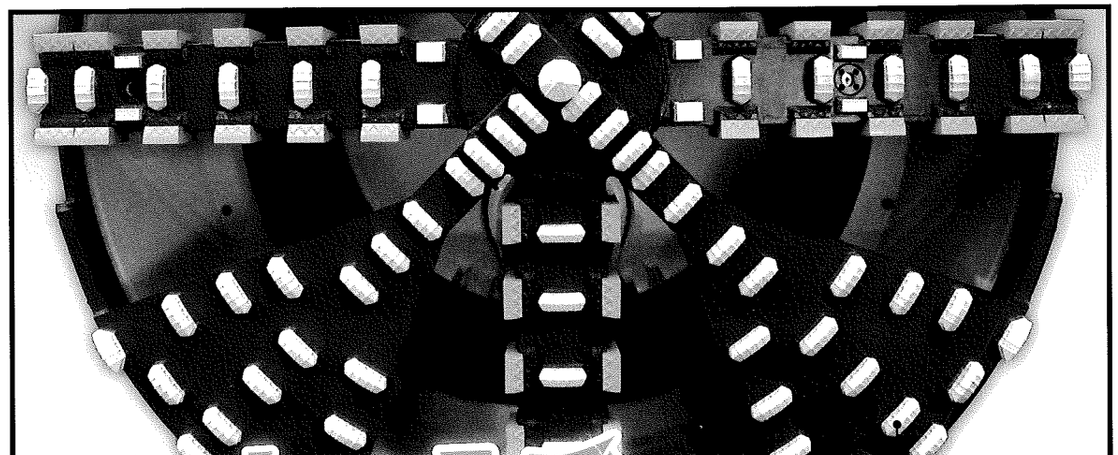
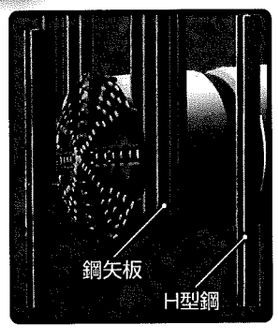
トンネルと地下　平成25年２月１日発行第44巻第２号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



ビットで杭を斬る!

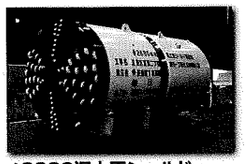


三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けて円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

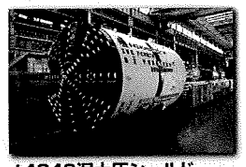
特　長

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

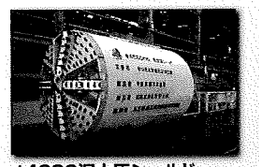
施工実績



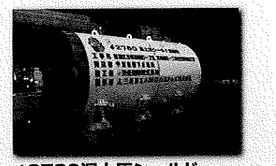
φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型鋼(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面



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

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-2
4910066190231
01500

平成25年２月１日発行(毎月１回１日発行)　第44巻第２号　通巻510号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 2

vol. 44
no. 2
2013

Tunnels and Underground

鉄道高架橋から離隔２mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設
東紀州命の道　熊野尾鷲道路最後のトンネルを貫く
有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消(その２)
深度30mの高水圧下での４mの大口径推進工事
首都高速道路のトンネル構造50年の歩み

日本トンネル技術協会誌



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

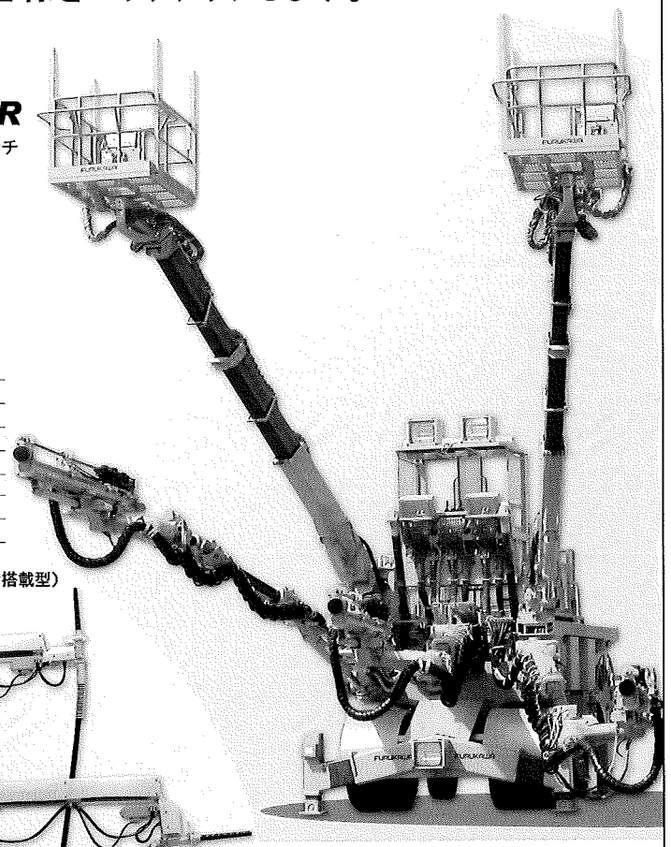
ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/JTH3200R

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

新世代型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載。

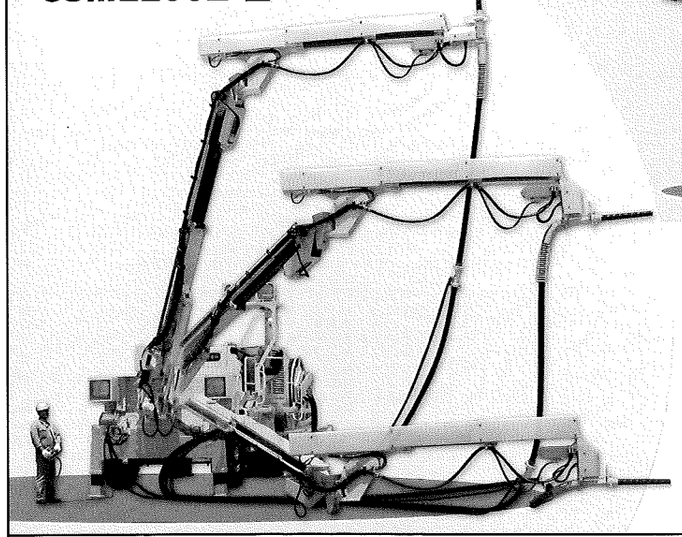




◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5 ton	43 ton
全　長	14,270 mm	14,760 mm
全　幅	2,690 mm	3,140 mm
全　高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高　さ	8,490 mm	8,840 mm

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



◆CJM2200E-Ⅲ　主な仕様

質　量	24 ton
全　長	15,600 mm
全　幅	3,000 mm
全　高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 × 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

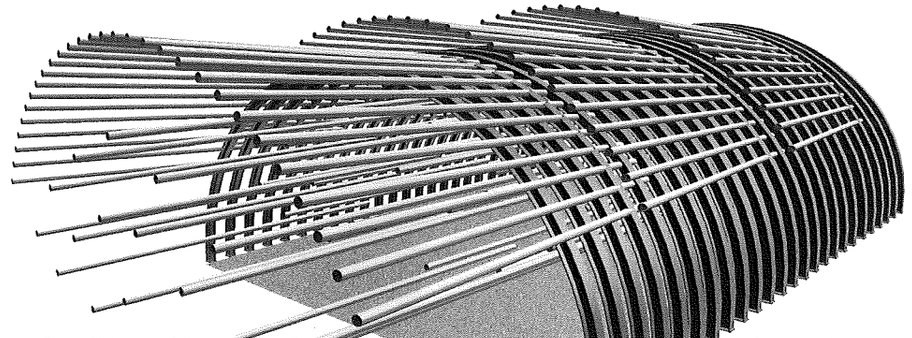
特許登録 第2955279号

NETIS登録(No. CB-030065)

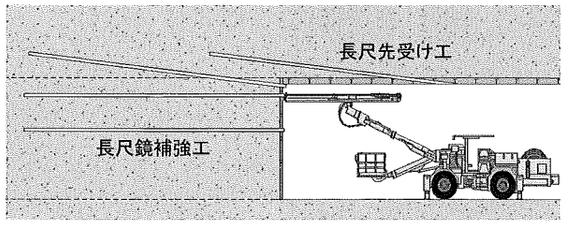
施工実績 300件以上

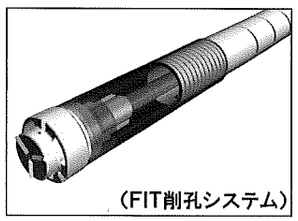
FIT 工法

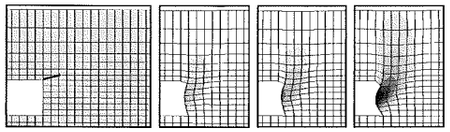
FRP INJECTION TUBE



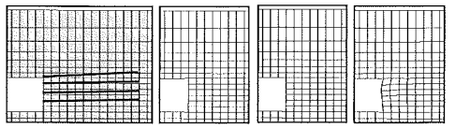
切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。







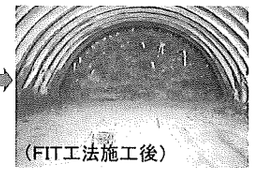
フォアポーリング



FIT工法

(数値解析による効果の検証例)









KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

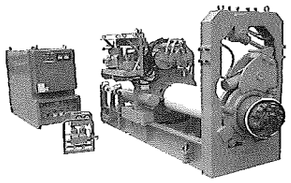
東京土木営業部　TEL(03)6402-8251 FAX(03)6402-8255

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)751-6482

ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

THパイプルーフ工法

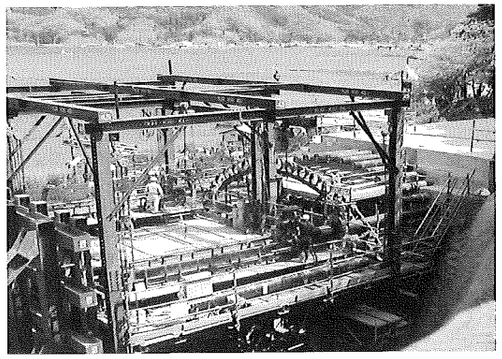


空間を確実に確保

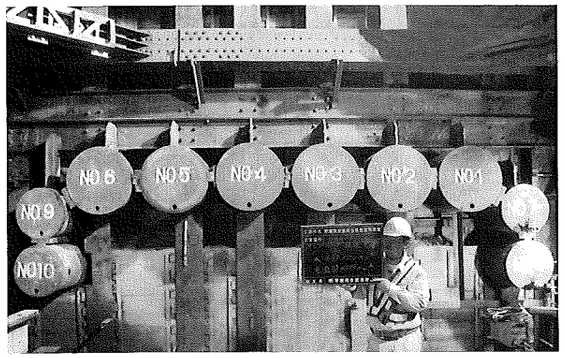
高精度・全地盤型　水平鋼管圧入システム

★ 特　徴 ★

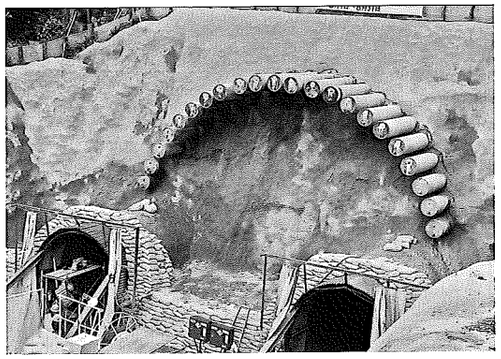
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です
- 常時管芯チェックが可能で，方向修正方式を採用
  （精度が良いため支保作業が容易）
- オーガ中堀り掘削，地山との空隙に同時注入も可能
- 推進途中でのビットの交換が可能で地層変化に対応
- 適応管径は，φ200A～φ1200A
- 最大推進長は，約70～100m
- 推進機は，推力1000kN(100t)2000kN(200t)3000kN(300t)



パイプルーフ施工状況



都市型地下道トンネル掘削に伴う防護



山岳トンネル坑口防護

〔会　員〕 ※会員 募集中 [お問い合わせは　下記　事務局へ]

㈱小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299	東邦地下工機㈱	東京都	TEL 03-3474-3143
東洋地工㈱	福井県	TEL 0776-53-5335	日本基礎技術㈱	東京都	TEL 03-3476-5701
日特建設㈱	東京都	TEL 03-3542-9299	㈱大阪防水建設社	大阪府	TEL 06-6762-5621
ケミカルグラウト㈱	東京都	TEL 03-5575-0511	多田建設㈱	福島県	TEL 024-535-6161
㈱最上機工	山形県	TEL 0233-23-1555	札幌黒澤工業㈱	北海道	TEL 011-215-7500
サン開発工事㈱	大阪府	TEL 072-641-4951	(順不同)		

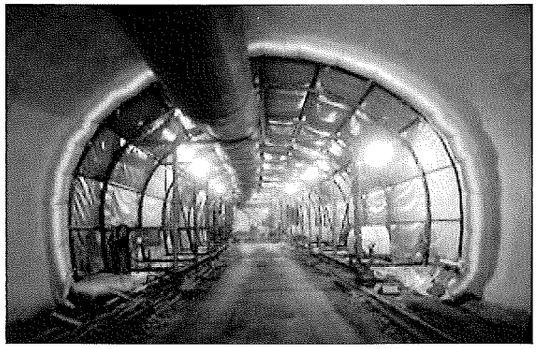
http://www.piperoof.jp　(ホームページです。ここから資料が取り出せます。)

THパイプルーフ技術協会

〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機㈱内
TEL 03-3474-3143　FAX 03-3474-3163
E-mail : jimukyoku @ piperoof.jp

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





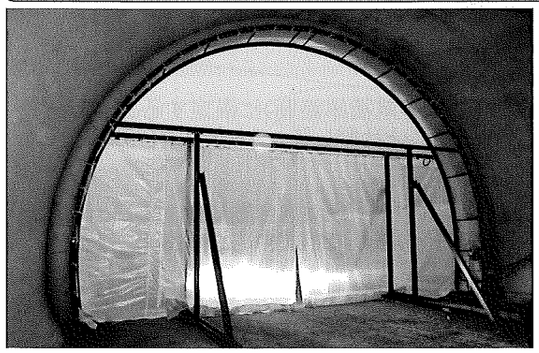
散水式養生台車を使用します．
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い，湿潤養生を行います．
気密性が保持され，保湿性・保温性が得られます．

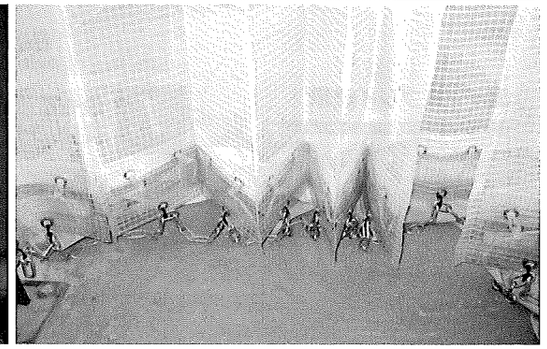
【効果】
・コンクリートは密実になり，初期・長期強度を確保できます．
・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます．
・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます．
・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき，コストダウンが可能となります．

実績および採用決定
(平成24年12月現在)

施　主	実績	計画物件
国土交通省	23件	11件
NEXCO	22件	7件
その他	8件	2件
合　計	53件	20件

貫通後の通風を防止し，ひび割れを抑制します
『トンネルパーテーション』　NETIS 登録 :CG-110032-A





トンネル貫通後の坑口部に設置し，通風を防止します．
トンネル全断面を通風遮断シートで覆います．
固定式，移動式と用途に応じて仕様を選定できます．

【効果】
・貫通後の通風を防止できます．
・坑内温度・湿度を一定にできます．
・覆工コンクリートのひび割れが低減できます．

実績および採用決定
(平成24年12月現在)

施　主	実績	計画物件
国土交通省	3件	4件
NEXCO	2件	3件
その他	1件	1件
合　計	6件	8件

株式会社　マシノ　トンネルグループ

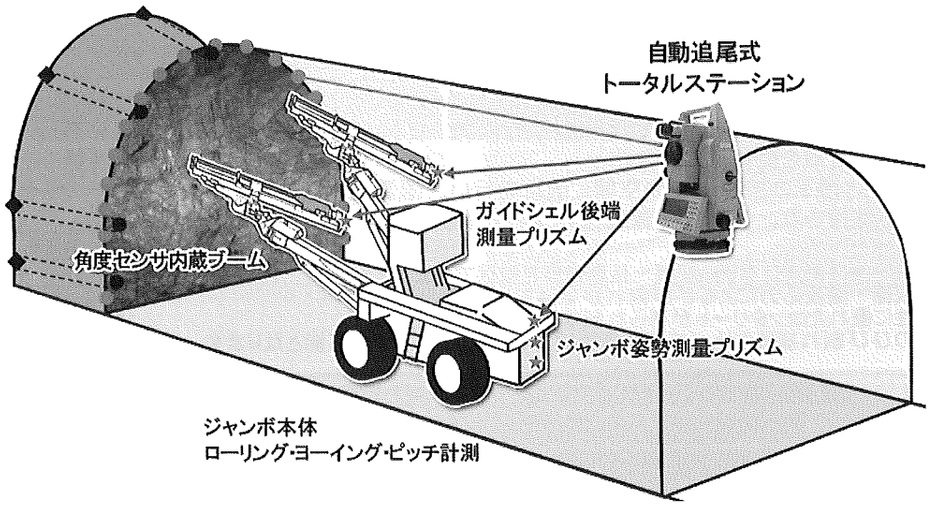
本　　社　〒733-0822　広島市西区庚午中１丁目 19-23
TEL（082）507-2737　FAX（082）507-2721
大阪支店　〒564-0062　大阪府吹田市垂水町３丁目 16-3
TEL（06）6389-6400　FAX（06）6389-6410

NETIS登録番号:KK-100049-A

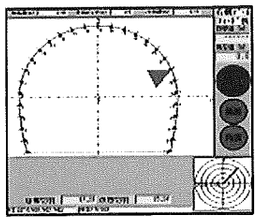
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省　公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

自動追尾式測量器(トータルステーション)との連動により、外周装薬孔の高精度さく孔を可能にしました。余掘量の低減に効果を発揮し、余吹き・覆工コンクリート量を低減することが可能です。



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

1. 最も重要な外周孔(追尾視準範囲)に限定することにより、従来のナビゲーションと比較し低コストを実現しました。
2. ガイドシェルの後端のターゲットを自動追尾することにより常に高い精度を得る事ができます。
3. 自動測量により本体セットアップが簡単に行なえます。
4. 操作方法が簡単でオペレータへの特別な教育を必要としません。

多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社

〒272-0832　千葉県市川市曽谷8-16-3

TEL:047-371-3191　FAX:047-371-3190

FRD FURUKAWA 古河機械金属グループ 古河ロックドリル株式会社

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

パターンボルトのGRP化

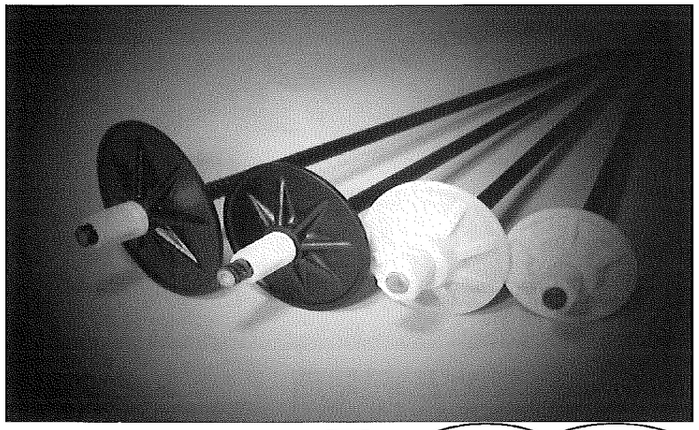
POWERTHREAD

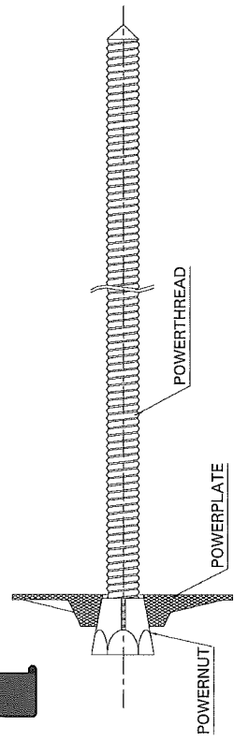
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

耐食機能に優れるロックボルト

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

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





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

環境にやさしいロックボルトシステム

KATECS 株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ　http://www.katecs.co.jp/

技術営業部
TEL)052-331-8821　FAX)052-332-0164

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

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

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

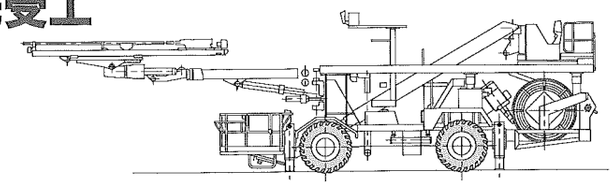
九州営業所
TEL)092-574-0856　FAX)092-574-0846

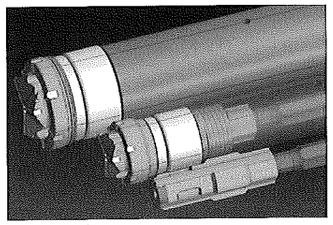
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868　FAX)011-821-6644

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

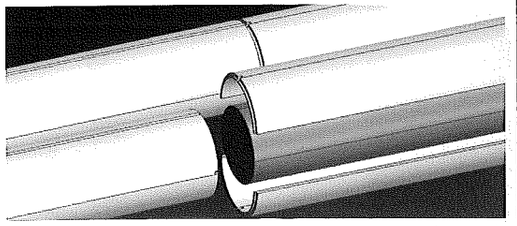


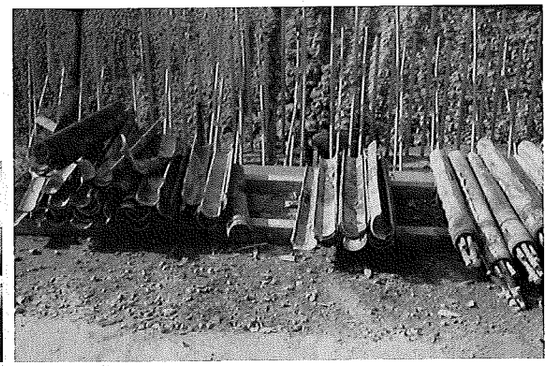


AGF-Me工法

- 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。



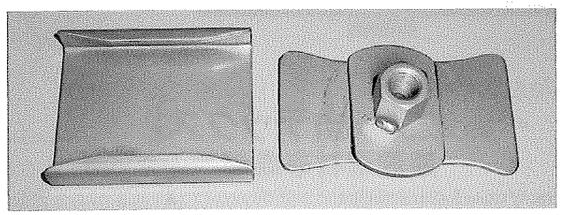


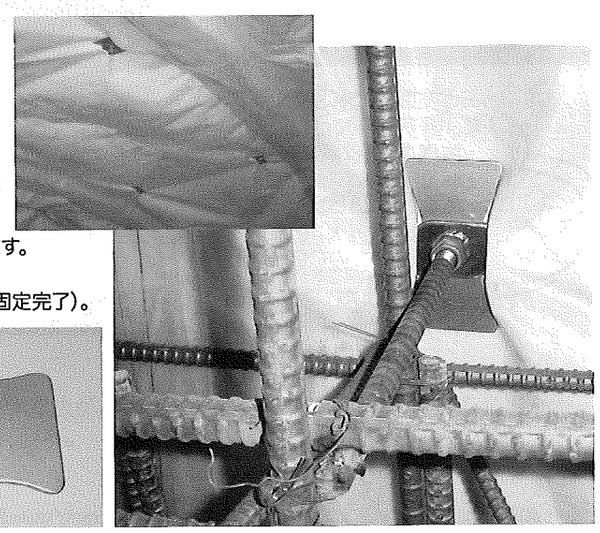
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

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)。



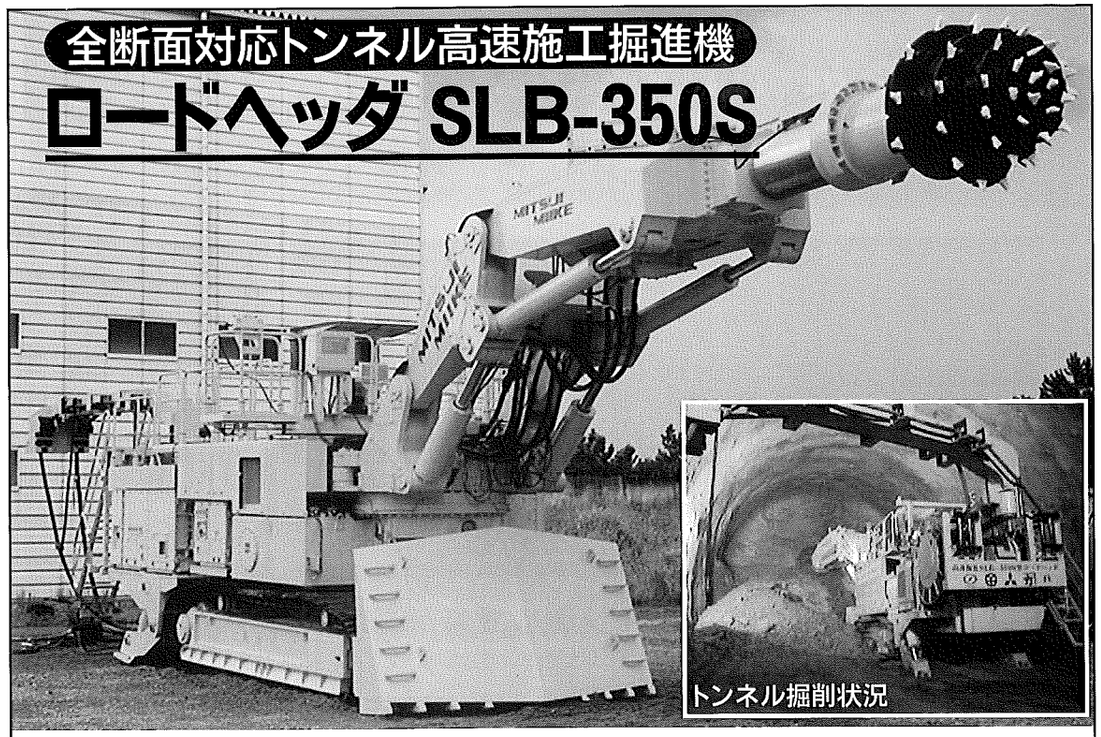


東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8 赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900 Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

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)

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。

※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。



スライドデッキ

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

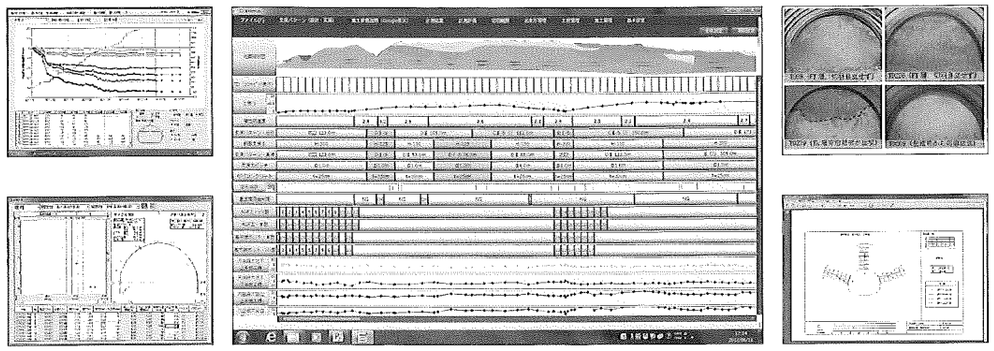
This August Debut

新時代の切羽情報管理システム

Cyber NATM 2nd Generation

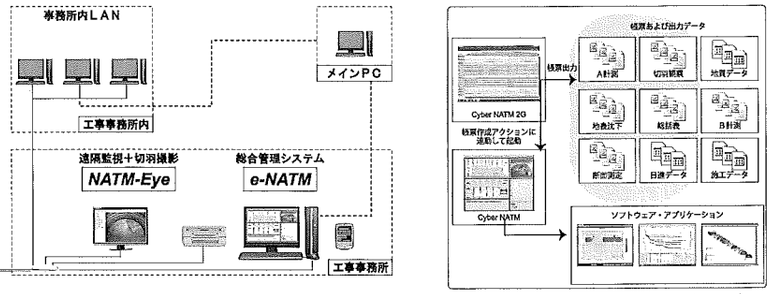
CYBER NATM Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった





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



enzan kouboo

株式会社 演算工房 ENZANKOUBOU CO.,LTD.

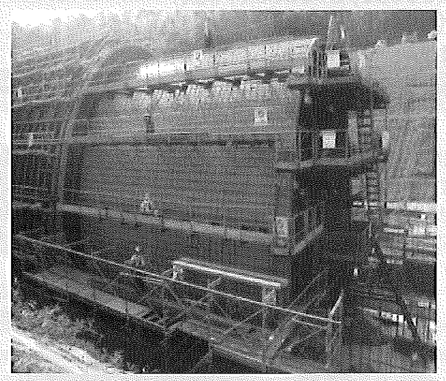
■京都本社 〒602-8268 京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3

TEL:075-417-0100 FAX:075-417-0200

（明かり巻き）

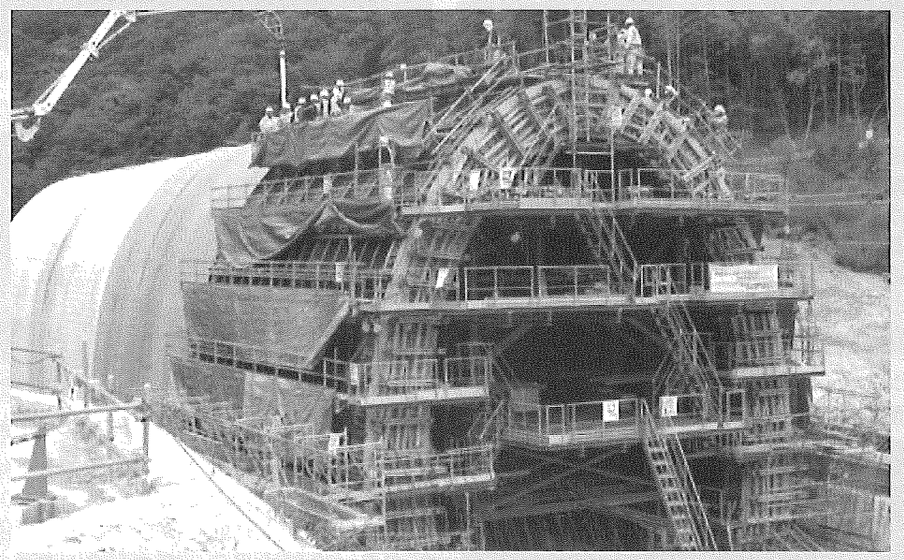
アーチカルバート用セントルの新工法

＜画期的な構造により大幅にコストダウン＞





IN側セントル窓から鉄筋工事用足場をスライドし、ケレン・鉄筋組立て工事を完了。
（スライド足場収納式IN側スライドセントル:特許品）



①移動式OUTセントルをセット → ②セパ取り付け → ③覆作業 → ④コンクリート打設
（左右スライド脱型式OUT側セントル:特許品）

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

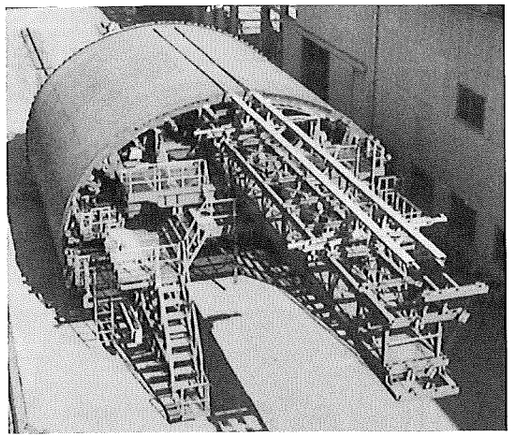
■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指 定 工 場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重(森本工業)　TEL:0776-51-2410

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田（かいた）工場

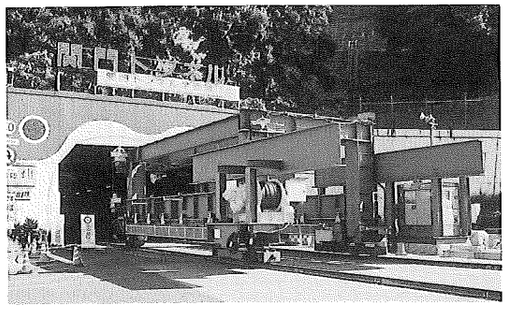
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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

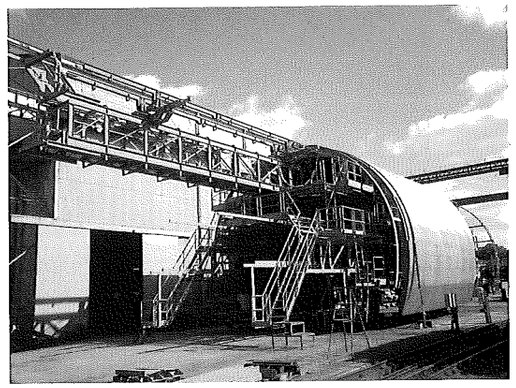


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

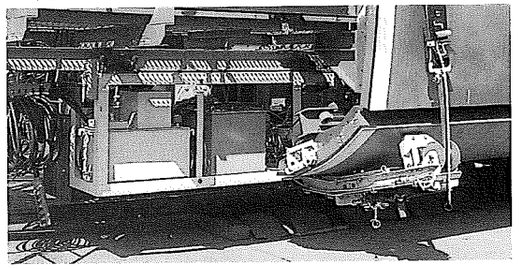
● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置



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

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

月刊推進技術
定期購読のご案内



定期購読料金12,000円(@1,000円/月×12ヶ月　税・送料込)

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

申込方法

お申込は、郵便局備え付けの払込取扱票に口座番号：00130-3-576039加入者名：株式会社エルエスプランニングとして、通信欄に購読開始月を明記し年間購読料金12,000円(毎月1冊×12ヶ月　税・送料込)をお支払いください。
詳しくは、月刊推進技術編集室にてご案内いたしております。

定期購読のお申し込みは
右のQRコード
または本誌ホームページから

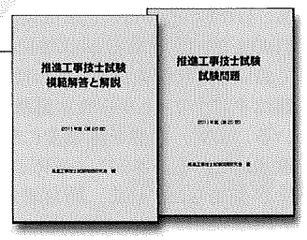
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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

推進工事技士試験　過去10年間(平成14～23年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



推進工事技士試験は、推進工法に係わる技術、技能を適正に認定することを目的に㈱日本下水道管渠推進技術協会(現㈱日本推進技術協会)が平成4年度より実施している制度で、管渠施工の安全性と品質を確保する上で有益な制度です。
解答付きの解説書に対する受験者の皆様からのご要望に応えて、この程、推進工事技士試験過去問題集を刊行しました。受験対策書としてご活用いただければ幸いです。

平成24年度版
2月上旬発売予定

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

2．価格
各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

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

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

好評発売中

トンネル発破技術のバイブル

わかりやすい

トンネルの発破技術

監修 山田隆昭　　B５判　76頁　定価1,500円＋税（送料別途）

火薬類や発破技術の基礎から最新技術まで！

振動や騒音の環境問題を詳述!!

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

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

〈主要目次〉

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

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

株式会社 土木工学社

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

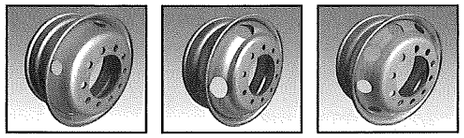
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

トラック用タイヤ販売　海外日系メーカー純正指定タイヤ



コストダウンを実現する

サイズ 11R22.5　オールシーズンタイヤをラインアップ



11R22.5サイズ用ホイール，
プロテクターチェーン
も取り扱いいたしております



詳しくは弊社へお問い合わせください

株式会社 エスピーエス

〒389-0207 長野県北佐久郡御代田町馬瀬口 2100-1
TEL：0267-32-6793　　FAX：0267-32-6798　　E-mail：info@spsusvi-m.com
http://www.spsusvi-m.com

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定



クローラーだから小旋回

斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!

