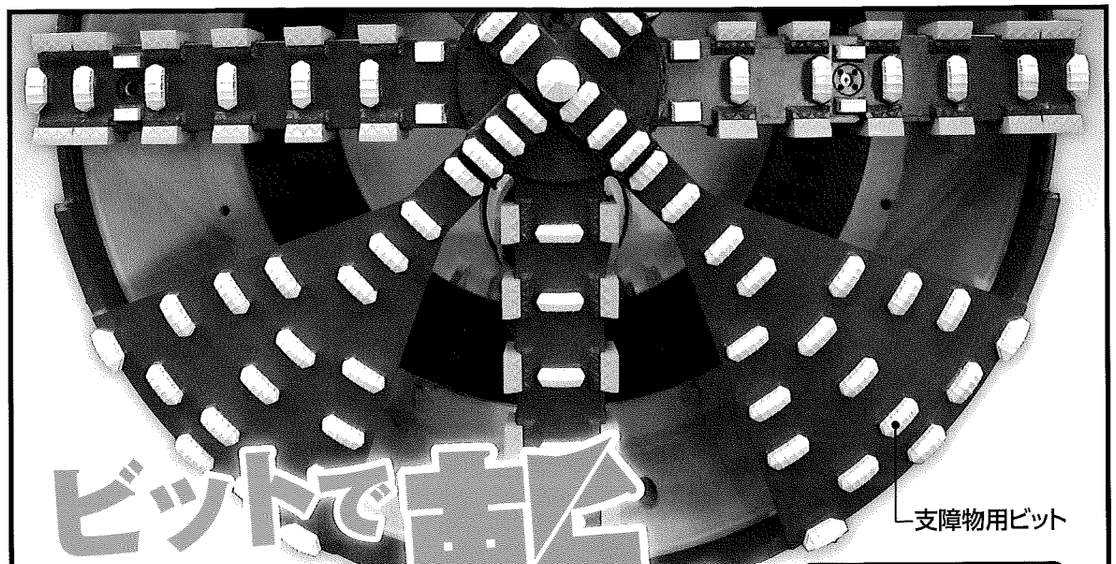
トンネルと地下　平成25年6月1日発行第44巻第6号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



ビットで杭を斬る!

支障物用ビット

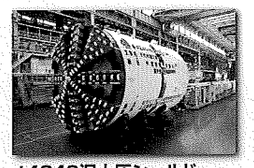
三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けて円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

特　長

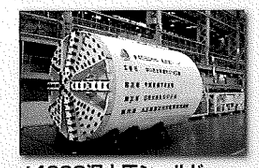
- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 切削片はほとんどがチップ状であり、コンベア搬出が容易。
- 切削時の騒音、振動がほとんどなく、昼夜施工が可能。
- 周辺地盤の沈下などはほとんどなく、近接物への影響が小さい。

施工実績

φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面



φ4680泥土圧シールド
H型鋼(250H)×2本
鋼矢板(Ⅲ型)×2面

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

三菱重工メカトロシステムズ(株)の支障物切削技術

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-6
4910066190637
01500

成25年6月1日発行(毎月1回1日発行)　第44巻第6号　通巻514号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 6

vol. 44
no. 6
2013

Tunnels and Underground

線路直下40cmを函体けん引(SFT)工法で施工
最小土かぶり3m・最小離隔2mで双設トンネルを掘る
地下鉄直下の崩壊性地盤におけるS字急曲線シールド
アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(1)
事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性

日本トンネル技術協会誌

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

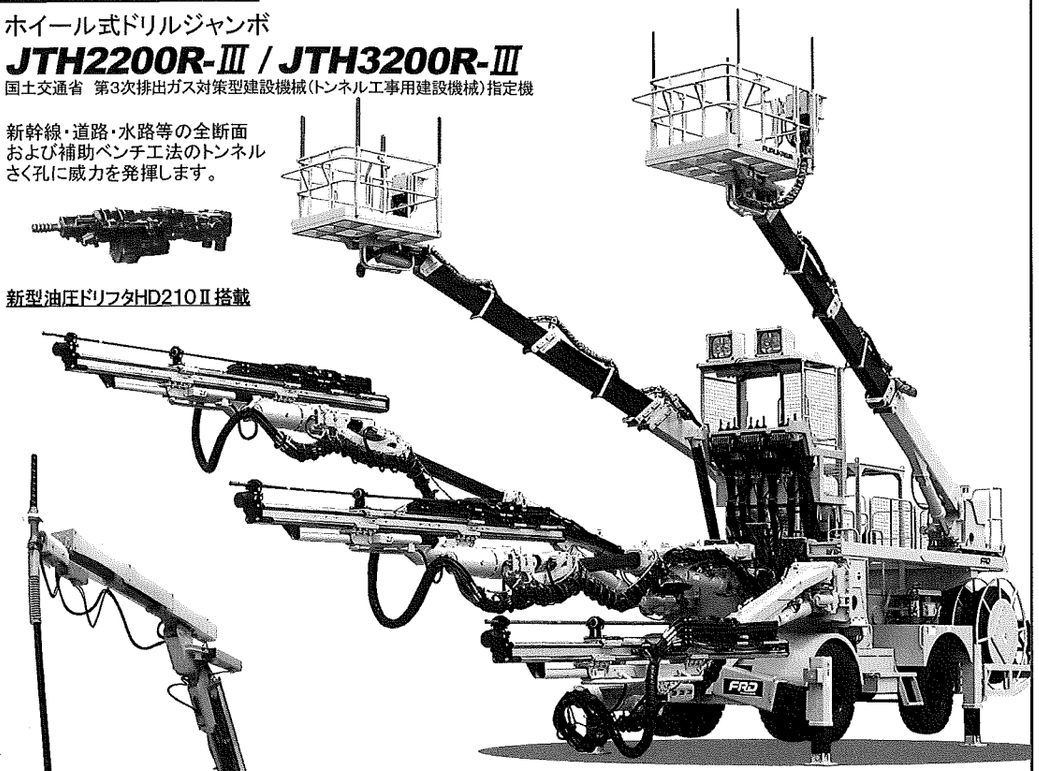
ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R-Ⅲ / JTH3200R-Ⅲ

国土交通省　第3次排出ガス対策型建設機械(トンネル工事用建設機械)指定機

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

新型油圧ドリフタHD210Ⅱ搭載



◆主な仕様	JTH2200R-Ⅲ 2ブーム、2ケージ	JTH3200R-Ⅲ 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5 ton	44 ton
全長 x 全幅 x 全高	14.2m x 2.7m x 4m	14.8m x 3.1m x 4.2m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	12.8m x 8.5m	13.2m x 8.8m

自走式コンクリート吹付機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ

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

質　量	24 ton
全長 x 全幅 x 全高	15.6m x 3m x 4m
水平さく孔範囲(幅 x 高さ)	13.3m x 10m

古河機械金属グループ

FRD FURUKAWA 古河ロックドリル株式会社

www.furukawarockdrill.co.jp

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

札　幌　☎011-786-2222　東　北　☎022-384-8991　関　東　☎027-326-9611　名古屋　☎0568-77-7700

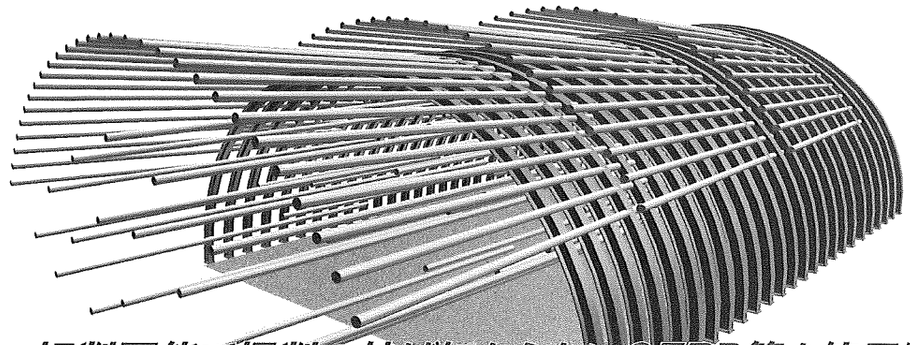
関　西　☎06-6475-8221　広　島　☎082-832-3542　九　州　☎092-948-2010

全方位 GFRP 管長尺補強システム

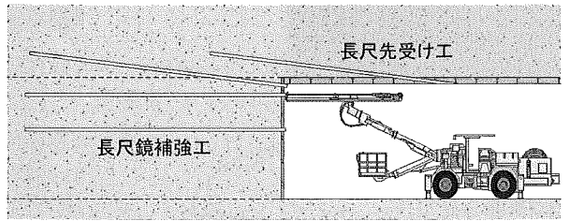
特許登録 第 2955279 号
NETIS登録(No. CB-030065)
施工実績 300 件以上

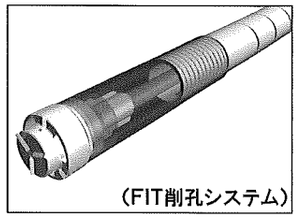
FIT 工法

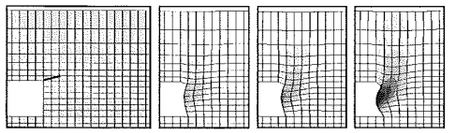
FRP INJECTION TUBE

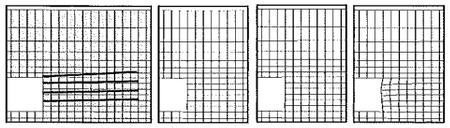


切削可能で掘削の妨げにならないGFRP管を使用し、切羽前方地山を確実にホールドできます。



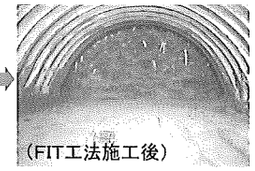

(FIT削孔システム)

