果

トンネルの到達点付近約25mにわたり切羽において地すべり面を確認することができた．地すべり面は，想定どおりの位置にあり，また，すべり角度も想定どおりであった．

トンネル掘削，排水ボーリングにおいて3～27mの水位低下が図れ，計画を上回る地下水低下効果が確保された．地すべり面の上部に排水トンネルを設置したことから，すべり面に作用する下部からの被圧水について下向きボーリングにより調査したが，地すべり面に下部から作用する被圧水は明確に確認できなかった．

対策工により大規模地すべりの活動は停止し，無事造成は完了した．**写真-1**に完成した美成チェーンベースエリアを示す．

事例3：法花トンネル

(1) 概 要

法花トンネルは徳島外環状道路の一部で，付近は徳島県立文化の森公園として整備され，図書館，近代美術館などがある．

トンネル全長637mのうち250mは造成された盛土(地表はバスターミナル，駐車場，公園など)の下を小土かぶりで通過するため，側壁導坑先進工法ならびにトレビチューブなどの補助工法を駆使して施工した．

残りの区間は，通常の山岳トンネルとして掘削

を開始したが，地山状況が不良で切羽・天端の自立が悪く，当初は設計していなかった長尺鋼管先受けや鏡吹付けなどの補助工法が必要となった．

(2) 地形・地質

法花トンネルを含む文化の森周辺の2.5万分の1地形図を**図-9**に示す．文化の森は(図中の①)，徳島市の中心部から南方へ約3kmの眉山山麓を東流する園瀬川右岸に位置している．

園瀬川右岸の向寺山の山体は，山地から標高を減じながら北～北東へ延びる山稜の末端部にあたり，トンネル付近において沖積平野に没している．園瀬川は文化の森の対岸で寺山と川北の間の山体の狭い峡谷を流下しているが(図中の②)，それより南には広い沖積平野があり，過去に流路が変化した可能性がある．

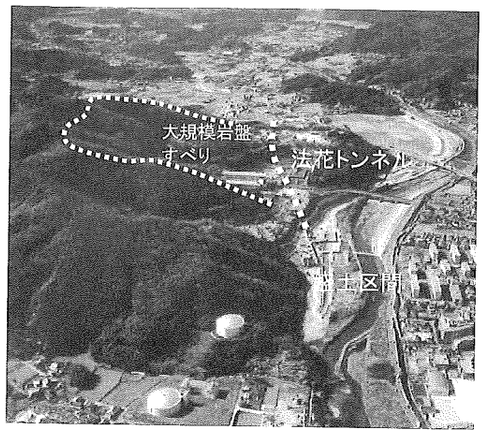


写真-2 法花トンネル周辺の地形

当該地域の基盤岩は三波川帯の泥質片岩を主体とし，局所的に珪質片岩もしくは塩基性片岩が分布している．片岩は片理面に沿って剥がれやすい性質を持ち，泥質片岩には褶曲構造が発達して弱部を形成しやすい．

(3) 追加調査と大規模岩盤すべり

盛土の小土かぶり部を通過し，山岳部に入り120m程度掘進したが，依然として脆弱な地山が連続して，山側(南側)へ傾斜する断層がくり返し出現し，断層の上盤側は土砂状の地山となっていた．また，白色の粘土層が出現するなど，通常の基盤岩とは異なる強風化岩が分布していた．

そこでトンネル掘削を停止し，水平・垂直ボーリングならびに地形判読を行った．その結果，地表から50m以深まで強風化を受けて褐色化し，開口亀裂ならびに開口亀裂を充填する流入粘土が確認された．

また，低封圧下での変形の特徴である礫状の破

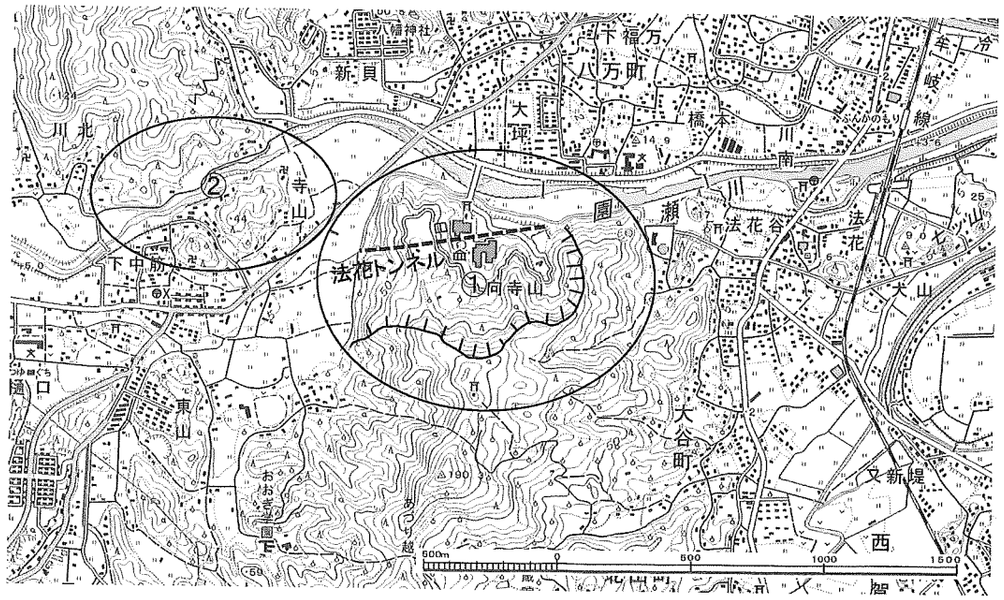


図-9 法花トンネル周辺の2.5万分の1地形図

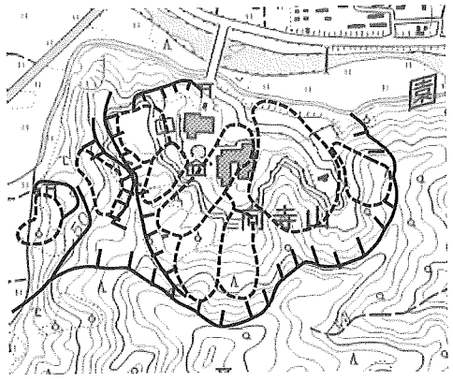


図-10　地形判読の結果

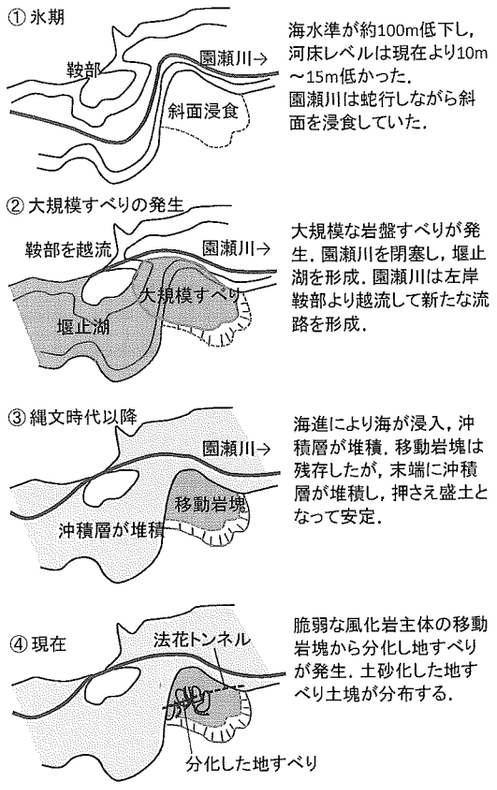


図-11　地形発達史の概念図[6]