後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道営業所
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716

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

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

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

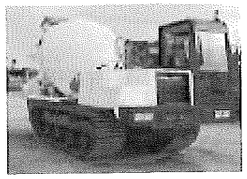
■九州支店
tel：0982-26-2111
fax：0982-26-2290

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

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

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】

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

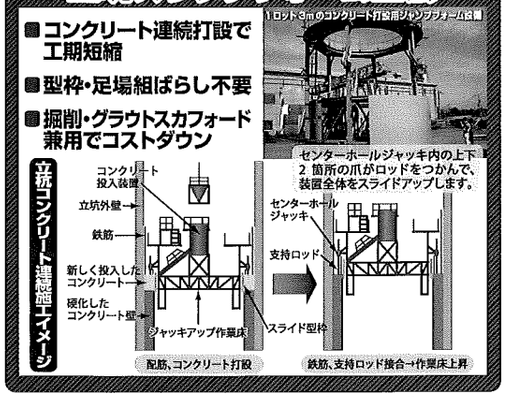


スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

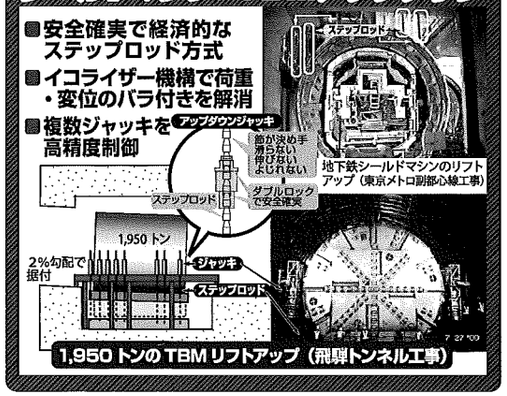
立坑スリップフォーム工法

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



シールドマシン・TBMアップダウン

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



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

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ

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



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

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

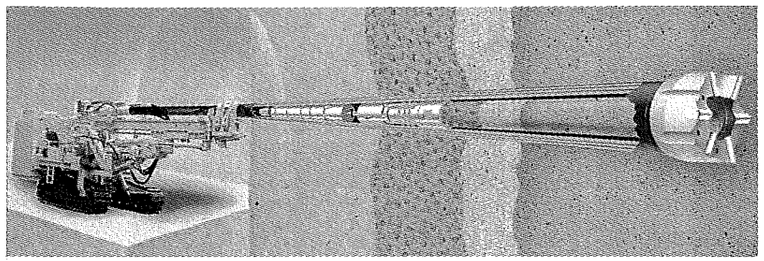
これこそがオリカ社が提案する「Power of Partnership（パートナーシップの力）」です。

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

ORICA MINING SERVICES

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特 長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

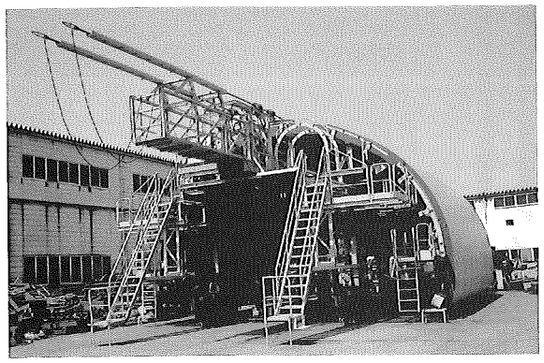
お問い合わせ先 ： 工事営業本部
TEL.（03）6907-7512　FAX.（03）6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp

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

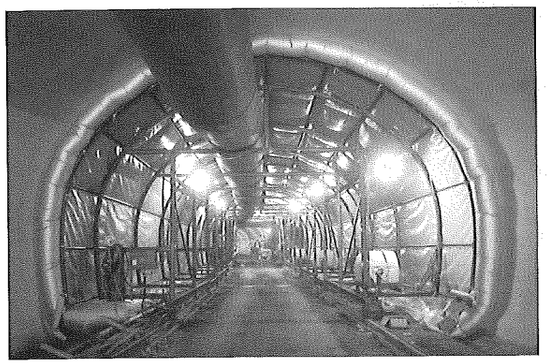


期待される効果・特徴

- 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，カーブ区間はケーブル式を推奨します)
- 覆工表面の縞模様を減らすことが出来る

コンクリート湿潤養生システム

NETIS 登録 No.CG-080012-A （製造：株式会社マシノ）



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

（旧社名　株式会社 佐賀）

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

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

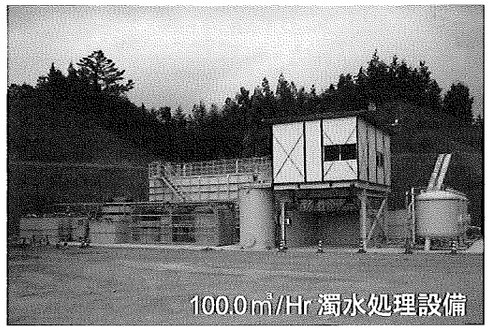
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

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

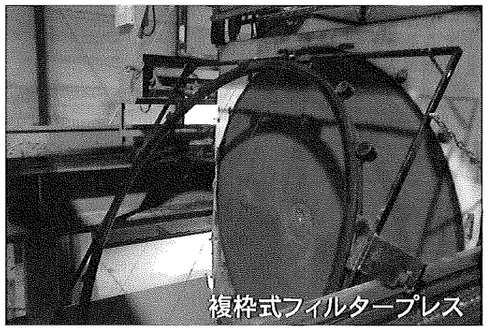
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫

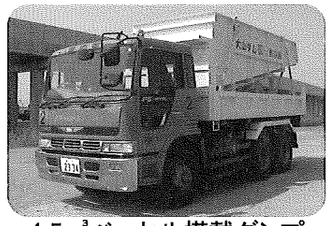


VOLVO ダンプトラック (A25CTS,A25CTR,A20/30CT)





10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

トンネルと地下　2月号目次　Vol.44, No.2, 2013 Feb.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

トンネル技術の継承について
山崎　政俊……5

■解　　説

首都高速道路のトンネル構造50年の歩み
吉川　直志……51

■施　　工

鉄道高架橋から離隔２mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設
―総武線市川・本八幡間外環こ道橋―
廣井　利行・齋藤　　貴・三丸　英壽・亀山　貴弘……7

東紀州命の道　熊野尾鷲道路最後のトンネルを貫く
―国道42号　新鹿トンネル―
新庄　大作・森山　祐三・富澤　直樹……17

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消（その２）
―東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線開削工事―
伊藤　　聡・嶋田　　司・岩橋　公男・西本　浩二……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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

深度30mの高水圧下での４mの大口径推進工事
―東京都下水道　東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠―
永田有利雄・吉村啓一郎・中西　正継・仁科　真二……33

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門（10）
―断層とトンネル工事（２）―
「地相入門」連載講座小委員会……63

■現場だより

「阿賀の舟唄」にのせてトンネルを掘る
横山　正士……16

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

私の歩んだトンネル史
岡本祥太郎……43

■資　　料

土木情報
編　集　部……39

Tunnel Wall
森竹　　淳・大島　洋志……40

トンネルジャーナル
編　集　部……42

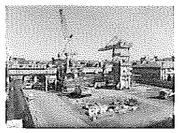
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……62

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……75

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……76

【表紙説明】　鉄道高架橋から離隔２mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設
―総武線市川・本八幡間外環こ道橋―

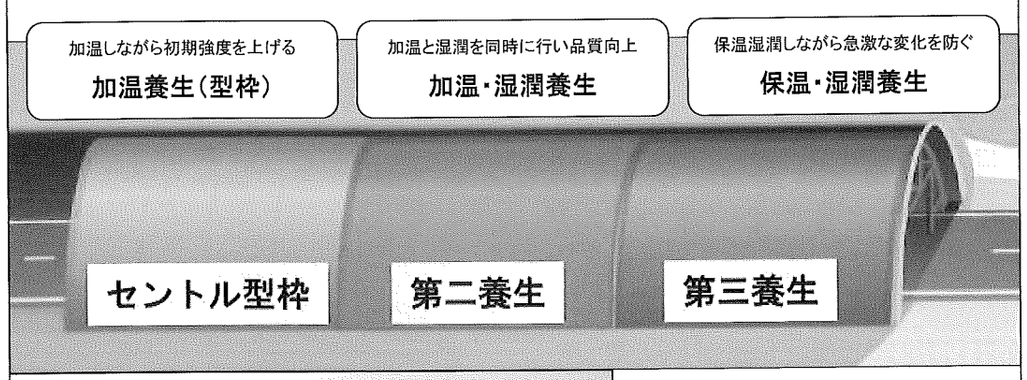


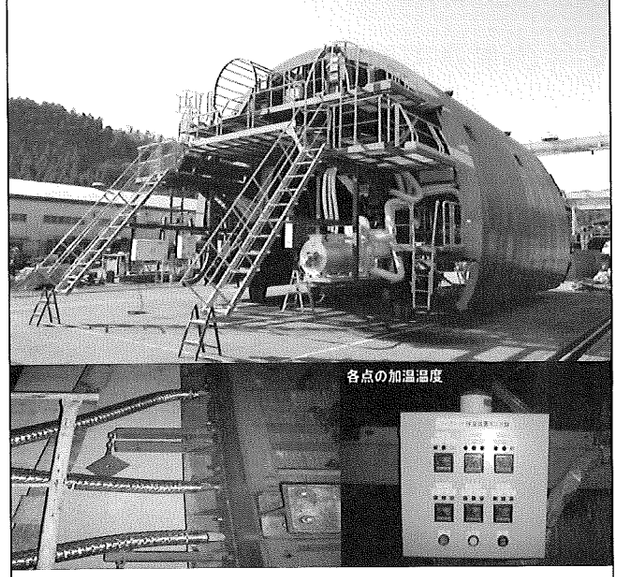
本工事は，東京外かく環状道路（全長約85km）の千葉県区間のうち，総武線交差部（市川・本八幡間）において，延長58mのアンダーパスを新設する工事である．工事は既設鉄道高架橋近接という条件下から，ニューマチックケーソンを採用した．写真は，ケーソン工の全景である．　〔写真提供：東日本旅客鉄道（株）〕（本文７頁参照）

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS 登録 No.CB-120082-A

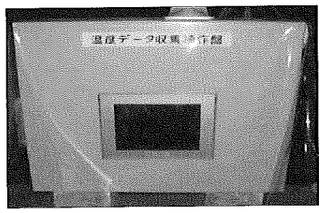
コンクリートトータル養生システム

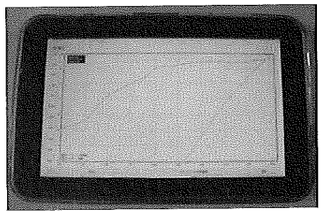




コンクリートの強度を予測管理

養生管理システム





加温養生(型枠)

特殊角型鋼管を使用した型枠補鋼材から温風を送風し、型枠を加温します

岐阜工業株式会社

本社　岐阜県本巣市十四条 144 番地

TEL 058-323-2001㈹ FAX 058-323-1176

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

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

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居　相　好　信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩　田　美　幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大　津　敏　郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

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

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小　松　敏　彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志　岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

西　岡　和　則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

藤　井　義　文
株式会社竹中土木執行役員

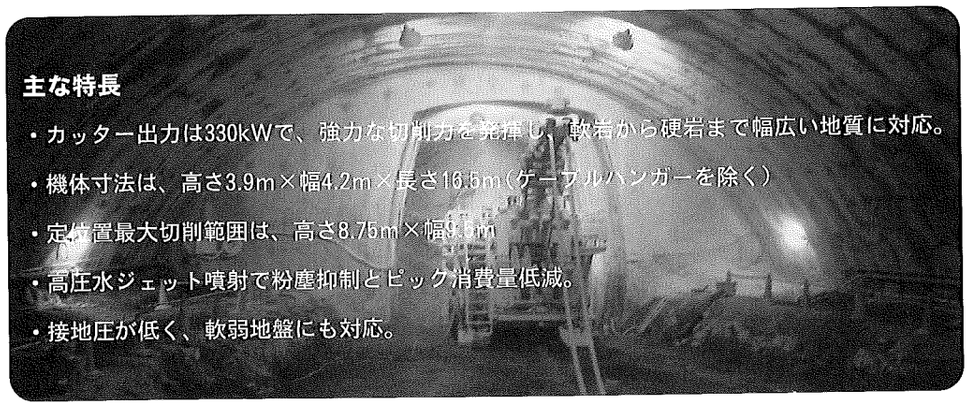
松　原　利　之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

吉　富　幸　雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m（ケーブルハンガーを除く）
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.0m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とビット消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

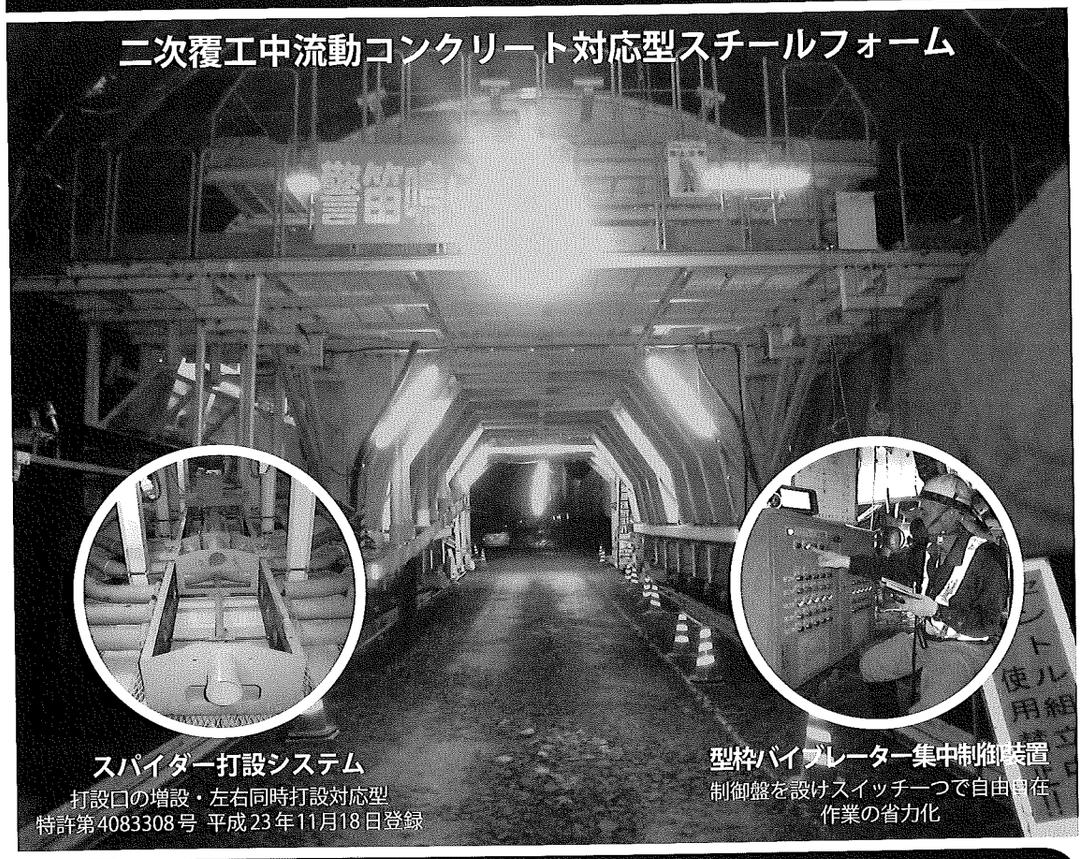
高橋晃
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

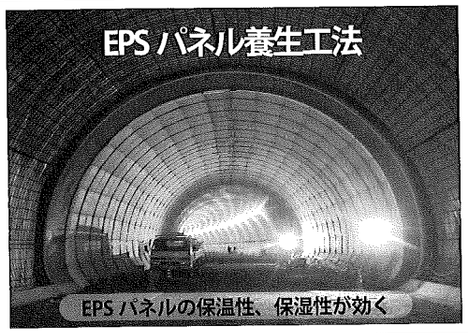
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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

平成24年4月30日　現在

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

一歩前進！　～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社

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

トンネルと地下　VOL. 44　No. 2　掲載概要

掲載頁 7

鉄道高架橋から離隔 2 mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設
—総武線市川・本八幡間外環こ道橋—

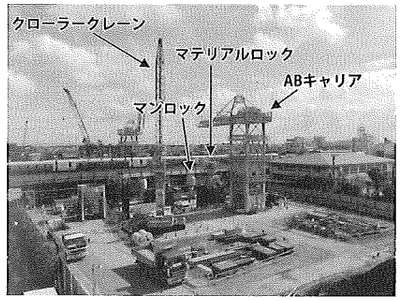
東日本旅客鉄道(株)　廣井　利行

東京外かく環状道路は，都心から半径約15kmの地域を環状に結ぶ全長約85kmの道路である．本工事は，千葉県区間のうち総武線交差部(市川・本八幡間)において，延長58mのアンダーパスを新設する．工事内容は，既設鉄道高架橋両側の地中にニューマチックケーソン工法による函体(幅35.35m，延長19.75m)をそれぞれ沈設する．次に，この函体に高架橋の荷重を預け，受替えた後，高架橋直下の線路横断方向に連壁を打設し，圧気掘削を行う．掘削完了後，中央の函体を構築し，高速道路トンネルの完成となる．本稿では，施工を終えた高架橋近接という条件下での，ニューマチックケーソンの施工実績について報告する．

Installation of Pneumatic Caisson as Expressway Tunnel at Distance of 2 m from Railway Viaduct—Sobu Line Ichikawa—Moto-Yawata Underpass of Tokyo-Gaikan Expressway—

By Toshiyuki Hiroi, East Japan Railway Company

The Tokyo Gaikan Expressway (Gaikan) is approx. 85 km long that links areas in a 15 km radius around the city centre. These works are to install a new 58 m underpass under intersection with Sobu Line (between Ichikawa and Moto-Yawata) on the Chiba Prefecture section of the Gaikan. The works consist of installing road box culverts (width: 35.5 m, length: 19.75 m) in the ground on both sides of an existing railway viaduct using the pneumatic caisson method. Then, these boxes will take the weight of the viaduct as foundations of new piers, and after receiving it, ceiling and wall will be built to excavate road space under compressed-air. After excavation, in-between box will be constructed and the expressway tunnel will be completed. This report gives information on the construction results of pneumatic caisson method under the condition of being adjacent to viaduct.



写真は設備配置状況

掲載頁 17

東紀州命の道　熊野尾鷲道路最後のトンネルを貫く
—国道42号　新鹿トンネル—

(株)鴻池組　　新庄　大作

国道42号熊野尾鷲道路は，三重県尾鷲市と熊野市を結ぶ延長18.6kmの自動車専用道路で，紀勢自動車道と一体となり高速道路ネットワークを形成する道路である．周辺地域の産業開発や世界遺産の熊野古道のある東紀州地域への観光アクセス向上への貢献が期待され，平成25年度に全線開通予定である．このうち，新鹿トンネルは熊野新鹿ICの西側に位置し，環境省快水浴場100選に選定されている新鹿海水浴場に近接する．

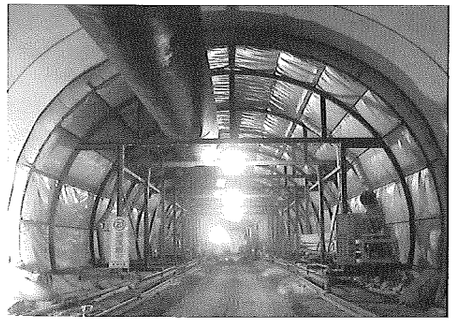
工事には平成22年4月に着手し，工事用搬入路の施工時期が遅れたが，平成23年4月に掘削を開始，平成24年2月に貫通した．本稿では，トンネル掘削，トンネル覆工などにおいて，さまざまな工夫を実施したので，その概要を報告する．

Penetration of the Final Tunnel on the Kumano-Owase Road the Vital Route of Higashi-Kishu—National Route 42 Atashika Tunnel—

By Shinjo Daisaku, Konoike Construction Co., Ltd.

National Route 42 Kumano-Owase Road is a limited-access route of 18.6 km that links Owase city and Kumano city in Mie Prefecture and forms an expressway network as part of the Kisei Expressway. It is hoped that this will contribute to industrial development in the surrounding area and improving access for tourists to the Higashi-Kishu area which includes Kumano Kodo, the World Heritage Site and entire lines are expected to open in fiscal 2013. The Atashika Tunnel on this route is on the west side of Kumano Atashika Interchange and is adjacent to the Atashika swimming beach which has been selected as one of the top 100 bathing places by the Ministry of the Environment.

Work was begun in April, 2010 and the construction schedule for the works service roads was delayed but excavation started in April, 2011 and penetration was achieved in February, 2012. This report gives an outline of the various innovations that were implemented in tunnel excavation and lining work.


写真は温度制御式噴霧養生システム

掲載頁 25

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消（その２）
—東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線開削工事—

東京地下鉄(株)　伊藤　　聡

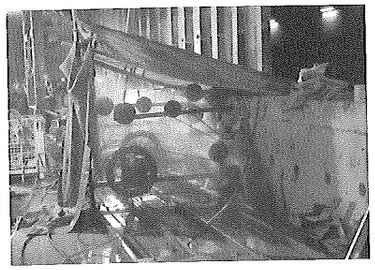
東京メトロ有楽町線と副都心線は和光市駅から池袋駅まで並走している．この両線は，小竹向原駅で西武有楽町線と，和光市駅で東武東上線と相互直通運転を行っており，平成25年３月16日に副都心線渋谷駅において東急東横線，および横浜高速みなとみらい線との相互直通運転の開始を予定している．

この相互直通運転開始後の列車本数の増加に対応するため，さらに平面交差部における列車の通過待ちを解消し，輸送の安定性を向上させるため，小竹向原駅から千川駅間において，線路を立体交差にすることを目的に有楽町線の連絡線を建設している．本稿では，この有楽町線連絡線設置工事のうち，向原工区における池袋駅方面側について，営業中の地下鉄トンネルの側壁を撤去し，トンネルを拡幅した工事事例について報告する．

Resolve Level Crossing of Yurakucho Line/Fukutoshin Line with Two Connecting Tunnels (part 2)—Tokyo Metro Kotake-mukaihara Station - Senkawa Station Connecting Line Cut-and-Cover Works—

By Satoshi Ito, Tokyo Metro Co., Ltd

The Tokyo Metro Yurakucho line and Fukutoshin line run side-by-side from Wakoshi Station to Ikebukuro Station. These two lines operate a mutual through service at Wako-shi Station with the Tobu Tojo Line and at Kotake-Mukaihara Station with the Seibu Ikebukuro/Yurakucho Line. Further more, the Fukutoshin line is expected to conduct a mutual through service with the Tokyu Toyoko Line and the Minato-Mirai Line on 16th March, 2013.



写真はワイヤーソー施工状況

In order to respond to the increase in the number of trains after the start of this mutual through service and in order to resolve the problem of waiting for trains to pass through at the level crossing sections, a Yurakucho Line connective which create a grade separation is being built between Kotake-mukaihara station and Senkawa station. This report gives information on demolishing side walls in in-service subway tunnels to widen the tunnel for new connective tracks for the Ikebukuro Station direction in the Mukaihara lot during these Yurakucho Line connecting tracks installation works.

掲載頁 33

深度30mの高水圧下での４mの大口径推進工事
—東京都下水道　東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠—

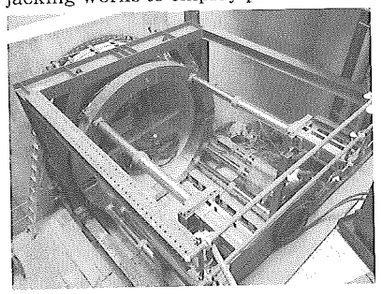
東京都下水道局　永田有利雄

「東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠建設工事」は，大深度において組立式超大口径推進管を採用した世界初の推進工事である．高水圧下での組立式推進管の耐水圧性について検討を行い，性能確認試験により推進管の強度および耐水性能について確認を行った．また，本工事は土圧式推進工法を採用している．推進方向に対して斜角を有した壁に対する直接発進到達工法の安定性を検討し，適切な補助工法により安定した掘進を図った．大深度・超大口径推進であるため，莫大な後退力が作用するため，後退現象対策について検討を行い，適切な対策を施した．さらに，施工管理は推進管の挙動計測をリアルタイムに行うことで確実な安全管理を実施した．

Four Meters Large Pipe-Jacking Works under High Water Pressure at 30 m Deep—Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government Higashi-Ogu Water Reclamation Center-Nishi-Nippori Sewer Main Inlet Conduit—

By Yurio Nagata, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government

The Higashi-Ogu water reclamation centre Nishi-Nippori Sewer main inlet conduit works are the first pipe-jacking works to employ prefabricated large pipes deep underground in the world. Investigations into the water pressure resistance of prefabricated pipes under high water pressure were conducted and strength and water-resistance of pipe were checked through performance confirmation tests. Further, these works employed the EPB pipe-jacking method. The stability at the starting and arrival shaft where pipe-jacking machine were driven through on a skew was evaluate to secure a safety using the appropriate auxiliary method. As this was deep underground and very large pipe-jacking, there was high reverse force. Countereasures against reversing phenomena were investigated and appropriate ones were employed. Furthermore, real-time behaviour of pipes while jacking was measured as construction management for reliable safety management.



写真は後退防止鋼製支保工

掲載頁 51

首都高速道路のトンネル構造50年の歩み

首都高速道路(株)　吉川　直志

首都高速道路１号線のうち京橋～芝浦間4.5kmが昭和37(1962)年12月20日に開通し，50年が経過した．その後，首都高速道路の整備は進み，平成24年12月現在では東京都，神奈川県，千葉県，埼玉県にまたがる総延長301.3kmのネットワークを構成している．

これまで50年の間に建設された首都高速道路のトンネルは，都市内でのさまざまな問題などを克服しながら建設が進められてきた．本稿は，半世紀にわたる歴史の中，首都高速道路で建設された主なトンネル構造や施工方法について，工事記録などをもとに振り返り報告するものである．

Fifty Years of Metropolitan Expressway Tunnel Structures

By Tadashi Yoshikawa, Metropolitan Expressway Co., Ltd

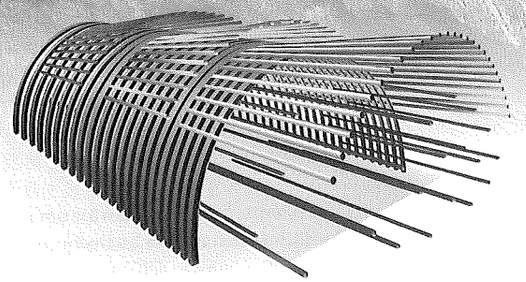
It is 50 years since the 4.5 km Kyobashi - Shibaura section of the first Metropolitan Expressway opened on 20th December, 1962. Following this, there has been great progress with building road and as of December 2012, it comprises a network of 301.3 km over Tokyo Metropolitan Area and Kanagawa, Chiba and Saitama Prefectures.

tunnel construction for the Metropolitan Expressway have been overcome metropolitan various problems in the past 50 years. This report looks back over major tunnel structure and construction methods in the Metropolitan Expressway's half century of history based on works records.



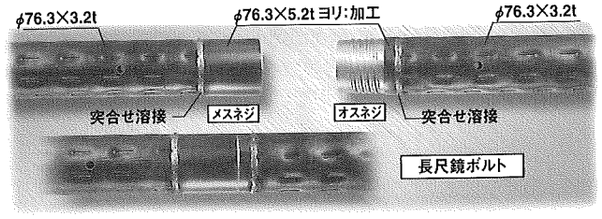
写真は羽田トンネル沈埋函施工の様子

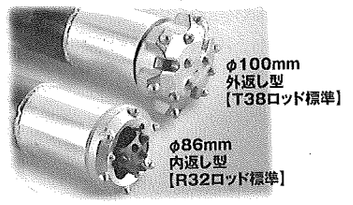
ユニークな発想でVEを提案



FIX(ストロング)チューブ(S型)

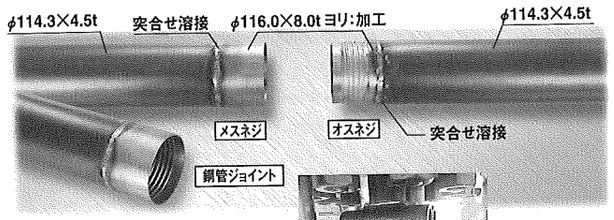
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



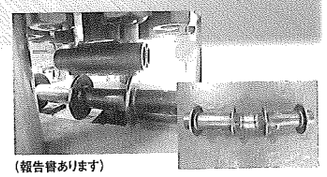


AGF-STD工法

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

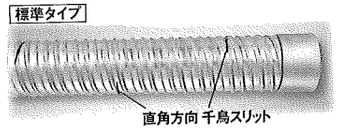


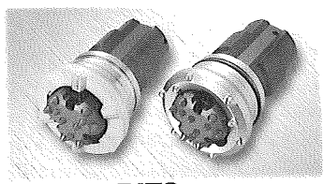
曲げ耐力30%UP!!



(報告書あります)
接続部の抗折力試験

撤去管の選択





STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

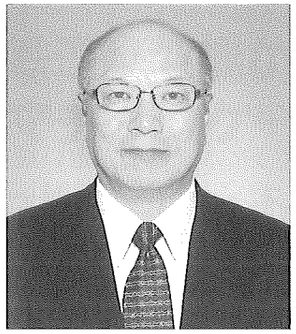
注入材・その他工法

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

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

巻頭言

(題字 佐藤信彦会長)



トンネル技術の継承について

(株)不動テトラ執行役員
山崎 政俊

物づくり社会における，技術の継承・伝承がクローズアップされたのは，おおよそ7，8年前のいわゆる「2007年問題」である．団塊の世代の現役引退が進み，知識・経験に長けた技術者がいなくなることによる技術の継承が大きな問題となっている．

もともと，技術の継承が危惧されることになったのは，2007年問題もあるが土木分野では，いわゆる「3K」職場の言葉にあるようにきつい・汚い・危険を嫌ってか，若者にとって魅力ある職業ではなくなってきたこと，また，公共事業悪玉論と揶揄された，不況になると公共投資をやることですべてが解決するというようなことが続いたことで，実際は公共投資が財政破綻の原因ではなく，社会保障費の増大が主要因なのにもかかわらず，それが国の借金の増大につながっているとマスコミなどで批判報道されてきたこともあり，そのような社会状況の中で今後の建設業界や関連業界において社会基盤の整備を担う若い学生が土木離れをおこし，そして大学では土木工学科という名称が消えてしまった．こういうことに対して，土木学会や建設業界による土木のイメージアップへの取り組みや作業環境の改善努力により，ずいぶん変わってきているが，それでもなお若手技術者の土木離れ，それに伴う技術の継承の問題というのは建設業界にとって，大きな課題であると思われる．土木技術の継承といってもその分野は幅広い．そのどの部分の問題であるのかを素直に考えてみる必要がある．トンネルという断片的側面から考えると，私はやはり現場に対応する能力が一番の問題だと考えている．それが一番求められるのがトンネル技術者である．技術を継承するには同じようなプロジェクトが続き，若手土木技術者の確保ができれば容易である．近年の社会情勢において技術の承継を難しくしているのは，よりよい建設プロジェクトが少なくなったことも一因であると考えられる．道路については継続的投資がされてきているものに加えて，東日本大震災により必要性が認識された内陸から沿岸部への横断軸としての高規格道路などによる道路ネットワーク整備に含まれる道路トンネル，鉄道についていえば地方の強い要望により着工された北海道，北陸，九州新幹線の新規区間，3年後に着工が予定されるリニア新幹線，都市鉄道利便事業においてはSENS工法やシールドによるトンネルが計画されている．

公共事業関係費は平成10年度をピークに平成23年度は6.2兆円で約48%減となっている．厳しい国家財政ではあるが公共事業予算が削減されているからプロジェクトができないというのではなく，プロジェクトがあるから予算がつくというように本来の姿を追い求めていき，限られた予算の中で，「コンクリートから人へ」のキャッチフレーズに臆せず，本来の「人のためになるコンクリート」という技術者としての思いを強く持って，国民にプロジェクトの有為性をアピールし，その理解と支持のもとにこれらのプロジェクトに次ぐものを粘り強く発掘していくことが必要である．

土木技術は，人間が社会生活を営んでいくうえで必要な生活基盤，社会が活発に経済生産活動を展開するうえで必要な社会基盤を整備し管理していくための技術であり，他の工学分野に比べて積み重ねた経験が一層役に立つ分野であることは間違いない．

土木工学は経験工学と言われるが，その中でもトンネル工学は経験がものを言う世界である．昭和50年の上越新幹線中山トンネルでのNATMの採用により，従前の矢板を用いた掘削方法が大きく変わり，わが国のトンネル技術の変遷の中でまさに画期的と評価されている．その後，硬岩，軟岩，膨張性地山，未固結地山に積極的に採用され今日では標準工法となっている．NATMはシールド工法に比べ圧倒的に安いことから，また断面形状を任意に変化させることが可能ということから都市部の軟らかい地山に対応すべく種々の補助工法が考えられ，オーソライズされて都市部においても条件を満たす技術的発展があって採用されるようになってきた．さらには，NATMとシールド工法の境界領域では，両工法の選定や覆工の設計，作用荷重の評価などが課題となっているが，その境界領域に適合するシールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)が開発され，東北新幹線三本木原トンネルで最初に施工，その後，前年10月に貫通した北海道新幹線津軽蓬田トンネル，さらには，都市鉄道利便事業における相鉄・JR直通線西谷トンネルでは都市部で初めて採用されている．このようなトンネル技術の発展を支えてきたのは，過去の先達たちが経験した現場における，困難な状況における数々の創意工夫がもととなっているのは言うまでもない．最近の若手技術者はとくに発注者サイドでその傾向が強いと言われているが，要員も少ないこともあり，管理業務に時間を取られ，現場に出向く機会が減り，現場で学ぶべきものが身に付かず，本当の意味での現場を経験できないことが危惧される．これから先も大深度地下開発などが見込まれる中，若手技術者が現場において有事の際に即断できる能力を磨いてもらうために，また，これからも新しい技術を開発，発展させるためにも，まず，現場で先達たちが経験したことを検証し，これら先人の経験にもとづくトンネル技術の発展経緯や困難に立ち向かった際の知見などをしっかり伝えていくことが必要と考える．

施工

鉄道高架橋から離隔2mで高速道路函体をニューマチックケーソンで沈設

—総武線市川・本八幡間外環こ道橋—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室地下・トンネル構造グループ主席　廣井利行
東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター地下・トンネル構造グループ課長　齋藤貴
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課副課長　三丸英壽
鉄建・オリエンタル白石建設共同企業体JV外環市川作業所監理技術者　亀山貴弘

1 はじめに

東京外かく環状道路は，都心から半径約15kmの地域を環状に結ぶ全長約85kmの道路である．本工事は，千葉県区間のうち総武線交差部(市川～本八幡間)において，延長58mのアンダーパスを新設する(図-1)．工事内容は既設鉄道高架橋(以下「高架橋」)両側の地中にニューマチックケーソン工法による函体(幅35.35m，延長19.75m)をそれぞれ沈設し，この函体より高架橋を受替え後，高架橋直下の函体を構築する(図-2)．

本稿では，ニューマチックケーソン(図-3)によるトンネルの設計施工の特徴的な事項と，営業線近接施工の影響検討および施工実績について報告する．

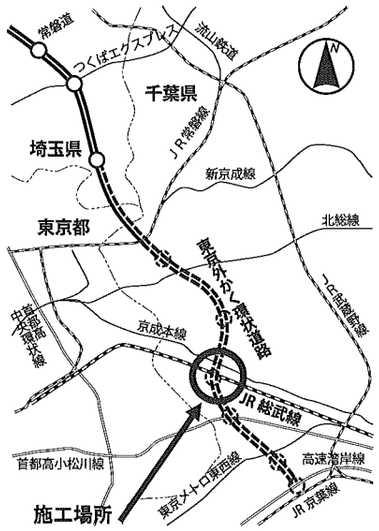


図-1　工事場所位置図

2 施工条件および設計

2-1 地質概要

施工位置の地質概要は，図-4の地質柱状図に示すように，GL－1.2m程度までは軟らかい盛土・

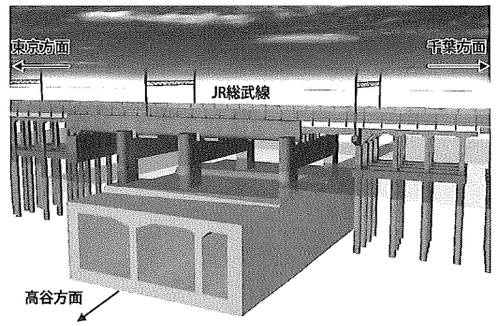


図-2　完成予想パース

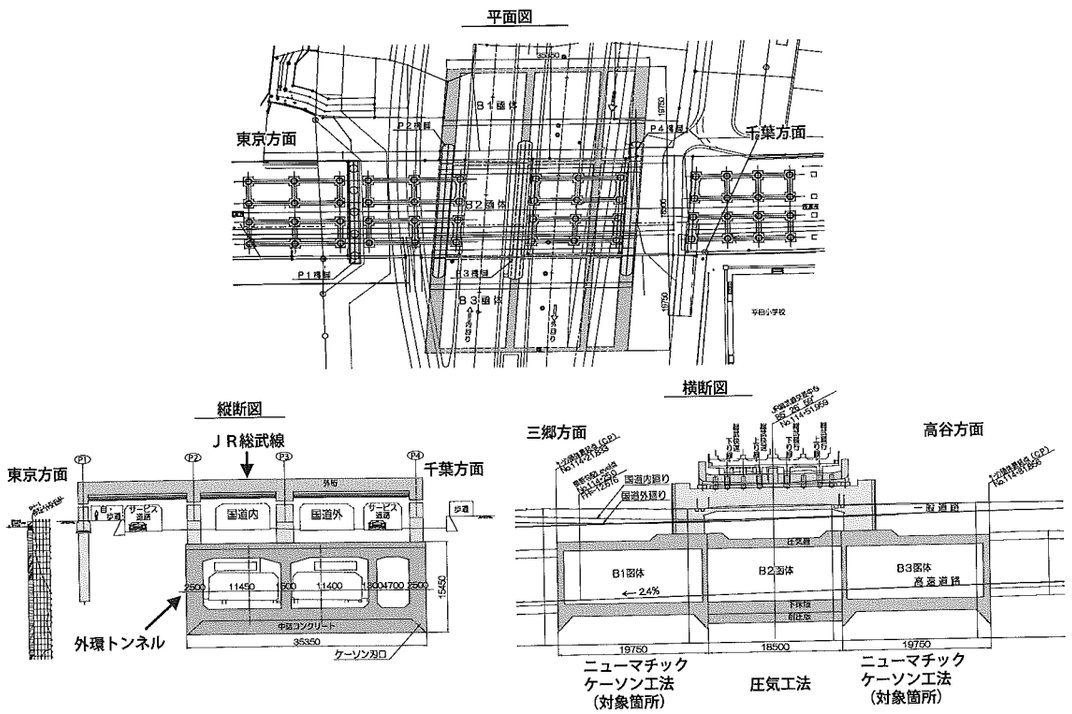


図-3　工事概要図

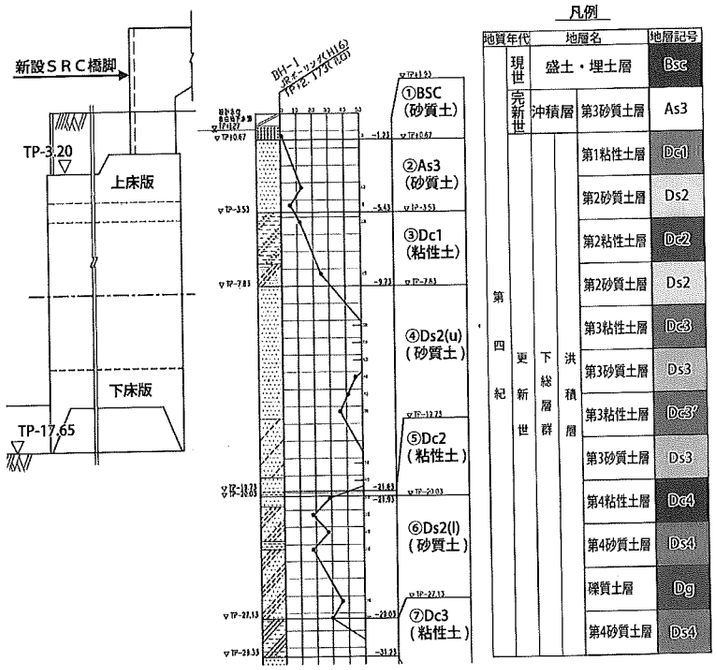


図-4　地質柱状図

埋土層，GL－5.4m程度までは沖積層で，シルトを不規則に混入する砂質土，それ以深は上総層と呼ばれる洪積層であり，硬い粘性土層と相対密度が中位～極密の砂質土層の互層となる．全般に貝殻片が混入している．また，地下水位はGL－0.8m付近にあり，上部のBSC層以外はいずれも被圧されている．

2-2　工事施工条件と比較設計

本工事の施工条件は次の事項である．

① 延長60mにわたり鉄道構造物を大規模改築するため，営業線の安全性に与える影響が懸念される．

② 地下水位が高いため，地盤変状や地下水流出に伴う

周辺への影響が生じやすい．

以上の施工条件に対し，高架橋の受替え方法および地下函体構築方法の比較検討を行った．まず，高架橋の受替え方法として，工事桁工法とアンダーピニング工法とを比較検討した．その結果，下記の理由によりアンダーピニング工法を採用することにした．

① 高架橋施工基面内作業がほとんどなく列車運行の安全性に優れる．

② 昼間作業が主体となり施工性，工期短縮性に優れる．

次に，地下函体構築工法として開削工法とニューマチックケーソン工法とを比較検討した．その結果，下記の理由によりニューマチックケーソン工法を採用することにした．

① 施工性において，地盤改良，仮土留め壁，支保工などの仮設物の規模が小さい．

② 仮支持杭などによる箱抜きがなく，均一な防水性能を確保できる．

③ ニューマチックケーソン工法の場合には，深いオープン掘削を伴わない．したがって，当施工場所のような高地下水位では，開削工法のような地下水の流路阻害や山留め内への流出などによる問題が少なく，高架橋や周辺地盤への影響を低減できる．

なお，ニューマチックケーソン工法を採用したことにより，課題としては以下のことが考えられた．

（1） ケーソンおよび圧気施工時の安全性確保

営業線を支持する高架橋の近接箇所でケーソン沈設を行い，高架橋杭先端より下まで設置するため，高架橋に対する防護工の検討および圧気工事による洩気や地盤への影響などに対する監視を強化し，慎重な施工管理が求められる．

（2） 施工精度の確保

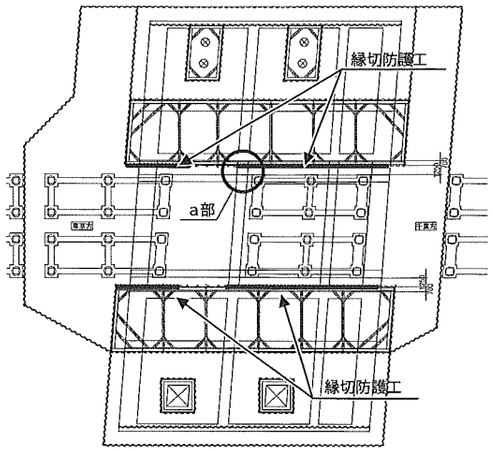
開削後の施工と違い，計測管理による沈設となるため，変位に対する計測を日々実施するとともに，変位に対する修正対策を検討する必要がある．

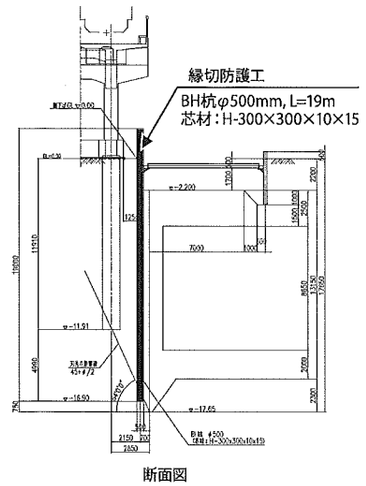
（3） 施工時の環境対策工

施工箇所は住宅密集地であり，隣接部に小学校が立地しているため，施工時の騒音・振動に対する配慮が必要となる．具体的には，騒音発生設備に対する消音設備(ケーソン艤装への消音装置の設置など)が必要となる．

3　近接施工の影響検討

当該新設構造物は高架橋基礎との離隔が約2.0mであり，近接度合いの高い施工となる．したがって，高架橋とケーソンの間に縁切り防護工(図-5)





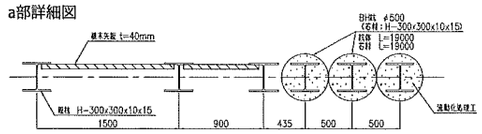


図-5　縁切り防護工図

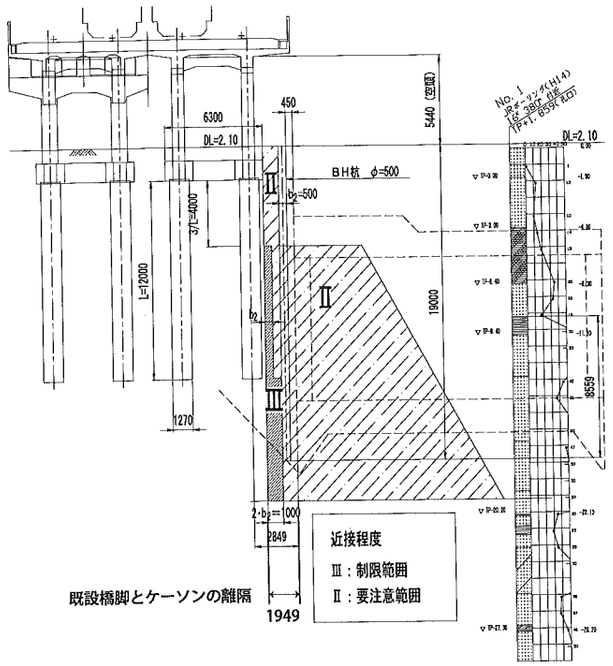


図-6　近接影響区分図[3]

を行い，近接工事を行うことによる高架橋への対策工とした．ただし，防護工自体は高架橋に対し要注意範囲(Ⅱ)(図-6)であり，高架橋の計測を行い慎重に施工するものとする．本検討では，事前に施工時の高架橋の挙動を解析により把握し，安全性を確認した．

3-1　想定される既設構造物への影響

ケーソンの沈下が既設構造物に影響を与える要因としていくつか考えられるが，次の2点について検討を行った．

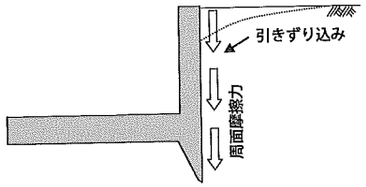
①　ケーソン沈設時の周面摩擦による周辺地盤の引込み沈下．

②　フリクションカットによる周辺地盤の緩み．

3-2　影響検討

上記2点の条件を考慮し，近接施工に伴う高架橋への影響検討を行った．検討方法としては，線路直角方向について2次元弾性FEM解析法を用いた．なお，ケーソン沈設完了時において，掘削側面に地盤掘削による開放力および周面摩擦力を載荷する．また，解析にあたり以下について考慮した．①の主たる原因であるケーソンと地盤との

表-1　ケーソン周面摩擦力度(KN/m²)[1]



地層名	標高 (OP.m)	深度 (m)	周面摩擦力 (kN/m²)	周面摩擦力 ×70% (kN/m²)
埋土 (Bsc)	0.000	2.100	14.0	9.8
砂質土 (As3)	−3.000	5.100	14.0	9.8
粘性土 (Dc1)	−5.900	8.000	5.0	3.5
	−9.500	11.600	6.0	4.2
砂質土 (Ds2)	−13.900	16.000	17.0	11.9
	−17.650	19.750	20.0	14.0

