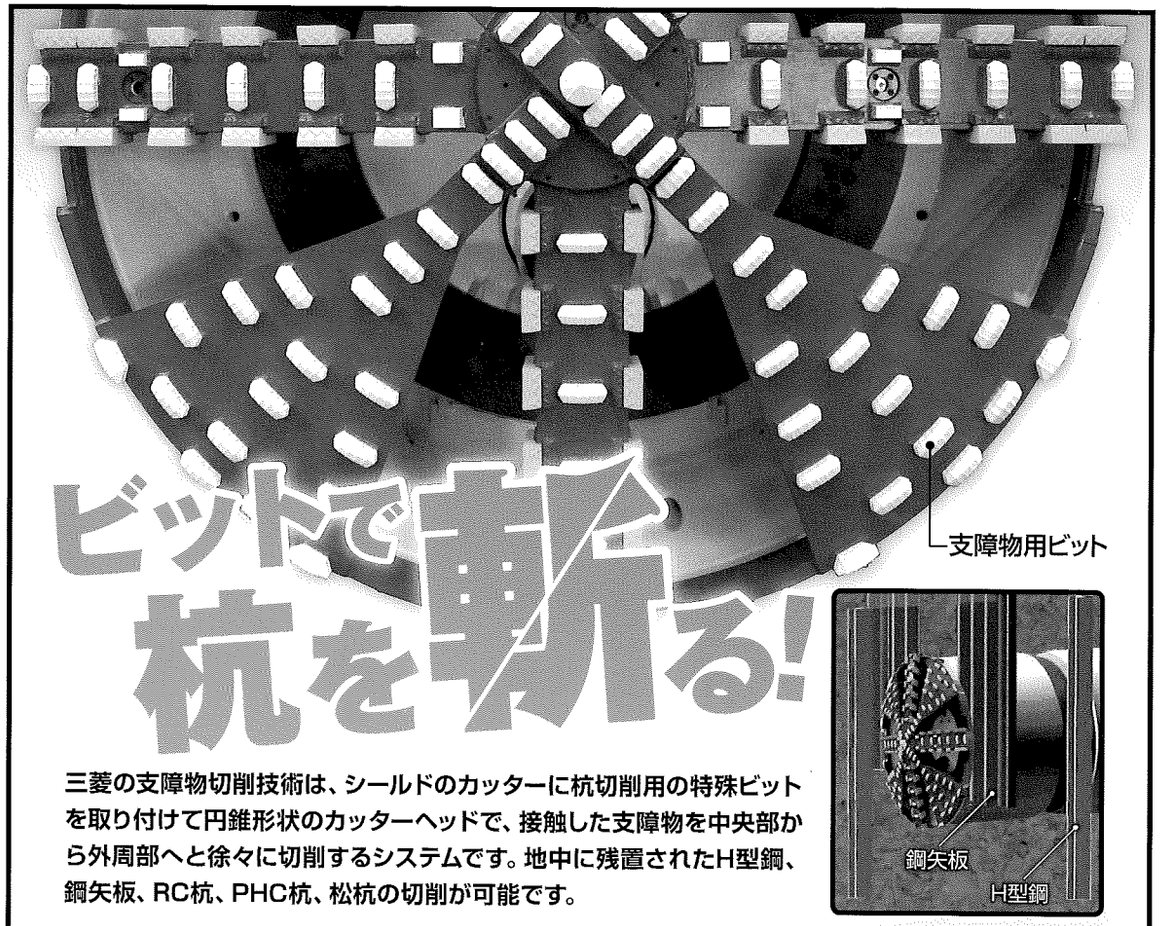
トンネルと地下　平成24年6月1日発行第43巻第6号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



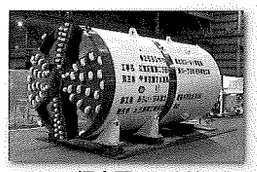
ビットで直下の杭を斬る!

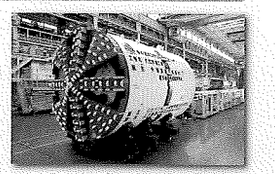
三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けて円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

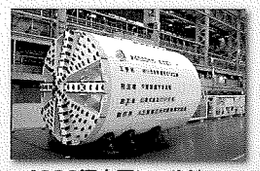
特　長

- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 切削片はほとんどがチップ状であり、コンベア搬出が容易。
- 切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。
- 周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

施工実績


φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面


φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面


φ4680泥土圧シールド
H型鋼(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面


φ2780泥土圧シールド
RC杭(φ800,φ1000)×6本
PHC杭(φ350)×6本

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-6
4910066190620
01500

4年6月1日発行(毎月1回1日発行)　第43巻第6号　通巻502号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 6

vol. 43
no. 6
2012

Tunnels and Underground

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
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
地山の到達側坑口を高耐力斜め支保工で貫通
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
ンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査

日本トンネル技術協会誌



FRD FURUKAWA

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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/JTH3200R

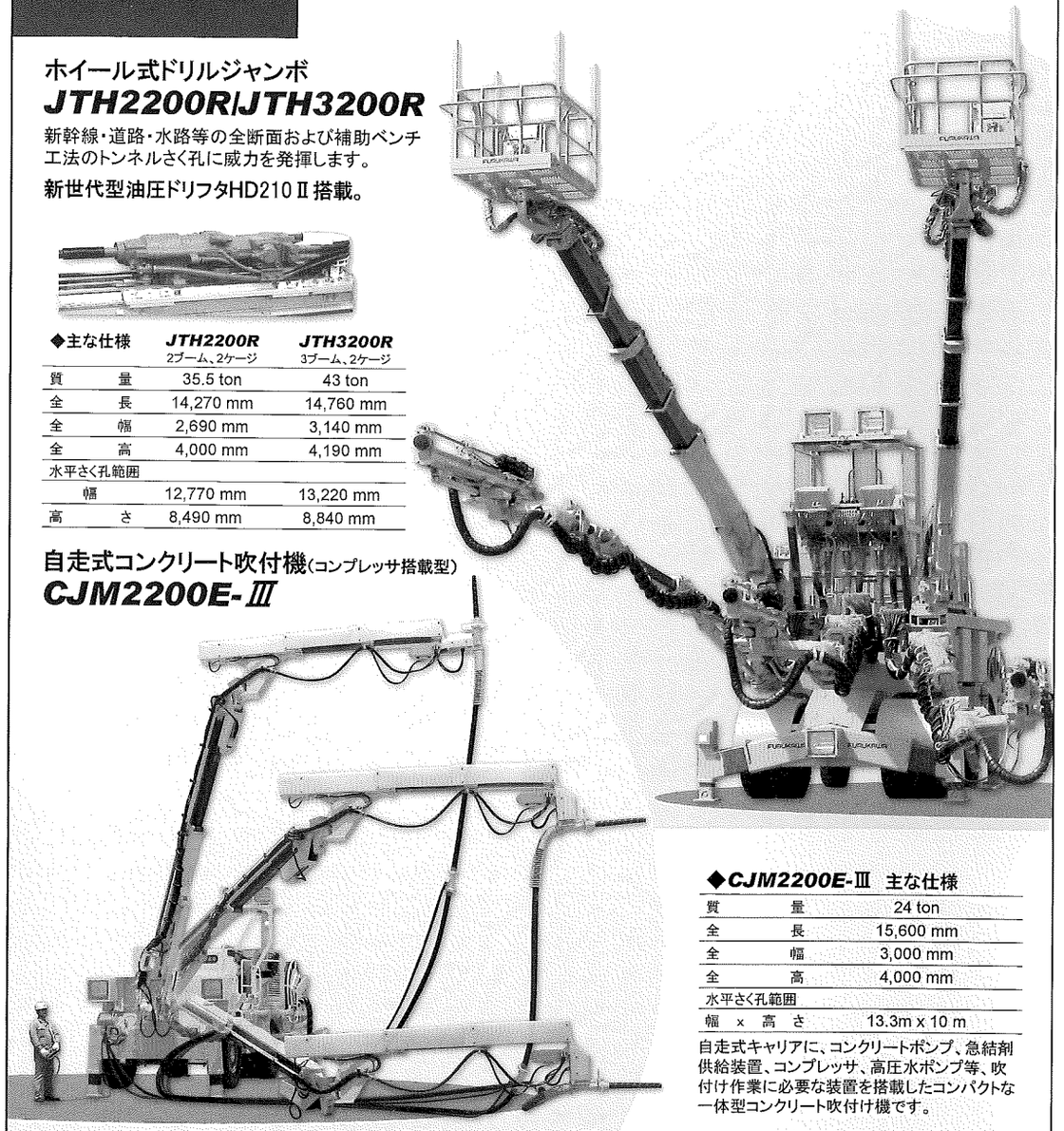
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

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

全方位 GFRP 管長尺補強システム

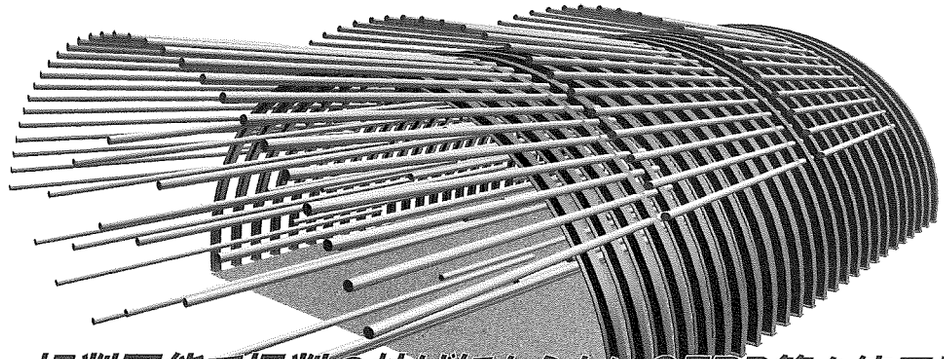
特許登録 第2955279号

NETIS登録(No. CB-030065)

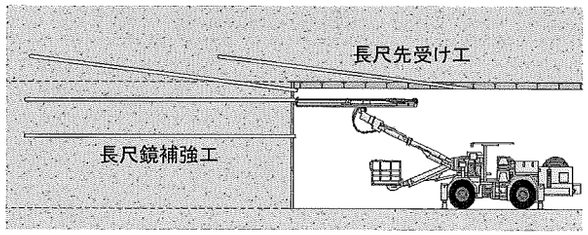
施工実績 300件以上

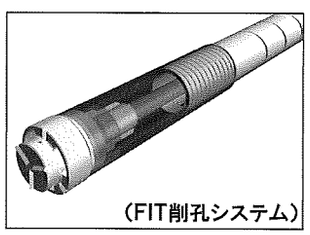
FIT 工法

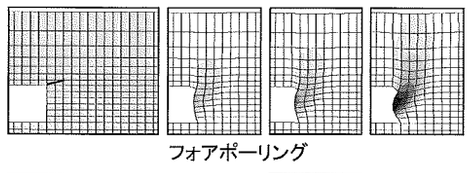
FRP INJECTION TUBE

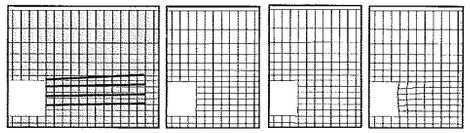


切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、
切羽前方地山を確実にホールドできます。

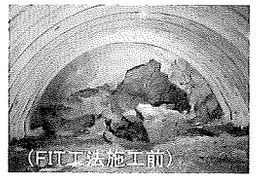


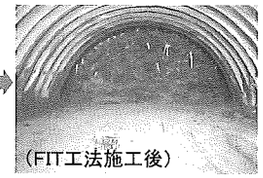

(FIT削孔システム)

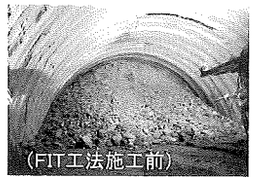

フォアポーリング


FIT工法

(数値解析による効果の検証例)


(FIT工法施工前)


(FIT工法施工後)


(FIT工法施工前)


(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部　TEL(03) 3570-5223　FAX(03) 3570-5233

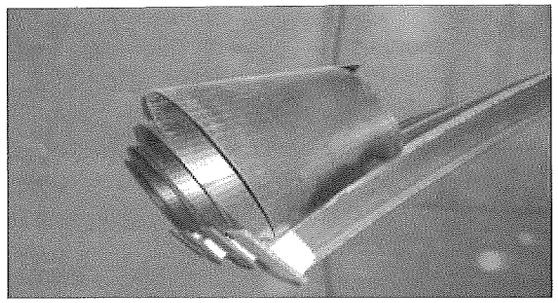
大阪土木営業部　TEL(06) 6363-1884　FAX(06) 6313-0755

札幌支店　TEL(011) 751-4681　FAX(011) 751-4682

ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

軟弱地盤に効果を発揮

薄鋼板を用いたウィングリブ
『YM ウィングコーン』　NETIS 登録 :CG-070015-A



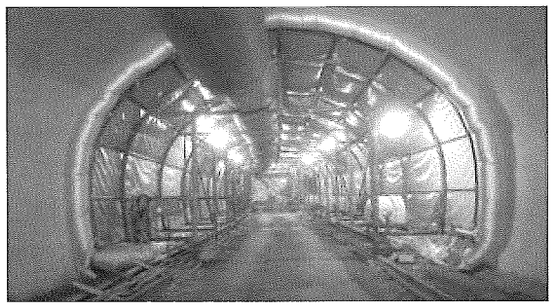


従来のＨ形鋼ではなく，薄鋼板を中空の円錐台形に加工したウイングリブです．
現場ストックが可能な，ボルトによる脱着式です．

【効果】
・直接コーン内に吹付コンクリートを吹き込み，地山と密着させ一体化させることにより，初期沈下抑制効果を発揮します．
・吹付コンクリートで地山密着させるため，危険な切羽近傍での接地面の地山均しが不要です．
・現場でのストックが可能なため，事前対策・急な地山変化に効果を発揮します．

トンネル覆工コンクリートの品質革命

散水式による覆工コンクリート養生システム
『トンネルミスト®』　NETIS 登録 :CG-080012-A





散水式養生台車を使用します．
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い，湿潤養生を行います．
気密性が保持され，保湿性・保温性が得られます．

【効果】
・コンクリートは密実になり，初期・長期強度を確保できます．
・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます．
・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます．
・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき，コストダウンが可能となります．

実績および採用決定
（平成23年４月現在）

施　主	実績	計画物件
国土交通省	16件	7件
NEXCO	8件	3件
地方自治体	7件	11件
合　計	31件	21件

株式会社　マシノ　トンネルグループ

本　　社　〒733-0822　広島市西区庚午中１丁目 19-23
TEL（082）507-2737　FAX（082）507-2721
大阪支店　〒564-0062　大阪府吹田市垂水町３丁目 16-3
TEL（06）6389-6400　FAX（06）6389-6410

パターンボルトのGRP化

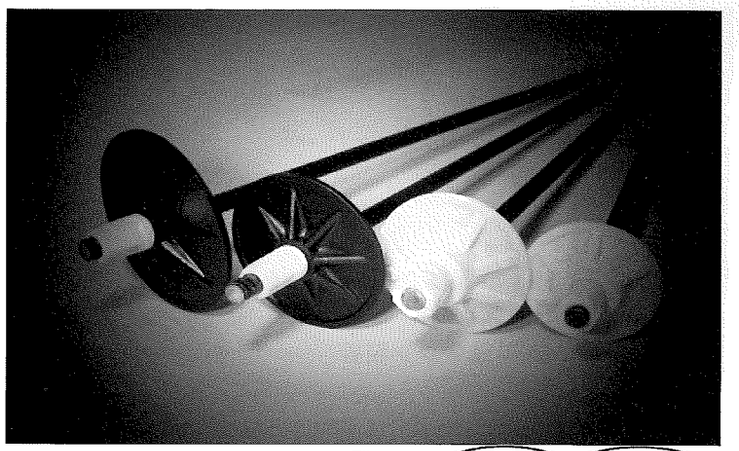
POWERTHREAD

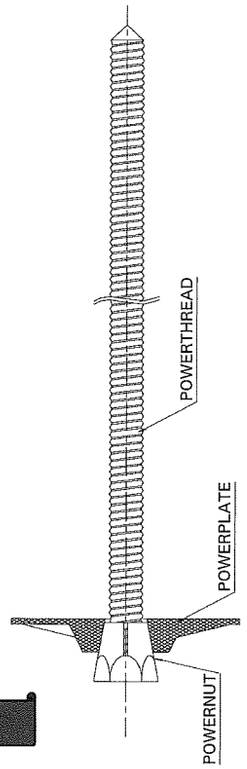
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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/

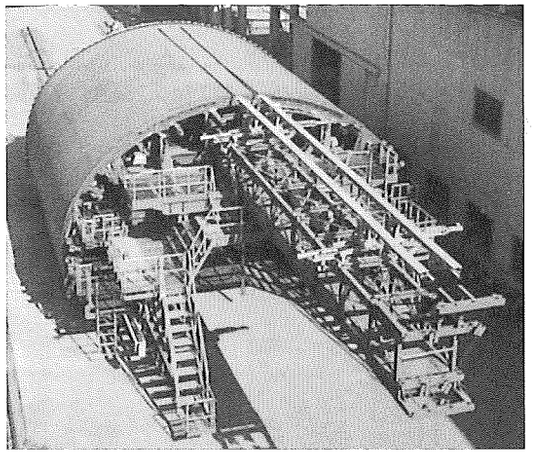
技術営業部
TEL）052-331-8821　FAX）052-332-0164
中部営業部
TEL）052-331-8821　FAX）052-332-0164
東京支店
TEL）03-3260-8321　FAX）03-3266-1648
関西営業所
TEL）06-6578-3235　FAX）06-6578-3237
九州営業所
TEL）092-574-0856　FAX）092-574-0846
北海道地区（㈱エイチ・アール・オー）
TEL）011-821-5868　FAX）011-821-6644

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田(かいた)工場

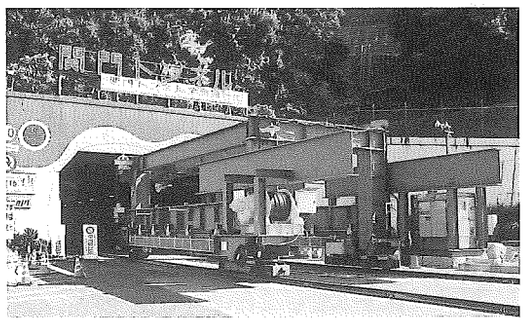
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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

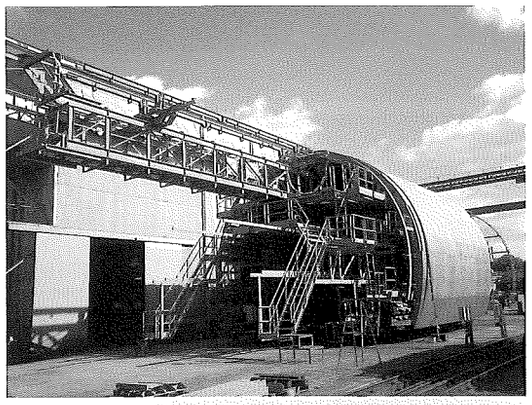


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

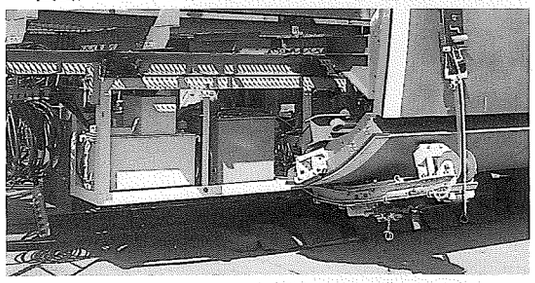
● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置



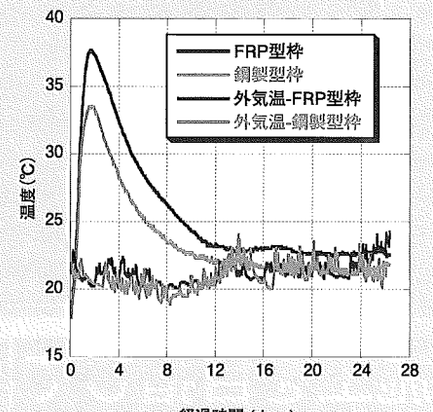
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

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

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

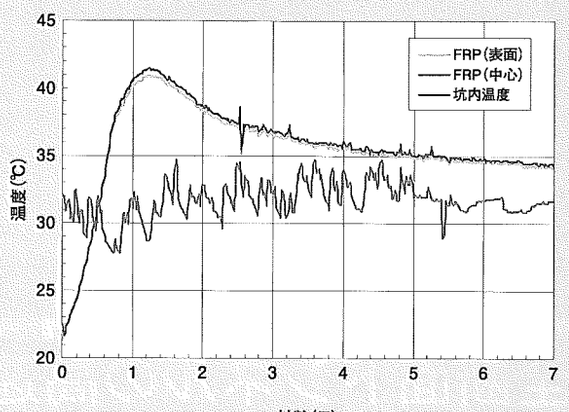
［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



■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

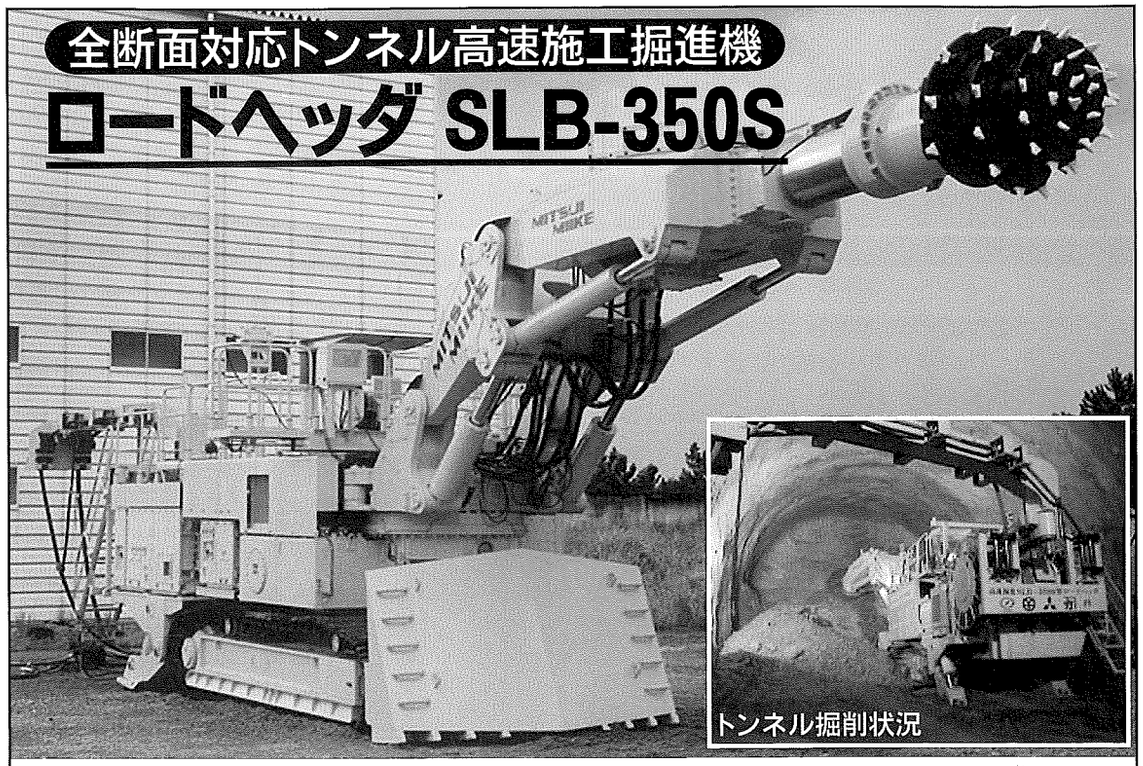


MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

■ 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

全断面対応トンネル高速施工掘進機

ロードヘッダ SLB-350S



トンネル掘削状況

全断面トンネルの高速施工を目指して

特　徴

- 国内最大の３５０ｋＷ-４／６Ｐ定出力型２速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても充分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大５ｍまで確保できます。
  又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。（硬岩用ドラム使用）
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々１ｍの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ディーゼルエンジンの搭載[※1,2]により、ロードヘッダ単独での走行が可能です。
  よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。



スライドデッキ

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

製造，販売，レンタル及びメンテナンス　株式会社 三井三池製作所

本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町２丁目１番１号 三井ビル２号館

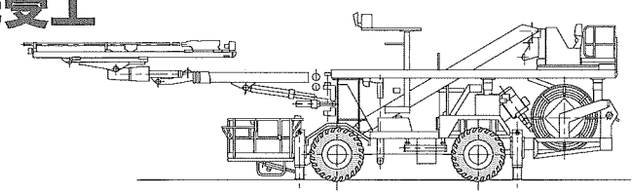
産業機械営業部　TEL.03-3270-2005　FAX.03-3245-0203

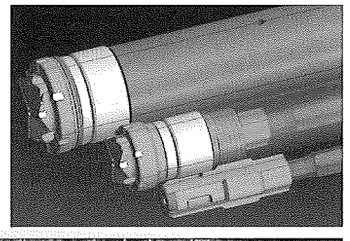
http://www.mitsuimiike.co.jp　　E-mail　sanki@mitsuimiike.co.jp

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

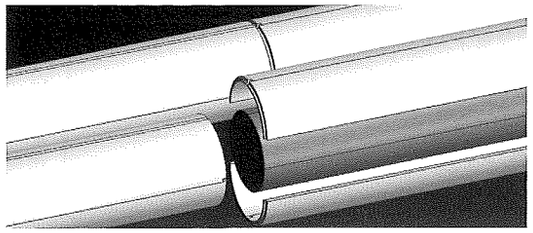


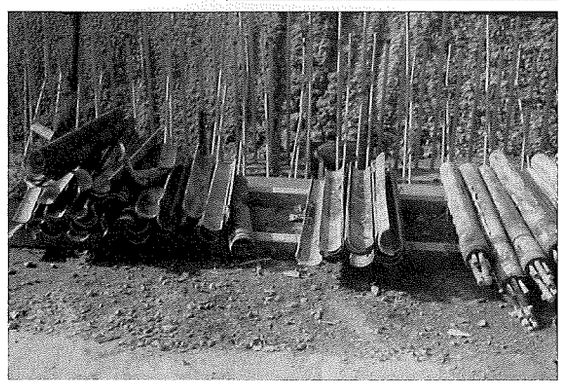


AGF-Me工法

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

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



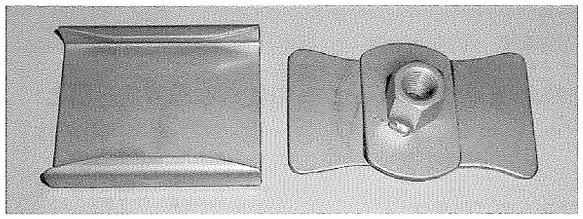


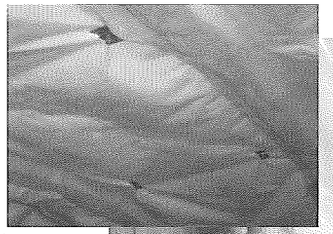
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

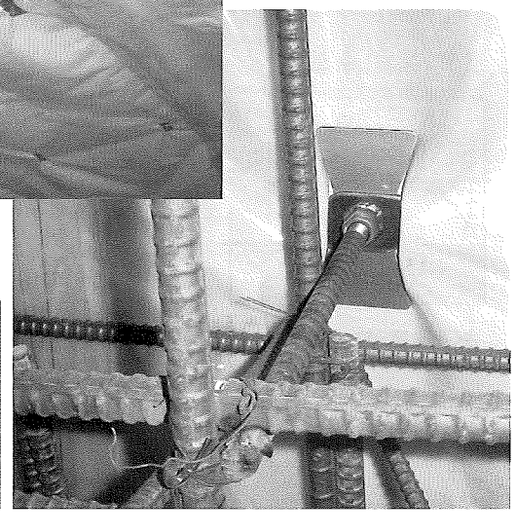
TKグリッパー

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

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







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

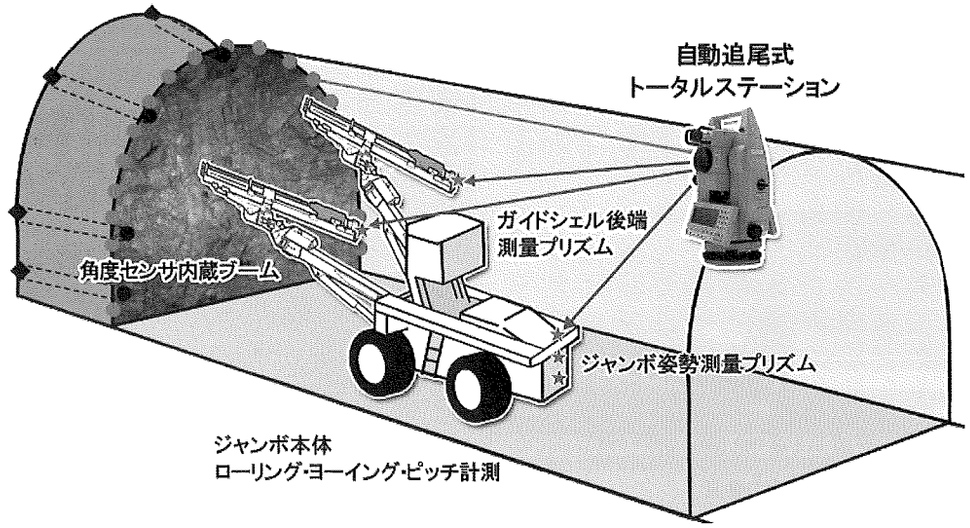
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　　Fax:**044-333-0321**
（お問い合わせ先）

NETIS登録番号:KK-100049-A

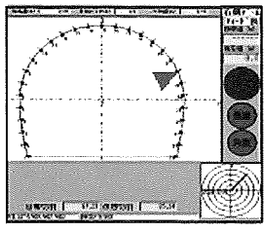
自動追尾式余掘り低減システム

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。

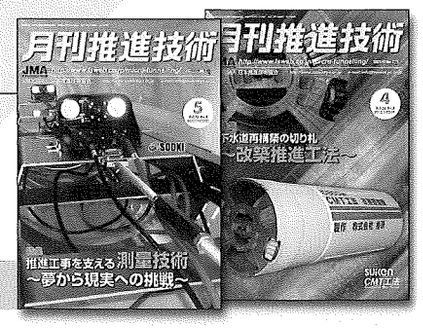
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

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

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

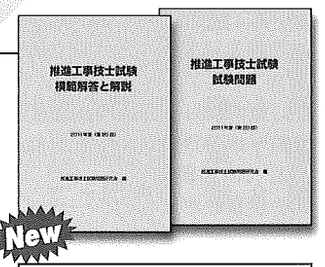
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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



平成23年度版発売中!!

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

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

1．内容と特長

○過去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）

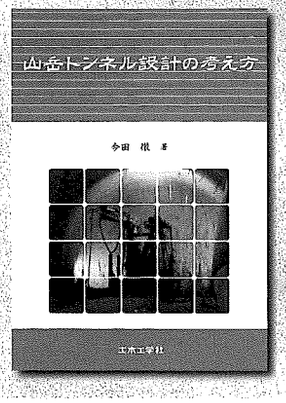
3．申込方法

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

好　評　発　売　中

山岳トンネル設計の考え方



東京都立大学名誉教授
今田　徹　著

決定版

B５判　183頁　上製本　定価3200円＋税

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

《主要目次》

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

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76 頁　定価 1,500 円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！
振動や騒音の環境問題を詳述 !!

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

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

〈主要目次〉

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

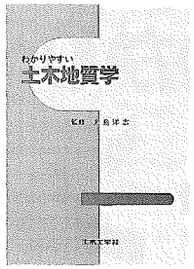
お申し込みは当社へ FAX，または，お近くの書店にてお申し込みください．FAX(03-3267-2807)
にてお申し込みの方は，書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記の上，お申し込みください．

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

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

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。

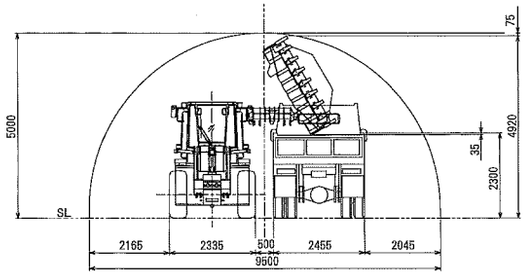
ORICA MINING SERVICES



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



klea 株式会社 ケイ・リー

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

URL http://klea.catrent.com

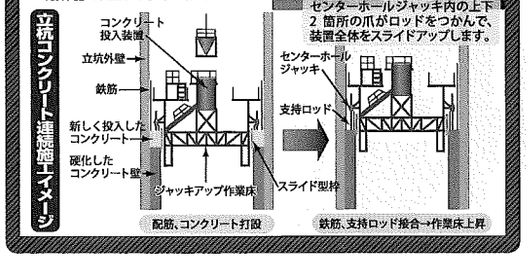
スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

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

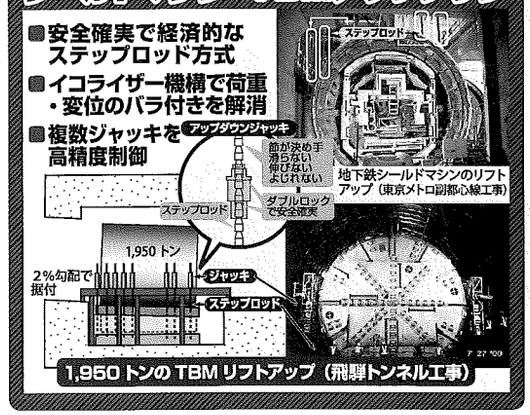




センターホールジャッキ内の上下2箇所の爪がロッドをつかんで、装置全体をスライドアップします。

シールドマシン・TBMアップダウン

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



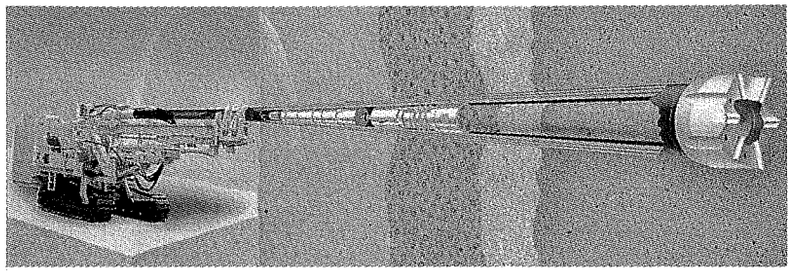
営業品目
- ジャッキリース・オペレータ
- 架台・型枠足場　設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ

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

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■特長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

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

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

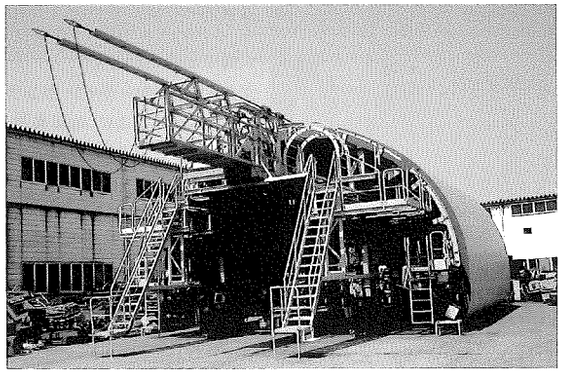
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　FAX: 03 3267 2807　http://www.tunnel.ne.jp

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

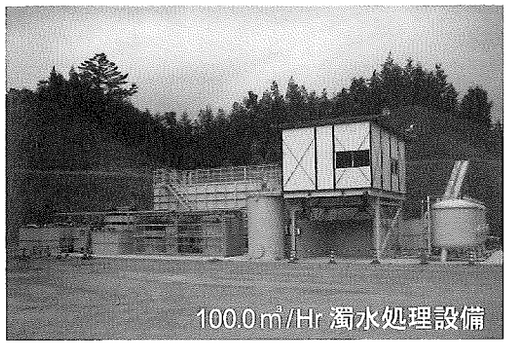
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

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

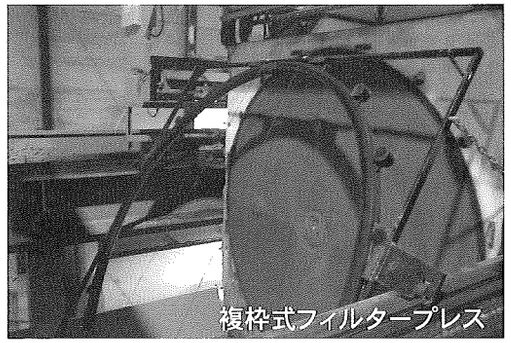
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

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≫

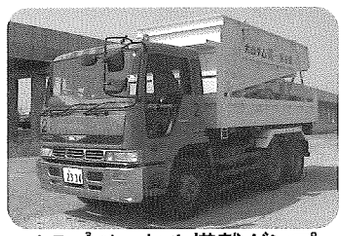


VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)





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　6月号目次　Vol.43, No.6, 2012 Jun.

■巻　頭　言

隧道の向こうに

大本　万平……5

■研　　究

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……59

■施　　工

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……7

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……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……25

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

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……37

■連 載 講 座

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……69

■現場だより

「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……36

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

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……49

■資　　料

Tunnel Wall

永冨　　謙……46

トンネルジャーナル

編　集　部……58

土木情報

編　集　部……48

工法・技術製品ニュース

編　集　部……80

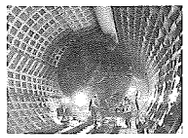
■会　　報

会　　報

日本トンネル技術協会……81

【表紙説明】

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―



本工事は，現在建設中の首都高速中央環状品川線と首都高速３号渋谷線を連結する大橋ジャンクションに接続する連結路を構築するものである．この連結路は約110mの開削区間と約500mのシールド区間からなる上下２層構造のトンネルである．

シールド工事では，シールドを外胴と内胴の二重構造とし，内胴に収納したカッタ駆動部を分解せずに一体回収して再利用する工法(DSR工法：Draw a Shield for Reycle method)を採用した．写真は，下層シールドを掘進した後，上層シールドに転用・再利用するために，内胴部分を引き抜いた後，下層内を搬送している状況である．

〔写真提供：首都高速道路(株)〕(本文13頁参照)

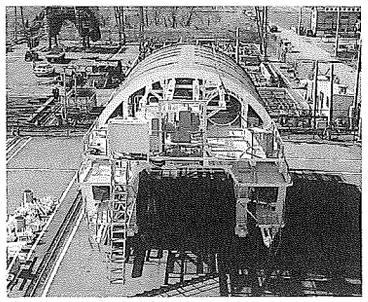
高品質なトンネル覆工に挑む

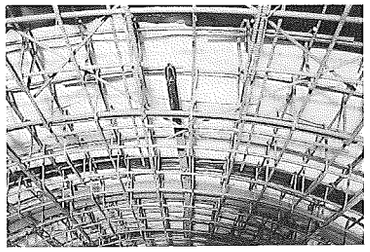
高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

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

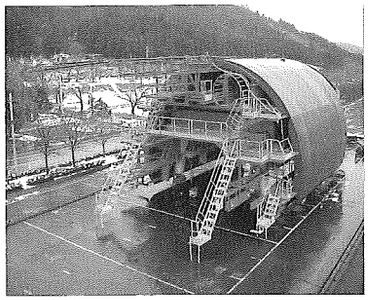
【特許出願中】

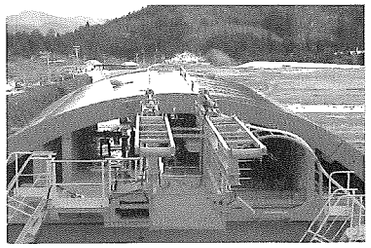
ホースバイブ巻取り式





パイプバイブ伸縮式





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

効果・特徴

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

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD
本　　社　岐阜県本巣市十四条１４４番地　〒501-0464
本社工場　TEL (058)323-2000(代)　FAX (058)323-1176

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大 島 洋 志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩 田 美 幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大 石 敬 司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大 津 敏 郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

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

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

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

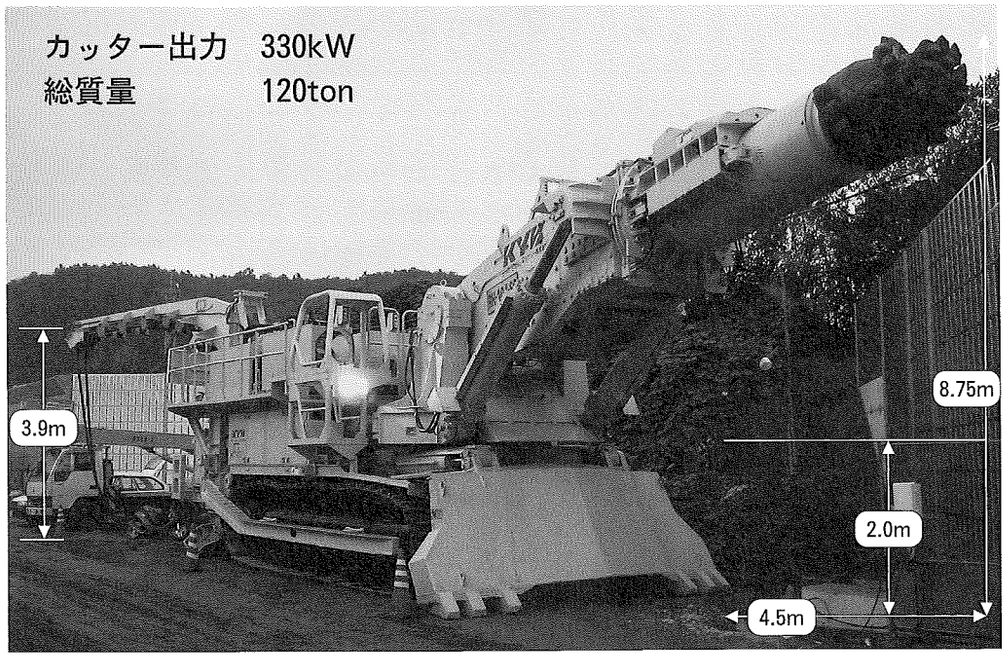
松 原 利 之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

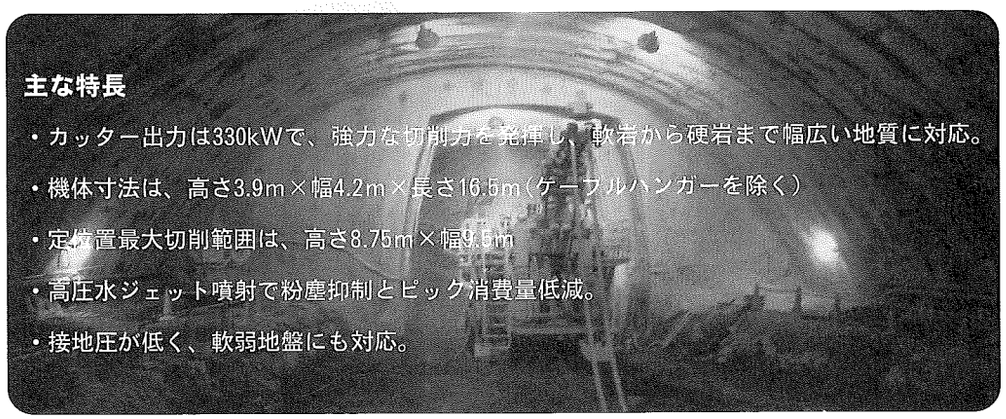
三 浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

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
JR東日本研究開発センター
フロンティアサービス研究所次長

新谷康之
東京都下水道局建設部設計調整課長

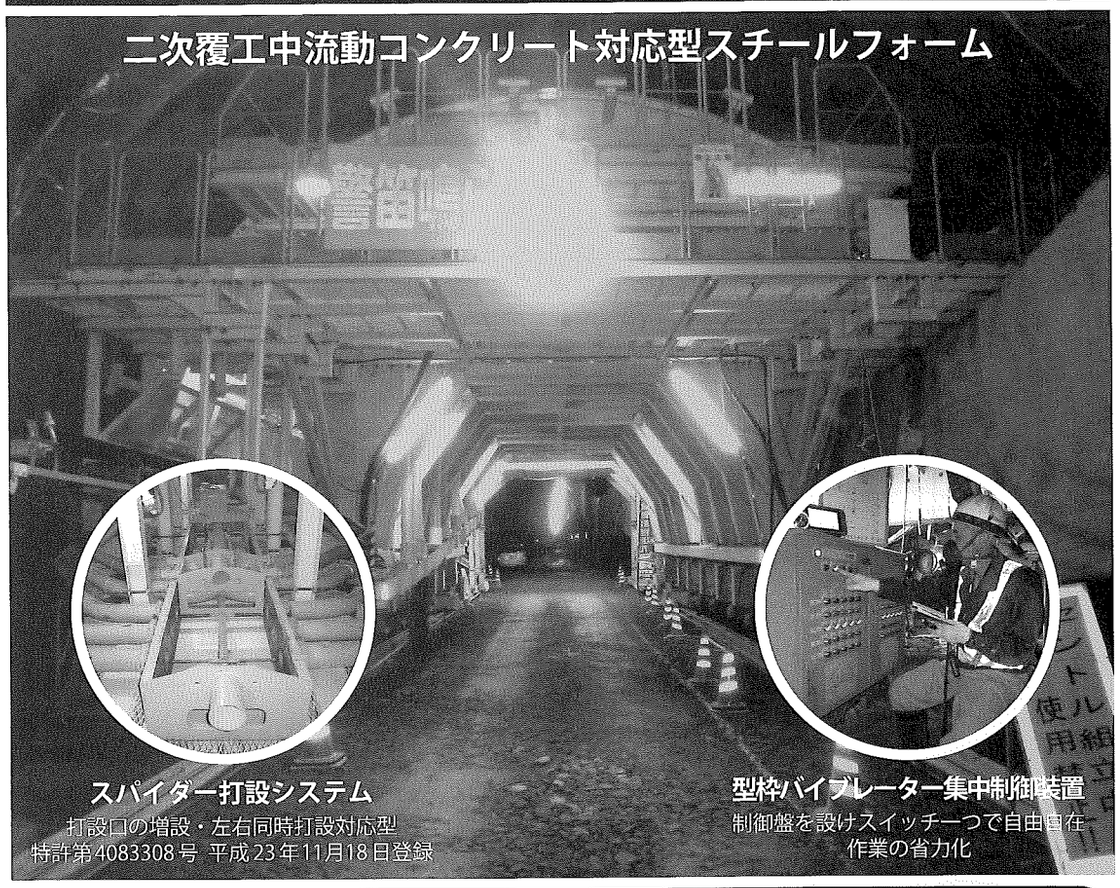
高田武
東京都水道局建設部工務課長

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

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. 6　掲載概要

掲載頁 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―

鉄道・運輸機構　高野　裕輔

千綿トンネルは，長崎県東彼杵郡東彼杵町に位置する延長1,630mの山岳トンネルである．トンネルの周辺は，透水性の高い火山岩類に覆われ，直上には生活用水を使用する民家，水田などの農地，牛舎などの農業施設が散在しており，水利用が活発である一方で，大～中規模河川が存在しないため，井戸・湧水などの水源に大きく依存している状況である．そのため，工事の着手前より，トンネル掘削による地下水への影響が懸念されていた．

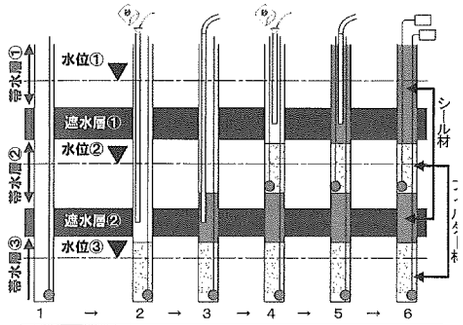
本稿は，トンネル掘削による地下水への影響，渇水問題の対策検討に資するべく，トンネル近傍に設置した観測孔の地下水位観測孔の状況とあわせて，トンネル掘削との関連性について報告する．

Tunnelling Volcanic Rock Aquifer with Multistage Water Level Monitoring—The Chiwata Tunnel on the Kyushu Shinkansen West Kyushu Route—

By Yusuke Takano, Japan Railway, Construction, Transport, and Technology Agency

The Chiwata Tunnel is a mountain tunnel of 1,630m in length located in Higashi-sonogi Town, Nagasaki Prefecture. Geology around the tunnel consists of highly permeable volcanic rock. Moreover, there are houses, paddy fields and cow barns etc. right above the tunnel which depend on wells and spring water since there are not any rivers large enough to supply water to them. Therefore, there is concern about the effects of the tunnel construction on groundwater by constructing the tunnel is concerned.