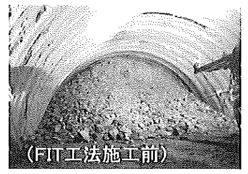

フォアポーリング

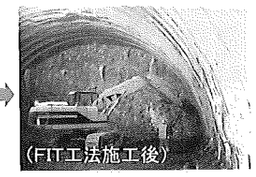

FIT工法

(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/

パターンボルトのGRP化

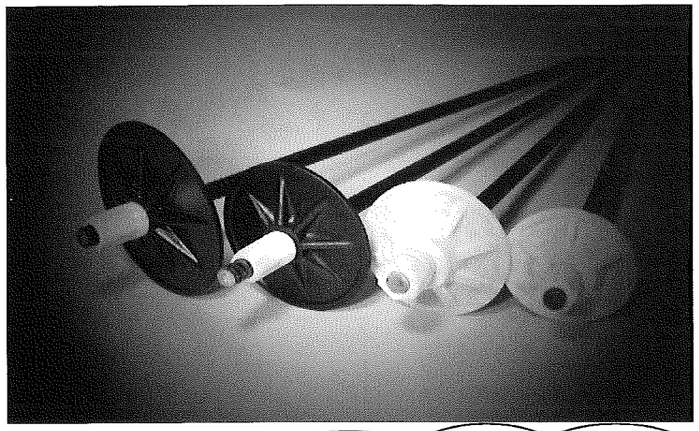
POWERTHREAD

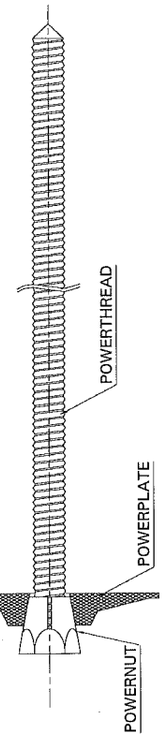
FiReP® Fiber Reinforced Polymer

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

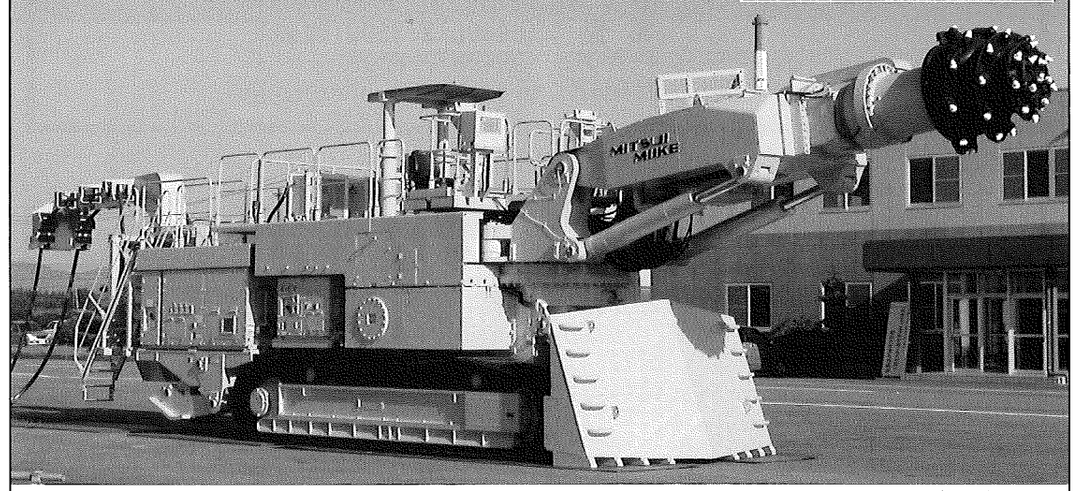
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237

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

全断面対応トンネル高速施工掘進機

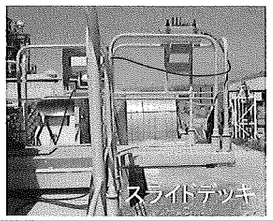
ロードヘッダ SLB-350S



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。
- 切削高さは最大 8.8m になり、大断面トンネルにおける全断面掘削、及び上半掘削が可能です。
  又、中折れブームを使用することで、ベンチ長を最大 5m まで確保できます。
- 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。
- 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、下部掘削等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。



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

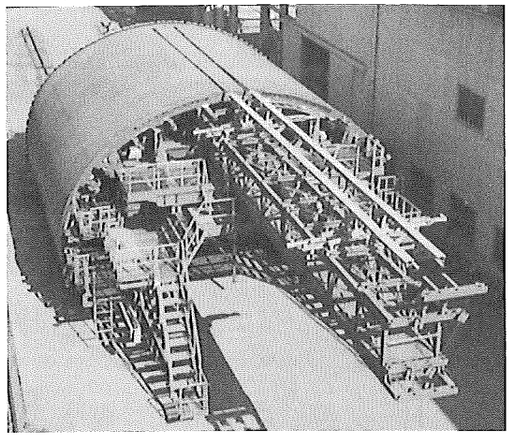
本店/〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械営業部 TEL.03-3270-2005 FAX.03-3245-0203
http://www.mitsuimiike.co.jp E-mail：sanki@mitsuimiike.co.jp

各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 顕田（かいた）工場

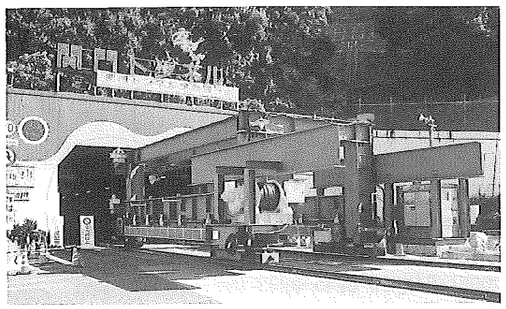
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：towakiden@yahoo.co.jp

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

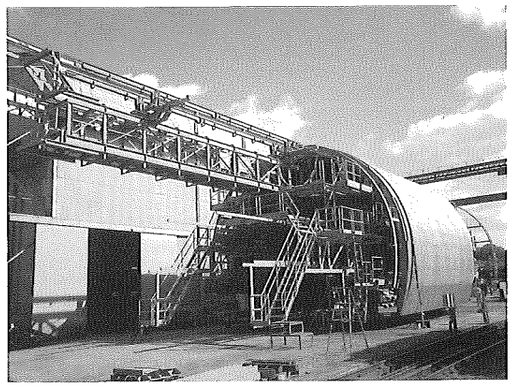


◎強靭なガイドセルに支えられたトンネルクラウン部の締め固めバイブレーターは，前進後進同一の力で抜き差し出来ます．
◎円周方向にスライドするガイドセルは，クラウン部の任意の位置にセットする事が出来ます．
◎ガイドセルの上昇・下降により，任意の高さを締め固める事が出来ます．

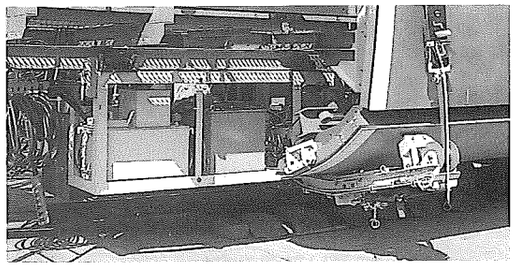
● トンネル床版撤去架台
勾配対応四駆型(関門トンネル)



● 新幹線用ステンレスフォーム



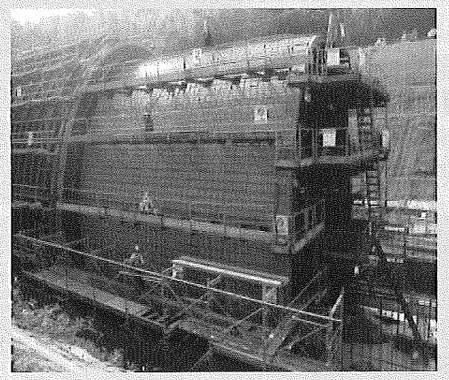
● 自動ケレン装置

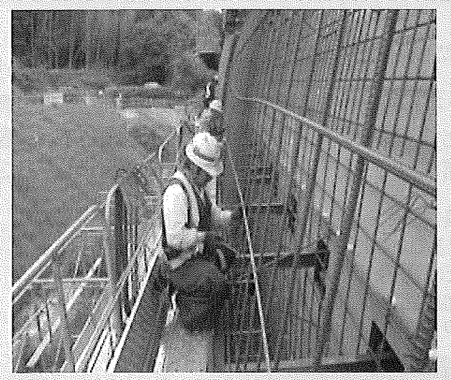


- ベルコン通過型スライドフォーム(特許)
- ロータリー式自動配管切替装置
- 油圧式伸縮バイブレーター装置
- ラップ側押上防止センサー及び警鳴装置
- クラック防止用ラップウレタンゴム
- コンクリート圧力センサー
- コンクリート充填センサー
- 2段式伸縮型エア抜き
- 本坑通過型非常駐車帯セントル
- 横移動式桟橋

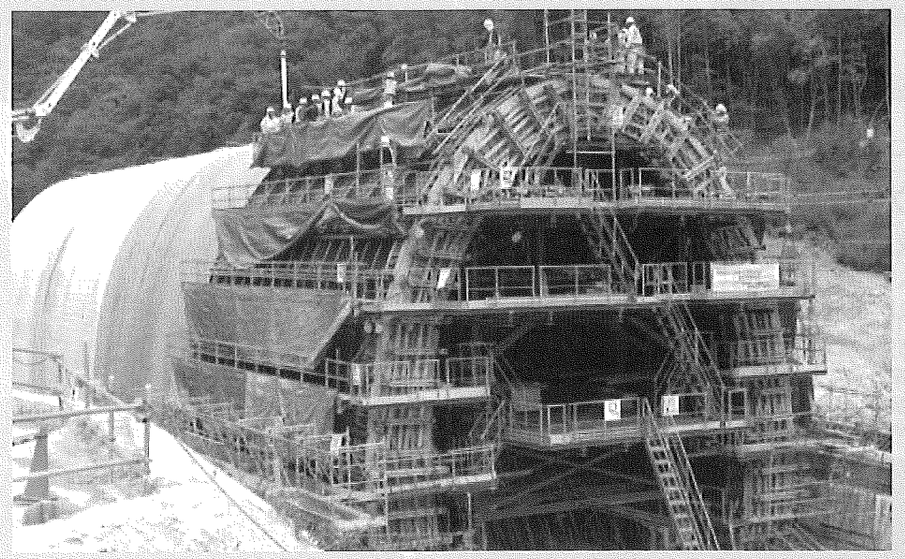
常に顧客のニーズに応えるため，安全性と施工効率を追求し，高品質な製品を納めさせて頂きます．

（明かり巻き）
アーチカルバート用セントルの新工法
＜画期的な構造により大幅にコストダウン＞





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



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

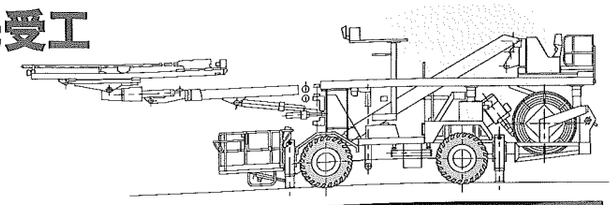
M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

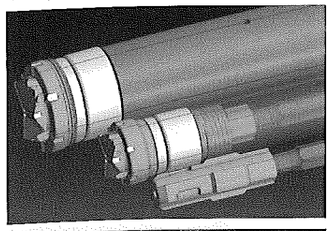
■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指定工場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重(森本工業)　TEL:0776-51-2410