※基準地表高はTP＋2.100mとした．

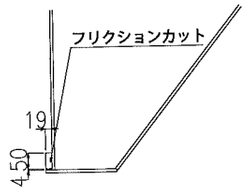


図-7　刃口詳細図

周面摩擦力[1]に関しては，施工時にベントナイトを充填することにより，摩擦力を低減させることができる．これにより摩擦力は30%低減した値となる(表-1)．

次に，②のフリクションカットによる周辺地盤の緩みについては，本ケーソンのフリクションカット幅は19㎜(図-7)であるが，ケーソン沈設中はフリクションカットによる地盤との空隙に砂を入れることにより水平方向の地盤の緩み(空隙量)が低減される．普通土の体積変化率を表-2に示す．

これにより，ほぐした砂は土圧などにより，再度締固められると考える．締固められた砂の厚さは$T=C/L\times19$㎜$=14.25$㎜，空隙量は$19-14.25=4.75$㎜となる．以上より，水平方向の地盤の緩み量(空隙量)は4.75㎜まで抑えられる．

以上を踏まえ，ケーソン沈設に伴う影響検討と

して，高架橋軌道階の変位および縁切り防護工の強度検討を行った(図-8)．

検討は，2次元弾性FEM解析にて行い，高架橋軌道階の変位については，鉛直変位の最大値が6.48㎜沈下するという結果であった．また，縁切り防護工の強度については，コンクリート杭(φ500㎜@500㎜)とH形鋼杭(芯材H300×300×10×15@500㎜)の2ケースについて応力度照査を行った．いずれのケースについても，曲げおよびせん断とも許容値内であった．

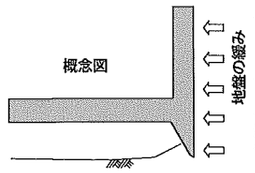
ただし，無筋コンクリートの場合は，変状が発生した場合に，土中であるために確認および補修が困難である．したがって，縁切り防護工全長にわたり，BH杭(芯材H-300×300×10×15)を配置した．また，芯材引抜きの施工性を考慮し，セメントミルクの代わりに流動化処理土または泥水固化処理とした．

3-3　対　策

縁切り防護工は高架橋橋脚より約2ｍ，ケーソンより0.7mの位置にBH杭(φ500㎜，芯材H-300×300×10×15，$L=19$m)にて縁切りを行う．また，補助工として，ケーソンの傾斜を抑制し，必要以上の緩みを防止するために，圧入アンカー工法を併用した．圧入装置は圧入姿勢制御用圧入桁を組立て，グラウンドアンカー(PC鋼線φ21.8㎜，$L=55.75$㎜，4か所/函体)を設置した．さらに，図-9に示すように防護工による対策では，ケー

表-2　普通土の体積変化率[2]

分類名称	地山に対する体積比	
主要区分	ほぐした土量の変化率L	締め固めた土量の変化率C
レキ質土	1.20	0.90
砂および砂質土	1.20	0.90
粘性土	1.25	0.90



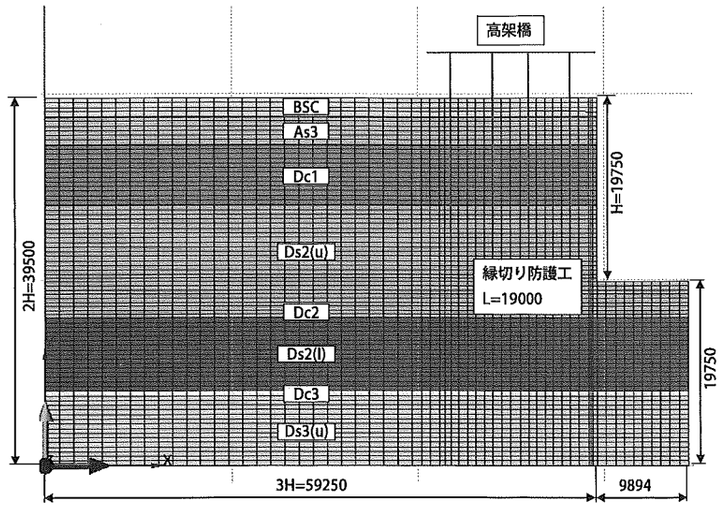


図-8　検討モデル

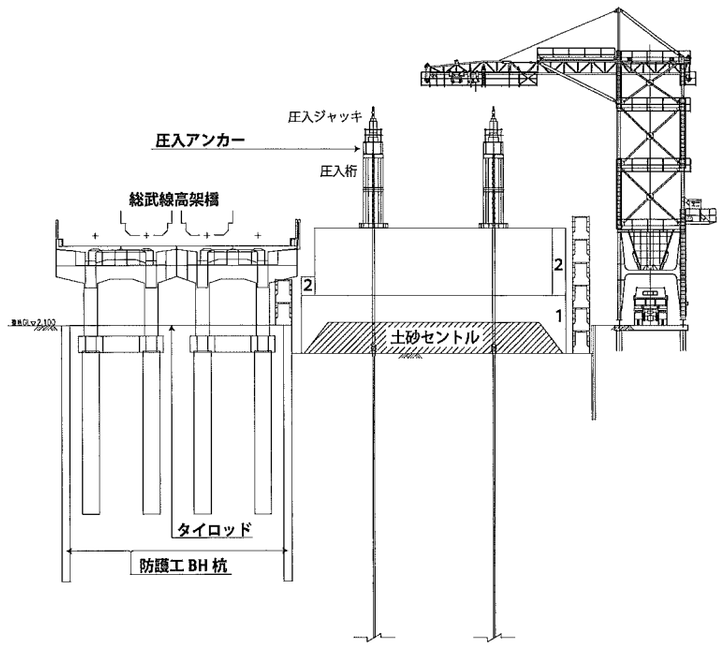


図-9　橋脚防護工断面図

ソン沈下に伴う周辺地盤の引きずり込み防止(縁切り効果)を目的として，防護工の頭部をタイロッド(φ32㎜，L=18.1m，全15本)でつなぎ，高架橋の変位を抑えることとした．

4　施　工　実　績

4-1　施工設備

ケーソンの主要設備の概要は以下のとおりである．ケーソンの掘削は，天井走行式ケーソンショベル(0.15m³バケット)により行った．配置台数は，設備配置および作業スペースの特性から5台とした．

掘削土砂の搬出は，マテリアルロックが2基配置されることから，1基は定置式(ABキャリア)を配置し，もう1基は，艤装および構築にも併用できるよう90tクローラークレーンを配置した．**図-10**に全体設備配置図を，**表-3**に主要設備の数量を，**写真-1**に設備配置状況を示す．

表-3　全体設備一覧

	函内ショベル(台)	マテリアルロック(基)	マンロック(基)	キャリア(基)	クローラークレーン(基)
B1ケーソン	5	2	2	1	1
B3ケーソン	5	2	2	1	1
合　計	10	4	4	2	2

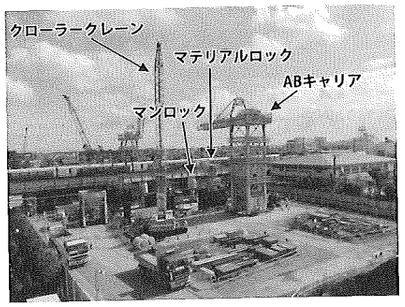


写真-1　設備配置状況

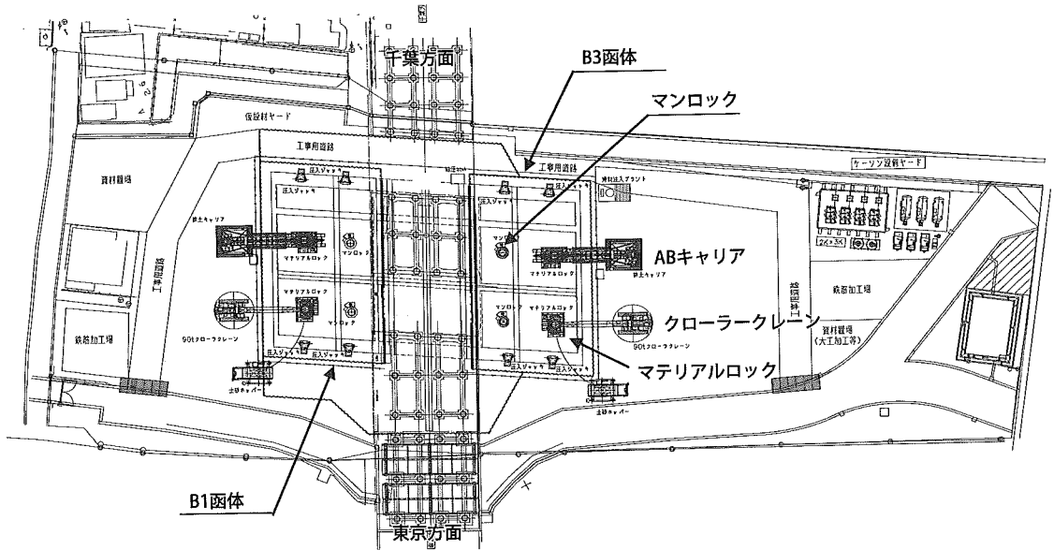


図-10　全体設備配置図

4-2　圧入システム

ニューマチックケーソンの沈設は，全沈下荷重と全沈下抵抗力のバランスを崩すことにより行う．ケーソン工法を計画するとき，沈下関係図を作成し全沈下荷重が全沈下抵抗力より常に大きくなる関係となるよう設計した．

ニューマチックケーソン工法の場合，刃口近傍までの掘削が可能なので，刃口抵抗力を考慮しないが，実際にケーソンを静止の状態から沈下運動に至らしめる過程は，掘削範囲を拡げ，徐々に刃口部の地盤抵抗力を減少させ，刃口部の地盤破壊と周面摩擦力を静止摩擦状態から動摩擦状態に変化させ沈下させる．これによりケーソンの姿勢は地盤の状態や掘削範囲に大きく影響を受ける．

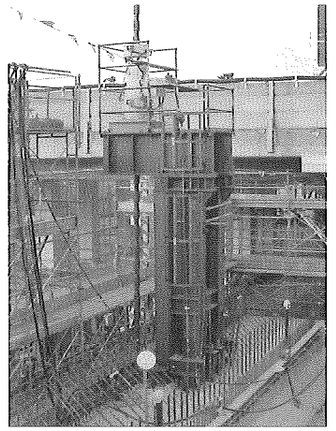


写真-2　圧入システム

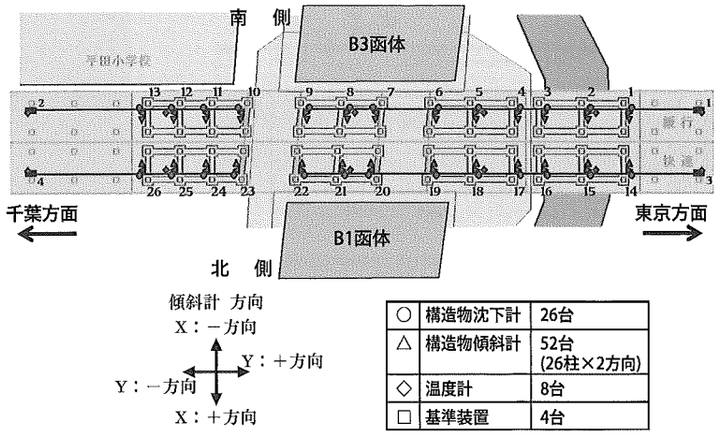


図-11　構造物計測計器配置図

地盤が均一でなくとも，沈設時の姿勢の微細な制御をすることは，さまざまな方策(刃口支持部の掘削幅の調整，ケーソン外周への滑材の注入による周面摩擦力の低減)により可能となるが，沈設作業に多くの時間を要する．また，沈設時のケーソンの微細な挙動でも周辺地盤を変形させ，その結果，構造物変位を生じさせる．

当施工場所は高架橋に近接しているため，極力挙動を制御しなければならない．このため本工事では，圧入システムを採用した．

圧入システムにより，ケーソンの沈下力を瞬時に変化させることが可能になり，自重(偏荷重)を短時間に変化させ，ケーソンの沈設制御を実施することができた．**写真-2**に示す圧入システムは，①反力を得るためにケーソン側部に設けたグラウンドアンカー，②センターホール式油圧ジャッキ(2,940kN)，③圧入力をケーソンに伝達する鋼桁から構成されている．今回は，この圧入システムを各ケーソン隅角部付近4点に設置した．

4-3　計測管理

ケーソン沈設に伴う近接構造物の挙動を管理し，影響を与えないことを目的とし計測を実施した．

なお，総武線の軌道変位を確認するための計測は，高架橋変位が軌道の変位に近似するとし，高架橋に沈下計と傾斜計を設置し測定を行った．**図-11**に計測器の配置位置図を示す．

高架橋の両側でケーソンが沈設されるため，隣接する高架橋の柱ごとに計測器を配置した．沈下計は水盛式とし，傾斜計は，橋軸方向，橋軸直角方向を計測するため，各計測点に2点設置した．計測は，計測の精度向上と影響要因の区別(温度などの影響)を明確にするため，ケーソン施工より半年ほど前から計測を開始し，ケーソン沈設完了まで3分ごとにデータ収集を行った．

表-4　構造物計測管理値

計測対象	計測項目	管理基準値		
		警戒値	工事中止値	限界値
総武線高架橋橋脚	鉛直変位(㎜)	±7.5	±12.0	±15.0
	傾斜量(分)	±3.2	± 5.2	± 6.3

表-4に計測管理基準一覧を示す．沈下・傾斜の計測管理値は，軌道の整備基準値をもとに定め，工事中止値＝整備基準値×0.8，警戒値＝整備基準値×0.5とした[3]．

4-4　計測結果

図-12は，ケーソン沈設中の高架橋の挙動の例として，北側函体の沈設と高架橋の沈下・傾斜量の関係を示している．高架橋の鉛直変位および傾斜ともケーソンの沈設により大きくは変位していないことがわかる．鉛直変位は警戒値±7.5㎜に対し最大2㎜程度(隆起)，傾斜も警戒値3.2分に対し1分以内であった．

この計測結果を，ケーソン沈設に伴うFEM解析の結果と比較すると，実際の鉛直変位および傾

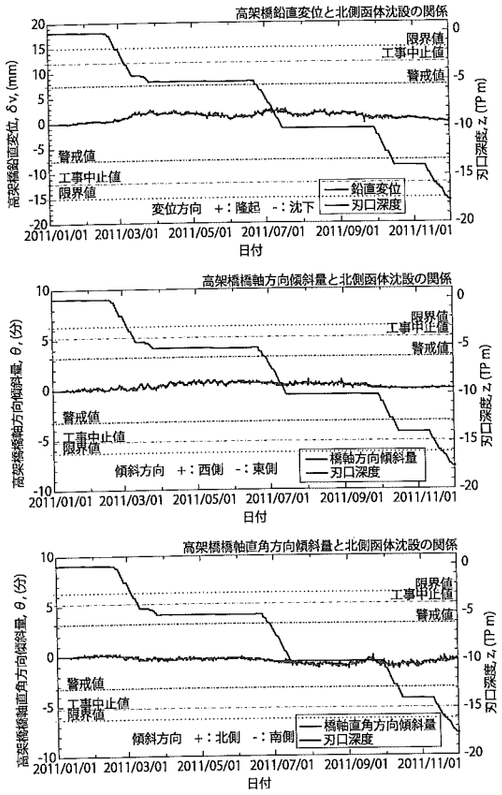


図-12 ケーソン沈設と構造物変位の関係

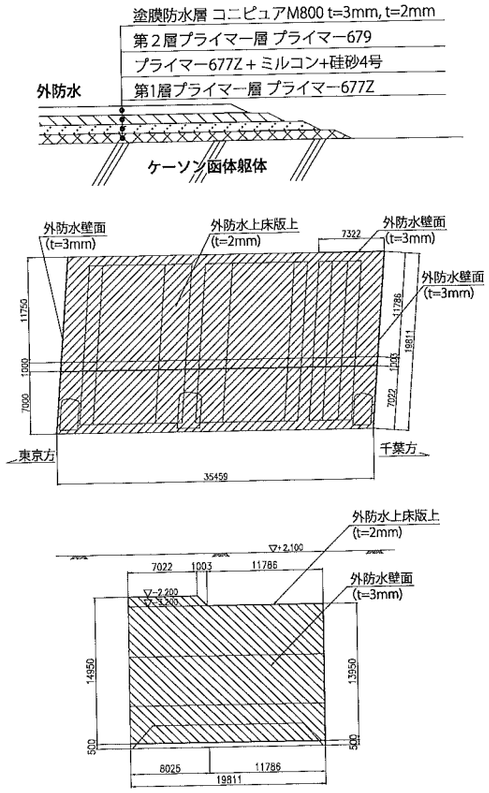


図-13 外防水概要図

斜量とも小さい値となった．これらの計測結果からケーソン沈設時の高架橋縁切り防護工として施工したH形鋼芯材の柱列杭(H-300×300×10×15@500㎜)の有効性がうかがえる．

4-5 防水対策

本ケーソンは内空を高速道路として使用するため，地下水浸入を抑える必要がある．その対策として，密実なコンクリートを打設し，止水性の高い躯体を築造するとともに躯体外部に防水工を施した．ただし，躯体構築をケーソン工法により行うため，防水材はケーソン沈設時にケーソン周面の摩擦力に耐える付着強度が要求される．また，工程の条件から型枠を脱型した直後の若材齢のコンクリート面に防水を施工しなければならず，防水施工後ケーソン沈設までの養生期間が十分にとれない．

上記の理由により，本工事においては，耐摩耗性と弾性に優れたポリウレタン樹脂系防水材(コニピュア塗膜防水システム)で施工を行った．**図-13**に防水施工図と防水層の構成を示す．壁面部はケーソン沈下時の地盤と壁面との摩擦力による「ひっかかり」で防水層の損傷防止の検討[1]から，防水層膜厚さを3㎜とし，上床版の上面部は沈設などの影響を受けないため防水層膜厚さ2㎜とした．

現在ケーソンの沈設は完了し，側部の函体は連結されていない状態ではあるが，漏水は観察されていない．

4-6 環境対策

本工事箇所周辺には小学校や住宅があり，ケーソン圧気作業時に発生する騒音を低減させる必要があった．ケーソン工事に発生する主な騒音は，以下のとおりである．

ケーソン掘削土砂をアースバケットに積込み搬出するが，アースバケットは，マテリアルロックを介して，圧縮空気に満たされたケーソン内と大気圧の外を行き来する．この際，アースバケット

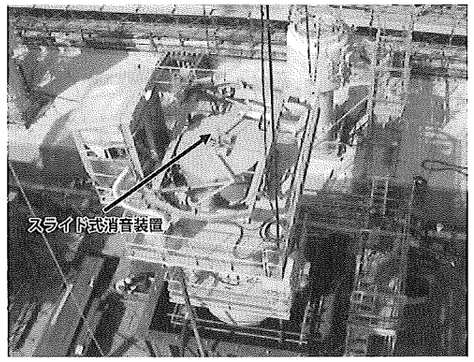


写真-3 ワイヤボックス騒音対策(スライド式消音装置)

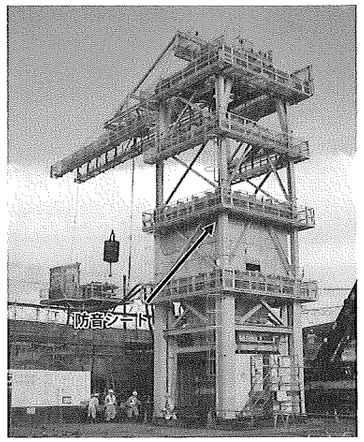


写真-4 土砂ホッパー防音設備

の吊りワイヤは，マテリアルロック上扉に開いたワイヤボックスと呼ばれる穴を貫通しているので，両者の隙間から漏気が生じ，騒音が発生する．また，土砂ホッパーにアースバケットから掘削土砂を投入する際に発生する騒音である．

ワイヤボックスからの漏気音に対しては，マテリアルロックに**写真-3**に示すスライド式消音装置を設置した．排土時の騒音に対しては，**写真-4**に示す土砂ホッパーおよび排土用のキャリアに防音設備を設置することで騒音を低減させた．

事業主体である東日本高速道路(株)により，毎月騒音測定が実施されたが，ケーソン施工中の騒音は，環境基準以下であった．

5 ま と め

本稿は，ニューマチックケーソンによるトンネルの設計施工の特徴的な事項と営業線近接施工の影響検討および施工実績について報告した．

本工事の施工結果より技術的所見を以下にまとめる．

① 高架橋に沿い，防護工として場所打ち杭を高架橋に併行に，柱列状にかつケーソン刃口深度まで打設したことにより，構造物の変状もわずかとなり，安全に施工することが可能となった．

② 高架橋への影響を，ケーソンの周面摩擦力に加えケーソン周辺地盤の緩みをモデル化し，事前に解析検討を行った．計測結果から検討結果は若干過大評価ではあったが，前述したように高架橋への影響は，わずかであったことから検討手法の妥当性が確認できた．

③ ケーソンの沈設制御を圧入システムで行うことで変位をコントロールすることが可能となり，高い精度で沈設を完了することができた．

今後は高架橋をアンダーピニング工法にて受け替え，両サイドの函体間を圧気工法にて掘削し，躯体を構築する．引き続き高架橋への影響観測データを継続監視するとともに，周辺環境への配慮も十分に行い，安全かつ高品質に建設が進むよう注意深く管理に努める．

参 考 文 献

1) 日本道路協会：道路橋示方書，下部構造編，p.300，2002.
2) 建設物価調査会：国土交通省土木工事積算基準，2章，p.13l，2005.
3) 東日本旅客鉄道：近接工事設計施工マニュアル，2008.
4) 東海林洋悦・石田芳行・加茂野耕太郎：橋梁の基礎技術を使ったトンネル工事，橋梁と基礎，Vol.36，No.5，pp.2-9，2002.

現場だより 2013 トンネルと地下

「阿賀の舟唄」にのせてトンネルを掘る

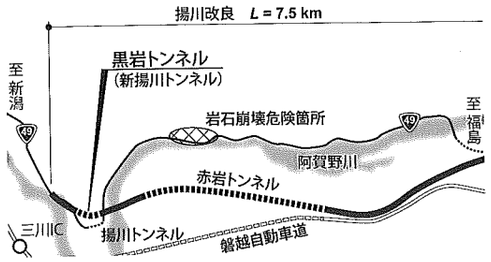
横 山 正 士

阿賀町は，新潟県の東部に位置し，新潟市から東へ磐越自動車道で約35分，一般国道49号では約60分で町の中心部に到達する距離にある．周囲を雄大な山々に囲まれ，中央を「大河」阿賀野川がゆったりと流れている．その豊かな自然の中で，キャンプや釣り，ゴルフ，スキーなどのアウトドアスポーツのほか，観光農園での収穫やそば打ち，和紙・つる細工などの体験も楽しめる．

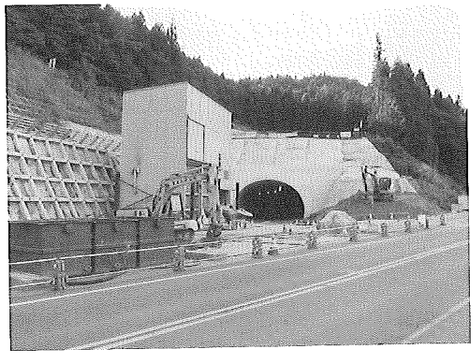
2,000万年前ころに起こった激しい火山活動は，阿賀町の特徴ある景観を形づくるとともに，その熱は今も残り，豊かな温泉をもたらしている．それぞれ泉質の異なる温泉が町内に８つあり，湯巡りも楽しむことができる．

揚川ダム下流の白崎から石間にある阿賀の里までの約13kmの阿賀野川ライン舟下りは変化に富んだ阿賀野川の渓谷美が見どころ．また，「森と水とロマンの鉄道」の愛称を持つJR磐越西線は，町内４か所で阿賀野川を渡るなど，車窓の左右に展開する風景は四季の変化も美しく，旅人の目を飽きさせない．春から秋にかけての週末を中心にSL，C57-180号機が７両の客車をひいて新潟-会津若松間を往復し，人気を博している．

さて，当工事は現在の国道49号の主要幹線道路としての大きな問題(急カーブ・すれ違い困難な道路，土砂災害・落石などの危険箇所，事前通行規制区間)を抜本的に解消するため，現在の道路の阿賀野川対岸にバイパス道路として計画された揚川改良事業(L＝7.5 km)の終点側に位置する延長640m(トンネル延長398 m)の工事である．



位 置 図


坑口状況

トンネルは延長398mと比較的短いが，両坑口とも現道に面し，狭隘な仮設ヤード，小土かぶり，断層破砕帯，大量湧水，積雪地帯(1.5～2.0m)などの諸問題が懸念された．

平成23年４月より坑口部の切土工事に着手した．３段法面の２段目を掘削中に地滑りが予測されたため，掘削を一時中止し，調査ボーリングを行った．結果，グラウンドアンカー，鉄筋挿入工の対策が必要となり３か月を要した．

狭隘な仮設ヤードの有効利用として，付替道路によるヤード拡幅，２階建て構造の仮設構台の採用で最低必要面積を確保し，11月末(積雪前)までに坑口付けを完了した．

当初設計では，地質は脆弱な強風化泥質凝灰岩が主体で，坑口部150m区間(土かぶり 2D以下)のトンネル掘削に伴う地山のゆるみ抑制のために長尺鋼管先受け工，沢部の埋土区間(最小土かぶり３m)では鏡面の自立性確保のために短尺鏡ボルトが計画されていた．しかし，地質は当初想定よりも非常に脆弱であり，補助工法として長尺鋼管先受け工，長尺鏡補強工，鏡吹付け，パイプ式ウイングリブ支保工，水抜きボーリング，インバート吹付けによる早期閉合などを採用し，平成24年８月に無事故・無災害で無事貫通した．

非常にタイトな工程であったが，大雪が降る前の12月末に無事完成・引渡しを終えた．

(五洋建設(株)新揚川トンネル工事事務所総括所長)

施工

東紀州命の道　熊野尾鷲道路最後のトンネルを貫く

—国道42号　新鹿トンネル—

(元)(株)鴻池組新鹿トンネル工事事務所所長　新 庄 大 作
(株)鴻池組土木事業本部技術部部長　森 山 祐 三
(株)鴻池組土木事業本部技術部部長　富 澤 直 樹

1 はじめに

国道42号熊野尾鷲道路は，三重県尾鷲市と熊野市を結ぶ延長18.6kmの自動車専用道路で，紀勢自動車道と一体となり高速道路ネットワークを形成する，東紀州地域にとっての「命の道」ともいえる道路である．周辺地域の産業開発や世界遺産の熊野古道のある東紀州地域への観光アクセス向上への貢献や，これまで大雨や津波といった自然災害に対して脆弱であった当地域の防災強度の向上などが期待され，平成25年度に全線開通予定である．新鹿(あたしか)トンネルは熊野新鹿ICの西側に位置し，環境省快水浴場100選に選定されている新鹿海水浴場に近接する(図-1)．

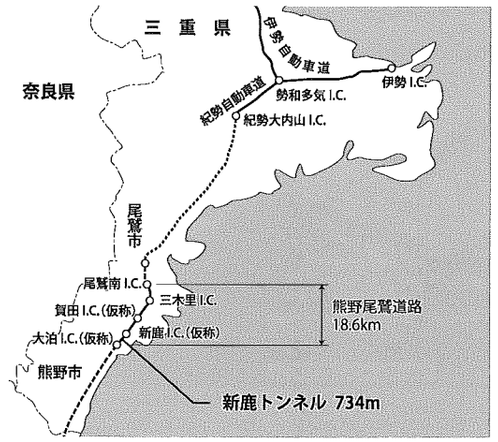


図-1　位置図

工事には平成22年４月に着手し，工事用搬入路の施工時期が遅れたが，平成23年４月に掘削を開始，平成24年２月に貫通した．本工事では，トンネル掘削，トンネル覆工などにおいて，さまざまな工夫を実施したので，その概要を報告する．

2 工事概要および地質概要

2-1 工事概要

新鹿トンネル工事は施工延長761mで，そのうち延長734mの新鹿トンネルを２％の下り勾配で施工するものである．図-2に代表的な支保パター

表-1　工事概要

工事名称	平成21年度熊野尾鷲道路 新鹿トンネル工事
工期	平成22年３月９日～ 平成24年８月31日
発注者	国土交通省中部地方整備局
施工延長	761m
トンネル延長	734m
トンネル内空断面積	66.7m²
トンネル掘削断面積	75.4～96.3m²
掘削方法	発破掘削

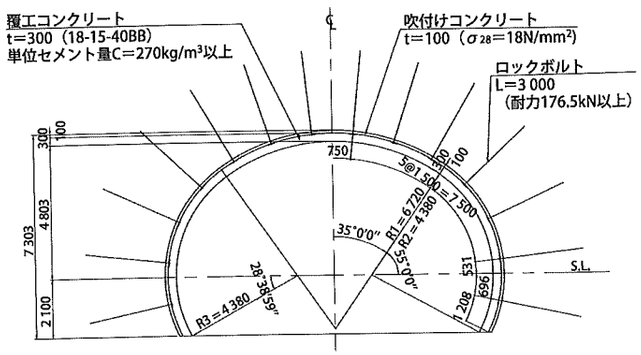
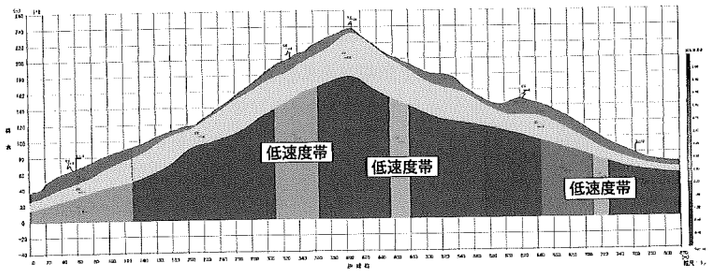
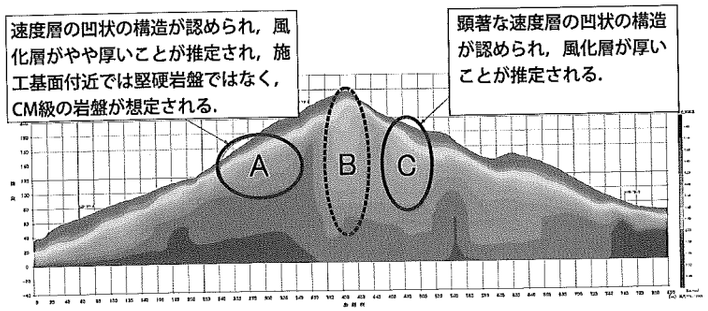


図-2　支保パターン例（CⅡ-a）



（1）　はぎ取り法による弾性波速度分布



（2）　トモグラフィー的解析による弾性波速度分布

図-3　事前の弾性波探査の結果

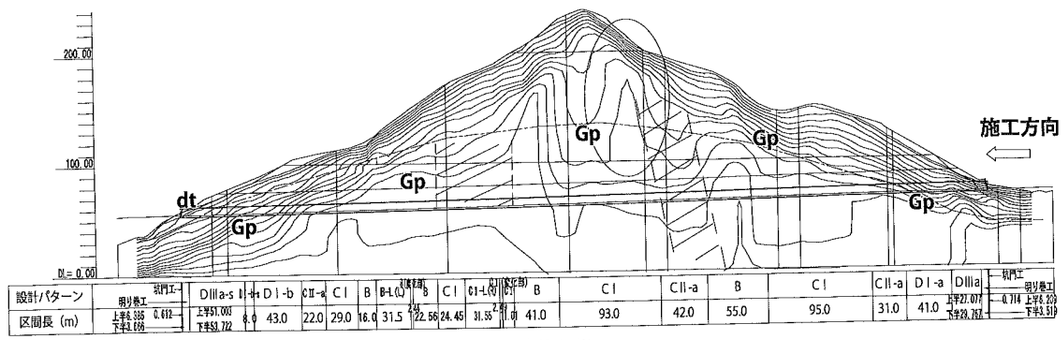


図-4　地質縦断図

ンを示す．

2-2　地質概要

本トンネルの地質は，新第三紀中新世の熊野酸性岩類の花崗斑岩からなっている．最大土かぶりは約170mである．

事前の地質調査における弾性波探査では，解析方法として図-3（1）に示す「ハギトリ法」と図-3（2）の「トモグラフィー的解析法」の2手法が採用されている．

図-3のうち楕円Cの範囲には「顕著な速度層の凹状構造が認められ，風化層が厚いことが推定される」とのコメントがあったが，Bの範囲の速度の落ちこみに関するコメントはない．地質縦断図（図-4）には，図-3（2）に示すようにトモグラフィー的解析法による結果が使用され，ハギトリ法によると思われる低速度帯の位置が示されていた．

基盤岩の弾性波速度は5km/secを超え硬質で，設計支保パターンはBが168.5m，CⅠが286.5m，CⅡが95m，DⅠが92m，DⅢが78mであり，鋼アーチ支保工を使用しないパターンが約6割を占めた．

3　切羽発破を利用した切羽前方探査

硬岩でのトンネル掘削では，破砕帯などの弱層部を事前に把握することが重要である．本トンネルでは，硬岩を基本としながらトンネル中央部に低速度帯が存在する可能性が示されていた．しかし，本トンネルの最大土かぶりは約170mと大きく，地表から実施される弾性波探査屈折法ではトンネル掘削深度における地質構造を正確に把握できていない懸念があった．そこで，切羽発破を起振源として，その波動を地表で受振する弾性波探査を行い，切羽前方地質の把握を試験的に行った[1]．

なお，本手法の計画および実施にあたっては，（財）災害科学研究所トンネル調査研究会（委員長：松井保・大阪大学名誉教授）の支援を受けた．

3-1　探査方法の概要

図-5に切羽を起振源とする切羽前方探査の概念図を示す．地表から行う弾性波探査屈折法の場合，起振源と受振点の配置の関係で，土かぶりが大きいとトンネル深度の情報が得られない可能性がある．これに対して，トンネル切羽で行う発破を起振源とすることで，切羽前方のトンネル深度における地質を把握できる可能性が高い．本調査による結果を事前に実施された弾性波探査データに足し合わせて再解析することで，地質の予測精度が向上することが期待できる．

3-1-1　測線配置および測定区間

図-6に測線配置を示す．既往の弾性波探査測線調査時の測点杭が残存していたため，同位置の10m間隔に受振センサーを設置し，測定区間は440m区間（弾性波探査測線の0～440m）とした．また，起振には，No.51＋00付近およびNo.49＋59に切羽が到達した際の，トンネル掘削のための発破を利用した．

3-1-2　探査結果

（1）　切羽発破の起振源としての適用性

図-7に，切羽掘削で段発発破を使用したときに得られた波形データを示す．芯抜きと2段目（図中楕円部）との秒差は0.25秒であり，問題なく初動を確認できることがわかった．したがって，本手法では，調査のために特別に瞬発発破のみ実施する必要はなく，通常の掘削サイクル内に調査を実施できる．

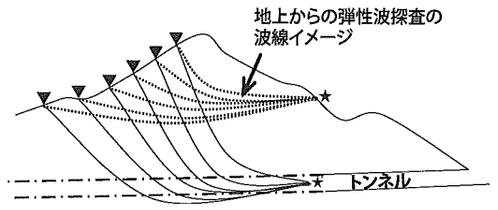


図-5　概念図

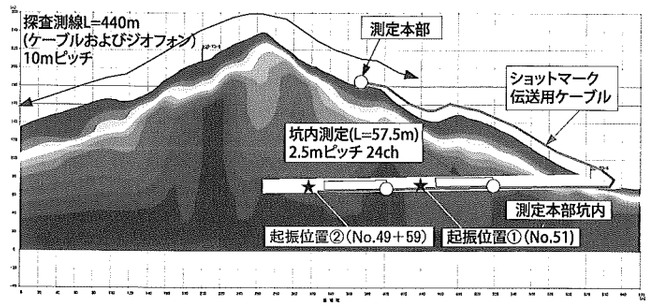


図-6　測線配置図

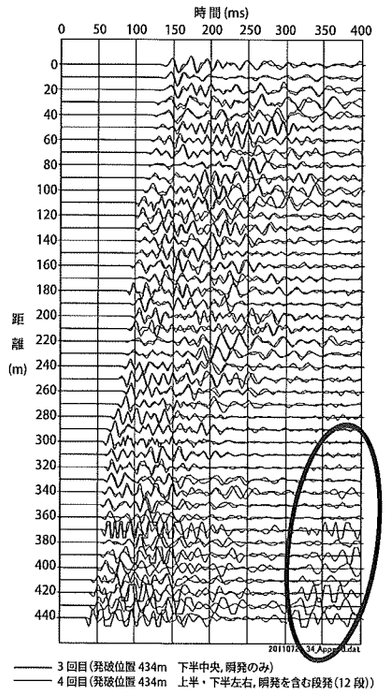
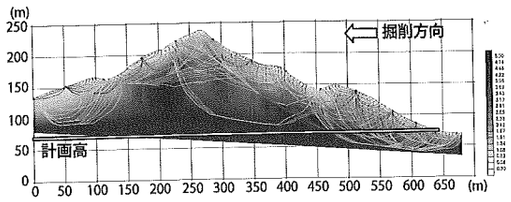
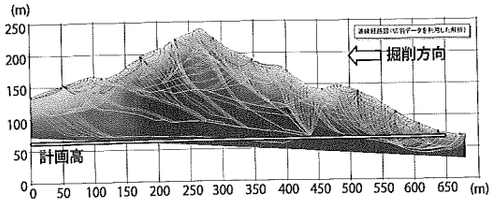


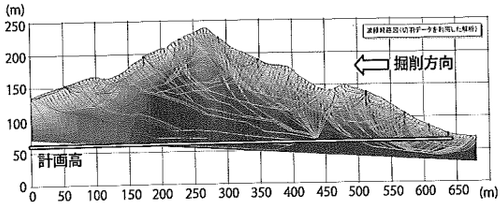
図-7　波形データ



（1） 事前調査結果再解析

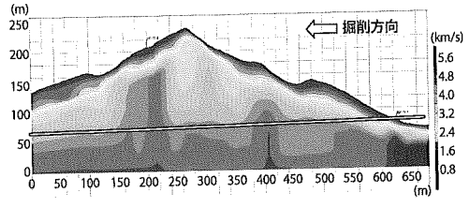


（2） 坑内を起振源とした結果（1回目）

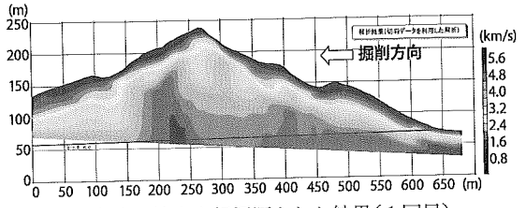


（3） 坑内を起振源とした結果（2回目）

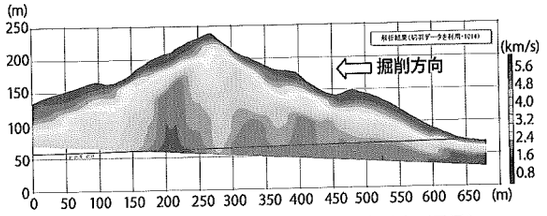
図-8　波線経路図



（1） 事前調査結果再解析



（2） 坑内を起振源とした結果（1回目）



（3） 坑内を起振源とした結果（2回目）

図-9　弾性波速度分布図

（2） 1回目（No.51＋00での起振）の解析結果

受振したデータをもとにトモグラフィー的解析を行った．**図-8**に波線経路，**図-9**に解析結果（弾性波速度分布）を，事前調査の再解析結果と比較して示す．

1回目の測定では，No.51＋00における切羽発破のデータを収録し，事前弾性波探査データと合わせて解析を実施した．

図-8の波線経路図に示すように，切羽発破を使用した解析では，波線がトンネル深度に達しており，トンネル深度における解析結果の信頼性が向上しているものと評価できる．

また，図-9の解析結果より，以下のことがわかった．

- 事前調査でコメントされていた距離程350m付近における厚い風化層は，トンネル深度には達していないものと判断された．
- 距離程230m付近に，高速度（硬質）部の存在が推定された．

（3） 2回目（No.49＋59での起振）の解析結果

2回目の測定では，No.49＋59における切羽発破のデータを収録した．解析は，事前調査のデータに，No.51，No.49＋59の2回の切羽発破のデータを加えて行った．

図-8の波線経路図に示すように，1回目よりもトンネル深度における波線がさらに多くなっており，とくに，距離程200～400m付近では縦方向の波線が増えている．弾性波探査では，波線の数が十分にあることと同時に，さまざまな方向の波線があることが解析精度の向上につながる．したがって，2回の切羽発破のデータを取り入れることで，解析結果の信頼性が，1回目からさらに向上しているものと判断できる．また，図-9の解析結果より，以下のことがわかった．

- 1回目の解析では一様な速度分布となっていた距離程250～400m付近の，より詳細な速度分布が明らかとなった．ただし，その速度の変化は大きなものではなく，地山区分が変わるなど施工に直接影響するようなものではないと判断された．

3-1-3　まとめ

本トンネルで切羽発破を利用した切羽前方の弾性波探査を試行した結果をまとめると，以下のとおりとなる．

① 通常のトンネル掘削で使用する段発発破を適用することができる．

② 本手法により，切羽前方の弾性波速度のコントラストをより明瞭に把握することができる．また，測定回数を重ねデータ量が増えるほど，解析結果の信頼性が向上する．

③ 本トンネルでは地山内の弾性波速度の差違があまり大きくなかったことから，本手法で得られた弾性波速度をもとに支保パターンを変更するまでには至らなかった．

4　トンネル掘削

事前に切羽前方の地質状況を確認できたため，トンネルの掘削に伴うトラブルは発生しなかった．

鋼アーチ支保工を使用しないパターンとしてBおよびCⅠ区間が想定されていたが，結果的にはB区間は出現しなかった．

CⅠ区間では，余掘りを低減し支保工の仕上がりを平滑にするために，切羽レーザーマーキングシステムを導入するとともに，約10mごとに定規用の鋼アーチ支保工（H-125）を建て込んだ．これにより支保工面は**写真-1**に示すように非常に平滑な仕上がりとなり，覆工コンクリートの食い込みを抑制することができた．

