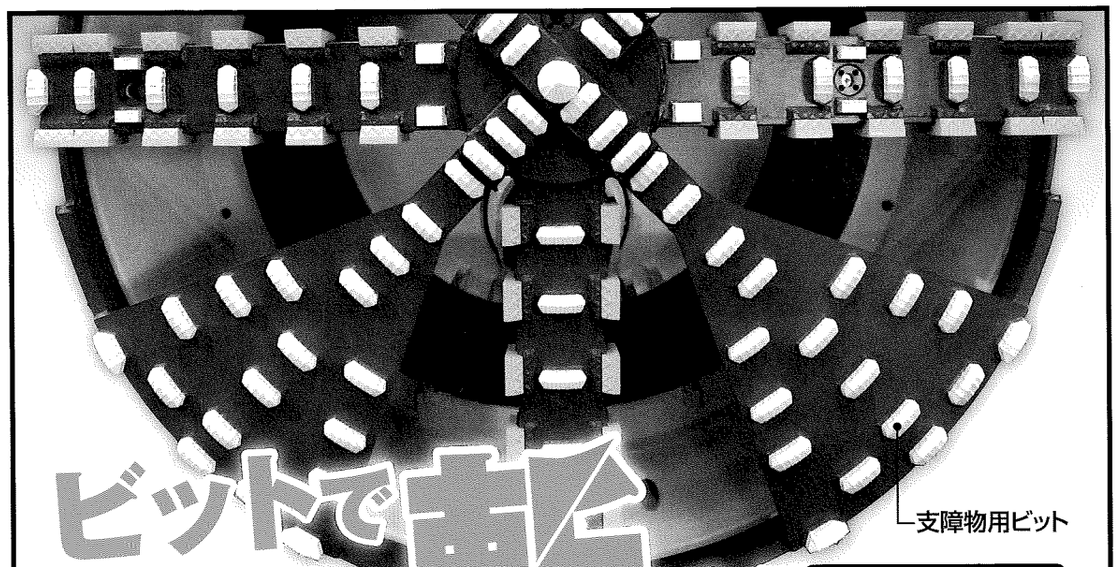
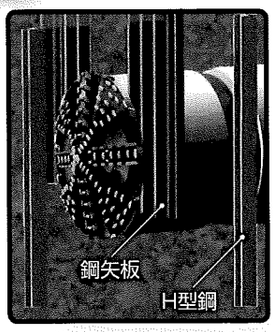
トンネルと地下　平成24年10月１日発行第43巻第10号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



ビットで杭を斬る!

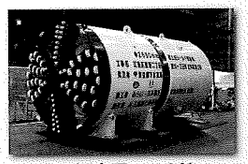
三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けて円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。



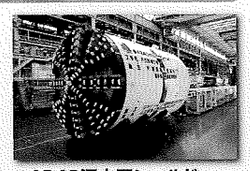
特　長

- 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。

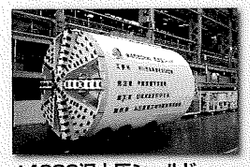
施工実績



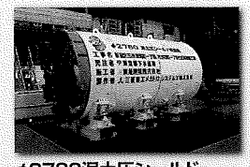
φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



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06619-10
4910066191023
01500

平成24年10月１日発行(毎月１回１日発行)　第43巻第10号　通巻506号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 10

vol. 43
no. 10
2012

Tunnels and Underground

周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用
狭隘なスペースと近接施工を克服した深さ56mの立坑の築造
長期間の計測データを活用したトンネル変状の将来予測
「ITA総会および世界トンネル会議(バンコク)」報告

日本トンネル技術協会誌



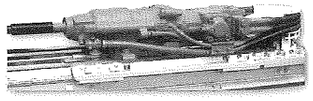
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

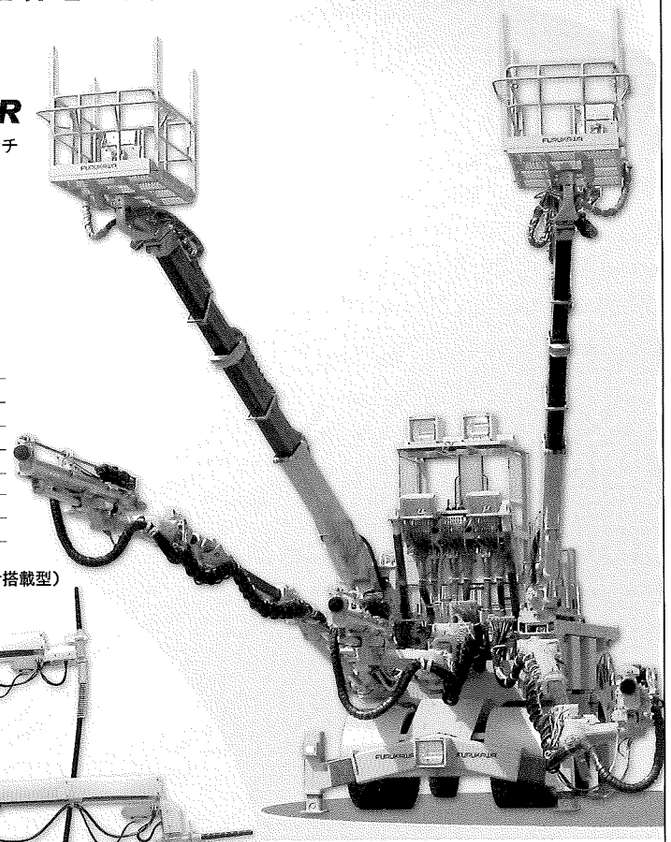
ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/JTH3200R

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

新世代型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載。

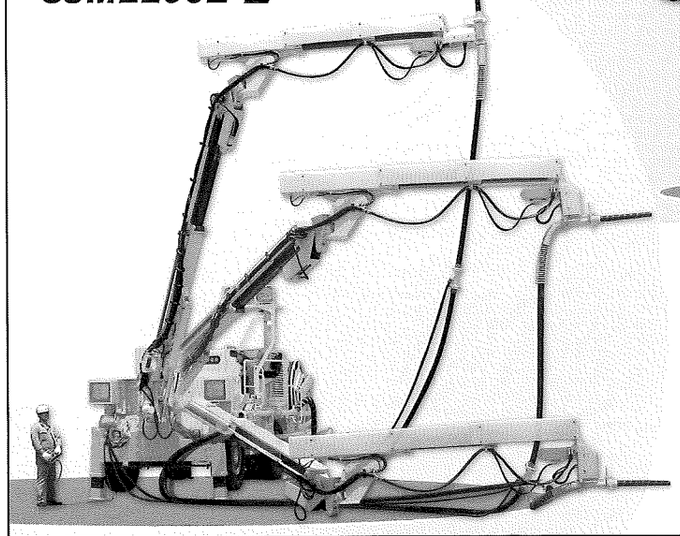




◆主な仕様	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5 ton	43 ton
全　長	14,270 mm	14,760 mm
全　幅	2,690 mm	3,140 mm
全　高	4,000 mm	4,190 mm
水平さく孔範囲		
幅	12,770 mm	13,220 mm
高　さ	8,490 mm	8,840 mm

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



◆CJM2200E-Ⅲ 主な仕様	
質　量	24 ton
全　長	15,600 mm
全　幅	3,000 mm
全　高	4,000 mm
水平さく孔範囲	
幅 x 高 さ	13.3m x 10 m

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

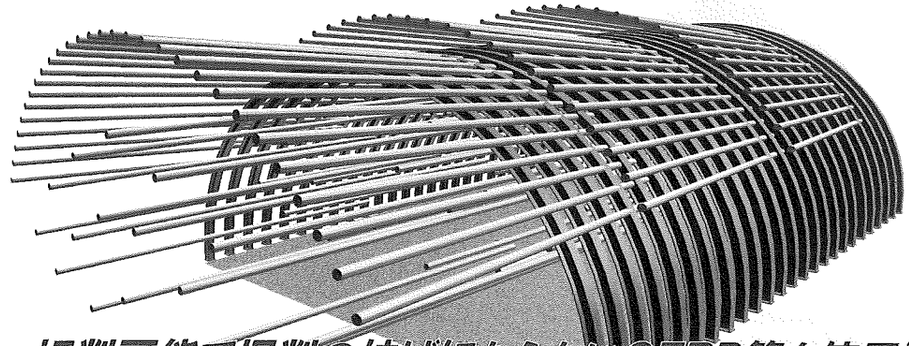
古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社
www.furukawarockdrill.co.jp
本　社　〒103-0027　東京都中央区日本橋一丁目5番3号　特機部　☎03(3231)6966
札幌支店☎011-786-2222　東北支店☎022-384-8991　関東支店☎027-326-9611　名古屋支店☎0568-77-7700
関西支店☎06-6475-8221　広　島☎082-832-3542　九　州☎092-948-2010

全方位 GFRP 管長尺補強システム

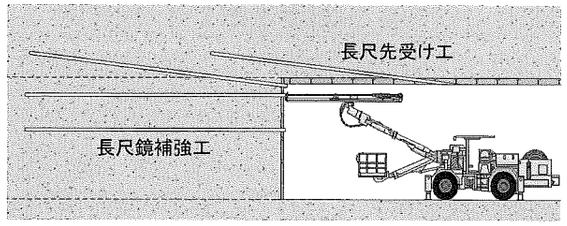
特許登録 第2955279号
NETIS登録(No. CB-030065)
施工実績 300件以上

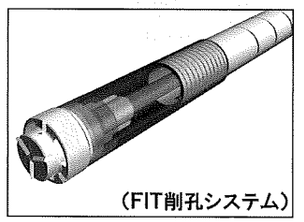
FIT 工法

FRP INJECTION TUBE

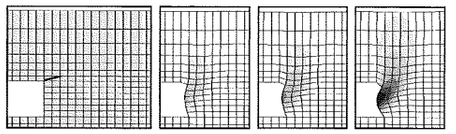


切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。

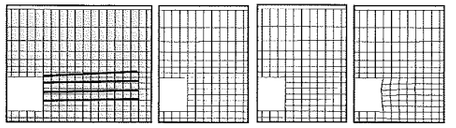




(FIT削孔システム)



フォアポーリング

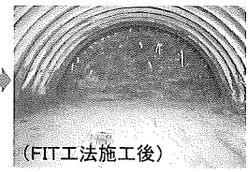


FIT工法

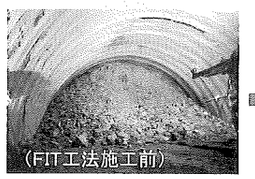
(数値解析による効果の検証例)



(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)



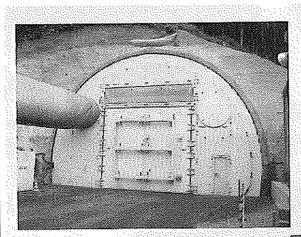
(FIT工法施工前)



(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部　TEL(03)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/

快適な作業環境を提供する騒音対策システム
～25年の実績が最大級の安心をご提供いたします～



【防　　音　　扉】

HFS 型　マ ー ク Ⅱ
HFS 型　マークⅡ10s
HFS 型　マークⅡ10c
HFS 型　マークⅡ15c



防音扉には生産物賠償責任保険(対人)が付いております。

『防音扉マークⅡ』の音響性能

対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	18 dB(A)	13 dB
2基設置	28 dB(A)	19 dB

『防音扉マークⅡ10s』の音響性能

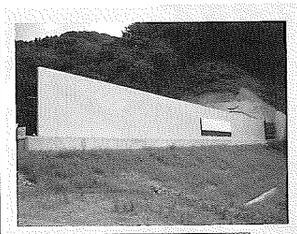
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	16 dB
2基設置	29 dB(A)	25 dB

『防音扉マークⅡ10c』の音響性能

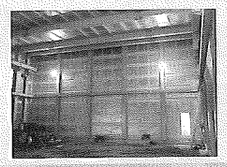
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	19 dB(A)	20 dB
2基設置	29 dB(A)	33 dB

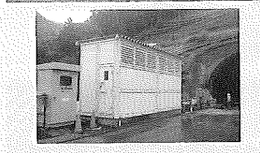
『防音扉マークⅡ15c』の音響性能

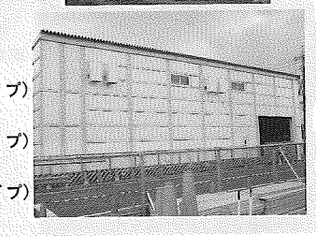
対　策	騒音レベル	低周波音圧レベル
1基設置	21 dB(A)	23 dB
2基設置	30 dB(A)	36 dB



【防　　音　　壁】
【防 音 ハ ウ ス】
【防音シェルター】
【防 音 ボ ッ ク ス】







S タイプ(スタンダードタイプ)
D タイプ(デ ラ ッ ク ス タ イ プ)
H タイプ(ハイデラックスタイプ)

『防音パネルSタイプ』の音響性能

項　目	1/1オクターブバンド中心周波数【Hz】					
	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	14	18	29	36	43	49
吸 音 率【%】	33	80	89	84	81	76

『防音パネルDタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	22	32	37	38	37	43
吸 音 率【%】	51	77	75	81	71	62

『防音パネルHタイプ』の音響性能

項　目	125	250	500	1k	2k	4k
透過損失【dB】	32	32	38	46	50	53
吸 音 率【%】	57	48	61	76	86	91

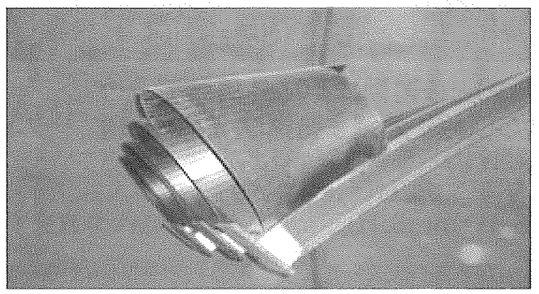
防音設備の設計，製造，施工，リース

株 式 会 社 ヒ ュ ー ズ

本　　社　〒132-0035　東京都江戸川区平井 6-35-5　TEL. 03-3617-8111　FAX. 03-3617-7565
大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14　TEL. 06-6359-2611　FAX. 06-6359-2288
E-mail：info@fuse-ind.co.jp　http://www.fuse-ind.co.jp
建設業登録：東京都知事許可（般-20）第130153号
【建設騒音対策協会】E-mail：souon@fuse-ind.co.jp

軟弱地盤に効果を発揮

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



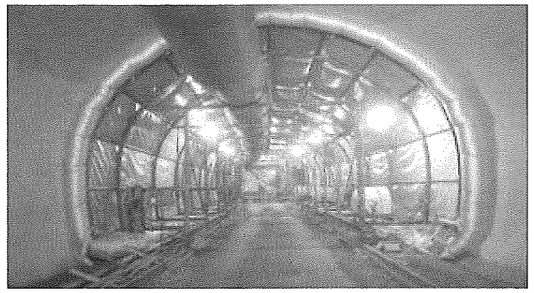


従来の H 形鋼ではなく，薄鋼板を中空の円錐台形に加工したウイングリブです．
現場ストックが可能な，ボルトによる脱着式です．

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

トンネル覆工コンクリートの品質革命

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





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

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

実績および採用決定
（平成23年４月現在）

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

株式会社　マシノ　トンネルグループ

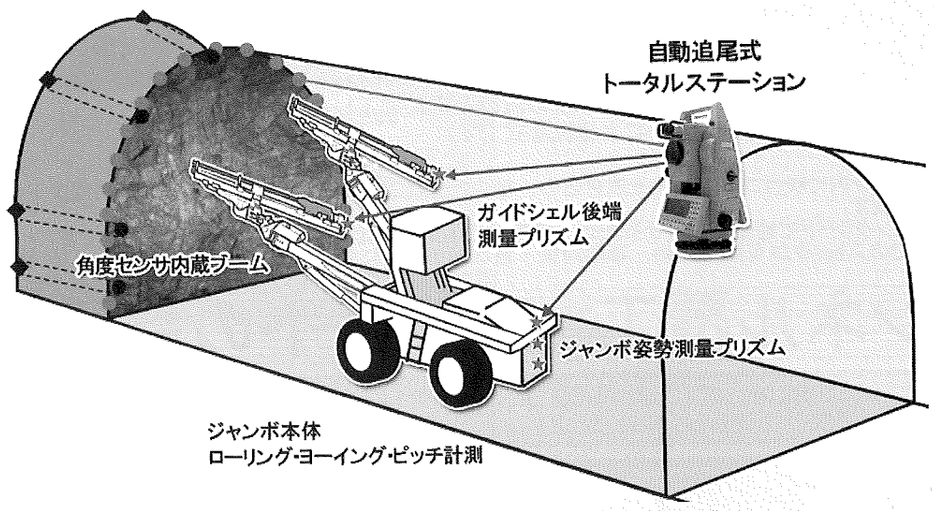
本　　社　〒733-0822　広島市西区庚午中１丁目 19-23
TEL（082）507-2737　FAX（082）507-2721
大阪支店　〒564-0062　大阪府吹田市垂水町３丁目 16-3
TEL（06）6389-6400　FAX（06）6389-6410

NETIS登録番号:KK-100049-A

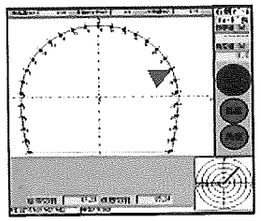
自動追尾式余掘り低減システム

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

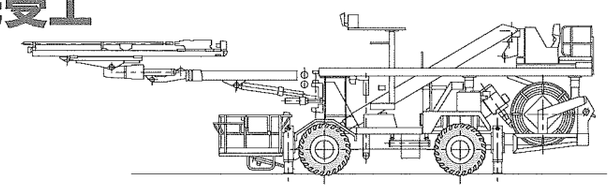
〒103-0027　東京都中央区日本橋1-5-3
特機部

TEL:03-3231-6966　FAX:03-3231-6993

環境対応型長尺鋼管先受工

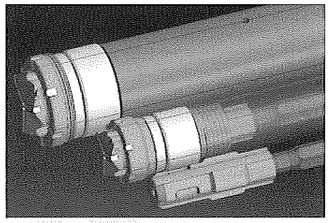
TOHO AGF System

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

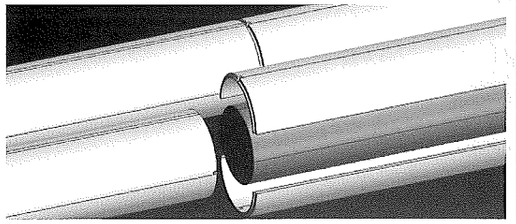


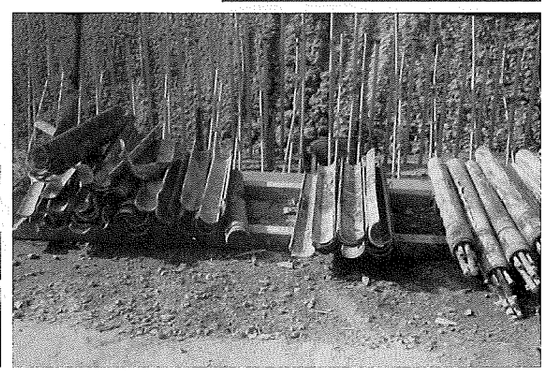
AGF-Me工法

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



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



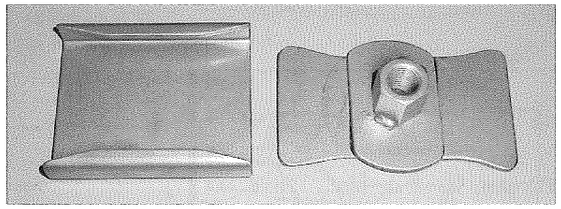


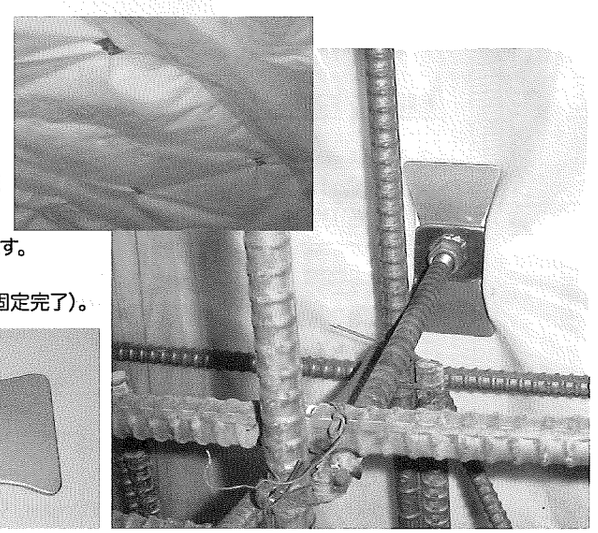
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





東邦金属株式会社 TOHO KINZOKU Co., LTD　東京営業部

〒107-0052
東京都港区赤坂2-19-8　赤坂２丁目アネックス６Ｆ
Tel: 03-5545-7900　Fax: 03-5545-7905
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール

〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

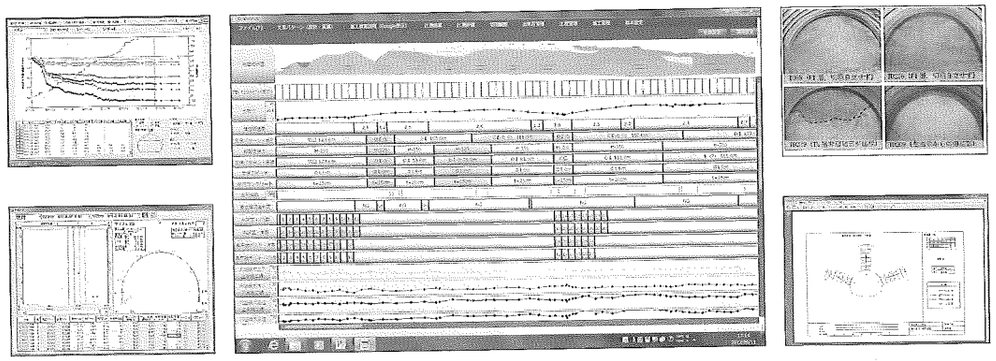
This August Debut

新時代の切羽情報管理システム

Cyber NATM 2nd Generation

CYBER NATM Horus

トンネル管理の原点はやはり巻物であった

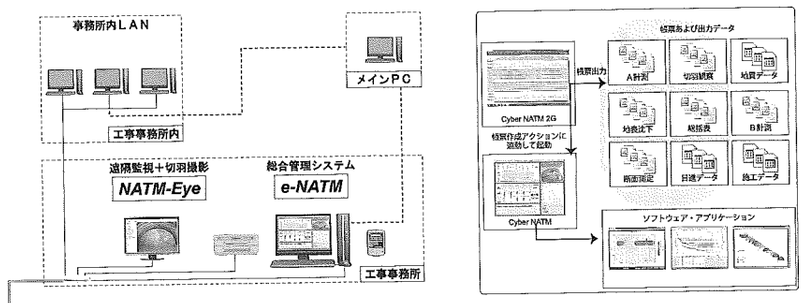


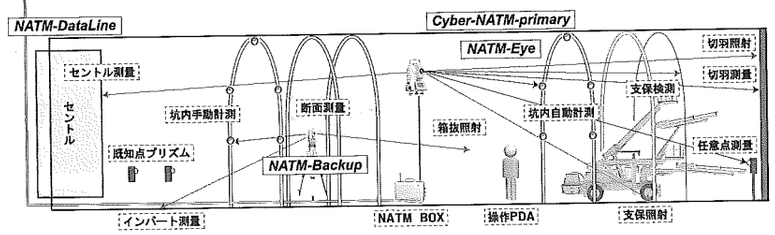
トンネルアーカイブス
IT Scroll management

トンネル連続情報を可視化する

トンネル技術情報を共有化する

トンネル施工情報を一元化する





enzan Koubou

株式会社　演算工房　ENZANKOUBOU CO.,LTD.

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

TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

パターンボルトのGRP化

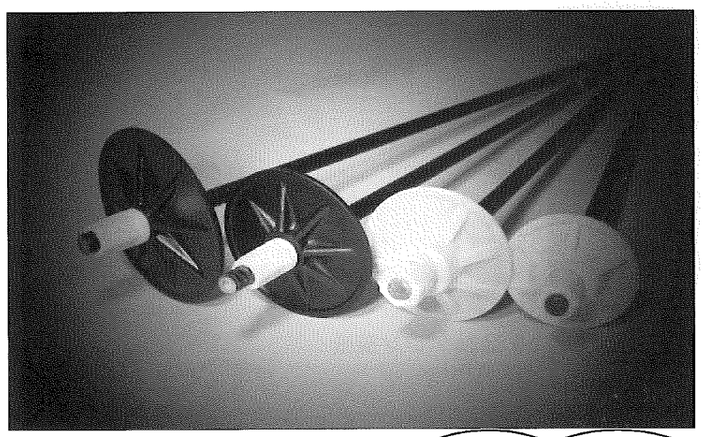
POWERTHREAD

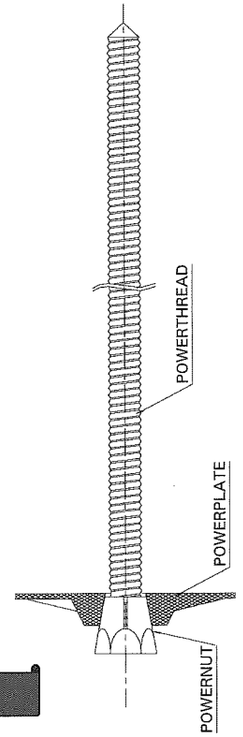
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

耐食機能に優れるロックボルト

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

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





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

環境にやさしいロックボルトシステム

KATECS

株式会社 カテックス
建設資材事業部

ホームページ http://www.katecs.co.jp/

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

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

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

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

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

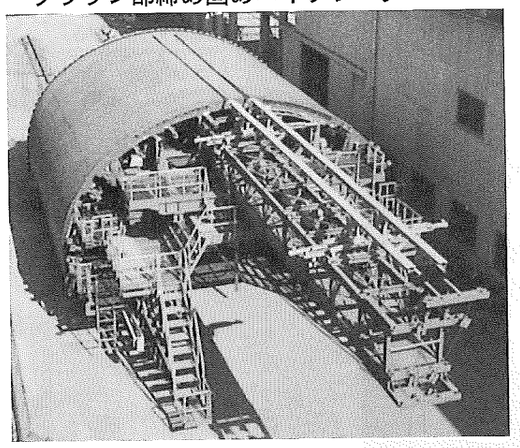
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田(かいた)工場

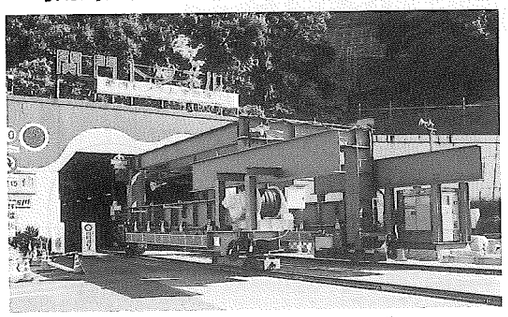
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田(せいた)2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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

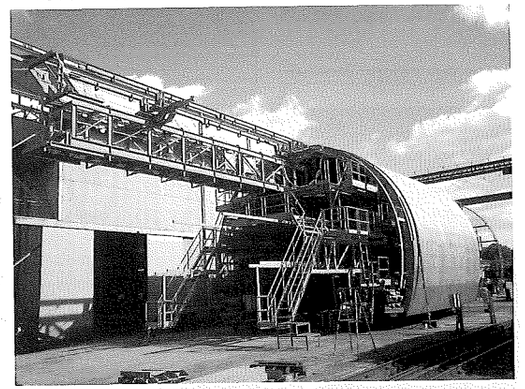


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

● トンネル床版撤去架台
　勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム



● 自動ケレン装置



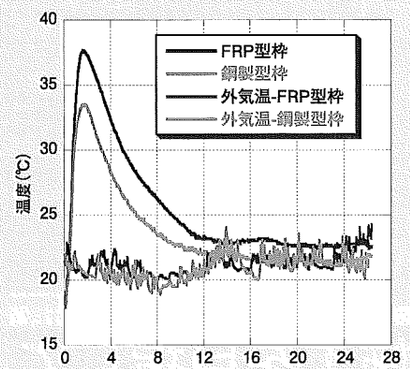
- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

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

覆工コンクリート革命

◎型枠脱型時の強度が15～20%向上
⇒コンクリート剥離の低減

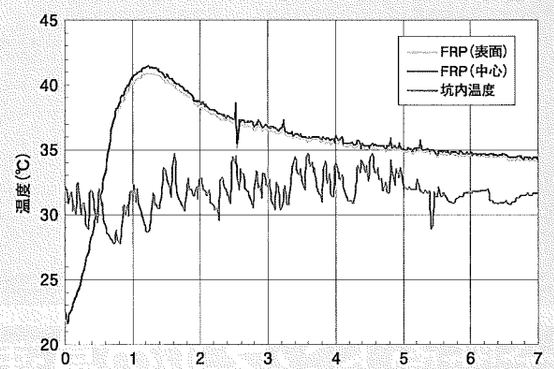
［宮崎大学との共同研究により、㈱フジタ 古江トンネル南にて測定］



■覆工コンクリート温度の比較

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

［㈱フジタJV宮崎県野地トンネルにて計測］

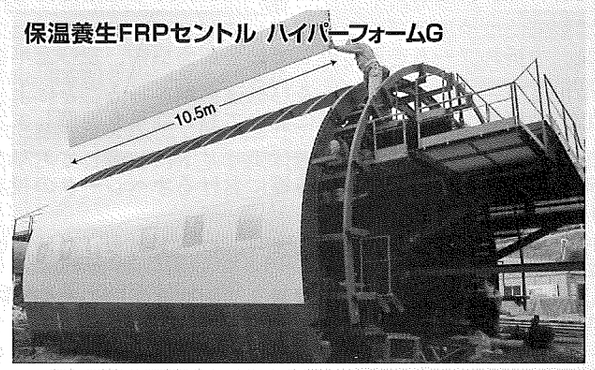


■コンクリート中心温度と型枠背面の温度差

特　徴

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

保温養生FRPセントル ハイパーフォームG



MKE 株式会社 エムケーエンジニアリング

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

全断面対応トンネル高速施工掘進機

ロードヘッダ SLB-350S



トンネル掘削状況

全断面トンネルの高速施工を目指して

特　徴

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



スライドデッキ

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

製造，販売，レンタル及びメンテナンス　株式会社 三井三池製作所

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

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

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

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

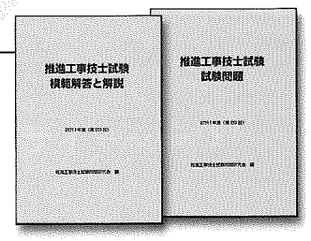
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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(公社)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23年度版発売中!!

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土 田 義 弐

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

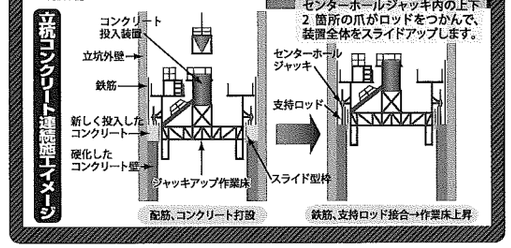
スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

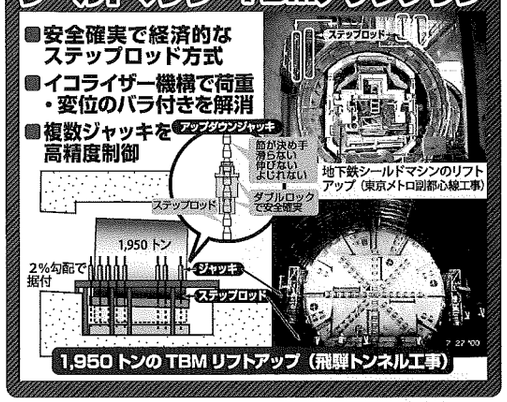
- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン





シールドマシン・TBMアップダウン

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



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

JFEシビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ
〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号（JFE蔵前ビル）
TEL:03-3864-5293　FAX:03-3864-7319
URL http://www.jfe-civil.com/　E-mail jack@jfe-civil.com

T&M
Tunnel & Mining
ニシオティーアンドエム株式会社
山岳トンネル施工機械等の総合レンタル企業
http://www.nishio-tm.co.jp
〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

■北海道支店
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716
■東北営業所
tel：0198-26-0240
fax：0198-26-0241
■関東支店
tel：0268-62-1426
fax：0268-62-1999
■大阪支店
tel：072-677-2101
fax：072-677-2109
■九州支店
tel：0982-26-2111
fax：0982-26-2290

快適な運転、優れた耐久性



坑内専用リジッドダンプ
FV50JJWD324

国土交通省排ガス3次トンネル工事用指定

- 超耐磨耗性鋼板使用ベッセル
- 2重構造スーパーフレーム



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

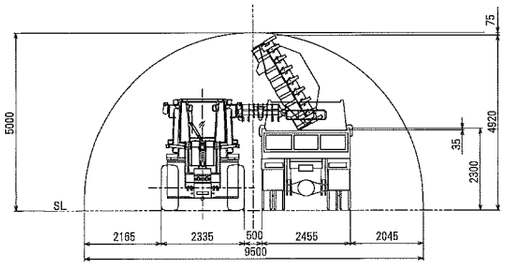
	一般ダンプ	FV50JJWD324
最大積載重量	10t	25t
ホイールベース	4.520m	4.520m
タイヤ&ホイール	11R22.5-14PR（8スタッド）	12.00-20-18PR（10スタッド）
エンジン 最高出力kw(ps)/rpm 最大トルクN・m(kgf・m)/rpm	6M70T3 380PS/185kgf・m 279(380)/1,800 1,810(185)/1,100 (JP05)	6M70-TL 370PS/154kgf・m 272(370)/2,000 1,510(154)/1,600 （産業用第3次排出ガス規制）
パワーステアリング	シングル	ツイン
フレーム	17	t8+t8（二重フレーム）
その他	—	専用アスクル&サスペンション



サイドダンプ

CAT 924H

1.5m³



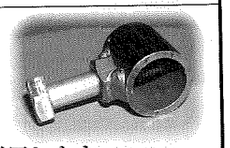
k lea 株式会社 ケイ・リー

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

URL　http://klea.catrent.com

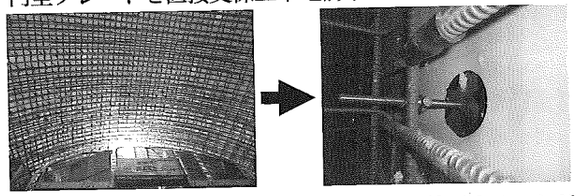
コストダウンを可能にする
Kリング・Kプレート

施工方法等詳細については下記までご連絡ください
製造・販売元 **静岡スチール**
〒436-0342　静岡県掛川市上西郷 765-1
TEL：0537-24-3886　FAX：0537-24-3859
Mail：ktk@r5.dion.ne.jp



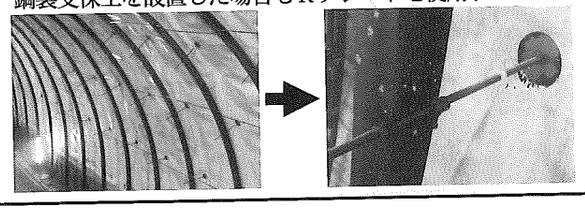
①アーチ鉄筋組立金物（Kリング）特許出願中（特願 2001-309314 号）
トンネル覆工工事におけるアーチ鉄筋組立金物。
コストダウン、安全、工期、品質の向上を可能にします。

②トンネル覆工鉄筋防水シート接着ジベル筋組立（K プレート）
円型プレートを直接支保工下地防水シートに接着して使用します。Kリングと併用します。



ウォータータイト(全周止水)トンネルにおいて覆工コンクリートの鉄筋を自立させることによって、鉄筋受け架台の鋼製支保工コストの大幅削減を可能にすることができます。

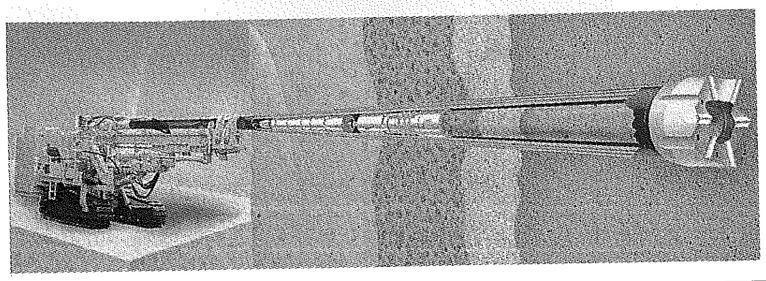
鋼製支保工を設置した場合もKプレートを使用することが可能です。



Kプレートで鋼製支保工を固定。
架台の鋼製支保工の固定にも使用できます。

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特 長
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。
②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

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

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



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

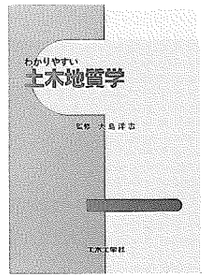
オリカ社は、今まで積み重ねてきた研究開発と技術力を駆使して、お客様が毎日直面する課題の解決策をご提供することができます。自由に延時設定可能なトンネル専用電子雷管eDev、トンネル発破デザインソフト New SHOTPlus-T™、高エネルギーエマルション爆薬の結果をご覧になることができます。これらはすべて、お客様のご要望に沿って全てのプロジェクトに最適な技術サービスとサポートをご提供した結果です。

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

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

ORICA MINING SERVICES

〔好評発売中〕
わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修
Ｂ５判　209頁　本体価格2,500円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水

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

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

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

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

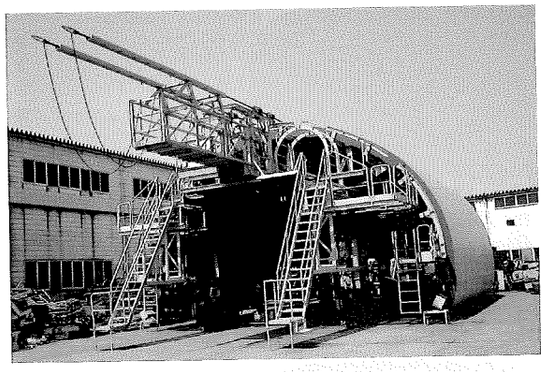
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

要求性能を満たす
覆工コンクリートの品質向上技術

鉄筋区間併用タイプ

天端引抜バイブレータ装置

NETIS 登録 No.HR-080001-A

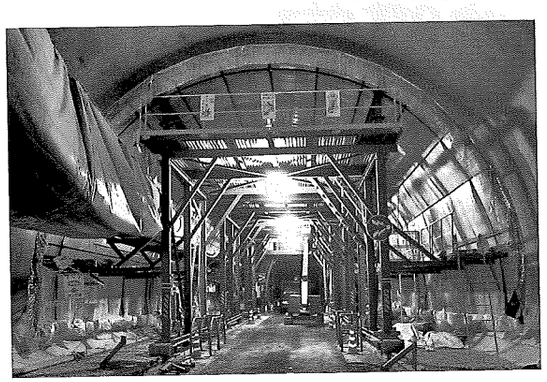


期待される効果・特徴

- 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.HR-080002-A



期待される効果・特徴

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

北陸鋼産株式会社

(旧社名　株式会社 佐賀)

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

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

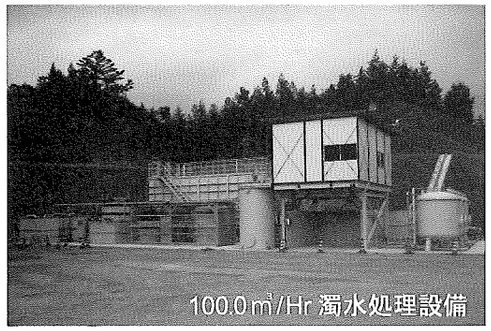
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121　東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423

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

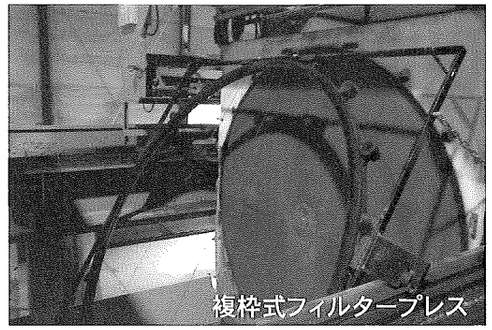
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい ＴＷＳ型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫



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

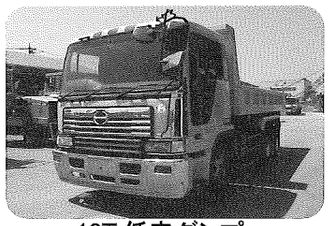




10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

トンネルと地下　10月号目次

Vol.43, No.10, 2012 Oct.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

早期の復興と強靭な国土形成を

大和　修二……5

■研　　究

長期間の計測データを活用したトンネル変状の将来予測

津野　　究・仲山　貴司・平田　　亮・嶋本　敬介……31

■報　　告

「ITA総会および世界トンネル会議（バンコク）」報告

日本トンネル技術協会……37

■施　　工

周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用

―圏央道　高尾山トンネル―

田村　　央・平田　大輔・井上　　啓・加藤　宏征……7

狭隘なスペースと近接施工を克服した深さ56mの立坑の築造

―東京都下水道　千代田区永田町一丁目付近枝線―

寺本 康宏・小島 延連・上村　　稔……15

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

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門（６）

―傾斜層下のトンネル工事―

「地相入門」連載講座小委員会……45

■現場だより

「戦国武将に出逢えるまち」長浜市石田町より

真嶋　敏之……24

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

自らの頭で考え，自らの足で調査し，自らの手で試験する

亀岡　美友……25

■資　　料

土木情報

編　集　部……55

トンネルジャーナル

編　集　部……58

工法・技術・製品ニュース

編　集　部……56

トンネルワールドニューズ

JTA国際委員会……59

■会　　報

会　　報

日本トンネル技術協会……61

【表紙説明】　周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用
―圏央道　高尾山トンネル―



圏央道高尾山トンネルは，圏央道と中央自動車道が接続する八王子JCTの南に位置する全長約1.3kmのトンネルである．高尾山トンネルは全線「明治の森高尾国定公園」内に位置しており，自然豊かな高尾山の水環境や植生環境の保全が重要な課題であった．そのため，一部区間で覆工止水構造を採用するなど，水環境を保全するための新技術・工法を採用した．写真は，高尾山トンネル付近の航空写真である．

〔写真提供：国土交通省〕（本文７頁参照）

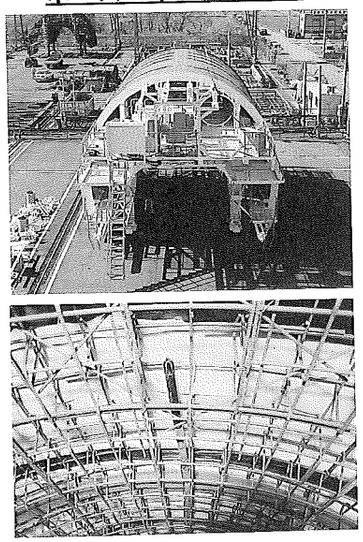
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