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

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

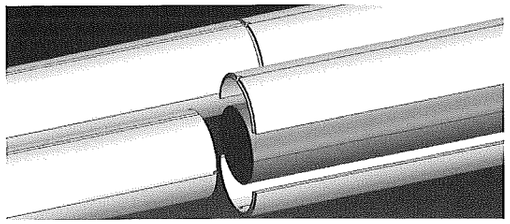




AGF-Me工法

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

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

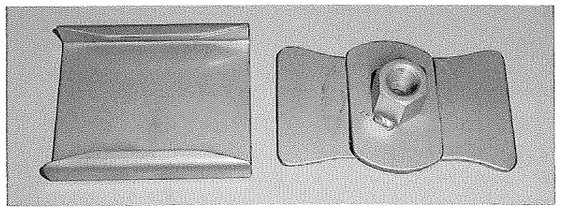


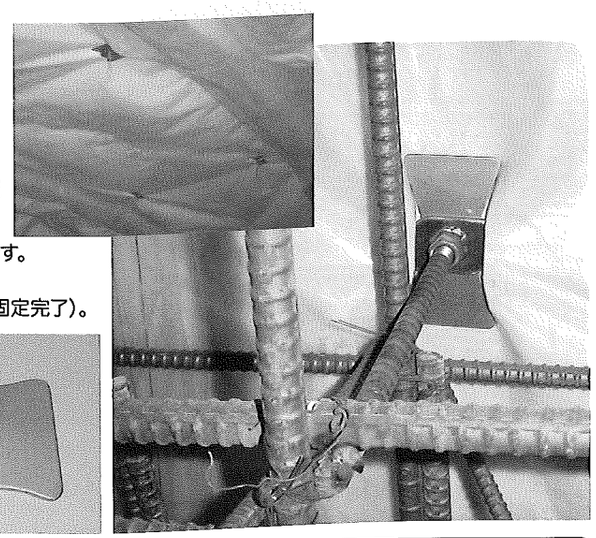
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





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

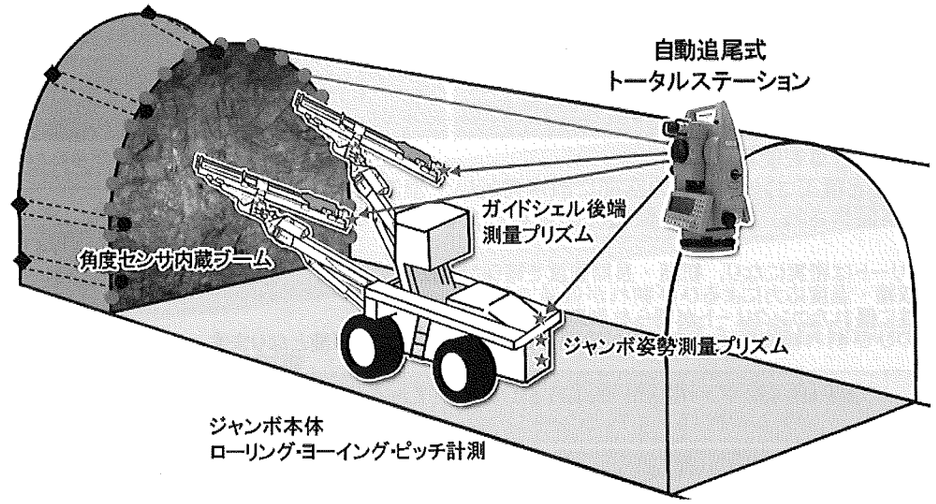
株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012** Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

NETIS登録番号:KK-100049-A

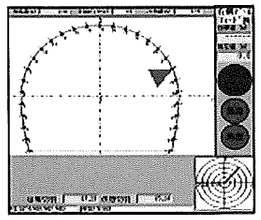
自動追尾式余掘り低減システム

国土交通省 公共工事等における新技術活用システム『NETIS』に登録。

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



■ディスプレイ表示



さく孔位置・さし角表示

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

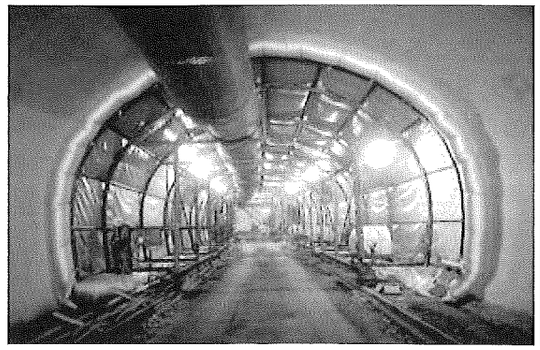
多数の採用実績および余掘り低減の実績を有する本システムのご用命は

MAC マック 株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8-16-3
TEL:047-371-3191 FAX:047-371-3190

古河機械金属グループ
FRD FURUKAWA 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

トンネル覆工コンクリートの品質革命

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



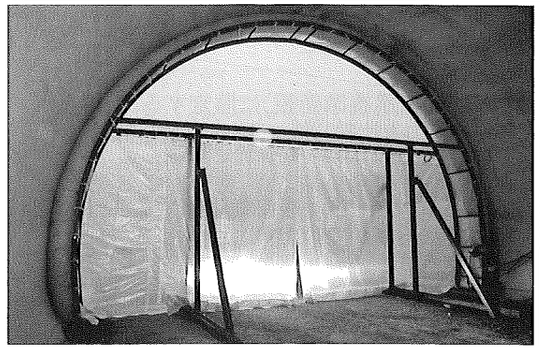
散水式養生台車を使用します.
養生シートと覆工コンクリートの空間に散水を行い，湿潤養生を行います.
気密性が保持され，保湿性・保温性が得られます.

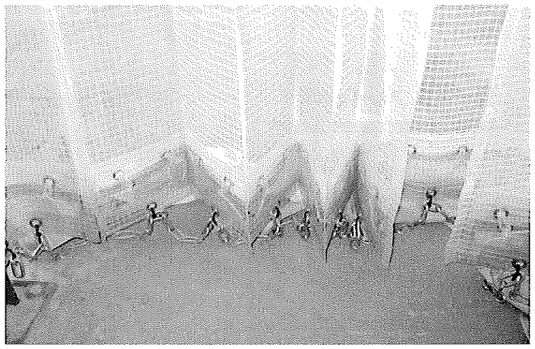
【効果】
・コンクリートは密実になり，初期・長期強度を確保できます.
・乾燥収縮・温度応力によるひび割れが低減できます.
・耐久性に優れたコンクリートが得られ剥離剥落を防止できます.
・従来のひび割れ補修に比べて工期が短縮でき，コストダウンが可能となります.

実績および採用決定
（平成 24 年 12 月現在）

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

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





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

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

実績および採用決定
（平成 24 年 12 月現在）

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

株式会社　マシノ　トンネルグループ

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

This May Debut

TAG Navi－V（換気自動制御）

Automatic Ventilation Control System

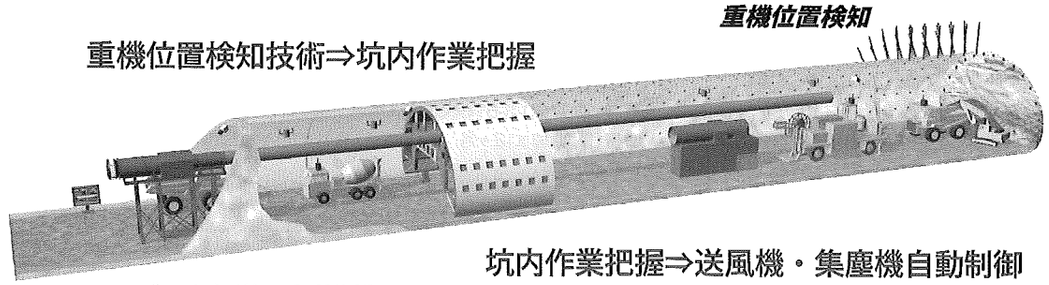
CYBER NATM

TAG Navi - V（換気自動制御）は坑内作業（削孔作業・ずり出し作業・吹付作業等）を切羽付近で自動検知し、作業データを坑外に設置しているコントラファンに無線伝送し、自動的にインバーター制御を行い、電気量とＣＯ2排出削減を目標とする新しい省エネルギー換気システムです

地球の為に出来ること

重機位置検知

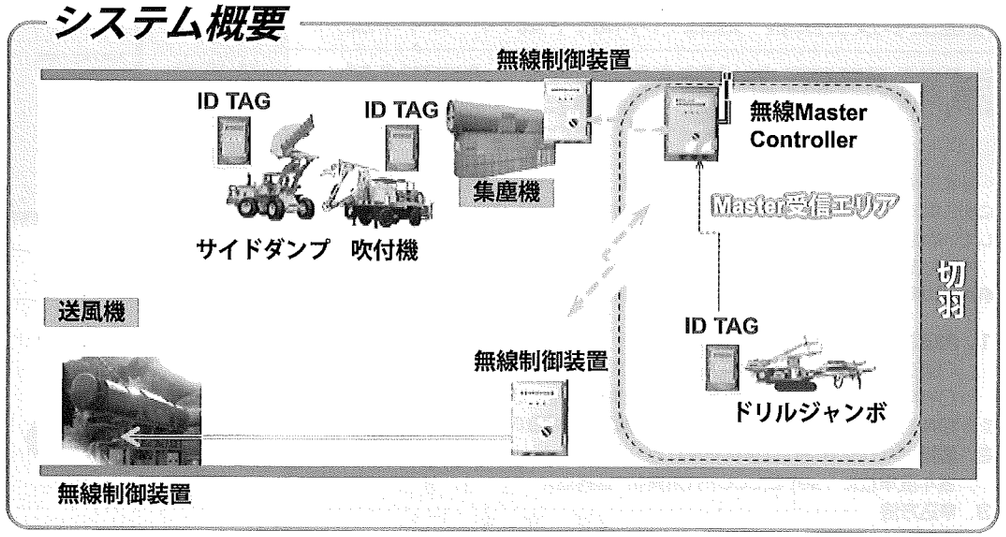
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



坑内作業把握⇒送風機・集塵機自動制御

データ伝送・自動制御

システム概要



株式会社流機エンジニアリング

enzan koubou

株式会社　演算工房　*ENZANKOUBOU CO.,LTD.*
■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地３
TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200

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

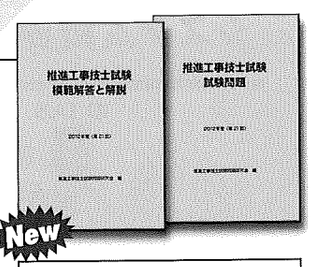
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

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11年間(平成14～24年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



平成24年度版発売中!!