This paper reports the relationship between construction of the tunnel and groundwater as well as the status of the monitoring well that was dug near the tunnel in order to consider the effects of the construction on groundwater.



1. 帯水層③に水位計設置 → 2. 帯水層③にフィルター材(珪砂)充填 → 3. 遮水層②にシール材(セメント)充填 → 4. 帯水層③に水位計設置・フィルター材充填 → 5. 遮水層①にシール材(セメント)充填 → 6. 完了

図は水位計設置手順

掲載頁 13

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―

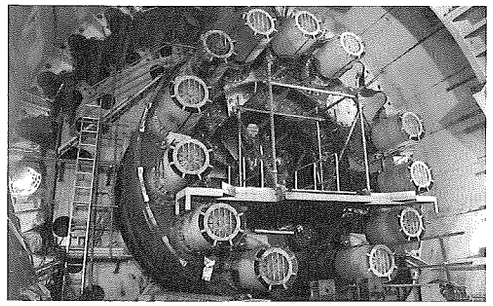
首都高速道路(株)　中西　禎之

首都高速中央環状品川線は，中央環状線の南側を形成し，中央環状新宿線および大橋ジャンクションを介して首都高速３号渋谷線に接続する，ほぼ全線がトンネル構造の路線である．このうち大橋連結路工事は，大橋ジャンクションの一部で品川線本線トンネルから分岐する連結路トンネルを施工する．本工事は，密集した市街地にある幹線道路上にシールドの発進立坑などを開削工法で設けた後，シールド工法により上下２層の連結路トンネルを築造し，さらに並走する本線シールドトンネルとの間を地中で切開いて分合流部を構築するものである．本稿では，狭隘な条件下において実施した連結路シールドの施工について報告する．

Build Large Two-Story Tunnel with DSR Method—Metropolitan Expressway Shinagawa Line Central Circular Route Ohashi Connection—

By Yoshiyuki Nakanishi, Metropolitan Expressway Co., Ltd

The Metropolitan Expressway Shinagawa Section of Central Circular Route consists almost entirely of tunnels. It forms the south side of the Central Circular Route connecting to the Metropolitan Expressway No. 3 Shibuya Line through the Ohashi Junction. Among these, the Ohashi connection tunnel is tunnels that diverge from the Shinagawa section to the Ohashi Junction. In order to build these tunnels we constructed the starting shaft of shield on the trunk road in urban area with cut-and-cover method. After that two-story tunnel was built with shield method and confluent section with shinagawa section of Central Circular Route was built by cutting the gap between connection tunnel and main tunnel. This report gives information on the shield tunnelling that was implemented under tight conditions.



写真は下層シールド内胴部引抜き

掲載頁 25

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—

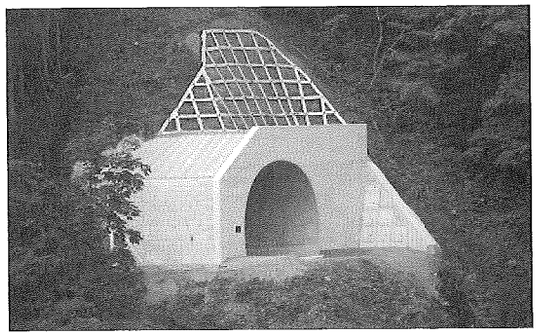
国土交通省　松井　幸男

花渕山バイパス１号トンネル工事(L＝142.5m)は，均等係数，細粒分含有率ともに流砂現象の発生する指標以下の砂地山での施工であった．設計段階では，偏地形の到達側坑口部の施工において一般的に用いられる作業導坑でいったん外に出て，人工地山を築造後に上半貫通を計画していた．しかし，砂地山の難工事で工期遅延が懸念されたため，早期の坑口部の完成が必要となったことから，工期短縮を図るためサイドパイル，フットパイルなどの補助工法と高耐力支保部材を用いた斜め支保工を採用することで，上半掘削により，大きなトラブルもなく無事に貫通させることができた．

Penetrate Tunnel Entrance in Sandy Soil Ground with High Strength Rock Bolt—Route 108 Hanabuchiyama Bypass Tunnel No. 1—

By Yukio Matsui, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Hanabuchiyama Bypass 1 gou Tunnel No.1 works (L＝142.5m) were tunneling in a sandy soil ground under conditions that both uniformity coefficient and fine fraction content indicated the possible occurrence of quicksand. At the design phase, the penetration of upper section was planed to excavate the artificial ground built on entrance from outside after building adit as commonly used method at the works on skew ground. However, due to concerns about extension of works resulting from difficult condition of sandy soil, early completion of entrance portal was needed. Installing the steel arched support at an angle and reinforcing bolts for side wall and foot assist the penetration from inside the tunnel to accelerate the completion without a serious trouble.



写真は到達側坑口部全景

掲載頁 37

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—

小田急電鉄(株)　小川　　司

東京都と小田急電鉄では，踏切での慢性的な交通渋滞の解消を目的とした道路と鉄道の連続立体交差事業と抜本的な輸送サービスの改善を目的とした複々線化事業(4線化)を行っており，2004年９月より，代々木上原駅～梅ヶ丘駅間約2.2kmの４線地下化工事を進めている．

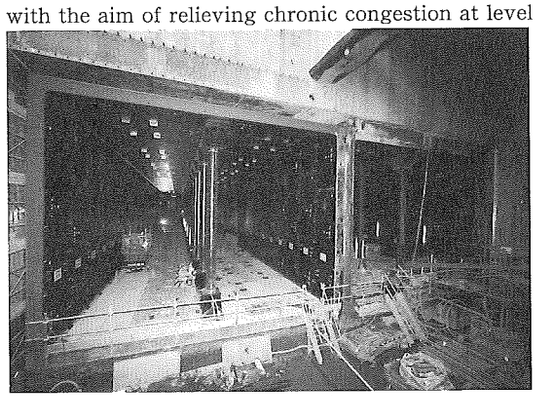
当地下化工事のうち世田谷代田駅～梅ケ丘駅間に位置する，環状七号線交差部における地下トンネル躯体の構築は，１期，２期施工の分割施工で行っており，１期施工については，2007年10月に完了し，２期施工は，2011年11月に完了している．本稿では，１期施工での問題点を踏まえた，２期施工への対策と実績について報告するものである．

Box-Jacking a 4-span Railroad Tunnel 4 m Directly Under Ring Road No.7—Odakyu Odawara Line Grade Separation / Track Quadrupling Project—

By Tsukasa Ogawa, Odakyu Electric Railway Co., Ltd.

Tokyo Metropolitan Government and Odakyu Electric Railway Co., Ltd. precede a grade separation project with the aim of relieving chronic congestion at level crossings and track quadrupling project with the aim of drastically improving transportation services. Since September, 2004, the works of installing four tracks below ground is underway approx. 2.2 km between Yoyogi-Uehara and Umegaoka Stations.

Building works of tunnel box beneath the intersection of Ring Road No.7 between Setagaya-Daita Station and Umegaoka Station are divided into first-stage works and second-stage works. The first-stage works were finished in October, 2007 and the second was completed in November, 2011. This report gives information on the measures used in the second -stage works based on the reflections from issues that occurred during the first stage and the results of the construction.



写真は函体推進完了((左) 2 期施工，(右) 1 期施工)

掲載頁 59

ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査

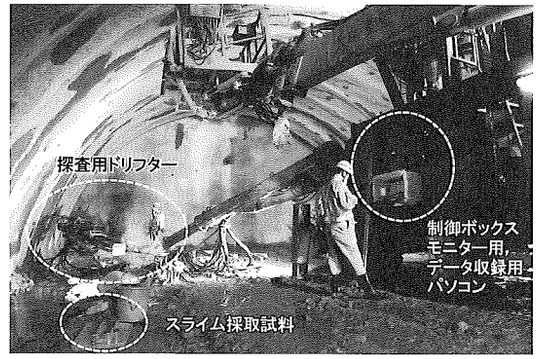
鉄道・運輸機構　村上　　明

本研究では，地質特性と湧水特性を総合的に予測することを目的に，新たな試みを加えて前方探査の実施と検証を行った．前方探査技術として，ドリルジャンボを利用した短尺ノンコア解析(従来のノンコア削孔調査の問題点であったフィード圧の変動影響を排除し，地山評価の信頼性を高めた新しい解析システム)，ノンコア先進ボーリングデータによる中尺ノンコア解析(短尺ノンコア解析技術をロータリー・パーカッション型にも水平展開)，坑内弾性波探査TSPから得られる弾性波の諸物性の３種類を用いた．その結果，地山評価(断層破砕帯，風化変質帯，地山分類)と湧水特性(長期の大量湧水，短期の突発湧水)を総合的に予測する道筋が得られた．

New Prediction Method Based on Non-core Drilling Analysis and Seismic Prospecting in Test Adit

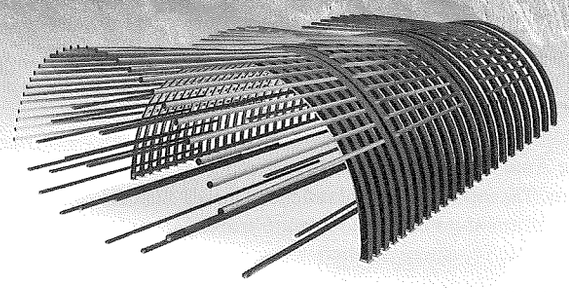
By Akira Murakami, Japan Railway, Construction, Transport and Technology Agency

This study aims to comprehensively predict the condition of geology and ground water by implementing and verifying investigations with the addition of new attempt. The three prediction methods were applied: narrow non-core analysis using a drill carriage (a new analysis system that eliminates effects of fluctuation of feed pressure that were a problem in traditional non-core drilling surveys to enhance reliability of ground evaluation), medium non-core analysis through non-core pilot boring data (application of narrow non-core analysis method for rotary percussion drilling) and the various physical parameters gained from seismic prospecting in test adept. The results showed the possibility of comprehensively prediction for ground evaluation (fault fracture zone, weathered alteration zone, ground classification) and ground water condition (long-term large volume spring water, unexpected spring water on the short term).



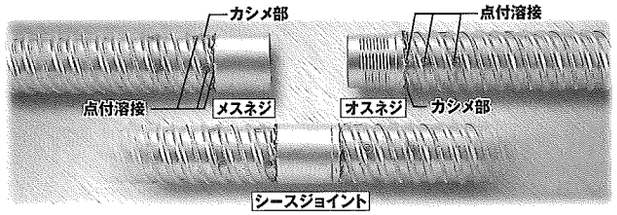
写真は切羽でのノンコア削孔調査

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

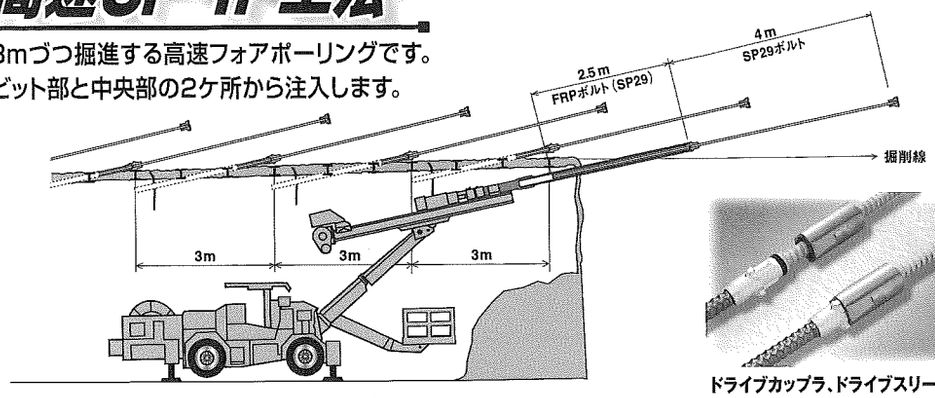
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

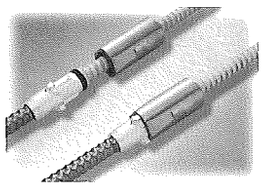




高速SP-IF工法

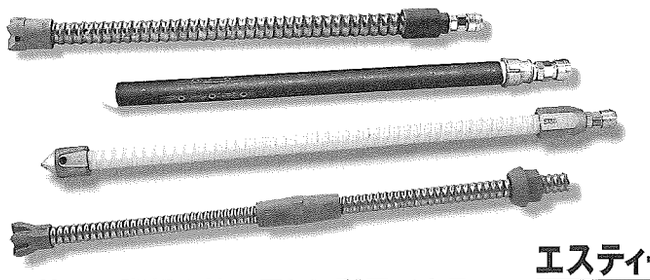
※3mづつ掘進する高速フォアボーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

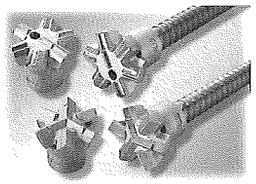




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





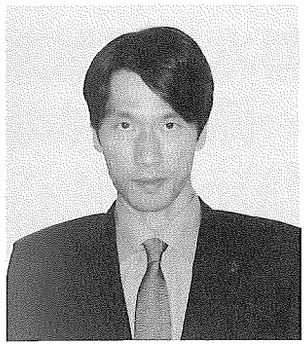
φ65mm ロストビット(SP29)

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

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

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



隧道の向こうに

（株）大本組代表取締役社長（本協会評議員）
大本万平

隧道（ずいどう）という響きを聞くと，まっ先に思い浮かぶのは，おそらく日本で一番有名な隧道，「天城隧道」ではなかろうか．1904（明治37）年に完成したこの隧道の正式名称は「天城山隧道」．現存する最長（445.5m）の石造りのトンネルである．川端康成の「伊豆の踊り子」や松本清張の「天城越え」で有名になり，1970（昭和45）年に現在の天城トンネルが完成したことによって，隧道としての役目を終え，今は観光の名所としてその余生を送っている．

緑濃い木々にかこまれた旧道に分け入ると，やがて苔むした坑門が見えてくる．そのたたずまいは，踊り子たちが通り抜けていた時代へとタイムスリップさせてくれるが，今回お話ししたいのは，ノスタルジックな天城隧道のことではなく，住民自らの強い意志と行動力によって掘り貫かれた「中山隧道」のことである．東日本大震災から１年が過ぎた今，その当時の人々の思いをもう一度再確認したいと思ったからである．

すでにご存知の方も多いと思うが，中山隧道は，旧山古志村（現在の新潟県長岡市山古志）小松倉にある，日本最長の手掘り隧道で，1933年に起工し，16年後の1949年に貫通している．貫通時は，高さ６尺，幅４尺の半円形天井の断面で全長922m．

中山隧道のある旧山古志村は，積雪７～８mの豪雪地帯．冬場は積雪により陸の孤島と化す厳しい生活を強いられており，当時の山深い集落には病院や商店などはなく，用事があるときは険しい中山峠を越えるしかなかった．片道２時間近い道のりを，病人を背負って運ぶなど状況は厳しく，吹雪のときには死者も出たという．

日々深まる隧道への思いの末に，ついに住民達は，自らの手で隧道を掘ることを決意．近郷出身の測量技師の協力を得て，1933（昭和８）年11月12日，山の神の命日であるこの日に鍬立て式（現在でいうところの起工式・安全祈願祭か）を行い，ついに手掘りによる隧道工事が始まる．掘削にはこの地方で培われてきた，集水用の「横井戸」を掘る技術

が活かされたそうだが，岩盤は固く，１日平均30cm程度しか進めなかったといわれている．途中，太平洋戦争により一時工事休止もあったが，小松倉の住民が16年もの歳月をかけてツルハシで掘り，1949(昭和24)年５月１日，ついに貫通させたものである．その後49年間，住民の暮らしを支える道として活躍．1998(平成10)年に現在の国道291号の中山トンネルの開通によりその役目を終えている．

これらの経緯については，ドキュメンタリー映画『掘るまいか～手掘り中山隧道の記録～』(2003年，監督：橋本信一)で詳しく紹介されており，2004年10月にこの地方を襲った中越地震からの復興をめざして立ち上がろうとしている人びとに勇気を与え，それを支援している多くの人びとが感銘を受けたことと思う．

映画の制作にあたった橋本監督は，「『自分達の代でトンネルが掘れなかったら，子供たちに，それでもダメだったら孫たちに受け継いで掘り続ければいい』という，普通なら考えもつかない楽天的な発想・想像力はどこから生まれたのか.」と驚き，「突き詰めれば『日本人の精神風土』に行き着くのではないか.」と述べている．

今まさに未曾有の大災害である東日本大震災と津波に起因する福島第一原子力発電所事故による放射能汚染から立ち上がろうとしている人びと，支援しようとしている人びとに相通じる精神ではなかろうか．

云うまでもないことだが「隧道を掘る」ことは手段であって目的ではない．目的は，あくまでも人びとが安全に，快適に山を越え，豊かな暮らしを手に入れることだ．建設業の目的も同じで，防波堤も，ダムも，橋も，建物も，手段に過ぎない．使命は，人びとの安心・安全と少しでも快適な暮らしのお手伝いをすることだ．それを忘れないようにしたい．

国や政府，自治体などの果たす役目は大きく，期待することも多い．しかしあまりにも未曾有の大災害であり，「公助」が手薄になっている現実をみると，「共助」によるさまざまな復興支援プロジェクトの協力と連携をさらに拡大させ，被災された皆さんが「自助」の精神を奮い立たせることを願うばかりである．隧道を掘り貫いた人たちのように「自分と家族のために…」という強い心を持って生活の再建と将来を切り拓いてもらいたいという気持ちを込めて，これからも建設業という生業を通して支援し続けていきたい．

施工

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—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第二課課員　高野裕輔
鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第二課課員　谷口俊太
大成・九鉄・上滝特定建設工事共同企業体現場代理人　門脇欣一郎
(株)建設技術研究所九州支社地圏環境室技師　山浦亮一

1　はじめに

千綿トンネルは，九州新幹線の西九州ルート(武雄温泉・諫早間)[1]の長崎県東彼杵郡東彼杵町に位置する山岳トンネルである(図-1)．トンネルの延長は，L=1,630m(武雄温泉起点21km805m～23km435m間)であり，平成22年12月より掘削を開始している．現在の掘削延長は，約1,100m(平成24年３月１日時点，切羽位置22km900m付近)を超えたところである(図-2)．

本稿は，トンネル工事着手前より懸念されていた地下水への影響，渇水問題の対策検討に資するべく設置した地下水位観測孔の状況とあわせて，

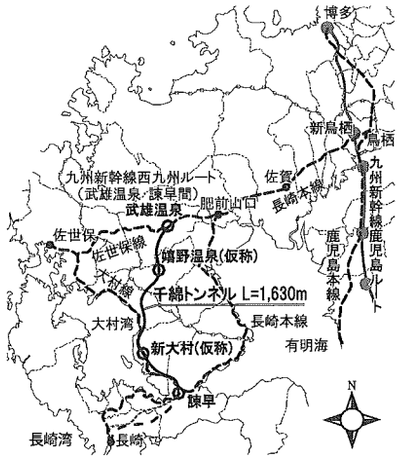


図-1　千綿トンネル位置図

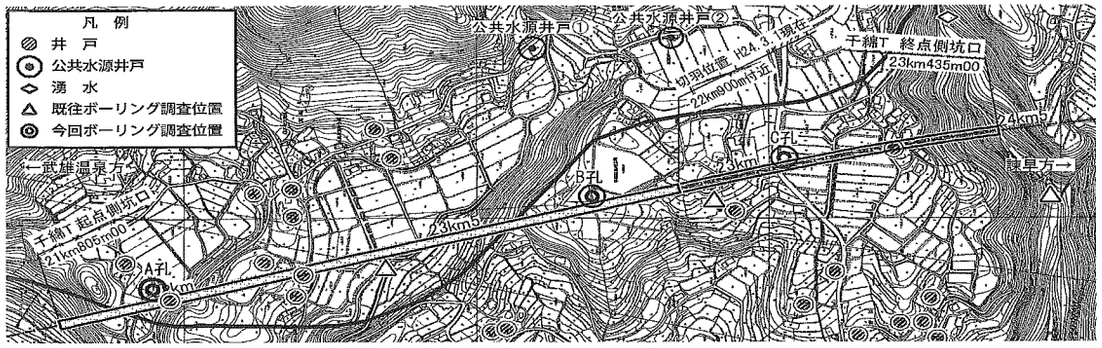


図-2　トンネル周辺状況

トンネル掘削との関連性について報告する．

2　地形・地質の概要

本トンネルは，大村湾の東側に位置する多良岳山系の西側斜面を通過し，九州自動車道の東側をほぼ併走する方向で計画されている(図-1)．

周辺の地形は，標高100～170mの低平な台地状の丘陵地と小河川が放射状に流下する特徴を持つ．また，周辺の地質としては，新第三紀から第四紀更新世に噴出した透水性の高い火山岩類に覆われている．トンネルは，その台地状の平坦面下を通過し，起点側の一部区間で大野原玄武岩を掘削し，その後において大村安山岩類凝灰角礫岩および安山岩を掘削する．

3　トンネル工事の概要

トンネルの掘削は，起点側坑口から終点側へ向かって片押しで行う．掘削開始時点は機械掘削によりショートベンチカット工法で掘削していたが，起点側坑口より約265m掘削した地点で切羽全面に安山岩が出現したため，それ以降は発破掘削に変更し，補助ベンチ付き全断面工法により掘削を行っている．代表的な支保パターンを図-3に示す．

4　トンネル周辺の水利用・地下水状況

4-1　水利用状況

トンネル周辺の水利用状況は，新幹線ルート直上に生活用水を使用する民家，水田などの農地，牛舎などの農業施設が散在しており，水利用が活発ではあるが，大～中規模河川が存在しないため，井戸・湧水などの水源に大きく依存している(図-2)．このうち，受益地の標高が高位置にある井戸は，100～400m級の深井戸となっている．なお，千綿トンネル中心から500m以内の範囲で把握している水源は，井戸24か所，湧水７か所，公共水源井戸３か所(うち２か所は簡易水道として利用)である．

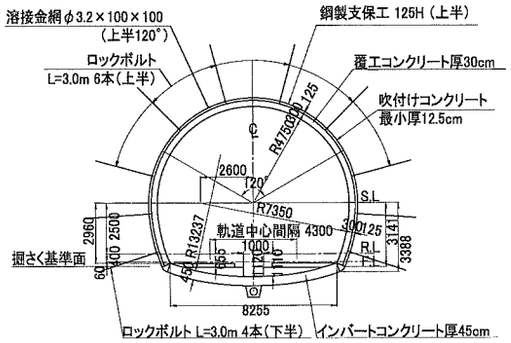


図-3　トンネル支保パターン図

4-2　地下水の把握状況

既往の地質調査，水文調査の状況により，有識者らによる「九州新幹線(西九州)，トンネルの設計・施工に関する検討委員会」において，火山岩地帯の地下水構造は，溶岩流表面の自破砕部と内部の塊状部により，透水層(帯水層)と難透水層(遮水層)がくり返す複数の帯水層が存在する可能性があることが指摘されていた．

しかしながら，既往調査では，各井戸の取水対象となる帯水層の位置，地質分布・地質構造が不明瞭であったため，水理地質構造の解明が課題となった．

5　観測孔設置計画

5-1　ボーリング調査計画

課題である水理地質構造の把握を目的として，ボーリング調査により地下水構造，地質の分布，構造を把握し，調査孔を利用して地下水位観測を行った．調査箇所は，既往の地質調査ボーリング箇所を補間する位置として，トンネル直上付近の山側に３か所(観測孔：A孔・B孔・C孔)を選定した(図-2)．

図-2に示すとおり，A孔はトンネル起点側，B孔はトンネル中間地点，C孔はトンネル終点側であり，各地点のトンネル断面付近(掘進長：A孔約30m，B孔約80m，C孔約70m)まで掘削を行った．調査内容としては，帯水層および各地質の透水特性確認のため，掘進時の孔内水位の変化，孔内水圧変動測定，電気検層，現場透水試験を実施した．

5-2　各種調査結果

5-2-1　地質分布・地質構造

ここで，ボーリング調査，観測孔で実施した各種調査，試験により得られた地質分布状況を表-1に示し，代表的な地質のコア写真を図-4に示す．

表-1　地質分布状況

観測孔	地　質　分　布
A　孔	地表付近は【玄武岩溶岩】が確認され，トンネル断面付近は【凝灰角礫岩】が確認された
B　孔	地表付近から深部に向けて，【玄武岩，自破砕状溶岩，凝灰角礫岩，自破砕状溶岩】を確認し，トンネル断面付近では【安山岩溶岩】が確認された
C　孔	B孔と同様

図-4　代表的な地質のコア写真

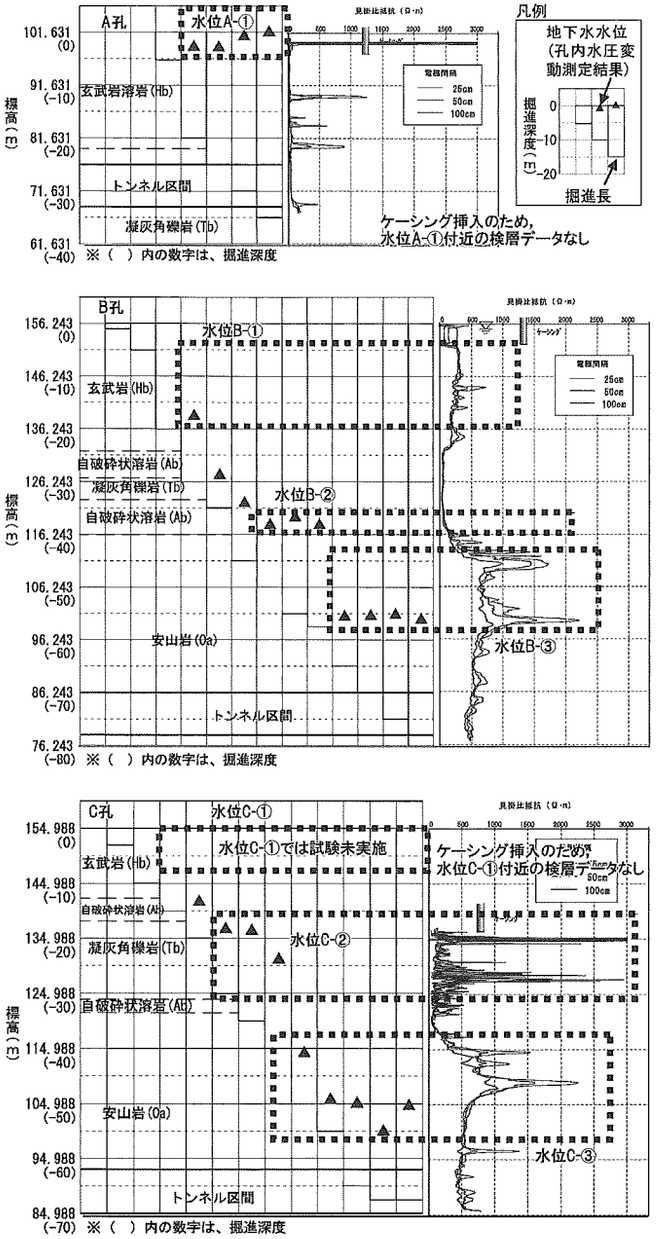


図-5　各観測孔の地下水位分布状況

5-2-2　孔内水圧変動測定・電気検層

孔内水圧変動測定は，任意区間(掘進にあわせて５ｍピッチ程度で実施)の地下水頭を測定するため，圧力センサ付きエアパッカを用いて試験区間の水頭を測定した．また，電気検層(２極法)は帯水層を把握するため，観測孔３孔において実施した．試験結果として，観測孔A孔は１層(水位A-①)の帯水層，観測孔B孔，C孔は３層(水位B-①～③，水位C-①～③)の帯水層が存在することが確認された(図-5)．

5-2-3　現場透水試験

現場透水試験は，各地質の透水性を把握することを目的として実施した．試験結果を表-2に示す．

表-2　現場透水試験結果

地　質	試験結果(cm/s)
玄武岩溶岩(Hb)	$k=4.20\times10^{-5}$～2.06×10^{-4}
自破砕状溶岩(Ab)	$k=9.09\times10^{-6}$～2.89×10^{-5}
凝灰角礫岩(Tb)	$k=4.63\times10^{-5}$
安山岩溶岩※(Oa)	$k=5.21\times10^{-6}$～3.74×10^{-8}

※ ５データ平均値：$k=1.42\times10^{-4}$(cm/s)

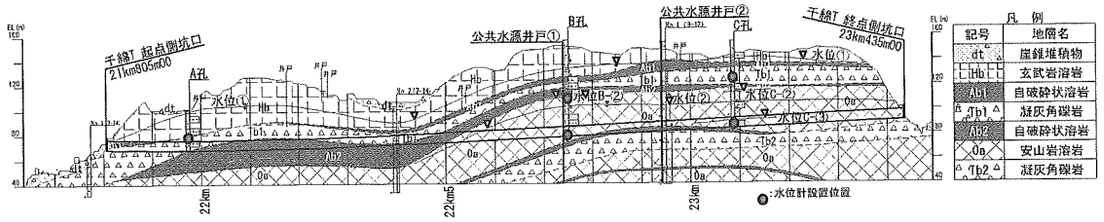


図-6　トンネル地質縦断図

5-3　トンネル沿線の水理地質構造

地質分布，各種孔内試験の結果により，想定された千綿トンネルの地質縦断図を**図-6**に示す．

地質分布および各種孔内試験の結果にもとづく地質構造の確認により，トンネルの周辺は，相対的に透水性が高い玄武岩溶岩，安山岩溶岩に挟まれる形態で難透水性の自破砕状溶岩，凝灰角礫岩が層状に分布することが推定された．これにより，各構造の透水性の差異によって，千綿トンネルにおいては少なくとも２層以上の帯水層が存在する可能性があることが明らかとなった．各観測孔における地下水位の概要は，以下のとおりである．

- 水位①：自破砕状溶岩，凝灰角礫岩を遮水層として，透水性のやや高い玄武岩中に存在する帯水層
- 水位②：自破砕状溶岩，凝灰角礫岩を遮水層として，透水性のやや高い安山岩中に存在する帯水層

上記のうち，もっとも表層に分布する「水位①(図-5：水位A-①，B-①，C-①相当)」は，千綿トンネル周辺では家庭用浅井戸の取水対象となる帯水層である．さらに，その下に分布する「水位②(図-5：水位B-③相当)」は，おもに公共水源井戸の取水対象となる帯水層である．なお，水位B-②，C-②は水位①と水位②の間，C-③はトンネル断面付近に存在する局所的な帯水層と考えられる．

結果として，トンネルの掘削は22km500m付近より終点側の水位②の帯水層中を施工するため，水位②を取水対象とする井戸については注意を要し，水位観測の体制を強化する必要があることが明らかとなった(図-6，公共水源井戸①，②が該当)．

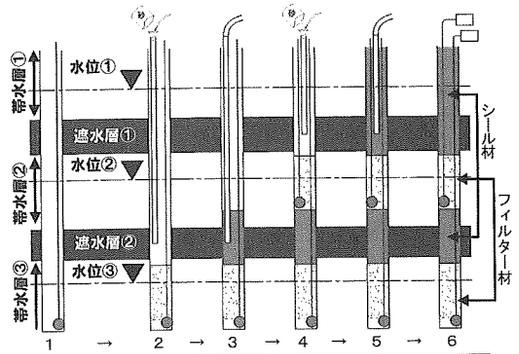


図-7　水位計設置手順

表-3　各観測孔の水位計設置位置

観測孔	設置位置
A　孔	水位A-①(図-5水位①に該当)を観測
B　孔	水位B-②，水位B-③(図-5水位②に該当)の２水位を観測
C　孔	水位C-①(図-5水位①に該当)，水位C-③の２水位を観測

5-4　地下水位観測孔の設置

観測孔３孔のうち，観測孔B孔，C孔において確認された複数の帯水層は，各帯水層が井戸の取水水源として利用されているため，単孔で各帯水層の地下水位のモニタリングを行うことが可能な多段式の地下水位観測孔を設置した．

5-4-1　多段式水位計の設置方法

水位計の設置は，帯水層区間に透水係数の高いフィルター材(珪砂)，遮水層区間にシール材(セメント)を充填し，観測孔内部の状態を周辺地山の透水特性と同等の状態にすることを念頭に実施した．水位計設置方法の手順は，**図-7**に示すとおりである．

5-4-2　水位計設置

各孔における水位計の設置位置は，**表-3**に示すとおりである．

6　トンネル掘削・水位観測状況

6-1　トンネル掘削状況

現在，トンネル切羽位置は観測孔B孔を通過して22km900m付近まで到達している．これまでに，各切羽位置の観察により，玄武岩・安山岩・自破砕状溶岩・凝灰角礫岩が確認されており，調査時点のボーリング孔において確認されたものとほぼ同等の分布が確認されている．

なお，トンネル内の湧水状況(坑口湧水量)については，22km000m付近より湧水量が増加し始め，22km100m以降においては約800～1,200L/min程度で推移している．このうち，22km400～500m間は，当該施工区間において相対的に湧水量の多い区間(約1,200～1,700L/min)であったため，仮中央排水管を一時的に施工して対応を図った．

6-2　トンネル掘削中の地下水位観測状況

トンネル掘削中の地下水位観測は，各孔の地下水位変動状況および近傍で観測中の降水量とあわせて，トンネル掘削との相関を考察するため，観測孔と切羽位置の関係，切羽観察および坑口湧水量を把握して行っている．

ここでは，各観測孔の地下水位におけるトンネル掘削との関連性について述べる．

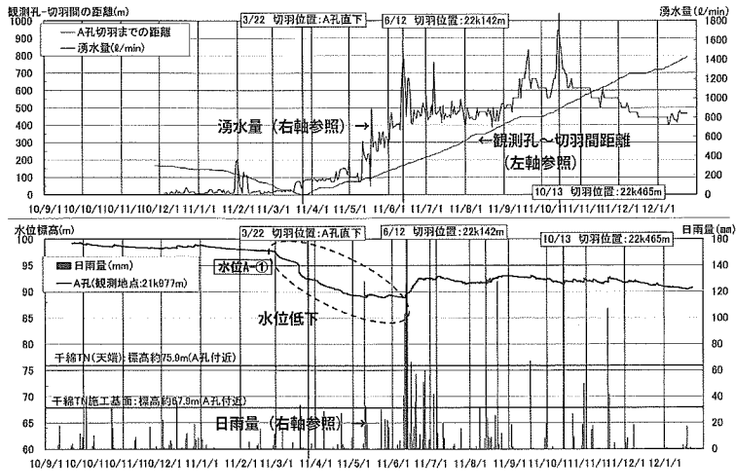


図-8　観測孔(A孔)の地下水位状況

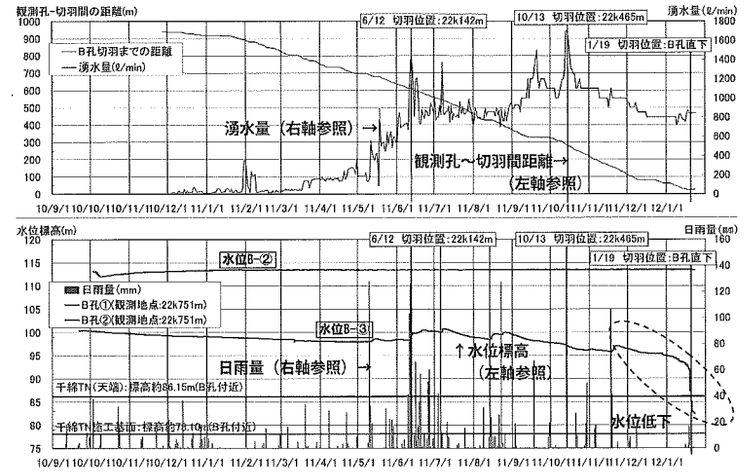


図-9　観測孔(B孔)の地下水位状況

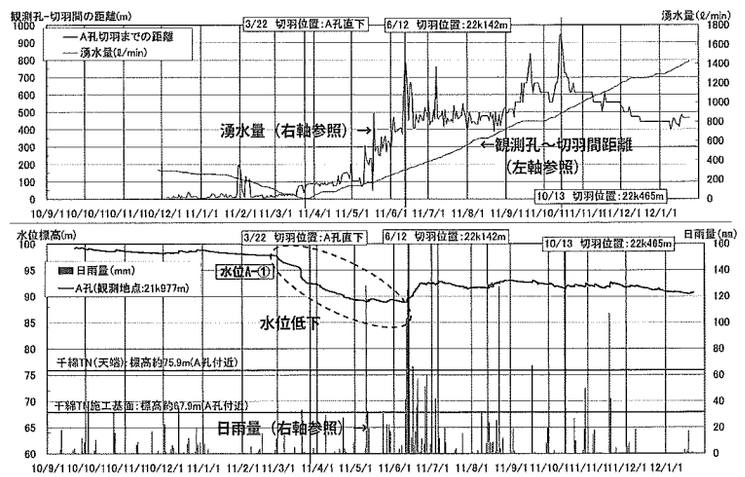


図-10　観測孔(C孔)の地下水位状況

（1） 観測孔A孔

水位A-①は，標高98～99m（深度２～３m）付近で変動しているが，観測孔～切羽位置の距離が約30mのころより地下水位の低下が確認された．その後，切羽通過後の最大地下水位低下量は約10m（標高約88m，深度約12m）であった．なお，観測孔A孔の地下水位低下時は，トンネル内部の湧水量に際立った変化は確認されていない．

（2） 観測孔B孔

水位B-②は，標高112～113m（深度43～44m）付近，水位B-③は標高97～100m（深度56～59m）付近で変動していたが，観測孔～切羽位置の距離が約300m（**図-9**，湧水量グラフ，切羽位置22km 465m付近）を境にして水位の緩やかな低下が確認された．その後，切羽が観測孔直下に達した際に約10m地下水位が低下し，現在水位は標高82m（深度74m）付近で確認されている．一方で，水位B-②では水位変化は認められない状況である．

（3） 観測孔C孔

水位C-①は，標高135～137m（深度18～20m）付近で変動している．トンネルの切羽位置は，C孔投影位置に到達していないが，観測孔～切羽位置の距離が約630m付近で発生したトンネル内部の比較的多い湧水後も水位に変化は認められていない．

7 おわりに

7-1 まとめ

千綿トンネルは，工事の着手前より水理地質構造の解明が渇水対応へのアプローチとなり，適切な対応策を講じるうえでの課題となっていた．そこで，事前対策の必要性，対策実施のタイミングを図るべく，トンネル掘削の開始後において，リアルタイムで地下水位の状況が把握可能な観測孔をトンネル近傍に設置して検討を行った．

現在のところ，トンネル起点側の直上付近において使用されている水位①を取水対象とした浅井戸や水田などについては，今回の調査により確認された難透水性の自破砕状溶岩，凝灰角礫岩の層がトンネルとの間に介在していることから，実質的な減渇水による影響被害は出ていない状況である．

しかしながら，5-3節に示したように，水位②の帯水層は公共水源井戸の取水対象であり，同一層付近のトンネル掘削によって井戸の取水へ影響が生じる前段に検討を要するため，引き続き地下水位状況を注視する予定である．

7-2 今後の観測方針

今後は，継続して観測孔および既設井戸の観測を行い，観測データを活用しつつ，トンネル工事の進捗に応じた水収支解析，シミュレーションを行う予定である．それにより，今後も継続して行うトンネル工事に伴う減渇水対応の検討を行う．

参考文献

1） 須澤浩之・山口修司：九州新幹線西九州ルート（武雄温泉・諫早間）のトンネル，トンネルと地下，Vol. 41，No.3，pp.41-48，2010.3.