砕帯部分も多く認められた．地形判読では以下のような特徴が認められた．

① 南側の稜線の崖地形は東西方向の連続性が良く明瞭である(ゆえに，地すべり滑落崖と解された)．

② 文化の森周辺の谷地形が周辺に比べ未発達である(ゆえに，緩んだ移動体と解された)．

③ 尾根部が園瀬川に向かい前面へ押し出している(ゆえに，前方への張出していると解された)．

④ 中・小規模の地すべり地形が多く認められる(ゆえに，地山全体が脆弱で地すべりを誘発すると推察された)．

以上のことから法花トンネルを含む文化の森一帯は，古い時代に活動した大規模な岩盤すべりであり，トンネル区間全域が「移動岩塊」に相当すると考えられた．

この大規模な岩盤すべりは，現在は前面に幅広く沖積層が堆積し「押さえ盛土」になっているため，現在は活動を停止し安定している．

図-11に当地の地形発達史の概念図を示す．

(4)　トンネル掘削時の対策

大規模岩盤すべりは，前面を沖積層堆積物で押さえられて，現在は滑動を停止しており，今後も滑動を再開する可能性はないと判断されたので，大規模岩盤地すべりへの対策工はとっていない．

トンネル掘削時に天端・切羽の安定を確保するための補助工法として，山岳トンネル区間の約80%で，長尺鋼管先受けと鏡吹付けコンクリートを採用した．

この事例のように，氷期の終了にともなう海面上昇で，大規模地すべりの前面が沖積平野の堆積物で押さえられて滑動を停止した地形は，国内の海岸沿いの随所に存在する可能性があり，建設工事の計画では留意する必要がある．

④ 滑落崖について

4-1　崖とは

崖(がけ)は，本講座(2)p.69 表-4に示すように，「山」や「尾根」といった形成過程と無関係な地形の用語である．

本講座(7)の「地すべり」でも書いたように，2.5万分の1地形図の記号では，岩でできた急斜面を「岩がけ」として，土砂がくずれたりしてできた急斜面や盛土部と切取部の人工的に作られた急斜面を「土がけ」としてあらわしており，高さ

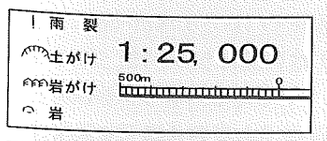


図-12　2.5万分の1地形図のがけなどの表記記号

3m以上かつ長さ75m以上のものが表示されている．

しかし，必ずしも崖(がけ)は記号で表されているわけではなく，地形図の縮尺や斜面の勾配によって，等高線で表示されている場合も多い．そしてその等高線の間隔は斜面の勾配が垂直に近くなるにつれて，密に狭くなっている．

地形図上は，等高線と記号で表現されていても，現地で地形が分離しているわけではなく，記号の中も等高線で表すことが可能である．例えば，航空レーザ等高線図では図-13に示すよう，等高線が密になり黒っぽく表示される(図中，左上が2.5万分の1，表示範囲はおおむね同じ)．

尾根と沢を理解して地形図を見れば，斜面の勾配がわかり，地形がわかる．そうして，本講座(2)p.69 表-4に示す「地形種」で言えば，浸食崖や断層崖，本編のテーマである滑落崖などの成因については地形学的な知識が必要であるが，崖(がけ)自体を見逃すことはない．

本講座(1)に地名と地形について少し紹介したが，崖(がけ)は，古くは「まま」「ノゲ」などと呼ばれており，世田谷区には「上野毛」として現在も地名が残っている．付近には等々力渓谷があり，武蔵野台地を浸食した谷内川の急斜面が現在も見られる．

4-2　滑落崖とは

それでは，「滑落した崖」とは何か．本講座(7)「地すべり」で詳述したように，地すべりの発生に伴いマスムーブメント(集団移動)の地すべり面が露出した不動域側の斜面と言える．このため，移動の形態により，必ずしも急峻な崖とはならず，緩勾配となることもあるが，一般に崖の平面形は馬蹄形で急傾斜な斜面で，その下方に地すべり堆と呼ばれる緩傾斜で，若干の小起伏をもつ移動土塊の定着地形を伴う．

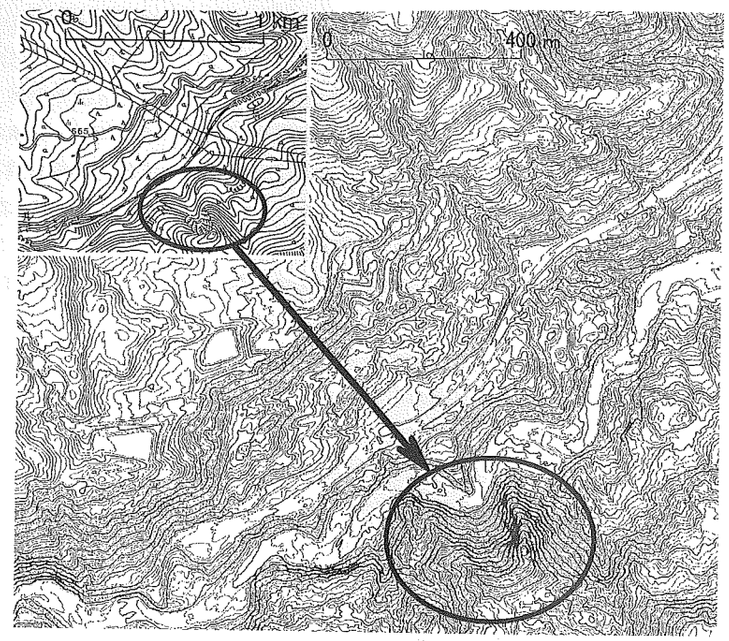


図-13　航空レーザ等高線図の例[7]※一部加工

地すべり地形の判読は第7回に詳述してある．

⑤ 工学的な問題点

5-1　滑落崖

滑落崖は，初生地すべりの場合，不動側のすべり面が露出しているのであるから，地すべり土塊に比べれば建岩(基盤岩)であるが，当然応力開放された急崖であり，二次的なすべりや落石の発生源となりうる．

5-2　滑落崖におけるトンネル

トンネル坑口をこの急峻な斜面に設けると，落石・雪崩対策が必要になる可能性が高い．また滑落崖の下で地すべり土塊中にトンネルを設ける場合は，本講座(7)で詳述したように，切羽の安定対策や地すべりを再活動させない対策が必要になり，トンネルの施工としては，難工事となることが多い．