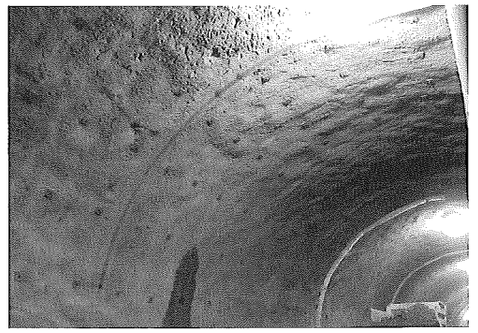


写真-1　CⅠ区間における定規支保工

5　覆工施工の工夫

本トンネルは海に近接しており，高い耐久性が要求された．そこで，天端長尺引抜きバイブレータ，加圧充填，28日間湿潤養生などを導入し，ひび割れのない覆工コンクリートの構築を目指した．

5-1　打　設

打設中は，バキューム式クリーナによりコンクリート表面に浮き上がるブリーディング水を小まめに撤去し，低品質部が生じないように配慮した．

長尺引抜きバイブレータは4本使用し，引抜き後に再充填を行い，コンクリートの沈下を防止した．セントルのクラウン部に設置した複数の圧力計によるモニタリングと，既設側妻部に近接して設置したエア抜き金具で管理することで，天端の充填性を確保できた．圧力管理の一例を**図-10**に示す．

また，覆工打設時に過不足なくコンクリートを注文できるように，事前に吹付け面を3Dスキャナにより断面計測を行い，スパンごとの必要コンクリート量を算出した．その結果，**図-11**に示すように，箱抜きのない区間では，3Dスキャナによる測定結果にもとづく予想覆工打設量の方が実

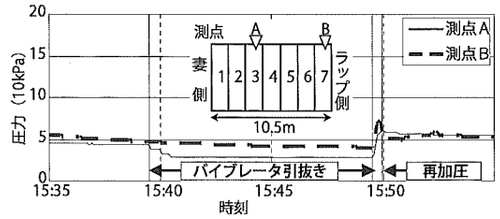


図-10　圧力管理例

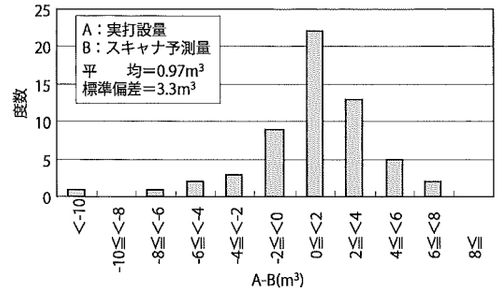


図-11　予測量と実打設量の差の分布

打設量よりも平均0.97m³多く，標準偏差は3.3m³であった．予想打設量が多いのは防水シートによる誤差と考えられる．この方法により，1スパンあたりの設計覆工コンクリート打設量68～78m³に対して，ミキサー車1台分(4.25m³)以下の標準偏差3.3m³の精度で，ほぼ推定できることが確認できた．

5-2　養　生

セントルにはセントルバルーンを設置し，型枠存置時の養生を強化した．脱枠後は，覆工コンクリートの28日間湿潤養生を行った．脱型後の7日間は専用の養生台車を用いて養生温度を管理した．その後28日までは坑内空間へミストを噴霧して湿潤養生を行った．

温度制御式噴霧養生は，**写真-2**に示すように，防水シートで覆工との間に閉鎖空間を設ける専用台車を3スパン分用いる．脱型後に本台車により養生を開始し，覆工の進行に合わせて移動することで，休工日を入れて7日間の湿潤養生ができる．このような密閉型の養生方法ではコンクリート温度が上がりすぎ，養生期間が終わった時点で，坑内環境にさらされる際にひび割れが発生する可能性がある．そこで，噴霧用水の冷却装置を装備し，コンクリート温度と坑内温度から設定される最適な温度に調整して噴霧養生を行った．

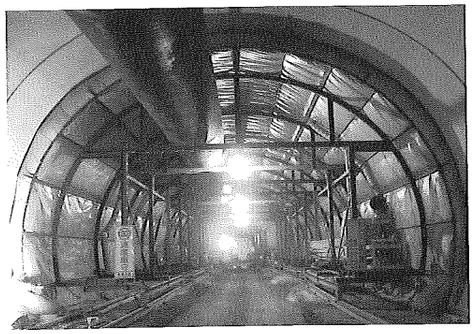


写真-2　温度制御式噴霧養生システム



写真-3　走行型計測車両による撮影状況

ミスト養生では，噴霧位置，および，その後方100m地点で約85%以上の相対湿度を確保できた．貫通後は，移動式防音扉により坑内の通風を遮断することで，湿度維持を図った．

覆工施工完了後に再度3Dスキャナにより断面計測を行い，覆工巻厚を確認した．さらに，**写真-3**に示す走行型計測車両(MIMM)により連続画像撮影を行い，ひび割れの有無を確認したところ，有害なひび割れが1本も発生していないことが確認された．

6　高効率なトンネル工事用濁水処理システム

トンネル工事の濁水処理では，凝集剤として無機凝集剤PACと高分子凝集剤が使用されるのが一般的である．この方法では，水酸化アルミニウムが大量のスラッジとして発生する．そこで，無機凝集剤PACに替えて凝結効果がより優れた有機凝結剤を使用することで，スラッジの発生を抑制できる濁水処理システムの実証を行った．

6-1　システム概要

図-12に，本システムの濁度処理フローを示す．本システムでは，原水のpH変化をリアルタイムで測定し，それに応じて薬剤配合を自動的に切り替えている．薬剤には，**表-2**に示すように，粘土系粒子とカルシウムを含む粒子に対して高い凝集効果を発揮する2種類の有機凝集剤を使用した．

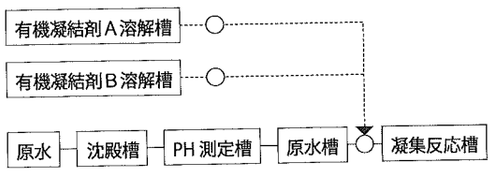


図-12　濁水濁度処理フロー

表-2　使用薬剤の概要

	PAC	有機A	有機B
主成分	水酸化アルミニウム10%	メタクリル酸系ポリマー	ポリカチオン系有機凝結剤
外観	無色～黄色かかった薄い褐色	白色顆粒状粉末	白色粉末
PH	2.7～2.9 (原液)	3.5～5.5 (10%水溶液)	2.5～4.5 (0.5%水溶液)

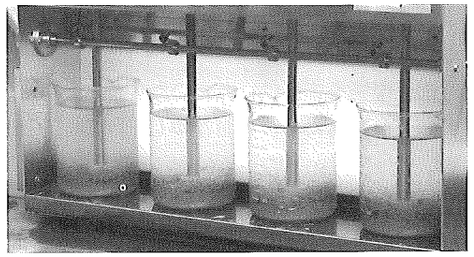


写真-4　ジャーテスト

表-3　配合切替えの閾値

	有機A	有機B
pH≦11.3	100	0
11.3< pH≦11.5	50	50
11.5< pH	0	100

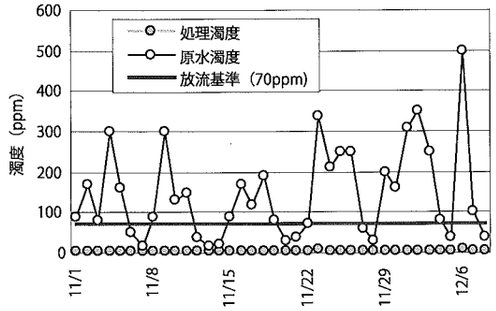


図-13　濁度経時変化

その閾値は，**写真-4**に示す原水を用いたジャーテストにより**表-3**に示すように決定した．

6-2　稼働結果

図-13に，自動運転により処理した際の原水濁度と処理濁度の経時変化を示す．原水濁度は大きく変動したが，放流基準70ppmに対し，処理濁度は安定して10ppm以下を満たした．

図-14に有機凝集剤の使用実績を示す．薬剤使用量は日単位での計量結果である．おおむね処理流量に合わせて薬剤の使用量が変化しているが，

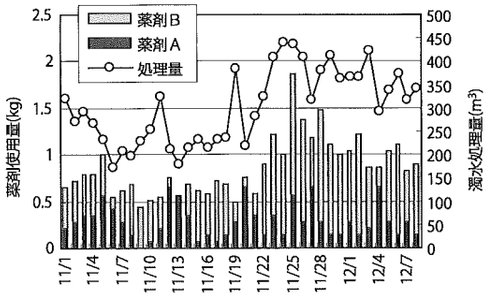


図-14　有機凝結剤の使用実績

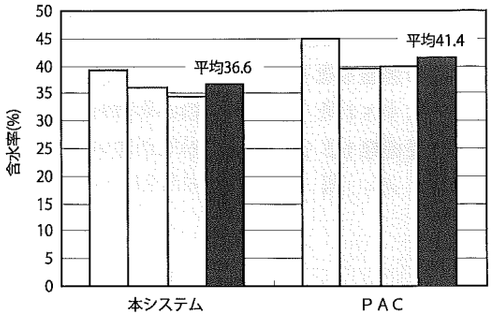


図-15　脱水ケーキの含水率測定結果

有機凝集剤A・Bの使用比率は細かく変化しているのがわかる．

6-3　脱水ケーキの含水率

図-15に脱水ケーキの含水率測定結果を示す．含水率は，無機凝集剤が平均41.4%であったのに対して，本システムでは平均36.6%であり，含水率にして約5%，体積にして約10%低減できることがわかった．このように脱水性が向上する特性は，ろ過特性を調べるCST(毛管吸引時間)試験でも確認している．脱水ケーキの含水率が低減されることで圧縮強度やコーン指数などの向上が期待でき，盛土材などへ再利用の可能性が考えられる．

7　おわりに

平成23年の台風12号では，8月31日～9月5日にかけて雨が降り続き，その総降水量は758㎜であった．とくに9月4日の未明に1時間降雨量101.5㎜(観測史上1位)，前後する24時間降雨量552㎜(観測史上1位)という想定外の大量の雨が，短期間に集中して降ったため，坑口回りの斜面全

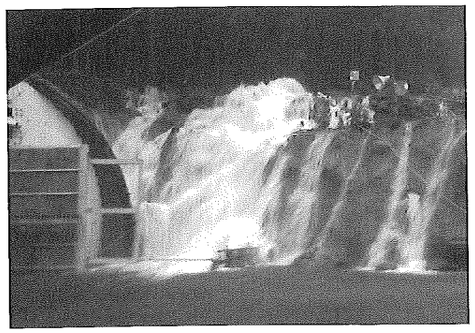


写真-5　坑口の被災状況

体が滝のような状態(写真-5)になり，坑内外の排水設備の容量をはるかに上回ったため，坑内水没を余儀なくされた．また，坑口から離れた位置にある仮設備類も，背面の斜面からの流水により被災した．

この大雨では，基幹道路が寸断され，さらに生コンプラントも被災してコンクリートの出荷ができないなどの事情もあり，現場の復旧には約２か月を要した．

この件で甚大は被災を被った以外には，とくにトラブルはなく，前述した工夫により掘削と覆工を終えることができた．本報告が以後のトンネル施工の参考になれば幸いである．

最後に，さまざまな試験的取組みを行うにあたり，快く現場をご提供いただいた中部地方整備局紀勢国道事務所に心よりお礼申し上げる．

参　考　文　献

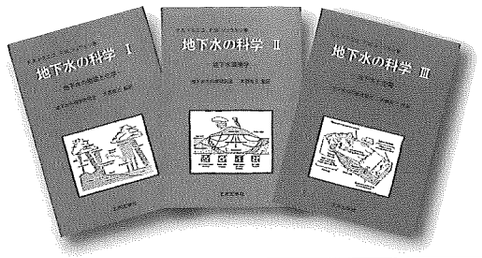
1) 災害科学研究所トンネル調査研究会：地盤の可視化技術と評価法，鹿島出版会，2009.12.

■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

施工

有楽町・副都心線並行区間の線路交差を２本の単線連絡トンネルで解消（その２）

—東京メトロ　小竹向原駅～千川駅間連絡線開削工事—

東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第二工事事務所所長　伊藤　聡
東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部第二工事事務所第三担当技術課長　嶋田　司
佐藤・熊谷・大日本建設工事共同企業体現場代理人　岩橋公男
佐藤・熊谷・大日本建設工事共同企業体監理技術者　西本浩二

１　はじめに

東京メトロでは，現在９路線179駅で，195.1kmの営業運転をしている．そのうち，有楽町線は和光市駅から新木場駅間において，また，副都心線は和光市駅から渋谷駅間において営業運転をしており，小竹向原駅では，有楽町線と副都心線両線の相互乗り入れも行っている．

この両線は，和光市駅から池袋駅までの間において並走しており，小竹向原駅で西武有楽町線と，和光市駅で東武東上線と，おのおの相互直通運転を行っている．さらに，平成25年３月16日に副都心線渋谷駅において東急東横線および，東急東横線経由で横浜高速みなとみらい線との相互直通運転の開始を予定している．

この相互直通運転開始後の列車本数増加に対応するため，さらに有楽町線と副都心線両線の相互乗り入れに伴い発生する平面交差部における列車の通過待ちを解消し，輸送の安定性を向上させる

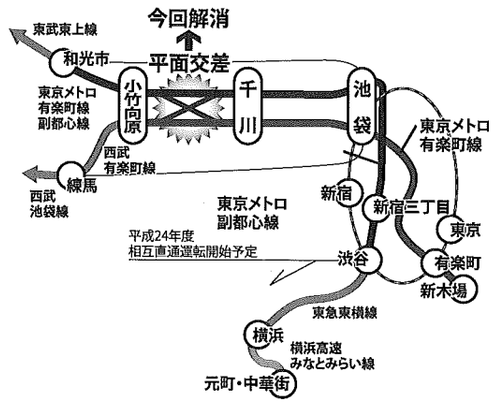


図-1　路線概要図および平面交差部・工事位置

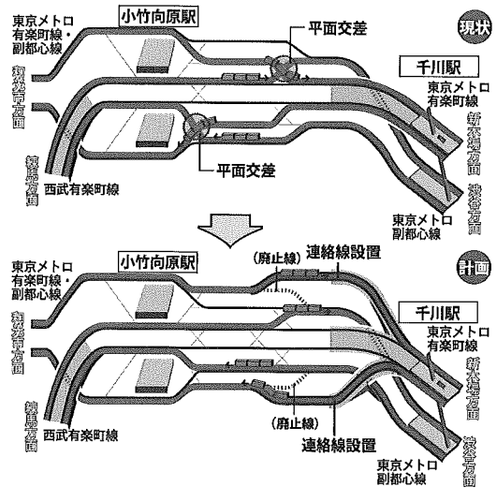


図-2　小竹向原駅と千川駅間の現状と計画

ため，小竹向原駅から千川駅間において，列車の平面交差を解消して立体交差にすることを目的に，有楽町線の連絡線を建設している．図-1に路線概要および平面交差部・工事位置を示す．

この工事は，平成22年度から開始し，平成24年度内の池袋駅方面行（以下「A線」と記す）の供用開始，そして，平成27年度内の和光市駅方面行（以下「B線」と記す）の供用開始を目指している．図-2に小竹向原駅と千川駅間の有楽町線と副都心線の平面交差の現況と有楽町線連絡線設置工事の計画を示す．

本稿では，この有楽町線連絡線設置土木工事のうち，小竹向原駅側の向原工区土木工事のA線における営業中の地下鉄トンネルの側壁を撤去し，トンネルを拡幅する工事について報告する．

2　工　事　概　要

有楽町線連絡線設置土木工事は，延長410mの工事区間を3つの工区に分割して，小竹向原駅方の向原工区および千川駅方の千川工区は開削トンネル工法を採用し，両工区をつなぐ中央の工区は，シールドトンネル工法を採用している．図-3に3工区の工事担当区間を示す．

工事場所は，閑静な住宅街の板橋区向原1～2丁目地先の都道441号（通称：要町通り）上であり，向原工区の施工延長は123m，掘削幅は最大37m，掘削深度は21mである．

既存の2径間から3径間の地下2階鉄筋コンクリート構造物の外側に，有楽町線連絡線となる構造物を築造し，既設線から連絡線に運行するため，既設構造物の外壁を撤去するものである．

写真-1に工事着手前の路上の状況写真を，写真-2にA線側路面覆工設置後の路上の状況写真を示す．写真上部には，池袋の高層ビルが見える．

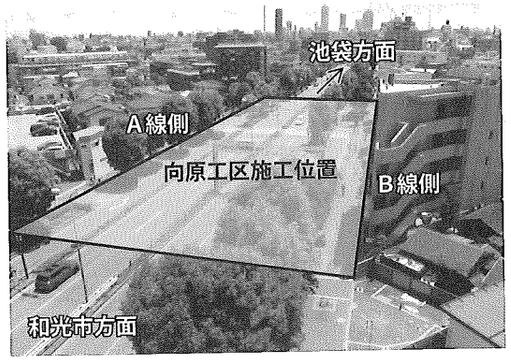


写真-1　工事着手前路上写真



写真-2　A線路面覆工設置後路上写真

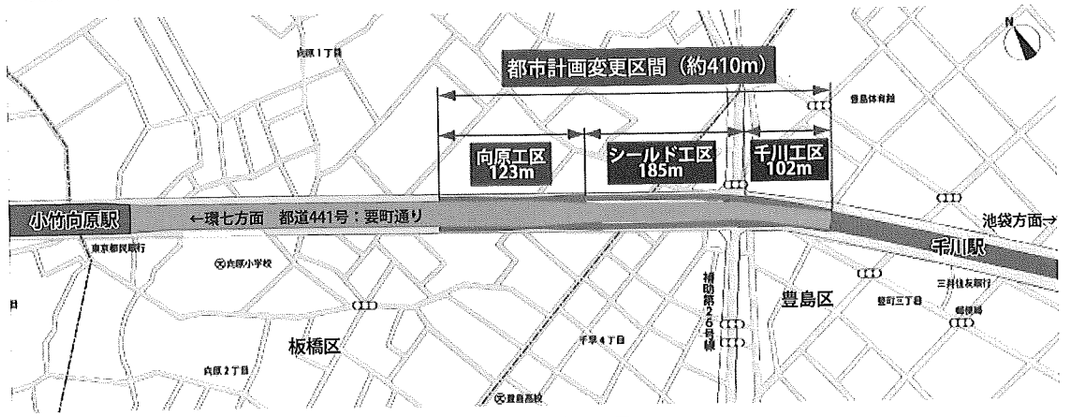


図-3　3工区施工位置

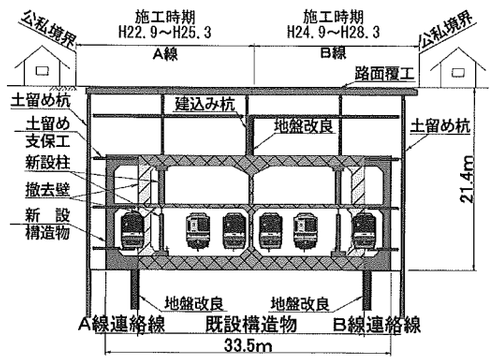


図-4　工事概要断面

3　施　工　方　法

A線は平成22年度から24年度まで，B線は平成25年度から平成27年度までおのおの別々に，土留め壁，路面覆工を行い，既設構造物側部を掘削し，有楽町線連絡線の構造物を築造して既設壁を撤去する．

なお，施工期間中の既設構造物の外壁の撤去後，有楽町線連絡線に線路を切替えて，構造物の中央に柱を設置するまで，コンクリート構造物の許容応力を超える外力が作用するため，上載荷重を取り除くことを目的に，既設構造物の上部も掘削する．図-4に工事概要の断面を示す．

4　契約時の撤去計画と変更した撤去方法

当初，撤去するコンクリートをワイヤーソーにて切断してブロックにし，フォークリフトを使用して壁から引き出し，路上に搬出するための仮設開口部まで運搬し，クレーンで路上に引上げダンプトラックに積込む計画であった．図-5にフォークリフトを使用したコンクリートブロックの運搬イメージを示す．

しかしながら，撤去工事を施工する有楽町線連絡線となる新設部分は，幅員がたいへん狭く，フォークリフトの転回ができないため，ヒューマンエラーによる追突・衝突災害や挟まれ・巻込まれ災害が発生する可能性が高いと判断された．図-6に工事施工側（新設・連絡線側）の幅員がもっとも狭い場

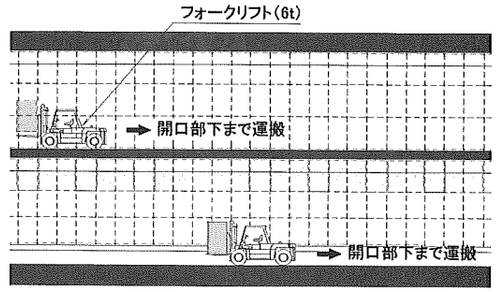


図-5　フォークリフトでの運搬イメージ

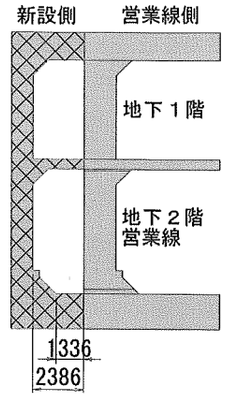


図-6　もっとも狭い工事箇所の断面

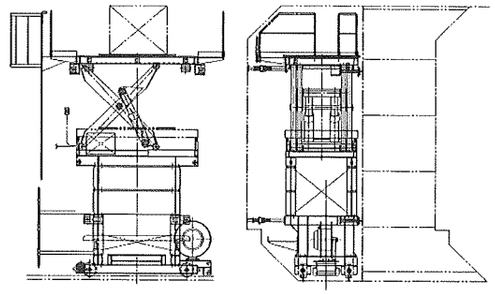


図-7　最上段・2段目撤去用リフター台車

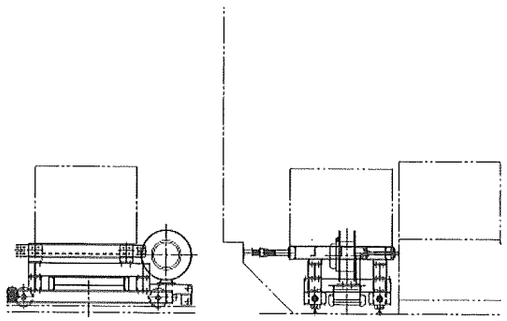


図-8　3・4段目撤去用台車

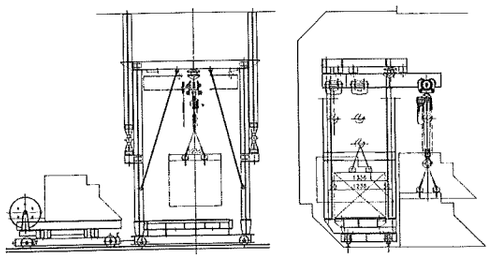


図-9　最下段・トラフ台撤去用クレーン台車

所の断面を示す．

そこで，少しでもヒューマンエラーの要素を取り除き，危険要素を低減させるため，軌条設備を設置して専用の台車を製作し，レール上に台車を走行させ，撤去する鉄筋コンクリートのブロックを引出し・運搬することに変更した．**図-7～9**に引出し運搬台車の構造を示す．

5　施　工　実　績

5-1　撤去数量と撤去の施工方法

地下1階は延長58m，地下2階は延長70mについて，1つのコンクリートブロックが5t弱となるように幅1.15～1.46m，奥行き1.00～2.35m，高さ0.90～1.29mに調整し，ワイヤーソー工法により延べ1,894m²にわたり切断する．地下1階は184ブロック，軌道階は270ブロックに分割し，合計945m³，2,268tの撤去を行った．**図-10**に撤去するコンクリートブロックの割付けを示す．

5-2　事前作業

5-2-1　コアボーリング

撤去作業を開始するまえに，ワイヤーソーにて切断するためのダイヤモンドワイヤーを既設構造物に通すため，撤去するコンクリートブロックの4隅を50㎜のコアボーリングにより削孔した．ワイヤーソーを通す穴は633か所，延べ延長955mを施工した．

また，切断したコンクリートブロックを安全に引き出し，運搬，および揚重作業を行うため，ワイヤーを通して荷締めできるように，1つのコンクリートブロックにつき2か所を100㎜のコアボーリングにより削孔した．コンクリートブロックを吊る穴は908か所，延べ延長1,320mを施工した．

5-2-2　軌道防護

地下2階については，営業線に近接しての作業となるため，工事箇所と営業線の間を厚さ3.2㎜の鉄板で防護した．**図-11**に防護板の構造概要を，**写真-3**に防護板の設置完了状況を示す．

5-2-3　専用の引出し・運搬架台の作成および軌条設備の設置

坑内で撤去するコンクリートブロックを引出し，路上に搬出する仮設開口部まで運搬するために，専用の引出し・運搬架台を作成し，使用した．

撤去するブロックの高さが床面から7cm～4.55mと高低差があるため，最上段と2段目は油圧式のジャッキにより架台が上下するリフトを使用し，架台の高さを撤去するコンクリートブロックの高さに合わせて引出し，坑内の運搬時にはリフトを下げて，架台にて仮設開口部まで運搬し，路上に搬出した．

3，4段目の撤去は，撤去するコンクリートブロックの高さに合わせたおのおの専用の架台にて，引出し・運搬し，路上に搬出した．

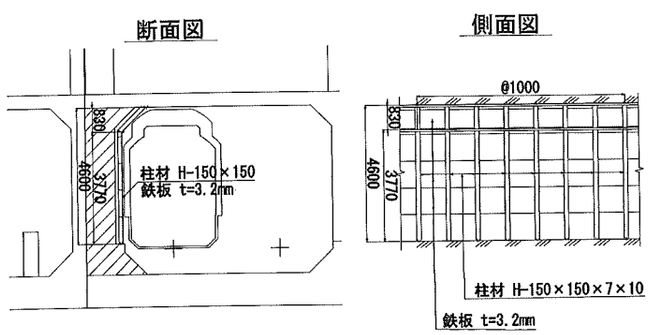


図-11　軌道防護板構造概要

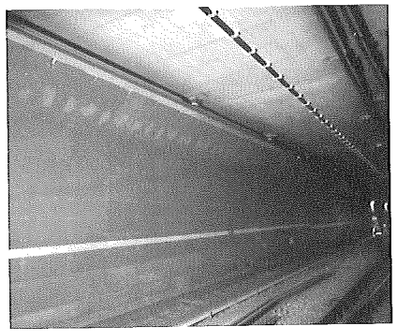


写真-3　軌道防護板設置完了(軌道側より)

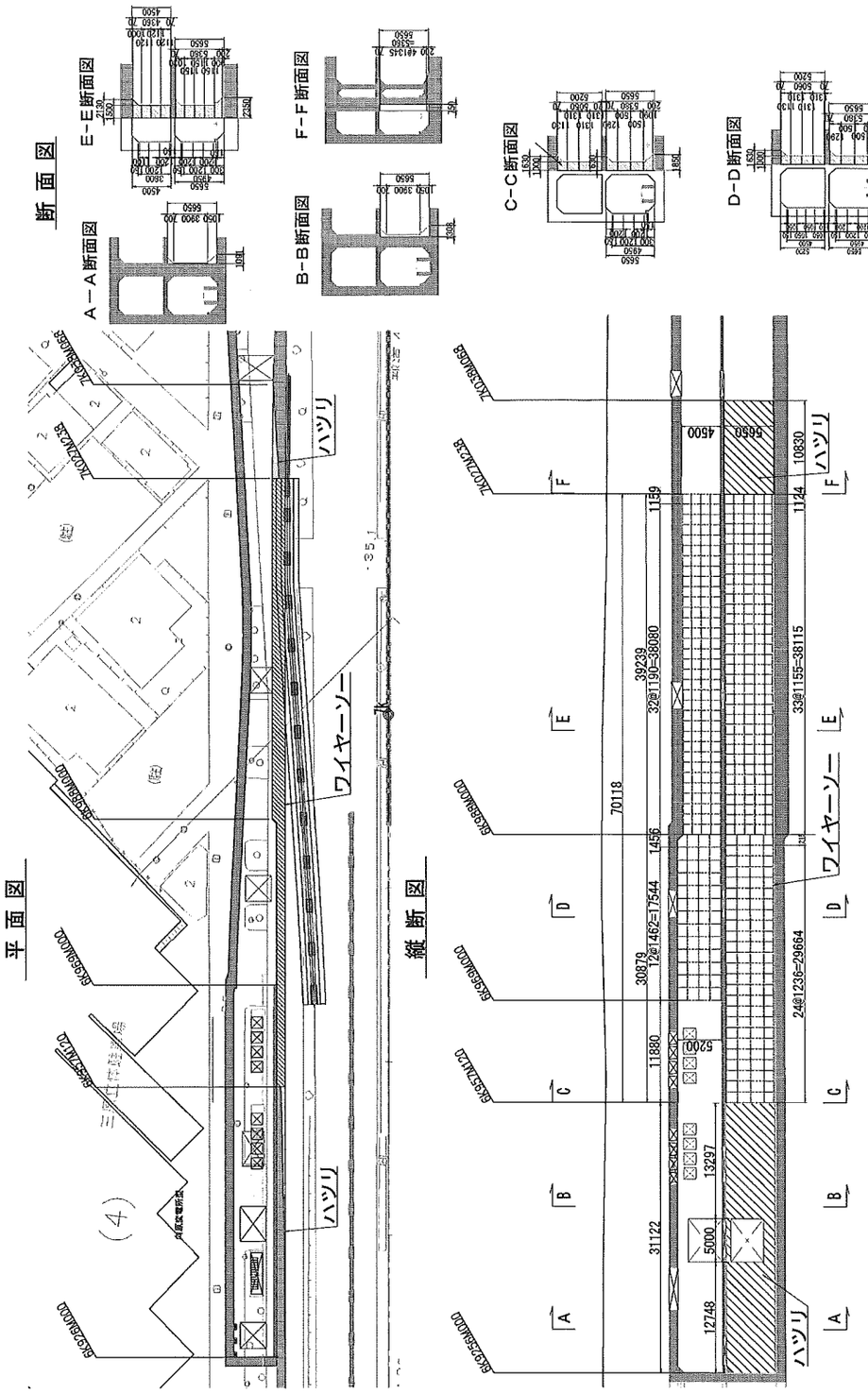


図-10　撤去するコンクリートブロック割付け

最下段の撤去は，クレーン機能を備えた架台にて吊上げて引出し，架台にて運搬し，路上に搬出した．**写真-4**にワイヤーソーの作業状況写真，**写真-5**に最上段・2段目撤去用リフター台車写真，**写真-6**に3・4段目撤去用台車写真，**写真-7**に最下段撤去用クレーン式台車写真，**写真-8**に最下段コンクリートブロック撤去状況写真を示す．

引出し・運搬架台は最大6台使用し，撤去するコンクリートブロックに合わせてリフト，架台，クレーンに組替え，3か所の開口部から路上に搬出した．

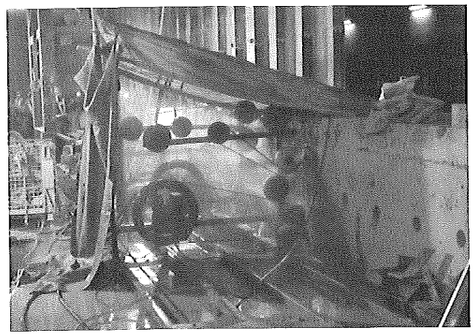


写真-4　ワイヤーソー施工状況

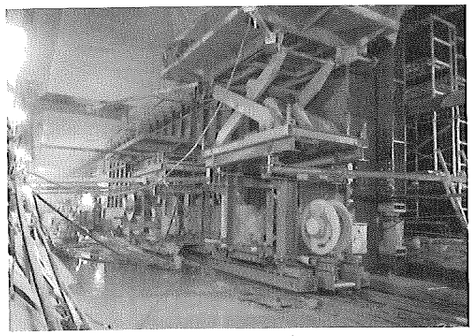


写真-5　最上段・2段目撤去用リフター式台車

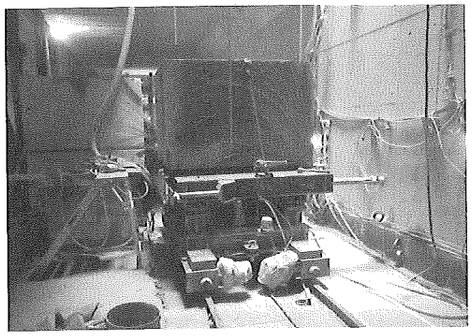


写真-6　3・4段目撤去用台車

運搬架台は，坑内に軌条設備を設置してレール上を走行した．

5-3　施工時間

地下1階は，コアボーリングの作業，ワイヤーソーの切断作業から坑内の仮設開口部までの運搬作業，および地上への搬出作業のすべてについて，昼夜間にて施工した．

地下2階においては，営業線に近接しての施工となるので，列車の運行支障を低減させるため，夜間施工のみとし，とくに，危険と想定されたコアボーリングの貫通作業，ワイヤーソーの切断作業から坑内の仮設開口部までの運搬作業，および地上への搬出作業は，き電停止時間の午前1時から4時までの3時間で施工した．

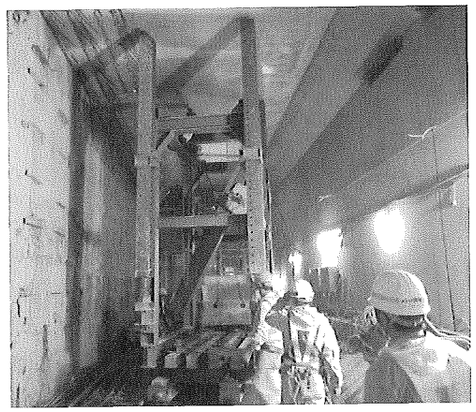


写真-7　最下段撤去用クレーン式台車

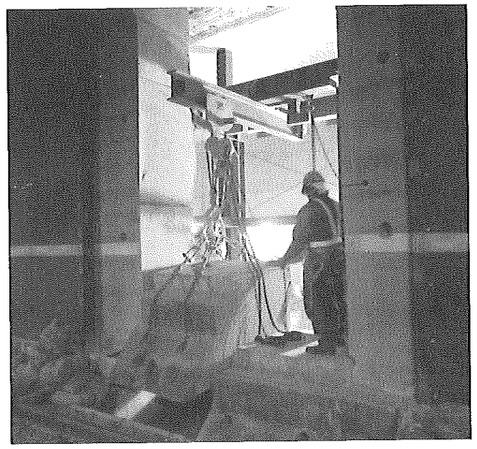


写真-8　最下段コンクリートブロック撤去状況

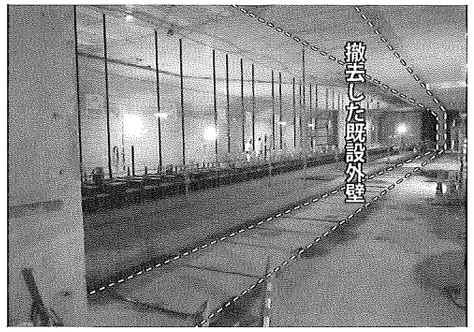


写真-9　地下1階撤去完了



写真-10　地下2階撤去前



写真-11　地下2階撤去状況

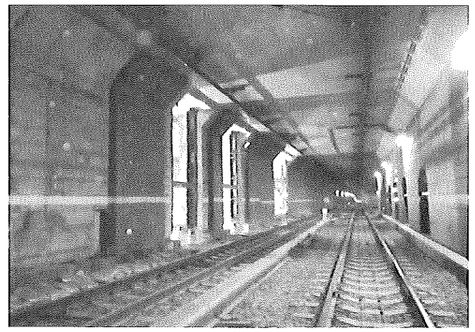


写真-12　地下2階撤去状況(軌道側から)



写真-13　地下2階撤去完了



写真-14　地下2階撤去完了(軌道側から)

5-4　施工実績

地下1階の既設壁撤去は，昼夜間施工にて平成24年4月6～19日まで12日間を要し，平均14.5ブロック/日にて行った．地下2階は，夜間施工のみで平成24年5月1日～6月18日までの42日間を要し，平均6.4ブロック/日にて行った．これは，施工開始前に計画した予定工程に対してほぼ同様の結果となった．

写真-9に地下1階のコンクリート撤去完了状況写真，**写真-10～14**に地下2階のコンクリート撤去前から撤去完了までの状況写真を示す．

6　ま　と　め

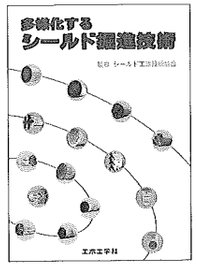
本工事においては，当初想定されていなかった要因により，工程が厳しい状況に直面したが，施工方法などの工夫により，既設構造物の撤去工事は計画どおりに進捗した．A線側地下2階については，次工程となる軌道工事を施工する工務部への引渡しを，7月末日に，遅延させることなく行った．

現在，A線側の有楽町線連絡線設置工事は，軌道工事，電気・通信設備工事を行っており，平成24年11月４日に千川駅付近の部分的な軌道切替え工事が無事完了した．平成24年２月中旬に予定されている有楽町線の連絡線への切替え工事，さらに平成25年３月16日の東急東横線・横浜高速みなとみらい線との相互直通運転の開始に向けて順調に工事は進捗している．

一方，本工事は，A線側は，B1階と上床において換気口と仮設開口部閉塞の鉄筋コンクリート，軽量ブロックを使用した仕切壁設置，B線側は，工事に支障する埋設物の移設工事を行っている．

工事進捗は約50%，契約工期は平成28年１月13日までであり，まだまだ先の長い工事である．A線を施工した経験を踏まえ，より安全に，かつより効率的に工事の完成まで輸送障害を発生させることなく，無事故・無災害を達成させるべく努める所存である．

なお，本工事にて行った既設構造物補強などに関しては，別途報告することにしたい．



多様化する
シールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B５判　141頁　本体価格2,500円

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

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

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

施工

深度30mの高水圧下での４mの大口径推進工事

—東京都下水道　東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠—

東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第二課長　永田　有利雄
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第二課工事係長　吉村　啓一郎
東京都下水道局第一基幹施設再構築事務所工事第二課工事係　中西　正継
若築建設(株)東京支店東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠建設工事現場代理人　仁科　真二

1　はじめに

東京都荒川区に位置する「東尾久浄化センター」は，隅田川の水質浄化および東京湾の富栄養化防止対策の一環として，三河島処理区の一部汚水を処理し，また同処理区の一部の雨水を吸揚し，隅田川に放流するための施設である．

「東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠建設工事」は，西日暮里幹線と西日暮里系主ポンプ棟を接続する工事である(図-1参照)．

本稿では，実績が少なく，大深度での施工は世界初となる組立式超大口径推進管を採用した推進工事の施工について記述するものである．

2　工事概要

工事件名：東尾久浄化センター西日暮里幹線流入渠建設工事
発注者：東京都下水道局
施工者：若築建設(株)
施工場所：東京都荒川区東尾久７丁目
内　　径：4,000㎜
施工延長：27.95m
土かぶり：29.79～29.82m
被圧水位：GL-6.72m
工　　法：土圧式推進工法

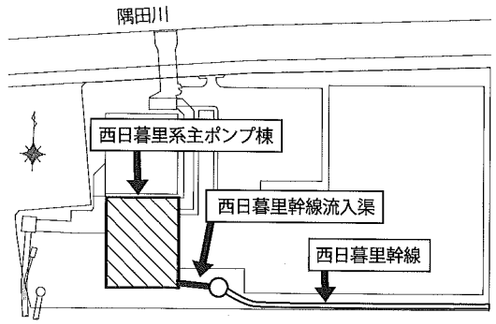


図-1　東尾久浄化センター

3　組立式超大口径推進管

本工事は内径4,000㎜の組立式超大口径推進管を採用した．

従来の推進管は道路交通法の制限により内径3,000㎜の運搬が限界であったが，組立式超大口径推進管は，管を分割することによって運搬可能としたものである．

3-1　施工実績

組立式超大口径推進管の施工実績を表-1に示す．

推進工事では実績の多い土かぶりが10m程度での施工実績のみである．

本工事は，組立式超大口径推進管を用いた土かぶり約30mの大深度・高水圧という施工条件における世界初の工事である．

3-2　課題および対策

図-2に示すように，施工対象土層は砂礫層であり，その上層は層厚約20mのシルト層であった．そのため砂礫層は被圧帯水層となり，被圧地下水位GL－6.72mの水圧により，推進管には約0.3MPaもの水圧が作用する．

推進管同士の継手構造は一般的な推進工事と同様にカラー形として，ゴム輪は，同深度の中大口径推進の施工実績から，0.6MPa仕様のものを採用した．

また，推進管組立て部の通常の接合は，接合面にシール材としてアクリル樹脂系の接着剤を塗布し，コッターにより締結するが，本工事では高水圧下での確実な止水方法を検討し，接合面に水膨張性シール材を設置することとした(**写真-1**)．

表-1　施工実績例

施工年度	発注者	内径	深度
平成17年度	横浜市	φ3,500	約３m
平成20年度	愛知県	φ3,700	約７m
平成21年度	横浜市	φ4,000	約12m
平成24年度	民　間	φ4,000	約９m

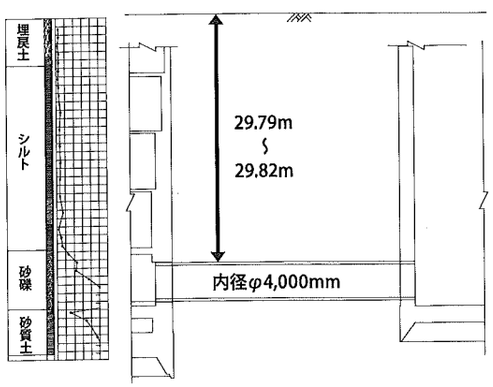


図-2　施工断面図

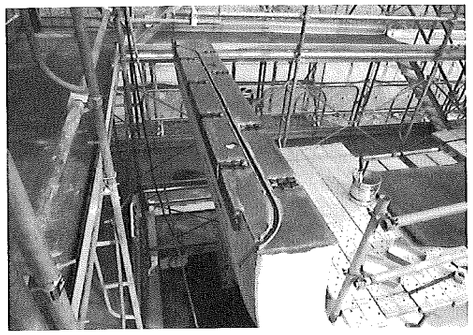


写真-1　接合面施工状況

3-3　性能確認試験

要求性能を確認するため以下の試験を行った．

（1）　外圧試験

試験方法は，施工時と同じ条件とするために，供試管を**図-3**のように水平方向に対して接合面を斜め45°となるように設置し，外圧試験機を用いて試験荷重まで載荷する(**写真-2**)．試験荷重は，「ひび割れ保証モーメント」から算出した162kN/本とした．