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

施工

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—

首都高速道路（株）東京建設局大橋建設事務所課長代理　中西禎之
首都高速道路（株）東京建設局大橋建設事務所主任　前川敦
（株）間組関東土木支店大橋出張所工事課長　高橋潤
（株）間組関東土木支店大橋出張所設計課長　井上隆広

1 はじめに

首都高速中央環状品川線は，中央環状線の南側部分を形成し，高速湾岸線から分岐したのち，目黒川および環状6号線（山手通り）の地下をトンネルで北上し，中央環状新宿線および大橋ジャンクションを介して首都高速3号渋谷線に接続する路線である．本路線が完成することで，東京周辺の高速道路全体のネットワークが効率良く機能し，都心環状線などの慢性的な渋滞が緩和されるとともに，一般道路の混雑も緩和されることで沿道の環境が改善される．また品川線では，沿道に与える影響を抑制するため，そのほぼ全線においてトンネル構造を採用している．

このうち，大橋連結路工事（以下，「本工事」と称す）は，大橋ジャンクション（**図-1**）の一部で，品川線本線トンネルから分岐する連結路トンネルである．

本工事は，密集した市街地にある幹線道路上にシールドの発進立坑などを開削工法で設けたのち，シールド工法により上下2層の連結路トンネルを築造し，さらに並走する本線シールドトンネルとの間を地中で切開いて分合流部を構築するものである．

本稿では，狭隘な条件下において実施した連結路シールドの施工について報告するとともに，今後の切開き工事の概要を紹介する．

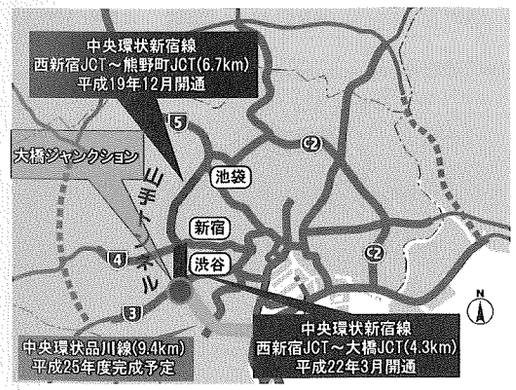


図-1 大橋ジャンクション

2 大橋連結路工事の概要

2-1 工事概要

大橋ジャンクションと中央環状品川線を接続する大橋連結路は，分合流区間を除く単路区間において縦断勾配7％を有する延長約610mの上下2層構造となっている．

大橋連結路（**図-2**）は約110mの開削区間と約500

mのシールド区間からなっており，大橋ジャンクションとの分合流部およびシールド発進立坑が開削区間である．さらに，シールド区間のうち，到達側の約200mは中央環状品川線本線との分合流区間となっている．この区間では本線，連結路がそれぞれ上下２層構造となり，計４本のシールドトンネルが構築される．その後，本線と連結路の間を非開削で切開き，一体化して分合流区間を構築する(**図-3**)．

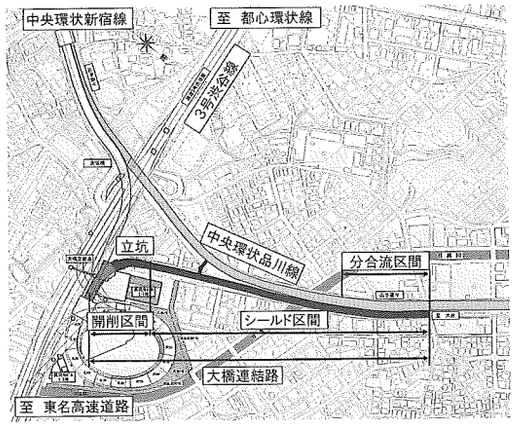


図-2　大橋連結路

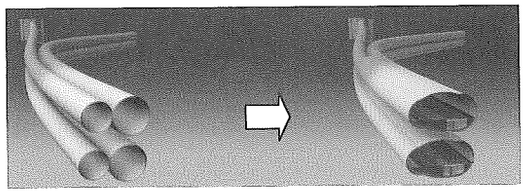


図-3　大橋連結路本線分合流区間(非開削切開き工)

また，開削切開き工事は，中央環状新宿線を供用しながら上層シールドトンネル(内回り)を約50mにわたって開削工法で切開き，品川線連結路下層との合流部を構築する工事である．

2-2　地質の特徴

当該区間の地質は，新第三紀鮮新世～第四紀更新世の上総層群の泥岩(Kc)を基盤岩とし，その上位に第四紀更新世武蔵野礫層(Mg)，東京層砂質土(Tos)，粘性土(Toc)，東京礫層(Tog)および埋土，ローム層，凝灰質粘性土などの地表層(B)が分布する(**図-4**)．とくに，GL－8～13m以深に泥岩層が厚く堆積している．この泥岩層は一軸圧縮強度が３N/㎟程度で自立性が高く，介在する砂層も薄く，湧水量が少ないと判断できる地層である．

上下２層のシールドにおいて，上層シールドは小土かぶり発進(5.7m＝0.6*D*)となり，初期掘進の約100m区間は帯水層内に位置する．それ以外の上層および下層シールドの区間は泥岩層に位置する．

3　発進立坑の構築

3-1　工法の選定

発進立坑(**写真-1**，**図-5**)は都道環状６号線支線(山手通り支線)に位置しており，作業帯を占用して大規模な土留め壁を構築する必要がある．しかし，当該箇所は道路幅員が歩道を含めて22mと狭いうえに，沿道には飲食店や商店，集合住宅などが隣接しており，施工に伴う交通渋滞や周辺に与える圧迫感，騒音，振動について配慮する必要があった．そこで，現況車道４車線のうち３車線を確保し，常設作業帯(幅６m×延長60m)で昼間に土留め壁の構築を行うことを条件とした．

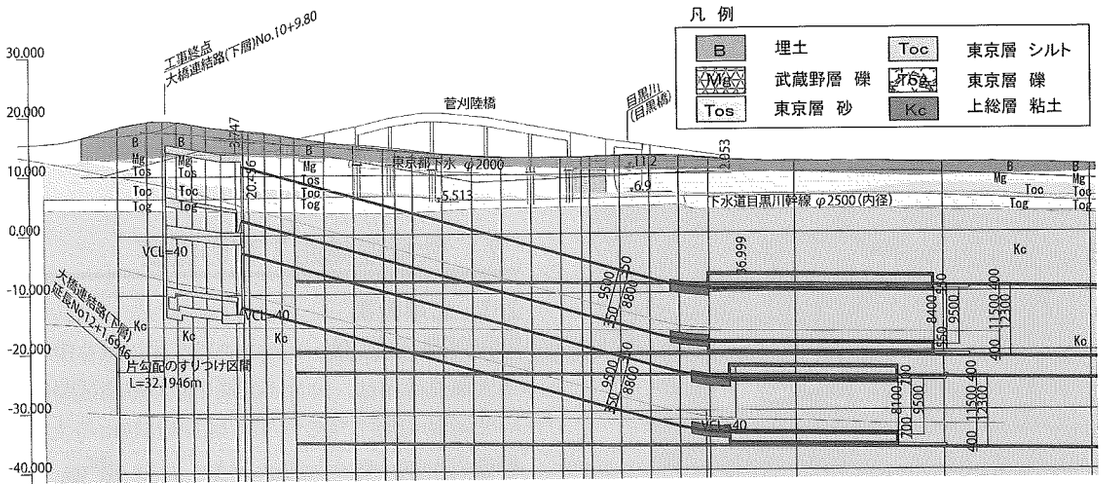


図-4　地質縦断図

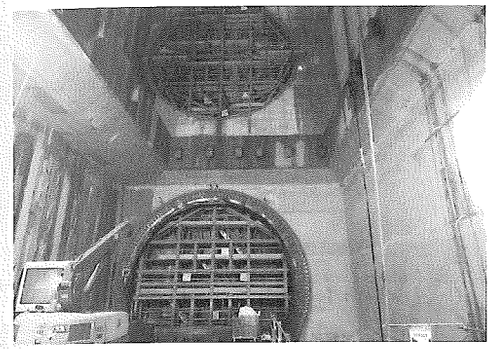


写真-1　発進立坑(掘進方向)

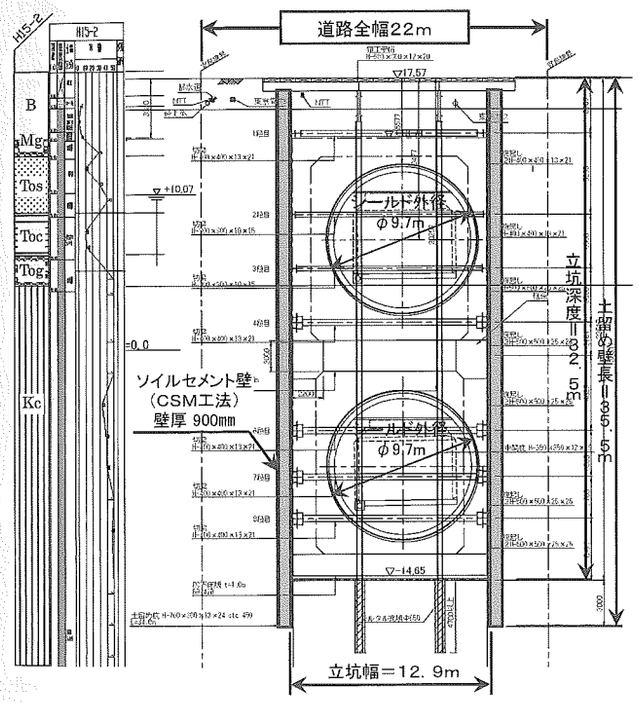


図-5　発進立坑(地山側より)

3-2　CSM工法による地下連続壁の構築

3-2-1　概　要

CSM工法とは，水平多軸回転カッタ(Cutter)を用いて，土(Soil)とセメント系固化液を原位置で攪拌・混練(Mixing)して，土留め壁などの等壁厚のソイルセメント壁を造成する工法である(**図-6**)．SMW工法など３点式杭打ち機を用いる従来工法では，土留め壁築造時の作業帯の幅員が10m以上必要になるが，本工事で使用したクアトロサイドカッタ機では６mの幅員で施工が可能となる．さらに，カッタを吊下げ式にして低空頭(高さ8.5m)であり，リーダ式杭打ち機を用いる従来工法に比べて，沿道住民や交通車両に対して圧迫感が少ない．

CSM工法は，原位置土攪拌混合工法の特長に加え，以下の特長を有する．



写真-2　立坑および防音ハウスの構築

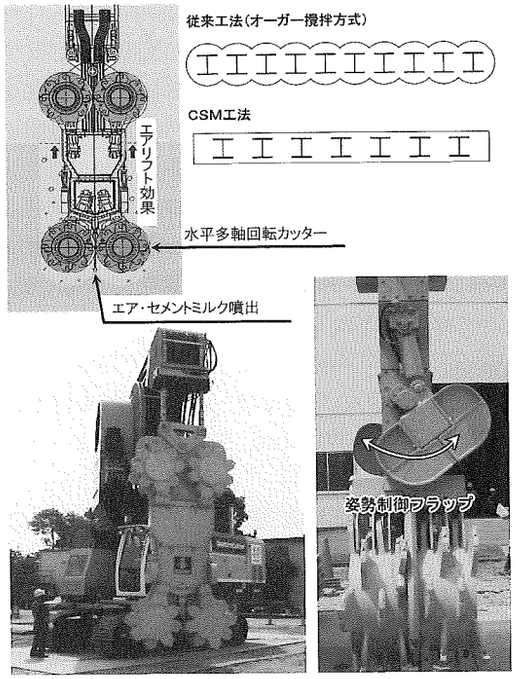


図-6　CSM工法

- 水平多軸回転カッタの高い掘削性能により，岩盤や硬質地盤においても先行削孔などの補助工法が不要もしくは軽減できる．
- エアーブロウを併用した高速回転カッタにより，攪拌性能が高い．
- 等壁厚のソイルセメント壁が造成されるので，芯材配置を任意に設定することができ，設計の自由度が高まる．
- 壁体の接続は止水性の高いカッティングジョイントとなる．
- カッタ部に内蔵した傾斜計により，リアルタイムでの掘削精度確認が可能である．

3-2-2　施　工

（1）　施工サイクル

施工サイクルの実績を**表-1**に示す．

本工事は，大深度かつ硬質地盤での施工であり，また，狭小ヤードでの作業効率の低下などにより，掘削および芯材建込みに長時間を要することが懸念された．そこで，施工途中でのソイルセメント強度発現による芯材高止まりなどのトラブルを避けるために，掘削と造成を個別に行う２サイクル施工とした．

表-1　施工サイクル（２日/エレメント）

	作業内容	作業時間	備　考
1日目	点検・準備	8：15～9：00	壁厚0.9m 掘削幅2.4m 掘削深度38.5m （余掘り含む） 掘削速度5.5m/hr
	掘削・引上げ	9：00～17：00	
	片　付　け	17：00～17：30	
2日目	点検・準備	8：15～9：00	H-700×300×13×24 @600 建込み４本 継手３か所/本
	造成・引上げ	9：00～12：00	
	段取替え	12：00～12：30	
	芯材建込み	12：30～18：30	
	片　付　け	18：30～19：00	

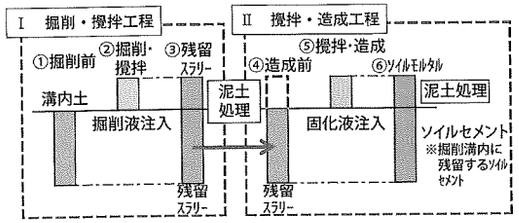


図-7　２サイクルに対する配合の考え方

表-2　掘削・固化液の配合（kg/対象土量１m³あたり）

	セメント	ベントナイト	水	遅延剤	分散剤	注入率
掘削液	38 (25)	30 (20)	600 (400)	0 (0)	0 (0)	62.4% (41.6%)
固化液	162 (200)	5 (5)	222 (200)	16 (8)	0 (2)	29.1% (27.6%)

注：（　）は室内試験にもとづく計画配合

２サイクル施工とは，１サイクル目にベントナイトを主体とする掘削液により地山を泥土状にほぐし，２サイクル目でセメント固化液を素早く混合して，フレッシュなソイルセメントに芯材を建込む方法である．

（2）　掘削・固化液の配合

２サイクル施工における掘削・固化液の配合の考え方を**図-7**に示す．ここで（Ⅰ）掘削液と地山が均質に混練され，排出スラリーと残留スラリーは同一配合になる．（Ⅱ）固化液と残留スラリーは均質に混練され，排出ソイルセメントと残留ソイルセメントは同一配合になると考えている．

実施配合を**表-2**に示す（設計基準強度0.5N/mm²）．計画配合に対して，実施配合では掘削能率を優先した結果，掘削液の注入率は計画配合の約1.5倍を要し，その分，排泥量も増加した．また，真夏の炎天下での施工であったため，ソイルセメントのテーブルフローの低下が早く，遅延剤の添加量は約２倍要した．

なお，施工状況に応じて掘削液の配合や注入量を変更すると，最終的な残留ソイルセメントの配合に影響するため，本工事では室内試験で把握した水セメント比と強度の関係（**図-8**）にもとづいて，目標強度を満足するように固化液の配合や注入量を管理した（$\sigma_{28} \geqq 1\,N/mm^2 \rightarrow W/C \leqq 320\%$）．

（3）　施工品質

壁体の掘削精度およびソイルセメントの圧縮強度は，**表-3**に示すとおり良好な結果が得られた．

4　シールドの施工

4-1　シールド概要

本工事では，狭隘ヤードや小土かぶり，泥岩掘進などの施工条件に適し，経済的な泥土圧シールド（シールド外径9.7m，機長10.13m，総重量約800t）を採用（**図-9**，**表-4**）した．

カッタ部分は外周リングを設置したスポークタ

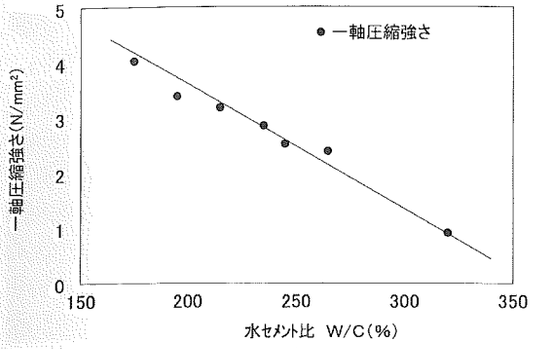


図-8　水セメント比と強度（σ_{28}）の関係

表-3　掘削精度および圧縮強度

	管理値	実　績
掘削精度	1/300	面内 1/440～2,060 面外 1/825～2,090
一軸圧縮強度σ_{28}（N/mm²）	0.50	1.12～2.56

表-4　大橋連結路シールドの仕様

項　目	詳細項目	大橋連結路シールド
本体シールド	外径	φ9,700mm
	機長	10,130mm
	テールシール	ワイヤブラシ耐圧型×３段
推進装置	シールドジャッキ	2,500kN×2550st×28本
	総推力	70,000kN
カッタ装置	スポーク本数	主スポーク３本＋補助スポーク３本
	支持方式	中間支持方式
	装備トルク	13,900kN・m
	カッタ回転数	0.6rpm
	余掘り装置	コピーカッタ１基
攪拌装置	中央部	—
	外周部	
裏込め注入	注入方法	即時注入方式

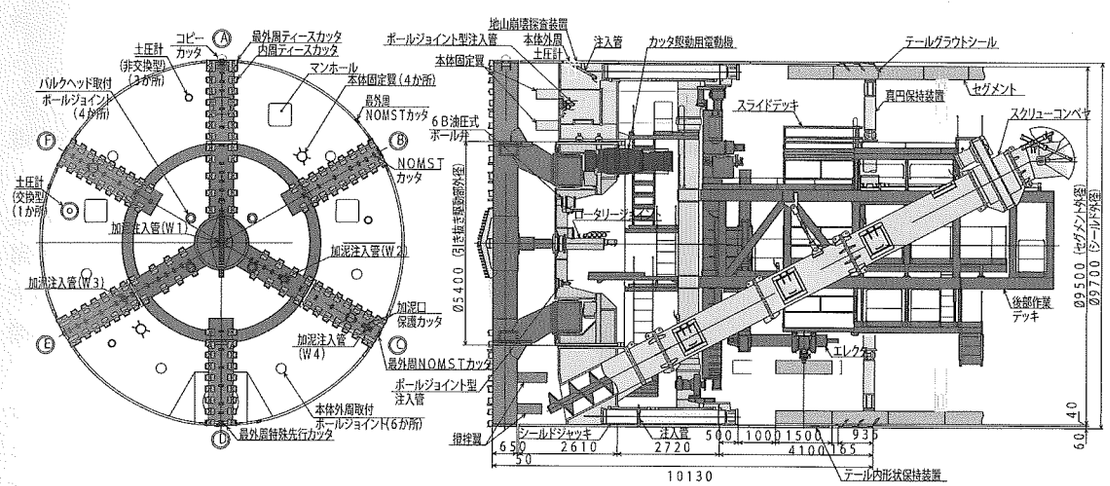


図-9　大橋連結路シールド

イプであり，スポーク本数は6本とした．そのうち3本は外周部のみとして可能な限り開口部率を大きくし，泥岩の取込み性の向上やチャンバ内閉塞の防止を図っている．

4-2　シールドの組立て

シールドの組立ては，すべて防音ハウス内の2か所の開口部(幅4.0m×長さ3.8m，幅4.0m×長さ8.1m)を用いて，発進立坑内へ部材を分割投入して行った．防音ハウス内の天井クレーンの揚重能力30tからシールド各部材の最大重量を決定し，長さ方向に前胴，中胴および後胴の3分割とし，さらにそれらを3～8分割にした．

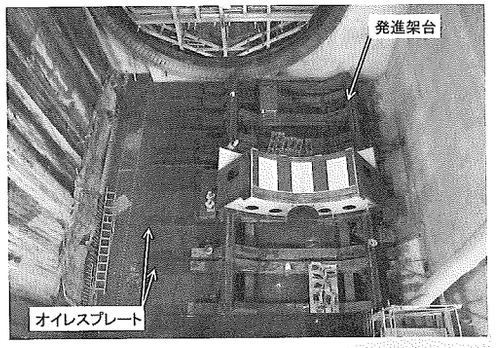


写真-3　発進架台上での組立て状況

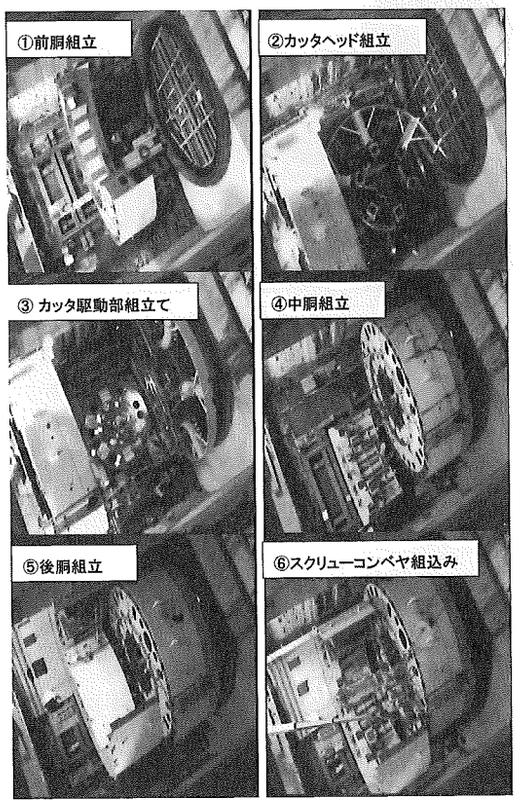


写真-4　シールド組立て状況

シールドは立坑内に投入した後，発進架台の上で組立てた(**写真-3**)．天井クレーン自体の左右の移動距離が約1.4mに限られていることから，シールドを発進架台ごと左右に移動させて組立てている(**写真-4**)．そのため，発進架台と立坑底版との間にオイレスプレートを設置して，摩擦・摩耗の低減を図っている．発進架台の左右移動は，掘進方向右側の躯体側壁および掘進方向左側の土留め壁に設置したセンターホールジャッキを使用して行った．

4-3　シールドの発進

シールド発進においては，一般に地盤改良を併用して地下連続壁を事前に撤去する方法が用いられるが，本工事では工程短縮の観点から，土留め壁にシールドで切削可能な部材を用いて直接発進する方法を採用した．

しかし，従来このような部材に太径の炭素繊維ロッドの筋材と高強度石灰石コンクリートを使用することが多く，シールド掘進時の取込み不良や切削性低下，施工条件によっては騒音・振動が問題になる．

そこで本工事では，切削性に優れた新型部材であるGRM(Grid Reinforced Mortar)を使用した(**図-10**)．これは，筋材に薄板状の炭素繊維格子材(引張強度1,200N/㎟)を束ねたものを使用し，高強度モルタル(設計基準強度60N/㎟)で形成したプレキャスト部材であり，以下の特長を有する．

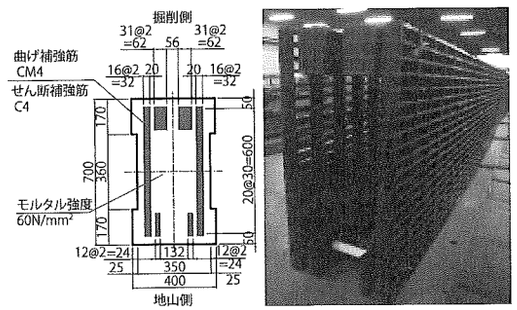


図-10　NOMST断面および炭素繊維補強筋

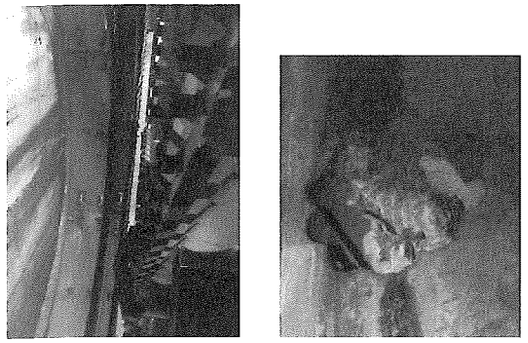


写真-5　NOMST切削先行ビットおよびフィッシュテール接触部GRM壁切欠き

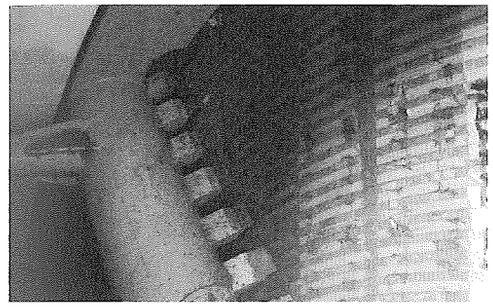


写真-6　NOMST壁切削痕

- 粗骨材のないモルタルであり，切削性に優れる．
- 筋材が薄板状のため切削屑が細かく，取込みやすい．
- 筋材のかぶりを縮小でき，モルタルが大割れしにくい．

シールドには，切削負荷の低減や振動抑制のため鋭利な先行ビットを細かく配置し(パス間隔80㎜)，推進ジャッキを微速制御(1～3㎜/min)できるように専用の油圧系統を装備している．さらにカッタ中央のGRM壁を事前に一部撤去し，切削ずりの流路を確保してビットの異常摩耗や過大な推力の防止を図った(**写真-5**)．

GRM壁の切削延長は1,360㎜であり，切削は実質3日(6方，平均掘進速度1㎜/min)で完了した．新型プレキャスト部材(GRM)は，従来に比べて部材が大割れすることなく，格子筋とともに細かく切削されており，切削性は飛躍的に改善されている．先行ビットでの切削痕(**写真-6**)が明瞭に確認でき，切削性も良好であった．

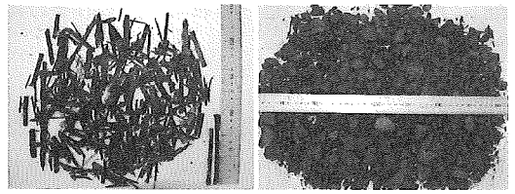


写真-7　切削ずり(分離した繊維とモルタル)

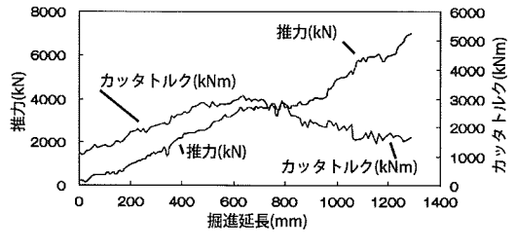


図-11　カッタトルクと推力の推移

排出された切削ずり(チャンバ充填材，砂，細粒分は除去)を炭素繊維補強筋とプレキャストモルタルなどに分離したものを**写真-7**に示す．炭素繊維補強筋は非常に細かく切削されており，最長でも10cm程度であった．また，切削ずりもおおむね直径20㎜以下に細分化されており，良好な切削であったことがわかる．

掘進延長に対するカッタトルクおよび推力の推移を**図-11**に示す．カッタトルクは切削当初1,000kN・m程度(無負荷検査時で約900kN・m)であったものが，切削面積の増加に伴って徐々に増加し，最大3,000kN・m程度(定格13,900kN・mの約22%)に達した．これは，従来型に比べて切削による部材のクラックが発生しにくいため，メインビットを押付け気味となり，カッタトルクが上昇する傾向にあると考えられる．このような傾向は高強度モルタルを用いた新型部材の特徴であると考える．カッタトルクはピーク値を示した後は，切削部材の減少により低下している．図-11に示す推力値は，切削に必要な推力を評価するため，切羽土圧およびシールド発進架台の摩擦力(空推進時の実測値)を控除している．推力値は切削に伴い増加する傾向であった．部材の切削完了後も増加傾向にあり，これは背面地山の切削負荷であると考えられる．

4-4　シールドの転用(DSR工法)

上下2層のシールドトンネルを構築する場合，

一般に次の施工方法が挙げられるが，それぞれに課題がある．

①案　2機使用

2機のシールドを用いて2本のトンネルを同時施工する．工期がもっとも短く，実績も多いが，本工事では施工延長が短く非常に割高なうえ，基地が狭く同時施工が困難であり，メリットが小さい．

②案　Uターン

シールド到達部に回転立坑を設け，Uターンにより1機のシールドで2本のトンネルを施工する．しかし，本工事では街路状況から回転立坑の設置が困難であり，立坑築造費の負担も大きい．

③案　分解・再組立て

1本目のシールド到達後に，カッタ駆動部を含む複雑な部品を分解・回収し，工場および立坑で2本目のシールドを再度組立てる．コストはもっとも低いが，分解・再組立てに長期間を要する．

そこで，③を基本としたうえで，分解・再組立てに要する期間を短縮するために，シールドを外胴と内胴の二重構造とし，内胴に収納したカッタ駆動部を分解せずに一体回収して再利用する工法(DSR工法：Draw a Shield for Recycle method)を採用した．本工事では，下層シールドを掘進したのち，内胴部分を引き抜いて上層シールドに転用，再利用する．外胴部分を除き，1機のシールドで掘削する工法(**図-12**)である．

国内での実績は，これまでシールド外径2.6～4.6m程度の下水道工事において数例程度であり，10mクラスでの道路トンネルへの適用は今回が初めてとなる．

以下に，本工事で実施したシールド転用(DSR工法)の施工手順を示す．

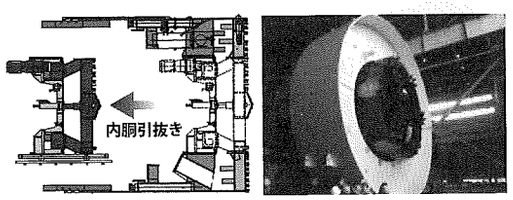


図-12　DSR工法

(1)　STEP-1　引抜き(下層シールド)

内胴の引抜きに先立って，後続台車・坑内設備・シールドのエレクタなどの大型部品を撤去し，引抜きスペースを確保したのち，内胴押さえ装置，シール溶接などの外胴・内胴間の接続装置を解除する．シールド内にジャッキアップ用架台，その上部に内胴搬送台車(以下，「台車」と称する)を設置する．

センターホールジャッキ(100t×2台)を使用して内胴を引抜き(**写真-8, 9**)，台車上に据付け，台車が軌条(H300-4条)に乗り移れる高さまでジャッキアップする．

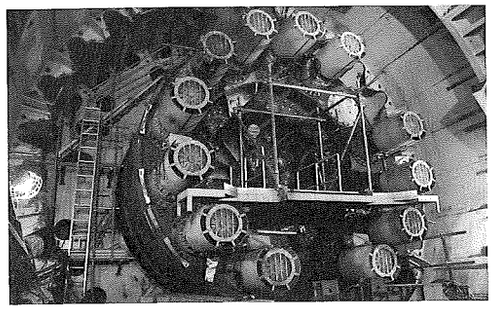


写真-8　下層シールド内胴部引抜き

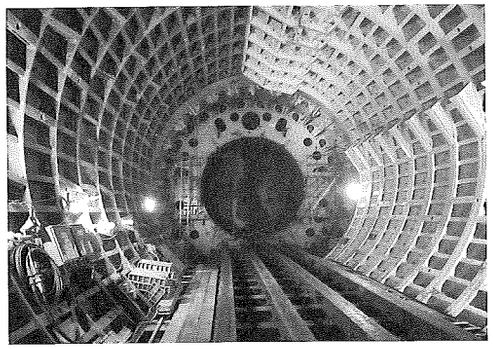


写真-9　下層シールド到達部(内胴部引抜き後)



写真-10　下層シールド内胴搬送

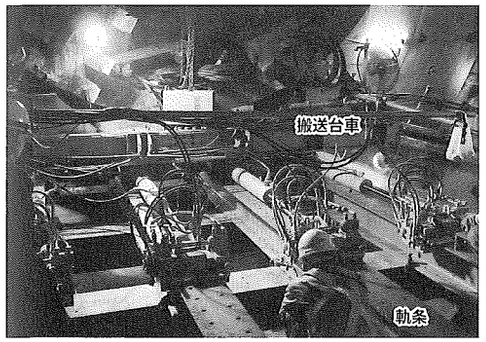
(2)　STEP-2　坑内搬送

内胴を積載した台車を軌条上で滑らせるかたちで搬送する(**写真-10**)．

台車には，下方にスライドジャッキ(100t×12台)，後方に水平ジャッキ(36t×4本)(**写真-11**)，前方にクランプ装置(4台)を装備している．台車を支持するスライドジャッキは，分合流区間と単路区間との縦断勾配の変化に対応するため，各ジャッキの荷重バランス(油圧計)を確認しながらストローク調整を行う．台車は水平ジャッキの押し動作(ストローク0→950㎜)で前進し，引き動作(ストローク950→0㎜)で盛替える．その際にクランプ装置を軌条に把持させて，台車の逸走を防止する．

内胴の搬送は，

①　水平ジャッキ軌条把持
②　クランプ装置軌条把持解除
③　水平ジャッキ推進(950㎜)
④　クランプ装置軌条把持
⑤　水平ジャッキ軌条把持解除
⑥　水平ジャッキ収納



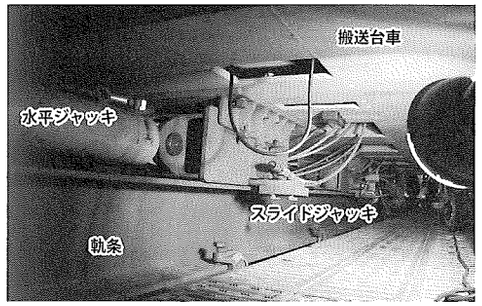


写真-11　搬送設備

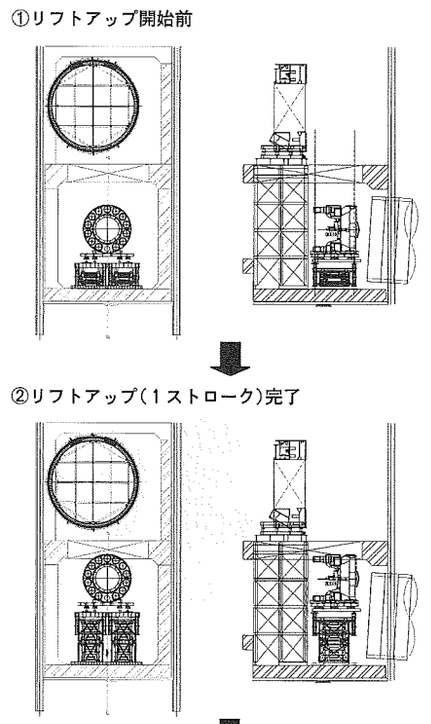


図-13　リフトアップ手順

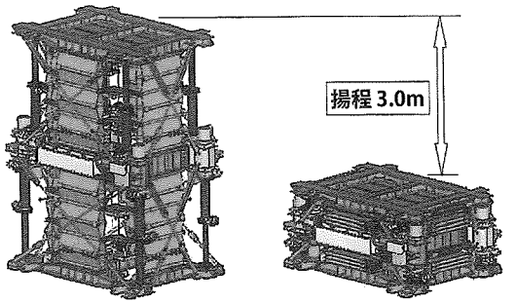


図-14　ステージジャッキ

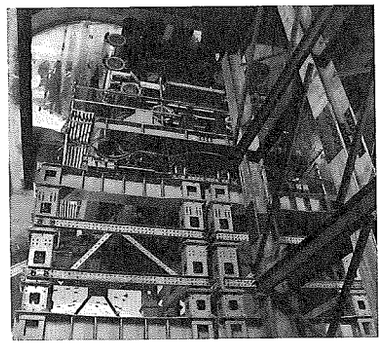


写真-12　内胴部リフトアップ

のサイクルのくり返しであり，1時間あたり15m搬送することが可能であり，約500mのシールド区間を約2日かけて発進立坑まで搬送する．

7％の勾配で進んできた台車を，発進立坑坑口部でジャッキアップし(100t×12台)，水平状態にする．

(3)　STEP-3　リフトアップ

内胴を上層シールドに組込むため，台車を立坑内に設置したリフトアップ架台(以下，「架台」と称する)に移動し，ステージジャッキ(揚重能力240t×2台)でリフトアップする(**図-13, 14**)．

ステージジャッキのストロークは3.0mであり，5回に分けて上層まで13.5mの高さをリフトアップする(**写真-12**)．

リフトアップ手順は，

①　ステージジャッキで架台を支持

②　ステージジャッキを3.0mリフトアップ

③　3.0mリフトアップされた架台の下に，新たな架台の組立て

④　ステージジャッキを3.0mリフトアップ(計6.0m)

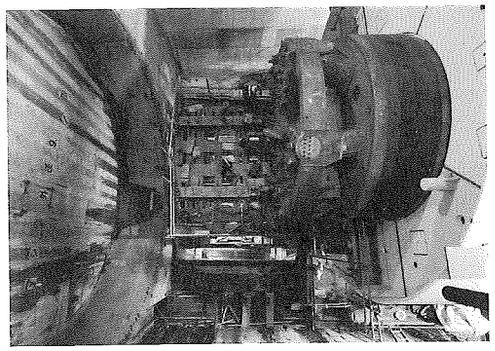


写真-13　上層シールドへの内胴部組込み

⑤　③～④をくり返し13.5mリフトアップ

(4)　STEP-4　組込み(上層シールド)

所定の高さまでリフトアップされた内胴を，あらかじめ立坑上層で組立てられた上層シールドの外胴(前胴)にセンターホールジャッキ(100t×2台)を使用して組込む(**写真-13**)．

外胴と内胴とのクリアランスは20㎜であり，上下方向の微調整はリフトアップ架台で行うが，左右方向は外胴(発進架台)を移動して行う．

4-5　シールド掘進

シールド掘進地盤は，自立性の高い上総層群の泥岩(Kc)であるため，本工事では切羽管理土圧を「間隙水圧±変動圧(15kPa)」に設定した．ただし，上層シールド発進部は小土かぶり(5.7m，0.6*D*)の未固結地山を掘進するため，地盤の隆起にも注意して，切羽管理土圧を「土かぶり荷重＋間隙水圧±変動圧(15kPa)」に設定した．

加泥材は，泥岩の切削トルク低減と切削ずりの流動性確保，チャンバやスクリューコンベヤへの付着防止を考慮して気泡を使用し，注入率は20～25%程度を要した．また，同時にフィッシュテールより5％程度の注水を行ったが，これがカッタトルクの低減に大きく寄与した．裏込め注入圧および注入量は，それぞれ切羽土圧＋200kPa，テールボイド量の120%を標準とした．

以上の結果，泥岩の掘進における機械負荷は，標準掘進速度20～25㎜/minに対して，カッタトルクが装備能力の40～50%，推力が同50～60%程度であった．また，シールド掘進に伴う地表面変位量は±2㎜程度であった．

また，掘削土砂の搬出方法は，大断面かつ7％の急勾配施工に対応して連続ベルトコンベヤ方式とし，立坑部の垂直コンベヤと組み合わせて連続的に坑外へ搬出した．なお，未固結帯水層の掘進を伴う上層シールドの初期掘進においては，噴発に伴う土砂の取込み過多を防ぐため，ポンプ圧送方式を適用した．

5　分合流区間の施工方法

中央環状品川線本線と大橋連結路の分合流区間は，土かぶり約19m(上層)と約35m(下層)の泥岩に位置し，離隔0.5mで併設するセグメント外径12.3mの本線シールドとセグメント外径9.5mの連結路シールドを切開き，延長210m(上層)，180m(下層)の上下2層の大断面トンネルを構築する．

この分合流区間は，必要内空幅が9.0～最大17.0m程度まで断面が変化する．そこで，分合流部の覆工構造を，必要内空幅および本線～連結路の線形と位置関係に応じて，TYPE-A～Dと称する4

Type	概　要
A	【本線単路部】 内空断面の余裕により拡幅の必要のない区間 (テーパー先端部)
B	【本線拡幅型】 本線トンネルを切開いて拡幅する区間 (拡幅量1m，2mテーパー部)
C	【本線連結路一体型】 連結路と本線を切開いて一体化する大断面の無柱区間 (主として箇原則区間)
D	【一本柱型】 連結路と本線を切開いて一体化する区間 (ハードノーズ以降)

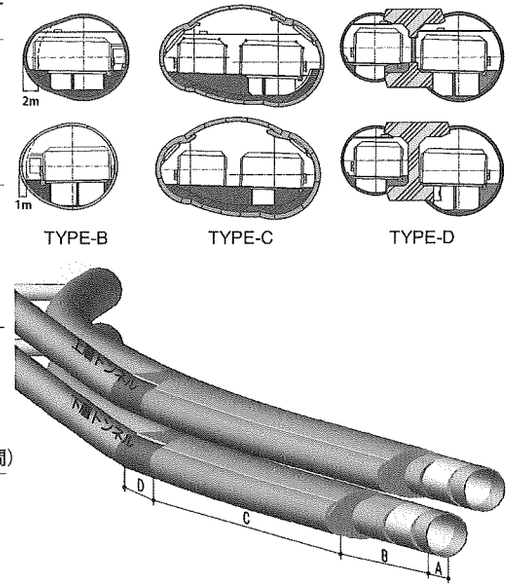


図-15　切開き区間の覆工タイプおよび断面

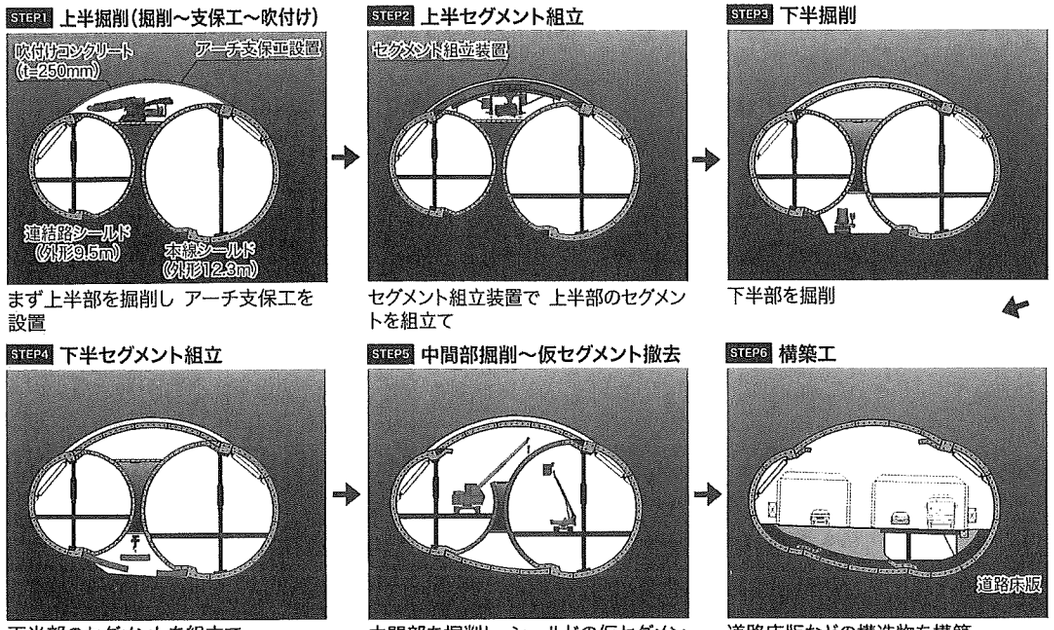


図-16　TYPE-C　施工ステップ

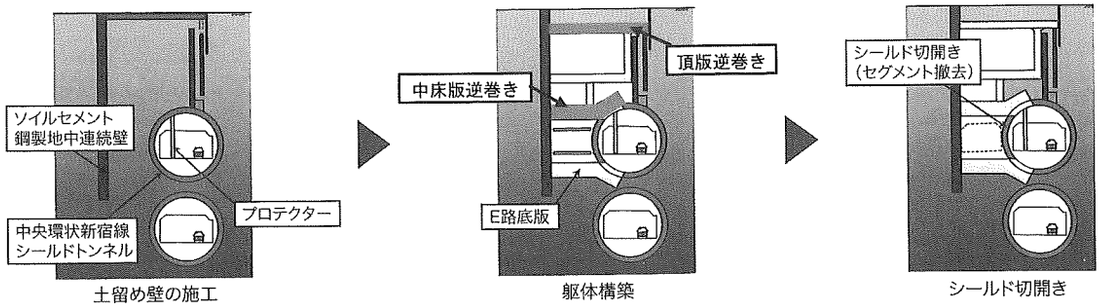


図-17　開削切開き施工ステップ

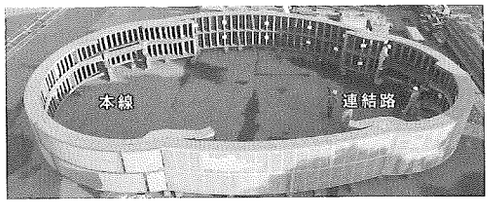


写真-14　鋼殻セグメント(切開き区間)

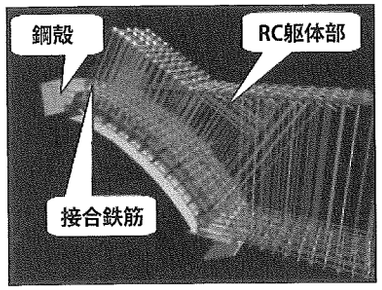


図-18　特殊鋼殻セグメント接合部

つのタイプに区分することで合理化を図っている(**図-15**).

代表的なTYPE-Cの施工手順を**図-16**に示す.本線および連結路シールドの構築後,トンネル内に仮設の内部支保工を設置する.一方,残置した連結路シールドを地中発進基地として,本線と連結路シールド間の上・下半部を山岳工法によりアーチ状に掘削し,それぞれ鋼殻セグメントを設置して裏込めを行う.このように,覆工構造を閉合させたのちにトンネル中間部のセグメント撤去,地山の掘削を行うことで,トンネル全体の安定を図っている.最後に,下半には鋼殻セグメントと合成構造をなすインバートコンクリートを打設し,内部支保工を撤去することで拡幅工事が完了する.

なお,上半5ピース,下半4ピースの鋼殻セグメントのうち,本線および連結路シールドに接合する4ピースは,シールドの出来形誤差(蛇行,ローリングなど)および切開き掘削時の変位を吸収するため,上半および下半掘削後に現地測量を行って製作寸法に反映する.鋼殻セグメント仮組立て状況(完成形)を**写真-14**に示す.

一方,供用中の中央環状新宿線上層シールドと大橋連結路下層トンネルとの合流部は,開削切開き工法により構築する(**図-17**).ここでは,供用下での切開き工事を考慮して特殊な鋼殻セグメントが用いられており,外面スキンプレートを外せば鉄筋を接続してコンクリート躯体を構築できるように,あらかじめ主桁に鉄筋接続用部材と内面スキンプレートが施されている(**図-18**).

なお,新宿線上層シールドに相対する側壁は,隣接する再開発事業との用地境界を満足するため,ソイルセメント鋼製地中連続壁工法による土留め壁を本体利用している.連壁の施工時期は大橋ジャンクションの橋梁工事と競合し,狭隘かつ空頭制限下であったことから,大橋連結路の発進立坑で使用したCSM工法(クアトロサイドカッタ)を採用した.

6　おわりに

中央環状品川線の本線および連結路の計4本のシールドトンネルは,今年3月に掘進を完了した.大橋連結路工事では,引き続いて本線との分合流区間の施工に入る.今後,経験の少ない大規模な非開削切開きを実施するにあたり,地山などの挙動を注視するとともに,有識者のご意見を賜わりながら慎重に施工していく所存である.

施工

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—

(元)国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所工務第二課長　松井幸男
(元)国土交通省東北地方整備局仙台河川国道事務所工務第二課専門官　表康弘
中央復建コンサルタンツ(株)道路系部門トンネルグループサブリーダー　宮城大助
(元)安藤建設(株)国道108号花渕山1号トンネル工事作業所長　町大作

1　はじめに

一般国道108号は東日本大震災で甚大な津波被害を受けた宮城県石巻市を起点に,奥羽山脈を横断して秋田県由利本庄市に至る広域的な幹線道路である(**図-1**).本路線のうち大崎市の荒雄湖(鳴子ダム)東側を通る区間は,狭隘かつ線形不良のため,交通上のネックとなっているうえ,地すべりの危険性が高い状況にあった.

そのため,宮城県が昭和63年度から荒雄湖西側に花渕山バイパス(L=6.4km)の事業に着手したが,平成15年5月の三陸南地震で計画路線上にも地すべりの兆候が認められたため工事中断を余儀なくされ,平成19年9月に新ルート策定後,平成20年度から国土交通省が権限代行で直轄事業として工事を再開している.

本トンネルはバイパスの南側に位置する延長142.5mのトンネルであり,当初計画では,到達側坑口部を作業導坑でいったん外に出て,人工地山を築造後に上半を貫通する予定であったが,砂地山の難工事で工期遅延が懸念されたため,早期の坑口部の完成が必要となった(**写真-1**).

本稿は,到達側坑口部において高耐力斜め支保工と補助工法を駆使することにより,工期を短縮し,無事貫通することができたので報告するものである.