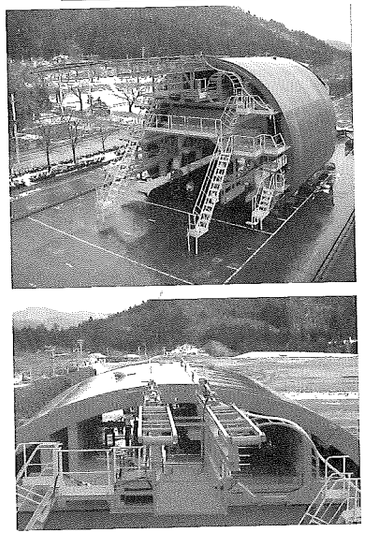
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



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

効果・特徴

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

GIFU KOGYO

岐阜工業株式会社

GIFU KOGYO CO.,LTD

本　　社　岐阜県本巣市十四条１４４番地　〒501-0464
本社工場　TEL (058)323-2000㈹　FAX (058)323-1176

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

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

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大 島 洋 志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩 田 美 幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大 石 敬 司
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部次長

大 津 敏 郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

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

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小 松 敏 彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志 岐　　寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

福 家 佳 則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

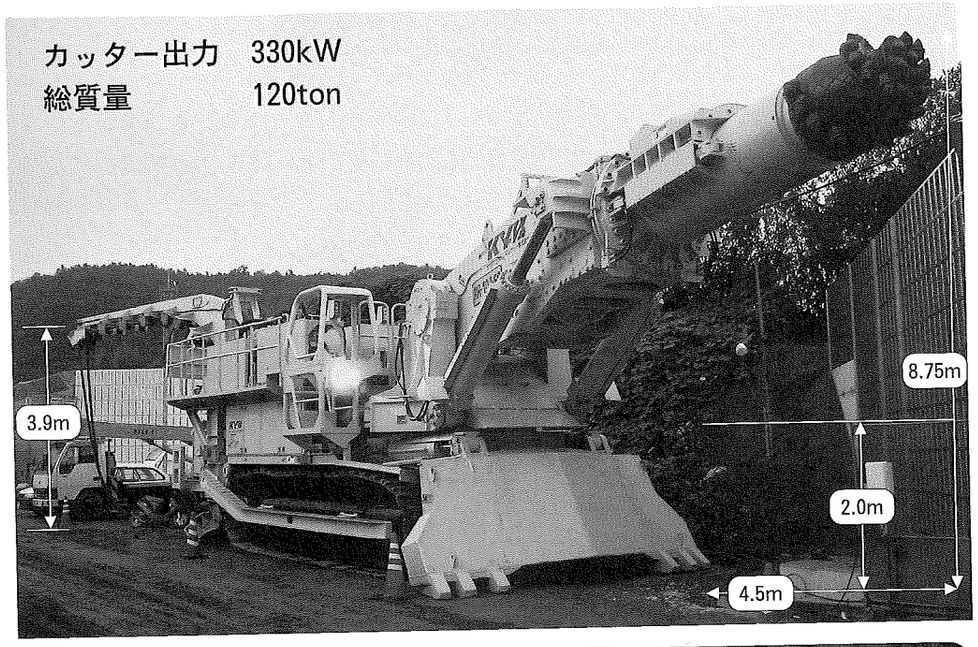
松 原 利 之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

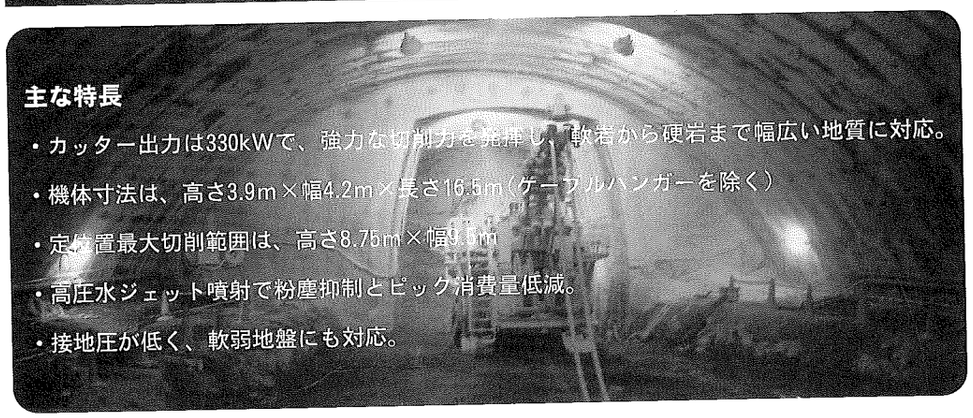
三 浦　　克
株式会社竹中土木常務執行役員

吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

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

編集委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社技術センター
地盤研究室長

今田徹
東京都立大学名誉教授

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社専務取締役

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱建介
株式会社ANET取締役

三浦克
株式会社竹中土木常務執行役員

〔委員〕

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

亀山勝
東京地下鉄株式会社鉄道本部鉄道統括部
移動円滑化設備推進担当課長

坂口淳一
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部兼設備部
構造技術センター次長

高田武
東京都水道局建設部工務課長

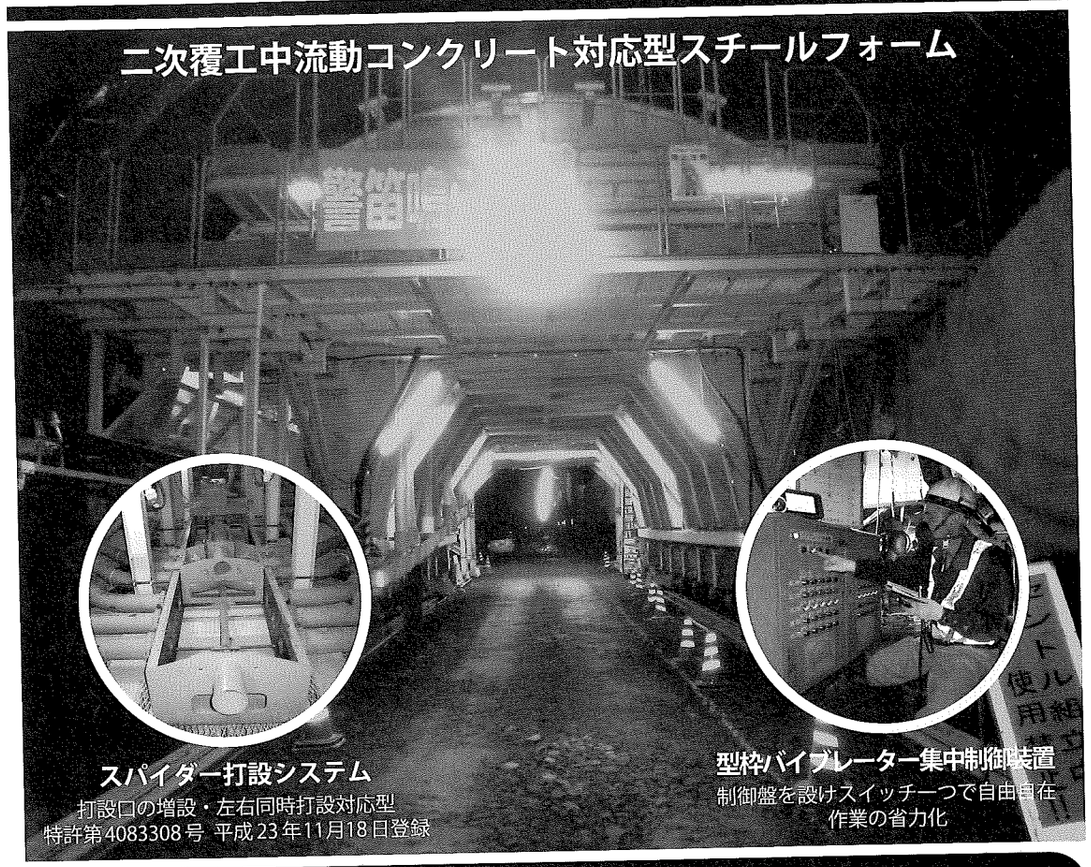
高橋晃
東京電力株式会社電力流通本部工務部
地中送電グループ課長

真下英人
独立行政法人土木研究所
道路技術研究グループ長

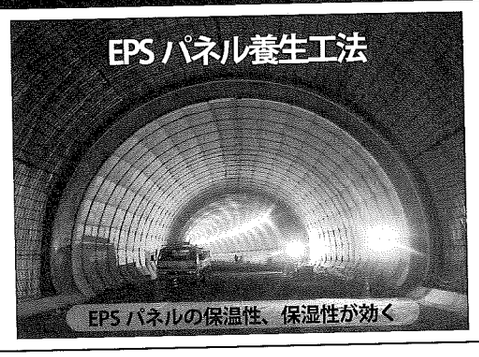
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室主任研究員

柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

トンネル二次覆工型枠総合メーカー



新しいタイプの覆工コンクリート養生システム



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

平成24年 4 月30日　現在

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

一歩前進！ ～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社

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

トンネルと地下　VOL. 43　No. 10　掲載概要

掲載頁 7

周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用
—圏央道　高尾山トンネル—

国土交通省　田村　　央

首都圏中央連絡自動車道(以下，圏央道)は，都心から半径およそ40～60kmの位置に計画された，延長約300kmの高規格幹線道路である．すでに開通している桶川北本IC～八王子JCT間に続いて，平成24年３月25日に高尾山IC～八王子JCTまでの２kmが開通した．高尾山トンネルは，圏央道と中央自動車道が接続する八王子JCTの南に位置する全長約1.3kmの上下線２本のトンネルである．高尾山トンネルは全線「明治の森高尾国定公園」内に位置しており，自然豊かな高尾山の水環境や植生環境の保全が重要な課題であったことから，一部区間について覆工止水構造を採用するなど，水環境を保全するための新技術・工法を採用したので，その概要について報告する．

Prompt Installing of Water-proof System with Segmental Lining and Grouting to Conserve Water Environment—Ken-O Expressway Takao-san Tunnel—

By Hisashi Tamura, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Metropolitan Inter-City Expressway (hereinafter referred to as "Ken-O Expwy") is an arterial high-standard highway of 300 km planned along a 40-60 km radius of the city centre. The 2 km-long section from Takao-san Interchange to Hachioji Junction opened on 25th March, 2012 following the previously opened section from Okegawa Kitamoto Interchange to Hachioji Junction. The Takao-san Tunnel is a two-tube road tunnel with a total length of 1.3 km located to the south of Hachioji Junction where Ken-O Expwy and the Chuo Expwy meet.



写真は開通区間全景

Whole area of the Takao-san Tunnel are located in the "Meiji no Mori Takao Quasi-National Park". Because the conservation of the natural Takao-san water and vegetation environments was a significant condition, new techniques and methods such as water-proof linings were installed in some sections. This report is an outline of the above.

掲載頁 15

狭隘なスペースと近接施工を克服した深さ56mの立坑の築造
—東京都下水道　千代田区永田町一丁目付近枝線—

東京都下水道局　寺本　康宏

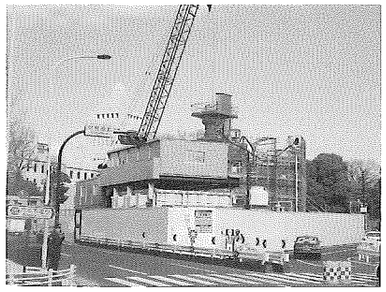
千代田区永田町，平河町における皇居周辺地域の下水道は，合流式下水道で整備されており，一定量以上の降雨があった場合には，汚水混じりの雨水の一部が皇居内濠に放流され，内濠の水質を悪化させる一因となっている．

東京都下水道局では，経営計画2010における合流式下水道の改善対策の一環として，これまでの内濠から水質の影響が少ない隅田川に放流先を変更するため，主要枝線(φ2,200)を新設する計画である．

本工事は，当該主要枝線をシールド工法により発進させるための立坑を築造するものである．

56 m Deep Shaft Overcoming Limited Space and Adjacent Underground Installations—Sewerage of Tokyo Metropolitan Government, Branch Sewer in the vicinity of Nagata-cho 1-chome, Chiyoda-ku—

By Yasuhiro Teramoto, Bureau of Sewerage, Tokyo Metropolitan Government



写真はケーソン設備の設置状況

The sewer pipes in the vicinity of the Imperial Palace in Nagata-cho and Hirakawa-cho, Chiyoda-ku are combined sewer system. Outfall of stormwater and sewage above capacity induced by rainfall contributes to deteriorate of water quality in the inner moat of the palace where overflow discharges,

We projected to newly install major branch lines of 2,000 mm in diameter in order to change sewer destination from the inner moat to the Sumida River which is less affected on the water quality by dirtywater than the inner moat in accordance of combined sewer systems improvement measures in the Management Plan 2010.

These works are to construct a shaft in order to start the major branch line works with the shield TBM.

掲載頁 31

長期間の計測データを活用したトンネル変状の将来予測

(公財)鉄道総合技術研究所　津野　究

地圧の影響を受けたトンネルの変状を自動計測を用いて監視した場合，長期にわたる膨大な計測データが蓄積される．このデータを変状の将来予測に有効に活用することを目的として研究を行った．まず，自動計測により得られたリアルタイム計測データを周波数分析してスペクトルの特徴を把握し，サンプリング間隔の異なる計測データのスペクトルを比較することにより，サンプリング間隔が及ぼす影響について検討した．また，リアルタイム計測データにローパスフィルタをかけることにより，温度の日変化などに起因する変動や誤差を除去できることを確認した．つぎに，数値解析により変状シナリオを作成し，計測データとの整合性を照査することにより，将来の変状をばらつきを考慮して予測する手法を提案した．

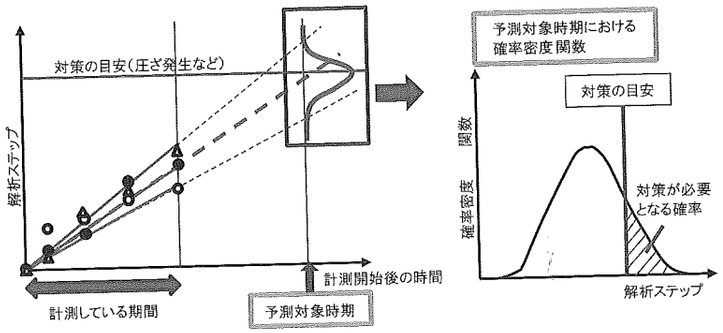
Future Prediction of Deformed Tunnel using Long-term Monitoring Data

By Kiwamu Tsuno, Railway Technical Research Institute

When automatically monitoring the deformed tunnels affected by earth pressure, an enormous amount of monitoring data is accumulated over a long period of time. We made research with the purpose of effectively utilizing this data to predict future deformation.

First of all, we perform frequency analysis on real-time monitoring data to understand spectrum characteristics and we evaluated the effects of sampling interval through comparing spectrums of monitoring data with different sampling intervals. In addition, we confirmed that it is possible to remove fluctuation and error in real-time monitoring data caused by daily variations in temperature using low pass filtering.

Next, we proposed method of prediction of deformed tunnel considering the dispersion through examining consistency with monitoring data of deformation scenarios that we had developed based on numerical analysis.



図は将来予測の概念図

掲載頁 37

「ITA総会および世界トンネル会議(バンコク)」報告

日本トンネル技術協会

第38回国際トンネル地下空間協会(ITA)総会は，2012年5月18～24日にタイのバンコクで加盟68か国中，53か国が参加した．また，総会に併せて開催された2012年世界トンネル会議(WTC)は，ITA，タイ地下トンネルグループ(TUTG)，タイ王国工学会の共催により「グローバル社会のためのトンネルと地下空間」のテーマのもとで，約1,300名が参加した．

総会では，事業報告などが行われた．2015年の開催地をクロアチアのドゥブロブニクに決定した．

世界トンネル会議のプログラムは，記念講演，基調講演，テクニカルセッションおよび現場視察で構成された．

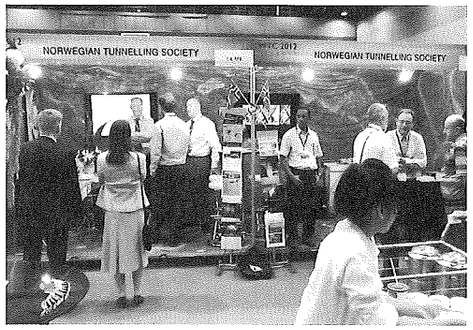
ITA Annual Meeting and World Tunnel Congress (Bangkok) Report

By Japan Tunnelling Association

The International Tunnelling and Underground Space Association (ITA-AITES) held its 38th meeting in Bankok, Thailand from 18 to 24 May, 2012 with participants from 53 of the 68 member nations. The World Tunnel Congress (WTC) 2012 which was held in conjunction with the meeting had approx. 1,300 participants and jointly held by the ITA, the Thailand Underground & Tunnelling Group and the Engineering Institute of Thailand under His Majesty the King's Patronage (EIT) with the theme of "Tunnelling and Underground Space for a Global Society".

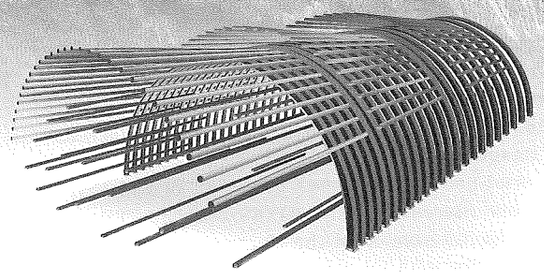
Business reports, etc. were given at the meeting. It was decided that the 2015 meeting will be held in Dubrovnik, Croatia.

The World Tunnel Congress Program was composed of commemorative speech, keynote speeches, technical sessions and site visits.



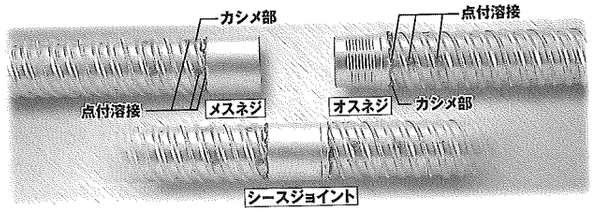
写真はWTC展示会場(ノルウェートンネル協会)

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

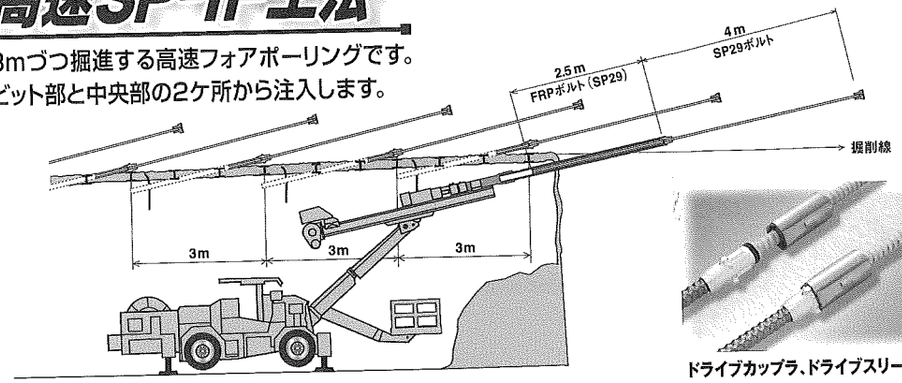
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

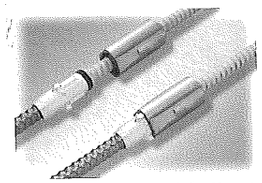




高速SP-IF工法

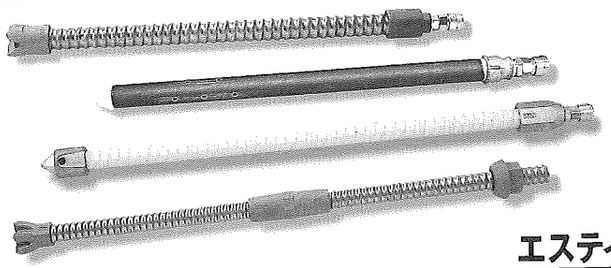
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

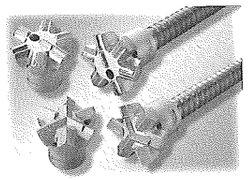




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





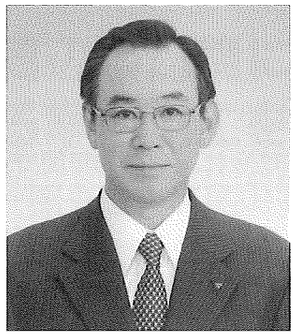
φ65mm ロストビット(SP29)

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

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

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



早期の復興と強靭な国土形成を

鉄建建設(株)常務執行役員土木本部長(本協会理事)
大和修二

昨年の３月11日，その日の朝，会議に出席するため仙台から東京に向かった．当時東北エリアを担当しており，地震発生時，現地とは歯がゆい思いをしながら携帯電話でのやり取りで対応せざるを得なかった．翌々日，秋田まで飛行機で飛び，陸路で盛岡を経由して夕方ようやく仙台に入ることができた．

仙台の街は，電気と水道はすでに復旧していたがガスは止まったままで，スーパーやコンビニなど商店はすべて閉まっており，車の横行は通常よりやや少なめで街全体もどこか静まりかえった感じを受けた．

その後，食料や燃料が不足し，またガスが復旧するまでの約１か月間は風呂に入ることもままならない厳しい環境下で，新幹線や在来線の復旧，マンションなど建物の応急復旧に追われることになった．その中で，東北新幹線が４月29日に全線復旧したことは，大いに勇気づけられた．また，岩手県の三陸地方や宮城・福島県の太平洋側の津波による被災地も合間を縫って訪れた．震災直後の被災地は，見渡す限り家屋は消滅しビルの３階，４階までが津波の影響を受けており，町は壊滅状態であった．あたり一面，ガレキや車などが散乱している状況を目の当たりにし，津波の猛威に声を失ってしまった．

あれから１年４か月が経ち再び被災地を訪れたが，ガレキなどは集積され処理は行われており，プレハブの行政施設とコンビニなどは建てられてはいたが，残念ながら町の復興の兆しを感じ取ることはできなかった．

このような状況の中，ようやく本格的な復興事業が開始されようとしているが，国会議員の方々による日本の国土のあり方について提言が行われている．

今年４月に発表された『国土強靭化　日本を強くしなやかに』では，より強い自覚とより強い絆で結ばれた社会を築くとともに，巨大な自然災害の中で人類の生命を守り抜

く社会資本を整備することを目的とし，さまざまな提言がなされている．その中には，国土強靭化のためになすべき事柄として以下の５つの項目が挙げられ，今後10年間で200兆円の財政出動が必要とされている．

① 地震に対する備えをさらに強める(社会資本整備の耐震化)
② 巨大津波に備える(津波の観測体制・避難訓練の充実と対策施設の強化)
③ 日本の社会経済の強靭化(成長戦略による国際競争力の強化)
④ 原発事故の解決(地域住民・除染等従事者の健康と原発の安全性の確保)
⑤ 農林・水産業を含む自然産業の再生(国主導による総合的支援体制の強化)

また，この提言には，1998～2002年までの５年間に世界で発生したＭ７以上の地震は日本の国土面積(世界の陸地部の0.3%)から考えると，世界の大地震の４分の１以上が日本で発生しているとされている．そのため日本は大地震を避けることは不可能で地震と共生とした生活が必要とされ，今話題の，首都直下地震，東海，東南海，南海地震に対する備えの必要性も提言されている．

一方，「日本再生～ビジョン2030～」と題して2030年に向けて災害に強い多軸型で多重・分散型の国土と，自然と共生した循環型・低環境負荷型の社会の構築を目指し，2030年までに160兆円の次世代への国の投資が必要と提言されている．

いずれの提言も，今回の大地震・巨大津波による２万人近くの死者・行方不明者を出した被災状況を考えれば至極当然であり，今後，財源を確保し１年ごとの具体的スケジュールを決定し，迅速にかつ着実に実行されることを強く望むところである．また，今年７月現在の避難・転居者数が34万人を超えている現状から，１日でも早く，できるところから本格的な復興が実施されることに期待する．

東日本大震災の日本社会に与えた衝撃により，技術者の社会的役割の重要性が再認識され，より高度な役割を果たすことが求められるようになった．

その意味においても，建設業に携わる者として，早急な復興事業，そして中長期的な国土形成の一助となり，また，安心・安全な社会基盤の構築に寄与できるよう，弛まず技術の研鑽を積みたいと考えている．

施工

周辺水環境に配慮し止水注入とセグメントによる早期覆工を採用

—圏央道　高尾山トンネル—

国土交通省関東地方整備局相武国道事務所事務所長　田村　央
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所計画課長　平田大輔
国土交通省関東地方整備局相武国道事務所工務課長　井上　啓
(元)大成・大林・大豊JV監理技術者(大成建設(株)関西支店)　加藤宏征

1 はじめに

首都圏中央連絡自動車道(以下，圏央道)は，都心から半径およそ40～60kmの位置に計画された，延長約300kmの高規格幹線道路である．

圏央道は，横浜，厚木，八王子，川越，つくば，成田，木更津などの都市を連絡し，また，放射状に延びる東名高速，中央道，関越道，東北道，常磐道，東関東道，館山道などと接続することで，首都圏の広域的な幹線道路網を形成し，首都圏全体の道路交通の円滑化や環境改善，沿線都市間の連絡強化，地域づくり支援，災害時の代替路としての機能など，多くの期待が寄せられている．

すでに開通している桶川北本IC～八王子JCT間に続いて，平成24年３月25日に高尾山ICから八王子JCTまでの２kmが開通した．

今回開通した高尾山IC～八王子JCT間は，平成25年度に開通が予定されている東名高速道路から中央自動車道を接続する区間の一部となっている．東名高速道路と中央自動車道が結ばれることにより広域的な道路ネットワークが形成され，都心部への通過交通の抑制による混雑緩和や，並行する国道16号，国道129号などの混雑緩和のほか，圏

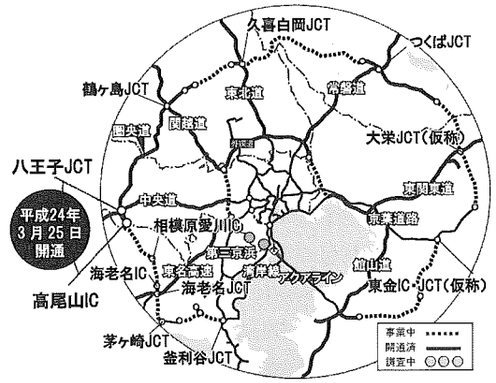


図-1　圏央道全体図

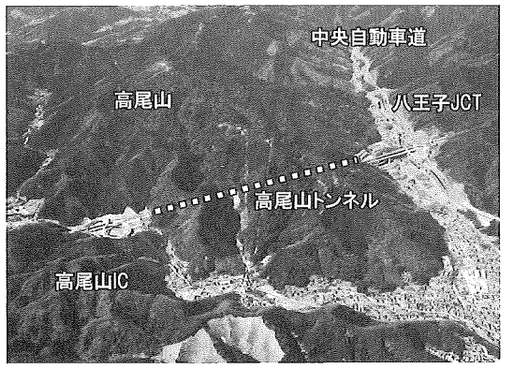


写真-1　開通区間全景

央道沿線への企業立地の促進や地域の活性化が期待される．また，今回供用した区間は，高尾山をはじめとする自然豊かな地域を通過するため，これらに十分配慮しつつ事業を推進してきた．

高尾山トンネルは，圏央道と中央自動車道が接続する八王子JCTの南に位置する全長約1.3kmの上下線２本のトンネルである．トンネルの南側には高尾山ICがあり，国道20号，八王子南バイパスと接続する(**図-1**，**写真-1**)．

高尾山トンネルは全線「明治の森高尾国定公園」内に位置しており，南側坑口より約270m地点では，土かぶり約20mで「前の沢」と交差する．前の沢の上流には高尾山薬王院の修験場になっている「琵琶滝」があり，トンネル施工中および完成後の前の沢の表流水をはじめとする水環境や植生環境の保全が重要な課題であった．

そこで，これらの課題に対する技術的な助言を得ることを目的とした学識経験者からなるトンネル技術検討委員会(委員長：今田徹・東京都立大学名誉教授，以下，「委員会」という)を設置し，施工方法などについて検討を行った．

委員会において，前の沢交差部周辺において一部トンネルフォーメーション付近まで割れ目の褐色化がみられることから，トンネル内に水を引き込まず，他流域に水が流出しないよう，この周辺を十分カバーする区間(上下線各々約500m)を覆工止水構造とした．

施工にあたっては，トンネル掘削時にトンネル内に流入する湧水を抑制するため，先行して泥水加圧式岩盤シールドにて先進導坑を構築し，導坑内からトンネル周辺５mの範囲の地山に止水注入を行った．注入後はNATM(機械掘削)により断面を拡幅した．

また，この覆工止水構造については，従来の防水型トンネルより高度な施工技術・構造物を選定することで，より止水性の高い防水構造を早期に完成させることが重要であった．さらに，最大設計水圧が0.8MPaという高水圧であったこともあり，早急に覆工を完成させる目的で，現場打ち鉄筋コンクリートでの覆工をやめ，工場製作によるRCセグメントでの覆工とした．

このように，高尾山の自然環境の保全を最重要課題と認識し，水環境を保全するため，先進導坑をシールドで掘進し止水注入を施工した後，NATM(機械掘削)で標準断面に切り拡げ，さらにRCセグメントで覆工を行う新技術・工法を採用したので，その概要について報告する．

2　工　事　概　要

路　線　名　称：一般国道468号首都圏中央連絡自動車道
トンネル名称：高尾山トンネル
工　事　場　所：東京都八王子市南浅川町～裏高尾町
工　　　期：平成17年３月～平成24年１月
（舗装・内装・設備工事を除く）
工　事　内　容：トンネル延長　上り線　1,348m
下り線　1,329m
覆　工　内　空：97m²(止水構造区間標準部，**図-2**))
掘　削　断　面：107m²(止水構造区間標準部)

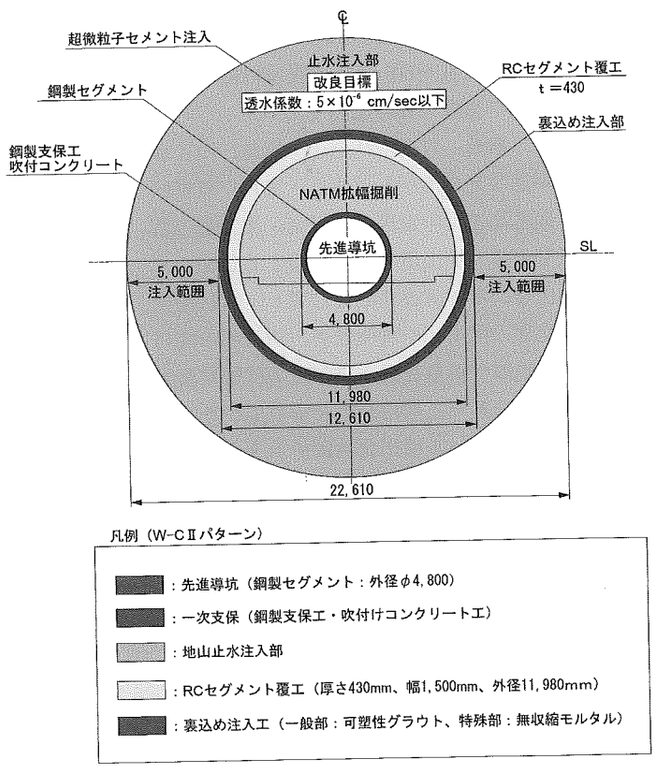


図-2　止水構造区間

3　地　質　状　況

高尾山トンネルの位置する地質は，中生代白亜紀の小仏層群を基盤としており，頁岩優勢の砂岩・頁岩の互層で構成される．地表踏査，弾性波探査などの地質調査により，破砕帯を伴う大規模な断層は存在しなかった．

また，前の沢付近の岩盤に割れ目の褐色化がみられるが，その他の区間はおおむね新鮮・堅硬であり透水性は低い．

4　止水構造の採用

これまでの水文・地質調査の結果を踏まえ，委員会において慎重にその施工方法を検討し，止水構造区間については，先進導坑をシールドで掘進し止水注入を施工した後，NATM(機械掘削)で標準断面に切り拡げ，さらにRCセグメントで覆工を行う工法を採用した(**図-3**)．

本施工方法の特徴としては，先進導坑の採用により，先行して掘削した小断面を利用した地山止水注入を行ったことである．先進導坑による小断面での地山止水注入は，完成形の大断面による地山止水注入より，短時間で作業を完了することができ，効率的な地山止水作業が可能である．また，地山止水注入を先行することで，拡幅掘削後早期に覆工止水工事を可能とした．

5　水環境保全のための対策

5-1　掘削時の水環境対策

掘削時の水環境保全対策として，事前に掘削断面の周りに５mの止水注入を施工し，掘削時にトンネル内へ流入する湧水を抑制する工法を採用した．

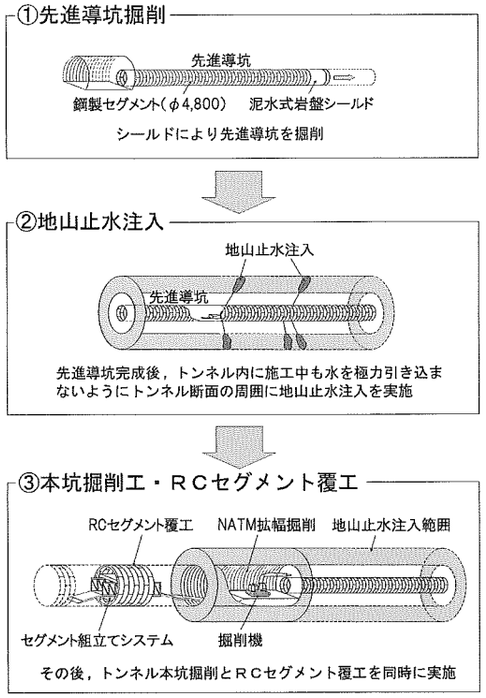


図-3　止水構造区間の施工方法

この地山止水注入においては，延長が長く(上下線各々500m)，工程が大幅に伸びることが懸念されたため，事前に導坑を掘削し導坑内から地山注入を行う先進導坑注入方式を採用した(**図-4**)．

5-1-1　先進導坑掘削

先進導坑の掘削においては，水環境を考慮した泥水加圧式岩盤対応シールドを採用した(シールドを用いることで，先進導坑は防水構造となる)．

掘削径はφ約５mで，セグメントは注入後の解体を考慮して鋼製セグメントを採用した(**写真-2**)．

5-1-2　地山止水注入

地山止水注入においては，導坑内からの施工効率を上げるため，360°回転式の削孔機を上下線各々10台ずつ配置し，全線同時に施工を行った(**写真-3**)．

さらに，注入作業においては，上下線合わせて140台の注入装置を設置し，導坑入口の中央プラントから導坑内全線にパイプラインで注入材を搬送し，施工効率を高めた．注入材は，１孔あたりの累計注入量と，その時点の注入速度によって濃

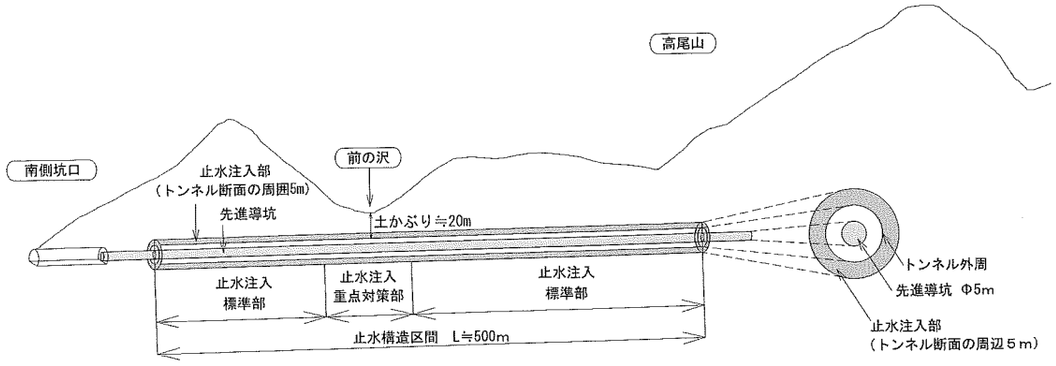


図-4　止水構造区間の概要図

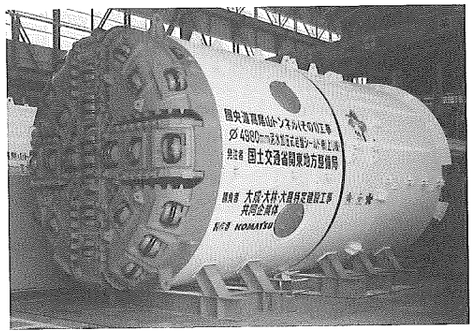


写真-2　泥水加圧式岩盤シールド

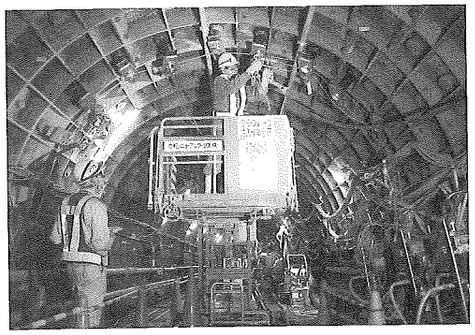


写真-4　注入状況

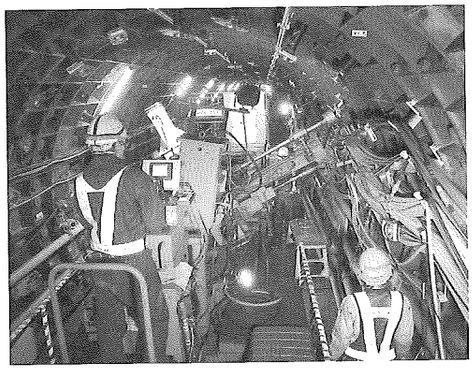


写真-3　削孔状況

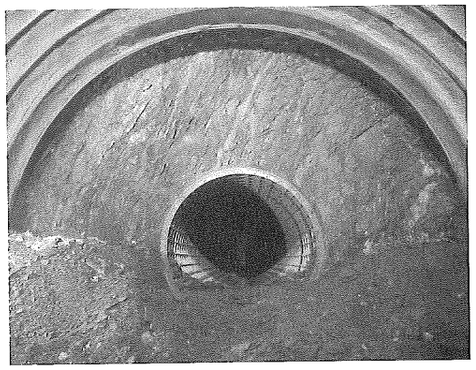


写真-5　切羽状況

度を段階的に上げていくため，濃度の異なる多数の注入箇所に同時対応する必要があった．そのため，中央プラントから高濃度注入材を常時パイプライン内に流し，サブプラントの希釈装置で希釈し各注入箇所に送るシステムを採用した(**写真-4**)．

止水注入作業においては，狭い導坑内を有効に利用するため，削孔土砂をバキューム装置により搬送し，削孔・注入時の多数の施工データを光ケーブル網により集積した．

また，超微粒子セメントを含む排水は通常の濁水処理設備での処理が困難なため，高機能濁水処理設備を併設し対応した．

止水注入後の品質確認は，チェック孔による透水試験を行い，改良目標値(5×10^{-6}cm/sec以下)に達していないものがあれば再注入を実施し，すべての区間で目標値を確保した．

5-1-3　NATM拡幅掘削

拡幅掘削においては，岩盤の堅さから発破掘削が一般的であったが，事前に止水注入を行っているため，発破振動による注入品質の劣化を防ぐため，機械掘削を採用した(**写真-5**)．

5-1-4　水文モニタリング

トンネル施工中および完成後の水循環や植生環境の保全のため，トンネル工事施工前から，高尾山の沢流量，地下水位，土壌水分，降雨量などを測定し，委員会の助言を得つつ，一連の工事で周辺水環境に影響がでないか確認をしながら慎重に工事を進めるとともに，モニタリング結果は相武国道事務所ホームページに公開した．

5-2　RCセグメント覆工による水環境対策

NATM拡幅掘削後，早期に止水構造を構築するため，RCセグメントで覆工を行う工法を採用した．

5-2-1　セグメントの設計

本工事のRCセグメントに必要な条件は以下のとおりである．

- 設計水圧に対して，所定の安全率を持ち，耐えうる構造を持つこと
- 施工時に作用する応力に耐えうる構造を持つこと
- 坑内へ地下水が浸入しない構造を持つこと

5-2-2　セグメントの仕様

- 内径11,120㎜，外径11,980㎜，10ピース/1リング，総重量約60t/リング
- 厚さ430㎜，幅1,500㎜，外周約3,900㎜/ピース
- コンクリート設計基準強度σ_{ck}=54N/㎟
- 鉄筋(SD345)：2,938kg/リング
- ピース間継手金物：フック継手(SS400)
  リング間継手金物：長ボルト継手(トルシア付き鉄筋貫通ボルト式，φ29)
- シール材：加硫ゴム系水膨潤1.5，2.5倍型(2重に設置)

5-2-3　セグメント組立てシステムの構成

NATMによるトンネル断面内でのRCセグメント組立てでは，専用の組立てシステムを検討した．

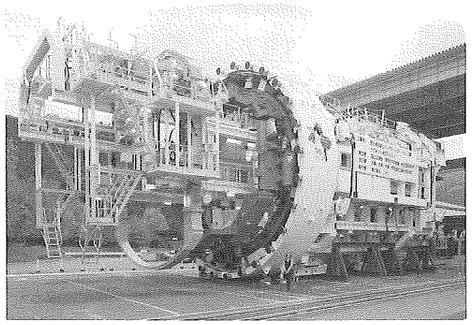


写真-6　自走式エレクタ装置



写真-7　中央桟橋

セグメント組立てシステム(以下，システム)として必要な条件は，NATMと覆工の組み合わせの中で，施工速度が速く掘削から覆工までの期間(距離)を極力短くできること，セグメント組立て作業と並行して行う掘削作業の動線を確保できること，そして重量物であるセグメントを正確に組立てできることである．

また，セグメント組立て作業と裏込め注入作業ができる専用設備や，他作業に支障をきたさない独立したセグメント搬入ルートの確保も必要である(**図-5**)．

システムは，前方よりインバート施工部，セグメント組立て部(自走式エレクタと中央桟橋からなり，各々独立して稼働)，セグメント搬入部の3セクションに分けられ，全長は約170mとなる．