試験結果は，載荷後に供試管のひび割れの有無を確認したが，ひび割れの発生はなく，必要な強度を有していることが確認された．

（2）　水密試験

水密試験は，接合した２本の供試管の接合部を外部から封水し，設計条件である0.4MPaの水圧を加えて，日本下水道協会規格(JSWAS A-2)に

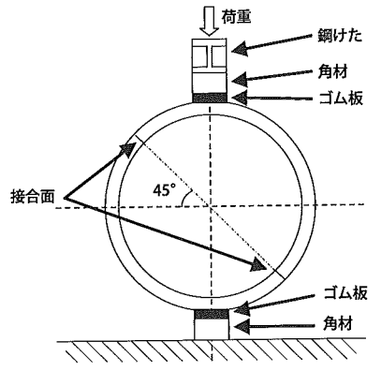


図-3　外圧試験模式断面図

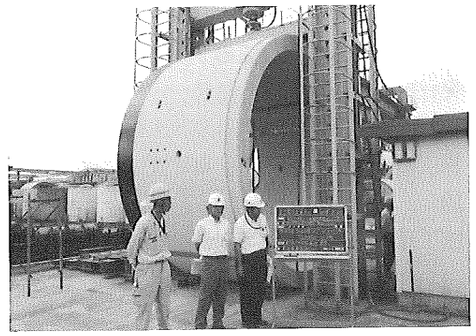


写真-2　外圧試験

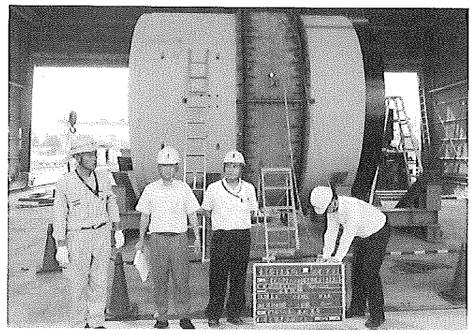


写真-3　水密試験

準じ，３分間保持して漏水の有無の確認を行った(**写真-3**)．

試験結果は，保持時間経過後に漏水およびその他の異常も生じず，必要な耐水性能が確認できた．

4　土圧式推進

本工事は，超大口径推進による大深度施工である．推進工事においても確実な施工を行うために種々の検討を行った．

4-1　推進機

発進および到達の仮壁(以降，切削壁)は直接発進到達工法により施工された直接切削可能な部材である．推進機の課題としては，発進側切削壁を掘進し，砂礫層を掘進後に到達側切削壁を掘進することであった．

そのため，確実に掘進するために超硬チップを取付けた先行ビットを採用した．また，東尾久浄化センター内の他工事の実績から，最大300㎜までの礫が確認されていたため，スクリューコンベヤはリボン式を採用した(**図-4**)．

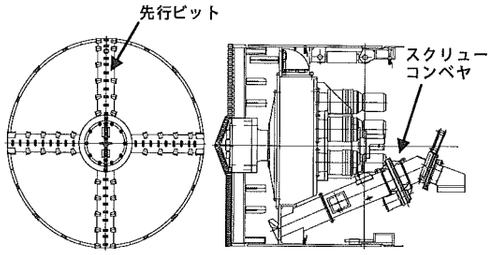


図-4　推進機

4-2　斜方向発進および到達

通常，推進およびシールド工事は，発進および到達の仮壁に対して直角方向に線形が検討されている．しかし，用地制限や支障物により斜角を有した線形となる場合がある．本工事においても仮壁に対して，発進側は7.0°，到達側は4.7°の斜角を有している．

斜角を有した場合，発進側の切削壁は，端部が先行して切削されるため，背面地盤の強度が不足すると，部材に割れを生じてしまい，切羽に異常が生じる可能性が高い．

また，到達側の切削壁は，到達部周辺の地盤強度が不足していると，推進機の端部が切削壁に達した際に推進機に偏心力が作用し，周辺地盤が推進機を支持できず，切削が安定しない可能性がある．そのため，本工事では発進側，到達側ともに高圧噴射撹拌工法による防護を行うことにより，安定した発進および到達を図った．

4-3　後退防止対策(バッキング)

土圧式推進工事では，推進管をセットし，元押しジャッキを解放する際に，掘進機前面の土圧および水圧の作用により掘進機が後退することがある．とくに，本工事のように高水圧下では後退させる力が大きいため，十分な後退防止策を施す必要がある．

また，超大口径推進での大深度・高水圧下での施工は実績がなく，後退力の推定値と実績値が大きく異なることも予想されるため，十分な安全対策を施す必要がある．

4-3-1　後退防止対策方法比較

後退防止対策は，大きく分類して下記の２つがある．

①　切羽を自立させる方法

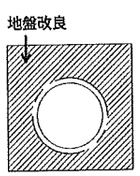
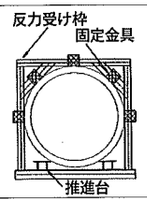
②　後退力を支持する方法

表-2に示したように，切羽を自立させて，後退力を生じないようにするには，全面地盤改良を行う方法がある．

推進工法は比較的安価な刃口推進工法で施工可能となるが，大規模な地盤改良が必要となるため工費が著しく高くなる．

後退力を支持する方法は，鋼製支保工により推進管を支持する方法や，ジャッキで推進管を締付

表-2　後退防止対策方法比較

対策	切羽自立	管体支持	
	全断面改良	鋼製支保工	ジャッキ締付け
概要図			
概要	地盤改良を行い，切羽を自立させるが非常に工費が高い	管体で鋼製支保工で固定してバッキング荷重に抵抗する	管体をジャッキで締付けバッキング荷重に抵抗する
工期	×	○	○
工費	×	○	○

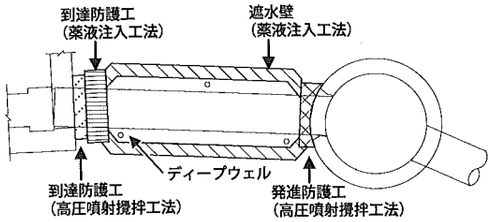


図-5　補助工法平面図

けて支持する方法がある．両方法ともに，過去の実績から2,000kN程度未満の後退力であれば対応可能であるが，本工事では推定する後退力が5,381kNと大きく，対応できない．

4-3-2　地下水位低下工法

後退力は5,381kNと大きいが，その内訳は土圧が1,119kN，水圧が3,653kNであり，水圧が支配している．そのため，水圧を低減することにより，効果的な後退防止対策を検討し，水圧を低減させるため，被圧帯水層の地下水位をディープウェル工法により低下させることとした．

揚水対象の被圧帯水層は砂礫層であり，透水係数が2.92×10^{-2}cm/secと大きい．そのため，支持可能な後退力まで地下水位を低下させた場合，ディープウェル工法による影響範囲が広範囲になってしまう．東尾久浄化センターは，隅田川に隣接し，住宅街の中に位置しているため，影響は最小限に抑える必要があった．

そこで，掘進の対象土層である砂礫層の下層はシルト混じり砂層であり，砂礫層と比較すると透

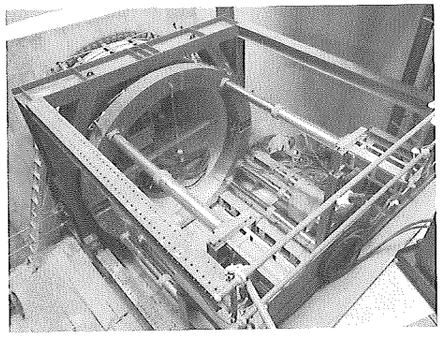


写真-4　後退防止鋼製支保工

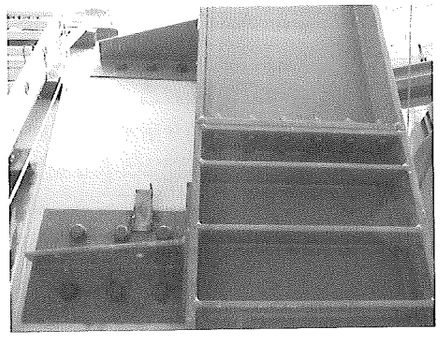


写真-5　ブラケット部材

水係数が小さいこと(4.18×10^{-3}cm/sec)に着目した．揚水対象土層の見かけの透水係数が低下すれば，地下水位を所定の位置まで低下させることが可能であるため，砂礫層の両側に遮水壁を設けることによって，透水係数を低下させることとした．遮水壁は，施工深度が深く，対象土層が砂礫層であるため，鋼矢板などの土留め壁ではなく薬液注入工法により施工した(**図-5**)．

これにより，被圧地下水位をGL－28.72mまで低下させ，後退力を1,721kNまで低減させることで，後退力を支持する方法により，後退防止対策が可能となった．

4-3-3　後退防止対策

後退防止対策方法は，工費比較を行い，鋼製支保工により推進管を支持する方法とした．具体的には，**写真-4, 5**に示すように，支圧壁から反力をとった鋼製支保工を，ジャッキなどの推進設備の外側に配置した．そして，推進管に取付けたブラケット部材を鋼製支保工で受け止めることで後退を防止した．

5　計　測　計　画

大深度・高水圧下での組立式超大口径推進は施工実績がないため，確実な施工管理と安全管理を図るために計測を実施した．

5-1　計測内容および計測箇所

計測内容は，組立式超大口径推進管の挙動を詳細に把握するために**図-6，表-3**の内容とした．計測するリングは，掘進時の影響を受けやすいと考えられ，推進設備の支障とならない３リング目を主計測リングとし，掘進完了時に発進側立坑および到達側躯体による３次元的な影響が，もっとも軽微となる線路延長中心である７リング目を副計測リングとして，計測を行った．また，後退力を測定するために，後退防止鋼製支保工にひずみゲージを設置した．

表-3　計測内容

計測項目	計測目的	使用計器
断面方向コンクリートひずみ	・断面方向発生応力の挙動把握と設計値との比較照査 ・内側表面を計測	ひずみゲージ
推進方向コンクリートひずみ	・作用推進の挙動把握 ・内側表面を計測	ひずみゲージ
接合面の目開き	・接合面の目開き量の挙動把握	変位計
接合面のコッターひずみ	・接合部のコッターひずみ挙動把握 ・内側のコッターを計測	ひずみゲージ

5-2　計測期間

管体の計測は，発進側の地盤改良範囲を通過する際は，周辺からの土圧はほとんど作用しないため，主計測リングが発進側の地盤改良範囲を通過後から到達立坑に到着するまでを対象とする．なお，ディープウェル工法により地下水位を低下させているため，工事完了まで計測は実施する．

また，バッキング力の測定については，掘進中管体ごとに実施する．

5-3　計測頻度

自動計測　１回/時(１日24回)

手動計測　１回/50～100㎜ピッチ(推進施工時)

5-4　計測結果

本工事は施工中であるため，計測結果は現在精査中であるが，後退力は最大で1,582kN生じており，推定値よりも若干低いが非常に大きい値である．水圧は土圧と異なり，計測水位による圧力が直接作用するため，地下水位低下を行わない場合は，鋼材による支持では対応不可能であったことが確認された．

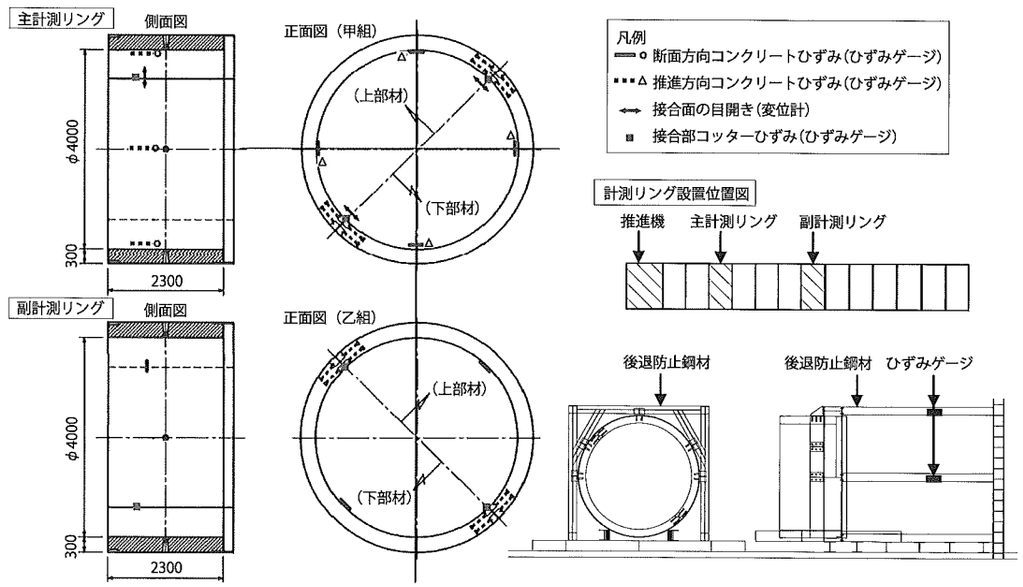


図-6　計測位置

6 ま と め

本工事は，平成24年11月に掘進を完了し，仕上げ工事を施工中である．施工中は，発進から到達まで問題も生じず，無事に予定どおり掘進を完了した．施工中は，採用した後退防止対策が有効に働き，管体にも異常は確認されなかった．

今後は，施工中のデータを分析し，後退力の実績値と推定値を比較することにより，本稿で採用した後退防止対策について検証を行い，結果については別途報告したいと考えている．

それにより，大深度・高水圧下での超大口径推進工の施工の確実性・安全性を確認し，今後の施工に寄与できれば幸いである．

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B５判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

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

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

土木情報 No.476 今月の主な入札結果

（12月10日～１月９日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
東北地整	R108花渕山２号T	ハザマ	1,922.7
北陸地整	栗ノ木道路栗ノ木川付替	皆川組	163.7
〃	能越道女子川函渠	石黒建設	201.5
中国地整	仁摩温泉津道路新湯里T	フジタ	785.48
四国地整	H24-25佐川歩道T	岩田地崎建設	453.6
九州地整	東九州道(清武～北郷)猪八重T北新設(２期)	前田建設工業	3,268
〃	〃　芳ノ元T新設(２期)	五洋建設	5,710
日本下水道事業団	八街市大池第三雨水幹線建設	前田・大日本JV	1,730
西日本高速道路	新名神高速道路竜王山T	大成建設	5,470
都・財務局	環２地下トンネル(仮称)仕上げその１(24一-環２虎ノ門)	日特・池田JV	525
神奈川県	(広幹504)H24道路改良公共(その３)県単(その31)(国道129号)	小島組	127.61
愛知県	岡崎線耐震化送水管布設(その１)	フジタ・徳倉・山本JV	750
〃	〃　(その２)	フジタ・徳倉・日京JV	789
滋賀県	琵琶湖流域下水道東北部湖東幹線平松工区管渠	秋村組	344
京都府	R178地方道路交付金((仮称)蒲入T)	金下・公成・宋徳JV	1,376.8
大阪府	寝屋川流域下水道中央(一)増補幹線(第４工区)下水管渠築造	ノバック	659.6
島根県	R375湯抱BP社会資本整備総合交付金(改良)湯抱T	今井・まるなかJV	668
さいたま市	谷田排水区下水道(南建-24-101)	永島建設工業	103.47
〃	芝川第８処理分区下水道(北建-24-15)	佐伯工務店	135.63
草加市	公雨管渠築造(古綾瀬川左岸第16排水区上根幹線)24-1	新日本・誠環JV	119
野田市	南部４号幹線管渠築造(その５)	エムテック	121.15
川崎市	(仮称)溝口駅南口地下駐輪場新築・(仮称)溝口駅南口地下駐輪場新築付帯	戸田・森本・山根JV	1,120
新潟市	東下37号姥ケ山第２排水区枝線16～43下水道	クラウン建設	123.3
岡崎市	下水道管渠築造	奥村・岡崎JV	1,070
太地町	山中２号線道路新設(トンネル)	熊谷組	770
岡山市	上道幹線(１工区)汚水管築造	前田・三幸JV	942.2
高知市	送水幹線二重化(２工区)管渠築造	西松・啓大・四国水道JV	2,072.68
熊本市	都計事業井芹川雨水９号幹線BP管築造	鉄建・光栄・飽南JV	716

Tunnel Wall

大八廻り　塩嶺トンネル　地球の宝石箱博物館

大鉄工業(株)　森　竹　　淳　・　国際航業(株)　大　島　洋　志

JR中央東線塩嶺トンネル(5,994m)は，路線発表から約20年，事業認定，収用裁決申請，和解といった幾多の苦難を経て昭和58(1983)年に開通しました．同トンネルは，諏訪湖の西岸岡谷から天竜川沿いに南下し，辰野から北上する，従来の大迂回路線(延長約28km，明治39年開通)を，複線化に際し，12kmの直行路線とした区間にあります(地図参照)．

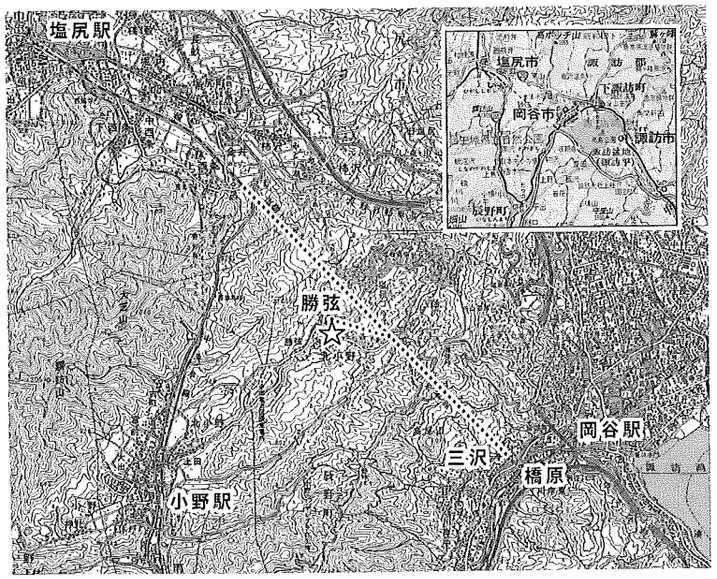
森竹は，3代目の岡谷工事区長(国鉄岐阜工事局/昭和51年3月～昭和54年4月)として，大島は鉄道技術研究所の主任研究員兼国鉄本社建設局課長補佐として，塩嶺トンネルの建設に深くかかわりました．トンネルが開通して約30年を機に，当該区間の工事を国鉄岐阜工事局が編纂した工事誌(1984.3)を参考にしつつ振り返ってみようと思います．

明治25年，諏訪から名古屋に至る鉄道建設が建議された際，経過地として①伊那線(諏訪・飯田・三河経由)，②清内路線(諏訪・飯田・中津川経由)，③西筑摩線(諏訪・塩尻・木曽福島経由)の3案が検討され，明治26年に③に決定されました．しかし，③の諏訪～塩尻間には，岡谷からトンネルで塩尻に直行する案と，岡谷から伊那谷北部の辰野を迂回して塩尻に至るという2案があったようです．このとき上記①，②の推進派であった伊藤大八代議士が，政治的に働きかけ，強引に伊那谷を経由する迂回案に決定させたと伝えられています．このような経緯で，地元は伊藤代議士への感謝の気持ちを込めて迂回路線のことを**大八廻り**と喚んだといいます．

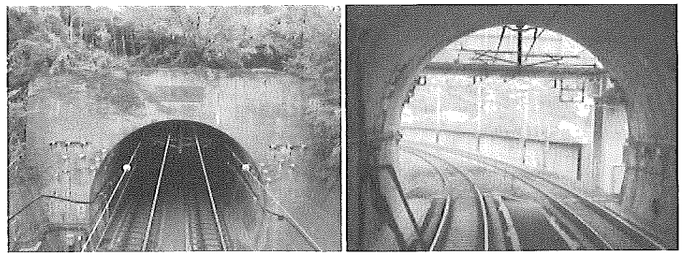
しかし，岡谷・塩尻直行案の場合，当時の技術では，過去に経験のない建設費が高くなる長大トンネルが必要になり，迂回案より不利であるという記録もあり，かつ，急勾配の長い上り下りに対する蒸気機関車の性能・運用上の問題などもあり，決して伊藤代議士のゴリ押し(**我田引鉄**)で決められたわけではないようです．

しかし，迂回線は輸送力の面で問題が多く，その打開のため，開通約20年後の大正15(1925)年に，当初の直行案建設が帝国議会に提出されましたが，激論の末否決されたという歴史もあるようです．

こういう激しい争いの歴史をもつ中央本線下諏訪・塩尻間の複線化に際し，①下諏訪案(下諏訪・塩尻直結)，②岡谷分岐案(岡谷・塩尻直結)，③併設案の3案に絞って検討を進めていた国鉄は，昭和41年3月に②案とすることを最終表明し，昭和41年11月に運輸大臣認可を受け，昭和43年から用地買収に入りました．



塩嶺トンネル(破線部/L=5,994m)付近地形図(縮図/国土地理院5万分1　諏訪・塩尻)
近くの短破線は勝弦斜坑位置．全体図で，大八廻り(迂回線)の全体像がわかる．塩嶺トンネル施工時には長野自動車道は未着工だった．☆は博物館．



左：塩嶺トンネル岡谷方坑口　右：岡谷方坑内から見た坑外風景

しかし，環境破壊や事業認定無効を理由とする沿線住民の反対(各々長野・東京裁判)などがあり，昭和47年4月には岡谷市が第三者による各路線案の調査を依頼するといったことがあるなど硬直状態が続きましたが，これら問題解決の交渉を平行させながら，塩尻方が昭和48年度末に，岡谷方が次年度末に工事着工となりました．

塩嶺トンネルは，塩尻方は本坑口から直接着手できましたが，岡谷方は坑口付近の理解が得られず，中央部の勝弦(かつつる)地区から作業用斜坑(L=618m)を利用した施工とならざるを得ませんでした(地図参照)．着工に至るまでの経緯や，大量の湧水に起因する渇水問題(水利用への影響)の処理などで，難工事トンネルとして全国的にトンネル仲間の話題になったものです．

森竹にとって塩嶺トンネルは筆舌に尽くしがたい苦楽を共にした自分の分身みたいなもので，35年以上も経った今なお当時の情景の数々が鮮明に想い出されます．山のようにある苦労話のほんの一部を以下に箇条書きで示します．

- 岡谷方坑口付近の交渉：天竜川両岸の橋原・三沢地区での語りきれぬ苦労と努力．最終的には決着できたが，地元説明会の逸話の数々(三沢地区では強制執行2軒が伴った)．
- 坑内湧水対策：勝弦斜坑や本坑掘削に際し，地盤強化グラウトを静水圧の約3倍の60kg/cm²で実施．対象掘削土量より多量の注入となった．
- 渇水対策：勝弦地区簡易水道水源，ゴルフ場浅井戸など広範囲の渇水問題発生．溜池を新・増設しそこへ坑内湧水を送水したり，深井戸を10本ほど設けて簡易水道として提供．
- 膨圧およびメタンガス対策：起点方に分布した泥岩層区間で300H鋼製支保工が破断！　盤膨れ1m！　相次ぐ縫い返し．下向き鉄筋打設で対応．また，ガス発生区間は，防爆構造に変更．十姉妹をカナリヤの代わりのガス検知に採用．
- その他：工期挽回目的の岡谷立坑も追加．

大島にとっても塩嶺トンネルは昭和50～57年の間，研究・技術支援業務の主対象となり(現地調査の際，ジープ転落で九死に一生を得るおまけ付き)，最終的にはこれを国鉄の汎用的な水文地質調査法として指針化するとか，自身の学位論文にまとめるなど，忘れられぬトンネルとなりました．

平成24年の夏，塩嶺トンネルの周辺を訪れたおり，斜坑基地があった付近に瀟洒な施設があるのに気づきました．ボーリングや注入で当工事にかかわった鉱研工業(株)所有の「**地球の宝石箱**」という名の博物館でした．同社が収集した世界の鉱物・岩石標本を①不思議な石の世界，②生きている地球，③38億年の生命の歴史，④地球からの贈り物，⑤美しい鉱物たち，といった興味をそそるキャッチフレーズで展示している個性溢れる施設でして，予想もしない発見だったこともあり，満喫・感動しつつ見学しました．当誌の読者にも，一見の価値ある博物館として見学をお勧めいたします．

トンネルジャーナル

栈トンネルが貫通

国土交通省中部地整飯田国道事務所が整備する，国道19号栈トンネルが貫通し，12月３日に貫通式典が開かれた．式典には地元や工事の関係者約50名が参加し，トンネルの貫通を祝い，今後の工事の安全を祈願した．

同トンネルは，長野県木曽郡上松町大字上松に位置する延長951mの２車線の道路トンネル．主に花崗岩からなる地山を，2010年７月から掘削に着手，発破NATMにより掘進した．途中，関西電力の導水路トンネルの掘削に用いたずり搬出坑跡と交差したため，約400L/分の湧水が生じたが，排水のための専用管を設置して対処した．平均月進は約49m，最大月進は101m．

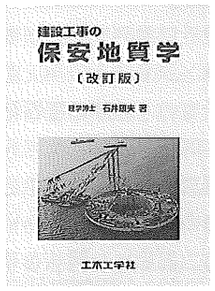
現道は木曽川の左岸を走り，かつて日本三大奇橋といわれた「木曽の栈」があった所で，古くから交通の難所として知られている．1997年11月25日には直径３m程度の岩塊が落石防止柵を突き破って車道上に落下し，２日間の通行止めを余儀なくされた．



写真提供：飯田国道事務所

このことなどから，同区間での落石の危険性はきわめて高く，早期に抜本的な対策の必要と判断されたことを受け，山間部を通るバイパスを対岸の木曽川右岸に整備する延長2.7km区間が事業化された．

1999年度に事業化され，2009年11月には終点側の0.7km区間が開通した．2013年度の全線開通を予定している．



ユニークな手法を駆使!!　建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

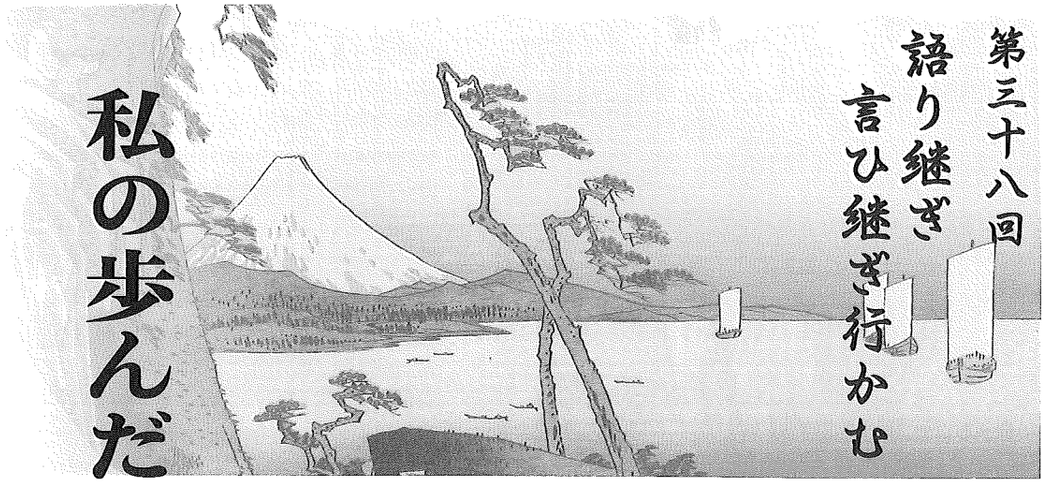
建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士　石井康夫 著

Ａ５判　上製本　475頁　価格6,300円　〒340円

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

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



第三十八回
語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

私の歩んだトンネル史

(一元)五洋建設(株)
岡本祥太郎

はじめに

私がトンネル工事に興味を持ったのは，昭和43年に封切られた『黒部の太陽』を見たときからと短絡的なものでした．しかし，その後『黒部の太陽』の著者である木本正次氏の作品である『香港の水』を，そして黒部のトンネルに関連した吉村昭氏著作の『高熱隧道』と同氏著作の『闇を裂く道』と読み続けることで，土木工事のなかでもトンネル工事が憧れとなりました．これらすべてのノンフィクションに共通するのは，仕事に熱意を持ち，使命感を持って完遂させるといった，男のロマンだと感じました．

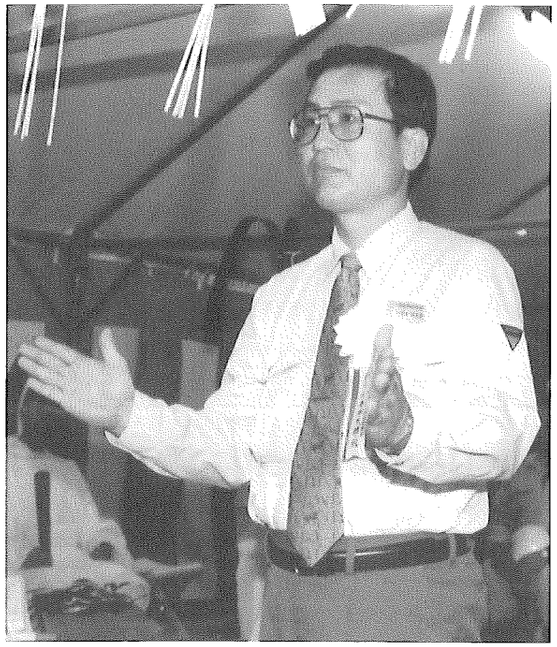
このような気持ちのなかで，昭和46年に，五洋建設に入社しました．最初の赴任先は高速道路建設現場で，半年後，初めてのトンネル工事現場である栃木県の川治ダム仮排水トンネル工事に配属となりました．運命的と言えるのか，その後は，海上工事が多い五洋建設のなかで，退職までのほとんどを，陸上工事であるトンネル畑で歩むこととなりました．

今回，「語り継ぎ 言い継ぎ行かむ」への原稿依頼を受けたことを機会に，これまでの私の経験のなかで印象深い工事のいくつかを取上げ，綴らせていただきます．

上越新幹線　浦佐北トンネル
L＝2,110m

川治ダム仮排水トンネルを初めて経験し，トンネル屋として駆けだした私が次に配属となった新潟県の現場です．当現場は，矢板工法による底設導坑先進上半掘削工法で，機械掘削方式で施工しました．ずり搬出はレール方式でした．切羽が導坑，上半；大背，土平(側壁)と数多く動いており，作業人員も職員を含めれば120～130人ほどいたでしょうか．これぞ「トンネルの世界」と感激したものでした．

この現場は，当時としては最先端の仮設備や機械類が投入されて



境トンネル祈願祭での筆者

著者略歴

昭和46年４月	五洋建設(株)入社
昭和46年４月	東北縦貫自動車道館林工事
昭和46年10月	川治ダム仮排水トンネル工事
昭和48年９月	上越新幹線浦佐北トンネル工事
昭和49年１月	小沼崎トンネル工事
昭和51年５月	津軽海峡線青函トンネル(白符)工区工事
昭和54年２月	北陸自動車道柿崎トンネル工事
昭和56年10月	道央自動車道虎杖浜トンネル工事
昭和58年５月	青ヶ島道路トンネル工事
昭和59年11月	猪子トンネル工事
昭和62年10月	下里瀬トンネル工事
平成元年10月	北陸自動車道名立トンネルⅡ期線工事
平成３年11月	国道７号二ツ井西(外面)トンネル工事
平成７年４月	北陸自動車道境トンネルⅡ期線工事
平成11年２月	第二東名高速道路清水第一トンネル工事
平成20年２月	熊野江第二トンネル新設工事
平成22年９月	五洋建設(株)退職
平成23年１月	ニシオティーアンドエム(株)アドバイザー現在に至る

いました．仮設備として受電設備，動力・照明配線設備，給気設備，給水設備，バッテリーロコ用の充電設備，Y型やN型のポイントを有する軌条設備，ずりビンへの鉱車転倒設備，荷役設備，換気設備（送排気方式：送気管φ800および排気管φ700），沈殿槽による濁水処理設備，生コンを軌条のアジテーターカーに移すための構台などがありました．また坑内で使用する機器類として，掘削用のロードヘッダやバックホウ，ずり積み用のサイドダンプドーザやバックホウ，ずり搬出用のバッテリーロコ（10tおよび12t）やディーゼルロコと6.0m³の鉱車，生コン打設用の移動式ポンプ車などが配置されていました．

これらの仮設備や機械類を見たり取り扱うことで，トンネルの施工計画を作成するうえでの基本的な知識を得ることができたと思います．

とくに，機電屋さんから聞いて今でも記憶にあるのは，坑内に３本平行に設置される動力・照明配線であるⅣ線の端端を結べば200Vで，真ん中と端を結べば100Vであるということです．とにかく，まだ習うことが多くあり，わからないことは聞くことが一番と心得ていました．知らないことは聞くか調べる．今でも同じだと思います．

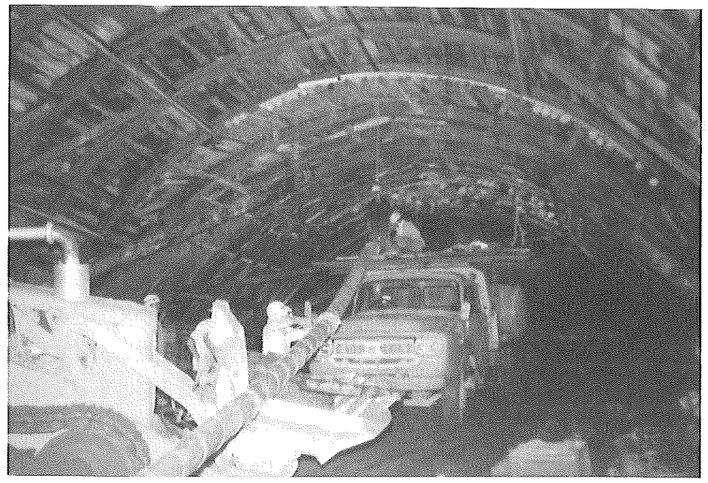
地質は砂礫層と泥岩の互層で，湧水量も多く，上半盤は泥濘化状態でした．上半切羽では送り矢板を主体としていましたが，一部にピックとツルハシおよび掛け矢を用いて行う縫地区間もありました．

このころは坑夫とともに支保工を建て込んだり，ピックを扱ったりと，坑夫補みたいなもので掘削作業を体感することにより作業の内容を理解することができました．

小沼崎トンネル　L＝310m

次は福島県の国道トンネルに赴任しました．施工は発破掘削による上半先進工法で，ずり出しは10tダンプトラックによるタイヤ方式でした．地質は閃緑岩主体で，掘削中にキラキラ光る金のような小粒の鉱物を見つけたのですが，よくよく調べると，知らない人は金と間違えやすい「愚者の金」の一つである黄銅鉱でした．地元の人からも肥料ぐらいにしかならないと一笑されたものです．

閃緑岩自体は硬質なのですが，切羽自体の自立性は悪く，送り矢板と縫地の連続でした．ふだんから矢尻の折れる音や矢板の裏を落下する岩片の音（ネズミが走ると言っていました）があったのですが，いつもと違った感じを，切羽から約50m手前で受けたので，一時様子を見ていたところ，目の前で支保工が飴のように変形していき，大崩落が生じました．第六感というか，慎重さが幸いしたもので，一人のけが人も出なかったのは不幸中の幸いでした．



地山崩落箇所の縫い返し状況（小沼崎トンネル）

崩落は高さ10mに及ぶ空洞で，変形していない前後の支保工をH形鋼で溶接して補強したのち，タイコ落としや松丸太そして矢板などを井桁に組んで，天端部などの地山に当たりをつけ，その後モルタルを充填して対処しました．とにかく，何が起こるかわからない怖さを実感した現場でした．

津軽海峡線青函トンネル（白符）L＝890m

学生時代に，竜飛側と吉岡側両方の試験坑（斜坑）にそれぞれ１週間ほど研修に行ったことがあったので，本坑の実施工に赴任したときには感無量でした．工事は地下100mほどまで斜坑で下り，水平坑を経て左右に分かれて本坑を施工するものです．当社の施工区間は発破掘削方式による上半先進工法でした．ここで初めてガントリー式の６連油圧ジャンボを坑内で組立てたのですが，組立て終わったその雄姿には，感激しました．また，JVの奥村組さんは，施工延長が２km以上あることから，ロードヘッダ搭載の全断面ガントリージャンボを使用していました．掘削機械の大きさにさらに驚いたものです．

掘削中の出来事としては，穿孔し終わった右サイド側の数孔から圧力を伴った湧水が突如発生したことです．とにかくアッと言う間に腰の高さまで上半切羽が埋没しました．湧水を舐めてみると，塩気がなかったことから，海水ではないとわかり，安堵したものです．その後，湧水量は日ごとに減衰し，支保への影響もありませんでした．

また，既に到達していた海底部側との貫通では，貫通式当日に実貫通とすることが私に課せられました．貫通断面は上半断面では規模が大きすぎるので，導坑断面とし，掘削延長５mで貫通させる計画にしました．導坑掘削は，旭化成の火薬屋さんと，穿孔数，穿孔位置そして火薬量を１発破ごとに打ち合わせながら行いました．１発破ごとに発破の後ガスが急激に消滅し，貫通してしまう不安でいっぱいでしたが，地山の残りを約80cmとしたところで貫通式を迎えることとなりました．飛散防止のため，外周孔を１本おきにバカ孔（貫通孔）とした貫通発破は，関係者やNHKのカメラが見守るなか，無事終了し，安堵したものです．

青ヶ島道路トンネル　L＝505m

青ヶ島は伊豆七島の一つである八丈島の南方約68kmに位置し，NHKで放送された『ひょっこりひょうたん島』に似た，美しい二重カルデラ地形の島です．青ヶ島村は日本でいちばん小さい村（当時）であり，当時の交通手段は，月に一度，東京の竹芝桟橋から就航している貨客船か，八丈島の八重根漁港から週に２度就航している青ヶ島丸の船便だけでした．青ヶ島への上陸は三宝港からですが，この港から村落までの道は，つづら折りの急峻な道で，車に荷物を積んで上る際には，後ろにひっくり返ると感じるほどのきつい勾配で，下る際にはブレーキが効かなくなったら，断崖から転落するのではないかと思われる恐怖感のあ



青ヶ島道路トンネル出口側を三宝港より望む

る道でした．

工事は，この三宝港への道の急峻さを緩和するため，カルデラ内から三宝港へ続く道路の一部となるトンネルを，発破掘削方式による全断面掘削NATM工法で築造するものです．トンネル掘削における最大の課題は資機材の輸送でした．なにしろ島には工事に分けてもらえるだけの電気も水も油もありませんでした．定期船には島民のための生活物資が積まれているため，小物の資材しか運搬できません．そのため貨物船をチャーターし，分解した2ブーム空圧ジャンボ，2tダンプトラック，ターンテーブル，発電機，コンプレッサーといった機器類，そして工事に必要な量の軽油やガソリン(ドラム缶入り)，急結材などの資材を運搬しました．その後は定期船を使用して，早め早めの手配で資材搬入を行ったのですが，海上輸送は天候に影響を受けるので，計画どおりにならないことが，たびたび生じました．また，火薬だけは火薬庫の貯蔵量が決まっている関係から，漁船をチャーターしての小運搬としました．なお，工事用水はL=15m，W=4m，H=2mの漏水防止のシートを張った貯水槽を地中に設置し，雨水を溜めて使用しました．晴天が続くと雨乞いをしたくなったものです．

坑口があるカルデラ内では，いたるところで蒸気が立ち昇っており，その熱は茹でタマゴができるほどで，地熱サウナもあるほどでした．坑口脇でも蒸気が立ち昇っており，これは黒部の高熱隧道の再来かと危惧したのですが，幸いにも坑内での蒸気の発生はありませんでした．

地質はスコリア火山礫層で，湧水もなく，掘削後の地山の自立性には少しの問題もなかったのですが，吹付けコンクリートを施工すると，その重さに耐えられず吹付けの一部が地山とともに剝落する現象が発生しました．両坑口部分を除いた区間では，吹付けコンクリートが最終仕上げとなる，いわゆるシングルシェル構造でしたから，これは大変な問題でした．補強用に溶接金網をと考えても，離島ですからすぐには手に入りません．とにかくあるもので対応するしかなく，地元の方が持っていた，いろんな金網を譲っていただき，それを地山に取り付けて剝落防止としました．とにかく，どのような問題も対処するには，すぐに道具や材料が手に入らないものですから，資機材調達には，知恵をしぼっての施工でした．

猪子トンネル　L=448m

このトンネルは私が矢板工法で施工した最後のトンネル現場です．発破掘削による上半先進工法で，ずり出しはタイヤ方式です．地質は粘板岩で，光沢のある岩面であるアブラメが多く見られました．

工事は上半掘削当初から支保工の沈下や矢尻の折れ曲がりが発生したため，根固めコンクリートや一次巻きコンクリートで対処していたのですが，2度にわたって上半支保工が押し出されました．その区間は縫返しで対処できたのですが，問題となったのは脆弱な地山に対する処置でした．地中変位測定や内空変位測定などの計測結果より，上半掘削時のゆるみ領域は支保工背面3～4mに及んでいることが推定できました．

上半先進矢板工法におけるアーチ覆工は絶対的なシェルターの役割を果たすものであり，これを上手に支えていくのが逆巻き工法の手順と言えます．上半掘削時の大きなゆるみはこの手順に合わない

もので，覆工完了以降の下半部掘削と側壁コンクリート打設に一考を促すものでした．

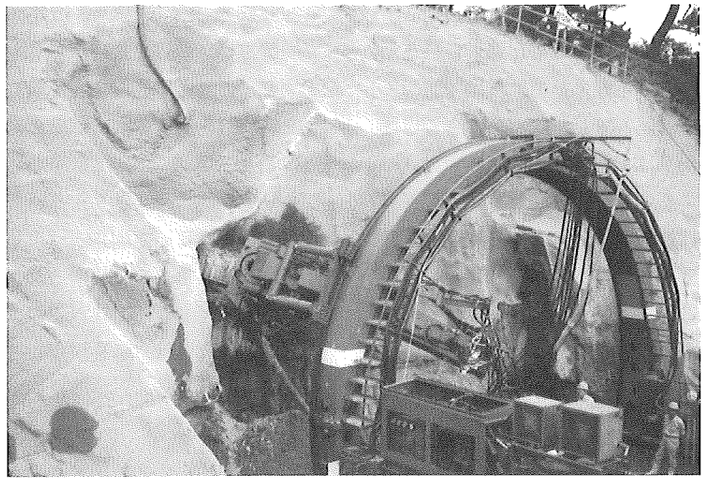
本社の技術部門を含めて検討した結果，下半施工時にアーチ覆工背面のゆるみ領域の増大を防ぐ方法として，アーチ覆工を，脆弱な地山に代わる側壁コンクリートで支持していく片側先進工法(左右交互尺取虫工法)とし，実施することとしました．側壁地山は黒色粘板岩層が主体で，たたくとボコボコとした音を発し，いつ剝落が起きてもおかしくない状況でした．実際，型枠をセットした段階で何回か崩落の憂き目に遭ったものです．