⑥ 施工事例に見る地相の読み方

事例１：滑落崖直下のトンネル【栂森(つがもり)トンネル：延長1,511m，完成年度2001年】

（１）　地形図からの情報

1)　地形の特徴

地形図の**図-14**を見ると，トンネルの前後に等高線が密なところが直線状あるいは馬蹄形に数kmにわたって連続している．また，「岩がけ」や「雨裂(ガリー)」の記号も見える．この等高線間隔は10mであるから，南側のトンネル坑口で高さ100m以上の急崖であることがわかる．

例えば，850m等高線を追跡してみると，トンネルと直交する道路は，「上平」台地の頂部に位置し，その頂部は比較的平坦とわかる．一方，トンネル東側の急崖の下部には，凹地(池沼)が点在している．

実際の2.5万分１地形図はカラーで，河川や池沼を水色で表示しているため，もう少しわかりやすいが，トンネルの北側に位置する「立又渓谷」付近には滝が点在している．滝は段差地形を表しており，ここに階段状の地形が複数あることがわかる．

そして，主滑落崖と二次滑落崖，三次滑落崖がそのまま幸兵衛滝，二ノ滝，一ノ滝という遷急点となっている．

このように，台地の両側に大規模な地すべり堆があって，これらの急崖は滑落崖であると判定できる．

ここに，NIED((独)科学技術振興機構)が提供している地すべり地形分布図(地すべりマップ)より，滑落崖や移動体分布，地すべり方向を重ねてみると，**図-15**のような，大規模な地すべり地帯であることがわかる．

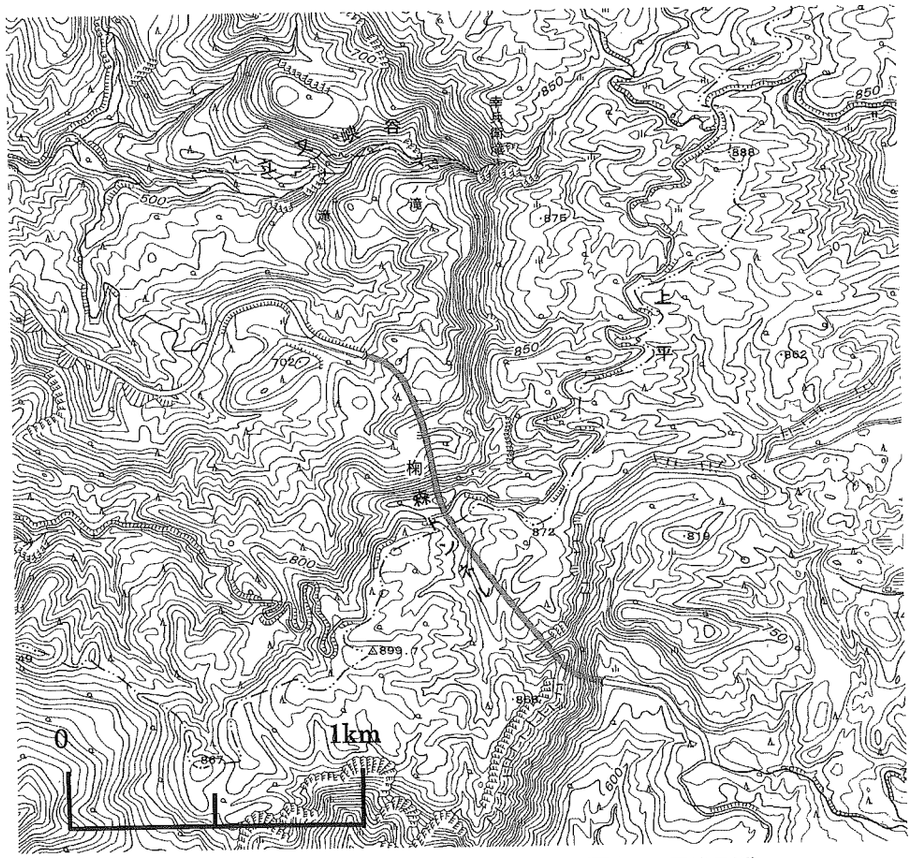


図-14　栂森トンネル周辺の2.5万分の１地形図(戸鳥内，羽後玉川)

2)　地形情報からわかること

トンネル区間の周辺は，標高800m以上の台地から尾根状に伸びる幅狭い平坦面ないし緩斜面と，その縁辺部に急崖をともなう階段状の地形が見られる．この地形的特徴はトンネル区間北方の立又峡谷の，上記の三段の滝付近で典型的に確認される．この階段状の地形は，上部平坦面を構成する比較的健固な岩盤(キャップロック)とその下位に分布する堆積物との差別浸食により，キャップロック構造を形成し，この下位の堆積物の硬軟による差別侵食によって，さらに階段状の浸食地形つまり地形学的には「地層階段」を呈しているものと考えられる．

トンネルは，主に上部平坦面が残った区間の，坑口標高670mに掘削され，南側坑口はその東側に地すべり地形を伴い，上記の岩盤がなす急崖下に取り付けられる．一方，北側坑口は上部平坦面の縁辺の急崖下の地すべり地形状の緩斜面に掘削