全システム重量は，自走式エレクタが655.8t/基，インバート施工部～セグメント搬入部が1,123.2t/基で，全体では約1,780t/基となる．

インバート施工部は，上下半切羽への動線となる桟橋の下で，インバートの施工を左右交互に行い，円形断面を仕上げる．変電設備，風管・集塵

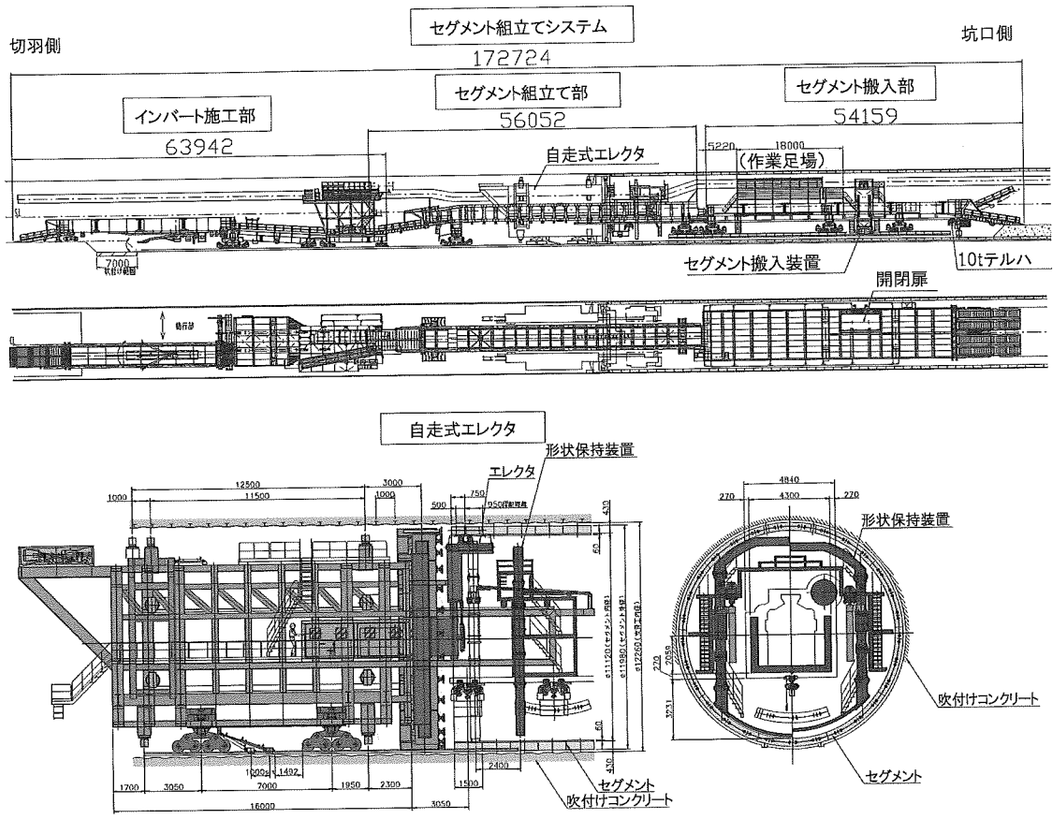


図-5　セグメント組立てシステム

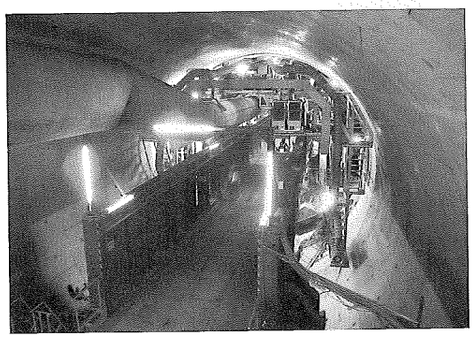


写真-8　セグメント組立て状況

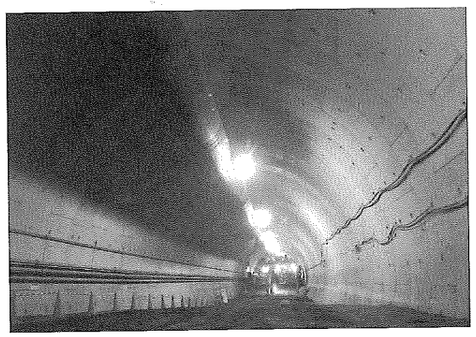


写真-9　セグメント覆工状況

機台車を備えている．

セグメント組立て部は，動線となる中央桟橋とセグメントを組立てる自走式エレクタ装置から成り，別々に稼働できる．自走式エレクタの移動はレール方式である．

セグメント搬入部は，システムを通過する車両と干渉せずにセグメントを桟橋下に下ろして，桟橋下のテルハクレーンで組立て部分まで搬入できる．

5-2-4　セグメント組立て

覆工止水構造の機能を確保するためには，セグメントどうしのせりを防止し，真円精度を向上させ，セグメント組立て時間を短縮化し，掘削切羽との離隔を最短にすることが重要である．真円精度の向上のため，組立て時には自動計測を採用し，リアルタイムに仕上がり精度を確認した．

また，フック継手や端部エア型枠の採用により組立て時間を短縮化した．その結果，セグメント組立ての進捗をトンネル掘削の進捗と合わせてできた(写真-8, 9)

5-2-5　裏込め注入

裏込め注入材は，可塑性グラウトを採用した．

本工事ではNATMトンネル断面内でのセグメント組立てとなるため，可塑性グラウトに急硬材を添加し，裾部脱枠に必要な強度を毎回確認した後，次のサイクルに移行した．トンネル内は施工ヤードが限られているため，混練プラントは坑口に設置し，裏込め注入材を配管で圧送した．

また，セグメント背面に遮水ゾーンを形成するため，一定の間隔で特殊裏込め材を採用した．

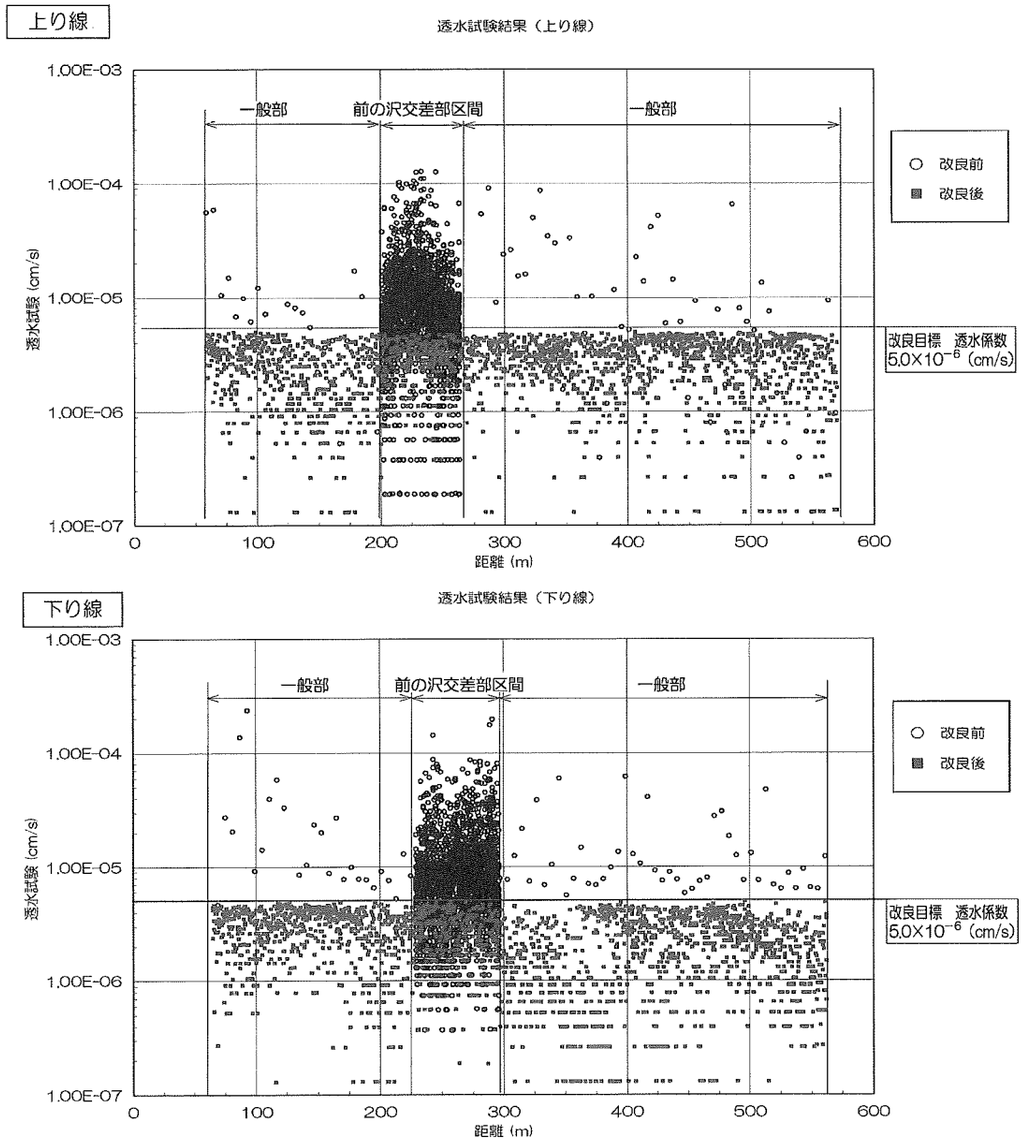


図-6　透水試験結果

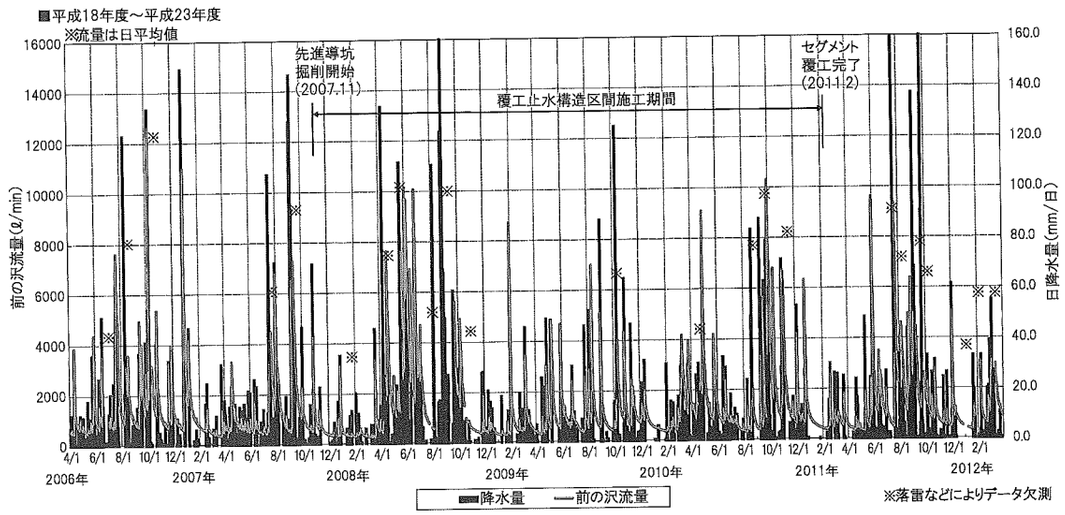


図-7　前の沢流量と日降水量の推移

6　止水効果の確認

地山止水注入については，先進導坑からの透水試験の結果，すべての断面において改良目標の5×10^{-6}cm/sec以下を満足していることが確認された(図-6)．

また，水文モニタリングの結果，平成19年11月の先進導坑掘削の開始前後，施工中および平成23年2月のセグメント覆工完了後で，前の沢流量の変動に変化が生じていないことから，止水構造は有効に機能していると考えられる(図-7)．

さらに，高尾山トンネルの湧水量は，工事施工に伴う作業用水を含んでも1mあたり，おおむね0.02～0.36m^3/日であり，トンネルの深さ・透水性などによって変わるが，普通の地山では1mあたり0～2.16m^3/日であることから，少ないと考えている．

7　おわりに

本工事は，トンネルの全線が国定公園内の直下に位置し，高尾山の水環境の保全が最重要課題であった．そのため，覆工止水構造区間を含むトンネル全区間について，さまざまな工法などについて検討を重ね，それらを実施することにより水環境(沢流量や地下水位など)や植生環境(土壌水分)などの自然環境を保全しつつ，トンネル工事を完了し，平成24年3月25日に無事に開通することができた．

この工事に採用された工法が今後の山岳トンネルの環境対策として参考になれば幸いである．

最後に，本工事の計画段階から施工を通じてご指導・ご助言いただいた委員会の今田徹委員長をはじめ委員各位ならびに関係各位に深く感謝し，誌面を借りて厚くお礼申し上げる次第である．

建設工事の地質診断と処方

石井康夫・矢嶋壮吉 共著　A5判326頁　本体定価4,300円(〒340円)

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

施工

狭隘なスペースと近接施工を克服した深さ56mの立坑の築造

—東京都下水道　千代田区永田町一丁目付近枝線—

東京都下水道局中部下水道事務所建設課設計第一係長　寺本康宏
東京都下水道局中部下水道事務所建設課設計第一係主任　小島延連
(株)大本組永田町立坑作業所監理技術者　上村稔

1　はじめに

千代田区永田町，平河町における皇居周辺地域の下水道は，合流式下水道で整備されており，一定量以上の降雨があった場合には，汚水混じりの雨水の一部が皇居内濠に放流され，内濠の水質を悪化させる一因となっている．

東京都下水道局では，経営計画2010における合流式下水道の改善対策の一環として，これまでの内濠から第二溜池幹線へ切替え，最終的な放流先を水質の影響が少ない隅田川に変更するため，主要枝線(φ2,200)を新設する計画である．

本工事は，当該主要枝線をシールド工法により発進させるための立坑を築造するものである．

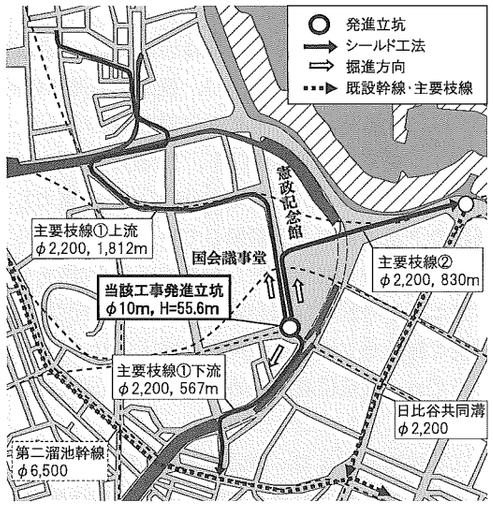


図-1　計画概要図

2　工事概要

2-1　工事諸元

〈立坑工事～本工事〉

工事件名：千代田区永田町一丁目付近再構築立坑設置工事
平面形状：外径φ13m(内径φ10m)
深　　度：立坑深55.6m(掘削深59.4m)
土質条件：GL～15.80m　砂質土N値4～29
　　15.80m以深　砂質土N値50以上
地下水位：GL－13.43m
工　　法：ニューマチックケーソン工法

〈シールド工事～次期工事〉

セグメント：外径φ2,700㎜(内径φ2,200㎜)
路線延長：

主要枝線(1)上流	φ2,200㎜	1,812m
主要枝線(1)下流	φ2,200㎜	567m
主要枝線(2)	φ2,200㎜	830m

図-1に計画概要図を示す．

2-2　地質条件

当該箇所は，山手台地と呼ばれる洪積段丘と東京低地と呼ばれる沖積低地の境界部付近に位置する．地表から15.80m程度までは，沖積層の砂質土(*N*値 4 ～29)が，それより下は洪積層の砂質土(*N*値50以上)で構成されている．地下水位については，GL－13m付近となっている．このため立坑土留め工法の選定にあたっては，地下水対策，硬質地盤の掘削を考慮する必要がある．

2-3　縦断線形の検討および立坑位置の選定

2-3-1　縦断線形の検討

縦断線形検討では，接続先である第二溜池幹線(φ6,500㎜)の土かぶりが約40m，日比谷共同溝(φ2,200㎜)の土かぶりが約30mと深いことから，計画管の土かぶりについても立坑設置箇所で約50mとなり，大深度の立坑が必要となった．

2-3-2　立坑位置の選定

本区域における地下構造物については，東京地下鉄(株)(以下，東京メトロ)，首都高速道路(株)(以下，首都高速)，日本電信電話(株)(以下，NTT)，東京都水道局(以下，水道)，東京ガス(株)(以下，ガス)，東京電力(株)(以下，電力)，既設の下水道管などが輻輳しているため，それらに与える影響を最小限としなければならない．

また，この区域は国会議事堂や中央省庁などの重要な施設が立地する中央官衙地区となっている．このため，立坑位置を決める際には細心の注意が必要であった．

立坑候補地として，国会参観バス駐車場や憲政記念館駐車場をはじめとして，十数箇所の候補地において協議検討を行ったが，施工期間，作業帯の確保など，占用許可条件をクリアできた場所は特例都道中央官衙247号路線の国会議事堂前の中央分離帯の１か所のみであった．

当該用地は約1,000m²と狭隘で衆議院事務局に近接し，NTT(４条５段，５条５段，５条５段，とう洞φ4,550)，電力(高圧：４条５段，４条４段，４条６段)，東京メトロ千代田線，首都高速都心環状線が輻輳し，限られた施工面積，近接構造物への対応，周辺環境への対策など，厳しい条件の中での施工となった．

2-4　工法選定

工法選定にあたっては，施工性，施工面積，補助工法の必要性，周辺への影響，工期について検討し，とくに以下の条件に留意した．

- 狭隘なスペースでの立坑築造
- 55.6mの大深度立坑
- 近接構造物への対応

当該計画の施工規模を踏まえ，４工法を選定し，比較検討を行った．**表-1**に立坑土留め工法の比較検討表を示す．

検討の結果，作業帯の確保が可能で，もっとも工期の短い，ニューマチックケーソン工法を採用した．

以下，留意した点の詳細について述べる．

3　狭隘なスペースでの立坑構築

当該用地は，必要面積800m²に対し，1,000m²と狭隘で形状も三角形と特異な形状である．また，千代田区の景観条例による高さ制限(10m以上は区との協議が必要)もあり，仮設備の配置計画や施工上の工夫を行った．

3-1　仮設備配置計画

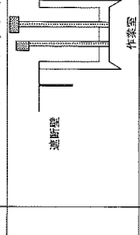
ニューマチックケーソン工法に必要な諸設備の配置は，掘削沈下および構築作業に支障がないよう，設置位置や順序を考慮して計画的に行った．

本現場におけるケーソン設備の設置状況を**写真-1**，平面配置を**図-2**に示す．同図中の下方三角形部分(太線で囲んだ範囲)は，ケーソン躯体構築を先行すると揚重設備の作業半径外となり，後からの設備配置ができないため，事前に送気設備・受電設備などのケーソン設備を配置した．また，コンプレッサー防音ハウス上にはH形鋼によりステージングを行い，遠隔操作室・混合ガス管理室などを設けて省スペース化を図った．

3-2　型枠収納設備

躯体構築用の型枠は大組型枠を用い，型枠解体時の一時保管場所として専用のストックゲージを配備し，コンパクトな収納を可能とした．なお，本ストックゲージは組立て解体が可能で，コンク

表-1　立坑土留め工法の比較検討表

施工方法		地下連続壁工法	ケーソン工法			鋼製セグメント圧入工法
			ニューマチックケーソン		オープンケーソン	
概略図						
工法概要		・ベントナイト泥水を利用．バケットや回転多軸ビットで地盤を掘削，泥水壁を構築． ・鉄筋挿入後，コンクリート打設，躯体築造．	・ケーソン躯体下部に気密な作業室を設け，地下水圧に対し圧縮空気を送気． ・地下水浸入を抑え，ドライ状態で掘削・排土．		・底部が開放された躯体内部の土砂をクラムシェルなどで水中掘削． ・地上構築した躯体を所定深度まで沈設． ・水中コンクリートにより底盤構築．	・工場製作の鋼製リングピースを組み立て，鉛直方向に積み重ね，リング内をクラムシェルなどで掘削． ・グラウンドアンカーを反力に所定の地盤に沈設．
施工性		・土質の適応性は広い． ・根入部を強固な不透水層へ貫入が必要． ・不透水層がない場合は地盤改良が必要．	・土質の適応性広い． ・圧気によるドライエリアでの掘削 ⇒ケーソン本体の自重による自沈のため，先行削孔の必要なし．	○	・硬質地盤での先行削孔砂置換を必要とし，工費・工期を要する． ・水中掘削による掘削土砂は水切場の確保が困難なため産廃扱い．	△
施工面積		・掘削機，クレーン，泥水処理設備，鉄筋置場など，作業用地は広い面積が必要． ・必要作業用地　$A \fallingdotseq 1{,}600\text{m}^2$	・オープンケーソンに比して，圧気設備や電力設備が必要． ・内足場，内型枠の仮置き場は必要としない． ・必要作業用地　$A \fallingdotseq 800\text{m}^2$	○	・作業ヤードは他工法に比して小． ・必要作業用地　$A \fallingdotseq 600\text{m}^2$	○
補助工法		・根入部付近が砂層の場合，ボイリング対策が必要(高圧噴射撹拌工法など)． ・上部地盤が軟弱の場合，ガイドウォールの支持力確保のための地盤改良が必要．	・砂質地盤に対し，補助工法が不要． ・圧気のため，地下水対策不要．	△	・沈下抑制および沈設促進のため補助工法(砂置換)が必要． ・立坑施工時は，地盤改良必要なし．	△
周辺への影響		・剛性・止水性が高く，周辺への影響小． ・泥水処理設備の防音・振動対策が必要． ・到達後の人孔築造が必要．工期が長い．	・圧気に伴う周辺へのブロー対策必要(ブロー回収装置を設置)． ・工期が短く，周辺環境への影響小．	△	・強制圧入となることから，周辺地盤への影響が懸念． ・水中掘削時の周辺への飛散防止．	△
工期		約17か月(人孔構築除く)	1.4(人孔構築除く)	×	約19か月	×
経済性(比率)		1.4(人孔構築除く)	1.1	×	1.1	△
評価		・施工実績が多く，信頼性高い． ・作業用地の確保が困難，本工事では不適． ・人孔築造がシールド工事後⇒工期が長い．	・施工実績が多く，信頼性高い． ・現地盤への施工対応性が高い． ・本体構造物の一体施工で，工期・工費ともにもっとも有利．	○	・施工実績が多く，信頼性高い． ・N=50を超える洪積地盤が対象のため，先行削孔が必要． ・工期・工費ともにニューマチックケーソン工法に劣る．	△
		×		○	△	△

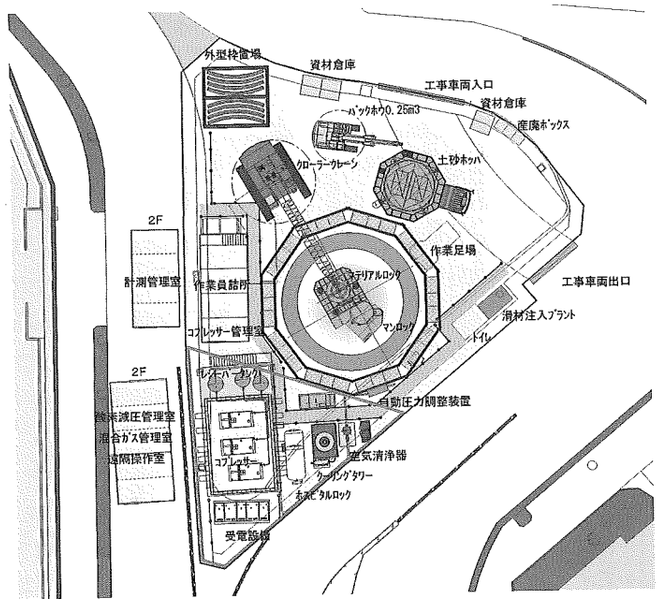


図-2 仮設備平面配置図

図-3 コンクリート打設時の設備配置図



写真-1 ケーソン設備の設置状況

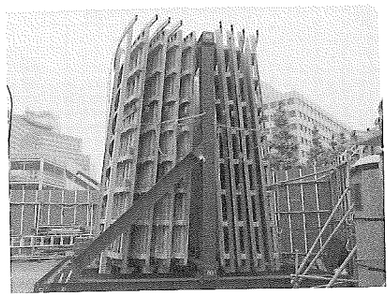


写真-2 型枠ストックゲージ

車とトラックミキサー車を配備する必要があり，重機の配置などを含め綿密な配置計画を行った．図-3にコンクリート打設時の設備配置図を示す．

4 大深度ニューマチックケーソン立坑の施工

本立坑の掘削深度は地表面下59.4mの大深度となり，最終気圧も0.41MPaと想定していた．そのような厳しい条件の中で，作業員の安全確保，作業効率，施工性の向上を図り，施工を実施した．

4-1 無人化掘削

本現場においては，減圧症発症防止対策(減圧症の発症率は0.18MPaから飛躍的に高まる)ならびに掘削能力確保(有人掘削能力と無人掘削能力は0.18MPaを境に逆転する)のため，0.18MPaからは無人化施工を実施した．写真-3に遠隔操作状況を示す．

4-2 沈下促進工

周面摩擦低減を目的とした滑材としては，一般的にはベントナイト溶液が用いられているが，地山の崩壊やベントナイト水溶液の地山への逸泥および地下水による希釈などの原因で，周面摩擦抵抗力の低減効果が薄れるなどの問題があった．

このため，本現場においては，地下埋設物などへの影響を考慮し，ケーソン沈設に伴う周辺地盤の引込みや地山の崩壊を防止する効果をあわせ持った，推進工事などで多くの実績を有している高吸水性樹脂系滑材を使用した(写真-4)．

4-3 減圧症防止対策

函内作業気圧が0.18MPa以上では，掘削作業は無人化されているものの，掘削機などの函内設備のメンテナンス作業や故障時の対応のためには，どうしても作業員が函内に入る必要がある．0.39MPaを超える高気圧下では，減圧症の発症確率が飛躍的に高まってくる．通常の空気呼吸では，減圧症の発症原因となる窒素濃度が高く，酸素減圧を行ってもすべての窒素を体外に排出することが困難となる．

そこで，窒素濃度をできるだけ小さくするため，窒素の一部をヘリウムに置き換えたヘリウム混合ガス呼吸システムを併用した．本現場で用いるヘリウム混合ガスの成分比は，酸素25%，窒素43%，ヘリウム32%である(図-4)．

本工事では，さらなる安全を期するため減圧症防止対策として，0.2MPaから酸素減圧を用いた．酸素減圧とは純酸素を吸いながら減圧を行う方法で，酸素窓効果という作用を利用した呼吸方法である．酸素減圧状況を写真-5に示す．

5 近接構造物への対応

本工事においては，さまざまな計測管理を実施し，ケーソンの沈設管理と近接構造物への影響管理を行った．

5-1 計測管理

ケーソン躯体には各種計測機器(図-5の凡例参照)が設置され，安全かつ高精度な沈設を行った．傾斜計により，ケーソンの傾きを常時把握して姿勢制御を行い，刃口反力計からは沈下時期の予測を行った．また，間隙水圧計と函内気圧計で函内水位を制御し，ガス検知器では函内の有害ガス発生や酸欠の有無を監視した．

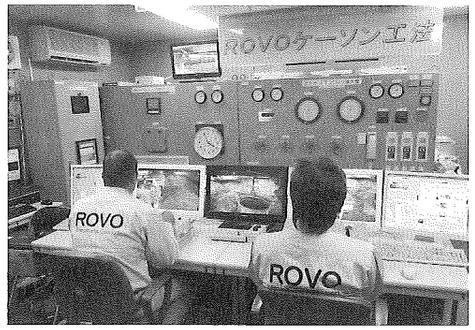


写真-3 遠隔操作状況

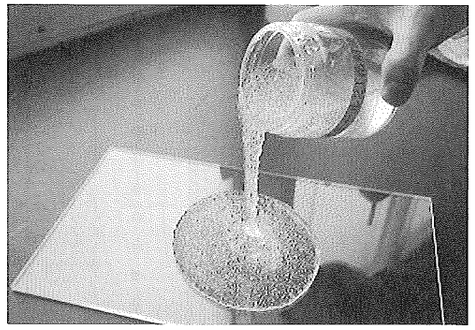


写真-4 沈下促進材

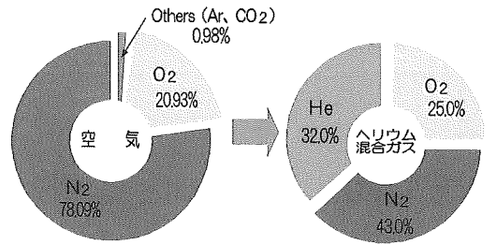


図-4 ヘリウム混合ガス成分比



写真-5 酸素減圧状況

これらの計測データは中央制御室のパソコン上でリアルタイムに表示した．

5-2　周辺地盤の計測管理

重要構造物への影響を事前予測するため，ケーソン周辺地盤の変状を計測し，早期に対策工を検討するためのデータとして，ボーリング孔に多段式傾斜計と層別沈下計を設置し，側方変位と鉛直変位を計測した(図-6)．計測されたデータは，中央管理室のパソコン上にリアルタイムに表示して監視した．

5-3　近接構造物の計測管理

本立坑の近接構造物としては，NTTとう道と東京メトロ千代田線ならびに首都高速都心環状線などがあり，それぞれの構造物と立坑の位置関係を示すと図-7のとおりである．

施工中の影響管理については，本工事の施工に先立ち構造物管理者と事前協議を実施し，首都高速ならびに東京メトロは施工者側で，NTTとう道は管理者側で構造物の変状計測を実施することとした．

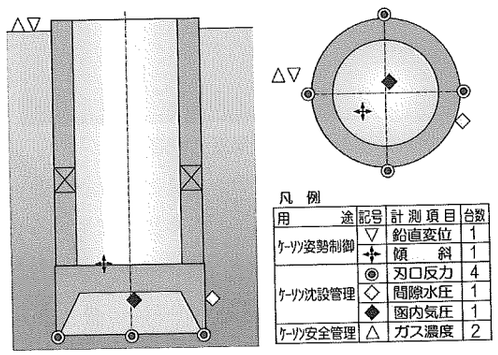


図-5　ケーソン計測機器配置図

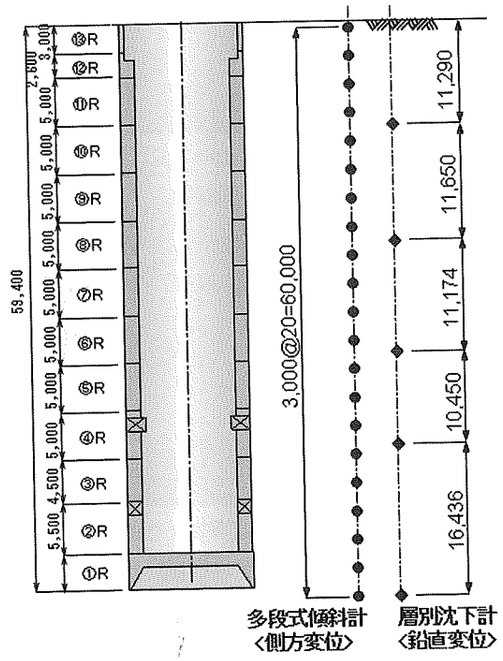


図-6　周辺地盤計測計

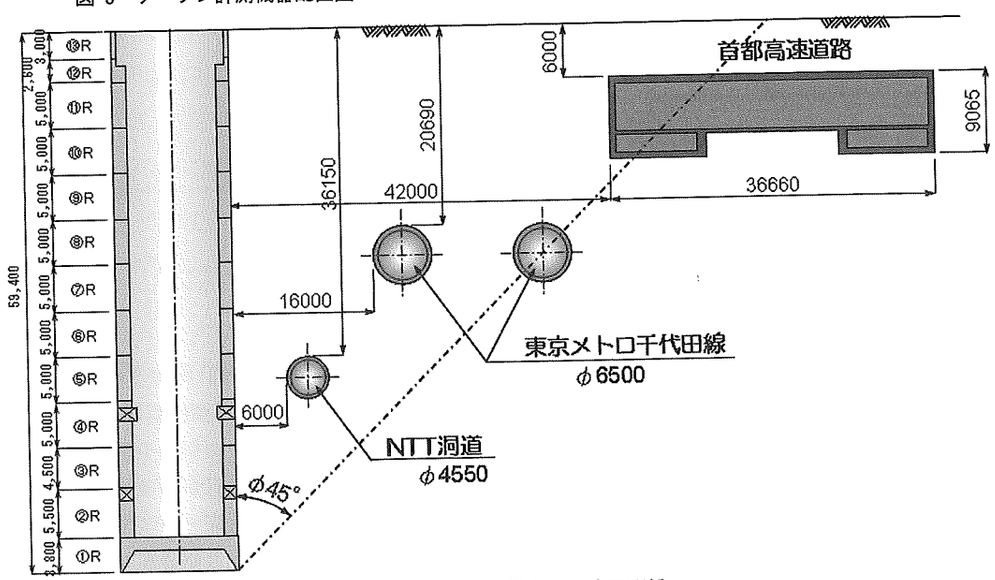


図-7　立坑と近接構造物の位置関係

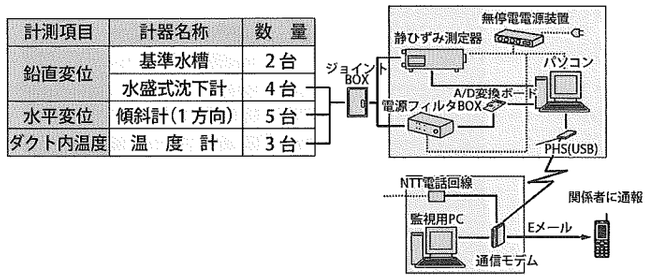


図-8　首都高速計測システム

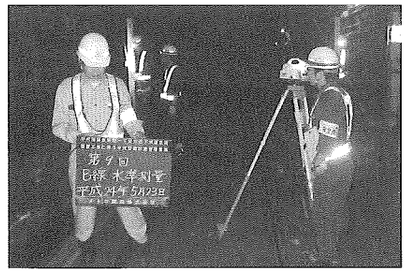


写真-6　終電後の坑内測量状況

表-2　変状計測項目

種 別	計測機器など		回数	備 考
	名 称	数 量		
鉛直変位	水準測量	10点	15回	手計測
水平変位	水平測量	5点	15回	手計測
軌道測定	4項目の狂い量※		2回	手計測
構築調査	構築のクラック，剥離など		2回	目視・写真

※4項目の狂い量とは，軌間・水準・通り・高低をいう．

5-3-1　首都高速の計測管理

首都高速の近接程度の判定方法から，立坑中心より半径80mを要注意範囲と定め，トンネル延長120m区間を計測範囲とした．首都高速の送気ダクト内に沈下計と傾斜計を設置し，計測値を現場事務所の端末に表示するとともに，管理基準値を超えた場合には自動的に警報を発するシステムとした．

計測システムの概要を図-8に示す．

5-3-2　東京メトロ千代田線の計測管理

東京メトロ千代田線の計測管理は，立坑にもっとも近接する40m区間について，電車の終電から始発までの列車運休時間を利用して実施している．計測項目を表-2に，坑内測量状況を写真-6に示す．

5-3-3　その他の近接構造物対策

その他の近接構造物としては，東京電力人孔と管路(高圧：4条5段，4条4段，4条6段)，ならびにNTT人孔と管路(4条5段，5条5段，5条5段)がとくに近接し，ケーソン壁面から50cmの距離にある．共下がりのおそれがあったことから，近接防護として高圧噴射攪拌工法による地盤改良を実施した．図-9, 10に地盤改良の概要を示す．

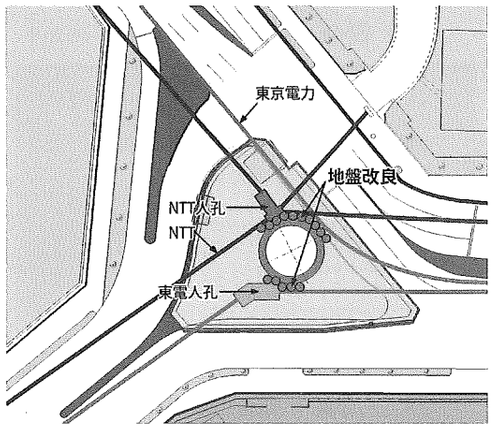


図-9　地盤改良平面図

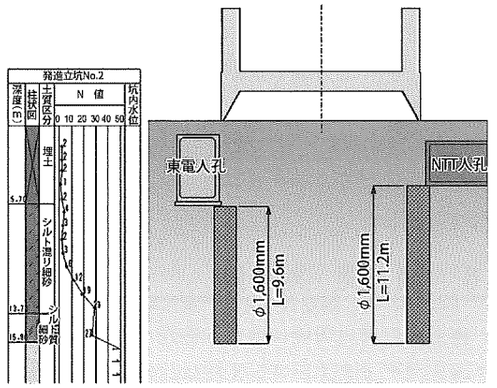


図-10　地盤改良断面図

5-4　エアブロー対策

本現場は，大深度であり，函内作業気圧が高いことから，あらかじめケーソン刃口部にエアブロー回収装置を設置した(図-11)．また，施工上の対策として砂質土層の掘削では，実際の間隙水圧よりも函内気圧を低く設定し，刃口先端を常に函内の水位以下にした水掘り掘削を実施した．掘削状

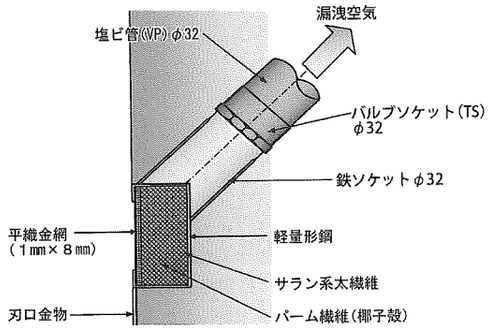


図-11　エアブロー回収装置

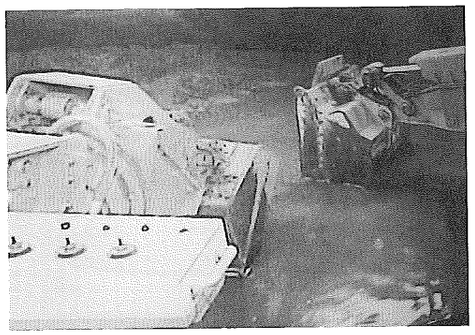


写真-7　水掘り掘削状況

況を**写真-7**に示す．

なお，施工場所の近距離には，国会議事堂の地下室などが存在するため，万が一の漏気に備えて施工ヤードの国会議事堂側に観測井戸を設け，水位変動を監視する地下水位計と酸欠空気の有無を監視する酸素濃度計を設置し，それぞれの計測データを中央管理室のパソコンにリアルタイム表示し常時監視した．

6　環　境　対　策

本工事の周辺環境は重要な施設が立地している．ニューマチックケーソン工法は比較的騒音の少ない工法ではあるものの，コンプレッサー運転音や圧縮空気の漏気・排気音，さらには土砂バケットの接触音などが発生する．

本現場においてはこれらの騒音対策として以下について実施した．

6-1　コンプレッサー運転音

コンプレッサーは防音ハウス内に設置して騒音低減を行った．

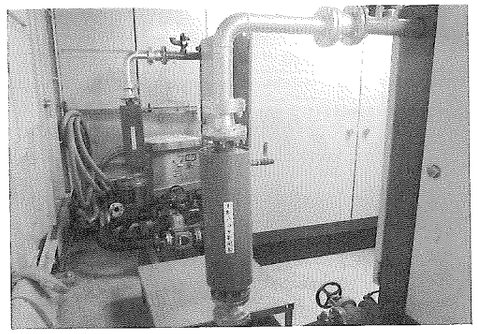


写真-8　共鳴防止サイレンサー

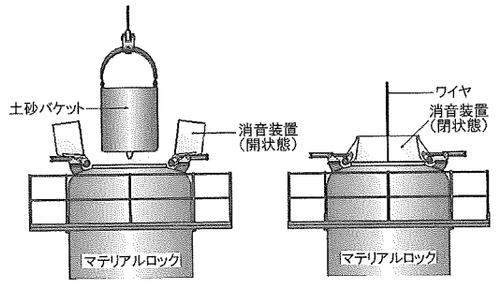


図-12　ワイヤーボックス消音装置

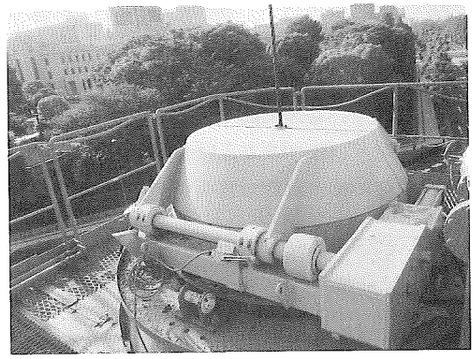


写真-9　ワイヤーボックス消音装置

また，発生頻度は低いが，コンプレッサーからレシーバタンク間の配管に共鳴音が発生したため，その対策として配管途中にサイレンサーを設置した(**写真-8**)．

6-2　ワイヤーボックス漏気音

掘削作業中に土砂バケットがマテリアルロックを介して函内にある間は，吊りワイヤーが通るための穴が貫通している．このため，その隙間から圧縮空気が漏れて笛を吹くような音が発生し，函内気圧が高くなるにつれて大きな騒音となる．こ



写真-10　土砂バケットへのゴムライニング

の騒音対策として，本現場においては**図-12**に示すような，パネル開閉式ワイヤーボックス消音装置を設置した(**写真-9**)．本装置による騒音低減効果は，函内気圧0.4MPaで約30dbである．

6-3　土砂バケット接触音

土砂バケットがマテリアルロック内に入る際に，金属どうしが接触することにより騒音が発生する．土砂バケットにゴムライニングを実施することにより，この接触音を低減した(**写真-10**)．

7　お　わ　り　に

本工事は平成23年8月に立坑の築造を開始し，厳しい条件の中，これまで，周辺からの苦情や近接構造物に影響を及ぼすことなく，工事の進捗は順調であり，平成24年11月には完了の予定である．

平成25年からは，同一条件のもと，泥水式シールド工法により，下水道管渠を築造していく予定である．

最後に，本工事にご協力を賜りました関係者の皆様にお礼を申し上げますとともに，引き続き工事の円滑な実施にご協力のほど，お願い申し上げます．

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〇シールド工法の歴史〇シールド工法誕生以前のトンネル工法〇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〇シールド工法の導入と発展の経緯〇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. 覆工〇一次覆工の設計〇二次覆工の設計と施工〇シールドトンネルの防水技術　2. 立坑の設計と施工設備〇立坑の設計と施工〇シールド機の構造と装備〇仮設備の計画〇シールド工事による自動化　3. 掘進と施工管理〇シールド掘進と施工管理〇シールド発進と到達〇裏込め注入工法と注入効果〇曲線施工と地中接合〇補助工法の種類と選定　4. 近接施工と環境対策〇近接施工と対策〇アンダーピニングおよび支障物対策〇シールド工事と環境対策〇新工法の現状と将来展望〇ECL工法　5. 切羽の安定と地盤変状防止〇切羽安定の理論と実際〇泥水式シールド工法の切羽安定〇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