脆弱な地山なので掘削方式は機械掘削方式とし，下半半面の掘削から側壁コンクリート打設までを1日で完了させるべく，側壁型枠の長さは3.5mとしました．当然アーチ部打ち継ぎ目と側壁打ち継ぎ目は1.5mないしは2.0mずらすこととし，先行側壁部と後続側壁部の離れは，コンクリートの養生時間を考慮して17.5m(最低5日の養生日)としました．また，インバートは下半が100m進むごとに追伸させることで，早期のトンネル閉合を図りました．なんとか無事に下半施工を完了したときには，本当に一息つく思いでした．

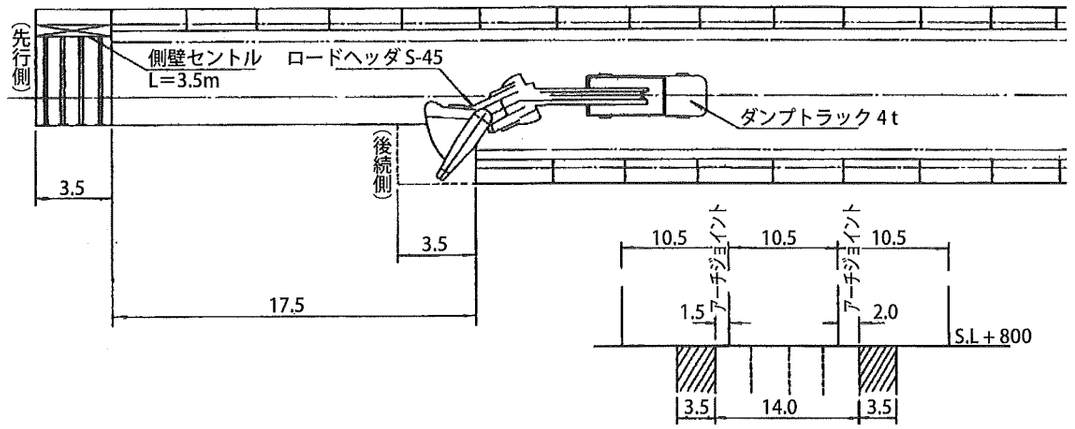
北陸自動車道　名立トンネル　L=1,386m

機械掘削方式(ツインヘッダ)によるNATMショートベンチ工法で施工しました．地質はシルト岩と砂岩の互層です．Ⅱ期線工事であることからⅠ期線の施工実績を参照できたため，大きなトラブルもなく順調な施工でした．Ⅰ期線と異なっていた点は，坑内湧水が，事前に絞られていたためか，思った以上に少なかったことです．

この現場では新工法の実験をかねて，発注者と打合せのうえ，New PLS工法の実証試験を行うこととなりました．当工法は掘削面外周をチェンソーによって掘削すると同時に，急硬性コンクリートを充填することで，一次シェルを



New PLS工法の実証施工状況(名立トンネル)



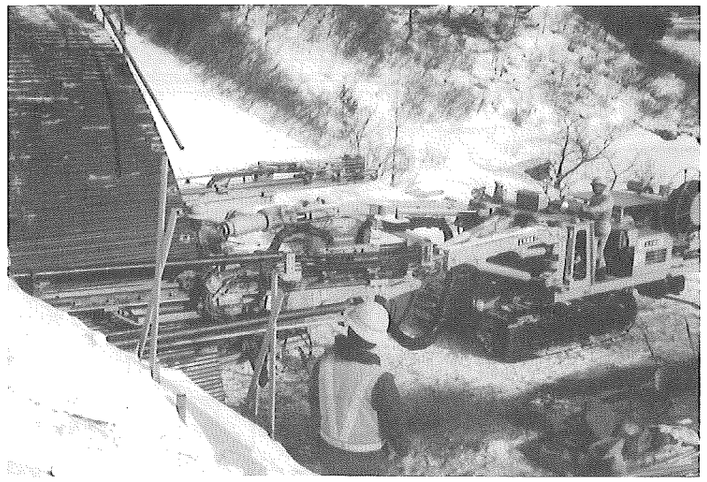
下半施工順序図(猪子トンネル)

地山に先行構築するプレライニング工法です．未固結地山に対応する新工法技術の発展に携われたことで，非常に有意義な現場でした．

二ツ井西トンネル　L＝630m

発破掘削方式によるNATM上半先進ショートベンチ工法で施工した秋田県の国道トンネルです．現場に乗り込んで最初に問題点と感じたことは，坑口部の地すべり地形とその上にあるスキー場でした．工程から考えると冬季に坑口部を施工することから，発破振動による雪崩と地すべりが考えられたため，対応策として，日本で初めてとなるAGF(当現場では注入式長尺フォアパイプと呼んでいた)による先受け工を発注者に提案し，採用されました．施工時期は真冬で，寒さのため作業ロスも多く，施工手順も試行錯誤の連続でしたが，大きな変位もなく，どうにか坑口部を突破することができました．

この注入式長尺フォアパイプ工の施工経緯は，本誌(Vol.23，No.9，pp.7-13)に「脆弱な流れ盤を長尺フォアパイプで施工」の題名で投稿し，掲載されました．現在ではAGF工の名称で，先受け工として当初設計に取り入れられるまでとなり，数百の施工実績を持っています．補助工法の進歩に少しでも貢献できたことを今でも誇りに思っています．



AGF工施工状況(二ツ井西トンネル)

北陸自動車道　境トンネル　L＝2,303m

2,000mを超える長いトンネルに配属され，緊張した現場でした．トンネルの地質は流紋岩質凝灰岩や安山岩質凝灰岩で，新潟側の出口付近では，Ⅰ期線の実績から1.0t/分の湧水が想定されていました．掘削は発破掘削方式によるNATMマイクロベンチ掘削で，ずり出しはタイヤ方式です．この工事で留意した点は，延長が長いことから，①いかに前方地山を想定するか，②工期短縮のため，いかに掘削サイクルを短縮するか，③いかに坑内環境を改善するかの3点でした．

前方地山探査方法には，先進ボーリングあるいは坑内弾性波などの方法がありますが，当現場では坑内弾性波を用いたTSP探査を採用しました．この探査方法は約100mまでの前方探査が可能で，少なくとも，いま現在，目の前にしている地山に比べて硬いか軟らかいかがわかり，さらに断層などがあることを認識させるものです．当現場では，火薬使用量と比較したところ，おおむね地山の硬軟予想と火薬使用量は同傾向を示したことから，十分に役に立つ探査方法だったと思います．

掘削サイクルの短縮を図るため，ずり出し時における切羽の開放を，いかに早くするかがポイントと考え，積載量20tのベッセルを採用しました．これは，ずり積載用の函を，切羽から，切羽の邪魔にならない所までの短距離をピストン輸送し，切羽のずり処理完了後の掘削作業に影響しない時間に，坑内に仮置きしていた函をずり捨て場まで運ぶ工法で，仮置き用の函を増加させることでトンネルの延長にかかわらず，ずり出しに必要な時間が一定化されます．結果としては期待どおりサイクル時間を縮めることができました．

もう一つの坑内環境の改善に関しては，換気設備を送排気方式としたことです．坑内の切羽近くに送気用ファンと排気用ファンを搭載した移動式ガントリーを設置し，切羽から最短50m，最長100mの位置で使用しました．送排気管とも扱いやすいビニール風管の使用が可能であり，全線にわたって坑内空気の汚れはなく，視界も良好で，セントル班や後ろ向き班に大変喜ばれました．

工事期間は4年と長かったのですが，工期を約3か月短縮することができ，また作業環境も非常に良好で満足のできる現場でした．

新東名高速道路　小河内トンネル　L＝1,089m（上り線）　L＝1,599m（下り線）

当時最高の技術水準が要求される工事であるとの認識で赴任した現場です．地質は砂岩，泥岩そして礫岩の互層で，断層も確認されていました．工事はTBMを先進導坑とした発破掘削・NATM上半先進ショートベンチ工法で施工しました．またTBMでのずり出しはレール方式で，本坑掘削においてはタイヤ方式です．

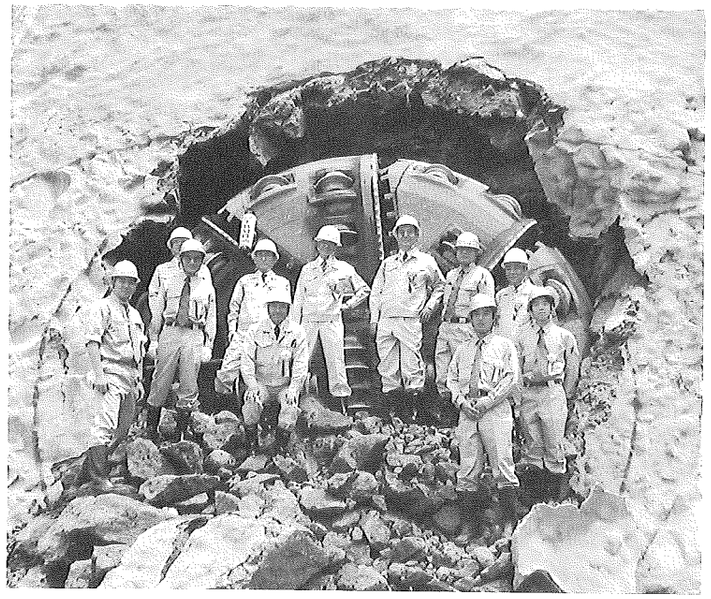
TBMは全く初めての経験であったため，経験者である先輩技術者に知恵を出していただきました．TBMは掘削外径5.0mで，断崖状態である到達側坑口で到達用構台がTBM到達に間に合わないことから地中でのUターンが計画されていました．このため，TBM施工の留意点としては不良地山対策(断層部)と地中でのUターン対策が考えられました．

TBMは不良地山に遭遇すると，地山から拘束圧を受けて前進することができなくなってしまいます．そうなると，TBMの外周地山を掘削して助け出すか，あるいは諦めるかしかありません．幸いにも当現場では拘束圧を受けるまでの地山には遭遇しませんでしたが，崩落著しい不良地山には遭遇しました．対策として，TBMテールのルーフの内側で特殊加工した支保工を，50cmピッチで組立て，本来は吹付けコンクリートでの支保を矢板に代えて施工しました．

地中でのUターン実績は国内で1度しかなく，前例の報告書を参考に，経験者などの意見をもとに検討・実施し，無事成功に至りました．無事施工できた理由としては，水抜きを兼ねた先行ボーリングを行い，地山がもっとも堅硬と思われる位置をUターン箇所としたこと，そして，掘削外径はオーバーカット量を加味して5.13mとし，TBMの前胴，中胴，後胴それぞれの折れ角を計算どおりの6度に保ち，1ストローク長を前例より短い30cmとしたことによると考えます．

本坑で留意した点は，TBM導坑を湧水処理や地質確認以外に，いかに有効利用するかという点と，下半盤から深いところでは3.0mほどとなるインバート掘削をどのように掘削するかでした．TBM導坑の有効利用として，出口側に4,000m³/hの集塵機を設置し，導坑を換気管とすることで，坑内に発生する汚れた空気を強制的に吸引することとしました．その結果，坑内は風管がないため広く明るく，そして坑内の空気は常に新鮮さが保たれることとなりました．

また，インバート掘削は下半掘削と同時に行うこととし，下半盤からクローラドリルで約6m穿孔して盤打ち発破を実施しました．ちなみに火薬はアンホ爆薬としました．下半掘削およびインバート掘削の2工程を1工程で行おうという試みも，インバート部の根切



小河内(清水第一)トンネルのTBM貫通(後列左から5人目が筆者)

りが，地山の特性から発破だけでは掘削が不十分で，想定していた以上に手間がかかり，残念な結果でした．それでも，坑夫さんにとっては，下半掘削やインバート掘削が少しは楽になったようでした．

その後，熊野江第二トンネルの施工を最後に退職しました．思えば多くの不良地山に遭遇し，悪戦苦闘したことばかりを思い出します．

おわりに

とりとめもなく工事概要を記述しただけになってしまいましたが，私が工事を始めるにあたっては，いつもその工事特有の条件を考え，留意点や目標を持つことを第一としました．そしてその留意点や目標を達成するため，仮設備にしても配置機械にしても最良・最適のものを使いやすく配置すること，そして新技術に興味を持つことに努めました．

また，実際に作業する作業員の方々が気持ち良く作業できる坑内環境の整備は，出来高は彼らに上げてもらうものと考えていましたので，必ず留意点に挙げるようにしました．これら2つの事項が私の現場に対する方針であり，トンネルに携わる皆様へのメッセージでもあります．

また，今までの経験から，現場運営に必要なことは，人間の持つ五感を常に働かせることと私は考えています．すなわち視覚，聴覚，嗅覚，味覚そして触覚です．なかでも視覚と聴覚が重要です．視覚である見ることは，周りを注意深く見ることで，作業員の健康状態や現場の支保工や覆工の通りを確認することができ，安全面も含め，ささいな現象を捉えることで，早めの手が打てることにつながります．聴覚である聴くことは，現場の醸し出す音，例えば重機のエンジン音あるいは支保工やロックボルトが発する音を聴き取ることで，何らかの切羽変調を感じることができます．

さらに第六感を働かせることも重要です．よく言えば「インスピレーション」です．感じた発想の実現性を追求することが，技術の進歩や発展につながることと考えられます．また悪く言えば「虫の知らせ」で，臆病になることで異変を避ける可能性もあります．

もう1つは，先達からの教えである「主任は1か月先の，所長は3か月先の現場をイメージして動け！」という言葉を守るよう努力しました．

最後になりますが，本稿が皆様の一助になれば幸いです．

解説

首都高速道路のトンネル構造50年の歩み

首都高速道路(株)技術部技術推進課課長代理 吉川直志

1 はじめに

平成24年12月20日，首都高速道路が東京に初めて開通してから満50年を迎えた．

首都高速道路1号線のうち京橋～芝浦間4.5kmが昭和37(1962)年12月20日に開通し，その後，首都高速道路は都心環状線と放射線の整備，神奈川線，湾岸線，埼玉線，中央環状線，川崎線の建設が進み，現在では東京都，神奈川県，千葉県，埼玉県にまたがる総延長301.3kmのネットワークを構成している．

首都高速道路は，戦後の高度経済成長を背景に，都心部の交通渋滞緩和のために計画され，都市内でのさまざまな問題などを克服しながら建設された道路である．本稿は，首都高速道路で建設された代表的なトンネル構造について，工事記録などをもとに半世紀を振返り報告するものである．

2 公団設立と事業の推進

昭和30年代は，産業発展に伴い，東京都心部の交通は増加し，将来の首都圏が交通混雑になることが予想されていた．そのような状況のなか，都市高速道路建設に関する計画が進展を見せ，昭和34年6月に首都高速道路公団((現)首都高速道路(株))が設立，10月には都心部を囲む環状線と首都高速1号線から8号線に至る全線を昭和40年度末までに完了させることを目途とする基本計画の指示を受け，建設の第一歩を踏み出している．

昭和34年5月には，昭和39年10月に東京でオリンピックが開催されることが決定し，オリンピック開催施設と羽田空港を結ぶ路線約32kmがオリンピック関連道路として優先的に整備された．当時の都市部では，大小の運河，丘陵，公園，街路などが混在して変化に富む一方，社会構造においてはビル建築物，高密度住宅，主要幹線道路中央部を走る都電，高架および地下鉄道や各種地下埋設物をはじめとする公共施設が発達していた．これらの施設が幾重に錯綜する悪条件下に構築される都市高速道路は，平面的にも立体的にも制約を受けていた．そのため建設では，主要幹線道路や古い水路など，公共施設を利用しながら進められ，高架，平面または盛土，掘割り，地下などの構造形式が採用された．構造形式の割合では，街路上，河川上，買収地上に高速道路を構築する場合，高架下を有効に利用できる高架構造が大半を占めている．トンネル構造は建設費が高く，換気や照明などの維持管理費もかかるため，地形上やむを得ない場合や路面上空を街路などに利用する場合に採用され，昭和40年までに完成したトンネルは，9か所，延長約4.3kmであった．

完成したトンネルの施工方法を見てみると羽田

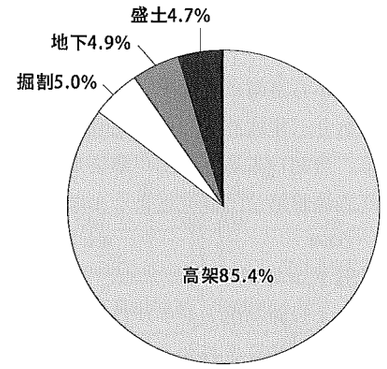


図-1 構造形式採用割合(%)(昭和40年)

表-1　昭和40年までに開通したトンネル

路線名	項目				備考
	名称	供用年月	延長(m)	主な工法	
都心環状線	汐留	S37.12	286	開削	内外一体
	霞が関	S39. 9	781	開削	
	北の丸	S39. 8	241	開削	内外一体
	千代田	S39. 8	1,900	開削	
1号羽田線	羽田	S39. 8	56	沈埋	上下一体
			50	ケーソン	
			197	開削	
3号渋谷線	青山	S39.10	103	開削	上下一体
4号新宿線	赤坂	S39. 8	528	開削	上下一体
	信濃町	S39. 8	108	開削	上下一体
	代々木	S39. 8	96	開削	出入口一体
合計	9か所		4,346m		

トンネルの沈埋工法を除き，開削工法で施工されている．昭和40年までの構造形式の採用割合を**図-1**，昭和40年までに開通したトンネルを**表-1**に示す．

2-1　汐留トンネル

汐留トンネルは，首都高速1号線の京橋～芝浦にあり，首都高速道路開通当初からある，もっとも古いトンネルである．

汐留～芝浦は高架構造で建設が行われ，京橋～汐留は，築地川，楓川の河川を干し(**写真-1**)，代わりに下水渠を作り，河床を高速道路とした半地下構造で建設が行われた．高架と半地下を結ぶ箇所には浜離宮恩賜庭園があったため，高速道路の線形は浜離宮恩賜庭園を避けるように河川部から離れ，街路交差部の下を開削構造で建設された．この河川部から高架に至るトンネル区間が汐留トンネルであり，平成37年12月に完成している．汐留付近は，当初日本道路公団が事業を行っていたが，首都高速道路公団の発足とともに事業も引継がれている．

2-2　羽田トンネル

首都高速1号線羽田トンネルは羽田空港に隣接する海老取川に建設されたトンネルである．

空港に近接する海老取川河口部では空港航路の

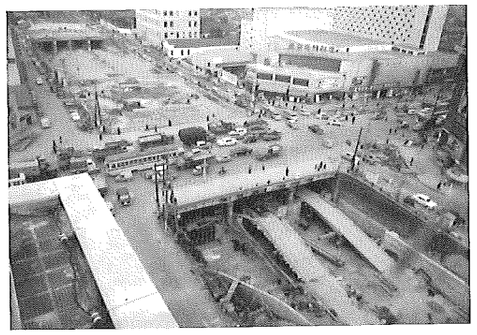


写真-1　築地川での施工(東銀座万年橋付近)



写真-2　羽田トンネル沈埋函施工の様子

高度制限が低く，高架橋の建設が困難なことから地下構造での建設が検討された．海老取川は漁船など航行する船舶が多く，航路に影響を与えない工法で施工する必要があったため，当時国内の道路トンネルとしては初めてとなる沈埋函工法で施工された(**写真-2**)．トンネルの延長は300m，沈埋函部は56mで鋼重737t，底版および保護コンクリートを含めると4,500tの鋼函が製作された．

施工にあたっては，工期をもっとも短縮できる方法として沈埋函を挟み両側にケーソントンネルを橋台のように配置し，陸上側のトンネル部は締切りにより施工された．

函体の沈設は，クレーン船を併用して行われ，函内に注水することによりケーソンの台座に設置された．継手部はネオプレーンゴムやスポンジゴムなどが用いられ，水圧を利用して止水された．躯体外面は海中に没することから電気防食法を用いて保護された．

2-3　千代田トンネル

千代田トンネルは，都心環状線と高速4号新宿線の分岐部に建設されたトンネルである．

千代田トンネルを形成する三宅坂インターチェンジはオリンピック関連工事として昭和39年8月に完成した，当時としては世界で唯一の地下インターチェンジであった．

本インターチェンジは3方向の立体交差のインターチェンジであり，渡り線の一部が途中で高架構造や半地下構造になる地下構造で，その延長は半地下部0.2km，高架部1.1kmに対しトンネル部が3.8kmとなっている(**図-2**)．

トンネル部は分合流部では車道の脇にダクトを有する縦2連構造，渡り線部は1つの車道の上にダクトを有する構造のトンネルであり，一部区間はトンネル躯体の上に高架構造が載っている．

分合流を含む比較的長いトンネルであることから3か所の換気所と6か所の小換気施設が設置された．

当時の首都高速道路としては最長のトンネル工事で，昭和39年8月に完成している(**写真-3**)．

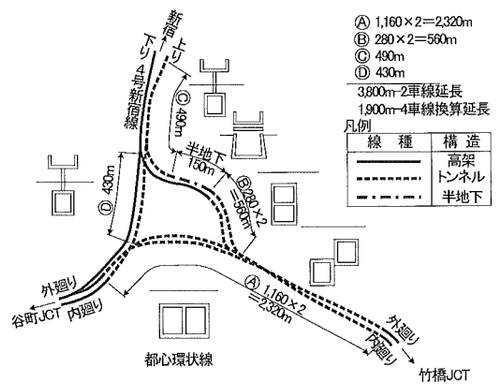


図-2　千代田トンネル概要図

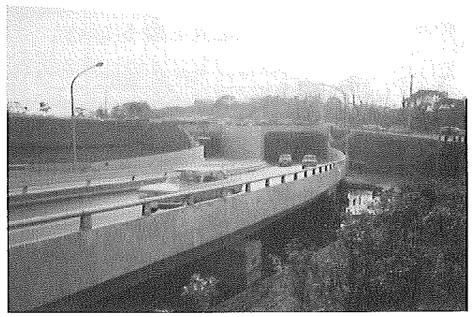


写真-3　開通当時の千代田トンネル坑口(千鳥ヶ淵)

3　事業の拡大

昭和40年代以降は，首都東京から神奈川，埼玉，千葉など，主要高速道路との接続に向け，広域的な整備へと移り，トンネル延長も増えてきている．開削工法が主流ではあるが，東京港トンネルのように，沈埋工法も一部で行われた．昭和40，50年代に開通したトンネルを**表-2**に示す．

3-1　八重洲トンネル

高速八重洲線に建設された八重洲トンネルは，

表-2　昭和40，50年代に開通したトンネル

路線名	項目				備考
	名称	供用年月	延長(m)	主な工法	
都心環状線	新富	S44.12	209	開削	オフランプ
	飯倉	S42. 7	109	開削	外回り
八重洲線	八重洲	S48. 2	1,400	開削	
湾岸線(東京)	東京港	S51. 8	1,325	沈埋	
東京地区計	4か所		3,043m		
1号横羽線	東横浜	S53. 3	98	開削	上下一体
	桜木町	S53. 3	330	開削	上下一体
	花園	S53. 3	205	開削	上下一体
	花園橋	S59. 2	599	開削	
2号三ツ沢線	三ツ沢	S53. 3	452	開削	上下一体
	南軽井沢	S53. 3	133	開削	
神奈川地区計	6か所		1,817m		
合計	10か所		4,860m		

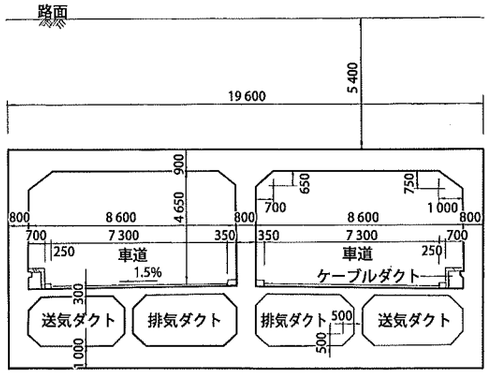


図-3　八重洲トンネル断面図

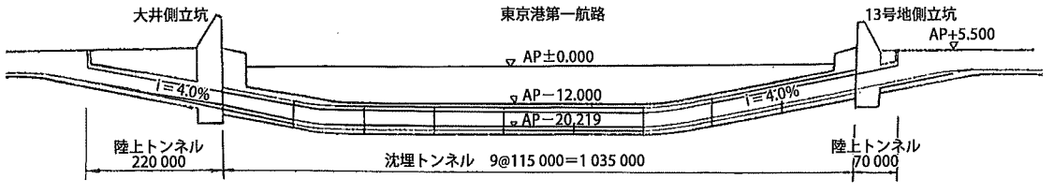


図-4 東京港トンネル側面図

都心環状線から分岐し，東京駅八重洲口広場の地下を通過するトンネルで，東京駅とその周辺に出入りする交通の起終点となる部分であった．トンネルは片側2車線幅員7.3m，往復4車線でのトンネルで，上下線は中壁で分離され，車道下に換気ダクトを有する延長約1.4mのトンネルである(図-3)．

当時，八重洲口の前後330mの区間を八重洲駐車場および店舗の施工が行われており，トンネルがこの中を通過するため，駐車場と一体構造として構築され，駐車場には側道を介して連結された．

新常盤橋付近の国鉄((現)JR東日本)高架橋との交差部では，高架橋をトンネル施工のために架け替え，八重洲トンネル下を総武線のシールドが通過する箇所で躯体の構築が行われ，昭和48年2月に八重洲トンネルは完成している．

3-2 東京港トンネル

高速湾岸線東京港トンネルは，東京湾環状道路の一部である高速湾岸線(往復分離6車線)のうち，大井と臨海副都心お台場間にある東京港第一航路付近を横断する箇所に位置しており，東京港に出入りする大型船の航路を確保しながら施工が可能で，トンネル延長も短くできる沈埋工法が採用されている．施工規模は，前回の羽田トンネルを上回る，長さ115m，幅37.4m，高さ8.8m，鉄筋コンクリート重量約38,000tの函体9個をドライドックで作成し，延長1,035mの海底トンネルが構築された(図-4)．

沈埋函の製作は，埋立地間の水路を締切った中に東京ドーム約2個分の(面積81,200m²)のヤードを確保し行われた．ヤード内には門型クレーンやコンクリートプラント，鉄筋加工場，防水鉄板加工場が設置された．

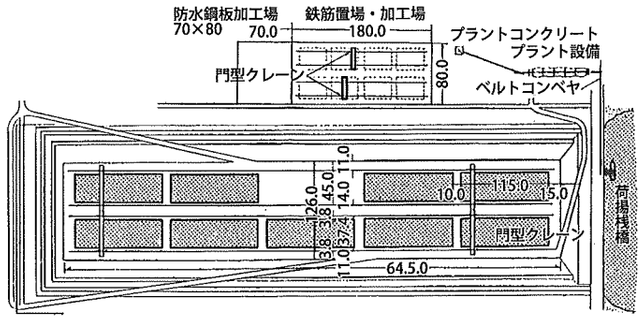


図-5 ドライドック設備配置図

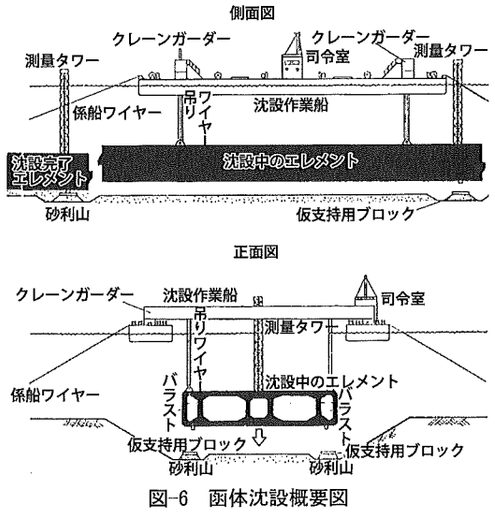


図-6 函体沈設概要図

ドックにおける諸設備配置を図-5に示す．

製作が完了した函体は，ドック内に水を入れ浮上させ，1函ずつ曳航して艤装ヤードで種々の艤装を行った．その後，プレッシングバージ(沈設用双胴作業船)に抱き込ませ，沈設位置まで曳航し，所定の位置で函体を徐々に沈めた．先に沈設された函体とは引寄せジャッキを使用して寄せられた．函体同士接合は，接合部に残った水を排水し，背面からの静水圧を利用した水圧接合で行い，最後に接合部の止水用妻壁を撤去して函体をつなげた．これらの方法で函体9函を接続し，昭和51年8月トンネルは完成している．函体沈設の概要図を図-6に示す．

3-3 桜木町トンネル

高速神奈川1号横羽線桜木町トンネルは横浜みなとみらいに隣接する桜木町付近の大岡川の河底を通るトンネルで昭和53年3月完成している．施工箇所は，地下最下段に横浜市営地下鉄3号線，その上段に高速道路，その上を船舶航行のある大岡川，さらに国道16号線などの街路が大岡川に架かる橋で渡り，それらの橋に覆いかぶさるように国鉄根岸線が高架で通っていた(図-7)．

このようにさまざまな構造物が輻輳する箇所であり，工事は厳しい制約を受けるほか，単独で高速道路の工事を施工することは不可能なため，高速道路と一体になる地下鉄の構築，河川改修，街路の橋梁架け替えや橋梁と平行に新設される共同溝の施工，近接する国鉄根岸線の橋脚防護および補強など，関連する工事が同時に行われた．

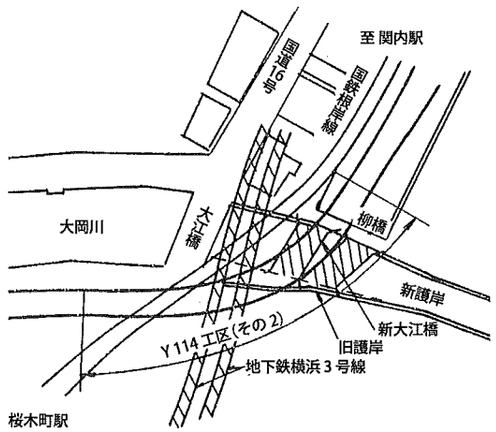


図-7 施工箇所平面概要図

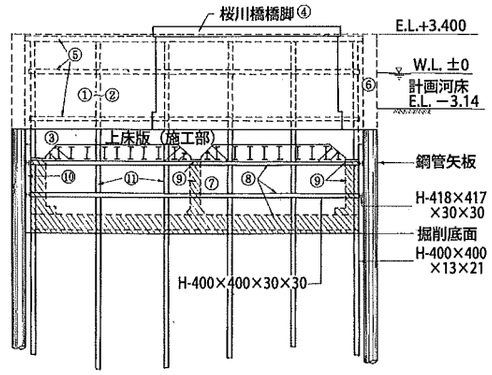


図-8 施工概要図

河川内の工事は渇水期もしくは河川半断面での施工に限定された．施工は，鋼管パイル(φ1.2m)を打設し，河川を締切り，仮設材を設置しながら掘削を行い，トンネル上床版の打設が行われた．その後，上床版上の防水と上床版上に橋台，橋脚が構築された．この状態で洪水期を迎えたため，上床版より上の切梁撤去および鋼管パイルの切断を行い，河川が解放された．

洪水期は，河川解放前に構築された上床版下で切梁を設置しながら掘削が続けられ，下床版の打設，側・中壁の打設を行い躯体の構築が行われた．躯体構築後は，土留め壁と躯体間に発砲モルタル充填し．最後に中間杭の撤去が行われた．施工概要図を図-8に示す．

高速道路の下に構築される地下鉄は，掘削深さが約30m近くになるため，トンネル下床版より下は圧気工法を併用して掘削が進められ，地下鉄躯体が構築された．構築された地下鉄躯体には，掘進してきたシールドが鋼管パイルを切断した後，接続されている．

4 ネットワークの整備

平成に入ると，羽田空港沖合展開事業に伴い，アクセス路となる湾岸線も整備され，これまでの実績を踏まえ，多摩川トンネルL=2,170m(函体数12函)，川崎航路トンネルL=1,954m(函体数9函)を軟弱な地盤でも施工が可能な沈埋工法を用いて同時に施工された(写真-4, 5)．

また，都市内の主要道路では，過密する交通事情により施工ヤードの確保が困難になってきていた．そのため，開削工法以外の大断面トンネルによる施工が求められるようになり，首都高では非開削工法であるシールド工法やNATM，新たな工法であるMMST工法が採用されるようになった．

平成に開通したトンネルを表-3に示す．

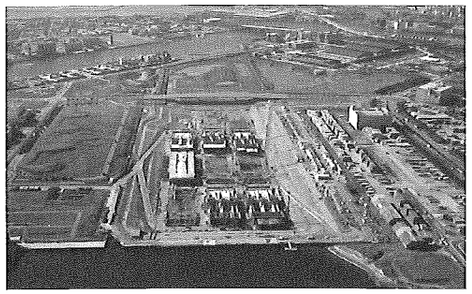


写真-4　ドライドック

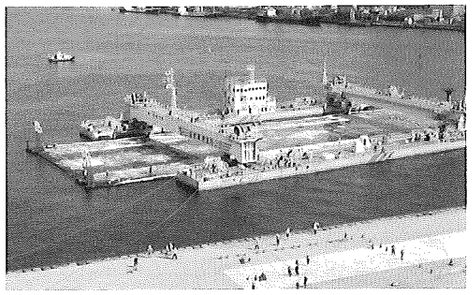


写真-5　プレッシングバージ(沈設用双胴作業船)

表-3　平成に開通したトンネル

路線名	項目 名称	供用年月	延長(m)	主な工法	備考
埼玉新都心線	新都心	H18. 8	2,655	開削	
			222	ケーソン	
中央環状線(西)	飛鳥山	H14.12	110	NATM	
			65	非開削	
			440	開削	
湾岸線(東京)	山手	H22. 3	9,800	シールド	
	空港北	H 5. 9	1,353	開削	開口部を除く
	空港南	H 6.12	250	開削	東西一体
中央環状線(東)	清新町	H14. 3	125	開削	オンランプ
東京地区計	6か所		15,020m		
3号狩場線	永田	H 2. 3	187	開削	オフランプ
6号川崎線	大師	H22.10	540	MMST	
			520	開削	
湾岸線(神奈川)	多摩川	H 6.12	2,170	沈埋	
	川崎航路	H 6.12	1,954	沈埋	
	並木	H11. 7	585	開削	
	浮島A～L	H 9.12	509	開削	
神奈川地区計	6か所		6,465m		
合計	12か所		21,485m		

4-1　飛鳥山トンネル

高速中央環状線飛鳥山トンネルは，JR王子駅の南側に接した台地上にある区立飛鳥山公園下に位置している．飛鳥山公園は，江戸時代からの桜の名所で自然を多く残す都市公園として都民の散策や憩いの場となっており，自然を保護するために地下構造で計画された．

飛鳥山トンネルは，都市NATMで約110mが施工され，隣接する明治通り側約440mおよび換気所部は開削工法，JR軌道下をHEP＆JES工法で施工された延長約700mのトンネルで平成14年12月に完成している．

トンネルが通過する箇所に近接する鉄道はJR，街路に走る都電荒川線，東京メトロ南北線であり，公園下で交差する．南北線との離隔は3.5～4.5mであった．また，この付近の地質は，TP＋10m以浅は武蔵野層相当の砂層または砂礫層，TP＋10m以深は東京層の粘土層，砂質土層あるいは砂礫層が主体となって互層をなしており，地形・地質・立地条件が厳しい中での施工を求められていた．そのため，都市NATMの施工にあたっては，FEM解析などの検討が行われ，地表面沈下量などの地山変位量が少なく，地山およびトンネルの安定性に優れる施工法として，中央導坑先進上半工法が採用され，さらに地山崩落・崩壊防止と切羽安定を図るため，補助工法に高圧噴射改良長尺先受け工が採用されている．**図-9**に高圧噴射改良長尺先受け工概念図，**図-10**にNATM断面図を示す．

地下水は，トンネル天端上方２～５mに地下水面を有する第一帯水層，トンネル断面内に被圧水頭を有する第二および第三帯水層が確認されており，掘削時の緩みに伴い地山透水係数が増加すると予想されていた．また，未固結地山のトンネルでは少量の湧水でも地山の不安定化や支持力低下の原因になるため，揚水工法も検討されたが，周辺の住居や公園の植栽に影響を与えるため，薬液注入工法による湧水対策が実施されている．**図-11**に薬液注入範囲図を示す．

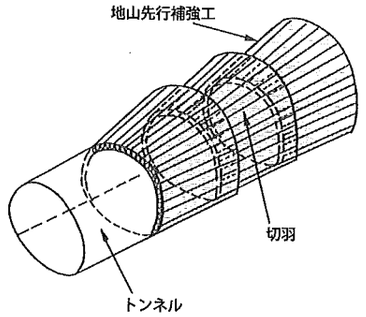


図-9　高圧噴射改良長尺先受け工概念図

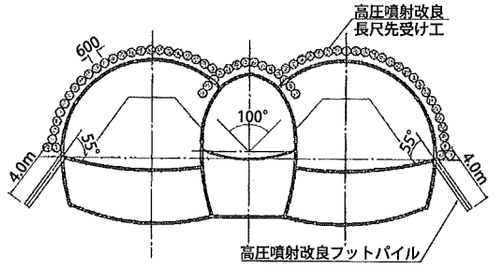


図-10　NATM断面図

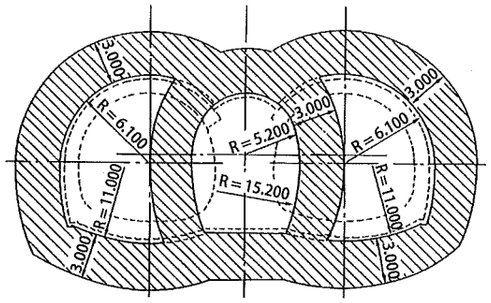


図-11　薬液注入範囲図

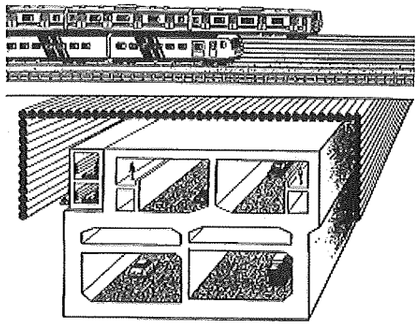


図-12　完成イメージ図

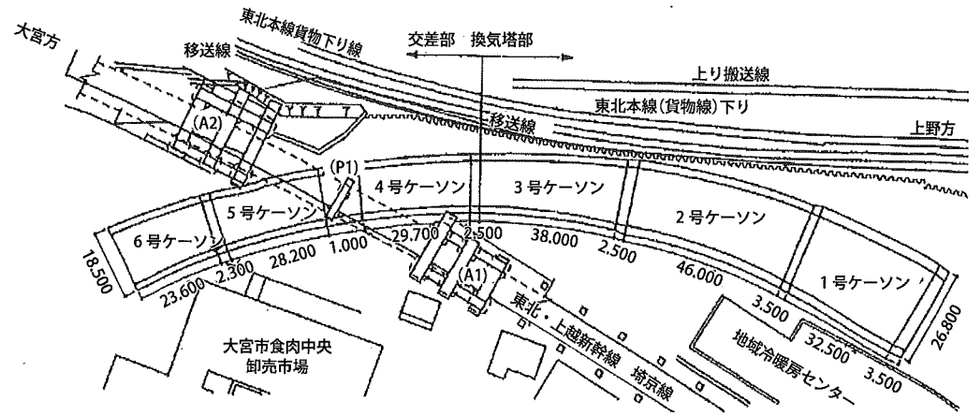


図-13　ケーソン配置図

線の区間はケーソン工法で施工された．施工は工事を委託されたJRにより行われている．

さいたま新都心の東側に位置するJR在来線交差部は，JR高崎線や京浜東北線・貨物線が16線あった．一般街路・高速道路・共同溝・下水道と線路群との立体交差化工事L＝約900mでは，16線を通過する１日約900本の電車を運休させないことを前提とした施工が必要とされた．そのため，一般街路や共同溝とともに一体構造物で構築される躯体は，長尺パイプルーフによって線路を仮受けする工法により施工が行われた．

線路下の構造物は，各々４車線の一般街路と首都高速道路が上下２層となったボックスカルバート，その他に共同溝と下水管路をあわせて構築された(**図-12**)．

さいたま新都心の西側では，JR在来線が近接するほか，JR東北新幹線・埼京線の上下２層の高架橋が交差しており，その下でトンネルを構築する必要があったため，ニューマチックケーソン工法により施工を行われた．

延長は222m，断面形状は幅19～27m，高さ26～38mの大断面で，高速道路が上下２層のほか，換気ダクトがあり，４～５層となっている．平面形状が曲線のため，ケーソン函体は非対称形状である．ケーソンの構造は平面縦横比３：１以内とし，６函体に分割して施工された(**図-13**)．

函体間の離れは機械掘削が可能な2.5mとし，ケーソン間の接続は，接続部を囲うかたちでRC地中連続壁を先行施工し，開削および圧気工法により行われ，平成18年８月に完成している．

4-3　山手トンネル

高速中央環状新宿線山手トンネル(３～５号間)は環状６号線の地下に建設された延長9.4kmのトンネルである．当初は大部分が開削工法で計画されていたが，街路の重交通，地下鉄や地下埋設物などを考慮し，非開削工法に変更され，シールド９台を用いて施工された．