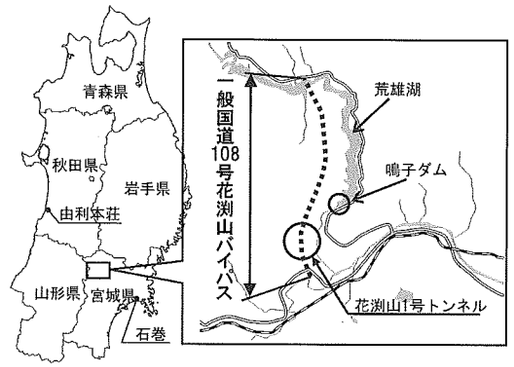


図-1　現地位置図

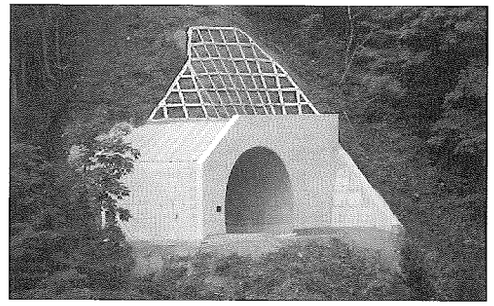


写真-1　到達側坑口部全景

2　工事概要

2-1　トンネル工

本トンネルは掘削断面積約70m²の2車線道路

トンネルである．最大土かぶりが20m程度であり，ほぼトンネル全線にわたって土かぶり2D(1D=10.5m)以下となることから，全区間坑口部パターン(DⅢa)の上半先進ベンチカット工法で施工した．構造規格を表-1に，標準断面図を図-2に示す．

表-1　構造規格

道路規格	第3種第2級
設計速度	V=60km/h
トンネル延長	L=142.5m
道路幅員	7.5m
最小曲線半径	1,100m
縦断勾配	2.9%
トンネル等級	D等級

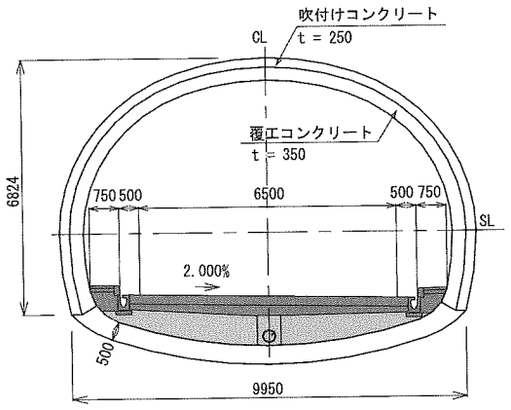


図-2　標準断面図

表-2　主要工事機械一覧表

	機械名称	機種名	仕様・能力
掘削機械	油圧ドリルジャンボ	JCH2-100E	2ブーム・2バスケット型130kg級，クローラ
	大型ブレーカ		1,300kg級
	ツインヘッダ	MT-2000S	
吹付け	吹付け機(エレクタ付き)	アリバー285	湿式，クローラ，6～21m³級
	吹付けプラント	コンクリートモービルCM-250	17m³/h
	セメントサイロ		堅型50t
覆工	鋼製スライドセントル		L=10.5m
	コンクリートポンプ	コンクリートポンプ車	50～60m³/h
換気	コントラファン	大西電機 3S-M6-3000	1,400m³/min，風管φ1400mm
	集塵機	流機　RE-1500P	1,800m³/min
濁水処理	濁水処理プラント	サンエー　SSJ40T	30m³/h
	砂ろ過装置	GF-30×2機	30m³/h
	フィルタープレス	PU-300B	300L

2-2　主要工事機械

工事用機械は設計断面積，トンネル延長，地質等を考慮して決定した(表-2)．とくに掘削直後においては，切羽の緩みが広がる前に切羽を閉塞する目的で，「エレクタ付き吹付け機」を使用した．

これにより，「一次吹付け～支保工建込み～二次吹付け」の一連作業が重機の入替えなしに施工可能となり，切羽の早期閉塞を実現した．

3　地形・地質概要

トンネル計画地は，JR陸羽東線鳴子温泉駅の北西約2kmで，花渕山の東斜面にあたり，標高200～300mの山腹斜面と東側を南流する荒雄川にほぼ直行する支沢からなる(図-1)．

地質は，先第三紀の花崗岩類(花崗閃緑岩)を基盤として，これらを不整合に被覆し，礫・砂層などからなる第四紀の地層が分布している．先第三紀の花崗閃緑岩は，計画地の北側から鳴子ダムにかけて分布し，鳴子ダム付近で90～100mの渓谷をなし，両側斜面の傾斜が30～50°とやや急峻である．

トンネル計画位置の地質は，第四紀洪積世の鬼首層相当層の砂質土，第四紀沖積世の崖錐堆積物層からなる．また，計画地の両側(南北側)を流れる沢部には河床堆積物が分布している．このうちトンネルに出現する地質は，鬼首層相当層と崖錐堆積物層である．

(1)　第四紀洪積世　鬼首層相当層(Ok)

鬼首層相当層は，砂層の中に層厚1～2cmの細粒層(不透水層に相当)を挟在し，層理面を形成する．この層理面は，ほぼ水平～5°程度傾斜している．既存のボーリング結果では砂の均等係数が27程度であったが，工事途中のNo.96+3.9で採取した砂の均等係数は3.47，細粒分含有率は3.9%を示し，

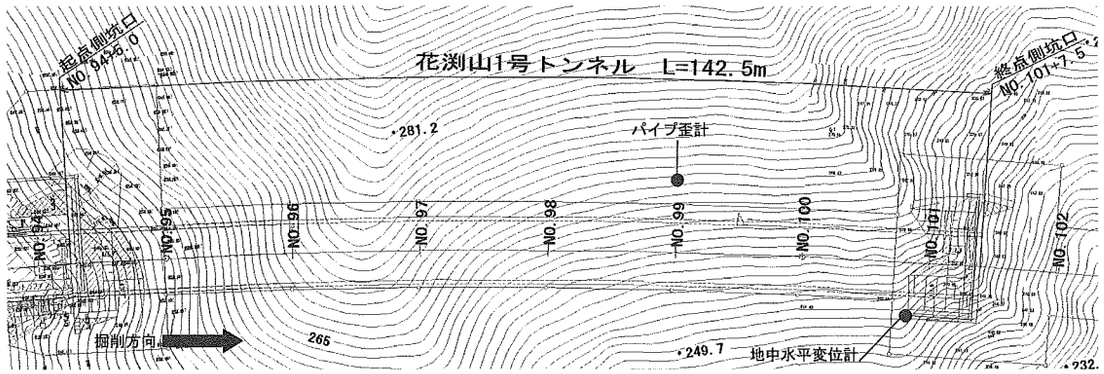


図-3　平面図

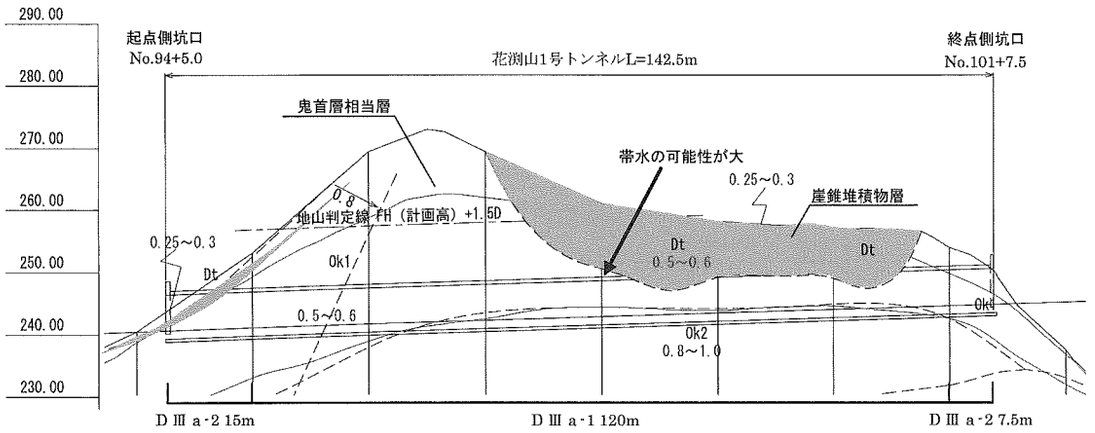


図-4　地質縦断図

流砂現象を起こす限界値である均等係数4以下および細粒分含有率10%以下であることが判明した．少量でも湧水が発生すると，これに伴う流砂現象を発生する危険性があった．

なお，計画地の地下水位はトンネル計画位置より低い位置にあるため，恒常的な湧水は発生しないと判断されたが，降雨の浸透水が各層内に予測される「ミズミチ」に沿って局部的な湧水となる可能性が考えられた．また，計画地は豪雪地帯のため，春先の融雪期に一時的な地下水位の上昇が予想された．

(2)　第四紀沖積世　崖錐堆積物層(Dt)

崖錐堆積物層は，山麓斜面裾部に斜面に沿って分布している．とくに測点No.97～101(BV-3～4孔)付近では，最大層厚10m程度と厚く堆積しており，暗褐～褐灰色を呈する礫混じりシルト～シルト質砂礫からなり，粘土分を多く含む．礫は花崗岩・凝灰岩を主体とし，まれに安山岩・流紋岩・泥岩質の礫が混入する．礫形状は亜角礫主体であり，平均径5～30mm，最大径60mm程度である．

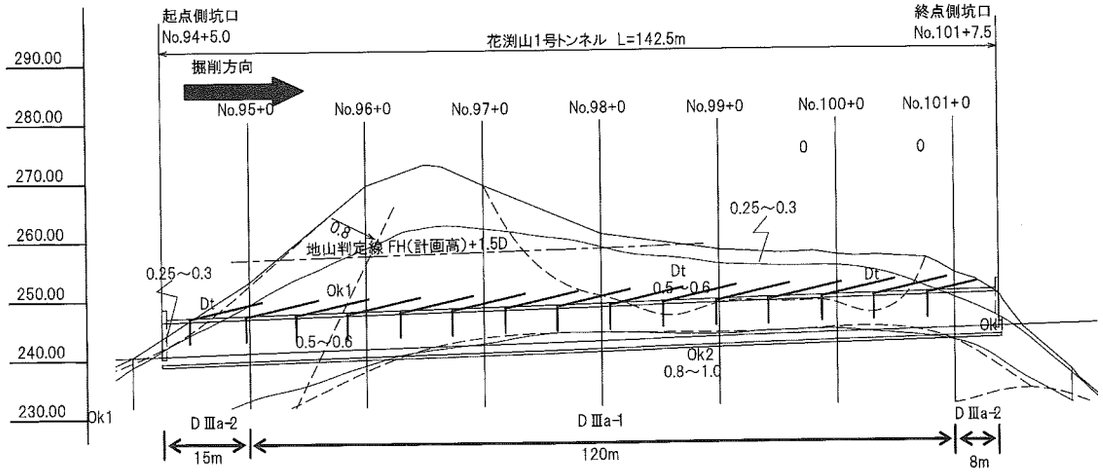
地質縦断図(図-4)では，鬼首層相当層を上部層(N値50未満)と下部層(N値50以上)の2層に区分している．

4　設計段階での補助工法

設計段階の補助工法としては，土かぶりが20m以下の未固結砂地山を掘削するため，天端部は長尺鋼管先受け工(AGF)，鏡部は長尺鏡ボルト(GFRP)を全区間に計画した．なお，脚部については，両坑口にフットパイルおよびウイングリブ付き支保工で計画した(図-5)．

5　坑外における計測工

崖錐が堆積するT.D.=60m付近から終点側坑口



天端部	《長尺鋼管先受け工》	φ76.3 @600，L=13.5m，15本/シフト 注入材：超微粒子セメント系，水ガラス系
鏡部	《長尺GFRP鏡補強工》	φ76 @1500，L=13.5m，9本/シフト 注入材：超微粒子セメント系
脚部	《ウイングリブ付き支保工》	DⅢa-2区間(起点側)：フットパイルφ114.3，L=4.3m，両側ウイングリブ付き支保工 DⅢa-2区間(終点側)：フットパイルφ114.3，L=6.5m，谷側のみウイングリブ付き支保工

図-5　補助工法計画図

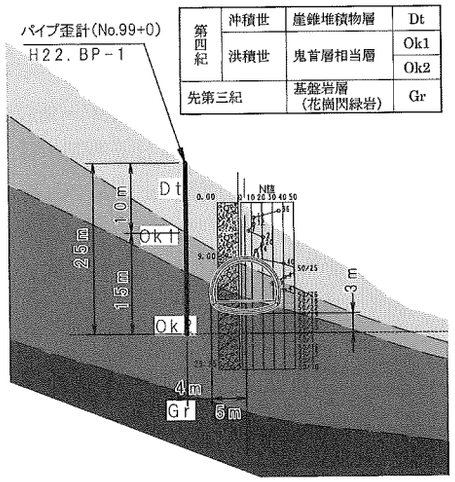


図-6　パイプ歪計(No.99＋0)

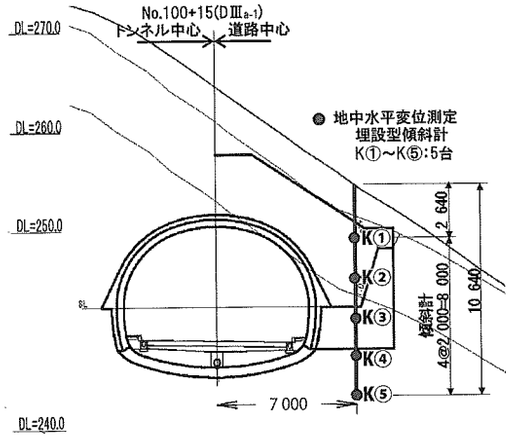


図-7　地中水平変位計

部にかけては，斜面勾配が35°程度の偏地形となっており，当初から掘削による斜面のすべりが懸念されていた．このため，施工に際しては，事前にNo.99＋0にパイプ歪計，No.100＋15に地中水平変位計を設置し(**図-6, 7**)，挙動を計測しながら掘削を行った．

パイプ歪計の変動は，補助工法における注入材や急激な降雨にて瞬時に変動を示したが，その後すぐに安定し，安全が確認できた(警戒体制100 μst/日，避難体制1,000 μst/日)．

パイプ歪測定グラフで瞬時に変動しているのは，トンネル天端部と最下部で補助工法の注入材や降雨・雪解け水の圧力がフリーな状態のパイプ歪計

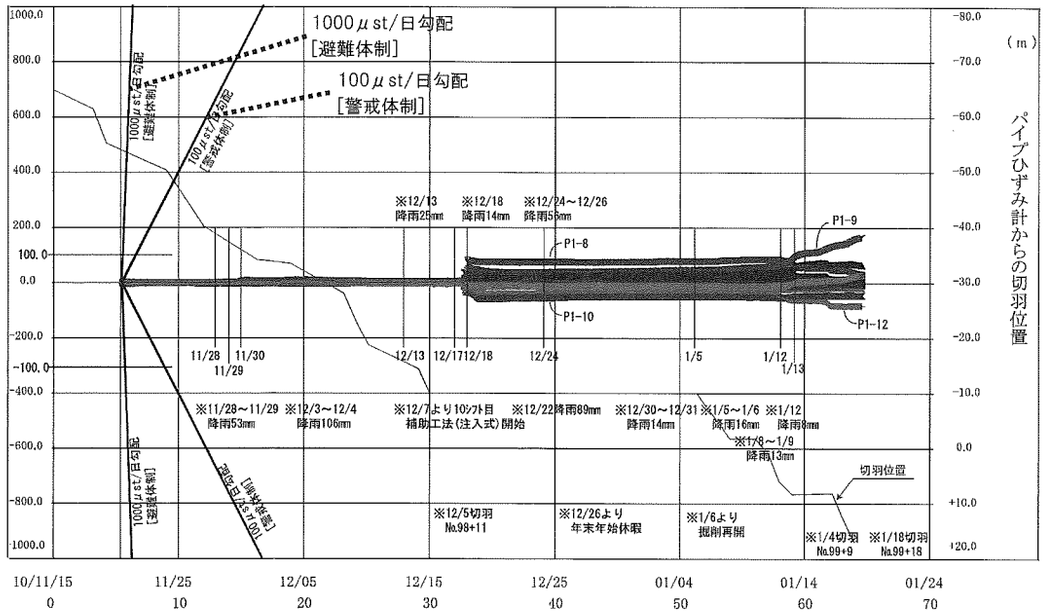


図-8　パイプ歪測定グラフ

図-9　地中変位測定グラフ

に影響を与えたものと考えられた(**図-8**)．地中水平変位測定グラフ(**図-9**)は，横軸に時間，縦軸に変位を示した変位の経時変化図であり，側方変位測定箇所①(上半天端)で大きな変位がみられたが，これはAGF施工時の注入材圧力による移動であると考えられた．

6　T.D.＝60m地点で発生した天端崩落と対策

6-1　崩落状況

掘削が60m進んだ地点の切羽で，天端部が約20 m³の崖錐を伴って崩落が発生した．内空挙動を

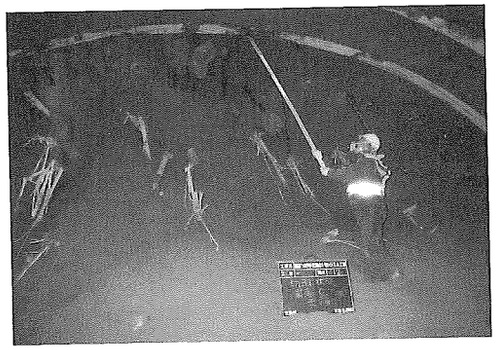


写真-2　天端崩落状況

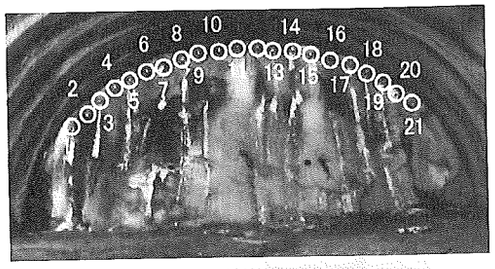


写真-3　天端部補助工法

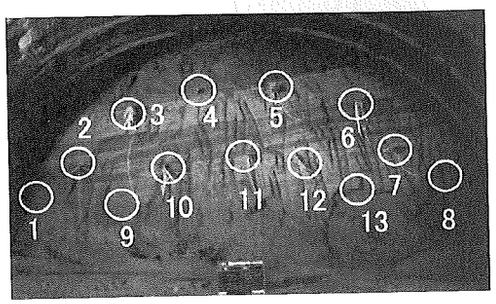


写真-4　鏡ボルト打設状況

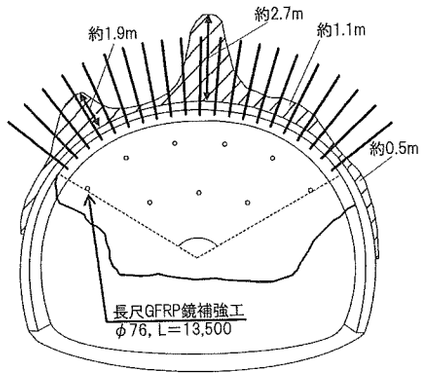


図-10　天端崩壊時のスケッチ

計測しながら掘削を行っていたが，挙動を示す兆候がみられないなかでの突然の崩落であった(**写真-2**，**図-10**)．

崩落した崖錐は，固結性が全くなく，地質縦断図で把握されていない破砕帯が存在し，この破砕帯に属する崩壊土であると判断できた．応急復旧処置および対策工法を以下に示す．

6-2　応急復旧処置

① ずり押さえ盛土＋吹付けコンクリートによる鏡補強
② 空洞部へのシリカレジン注入
③ 水ガラス系注入材使用によるAGF再打設

6-3　崩落に対する具体的な対策工

6-3-1　天端部補助工法の変更

トンネル天端部に存在する未固結崖錐土砂を考慮し，設計仕様に比べ現状地山により適合した補助部材が必要であると判断し，長尺鋼管先受け工の仕様を変更した．鋼管長さはL＝13.5mで変更せず，鋼管径はφ76.3㎜を114.3㎜，注入材はウレタン系を水ガラス系に，本数は15本/断面を21本/断面に変更した(**写真-3**)．

また，当初は鋼管打設角度を10°としていたが，鋼管下部からの崩落を抑制するため，支保工を拡幅し，5°以内とするなどの対策を行った．

6-3-2　鏡　部

鏡面の砂質土は，固結度が低く一体性がほとんどない．そのため一体化を図ることがもっとも重要であると判断し，「長尺鏡ボルト工法」は継続施工とした．材質はGFRP(ガラス繊維補強プラスチック)，ボルト長さL＝13.5m，ボルト径φ76.3㎜，注入材は超微粒子セメント系，本数が9本/断面である(**写真-4**)．

7　終点側坑口部の施工法

7-1　設計時と施工時における到達方法の変更

設計段階では，終点側坑口部への工事用道路の設置は，地形条件から難しいため，作業導坑でいったん外に出たあと，深礎杭，抱き擁壁，人工地山を完成後，上半で貫通する方法を計画していた(**図-11**)．

しかし，終点側坑口部は斜面斜交型で土かぶりが小さく偏地形であり，周辺環境への配慮と工期

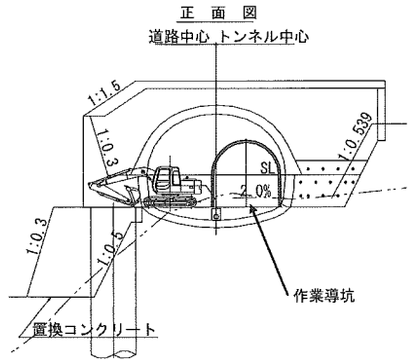


図-11　当初計画の作業導坑(正面図)

短縮の観点から，保護盛土を造成せず原地形に順応した斜め支保工に変更することとした．採用した補助工法の計画図，その選定理由および使用上配慮した事項を**図-12**，**13**に示す．

7-2　高耐力斜め支保工の設計

斜め支保工を採用するにあたり，切羽が坑口に近づくほど支保断面(スパン)が大きくなるため，構造安定性の検討を行った．

(1)　構造検討

斜め支保工の構造については，「地質構造的にトンネルの安定性にもっとも問題のある断面」かつ「構造的にもっとも安全性が厳しい支保工断面(斜角最大断面)」で検討を行った．斜め支保工構造検討フローを**図-14**，解析モデル図(荷重)を**図-15**，解析モデル図(支保工)を**図-16**にそれぞれ示す．

1)　地盤条件

・鬼首層相当層上部　N＝11
・鬼首層相当層下部　N＝36

2)　荷重条件

支保工自重は，支保工ピッチが0.5～1.0mのため，0.5mとして死荷重を考える．

・在来支保工：吹付けt＝250㎜，NH-200の場合25.8kN/m³
・高規格支保工：吹付けt＝250㎜，HH-200の場合26.5kN/m³

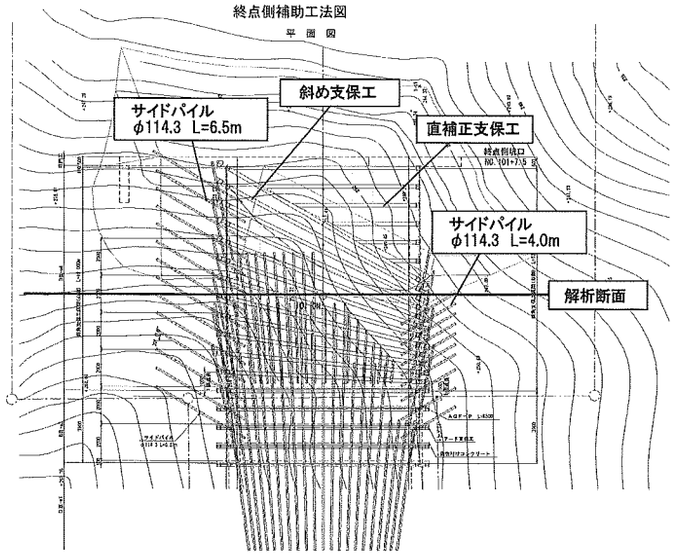


図-12　補助工法平面図

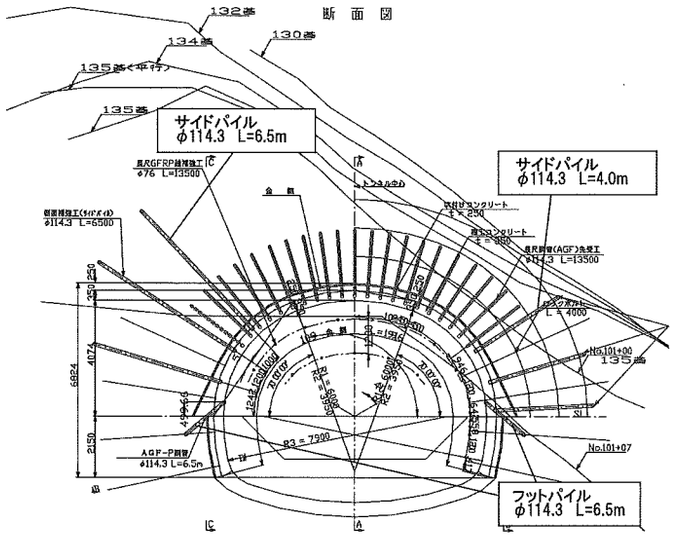


図-13　補助工法横断図

鉛直荷重は，トンネル上半に偏土圧として，土かぶり変化に対応させた全土かぶり圧を載荷させる($P_v(x)=\gamma h(x)$)．

水平土圧は，鉛直土圧P_vに対して側圧係数K_0を乗じる．

・Ok1上部の側圧係数＝0.44
・Ok1下部の側圧係数＝0.40

地盤反力係数は，地盤反力は地盤の特性を考慮して圧縮のみに抵抗する(引張が作用する場合は

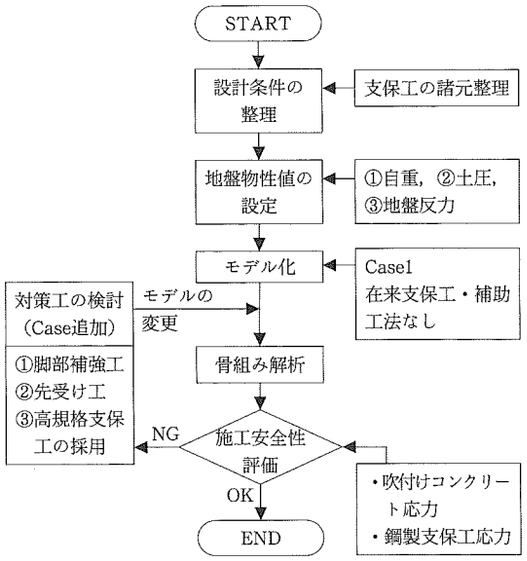


図-14 斜め支保工構造検討フロー

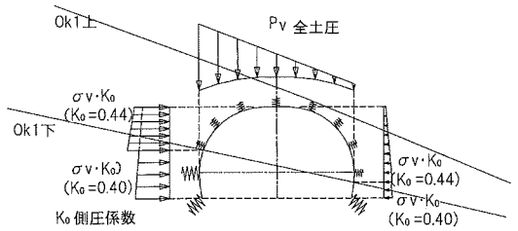


図-15 解析モデル図(荷重)

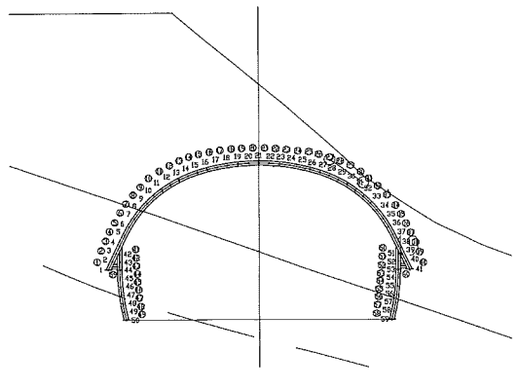


図-16 解析モデル図(支保工図)

0とする)ものとして設定する.

・Ok1上部 k_v=6,000kN/m³

・Ok1下部 k_v=20,000kN/m³

ここに，k_v：鉛直方向地盤反力係数

3) 構造条件(支保工)

はり-ばねモデルにおける支保工の構造条件は，吹付けコンクリートと鋼製支保工の合成ばりモデルとするが，吹付けコンクリートは曲げ，引張軸力を負担できないものとして設定する.

はりモデルの構造線は，支保工の軸線と一致させ，支保工断面を基準とする.

(2) 設計法と許容応力度

設計法として許容応力度設計法を用い，鋼製支保工応力(σ_s)および吹付けコンクリート応力(σ_c)を求める.

$\sigma_s = N/A_s \cdot \eta_s \pm M/Z_s < \sigma_{sa}$

$\sigma_c = N/A_c \cdot \eta_c < \sigma_{ca}$

ここに，

N ：合成支保工に作用する軸力(kN)

M ：合成支保工に作用する曲げモーメント(kN·m)

Z_s ：鋼製支保工の断面係数(m³)

A_s ：鋼製支保工の断面積(m²)

A_c ：吹付けコンクリートの断面積(m²)

η_s ：鋼製支保工の軸力分担率(引張軸力の場合η_s=1)

η_c ：吹付けコンクリートの軸力分担率(引張軸力の場合η_c=0)

σ_{sa} ：鋼製支保工の許容応力度(kN/m²)

σ_{ca} ：吹付けコンクリートの許容応力度(kN/m²)

在来鋼製支保工(SS400)の許容応力度：210N/mm²

在来吹付けコンクリート(18N/mm²)の許容応力度：9 N/mm²

高規格鋼製支保工(SS540)の許容応力度：330N/mm²

高強度吹付けコンクリート(36N/mm²)の許容応力度：18N/mm²

(3) 解析結果

1) Case 1 在来支保工，補助工法なしの場合における解析結果

このケースの解析では，最大支保工応力が1,748N/mm²となり，許容応力度210N/mm²(鋼製支保工SS400)を大きく超過する結果となった．このため，脚部補強としてサイドパイル(ϕ114.3mm，

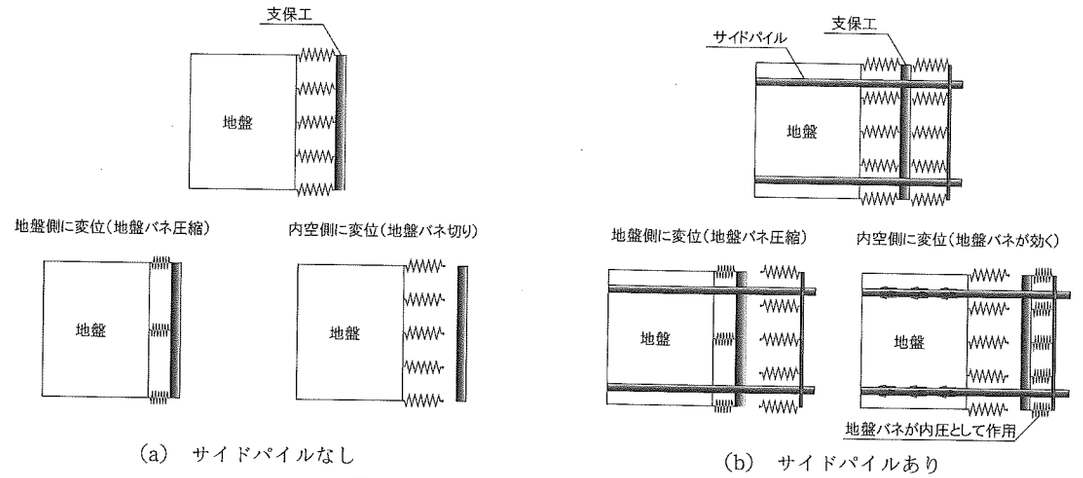


図-17 サイドパイルのモデル化の模式図

L=6.5m)を採用した検討を行う方針とした.

なお，**図-17**に示すように，支保工が内空側に変形した際は，地盤バネが抵抗しない非線形バネを適用したが，サイドパイルを用いた場合は，サイドパイルは鋼製支保工と接続されていることから，支保工が内空側に変形する際に地山とサイドパイルと支保工が一体となって，内圧(地盤反力)により抵抗できるものとして，サイドパイルのモデル化を行った.

2) Case 2 サイドパイルを追加した場合における解析結果

解析結果は，側壁が内側へ縮小するモードは回避できたが，天端付近から内空変位が卓越し，鋼製支保工において許容応力度を超過する結果となった.

支保工応力が370N/mm²あり，高規格支保工応力の許容応力度330N/mm²を超過している．よって，土圧軽減のため，先受け工(注入式フォアポーリング：L=3.0m@450)を施し，支保工に作用する土圧の一部を負担させるものとした.

この先受け工による土圧低減効果は，注入フォアパイリングの効果率1.74の逆数である0.6を乗じて外力を低減させることで評価を行い，在来支保工で構造を保持できるか確認を行う方針とした.

3) Case 3 注入式フォアポーリングを追加した場合における解析結果

解析結果は，鋼製支保工の最大支保工応力が

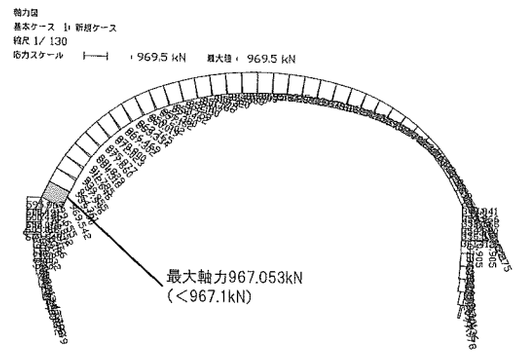


図-18 支保工断面力図(Case 4)

219N/mm²と，許容応力度210N/mm²をわずかながら超過する結果となった．このため，対策として高規格支保工(SS540，HH-200×201)を採用する方針とした.

4) Case 4 高規格支保工を採用した場合における解析結果

最大支保工応力が201N/mm²と，許容応力度330N/mm²(SS540)を満足する結果となった．**図-18**にCase 4の支保工断面力図を示す.

以上4ケースの検討結果を**表-3**に示す．なお，坑門工本体の角度については，積雪寒冷地による雪の吹き込みや車両の進入性を考慮し，直補正支保工により直角構造とした(図-12).

7-3 補助工法の追加

(1) 側方変位に対する具体的な対策工

1) サイドパイル

側方の変位を抑制するには，トンネルと地山を

表-3 解析結果

	支保工	補助工法		支保工応力度(最大)		評価
		先受け工	脚部補強	吹付けσc [N/mm²]	鋼製支保工σc [N/mm²]	
Case 1	在来	なし	なし	2.7< 9	1,748>210	×
Case 2	在来	なし	あり※1	2.7< 9	370>210	×
Case 3	在来	あり※2	あり	1.7< 9	219>210	×
Case 4	高規格	あり	あり	2.1<18	201<330	○

※1 支保工の変形モードより，先受け工に先行して脚部補強を選定
※2 先受け工により，外力を一部負担させる(先受け工による土圧軽減効果を反映)

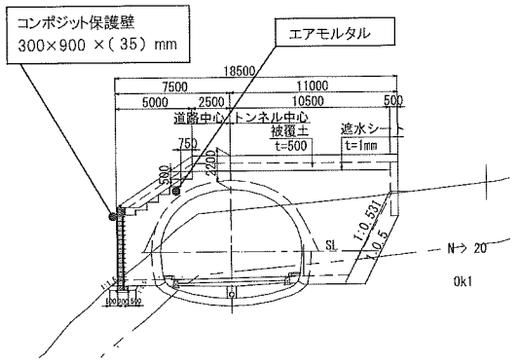


図-19 コンポジット保護壁

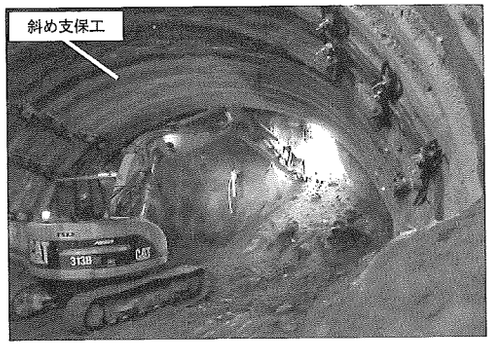


写真-5 到達側坑内全景

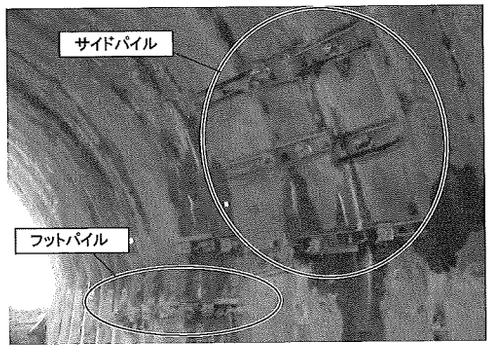


写真-6 補助工法打設状況

一体化させることが必要であった．そのため上半部に地山へのアンカー効果と縫い付け効果が期待される，斜め前方方向への「サイドパイル」を採用した．仕様は，鋼管長さを山側L=6.5m，谷側L=4.0m，鋼管径がϕ114.3mm，注入材として超微粒子セメント系を用い，本数は山側3本/断面，谷側2～1本/断面とした．サイドパイルの打設により，側方変位を大幅に抑えることができ，その効果は大きかった．

(2) 沈下に対する具体的な対策工

1) フットパイル

サイドパイルやウイングリブ付き高規格支保工の併用効果もあり，掘削にともなう顕著な沈下の発生は観測されなかったが，砂質の脆弱な地盤であり地耐力不足が懸念されたため，斜め前方方向への「脚部補強パイル(フットパイル)」を採用した．仕様は，鋼管長さL=6.5m，鋼管径ϕ114.3mm，注入材に超微粒子セメント系，本数を2本/断面とした．斜め前方方向へのフットパイルにより，前方地山を含め地盤は一体化し，貫通まで大きな沈下は観測されなかった．

(3) 土留めにコンポジット保護壁を用いた軽量盛土工法を採用

坑門工の基礎として，設計段階では深礎杭，置換えコンクリート工を採用していたが，作業スペースや工程を考慮し，コンポジット保護壁を用いた軽量盛土工法に変更した(図-19)．

この工法の採用により，狭い坑口部における作業性・安全性の向上(作業足場や大型重機が不要)，経済性の向上(深礎杭ϕ2.5m，h=19mおよび15m各1本不要，置換えコンクリート不要)などの効果があった．

また，工程面でもトンネル施工の連続性が可能となり，工期短縮に効果があった．

7-4 施工結果

高耐力斜め支保工の採用，サイドパイルやフットパイルなどの補助工法の採用，および貫通後に実施した坑門工基礎の見直しなど，種々の対策を

行ったことにより，トンネル掘削による大きな変位や地表面の挙動変化などの発生はみられず，平成23年2月9日に無事貫通することができた(写真-5, 6)．

8 おわりに

本トンネルは，小土かぶり未固結砂地山における想定以上の地山性状の悪さで，施工当初は数回にわたって小規模な切羽崩落が発生するなど，道路トンネルとしてはまれにみる難工事であった．到達側坑口部で施工した高耐力斜め支保工は，補助工法を併用することで斜め構造の利点を発揮し，工期短縮と周辺環境に配慮した施工が可能となるだけでなく，基礎工，切土工などの工事費削減も可能となる．また，トンネル掘削期間が渇水期である11～2月にあたり，降雨の浸透による影響が最小限であったことも，無事工事を終えることができた一つの要因ではないかと思われる．

トンネル貫通後に発生した東日本大震災では，資機材，人材の調達・確保が困難となり，約40日間の工事中断を余儀なくされたが，トンネル本体構造には変状の発生もなく，平成23年9月30日の工期内完成を達成できた．

最後に，本工事を施工するにあたり，ご指導・ご支援をいただいた関係各所の皆様に誌面を借りて深く感謝する次第である．

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

現場だより 2012 トンネルと地下

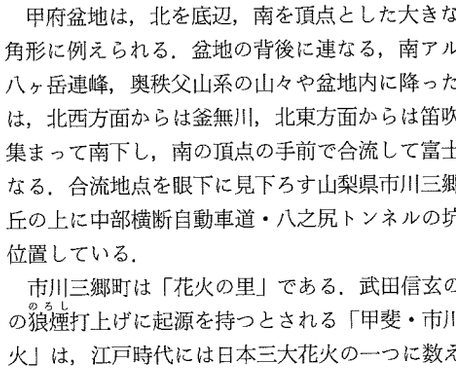
「甲府盆地の南，富士川と花火の里」山梨県市川三郷町より

真 下 義 章

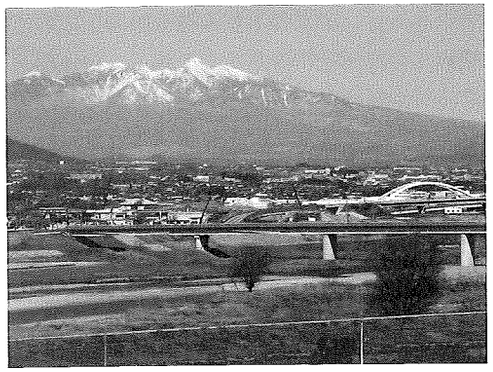
甲府盆地は，北を底辺，南を頂点とした大きな逆三角形に例えられる．盆地の背後に連なる，南アルプス，八ヶ岳連峰，奥秩父山系の山々や盆地内に降った雨水は，北西方面からは釜無川，北東方面からは笛吹川に集まって南下し，南の頂点の手前で合流して富士川となる．合流地点を眼下に見下ろす山梨県市川三郷町の丘の上に中部横断自動車道・八之尻トンネルの坑口は位置している．

市川三郷町は「花火の里」である．武田信玄の時代の狼煙(のろし)打上げに起源を持つとされる「甲斐・市川の花火」は，江戸時代には日本三大花火の一つに数えられていたそうだ．今も毎年８月７日の「花火の日」に笛吹川河畔で開かれる「神明(しんめい)の花火大会」ではおよそ２万発が打上げられ，県内外から約20万人が訪れておおいに盛り上がる．とくに約500mまで上昇し直径約500mに開花する二尺玉は全国でも珍しいそうで，その迫力には度肝を抜かれること請合いである．東京・新宿から電車または車で約２時間で来られるので，ぜひ現地での鑑賞をお勧めしたい．

話は富士川に戻るが，釜無川・笛吹川の合流地点から２kmほど下流に架かる富士橋の辺りが，甲府盆地の唯一の水の吐口に当たる「禹之瀬(うのせ)」である．この付近は富士川の川幅が非常に狭く，かつては，たびたびに大洪水に見舞われたそうだが，禹之瀬河道整正事業(1987～1995)により拡幅され，状況は著しく改善された．富士橋にほど近い小さな公園に先輩土木技術者たちの功績を称える竣功の碑が建てられている．



位　置　図(駅名は仮称)


現場から望む富士川，甲府盆地，八ヶ岳連峰

当地の歴史的土木事業といえば，信玄堤で名高い武田信玄による釜無川治水事業がよく知られているが，江戸時代初期の慶長12(1607)年に徳川家康の命を受けた京都の角倉了以(すみのくらりょうい)による富士川の開削事業も忘れてはならない．

これにより駿河国岩淵(静岡県富士市)を経由して江戸に至る舟運が開かれ，富士橋の右岸・鰍沢(かじかざわ)(富士川町)は甲州・信州の物資の集散地として，また日蓮宗総本山・身延山久遠寺の参拝客の宿場町として，300年以上にわたり繁栄することとなった．今では舟運は姿を消したが，古い土蔵のある街並みに往時の面影を残している．

中部横断自動車道の建設もまた，かつて富士川舟運で強く結ばれた山梨・静岡両県の物・人の交流活性化の起爆剤として期待される歴史的プロジェクトである．その一翼を担う当八之尻トンネル工事(掘削延長2,464m)は平成23年８月に掘削開始し，６か月経過時点で約20%の進捗となっている．

現場では，甲府盆地を滔々と流れる富士川，その彼方にそびえる八ヶ岳連峰の雄姿を日々遠望し，歴史に名を残す土木事業を成し遂げた先人たちの偉業に思いを馳せつつ，「プロ意識を持って作ろう！　日本一の高速道路」のスローガンを掲げ，平成27年１月の竣工に向けて鋭意工事を進めている．

(清水建設・岩田地崎建設JV所長)

施工

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

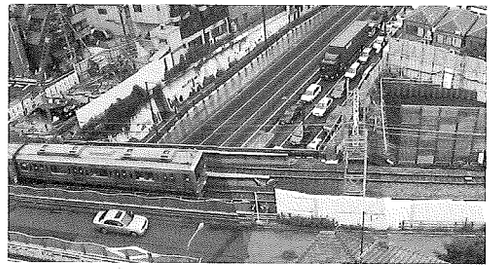
—小田急小田原線　連続立体・複々線化事業—

小田急電鉄(株)複々線建設部下北沢工事事務所所長　小　川　　司
小田急電鉄(株)複々線建設部下北沢工事事務所主任技術員　伊　藤　健　治
小田急電鉄(株)複々線建設部下北沢工事事務所技術員　有　馬　真　司
鹿島・奥村・フジタ建設共同企業体主任　工　藤　耕　一

１　は　じ　め　に

小田急線は新宿を起点とし，都心と神奈川県中部方面を結ぶ延長約120kmにわたる鉄道路線で，１日約195万人が利用する首都圏の通勤，通学ならびに観光路線としての役割を担っている．なかでも最混雑区間である世田谷代田駅～下北沢駅間では，朝のラッシュ時に約188%の混雑率にまで達し，さらに過密ダイヤにより列車速度が低下し，輸送改善が必要となっている．また，これにより，都心部の多くの踏切は１時間に50分以上遮断し，周辺道路は慢性的な交通渋滞などの弊害を生じている(図-1)．

これらの問題を解決するため，東京都と小田急


写真-1　環状七号線交差部

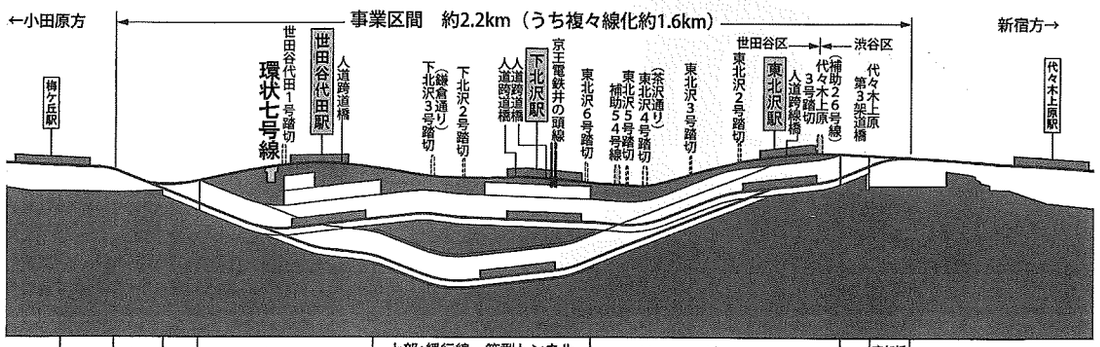


図-1　事業概要図

電鉄では，踏切での慢性的な交通渋滞の解消を目的とした道路と鉄道の連続立体交差事業と抜本的な輸送サービスの改善を目的とした複々線化事業（4線化）を行っており，2004年9月より代々木上原駅～梅ヶ丘駅間約2.2kmの4線地下化工事を進めている．

本稿では，当地下化工事のうち世田谷代田駅～梅ケ丘駅間に位置する環状七号線交差部における地下トンネル躯体構築について報告する（**写真-1**）．

2　環状七号線交差部トンネル工事の概要

環状七号線は片側3車線の上下6車線となっており，1日に約7万台という交通量の多い東京都の主要幹線道路である．トンネル躯体構築の工法検討にあたり，道路上から掘削する開削工法では道路交通へ支障をきたし，埋設物への影響も懸念されることから，道路や埋設物への影響が小さい非開削工法を選定した．非開削工法の選定にあたっては，道路管理者・埋設企業者と協議のうえで，道路下に仮設物を残置しないことを考慮した結果，仮設残置物がなく施工が行えるR＆C工法（箱型トンネル推進工法）を採用した．

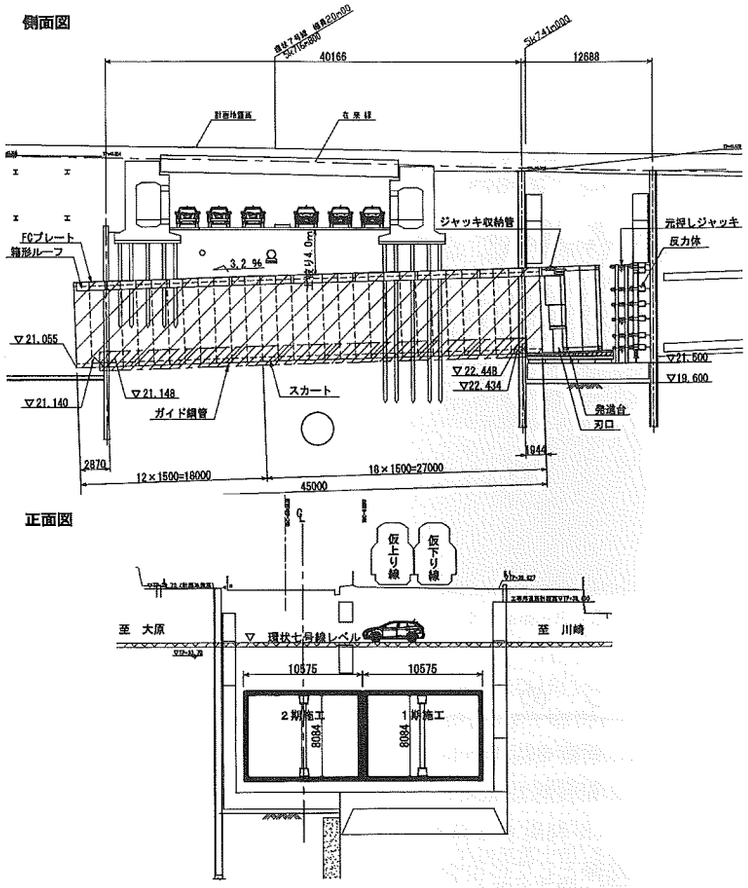


図-3　構造図

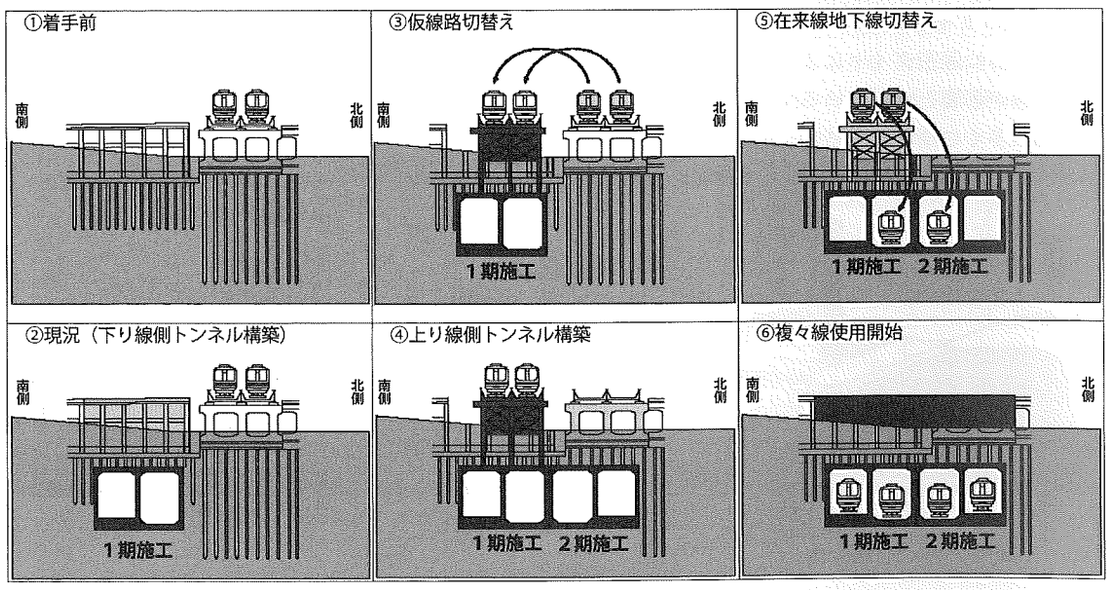


図-2　環状七号線交差部施工順序図

当該トンネル工事箇所は，4線躯体のうち2線躯体を1函体とし2分割の施工を行った．在来線直下に位置する函体は橋梁下部構造の基礎杭に干渉するため，在来線南側の函体を1期施工として施工し，完了後，1期函体上へ仮線路の切替えを行い，在来線跡地直下の函体を2期施工として施工する．その後，在来線を地下化し4線化とする計画である（**図-2**）．

トンネル外径は□8,084㎜×10,575㎜（1函体），推進延長45m，土かぶり約4m（環状七号線車道部）の施工となる（**図-3**）．1期施工については2007年10月に完了し，2期施工は2011年11月に完了した．本稿では1期施工での問題点を踏まえた，2期施工への対策と実績について報告する．

3　施工条件

3-1　地質条件

トンネル施工区間の土質は，上部よりローム層，凝灰質粘土層，東京礫層，上総層（砂層）から構成され，主にトンネル躯体箇所は上総層（砂層）に位置する．被圧地下水位はトンネル上部からGL－5mの位置に確認されている（**図-4**）．

3-2　埋設条件

環状七号線道路下および擁壁部には各種ライフラインが埋設されている（**表-1**）．

4　施工順序

箱型トンネル推進工事は，まず立坑を構築し，次に止水対策を実施したうえで函体を推進する手順で進めた．施工順序を以下に示す（**図-5**）．

① 函体推進の反力側となる発進立坑の構築と到達架台の設置および箱型ルーフの撤去を行うための到達立坑を構築する．

② 被圧帯水層下での施工のため，函体推進時の切羽崩壊および地下水の流入を防ぐことを目的とし，全断面において地盤改良（薬液注

表-1　埋設物の位置関係

埋設物	形状	位置
道路排水管路	φ800㎜	上部
水道管路	φ500㎜	上部
NTTとう道	φ75㎜×4	上部
ガス管路	φ200㎜	上部
水道管路	φ3,150㎜	下部

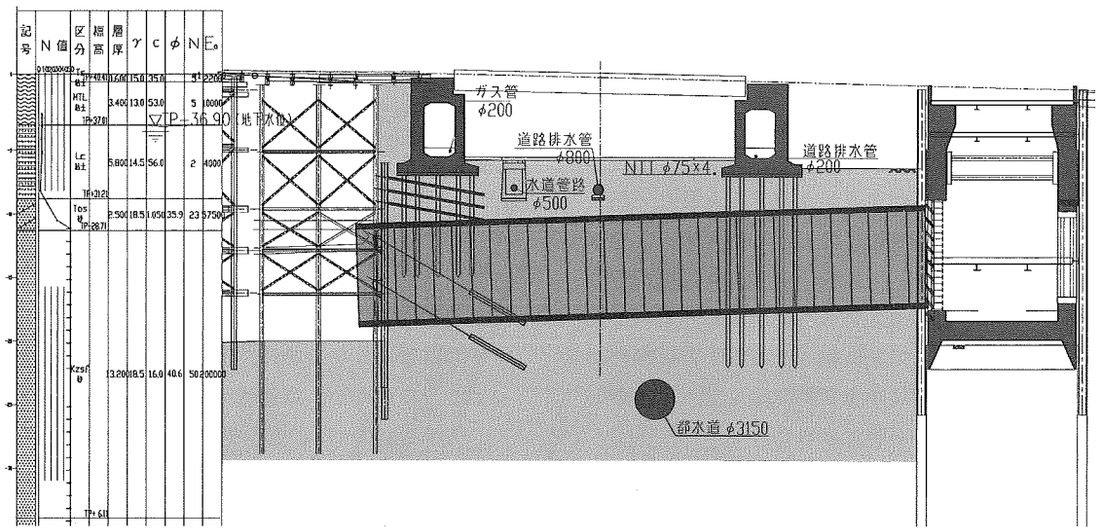


図-4　埋設物の位置関係

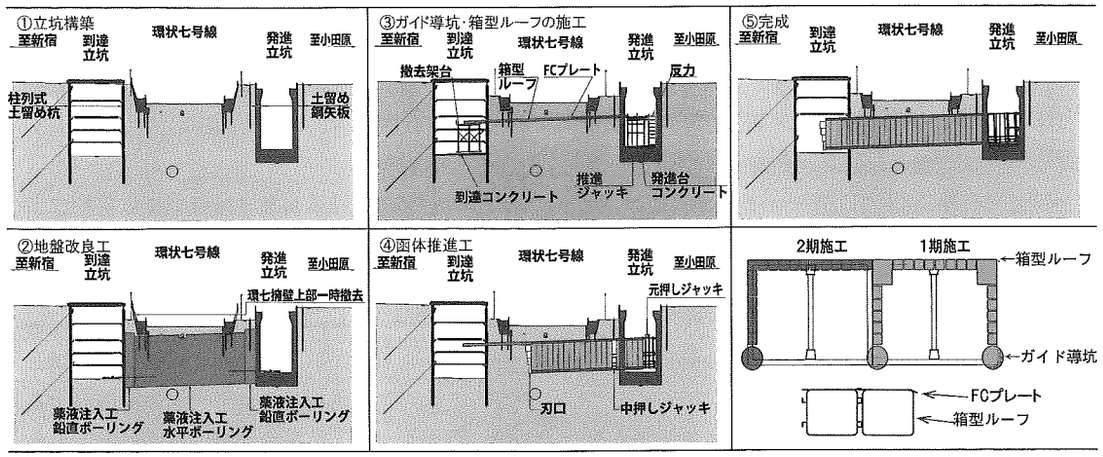


図-5　推進工施工順序図

入)を行う.