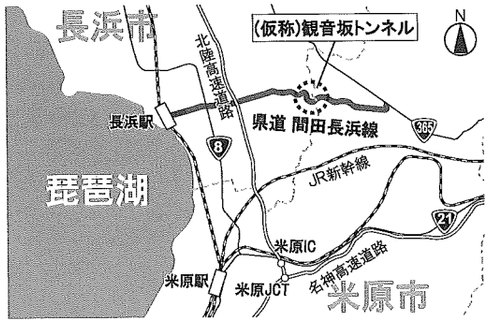
「戦国武将に出逢えるまち」長浜市石田町より

真嶋敏之

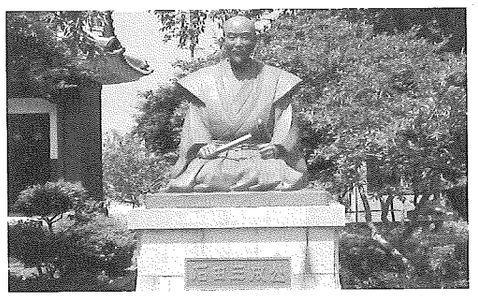
長浜市は，滋賀県の北東部に位置し，戦国時代においては天下を分ける戦がくり広げられ，多くの戦国武将が闊歩した地として有名である．昨年はNHK大河ドラマ『江～姫たちの戦国』の放映に合わせて開催された浅井三姉妹博覧会に多くの観光客が訪れ，今年は「戦国大河ふるさと博」が開催されており，まちは昨年以上の賑わいをみせている．

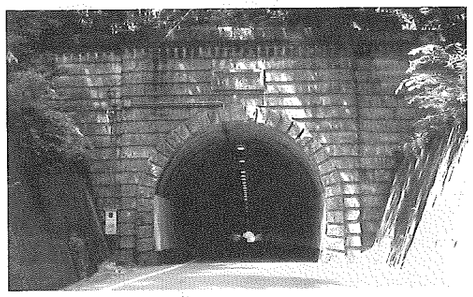
施工場所となる長浜市石田町は，長浜市東部に位置し，田畑が広がるのどかな地であり，関ケ原の戦いで西軍を率いた戦国武将「石田三成」の出生地でもある．周辺には，三成と豊臣秀吉が出逢う逸話で有名な「三献の茶」の舞台となった観音寺，出世城と呼ばれていた横山城跡などが点在している．町内では，三成の旗印が装飾された幟，「三献の茶」の様子を表した飾付けと，三成ゆかりの武将の名が刻まれた街灯を各所で目にする．さらに一歩路地に踏み入れば，三成が産湯に使ったとされる井戸，石田一族の供養塔および貴重な資料が展示されている石田会館(石田三成公邸跡)などがあり，三成ゆかりの史跡が今なお大切に保存されている．近年では，戦国時代ブームの影響からか，若い女性がグループでこの地をよく訪れていることもあり，石田町は「歴女(歴史が好きな女性を指す造語)」にも魅力を満喫できる絶好の地と言える．

本工事は，地域住民が生活道路として利用している県道長浜間田線の道路整備事業の一環として，施工延長1,008.8m，うちトンネル区間531.0mを施工するものである．現在，供用されている県道には，近代土木遺



位 置 図


石田会館にある石田三成公像

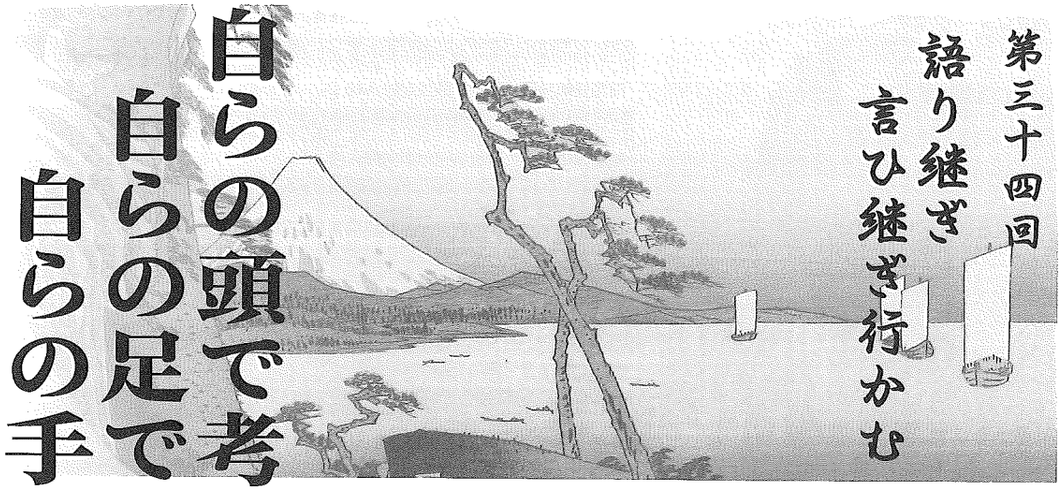

昭和８年に建設された観音坂隧道

産に選ばれている「観音坂隧道」がある．この隧道は，80年ほど前に地域の住民が多額の私財を投じて建設したトンネルで，現在も重要な役割を果たしている．

本工事は，この隧道の隣へ新たに「(仮称)観音坂トンネル」を建設するものであり，開通の運びとなれば，先の観音坂隧道と併用されることなどから，地域住民の生活道路としての利便性が高まるものと期待されている．

工事の進捗は，平成24年11月に坑口の取付け工事を行うため，現在道路改良工事を行っているところである．石田三成の旗印の「大一大万大吉」が意味するように「一人が万民のために，万民は一人のために尽くせば，天下の人々は幸福(吉)になれる」のことばを胸に，関係者一同が一丸となり，周辺の住民の皆さんが開通を待ち望んでいるトンネルを無事故・無災害で完成させたいと考える．

(奥村・橋本建設工事共同企業体新観音坂トンネル工事所現場代理人)



自らの頭で考え、自らの足で調査し、自らの手で試験する

一般社団法人
日本建設機械施工協会
亀岡 美友

はじめに

故 三谷健氏の思い出を「語り継ぎ 言い継ぎ行かむ」で語るように，申し渡されたときに，頭の隅をよぎるものがありました．この文は，『トンネルと地下』に掲載することを前提ですが，氏は生前，「トンネル屋(トンネルの専門家)」と言われると，「自分は舗装屋だ」とよくおっしゃっていました．

ご本人が舗装屋かトンネル屋かにかかわらず，氏からは，私だけではなく，研究所の職員はみんな，「自らの頭で考え，自らの足で調査し，自らの手で試験する」という基本理念を教えこまれました．

私がこの研究所に入所して以来，たまたま山岳トンネルを担当していたおかげで，多くの先生方とお知り合いになる機会を得ました．

氏は，昭和19年に大学卒業とともに南満州鉄道(株)に入社され，戦後は日本建設工事(株)を設立されています．

その後，建設省の土木研究所に入省され，経済企画庁を経て道路局に配属ののち，磐城国道と福島国道の事務所長を務められ，技術調査官を経て，近畿地方建設局の企画室長のときに同省を退職されました．

退職された原因は，当時の建設大臣と琵琶湖総合開発計画で対立したとか，当時の建設省の同僚が，気にして本省への移動を考えていたのに……とか．逸話には事欠かない方のようでした．

その後，当協会の前身である日本建設機械化協会建設機械化研究所の創立に携わられ，副所長，所長を務め，さらに同協会の副会長，研究所の最高顧問として活躍され，多くの後進がご指導を授かりました．

鷲羽山の超近接トンネル

私が最初に氏の指導を受けたのは，昭和50年代の後半に，本州四国連絡橋の鷲羽山トンネル(児島坂出ルート)と紀宝バイパスの紀



三谷健氏の遺影

三谷健氏略歴

昭和19年 9 月	東京帝国大学第一工学部卒業
昭和19年10月	南満州鉄道(株)入社
昭和20年11月	日本建設工事(株)入社
昭和24年 3 月	建設省土木研究所入所
昭和31年 6 月	同省東北地方建設局磐城国道事務所長
昭和35年 5 月	同省東北地方建設局福島工事事務所長
昭和37年 8 月	同省近畿地方建設局企画室長
昭和39年 4 月	同省退官
昭和39年 4 月	(社)日本建設機械化協会建設機械化研究所副所長
昭和45年 4 月	同研究所長
昭和57年 5 月	同協会副会長
平成 8 年 5 月	同協会最高顧問，同研究所最高顧問
平成20年 5 月	同研究所最高顧問
平成21年11月	8 日逝去(89歳)

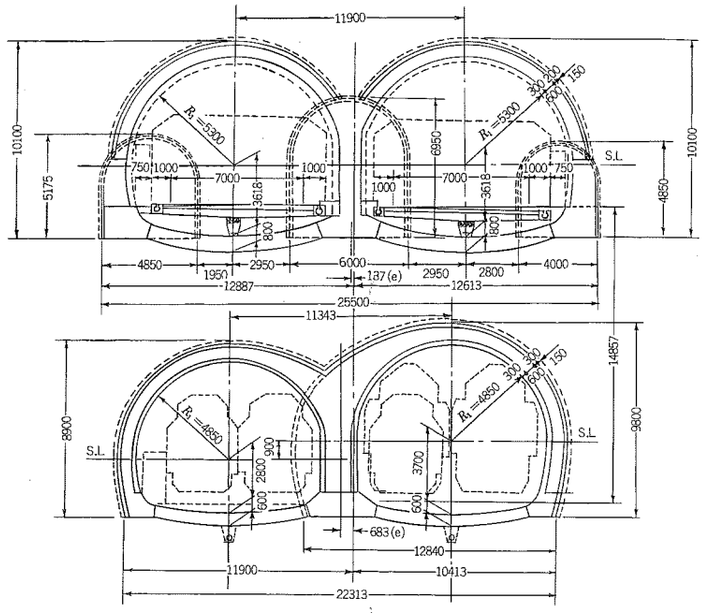
このほか，本州四国連絡橋公団非常勤参与，日本道路公団非常勤顧問を歴任された

宝トンネル(国道42号)に関してでした．

鷲羽山トンネルについては，多くの方もご存じのように，下部が，鉄道の在来線(複線)と新幹線(複線)の断面を要する近接メガネトンネルで，上部が高速道路の複線断面を上下線に設けた近接トンネルです．つまり，上下 2 段に近接した 4 本のトンネルを設ける四つ目トンネルでした．

あまり知られておりませんが，この四つ目トンネルの両側には，下津井瀬戸大橋のアンカートンネルが急傾斜(38度)で施工され，さらに鷲羽山トンネルが陸上部から施工するため，掘削ずりを海側に出すことから運搬用坑道という工事用道路が鷲羽山トンネルに並行して先行着手される計画でした．

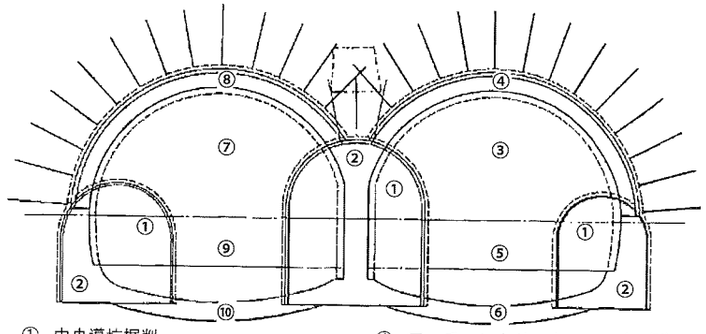
この検討を行う際に，私がもっともわからなかったといっていいと思いますが，氏が，上図に示すような一般部の標準断面を決められたことです．

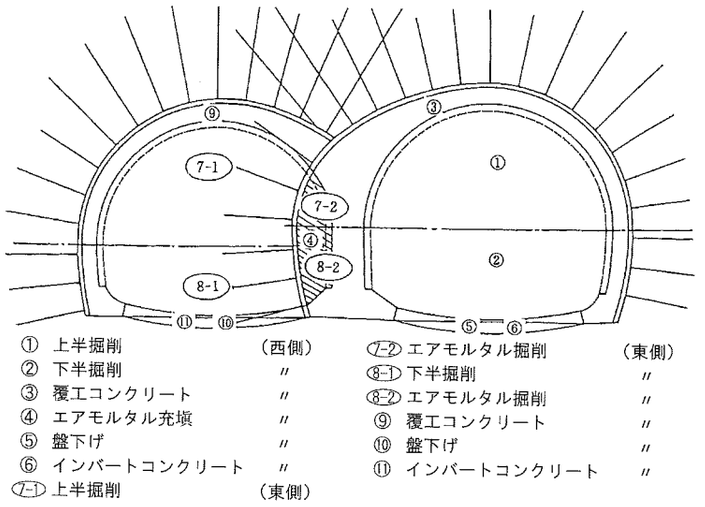


鷲羽山トンネルの標準断面(一般部)

上段の道路トンネルは 3 線導坑を先進させる方式であり，下段は掘削断面が重複した形の無導坑方式です．坑口部の標準断面は，上段の鉄道トンネル，下段の道路トンネルのいずれも超近接をした 3 線導坑先進方式です．上下の離隔は陸上部から海峡部に向かって徐々に近接をしていく構造となっています．

このように上下左右に近接した 4 本のトンネル設計はどのように行われたのか，今でも理解できないことが多くあります．確かに，





鷲羽山トンネルの施工手順

施工業者の方々のご協力も得ましたが，最終的に，この近接施工トンネルが掘削できる．しかも，このような標準断面で，施工手順でということです．

上図は，一般部の標準断面における施工手順を示したものです．現在の標準工法であるNATMは，未だ試験的に採用されていた時期ですし，近接トンネルの先進，後進トンネルにおける支保構造の設計事例も少なく，解析技術も現在ほど多く使われるようになっておらず，単純にこれまでの経験から，と言ったところで，説得力がないことは明らかです．氏の何が，このような計画で施工可能であるという判断をさせたのでしょうか．

当時，道路は建設省，鉄道は日本国有鉄道という分担があり，本州四国連絡橋公団内部での意見集約を図ることも大変であったことは，容易に想像できます．

さらに，この計画で施工を行うに際して，氏は多くの計測計画も承認されています．

現在はあまり行われなくなった地表からの 3 次元地中変位(坑外変位)計測，これに組み合わせた坑内の地中変位計測，ロックボルト軸力や吹付け応力計測など，一時期は掘削しているのか計測をしているのかわからないほど多くの地点での計測を，掘削後の切羽経過距離ごとに行っておりました．

これにあわせるように当時の日本国有鉄道が開発を進めていたNATM FEMにも，氏は大きな関心を寄せられており，これらの計測結果をこのプログラムの開発や検証に対して提供されていました．

鷲羽山トンネルの設計・施工は，土木学会に委員会を組織し，有識者や施工経験者の方々から意見を聴取し，検討を深度化し，無事施工を完了しています．

紀宝トンネルの発破振動・発破音軽減対策

氏の紀宝トンネルに対する取り組みは，まずもっとも基本となる発破振動の実際を同種地質の花崗班岩において検証するとともに，低周波音の成分を多く含む発破音の伝播特性についても周辺環境への影響を考慮して，発破ではなく低周波音を発生させることのできるスピーカを用いて，トンネル坑内や坑口からの拡散の調査・計測を指導・実践されたことです．

まず，熊野酸性岩類(花崗斑岩)における発破振動の状況を調べるための旧道を使った発破現地試験，採石場を用いた芯抜きを模した発

破試験，使用されていないトンネルを使った低周波音の伝播確認試験などを行い，基本的な資料を収集すると同時に，関係者に改めて発破振動や発破音を認識させる(体験させる)ことから始めました．

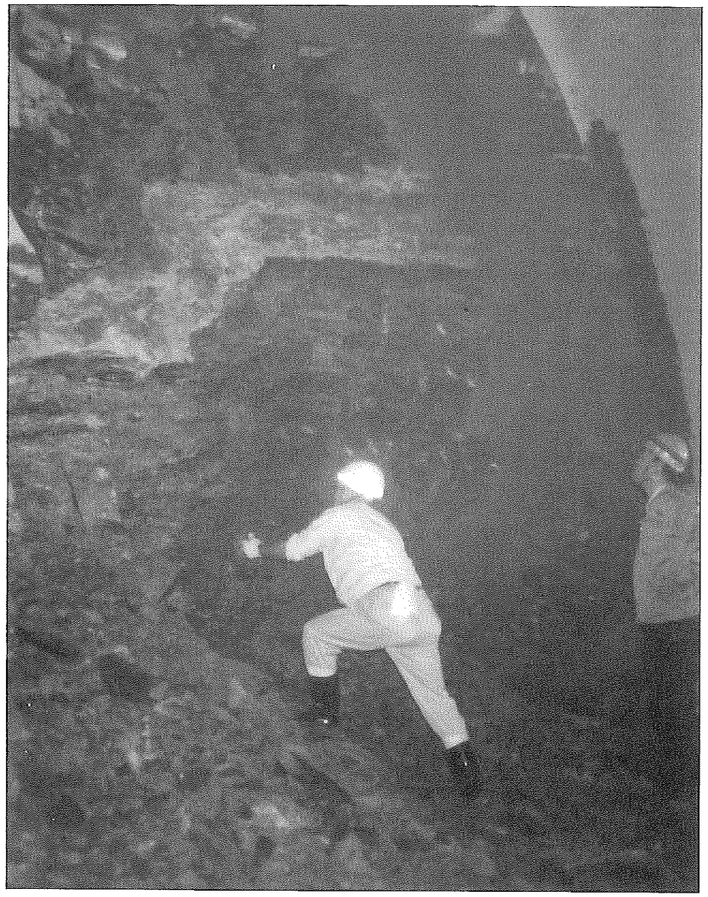
これらをもとにして，被告(国)側の書証を作成し，裁判に提出するとともに，証人となられました．この裁判は，一審(地裁)から三審(最高裁)まで行われましたが，被告(国)の勝訴となり，2011年に無事貫通を迎えています．

なお裁判の過程で，発破振動の人体に与える影響は0.1cm/秒以下とすればよい，という数字も示されました．実際の工事もこの値にもとづいて行われました．これ以降は，私もこの値を用いて，他の工事などで助言を行っております．

この2件のトンネル関係のものだけではなく，氏の考え方は，冒頭に述べたように，現場主義，実証主義，直営主義に貫かれていたように思います．さらに，氏は一つの物事を判断する前に，多くの幅広い専門家からの意見を聞くように指導され，ご本人も素直に聞かれていたことを，多く経験させていただきました．

関越，雁坂トンネルにおける山はね対策

関越トンネルⅠ期線工事の際に，山はねが発生し，作業員の方々の安全確保が最重要課題となっていました．日本国有鉄道の清水，新清水，大清水トンネルでも同様に，山はね対策で苦労していたことは広く知られておりました．



トンネル切羽の現地調査

氏は，Ⅰ期線の対策が十分でなかったと思われたのでしょうか，Ⅱ期線施工時には，当時も現在もあまり行われていない，岩盤応力測定，岩盤内で発生するAE測定などを採用し，初めての試みである閾値を設けたAEの発生頻度による安全状況の把握などを積極的に進められました．

この際にも，氏は，土木工学分野だけではなく，山鳴り・山はねの経験を有する鉱山学分野の先生方を招かれ，基礎でありまた先進的な調査測定の指導を仰いだということでした．

この工事に引き続いて実施された雁坂トンネル(国道140号，2車線の本坑と避難坑)でも，土かぶりが200m程度で山はねが発生し，死亡事故につながるという事態になりました．山はねに関する思いつくだけの調査や計測を計画・実施しましたが，施工記録を残す，つまり，今後の資料とするために，施工状況，山はね・山鳴り発生状況，AE発生状況の関係を考えるときに，いま考えれば地質の変化や不連続面の状態に関する調査を，安全対策を施したうえで，実施することができなかったことに悔いが残っております．

調査・設計・施工

現在の山岳トンネル施工は，当時と状況が大きく変化しています．当時は，難しいトンネル工事だと判断すれば，調査・設計・施工のすべての段階を通じて，その分野の経験者や有識者を集め，作業の安全対策を含めて議論をし，施工時にはその進捗状況に合わせた計測や調査を行うという，現場主義，実証主義そのものが実践されており，私のようなものにも実行を要求されました．

現在のように，工事入札に価格と品質を考慮した総合評価方式が導入された状況では，幅広い方々から有益な意見を聴取する場が設けられなくなりました．さらに，過去の経験者からの意見を聞く場もありません．

有益な意見というものは，施工についてだけではなく，地質調査をはじめとする事前調査に反映し，これらをもとにした設計とする必要があるということを，氏は酒席でよく話されておりました．

現地にすべての問題点と解決策がある

これは，当研究所における仕事の関係ですが，あるトンネルにおいて，天端崩落事故が起きました．この事故は，上部半断面掘削時には異常がなく，下部半断面を掘削した際に生じたものでした．天端崩落事故といっても，お星様までは見る状況になく，幸いなことに死傷者もありませんでした．

氏がこの事故の原因を探るために，現場に行かれた際に，まず坑内の状況を確認し，次に，地表を歩くと言われました．このときは既に，相当のご高齢でしたが，若い者を連れて直上を縦断するようなルートで現地を歩かれました．ある不連続面(薄い断層のようなもの)を境に地表にまで陥没のような変状が出ていることを示して，事前にトンネルルートを縦走することの重要性をおっしゃったのを今でも覚えています．

私は，自分で歩く機会がなければ，事前の地質調査結果をみる際に，地表踏査のルートマップを確認するようにしております．さらに，近傍類似地質の施工記録や供用後の変状の有無などを確認する，あるいは確認させるようにしています．近傍類似地質の施工記録の収集活用については，『道路トンネル技術基準(構造編)・同解説』にも記載されています．

トンネルルート選定はもっとも基本

私自身，氏からトンネルルート選定そのものについてのお考えは，残念ながらご指導を授かっていません．

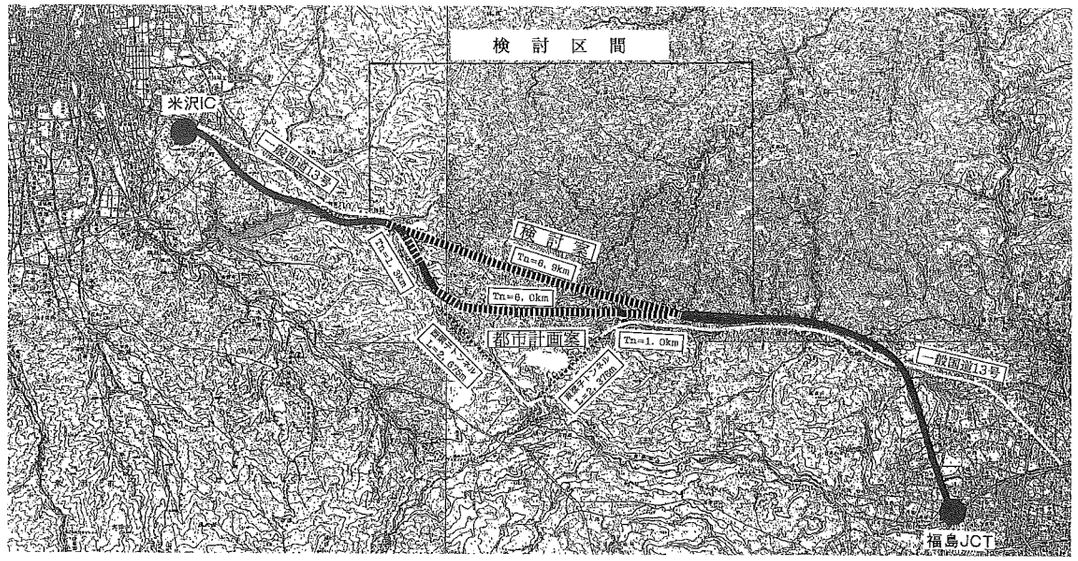
しかし，安房トンネルにおいて，氏が検討の初期段階から施工完了まで委員会に関係され，安房トンネル委員会の席上，ルートを野麦峠に変更するように，何度も，いつもおっしゃるので，当時の中部地方建設局道路部長ほかの方々が閉口していた，とお伺いしていました．しかし，このトンネルの計画段階から鍋底に穴を開けかねないとして，通常の断面より大きい調査坑を，氏が求められ，工事中に発生した大出水にも対応できたと聞いています．

このルートは，焼岳の火山帯に属し高熱隧道ということを非常に懸念されておりましたが，調査坑(避難坑)貫通後に，明かりの橋梁基礎掘削の際に生じた水蒸気爆発事故後の対応も，氏がなされたものです．

国道13号の栗子峠に，東栗子，西栗子トンネルの2本のトンネルが供用されています．氏が福島工事事務所長のときに計画されたものと伺っていますが，当時，氏は1本のトンネルで計画をされたようです．最近，自動車専用道として新栗子トンネルが計画された際に，延長6km程度の1本で検討が始まっております．この時点での計画は，氏が以前に検討されたルートとほぼ同じであり，検討資料として以前の計画資料も多用されており，氏も喜んでおられました．

氏の計画されたころから比べると，トンネル建設技術は大幅に進歩しており，施工の高速化もなされてきたと思います．なお，現在工事中の新栗子トンネルは，標高を下げたことにより，さらに延長の長いものになっております．結果的に，氏は当時の建設技術でも実現できると考えておられたものが，現在に至ってようやく実現しようとしております．

これとは逆に，本州四国連絡道路(明石～鳴門ルート)の淡路島島



新旧栗子トンネルの計画比較

内は，見るとわかりますが，基本は淡路島の中央から東を通り，一度西側の海岸にまで達して再度東に戻ります．このルートに対して，なぜ西を回らなければならないかと不満を述べられておりました．確かに，西海岸近くの設計・施工は難しく，現地を見ても，大変だと感じました．しかし，技術的な難しさだけで，不満をおっしゃるとは思われません．やはりルートの選定に対して疑義がおありになったのではと推察されます．

このように氏は，現場主義・実証主義・直営主義を貫かれ，自らの頭で考え，自らの足で調査をし，自らの手で試験をするという基本理念を守られた方でした．

現場に同行させていただいた際に，写真を撮るために遅れたりすると，見て頭に入れろと怒鳴られました．こちらとしては，記録に残すためにと考えていたのですが，現場の問題を抽出し，解決策を考える基本は現場にある，ということを実践された方だと思います．全く逆かもしれませんが，関連する文献にもよく目を通しておられ，若いわれわれが不勉強だと思い知らされました．

おわりに

氏は，日本酒と料理をこよなく愛されました．かつては難しいトンネル工事も少なく，現場が都会ではなく，地方に集中している時代であり，地酒と地元の料理，そこの気候・雰囲気という3点セットも教えていただきました．

さいごに建設省当時の逸話を2つ．

一つは，事務所長時代に所長車のダッジに作業服，腰手ぬぐいと赤い鼻緒の藁草履きで，局や本省に行かれたとか．さらに，転勤の際には，地元芸者衆の見送りを受けたとか．

二つめは，役所の上司にはうるさい方のようでしたが，運転手の方や用務員さんには優しく気を遣っておられたそうです．研究所時代には，作業服，腰手ぬぐいに杖代わりのピッケルという出で立ちで，現場で気にくわないときには，……という感じでした．最後まで，現場に行かれることを楽しみにしておられた方でした．

研　究

長期間の計測データを活用したトンネル変状の将来予測

(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部副主任研究員　津野　究
(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部副主任研究員　仲山貴司
(公財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部研究員　平田　亮
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻助教　嶋本敬介

1 はじめに

これまで，地圧を受けている鉄道トンネルの変状監視においては，手動により内空変位やひび割れ幅などを計測する方法が一般的であり，コスト面や配線設置作業の制約などから自動計測を導入してリアルタイムにデータを取ることは稀であった．一方，近年，無線センサを活用した計測技術も開発され[1]，トンネルの長期的な変状監視に自動計測を用いることが十分可能であると考える．自動計測を用いた場合，データ取得頻度が高くなり膨大なデータが蓄積されるが，温度の日変化などに起因する変動や誤差が含まれる．しかし，このようなばらつきを含んだ計測データを活用した変状の将来予測法は提案されておらず，これを有効活用できていないという課題もある．

そこで，本研究では，リアルタイムで得られる計測データから温度の日変化などに起因する変動や誤差を除去する手法を開発するとともに，計測データを活用した地圧による変状の将来予測法を提案した．

2 温度変化などを考慮したデータ処理法[2]

2-1 検討に用いた計測データの概要

無線センサを用いたひび割れ幅および温度の計測[3]により得られたデータを用いて，温度の日変化などに起因する変動や誤差を除去する手法の検討を行った．図-1のように供用中の鉄道単線トンネルの坑口部と，坑口から15mおよび87mの側壁にあるひび割れや目地にπ形のひび割れ幅計および子機(図-2)を取り付け，ひび割れ幅および温度をリアルタイムで計測した．一方，坑口部に親機

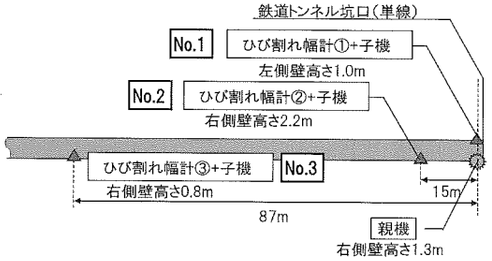


図-1　現地計測の概要[3]

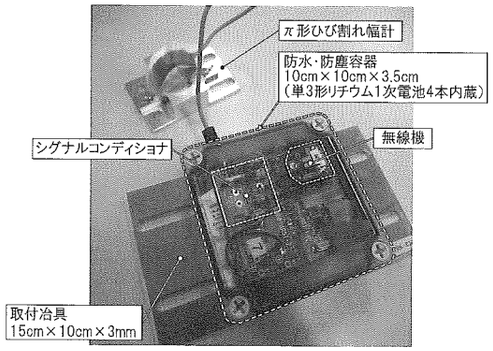
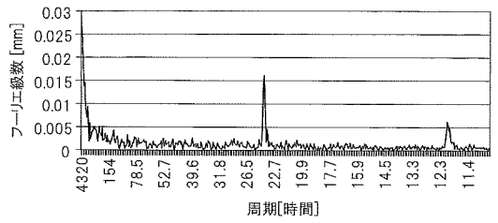
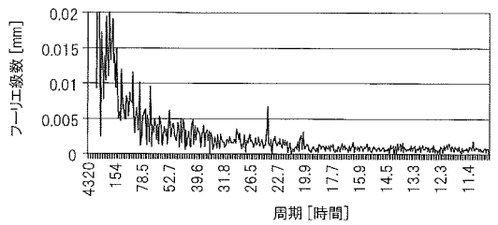


図-2　無線センサ子機

を設置し，子機から親機まで無線(Zigbee規格)で計測データを送信した．また，親機まで送信されたデータは，USBケーブルで親機とパソコンを接続して収録している．子機は単3形リチウム1次電池4本で駆動させ，電池も含めて幅10cm，奥行き10cm，高さ3.5cmの防水・防塵容器に格納している．本試験では，おおむね8分30秒間隔でデータを収録し，本検討ではこのうち180日分のデータを用いている．



(1)　No.1　坑口近傍



(2)　No.2　坑口から15m

図-3　周期とフーリエ級数の関係

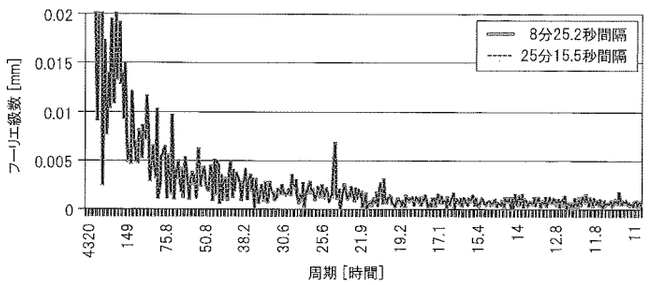
2-2　計測データのフーリエ変換

リアルタイムで得られた計測データを時刻歴の波形とみなし，フーリエ変換(フーリエ級数展開)による周波数分析を行った．この結果，**図-3**のように，スペクトルに周期24時間の明瞭なピークが見られ，坑口に近いほどこのピークの成分が大きい傾向が確認できた．温度についても，同様の傾向が確認され，ひび割れ幅のスペクトルで見られたピークは，温度の日変化に関連するものであり，日変化の影響を受けやすい坑口に近いほど顕著になったと考えられる．

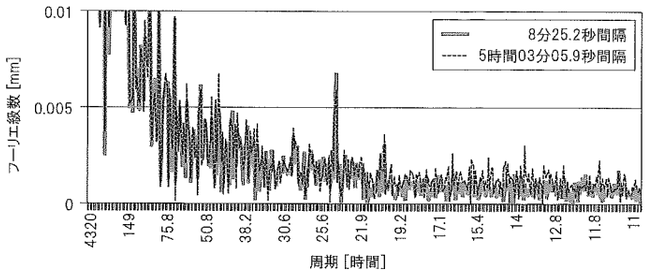
2-3　サンプリング間隔を変えた場合の検討

長期的に自動計測を行う場合，適切なサンプリング間隔を設定する必要がある．そこで，データを間引くことによりサンプリング間隔の異なるデータを作成し，周波数分析により得られるスペクトルを比較した．

結果の一例を**図-4**に示す．これより，25分間隔のデータのスペクトルは，オリジナルデータ(8分25秒間隔)とおおむね一致しているが，サンプリング間隔が大きくなるほど差が大きくなり，5時間3分間隔のデータのスペクトルについては，24時間より長い周期の成分についても差が見られる．そこで，24時間より長い周期の各周波数(周期)について，間引いたデータとオリジナルデータのフーリエ級数の差分を計算し，その絶対値を総和した(**図-5**)．図より，すべての計



(1)　25分15秒間隔のデータとの比較



(2)　5時間3分間隔のデータとの比較

図-4　サンプリング間隔を変えたときのスペクトルの比較(No.2)

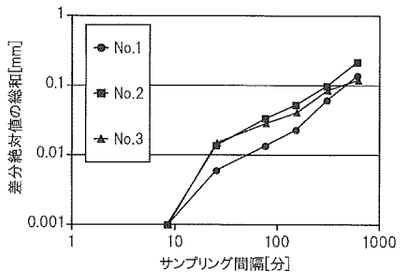


図-5　スペクトルの差分(ひび割れ幅)

測データについて，サンプリング間隔が大きくなるほど，オリジナルデータとのスペクトルの差分が大きくなる傾向が確認できる．これは，サンプリング間隔が大きくなるほど，日変化より長い周期の成分に及ぼす影響も大きくなることを定量的に表していると考えられる．このようにサンプリング間隔の異なるデータを周波数分析し，長い周期の成分を比較することにより，サンプリング間隔が長期的な変動に及ぼす影響を定量的に検討できると考えられる．

2-4　短期的な変動に対するデータ処理方法

計測データを周波数分析して得たスペクトルのうち，周期が短い成分については，長期的な変動に影響しない成分だと考えられる．そこで，ローパスフィルタをかけることによって短期的な成分を除去することを試みた．ここでは，フーリエ変換を行ってスペクトルを求め，周期7日より短い成分を除去した後に，フーリエ逆変換をすることにより処理後の波形を算出した．

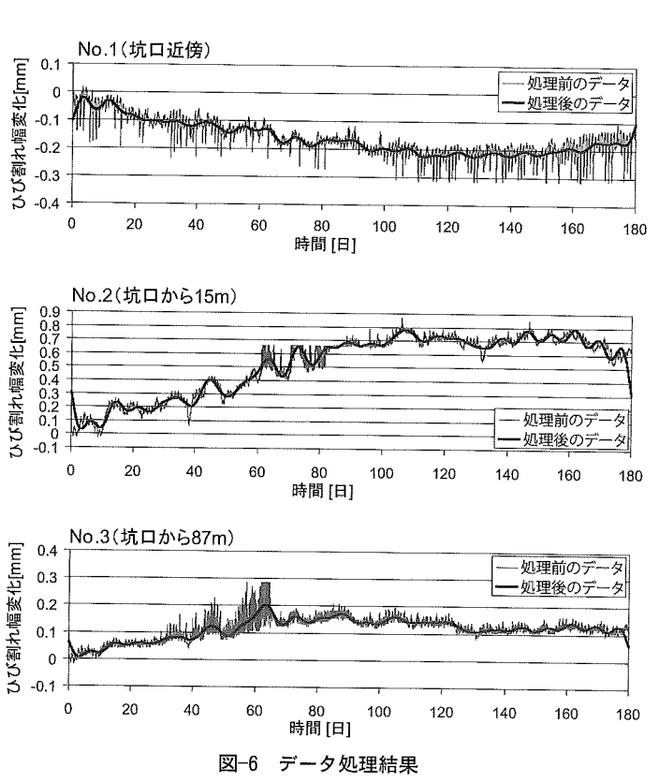


図-6　データ処理結果

ひび割れ幅の計測データについて，データ処理を行った結果を**図-6**に示す．これより，処理前のデータには温度の日変化などに起因する短期的な変動が含まれているが，処理後のデータにはこれが除去されていることが確認できる．以上のように，自動計測により得られたリアルタイム計測データにローパスフィルタをかけることにより，温度の日変化などに起因する変動や誤差を除去できることが確認できた．

3　計測データを活用した将来予測法

3-1　変状予測法の概要

図-7に変状予測法の検討フローを示す．この方法は，覆工や周辺地山に与える荷重や変位を逐次増加させるようなステップ解析を行い，解析ステップごとの内空変位やひび割れ幅などの解析値を算出する．これと実際の計測データから，「時間と解析ステップの関係」を求め，その進行性の平均とばらつきを求めて将来予測を行うものである．

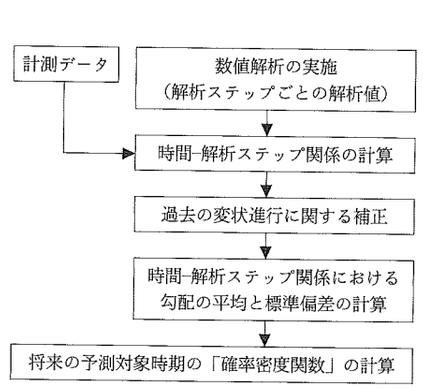


図-7　変状予測法のフロー

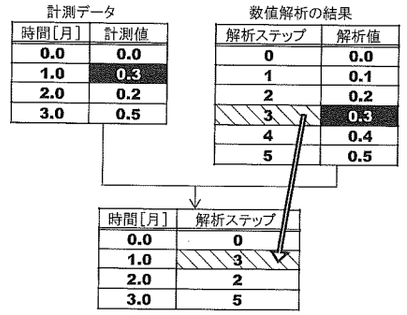


図-8　時間-解析ステップ関係の計算

まず，計測値に対応する解析ステップをすべての計測データについて求め，**図-8**のように「時間と解析ステップの関係」を整理する．ここで，計測を開始した時点で既に変状が進んでいることもあるが，その場合，過去の変状進行に関する補正を行う．

つぎに，時間と解析ステップの関係を同じグラフにプロットし，勾配の平均とばらつき(標準偏差)を計算する．これをもとに，**図-9**のように将来の予測対象時期の確率密度関数を算出する．ここで，対策の目安となる解析ステップを設定すれば，予測対象時期に対策の目安を超える確率を求めることができる．また，これを逐次計算することにより，時間ごとの「対策が必要となる確率」を求めることができる．

3-2　地圧による変状を対象としたシナリオ

トンネル変状の進行性を解析的に検討するためには，トンネルの構造条件や覆工の状況のほか，周辺地山の物性値やトンネル背面空洞の状況といったデータが必要となる．一方，これらのデータが不十分な場合があり，変状が発生している箇所は地形・地質やトンネルの構造条件が特異なことも多く，解析で用いる物性値を設定することが容易でないことも多い．そこで，概略的に将来予測を行う場合を想定し，既往のトンネル変状の事例をもとに代表的かつ標準的なケースの解析を行ってシナリオを作成し，これを用いて変状の将来予測をすることとした．

解析は，有限差分法(コード名：FLAC3D)を用いて行った．**図-10**のように新幹線複線断面のトンネル(インバートなし)を想定した二次元解析モデルを作成し，地盤はMohr-Coulombの破壊条件に従う弾完全塑性体で，覆工はひび割れ発生による軟化を考慮したモデルで表現した．変状は，塑性圧による変状などを想定した側圧モデル，斜面地形などで見られる偏圧モデル，緩み圧による変状を想定した鉛直圧モデルの3パターンとした．解析ステップ30のときに地山のひずみが2.0%となるように境界部分に変位を逐次与えている．また，側圧モデルおよび偏圧モデルについては，背面空洞の範囲を変えたケースの計算を行った．解析入力値を**表-1**に，解析ケースを**表-2**に示す．

解析結果の一例を**図-11**に示す．このように解析により得られた内空変位やひび割れ幅などの解析値の経時変化を，変状シナリオとして将来予測に用いた．

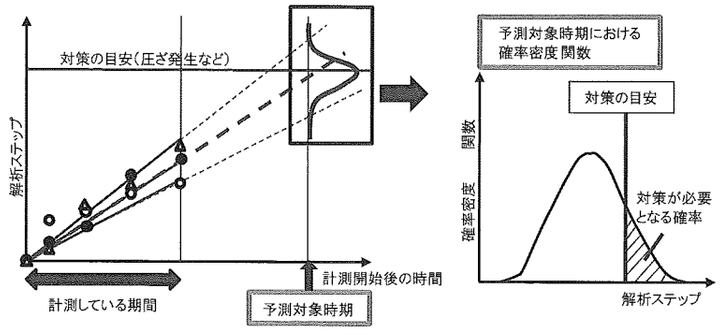


図-9　将来予測の概念図

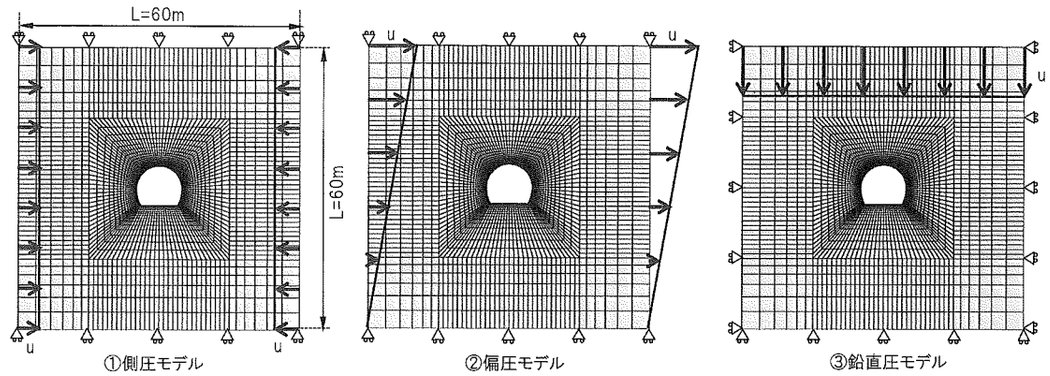


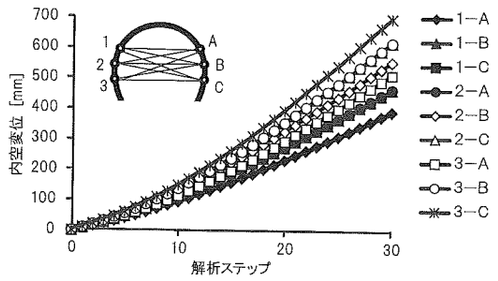
図-10　解析モデル

表-1　解析入力値

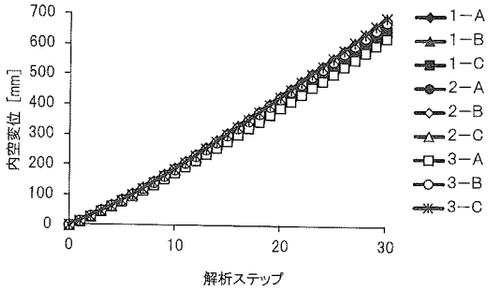
	覆　工	地　山
単位体積重量	23.5kN/m³	20.0 kN/m³
変形係数 E	22.0GPa	100.0MPa
ポアソン比 ν	0.20	0.30
せん断強度 c	6.35MPa	0.15MPa(タイプA) 0.10MPa(タイプB)
内部摩擦角 ϕ	30°	30°
引張強度 σ_t	2.0MPa 引張強度到達後に軟化	0.17MPa

表-2　解析ケース

	側圧モデル		偏圧モデル	鉛直圧モデル
	タイプ A	タイプ B		
背面空洞なし	○	○	○	○
背面空洞あり(30°の範囲)	○	○	○	
背面空洞あり(60°の範囲)	○	○	○	
背面空洞あり(90°の範囲)	○	○	○	
背面空洞あり(120°の範囲)	○	○	○	



(1)　背面空洞なし



(2)　背面空洞あり(90°の範囲)

図-11　解析結果の例(側圧モデル)

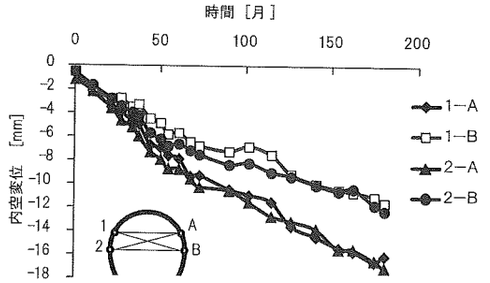


図-12　模擬データ

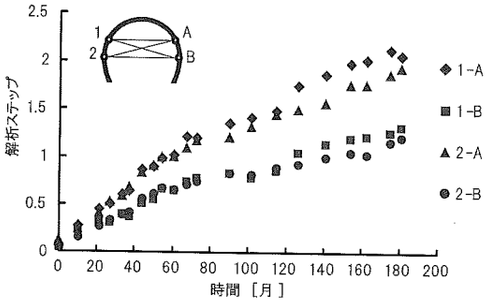
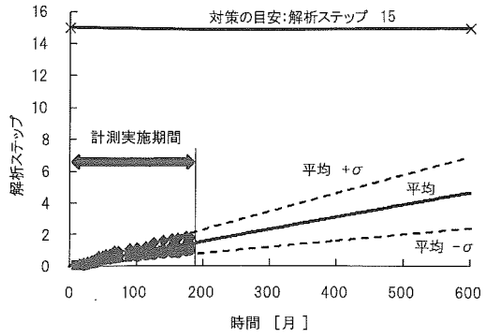
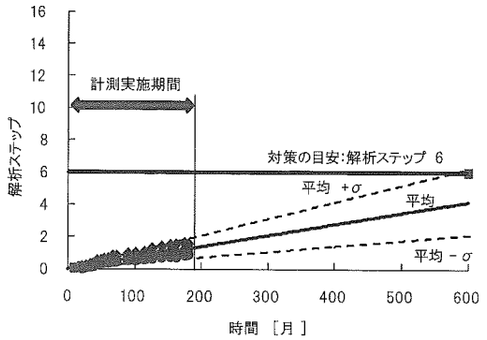


図-13　時間と解析ステップの関係の一例(側圧モデル，背面空洞なし)



(1) 背面空洞なし



(2) 背面空洞あり(30°の範囲)

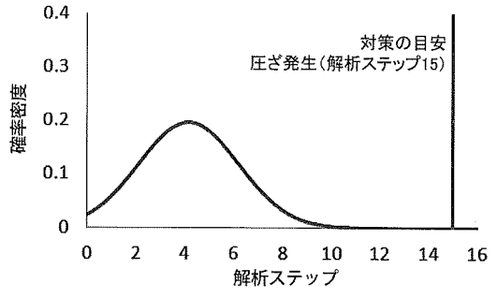
図-14 将来予測の検討過程

が，背面空洞がある場合，圧ざが発生して対策の目安を超える確率が11.3%となる試算結果となった．

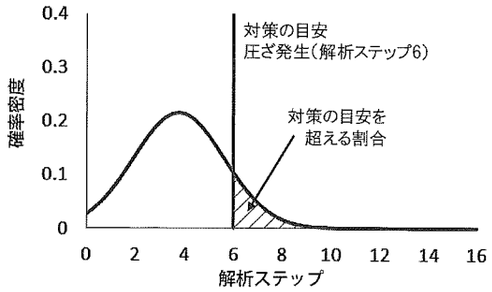
このように，割り切った条件下での模擬データを用いた試計算ではあるが，提案した手法を用いることにより，予測対象時期に対策が必要となる確率を計算できるとともに，将来対策の目安を超える確率が計算できることを確認した．

4 おわりに

本研究では，自動計測で得られる膨大なデータから温度の日変化などに起因する変動や誤差を除去する手法を開発するとともに，計測データを活用した地圧による変状の将来予測を行う手法について提案した．今後も引き続き計測データを蓄積するとともに，将来予測の精度向上に向けて研究を深度化していきたいと考えている．



(1) 背面空洞なし



(2) 背面空洞あり(30°の範囲)

図-15 計測終了30年後の確率密度関数の予測結果(側圧モデル)

さいごに，ご指導，ご協力いただいた関係各位に感謝の意を示す次第である．

参考文献

1) 津野究・蒲地秀矢・中西祐介・仲山貴司：無線センサを用いたトンネル変状監視，トンネルと地下，Vol.41，No.3，pp.49-53，2010.
2) 津野究・蒲地秀矢・舟橋孝仁：トンネル変状監視におけるリアルタイム計測データの処理に関する研究，トンネル工学報告集，Vol.21，pp.189-194，2011.
3) 舟橋孝仁・津野究・蒲地秀矢・伊藤富英・福司淳一・中西祐介：無線センサを活用したトンネル変状監視システムの実トンネルへの適用，土木学会第65回年次学術講演会講演概要集，VI-449，2010.