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

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

1．内容と特長
- ○過去11年間の試験「学科」と「実地」問題を一年単位に収録
- ○各年度の試験問題と模範解答・解説集は別冊になっており実力テストに最適
- ○解説には設問に採用された図書(推進工法体系)の出典箇所を明記

2．価格

各年度単位に1set 2,000円(消費税・送料込)

3．申込方法

本図書のお申込は前金でお願いしています。

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

これらのことをインターネットでご案内しています。　推進工事技士試験　検索

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

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　本体価格 2,000円　送料 290円

いわゆるバブルがはじけたここ数年，コスト縮減はすべてに優先する至上命題となっており，シールド工事もその例外ではない．シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが，シールド工事費の縮減のためにはセグメントの製造コストの縮減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきている．

このような状況を受けてここ10年ほどの間に，急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された．

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く，名称もバラエティに富み，その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある．

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去10年間に開発され，実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し，また，土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にして34件のセグメントを抽出し，「セグメントの新技術」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した．セグメントの名称，特徴，開発目的，適用範囲などは同じフォーマットで掲載され，また，最終回では，そこで紹介されたセグメントを整理分類し，新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した．

本書はこの連載講座をもとに新たに「セグメントの新技術」編纂委員会を作り，個々のセグメントに加筆，修正を加え，より充実した内容にまとめたものである．

〈セグメントの新技術〉

1．薄型化・高強度セグメント
2．サンドイッチ型合成セグメント
3．矩形トンネル用合成セグメント
4．NM セグメント
5．二次覆工省略型ダクタイルセグメント
6．リングシールド工法用セグメント
7．コンクリート中詰め鋼製セグメント
8．DNA シールド
9．ガイドロックセグメント
10．ウイングセグメント
11．ハニカムセグメント
12．CONEX-SYSTEM
13．スパイラルセグメント
14．コッター・クイックジョイントセグメント
15．ワンパスセグメント
16．AS セグメント
17．マルチブレード式継手セグメント
18．シンプロセグメント
19．WB セグメント
20．リングロックセグメント
21．KL セグメント
22．コーンコネクターセグメント
23．FRP-Key 継手
24．ほぞ付きセグメント
25．HOT セグメント
26．インサート継手(その1：アーチ形)
27．インサート継手(その2：NF 型)
28．CPI セグメント
29．PPC セグメント
30．FBR セグメント
31．NRT セグメント
32．タイドアーチセグメント
33．遠心力締固め RC セグメント
34．高流動コンクリートセグメント

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

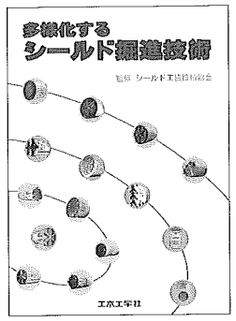
部課名　　申込者名　　㊞

好評発売中

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B５判　141頁　　本体価格2,500円



日本のシールド掘進技術は，国際プロジェクトに多くの日本企業が参画していることが示すように，国内はもとより海外でも高い評価を受けている．とりわけ，世界のスタンダード工法の感がある各種の泥土圧式や異形断面の掘進技術は，まさに日本が世界に発信している技術と言える．これらの掘進技術のほかにも，最近の技術開発の成果により実用化に至った掘進技術は数多く，毎年，新しい技術が更新を繰り返している．

このような背景を踏まえて，掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し，最近に開発，実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約１年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した．その結果，読者の方々より，掲載対象とした以外の技術との関係，従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた．

このため，読者の声に応えるべく，連載講座には掲載しなかった工法，技術などを整理，体系化するとともに，各種工法の境界，システム・考え方の違い，適用での留意点が，よりわかりやすいように手を加え再度，同名の図書「多様化するシールド掘進技術」をシールド工法技術協会が監修を行い，発刊することとなった．

〔掲載工法〕

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先
㈱土木工学社　〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888　　FAX：03-3267-2807

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号

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

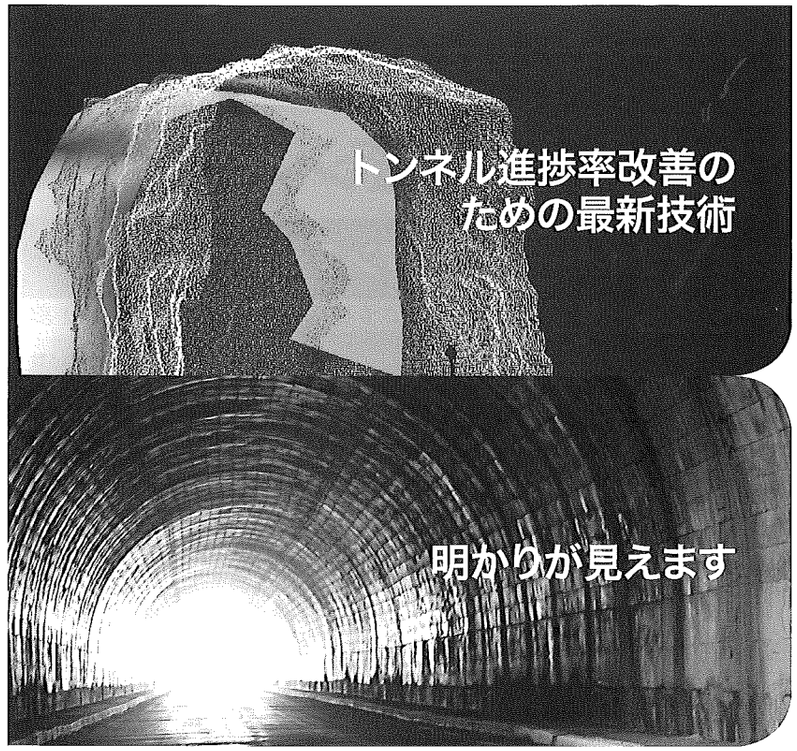
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

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



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

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

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

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

ORICA MINING SERVICES

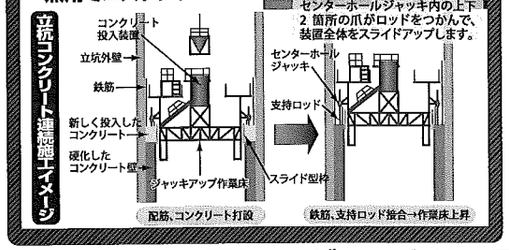
スーパージャッキシステム

トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

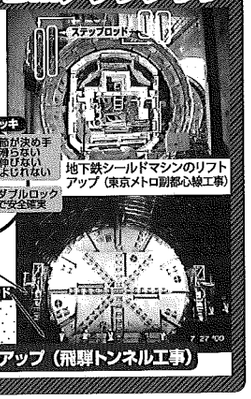
- コンクリート連続打設で工期短縮
- 型枠・足場組ばらし不要
- 掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン

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



シールドマシン・TBMアップダウン

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



1,950トンのTBMリフトアップ（飛騨トンネル工事）

営業品目

- ジャッキリース・オペレータ
- 架台・型枠足場　設計・製作・据付工事

JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ

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

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル工事用指定

クローラーだから小旋回
斜路、軟弱路盤等悪路に強い!!
後部運転席付。小断面でも前後進が可能!!

【仕様】	ゴムクローラ式ミキサー車 TGM-MR45T 上部ミキサー:カヤバ製（混合容量4.5m³）		
全長	7,500mm	タンブラ中心間距離	3,870mm
全幅	2,690mm	クローラ全長	9,800mm
全高	3,620mm	クローラ幅	700mm
最低地上高	530mm		（100ピッチ×98リンク）
空車質量	11,000kg	セメント積載時質量	22,000kg
形　式	三菱6D-TLE2B	定格出力	165kw/2,700min
排気量	7,545cc	最大トルク	700N・m/1,300min
速度1段	最大 7.6km/h		
速度2段	最大 20.0km/h		
空車時接地圧	20kpa	搭載時接地圧	40kpa

【TGM-MR45T Ⅱ 仕様】
- ドラム回転電動式（オプション）
- 生コン荷下時使用後部アウトリガー
- ドラム回転&アイドルアップ機構
- オフロード法少数特例承認機（承認番号） NS-641

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

〒569-0836
大阪府高槻市唐崎西2-26-1

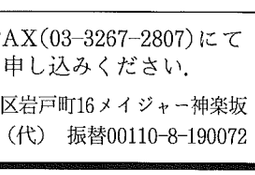
■北海道営業所
tel：0133-72-3715
fax：0133-72-3716

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

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

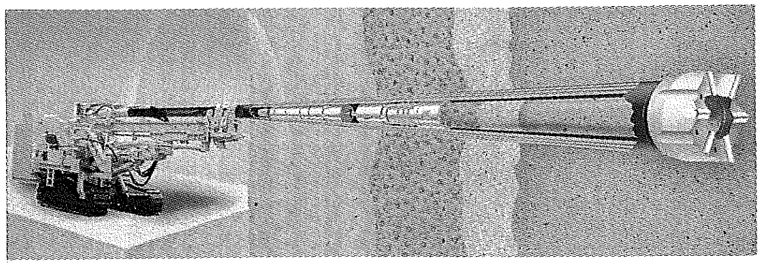
■大阪支店
tel：072-677-2101
fax：072-677-2109

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



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。

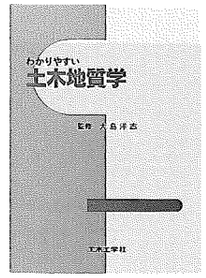
②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

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

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

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

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．

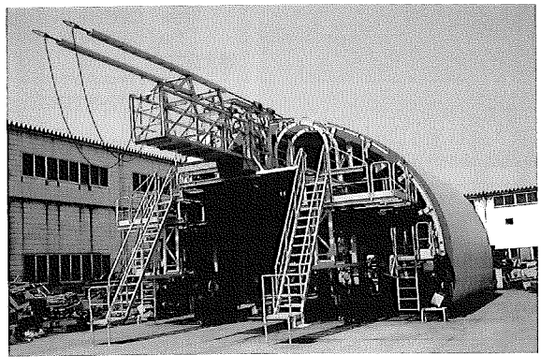
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888（代）　振替00110-8-190072

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

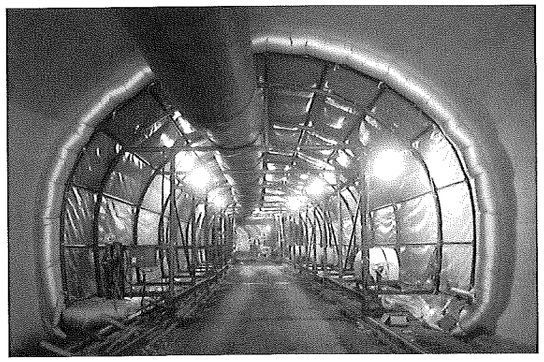


期待される効果・特徴

- 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.CG-080012-A （製造：株式会社マシノ）



期待される効果・特徴

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

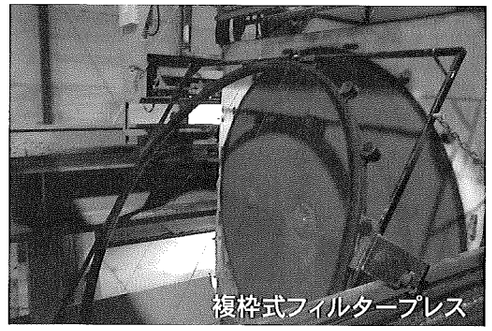
北陸鋼産株式会社
(旧社名　株式会社 佐賀)
URL http://www.hokuriku-kosan.co.jp
射水工場：〒934-0056 富山県射水市寺塚原 720 番 1　TEL0766(82)1500　FAX0766(82)1501
滑川工場：TEL076(476)0333　FAX076(475)9121
東京支店：TEL03(3851)1016　FAX03(6908)6789
東北営業所・工場：TEL0223(32)2420　FAX0223(32)2423
大阪支店：TEL06(4963)3520　FAX06(4963)3521

濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい TWS 型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します

100.0㎥/Hr 濁水処理設備

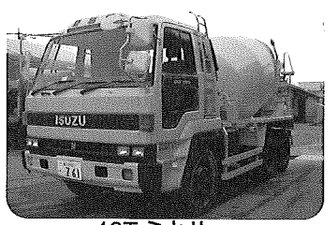

複枠式フィルタープレス

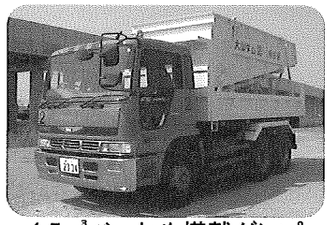
【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫

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


10T ミキサー


4.5㎥ベッセル搭載ダンプ

10T 低床ダンプ

10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス
〒930-0821　富山市飯野 12-1　TEL (076)452-1616(代)　FAX(076)452-1617

トンネルと地下　6月号目次　Vol.44, No.6, 2013 Jun.