③　函体推進時の定規となるガイド導坑の構築を行い，函体の外縁に合わせ箱型ルーフの施工と上載土と縁切り用のフリクションカットプレート(以下「FCプレート」)を設置する.

④　地山の掘削を行いながら函体を前進させ，FCプレートの下で箱型ルーフと置き換える.

⑤　完成.

5　躯体構造の選定

当初計画では現場打ちRCボックスカルバートとしていたが，施工計画にあたり以下のような課題が発生したため，構造変更を行う必要があった(図-6).

①　躯体の製作・養生に約2か月要するため，掘進停止による切羽の開放が長時間となり，道路面の沈下による道路交通の支障，埋設物への影響をきたすリスクが考えられた.

②　1期，2期の分割施工となるため，2分割で推進完了後，上床版，中壁，下床版をはつり取り，一体化させる必要がある．これにより，現場接合で一体化させることの信頼性に欠け，接合部は半永久的にメンテナンスが必要となることが懸念された.

これらの課題に対し，検討した結果，躯体製作時間を省略できるプレキャスト躯体を選定し，接続部分の懸念については，接続を行わずに1期と

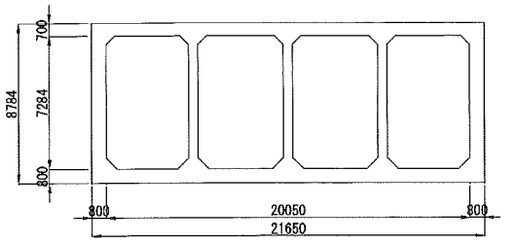


図-6　RCボックスカルバート(当初案)

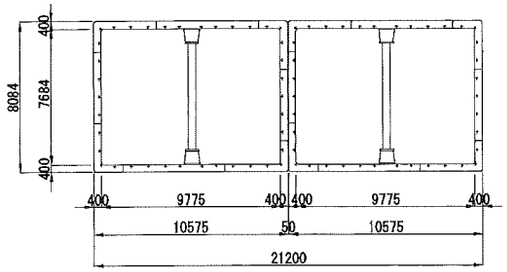


図-7　合成セグメント構造(採用)

2期の躯体を合わせ壁のように施工するかたちとした.

プレキャスト躯体の構造は以下の理由により選定を行った.

①　函体推進時において，最終構造物の函体を損傷させないために，50㎜の施工余裕を取った．このため，最終線形を確保するために躯体厚を400㎜とする必要があった.

②　プレキャスト躯体構造としてはRC構造，鋼構造，合成構造の3構造が考えられる．RC構造については曲げ卓越の状況下で400㎜の設定を行うことができず，鋼構造では変位を抑制するには経済的に不利な形状となる.

以上のことから，外側が鋼殻で覆われ，内側にはコンクリートを充填し，一体化された矩形サンドイッチ型合成セグメントを採用することとした(図-7).

6　計　測　管　理

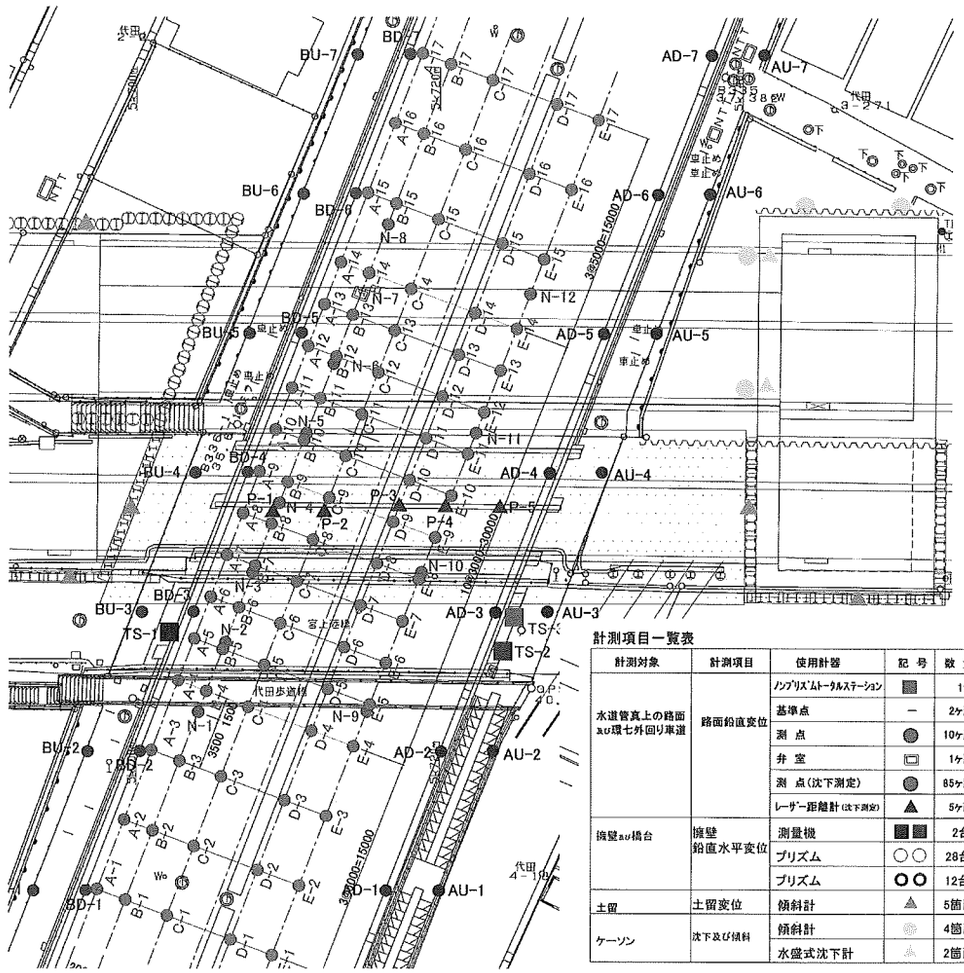
施工協議において，道路管理者および埋設企業者との協議を重ね，表-2に示す管理値を設定し，計測管理を行った．計測機器の選定についてはノンプリズム型トータルステーションを使用し，自動計測による24時間体制のリアルタイムで，路面および周辺道路・構造物の計測管理を行うこととした(図-8).

7　1期施工の実績と問題点

1期施工における地盤改良は，道路交通の阻害を考慮し，構築された立坑内で行える水平薬液注入工法で実施した(図-9)．しかしながら，全体計画の約80%に達した時点で，道路面の隆起が2次管理値に達したため，道路管理者，埋設企業者と

表-2　管理値(道路表面管理)(採用)

計測項目	1次管理値	2次管理値
道路面	±15㎜	±20㎜
水道管路	± 7㎜	±12㎜
ガス管路	±15㎜	±20㎜
NTT	±15㎜	±20㎜



計測項目一覧表

計測対象	計測項目	使用計器	記号	数量	備考
水道管真上の路面および環七外回り車道	路面鉛直変位	ノンプリズムトータルステーション	■	1台	TS-3
		基準点	−	2ヶ所	既設マンホール
		測点	●	10ヶ所	N-1～N-12
		弁室	▭	1ヶ所	
		測点(沈下測定)	●	85ヶ所	A-1～E-17
		レーザー距離計(沈下測定)	▲	5ヶ所	P-1～P-5
擁壁および橋台	擁壁鉛直水平変位	測量機	■■	2台	TS-1,TS-2
		プリズム	○○	28台	10m間隔、7ヶ所上下に設置
		プリズム	○○	12台	6台×2=12台
土留	土留変位	傾斜計	▲	5箇所	
ケーソン	沈下及び傾斜	傾斜計	▲	4箇所	
		水盛式沈下計	▲	2箇所	

図-8　路面および擁壁変状計測

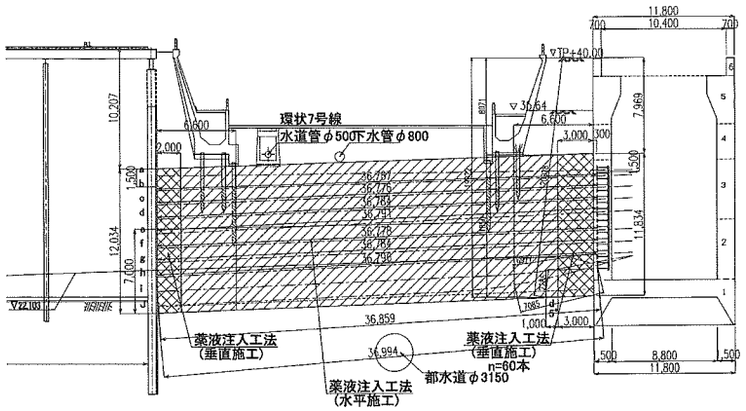


図-9　薬液注入施工縦断図(１期施工)

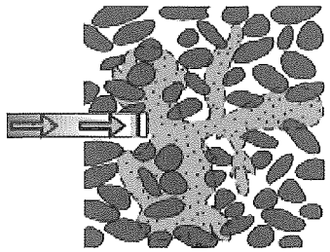


図-10　割裂注入イメージ

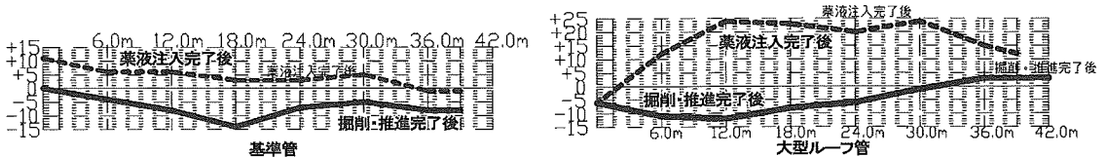


図-11　水平ルーフ隆起指数

協議のもと薬液注入作業を終了した．

計画注入量が十分に施工できなかったことを踏まえ，薬液注入の効果確認のため，道路上から地質調査を実施した．その結果，トンネルの通過地層である上総層群の砂層(kzsf層)は部分的にシルト質細砂が互層状に混在していることが確認され，このような地層における水平薬液注入の施工では脈状の割裂注入となり，止水性の問題が懸念された(図-10)．その対策として，出水の有無を確認するチェックボーリングと補足薬液注入を行うため，水平ルーフの両端部をボーリングマシンが入る大きさまで拡大した．

水平ルーフ完了後，チェックボーリングを実施した結果，出水が確認されたことから改良範囲に未改良部分が見受けられることがわかった．そのため，水平ルーフの両端部から補足薬液注入を実施した．その影響で水平ルーフが道路面側に，基準管で約10㎜，大型ルーフで約30㎜隆起した．水平ルーフが上部にせり上がったことにより水平ルーフと上載土の摩擦力が高まり，函体推進開始時の箱形ルーフ推進時に，計画ジャッキ推力300tに対し400t程度の推力を要し，推力不足による追加設備が発生した(図-11, 12)．

以上のとおり，１期施工においては，より慎重な施工が要求され工程の遅延が発生した．

図-12　水平ルーフせり上がりイメージ

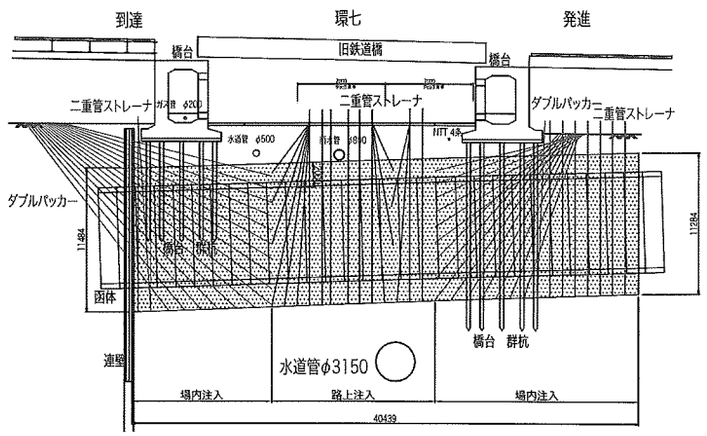


図-13　薬液注入施工縦断図(２期施工)

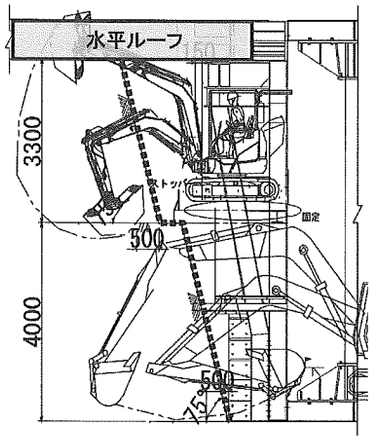


図-14　函体推進時の掘削断面

8　２期施工の改善点と実績

8-1　地盤改良工

１期施工において，水平薬液注入による未改良箇所が発生したことを踏まえ，道路管理者と協議のうえ，夜間車線規制による作業帯を設置し，環状七号線路上からの薬液注入と立坑内からの斜め注入を採用することで，さらなる止水性の向上を図ることとした(図-13)．

注入実績としては，１期施工と同様に道路面の隆起が発生したため，全体計画の約70%にて施工を終了した．未改良箇所が予想され，薬液注入の効果確認をする必要があったため，以下の対策を行い，掘削推進時の安全性の確認を行った．

（１）　出水の確認

掘削断面に対し水平ボーリングを４か所施工し，出水の有無を確認した．出水量は１～２L/分程度となっており，大きな未改良箇所がないことを確認した．

（２）　切羽の安全性

薬液注入における設計注入率から，岩盤または硬い粘土からなる地山相当に改良することで，切羽角度を75度と設定している(図-14)．

２期施工の注入率は全体計画に対し70%であったため，切羽角度の設定が安全かどうかを確認する必要があった．そのため水平ボーリングにて改良体を採取し，一軸圧縮試験を行うことで改良体の粘着力を確認した．その結果，問題のない結果を得ることができ切羽の安全を確認した．

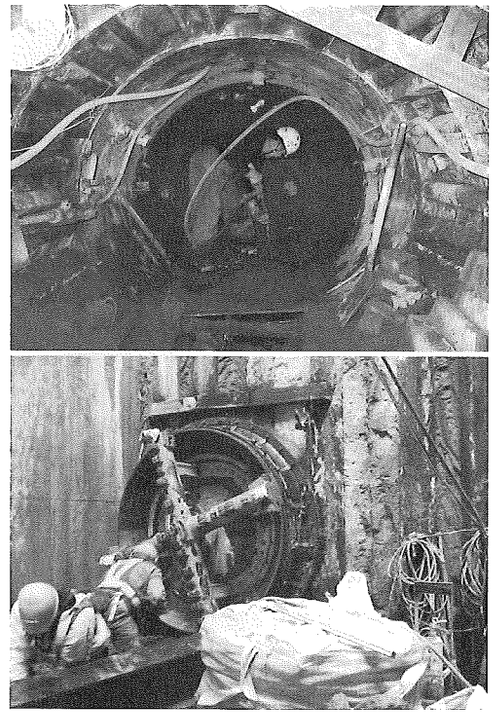


写真-2　切羽開放型人力掘削((上)１期施工)と密閉式推進工法((下)２期施工)

8-2　ガイド導坑工

２期施工のガイド導坑は，施工精度，安全面を考慮し，以下の理由により工法変更を行った．

（１）　施工精度の必要性

ガイド導坑は函体推進の定規となるものであり，一定の精度が求められる．５章で述べたとおり１

期と２期の函体の間は50㎜の離隔を定めている．そのため，２期施工におけるガイド導坑の精度については，より高い精度が求められた．

（２）　安全性の向上

１期施工では開放式刃口推進工法(切羽人力掘削)を採用したが，地下水位以下での施工のため，切羽部での漏水による切羽崩壊のリスクを伴うものであった．以上のことから切羽崩壊のリスクの低減と施工精度を考慮し，密閉式推進工法(機械化施工)を採用した(**写真-2**)．

8-3　函体推進工

１期施工の問題点に対する対策と安全性の向上を図った項目について以下に述べる．

（１）　函体推進時の対策

１期施工において推進開始時の推進不良が発生したことを踏まえ，摩擦軽減を目的とし，水平ルーフとFCプレートとの間に特殊な滑材を塗布しながらの施工と，ルーフ推進ジャッキをルーフごとに１本ずつ増設することで推進力を高めた．その結果，２期施工においては計画ジャッキ推力450tに対し350t程度の推力で推進を行い，計画推力内で安全に施工を進めることができた．

（２）　推進時の掘削作業における対策

函体推進時の掘削におけるリスクとして，以下があげられる．

要因①　過掘りおよび狸掘における切羽の崩壊
要因②　切羽からの異常出水による切羽の崩壊
事象①　道路面の沈下による交通支障
事象②　労働災害

以上のリスクを踏まえ，さらなる安全性を高めるため，１期施工での上段は人力掘削，下段は機械掘削(細部は人力掘削)から，切羽先端部での人力作業削減(切羽崩壊によるリスクの低減)を目的とし，上下段機械掘削を採用した(**図-15**)．また，

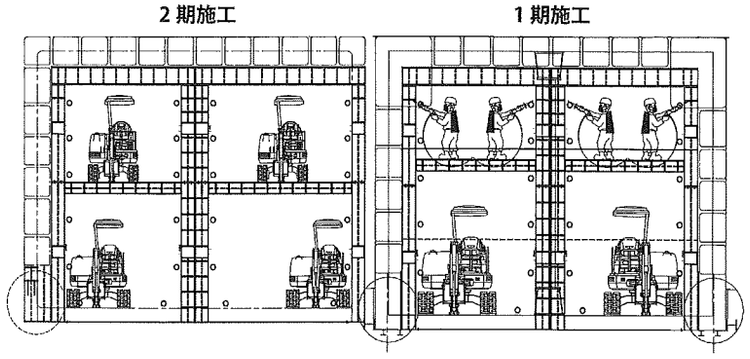


図-15　掘削方法の変更

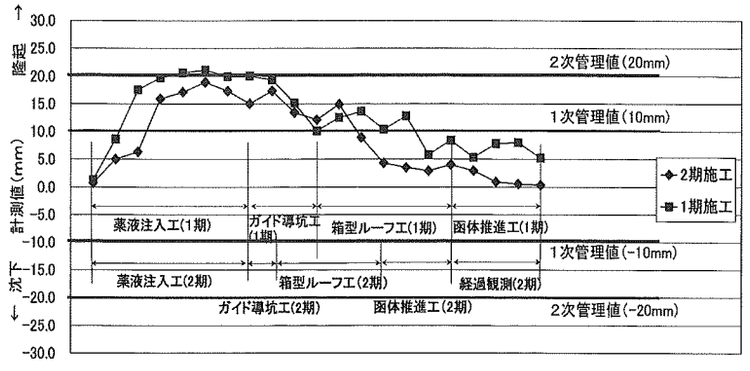


図-16　路面計測結果

切羽からの出水対策として掘削断面に４か所の水平ボーリングを行い，水抜きドレーンを設置することで掘削範囲の湧水を排水しながらの施工を行い，出水に対するリスクを低減した．

以上の各種対策を講じた結果，２期施工を問題なく完了させることができた．

9　道路および埋設物への影響(計測結果)

自動計測器による道路路面および埋設物の計測実施において，**図-16**に示す結果となった．

地盤改良施工開始から序々に隆起が見受けられ，２次管理値付近に達した時点で薬液注入施工を終了している．箱型ルーフ施工では，掘削による地山の緩みなどにより約10㎜の沈下が発生したが，トンネル推進施工時では地山とFCプレートの間に裏込め注入により隙間を埋めたため，約５㎜の沈下で抑えることができた．１期施工，２期施工ともにほぼ同じ動きを示すが，２期施工について

表-3　実績工程表

	工　種	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
１期施工	薬液注入工	■	■	■	■	■	■	■	■	■															
	ガイド導坑工										■	■	■	■	■										
	箱型ルーフ工															■	■	■	■	■	■				
	函体推進工																					■	■	■	■
２期施工	薬液注入工	■	■	■	■	■	■	■	■	■															
	ガイド導坑工										■	■													
	箱型ルーフ工												■	■	■	■	■								
	函体推進工																	■	■	■	■				

は薬液注入時に２次管理値超えることなく，隆起を抑えて施工ができている．また，工事完了後，直近の埋設物である道路排水管路について目視による事後調査を実施し，漏水および亀裂の損傷などがないことを確認した．

10　工　程　実　績

１期施工および２期施工の実績工程を**表-3**に示す．

工程を比較すると，全体工期において１期施工が約24か月に対し，２期施工が約19か月となり，約４か月の短縮を図ることができている．その要因を以下に示す．

①　薬液注入の工法変更により止水性の向上を行うことで，箱型ルーフ・函体推進時の掘削作業における効率性を高められた．(約0.5か月の短縮)

②　ガイド導坑の密閉式推進工法による，安全性を考慮した機械化施工の採用．(約３か月の短縮)

③　函体推進時の掘削方法を人力掘削から機械掘削へ変更．(約0.5か月の短縮)

以上のことから，効率性の向上を図ることができたことに加え，R&C工法は機械損料がコストの多くを占める工法であるため，損料期間の短縮によるコストの削減を図ることができている．

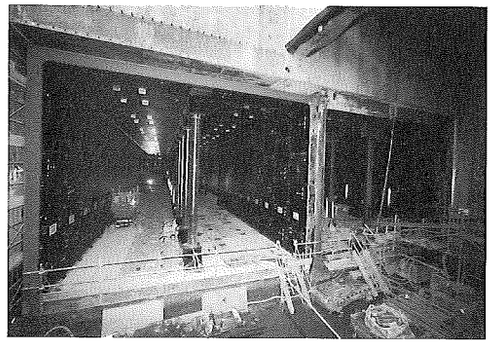


写真-3　函体推進完了((左)２期施工，(右)１期施工)

11　お　わ　り　に

今回，１期施工の実績を２期施工に活かすことで，さらなる安全性の確保と効率性の向上を図ることができ，無事完了することができた(**写真-3**)．

最後に本工事に関して，道路管理者や各埋設企業者，また，関係いたしました皆様のご協力，ご指導により，無事に環状七号線における鉄道地下躯体構築工事が完成できたことに深く感謝申し上げ，本稿のまとめとする．

参　考　文　献

1) 中込芳雄・伊藤健治：高度な技術を駆使して地下連続立体複々線化事業を推進，小田急電鉄小田原線代々木上原～梅ヶ丘，トンネルと地下，Vol.39，No.5，pp.37-43，2008.5.
2) 中込芳雄：環状七号線交差部(小田急電鉄)トンネル近接工事，基礎工，pp.85-88，2009.2.

Tunnel Wall

滋賀県の隧道と設計者・村田鶴

永冨　謙

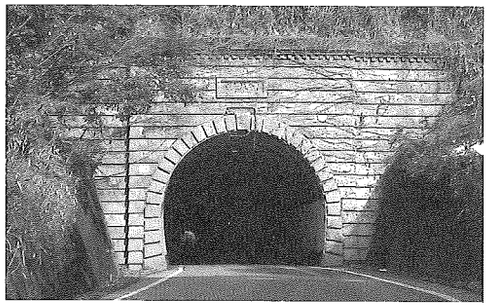
滋賀県はユニークな隧道の宝庫

戦前の土木構造物，とくに道路隧道に興味があり，各地を訪ね歩いています．なかでも滋賀県はユニークな隧道が多く，村田鶴（つる）という県職員が設計したことがわかっている面白い地域です．隧道の設計者が伝わっている例は珍しく，しかも意匠性に優れた隧道ばかり設計した例はほかにありません．このコーナーをお借りし，彼の“作品”や経歴を紹介して，皆様のご意見を伺いたく思います．

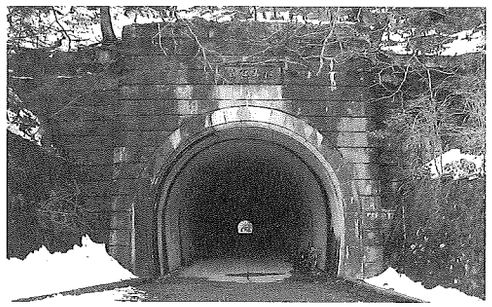
彼が設計した隧道の一つに観音坂隧道（長浜市～米原市，昭和８年竣工）があります．坑口部分が凸形に張り出しているのに加え，木造建築の下見板張りを模した装飾が施され，中世ヨーロッパの城門（？）を連想させる面構えです．土木学会が戦前の土木構造物を顕彰する目的で選定している「近代土木遺産」にも選ばれており，県指定文化財に相当する価値があると評価されています．

長浜市小室町と郷野町の境にある谷坂隧道（昭和10年竣工）も彼が設計した隧道の一つ．下見板張りの壁面に円柱形のピラスターがつけられた新古典主義風の意匠です（近代土木遺産Aランク＝国重要文化財級という評価）．ピラスターは中空になっており，ポータル上の遊水を逃す排水管も兼ねています．意匠と機能を見事に融合させた名設計と言えるのではないでしょうか．

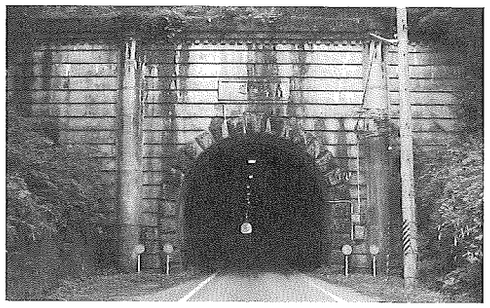
村田氏はほかにも横山隧道・佐和山隧道（大正13年竣工，煉瓦製）を設計したとされています．また彼の在籍中に鈴鹿隧道（大正12年，最初期のコンクリート製道路隧道，下見板張り風の壁面に三つ鉾を載せたピラスター），百瀬川隧道（大正14年，下見板張り風装飾の天井川隧道），湖北隧道（昭和９年，現存唯一の表現主義風ポータル），大崎隧道（昭和10年，擬石積みで景観に配慮）など，意匠性に富む隧道がいくつも作られており，彼の関与があったのではないかと想像されます．



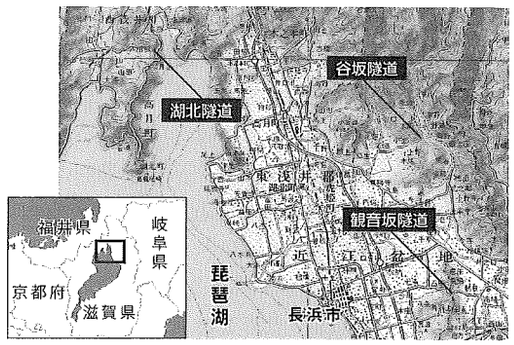
観音坂隧道



湖北隧道



谷坂隧道



村田鶴氏の経歴

村田鶴氏は明治17年茨城県生まれ．利根川のほとりに生家があり，洪水に悩まされる村を見て土木技術者を志したと，ご子息から伺いました．東京にあった技術系私学校・工手学校で学んだのち，明治42年に埼玉県に採用され，志のとおり利根川やその枝川の改修に従事しています．

滋賀県へ移ったのは大正７年のこと．当時は県職員が県をまたいで異動することが珍しくなかったらしく，同じような動きをした技術系職員が何人もいます．そして着任と同時に隧道建設の臨時出張所の主任を命じられ，横山隧道・佐和山隧道の建設に従事しました．埼玉県では県下最初の近代的隧道・畑隧道（明治44年竣工）のあった工区に勤務しており，そこでの経験が買われてのことのようです．滋賀県では橋梁建設にもかかわっており，例えば瀬田唐橋の架替え（大正13年）なども氏の仕事とか．従来の木橋の外観をそのままに鋼桁橋に作り替えたという，これも当時としては珍しい“意匠重視”の改修事業でした．

昭和11年に滋賀県を退職．郷里にほど近い千葉市に移り，終戦まで市の土木課長を務めました．千葉市の都市計画事業や港湾整備にかかわり，京浜工業地帯の先駆けとなる千葉市曽我の埋立地を設計したのも彼です．終戦とともに退職し，倉庫業を興して，昭和54年に亡くなる直前までその職にあったそうです．

氏の経歴からは“叩き上げの技術者”像が見えてきます．工手学校は工学的知識をもつ職工を養成することが目的の，働きながら学ぶことを前提とした夜間学校で，決してエリート養成機関ではありませんでした．また社会に出た時にどんな職業にも対応できるよう浅く広く教えたといいます．そこで得た知識をフル活用し，隧道ばかりか水利土木や都市計画，港湾建設までこなした村田鶴氏は，まさに工手学校が目指した技術者像そのままであったと言えます．逆に言えば手広く手がけた仕事の一つが冒頭の隧道群であったわけで，かえってそれが氏の力量の高さを物語るようです．一雇人から身を起こし，数々の名設計を残した村田鶴氏は，もっと評価されていい“地上の星”ではないでしょうか．



村田鶴氏肖像（上草野村谷坂隧道協賛会『谷坂隧道竣工記念写真帖』より引用）

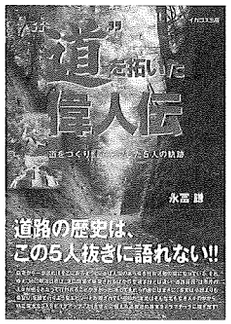
新コーナー「Tunnel Wall」は読者の方からの投稿を受付けます．「本の書評」，「雑談」などトンネルにかかわるものでしたら内容は問いません．ただし，掲載につきましては編集委員会で審査し，掲載をお断りすることもありますので予めご了解ください．ボリュームは3,000字程度で作成してください．詳細は編集部までお問いあわせください．

〔原稿送付先〕
〒162-0832
東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
(株)土木工学社 編集部　TEL：(03)3267-2888
〔提出書類〕
データ（Word，22字詰め，CD保存）および原稿

土木情報 No.468 今月の主な入札結果

（4月10日～5月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東地整	京浜島地区共同溝補強その3	森組	232.3
〃	辰巳(2)共同溝補強その6	森組	161
近畿地整	R9京都西共同溝中堂寺地区	公成建設	245
山梨県	R140(西関東連絡道路)(仮称)万力T八幡工区建設	早野・昭和・植野JV	1,578
大阪府	一般府道大野天野線道路改良(小山田工区)	熊谷組	1,420
鳥取県	県道日野溝口線(Ⅱ期)矢倉T(仮称)(交付金改良)	戸田・井中JV	738
東京都新都市建設公社	吉祥寺東町一丁目地内合流式下水道改善施設築造	フジタ・奥村組土木・三栄JV	2,272.06
稲敷市	24国補公下1-1号，汚水管渠推進	キムラ工業	100
横浜市	港北線口径1000㎜配水管布設替(その3)	松尾・親和JV	565
〃	水場～減圧水槽口径1500㎜導水管布設替(その16)	親和興業	233.1
〃	港北処理区菅田雨水幹線下水道整備(その4)	青木あすなろ建設	300.6
川崎市	2号配水本管1200㎜・1000㎜布設替	間・西武・大恵JV	748
神戸市	新港東地区遮集管整備	奥村・窪田JV	596.72
熊本市	都計事業中部浄化センター雨水滞水池築造(土木)(102工区)	戸田・光進・武末・葛城JV	1,010.1

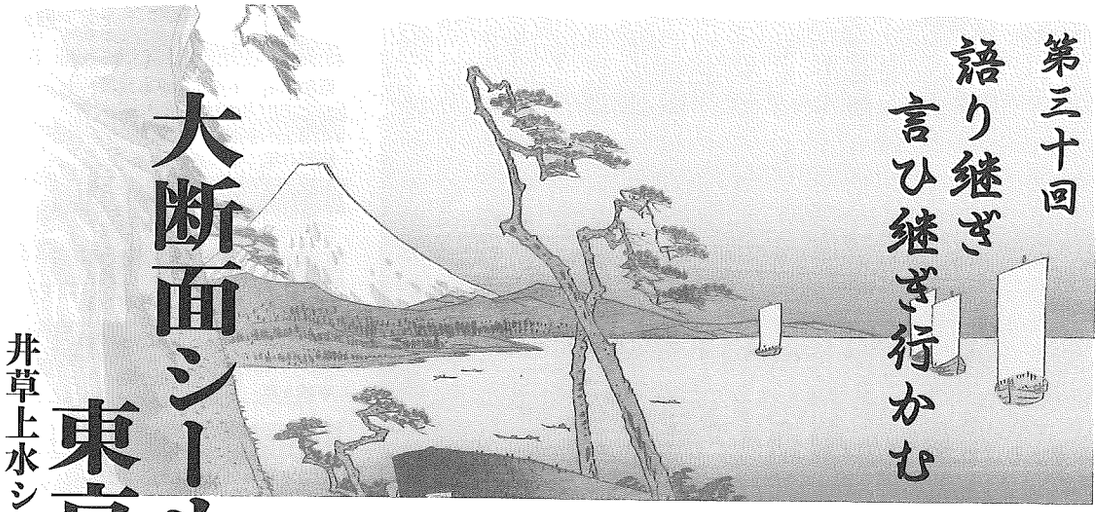


“道”を拓いた偉人伝—道をつくり，道を愛した5人の軌跡

永冨 謙 著 A5判 256頁 本体価格1429円 2011年11月刊 イカロス出版

道は人間のあらゆる社会活動の礎になっている．それゆえ，とくに明治以前は，主に国策で構築されるほかの交通手段とは違い“道路建設”は市井の人々が中心となって行われることが多かった．そしてそれらの中にはまさに「事実は小説より奇なり」を地で行くようなエピソードが隠されている．本書はそんな名もなき人々の中から，とくに偉大な5人をピックアップし，「人」を中心に据えた道路普請の顛末をドラマチックに描き出している．

第1章 村のインフラを作り上げた“稀代の土豪”土倉庄三郎
第2章 “神”を名乗って道普請しまくった天爵大神・水谷忠厚
第3章 “青の洞門”を開削した禅海和尚(真如庵禅了海)
第4章 数々の“名橋”を世に送り出した増田淳
第5章 数々の名隧道を設計した“マルチ技術者”村田鶴



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

(元)大成建設(株)
安保 笑一

はじめに

私は昭和33年大成建設に入社し，入社間もない昭和34年に三重県長島地区へ上陸した伊勢湾台風の災害復旧工事に従事した．翌35年にチリ地震により，北日本沿岸を襲った大津波で被災した北海道厚岸郡霧多布町の災害復旧工事に従事したことも強く印象に残っている．その後，地方支店の工事を経験し，昭和41年東京支店へ配属された．

都市土木の地下鉄工事に5年ほど従事し，私にとって初めての工種であったシールドトンネル工事に携わったのは，杉並上水シールド工事だった．当時のシールド工事は圧気シールドが主流で，これはトンネルの坑口付近に隔壁を設置し，シールドトンネル内の切羽側へ空気圧をかけて地下水の流出を抑えて地山を自立させ，切羽地山を観察しながら人力掘進する工法である．いわゆる「手掘り圧気工法」と呼ばれるもので，0.08MPa程度の圧気をかけての施工であった．この貴重な経験が，シールドトンネル技術を学んだ原点だった．私はこの工事の途中で所長になり，シールド内に油圧ショベルのアームとバケット(レーキ付き半機械掘り式)を取付けて作業効率を向上させたことが思い出される．

その直後，所長として，当時としては大断面の泥水加圧式シールド(φ6,870㎜)を用いた大礫・巨石混じりの東京礫層の掘進を体験したが，未曾有の悪戦・苦闘の連続であったと記憶している．昨今のシールド技術者は，豊富な経験的知識に加え，進んだ新技術を有しているとは思うが，私の経験談が少しでもお役に立つことがあれば幸いと思い語らせていただきたい．

練馬区高野台一丁目～杉並区井草三丁目地先間配水本管(φ2,400㎜)新設工事

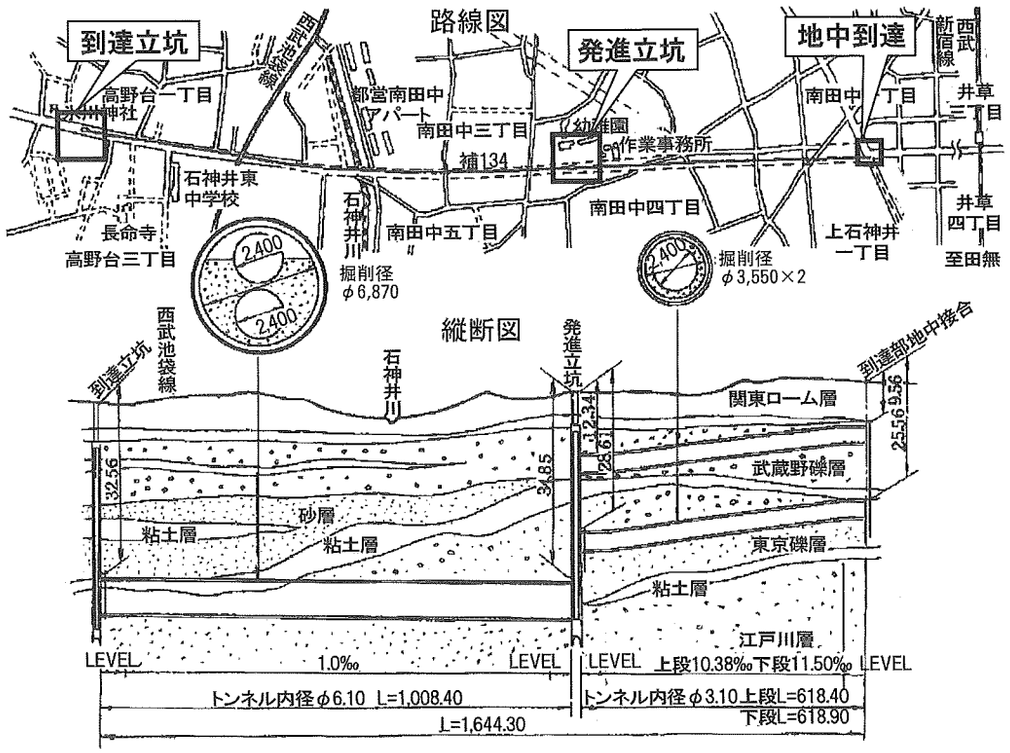
昭和46年ごろ，東京都では人口の増加，生活水準の向上，核家族



井草上水シールドの安全祈願成就と貫通祝いでダルマに目入れをする筆者

著者略歴

昭和33年	大成建設(株)入社
昭和36年	本別水力ダム堰堤
昭和39年	日本鋼管新設
昭和41年	中央高速道路
昭和45年	営団，京王地下鉄
昭和50年	杉並シールド所長
昭和53年	井草シールド所長
昭和56年	昭和島シールド所長
昭和63年	本社東京支店技術部
平成４年	東京湾横断道路 シールド副所長
平成８年	大成建設(株)退職
平成９年	コマツ本社　嘱託
平成15年	コマツ本社　退職



井草上水シールド路線図および地質縦断図

化の進行，下水道の普及，多摩地区都市化の進行などにより，大幅な水需要の増加が予想されていた．当時すでに日量約560万tの給水能力を維持していたが，さらに220万t増強するため，利根川，江戸川から取水し，三郷浄水場，金町浄水場，村山浄水場などの新設・増設がなされていた．これにあわせて送水管の連絡により浄水場間の相互融通機能を強化する目的で，第４次利根川水道拡張事業が策定され，計画が実施されていた．

本工事はその計画の一部で，浄水場～給水所間に配水本管を埋設し連絡するもので，発進立坑を築造し，φ6,870㎜を１条およびφ3,550㎜を２条のシールドトンネルを施工し，配水本管φ2,400㎜を２条設置する工事であった．

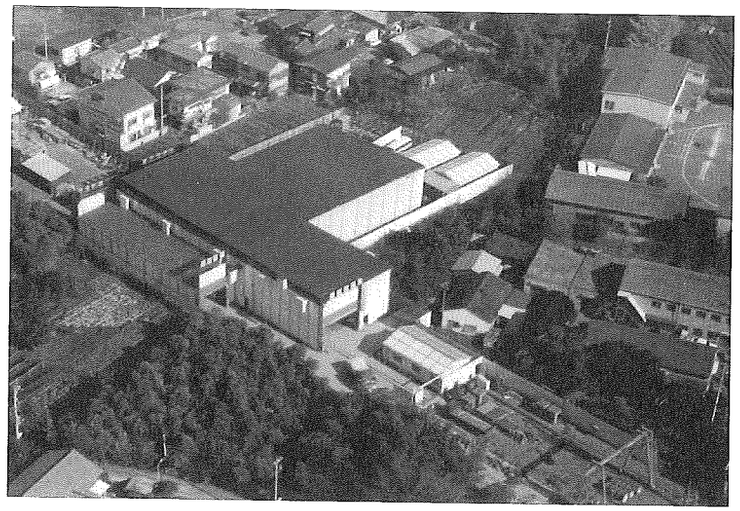
私は昭和52年９月にこれに関連する前出の杉並シールド(坑内圧気，手掘り式)φ3,350㎜の現場から，井草上水シールド作業所の作業所長として着任した．

沿　道　対　策

工事着手に先立ち，発注者と施工者で，発進立坑から半径100mの住民を対象に，工事内容の説明会を行った．当時，この地区の昼間騒音は50db程度で，住民の工事騒音に対する反対運動が厳しく，説明会をくり返し行っても，着工の見通しが立たず，区議会議員・住民有力者を仲介に昼，夕，夜間，違わず話合い，その解決に約５か月を要した．その結果，工事騒音を60db以内に抑えるため，発進立坑工事用地全体，騒音の出る仮設機械設備など，全体を防音ハウスで囲って工事を施工することとなった．全体で防音パネルの面積が3,250㎡という大規模なものであり，工事現場としては日本で初めてと思われるほどの，まさに大きな工場のようであった．