シールドの施工延長が短くなる区間はコストなどが増加する．そのため，本トンネルでは，約2,000tのシールドを立坑で180度回転させ，併行

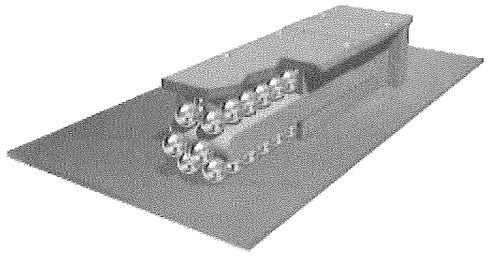


図-14　ボールスライダー(１台)詳細図

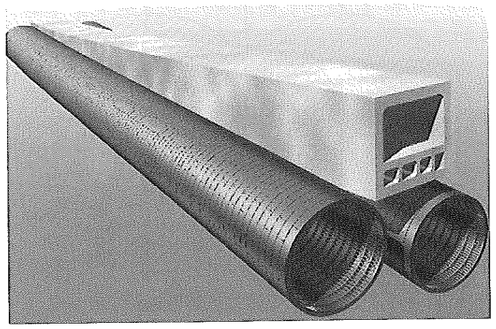


図-15　切開き構造イメージ図

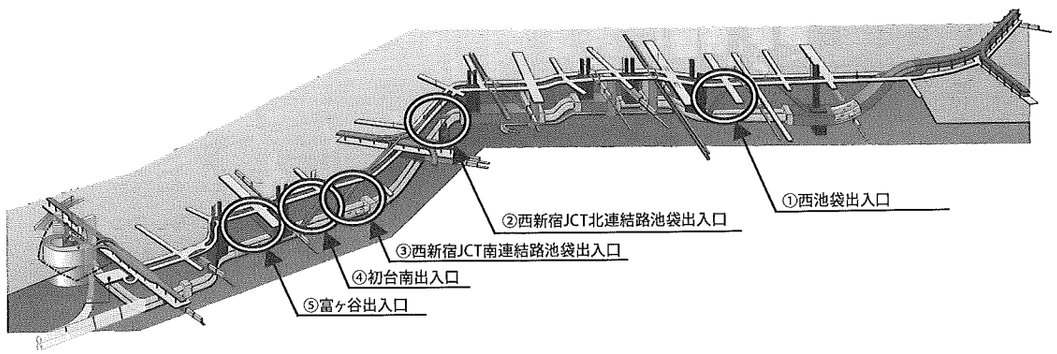


図-16　山手トンネル切開き区間

する２本のトンネルを１台のシールドで掘削する大断面シールドによるUターン施工が行われた．施工では，摩擦を低減させるための表面被覆鉄板を用いて，その上で40か所のすべり支承を備えた受け台を滑らせる方法やφ90㎜の鉄球を60個収納したキャタピラを受け台としたボールスライダー(**図-14**)を24台設置し，壁の反力から牽引ジャッキで引き寄せ，回転・移動を行う方法などが用いられ，５工区で施工が行われている．また，シールドトンネル掘進後に事前に設置された鋼製セグメントを切開き，小規模な開削もしくは非開削工法を用いてRC構造の分岐合流部を構築する切開き工法により，５か所で躯体の構築が行われた．

これらの施工方法により，街路交通や沿道環境への影響低減，コスト縮減や工期の短縮を図りながら平成22年３月に中央環状新新宿線山手トンネルが完成した．**図-15**に山手トンネル切開き区間，**図-16**に切開き構造イメージ図を示す．

4-4　大師トンネル

高速神奈川６号川崎線大師トンネルは，川崎大師に近い大師河原交差点に建設されたトンネルである．高速川崎縦貫線は都市計画幅25mの国道409号の交通を確保しながら施工する必要があり，従来の開削工法では施工不可能であった．また，線形が並列から上下２層構造に変化する区間であり，土かぶりも小さいため通常の円形シールドでの施工は困難であった．そこで，高速川崎縦貫線の大師ジャンクションから殿町に至る540mの区間は，MMST工法(Multi Micro Shield Tunneling Method)が施工に用いられた．

MMST工法は，外側の壁となる外殻構造を複数の小型矩形シールドで掘りながら鋼製の単体トンネルを作り，地中でそれぞれを相互につなぎ合わせた後に内部の土を掘削してトンネルを構築する工法である．主な施工ステップを**図-17**に示す．

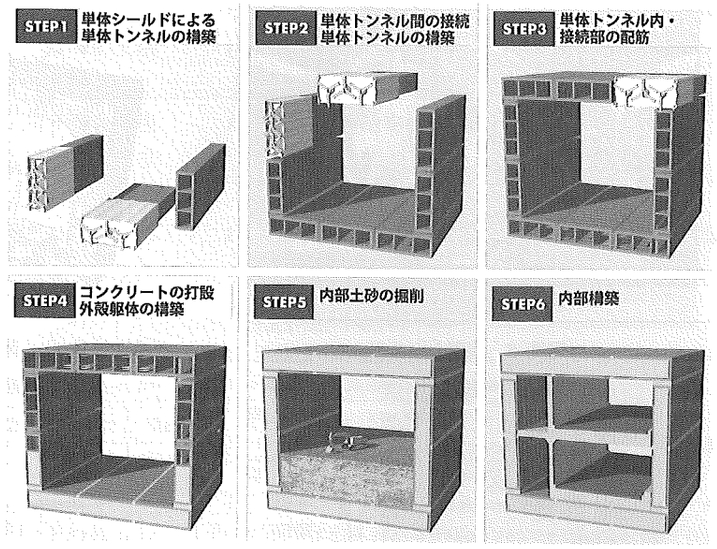


図-17　MMST工法の施工ステップ

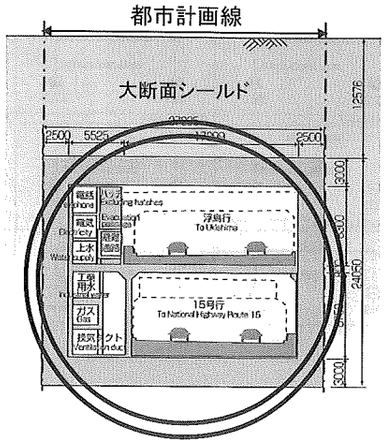


図-18　MMSTのトンネル断面図

大師トンネルでは，用地の制約(最小幅29m)，小土かぶり(最小土かぶり4.8m)，道路線形の変化など，困難な条件の箇所であったが，MMST工法が開発されたことにより，内空最大高さ約18m，最大幅約23mの矩形大断面トンネルが構築され(**図-18**)，平成22年12月に完成している．

単体トンネルの施工では，横型(**写真-6**)と縦型(**写真-7**)の２種類の小型矩形断面シールドと鋼殻が使用されている．本トンネルで使用された鋼殻(横型)の仕様を**図-19**に示す．

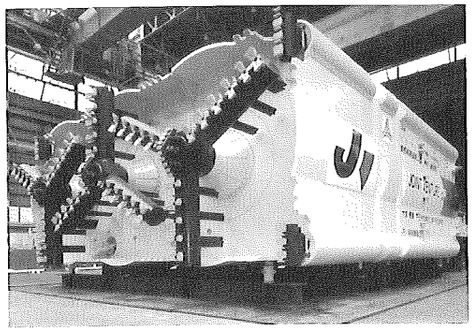


写真-6　横型シールド

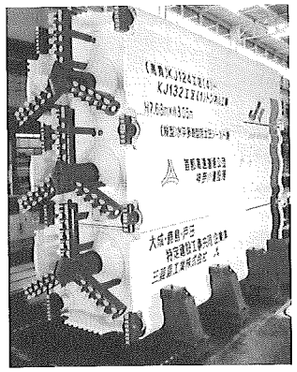


写真-7　縦型シールド

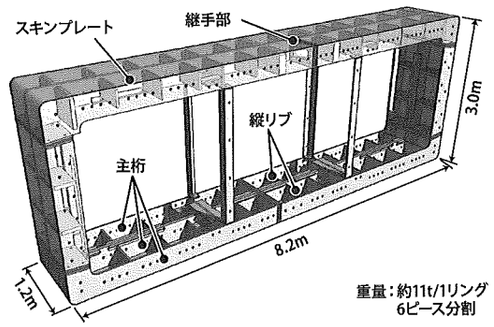


図-19　鋼殻の形状(横型)

表-4　工法別トンネル延長

	開削	ケーソン	沈埋	NATM	シールド	非開削	延長
昭和37～40年	4,240	50	56				4,346
昭和41～50年	1,718						1,718
昭和51～63年	1,817		1,325				3,142
平成元～10年	2,299		4,124				6,423
平成11～24年	4,325	222		110	10,340	65	15,062
延長(m)	14,399	272	5,505	110	10,340	65	30,691

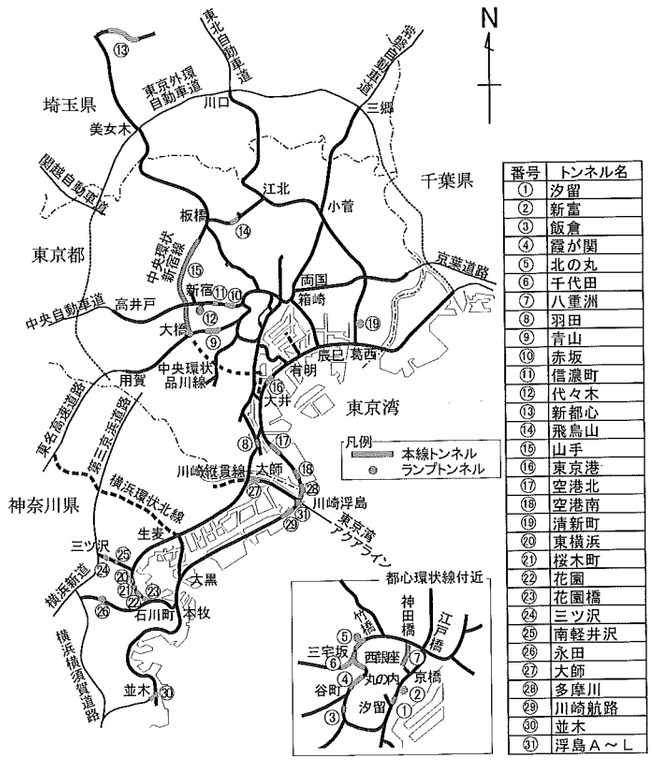
5　現在の状況と将来

近年，都市内でのトンネル工事は非開削工法が多く使われるようになってきた．また，シールド技術が発達し，大断面のシールドトンネルでも長距離，高速施工が可能となってきた．

現在施工が行われている中央環状品川線は延長８kmの区間をシールド２台(内外回り各１台)を用いて月掘進量約400m，横浜環状北線は延長5.5kmをシールド２台(内外回り各１台)を用いて，月掘進量約230mの高速施工を行っている．

平成24年12月現在，首都高速道路が保有するトンネル数は31か所，トンネル区間の延長は約30kmとなり全線の約１割を占めている．

構造別には開削トンネル約14km，NATM約0.1km，シールドトンネル約10.3km，沈埋トンネル約5.7kmとなっている．**表-4**に工法別トンネル延長，**図-20**にトンネル位置図を示す．



番号	トンネル名
①	汐留
②	新富
③	飯倉
④	霞が関
⑤	北の丸
⑥	千代田
⑦	八重洲
⑧	羽田
⑨	青山
⑩	赤坂
⑪	信濃町
⑫	代々木
⑬	新都心
⑭	飛鳥山
⑮	山手
⑯	東京港
⑰	空港北
⑱	空港南
⑲	清新町
⑳	東横浜
㉑	桜木町
㉒	花園
㉓	花園橋
㉔	三ツ沢
㉕	南軽井沢
㉖	永田
㉗	大師
㉘	多摩川
㉙	川崎航路
㉚	並木
㉛	浮島Ａ～Ｌ

図-20　トンネル位置図

6　おわりに

都市内におけるトンネル建設では，その時々の技術を駆使して，施工困難箇所などの問題を克服しながら建設が進められてきた．これらの建設は，沿道住民，関係機関，施工関係者の方々の協力ならびに学識経験者のご指導があったうえで成し遂げられたものである．今後も現在施工中の中央環状品川線，横浜環状北線の早期完成を目指しトンネル建設を続けるとともに，これまで作られてきたトンネル構造物の維持管理に努めていきたい．

参考文献

1) 佐藤栄作・森清・三浦正幸：飛鳥山公園下の大断面めがねトンネルの施工，首都高速中央環状王子線飛鳥山トンネル，トンネルと地下，Vol.29，No.7，pp.15-23，1998.7.
2) 桑原清・石田芳行・堤純生・下間充：アンダーピニングにより基礎形式が変更される橋脚の設計・施工，橋梁と基礎，Vol.38，No.1，pp.21-29，2004.1.
3) 半野久光：中央環状線山手トンネルの事業概要，基礎工，Vol.38，No.3，pp.4-9，2010.3.
4) 下西勝・青木聡・豊田純・三木章生：西新宿シールドの設計と施工，基礎工，Vol.38，No.3，pp.48-53，2010.3.
5) 吉川直志・神木剛・水野克彦・佐藤充弘：MMST工法による矩形大断面トンネルの施工，首都高神奈川６号線　大師トンネル，トンネルと地下，Vol.41，No.11，pp.15-24，2010.11.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

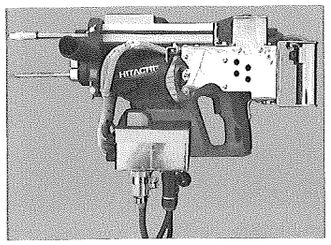
1. 原稿は弊社ホームページ(http://www.tunnel.ne.jp)に掲載されている投稿規定により執筆して頂きます．
2. 原稿のボリュームは，原則として刷上がりで８頁以内とします(図・表・写真含む)．
3. 原稿掲載の採否は，本誌編集委員会で審査のうえ決定します．
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします．
5. 原稿は，原則として返却いたしません．

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

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

工法・技術・製品ニュース

工法　ハンマードリルで岩盤強度の測定



ハンマードリル部

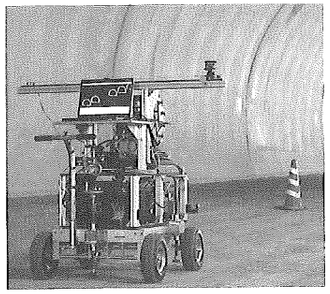
西松建設(株)
Tel 03-5717-1122
http://www.nishimatsu.co.jp

西松建設と東京大学工学系研究科システム創成学専攻福井研究室は共同で，現場で手軽に扱える岩盤強度測定器を開発した．

同測定器は，DCバッテリーで動作するハンマードリル部と，測定データ(ドリルの消費電力や掘削速度)を記録する本体で構成される．ドリルビットには，測定に適した形状のものを市販品から選び，おおむね10cmの深さまでの岩盤強度を測定することができる．測定は1人で行うことができ，1点のデータを採取する時間は1分前後としている．

ドリルが測定対象の内部に貫入しながらデータを得ているため，ハンマー反発度や超音波伝播速度から岩盤強度を測定する場合に問題となりがちな，測定位置の表面凹凸や接触状態の影響が少ない．また，コンパクトなシステムで，電源や冷却水などのラインを必要としないことから，人が立ち入れる場所であれば測定場所を選ばないといった特長がある．

工法　構造物出来形即時確認システム“Ravi”



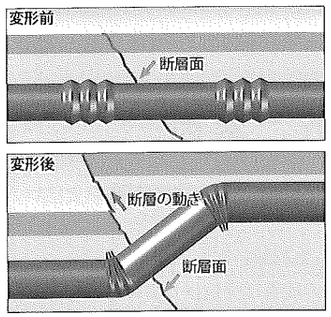
東急建設(株) 経営企画部 広報担当
Tel 03-5466-5008
E-mail: webmaster@tokyu-cnst.co.jp

東急建設は，倉爪亮・九州大学大学院教授と共同で開発した構造物出来形即時確認システムRaVi(Real-time architecture Visualizer」を，尾道・松江自動車道下本谷トンネル工事へ導入したと発表した．

同システムは，レーザ測定器を用いた連続的な計測によりトンネル出来形を取得する移動式の3次元形状計測装置と，設計データと出来形データを比較照合するリアルタイム照合ソフトから構成され，設計データと出来形データを3次元情報で直接比較する．出来形計測が短時間行えること，任意の位置での出来形を即時に確認できることなど，従来の出来形確認方法の弱点を改善したとしている．

工事では，出来形確認作業と関係者へのヒアリングなどをつうじて，実用性の検証やソフトウェアの操作性等について改善点の抽出を行った．今後はトンネル以外の構造物についても適用を行い，3次元データを利用した建設生産プロセス管理手法の導入を推進してゆくとしている．

製品　断層用水道鋼管が初採用



JFEエンジニアリング(株)広報室
Tel 045-505-8953
http://www.jfe-eng.co.jp

JFEエンジニアリングは，同社開発した「断層用水道鋼管」が，神戸市の進める大容量送水管整備事業に，国内で初めて採用されたと発表した．

同製品は活断層のずれに抵抗できる水道鋼管で，活断層の変位を吸収するため，あらかじめ変形しやすい山形部を設けており，地震時にも亀裂や漏水を起こすことなく通水機能を確保する．

事業は，神戸市が阪神淡路大震災の教訓を踏まえ，既設送水トンネルのバックアップ機能として送水管の二重化を図るもので，活断層が存在する布設ルートへの対策として，一部に同製品が採用された．既設シールドトンネル内に延長2,384mにわたって口径2,400㎜の鋼管が布設される．

同社では，一昨年の10月に断層用鋼管の曲げ性能に関する公開実験を実施し，関係官庁や水道事業体などから高評価を得ていた．また，昨年9月には日本水道鋼管協会(WSP)の製品規格(WSP077-2012)に制定されている．

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(10)

—断層とトンネル工事(2)—

「地相入門」連載講座小委員会

① 断層地形とトンネル工事

本連載(9)では，断層地形の分類と基礎的な解説，および活断層に伴う初生的な地形形態である断層変位地形と施工事例について紹介した．トンネル工事においては，活断層などの新しい断層ばかりでなく古い断層も設計・施工的には重要な問題となることが多い．また新しい断層でも，常に断層変位地形が見られるわけでもない．今回は「断層とトンネル工事(2)」として，まず第2章と第3章で初生的な断層変位地形が失われた古い断層に伴う断層削剝地形の見方，リニアメント判読と施工事例について紹介する．第4章ではいくつかの断層地形の読図を通じて，設計・施工への地形判読の有効性と課題について考える．地形判読は空中写真判読や最近のレーザー計測地形画像判読などと組み合わせて行われることが多いが，ここでは国土地理院発行の1/25,000地形図をベースとして行う．

② 断層削剝地形とリニアメント判読

断層削剝地形には，断層線崖・断層線谷・断層線鞍部列，尾根遷緩点列など[1]があるが，典型的な事例が棚倉破砕帯(茨城県常陸太田市～福島県須賀川市，後期白亜紀～新第三紀に活動した古い断層)で見られる[1]．断層の両側で岩質(主に硬さ)の異なる岩盤が分布している場合，差別浸食により断層線に沿って直線的に延びる急崖を生じる．これを断層線崖と呼ぶ．図-1に示す断層線崖は花崗岩(硬岩)と花崗岩が破砕し再固結したカタクレーサイト(脆弱層)の境界部に形成されている．また，断層破砕帯は風化浸食に弱いために，断層両側に比べて急速に削剝されるので，直線的あるいは緩い弧状の谷を形成する．これを断層線谷と呼ぶ．図-2に示す断層線谷は，新第三紀層の軟岩(砂岩・泥岩・凝灰岩)と中硬岩(凝灰角礫岩)の境界部にもなっているが，明瞭な直線的な谷地形を形成している．図-1,2の事例は，断層削剝地形と地質的な断層の位置が良く一致している例である．

リニアメントは，さまざまな地形的特徴が数百m～数kmにわたって直線～緩い弧状に延びて配列している状態を示す．山間部の隣あった尾根の稜線上に，鞍部(凹所)や尾根遷緩点(尾根線の縦断勾配の変換点)がある．これらの直線的な配列をそれぞれ断層線鞍部列，尾根遷緩点列と呼んでいる．九州新幹線筑紫トンネルに沿っては，断層線崖・断層線谷・断層線鞍部・尾根遷緩点列などが組み合わさって断層削剝地形のリニアメントが形作られている(図-3)．断層線谷の判定の際には，直線的な谷の連続性(直線谷)が尾根の鞍部を越えてさらに連続する，本流の谷に対して直交するような同規模の支流がある(十字合流する直線谷)，鞍部や尾根遷緩点が直線状に並ぶなどの特徴が重要である．

断層線崖や断層線谷などの直線的な谷の連続性はあくまでも周辺の地形との相対的な関係であり，



図-1　断層線崖（国土地理院 1：25,000地形図「東舘」）



図-2　断層線谷（国土地理院 1：25,000地形図「大中宿」）

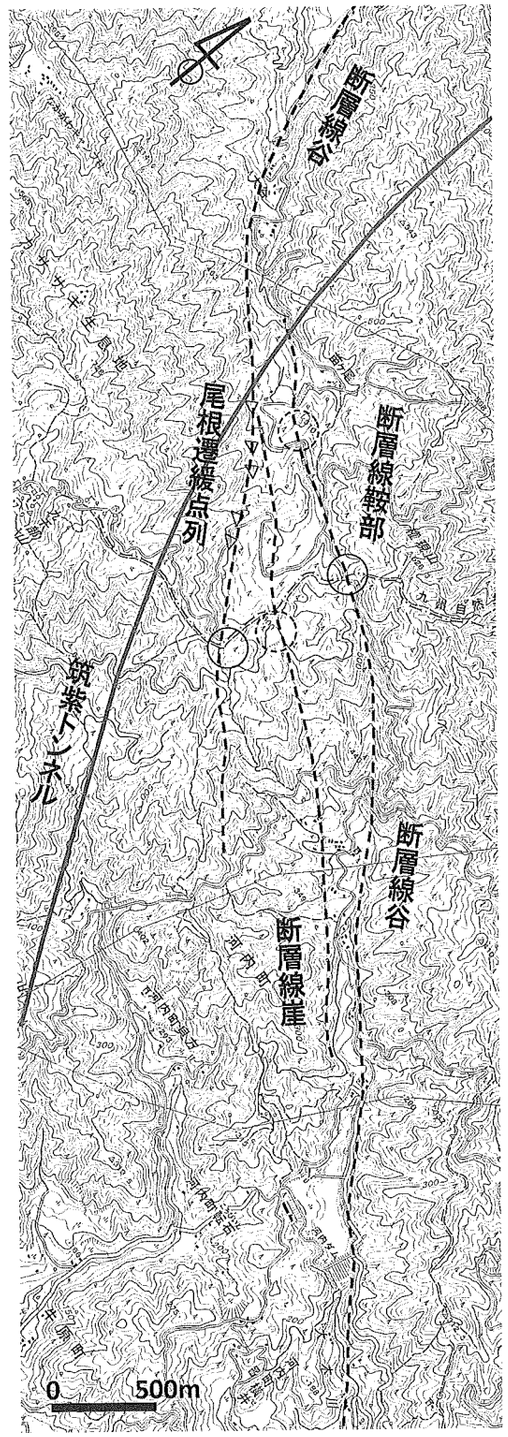


図-3　断層削剝地形と筑紫トンネル（国土地理院 1：25,000地形図「不入道」,「中原」）

数値的な指標があるわけではない．また，断層とは無関係な鞍部も多数ある．直線的な谷の連続性（断層線谷），直線的な鞍部や尾根遷緩点の配列に着目しながら断層に関係する鞍部（断層線鞍部列）を探すことが大切である[2]．

③　断層削剝地形と施工事例

事例 1：一般国道482号蘇武トンネル[3),4)]【突発湧水・大量土砂流出とリニアメント判読】

蘇武トンネル（1997年度着工）は，兵庫県北部の城崎郡日高町と美方郡村岡町の町境付近に位置する，延長3,692m，掘削断面積約90m²，土かぶりが100～400mの 2 車線道路トンネルである．掘削は発破工法で，地山等級D区間は上半先進ベンチカット工法，B～C区間は補助ベンチ付き全断面工法で施工した．

本トンネルの周辺には標高800～1,000mの山岳地帯が広がり，近畿地方としては珍しい急峻な地形が見られる．その一方で，地すべり地形も多数認められ，「但馬地すべり地帯」として知られている．地質は新第三紀の北但層群と呼ばれる堆積岩からなり，全体として緩やかに傾斜する地層構造である．

設計段階の調査では鉛直・水平ボーリング調査，弾性波探査に加えてCSAMT探査と高密度電気探査を行い，コア試料の比抵抗測定を含めた岩石試験結果も考慮して，弾性波速度と比抵抗値の区分から地質断面図を作成した．坑口からの水平ボーリングからは局部的な大量湧水のリスクも懸念されたが，設計ではトンネル恒常湧水量は過去の事例の平均値が採用された．

本トンネルの日高方坑口からは，前方探査としてドリルジャンボによる探り削孔やTSPを実施していたが，坑口から約2,000m地点を掘削中に約 8 m³/minの突発湧水，切羽天端崩壊に伴う約600m³の土砂流出を生じ（**写真-1**），工事は一時中断された．この大量湧水は時間経過後も減少しないため，未施工区間の湧水検討が重要課題となり，追加の各種地質地下水調査が実施された．結果として崩落箇所の対策工に約 5 か月を要し，その後，切羽再開から約 8 か月を費やして延長約478mを掘削し，坑口から2,478m地点の工区境の到達点に達した．

湧水・土砂流出発生後の各種調査の結果によると，当初設計と大きく異なる地質状況が明らかになった（**図-4**）．トンネル天端から上方には難透水性の軟岩が水平に分布し，さらにその上位に分布する開口性亀裂の多い火山岩類に地表から浸透した雨水が多量に貯留され，水平方向に広い帯水層が形成されていた．この中で高角度の断層や開口性亀裂を多数含むひん岩岩脈は，上下方向の水みちにもなっていた．突発湧水と土砂流出の原因は，遮水層の役割を果たしていた堆積岩層が破砕帯によりその機能を失い，上方の火山岩中の大量の地下水が破砕帯を通じて切羽での突発大量湧水となった．

地形図を見ると（**図-5**），湧水・土砂流出発生地点には断層線谷と断層線鞍部列からなる長さ約

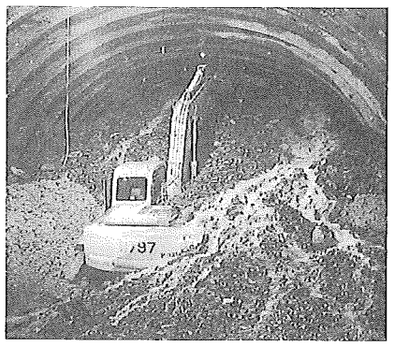


写真-1　突発湧水と崩落直後[3)]

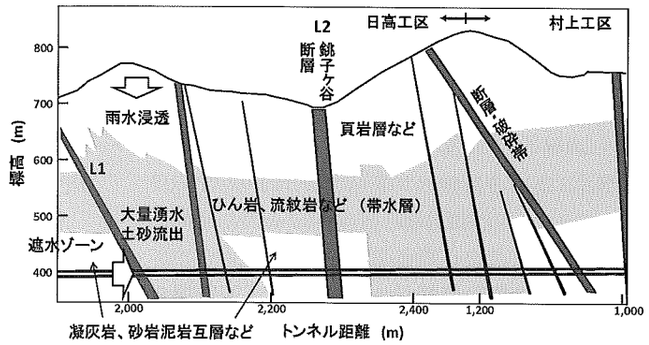


図-4　蘇武トンネルの地質断面図[3)]を簡略化，加筆

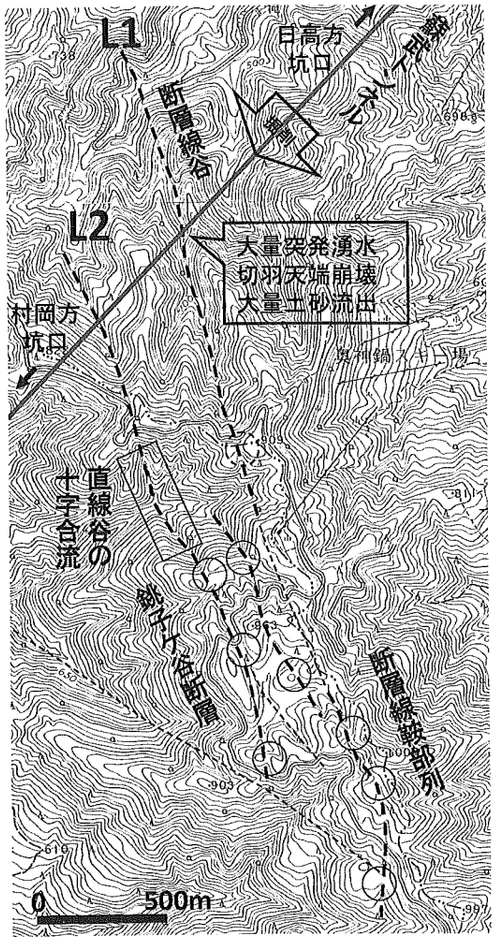


図-5 蘇武トンネルのリニアメント判読(国土地理院1：25,000地形図「神鍋山」,「栃本」)

3.8kmのリニアメントL1が明瞭に認められる．また，トラブル発生後に実施された再度の総合地質調査区域にある銚子ケ谷断層は，リニアメントL2(長さ約2.2km)にほぼ一致する．これらのリニアメントは，断層線谷と断層線鞍部列の組合せで判断しているが，トンネルルート付近では断層線谷(直線谷)のみでやや判断しにくいと言える．これは，トンネルルート沿いの地形図のみからはリニアメントの判断が難しい場合があり，広範囲の読図が必要であることを示している．

事例2：北陸新幹線朝日トンネル[5),6)]【工区境の変状とリニアメント判読】

北陸新幹線朝日トンネルは，富山県と新潟県の県境付近に位置し，延長7,570m，掘削断面積約73m²，最大土かぶり約420mのトンネルである．東工区(1993年度着工，L＝4,530m)では，発破による補助ベンチ付き全断面工法，タイヤによるコンテナ輸送方式ずり処理により掘削を行い，断層部では上半先進ショートベンチを併用した．また西工区(1997年度着工，L＝3,040m)ではロードヘッダ(SLB-200T，ベースマシンS300)による補助ベンチ付き全断面工法，連続ベルコンシステムによるずり処理方式により掘削を行った．

地質的には，糸魚川側から魚津側に向かって，後期白亜紀～古第三紀の安山岩質および流紋岩質の凝灰岩類，雁蔵断層，新第三紀の安山岩質溶岩，凝灰質砂岩層，泥岩層が現れた．

東工区では大規模な2つの断層破砕帯に遭遇し，先進ボーリングなどを実施しながら慎重に掘削を進めたが，内空の水平変位が500㎜を超え縫返しを余儀なくされた．また，工区到達点近くでは雁蔵断層が現れ大量湧水が生じたために，対策に労することとなった．

西工区では，事前に想定された低速度区間を対象に先進ボーリング調査を実施したが，コア試料からは明確な破砕帯は認められず，掘削は順調に推移した．その後，工区到達点に近づくにつれて地山は急速に悪くなり，多数の鏡肌(油目)を含む泥岩層やせん断されて細片状になった地山が現れ，地山の大きな変状を生じたため縫返しを行うことになった．工区境までの残りの未施工区間への対応を早急に検討するため，東工区の雁蔵断層の情報提供を受けながら，まず地形図・空中写真判読を行った(図-6)．

その結果，

① 本トンネル周辺には，トンネルと斜交するいくつかのリニアメントが見られ，古い地すべり崩壊地と思われる痕跡も多数認められた．

② これらのリニアメントは断層線谷を主体として，断層線崖，断層線鞍部も見られた．

③ 切羽で確認された雁蔵断層と地上へリニアメントとして現れた雁蔵断層(L2)は，平面的にはかなりずれている．地下深部から地表付近にかけての逆断層の形態の変化を考慮して[7)]，雁蔵断層を地表付近で約30度の東傾斜(南東側隆起)の逆断層，深部で高角度の逆断層と考えると，平面的なずれが説明できる．

④ 雁蔵断層系の地質断面を概念的に描くと図-7のようになり，次の3つの断層が考えられた．

L2：切羽とリニアメントで確認できた雁蔵断層系の主断層．

L3：リニアメントから推定された雁蔵断層の副断層で，未施工区間での対応が必要．

L4：地形的には明確でないが，地山の大きな変状と縫返しを生じた雁蔵断層の2つ目の副断層．

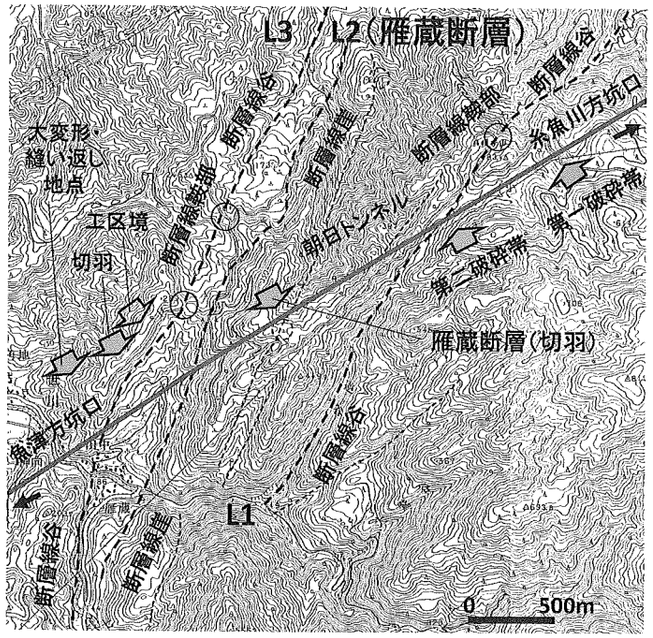


図-6 朝日トンネルのリニアメント判読(国土地理院1：25,000地形図「親不知」,「泊」)

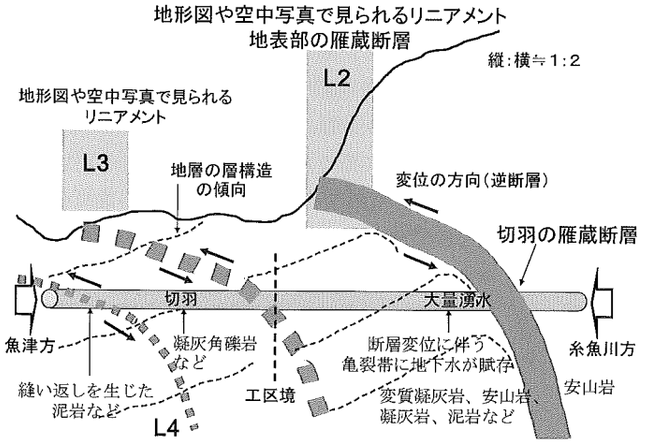


図-7 地質概念図

2013年(平成25年)2月

④ 断層地形判読の有効性と課題

事例1：中央本線 鳥居峠トンネル[8),9)]【断層地形とルート選定】

中央本線奈良井・藪原間の鳥居トンネルは長野県中西部，旧中山道の難所として知られる木曽山脈北部の鳥居峠(標高1,197m)を挟み，北流する奈良井川(信濃川水系)の谷と南流する木曽川の谷を結ぶ，延長2,157mの複線トンネルである．

両駅間には既に1910年に開通した延長1,673mの旧鳥居トンネルを通る路線が敷設されていたが，同区間のR＝300mの急曲線や長い20‰勾配区間が輸送上の隘路だったことに加え，奈良井川沿いの斜面が災害多発区域であったことから，1960年代に行われた中央本線複線化工事に際し，これら



図-8　鳥居峠下を通る旧線と３ルート案[8)~10)]（国土地理院１：50,000地形図「伊那」）

の問題点解消とともに駅間距離を短縮する，図-8に示す３つの別線ルートが検討された．

① 旧中山道沿いに鳥居峠（標高1,197m）直下を延長2.95kmのトンネルで通過し駅間を1.2km短縮する路線案

② 峠山（標高1,415m）付近を延長3.5kmのトンネルで通過し駅間を1.5km短縮する，大部分がトンネルとなる路線案

③ 鳥居峠の約500m北を延長2.15kmのトンネルで通過し，駅間を0.75km短縮する路線案．

また，これらのルート案の縦断勾配はおおよそ（図-9）のとおりとなった．

当初もっとも有望視された①案は，地質調査の結果，断層破砕帯が多く大量湧水が懸念されたこと，また②案は薮原駅付近で集落付近を横切るうえにトンネル延長も長く不経済と考えられたことから，最終的には薮原方で極力明かり区間を長く取る③案が選定された．

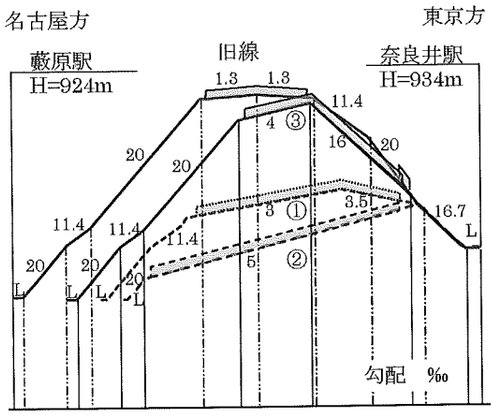


図-9　縦断勾配略図[8)]を編集

①案は，鳥居峠下を通る奈良井断層にほぼ並走する．断層位置は鞍部や直線谷の位置から明瞭に判別できる（図-10）．また，この断層を境に両側の斜面の勾配が異なり，北西側の山地斜面は比較的緩傾斜であるのに対し，南東側は比較的急傾斜である．

現在の中央本線である③案（図-10中，「現在の鳥居トンネル」）は，旧線の位置した栃窪北方の奈良井川右岸にある河川の攻撃斜面（図-10中，A地点）や，栃窪対岸の旧坑口上の急傾斜地形に見られる崩壊懸念箇所（図-10中，B地点）を解消した．また，旧トンネルの薮原方坑口は２つの小さな谷地形が合流する付近に位置した（図-10中，C地点）のに対し，新しい坑口はより西側の尾根部に向かって設置されている（図-10中，D地点）．なお，奈良井方坑口付近では，旧街道や奈良井南方の集落が制約となり，破線で示した奈良井断層と交差せざるを得ない状況となった．

トンネルは底設導坑先進上部半断面逆巻き工法で1966年６月に着工し，翌年６月に導坑貫通，1967年８月にりょう盤や直結道床コンクリートを含めた全体が完成している．地質は粘板岩と砂岩の互層で所々にチャートを挟み，断層破砕帯にも遭遇したが比較的湧水が少なく，工事は順調であった．

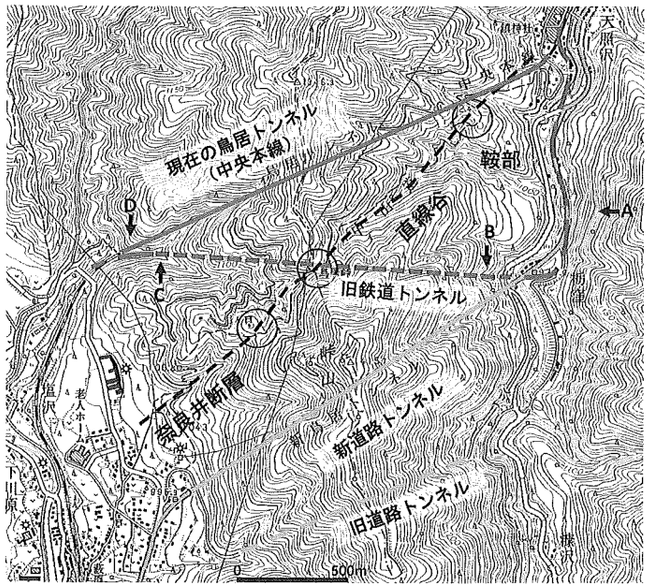


図-10　奈良井断層とそれを避けたトンネル（国土地理院１：25,000地形図「薮原」）

本連載(1)でも触れられているが，このように，線形計画上は有利（駅間距離短縮，急勾配区間解消，曲線改良）に見える①，②案を避け，③案を選定したこと，すなわち路線計画において断層の存在とそのトンネルへの影響を予測し，断層に極力並走あるいは交差しないという地形地質的な制約について，線形改良よりも優先させて実現させたことは，施工の難易だけでなく供用後の維持管理も視野に入れた，路線選定の好例と言える．なお，国道19号線の新鳥居トンネルも，当該断層を約800m南側へ避けた位置に建設されている．

事例２：東北自動車道　折爪トンネル[11),12)]など【膨潤性地山と逆断層】

折爪トンネル（1980年度着工，L＝約2,300m）は，岩手県北部に位置する東北自動車道八戸線の双設トンネルである．本トンネルは，比較的緩やかな斜面をなす稜線下にあり，最大土かぶりは約200mである．地質は，新第三紀層の凝灰質砂岩・泥質凝灰岩・シルト岩の互層からなる．八戸方（東工区）坑口から百数十m掘進した地点より緑色凝灰岩の脆弱地山に遭遇し，地山の押出しや盤ぶくれに難渋した（写真-2）．再三の縫返しや各種の補強工を行うほか，底設導坑先進工法を側壁導坑先進工法に変更して対応したが，地圧の増大が続いた．追加実施したボーリング調査結果から，この脆弱地山が400m以上続くこと，モンモリロナイト含有量も増加するため，在来工法からNATMに施工方法を変更することとなった．NATMは1976年に上越新幹線中山トンネルで初めて導入されたが，本トンネルでは，1981年の『NATM設計暫定指針』（日本道路公団）を受けて，1982年の１月から適用された．

膨潤性ダイヤグラムによる鍋立山トンネルや中山トンネルとの比較検討や，B計測にもとづきロックボルト長の変更を行ったが，泥質凝灰岩が増えるにつれて地山の押出しが大きくなり縫返しなどの対応に迫られた．最終的には調査ボーリングや計測データの検討にもとづき，円形導坑先進工法により無事掘削を完了することができた．当初35か月の工期が，最終的には54か月となった．

後年，膨張性地山といわれる特殊地山の設計・施工上の区分が試みられている[13)]．この結果からも，当時もかなりの難工事であったという話を裏づけるものとなっている．以上から，折爪トンネルは，モンモリロナイトを含む泥岩・凝灰岩による膨潤性地山，地山強度比の小さい脆弱地山で特徴づけられてきたと言える．