報 告

「ITA総会および世界トンネル会議(バンコク)」報告

日本トンネル技術協会

国際トンネル協会(以下「ITA」)の第38回総会が，2012年5月18～24日にタイのバンコクで開催され，68の加盟国のうち53か国が参加した．あわせて開催された2012年世界トンネル会議(以下「WTC」)は，ITAならびにタイ地下トンネルグループ(TUTG)およびタイ王国工学会の共催により，「グローバル社会のためのトンネルと地下空間」のテーマのもとで約1,300名の参加があった[7]．

日本からの参加者は，佐藤会長をはじめとするITA総会，作業部会(WG)の担当者およびWTCの論文発表者などを含めて56名であった．

以下に，その概要を報告する．

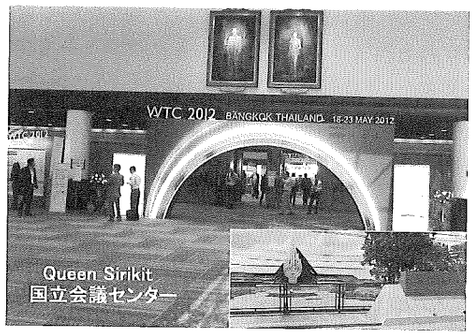


写真-1 ITA & WTC 2012バンコク会場

1 ITA総会

1-1 ITA総会(代表者会議)

1-1-1 会員状況

新規加盟国として，コスタリカ，エクアドル，マケドニア，ミャンマーの4か国が承認された．

また，新規加盟会員として15名を承認した．結果，会員は全体として68か国，305名となった．

1-1-2 決算報告および予算

過年度の決算報告および2012～2013年の事業計画・予算を承認した．年間の事業規模は，おおむね63万ユーロである．収入は，加盟国・会員からの会費，スポンサーからの賛助金が主なものであり，支出は，事務局経費，報告書，TUST，ITAウェブサイト，ita@news，作業部会(以下「WG」)などの活動費である．

1-1-3 今後のITA総会，WTCの開催予定

2015年の開催候補地としてミュンヘン(ドイツ)，ドゥブロブニク(クロアチア)，コペンハーゲン(デンマーク)が立候補し，投票の結果，ドゥブロブニクでの開催(2015年5月22～28日)が決定された．

なお，次回はスイス・ジュネーブで2013年5月31日～6月7日(テーマ「地下―未来への道筋」)に，次々回はブラジル・イグアス(開催地がサンパウロから変更された)で2014年5月9～15日(テーマ「より良い暮らしのためのトンネル」)に開催の予定である．

1-2 出版物および情報発信

1-2-1 メール配信「ita@news」[1)]

ITAのニュースを昨年5回配信した．配信先は約8,000名であった．ITAは，購読者からの反応を期待している．なお，ita@newsの配信希望者はITAウェブサイトで登録可能である．

1-2-2 論文集『Tunnelling & Underground Space Technology (TUST)』

TUSTは，印刷物として出版しているほか，ITA会員は電子版へのアクセスが可能である．

1-2-3 ITAウェブサイト[1)]

130か国から約5,800件/月のアクセスがある．昨年，一般人および意思決定者向けのサイトを新設した(英，仏，西語)．

1-2-4 ITA報告書[1)]

WGの成果として，以下の報告書を出版した．いずれもITAウェブサイトからダウンロード可能である．

『トンネル工事の監視と管理』 (WG 2)
『トンネル工事中換気のガイドライン』(WG 5)
『高圧気下作業のためのガイドライン』(WG 5)
『企業者向け沈埋トンネルのガイド』(WG 11)
『都市問題―地下化による解決策』 (WG 20)

1-2-5 PRビデオ

学生，若手技術者向けのトンネル産業PRビデオを製作し，ITAウェブサイトやYou Tubeに掲載．

1-3 理事会，作業部会などの活動報告[1)]

1-3-1 理事会の活動

全体会議を4回開催してITAの運営について検討するとともに，加盟国などとの良好な関係の構築や新規会員の増員を図るために会議・セミナーの後援や表敬訪問を実施した．

また，国際的な姉妹協会である，PIARC, ISRM, ISSMGE, IRF, IFME, ISOCARP, ICLEIおよびACUUSとの連携を進めている．また，国連の国際防災戦略(UN-ISDR)との関係を強化した．

1-3-2 作業部会(WG)の活動

現在，12のWGが活動している．WGへの参加は，国際会議での講演発表などでは得られない方法での情報の発信・収集や個人・グループとのネットワークの構築が可能であり，これらの活動を通じて日本の技術や考え方を理解してもらう良い機会である．今回，日本からは7つの作業部会に参加し，WG 12(吹付けコンクリート)には部会長として石田積氏(電気化学工業(株))が，WG 15(建設工事と環境)には副部会長として太田義和氏(太田技術事務所)が参画している．

各WGの活動状況は以下のとおりである(以下，敬称略)．

(1) **WG 2：研究開発**

部 会 長：E. Leca(フランス)
副部会長：C. Yoo(韓国)
担当理事：S. Eskesen(デンマーク)

地下構造物における研究開発に関する内容を取上げ，計画・設計・施工などの分野に関して技術者の手助けとなる話題を中心に審議を行い，取りまとめた資料をITAウェブサイトなどにより積極的な公開を行っている．

今回は昨年度からの継続として「トンネル計画における現地調査方法の検討」，「セグメント用の繊維補強コンクリートに関するレポート」に関する審議が行われた．前者は執筆した原稿案の審議に加え，WG 3のメンバーを交えた意見交換が行われ，今後はWG 3のメンバーによるレビューや，WG 3から提起される内容を踏まえた共同出版となる方向で準備が進められることになった．また，後者に関しては諸国における施工実績をさらに調査し，レポートの中に盛り込むことが確認された．加えて，昨年度のWGでトンネル工事におけるリスクマネジメントに関する話題が提起されたが，特定のプロジェクトで実施されたリスクマネジメントに関する資料を収集し，WGで決定した様式に則ったデータを蓄積するところから行うことになった．

さらにWG 2の次のアクションとして「持続的な発展」に関する話題について議論が行われた．今後，持続的発展の目標に関連した地下構造物の性能評価に関するツールといった内容を取り上げる方向が確認されたが，理事会などへ意見を諮り調整が行われることになった．

引き続き，わが国としてもトンネル技術の発展につながるわが国の情報の発信を行い，一層有益で活発な議論が進められていくことを目指したい．

(文責：砂金伸治・(独)土木研究所)

(2) **WG 3：地下工事の契約**

部 会 長：A. Dix(オーストラリア)
副部会長：M. Smith(英国)
担当理事：M. Knights(英国)

ここ数年の研究成果として，『地下工事における契約骨子作成のためのチェックリスト』を発刊し，ITAのウェブサイトに掲載した．

代表的な契約約款であるNEC，SIA，FIDICに関する契約の現状と課題について議論し，その後，本WGの今後の検討内容やスケジュールについて検討した．その結果，他のWGと連携しながら，より具体的な項目のガイドラインを作成することとなった．

例えば，『紛争解決のためのガイドライン』『地盤条件に関する契約についてのガイドライン』『FIDIC，SIA，NECを使用する際のガイドライン』などの作成を試みる．しかしながら，各国の文化の違いもあるため，あらゆる契約に共通のガイドラインを作成することは難しいのではと感じた．例えば，「契約者同士の信頼と協力(Spirit of mutual trust and cooperation)」を契約条項に入れるべきか否かについて，WG内で意見が大きく分かれた．より具体的な項目に入れば入るほど，意見の取りまとめは難しくなるだろう．

(文責：横尾敦・鹿島建設(株))

(3) **WG 5：安全衛生**

部 会 長：D. Lamont(英国)
副部会長：M. Vogel(スイス)
担当理事：I. Hrdina(チェコ)

『工事中換気のガイドライン』(2011年11月)，『高圧気下作業のためのガイドライン』(2012年2月)を発刊し，ITAウェブサイトに掲載済みである．

本年度は，『立坑工事のガイドライン』について引き続き検討を進めるとともに，新しいテーマとして『工事中の坑内の避難所のガイドライン』を取り上げている．鉱山では一般に用いられている避難所の諸基準(BS6164など)の調査を進め，トンネルでの適用について次回WTCまでに成案をまとめる予定である．

さらに今後の作業計画として，トンネル内のアスベストについての検討を考えている．

(4) **WG 6：維持修繕**

部 会 長：H. Russell(米国)
副部会長：R. van den Bosch(オランダ)
担当理事：Y. Bai(中国)

道路トンネル構造の耐火性向上について議論を重ね，技術資料を補足した．今後，耐火について新しい材料やシステム，リスク分析手法の開発が必要である．

今回，「火災抑制のためのミストシステムの試験(ドイツ)」「メンテナンスフリーのトンネル(ノルウェー)」「新しい防水材料・システム(米国)」「タブレットPCによるデータ処理(米国)」の4編の発表があり，意見交換をした．

(5) **WG 9：地震の影響**

部 会 長：W. Qiu(中国)
担当理事：D. Peila(イタリア)

参加メンバーより送付された資料をもとに，主に中国を中心としたトンネルの地震被害に関する情報の整理，被害の分析結果についての説明，報告があった．討議では地震被害の分析方法(とくに分類と分類の基準など)について再検討の必要性が指摘された．今後，指摘事項に関する再検討を行ったうえで，地震被害の情報の追加，被害に関する再整理を継続することとなった．

また，現在は不在の副部会長を地震に関する経験を有する日本，アメリカ，イタリアあるいはトルコなどから選出することが提案された．

(文責：上野光・鉄道・運輸機構)

(6) **WG 11：沈埋・浮きトンネル**

部 会 長：C. Ingerslev(米国)
副部会長：J. Baber(英国)
担当理事：Y. Leblais(フランス)

『企業者向け沈埋トンネルのガイド』について

は，全体で約40項目の付属資料のうち6項目までを作成して出版し，ITAウェブサイトに掲載済み(2011年10月)．引き続いて，付属資料を追加すべく検討を進めることとした．

今後，『浮きトンネルのガイド』の作成に着手するためのサブグループを立ち上げることとした．

既刊の『沈埋トンネルのカタログ』については引き続きデータを更新していく．

(7) WG 12：吹付けコンクリート

部 会 長：石田積(日本)
副部会長：O. Kleven(ノルウェー)
担当理事：F. Amberg(スイス)

1) 繊維補強吹付けコンクリート

各国の仕様や指針をリスト化し，さらに最近の研究開発や技術動向を紹介して取りまとめる報告書を作成している．各国の仕様や指針は，ほぼリスト化できており，その概要および評価・試験方法をまとめている．研究開発や技術は吹付けコンクリートに特化した国際会議の論文が多くあり，抽出して分類しており，動向をまとめ始めている．破壊に伴うエネルギー吸収を試験評価する方法がいくつかあり，比較を含めて論文報告が多い．初期の強度発現を含めた挙動，養生条件，腐食，収縮などの報告も数多い．また，合成(有機)繊維の検討や適用事例の報告も増えている．

2) 配合と耐久性

配合と耐久性に関する知見をまとめており，とくに建設現場で施工した吹付けコンクリートの耐久性をその場で評価できる手法を取り上げている．会合では主担当者が不在だったため，多くは議論できなかったが，引き続きメールなどを通じて報告書としてまとめる作業を進める．

3) 防 水

昨年から検討しているがWGとして進展はなかった．

このテーマを推進しているITA-Tech委員会のメンバーから活動内容の紹介があり，今後，ITA-TechとWG 12が取り組む課題を整理して進めることにした．

(文責：石田積・電気化学工業(株))

(8) WG 14：機械化掘削

部 会 長：L. Babendererde(ドイツ)
副部会長：B. Felchur(米国)
担当理事：C. N. Ow(シンガポール)

1) チャレンジング・プロジェクト

プロジェクトの新しい選定基準にもとづいて日本，中国，ロシアなどからの提出が8件あり，理事会の承認を得てITAウェブサイトをアップデートすることとした．

2) TBMの選別，施工，圧気の規定などに関するガイドライン

各委員に各国の新規ガイドライン，またガイドラインの改定があれば送付するよう依頼した．

3) 機械化掘削，山岳トンネル，沈埋トンネルの問題点比較表の作成

今回WG 14に関するパートの最終案を委員全員で協議，作成し，他のWGに送付することとした．

4) 今後WG 14で取り上げる課題の選定

- 切羽圧の設定
- 裏込め注入
- 計測管理
- TBMの仕様に関する定義

(文責：狭間裕志・(株)大林組)

(9) WG 15：建設工事と環境

部 会 長：J. Rohde(ノルウェー)
副部会長：太田義和(日本)
担当理事：A. Elioff(米国)

日本からの話題提供として福島原発事故によって放射能汚染された砕石をコンクリート骨材として民間アパートを建設してしまった事例とICPC(国際放射線予防委員会)による許容限度値の説明を行った．

2010年からの新規作業として，

- 地下開発に伴う環境問題への対応
- 地下開発に伴う環境対応に関する指針，勧告などの取りまとめ

を今後の作業方針としている．

このため，加盟各国から多くの具体事例を収集することとし，各国の環境対応状況，運用指針，

環境基準などの収集を行うこととした．

残念ながら作業部会メンバーの力不足もあり十分な進捗状況とはいえないが，今回の会議では来年に向けて，とくに掘削残土処理，建設廃材のリサイクル，(施工時，供用時の)換気，発破振動，騒音，地下水湧水などについて資料収集を行い英文化の整理を加速することとなった．

(文責：太田義和・太田技術事務所)

(10) WG 17：長大土かぶりトンネル

部 会 長：G. Seingre(スイス)
副部会長：J. Yan(中国)
担当理事：R. Lovat(カナダ)

『作業坑に関する報告書』の原案について検討するとともに，中国，イタリア，日本の事例を追加することとした．報告書は2013年に出版の予定である．

「中国の長大鉄道トンネルの設計・施工」「ネパール・ヒマラヤの軟弱地帯のトンネル施工」「アルゼンチン～チリ間のBioceanico Acconcagua鉄道プロジェクト」の発表があり，関連して討議をした．

今後，アルゼンチンBioceanico Acconcagua鉄道プロジェクトをケーススタディーとした巨大プロジェクトの財政に関する報告書を2013年にまとめる予定である．

(11) WG 19：在来工法(NATM)

部 会 長：H. Ehrbar(スイス)
副部会長：R. Galler(オーストリア)
担当理事：F. Vuilleumier(スイス)

『山岳工法における契約ガイドライン』の原稿を作成している．会合では本ガイドラインの最終原稿内容の調整が行われ，ガイドラインで次の提言をまとめることになった．山岳工法においては，

① DBB(Design bid build)契約が望ましい
② 数量と時間に関する明確な規定を設けたUnit Price契約が望ましい
③ 地盤条件が異なった場合の条項を明記するのが望ましい
④ 山岳トンネルの経験が豊富な人間が意思決定すべき
⑤ 紛争解決委員会の活用が望ましい

今年度中にはガイドラインを発刊する予定．山岳トンネル工事における地質の不確実性に関するリスクは発注者が持つべきであり，これをDBBとUnit Price契約で実現するという考えが欧米では主流になっており，これをガイドラインにて改めて明確にしたいという意思が反映されている．

(文責：横尾敦・鹿島建設(株))

(12) WG 20：都市問題と地下化による解決策

部 会 長：W. Broere(オランダ)
副部会長：V. Ahuja(米国)
担当理事：P. Kocsonya(ハンガリー)

都市の諸問題(稠密空間，景観，渋滞，インフラの老朽化，洪水，騒音・大気汚染，下水など)を解決するための地下化(道路・鉄道トンネル，地下駐車場，上水の貯留など，豪雨対策，エネルギー・物資の配送，地下備蓄，リクリエーション，ショッピングのための施設，事務所や居住空間)および施策決定プロセスにおける地下利用の提言(環境影響，景観，社会的・法律的な影響，移動時間の短縮，省エネルギー，資産価値の向上)について議論している．

今年4月にこれまでの成果をまとめた『都市問題—地下化による解決策』を発刊し，ITAウェブサイトに掲載済みである．

今後，地下建設の代表プロジェクトを収集し，地下利用のメリットの評価法を検討する．なお，ITA-CET，ITA-CUSおよびISOCARPとの連携を図る．

1-3-3 ITA委員会の活動

ITA委員会は，ITA傘下の組織であるが，委員会の登録，参加ともにITAとは独立して運営されている．ここ数年，各委員会の活動がとみに活発化している様子がうかがえる．

(1) ITA-COSUF：安全運営委員会

委 員 長：D. Lacroix(フランス)
担当理事：F. Amberg(スイス)

地下施設の安全と管理運営に関する最新情報の交換と発信を目的としている．

次の4つのグループで活動を展開している．

AG 1：欧州および国際的な情報交換
AG 2：基準および実施例
AG 3：研究および新しい知見
AG 4：欧州の道路トンネル安全担当官の会合

PIARCと協働し，SLOT²，ACUUSとの連携を図って活動している．WTC会期中に，会議参加者に開かれたかたちでワークショップを開催した．

セッション1では，爆発の衝撃，爆発による荷重，道路トンネルの設計火災(PIARC)，セッション2では，火災規模の設定，閉鎖空間での爆発解析，沈埋道路トンネルの安全対策計画例，セッション3では，指針などの具体事例への適用例，霧噴霧設備の大規模実験計画の紹介，安全対策と規則の法的根拠との関連，などについて，発表と討議が行われた．

(文責：太田義和・太田技術事務所)

(2) ITA-CET：教育訓練委員会

委 員 長：A. Assis(ブラジル)

世界各国の大学などの教育機関とトンネル技術に関する教育訓練の情報を交換するとともに，ITA協賛のもとで開催されるトンネル技術に関する教育訓練プログラムを支援し，教材の提供，講師の紹介をしている．

今回，WTCに先立ち地元のトンネル技術者を対象とした教育プログラムの開催を支援した．今回のテーマは「都市内のトンネル建設」で2日間コースであった．このプログラムではITAの理事やプライムスポンサーが講師を務めており，当地での市場開拓のビジネスチャンスとしても捉えているようである．

(3) ITA-CUS：地下利用委員会

委 員 長：H. Admiraal(オランダ)

WTC会期中に自由参加形式で開催された．とくに設定された話題はなく各国の状況，開催国タイの状況などをランダムにかつ率直に話し合った．来たる11月7～9日にシンガポールでのACCUSの開催に積極的参加の要請があった．

欧米およびアジア諸国においては，地下空間の現計画の見直し，将来的利用計画までもが，地域社会，民間コンサルタント主導で行われる場合が多々あり，わが国では行政側に偏りがちなこれらのテーマについても積極的に行動している．

なお，今回開催したオープンセッション(1-4節参照)は，本委員会の企画・運営によるものである．

(文責：太田義和・太田技術事務所)

(4) ITA-Tech：技術情報委員会

昨年発足した委員会で，地下建設の調査，設計，施工，維持管理に関する技術情報を最新のものとする活動を開始している．これまでに3つのテーマ(掘削，防水覆工，モニター)のグループができ，バンコクでの委員会の全体会議で，新たに1つのテーマ(支保)を開始させることを採択した．

委員会活動に参画できるのはITAのサポーター(年会費1,500ユーロ)である必要がある．また，委員会の各テーマを主導するグループリーダーはプライムスポンサー(年会費5,000ユーロ)である必要がある．

このように委員会は，ITA加盟各国の代表者および代理者が参画できるITAのWGと異なり，企業色が強く，ITAの活動をビジネスに展開する意図がうかがえる．

(文責：石田積・電気化学工業(株))

1-4 ITAオープンセッション[6]

前回に引き続きITA-CUSの運営により，テーマ「世界の変革をもたらす都市地下空間―良好な弾力ある都市の計画―」のもとでパネルディスカッションが開催された．

H. Admiraal(ITA-CUS委員長)の司会のもと，次の発表があった．

「パリの持続可能な発展における地下の役割」
J. P. Palisse(パリ大都市圏機構)
「地下空間と都市計画」A. Cornaro(ITA-CUS)
「2011年タイ大洪水」
C. Chantararat(タイTEAM Group)
「化学産業の責務についての計画」
M. Volmer(BASF)

その後，関係者を含めたパネルディスカッションが行われた．主な論点は，

- 地下空間利用を都市計画にどう取り込むか
- 地下空間利用は都市の活性化にどのような貢献ができるか
- 世界的展望のプログラムからわれわれの産業は利益を得られるか

であった．

2 世界トンネル会議(WTC)[7]

2-1 Muir Wood記念講演[3]

故Sir. Muir Woodの功績をたたえる第3回記念講演は，ドイツ・シュトゥットガルト応用科学大学のFritz Grubl教授による「セグメントリングの設計」であった．

ロシア・サンクトペテルブルクの直径18.65mのOrlovskiダブルデッキ道路トンネルを例としてセグメントの設計法の紹介があり，あわせて鋼繊維セグメントの紹介があった．

2-2 WTC基調講演[3]

下記の基調講演が行われた．

「地盤工学的設計とトンネル工学―東洋と西洋の文化―」 H. Wagner(ITAエキスパート)
「タイにおけるインフラ整備と地下空間技術」[4),5)] N. Phien-wej(アジア工科大学)
「ソウルにおける地下空間の利用と将来予測」
S. R. Kim(ESCO社)

2-3 WTCテクニカルセッション[3]

「グローバル社会のためのトンネルと地下空間」のテーマのもとで，下記のトピックスについて世界各国から論文の応募があった．

- 機械化掘削の進展
- 契約実務，商業的側面，リスクマネジメント
- 在来工法(NATM)
- 深部の掘削
- 長大，大深度のトンネル
- 地下鉄のトンネル
- 地下利用による災害の軽減とマネジメント
- トンネルの安全
- トンネルの修復
- 近接施工
- 地下構造物の耐震性
- 都市トンネル
- 地下空間の利用

358編の論文が採択され，5月21～23日の3日間，口頭およびポスターによる発表がなされた．日本からの論文発表数は34編に上り，韓国，中国とほぼ同数であった．

2-4 東南アジアセッション[3]

開催地バンコク近隣の東南アジア各国のトンネルおよび地下空間利用の現状について，次の発表があり，意見交換が行われた．

「香港の深部トンネルの計画」 R. Frewほか
「シンガポールの地下鉄の計画，設計，施工」
Y. Kwet-Yewほか
「マレーシアのトンネルと地下空間」T. A. Ooi
「タイ，ラオス，ミャンマーのトンネル建設」
C. Tanomtin

2-5 WTC展示会[7]

展示ブースおよび会場ロビーにおいて，掘削機械関連会社，計測機器メーカー，材料関連会社，エンジニアリングコンサルタント，現地のゼネコンおよび協会など約76社の出展があった．日本からは電気化学工業，技研製作所，TAC社が出展した．フランス，ノルウェー，スイスのトンネル協会のブースでは，会員企業および協会活動の成果のPRをしていた．

いずれのブースも展示の機会をビジネスチャンスとして捉え，中には具体のプロジェクトについて打合せを進めている様子もうかがえた．

なお，展示会に出展していた企業などのリストおよび概要は当協会のウェブサイト[2)]でも紹介しているので参考とされたい．

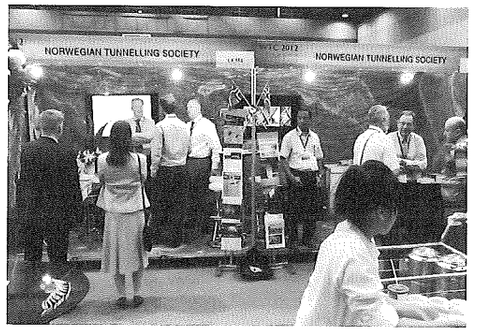


写真-2 WTC展示会場(ノルウェートンネル協会)

2-6 現場視察[7]

WTC行事の一環として5か所の現場視察があり，バンコク地下鉄Blue Lineの駅の建設現場が2か所，高層ビル建設に伴う地下部の建設現場（地下鉄に隣接），上水道トンネルの補修更新現場，および地下下水処理施設であった．

ここでは高層ビル建設の地下部建設現場（G-Land Tower Grand Rama 9 Project）の概要を紹介する．本プロジェクトはG形状をした地上35階，地下5階の複合オフィスビルで，将来バンコクのランドマークとなる．地下2階部分はバンコク地下鉄のラーマ9世駅に接続する．2012年4月に掘削が完了し，現在は厚さ2.95mの底版基礎を施工しているところであった．

施工概要は以下のとおりである．

- 掘削深さ：20.15m
- 地下連続壁：7,139m²
  （壁厚1.0～1.5m，深さGL－25m）
- 杭　基　礎：φ1,200＝16本，φ1,500＝213本
  （深さGL－59m）
- パイルウォール：
  φ800＝44本（深さGL－23m）

現地では，掘削床付け面，底版基礎の施工状況を見学した．仮設材料であるH形鋼が全溶接で接合されていた．溶接で接合する方が強度・耐久性に優れると思うが，施工に手間がかかる．日本ではH形鋼のフランジ，添接板をボルト接合して鋼材長を調整する場合が多い．ボルト留めの場合，孔開けによるフランジの断面欠損は生じるが，仮設材の転用の際の施工手間の省略，転用回数に期

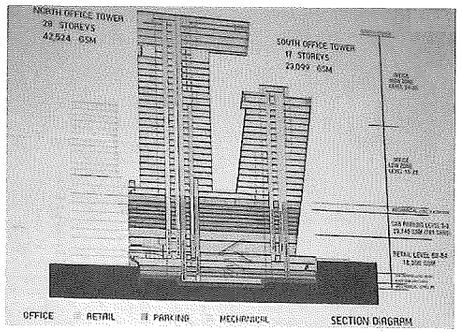
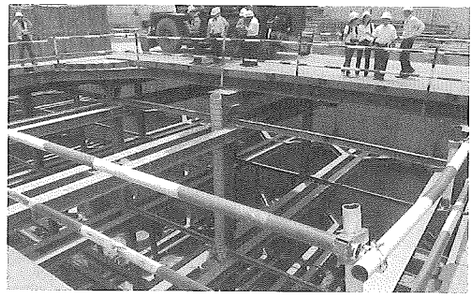


写真-3　G-Land Tower Rama 9


写真-4　現場見学の様子（切梁，安全柵など）

待ができる．どちらも一長一短があるが，経済性を追及する日本ならではの工夫ではないかと感じた．

また，街中を歩いていて「Safety First」という看板を何度か見かけたが，安全管理については不十分なところがあるように感じた．見学現場でも，覆工板と安全柵との間に大きな隙間があったり，昇降階段へ通じる安全通路が腹起しであったり，切梁や腹起し上に親綱が付けられていないなど，人命を考えたらぜひとも改善すべきだと感じた．

（文責：吉野弘明・鉄道・運輸機構）

あ と が き

本稿は，会議に参加された多くの方々からお寄せいただいた原稿をもとに事務局で編集したことを報告し，お礼の言葉といたします．

参 考 資 料

参考ウェブサイト

1) ITA（国際トンネル協会）：www.ita-aites.org
2) JTA（日本トンネル技術協会）：www.japan-tunnel.org

参考資料（JTA蔵書）

3) WTC 2012論文集（Muir Wood記念講演論文，基調講演論文，東南アジアセッション論文，テクニカルセッションの発表論文），紙版961p.と電子版．
4) Tunnelling and Underground Spaces in Thailand, 134p.
5) Tunnelling and Deep Excavation Works in Thailand —Past, Present and Future, 16p.
6) Urban Underground Space in a Changing World —Planning Better and Resilient Cities—（オープンセッション資料），24p.
7) Final Programme—WTC 2012, Bangkok THAILAND, 88p.

連載講座

トンネル技術者のための地相入門（6）

—傾斜層下のトンネル工事—

「地相入門」連載講座小委員会

① 傾斜層の特徴と工学的な問題点

1-1 傾斜層の地形の特徴

岩盤中に見られる亀裂や分離しやすい面は，一般的に割れ目または地質的不連続面と総称され，成因によって断層，層理，片理，節理などの種類がある（**表-1参照**）．

表-1中の堆積岩の堆積面を示す「層理面」や変成岩の圧力変成の結果生じた「片理面」が発達した岩盤は，異方性を呈することが多い．さらに，年代の古い岩盤ほど構造運動などの影響を受け，層理面や片理面は急傾斜になっている場合が多い．

このような地質的不連続面，とくに層理面と片理面が傾斜している岩盤を，ここでは「傾斜層」と総称することにする．

工学的な問題となりやすい傾斜層の典型的な地形としては，同斜構造を示すケスタと褶曲構造を反映した向斜谷と背斜尾根，さらに差別削剥によ

表-1　岩盤の割れ目・不連続面[1]に加筆

種類	堆積岩	火成岩	変成岩	特　徴
断層 シーム	○	○	○	規模によって構造線・断層破砕帯・シームなど
層理	○			頁岩・粘板岩・チャートなどの堆積岩
片理			○	結晶片岩
節理	○	○	○	火成岩では安山岩・玄武岩での柱状節理や板状節理，花崗岩の方状節理やシーティングジョイント


写真-1　ケスタ

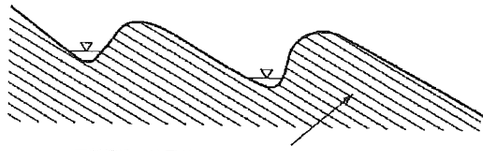


図-1　ケスタの概念図[1]に加筆

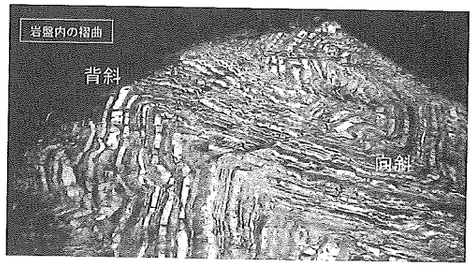


写真-2　褶曲構造

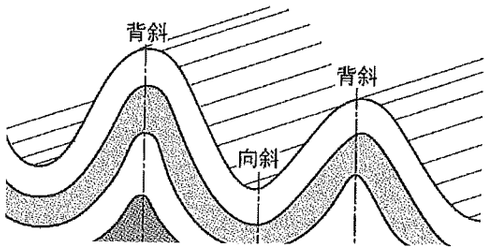


図-2　褶曲構造（向斜・背斜構造）の概念図[1]

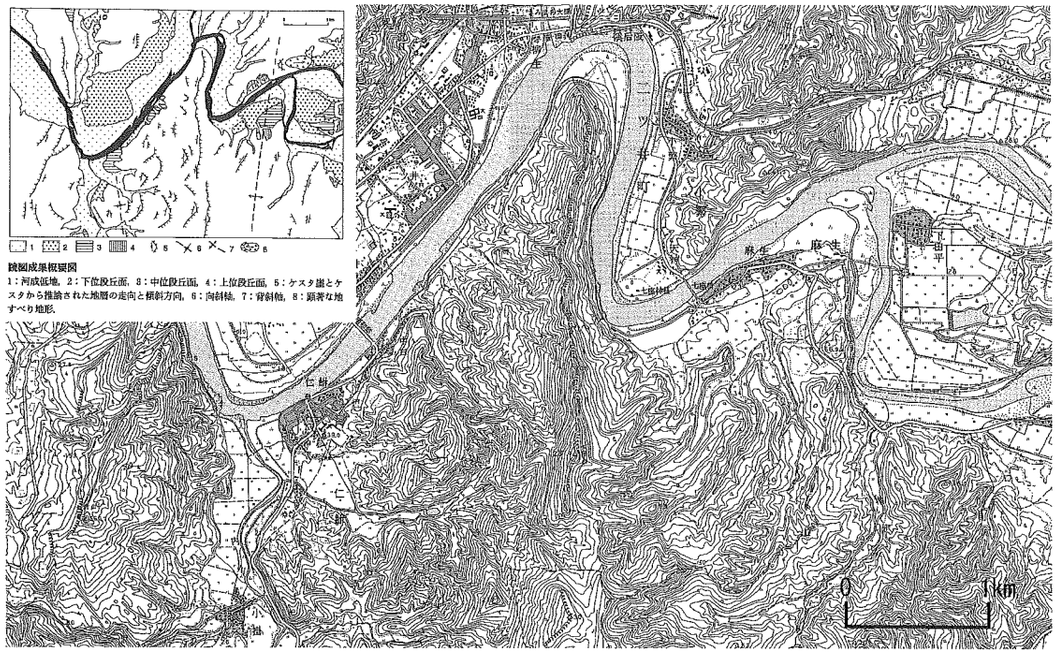


図-3　ケスタ，褶曲構造(向斜・背斜構造)などによる差別削剝地形と読図例[2]に加筆((1：25,000地形図「二ツ井」〈引前15-2〉平成3修正，「鷹巣西部」〈引前11-4〉平成10部修正)より)

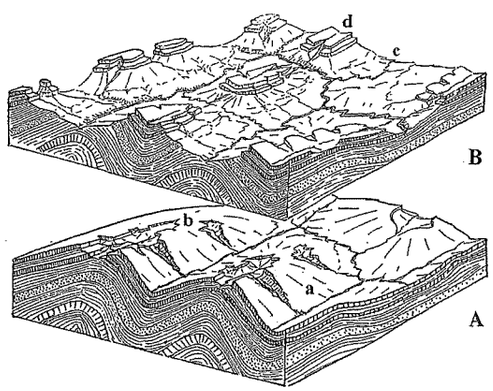


図-4　褶曲構造の差別削剝地形の概念図[2]

る向斜尾根と背斜谷などが挙げられる．

写真-1，図-1に示すケスタは，本講座(1)のpp.83-84，(3)のpp.63-64でも紹介されているが，傾斜層の差別削剝によって形成された左右非対称の尾根であり，流れ盤斜面側が地すべりなどによって緩傾斜となり，ケスタ背面とよばれ，逆に急傾斜の受け盤斜面はケスタ崖と呼ばれる．また，**写真-2，図-2**に示す褶曲構造は，圧縮による変形と考えられ，ケスタの配列などの差別削剝地形の発達状態により，向斜軸や背斜軸を読み取れる場合がある．ただし，判別できるのは一般的に，①褶曲構造が強抵抗性岩と弱抵抗性岩の互層でできていて，かつ両者の抵抗性の差が著しい場合，②褶曲度(地層の傾斜)が大きい場合，③褶曲軸(地層の走向)を横断する方向に大きな河川や海岸線が発達している場合とされる[2]．**図-3**にケスタ，褶曲構造などの読図例，**図-4**に褶曲構造の差別削剝地形の概念図[2]を示す．

1-2　傾斜層の工学的な問題点

ケスタのような同斜構造の地形がトンネル施工においてよく問題となるのは，坑口のり面やトンネル切羽の崩壊である．このような地質構造は事前の地形や地質調査で判明している場合も多く，知識を持つだけで危険予知が可能であるものも多い．ここで，坑口のり面と傾斜層(異方性)との関係を**図-5**に示す．

図-5に示すような3方向の坑口のり面を想定した場合，傾斜層とのり面方向の関係[3]から，Aのり面はほとんど問題なく(あっても落石程度)，Cのり面は必ず崩壊(流れ盤地すべり)すると考えてよい．Bのり面は条件次第で崩壊することがある．Cのり面の場合，既往の調査結果[4]では，のり面方向と地質構造の走向との交差角が40°以内，地質構造の傾斜が30°以上の場合が要注意とされる(**写真-3，図-6**参照)．なお，Bのり面の場合，地層構造の傾斜が45°以上かつ掘削勾配が45°以上のときはトップリング(倒壊)に注意する必要がある(**写真-4**参照)．

また傾斜層では，表層クリープにより真の地質構造を誤認することがある．表層クリープが発生しているサイトでは，のり面安定としてクリープ変形によるせん断面での流れ盤地すべり，大局的な地質構造として褶曲構造の見落としに注意する必要がある(**写真-5**参照)．

トンネル内では，傾斜層とトンネル進行方向との関係により，安定性において有利な場合と不利な場合がある．傾斜層の走向・傾斜と切羽での出現傾向との関係を整理したものを**図-7**に示す．

BieniawskiのRMR法による地盤分類中の項目に示されている「トンネル掘進における不連続面の走向・傾斜の影響」では，図-7中ケース⑥の「(a)トンネル方向と直交する走向をもつ不連続面で傾斜がトンネル進行方向と反対方向に20～45°傾斜している場合」と，ケース③④の極端な場合で「(b)トンネル軸方向と平行な走向で傾斜

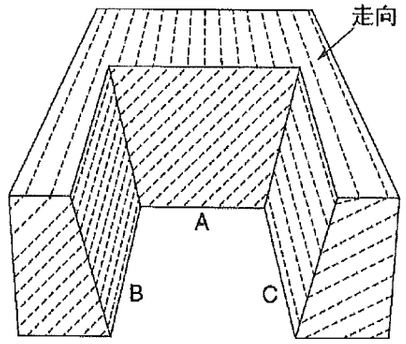


図-5　坑口のり面と傾斜層との関係[3]