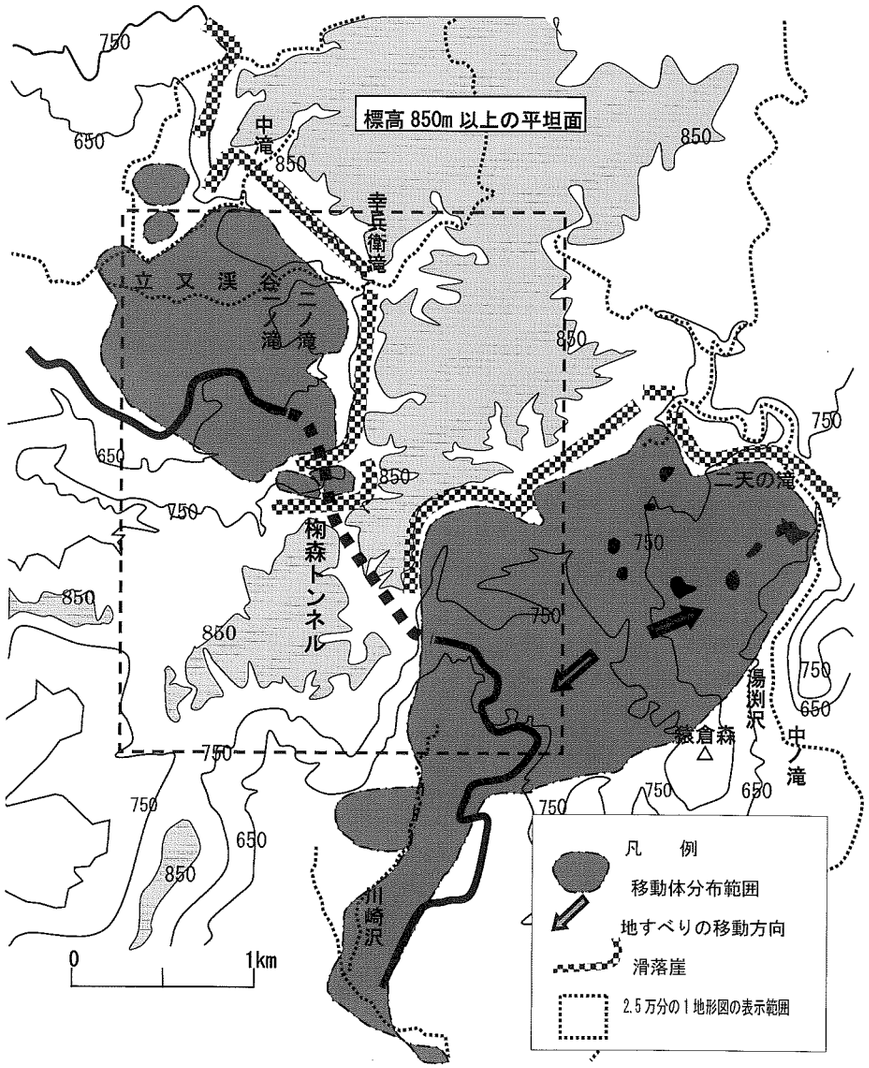


図-15　簡略化した地形と地すべりマップの重ね合わせ図

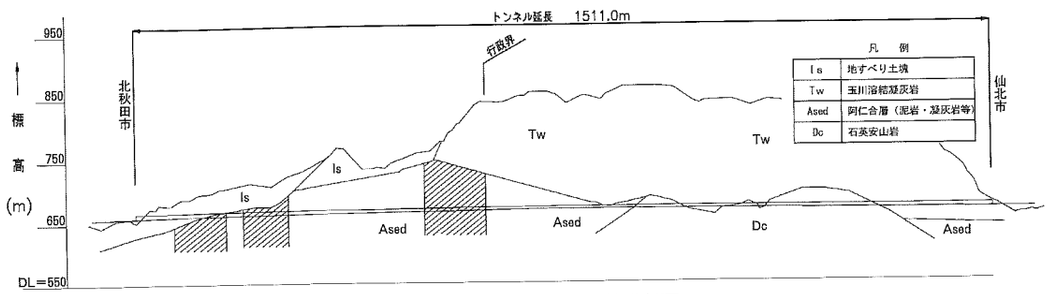


図-16 桷森トンネルの地質縦断図

され，水系を含めて小起伏のある区間を通ることとなり，不安定土塊の分布に伴う地すべり性の変位や湧水による切羽の不安定化が懸念される．

なお，トンネル区間は比較的安定な地質条件であると推定されるが，周辺の明かり区間を含め，斜面の変状には十分な監視が必要と考える．また，とくに南側坑口については，上部に不安定な岩盤斜面が分布することから，規模の大きな岩盤崩壊を含め，落石などに対する調査や対策を講じる必要がある．

（2） 地形・地質調査結果の概要(特徴)

実際の地質調査結果は以下のように，おおむね地形から判読される情報を裏付けた．森吉山の南西約10km，田沢湖の北北西約16kmに位置し，地質は新第三紀の阿仁合層(おおむね下位から凝灰質泥岩，泥岩凝灰岩互層，タービタイト，自破砕溶岩，黒色泥岩，砂岩)が基盤をなし，第四紀の玉川熔結凝灰岩に不整合に覆われている．その玉川熔結凝灰岩がキャップロックとなって台地状の地形を形成し，その周辺部は高度差100～200mの急崖が見られ，その多くは大規模な地すべりの滑落斜面である(**図-16**参照)．

（3） 計画・設計・施工，および供用後の課題や発生した問題など

北秋田市側坑口部に分布する大規模な地すべり地帯を，先進水抜きボーリングとあわせ側壁導坑を先進させ，長尺の先受け工で地山の変位を極力抑えることで，地すべりの挙動を抑えることができた．行政界付近における，強大な押し出し性地圧が作用する断層破砕帯や，旧地表面の不整合な地層境界での地山劣化部と大量出水地帯では，調査ボーリングさえ不可能な状況であったが，上半中央導坑を先進させ，「いなし効果」を期待して，各補助工法を駆使して施工した[8]．供用後10年を経たがとくに覆工の変状は見られず難工事のトンネルであったが，適切な施工であったと考えられる．

なお，仙北市側坑門背後斜面からの落石・雪崩対策として，可能な限り坑門を前に出し，トンネルの覆工コンクリートを補強して，坑口の上方に土堰堤を設置し，坑門の上を通過させる導流工を設置した．

(文責：泉谷泰志・清水建設(株)/武藤直樹・国際航業(株))

参 考 文 献

1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第3巻 段丘・丘陵・山地，古今書院，pp.778-780，2000.
2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第3巻 段丘・丘陵・山地，古今書院，p.787，2000.
3) 金岡幹・川村俊一・島豊・河田孝志：大規模地すべりと交差するトンネルを2重支保工で施工，トンネル工学研究論文・報告集，2006.11.
4) 清水建設：土木クォータリー，Vol.164，2009.
5) 奥園誠之：技術の伝承―現場の教訓から学ぶ―，切り土のり面の「想定外」の挙動事例とその対策で得られた教訓，地盤工学会誌，Vol.59，No.11，pp.86-89，2011.11.
6) 国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所：平成15-18年度法花トンネル工事 工事誌，2008.
7) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻，古今書院，p.1205，1997-2004.
8) 石垣和明ほか：膨張性地圧を伴うトンネルの変位と地山強度特性，土木学会第56回年次学術講演会概要集，pp.444-445，2001.

工法・技術・製品ニュース

工法 小断面トンネルを対象としたリニューアルシステム



組立てた覆工補強版を坑内運搬

三井住友建設 広報室
TEL: 03-4582-3015
e-mail: information@smcon.co.jp

三井住友建設は，専用運搬台車や大型重機を使用せず，狭小な小断面トンネル内で覆工補強版を効率的に運搬・組立てが可能な「モールシールドビルダー工法」を開発し，実現場での施工性と施工精度を確認したと発表した．

同工法は，坑内に分割搬入したプレキャスト補強部材に，着脱式車輪，誘導治具，仮連結治具などを取付けることで，運搬と組立てを平行して行い，小断面トンネルでの内面補強を高効率に行うことを可能にしたもの．専用運搬台車を必要としないため，従来の工法より高い施工効率を実現し，プレキャスト補強部材の材質もPC，鋼板を問わない．

王子エフテックス(株)潤井川発電所水路トンネル補修工事では，4日間で40m(20セット)の運搬設置を実現しており，これまで補修の難しかった小断面トンネルの坑口部や小土かぶり部あるいは暗渠などの補修・補強への適用が期待される．