■巻　頭　言

復旧から復興へ

井手　和雄……5

■研　　究

事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性

八木　　弘・浅野　　剛・土門　　剛・西村　和夫……49

■報　　告

アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(1)

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング……41

■施　　工

線路直下40cmを函体けん引(SFT)工法で施工

―予讃線　石手架道橋新設―

角野　拓真・武田　純一……7

最小土かぶり3m・最小離隔2mで双設トンネルを掘る

―京都第二外環状道路　北春日トンネル―

滋野　勝稔・今中　晶紹・佐藤　将路……17

温泉とは？　温泉の有効利用は？　この1冊であなたの疑問を解決します!!

続　きみの庭にも温泉が出る

その後の温泉開発と建設の考え方

石井　康夫・俣野　恭寛　共著

新書判217頁　本体価格1,200円(税込1,260円)

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

お申し込みは当社へFAX，または，お近くの書店にてお申し込みください

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

地下鉄直下の崩壊性地盤におけるS字急曲線シールド

―大阪市天満堀川抽水所　雨水滞水池築造工事―

臼田　利之・熊本　尚紀・伊藤　寛基……25

■連 載 講 座

トンネル技術者のための地相入門(14)

―地相をよく観て路線選定を行う(とくに水問題を対象に)―

「地相入門」連載講座小委員会……59

■現場だより

「豊かな自然と食材・伊達なまち」愛媛南予・宇和島市より

原　　康彦……15

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

寺子屋　シールド物語入門

松村　信雄……33

■資　　料

土木情報

編　集　部……16

工法・技術・製品ニュース

編　集　部……71

トンネルジャーナル

編　集　部……32

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会……72

文献紹介

編　集　部……48

■会　　報

会　　報

日本トンネル技術協会……74

【表紙説明】　最小土かぶり3m・最小離隔2mで双設トンネルを掘る
―京都第二外環状道路　北春日トンネル―

本工事は，未固結地山を最小土かぶり3m・最小離隔2mのウォータータイト超近接双設トンネルをNATMにより施工した．トンネルの掘削を実施して行く中で，想定以上の変位が発生したが，発生機構の分析，対策工の効果などを検証することにより無事施工を完了した．写真は，起点側坑口全景である．

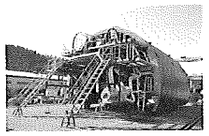
〔写真提供：国土交通省〕(本文17頁参照)

管理しながらコンクリートを育てる

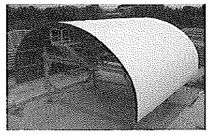
NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム

加温しながら初期強度を上げる
加温養生（型枠）



加温と湿潤を同時に行い品質向上
加温・湿潤養生

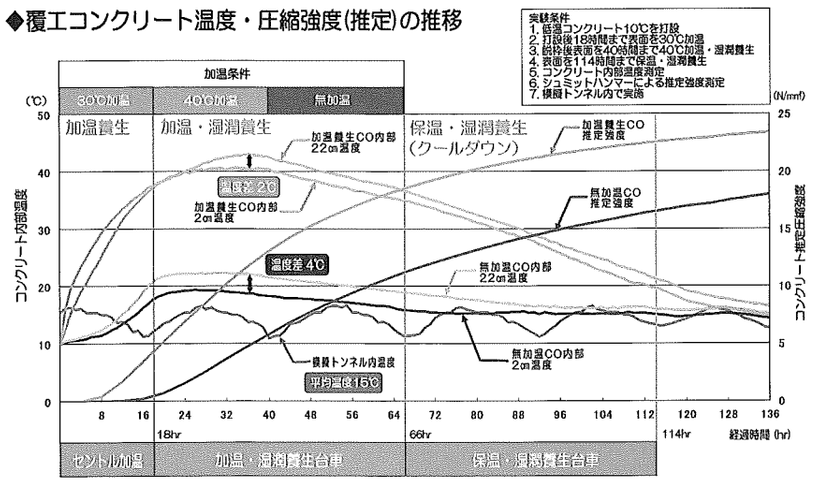


保温湿潤しながら急激な変化を防ぐ
保温・湿潤養生

コンクリートの強度を予測管理
養生管理システム

コンクリート打設完了から養生完了までのコンクリート内部温度及び推定強度を表示します
必要なコンクリート強度から使用者の判断で任意に加温設定が可能です

◆覆工コンクリート温度・圧縮強度(推定)の推移



岐阜工業株式会社

本社 岐阜県本巣市十四条 144 番地
TEL 058-323-2001 FAX 058-323-1176
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

東京支店 TEL 03-5836-0531
仙台営業所 TEL 022-259-2239
九州営業所 TEL 092-918-3880

【製作・販売協力】
テクノプロ株式会社
株式会社 東宏

総務委員会広報小委員会会誌WGの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター最高技術顧問

〔幹　　事〕

居相好信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

岩田美幸
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

大津敏郎
株式会社高速道路総合技術研究所道路研究部
トンネル専門主幹

荻野竹敏
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
改良建設企画課長

金山洋一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

小松敏彦
前田建設工業株式会社土木事業本部土木部
トンネルグループ長

志岐寛
清水建設株式会社土木技術本部地下空間統括部
部長

西岡和則
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
トンネルグループ長

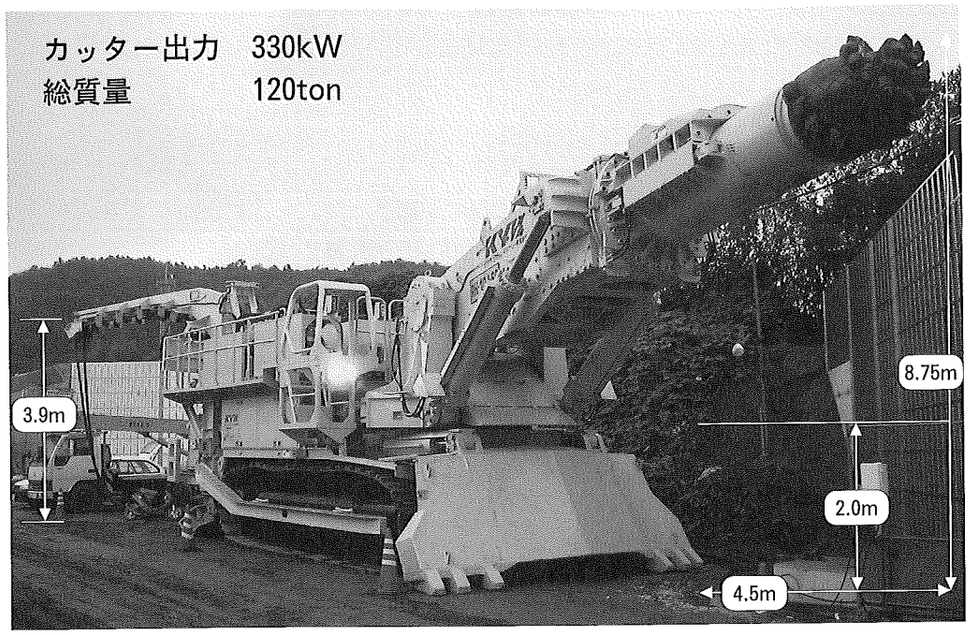
藤井義文
株式会社竹中土木執行役員

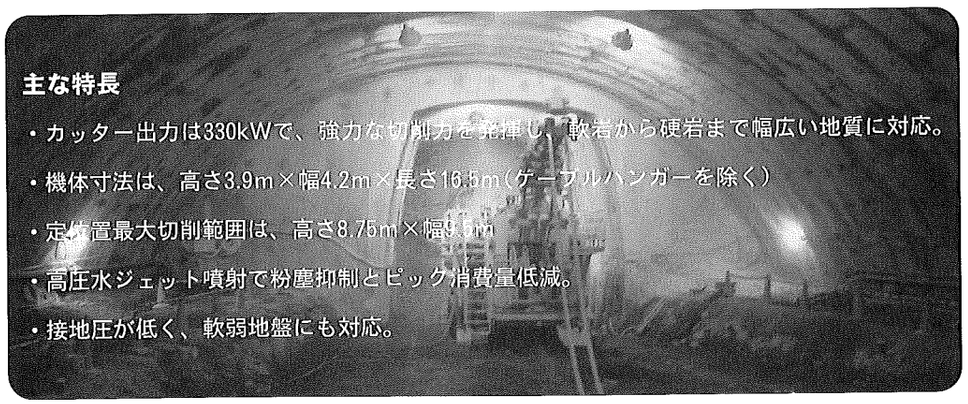
松原利之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

吉富幸雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





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最高技術顧問

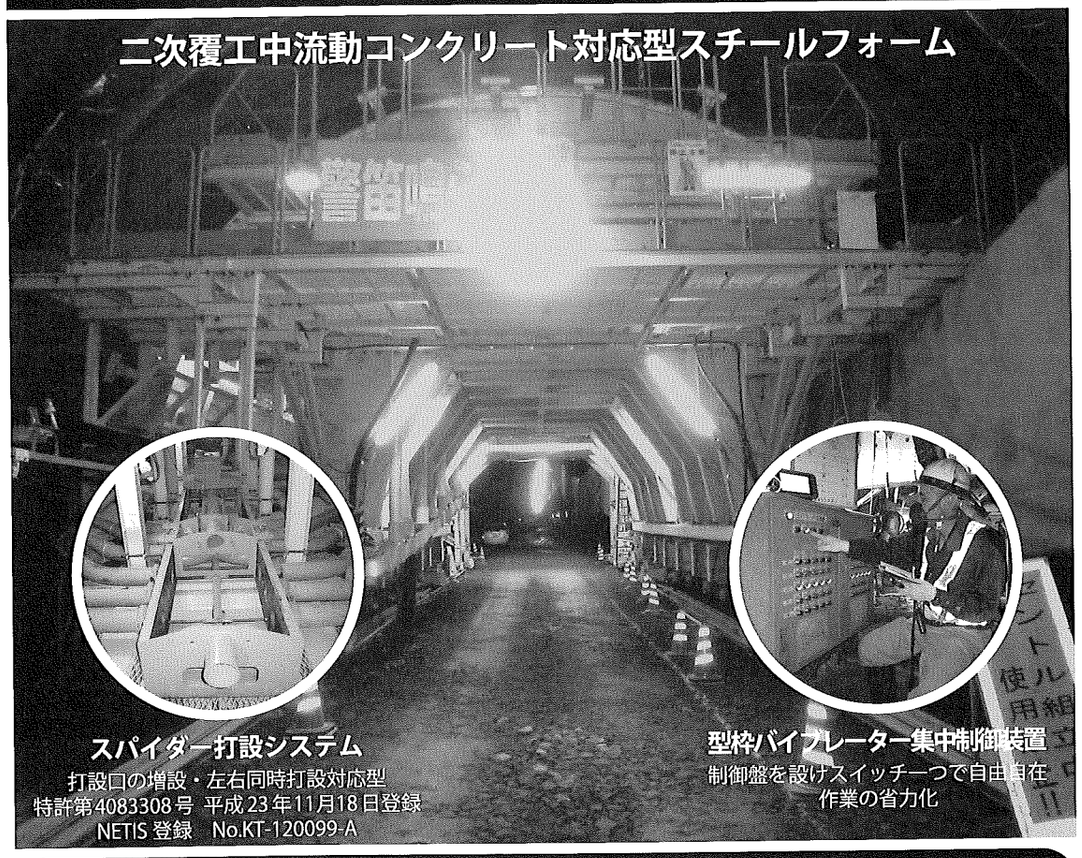
〔編集参与〕

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

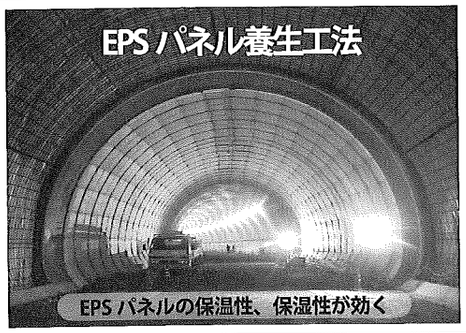
〔委員〕

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	24	0
NEXCO	6	1
地方自治体	12	2
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年1月31日　現在