発進立坑工事（ニューマチックケーソン工法）

ケーソン躯体は21m×13m×深さ47mで比較的大きかった．沿道問題も解決し，工事は順調に進んだが，沈下オーライまで４mを残すところで周辺摩擦抵抗が急激に増大し，沈下が困難となった．さまざまな手を尽くして沈下を進めていたが，途中，急激な沈下が生じケーソン躯体内に満杯に張っていた水加重の水が急激に地中へ抜け始めた．水加重の水面は表面水位が停止し，地下水位とバランスしているのを確認した．



防音ハウス全景

水抜けの原因を検討した結果，ケーソン躯体のφ6,870㎜シールド発進部の「仮壁用鋼板」の溶接部の一部が破損し，そこから水が抜けているものと推測した．

ケーソン躯体部は，潜函作業室天版から地上までの躯体内が高さ約36m，水中には足場支保工，飛来落下防止用ネットが幾重にも張り巡らされていて，ジャングルジムの状態で，なおかつ，水中の視界も非常に悪い状態であった．そこで，水の抜けたであろう箇所と現状を把握するため，ダイバーによる探査を実施した．

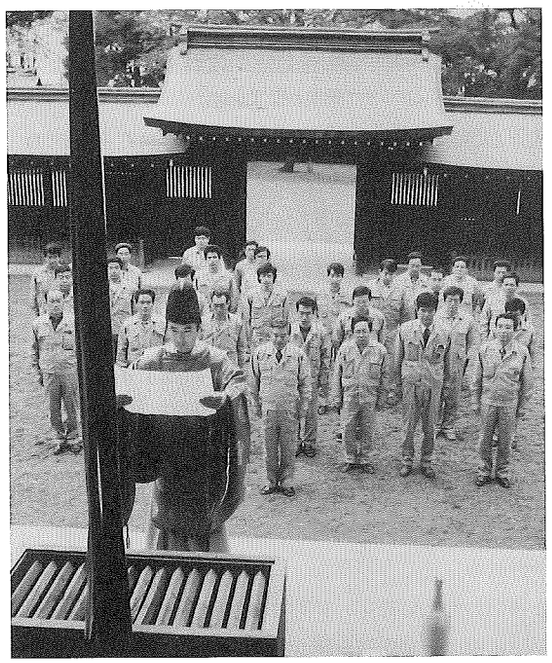
水中は暗く濁っているためか，ダイバーの様子は上からは確認できない状態が長く続く．ダイバーは指示された発進部の「仮壁用鋼板部」へ向かって潜った．飛来落下防止ネット，足場支保工をかわして辿り着き，目視確認できただろうか．そんなことを考えている間に時間はどんどん過ぎていった．予定時間を８分過ぎたころ，マンロックシャフト付近の水面下２m辺りから，はじめ小さい泡粒が浮上したかと思うと，少しして黒いウエットスーツのダイバーがゆっくり水面上に頭を出した．小刻みに呼吸をしている．

皆はダイバーの無事の浮上に歓声の声を上げた．彼は酸素ボンベを身に着けていなかった．ジャングルジム状態の落下防止ネットに酸素ボンベがひっかかり，身動きができなくなり，持っていたナイフでネットを切りながら浮上し始めたが，それも適わず酸素ボンベを放棄したとのことであった．無事で良かった，と安堵したが，無茶な潜水を強行させたことを，深く反省した．

その後ダイバーから「仮壁用鋼

板」のダメージの状況を聞くことができた．やはり，開口部底辺部の鋼板の溶接継ぎ目部が剝離し，押し出されていることが判明，その修復と補強方法を検討した．

翌日から万全の安全体制を整え，時間を要する困難な水中溶接作業であったが損傷箇所を修復することができた．その後，無事にケーソンを予定深度まで沈下させることができた．



シールド発進の安全祈願

思うところあって，ケーソンの厄払いとシールド工事の安全を所員全員で祈願した．

巨礫が混在する砂礫層と高水圧に挑戦した大口径シールド（φ6,870㎜）

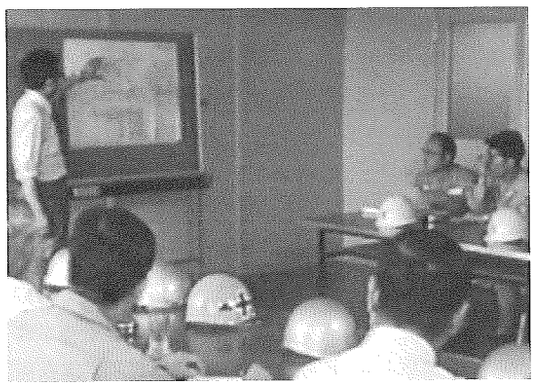
掘削対象地盤の大部分は透水性が高く人頭大以上の巨礫を含む東京礫層であり，水圧も最大0.37MPaの高水圧であることを，完了した発進立坑のケーソン工事で確認していた．これらを踏まえ，全社的な応援を得て，礫泥水加圧式シールドの製作検討会を「特別シールド委員会」として立ち上げ，それぞれのエキスパートを召集して検討を始めた．シールド仕様を検討するにも地質条件が厳しく，それを念頭に入れた当社でも類を見ない施工検討となった．シールドの仕様検討をした結果，以下の項目について実績がなく，大きな課題となった．

① マシンチャンバ内へ取り込んだ中・大礫と土砂の分離とその流体輸送方法
② 約1,000mをカッタビット無交換での掘進
③ 高水圧下における硬質ウレタン製土砂シールの耐久性

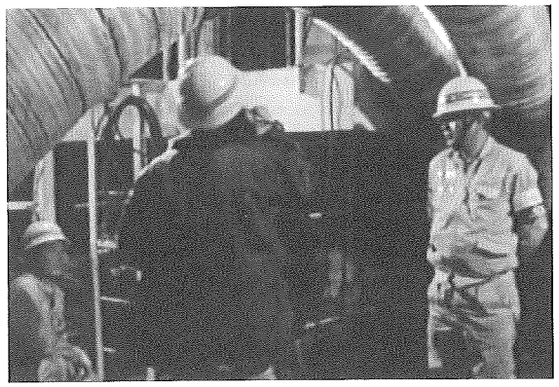
など

当社では，当時，泥水シールドは２本目ということもあり，いずれの課題も初めて取り組むものであった．シールドメーカーとともに各パーツに技術検討を加え，試行錯誤をくり返した．

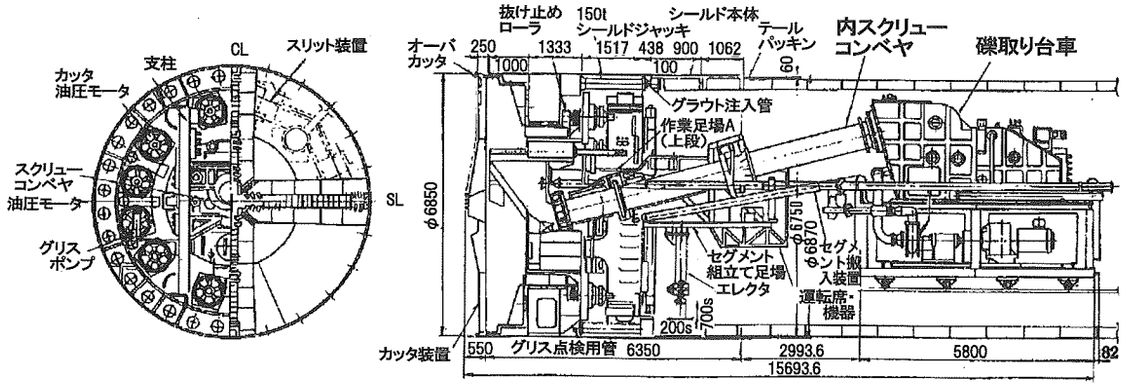
とくに国内初の試みとして，泥水式シールドマシンのチャンバ内



検討会議の様子



シールド設備立会い（右が著者）



φ6,870㎜シールド仕様概要図

へ取り込んだ中・大礫と土砂の分離および輸送のため，硬質ウレタン製内スクリューコンベヤ，礫取りタンクを採用することにした．これらは実物大の模型を作製し，工場で実物大の礫を使用して作動実験をくり返した．その結果にもとづき改良を幾度も重ね実機に取り付けた．

初期掘進時のトラブル

シールド掘進を開始した昭和54年４月上旬だった．泥水圧を計画の０～0.15MPaへと徐々に上げていたところ，礫取りタンクへ接続しているフレキシブルで硬質ウレタン製内スクリューコンベヤが，突然「ちょうちん」のように膨らみ出し回転不能な危険状態になった．

工場での実物実験を内水圧を掛けずに行ったという実に単純なミスが原因であった．ウレタン製内スクリューコンベヤの膨張防止に，外側へスパイラル状に丸鋼材を巻いてテストするなど試行錯誤しながら掘進作業を行った．またそれに加え，内スクリューの羽根（ウレタン材）の溶着箇所の剝離，羽根の高さやそのピッチの不具合で，礫をスムースに送り出せないなど，そのたびに構造修正や部品製作，交換作業のため，掘進を休止することが多かった．最終的な内スクリューコンベヤの対策として，帯状の鋼板とボルトで固定するなどで膨張を防ぎ，掘削土砂・礫をタンクへ送り込むことができるようになった．

土砂シールおよび軸受けシールのトラブル

採用した軸受けの構造は，現在主流の転がり軸受け構造のベアリングではなく，すべり軸受けであるメタルタッチベアリング構造であった．この両側にシール材を設けて止水する簡素なタイプであり，高水圧の実績も乏しいものであった．また，現在は工場で組込んで現場搬入するが，当時は部品個々を搬入し現場で組立てており，精度上も課題があった．

掘進の進行とともに泥水圧を0.35MPaまで上昇させていくと，シールドの軸受け部から給脂用のグリスが押し出され始め，泥水も混じるようになった．軸受け部に填充されたグリスが，シールを抜け，泥水圧で押し出されていることがわかった．

このまま掘進を進めると，シールド軸受け部のダメージが増大するとともに，切羽の泥水がシールを通って坑内に多量に流入し，掘進ができなくなる恐れがあった．

シールド工事は，発進した直後で初期掘進を始めたばかりであり，このシールドの軸受け部のダメージを最小限にとどめ，残り約1,000mをいかにして掘進させるか，またシール部から流出する泥水をどのように止めるか，それに加えて，軸受けのメタルタッチベアリングの摩擦による温度上昇の弊害への対策が必要となった．

本社，作業所職員，マシンメーカー合同で検討に入ったが，高水圧下でのシールドの改造改修は，短期間では不可能である．改修費，工程などを考慮すると，結局，軸受け部へ大量のグリスを注入し，各部の損耗をできうるかぎり最小限にする方法を取らざるを得なかった．シールを増設してグリスの流失や切羽泥水の漏出を防止する方法を採り，かつ軸受け部の温度上

昇を抑えながらなんとか掘進を続けた．

そんな対策にもかかわらずグリスの漏出は止まらず，そのグリスが泥水プラントへ還流される．水溶性のグリスを使用していたため泥水プラントが泡だらけになり，設備の調整処理機能も低下した．

泥水プラントでは消泡作業に追われ，グリスも大量に浮いていて，除去作業に職員および作業員を増員して当たった．また，シールド坑内は，インバート上約50cmにある軌条用枕木の上まで泥水と浮いたグリスで満たされた状態で，それが立坑まで続いている最悪の作業環境であった．試行錯誤の末，グリスを水溶性から難水溶性の鉱物系に替えた結果，泡の問題はほぼ解消されたが，１リング掘進(900㎜)に使用したグリス量は変わらず最大ドラム缶１本と，膨大なグリスの使用量であった．

礫取りタンク(台車)との戦い

排泥輸送を連続的に行うため，切羽からの土砂・礫を50㎜で分級する設備として礫取りタンクを設置していた．この礫取りタンクはマシンメーカーで試作し，立坑工事で採取した礫を使用した実証実験ののち，実機として現場に搬入した．

初期掘進でシールドが地山へ入って間もなく，排泥管が閉塞して掘進がストップした．マシンメーカー工場での実験では見られなかった現象が，次から次へと続けて発生し，変形や破損などが生じた．そのつど改造をくり返し本来の機能を発揮させるまでに，ここでも試行錯誤をくり返さざるを得なかった．

１リングも進行できず何日も改造をくり返していた時期のある日，突然，下請作業員が１人もいなくなってしまった．その日の礫取りタンク改造状況確認の掘進は，作業所社員だけで１リング分を掘り終えたのだった．その後，下請作業員は補充されたが，作業所職員は毎日，全身泥水とグリスまみれで，作業着の洗濯が間に合わず汚れたままの者も多くいて，私は，皆に頭を下げる思いで現場を巡視していた．

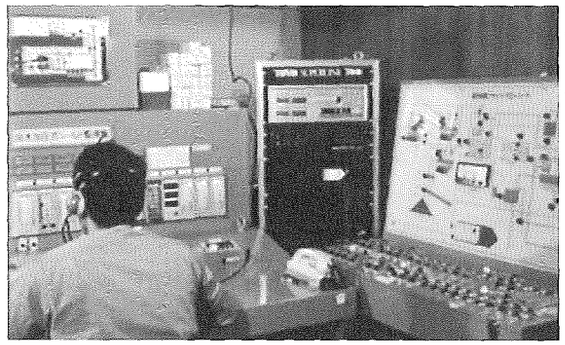
またこのころには，本社土木本部長命で，将来のシールド工事技術者を養成する意味合いも含めて，各支店から土木社員(30～34歳前後)２～３人，３か月から長い社員で１年以上にわたり，常時６～７人が当作業所へ技術研修として参加した．皆当作業所職員の一員と同じように苦労をともに頑張ってくれたことに対する感謝の気持ちで一杯だった．彼らは後年全国のシールド工事の所長や責任者として活躍されたと聞いている．

カッタビットの改良・交換とカッタスポークの修復

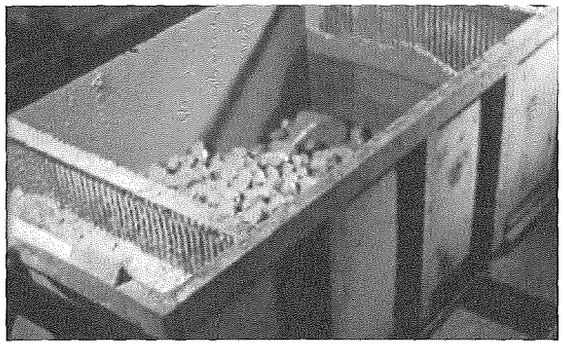
掘進を開始し，５か月過ぎたころから大礫も少なくなった．

当時のシールド工事では礫層掘削事例も少なく，カッタビットの摩耗やカッタスポークの耐久性が不安要素であったが，まさにこの技術力の未熟さ，経験不足や勉強不足が原因で重大な局面を迎えることとなった．

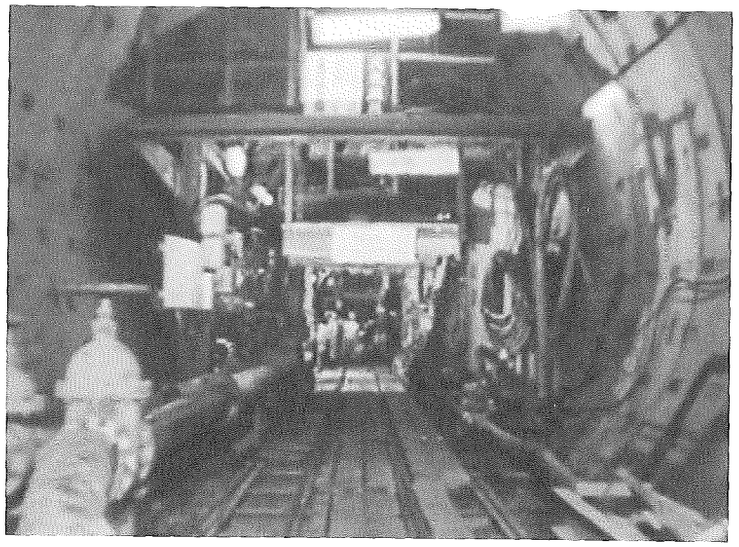
相変わらずグリスの使用量は膨大であったが，掘進は順調に進んでいた．412リング(約376m)目の掘進完了後，礫取りタンクの中の礫を取り出すため，泥水を抜いてタンクの中を点検したところ，「ボルト孔があるカッタビット形状のもの」を発見した．それは草刈り鎌のような薄さで，ボルトの頭が完全に摩耗し，脱落してタンクに取り込まれたカッタビットだった．



中央監視操作室



ずり缶による巨礫搬出



φ6.87mシールド坑内

掘進データに異常はなく，順調に掘進されていたので，出てきたビットの摩耗状況を見て，なにかの間違いではないかと思った．これでは想定していた掘進距離の半分程度で摩滅してしまったことになる．

ビットの交換のための課題の検討と作業の準備に入り，590リング目(掘進長536m)をビット交換場所と決め掘進を続けたが，薬液注入ゾーンまでのシールド掘進中には，すり減ったビットが礫取りタンクで次々と発見されるようになり，排泥設備を損傷する一因ともなっていた．

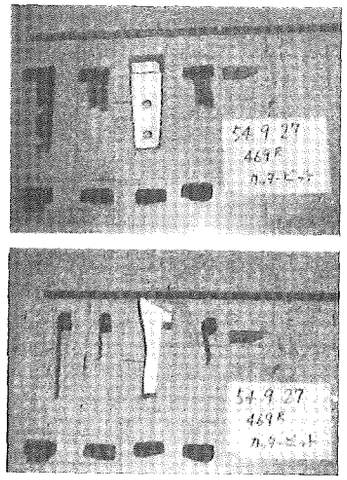
このころ，シールド先端では，カッタ外周部の大部分が摩耗してビットはなくなり，カッタ本体が摩耗しながら地山を掻き崩して掘進していたと思われる．排泥管閉塞解除や礫取りタンクで回収された鉄片の残骸を処理しながらも無事予定位置に停止させることができた．

現状の切羽地下水圧は0.28MPaと高く，薬液注入に加えて，補助として坑内切羽に圧気を0.1MPa程度をかけ地山の崩壊防止と作業の安全を図った．

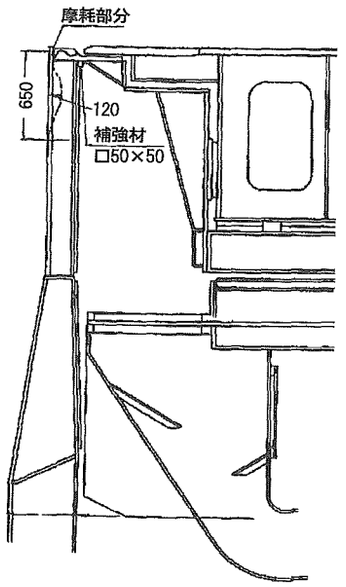
シールド停止から掘進再開までは，文字どおり昼夜突貫の修復工事で，とくにマシンメーカー技術者たちの活躍は大きく，20日間の掘進停止期間でシールド掘進を再開することができた．

シールド掘進も終盤に入り，苦難続きの1,000mの掘進を終え，いよいよ到達を迎えることとなった．

シールドが到達する４～５m手前から，シールドのカッタで地山を削る音が，到達立坑側にも聞こえ始めた．「カリ，カリ，……」，それから１日半，遂にカッタの先端部が到達立坑の仮壁に当たる「ゴリ，ゴリ」という音を聞き，掘進を止めた．



カッタビット摩耗状況

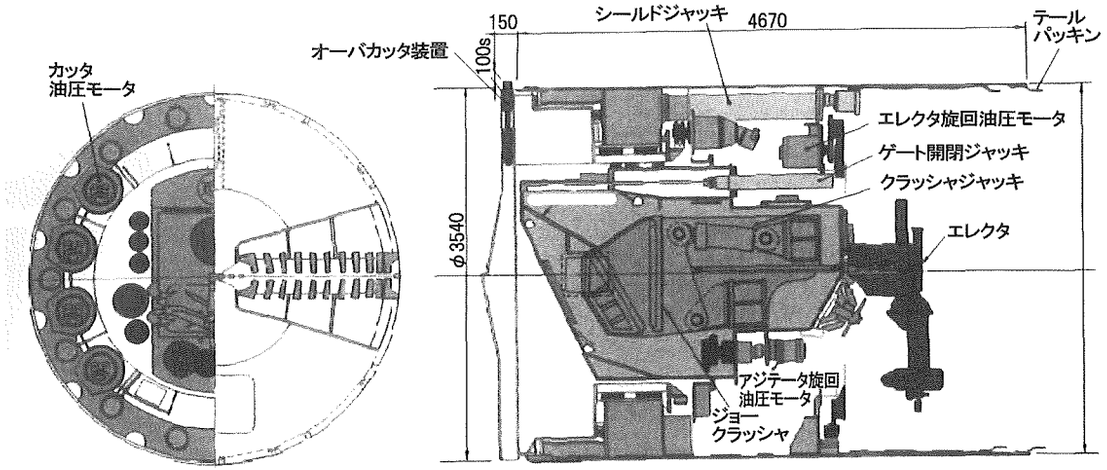


スポーク摩耗状況図

昭和55年３月20日，午前２時過ぎ，感動の到達であった．私の心は静かな喜びと安堵感で一杯だった．

同時進行のシールド工事

一方，昭和54年７月下旬に同一立坑から反対向きに，同時にシールド掘進に入った中段のシールド(φ3,550㎜)の対象土質は，巨礫



φ3,550㎜シールド仕様概要図

を含む砂礫層とレンズ状に介在する粘性の高い硬質粘土層であった．

巨礫対策として，当社では初めての構造となるシールド内にジョークラッシャを装備したシールドの採用を，特別シールド委員会で検討し採用した．

これも実際に使用するジョークラッシャをシールド製作工場へ持込み，礫の粉砕状況，実機へ組み込んだときの粉砕状況などを確認した．

この実証実験も，泥水圧をかけずにしかも砂礫の連続投入負荷実験ではなかったため，現場に搬入しシールド掘進に入ってから種々のトラブルが発生することとなった．

ジョークラッシャの開閉を自動操作する検知棒が，流入する掘進土砂が回り込むことによりたびたび破損し，そのたびに機能回復に掘進作業が中断した．さまざまなトラブルが多発し，関係する職員・技術者・作業員は，そのつどクラッシャのタンク内へ入るなど，復旧作業でいつも泥水まみれだった．

中段シールド（φ3,550㎜）掘進工事L＝619mは，翌昭和55年２月上旬に接合地点へ到達した．上段シールド（φ3,550㎜）の掘進工事は先行２本のシールド掘進工事の学習効果が発揮され，シールドは改良されて比較的スムースに到達できた．

私は，このシールド工事に携わった発注者の方，本社をはじめ，各支店から参加された大勢の技術社員，不休不眠を厭わず活躍された作業所全職員の皆さんに対し，感謝の気持ちで一杯だった．そして，このシールド工事を通じて，非常に多くのシールド技術を学んだ．

海底大断面（φ9,700㎜）シールドトンネル工事

その後，私は所長として，昭和57年９月，大田区昭和島「森ヶ崎下水処理場」から京浜運河（海面下約32m）を経て城南島へ至るL＝1,667mを大断面泥水加圧シールド（φ9,700㎜）により施工する南部下水汚泥処理設備シールド（昭和島シールド）工事を担当することになった．

シールドトンネルの通過する地質は，比較的硬い砂質混じり粘土層東京層である．その層の中に古東京川によって浸食された「溺れ谷」が数条存在した．そこに軟弱なシルトの有楽町層が上から「溺れ谷」へ落ち込んで堆積した状態で，有楽町層が掘進延長の約半分の800m程を占めていた．以前苦戦した東京礫層のような巨礫はないものの，硬質と軟質の土層が複合した技術的に難しい地盤である．

シールド技術者として，前任地の井草上水シールドの礫泥水加圧シールドでの技術的欠陥を克服し，シールド技術を向上させたいと強く思った．

シールドメーカー選定にあたり，本社技術部，特別シールド委員会を交えた会議で，同じマシンメーカーと，もう１度チャレンジしたい旨を強く主張し，熱意が受け入れられた．そして各パーツの技術的検討・調査，研究，実験などを推進する計画に入った．

とくに前回技術的な未熟さを痛感させられたカッタビットの切削力と摩耗対策，軸受け構造の精度・耐久性と発熱温度管理，シールの形状・止水性の維持管理方法・耐久性の確認，粘性土層に対する閉塞対策など，多岐にわたり検討した．

このシールドトンネルは，現地盤から深度35.5m（T.P.-32m），泥水圧0.31MPaの海底下での大断面泥水加圧シールドトンネルとしては，日本初といわれていた．

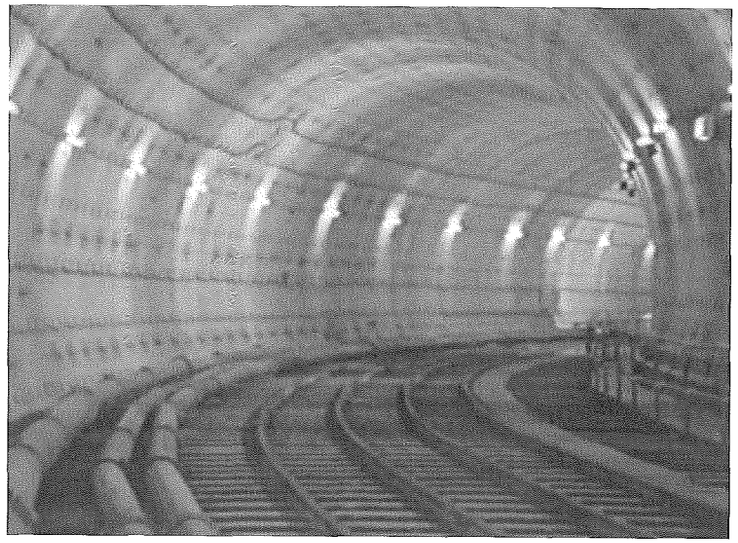
シールドの各パーツの試作・実験など，種々の検討・確認をくり返し，製作完成まで約１年半を要した．その甲斐あって「このシールドには自信がある」と確信を持つに至った．

昭和58年３月，シールド掘進を開始した．万全の準備の結果，大きなトラブルはなく，シールド掘進は順調に進んだ．

私にとって，シールド技術は１歩進んだという感慨深い現場となった．

この工事現場は，日本初の「海底大断面シールドトンネル」ということもあって，見学者，視察者が多く，１日150人に至ることもあって，アクアライン調査関係者も視察されていた．

シールド掘進工事では，シールドのとくに軸受けシール関係，それに伴うグリス注入圧・量，温度上昇管理，他のパーツに対する徹底した管理は，作業所職員，マシンメーカー技術員の努力が結集したもので，大過なく，かつ予想どおり推移し，順調に掘進して到達完了した．



φ9.7m海底トンネル坑内

昭和63年５月，私は本社土木技術部へ配属になり，超大断面シールド工事を想定した施工技術検討，大型部材の高水圧の耐水・耐震実験，土質模擬再現実験などの業務にあたった．

平成４年から従事した東京湾横断道路（アクアライン）シールドトンネルの掘削径φ14,140㎜の掘進工事も，未だかつてない工事規模と技術的困難さを克服した工事だった．

おわりに

平成８年12月，私は大成建設を退職した．私はこれまでにない充実感と達成感で，会社を去ることができたことを幸せに感じた．そして幾多の試練にもご指導ご鞭撻いただきました発注者，多数のゼネコンの技術関係者，大成建設本社，支店，会社関係者，多数の協力関係会社の皆さんに，心から感謝申しあげる次第です．

最後に，この寄稿にあたり，資料の収集提供とアドバイスを戴きました大成建設の高見澤様，中嶋様，清水様，戸田様に深く感謝いたします．

トンネルジャーナル

静清バイパス開通で渋滞が減少　賤機山トンネルでは安全向上も実感

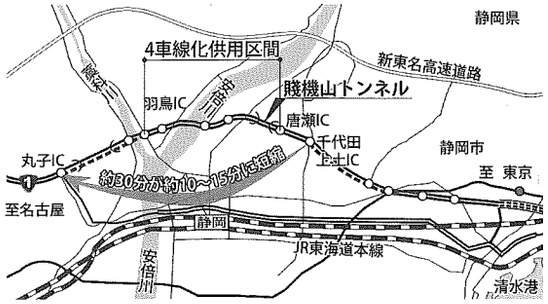
中部地整静岡国道事務所は，２月14日に開通した静清バイパス（唐瀬IC～羽鳥IC間）の４車線化による，開通１か月後の調査結果を発表した．開通したのは賤機山（しずはた）トンネル下り線（537m）を含む，延長約4.7kmの区間．

調査によると，４車線化により，静清バイパスを利用する車は１日あたり約2,100台（小型車2,200台増加，大型車100台減少）と約４％増加し，12時間の交通量と交通容量の比である混雑度は，1.72から0.54へと大幅に改善された．

あわせて，利用者にたいするWEBアンケートおよび企業活動で利用する企業にたいする電話アンケートも行われ，約７割の利用者が渋滞緩和を実感し，さらに，渋滞が緩和されたことで，ストレスがなくなり，時間に余裕をもった生活を送れるなど，開通による効果が確認されている．

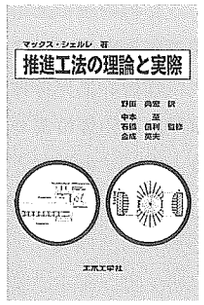
また，ヒアリングにより，開通区間を含む千代田上土IC～丸子IC間（約10km）の４車線化前後の輸送時間は約30分から10～15分へと大幅に短縮されているとの回答も得られた．

なお，同バイパスの利用者の増加にともない，千代田上土IC周辺で混雑が増えており，平成26年度に４車線化開通予定の鳥坂IC～千代田上土IC間の早期開通を期待する声もある．



また，賤機山トンネルでは下り線トンネルの開通にあわせ，全国初の自転車の一方通行規制が始められた．開通前には上り線トンネルで対面通行していた自転車を，下り線開通後に，自動車と同様に一方通行に規制した．歩行者は上下線とも対面通行が可能．規制前には「過去に危険な経験をした」と利用者の約半数が回答していた通路だが，開通後は，全体の７割の利用者が「自転車同士の衝突などの危険が減った」と回答し，その効果が実感されている．

同トンネルの上り線は，トンネル内の環境改善を図るため，平成15年度に全国で初めて歩道と車道の間に仕切り壁を設置したトンネルとして知られ．仕切り壁は新設の下り線でも設置されている．



推進工法の理論と実際

B５判　437頁　価格8,925円　送料450円

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

本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorieb」の翻訳本である．挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している．研究・開発，計画・設計，あるいは，施工に携わる多くの実務者に最適．

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

ノンコア削孔解析と坑内弾性波による新しい前方探査

鉄道・運輸機構東京支社建設所長　村上　明
鉄道・運輸機構東京支社　島　哲也
（株）大林組技術研究所地盤技術研究部副部長　桑原　徹
大林・東亜・大和小田急特定建設工事共同企業体所長　田湯正孝

1 はじめに

トンネルの切羽前方の地山状況を的確に予測することは，切羽の崩壊や地山の変状を未然に防止し，安全で合理的な施工を行ううえで不可欠である．前方探査の対象としては弱層と湧水がある．断層破砕帯や風化変質帯などの弱層の前方探査技術にはさまざまな手法が試みられてきた[1]が，最近著しい精度の向上が図られている[2]．一方，湧水の予測手法としては水抜きを兼ねた先進ボーリングが従来からの主な手法である．ここでは，地質特性と湧水特性を総合的に予測することを目的に，新たな試みを加えて前方探査の実施と検証を行った．

2 地質概要

前方探査を実施した当該トンネルの地質は，新第三紀後期中新世の花崗閃緑岩およびこれらに貫入する安山岩質の岩脈からなる．これらの花崗岩類は，甲府盆地周辺に広く分布する甲府花崗岩体の一部であり，該当地域では徳和深成岩体と呼ばれている[3]．

地表地質踏査によると，トンネル周辺の一部地域では真砂土化した強風化花崗閃緑岩や変質帯が，また渓流上流部では風化変質などによる崩壊地形が認められた．空中写真判読によるとリニアメント（直線状地形）が数か所で認められており，リニアメントに伴う劣化帯も一部で確認され，掘削工事において地山の劣化や湧水のリスクが想定された．坑口付近などでは花崗閃緑岩の亜角礫の玉石を含む崖錐堆積物が覆っている．最大土かぶり厚は約440mである．

3 前方探査の実施内容

前方探査技術としては，ドリルジャンボを利用したノンコア削孔切羽前方探査技術「トンネルナビ®」（以下，「短尺ノンコア解析」とする），中尺ノンコア先進ボーリングによるトンネルナビ解析「中尺トンネルナビ」（以下，「中尺ノンコア解析」とする），坑内弾性波探査TSP（Tunnel Seismic Prediction）を用いた（表-1）．

当該施工区間は，本坑延長2,510m，掘削断面積約90m²，掘削工法はNATM発破掘削方式である．前方探査の実施区間は，施工区間2,510mのうち，距離93～2,510m（距離は本坑坑口の起点を０mとする．以下同様とする．）の延長2,417mである．

短尺ノンコア解析は，トンネル切羽に常駐するドリルジャンボを利用するが，従来のノンコア削孔調査における信頼性の問題点を解決し，地山評価の精度向上と物性評価も加えて地山評価の多様化を図った新しい前方探査技術である．中尺ノンコア解析は，ドリルジャンボのパーカッション型をベースとした短尺ノンコア解析をロータリーパーカッション型へ展開したもので，先進ボーリング

表-1　前方探査実施一覧

前方探査			地山予測	湧水予測	備考
名称	探査深度，数量	解析結果			
短尺ノンコア解析	ドリルジャンボ削孔 30～50m/回 61回	正規化削孔速度比 反射係数	○	切羽孔口湧水量	パーカッション型削孔
中尺ノンコア解析	ノンコアボーリング削孔 120～150m/回 3か所，6孔	正規化削孔速度比	○	切羽孔口湧水量 水抜き効果大	ロータリー・パーカッション型削孔
坑内弾性波探査	Tunnel Seismic Prediction (TSP) 150m/回 19回	反射面	×～△	×	TSP203
		動弾性係数	△	×	
		V_p/V_s比	×	△～○	
その他		(濁水・清水処理量)	—	坑口総湧水量	

マシンへの適用を試みたものである．また坑内弾性波探査TSPでは反射面の粗密分布をもとにした弱層区間の検出が一般的であるが，ここでは弾性波に関する諸物性値を利用して，新たな前方探査の判定方法の展開を目指した．

本稿では，短尺ノンコア解析とトンネルの掘削実績，中尺ノンコア解析によるリニアメント調査，坑内弾性波探査による切羽前方湧水予測の3つに分けて，前方探査技術の予測と検証結果について報告する．

4　短尺ノンコア解析と掘削実績

4-1　ノンコア削孔調査の問題点

ノンコア削孔切羽前方探査技術は，切羽に常駐するドリルジャンボに専用の計測システムを搭載し，削孔時の深度・削孔速度・打撃圧・回転圧・フィード圧・打撃エネルギーを取得し，削孔に要するエネルギー(掘削体積比エネルギー[4])から切羽前方の地質特性を数値的に評価するものである．施工サイクルにのって施工管理技術として安価で常時使用できる唯一の技術と考えられる．

ノンコア削孔データの評価に際しての理論的背景は，資源分野で発展した削孔理論[4]による．削孔速度や掘削体積比エネルギーによる地質予測は，フィード圧が一定という前提があるが，不均質帯，亀裂集中帯，断層破砕帯などでは，フィード圧が大きく変動してしまう場合が多く，この前提条件を満たさないまま地山評価を行っている場合が多いようである．これが前方探査技術としての信頼性の低さを招いている原因のひとつと考えられる．

4-2　削孔データの変換解析

上記のような問題解決のために，桑原らにより，大型花崗岩供試体を利用した削孔実験，現場での削孔実験，既往計測データの詳細な分析が行われ，とくにフィード圧の変動影響を排除した削孔速度の変換解析システムが開発されており[5),6)]，これを当工事にも使用することとした．

ノンコア削孔調査ではフィード圧は常に変動しているが，仮にフィード圧を一定にできた場合，それに対応する等価な削孔速度により，フィード圧の変動影響を除去した条件で地質の予測が可能となるはずである．この変換解析では，削孔速度～フィード圧の相関を抽出し，等価な削孔速度(「換算削孔速度」と呼ぶ)を求め，さらに換算削孔速度を正規化・無次元化した新しいパラメータ「正規化削孔速度比」を定義した．この「正規化削孔速度比」を利用した前方探査とその検証が行われており[6)~10)]，本解析システムの有効性が確認されている．

4-3　システム構成と機能

短尺ノンコア解析は，ハードのドリルジャンボとソフトの解析システムから構成される(図-1)[9)]．ドリルジャンボには前方探査用の計測システムが搭載されているほか，測定の制御盤，計測モニターやデータ保存のためのロガーやパソコンが付随している．探査深度はドリフターの機械設計上50m

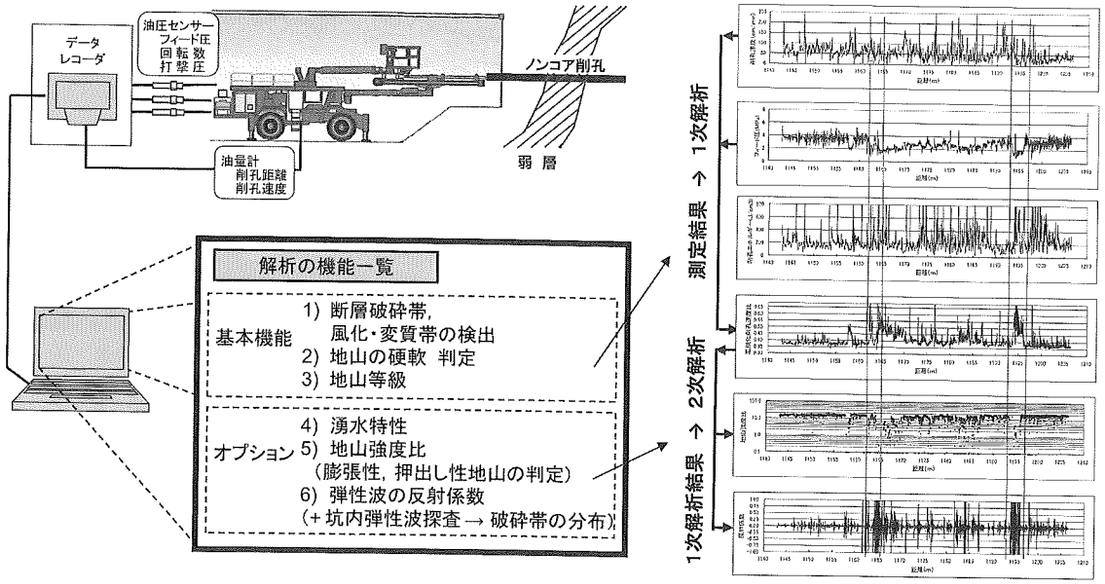


図-1　短尺ノンコア解析のシステム構成[9)]

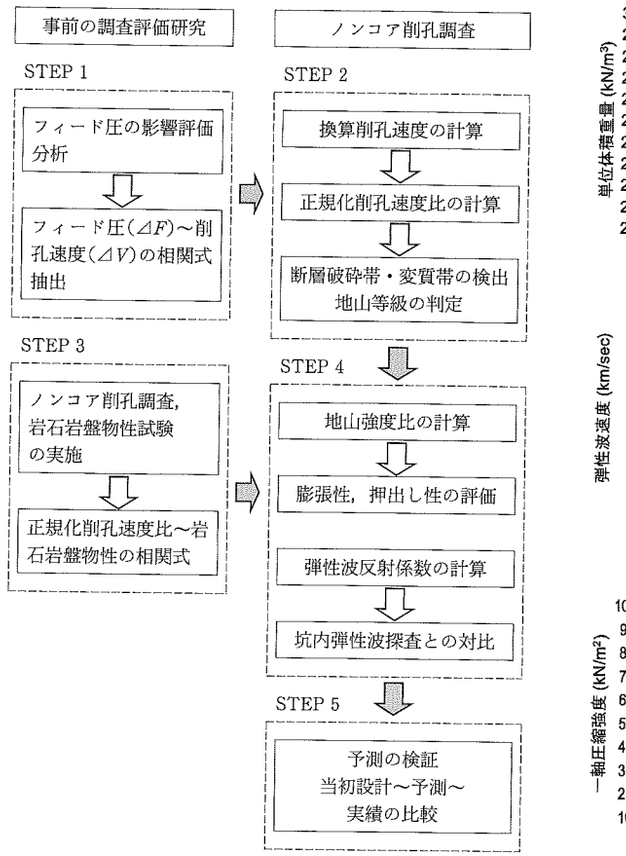


図-2　短尺ノンコア解析の流れ図

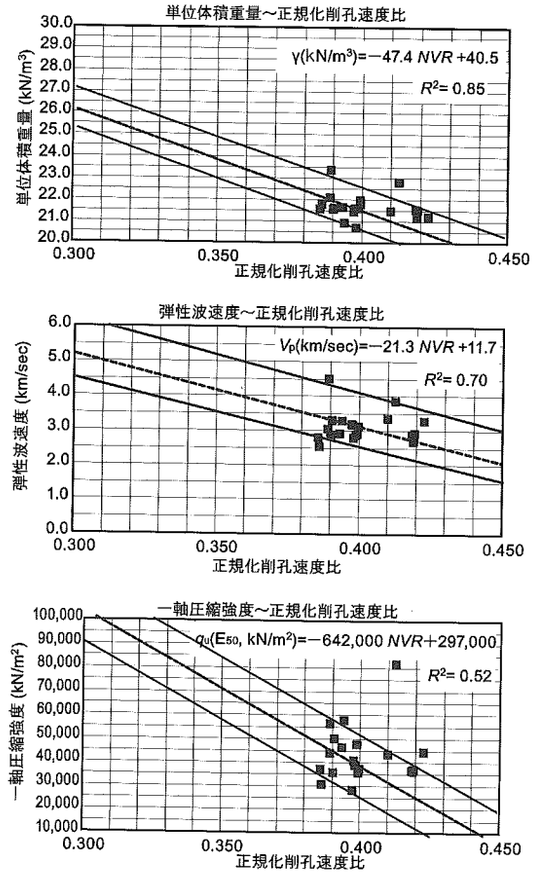


図-3　正規化削孔速度比～岩石物性値[7)]

程度である．解析システムは常時使用する基本機能と必要に応じて使用するオプション機能からなる．解析の流れを**図-2**に示す．

基本機能は，断層破砕帯・風化変質帯などの弱層の検出，地山の硬軟や地山等級の判定からなる．これらは，削孔速度とフィード圧から算出される新たなパラメータである正規化削孔速度比から判断される．工事事務所用に開発されている専用の解析システムは，これらの基本機能を有しており，マイクロソフト社エクセルベースの解析ソフト，可能な範囲で自動化された簡便性，瞬時に解析・画像化が可能，といった特徴を持っている．

オプション機能としては，地山強度比や弾性波の反射係数(弾性波が不連続面を通過する際に生ずる反射波・反射振幅の大きさで，密度と速度に関係)の推定などがある．これらは，別途用意されている正規化削孔速度比～岩石物性(単位体積重量，P波速度，一軸圧縮強度)の相関関係(**図-3**)[7]を利用して，正規化削孔速度比から二次的に算出するものである．削孔データをベースにしているために，連続的なデータであること，コア採取やコア試験ができないような破砕帯でも推定可能であることなどが特徴である．

4-4　解析結果と掘削実績

写真-1に切羽での調査状況を示す．PCディスプレイで記録をモニターしながら測定を実施した．

図-4に前方探査実施全区間(距離93～2,510m)での解析結果と掘削実績を示す．すなわち，①リニアメント予想区間，②短尺ノンコア解析結果(正規化削孔速度比，反射係数，地山等級の予測)，③地質図(縦断図，展開図)，④補助工法(先受け工)，⑤切羽での孔口湧水量(ノンコア削孔完了，ロッド抜管時の１m区間あたりの平均湧水量)，⑥坑口での総湧水量(清水処理＋濁水処理)，⑦地山等級・支保パターンの比較(当初設計，前方探査，掘削実績)を一覧で示す．

正規化削孔速度比では，硬質・未風化の新鮮岩盤では値は小さく，断層破砕帯・風化変質帯などの弱層部では値は大きくなる．実際の地山評価では0.25～0.50の範囲で評価を行うことが多く，地

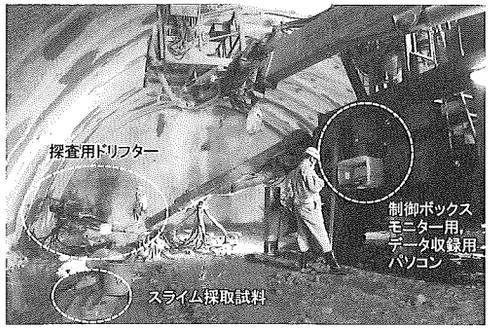


写真-1　切羽でのノンコア削孔調査

山の硬軟判定の分解能はおおむね0.025程度である．すなわち，正規化削孔速度比がこの範囲内で変動している場合は，地山はほぼ一定，この範囲を超えて変動する場合は地山に有意な変化があると判断できる．

弾性波の反射係数は，断層破砕帯・亀裂集中帯などの不均質な地山区間や地層・岩質境界でプラス・マイナス方向に大きく振れるので，この特徴から地山の変化を判定可能である．

検証の一事例を示す．本トンネルでは５か所でリニアメント(断層破砕帯)が予想されたが，その中で最大規模のものが距離560～750m付近に推定された．解析結果によると，565～675mにおいて，前後の区間に比べて正規化削孔速度比が著しく増加し，大きく上に向いた凸の変化を示し，反射係数においても断続的に大きな振れを示して顕著な不均質ゾーンを示唆した．また，孔口湧水量は560～680mで急増した．

以上をまとめると，前方探査では断層破砕帯の弱層からの大量湧水が予測された．掘削結果では610～790mに断層破砕帯に相当する変質帯が出現し，先受け工の実施，多数の短尺水抜きボーリングの実施と濁水処理施設の増設が必要となり，前方探査結果を裏付けるものとなった．

短尺ノンコア解析の大きな目的として地山等級の予測がある．鉄道トンネルでの予測は今回初めて試行した．短尺ノンコア解析の全実施区間のデータから，以下のような判定基準(試案)を作成した．

IN＞0.375

(強風化～中風化帯，断層破砕帯)