製品 バケット容量1.5m³のホイールローダを新発売



Cat 914G₂

キャタピラージャパン 広報グループ
Tel 03-5717-1122
http://japan.cat.com/

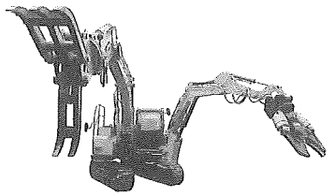
キャタピラージャパンはCat 914G₂ホイールローダを新たに発売した．

同機は，バケット容量1.5m³，運転質量7.8tで，914Gのモデルチェンジ機．今回のモデルチェンジでは，オフロード法2006年基準に適合させ，Cat C4.4 ACERTエンジンを搭載．また，アクセル操作だけで加速・減速のコントロールが自在に行える電子制御HST(ハイドロスタティックトランスミッション)を従来機から引き続き採用した．

フロントガラスにはピラーのないシリコンボンディドガラスを採用し，パノラマ感覚のワイドビューを確保．安全で効率的な作業を実現するとともに，転倒時運転者保護構造と落下物保護構造を採用したキャブを標準装備し，安全性を確保した．

エンジンフードをフルオープンタイプとし，メンテナンス箇所も適正に配置することで，ほとんどの日常点検や定期的なメンテナンスが，地上から無理なく行えるなどメンテナンス性にも配慮されている．

製品 油圧ショベルの歴史を変える，ロボット化への挑戦！



アスタコNEO

日立建機 経営管理本部 広報戦略室
広報・IRグループ
Tel 03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp/

日立建機は双腕仕様機ZX135TF-3(呼称：アスタコNEO〔ネオ〕)を発売した．

同機は，ベースとなる13t級油圧ショベルと同等のパワーを持つ主腕と，それを補助する副腕の組み合わせにより，2つのアタッチメントを同時に使用できる．加えて，主腕でつかんだ対象物を副腕で切るなど，人の両腕のように，より複雑な作業にも対応することができる．

この双腕仕様機を使用することにより，今まで複数の重機を用いて，あるいは人手作業に頼っていた産業廃棄物の中間処理作業など，複雑な仕分け作業を，安全かつ効率的に行えるようになるほか，1台分のスペースさえあれば，2つのアタッチメントを用いた作業を行うことができるとしている．

同機は，新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受け，同社が2011年3月に開発したもの．これまでプロトタイプ機を用いたユーザーテストを通して，製品化へ向けた事前評価を行ってきた．

「トンネルと地下」2012年1～12月号総目次

〈平成24年・年間総目次〉

巻 月号 頁

巻頭言

年頭のご挨拶……佐藤　信彦　43　1　5
自然災害と土木構造物……菅野　幸裕　43　2　5
技術を啓き，つなぐ……廣木　良司　43　3　5
継続は力なり 記録を後世に残そう ……大島　洋志　43　4　5
新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の開通にあたって……金子　剛一　43　5　5
隧道の向こうに……大本　万平　43　6　5
技術者マインド……岸本　良孝　43　7　5
三現主義に立ち返ろう……吉川　大三　43　8　5
鉄道屋としてのトンネル保守…武藤　義彦　43　9　5
早期の復興と強靭な国土形成を……大和　修二　43　10　5
下水道とトンネル技術……神山　守　43　11　5
トンネル技術の継承と課題……赤木　寛一　43　12　5

特　集

【創刊500号記念特集「地震とトンネル」】

トンネル，地震と断層と……足立紀尚　43　4　7
地震と都市地下施設の整備……小泉淳　43　4　10
地震とトンネル……朝倉俊弘　43　4　15
地震時における山岳トンネルの挙動に関する基礎的研究……真下英人・日下敦　43　4　25
JR東日本におけるトンネル地震被害の事例 ……清水満　43　4　37
中越沖地震による高速道路トンネルの被災事例分析〈北陸自動車道　米山トンネル〉……中野清人・小川澄　43　4　49
東京メトロにおける地震への取組み……武藤義彦　43　4　55
首都東京の下水道管路の耐震性向上の取組み……黒住光浩　43　4　61
座談会「トンネル千思万考」……大島洋志(司会)・久多羅木吉治・小山幸則・今田徹・高橋良文・濱建介・三浦克　43　4　79

【新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)開通記念号】

新東名高速道路のトンネルの建設を顧みて……今田徹　43　5　7
新東名高速道路(御殿場JCT～三ケ日JCT)の建設経緯と路線概要 ……廣瀬　輝　43　5　9
大断面トンネルの施工を振り返って……中田雅博　43　5　13
大断面トンネルの計画・調査……竹國一也　43　5　21
大断面トンネルの設計・施工……川北眞嗣　43　5　25
大断面トンネルの新技術・新工法……海瀬忍　43　5　31
安全・安心・快適なトンネル施設……森本稔生　43　5　39
新東名高速道路の開通に思う……三浦克　43　5　43
建物直下を超近接双設大断面トンネルで貫く〈今里トンネル〉……堀圭一・志岐寛　43　5　48
大規模断層破砕帯を大断面早期閉合工法で克服〈富士川トンネル〉…佐藤淳・楠本太・西岡和則　43　5　50
TBM導坑先進拡幅掘削工法と新支保材料の有効性を検証〈清水第三トンネル〉……田中一・青山繁夫　43　5　52
中央導坑先進拡幅掘削工法を標準工法に〈静岡第二トンネル〉……林崎信夫・鈴木雅行　43　5　54
膨潤性特殊地質の瀬戸川層群を貫く〈岡部トンネル〉…和田宣史・畑宏幸・大西隆司　43　5　56
付加体不良地山を多様な掘削工法で克服〈島田第一トンネル〉……藤沢善一・高橋幸三・岩本俊一・亀谷英樹　43　5　58
ケーブルボルトとPC鋼棒で脆弱地山の最長トンネルを掘る〈金谷トンネル〉……八木弘・居川圭太・安井義則　43　5　60
トンネル構造で地すべりを回避〈大和田トンネル〉……岸本光弘・藤井剛　43　5　62
高濁度突発湧水を排水対策を駆使して克服〈浜松トンネル〉……望月俊明・古川哲男・堂藤和雄・田部井雅弘　43　5　64
御荷鉾帯の地すべり地帯を掘る〈引佐第二トンネル〉…田山聡・平野宏幸　43　5　66

報　告

「ITA総会および世界トンネル会議(バンコク)」報告……日本トンネル技術協会　43　10　37

研　究

点検データの不足を補うトンネル劣化予測手法……小川能克・大嶽剛志・蒋宇静　43　1　49
早期閉合の効果を施工事例および数値解析より検討……小川澄・楠本太　43　2　51
ブロック積みトンネルの覆工耐力評価法の提案……岡野法之　43　3　55
ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査……村上明・島哲也・桑原徹・田湯正孝　43　6　59
高速化を目指した自由断面掘削機の改良……木内勉・大久保誠介・福井勝則・西恭彦　43　7　49
小口径推進の曲線施工位置検知システムの開発……小西真治・朝比奈峰之・田村晋治郎・山田俊則　43　8　39
鋼管表面に突起物を設けた鏡ボルトの開発……木梨秀雄・高橋佳孝・畑浩二　43　8　47
鏡の形状が切羽安定性に及ぼす効果の解析的検証と試験施工……佐藤淳・西村和夫・楠本太　43　9　43
セメント系薬液注入材の長期材料特性と性能の評価……秋田勝次・西村直樹　43　9　53
長期間の計測データを活用したトンネル変状の将来予測…津野究・仲山貴司・平田亮・嶋本敬介　43　10　31
極小土かぶり部にSENSを適用した場合の覆工と地盤の挙動〈東北新幹線　三本木原トンネル〉……千代啓三・井浦智実　43　11　49
既設鉄道山岳トンネルの地震対策と震災復旧の考え方……小島芳之・野城一栄　43　12　53