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

一歩前進！　～限りない未来への挑戦～

大栄工機株式会社

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

トンネルと地下　VOL. 44　No. 6　掲載概要

掲載頁 7　線路直下40cmを函体けん引(SFT)工法で施工
—予讃線　石手架道橋新設—

四国旅客鉄道(株)　角野　拓真

四国最大の都市である愛媛県松山市では，交通環境の大幅な改善を目的に松山駅付近連続立体交差事業が実施されている．事業概要としては，JR松山駅を中心に延長約2.4km区間を高架化するとともに車両基地移転および行違い線新設を行うものである．行違い線新設区間の予讃線松山・市坪間197k160m付近において石手架道橋(１径間RCボックスカルバート)を非開削工法であるSFT工法(Simple and Face-less method of construction of Tunnel)により施工した．

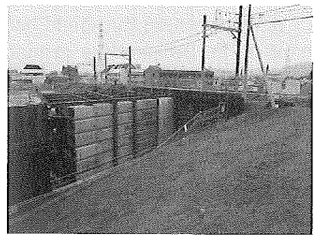
当該工事箇所は，小土かぶり(平均厚400㎜)であるため，上部箱形ルーフおよび函体けん引施工時における鉄道営業線への影響をいかに軽減するかが課題となった．

本稿では，小土かぶり条件での工事計画と施工結果および函体けん引時の地盤変位について報告する．

Jacking Culvert 40 cm Just Beneath Tracks Using SFT Method—New Construction of Ishite Underpass, Yosan Line—

By Takuma Kadono, Shikoku Railway Company

In Matsuyama City in Ehime Prefecture, which is largest city in Shikoku, the Matsuyama station area grade separation project is being carried out with the aim of greatly improving traffic environment. An overview of the project is: building a 2.4 km viaducts streching from JR Matsuyama Station, relocation of the rail yard, a new installation of passing loop tracks. At vicinity of 197k160m between Matsuyama station and Ichitsubo station on the Yosan Line, the Ishite Underpass (RC simple box culvert) was built under the tracks using the SFT Method (Simple and Face-less method of construction of Tunnel) which is one of the trenchless construction techniques.


写真は函体けん引完了状況

For small cover (average thickness of 400 mm), it was a challenge of how to reduce the effects on operating tracks during building the upper box-shaped roof and jacking culvert.

This report gives information on the construction plans and results and ground displacement during jacking with the conditions of small cover.

掲載頁 17　最小土かぶり３m・最小離隔２mで双設トンネルを掘る
—京都第二外環状道路　北春日トンネル—

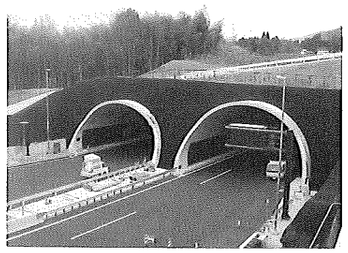
国土交通省　滋野　勝稔

京都第二外環状道路(通称：にそと，総延長：15.7km)は，一般国道478号京都縦貫自動車道の一部で名神高速道路とも連結し，京都都市圏の交通混雑を緩和すると同時に近畿地方の広域交通網強化の一端を担う道路である．このうち，北春日トンネルは施工条件である最小３mの小土かぶり・未固結地山をNATMにより施工した最小離隔２mのウォータータイト超近接双設トンネル(延長：約460m，掘削断面：標準部約100m²，拡幅部約200m²)である．トンネルの掘削を実施してゆくなかで，想定以上の変位が発生したが，発生機構の分析，対策工の効果などを検証することにより無事施工を完了した．本稿では変位を抑制するために実施した対策工について報告する．

Twin Tunnels Two Meters Apart with Three Meters Overburden —Kyoto 2nd Outer Ring Road Kita-kasuga Tunnel—

By Katsutoshi Shigeno, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

The Kyoto 2nd Outer Ring Road ("Nisoto", 15.7 km in length) is a part of national highway 478: Kyoto Jukan Expressway connecting with the Meishin Expressway. It plays a partial role in reinforcing the Kinki regional transportation network while simultaneously relieving traffic congestion in the Kyoto Metropolitan Area. The Kita-kasuga Tunnel lies on this road and is a watertight twin tunnel (length: approx. 460 m, excavation cross-sectional area: approx. 100 m² (standard section), approx. 200 m² (wide section)). these two tubes are extremely close with minimum separation of two meters that were constructed with the NATM in unconsolidated ground with minimum overburden of three meters. During tunnel excavation, there was more deformation than was predicted but through the verification of its analysis of generating mechanisms and effects of countermeasures, etc., construction was completed without problem. This report gives information on countermeasures implemented in order to control deformation.


写真は終点側坑口全景

掲載頁 25

地下鉄直下の崩壊性地盤におけるS字急曲線シールド
—大阪市天満堀川抽水所　雨水滞水池築造工事—

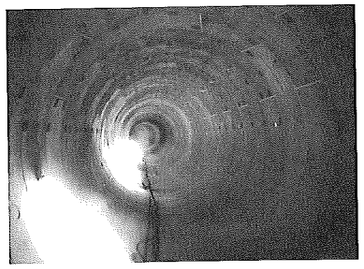
大阪市　臼田　利之

天満堀川抽水所雨水滞水池は大川の水質保全を目的とした雨水貯留管である．本工事は大阪市北区の発進立坑から，桜の通り抜けで有名な大阪造幣局南門付近の到達立坑に至る内径3,000㎜，延長1.2kmのトンネルを建設するものである．シールド掘進部は地下鉄など多くの重要構造物との交差施工があるとともに，道路線形により急曲線部を多く抱えていた．とくに地下鉄との近接区間では交差離隔が約7mでのS字の急曲線施工(R＝60m)となった．掘削地盤は崩壊性の高い砂礫と砂の互層であり，シールド掘進に伴う地下鉄構造物への影響を最小限とする必要があった．本稿では，本工事で実施した急曲線部などへの取組みについて報告する．

S-shaped Sharp Curve Tube in Collapsible Ground Just Beneath Subway—Storm Water Reservoir works at TemmaBori-Gawa(river) Pumping Station, City of Osaka—

By Toshiyuki Usuda, City of Osaka Public Works Bureau

The storm water reservoir of TemmaBori-gawa (river) pumping station is a storm water storage tube with the aim of preserving water quality in the O-kawa(River). These works are to construct a 1.2 km tube with an inner diameter of 3,000 mm from the starting shaft in Kita-ku, Osaka to the arrival shaft in the vicinity of the south gate of the Japan Mint which is famous for its Cherry blossom viewing. The shield section had many sharp curves reflecting above road alignment, along with intersections with many important structures including the subway tube. In particular, a place adjacent to the subway tube was 7 m apart where the shield had to turn S-shaped sharp curves in radius of 60 m. Because the ground condition in shield section was collapsible sand and gravel, it was necessary to minimize the effects of subway tube associated with the shield excavation. This report gives information on techniques for turning the sharp curves, etc. implemented in these works.



写真はトンネルの完成状況

掲載頁 41

アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(1)

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

トンネルを施工するさいに，設計図書や示方書に記載されている内容どおりに施工することが困難であったり，あるいはできない場合がしばしばある．これは，施工者の理解不足が原因であることもあるが，実際の現場で施工できることと理論や定説とのあいだの「乖離」が原因である場合もある．この乖離は，理論や定説が実際の施工上の制約を考慮していない場合に発生する課題である．

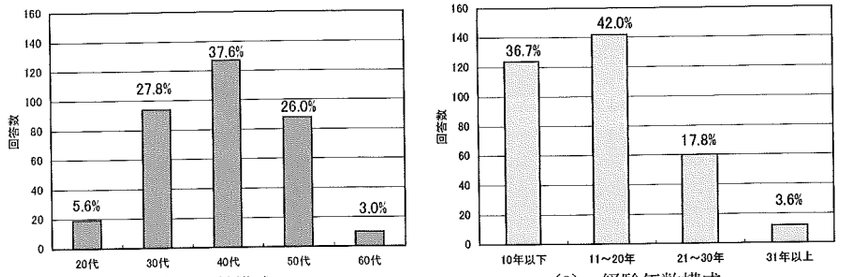
そこで，本WGでは，このような施工と設計の乖離について，施工上改善可能な課題と，施工上やむを得ないため設計で考慮すべき課題などを明らかにするために，現状を調査した．その結果を今月号と来月号の2回に分けて報告する．

Disconnect between Dogma and Reality of Tunnel Supports Shown by Questionary Results(1)

By JTA NATM Subcommittee Support Working Group

When conducting tunnelling works, some works are often difficult or even impossible to construct in accordance with design documents and specifications. This can be due to some constructors' lack of understanding but there are cases when this is due to 'disconnect' between theories or dogmas and realities on-site. This disconnect is problems that will occur when theory or dogma does not take actual construction constraints into account.

Therefore, in order to break the problems into ones with possible improvement in works and ones unavoidable in works which should be considered in design, our working group made a questionary investments of the current status. The results will be reported in two parts, the first in this issue and the latter in next issue.