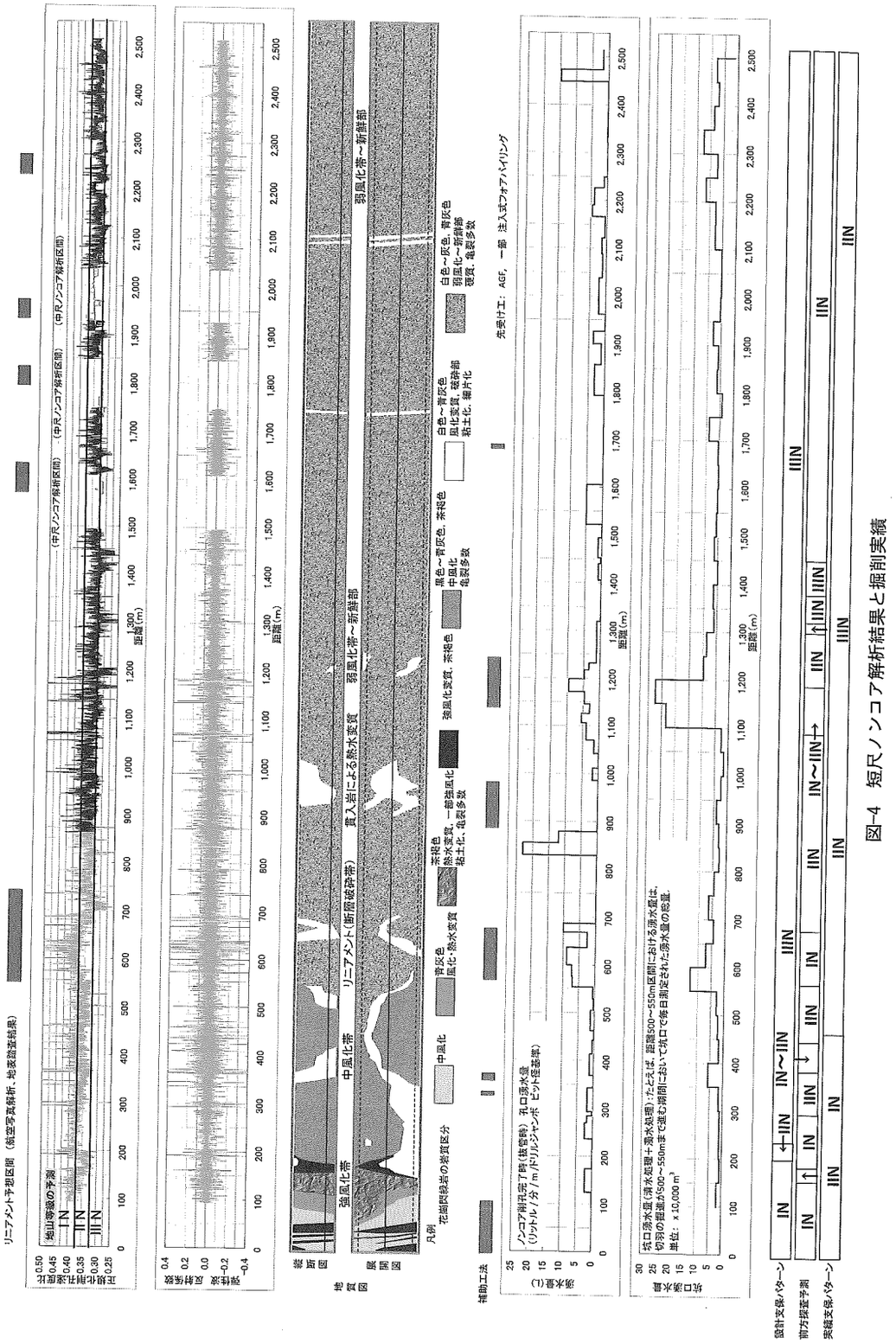


図-4　短尺ノンコア解析結果と掘削実績

IIN　0.325～0.375
（弱風化帯～新鮮部，亀裂多数）
IIN＜0.325
（新鮮部，亀裂少数）

この試案は，掘削実績（支保パターン）と比較した場合，とくに坑口側の強風化帯～中風化帯（距離93～700m）において必ずしも一致していない．原因の一つとして，切羽の左右で地山状況が異なることも多く，ノンコア削孔地点が切羽全体を代表していない場合がしばしばあることが挙げられる．今後ともデータの蓄積と検証が必要であるが，支保パターン（地山等級）に関する当初設計～前方探査（短尺ノンコア解析結果）～掘削実績の比較を見ると，掘削実績に対して前方探査の有効性は明らかである．

5 中尺ノンコア解析によるリニアメント調査

5-1 目的と概要

3か所のリニアメントを対象に，大口径先進ボーリングによる効果的な水抜きボーリングと地山評価を目的として，中尺ノンコア先進ボーリングへの中尺ノンコア解析の適用を試みた．削孔方式はロータリーパーカッション型のドリリング（RPD-130C）で，掘削距離は120～150m，主要な掘削径はφ101㎜，3か所の切羽（No.1～3）で合計6孔（切羽面内の左右で各1孔）実施した．計測データは，掘削深度，掘進率（削孔速度），湧水量，給圧（フィード圧），回転圧，送水圧，打撃圧である．図-5にデータ解析の流れを示す．

5-2 削孔速度の距離減衰補正

合計6孔のノンコア先進ボーリングを実施したが，うち3孔では掘進距離に応じて削孔速度が減少する傾向が著しい．削孔速度は地山が硬くなるほど小さくなるので，この結果に単純に従えば地山が非常に良くなることを示唆しているが，切羽観察や切羽評価点によれば，途中での地山の変化はもちろんあるが，掘削開始点から終了点まで大きな変化はないと言える．したがって，ピストンの打撃エネルギーすなわち削孔速度の距離減衰の影響を最初に評価する必要がある．このような距離減衰は，ロッドのねじ切り部でのエネルギー減衰による影響が大きいと言われている[11]．

代表的な2孔のデータを利用して距離減衰補正を行った結果を図-6に示す．上段の図は測定記録から求めた距離減衰式である．下段の図は，この距離減衰式を利用して，削孔速度を補正した結果である．距離に応じて削孔速度が，距離減衰式を介して，大きく補正されていることがわかる．

5-3 削孔条件の補正

短尺ノンコア解析は本来パーカッション型ドリリングのドリルジャンボを対象に開発されたが，中尺ノンコア先進ボーリングマシンはロータリーパーカッション型ドリリングであるので，中尺ノンコア解析では削孔方式の違いを補正する必要がある．

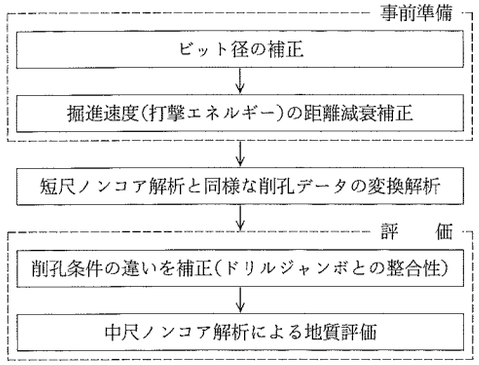


図-5 中尺ノンコア解析の流れ

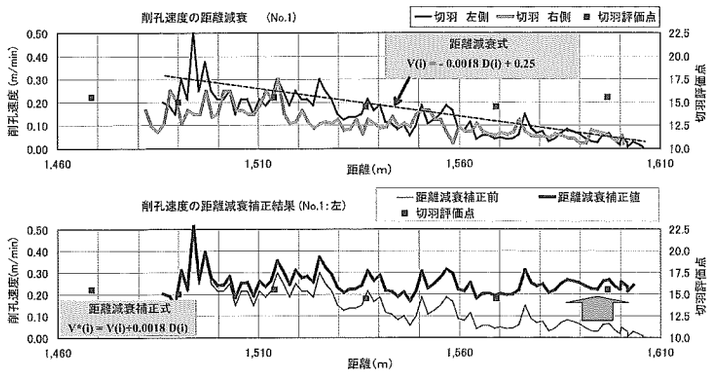


図-6 中尺ノンコア解析での距離減衰補正

ある．

今回は，給圧（フィード圧）に対するビット径の考慮，ならびに削孔データの変換解析結果の評価に際しての削孔方式に起因するであろうと考えられる総合的な補正を行った．後者に関しては，本来，同一の切羽（同一の地質条件）において双方の削孔実験を行い，補正係数などを導入すべきであるが，今回はドリルジャンボと先進ボーリングマシンの重複区間を利用して補正，すなわち，ドリルジャンボによる短尺ノンコア解析結果に先進ボーリングによる中尺ノンコア解析結果を合わせるという方法で補正を行った．なお，削孔データのサンプリングは，短尺ノンコア解析では約1.5秒ごと，中尺ノンコア解析では1m区間の平均値とサンプリングレートが同一ではないので，計測記録や解析結果において，波形としての形が異なっている．結果としては，中尺ノンコア解析は短尺ノンコア解析に対していずれも多少大きめの正規化削孔速度比を示し，0.02～0.05のマイナス補正を行った．

5-4 解析結果と検証

解析結果を図-7に示すが，3か所ともほぼ同様な結果が得られた．解析結果（正規化削孔速度比）の変動幅はいずれも小さく，とくに弱層を示唆する大きな値は少ないので，リニアメント想定区間ではあるが，軽微なリニアメントで地山は安定と予測された．また，正規化削孔速度比が低い区間で湧水が発生する傾向にあり，弱層ではなく相対的に硬質な岩盤の開口性亀裂からの湧水と判断した．孔口湧水量も単位区間，削孔径の補正を行うと，前出4-4節のリニアメント区間（距離550～740m）での大量湧水ほどではないと判断された．

掘削後の切羽観察でも，該当区間は亀裂の多い

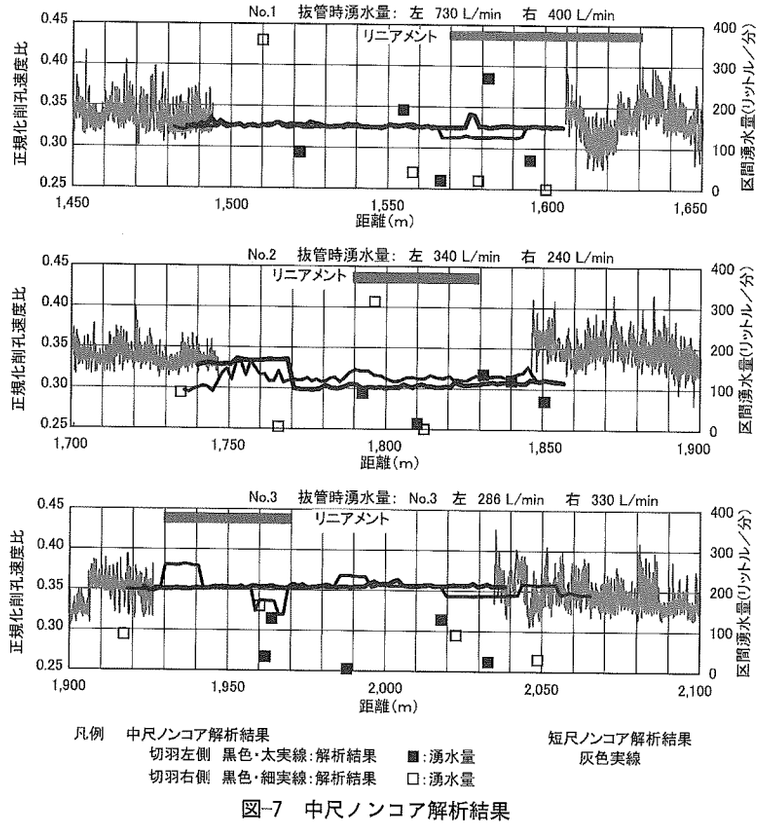


図-7 中尺ノンコア解析結果

新鮮～弱風化区間であり，リニアメントによる支保パターンの変更もなく，前方探査の結果を裏付けていると判断できた．

6 短尺ノンコア解析と坑内弾性波探査TSPによる切羽前方湧水区間の予測と検証

6-1 切羽前方湧水予測

短尺ノンコア解析結果とTSPの連続測定記録から湧水区間の予測と検証を行った．図-8に切羽前方湧水予測結果として，距離100～1,400m区間における短尺ノンコア解析結果（正規化削孔速度比），TSPの測定記録（弾性波速度V_p/V_s比，反射面の粗密区間），地質図（縦断図・展開図），切羽での孔口湧水量（ノンコア削孔完了後，ロッド抜管時の1m区間あたりの平均湧水量）を示す．その結果2つの知見を得た．なお，1,400m以降については，ノンコア中尺水抜きボーリングの影響

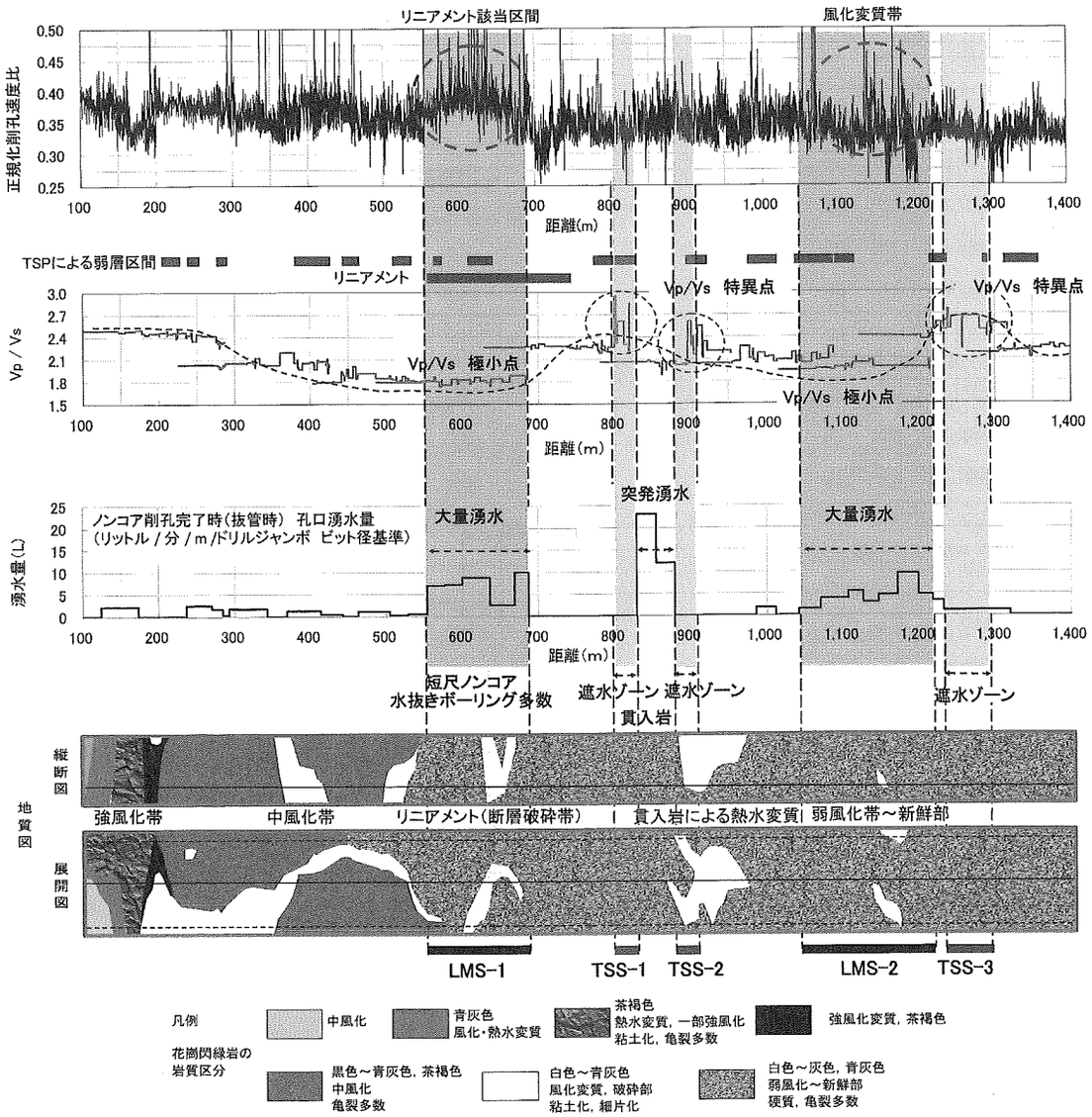


図-8 切羽前方湧水予測

が大きく出るので，前方湧水予測としてはここでは述べない．

6-2 V_p/V_s比の極小値と大量湧水区間

V_p/V_s比の変化を大きく見ると，坑口から徐々に減少し，500～650m付近で極小値となり，680m付近から急増し，800m付近で極大値に達する．850m付近から再び減少傾向を示し，1,050～1,150m付近で再び極小値に達し，その後上昇に転じ1,250m付近で極大値となる．この2か所のV_p/V_s極小値の区間は，施工中に長期にわたり大量の湧水に見舞われた区間であり，短尺ノンコア解析や切羽観察により断層破砕帯などに伴う変質帯で大量湧水が予見・確認された区間(図中，LMS-1，LMS-2)でもあった．

地下水で飽和した地層の弾性波速度(P波速度)は間隙率に反比例する[12]ので，水の弾性波速度(1.5km/sec)よりも大きな速度を持つ地山では，地下水を多く含むほどP波速度は低下するはずである．

一方，S波速度は水の影響をあまり受けないとされているので，V_p/V_s比の大きさやその変動が，地山中の地下水賦存量の大きさや広がりに関係している可能性がある．

6-3 V_p/V_s比の特異点と突発湧水区間

距離820～870m付近では局部的な突発湧水が観察された．切羽観察によると，この湧水は貫入岩中の裂罅水である．この湧水区間の両端では，前出のLMS-1，LMS-2のようなV_p/V_s比の大局的な変動とは別に，局所的(1回の探査区間150mに収まる範囲)に顕著なV_p/V_s比の変化(V_p/V_s特異点)や反射面の密なくり返しが認められる(図中，TSS-1，TSS-2)．正規化削孔速度比では若干の値の低下が，切羽ではTSS-2においては貫入岩による熱水変質帯が認められ，総合的に判断するとTSS-1，TSS-2は突発湧水に対する遮水ゾーンと推定できる．

このような観点からV_p/V_s変化を見ると，1,260m付近もV_p/V_s特異点と見なして，LMS-2の湧水区間に対してTSS-3区間が遮水ゾーンの関係にあるとも考えられる．

7 まとめ

今回，ドリルジャンボを利用した短尺ノンコア解析，ノンコア先進ボーリングによる中尺ノンコア解析，坑内弾性波探査TSPの3種類を用いて前方探査を行い，予測と検証を行った．ノンコア解析では，フィード圧の変動影響を排除したパラメータを用いて地山評価を行うことにより，従来のノンコア削孔調査の問題点を克服した．

短尺ノンコア解析では正規化削孔速度比と反射係数にもとづき，該当工区内で最大規模のリニアメントと湧水に関して正確に予測することができた．実用化技術としての信頼性を確認できたと言える．地山等級の予測に関しては試案を作成したが，今後のデータ蓄積と検証に期待したい．

中尺ノンコア解析では，ドリルジャンボ(パーカッション・ドリリング)～先進ボーリングマシン(ロータリー・パーカッション・ドリリング)の削孔方式の補正を試行的に行いながら，地山と湧水の予測を実施した．その結果，3か所のリニアメントに対して妥当な予測と評価を行うことができ，その適用性を確認することができた．

3成分地震計を利用した坑内弾性波探査と短尺ノンコア解析などを組み合わせた湧水区間の予測については，興味深い結果が得られた．これは，V_p/V_s比の大きな変動サイクルや局所的な特異点を利用して，掘削工程に大きな影響を与える規模の大量湧水や突発湧水を予測しようとするものである．

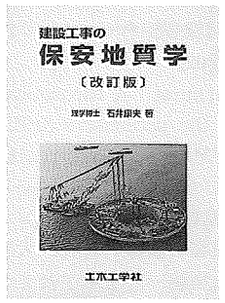
大量湧水の予測(V_p/V_s変動サイクル)は地下水に対するP波速度とS波速度の特性の違いを利用したものであり，突発湧水の予測(V_p/V_s特異点)は遮水ゾーンという局所的な地質変化を利用した湧水予測手法の提案である．今後，データの蓄積や詳細な検討が必要と考えられる．

以上から，ノンコア削孔データ(短尺，中尺)の変換解析(トンネルナビ)と坑内弾性波探査により，地山評価(断層破砕帯，風化変質帯，地山等級)と湧水特性(長期の大量湧水，短期の突発湧水)を総合的に予測する道筋が得られたと考えている．

参考文献

1) ジェオフロンテ研究会新技術相互活用分科会前方探査WG：トンネル切羽前方探査技術，技術資料，p.159，1997.
2) 奥野慶四郎：精度上がるトンネル前方探査，日経コンストラクション，2011年5月23日号，pp.62-67，2011.5.
3) 産業技術総合研究所地質調査総合センター：20万分の1地質図幅「甲府」，2002.
4) W.A.Hustrulid，C.Fairhurst：A theoretical and experimental study of the percussive drilling of rock，Int.J.Rock Mech. Min. Sci.，Vol.8，pp.311-333，1971.
5) 稲川雄宣・畑浩二・桑原徹・中岡健一：ノンコア削孔による切羽前方予測技術の基礎的研究—大型花崗岩供試体を利用した削孔実験—，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学報告集，Vol.16，pp.107-112，2006.11.
6) 桑原徹・畑浩二・稲川雄宣・平川泰之：変換解析システムによるノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学論文集，Vol.18，pp.1-10，2008.11.
7) 桑原徹・畑浩二・玉井昭雄・田湯正孝：ノンコア削

孔トンネル切羽前方探査による地山強度比の推定，土木学会トンネル工学委員会，トンネル工学報告集，Vol.19，pp.145-156，2009.11.
8）桑原徹・畑浩二・玉井昭雄：ノンコア削孔切羽前方探査と坑内弾性波探査，土木学会第65回年次学術講演会，第VI部門-039，pp.41-42，2010.9.
9）桑原徹・畑浩二・中岡健一：ノンコア削孔トンネル切羽前方予測技術の新展開―新しい解析技術による信頼性向上と機能の多様化―，臨床トンネル工学，特集号5，平成22年度　最新トンネル技術講演会，pp.1-10，2010.11.
10）桑原徹・中西隆司・関山健一・三橋賢久：ノンコア削孔トンネル切羽前方探査システム「トンネルナビ」による軟弱地山の前方探査，土木学会建設技術研究委員会，土木建設技術発表会2010概要集，pp.221-228，2010.11.
11）福井勝則・大久保誠介・山下雅之：長尺さく孔におけるさく孔深さの影響，資源と素材，Vol.113，pp.663-668，2004.
12）Wyllie, M.R.J., Gregory, A.R., and Gardner, L.W.: Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media, Geophysics, Vol.21, pp.41-70, 1956.



ユニークな手法を駆使!!　建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士　石井康夫 著

A 5 判　上製本　475 頁　価格 6,300 円　〒 340 円

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

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

連載講座

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

① はじめに

今回は，地形から有用な情報を引き出すために必要な，基本的概念と初歩的な知識を紹介し，地形から読み取れるもっとも基本的な工学的情報について概説する．

地形情報がこれまで十分に活用されてこなかったのは，地形から客観的に情報を読み取る論理と，その結果を記述する方法が，体系化されていなかったことにも原因がある．多数の工学的事例に即して地形を詳細に記述した地形の工学的な解説書は，ようやく近年になって刊行された．

中央大学名誉教授の地形学者鈴木隆介氏は，1977～1984年にかけて『現場技術者のための地形図読図入門』を測量技術協会誌に連載しており，それらを1997～2004年に同表題の 4 巻の技術書として刊行している[1]．これらの書は，土木工学的に必要な地形情報の読み取り方を学ぶためのすぐれたテキストブックである．とくに注目すべき点は，地形を認定するのに必要な概念や地形を記述するための用語，地形情報のもつ意味を工学的に展開する論理が詳しく展開されていることである．

本講座においても，これらの方法論に従って，地形に関してできるだけ統一した概念のもとに記述を進めていきたい．

② 地形から読みとれる情報

建設工事に必要な地形情報は，目の前の地形を眺めても，あるいは地形図を見ても，意味ある文字情報としては何も示されていない．

しかし実際には，地形から建設工事や環境評価にかかわるさまざまな情報を読み取ることができるのである．地形とその空間位置から引き出すことのできる地形工学的情報と，それを適用させる

表-1　地形から読みとれる地形工学的情報[2]
（読み取りの難易の程度を○△で表したもの）

適用分野＼地形情報		位置	地形場	地形種*の形状から読み取る要素				土地利用・植生
				地質構造	材質	形成過程	付随現象	
建設計画・施工物の形式		○	○	○	○	○	○	○
施工性	工法・掘削能率	○	○	○	○	－	△	－
	支持力・強度	－	－	△	○	○	△	－
	地下水・湧水	△	△	○	○	○	△	△
	安定性・応力	－	－	○	○	○	△	－
	有毒性・環境	－	△	－	○	○	○	○
	運搬・スペース	○	○	－	－	－	－	○
竣工物の性能		○	○	○	○	△	○	○
利便性・有効性		○	○	－	－	－	○	○
防災・維持・安全対策		○	○	○	○	○	○	○
環境保全・景観（フィジカル・メンタル）		○	○	○	○	○	○	○

＊地形種の用語は，鈴木[6]に従う．材質には風化・劣化状況も含む．付随現象とは地殻変動に伴う地震動や火山活動などに起因する温度変化などが含まれる．

分野について整理すれば，表-1[2]のようになろう．この中には建設工事の計画から施工までに必要な情報のいくつかが含まれる．

トンネル工事においては，路線選定から設計・施工計画，施工中，さらには施工後の維持管理まで，それぞれの段階で，まず地山の「地相」に向き合い，そこから判読，推定されるさまざまな特徴を工学的に解釈，判断するところから始めることが重要となる．路線選定段階の調査においては，路線およびその周辺の全般的な地山条件を把握する必要がある．トンネルは，前後の明かり部と一体のものとして考える必要があり，坑口付近だけでなく，明かり部の地山条件も路線選定の重要な要件となる．また，周辺における水利用への影響が懸念される地域や複雑な地質構造をなす地域では，比較検討路線を含む広範囲を対象とした調査が必要である．さらに，トンネル本体や路線だけでなく，施工上必要な用地確保や，水利用・景観などの周辺環境の検討に必要な情報収集も行わなければならない．

とくにトンネル本体の工事に関しては，主に下記の事項に関する情報が必要である．

① 坑口付近の岩盤性状，斜面災害地形の分布
② 坑口を含む周辺の斜面移動物質(岩石・土砂・水・雪など)の分布とその移動経路
③ 土かぶりが小さい区間の地盤性状
④ トンネル本体区間に分布する破砕帯の分布と規模
⑤ トンネル本体区間に分布する地下水の状況

地形から読みとれる地形工学的情報については，本来，地形・地質調査の中で，具体的には調査報告書の地形を解説する章において，相当の分量を持って記述されるべきものであろう．しかし，地形情報は，調査報告書などにおいて，今なお予察的な概査の段階でのみ扱われている．土木学会の『トンネル示方書』の改定にあたって，地形に関する記述は，昭和39年制定版[3]の24頁から，平成18年制定版[4]では，「第２編　計画および調査」の一部としてわずか４頁(実質１頁以下)に減っている．調査報告書などにおける地形の扱いも同様で，地形に関する記述は，ほとんどが，前書きかそれに準じた扱いにとどまり，ページ数比にしてわずか３％程度にすぎない，という指摘もあるほどである[5]．一般に，地質調査の段階が進むにつれて地形に関する記載はだんだん少なくなり，詳細調査に至っては全くといって良いほど見られなくなってしまう．詳細調査の段階では，局所的に精細な情報が多くなるが，その一方でサイト全体の状況には注意が行き届かないこともある．そのようなとき，全体の状況を把握するには，面的な情報である地形が，かえって重要な情報源となることが多いのである．これは，まさに「地相を読む」ことにあたる．工事の現場においても事情は同じであろう．

③ 地形を記述する方法

3-1　地形図

地形図は，地形と地表に存在する物体を，一定の図式(等高線，標高，特殊な地形記号，建物・施設，植生などの記号の描画法を定めた約束)に従って，一定の縮尺で２次元平面に描いたものである．地形図からは，地形とその変化にかかわるさまざまな情報を読み取ることができるが，地形から工学的意味を持つ情報を読み取るには，まず地形の特定の部分に着目しなければならない．今回は，最初に，地形がどのような境界線によって区分されるかについて解説する．

3-2　地形界線

地表面に切れ目はない．しかし形態的に同じ傾向を示す小領域に区分することはできる．地形の特徴を規定する要素は，基本的には，高低と斜面の傾斜度・向きである．したがって「形態的に同じ傾向」とは，高低と斜面の傾斜度・向きの特性である．

これらの特性が同じような小領域のそれぞれを区分する境界を地形界線という[6](図-1, 表-2)．地形界線は，そこを境にして地形の変化をもたらす過程が急に変わっていることを示し，形態的には，落水線(無数の任意の点からの表流水が流れるべき地表の最大傾斜線)の方向と角度が急変する点を連ねた線である．

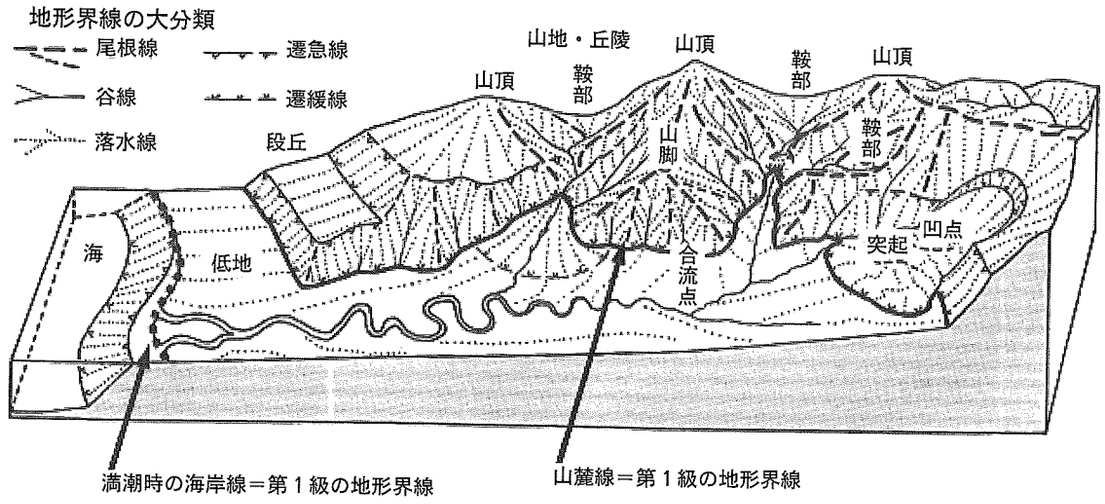


図-1　地形界線の大分類[6]

表-2　地形界線の分類[6]

大分類	中分類	小分類	定義	例または別称
地形線(地性線)	傾斜方向急変線	尾根線(凸線)	両側に低くなる線(落水線の発散線)	山稜，稜線，尾根筋，流域界
		谷線(凹線)	両側に高くなる線(落水線の収斂線)	谷筋，沢筋
	傾斜角急変線	遷急線	下方が不連続的に急傾斜になる線	浸食前線，滝頭(遷急点)
		遷緩線	下方が不連続的に緩傾斜になる線	山麓線，段丘崖麓線，滝壺(遷緩点)
	地形点(傾斜方向と傾斜角の両者が一点の周囲で急変する点)	山頂(凸点)	四周に低くなる点(落水線の発散点)	普通の山頂，尾根上の突起
		山脚	一方に高く，三方に低くなる点	切断山脚(断層三角末端面の頂など)
		鞍部	二方に低く二方に高くなる点	峠，乗越
		合流点	一方に低く三方に高くなる点	谷線の分岐点，落合
		凹点	四周に高くなる点(落水線の収斂点)	凹地と湖盆の最低点

地形の変化とは，基本的に，表層の岩石物質(と水)が主に重力によって下方に落下し，さらに流水の影響を強く受けて下方に移送排出される過程である．したがって，落水線配列が変化する境界である地形界線は，地形変化の要因を示唆する指標としてもっとも基本的な意味を持つ．

3-3　地形図の等高線表現

地形図を見るときに，とくに等高線の表現がわかりづらいということはよく言われることで，高校や大学の入学試験問題の題材になるほどである．いろいろな地形を想定した断面と，それに対応する等高線の表現を図-2に示した．等高線表現による立体認識の熟練は，現実の立体と照合させる体験が，大きくものを言うようである．具体的には，

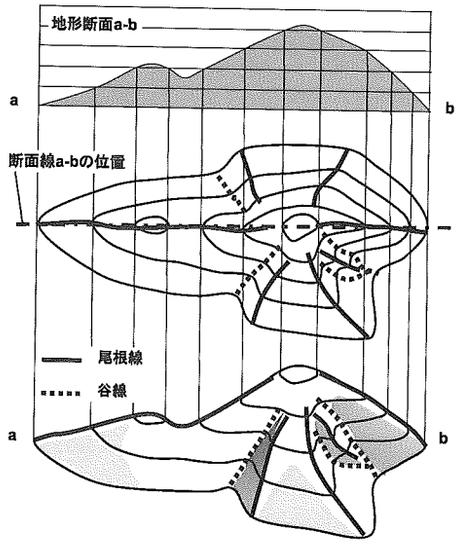


図-2　地形に対応する等高線のイメージ

等高線地形図と実際の地形とを見比べる経験をくり返すということだが，今回は，その疑似体験として鳥瞰図による等高線と地形の照合を示してみた(**図-3, 4**)．

等高線は，地盤の高さの情報から，同高度の地点をつないで人工的に引いた線にすぎない．しかし，地形情報図という観点で見ると，等高線はまず，等高度線の軌跡という視覚的な情報による高度分布図という性質を持っている．この情報は，それのみで3次元の立体を視覚的に再現することはできない．しかし，等高線を一定の標高間隔で描画することで斜面傾斜の変化(等高線密度の変化)を，加えて斜面の走向(等高線の向きの変化)という2種類の地形情報を合わせ，これらを同時に表現している．

前述した落水線は，等高線とは最大傾斜方向に直角に交わる関係になる．等高線は，一人三役をこなすマルチ地形表現手法といえる．人間の知覚は，これらの情報を脳内で処理することによって，立体感はなくても，立体としての地形の特徴を把握できるらしい．

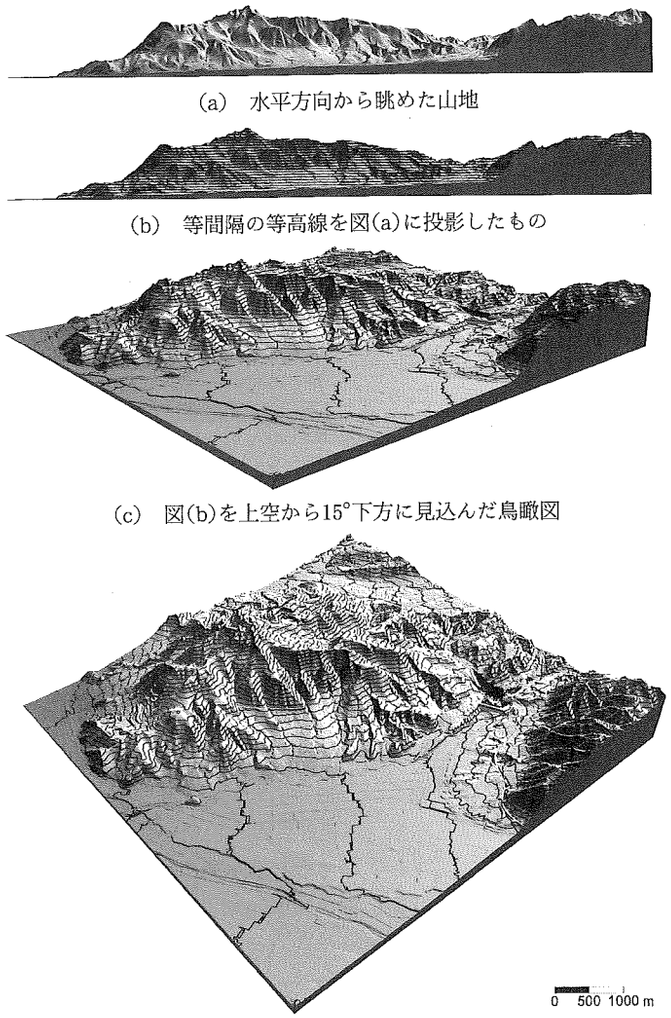
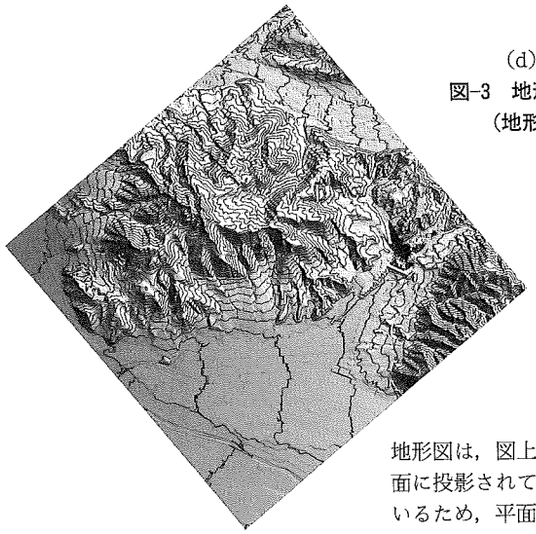


図-3　地形の3Dモデルに等高線を重ねた鳥瞰表現
(地形データは航空レーザ計測の2 mグリッド標高データを使用)



地形図は，図上のどこをとっても垂直に見下ろした状態で，起伏が2次元平面に投影されている(正射影像)．図中のどの場所でも同じ縮尺で表現されているため，平面距離を正しく計測できる．

図-4　陰影表現を加えた等高線地形図(使用した地形データは図-3と同じ)

また，通常の地形図は等高線のみの表現であることが多いが，若干の陰影を加えると，視覚的な経験情報と結びついて，わかりやすくなることもある．等高線間隔を変えることによって，表せる地形の細かさの程度は，大きく異なる(**図-5**)．

3-4　尾根と谷

地形の違いは，物質がどのように移動したかを反映した結果なので，もっとも基本的な地形的特徴は，地表を構成する物質が移動した痕跡，すなわち土砂と水の主要な排出経路である「谷」と，それぞれの谷を隔てる「尾根」ということになる．等高線で描かれた地形図には，立体を視覚的に直接認識できる情報はない．しかし，地形図にも高さの情報はあり，水流が描画された水線があればそれを追跡し，似たパターンを追って，谷線を次々に描いていくことができる(**図-6**)．1本の谷線が描けたら，その隣にある類似したパターンへと，描画の範囲を拡げていく．このとき，ある程度パターンをつかんだら，上流側から下流に向けて谷線を引いていくのが細かい谷線を見落とさないコツである．等高線の表現による地形図から尾根・谷を識別するのは，いつも簡単というわけではない．どちらが斜面の上方か，谷の上流かがわかりにくいとき，また水線の表示もなく，明らかな谷地形が特定できない場合には，等高線の曲がり具合だけでは，尾根・谷の識別は難しいことがある(**図-7(a)**)．こんな時は，高さの情報が得られる地点まで観察の範囲を少し広げてみる(図-7(b))．

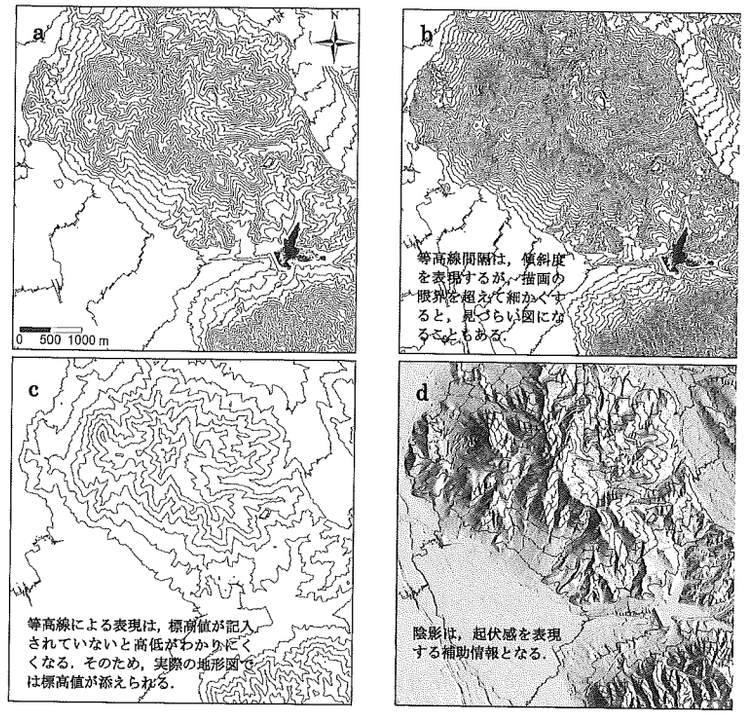
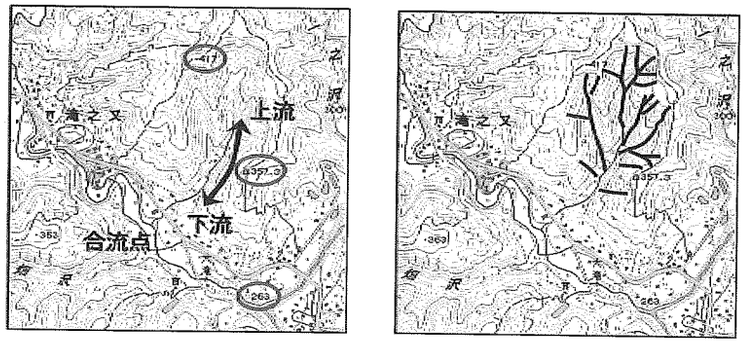


図-5　等高線間隔を変えた地形図の表現(使用した地形データは図-3と同じ)



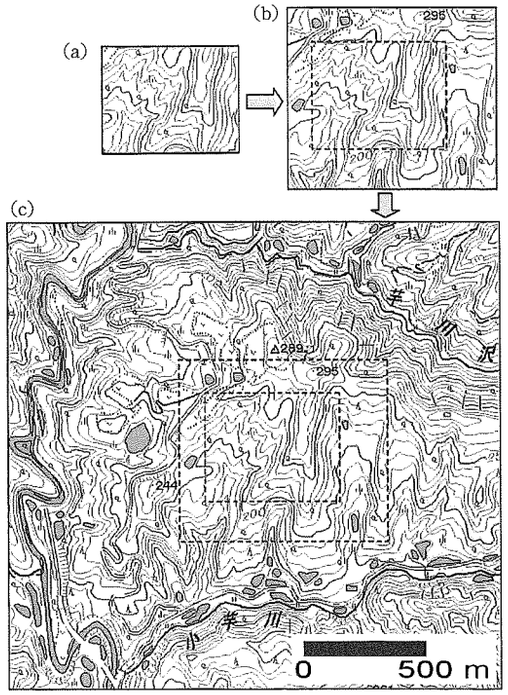
囲いの中の標高の表示にも注目する．

図-6　図上の水線を延長して水系図を描ける例[7]

そうすると，観察範囲全体の高低の分布や傾きの傾向がわかってくるので，それに対する等高線の曲がりのパターンもイメージしやすい．それでもわかりにくい場合はもう少し観察範囲を広げていくと，周囲にある大きな谷や明らかな河川の分布が視野に入り，そこから谷線を追跡していくことができる(図-7(c))．

3-5　水系模様

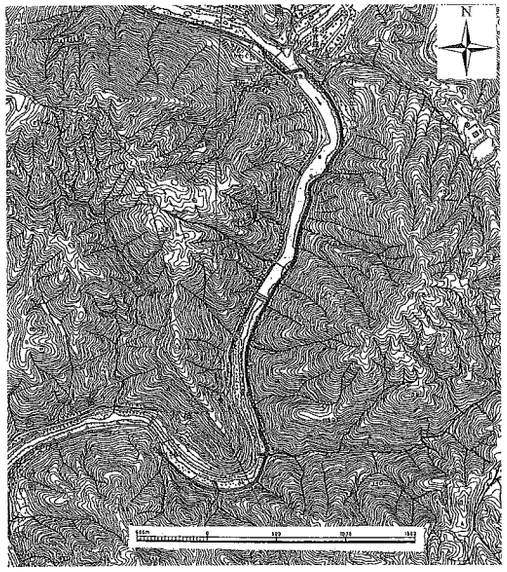
地形の着目点としてもっとも重要なものの一つが水系模様である．共通の流出口を持つすべての地表水の流路を水系という．



(a)狭い範囲を見ただけでは尾根・谷の区間が付かない．
(b)観察範囲を拡げると，たとえば標高の情報が加わる．
(c)さらに範囲を拡げると，土地利用，地名，大きな水系などの情報が加わり．このような作業を数回くり返せば，全体の起伏がイメージできるようになる．

図-7　観察範囲を拡大すると必要な地形の情報が得られやすくなる例(国土地理院１：25,000地形図　小平尾)[7]

その地表水の流路の平面的な分布をあらわした図が水系図であるが，地形図上で谷線を抽出したものがそれにあたる(**図-8**)．水系図に表された流路の配置の形状は，その地域の地形・地質・気候などのさまざまな要因によって決定されるが，とくに谷密度で表される水系の発達の程度は，岩盤の性状と強い関係があることが多い．一般に，山地部で単位面積あたりの谷の本数が多く総流路長が長い(すなわち谷密度が大きい)のは，透水性が低く比較的軟らかい岩盤で構成されていることを示す．また，谷の本数が少なく，総流路長が短い(すなわち谷密度が小さい)のは，透水性が高く，比較的硬い岩石で構成されていることを示す．岩盤が硬いのに透水性が高いのは，一般的に亀裂の発達がよいことを示唆する．しかし，ある領域内

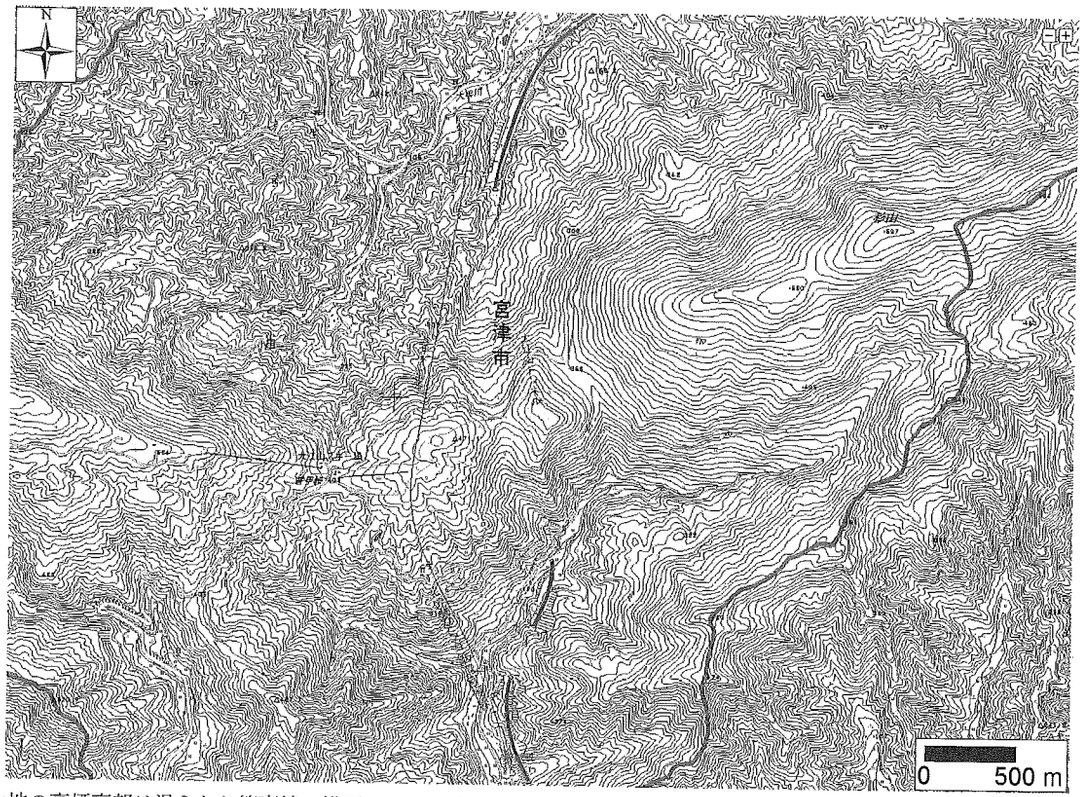


1968年飛騨川バス転落事故の現場付近の峡谷である．急崖に直線的で明瞭な水系線が刻みこまれているが，場所により水系の密度には違いがある．水系密度は地山の透水性を反映することが多いが，それは相対的に判断されるものである．水系密度の小さい領域は，この地域としては相対的に岩盤の劣化が進んだ範囲である可能性を示唆している．