計　画

列車遅延解消のための地下鉄駅2面3線化計画〈東京メトロ東西線　南砂町駅〉……藤井和之・川上和孝・山中耕太郎　43　8　27
内径6m，延長4.5kmのシールドで低地帯の浸水を防ぐ〈東京都下水道　江東幹線〉……大塚文昭・今成達郎・古澤智章　43　9　27
密集市街地での下水道管シールド立坑用地確保と周辺対策への取組み〈品川区による浜川雨水排水管工事〉……武藤真　43　12　45

施　工

【鉄道トンネル】

長距離掘進SENSのカッタビットの摩耗状況を中間立坑で確認〈北海道新幹線　津軽蓬田トンネル〉……三上美輝雄・田中淳寛・玉井達毅・小林孝志　43　3　7
複雑な帯水構造の火山岩地帯を多段水位観測しながら掘削〈九州新幹線西九州ルート　千綿トンネル〉……高野裕輔・谷口俊太・門脇欣一郎・山浦亮一　43　6　7
小土かぶり3区間を地表または坑内からの対策工と計測管理で掘る〈北海道新幹線　万太郎トンネル〉……若公雅敏・山崎貴之・長谷部敏・小沼宏嗣　43　11　7
小土かぶり区間で家屋に近接した鉄道単線トンネルの施工〈JR吾妻線付替横壁トンネルⅡ期工事〉……中島純也・鈴木浩司・水野弘二・岩本義隆　43　12　7

【道路トンネル】

矢板工法トンネルでの老朽化対策および背面空洞注入工の取り組み〈常磐自動車道　日立地区トンネル群〉……宮沢一雄・石田慎治　43　1　7
急傾斜地盤の安定性を監視しながらトンネルを掘削〈国道156号岐阜東バイパス　岩田山トンネル〉……中舎明正・大野毅・青木哲男・加藤公章　43　2　7
先進導坑から上部帯水砂層を水抜きで切羽安定化〈圏央道　笠森トンネル〉……窪田達也・小川渉・藤本克郎・濱西将之　43　2　17
シラス地盤に超大断面378m²の地中分岐部を建設〈鹿児島東西道路　新武岡トンネル〉……五反田信幸・緒方秀敏・多宝徹・日向哲朗　43　3　15
シールドの内胴転用を図った上下2層大断面トンネルの施工〈首都高速中央環状品川線　大橋連結路〉………中西禎之・前川敦・高橋潤・井上隆広　43　6　13
砂地山の到達側坑口を高耐力斜め支保工で貫通〈国道108号　花渕山バイパス1号トンネル〉……松井幸男・表康弘・宮城大助・町大作　43　6　25
構造と施工方法の変更でJES函体工期を半減〈奥羽本線新青森こ道橋〉…古宮堅太郎・福島啓之　43　7　7
曲面切羽で低強度地山の全断面掘削に挑戦〈中部横断自動車道　八之尻トンネル〉……佐藤淳・細野泰生・真下義章・木村厚之　43　7　13
構造物直下の双設トンネルを早期閉合により施工〈岸谷生麦線トンネルⅡ期線(国道1号行き)〉……多田浩治・津野和宏・石丸潔・亀谷英樹　43　7　23
全断面早期閉合の合理化施工の取組み〈能越自動車道

七尾トンネルおよび氷見第８トンネル〉……
……鬼頭夏樹・石山宏二・大谷達彦　43　8　7
地山挙動解析を施工管理に活用し未固結地山を掘る〈主要地方道宇都宮那須烏山線　高瀬トンネル〉……
齋藤勇作・南原晃隆・早津隆広・山口礼介　43　9　7
周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用〈圏央道　高尾山トンネル〉……
…田村央・平田大輔・井上啓・加藤宏征　43　10　7
流域の水利用への影響を考慮したトンネル構造〈中国横断自動車道尾道松江線　大万木トンネル〉……
……狩野浩資・景山浩孝・安部学　43　11　13
初期掘進区間の重要構造物直下 1*D*以下を大断面シールドで施工〈阪神高速大和川線　大和川シールド〉……
……大島正資・大西和行・玉田康一　43　11　21
巨礫が点在する崖錐を注入式フォアポーリングにより突破〈熊野尾鷲道路　大吹トンネル新鹿工区〉……
……宮川俊介・秋山幸一・谷口智洋　43　12　13
壁厚3.0mのNOMST壁を大口径シールドで直接切削〈都市計画道路大和川線シールド工事〉……
卜部賢一・陣野員久・石垣兄太・天野聡　43　12　25

【地下鉄トンネル】

隣接工区の実績を再評価し駅部大断面を多段ベンチにより経済的に施工〈仙台市高速鉄道東西線　亀岡トンネル〉……
今井正樹・河村和信・後藤靖彦・鶴原敬久　43　3　27
環状七号線直下４mを函体推進で４径間鉄道トンネルを掘る〈小田急小田原線　連続立体・複々線化事業〉…
小川司・伊藤健治・有馬真司・工藤耕一　43　6　37
営業線直下のシールド切拡げを凍結工法で非開削施工〈小田急小田原線　連続立体・複々線化事業〉……
小川司・吉田裕介・大石憲寛・尾関孝人　43　9　17

【サービストンネル】

橋桁直下および橋梁基礎杭に近接したトンネル〈東京電力　新豊洲連係管路〉……
……小峰隆幸・齋藤勝・永尾龍大　43　1　19
老朽化した下水道管を自由断面SPR工法で長寿命化〈東京都下水道　砂幹線再構築〉……
……伊藤雄二・新谷康之　43　1　39
狭隘道路下における14.5*R*の急曲線を泥濃式推進工法で施工〈東京都下水道　世田谷区等々力三丁目付近枝線〉……萩原清志・鈴木淳一・松本文彦　43　2　43
φ3,500㎜の先行シールドからφ1,800㎜の分岐シールドを発進〈東京都下水道　墨田区八広一，四丁目付近再構築〉……伊藤雄二・笹川亮・武富達也　43　3　47
屈曲した狭隘な道路下をシールド切替型推進工法で掘進〈東京都下水道　豊島区駒込五丁目，北区西ケ原三丁目付近再構築〉…和田淳・吉安法道・中村浩　43　7　43
発進直後の急曲線などの厳しい条件下における推進工事〈東京電力　内幸町１丁目付近管路〉……
光清勝・関口洋・浅野謙司・武笠伯太朗　43　8　15
狭隘なスペースと近接施工を克服した深さ56mの立坑の築造〈東京都下水道　千代田区永田町一丁目付近枝線〉……寺本康宏・小島延連・上村稔　43　10　15
天竜川水系・小渋ダムに近接した４kmの土砂バイパストンネル…粟野哲郎・堂下哲・藤原武司　43　11　29