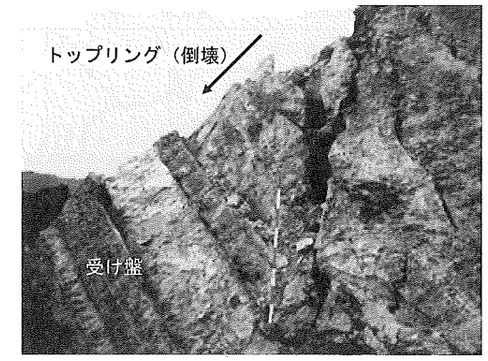


写真-4　トップリング(倒壊)例



写真-3　流れ盤地すべり例

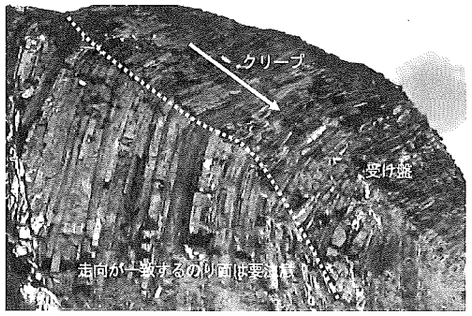


写真-5　傾斜層の表層クリープ例[5]に加筆

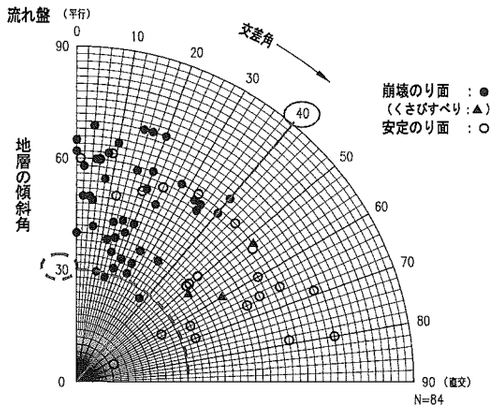


図-6　坑口のり面と傾斜層との関係[4]に加筆

ケース	平面図での走行	断面図での傾斜	切羽への出現
①	⇒	⇒	左踏前から
②	⇒	⇒	右踏前から
③	⇒	⇒	左肩から
④	⇒	⇒	右肩から
⑤	⇒	⇒	頂部から
⑥	⇒	⇒	踏前から

図-7　傾斜層の走向・傾斜と切羽出現位置との関係[6]に加筆

(a)　トンネル軸に直交する走向で，進行方向と反対方向に20°～45°傾斜(不利)

(b)　トンネル軸に平行な走向で，45°～90°傾斜(非常に不利)

図-8　Bieniawskiが不利とする傾斜層[6]

が45～90°の場合」に不利とされている(**図-8**参照)．図-8に示す(a)の場合，切羽面が内空側へ崩落しやすく，(b)の場合，掘削後に不連続面が傾斜している側のアーチ部が崩落しやすい(**図-9**参照)．

またケース⑤は，トンネル進行方向に傾斜する傾斜層が脆弱化や断層・破砕帯となっている場合，天端から出現することになり，突発湧水などの現象も含めて要注意となる(**図-10**参照)．

このように傾斜層の走向・傾斜より，切羽面のどこに最初に出現するかを理解しておくことは，安全な施工においてきわめて重要となる．

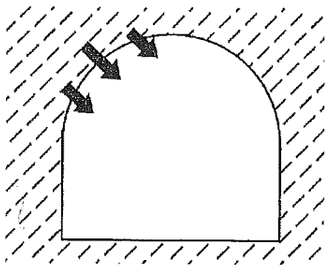


図-9　傾斜層に起因する崩壊[6]

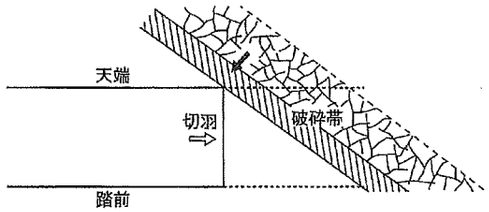


図-10　頭上からの脆弱化した傾斜層の出現[8]

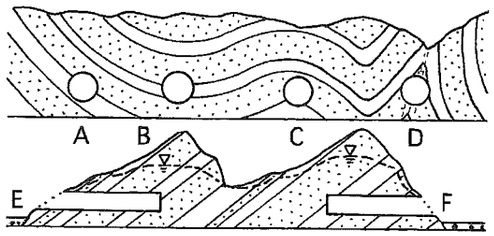


図-11　褶曲構造とトンネル掘削との関係[7]

次に褶曲構造がトンネル施工において問題となるのは，とくに第三紀グリーンタフ地域であり，土かぶり圧に加えて，かなり大きな地質構造的な応力が作用している場合がある．褶曲軸付近は断層を伴うことも多く，膨張性地山の発現や大量湧水の発生などが予測される．

具体的に示すと，地層の新旧・固結度と地形との関係によっては，向斜軸付近(**図-11**中のB)において帯水層が存在していること，背斜軸付近(図-11中のC)において原油やメタンガスなどの可燃性ガスなどの貯留層が存在していることもあり，注意を要する．とくに背斜および向斜のいずれであっても，軸面(図-11中のD)に近い部分では岩盤に多数の引張割れ目や小断層が存在することがある．また，軟岩層をはさむ互層のつくる褶曲の翼を縦断する方向のトンネル(図-11中のA)では偏圧が加わることがある[7]．

② 施工事例に見る地相の読み方

事例1：楠彌寺山トンネル【流れ盤地すべりによる坑口のり面崩壊[8]】

本トンネルは，京都府舞鶴市近畿タンゴ鉄道宮津線西舞鶴駅～四所駅間に位置する延長約0.2kmの鉄道トンネルである(**図-12**参照)．

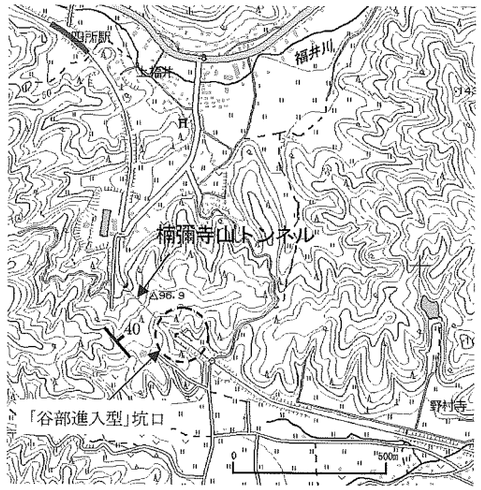


図-12　楠彌寺山トンネル位置図((1：25,000地形図「西舞鶴」の一部，2008)より)

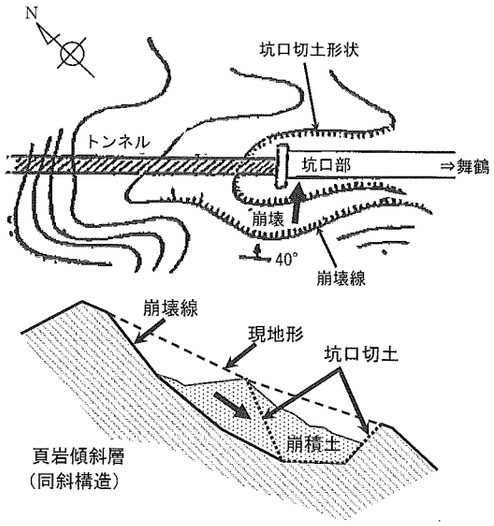


図-13　楠彌寺山トンネル坑口崩壊概念図[8]に加筆((1：25,000地形図「熊田」の一部，2008)より)

地層は，古生代前～中期二畳紀の大浦層の頁岩から構成され，北東傾斜の同斜構造を呈している．坑口のり面の切土は，図-5の概念図に示すような3方向の坑口のり面が計画されており，頁岩の走向と平行に切り取った南側斜面において流れ盤地すべりが発生し，坑口部が崩積土によって埋没した(**図-13**)．

さらに，坑内でも図-8(b)に示す「Bieniawskiが不利とする傾斜層」に相当し，偏圧が発生して覆工部分が変形した．対策は，坑口部分のトンネルを延長し，押さえ盛土工により平衡荷重を与える方法が採用された．

本トンネル坑口は，「谷部進入型」であり，一般的に崖錐堆積物などの未固結堆積物が厚く，地下水位が高い場合が多いとされる[9]．さらに，地相を読むうえで「傾斜層」にも注目し，今回のような3方向の坑口のり面となる場合，いずれかののり面が流れ盤となることに留意する必要がある．

事例2：市棚トンネル【トンネル坑内の偏圧発生[8]】

本トンネルは，宮崎県延岡市JR九州日豊本線宗太郎駅～市棚駅間に位置する延長約0.3kmの鉄道トンネルである(**図-14**参照)．

地層は，中生代白亜紀の槇峰層の頁岩から構成され，北東傾斜の同斜構造を呈している．トンネル掘削開始後，地表地盤が北東側方向に移動し始め，強大な偏圧が発生した．そこで，対策工としてトンネル上部の平面上2,000m²範囲を排土し，さらに山麓部にコンクリート擁壁工，トンネル覆工に抱きコンクリート工を施工することにより，辛うじて崩壊は免れた(**図-15**参照)．

偏圧の原因は，頁岩の傾斜層がトンネル軸と平行な走向を有し，川側方向への流れ盤を形成していた点である．

当該地区の地相は，河川が屈曲していることや鞍部状地形を呈していることから，頁岩の傾斜方向を知っていれば，トンネル軸方向に走向断層など脆弱部の存在を予測することは可能である．

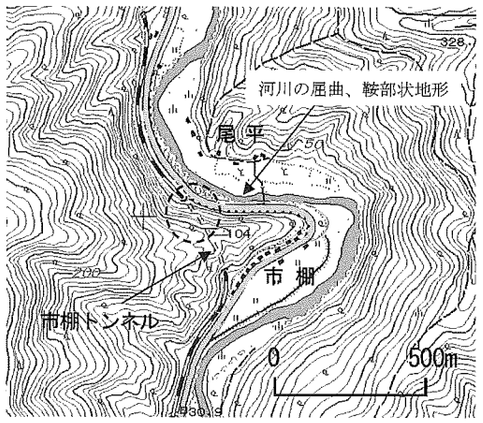


図-14　市棚トンネル位置図((1：25,000地形図「熊田」の一部，2008)より)

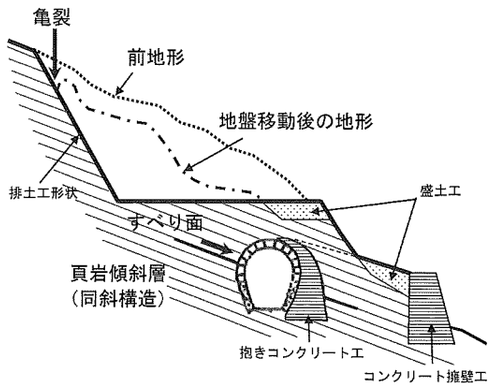


図-15　市棚トンネルの対策工概念図[8]に加筆

事例3：子持トンネル【凸型のやせ尾根地形の坑口のり面崩壊[10]】

本トンネルは，山形県西置賜郡小国町に位置する延長約0.9kmの国土交通省横川ダム付替道路トンネルである(**図-16**参照)．

地層は，新第三紀の小国層砂岩，凝灰岩，泥岩の互層から構成され，子持峠を境界に西傾斜で，明瞭なケスタを呈している．叶水側坑口は，「尾根部進入型」[9]であり，一般には有利な坑口付けであり，さらに受け盤構造であることから問題は少ないものと判断される．しかし実際には，記録的な豪雨の影響で，雨水が地山に浸透し不安定化した地山が崩壊した(**写真-6**参照)．

崩壊の原因は，凸型のやせ尾根地形を呈し側方の土かぶりが小さくアーチアクションが効かなかったことによるものであり，受け盤構造であっても，このような地相には十分注意する必要がある．

対策工は，地すべり対策工として押さえ盛土工

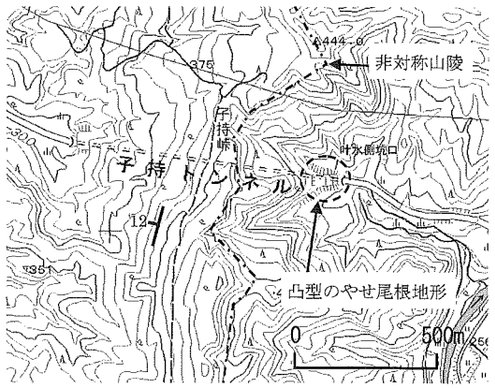


図-16　子持トンネル位置図((1：25,000地形図「小国東部」の一部，2008)より)

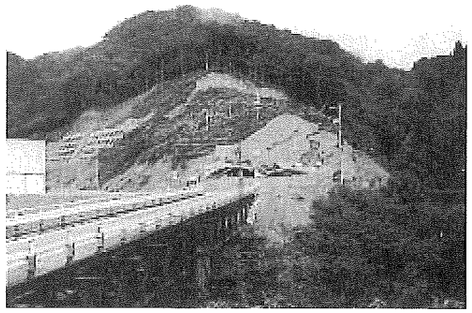


写真-6　坑口部の崩壊状況[11]

および集水ボーリング工を，またトンネル掘削補助対策および地山補強対策として，垂直縫地工，薬液注入工，空洞充填工をトンネル掘削再開前に実施した．

事例4：薬師峠トンネル(東)【ケスタにおける大量湧水[12]】

本トンネルは，新潟県十日町市北越急行ほくほく線十日町駅～まつだい駅間に位置する延長約6.0kmの鉄道トンネルである(**図-17, 18**参照)．

地層は，新第三紀鮮新世～第四紀洪積世の魚沼層群小国層で，塊状泥岩を主体とし，泥岩と微細～細粒砂岩の互層，細～中粒砂岩および礫岩を頻繁に挟在する．傾斜は東傾斜を示し，明瞭なケスタを呈する．

トンネルは，東側坑口より上記の軟岩層の走向にほぼ直交方向で計画されており，図-18に示すように切羽は掘削進行方向に対して流れ盤の地質構造を呈していた．一般に流れ盤の切羽では地下水が順に排水され[13]，さらにトンネルが上り勾配で計画されていたことから自然排水が可能であり，施工上安全かつ有利な条件であった．実際に東側坑口から約1km区間の掘削は，本来なら帯水層である礫岩層からの湧水は少なく施工は順調であった．

しかし，1.4km程度掘削が進んだ時点で，泥岩層中に挟在した未固結の礫岩層より，大量の被圧水(600L/min程度)が発生した．湧水量としては排水ポンプで対応できる程度であるが，湧水に伴い切羽が自立できない点に問題があった．とくに切羽の崩壊性を助長した原因として，図-8(a)に

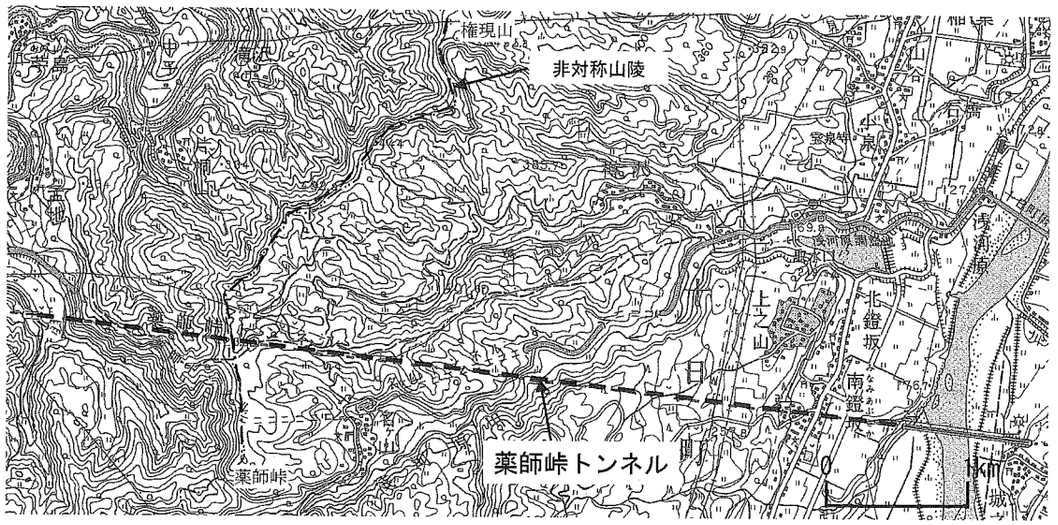


図-17　ケスタと河成侵蝕段丘を横断するトンネル[13]に加筆((1：50,000地形図「松之山温泉」〈高田6〉平成9要修)より)

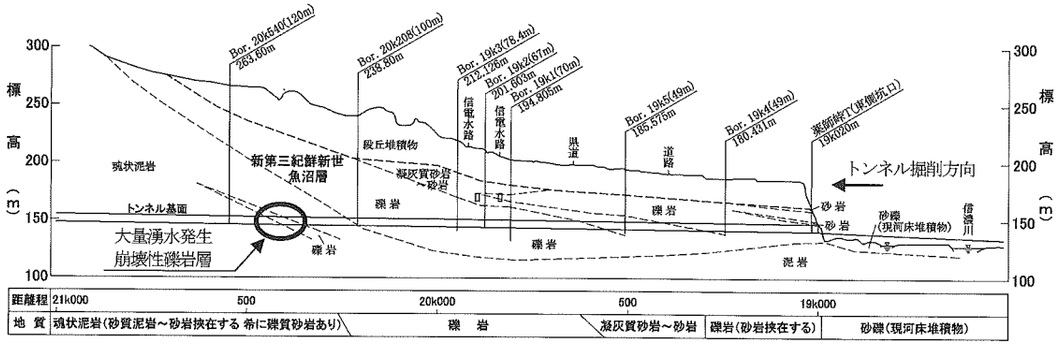


図-18　薬師峠トンネル縦断図(東側坑口から約2km区間)[12]に加筆

示す「Bieniawskiが不利とする傾斜層」に相当し，未固結礫岩層が低角度の流れ盤構造となるため，トンネル前方深くまで影響したことが挙げられる．

ここで，地相の観点から大量湧水に注目すると，ケスタの場合は流れ盤側からの施工が有利となる．しかし，地山深部で未固結(砂や砂礫層など)の帯水層が挟在し，トンネル進行が地層の走向に対し直交に近い場合，層厚が薄くても要注意となる．

対策工は，調査ボーリング結果にもとづき，未固結礫岩層が層厚４m程度(トンネル出現長L＝100m程度)であり，前方に塊状泥岩の遮水層が存在することを確認したうえで，本坑両サイドに水抜き坑２本，坑内でのウェルポイントの実施により，100L/min以下程度まで湧水量を減少させ，工事を再開した．

事例５：飯山トンネル【褶曲構造における可燃性ガス発生，膨張性地山[14)〜17)など]】

本トンネルは，長野県飯山市から新潟県上越市にかけたJR東日本北陸新幹線飯山駅〜上越(仮称)駅間に位置する延長約22.2kmの鉄道トンネルである(**図-19, 20参照**)．

地層は，下位より新第三紀鮮新世〜中新世の寺泊層，椎谷層，西山層，灰爪層，そして第四紀の小国層および新規火山噴出物などから構成される．これらの地層の構造は，県境付近に北北東から南南西に向かって連続する富倉背斜に支配され，背斜軸付近に寺泊層(主として火山砕屑岩)，椎谷層(泥岩)が分布し，その両側には対称的に西山層(泥岩)，灰爪層(砂岩・礫岩・凝灰岩の互層)および小国層(砂礫層)が分布している[14)]．

本トンネルは，膨張性土圧が発生し，施工が著

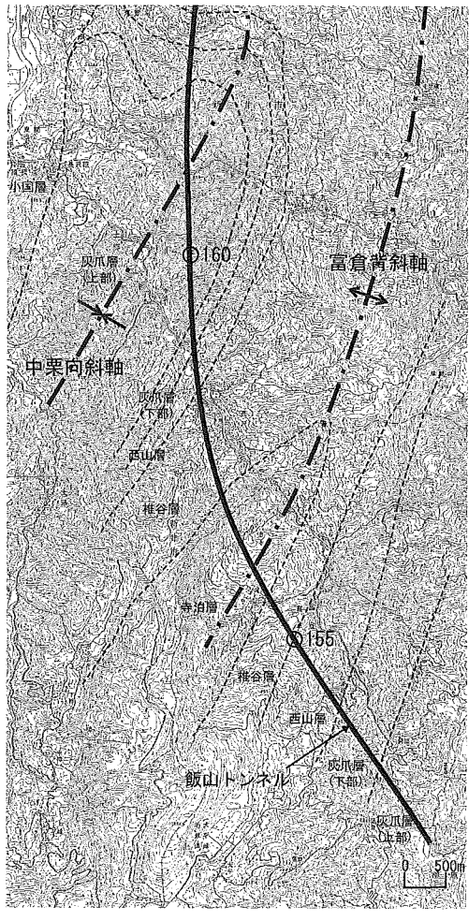


図-19　背斜構造，向斜構造を横断するトンネル((1：25,000地形図「猿橋」「飯山」の一部，2008)より)

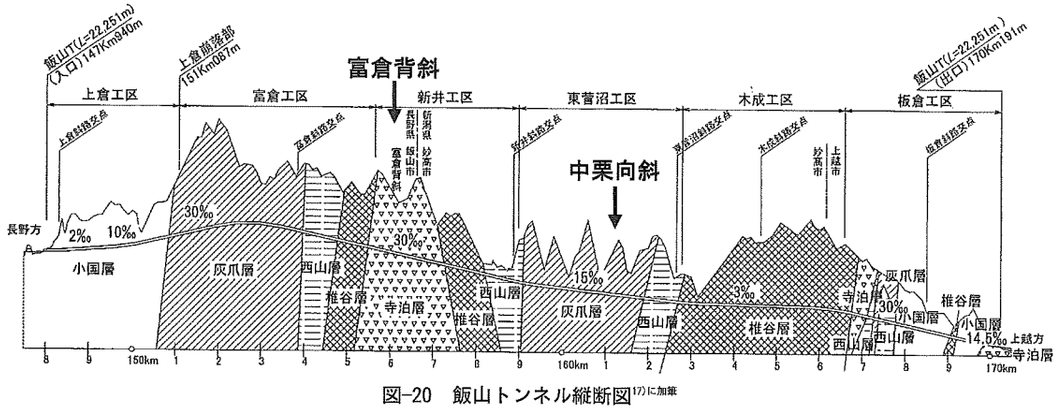


図-20　飯山トンネル縦断図[17)に加筆]

しく難航した北越北線鍋立山トンネルと地形・地質が類似している．そこで，事前に詳細な地形・地質調査が実施され，波長の長い活褶曲運動が進行し，活背斜部が高く，活向斜部が低い地形を形成していることが確認されていた．また，事前調査より，とくに背斜軸付近では，原油やメタンガスを主体とした可燃性ガスが胚胎している可能性や膨張性土圧の発生が指摘されていた．実際の掘削でも，背斜軸近傍では可燃性ガスが発生し，また土かぶりが130〜150m以上になると膨張性土圧が発生した．さらに，向斜軸ぞいでは弾性波速度が落ち込んでおり，内空変位などの変形が大きい傾向を示した．

このように，当該地域では地相から背斜山陵(高標高部)や向斜谷(低標高部)が明瞭に把握でき，典型的な活褶曲地形が推察されており，事前にかなり綿密な詳細調査が実施され，地表部のガス徴や油徴からも背斜構造が確認されていた．しかし場合によっては，地層間の差別削剝により地形の高低と背斜・向斜構造は必ずしも一致せず，逆転していることもあるので，地形判読においては注意を要する[2)]．

可燃性ガス対策としては，切羽からの連続的な先進調査ボーリングによるガス調査，自動ガス検知システムの設置，使用機器の防爆対策などを実施した．また，膨張性土圧対策としては，多重支保工の実施により対応している．なお，当トンネルでは大量湧水や陥没なども発生しているが，傾斜層との関連が不明なためここでは考察を割愛する．

③ 技術的課題と留意点

傾斜層の代表的な地形としてケスタや褶曲構造地形が挙げられる．ケスタは比較的に地形判読がしやすく，異方性岩盤の安定性の問題を推察できる．

具体的には，坑口部の流れ盤地すべりの問題では，**図-21**に示すトンネル中心軸線と地形の関係から「⑤谷部進入型」の場合，コの字形の３方向の切土のり面のいずれかが流れ盤となる．

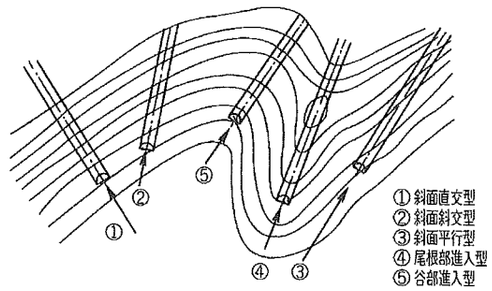


図-21　トンネル中心軸線と地形との関係[6)]

また「③斜面平行型」は，偏圧地形になることがあり，とくにトンネルが流れ盤斜面下に位置する場合は注意を要する．さらに「④尾根部進入型」は，一般的に有利とされるが，事例３でも示したとおり，凸型のやせ尾根地形の場合はアーチアクション効果が期待できないことから，切羽に対して受け盤構造でも不安定化することがある．

褶曲構造については，地形判読しやすいものもあるが，差別削剝地形などにより褶曲構造と地形が逆になっている場合もあり高度な判読が必要となる．この場合，露頭調査やガス徴，油徴および湧水などの情報などから総合的に判断する必要がある．また，市街地などのトンネルは自然改変されている場合が多く，古い地形図を読図することも重要である．

(文責：鈴木雅行，山本浩之・(株)間組)

参　考　文　献

1) 田中芳則・古部浩：建設工事と地盤地質，技術書院，pp.21-31，2003.
2) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第３巻　段丘・丘陵・山地，古今書院，pp.881-891，2008.
3) 田中芳則・古部浩：建設工事と地盤地質，技術書院，p.122，2003.
4) 日本応用地質学会：平成19年度特別講演およびシンポジウム予稿集　テーマ「地質調査と設計・施工を結ぶコーディネート機能としての岩盤分類―最新技術と展望―」，p.206，2007.
5) 出納和喜夫：スイス・フルカ峠のクリープ地形，応用地質，Vol.40，No.2，1999.
6) 田中芳則・古部浩：建設工事と地盤地質，技術書院，pp.88-89，2003.
7) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第

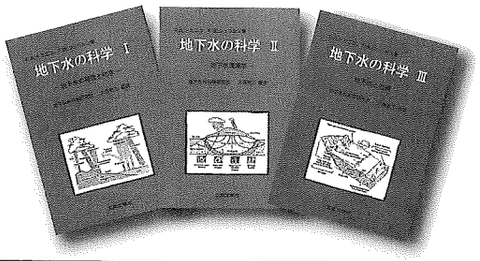
4巻　火山・変動地形と応用読図，古今書院，p.1153，2008.
8）渡辺實：地質工学，古今書院，増補6版，pp.230-231，1939.
9）大島洋志：わかりやすい土木地質学，土木工学社，pp.73-74，2000.
10）菅井敏彦・本保薫・加藤丈和：子持トンネルの坑口対策工について，北陸地方建設局管内技術研究会論文集，建設省北陸地方建設局，pp.73-76，1999.
11）建設省北陸地方建設局横川ダム工事事務所：横川ダム地方情報紙“しゅん”の里づくり，No.12，p.2，1995.
12）渡部幹雄・屋敷健：湧水をともなう崩壊性砂れき層の水抜坑による突破について―薬師峠ずい道工事の例―，間組技術年報，pp.A-251-268，1976.
13）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，古今書院，p.1256，2008.
14）光木香・小幡芳文：北陸新幹線飯山トンネル地質調査最終報告，トンネルと地下，Vol.31，No.7，pp.53-61，2000.7.
15）北川修三・梶原雄三・鈴木恒男・川原一則：二重支保工法で膨張性地山を克服，北陸新幹線飯山トンネル富倉工区，トンネルと地下，Vol.31，No.11，pp.7-16，2000.11.
16）平出廣和・小林真一・吉沢正洋：可燃性ガスを含む膨張性地山の施工，北陸新幹線飯山トンネル新井工区，トンネルと地下，Vol.33，No.6，pp.7-16，2002.6.
17）中村敦・小野利昭・亀谷英樹・呉旭：膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案，北陸新幹線飯山トンネル東営沼工区，トンネルと地下，Vol.38，No.4，p.39，2007.4.

■図書案内

地　下　水　の　科　学　―全3巻―

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

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



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

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

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

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

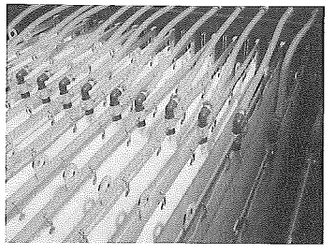
土木情報 No.472 今月の主な入札結果

（8月10日～9月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
東北農政	庄内あさひ農地保全事業排水トンネル建設	フジタ	1,673
北陸農政	九頭竜川下流(二期)農業水利事業九頭竜川左岸用水路建設	清水・大本JV	4,555
〃	九頭竜川下流農業水利事業高椋新江1号用水路下久米田工区建設	前田建設工業	1,903
北海道開発局	北海道横断自動車道白糠町白音T	宮坂・松谷JV	1,936.5
関東地整	田尻地区函渠その6	清水・錢高JV	9,046
近畿地整	奥谷川樋門築造	公成建設	224.3
中国地整	東広島・呉道路金剛山T	ハザマ	1,068.1
都・建設局	妙正寺川鷺の宮調節池(その6)	清水・錢高・港JV	133.4
都・下水道局	千代田区永田町一丁目，霞が関二丁目付近再構築	前田・大日本JV	3,297.52
神奈川県	R129戸田交差点立体交差	フジタ・フジタ道路・テクノジャパンJV	2,650
兵庫県	R178浜坂道路余部・新桃観(東工区)T	大成・竹中・窪田・ソネックJV	4,267
鳥取県	R187(岩美道路)トンネル(仮称・岩美3号T)	大林・大成・八幡JV	3,081.18
高知県	県道足摺岬公園線社会資本整備総合交付金(松尾T〈大浜工区〉)	新進・月灘・公文JV	936
〃	R494社会資本整備総合交付金(王子T)	須工ときわ・大旺新洋・青木JV	544
宇都宮市	合流改善貯留施設築造第1工区(中部第7地区)(市道44号線ほか1路線)	芳賀屋・増渕JV	166.8
真岡市	公下雨水管渠整備松山町地区第24-2号	剋真・東石JV	114.2
さいたま市	南部第10処理分区下水道(南建-24-42)	ユーディケー	105.15
〃	幹8号(φ800㎜)配水本管布設替	三ツ和総合建設業協組	201.16
〃	芝川第5処理分区下水道(北建-24-8)	カタヤマ・昭和工業JV	344.57
千葉市	下水道排水施設(松波24-1工区)	五洋・新総JV	216.73
我孫子市	若松第3・第4・第5排水樋管築造	日本国土・アオイJV	215
厚木市	H24公下相模川右岸第11-1排水区幹線3工区	孝松工務店	112.93
伊勢原市	H24公下事業第3工区	坂本組	105.8
吹田市	吹田市川面下水処理場雨水滞水池設置	紙谷・日本推進JV	566.44
たつの市	(仮称)龍野揖保川御津T	フジタ・新井・岩本JV	1,166.2
奈良市	芝辻増強幹線築造(公1)および油阪佐保山線街路改良	大成・中村JV	603
東京地下鉄	東西線南砂町駅始端部工区改良土木	熊谷組	1,980

工法・技術・製品ニュース

工法　薬剤を使用しない膜濾過濁水処理システム



膜濾過板

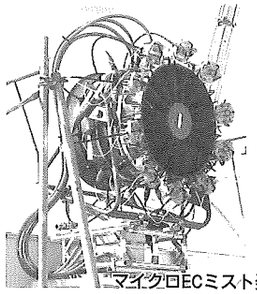
ハザマ　CSR推進部
Tel 03-3588-5711
http://www.hazama.co.jp/

ハザマとメタウォーターは共同で，トンネルなど建設現場で発生する濁水の処理法として，薬剤をいっさい使用しない膜濾過法による濁水処理システム「MH濁水処理システム」を開発した．

同システムは，濁水を膜で濾過して処理を行うことから，浮遊物質を凝集させるための薬剤を使用せず，そのぶん環境負荷が低減される．浄化能力は，濁度3,000度以上を１度程度に低下させることが可能であり，従来システムと同レベルの浄化能力を有する．pH調整は，濁水に二酸化炭素を散気板を使って混合することで行う．コンクリート成分の混じったpH10～11の濁水をpH７～８付近の中性に調整する．

発生する濁水量の変動には，膜濾過板を増減することで比較的容易に対応可能で，30m³/hの流量に対応するシステムが，膜濾過板の増設のみで60m³/hの流量に対応できるとしている．

工法　帯電ミストによる浮遊粉じん除去システム



マイクロECミスト発生装置

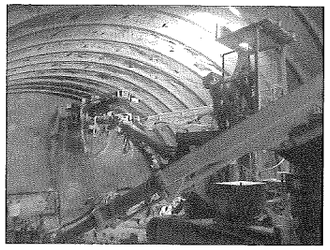
鹿島建設(株)　広報室
Tel 03-6438-2557
http://www.kajima.co.jp/

鹿島建設とホーチキは共同で，現場で発生する浮遊粉じんを効率的に除去することができる，帯電ミストによる浮遊粉じん除去システム「マイクロECミスト」を開発し，室内試験と造成工事を模した土工事の現地試験で，その効果を確認した．

同システムは，新たに開発した水を帯電させミスト状に噴霧することができる特殊なノズルを用い，大型ファンによる気流に乗せてこれを噴射する．マイナスの電荷を載せた200μ以下の微噴霧は，通常のミストでは除去困難とされていた10μ以下の浮遊粉じんを，静電気力により空間で確実にキャッチして落下させる．さらに，帯電ミストを粉塵発生源に向けると，粉塵粒子を覆うように立体的に水が付着して発生源全体をくまなく濡らし，粉塵の発生そのものを抑制する．

今後はトンネル現場での実証実験を行い，切羽掘削やずり処理作業における効果を確認してゆく．

工法　ドリルジャンボを使用した　水平コアボーリングシステム



サンプリング実施状況

五洋建設(株)　土木本部土木設計部
Tel 03-3817-7803
http://www.penta-ocean.co.jp/

五洋建設と西日本高速道路は共同で，NATMトンネルなどの切羽前方の地質構造や地山性状を効率的に把握できる「切羽前方コアサンプリングシステム」を開発した．

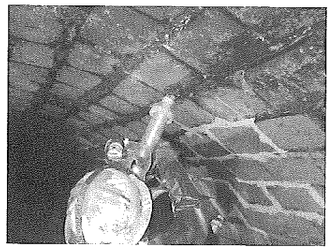
同システムは，汎用機械であるドリルジャンボを用いて切羽前方地山から岩石コアのサンプリングを行う水平コアボーリングシステムで，現在，特許出願中(特願2010-35025)．

施工は二重管削孔を基本とし，①ドリルジャンボで孔壁保護用の外管を打設，②岩石コアを採取用のパイプロッド(コアケース入り)を外管内に挿入し，パイプロッドのみを１m打設，③パイプロッドを引抜き，コアケースを回収，を必要な位置延長のコアを採取するまでくり返す．

コア採取１サイクル(１m)あたりの所要時間は30分程度で，探査準備も容易なため施工時間の短縮につながる．

今後はコア採取率の向上に向けて，地質に応じたビット形状の最適化，コアの流失防止対策，コアの損失・損傷防止対策に取組み，汎用性のある水平コアボーリングシステムとして普及を図りたいとしている．

工法　効率的な目地充填工法「目地じょうず」



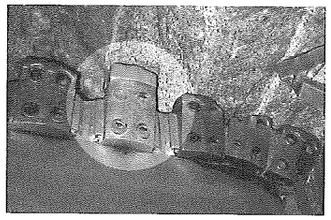
(株)熊谷組　土木事業本部リニューアル事業部
Tel 03-3235-8646
http://www.kumagaigumi.co.jp/

熊谷組は，住友大阪セメント，テクノス，ファテックと共同で，レンガトンネルの劣化した目地に対する効率的な充填工法「目地じょうず」を開発した．

同工法は，新たに開発した耐酸性と可塑性，水中不分離性，超速硬性をもつ充填材料を用いるもので，煤煙や湧水のあるレンガトンネルでも適用が可能．凝結終結時間が30分程度なので，鉄道トンネルで施工する場合でも始発列車の走行に影響しないとしている．

材料は，事前に計量を済ませた状態で専用カートリッジに準備し，水を加えてカートリッジ内で練り混ぜる．これを注入用ガンに装填し，先端ノズルを取り付けて，圧縮空気で排出する．先端ノズルで押し当てながら材料を目地に充填することで，コテ仕上げを必要とせず，平滑に仕上げることが可能となった．

技術　耐摩耗ビットの効果を確認



開発した耐摩耗ビットと従来ビットの摩耗状況

銭高組(株)　技術本部技術研究所
Tel 0428-31-6858
http://www.zenitaka.co.jp/

銭高組は，シールドのカッタビット交換が不要となる耐摩耗ビットを開発し，「広島・八幡地区下水道築造21-８号工事」(広島市)においてその性能を確認したと発表した．

カッタビットは超硬合金チップとそれを保持する母材で構成されるが，掘進における超硬チップの摩耗という問題以上に，カッタビット背面の母材が摩耗して健全な超硬チップが脱落するケースが多い．これまではビット背面を硬化肉盛り加工によって摩耗を防止していたが，同社は硬化肉盛に替わって超硬チップを背面にも配置することで，ビット背面の摩耗を防止するとともに，超硬チップ脱落時の予備刃とした．超硬チップには衝撃に強い材料，摩耗に強い材料を適宜組合わせて配置することで土質条件に対応させた．

近年のシールド工事は１台のシールドで長距離施工を行う工事が増加している．同工事の施工延長は1,400mで，うち500m区間が軟岩層，残りの900mが礫・玉石混じりの砂層となっていた．従来ビットでは３回の交換が必要となるが，開発した耐摩耗ビットは途中の交換が不要となり，許容摩耗量の30%以下の摩耗で到達できたとしている．

製品　アトラスコプコ　バケット型クラッシャを発売



アトラスコプコ(株)　建設機械事業部
Tel 03-5765-7890
http://www.atlascopco.co.jp/

アトラスコプコは，アトラスコプコ・グループが製造販売する新型の「油圧式バケットクラッシャ」の国内販売を開始する．

同製品は，アスファルト，石，コンクリート瓦礫，鉱山や採石場の瓦礫類を効率的に粉砕し，現場内での再利用，建設用骨材として活用させるもの．これにより，現場では機械設備が少なくなるだけでなく，輸送や処分のコストも削減できる．また，メンテナンスも容易で，標準メンテナンスは30時間おきのグリス潤滑で，潤滑箇所も２か所となっている．

ジョー部分に負荷が大きくかかるよう設計されており，これにより他の部品の磨耗や負担が軽減され，長寿命化を図った．さらに，ジョーを反転させて上下を入れ替えたり，反対側を使用することも可能．

バケットクラッシャーシリーズには，運転重量1,500～4,900kgの４種類があり，12t以上の掘削機で使用できる．

トンネルジャーナル

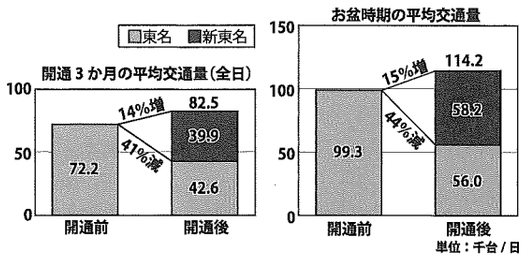
新東名開通による交通状況の変化

NEXCO中日本は，4月14日に開通した新東名高速道路の3か月間の交通状況と，お盆休みの帰省ラッシュ期の速報値を発表した．

3か月間の集計によると開通前の東名のみの交通量と新東名と東名を合わせた交通量を比べると，平日で，69千から78千(42千＋36千：東名＋新東名)台/日に，休日が79千から92千(44千＋48千)台/日へと，それぞれ15%ほど増加した．新東名の平均交通量は，全日で40千，平日36千，休日が48千台/日となっており，東名の交通量が40%ほど低下している．

交通事故は，東名と新東名を合わせた全事故数が755件から685件へと，前年に比べて約1割減少している．そのうち，人身事故については昨年124件あったものが，96(57＋39)件へと2割の減少となっている．また，新東名へのアクセス道路が開通した浜松市内のある地区では，生活道路を通過する交通が7割減少したという計測結果があり，地元からも「通学路の安全性が向上した」との声があったとしている．

大型車の平均移動距離をみると，新東名では約270kmであるいっぽう，東名では約180kmから120kmへと減少，東名の大型車の平均交通量も26千から15千台/日へと減少していることから，移動距離の長い通過交通を中心に，大型車が新東名に転換していることがうかがえる．



東名・新東名(御殿場～三ケ日JCT)の開通前後の交通量

また，今年のお盆時期(8月12～19日)の集計では，東名と新東名を合わせた断面交通量は114千(56千＋58千)台/日と，昨年の99千台/日とくらべて15%増加した．東名・新東名の並行区間を除くNEXCO中日本管内の全体では，92～103%(平均98%)と前年と同様だった．

御殿場JCT～三ケ日JCTでの10km以上の渋滞回数については，昨年40回(最大渋滞長は47.2km，富士川SA付近)あったものが，今年は新東名で2度記録(最大渋滞長は22.0km，三ケ日JCT付近)したのみと激減した．10km以上の渋滞は中日本管内全体でも186回から121回へと減少している．

『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)

トンネルワールドニュース

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

廃線トンネルをクロスレール用に改修

19世紀に建設された廃線トンネルがロンドン中心部の延長21kmに及ぶトンネルを含むクロスレールの東西を結ぶ新しい路線の一部とするため大規模に改修される．完成すると，双設トンネルは新Abbey Wood支線の一部となる．

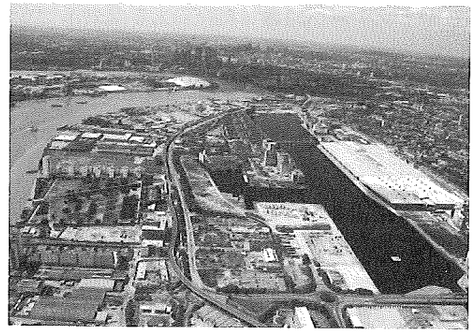
延長600mのConnaughtトンネルは1878年に建設され，2006年までノース・ロンドン線の一部に使用されていた．しかし，主にロイヤル・ビクトリア・ドックの下に位置するトンネルが1930年代に船がドック底部を擦ることで損傷を受けたため，構造的に脆弱な部分がある．

1935年にドックを掘り下げる決定がなされたとき，中央部の幅が狭められ，レンガ構造が取り除かれて鋼製セグメントが取り付けられた．1940年には爆撃によって更なる損傷を受けた．

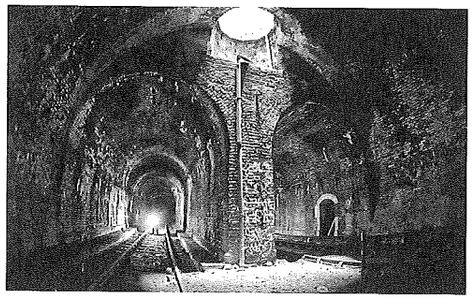
クロスレールは，もともと既設の鋼製ライニングを撤去し，コンクリートで全断面を埋戻し，中央部を強化する計画だった．その後，列車が通過できるように掘削することで拡幅することにしていた．