(1)　年齢構成　　(2)　経験年数構成

図は回答者の年齢・経験年数の分布

掲載頁 49

事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性

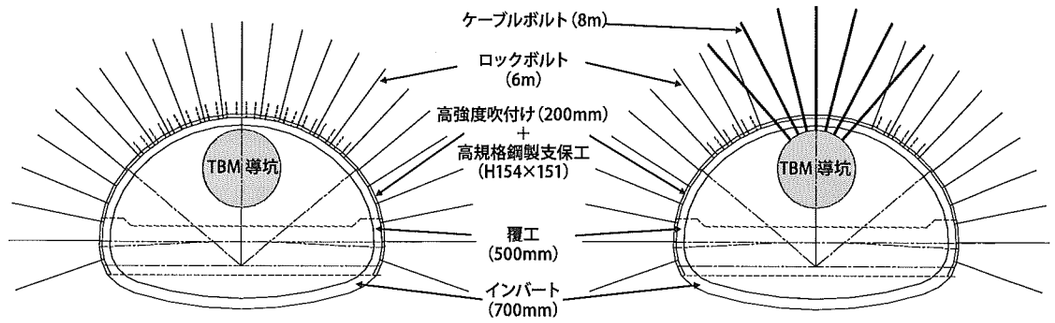
中日本高速道路(株)　八木　　弘

本稿は，平成24年4月14日に開通した新東名金谷トンネル(開通後の名称：粟ケ岳トンネル)の事前補強として行ったケーブルボルトの作用効果と適用性についてとりまとめたものである．ケーブルボルトは先進導坑内からの施工性に優れており，拡幅掘削に伴う地山の変位を抑制することが期待できる．さらに，ケーブルボルトはロックボルトに比べて軸力が分散しやすい特徴があり，とくに弾性係数の低い軟岩地山では，付着切れを起こしながらもベアリングプレートの装着によって，支保機能を期待できることが明らかになった．

Effect and Applicability of Cable Bolts As Pre-installed Reinforcement

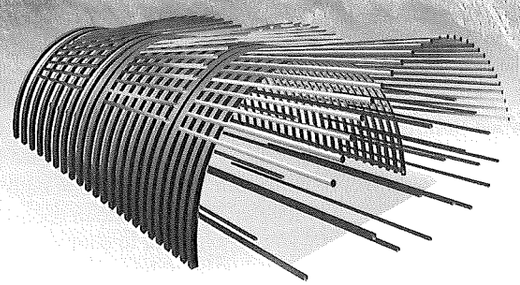
By Hiroshi Yagi, Central Nippon Expressway Company Limited

This paper summarized the effect and applicability of cable bolts as pre-reinforcement of ground stability in the Shin-Tomei Expressway Kanaya Tunnel (after opening, renamed "Awagatake Tunnel") which opened on 14th April, 2012. Cable bolts are superior in workability in pilot tunnels and can be expected to control ground deformation during enlargement of tunnel. Furthermore, it was shown that, cable bolts have the feature of destributing axial force along cable to support gound relative to rock bolts and that, in particular, in soft rock ground with low elastic modulus, they can be expected to serve as support with the installation of bearing plates despite losing cohesion.



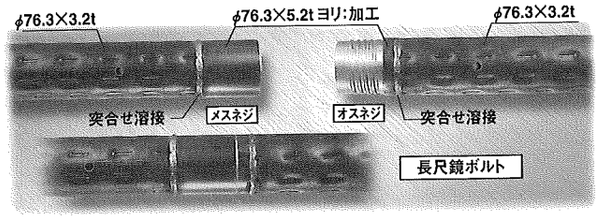
図は標準断面図と事前補強断面図との比較

ユニークな発想でVEを提案



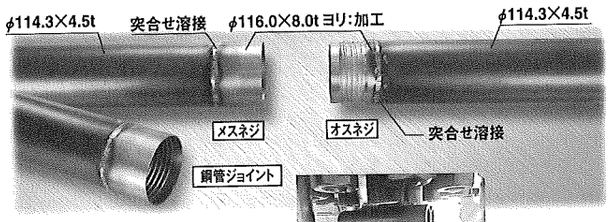
FIXチューブ(S型)（ストロング）

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

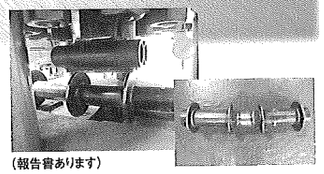


AGF-STD工法

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



曲げ耐力30%UP!!

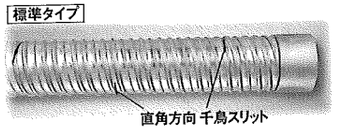


(報告書あります)

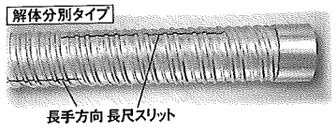
接続部の抗折力試験

撤去管の選択

標準タイプ



解体分別タイプ



STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

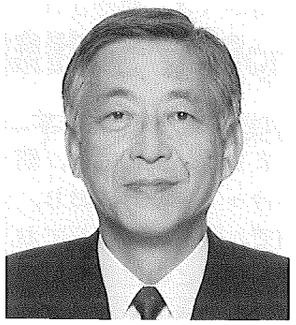
注入材・その他工法

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

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

巻頭言

（題字　佐藤信彦会長）



復旧から復興へ

清水建設(株)専務執行役員
井手和雄

東日本大震災から早くも２年が過ぎました．今年の夏までには陸前高田市で，「奇跡の一本松」が復興への「希望の松」として復活するそうです．各地で，慰霊碑建立の知らせが続いています．その一方で，２年を経過して，被災地以外では大震災の記憶が風化を始めていることも事実と思います．筆者は(一社)日本建設業連合会の復旧・復興対策特別委員会災害廃棄物部会の部会長を拝命しています．当部会では，東日本大震災で発生した災害廃棄物の処理にかかわる課題解決に資する活動や，処理業務の一般の方々への理解促進のための広報活動を行っています．この誌面をお借りして，国が目標として定めた平成26年３月完了にむけて現在鋭意進められている，災害廃棄物処理に関する話題をいくつか紹介させていただきます．

東日本大震災では，地震と津波の被害により，膨大な災害廃棄物や津波堆積物が発生しました．とくに，甚大な被害を受けた３県(岩手県，宮城県，福島県)の沿岸市町村においては，災害廃棄物が1,630万ｔ，津波堆積物は1,040万ｔ，合計2,670万ｔとされています．岩手県・宮城県では，日建連加盟の会員企業のうち11社が14の処理区を担当しており，全体の約５割の処理を担っています．環境省の発表によれば，処理の進捗率は，平成25年３月末日時点で，岩手県で約39%，宮城県で約56%，福島県で約21%となっています．

災害廃棄物処理業務は，前例のない発生量の膨大さと発生物の複雑さなどゆえに多くの課題を有しているため，幅広い技術，さまざまな経験，高い組織力が必要であり，まさしく建設業界がその総合力を発揮すべき業務です．現在，各処理区において，ダム，トンネル，土工事などのプロフェッショナル達が，これまで培ってきたマネジメント能力やノウハウを活かし，さまざまな課題に対処しながら業務を進めています．例えば，他の都道府県への広域処理・処分は極力少なくする必要があるなか，発生県内で確保できる最終処分場は限られているため，災害廃棄物の徹底したリサイクルが求められており，その対応策は各処理区共通の課題となっています．宮城県発注の処理区では，可燃物を焼却した際に発生する主灰や，不燃混合物から選別・破砕された不燃物残渣(ガラス，陶磁器など)などを，セメント固化により造粒化する技術が開発・採用されています．生成された造粒固化材は，復興に向けた地産地消の再生資材として，道路路盤材の

一部や復興街づくりにおける盛土のコア材などへのリサイクル活用が大きく期待されています．通常，焼却灰，不燃物残渣などは最終処分場への処分となりますが，この技術により，最終処分場での処分量を大幅に低減することが可能となりました．

そのほか，直面する個別の課題を地元の方々と協働して解決している事例もあります．漁港の多い処理区では多くの漁網が災害廃棄物として発生していますが，漁網には，網のほか，重金属である鉛が編み込まれたロープ，錘などが，絡み合って混在しており，慎重な処理の必要性が明らかになっています．複雑な漁網の選別で，漁業に従事しておられた地元被災者の方々を中心に作業を行っている処理区もあり，錘などの付着物の除去，鉛が編み込まれた網・ロープの選別，鉛の除去などが，慣れた手つきで手際よく進められています．その後，破砕・焼却処分，有価物処分，最終処分場での埋立処分など，選別された種類に応じて適切に処分されます．

災害廃棄物処理業務においては，地域経済の活性化などにつながる地元貢献も大きな命題です．各処理区とも，調達などにおける積極的な地元企業・商工会などとの連携はもとより，被災された地元の方々を手選別作業などで優先的に数多く雇用させていただくことにより地元の雇用機会拡大に努めており，地元と一体となって処理業務を進めています．処理業務以外でも，作業所内に団らん室などのフリースペースを設け地元の方々に利用していただいたり，地元でとれた地産品を差し入れしていただいたり，焼却炉の火入れ式で地域に伝わる伝統の「鹿子踊（ししおどり）」を披露していただくなど，各処理区において地元の方々との心の通った交流が行われています．

以上，災害廃棄物処理業務について紹介しました．災害廃棄物処理業務は，被災地の復旧から復興にむけた第一歩です．本格的な復興に向けて，今後は(独)都市再生機構や各自治体が進める復興街づくりや国土交通省の進める三陸沿岸道路などのインフラの早期整備がきわめて重要となります．これら事業を滞りなく進めるうえでは，災害廃棄物処理業務と同様に，直面する課題に的確に対応していくことや地元の方々と連携・協力していくことが不可欠です．

被災地早期復興のリーディングプロジェクトである三陸沿岸道路事業では，新規事業化区間において，施工前段階業務の期間短縮による早期着工を目的としたPPP導入の取組み(官民連携による業務短縮・業務効率化)が行われており，現在各工区で調査・設計などの業務が進められています．早期供用開始に向けては，その後に続く施工段階においても工期短縮を図る必要があり，生産性向上や施工のスピードアップが強く望まれます．三陸独特の地形により，全区間にわたって多くの長距離トンネルが計画されており，その施工に際して，工期の短縮のほかにもさまざまな課題に直面すると思われますが，これまでにわが国が培ってきた世界最先端のトンネル掘進技術や耐震技術などの技術力，ノウハウ，人材により解決することが可能であり，事業の早期実現ひいては被災地の本格復興に向け貢献できるものと考えております．当協会会員皆様のご活躍を大いに期待します．

施工

線路直下40cmを函体けん引(SFT)工法で施工

—予讃線　石手架道橋新設—

四国旅客鉄道(株)松山工事所施設係　角野拓真
大鉄工業(株)石手作業所所長　武田純一

1 はじめに

四国最大の都市である愛媛県松山市では交通環境の大幅な改善を目的に松山駅付近連続立体交差事業が実施されている．事業概要としては，JR松山駅を中心に延長約2.4kmを高架化するとともに，車両基地移転および行違い線新設などを行うものである．現在，行違い線新設工事区間(約1.7km)の予讃線松山・市坪間197k160m付近で石手架道橋(以下，石手Bv)を非開削工法であるSFT工法(Simple and Face-less method of construction of Tunnel)により施工した(図-1)．石手Bvは，小土かぶり(平均厚約400㎜)での施工であるため，上部の箱形ルーフ(以下，ルーフ)および函体けん引施工時における鉄道営業線への影響をいかに軽減するかが課題となった．