連載講座

最新推進工法技術（８）超大口径管推進工法 ……
「最新推進工法技術」連載講座小委員会　43　1　57
最新推進工法技術（９）〈推進工法の計画設計（１）〉……
「最新推進工法技術」連載講座小委員会　43　2　61
最新推進工法技術(10)〈推進工法の計画設計（２）〉……
「最新推進工法技術」連載講座小委員会　43　3　65
最新推進工法技術(最終回)〈推進工法の施工管理〉……
「最新推進工法技術」連載講座小委員会　43　4　91
トンネル技術者のための地相入門（１）〈地相は人相　山の性状〉「地相入門」連載講座小委員会　43　5　77
トンネル技術者のための地相入門（２）〈地形から読み取る情報（１）……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　6　69
トンネル技術者のための地相入門（３）〈地形から読み取る情報（２）〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　7　59
トンネル技術者のための地相入門（４）〈段丘・台地下のトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　8　57
トンネル技術者のための地相入門（５）〈崖錐・沖積錐・扇状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　43　9　61
トンネル技術者のための地相入門（６）〈傾斜層下のトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　10　45
トンネル技術者のための地相入門（７）〈地すべり地内に計画されたトンネル工事〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　11　59
トンネル技術者のための地相入門（８）〈マスムーブメント・滑落崖〉……
……「地相入門」連載講座小委員会　43　12　57

現場だより

「はじまりの場所」港まち敦賀より ……
……森川淳司　43　1　48
古都「京都」の西方より……藤内　昭　43　2　15
「自然豊かな海のまち」鳥羽より 伊藤省二　43　2　16
「風光明媚な由緒ある地」京都洛西，大原野春日町より
……内田　渉　43　3　14
「被災地」仙台より ……平山国弘　43　4　24
「豊かな海と芸術のまち」津奈木町より ……
……野田正利　43　5　20
「甲府盆地の南，富士川と花火の里」山梨県市川三郷町より……真下義章　43　6　36
「漁業と林業の町」尾鷲市より …田辺洋一　43　7　12
「恐竜の町」勝山市より ……鎌田松博　43　8　14
「スカイツリーを見上げながら」墨田区より ……
……堀　浩之　43　9　15
「戦国武将に出逢えるまち」長浜市石田町より ……
……真嶋敏之　43　10　24
「宇宙ロマンの夢広がる」飛騨神岡より ……
……花田則昭　43　11　20
「ホタルの里一色」山梨県身延町より ……
……松田正仁　43　12　16

語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

関越の国境を穿つ……乾　仁　43　1　29
我がトンネル人生の記憶……齋藤憲司　43　2　29
難しいトンネルほど完成の喜びは大きい……
……前田　隆　43　3　39
山岳トンネル技術の変革期を経験して……
……竹林亜夫　43　4　71
トンネルに教えられたこと，あれこれ……
……梅川　肇　43　5　69
大断面シールドで東京礫層を掘る〈井草上水シールド工事〉……安保笑一　43　6　49
進んで手を挙げたトンネル人生…本河経男　43　7　35
トンネル工事　思い出すままに…福井　亨　43　8　33
汗の中から知恵を出せ！……小濱修一郎　43　9　35
自らの頭で考え，自らの足で調査し，自らの手で試験する……亀岡美友　43　10　25
トンネルの技術革新期を経験した私の工事記録……
……渡辺英図　43　11　39
アナログ土木屋の回想〈パイロット圧気差工法による世界最大級の圧気手掘り式シールドの施工ほか〉……
……松下寿一　43　12　35

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
正会員	1,515名
団体会員	351名
個人会員	1,164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

広報小委員会会誌WG(10/1)

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

海外文献小委員会海外文献WG(10/2)

大久保誠介主査ほか12名，英文原稿を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(10/24)

浅見均主査ほか 8 名，英文原稿を査読

◎事業委員会

事業委員会打合せ会(10/1)

久多羅木吉治主査ほか 5 名，第73回施工体験発表会(都市)テーマを検討

計　4 回開催　41名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会近接施工調査準備会(10/4)

竹中聡委員ほか 9 名，経過報告および作業方針を検討

保守管理小委員会(10/18)

中井雅彦委員長ほか13名，作業方針を検討

山岳工法小委員会支保WG(10/25)

蓼沼慶正主査ほか19名，新規テーマの作業方針を検討

◎受託研究特別委員会

北海道新幹線(本州方)トンネル技術委員会(10/3)

足立紀尚委員長ほか47名，施工状況報告と検討結果報告および検討

相鉄・JR・東急直通線検討委員会(10/12)

小山幸則委員長ほか44名，施工・計測結果を検討

計　5 回開催　137名出席

合計　9 回開催　178名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future －」	2013. 5. 31～6. 7	ジュネーブ(スイス)	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス＊「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス(ブラジル)	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://www.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 Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://wtc15.com/

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

◆新刊図書案内◆

□Tunnelling Activities in Japan 2012　価格(税込)：会員 3,000円，非会員 3,600円

□トンネル年報2012　価格(税込)：会員 2,000円，非会員 3,000円

□トンネル年報-工事記録CD-R版(各年)　価格(税込)：会員10,000円，非会員15,000円

4. 平成24年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2012. 8.28	22	大分県	3.2
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会	2012. 9.26	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	24	大阪府	2.0
阪神高速大和川線トンネル工事現場研修会	2012.11.26	25	大阪府	2.8
仙台市地下鉄東西線現場研修会	**2012.12. 7**	**25**	**宮城県**	**3.5**
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫事例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
(講演，講習会)				
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2012. 9.27, 28	19	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2012.11.21, 22	24	東京都	9.8

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

「シールド工事格言集(シールド技術者心得)」の紹介

技術委員会都市トンネル小委員会

本会のホームページには，会員からご提案いただいたシールド工事に係る格言491件を50件に集約し「シールド工事格言集(シールド技術者心得)」として格言(心得)とその解説をPDF形式で掲載しています．シールド技術の伝承に大いに役立てていただきたいと思います．一例として格言(心得)を下記に列記します．