図-8　峡谷部の水系図(国土地理院１：25,000地形図　河岐)

に，全体として水系密度が大きいのに局所的に水系密度が小さい小領域があるという場合には，それらは小領域内の岩盤が破砕され亀裂の多い状態，すなわち地すべりなどの移動土塊である可能性を示唆する．

谷の発達状況の違いを別の地形図で見てみよう．**図-9**は，京都府宮津市の大江山付近の２万5000分の１地形図である．図中央には南北方向の２本のトンネルがある．図中央の「宮津市」と地名表記がある付近から北東方向に，「杉山」と山名表記のある山頂にかけては，滑らかで出入りの小さな等高線で山稜が描画されている．これは谷があまり発達していない状況を示している．大江山スキー場付近およびその真西方向の山稜も同じ傾向がある．これに対し，大江山スキー場から北側の，図左上一帯の地域は，等高線が細かく出入りして谷筋の多い地形となっている．水線が記入された部分は限られているが，その上流側延長にある谷筋



山地の高標高部は滑らかな等高線で描画され，水系が明瞭でない部分が多いが，低標高部は等高線の出入りが細かく，水系の発達がよい．このような地形情報は，地山の透水性の指標となり得る．

図-9　京都府宮津市大江山付近の地形図(国土地理院１：25,000地形図　内宮)

も明瞭に見て取れる．「杉山」北斜面の標高400m以下の低所にある斜面にも，谷筋が明瞭な部分がある．

このような場合，地形学的に見て，水系の発達状況に明らかな違いがあると見なす．その違いが生じた原因として，谷筋のはっきりした部分は，地山の透水性が小さいため，表流水の安定した流路が維持されつつ，浸食により谷が深くなっていった過程が推定される．一方，谷筋が発達しない領域は，地表に表流水による安定した流路が形成されにくいことを示している．これは地山がほとんど破砕・分断されたような脆弱な状態であるか，もしくは地山が堅硬ではあるが亀裂が発達し，透水性の高い状態であることが推定される．

この地点では，谷筋が発達しない斜面が山地の尾根部を形成し，周囲よりも標高の高い山稜の形態を保持している．このことから，浸食に残る程度に規模の大きい，堅硬かつ亀裂の多い岩体の存在が推定できる．この岩体が周囲より高い山稜を形成しているのは，谷が発達しなかったことにより，浸食作用に差別化が生じたためであろう．また岩体自体は堅硬であるが，比較的長期間その分布を維持しているため，表層部の風化は著しいことも考えられる．ただし，以上のように推定した特性は，地域全体を見て，その地域の全般的な傾向と比較し，相対的に判断するものである．なお，図-9中の等高線の出入りが滑らかな領域には，下方の斜面で表層の地すべりが起こっていることを示す地形が数多く見られるのだが，このことについて今回は詳しく触れない．

図-9の範囲の実際の地質では，谷地形の発達していない山稜を形成する部分には，いわゆる蛇紋岩が分布している．また，山稜の北側に分布する谷地形の明瞭な領域は，いわゆる花崗岩類からな

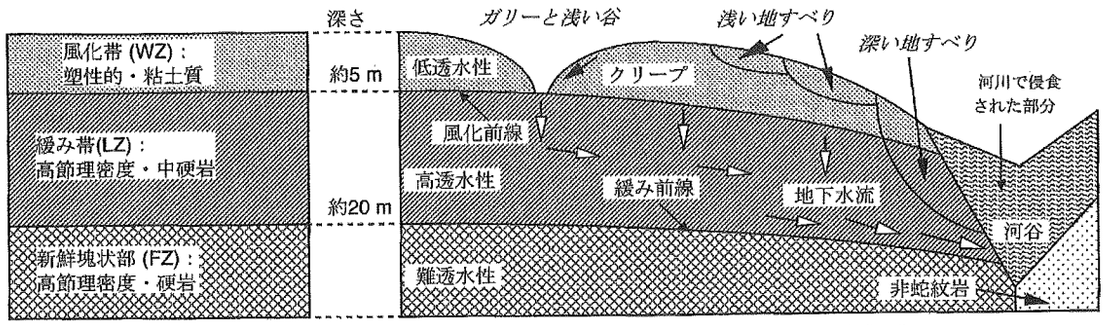


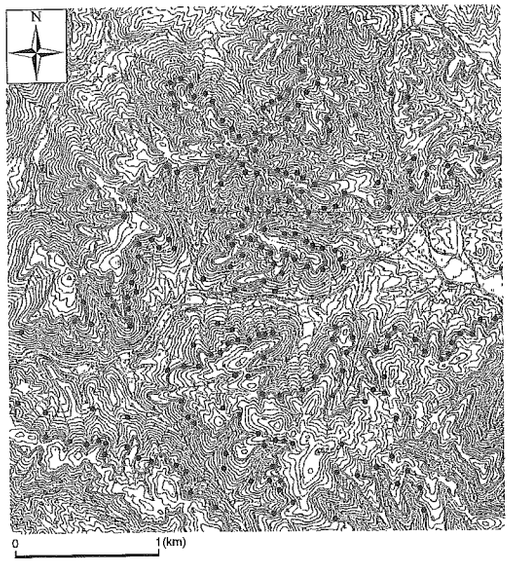
図-10　蛇紋岩山地の形成過程に関与する岩石物性と削剝過程を示す模式図[9]

り，同様に谷地形が明瞭な南東隅の領域の地質は，古生代の堆積岩類である．

一般に，蛇紋岩の大規模な岩体の物性は，Suzuki[8]によれば，①新鮮部(塊状，高節理密度・硬岩，難透水性)，②緩み帯(高節理密度・中硬岩，高透水性)，③風化帯(塑性的・粘土質，低透水性)からなる(**図-10**)[9]．図-8中の2本のトンネルのうち，東側の大江山トンネルは，北側の坑口付近を除き，蛇紋岩の岩体の中を通過している．このトンネルの土かぶりの小さい区間は，蛇紋岩の厚い緩み帯に相当する部分を通過し，工事中には亀裂に伴う脆弱な破砕部に遭遇する箇所も少なからずあったことが想像される．また蛇紋岩は新鮮な岩盤の部分でも，掘削時には表面がスレーキングを起こすため，施工上の対策が必要であったと考えられる．さらに，北側坑口付近(花崗岩分布域)では，高透水性の蛇紋岩緩み帯から節理の多い花崗岩体に供給される大量の地下水への対策，南側坑口部分やそれ以南の切土区間では，蛇紋岩表層の厚い風化帯における斜面災害対策が検討されたと思われる．

水系に関してもう一つ注目すべきことは，谷の開始点である．**図-11**は，広島県庄原市で2010年7月に豪雨災害が発生した付近の地形図に水系と遷急線を記入し，土石流発生箇所をプロットしたものである．

遷急線とは，前述した地形界線のうち下方に不連続に傾斜が急になる地形の境界で，その線を境に下方側がより浸食作用が活発な領域であると考えられている．図の範囲内では，谷の始まり(谷の形状を示す最上流部：0次谷)が遷急線の直下に位置している場合が多いことがわかる．この地域の地質はいわゆる流紋岩類である．その新鮮な部分は，節理が発達した中硬岩と考えられるが，表層部分は風化帯が形成されており，遷急線よりも上部は比較的厚い風化帯が残る部分と考えられる．土石流発生箇所の多くは，遷急線直下に位置している．



水系線と遷急線を記入．黒丸は2010年7月の豪雨災害で発生した土石流の発生地点．

図-11　広島県庄原市付近の水系図(国土地理院1：25,000地形図　庄原，西条)

遷急線より下部の，谷線が明瞭な領域は，浸食作用が常時活発なため，崩壊発生源となる物質は既に乏しく，崩壊発生箇所にはならない．通常は強い浸食作用から逃れて風化帯の縁辺部の斜面にとどまっている風化層が，間欠的に発生する豪雨によって崩壊し，土石流になって流下したものと考えられる．

3-6　地形種

地形図には地形の名は書かれていない．しかし，地形には特有の名前がある．一般的には，山，台地，平野，尾根，谷，島など，主に形態とその相対的位置関係の概略を表す用語が使われている．しかし，地形学的には，特定の成因によって形成された特定の形態的特徴をもつ地形を地形種[10]と呼ぶ．崖錐，地すべり，扇状地，段丘，砂丘，三角州などがそれである．

成因用語である地形種の区分を用いることは工学的判断を導く際にも便利である．地形種は階層性を持ち，例えば，「地すべり」の中にも，下位の階層として，「地すべり滑落崖」や，「地すべり側方崖」，「地すべり凹地」など，現象の規模に応じたそれぞれ異なる成因に対応する用語がある．

表-3　地形と地形種の比較(形態的に似ている地形でも形成過程の異なる地形種の例)[11](表記は原表に従う)

地形(形成過程と無関係な地形の日常用語の例)		地形種(主要な形成過程別に大別した地形種のうち，日本に多い例)				
		付加地形	除去地形	集団移動地形	火山地形	変動地形
山		砂丘，泥火山	侵蝕山地，丘陵	地すべり丘	火山体一般	地塁，断層突起
尾根		砂丘	ケスタ，河間尾根	地すべり堆	熔岩流尾根，火口縁	地塁，背斜尾根
細長い微高地		自然堤防，浜堤	鬼の洗濯板	土石流堆	熔岩堤防	断層シワ
○○富士		富士信仰による人工的な築山	ビュートなどの差別削剝地形	地すべり丘	成層火山，火山砕屑丘，熔岩円頂丘	三角末端面の山脚
丸い小丘		凍結坊主	差別削剝地形	地すべり丘	熔岩円頂丘，泥流丘	
高台(頂部に平坦地を伴うもの)		砂丘帯，宅地造成による谷の埋立地	段丘，丘陵の尾根部，メーサ	地すべり堆	火砕流台地，熔岩流尾根	地塁 活背斜尾根
谷		砂丘間の谷	侵蝕谷	裾合谷	火山成初生谷	断層谷，地溝
峠・鞍部		砂丘間の峠	断層線峠	地すべり堆に多い	火山体間の峠	断層鞍部
長い崖(平面形による区分)	尾根型斜面	サンゴ礁外壁	段丘崖，硬岩の海蝕崖	地すべり堆末端崖	熔岩流末端崖	断層崖
	直線斜面	サンゴ礁外壁	段丘崖，軟岩の海蝕崖	地すべり側方崖	熔岩流側壁崖，火山性割れ目壁	断層崖，撓曲崖
	谷型斜面	砂丘の風下斜面	段丘崖，河川攻撃斜面	地すべり滑落崖	火口壁，カルデラ壁	撓曲崖
扇状の緩傾斜面		沖積扇状地	侵蝕扇状地	沖積錐，崖錐	熔岩流扇状地	
平坦地		各種の堆積低地，段丘面	波蝕棚，侵蝕低地，段丘面，小起伏面	地すべり堆の一部	火砕流台地面，熔岩台地面	
島		サンゴ島，沿岸洲	リアス島	地すべり島	火山島，泥流丘群	弧状列島
半島		砂嘴，陸繋島	リアス半島	地すべり堆	熔岩流半島	地塁半島
湾・入り江		砂嘴で囲まれた湾，サンゴ礁成の湾	リアス湾，フィヨルド，エスチュアリー	地すべり堆で囲まれた湾	沈水した火口・カルデラ	沈水した地溝・断層角盆地
凹地・盆地		砂丘間凹地，堤間凹地	ドリーネ，侵蝕盆地，台地上の浅い凹地	地すべり凹地，地すべり堰止凹地	火口，カルデラ，火山泥流凹地	断層盆地・凹地，地溝
湖沼		潟湖，河跡湖，支谷閉塞湖，堤間湖	氷河湖	地すべり凹地，地すべり堰止湖	火口湖，カルデラ湖，火山堰止湖	各種の断層湖

注1)形態だけは類似している地形でも，その規模，相対位置(地形場)，形態(平面形・断面形)の異なる多種多様な地形種がある．ここには，ごく一部の例か示されているにすぎない．とくに，斜面一般は省略されている．
2)海岸付近の地形では，氷河性海面変動と種々の地形過程が組み合わさって形成された地形種が多い．
3)空欄は，その地形過程では特定の地形種が形成されないか，またはきわめてまれであることを示す．
4)住宅団地の造成地では，○○台とか△△ケ丘という新しい地名が多いが，軟弱な盛土地(人工的付加地形)もあるので要注意．

3-6-1　地形の階層性[12)]

階層の低い地形種ほど形成過程が簡単であり，それを特定するほどその地点の自然条件の推論の精度が上がる

① 平野(例：関東平野)＝低地＋段丘
② 低地＝堆積低地＋付着低地＋浸食低地＋溶食低地＋集団移動成低地
③ 堆積低地＝河成低地＋海成堆積低地＋湖性堆積低地＋風成堆積低地(＋氷河成堆積低地)
④ 河成低地＝谷底堆積低地＋扇状地＋蛇行原＋三角州＋支谷閉塞低地
⑤ 蛇行原＝河川敷＋河跡湖＋流路跡地＋自然堤防＋後背低地(＋河畔砂丘)
⑥ 後背低地(広義)＝後背低地(狭義)＋後背湿地＋後背沼沢地＋後背湖沼

また，一般的な地形用語として類似しており，実際にも似た形状を示す地形でも，成因は全く異なることがある(**表-3**)．

したがって，地形種を認定することができれば，その地点で発生する可能性のある現象と，その地点の地形を構成する物質の材質とを決定することができる．

地形種の用語を知り，その成因となる現象を理解することは，本来同時に行われることが望ましい．しかし，あらゆる地形が形成される過程を，直接目の当たりにして観察することはできない．したがって，その場所の現状の地形の前後の姿を想像し，あるいは別の場所の類似の地形や類似の現象を参照しながら，成因を推定しなければならない．この点が，地形(地質も)の理解の一般的に難しいところであろう．

本講座では，地形種を網羅的に覚えることは目的としないが，成因に従って区分された地形種からは，工事現場の地盤性状の推定と発生する現象の予測が論理的にできることの理解を目指す．

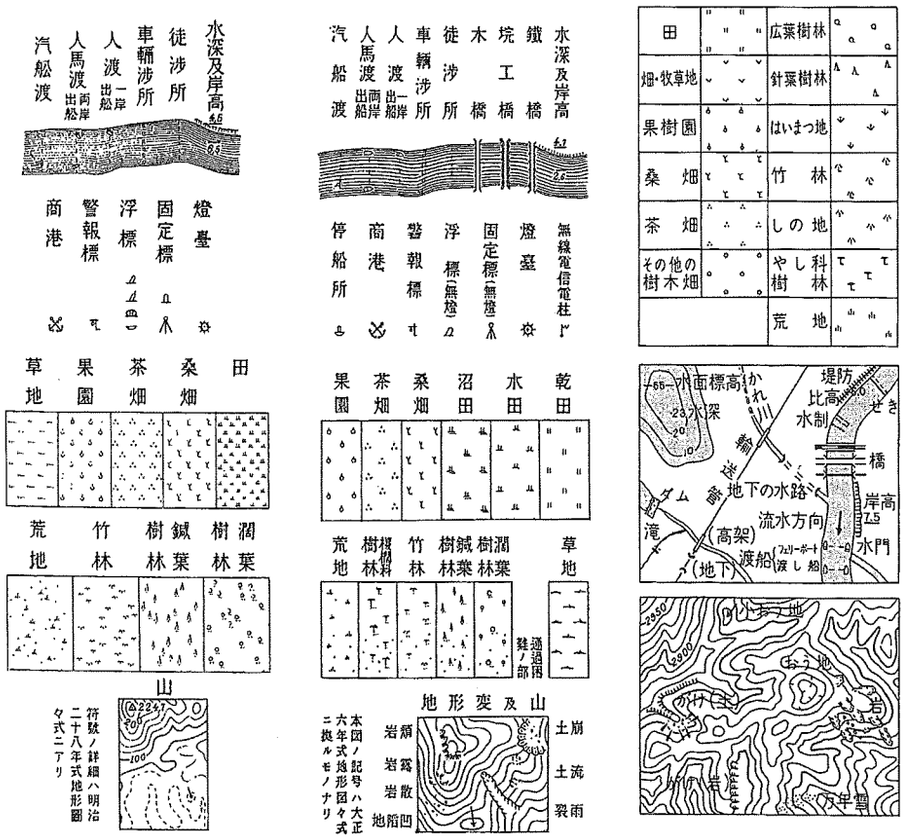


図-12　新旧地形図の図式の変遷

3-7　地形図の図式

地形図に描かれたさまざまな記号からは，その地点の土地利用状況がわかり，植生や湿潤状態などの環境が推察できる．新旧の地形図を見比べることにより，土地利用の変遷や人工改変の状況などの情報を得ることができる．過去の状況，とくに航空写真のない1940年代以前の状況を知るには，旧版の地形図が頼りになる．**図-12**には，新旧の地形図の図式の変化を示した．旧版地形図には，後の版では採用されなくなった有用な情報もある．このことについては，本講座の中で折に触れて解説していきたい．

④ おわりに

以上に概略を説明したように，地形から地山の性状を推定したり，そこで発生しうる災害現象などを予測したりする際には，必ず説明可能な理由と論理がある．基本的には自然現象は複雑であるから，推測の論理には精粗があるが，路線計画や施工現場の概略的な特性を知るには，地形から得られる情報は十分に役に立つと考えられる．

次回以降では，地形種の概念にもとづいた地形区分法に従い，基本的な地形ごとにどのような「地相」が読みとれるかについて，解説していく予定である．

(文責：向山栄・国際航業(株))

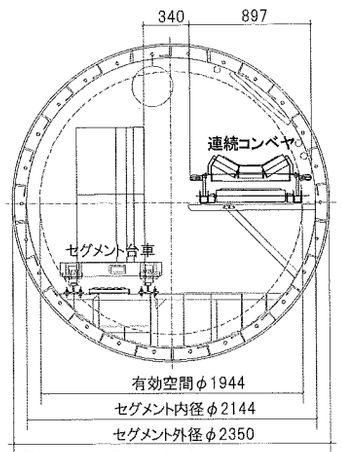
参考文献

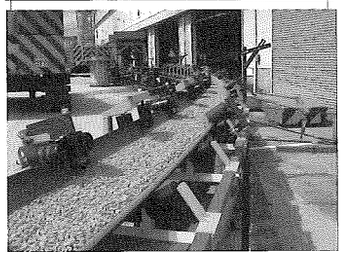
1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，全4巻，古今書院，1322p，1997-2004.
2) 日本応用地質学会編：原典から見る応用地質学 その論理と実用，古今書院，p.223，2011.
3) 土木学会：昭和39年土木学会制定トンネル標準示方書解説，pp.3-26，1964.
4) 土木学会：2006年制定トンネル標準示方書　山岳工法・同解説，pp.16-19，2006.
5) 日本応用地質学会編：山地の地形工学，古今書院，p.1，2000.
6) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第1巻，読図の基礎，古今書院，p.104，1998.
7) 井上公夫・向山　栄：建設技術者のための地形図判読演習帳 初・中級編，古今書院，p.9，2007.
8) Suzuki, T.,: Formative processes of specific features of serpentinite mountains, Trans. Japan. Geo-morph. Union, 16, pp.93-113，2006.
9) 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.919，2008.
10) 日本地形学連合 編：地形学から工学への提言，地形工学セミナー1，古今書院，第1章 地形工学の役割，p.8，1996.
11) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第1巻，読図の基礎，古今書院，p.42，1998.
12) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第1巻，読図の基礎，古今書院，p.132，1998.

E. フック・E. T. ブラウン共著
岩盤地下空洞の設計と施工
理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判・442頁・上製本　本体価格9,800円（〒450円）
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

工法・技術・製品ニュース

製品 小断面トンネル用連続ベルトコンベヤを開発・実証





大林組　CSR室広報部広報第一課
TEL　03-5769-1014
http://www.obayashi.co.jp/

大林組，バンドー化学，タグチ工業，小西咲は共同で，小断面トンネル用連続ベルトコンベヤを開発し，大林組大阪機械工場の実験施設でその性能を確認したと発表した．

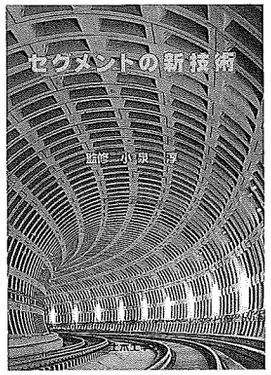
実証実験に供されたのは，ベルト幅450㎜（ベルト張力630N/㎜，プライ数３），最大ベルト速度145m/min，最大搬送量60t/hr（例：掘削外径φ3.5mのシールドで掘進速度50㎜/min）のもの．幅840㎜×高さ822㎜×長さ2,657㎜，45kW（４p×400V）の中間ブースタを設置した．

従来品では最小でも610㎜あったベルトの幅を450㎜に狭めると同時に，高効率性や高い搬出能力，急曲線やあらゆる土質に対応した搬送時の安定性能も備えた．これにより，径２m程度の小断面の長距離シールド工事にも連続ベルトコンベヤの採用が可能とした．

同社では，φ3.4m，５kmのトンネルを想定した場合，ずり鋼車を用いた場合に比べ，掘進サイクルタイムが20%程度削減が可能となり，土砂圧送・流体輸送方式を用いた場合に比べ電力コストが50%程度抑えられるとしている．

近年，泥土圧式シールドトンネルでは，工事の長距離化に伴い掘削土の搬出能力が高い連続ベルトコンベヤが多く採用されている．従来のベルト幅は最小でも610㎜であり，設置するためには，シールドトンネルの掘削外径がφ3.5m以上で，かつ坑内の設置空間が確保される場合に限定されていた．現状の下水道，電力，ガスなどのインフラ設備用のシールドトンネルの工事発注は，掘削外径がφ２～3.5m程度の小さなトンネル断面の物件が多くを占める傾向があり，中にはトンネル線形に急曲線部を含んだ長さが数kmに及ぶ工事もある．

これまでは，連続ベルトコンベヤでは搬出能力を確保しつつベルト幅を狭くするなど，曲線に対応することが困難となっていた．



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

Ｂ５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として，過去10年間に開発され，実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し，また，土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し，同じフォーマットで紹介したものをもとに，新たに「セグメントの新技術」編纂委員会を作り，個々のセグメントに加筆，修正を加え，より充実した内容にまとめたものである．

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	4月30日現在
正会員	1,549名
団体会員	355名
個人会員	1,194名

2. 第209回理事会，第73回顧問・評議員会

日　時：平成24年４月23日（月）12：00～13：00
場　所：東京商工会議所８F「東商スカイルーム」
出席者：理事26名，監事３名，顧問１名，評議員18名，計48名
議　事：
①入退会
団体会員32名（うち，５名手続き中）と個人会員10名の42名の入会と団体会員38名と個人会員１名の39名の退会を承認
②理事，評議員の交替
＜理　事＞

旧	新	所属役職
土谷　誠	飯田　廣臣	(株)奥村組東京本社執行役員
小野　武彦	井手　和雄	清水建設(株)常務執行役員
阿比留卓雄	大和　修二	鉄建建設(株)常務執行役員

＜評議員＞

旧	新	所属役職
三輪　誠	太野垣泰博	(独)鉄道・運輸機構鉄道建設本部東京支社長
岡野　哲	山岸　一彦	本州四国連絡高速道路(株)東京事務所次長
菅野　幸裕	坂本　靖	若築建設(株)執行役員営業部長

③一般社団法人への移行に伴う役員の構成を検討
④第38回通常総会の議案を検討

3. 委員会の開催状況（４月１日～30日）

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

総務委員会(4/19)
宮林秀次委員長ほか７名，新法人の役員構成案を検討

広報小委員会会誌WG(4/7)
大島洋志主査ほか13名，５月号の会誌と３か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会対外広報WG(4/6)
早坂治敏主査ほか６名，英文原稿を検討

海外文献小委員会海外文献WG(4/17)
大久保誠介主査ほか８名，海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(4/25)
浅見均主査ほか９名，英文原稿を翻訳

◎事業委員会

事業委員会(4/11)
桑原彌介委員長ほか14名，催物開催結果報告と24年度計画の検討

40周年記念事業準備会(4/26)
久多羅木吉治主査ほか６名，スケジュールを検討

計　７回開催　70名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(4/10)
伊藤泰司委員長ほか14名，作業方針を検討

山岳工法小委員会支保WG(4/13)
蓼沼慶正主査ほか23名，報告書とりまとめ方針を検討

◎受託研究特別委員会

効率的掘削工法特別委員会補助ベンチWG(4/5)
鈴木雅行主査ほか９名，報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会高速施工WG(4/12)
領家邦泰主査ほか８名，報告書原稿を検討

効率的掘削工法特別委員会掘削養生WG(4/17)
松岡茂委員ほか９名，報告書原稿を検討

掘削土砂処理特別委員会全体調整WG(4/3)
後藤徹委員長ほか９名，報告書記述内容を調整

掘削土砂処理特別委員会(4/20)
後藤徹委員長ほか17名，報告書原稿を検討

計　７回開催　94名出席

合計　14回開催　164名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第38回ITA総会およびコングレス 「Tunnelling and Underground Space for a Global Society」	2012. 5. 18～24	バンコク(タイ)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Thailand Underground & Tunnelling Group http://www.wtc2012.com/
第39回ITA総会およびコングレス 「Underground －the way to future－」	2013. 5. 10～17	ジュネーブ (スイス)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Swiss Tunnelling Society http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス 「Tunnels for Better Living」	2014. 5. 9～15	サンパウロ (ブラジル)	International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) Brazilian Tunnelling Committie

＊国際会議の開催予定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

施工体験発表会のご案内

恒例の施工体験発表会を本年は開催時期を早め下記のとおり開催します．第70回は山岳トンネルを対象とし「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」と題して12件，また，第71回は都市トンネルを対象とし「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」と題して11件それぞれ発表していただきます．トンネルは経験工学といわれています．多くの方々の経験から得られた技術を自らのものとする大変良い機会と考えます．多数ご参加くださいますようご案内いたします．なお，掲載のプログラムは必要に応じ変更する場合がございますのでご了承願います．また，詳細はホームページに掲載しておりますのでご参照願います．

―記―

開催場所：虎ノ門発明会館「地下ホール」(案内図参照)
開催日：第70回(山岳)施工体験発表会　平成24年６月26日(火)
　　第71回(都市)施工体験発表会　平成24年６月27日(水)
プログラム：別紙のとおり
定員：各200名(定員になり次第締切いたします．)
参加費：第70回，第71回それぞれ個人会員10,000円，団体会員12,000円，一般15,000円
申し込み方法：申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAX，E-mailをもってお申し込み下さい．受領後，事務局より受付番号を連絡いたします．電話での申し込みは受付けませんので，ご了承願います．
支払方法：上記申込ののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名，受付番号を記入のうえ下記へお振込願います．現金書留でも結構です．
　　郵便振替口座　00160-7-196331　社団法人日本トンネル技術協会
その他：①参加費の払戻しはいたしかねますが，代理参加は差し支えありません．
　　②テキストをCDで事前に送付いたしますので，住所等は必ずご記入願います．
　　＊なお当日は印刷されたテキストを配布いたしませんので各自必要箇所コピーのうえご持参意願います．また，テキストのCDを受領し，参加費未納で欠席した場合は，テキスト代として5,000円請求させていただきますのでご了解願います．
　　③申込みに係る個人情報につきましては，他に利用するものではありません．

【施工体験発表会参加申込用紙】

平成24年　　月　　日

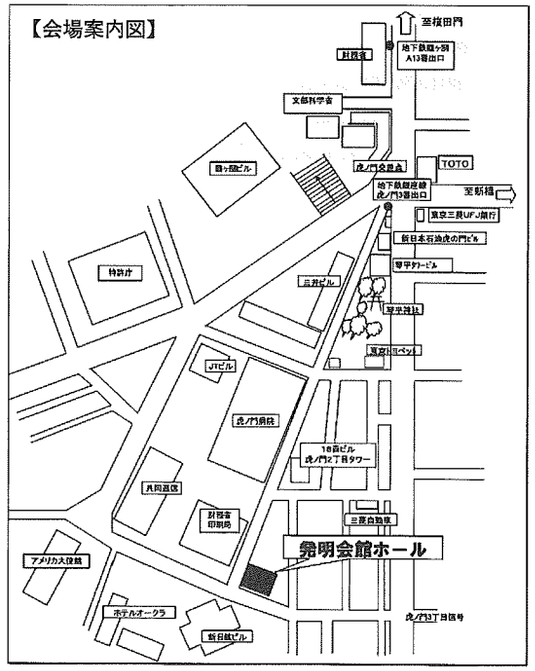
社団法人日本トンネル技術協会 施工体験発表会係
〒104-0045　中央区築地 2-11-26築地MKビル６階
TEL：03-3524-1755　　FAX：03-5148-3655　　E-mail：event@japan-tunnel.org
・FAXの場合：下記申込書を利用してください．申込者１名に付き１枚とし，一括送信願います．
・E-mail利用の場合：様式にこだわりませんが，下記内容を網羅して送信願います．

施工体験発表会参加申込書

下記のとおり申込みいたします．

発表会名	□第70回(山岳)，□第71回(都市)(□に✓印願います)				
氏名(ふりがな)		年齢	歳	電話	―　―
会社名					
所属役職					
会社住所	〒				
備考	□個人会員，□団体会員，□一般(非会員)(□に✓印願います)				

【会場案内図】



発明会館「地下ホール」
〒105-0001　東京都港区虎ノ門２丁目９番14号
TEL：03-3502-5499
銀座線「虎ノ門」駅　３番出口より徒歩５分

第70回（山岳）施工体験発表会プログラム

「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」

開催日：平成24年６月26日（火）

場　所：虎ノ門発明会館「地下ホール」

司　会　　事業委員会委員（飛島建設(株)土木事業本部エンジニアリング事業推進部部長）　松原　利之

10：00　開　会　　事業委員会委員長（日本交通技術(株)相談役）　桑原　彌介

10：05　坑外，坑内の環境課題改善に向けた新技術の現場適応試験報告―熊本３号　津奈木トンネル新設工事―
(株)大林組熊本３号津奈木トンネル新設工事主任　西野　俊諭

10：30　SD・EDD発破工法を用いた硬岩トンネルの低振動掘削―国道42号紀宝バイパス・紀宝トンネル工事―
(株)奥村組東日本支社土木技術部技術１課上席課員　浜田　元

10：55　崖錐堆積物の分布する急傾斜地におけるトンネル坑口施工について―東広島・呉道路　広石内トンネル―
大成建設(株)中国支店島根原子力発電所輪谷貯水槽耐震補強工事主任　中村　誠

11：20　工程短縮と安定性を考慮した偏圧地形における坑口部の設計施工―北海道新幹線泉沢トンネル―
飛島建設(株)新幹線泉沢作業所監理技術者　澤　正武

11：45　【昼　食】

司　会　　事業委員会委員（(株)大林組生産技術本部統括部長）　居相　好信

12：45　押出し性地山における双設トンネルの施工事例―新東名高速道路　鳳来トンネル工事―
清水建設(株)名古屋支店土木部新東名高速道路鳳来トンネル工事作業所主任　石川　俊明

13：10　山岳トンネルにおける鉛直離隔５mの構造物に対する沈下対策―三原バイパス　第４トンネル―
戸田建設(株)広島支店作業所長　田中　誠

13：35　掘削ズリに砒素と黄鉄鉱を含むトンネルの施工―第二伊勢道路２号トンネル堅神工区―
間・山野・亀川特定建設工事共同企業体堅神作業所所長　岩田　義弘

14：00　【休　憩】

司　会　　事業委員会委員（戸田建設(株)土木本部土木工事技術部技術一課課長）　石垣　和明

14：10　急傾斜地斜面に配慮したトンネル発破掘削について
―国道156号岐阜東バイパス（仮称）岩田山トンネル工事―
佐藤工業(株)土木事業本部技術部技術課長　加藤　公章

14：35　表面平滑型シート防水（ハイ・イータス工法）の適用事例とその効果について
―一般国道229号余市町梅川トンネル工事―　　前田建設工業(株)北海道支店　椙山　孝司

15：00　大規模地すべり斜面に対する押さえ盛土内のトンネル施工―北海道新幹線新茂辺地トンネル工事―
(株)熊谷組東北支店釜石山田道路作業所工事課長　大畑　雅義

15：25　【休　憩】

司　会　　事業委員会委員（(株)間組土木事業本部技術第三部長）　鈴木　雅行

15：35　堆積軟岩における大深度立坑の施工―幌延深地層研究計画地下研究施設整備（第Ⅱ期）等事業―
大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体工事課長　萩原　健司

16：00　硬質地山における長孔発破（最長7.2m）の施工―亥谷山トンネル（賀田工区）―
鉄建建設(株)土木本部課長代理　川島　義和

16：25　閉　会

第71回（都市）施工体験発表会プログラム

「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」

開催日：平成24年６月27日（水）

場　所：虎ノ門発明会館「地下ホール」

司　会　　事業委員会委員（(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部長）　金田　則夫

10：00　開会挨拶　　事業委員会委員長（日本交通技術(株)相談役）　桑原　彌介

10：05　工事桁併用のHEP＆JES工法によるアンダーパスの施工
―常磐線（７線）直下を歩道と地下埋設管を確保したままの施工―
鉄建建設(株)東京鉄道支店土木部担当部長　大場　秀彦

10：35　海底横断ガス導管シールドへのURUP工法の適用―田原第２幹線三河湾横断シールドトンネル―
(株)大林組生産技術本部シールド技術部技術第二課長　足立　邦靖

11：05　R-SWING工法による矩形断面トンネルの施工実績―新御茶ノ水駅連絡出口入口設置工事―
鹿島建設(株)東京土木支店新御茶ノ水駅JV工事事務所所長　諸橋　敏夫

11：35　連続した重要構造物との交差区間の施工について―302号線緑地共同溝工事―
飛島建設(株)名古屋支店緑地共同溝作業所監理技術者　林　尚孝

12：05　【昼　食】

司　会　　事業委員会委員（東亜建設工業(株)土木事業本部技術部長）　久多羅木吉治

13：05　気泡シールド工法の掘削土流体輸送
―吉野川下流域農地防災事業　北部幹線水路（板東・萩原工区）建設工事―
(株)フジタ広島支店土木工事部北部幹線作業所長　宮本敬治郎

13：35　地下鉄など多数の重要構造物と交差する大深度・長距離シールドによる貯留管の施工
―「平成の太閤下水」 北浜逢阪貯留管築造工事―
(株)間組大阪支店土木部太閤シールド出張所監理技術者　上原　隆信

14：05　複雑に変化する地質と重要構造物を横断するシールドトンネル
―カッタビットの適切な交換時期と重要構造物横断時の掘進管理―
熊谷・西邦・山野特定建設工事共同企業体宮川シールド作業所所長　春名　俊二

14：35　掘削途中で実施したメタンガス対策工の実績―配水管布設φ1350（バイパス・堺市２工区）―
戸田建設(株)・オリエンタル白石共同企業体排水管布設堺市作業所所長　原　昌広

15：05　【休　憩】

司　会　　事業委員会委員（東京都下水道局建設部設計調整課長）　新谷　康之

15：15　４径間連続鉄道高架橋のアンダーピニング工事―外環東西線交差部工事―
東京地下鉄(株)改良建設部第一工事事務所副主任　南立　修司

15：45　輻輳する地下構造物と近接するシールド工事―飯倉芝公園管路新設工事―
(株)奥村組東日本支社飯倉芝公園管路新設工事共同企業体工事主任　根来　将司

16：15　先行地中底板にハーモニカ工法を採用したアンダーパス構築工事
―府中３・４・７号線と京王線との立体交差化工事―
大成建設(株)東京支店東府中街路作業所工事主任　大塚　信介

16：45　閉　会

7月号予告[7月1日発売予定]

●高速化を目指した自由断面掘削機の改良
●奥羽本線　新青森こ道橋
●中部横断自動車道　八之尻トンネル
●岸谷生麦線(国道1号線行き)トンネル
●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
【連載講座】
●トンネル技術者のための地相入門(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆昨年の震災以降，首都直下型や東南海地震の見直しが行われているなか，富士山の直下に活断層があるらしいとの発表がありました．巨大地震が起きると巨大な山崩れ起こる可能性があるとのこと．被害も恐ろしいですが，あのすばらしい勇姿がどのように変わってしまうのか，そちらも心配です．

◆本来，6月は衣替えの季節ですが，企業や学校では5月よりクールビズや夏服にしているところも多くなりました．地球温暖化によるCO_2削減や昨年の震災に伴う節電効果もあってか，照明の間引きやクーラーの高めの設定温度も苦にならなくなりました．つい最近までは，真夏でも営業の方がお客さんに会いに行くときは，ジャケットを着てネクタイを締めるのが礼儀のようなところがありましたが，ここにきて，これらは視覚的にも暑さを感じるため，あえて着用しないようにお願いしているところも多くなってきているようです．

◆原発の問題で今年の夏も節電は必至です．一人ひとりが置かれている状況を理解し，何をしなければいけないのか，そのためにどうすればよいのかを考えてこれからはじまる暑さ対策に取り組んでいけることを切望いたします．

(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6号〔通巻502号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年5月20日　印刷
平成24年6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

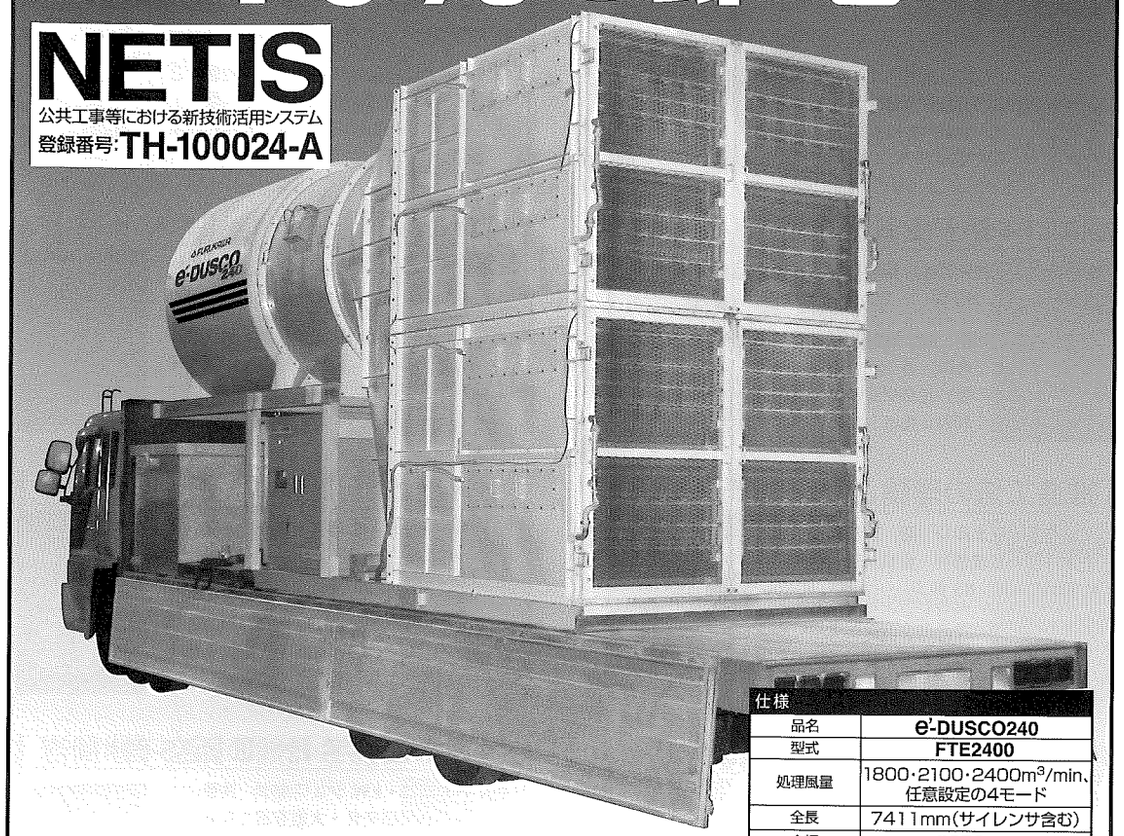
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

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．

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



仕様

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

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

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

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

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

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量でCO_2削減を実現するエコ製品です。

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

図書案内

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方

今田　徹　著
3,200円＋税　B5判

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



わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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



多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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



推進工法の理論と実際

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

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



わかりやすい土木地質学

大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

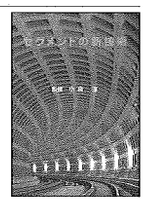
土木工事にかかわりのある地質学の基礎知識を盛り込み，土木工事において問題となる地質事象や，各種地質調査の原理についてわかりやすい解説を与えた．



セグメントの新技術

小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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



続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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



建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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



地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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



シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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



地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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

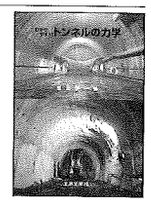
地球という複雑なシステムを循環する水，とくに地下水循環を考え，汚染地下水など環境問題を地下水理学の立場から取り扱うため，水の物理的・科学的性質，地球の状況，水資源としての地下水の状況，地下水の水理学的特性とその調査方法などをわかりやすく解説した．

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

わかりやすいトンネルの力学

福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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



ブロック理論と岩盤工学への応用

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

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



山岳トンネルの新技術

ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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



ジオテキスタイル設計マニュアル

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

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



岩盤地下空洞の設計と施工

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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．



建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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



トンネル工事の衛生と環境保全

臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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



岩盤の計測と解析

鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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



わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉

橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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



海洋資源開発

稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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



トンネルと地下

1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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



書籍のお申し込み

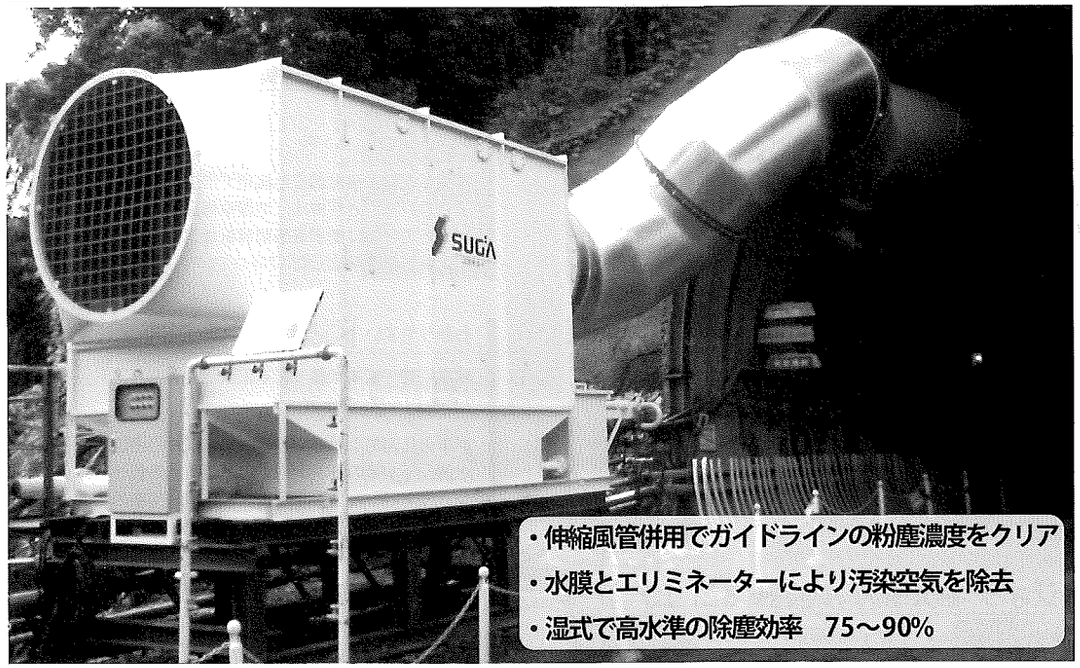
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．
FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

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

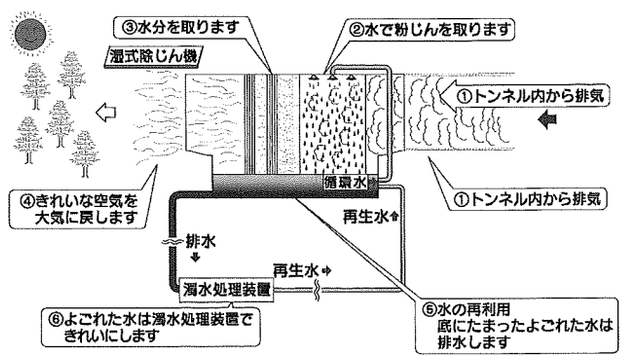
新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

湿式除塵機 シャワーエリミナー

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



除じん機による浄化フロー



機 種

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

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

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

そろそろ夏の対策を考えてみませんか？

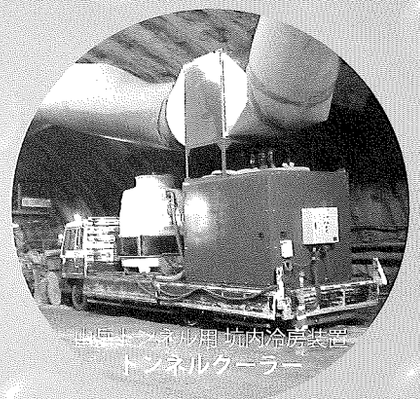
快適環境を応援します！



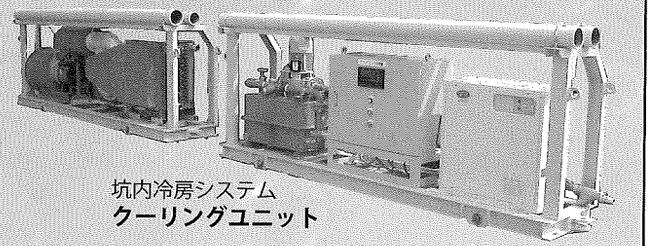
冷房除湿も暖房も可能
モービルエアコン



大風量ミストファン
FA-COOL



坑内冷房システム
トンネルクーラー



坑内冷房システム
クーリングユニット

さまざまな冷房ニーズにお応えします。

- 地下工事、建築工事、除湿冷房、環境改善
- 大型テントなどイベント会場、海の家など仮設冷房
- 大型店舗、工場、倉庫の夏場ピーク冷房
- ホール・体育館の冷房、オフィスビル故障時対応
- 船舶キャビン、大型船槽、タンク内冷房
- ブラスト、塗装の品質向上、除湿、防錆
- 電力ケーブル洞道、変電所点検時冷房
- 農事園芸ハウス温度のピークカット冷房
- 空港整備ハンガー内、スポット冷房、機内冷房

※その他幅広くお客様のニーズに合わせた冷房の設計・ご提案をさせて頂きます。

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