しかし，クロスレールは，現在，仮締切りを設置して水を吸い上げ，作業者がトンネルを掘り下げて開削工法により拡幅工事を行えるドライ構造に決定している．

Connaughtトンネルプロジェクトマネージャーは，「Connaughtトンネルの中央部は構造的に脆弱な状態だ．トンネルの拡幅工事をできるだけ安全に行うために，ロイヤル・ドックの一部の水を抜き，開削工法により掘り下げることを決めた．」さらに，「1870年代に建設されて以来，トンネルが地表に姿を現すのは初めてのことになる．私たちは近代的技術を用いる一方で，ドックを切取り，上からトンネルを作るという，当初トンネルを建設するのに使われたのと同様な開削工法を使用する」と述べた．



参考写真-1



参考写真-2

工事費用は約7,800万USドルと予想され，すぐにでも着工の予定だ．

(WT '11.3　担当：徳富恭彦・鉄道・運輸機構)

順調に進むマイアミ港トンネル事業

アメリカ・フロリダ州で，マイアミ港トンネル事業(事業規模約6億700万USドル)が予定どおりに進捗している．

ヘレンクネヒト社製泥土圧式シールドによってすでに掘削工程の4分の1が完了し，TBMは海岸部に到達した．マッカーサー道路で始まった掘削から4か月を過ぎ，大きな節目を迎えた．

昨年11月11日に掘削を開始したTBM(φ12.86m)は，現在380m地点に達している．今後，「ガバメントカット」と呼ばれる運河を進んでいくこととなる．

このトンネルが開通した際の大きな効果としては，マイアミ港と州間高速道路との間が双設トンネルで直結されることによる，港湾貨物トラックの市街路への進入回避が挙げられる．

今後は，今年夏に1,280m長の東行トンネル掘削を完了し，その後，TBMを反転させて西行線の掘削に取りかかる．最終的に当初掘削開始地点のワトソン島に戻る運びとなっている．

トンネルからコンベヤで搬出された土砂は，ダンプトラックで運搬される．当該ヘレンクネヒト社製TBMは，オランダで積み出され，2011年10月に発進立坑で組立・完成した．

なお，施行実施機関であるMAT(Miami Access Tunnel)社は，事業の設計および建設のためBouygues Civil Woks Florida社と契約を結んでいる．また，事業の出資者としてフロリダ州運輸省とMiami-Dade郡，マイアミ市がある．

トンネルは2014年夏に供用開始予定．

(WT '12.4　担当：玉田　誠・東京都交通局)

マレーシアのトンネルで特殊吹付けモルタルにより工程を短縮

アメリカに本社を置くTBM製作会社のRobbinsは，マレーシアのPahang Selangor原水トンネルで用いられている同社製の3台のTBMが順調に掘進していると報じた．これには，高土かぶり条件下で用いられた新しいタイプの吹付けモルタルも寄与している．

連続練混ぜ圧送システムおよび，ポリプロピレンの繊維と急結材を混入して調整した乾式モルタルによって構成される吹付けモルタルは人力で施工される．日本の企業によって開発されたこの材料は，日本の硬岩TBMやNATM工事で数多く使われてきたが，海外で採用されるのは初めてである．

乾式モルタルシステムは必要に応じて打設と停止をくり返すことができ，かつ，TBMの後続台車に搭載することも可能なため優れている．一方，湿式の場合には頻繁に打設と停止をくり返すと使用しないモルタルが発生し，清掃時間が必要となる．

はね返りがほぼゼロのL1吹付けシステムは日本企業と共同してRobbins社が花崗岩(200MPa)のトンネル用に特別に開発したものである．TBMが前進後，ルーフ背後のトンネル上半に厚さ20㎜で速やかに吹付ける．地盤の状態によっては，ここにリング支保を建て込む．

吹付けモルタルの圧縮強度は24時間で15MPa以上発現する．「この吹付けは超速硬型でリバウンドもなく，かつ高圧で吹付ける必要もない」と元請JVの副所長は述べた．

Robbins社の広報担当によると，この特殊吹付けモルタルは掘削中に打設可能で，従来の支保システムと比べて作業の中断が低減されるとのことである．また，現在掘削中のような亀裂が若干ある地盤の場合には，従来型のやり方だと1mの掘削ごとに2時間の支保建て込みが必要であったと考えられる．

この場合，掘削と支保で210日間必要となるが，繊維補強モルタルシステムを採用することで，158日とすることができる．

完成すれば，延長44.6kmのトンネルは東南アジア最長となる．TBMの掘削は2013年完了予定である．

(WT '12.5　担当：石岡賢治・大成建設(株))

セグメントの新技術

小泉　淳 監修　B5判 132頁　本体定価 2,000円(〒290円)

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

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	8月31日現在
正会員	1,519名
団体会員	351名
個人会員	1,168名

2. 委員会の開催状況(8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(8/1)

大島洋志主査ほか9名，9月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会海外文献WG(8/29)

大久保誠介主査ほか9名，海外文献を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(8/29)

浅見均主査ほか8名，英文原稿を査読

計　3回開催　29名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳工法小委員会支保WG(8/31)

蓼沼慶正主査ほか22名，新規テーマの内容を検討

◎受託研究特別委員会

地盤隆起対策特別委員会(8/20)

小泉淳委員長ほか22名，解析方針を検討

北海道新幹線(本州方)機械化施工WG(8/30)

小山幸則委員長ほか38名，施工法の検討

計　3回開催　85名出席

合計　6回開催　114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/

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

◆新刊図書案内◆

□Tunnelling Activities in Japan 2012　価格(税込)：会員 3,000円，非会員 3,600円
□トンネル年報2012　価格(税込)：会員 2,000円，非会員 3,000円
□トンネル年報-工事記録CD-R版(各年)　価格(税込)：会員10,000円，非会員15,000円

4. 平成24年度催物開催現況

催　物　名	開　催　日	人数	場　所	CPD取得単位
(見学会)				
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会	2012. 7.27	25	山梨県	3.2
東九州自動車道トンネル工事現場研修会	2012. 8.28	25	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	40	神奈川県	1.8
新東名高速道路トンネル工事現場研修会	2012. 9.24	25	岐阜県	2.5
(施工体験発表会)				
第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」	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	24	東京都	17.3
第15回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	**2012.11.21, 22**	**24**	**東京都**	**9.8**

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

第15回(山岳部門)トンネル技術ステップアップ研修会のご案内

山岳トンネルの経験が，5年から10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象とし，トンネルに関する技術力の向上を図るとともに，若い技術者同士の交流の機会を提供する場として，トンネル技術ステップアップ研修会を下記のとおり開催することといたしました．少数を対象とした実践的な講義内容となっており，大変有意義な研修になると存じますので，奮ってご参加くださいますようご案内申しあげます．

―記―

開 催 日：平成24年11月21日(木)，22日(金)
会　　場：(社)日本トンネル技術協会「会議室」(予定)
研修内容：本研修会は，単なる技術説明や工事報告ではなく，講師である8人の屈指の山岳トンネル技術者の方々が経験した，特殊条件における工事での失敗や苦労した事柄を伝えて頂くとともに，これから類似のトンネルを担当したときにどうすべきかなどについて講義していただく予定です．

初　日：調査と実際の乖離，設計と実際の乖離，補助工法とトラブルなどについての講義と討論会(主として現場での課題について)

二日目：「膨張性地山，崩落性地山，大湧水地山，地質想定困難な地山でのTBM施工」におけるトンネル工事で学んだこと，類似工事で対応すべきことの講義

定　　員：24名
参 加 費：会員36,000円，一般60,000円(教材代，消費税含む)
そ の 他：研修内容のプログラム，申込方法，支払方法の詳細はwebサイトをご参照願います．

施工体験発表会報告および審査結果

社団法人日本トンネル技術協会

施工体験発表会報告

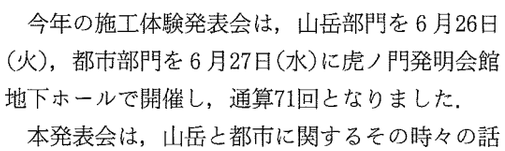
今年の施工体験発表会は，山岳部門を6月26日(火)，都市部門を6月27日(水)に虎ノ門発明会館地下ホールで開催し，通算71回となりました．

本発表会は，山岳と都市に関するその時々の話題をテーマに，若手トンネル技術者の育成とトンネル技術者相互の情報交換の場として企画・開催しているものです．今回は，山岳では「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」，都市では「困難な施工条件下での都市トンネル工事事例」をテーマとして募集しました．その結果，発表件数はそれぞれ12件，11件となり，当日の参加者数は，154名，104名となりました．

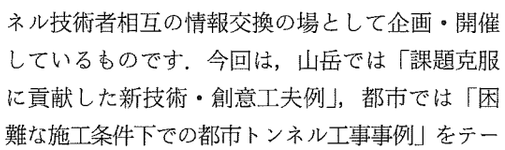
発表会では，参加者にアンケートをお願し，得られたご意見を次回以降の企画に反映しています．以下にその結果の一部を引用し施工体験発表会の報告をします(アンケート回収率：山岳63%，都市60%)．

図-1「参加者の業種」では，山岳と都市とも建設業の方が多く半数以上を占めています．施工から得られる情報は大変貴重ですので，他業種の方々にも是非参加して頂きたいと思います．

図-2「参加者の年齢構成」では，山岳と都市とも40歳代を中心にバランスよく構成されていますが，20歳代では山岳に比べ都市の参加者の比率が多い結果でした．シールド工事現場が少なくなっ



受付・ロビーの風景



会場の風景

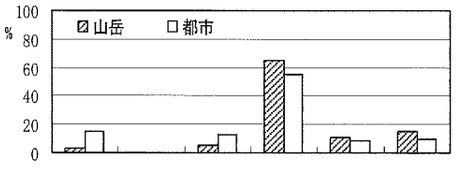


図-1　参加者の業種

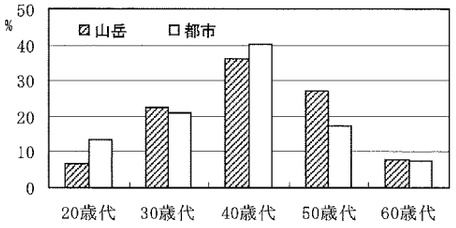


図-2　参加者の年齢構成

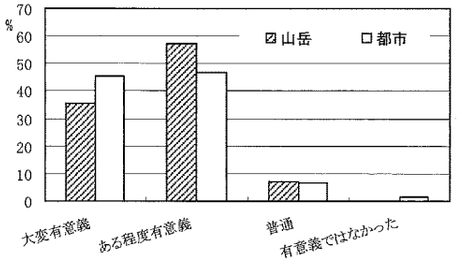


図-3　プログラムの内容について(重複回答)

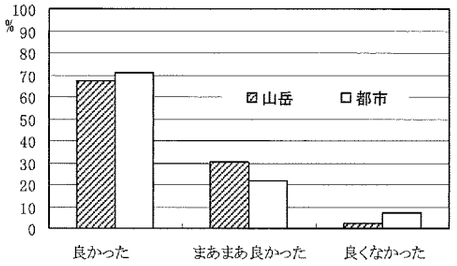


図-4　テキストについて

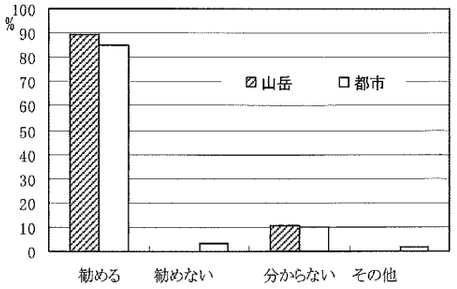


図-5　受講を勧めるか

ている状況下で先を見据えると若い人の参加は大変有益なことと感じました．

図-3「プログラムの内容について」は，グラフからでもわかるように大変好評を得ていると自負いたしますが，改善点もご指摘いただいているので，次回の企画に反映したいと考えています．

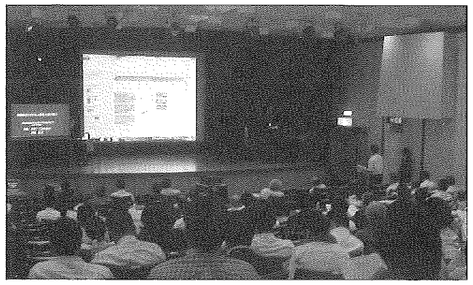
図-4「テキストについて」は，数年前より参加者からカラー化の要望があり，検討した結果，昨年からテキストをCD-Rとして事前配布し，各自一読のうえ当日必要に応じコピーして参加していただくこととしました．2年目ですが，大変良いとの評価をいただいています．今年の会場ではタブレット持参者も多くみられるようになりました．しかしながら紙ベース，両方必要，発表用のパワーポイントも希望，などの要望をいただいております．

図-5「今回のような発表会の受講を後輩など他の人に勧めるか」については，ほとんどの方から受講を進めたいという評価をいただきました．

本発表会では，現場に携わっている方々から種々の現場事例が紹介され，その中での課題と対策を報告していただきました．参加者においては，個人では限られる現場経験を補い技術力の資質向上を図るよい機会であったと思います．今後も引き続き今日的な課題をとりあげ実施する予定ですので，会員各位の技術の習得に役立てていただきたいと思います．また，団体会員加入会社に対しては，今後も各社の保有する資材・機械などの製品パンフレットを置く場を提供し，会員相互の情報交換に役立てたいと考えています．

最後に，今回の施工体験発表会では，これまでの参加者からのご意見を反映し，開催時期と会場を改めるとともに参加費も下げ，参加を検討いただいている方にどんな内容かがわかるようにホームページに概要版を掲載する，など会員のニーズに応えた企画をしましたがいかがでしたでしょうか．

今後とも会員の方々のご意見をできるだけ反映した催物を開催していきますので，積極的に参加し単に聞くだけでなく，意見交換に加わるなどし，技術の習得に大いに活用していただきたいと考えています．　　(K.T)



受講の風景

施工体験発表会審査結果

第70回(山岳)ならびに第71回(都市)施工体験発表会に係る発表者の表彰について審査した結果，下記のとおりとなりましたので報告します．また，両発表会の最優秀賞を受賞した論文を次頁以降に掲載・紹介いたします．

第70回(山岳)「課題克服に貢献した新技術・創意工夫例」

＜最優秀賞＞

押出し性地山における双設トンネルの施工事例
清水建設(株)　石川俊明

＜優秀賞＞

坑外，坑内の環境課題改善に向けた新技術の現場適応試験報告　(株)大林組　西野俊諭

堆積軟岩における大深度立坑の施工
大成建設(株)　萩原健司

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」

＜最優秀賞＞

海底横断ガス導管シールドへのURUP工法の適用　(株)大林組　足立邦靖

＜優秀賞＞

R-SWING工法による矩形断面トンネルの施工実績　鹿島建設(株)　諸橋敏夫

輻輳する地下構造物と近接するシールド工事
(株)奥村組　根来将司

第70回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

押出し性地山における双設トンネルの施工事例
—新東名高速道路　鳳来トンネル工事—

清水建設(株)名古屋支店土木部鳳来トンネル工事現場代理人　神澤幸治
清水建設(株)名古屋支店土木部鳳来トンネル工事主任　石川俊明

キーワード：押出し性地山，双設トンネル，早期閉合，三波川帯，結晶片岩，高耐力支保，厚肉円筒理論

1. はじめに

鳳来トンネルは，愛知県東部・新城市に位置し，現在建設中の愛知県下の新東名高速道路(延長約55km)内の2車線トンネルで，標高100～300mの八名・弓張山地を通過する．近くには中央構造線が存在し，地質は中生代白亜紀前期の三波川帯で構成され，主な岩石は結晶片岩であり，一般的に三波川結晶片岩と呼ばれる．トンネル延長は，上り線2,528.5m，下り線2,469mであり，上り線，下り線ともに補助ベンチ付き全断面工法を採用し，東側坑口より施工を開始した．

TD600付近を標準パターンで掘削していたところ，押出し性を有する地質不良部が出現し，過大な変位や支保部材の変状が発生し，縫返しを余儀なくされた．このため，高耐力のトンネル支保構造を設計，早期閉合で施工して，約730mにわたった地質不良部を上り線，下り線とも突破し，先行して掘削を開始した上り線については平成24年4月に貫通した．後行の下り線については，現在，貫通点側からも迎え掘りで施工しており，今秋の貫通を目指している．

2. 工事概要

工事名称：新東名高速道路鳳来トンネル工事
発注者：中日本高速道路(株)名古屋支社
施工者：清水建設(株)
施工場所：愛知県新城市下吉田浦梨沢～乗本字猿打
工　期：平成20年10月9日～平成26年2月28日

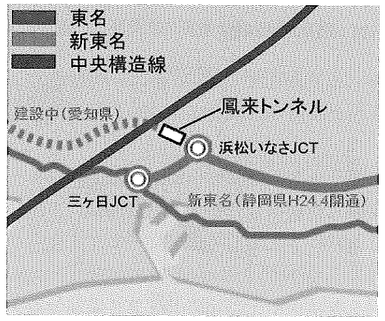


図-1　現場位置図

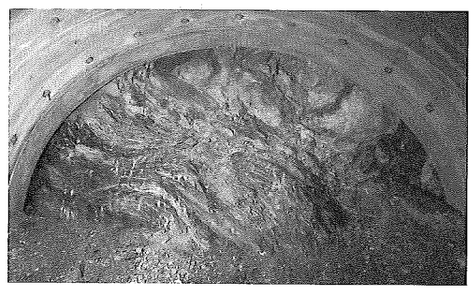


写真-1　地質不良部の出現

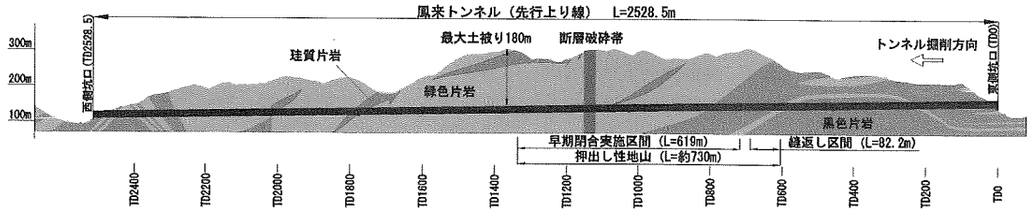


図-2　トンネル地質縦断図(先行上り線)

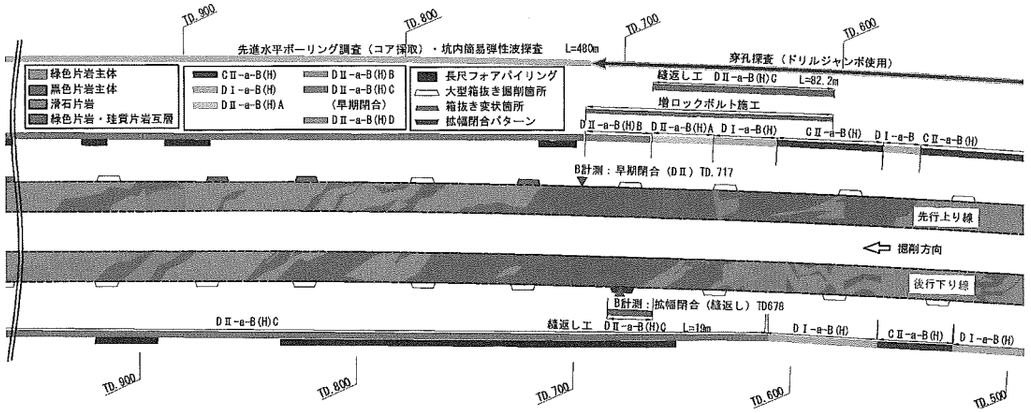


図-3　トンネル地質平面図(押出し性地山区間：TD500～970)

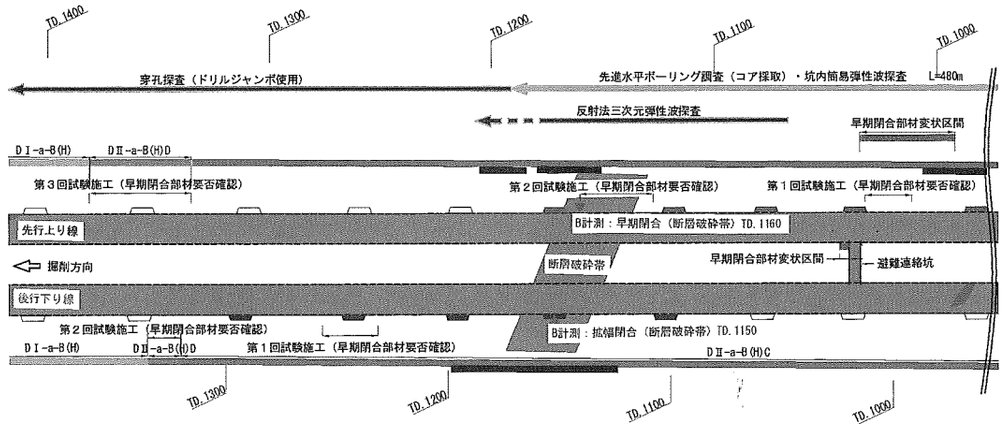


図-4　トンネル地質平面図(押出し性地山区間：TD970～1400)

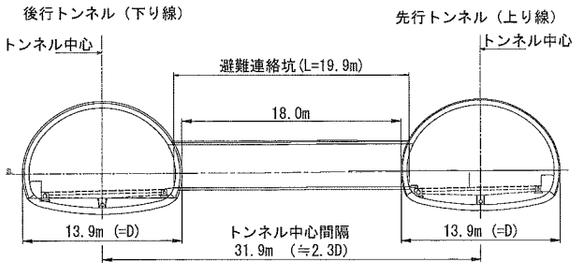


図-5　双設トンネルの位置関係

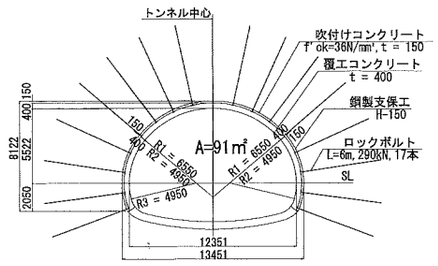


図-6　標準パターン(ＤⅠ)

掘削工法：補助ベンチ付き全断面工法
掘削方式：発破掘削(タイヤ方式)
工事内容：地質縦断図・平面図，双設トンネル位置関係，標準パターン(**図-2～6**)

3. 地　質　概　要

鳳来トンネルの約1.5～２km北に位置する中央構造線を境に北側の領家帯と南側の三波川帯で地質が大きく異なる．本地域の地質である三波川結晶片岩は，中央構造線の影響を受けたために変成度が高く，剥離性に富み全体的に著しい片理構造を呈しており，板状あるいは葉片状に割れやすい特徴を持つ．主に黒色片岩(泥質の堆積岩起源)と緑色片岩(塩基性の火成岩起源)からなり，珪質片岩(石灰質片岩)や滑石(粘土)を伴う(**写真2～4**)．

地山特性の把握を目的として実施した地山試料試験(**図-7**)から，変形係数，準岩盤圧縮強度(岩石の割れ目

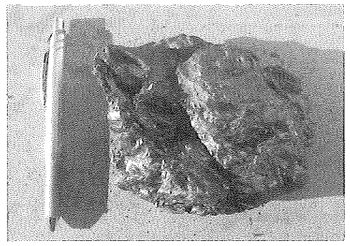


写真-2　黒色片岩



写真-3　緑色片岩

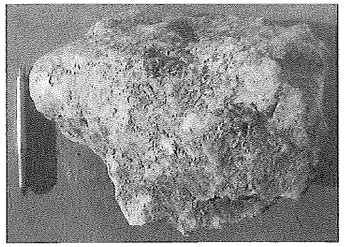


写真-4　滑石(粘土)

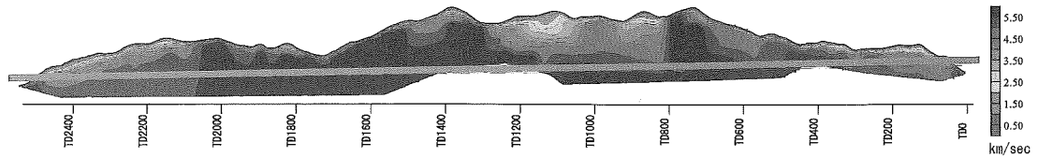


図-8　先行トンネルの弾性波速度(トモグラフィ的手法による再解析結果)

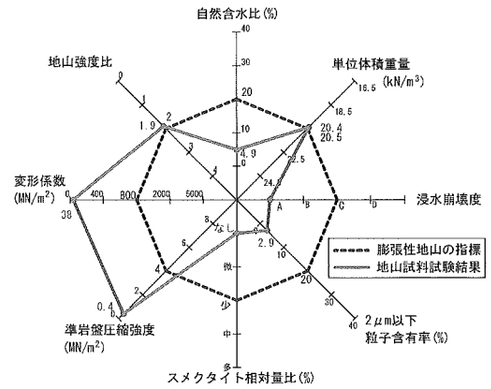


図-7　膨張性の指標と地山試料試験

を考慮したみかけの岩盤強度)，地山強度比，単位体積重量において膨張性(押出し性)地山の指標を超える結果となった．

また，トンネル施工基面の弾性波速度の予測精度向上を目的として，はぎ取法による既存の弾性波探査における走時曲線をトモグラフィ的手法により再解析したところ，TD800～1,300付近において，弾性波速度が他区間と比べて低い結果となった(**図-8**)．この結果と先述の当該地山の特性を踏まえ，TD800以奥においては，押出し性土圧に伴う切羽の自立不安定化やトンネル変位の増加などに注視して掘削を進める必要が示唆された．

4. 押出し性地山の施工

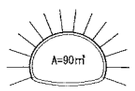
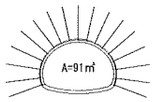
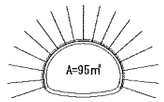
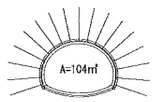
4.1 標準パターンの施工

先行トンネル(上り線)において，標準パターンのCⅡ-a-B(H)，ＤⅠ-a-B(H)(**表-1**)で施工していたところ，TD650付近から，黒色片岩の間に滑石(粘土)を伴う地質不良部が出現した(**写真-1**)．初期変位速度が10㎜/日を超えるようになり，手前のTD600付近まで管理基準値を超える変位が発生し，支保部材が変状(吹付けコンクリートのクラック，鋼アーチ支保工の押出し変形，ロックボルトのプレートの変形やボルトの破断)した．変位抑制と変状対策を目的として，既施工区間については増ロックボルトを施工し(**写真-5**)，以奥TD658からは変形余裕量を設けるとともに，支保工を２段階にわたりランクアップ(DⅡ-a-B(H)A，DⅡ-a-B(H)B(表-1))して掘削を進めたが，45㎜/日を上まわる初期変位速度となり，過大な変位や支保部材の変状が引き続き発生した．結果的に，82.2mの延長にわたり覆工巻厚を侵す変位量が発生したため，縫返しを余儀なくされた．DⅡ-a-B(H)Bで施工した区間は，覆工巻厚を確保できる状態であったが，変位が収束しないため，トンネル掘削を一時中止して，解析的手法(FEM解析)により変位抑制に効果的と判断された閉合部材によるインバート閉合を実施した．

4.2 早期閉合パターンの設計

標準パターンの施工区間で発生したような過大な押出し性土圧に耐え得るトンネル支保構造を設計するために，針貫入試験で得られた地質不良部の一軸圧縮強度を用いて地山強度比を算出したところ0.3程度であり，地山試料試験(図-7)から算出された1.9よりはるかに小さいことがわかった．一般的に，地山強度比が0.5を下まわる押出し性地山のトンネル掘削では，切羽の自立安定は困難であり，断面閉合なしでのトンネル支保構造は不安定になりやすく，過大な変位や支保部材の変状・破壊が発生するようになるという報告がある．このような強度不足に起因する押出し性地山では，上半切羽から1*D*以内で支保構造体を早期閉合部材で断面閉合して，これの内圧力で作用土圧を保持する早期閉合[1]が，もっとも有効

表-1　標準パターン(CⅡ，DⅠ，DⅡ)の支保構造仕様とA計測結果

支保パターン		CⅡ-a-B(H)	DⅠ-a-B(H)	DⅡ-a-B(H)A	DⅡ-a-B(H)B
					
一掘進長		1.2m	1.0m	1.0m	1.0m
ロックボルト(耐力290kN)	長さ	4.0m	6.0m	6.0m	6.0m
	周・延長方向	1.8m・1.2m	1.5m・1.0m	1.5m・1.0m	1.5m・1.0m
吹付けコンクリート(高強度36N/mm²)	吹付け厚	10cm(上下半)	15cm(上下半)	20cm(上下半)	25cm(上下半・インバート)
鋼アーチ支保工		H-125(上半)	H-150(上下半)	H-150(上下半)	H-200(上下半・インバート)
変形余裕量		—	—	10cm	15cm
初期変位速度(最大値)	天端沈下	2mm/日	8mm/日	20mm/日	7mm/日
	脚部沈下	1mm/日	20mm/日	45mm/日	10mm/日
	内空変位	2mm/日	19mm/日	46mm/日	22mm/日
最大変位量/管理基準値Ⅲ	天端沈下	11mm/17mm	42mm/23mm	48mm/59mm	42mm/59mm
	脚部沈下	17mm/17mm	55mm/23mm	90mm/59mm	79mm/59mm
	内空変位	29mm/34mm	73mm/46mm	108mm/118mm	93mm/118mm

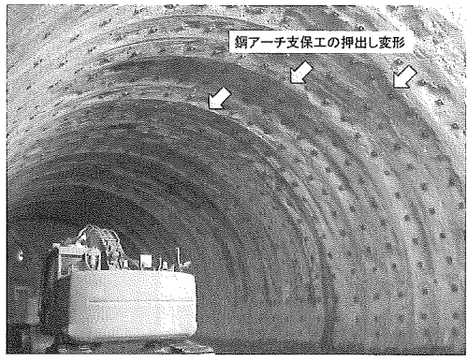


写真-5　増ロックボルト施工

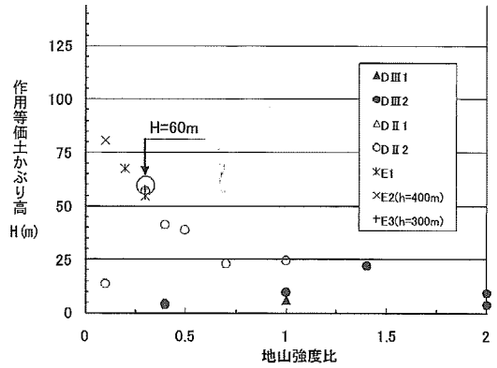


図-9　作用等価土かぶり高の関係

な安定化方法と考えられており，本設計においても同方法を採用した．

設計にあたって，まずは地山強度比0.3をもとに，早期閉合トンネルの施工事例により得られた地山強度比と作用等価土かぶり高の関係[2]から，作用等価土かぶり高を60mと推定した(**図-9**)．この作用土圧をもとに，厚肉円筒理論にもとづいて，必要な吹付けコンクリート軸圧縮耐力を算定し，早期閉合パターンの吹付けコンクリート厚を25cmに決定した(**表-2**)．設計した早期閉合パターンDⅡ-a-B(H)Cを**図-10**に示す．

一般的に，双設による影響はトンネル中心間隔を5D以上確保できていれば無視してよいと考えられるが，今回は2.3D(図-5)であり双設影響が考えられる．後行トンネルの掘削に伴う先行トンネルの掘削面に発生する増分土圧ΔP_oは，厚肉円筒理論より，掘削深度L＝18mの位置で$P_o/(2\pi L)$に低下することから，ΔP_o＝0.01N/mm²程度と予想された．これは，先行トンネル施工時における推定作用土圧1.2N/mm²のわずか１％程度であり，早期閉合パターンの支保構造耐力の範囲内で，先行トンネルの力学的安定確保は可能と考えられた．

4.3　早期閉合パターンの施工

先行トンネルの掘削当初から，切羽前方の地質や湧水状況の把握を目的として，ドリルジャンボを使用した穿孔探査を全延長において実施し，得られた穿孔エネルギー

表-2　早期閉合パターンの設計パラメータと吹付けコンクリート厚の算定

項目			仕様	備考
設計パラメータ	①一軸圧縮強度	q_u	0.8N/mm²	現地地山の針貫入試験結果
	②単位体積重量	Y	20kN/m³	代表値
	③土かぶり高	h	150m	地質不良区間の平均値
	④トンネル支保半径	r_i	6.55m＋0.4m	覆工コンクリート背面位置
	⑤吹付けコンクリート設計基準強度	f'_{ck}	36N/mm²	高強度
吹付け厚さの算定	①地山強度比		0.3	$=q_u/(Yh)$
	②作用等価土かぶり高	H	60m	図-9
	③作用土圧	p_o	1.2N/mm²	$=YH$
	④吹付けコンクリート軸圧縮耐力	N_c	8.34MN/m	$N_c=P_o\cdot r_i$(厚肉円筒理論)
	⑤吹付けコンクリート断面積	A_c	0.23m²	$=N_c/f'_{ck}$
	⑥吹付けコンクリート厚さ	t	23cm以上	$(=A_c/1\,\mathrm{m})$以上

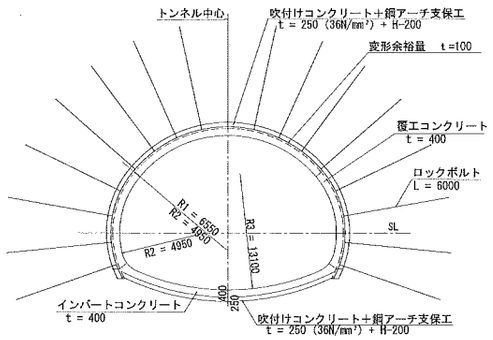


図-10　早期閉合パターンDⅡ-a-B(H)C

などの情報を参考にして支保パターンを決定していた．早期閉合パターンを開始したTD716～1,196においては，地質不良部や断層破砕帯の分布位置の把握も目的として，先進水平ボーリング調査(コア採取)とその調査孔を利用した簡易弾性波探査による地質調査を実施して，支保パターンの決定や補助工法の採用の一助とした．また，断層破砕帯の分布の可能性が高いと判断されたTD1,067以奥において，分布位置をより正確に把握するために，反射法三次元弾性波探査を実施した．その結果，断層破砕帯の位置をTD1,140～1,170付近と特定することができ，その区間においては，特に慎重な掘削と観察・計測管理の強化を図った．

一連の地質調査結果から，地質不良部の介在が確認され，掘削時に切羽の自立安定が懸念される区間においては，切羽安定対策の補助工法として，注入式長尺フォアパイリングを採用した(**図-11**)．

早期閉合距離L_fは，上半切羽から1D以内のL_f＝９～12mとし，早期閉合施工単位L_cは，施工性と施工速度を考慮し，L_c＝3～4mを基本とする(図-11，**写真-6**)．

上・下半掘削は１掘進長1mで，続けて３～４サイクル進行し，その後，インバートを一度に３～４m掘削・整形，インバート支保工３～４基設置，吹付けコンクリートの吹付け，掘削ずりでインバート部の仮埋戻しを行い，この一連のサイクルをくり返して早期閉合を完了させる．

早期閉合施工範囲の選択は，A計測で判断する．初期変位速度が10mm/日以上の場合は早期閉合を採用する．初期変位速度が10mm/日を下まわり，早期閉合を行わなくても変位が収束する場合は，標準パターンに移行する．本施工法の施工フローを**図-12**に示す．

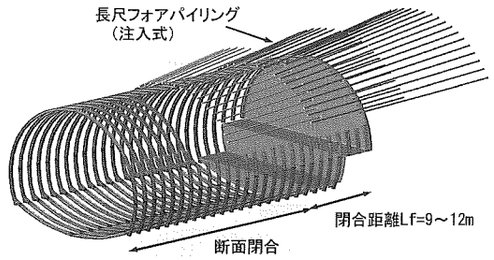


図-11　本施工法の概念図

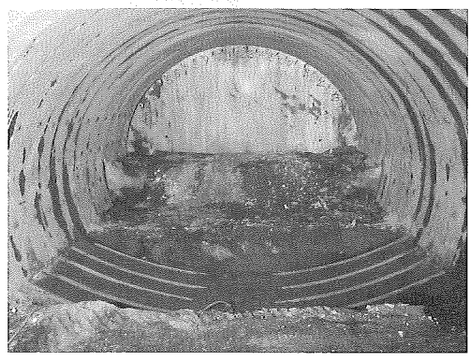


写真-6　早期閉合パターン

押出し性地山区間周辺の内空変位量(収束値)を**図-13**

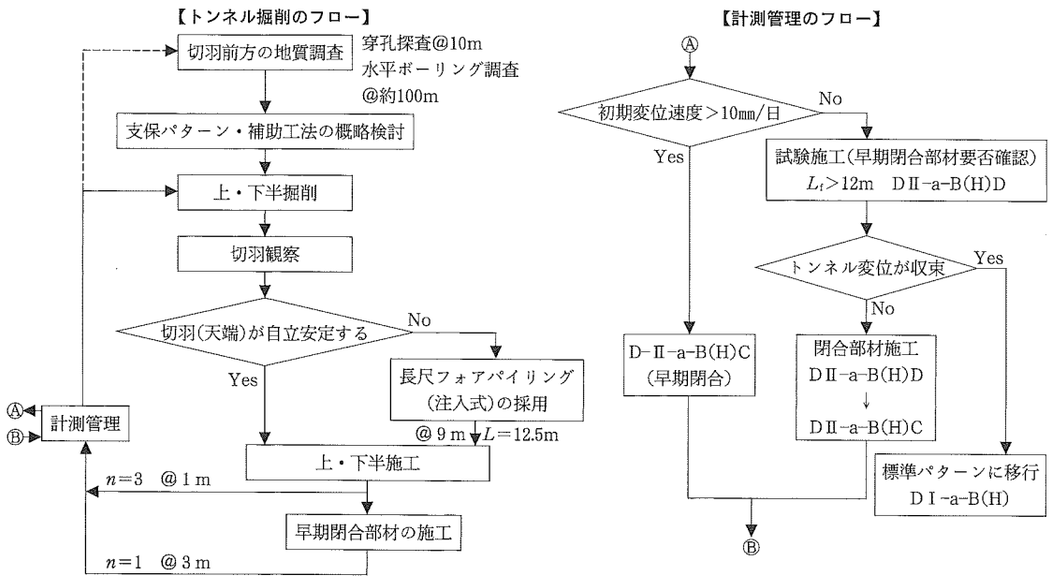


図-12　早期閉合パターンの施工フロー(L_e= 3 mの場合)

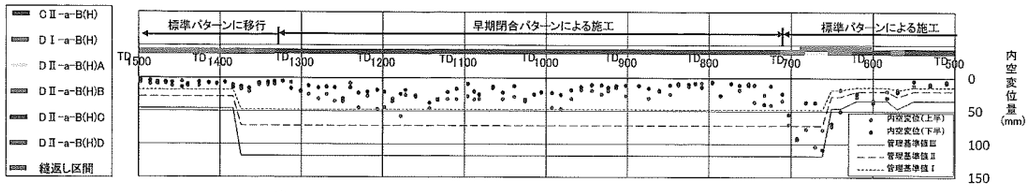


図-13　内空変位量の収束値(先行トンネルTD500～1500)



写真-7　閉合部材(H200)の破断

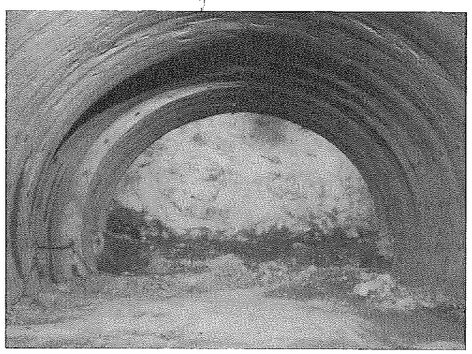


写真-8　拡幅閉合パターン

に示す．標準パターンの施工では管理基準値Ⅲを超過する変位が発生したが，早期閉合パターンを採用した区間は，おおむね管理基準値Ⅰ以下で収束した．TD1,381からは初期変位速度が10㎜/日を下まわり，早期閉合を行わなくても変位が収束したため，標準パターンに移行した．

4.4　箱抜き部における拡幅閉合パターンの設計・施工

後行トンネルの掘削やインバートの掘削を行っていたところ，非常用設備のための箱抜きのうちトンネル軸方向に５m以上の掘削を要する大型箱抜き箇所の周辺において，双設による影響と考えられるトンネル変位の増加がみられ，以下の問題が発生した．

① 後行トンネルの掘削に伴い，先行トンネルの箱抜き掘削完了箇所付近にて，支保部材の変状(吹付けコンクリートのクラック，ロックボルト座金の変形)が発生した．

② 先行トンネルのインバート掘削に伴い，後行トンネルの箱抜き掘削完了箇所付近にて，支保部材の変状(吹付けコンクリートの破壊，鋼アーチ支保工の座屈・破断)が発生した(**写真-7**)．

①については，発生した変位が変形余裕量以下であったため，クラックが発生した吹付けコンクリートを撤去した後に，増し吹付けを実施し，変状したロックボルトを再打設した．その後，変位や変状は収まった．②については，変形余裕量以上の変位が発生し，著しく支保部材が変状したため，縫返しを余儀なくされた．

箱抜きの掘削時期は，一般的に切羽掘削の影響が少ないと考えられる離隔距離(切羽から約 5D程度)を確保したうえで施工したが，地山強度比0.3程度の今回の押出し性地山においては，主要支保である鋼アーチ支保工や吹付けコンクリートの一部を切断し，断面の閉合構造が成立しなくなることで，トンネル支保構造体が不安定になり，過大な変位や支保部材の変状が発生したものと考えられる．対策工として，以奥の大型箱抜き掘削箇所においては，箱抜き掘削範囲を包含する拡幅したトンネル断面を設計し，早期閉合で施工した(**写真-8**)．また，②の区間においても同様の拡幅閉合パターンで縫返しを実施した．

5.　施　工　結　果

実施工においては，計測工によりトンネル変位とトンネル支保の応力状態を確認しながら掘削を進めた．**表-3**にA・B計測によるトンネル変位と支保工応力値，また吹付けコンクリート軸応力から算出した作用等価土かぶり高を示す．

5.1　早期閉合パターンの検証

先行トンネルの変位は，双設後に微増するものの変形余裕量10cm以下で収束している．また，吹付けコンク

表-3　計測結果および作用等価土かぶり高

		先行トンネル(上り線)		後行トンネル(下り線)	
		早期閉合(DⅡ) TD717	早期閉合(断層破砕帯) TD1,160	拡幅閉合(縫返し) TD678	拡幅閉合(断層破砕帯) TD1,150
		DⅡ-a-B(H)C	DⅡ-a-B(H)C (A)	DⅡ-a-B(H)E	DⅡ-a-B(H)E(A)
支保パターン			(長尺フォアパイリング)		(長尺フォアパイリング)
		13.9m	13.9m	14.5m	14.5m
土かぶり高		163m	164m	157m	160m
一軸圧縮強度		1.6N/㎟	0.8N/㎟	3.0N/㎟	1.6N/㎟
地山強度比		0.5	0.3	1.0	0.5
初期変位速度	天端沈下	10㎜/日	5㎜/日	5㎜/日	10㎜/日
	脚部沈下	5㎜/日	12㎜/日	7㎜/日	1㎜/日
	内空変位	8㎜/日	12㎜/日	25㎜/日	2㎜/日
		先行後	双設後	先行後	双設後		
天端沈下		22㎜	25㎜	24㎜	27㎜	24㎜	32㎜
脚部沈下		18㎜	21㎜	20㎜	23㎜	25㎜	12㎜
内空変位		34㎜	40㎜	24㎜	28㎜	45㎜	21㎜
鋼アーチ支保工の曲げモーメント(収束値) (+)内空側 (−)地山側		-69kN・m 51kN・m		-88kN・m 76kN・m		10kN・m 5kN・m	28kN・m -60kN・m
吹付け軸応力		23N/㎟	26N/㎟	24N/㎟	32N/㎟	3N/㎟	25N/㎟
支保工縁応力		344N/㎟	546N/㎟	743N/㎟	759N/㎟	78N/㎟	376N/㎟
分担率(吹付け)		70%	68%	53%	58%	37%	65%
作用等価土かぶり高		44m	57m	45m	66m	2m	46m

リート軸応力は，双設後に微増するものの，設計基準強度36N/㎟以下で収束している．一方で，鋼アーチ支保工縁応力は，最大759N/㎟と高い曲げ応力が発生し，多くの側線で許容応力度210N/㎟を上まわっているものの，支保の変状はなく応力値は収束する．これは，鋼材とコンクリートの剛性(ヤング率)が10倍程度の差を有することから，剛性の高い鋼材が小さな面積にもかかわらず大きな断面力を分担してしまうことによる．ただし，吹付けコンクリートが高強度であるため，両者の剛性の差は比較的小さく，鋼アーチ支保工の分担率が低減され，両者一体となって効率的に土圧を支えることで，トンネル変位を抑制し，支保部材の健全性を確保しているものと考えられる．

また，作用等価土かぶり高は，先行トンネルにおいて双設前に45m前後，双設後に設計時に推定値とした60m前後であり，双設後において30%程度増加した．これは，当初想定していた双設影響による土圧増分1%を大きく上まわる結果である．この原因としては，片理面における剝離など地山劣化に伴い，周辺地山が塑性流動の影響を大きく受けた状態で，双設掘削の影響を受け，先行トンネルに推定以上の土圧増分が作用したものと考えられる．また，褶曲に伴う片理・層理など走行傾斜の不規則性ならびに剝離状態の不均一性から，トンネル断面に作用する土圧も不規則・不均一となり，鋼アーチ支保工に作用する曲げモーメントのモードは規則性がない結果となった．

5.2 拡幅閉合パターンの検証

箱抜き掘削に変わり，切羽で拡幅閉合パターンを施工した区間は，過大な変位や支保部材の変状を引き起こすことなく掘削を終えた．縫返した区間については，支保応力が小さく作用等価土かぶり高についても2mであった．これは，箱抜き掘削に伴い一旦，局所的に塑性化した地山が，拡幅閉合パターンの施工により地山応力が再配分され，支保部材への作用土圧がトンネル断面内で平滑化されたことが原因と考えられる．

5.3 施工性の検証

早期閉合区間は上り線，下り線ともに723mに及び，掘削月進行は約80m，注入式長尺フォアパイリング工を併用した区間は約60mを確保することができた．これは，押出し性を有する地山においてトンネルの力学的安定を確保する際，工期を要する補助工法などを多用することなく，初期変位速度による管理の下，閉合部材の設置のみを通常の掘削サイクルの中で行うことにより，大幅な掘削進行の低下を回避できたためと考えられる．また，大型箱抜き箇所の施工を拡幅閉合パターンにより通常の掘削サイクルの中で施工したことも，高い掘削進行の確保につながった．

6. おわりに

地山強度比0.3の押出し性地山における双設トンネルの掘削は，今回のように，作用土圧に見合った高耐力支保パターンにおいて，上半切羽から1D以内で断面を早期に閉合することで，過大な変位や支保部材の変状を抑制できることが確認された．今後，類似のトンネル掘削の参考となれば幸いである．

また，工事にあたっては，中日本高速道路(株)名古屋支社をはじめとする関係各位には多大なるご指導・ご協力をいただいた．厚くお礼申し上げる．

参考文献

1) 楠本太・恩田雅也・上岡真也：押出し性地山における大断面トンネルの力学パラメータに関する考察，第60回年次学術講演会，第Ⅲ部門，2005.
2) 西村和夫・城間博通・楠本太：早期閉合トンネル力学パラメータに関する考察，土木学会第66回年次学術講演会，第Ⅵ部門，2011.