なお，協会団体会員加入会社には特典として，希望者に対し加工できるデータ(Exel, Word)を提供いたします．希望者は事務局までご連絡願います．

〈一例〉

No. 4　シールドのトラブル源の典型例，妥協・見過ごし，「まあいいか」．
No. 6　起こってからでは手遅れだ！　現場百回，変化をつかめ！
No. 7　シールド工事！　見えない切羽に，挑む魅力と難しさ．
No. 8　条件や設計図書は過信せず！　施工の前に要照査！
No. 9　思い込み，確認不足の解決は，ホウレンソウ(報告・連絡・相談)の正確化！
No.10　頼りすぎるな試験データ！　見えない地山，見て・触って確認，土質の性状！
No.11　忘れるな！君が見ている縦断図，描かれた土層はすべて想定！
No.12　切羽の安定，決め手は土砂の細粒分！
No.13　掘るより重要，事前調査！　必ず確認，支障物件！
No.50　最後まで，出ないと思うな！　水とガス．

格言(心得)集は番号により整理され解説も記載しています．
http://www.japan-tunnel.org/kenkyuu_toshi

1月号予告[1月1日発売予定]

- ●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
- ●九州新幹線西九州ルート　三坂トンネル
- ●舞鶴若狭自動車道　鳥浜トンネル
- ●川崎発電所取水路シールド
- ●マレーシア，パハン・セランゴール導水トンネル

【連載講座】

- ●トンネル技術者のための地相入門(9)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆早いもので，もう「師走」です．今年は，尖閣や竹島などの領土問題，各国で指導者を選ぶ選挙，オリンピックでの日本人選手の活躍，巨人軍の日本一などさまざまな出来事がありましたが，みなさんにとってこの1年はどのような年だったでしょうか．

◆弊誌では，施工報告を中心に研究や計画などの論文で構成されておりますが，今年は，4月号と5月号で特集を組みました．4月号では節目となる創刊500号記念して，東日本大震災以降注目を集めている地震とトンネルについて各方面よりご執筆いただき，座談会では編集委員会の委員やOBの方に弊誌について語っていただきました．また，5月号ではビックプロジェクトの新東名高速道路のうち御殿場JCT～三ケ日JCT間が開通したことを記念し，同区間の計画から開通までを新技術や新工法の開発を含めて特集を組みました．弊誌では，今まで節目のときやビックプロジェクトの完成，海外での工事などで特集を組んできましたが，2か月続けて特集号となることは初めてで非常に充実した1年間でした．

◆来年もより充実した誌面をご提供するとともに，みなさまにとって良い1年になることを心よりお祈り申し上げます．また本年同様変わらぬご指導ご鞭撻の程よろしくお願いいたします．

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

トンネルと地下
第43巻 第12号〔通巻508号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年11月20日　印刷
平成24年12月1日　発行

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

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

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

本誌広告のお申し込み方法

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

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



図書案内

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方



今田 徹 著
3,200円＋税 B5判

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

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．

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭 監修
1,500円＋税 B5判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫 著
6,000円＋税 A5判

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

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．

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．

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．

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．

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．

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

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．

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．

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．

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

岩盤の計測と解析



鈴木 光 著
4,200円＋税 A5判

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

山岳トンネルの新技術



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．

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．

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．

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．

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

トンネルと地下



1,500円＋税 B5判 月刊(毎月1日発売)

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

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．

書籍のお申し込み

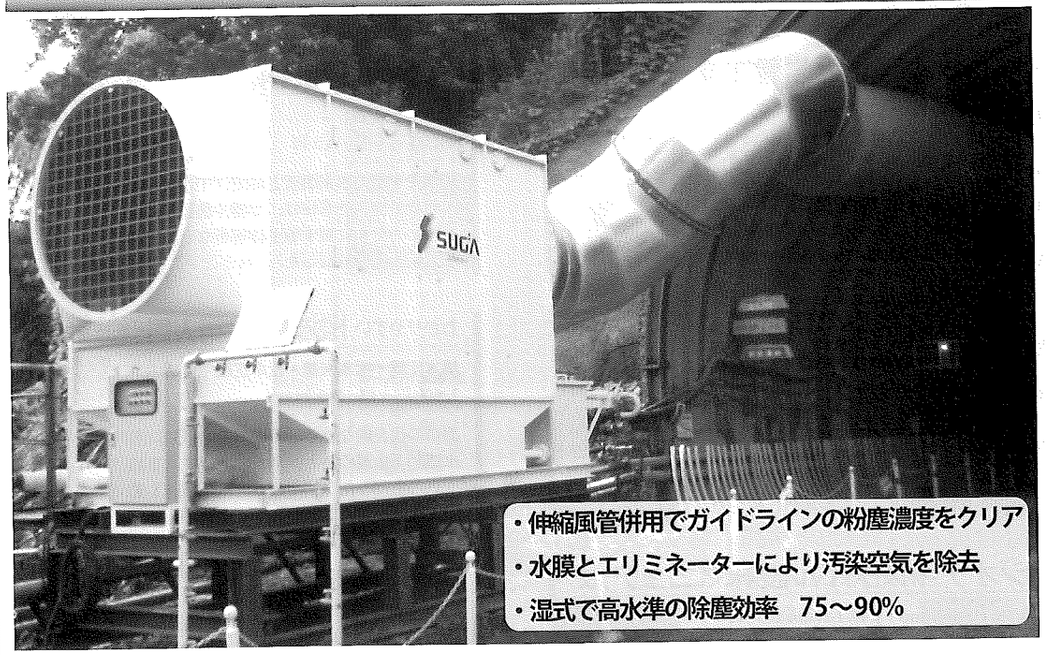
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

(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！

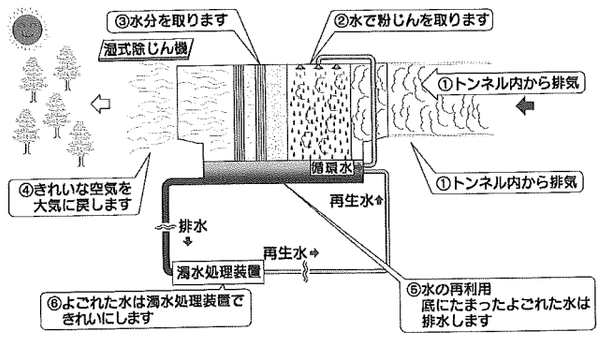
湿式除塵機 シャワーエリミナー

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
2000m³/min集塵機との比較で電力90%削減 110kW(55kW×2)⇒11kW



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

除じん機による浄化フロー



機　種

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

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

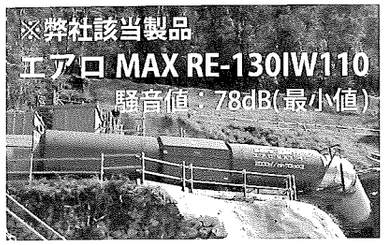
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

なんといっても低動力で大風量

電力もCO_2も抑えるために・・・ エコロジー＆テクノロジー

標準的なファン

定格：2000m³/min・4.9kPa
動力：110kW×2　400V



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

省エネ型へ

32%の節電&削減！(150kW)
〔風管φ1500 使用時　中距離(0 ～ 1000m)〕

EZ－2000Q

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



66%の節電&削減！(75kW)
〔風管φ1500 使用時　短距離(0 ～ 500m)〕

エアロMAX★uno

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



RE-140ES75

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