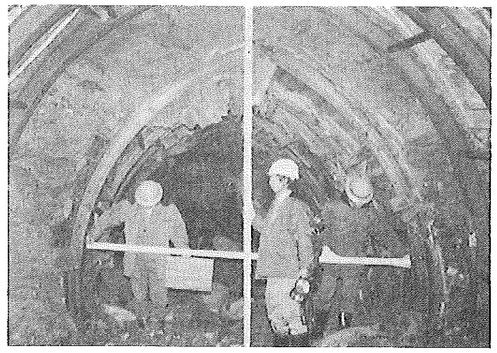


写真-2　切羽の変状[11)]

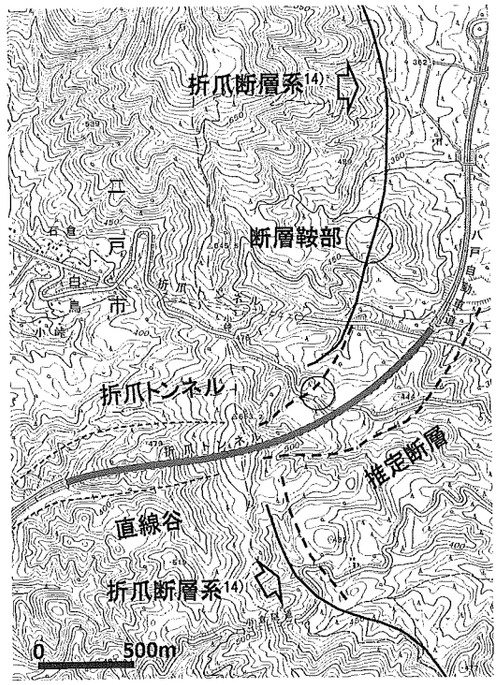


図-11　折爪トンネルと折爪断層系末端部(国土地理院1：25,000地形図「伊保内」)

地形図(**図-11**)を見ると，図中央の市区町村界に南北方向の尾根がある．これらの尾根に沿って，断層の西側が相対的に隆起する逆断層の折爪断層系[14]が走っている．折爪トンネルは，不連続に延びる折爪断層系の各区間が途切れるところにあるが，地形図を詳しく見ると，断層に関係すると推定される鞍部や直線谷がさらに延びており(図-11中の波線)，折爪トンネルは2つの推定断層に挟まれるように並走していると考えられる．したがって，膨潤性地山に対して断層活動による地山の脆弱化・強度低下が重なり，地山強度比のさらなる低下に寄与していた可能性が高い．事実，切羽観察では，多数のクラックや小規模断層が報告されている．とくに，上り線坑口から280～360mの区間では10か所の断層破砕帯が確認されているとともに，2mを超す押出しが生じ，大幅な縫返しを行っている．

これらのリニアメントは南北の分水嶺を越えても直線谷としては西に向かって連続しているようであるが(図-11中の細波線)，断層地形であるか否かの判断は難しい．八戸側の東工区と盛岡側の西工区の境は，ほぼこの分水嶺付近にある．西工区では上部半断面先進工法で特別なトラブルもなく無事工事を完了している．これらの事実も，膨潤性地山に対する断層の影響度を示唆していると推定される．

この事例では，地形判読により，顕著な膨潤性地山の原因が膨潤性粘土鉱物などによる岩石物性に加えて，断層活動による地山の強度低下が重なっている可能性を示した．逆断層の地形判読は難しいと言われているが，断層直下に加えて，断層の末端部やトンネルに並走する断層にも注意することが示唆されている．逆断層のような断層面の傾斜と地形形状の組合せにより，地表に現れる断層線の平面形がどのように変化するか，本連載(9)，p.70の図-5を参照されたい．

事例3：三遠南信自動車道三遠トンネル[15]など【副次断層からの大量湧水とリニアメント判読】

三遠トンネル(2004年度着工)は，三遠南信自動車道(長野県飯田市～静岡県浜松市)の浜松いなさ北IC～鳳来峡IC間に位置し，延長4,525mのトンネルである．三遠トンネルは中央構造線とほぼ直角に交差し，周辺には多くの断層地形が見られた．

掘削方法はNATM・発破掘削で，掘削断面積は避難坑で16m²，本坑では標準的な2車線断面86m²である．本トンネルは中央構造線を抜くことから，追加事前調査の実施，避難坑での前方探査や地質確認結果を有効に利用しながら，本坑掘削作業が行われた．

地質的には北から南へ向かって以下のように変化する(**図-12**)．①設楽火山岩類(新第三紀層)，②中央構造線細川断層，③火成岩源カタクレーサイト(花崗岩～花崗閃緑岩質，凝灰岩質)，④泥岩(河内層)，⑤凝灰岩(巣山火砕岩類)，⑥三波川結晶片岩類(蛇紋岩)，⑦砂岩，頁岩(七郷一色累層)，⑧中央構造線主断層(蛇紋岩)，⑨蛇紋岩・角閃岩，⑩結晶片岩類．北側の鳳来工区では①～⑦が，南側の引佐工区では⑦～⑩が出現した．施工的には，①での大量湧水と濁水処理施設の増設，②での各種前方探査の実施と地山評価，FEMによる本坑

支保パターンの照査，⑧，⑨での膨張性地山(地山強度比0.7～1.2)に対する高耐力支保構造と早期閉合が，特徴的である．一方，③の断層岩(カタクレーサイト)では湧水もなく適度の硬さで施工的な問題は少なかった．

地形図を見ると，断続的ではあるが全体としてはかなり長い距離にわたって連続していると判断される，断層のリニアメントが多数認められる(**図-13**)．主なものは次の3つである．

① 中央構造線主断層に対応するリニアメント(L1)で，主に断層線谷からなるが，本トンネルとの交差部では蛇紋岩，角閃岩の風化浸食により断層地形は不明瞭である．

② 中央構造線細川断層に対応するリニアメント(L2)で，断層線谷や断層線鞍部からなる．

③ やや不明瞭で連続性が悪い区間もあるが，全体としてトレースが可能と判断したリニアメント(L3)

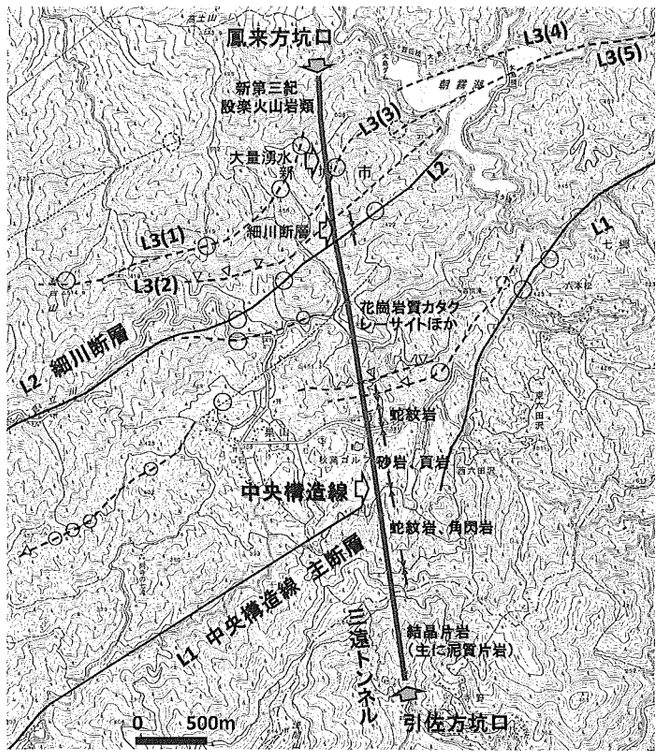


図-13　三遠トンネルとリニアメントの分布(国土地理院1：25,000地形図「熊」)

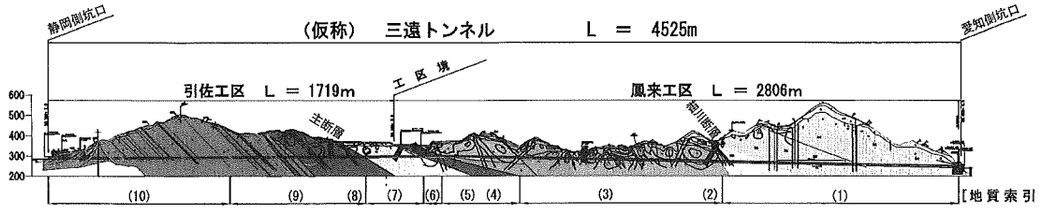


図-12　三遠トンネルの地質縦断図[15]

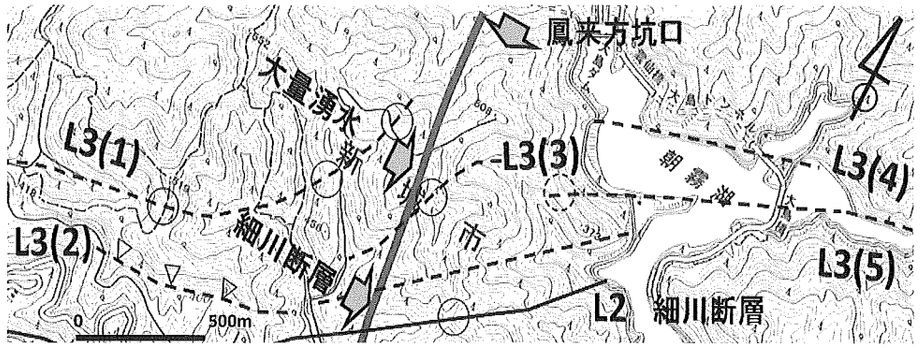


図-14　三遠トンネルの大量湧水地点とリニアメント(国土地理院1：25,000地形図「熊」)

である．

L1，L2の断層と比べるとL3は副断層であるが，L3(3)との交差部で本トンネルとしては唯一の大量湧水が発生した．ここでは，ドリルジャンボによる探り削孔に伴い数百ℓ/分の出水があり，水抜きを目的とした長尺削孔を実施して地下水位の低下を図ったが，水抜き孔の本数増加につれて湧水量が増大する結果となった．切羽周辺の水抜き孔からの総湧水量は最大約5,000ℓ/分を観測し，水抜き孔からの細粒分の流失による地山の緩みや作用する水圧のため部分的な支保工の変状も発生した．そのため，トンネル掘削を一時中断しコアボーリングなどの地質調査を行うほか，坑内湧水量の増大に対しては清濁分離を行い，既設の濁水処理設備に対して処理能力200t/hrの設備を増設した．

L3を地形図で仔細に見ると(**図-14**)，直線谷と鞍部列からなるL3(1)，尾根遷緩点と直線谷からなるL3(2)，直線谷と鞍部からなるL3(3)，ダム湖のためにわかりにくいが直線谷を示唆する地形のL3(4)，L3(5)が，不連続的にかつ不明瞭ながらも，全体的には断層地形のリニアメントとして連続しているように見える．

中央構造線に伴う脆弱区間(③～⑧の地質の区間)では大量湧水もなく適切な施工によりトンネルの大変形も未然に防止できた．一方で，①の新第三紀層の流紋岩質凝灰岩から，必ずしも明瞭ではないリニアメントからの大量湧水と変状があった．リニアメントや推定断層を過大に評価してしまうのも問題であるが，今回の事例は，やや不明瞭であっても広く見て，連続性がありそうならば過小評価せずにリスク評価の対象とすべき，という示唆を含んでいるのかもしれない．

事例4：東海北陸自動車道飛騨トンネル[16),17)など]【不良地山と断層地形】

飛騨トンネル(1997年度着工)は全長10.7kmの道路トンネルで，山岳トンネルの本坑掘削として国内で初めて掘削径12.84mの大断面TBMが採用されたことでも有名であるが，不良地山と高圧大量湧水により近年まれに見る難工事となったこと



写真-3　飛騨トンネル先進坑の盤ぶくれ[16)]

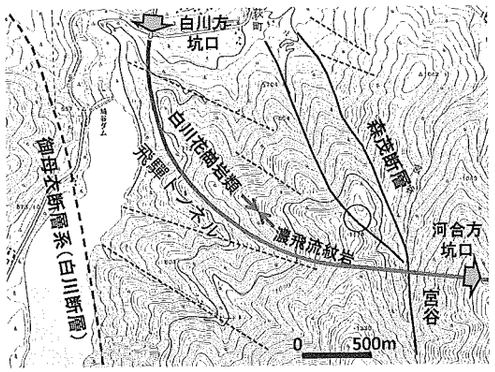


図-15　飛騨トンネルの不良地山と断層地形(国土地理院1：25,000地形図「平瀬」)

(**写真-3**)でもたいへん有名になった．

飛騨トンネル周辺は活断層の密集地帯であるが，ルート上には顕著な活断層は少なく，計画段階の調査ではおおむね良好な地山という評価がなされていた．しかし，念のため設計段階では各種の調査が実施され，断層や変質帯などのリスク検討が行われた．施工段階では予想外の不良地山と高圧大量湧水に遭遇し，空中写真判読も含めた各種の調査が継続的になされた．

突破に4年の歳月を費やした白川方坑口の不良地山は，白川断層(御母衣断層系)と森茂断層に挟まれる1,700mの区間であり，白川花崗岩類，濃飛流紋岩類からなる．読図の結果を**図-15**に示す．森茂断層と考えられる直線谷と鞍部が見られる．この区間では先進坑(避難坑)のTBMがくり返し拘束されたが，トンネルルートと交差するような地形的に明確な特徴はない．

この不良地山区間は，濃飛流紋岩形成時の古い

断層や熱水変質帯に沿って新しい断層が再活動し，地山の脆弱化をさらに促進したものと考えられる．この事例は，一見して断層変位地形や断層削剝地形が乏しい地域で，想定外の不良地山や大量湧水は，予測可能かという問題を改めて提起している．

⑤ おわりに

断層地形に関して2回にわたって解説と施工事例の紹介を行った．地形図や空中写真を利用した断層地形の判読や断層の推定は，計画・調査・設計の段階でかなりの頻度で実施されていると思われるが，その有効活用については意見の分かれるところかもしれない．その理由としては，断層地形が非常に明瞭なものから不明瞭なものまでさまざまで評価にばらつきが大きいこと，断層地形の明確さと地山の悪さ(脆弱度や分布の広さ)が必ずしも対応しないことなどにあると思われる．

しかしながら，本連載(1)にあるように，大局的な地形的判断により計画・調査・設計・施工に対して地質的に重要な問題回避ができることも事実である．とくに，現在ではインターネット上で国土交通省国土地理院の地図閲覧サービス(ウォッちず)を利用していつでも簡単に精度の高い地形図を見ることができる．これを利用しない手はない．これを見て問題がありそうならば，空中写真判読(断層に関してはフォト・リニアメントの判読)，レーザー計測地形画像判読，さらには現地調査に進めば良い．

最後に断層地形の読み方についてまとめてみる．

① 対象となるトンネルを含めて広い範囲で読むことが不可欠である．設計図書にあるトンネルルート沿いの平面図では狭すぎて，断層地形が判読できる場合は少ない．

② 注意すべき断層地形としては，本坑と交差するものは当然として，坑口斜面で交差するもの(とくに，平野部と山間部の境界を通過する活断層)，トンネルルートと並走するもの，断層の末端部が延びてきている可能性がある場合，トンネル付近では不明瞭であるが全体としては非常に連続性があると考えられる場合などがある．

③ 地形図を読む際には，断層変位地形や断層削剝地形の構成要素や特徴を良く理解し，地形図に常日頃から親しむことが望まれる．

④ 著名な活断層では明確な断層変位地形が見られるが，活動度が低いあるいは確実度の低い活断層や古い断層では断層地形の判断に悩むことがあることもまた現実である．

⑤ 断層地形の周辺で，想定外の悪い地山が出現することもある．断層に加えてほかの地形・地質要因も重なった相乗効果による想定外の地山の悪化と推定される．今後の検討対象であろう．

(文責：桑原　徹，居相好信，中間祥二・(株)大林組)

引用文献

1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻　火山・変動地形と応用読図，断層削剝地形，pp.1122–1139，古今書院，2004.4.
2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻　火山・変動地形と応用読図，紛らわしい地形の比較，pp.1158–1165，古今書院，2004.4.
3) 樋上尚子・森川武浩・西本和生・實松茂幸：予期せぬ異常湧水に挑む，国道482号　蘇武トンネル日高工区，トンネルと地下，Vol.33，No.1，pp.17–28，2002.1.
4) 応用地質(株)・兵庫県豊岡土木工事事務所：482号村岡道路(蘇武トンネル)水文調査業務委託報告書(別冊資料1，報告書概要版)，2002.3.
5) 豊原正俊・早坂治俊・江戸川修一：鋼製支保工の高耐力化と早期閉合で膨圧を克服，北陸新幹線　朝日トンネル東工区，トンネルと地下，Vol.29，No.12，pp.7–17，1998.12.
6) 豊原正俊・西則義・林下敏則：長大トンネルのずり搬出に連続ベルコンを採用，北陸新幹線　朝日トンネル西工区，トンネルと地下，Vol.33，No.2，pp.7–16，2002.2.
7) 恒石幸正：阿武隈山地広野地域の地質構造，東京大学地震研究所彙報，Vol.44，pp.749–764，1966.
8) 原繁之：中央本線鳥居ずい道施工について，日本国有鉄道岐阜工事局，岐工情報，No.45，pp.94–103，1968.3.
9) 日本国有鉄道岐阜工事局：岐阜工事局五十年史，第4章　線路増設，第2節　中央西線，薮原・奈良井間，

pp.258–259，1970.3.
10）鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第４巻　火山・変動地形と応用読図，建設計画と読図，トンネルと断層，pp.1254–1255，古今書院，2004.4.
11）北林哲・井出節雄：脆弱な凝灰岩地山におけるNATM，東北自動車道八戸線折爪トンネル，トンネルと地下，Vol.13，No.8，pp.7–16，1982.8.
12）唐沢弘・須田稔：東北自動車道折爪トンネル東工事，国内有数悪地質区間をNATMに設計変更して突破，土木施工，Vol.25，No.10，pp.11–21，1984.10.
13）竹林亜夫・三上元弘・國村省吾・奥井裕三：坑内変位の大きい特殊地山の区分に関する考察，土木学会第59回年次学術講演会講演概要集，Ⅳ–392，pp.781–782，2004.9.
14）活断層研究会編：新編日本の活断層―分布図と資料―，東京大学出版会，437p．1991.3.
15）秋田修・真弓英大・玉井昭雄・岡山徹：中央構造線擾乱帯を貫く，三遠南信自動車道　三遠トンネル，トンネルと地下，Vol.39，No.10，pp.17–27，2008.10.
16）寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・松原利之：不良地山・高圧大量湧水との闘い（不良地山編），東海北陸自動車道　飛騨トンネル，トンネルと地下，Vol.35，No.8，pp.17–25，口絵写真（不良地山と高圧湧水帯に挑む），2004.8.
17）佐野信夫・川北眞嗣・森山守：計画と地質調査，飛騨トンネル開通記念特集，トンネルと地下，Vol.39，No.11，pp.17–26，2008.11.

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

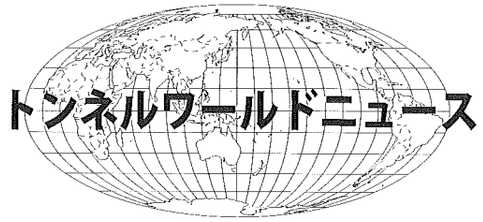
福島啓一著

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



（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

JICAがインドの西ガーツ山脈のトンネル群をサポート

インド南西部カルナータカ州政府は480億インドルピー（880万USドル）の費用で，西ガーツ山脈を貫く５本のトンネルを建設する計画を立てている．

日本国際協力機構（JICA）からの専門家グループは，国道48号線に沿ってバンガロールとマンガロールを接続する高速道路建設に関する報告書を政府に提出した．

JICAの提案では，18.5kmの延伸に，５つのトンネルが含まれている．６年間で建設されるプロジェクトによって，所要時間が３時間から30分以下に短縮されるものと期待されている．また，高速道路は新マンガロール港への接続性を向上させる．

このプロジェクトは，バンガロールと港湾都市マンガロール間の国道を整備する意図をもっている．Sakleshpurからマンガロールに至る現在の道路は，西ガーツ山脈のShirdl Ghat地区を乗り越えるが，その間の30kmは車ではほとんどアクセスできないものとなっている．

政府は環境アセスメントの認可が得られず，４車線化による高速道路の延伸を断念し，トンネル計画案を採用したものである．

（T&TI　'12.8　岡村光政・戸田建設（株））

トンネルの不具合が中国の建設分野を揺るがす

China Daily 紙が最近入手した文書によると，中国の鉄道部は12の路線で，安全を脅かすと考えられる品質の不具合を発見した．いくつかの不具合は営業中の高速鉄道のトンネル内で発見された．トンネルのアーチ部のひび割れと漏水，通信塔の傾き，不完全な電力ケーブル設置を含む建設時の欠陥が，供用中の７路線において日常点検により発見された．高速走行する列車の通過により，ひび割れが生じたアーチ部がさらに損傷し，電力供給システムの切断・破壊の原因となるコンクリート塊落下に至る可能性がある．

ある鉄道トンネルのコンサルタントによると，Wuhan-Guangzhou（武漢–広州）線と，Zhengzhou-Xi'an（鄭州–西安）線のトンネルアーチ部に空洞が見つかっている．問題は，中国とチベットを結ぶ路線を含む，建設中の５つの路線でも見つかっている．鉄道部は，請負者が必要な鉄筋量を配置しなかったことに加え，低品質の材料を全般的に用いたことを非難している．すでに，いくつかの施工・監督会社は，鉄道プロジェクトへの入札が１か月停止されており，この問題をできる限り速やかに手直しするように要求されている．

北京交通大学の教授は，この問題の一部は，数社の大手鉄道工事請負会社が，工事費低減と厳しい工期達成のために小規模な会社に工事を下請けさせたことにより生じたと述べている．

この問題は，新しいものではない．２月には，鉄道部の大臣であるSheng Guangzu氏が，中国の鉄道建設には品質，安全および公務員の行動に対する厳しい監督・監視が要求されると述べている．メディアから得た文書によると，鉄道部は不具合の責任者を罰するための措置をすでに取っている．

（WT　'12.9　担当：日向哲郎・（株）間組）

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	12月31日現在
正会員	1,474名
団体会員	351名
個人会員	1,123名

2. 委員会の開催状況(12月 1 日～31日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(12/4)
大島洋志主査ほか 8 名，1 月号の会誌と 3 か月計画を検討

総務委員会企画運営幹事会(12/27)
小島治雄幹事長ほか 7 名，移行後の諸規程を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外文献WG(12/11)
大久保誠介主査ほか15名，海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(12/25)
浅見均主査ほか 9 名，海外ニュースを査読

◎事業委員会(12/18)
桑原彌介委員長ほか15名，催物開催結果報告および今後の予定を検討

計　5 回開催　59名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会近接施工調査準備会(12/26)
竹中聡委員ほか 9 名，編集方針を検討

◎受託研究特別委員会

地下鉄トンネル塩化物対策検討委員会(12/5)
大即信明委員長ほか27名，塩化物対策を検討

相鉄・JR東急直通線検討委員会現地打合せ会(12/6)
小山幸則委員長ほか15名，西谷地区トンネルシールドマシン視察と質疑応答ほか

小断面掘削工法特別検討会(12/17)
吉富幸雄委員長ほか10名，検討条件を検討

大深度シールド設備特別検討会幹事会(12/17)
中村隆良幹事長ほか11名，アンケート調査項目を検討

九州新幹線(西九州)トンネル検討委員会(12/19, 20)
江﨑哲郎委員長ほか25名，設計・施工を検討

補修補強調査特別検討会海外事例調査WG(12/21)
横尾敦主査ほか 5 名，作業方針を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会(12/26)
西村和夫委員長ほか19名，作業方針を検討

計　8 回開催　129名出席

合計　13回開催　188名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to future －」	2013. 5. 31～6. 7	ジュネーブ（スイス）	Swiss Tunnelling Society International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2013.ch/
第40回ITA総会およびコングレス＊「Tunnels for a better living」	2014. 5. 9～15	イグアス（ブラジル）	COMITE BRASILEIRO DE TUNEIS International Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://www.wtc2014.com.br/
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22～28	ドヴロヴニク（クロアチア）	Croatian Tunnelling Association Tunnelling and Underground Space Association（国際トンネル協会） http://wtc15.com/

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

4. 平成24年度催物開催現況

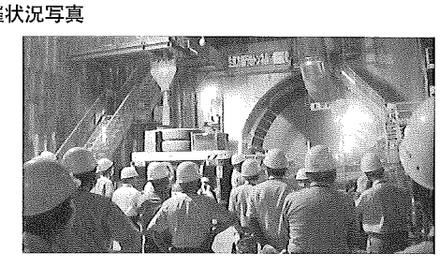
(平成24年12月現在)

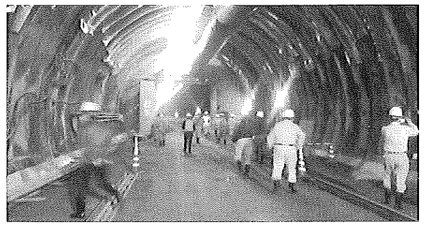
催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(見学会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会(八之尻，醍醐山)	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会(赤尾第一，中津)	2012. 8.28	22	大分県	3.2
横浜環状北線シールド工事現場研修会	2012. 9.21	24	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会(雁峰，稲木)	2012. 9.26	21	岐阜県	2.5
清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会	2012.10.26	24	大阪府	2.0
阪神高速大和川線トンネル工事現場研修会	2012.11.26	20	大阪府	2.8
(大和川線シールド，三宝第 4 工区(その 1)開削および換気所)				
仙台市地下鉄東西線現場研修会	2012.12. 7	12	宮城県	3.5
下水道工事現場研修会(第二溜池幹線および勝どき幹線工事)	2013. 1.24	30	東京都	2.5
東北・道路トンネル現場研修会(国道45号是川)	**2013. 2. 6**	**25**	**青森県**	**2.0**
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫事例」	2012. 6.26	154	東京都	5.1
第71回(都市)「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」	2012. 6.27	104	東京都	5.6
(講演，講習会)				
第14回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2012. 9.27, 28	19	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2012.11.21, 22	24	東京都	9.8

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

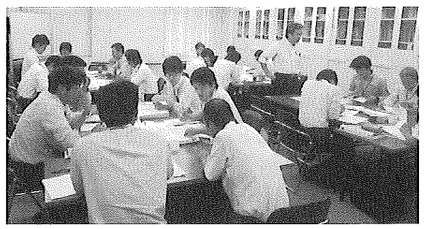
催物開催状況写真


新東名高速道路トンネル工事現場研修会より


横浜環状北線トンネル工事現場研修会より


清滝生駒道路清滝トンネル工事現場研修会より


仙台市地下鉄現場研修会より


ステップアップ研修会(シールド部門)問題演習より


ステップアップ研修会(山岳部門)質疑応答より

2013トンネル技術研究発表会

主催　北海道土木技術会トンネル研究委員会
社団法人日本トンネル技術協会

日　　時：平成25年2月22日(金)　10：00～17：00
場　　所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)
(札幌市北区北8条西5丁目　TEL：011-706-2141)
参 加 費：研究発表会　6,000円(論文集を含む)，意見交換会　4,000円
申し込み方法：FAXでお申し込みください(メールでも結構です)．
申 し 込 み 先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局
(株)開発工営社内　熊木　TEL：011-207-3666　FAX：011-200-1377
E-mail kumaki@kai-koei.co.jp
もしくは，(株)ダイヤコンサルタント内　水島・加藤・佐々木
TEL：011-729-2701　FAX：011-729-2688
申し込み締切：平成25年2月14日(木)
定　　員：250名
そ の 他：・参加費は，なるべく事前に銀行振込(振込料はご負担願います)お願い申し上げます．また，当日会場にて現金もしくは後日銀行振込する場合は，その旨を申込書に記載していただきますようお願い申し上げます．
振込先：北洋銀行　北七条支店(312)普通3518303
・論文集は当日，ご所属，ご氏名を確認のうえ，会場でお渡し致します．
・発表会場に駐車場がありません．JR，地下鉄，バスなどの公共交通機関をご利用ください．
※1 プログラムはトンネル研究員会のホームページhttp://www.ejsd.net/tunnel/でも掲載しております．
※2 本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されています．

プログラム(案)：

10：00～10：15　開会挨拶　　北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長　藤井　義明

研究発表(第1部)

10：15～10：40　「大土被りにおける蛇紋岩掘削の工事報告」
―一般国道40号 音威子府村音威子府トンネル―
鹿島・荒井特定建設工事共同企業体　山岸　隆史
鹿島・荒井特定建設工事共同企業体　○秀島　賢保
鹿島・荒井特定建設工事共同企業体　西川　元気

10：40～11：05　「地すべり陥没帯において効果的な水抜きによりトンネルを掘削」
―北海道新幹線，新茂辺地トンネル―
(独)鉄道運輸機構北海道新幹線建設局　○浦川　博臣
(独)鉄道運輸機構北海道新幹線建設局　加藤　建二
(独)鉄道運輸機構北斗鉄道建設所　山崎　貴之
大林・宮坂・松本北海道新幹線,新茂辺地トンネル西JV　中野　俊秀
大林・宮坂・松本北海道新幹線,新茂辺地トンネル西JV　後藤　隆之

11：05～11：30　「熱変質を受けた自破砕溶岩によるトンネル変状部の設計・施工」
―一般国道231号　石狩市　新送毛トンネル―
北海道開発局札幌開発建設部道路整備保全課　佐藤　嘉高
北海道開発局札幌開発建設部道路整備保全課　多田　和広
北海道開発局札幌開発建設部滝川道路事務所　佐々木　隆
清水・岩田地崎・伊藤特定建設工事共同企業体　○石黒　聡
清水・岩田地崎・伊藤特定建設工事共同企業体　宇治川徳夫
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部　福田　和寛

11：30～11：55　「既設トンネル復旧工事にともなう計測管理事例」
―道道小樽定山渓線　四ツ峰トンネル復旧工事―
札幌市建設局土木部工事課　野上　徹
(株)エーティック第二技術部　小原　雄一
(株)エーティック第二技術部　○霜出　睦

11：55～13：00　休憩(昼食)

13：00～14：50　特別講演
「都市部山岳トンネル施工における地表面沈下の予測評価と対策工の選定」
長崎大学大学院工学研究科教授　蒋　宇静

14：50～15：10　休　憩

研究発表(第2部)

15：10～15：35　「ドリルジャンボによる切羽前方地山のコアサンプリング技術の開発」
五洋建設(株)土木部門土木本部土木設計部　河上　清和
五洋建設(株)土木部門土木本部土木設計部　○土田　淳也
五洋建設(株)技術研究所土木技術開発部　藤田　真司
東邦金属(株)営業部　鶴田　竜二

15：35～16：00　「走行型計測技術による道路トンネル健全性評価の実用化検討に関する研究」
京都大学総長特別補佐/京都大学名誉教授　○大西　有三
パシフィックコンサルタンツ(株)交通基盤事業本部トンネル部　安田　亨
(株)ニュージェック道路グループ　水口　尚司
(株)ダイヤコンサルタント北海道支社設計部　水島　秀明

16：00～16：25　「セットフォーム工法による覆工背面空洞充填対策について」
(株)マシノトンネルグループ　望月　道規
(株)マシノトンネルグループ　○濵田　晋
(株)マシノトンネルグループ　米村　紳也

16：25～16：50　「長大トンネルにおける可燃性ガス対策工」
―実現場での適用事例―
(株)奥村組東日本支社土木第二部　竹本　光慶
(株)奥村組東北支店土木部　後藤　靖彦
(株)奥村組東日本支社土木技術部　○安井　啓祐

16：50～17：00　閉会挨拶

17：30～19：00　意見交換会

3月号予告[3月1日発売予定]

- ●高速道路2車線トンネルにおける高規支保構造の標準化
- ●ボスポラス海峡横断鉄道トンネル
- ●新若戸道路　若戸トンネル
- ●首都高速中央環状品川線シールドトンネル
- ●京王電鉄　調布駅付近連続立体交差事業

【連載講座】

- ●トンネル技術者のための地相入門(11)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆昨年500号を迎えた「トンネルと地下」は，本号で510号となりました．これまでに掲載された論文数は2,872論文です（ただし，連載講座は除く）．内訳は「施工」が1,919件，「研究」が361件，「報告」が227件，「解説」が256件，「計画」が109件となっております．所属別に見ますと発注者側では，旧国鉄を含むJRと旧JHを含むNEXCOが300件，続いて東京都292件，旧日本鉄道建設公団を含む鉄道・運輸機構が268件，旧建設省・運輸省を含む国土交通省が183件，旧営団を含む東京地下鉄が136件，以下東京電力の87件となります．施工者側はトップが大成建設で161件，続いて清水建設の131件，鹿島建設124件，熊谷組121件，大林組116件，西松建設105件，佐藤工業95件，前田建設工業88件，飛島建設82件，奥村組70件となります（ただし，JVのサブも含む）．

◆「トンネルと地下」誌では随時投稿を受け付けております．投稿の際は，当社ホームページ（http://www.tunnel.ne.jp）に投稿規定を載せておりますのでそちらをご覧ください．当誌が皆様方の技術のアピールの場として利用いただけるよう編集部一同投稿お待ちいたしております．

(I.Y)

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

トンネルと地下
第44巻 第2号〔通巻510号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年1月20日　印刷
平成25年2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．

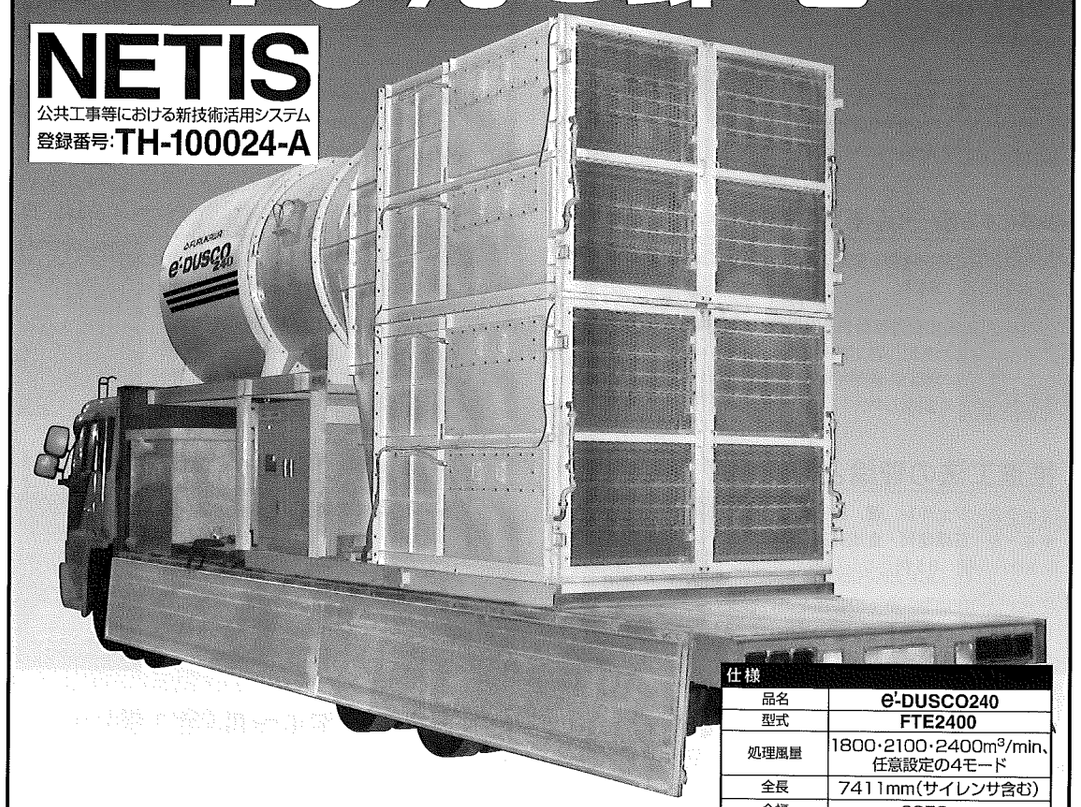
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

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	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

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

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

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

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

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

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

図書案内

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際



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

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

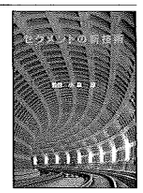
わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

地質工学概論



菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）



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

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

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

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

トンネルと地下



1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

書籍のお申し込み

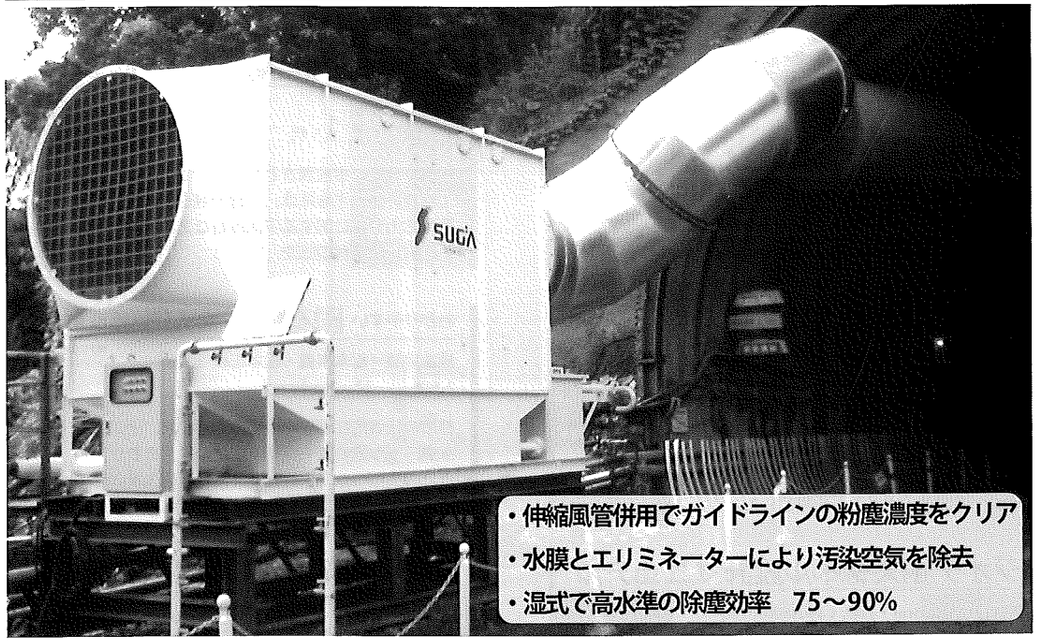
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

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

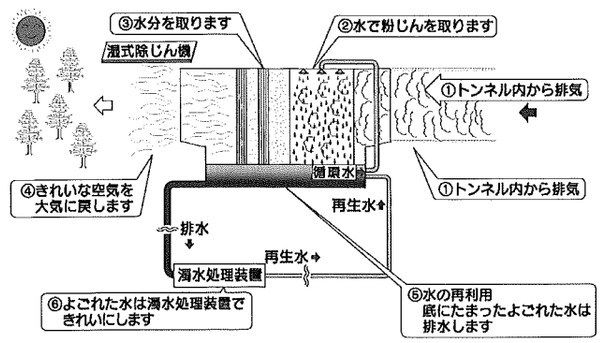
新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

湿式除塵機 シャワーエリミナー

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



除じん機による浄化フロー



機　種

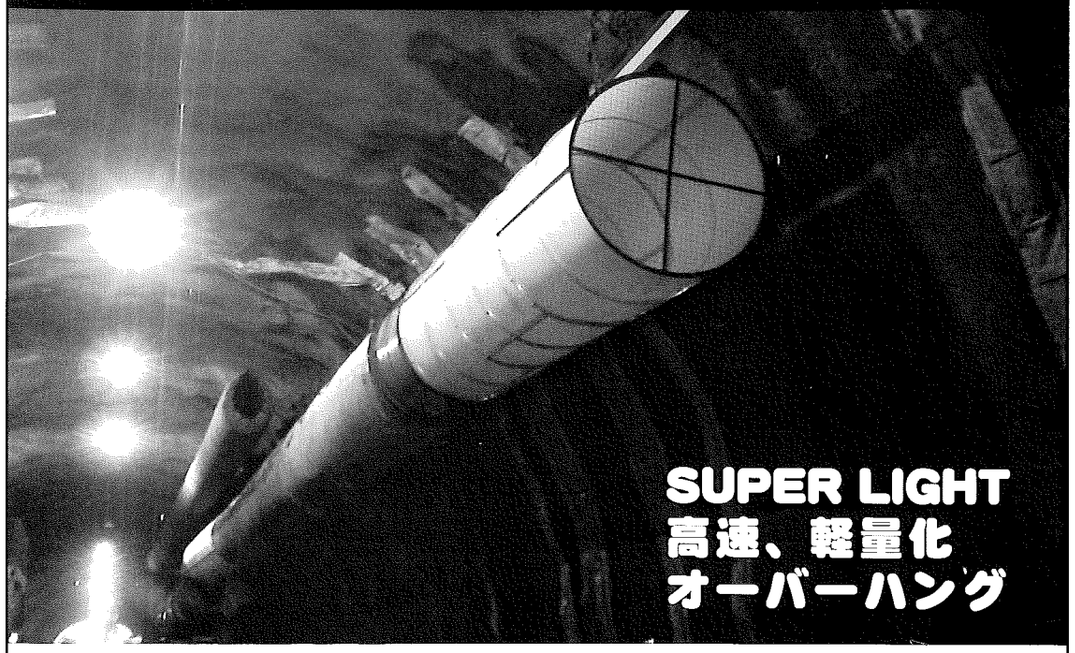
①1500㎥/min　動力：7.5kW
②2000㎥/min　動力：11.0kW
＊動力は循環ポンプのみ
＊使用水は再生水循環式

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

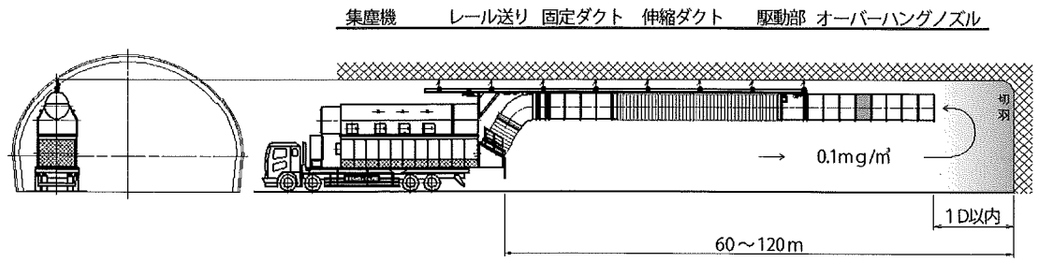
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

時代は吸引捕集方式へ・・・

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



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



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