第71回(都市)施工体験発表会最優秀賞

海底横断ガス導管シールドへのURUP工法の適用

—田原第2幹線三河湾横断シールドトンネル—

中部ガス(株)豊橋供給センター導管グループマネージャー 中村成利
中部ガス(株)豊橋供給センター導管グループ副主査 矢野慎二
(株)大林組土木本部生産技術本部シールド技術部課長 足立邦靖
(株)大林組名古屋支店大樹寺シールドJV工事事務所 丹沢淳一

キーワード：シールド，URUP工法，ガス導管，地上発進，地上到達，小土かぶり，海底横断，急勾配

1. はじめに

「田原第2幹線三河湾シールド土木工事」は，三河湾を横断するガス導管シールド工事である．本工事の入札においては，三河湾の計画航路との離隔や護岸通過位置，トンネル内で配管工事が可能なことなどの所定条件を満たせば，トンネル線形を任意に設定することが許されていた．そこで，シールドの地上発進および地上到達を行うことで立坑を省略でき，工期や経済性，工事の安全性などにおいて優位となる「URUP工法」の採用をVE提案し，工事を受注できた．URUP工法による地上発進としては国内で2例目[1]，地上到達は国内初となる工事である．

2. 工事概要

本工事の概要を**表-1**に示す．また，当初計画とVE提案との主要工事数量の比較を**表-2**に，比較縦断図を**図-1**に示す．

表-1 工事概要

工事名称	田原第2幹線三河湾シールド土木工事
発注者	中部ガス(株)
施工者	大林組・神野建設特別共同企業体
工期	平成22年6月～平成23年11月
施工延長	1,086.7m
掘削外径	φ2.13m
セグメント	鋼製セグメント 外径φ1,956㎜，内空φ1,800㎜，幅 750㎜，5分割
縦断勾配	発進側15.0%，到達側14.0%
最小曲線半径	平面：R=200m，縦断R=100m
最小土かぶり	0.8m(約0.4D)

表-2 主要工事数量の比較

項目	当初計画	VE提案
シールド延長	L=937.2m	L=1086.7m
発進立坑(内空寸法)	φ12.0m※ ×H25.0m	(掘割部) W3.7m×L19.6m×H2.7m
到達立坑(内空寸法)	φ4.0m ×H25.2m	(掘割部) W3.1m×L11.6m×H2.0m
開削延長(別途工事)	—	(当初計画に対して) −130m

※ガス配管工事での材料投入を考慮した寸法

2.1 トンネル線形

当初計画は，三河湾の両岸に深さ約25mの発進立坑および到達立坑を築造し，水平にシールドトンネルを施工するものであった，これに対し，URUP工法を適用した場合，直接シールドを地上から発進させて地上に到達させることになり，発進立坑と到達立坑が不要となる．

そのため，平面線形は当初計画とほぼ同じであるが，縦断線形は発進側および到達側に急勾配区間を含むものとなった．

発進側の勾配は，護岸の制約条件を満足しつつシールド延長が最短となるよう，過去のシールド施工実績およびトンネル内配管の施工実績をもとに15.0%とした．到達側の勾配は，護岸の制約条件を満足しつつ当初計画されていた立坑用地内へ地上到達するよう14.0%とした．

これにより，シールドトンネルの総延長は約150m長くなる一方，別途施工される開削工事延長は約130m短くなった．

また，発進・到達部の土かぶりは，隣接する開削区間とガス配管中心を一致させるよう考慮し，0.8mとした．

2.2 地質

急勾配区間の地質は，沖積砂質土層，沖積粘性土層，

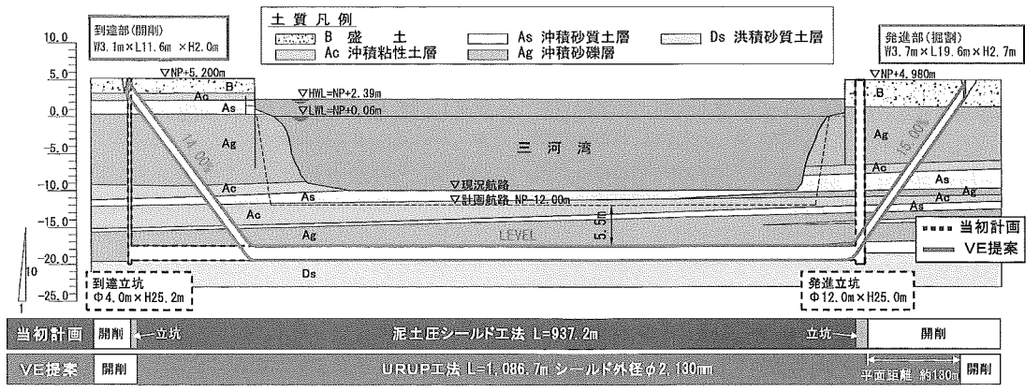


図-1 全体縦断図

表-3 地質概要

地 質		概 要
沖積砂質土	As	*N*値 7～40 緩い砂質土から非常によく締まった砂質土
沖積粘性土	Ac	*N*値 2～3 柔らかい粘性土
沖積砂礫土	Ag	海底部は*N*値50で想定最大礫径35㎜ 勾配部は*N*値30で想定最大礫径25㎜
洪積砂質土	Ds	*N*値30～50 非常によく締まった砂質土

沖積砂礫層からなる互層であり，発進・到達付近では盛土も掘削対象となる．また海底横断部の水平区間では，沖積砂礫層が主体であり，下部に洪積砂質土層を一部含む．それぞれの土層の特徴を**表-3**に示す．盛土層ではガラなどの障害物の出現が懸念されたが，事前のボーリングデータや埋立工事の調査から最大径40㎜の礫の出現が予測された程度で，発進・到達掘割部の掘削においても支障物などは見られなかった．

地下水位は，発進側，到達側ともにGL-2.95mであり，地上発進および地上到達時のシールド下端付近となるため，発進・到達における出水については問題ないと判断した．

3. URUP工法

3.1 工法概要

URUP工法は，交差点における地下立体交差(アンダーパス)道路を非開削工法にて実現することを目的として開発された技術である．シールドを地上から掘進し，交差点下を通過後そのまま地上へ到達することで，従来必要であった発進，到達立坑の構築が不要となる(**図-2**)．これにより，従来の開削工法よりも短期間でアンダーパス構築が可能となる．さらに，工事による発生土量や排出ガスの縮減，騒音振動や二次渋滞の抑制など，周辺環境や地球環境にも配慮した工法である．

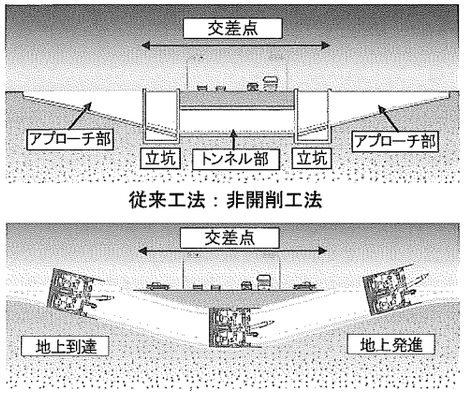


図-2 アンダーパスの施工概念比較図

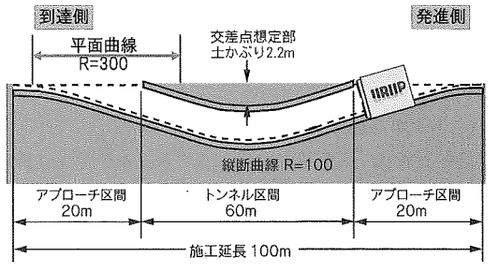


図-3 実証実験概要

このURUP工法による地上発進・地上到達の技術は，本工事のような海底横断シールドなどさまざまな工事へ適用が可能であり，工期短縮やコスト縮減，環境負荷低減を図ることができる．

3.2 実証実験工事

URUP工法の開発においては，国内でも例を見ないシールドの地上発進・地上到達という新技術の実現性を，実機を用いた実験工事により確認した．

アンダーパス構築を想定した実証実験工事では，高さ2.15m，幅4.8mの泥土圧シールドを使用し，施工延長は100mとした．なお，掘進線形は，曲線半径300mの平面線形，曲線半径100mの縦断曲線を設定した(**図-3**)．

3.3 実証実験工事により得られた知見

実験工事の結果をもとに，地上発進・地上到達の確実性，および小土かぶり掘進の確実性について検討した結果，以下の知見が得られた．

① 地上発進，小土かぶり掘進，地上到達といったURUP工法の一連の工程(**写真-1**)を実施するにあたっては，チャンバ内掘削土砂の塑性流動化を図り，切羽を安定させることで，施工条件にかかわらず，地表面変位を抑制して掘進できることがわかった．

② アプローチ部の掘進では，チャンバ内の掘削土砂の状況や裏込め注入の充填状況を目視で確認でき，添加材注入量や排土量，裏込め注入量を適正に管理できた．また，シールドの姿勢制御については，ジャッキの選択や中折れ調整など，従来とほぼ同様な手法で制御が可能であることを確認できた．

③ 小土かぶり掘進においては，掘削土砂の塑性流動化，切羽土圧の適正設定に加えて，必要に応じて滑材を使用して地山の引き込みを防止することで，地表面変位を抑制できることを確認した．

以上の知見から，URUP工法は，立体交差のアンダーパスに限らず，地上へのアプローチが必要なさまざまな用途のシールドトンネル工事に適用できることがわかった．また，実験工事ではトンネル断面形状は矩形であったが，矩形に限らず円形や複合アーチ断面など，幅広く活用できる技術である．

4. 本工事へのURUP工法適用の効果

4.1 工期の短縮

当初計画とVE提案との全体工程の比較を**図-4**に示す．以下の理由により，当初計画と比較して工期を5.5か月短縮できた．

4.1.1 発進・到達立坑が不要

発進・到達立坑およびシールド発進・到達防護(地盤改良)が不要となり，各工事を省略できた．

4.1.2 初期掘進・段取り替えが不要

地上から直接発進するため，シールド掘進に必要な設備を搭載した後続台車を，地上に配置・連結して掘進を開始することができた(**写真-2**)．これにより，効率の悪い初期掘進と段取り替えを省略できた．

4.2 工事の安全性向上

4.2.1 鏡切り作業が不要

大きな地下水圧や土圧が作用する立坑からのシールド発進・到達を省略できたため，鏡切り作業が不要となり，安全な発進・到達が可能となった(**写真-3, 4**)．

4.2.2 荷役作業を軽減

立坑がなく，地上からトンネル内へ資機材を直接搬入できるため，シールド掘進時のセグメント搬入や配管作業時の管材搬入などにおいて，従来の立坑上下間の危険なクレーン荷役作業を省略できた．

4.2.3 安全なシールドの組立，解体作業

地上発進・地上到達では，立坑開口寸法などの制約がなく，シールド機を分割して組立・解体する



地上発進状況　シールド貫入状況　地上到達状況

写真-1 URUP実証実験施工状況

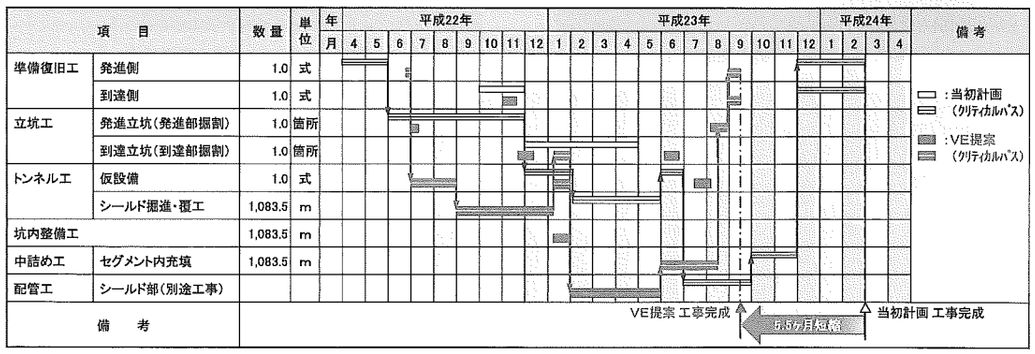


図-4 全体工程比較図

必要がない．そのため，重量物の揚重作業や溶接・溶断作業を低減でき，作業の安全性が向上した(**写真-5**)．

4.3　ガス配管工事に対する効果

シールド施工後，トンネル坑内にて実施する配管工事(別途工事)に対しては，以下の効果があった．

4.3.1　配管材料の長さに制約がない

配管材料(鋼管)を地上から直接坑内へ搬入することができるため，配管材料の長さについて，従来の立坑寸法による制約がなくなった．

4.3.2　配管総延長を短縮

立坑での立ち上がり配管が不要となり，配管総延長が短くなった．

4.4　環境負荷を低減

当初計画とVE提案との工事全体での掘削土量の比較を**表-4**に示す．

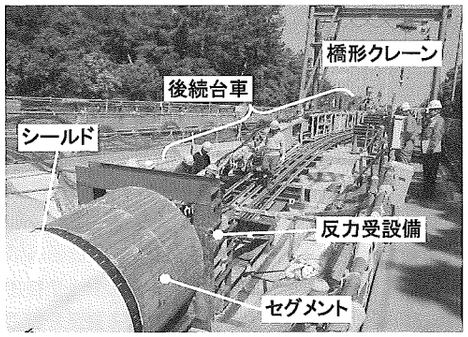


写真-2　発進時シールド後方設備

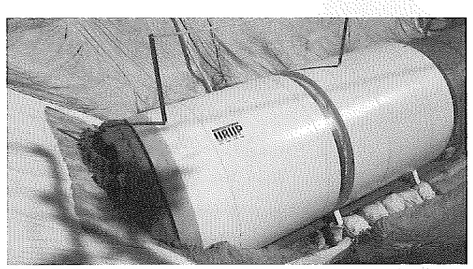


写真-3　シールド地上発進状況

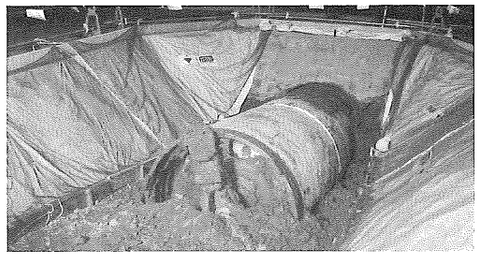
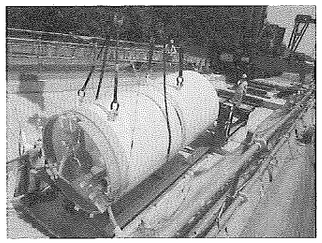


写真-4　シールド地上到達状況



シールド搬入



シールド搬出

写真-5　シールド搬入・搬出状況

当初計画では，坑内への配管材料搬入の条件から，発進立坑がシールド施工に必要な寸法に比べ大きくなっていた．VE提案では，立坑省略により掘削土量を約37%低減でき，環境負荷の低減に貢献することができた．

5.　施　工　実　績

5.1　工法およびシールド

本工事で使用したシールドは，URUP実証実験の成果・知見をもとに，地上発進，地上到達および小土かぶり施工に対応が可能な仕様とし，形式は，実証実験と同様，切羽の安定管理ができるとともに，小土かぶり部においても掘削土砂などが地上へ噴発する恐れのない「泥土圧シールド」を採用した．

また，小土かぶり掘進における地表面変位を抑制するため，切羽土圧を的確に把握・管理できるように土圧計を隔壁上部と中段部に2台設置した．

5.2　発進部構造およびシールド発進

シールド発進部は，法面形状の掘割構造とし，地上から直接掘削して構築した．またシールドの掘進反力を確保するため，H形鋼杭による反力受設備を設置した(**図-5**および**写真-6**)．

シールド発進の施工ステップを**写真-7**に示す．

前述のとおり，地下水位は発進時のシールド下端付近であったため，出水や法面・地表面の崩壊もなく，速やかに発進することができた．

5.3　小土かぶり掘進

以下に述べる各管理項目について，その管理値および

表-4　掘削土量の比較

項　目	当初計画	VE提案
シールド	3,184.6m³	3,872.2m³
発進立坑	2,833.1m³	153.8m³
到達立坑	316.7m³	82.5m³
開　削※	197.4m³	0m³
合　計	6,531.8m³	4,108.5m³ 【低減率：約37%】

※シールド延長が長くなった分のみを考慮

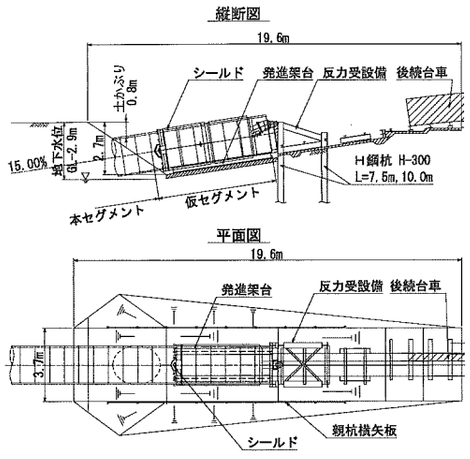


図-5　発進部構造概要図

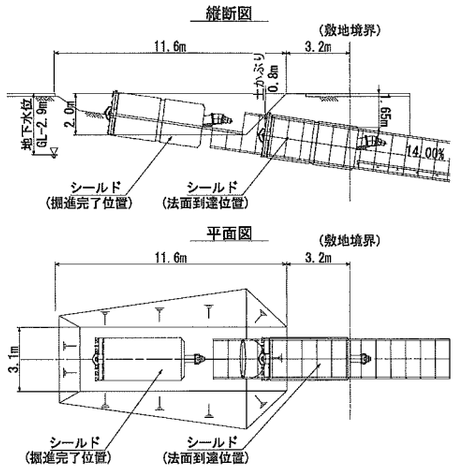


図-6　到達部構造概要図

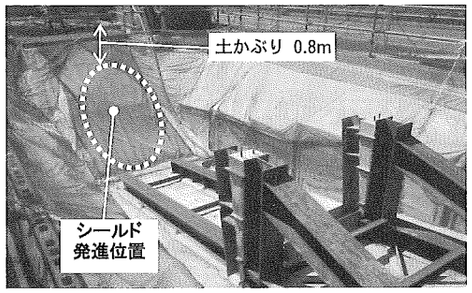


写真-6　発進部掘割構造

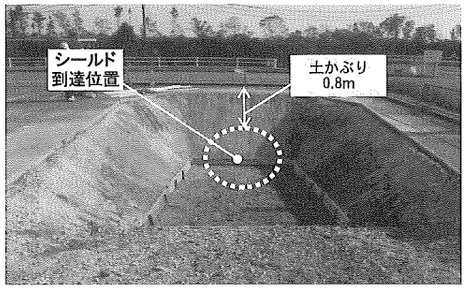
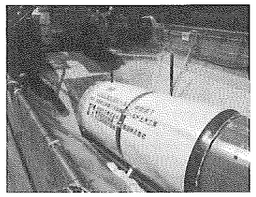
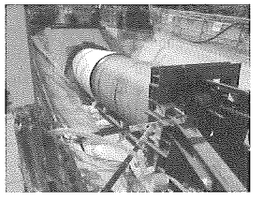


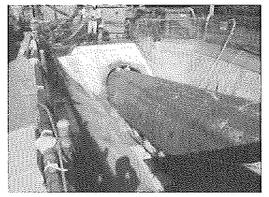
写真-8　到達部掘割構造



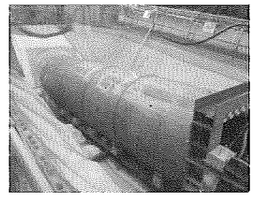
①法面掘削時に添加材の注入状況・土砂の塑性流動状態を目視で確認しながら掘進する．



②法面・地表面を監視しながら仮セグメントを順次組立て掘進を継続する．

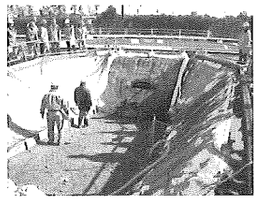


③土かぶり増加に伴い推力が上昇するため，仮セグメントの浮上がりを防止しながら掘進を継続する．

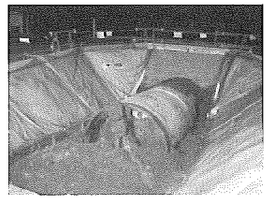


④テールボイドを裏込め材で充填し坑口を仕上げる．

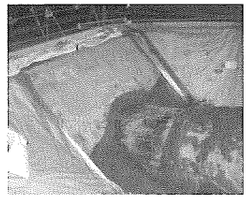
写真-7　発進施工ステップ



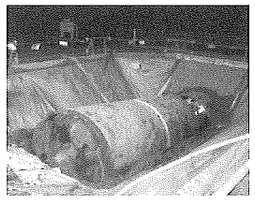
①シールド上部が法面に到達する．



②地表面・法面を監視しながら掘進を継続する．



③シールド通過により発生したテールボイドに裏込め材を充填し，坑口を仕上げる．



④シールド解体位置まで掘進(空押し)して完了する．

写真-9　到達施工ステップ

管理方法を事前に設定し，掘進中は地表面変位をリアルタイムに計測しながら，管理値の見直し・再設定にフィードバックした．

5.3.1 適切な切羽管理

（1） 管理土圧

管理土圧は，上限値を「土かぶり圧」，下限値を「静止土圧＋地下水圧＋予備圧」と設定した．

（2） 掘削用添加材

切羽への添加材は，掘削対象範囲が広く切羽の安定が難しい沖積砂礫層への対応を基本として計画し，事前の試験練りによってベントナイト系増粘材と高分子系凝集剤を選定した．

また海底下の掘進であるため，塩分対策として効果のある分散系添加材を併用した．施工においては，排土状態を確認しながら，添加材の組み合わせや注入率を調整することで，チャンバ内土砂の良好な塑性流動状態を確保した．

5.3.2 掘削土量管理

坑内の土砂搬送は，土砂運搬車を使用しバッテリー機関車により搬送した．掘削土量は，発進基地における運搬車内の土砂の体積計測とロードセルによる重量計測により管理した．また，切羽土圧やスクリュー回転数などの掘進管理データと照らし合わせながら，総合的に管理した．

5.3.3 裏込め注入管理

裏込めの目標注入率は，130%以上と設定し，注入圧力の上限値は切羽圧＋100kPaとした．小土かぶり区間において，圧力管理の上限値が土かぶり圧よりも大きくなる場合は，地表面の変状や注入材噴出の有無を監視しながら注入を実施した．

5.4 到達部構造およびシールド到達

シールド到達部は，発進と同様，トンネル設計高さや勾配にあわせた掘割構造とした(**図-6，写真-8**)．シールド到達の施工ステップを**写真-9**に示す．

到達においても発進と同様，出水や法面・地表面の崩壊もなく確実な施工ができた．

6. URUP工法適用における課題と対策

6.1 変化する土質と土かぶりへの対応

本工事では，VE提案の線形変更により急勾配かつ小土かぶりの区間が存在し，掘進に伴い土質と土かぶりが変化していくため，これらに対応して安定した掘進を行う必要があった．このためには，前述のように，事前設定した管理方法・管理値をもとに掘進を行い，地表面変位の計測結果を以降の掘進管理に常にフィードバックしていくことが重要であった．

以下に，発進側および到達側での地表面変位の計測結果と，それにもとづいた主な管理方法について述べる．

発進側および到達側における地表面変位の計測結果を，それぞれ**図-7**および**図-8**に示す．各図は，土かぶり2.0mおよび4.0mの地点でのシールド先端との隔離と，地表面変位量の推移を示したものである．計測位置はシールド直上の点で，計測方法はレベル計測器を用いた人為測量にて行った．

発進側の地表面変位は，事前に設定した管理土圧にもとづき掘進した結果，土かぶり2.0，4.0mともにシールド先端到達付近から沈下傾向が表れた．シールド後端の通過後は，裏込めが適切に充填されたと思われ，経時変化はほとんど見られなかった．最終変位量は，土かぶり2.0mで－5㎜(沈下)であった．

到達側については，先行した発進側の沈下傾向を考慮し，土かぶり6.0m（3*D*）付近から浅い部分について切羽土圧管理値を「土かぶり圧＋水圧＋予備圧」と再設定して掘進を行った．その結果，一部シールド先端到達前や

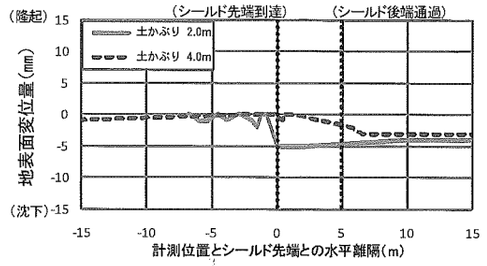


図-7 発進側地表面変位計測結果

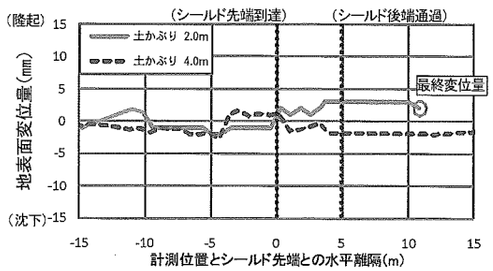


図-8 到達側地表面変位計測結果

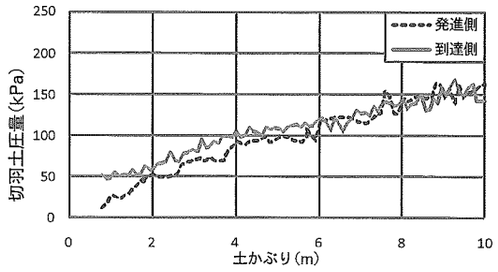


図-9 切羽土圧の管理結果

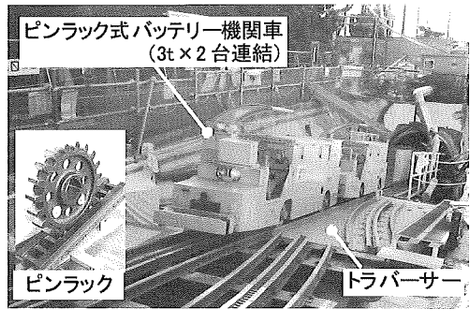


写真-10 ピンラック式バッテリー機関車

先端通過後に隆起傾向が見られたが，発進側よりも全体の変位量を抑制することができた．最終変位量は，土かぶり2.0mで＋2㎜(隆起)，土かぶり4.0mで－2㎜(沈下)であった．また，発進側および到達側における，土かぶりと切羽土圧管理結果の推移を**図-9**に示す．管理値の見直しにより，土かぶり6.0m以浅では到達側の土圧を高く管理した結果が表れている．

発進側と到達側とでは土質条件が若干異なるが，計画上の荷重条件(土圧，地下水圧)はほぼ同等であり，両者の結果を直接比較評価できる．これにより，本工事の小土かぶり部の地盤では，切羽への作用圧を「土かぶり圧」で評価し，切羽土圧管理値の見直しを行ったことが適切かつ有効であったと考える．

6.2 勾配区間における土砂・資機材の運搬

発進側(勾配15%)および到達側(同14%)の急勾配区間に対応するため，坑内運搬設備としてピンラック式バッテリー機関車(3t×2台連結)を採用した(**写真-10**)．これにより勾配区間での運搬速度が低下するが，地上部にトラバーサーを2基設置し，2編成の運搬用台車を速やかに入れ替えて交互に運行することで，運搬効率の向上を図った．

6.3 地下埋設物，障害物への対応

URUP工法によるシールド地上発進あるいは地上到達では，土かぶりが小さく地表面に近い地盤を掘進することとなる．とくに，地表面近くの盛土層については，従来シールドで掘進することは少なく，また埋設物や障害物が存在する可能性が高いため，工事開始前に入念に調査を実施することが重要である．

本工事においては，過去に当該地域の埋立工事を行った際の事前調査結果や工事記録，ボーリングによる土質調査結果，掘割部施工時の調査結果をもとに，事前に埋設物や障害物がないことを十分確認した．その結果，掘進前ならびに掘進中においても特別な対策は必要とせず，無事に掘進を完了することができた．

7. おわりに

以上のように，ガス導管シールド工事にURUP工法を適用することで，多くの効果を得られることが実証された．また課題となる小土かぶり部での地表面への影響についても，チャンバ内土砂の塑性流動化を図り，切羽管理を適切に行うことにより，影響を最小限に抑制することが可能であった．

シールドトンネルの急速施工のニーズが高まる中，URUP工法は今後様々な工事へ適用できる技術であると確信しており，本報告がその一助となれば幸いである．

参考文献

1) 藤木仁成・井澤昌佳：地上発進・地上到達シールドの施工，基礎工，2011.3.

11月号予告[11月1日発売予定]

●極小土かぶり部でのSENSによる覆工と地盤への影響に関する考察
●北海道新幹線　万太郎トンネル
●中国横断自動車道尾道松江線　大万木トンネル
●阪神高速大和川線シールドトンネル
●小渋ダム土砂バイパストンネル
【連載講座】
●トンネル技術者のための地相入門(7)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日，念願かなって『黒部の太陽』を観ました．石原裕次郎の遺言により，スクリーン以外での上映が禁じられた伝説の映画です．ようやく観たそれは，聞きしに勝る迫力で，撮影中にけが人を出したという出水シーンには，思わず身をのけぞらせるほどでした．これには，かつてのトンネル工事の厳しい労働環境を垣間見た気がしたと同時に，これを見てトンネル屋を目指した方が多くいらっしゃる，という事実が，軟弱な私には，なんとも不思議に思えました．
◆昨今の土木人気の低さの原因の一つに『黒部の太陽』のような土木の魅力を発信する物語の不在が挙げらますが，最近ある作品を見つけました．『ドボジョ』(松本小夢，講談社)です．ドボジョとは土木系女子の意で，OL向けコミック誌に掲載される，建機オペレータを志望する女性の仕事と恋愛を軸にした成長譚です．舞台が土木ということを除けば，よくある話，といえばそれまでですが，ここに，土木が女性の仕事の選択肢として，定着しつつあることがうかがえます．この背景には，建設業の安全衛生の取組みの確かさが社会的に認知されてきたことがあるのでしょう．『黒部の太陽』では，戦死者の追悼がテーマ化されていることもあり，犠牲としての死が禁忌されます．そのため工事責任者(三船敏郎)は「犠牲者は絶対に出さない」ことを強調して工事を指揮します．こういった先人から現在に脈々と続く労災の絶滅に向けた努力のうえに，『ドボジョ』があるように思えます．

(k.k.)

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

トンネルと地下
第43巻 第10号〔通巻506号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成24年9月20日　印刷
平成24年10月1日　発行

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

本誌の購読について

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

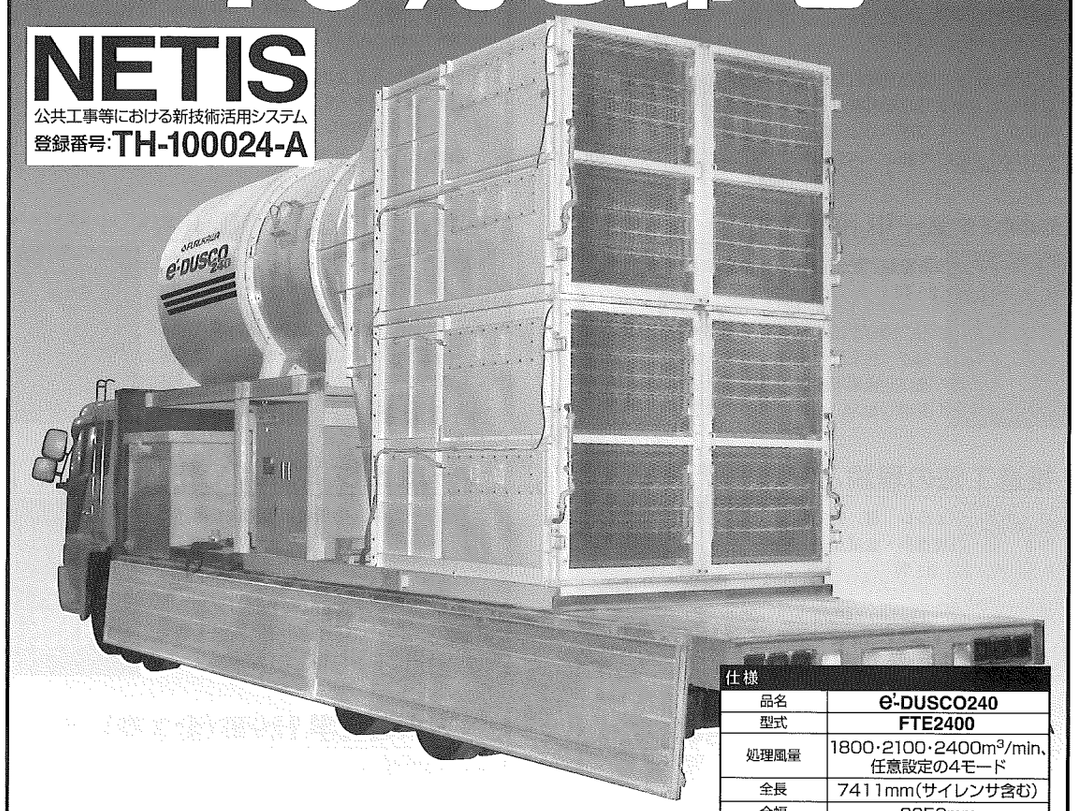
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

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



仕様

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

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

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

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

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

大風量と省エネを同時に実現
処理風量は20%増えたのにいっそう省エネ。
安定した処理風量で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

株式会社 土木工学社

山岳トンネル設計の考え方



今田　徹　著
3,200円＋税　B5判

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

わかりやすいトンネルの発破技術



山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判

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

多様化するシールド掘進技術



シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判

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

推進工法の理論と実際



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

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

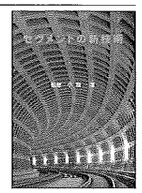
わかりやすい土木地質学



大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判

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

セグメントの新技術



小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判

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

続 きみの庭にも温泉が出る



石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判

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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕



石井康夫　著
6,000円＋税　A5判

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

地質工学概論



菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判

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

シールドトンネルの新技術



シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判

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

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）



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

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

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

わかりやすいトンネルの力学



福島啓一　著
5,825円＋税　B5判

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

ブロック理論と岩盤工学への応用



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

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

山岳トンネルの新技術



ジェオフロンテ研究会　編
14,573円＋税　B5判

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

ジオテキスタイル設計マニュアル



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

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

岩盤地下空洞の設計と施工



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

岩盤内に地下空洞の設計を行うための地盤工学上の基本的事項について詳述した．

建設工事の地質診断と処方



石井康夫・矢嶋壯吉　共著
4,300円＋税　A5判

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

トンネル工事の衛生と環境保全



臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
3,200円＋税　A5判

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

岩盤の計測と解析



鈴木　光　著
4,200円＋税　A5判

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

わかりやすいトンネル技術入門〈都市トンネル編〉



橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
2,800円＋税　A5判

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

海洋資源開発



稲田善紀　著
3,400円＋税　A5判

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

トンネルと地下



1,500円＋税　B5判　月刊(毎月1日発売)

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

書籍のお申し込み

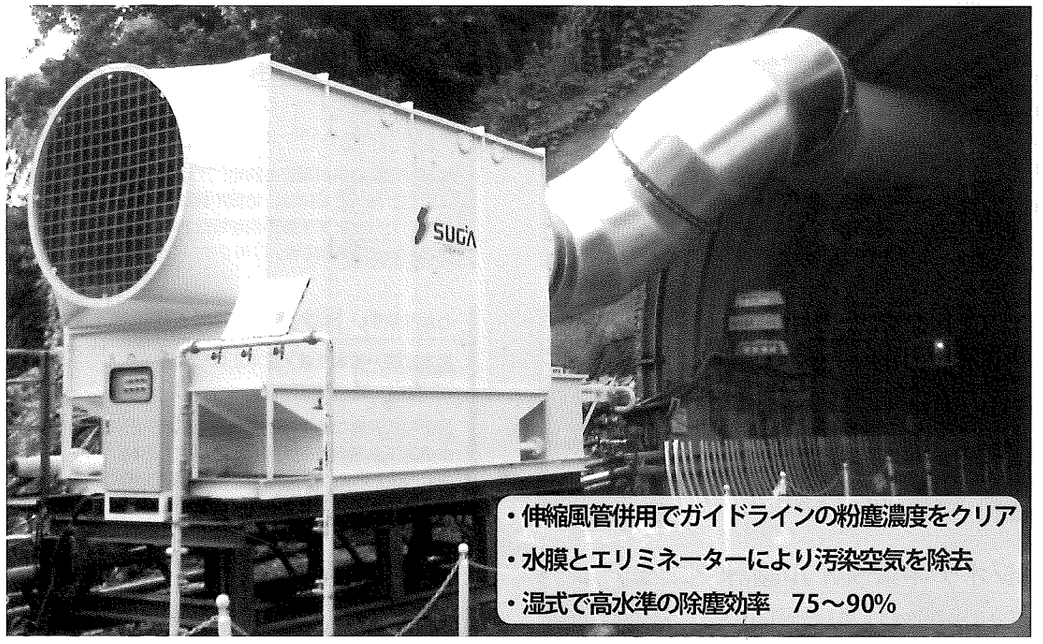
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

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

新指針対応の排気式換気システムに新戦力現る！

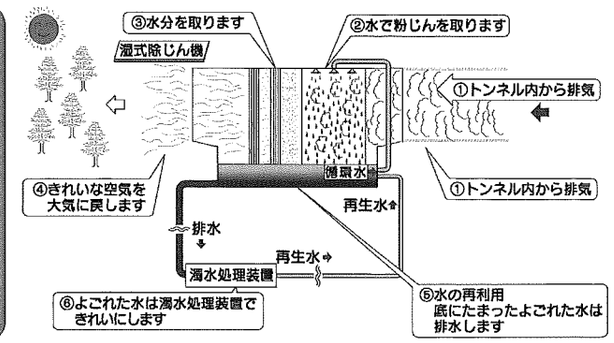
湿式除塵機 シャワーエリミナー

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



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

除じん機による浄化フロー



機　種

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

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

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

なんといっても低動力で大風量

電力もCO_2も抑えるために・・・ エコロジー＆テクノロジー

標準的なファン

定格：2000m³/min・4.9kPa
動力：110kW×2　400V



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

省エネ型へ

32%の節電&削減！(150kW)

〔風管φ1500 使用時　中距離(0 ～ 1000m)〕

EZ－2000Q

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

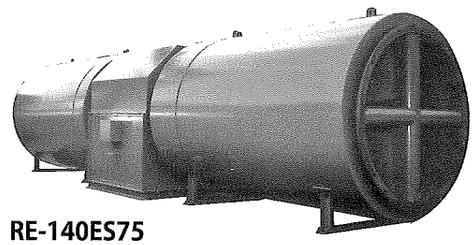


66%の節電&削減！(75kW)

〔風管φ1500 使用時　短距離(0 ～ 500m)〕

エアロMAX★uno

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



RE-140ES75

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