本稿では，小土かぶり条件下でのルーフ推進の工事計画と施工結果および函体けん引時における地盤変位について報告する．

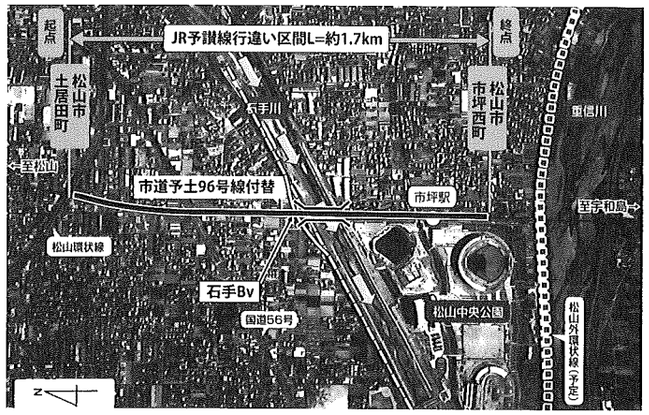
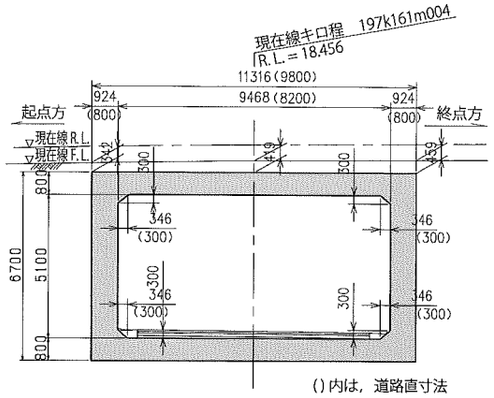


図-1　行違い線全体平面図



()内は，道路直寸法

図-2　石手Bv線路縦断図

2 工事概要

2-1　石手Bv

石手Bvは，内空高5.1m×幅8.2mの1径間RCボックスカルバートである(図-2)．隣接する石手川橋りょう改築工事に伴い，支障する市道予土96号線の付替道路として計画された．鉄道との交差角は60°であり，行違い線新設の複線化に伴い計画上下線および仮線の計3線を跨ぐため，函体延

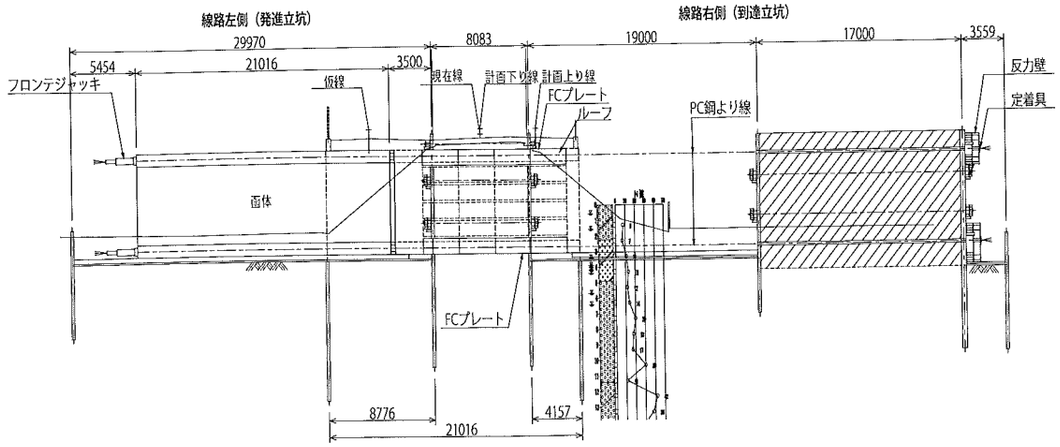


図-3　石手Bv施工全体図

長は約21.0mである．

2-2　SFT工法

SFT工法は函体けん引・推進(R&C)工法のひとつで，従来のトンネル工法や非開削工法で行っていた切羽の安定や掘削などを行わず，函体を推し進めることを特徴とした施工法である．石手Bvでは，到達立坑よりルーフ推進を行い，発進立坑より函体けん引を施工する函体けん引方式を採用し施工した(図-3)．

施工順序としては，到達立坑からルーフ部材(鋼製1,000㎜×1,000㎜)を人力掘削および機械推進により，函体の外径寸法に合わせ全周分配置する．ルーフ推進時には函体けん引時の摩擦抵抗の低減および周辺地盤との縁切りを目的としたフリクションカットプレート(以下，FCプレート)と呼ばれる薄い鋼板(t= 9 ㎜)を重ねて全周に配置する．ルーフ推進作業と並行して発進立坑内で函体を築造することができ，ルーフ内に地山を残したままルーフと函体を一体化し，ルーフおよび函体を到達立坑側へ推し出し，到達立坑側でルーフの回収およびルーフ内土砂の排土を行う工法である．施工に伴い，函体切羽での掘削作業が伴わないのが本工法の特徴である．

3　軌道変状対策

ルーフ推進および函体けん引時の軌道変状対策として，石手Bvの施工においては上部ルーフ，

写真-1　自動軌道監視システム設置状況

垂直部ルーフの上2段および函体けん引作業は，最終列車から翌朝始発列車が通過するまでの夜間施工とした．

また，ルーフ推進時は，急激な軌道狂いの発生抑制および施工基面の陥没抑制のため，1晩あたりの施工量を1.5mに設定し，慎重に作業を実施する計画とした．

施工期間中にはルーフ推進に伴い施工基面下の地盤が乱されることにより，時間経過に伴う施工基面の沈下が懸念され，それに起因する軌道狂いの発生が予想される．なお，上部ルーフの施工開始から函体けん引完了までは，少なくとも6か月以上の間隔が生じるため，長期にわたる軌道監視が必要となる．そのため，石手Bvでは画像解析による自動軌道監視システムを導入し，15分間隔24時間体制で軌道監視を行う計画とした(写真-1)．

表-1　軌道管理の警報基準値

(単位：㎜)

狂いの種別	警戒値	規制(徐行)値	抑止値
軌間狂い	6	14	25
水準狂い	7	12	18
高低狂い	7	15	21
通り狂い	6	15	18
平面性狂い	7	12	18

表-1に，JR四国における軌道の整備目標値，整備基準値および総合軌道検測車による運転規制値をもとに設定した警報基準値を示す．各警報基準値を超えた場合に警報メールを送信することにより，無人となる夜間や休日においても即応できる体制とした．

4　ルーフ推進精度の確保

石手Bvでは，函体けん引時の施工区間全域にわたる大規模な軌道隆起を避けるため，軌道にもっとも影響すると考えられる上部ルーフは，函体けん引前のルーフ外縁が函体上面高より＋10㎜以内に収まるよう，函体上面高より20㎜上げ越して推進する計画とした．

これは，推進完了時の推進精度として－10㎜以内を目標とし，その後函体けん引までの期間に周辺地盤の沈下に伴うルーフ自体の沈下が－10㎜発生すると想定し，上げ越し量の設定を行ったものである．

また，函体の製作においては，製作誤差により函体の内空寸法を支障することがないよう，鉛直方向および水平方向ともに20㎜ずつ広く函体を製作することとした．

図-4に示したとおり，前述したルーフの上げ越し量20㎜は，広く製作した函体の外縁を基準に設置することとなるので，設計位置から鉛直方向に40㎜，水平方向には起点方に20㎜，終点方に20㎜の計40㎜広くルーフを据え付ける計画とした．

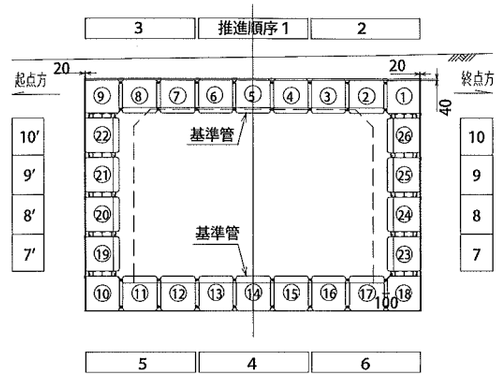


図-4　石手Bvルーフ配置図

5　ルーフ推進施工結果

5-1　施工結果

上部ルーフは，3本1セットで施工し，中央部を基準管とし，順に起点方・終点方へ施工した(図-5)．変状としては，基準管(④～⑥番ルーフ)施工の際に，φ500㎜程度の施工基面の陥没が確認された(写真-2)．原因は，当該地盤の土質が礫混じり砂質土であり，ルーフ先端で地盤を掘削す

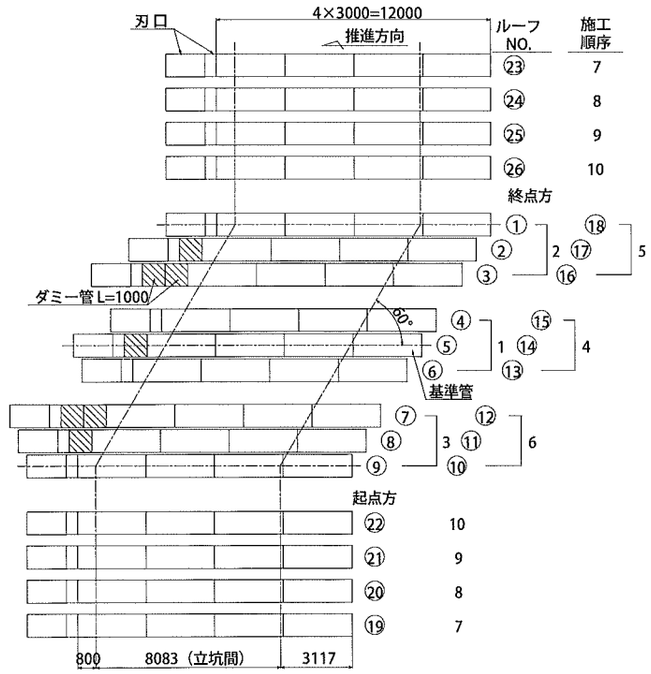


図-5　ルーフ施工順序図(展開図)

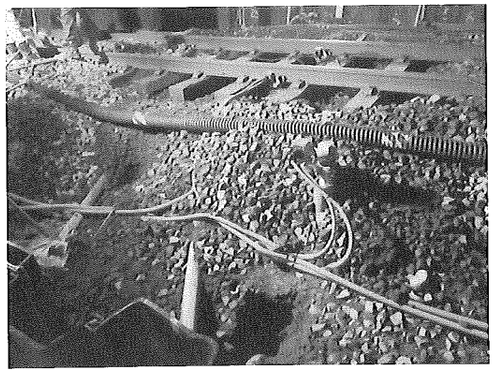


写真-2　施工基面の陥没状況

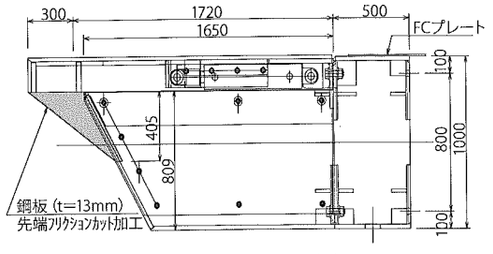


図-6　スライド刃口改良図

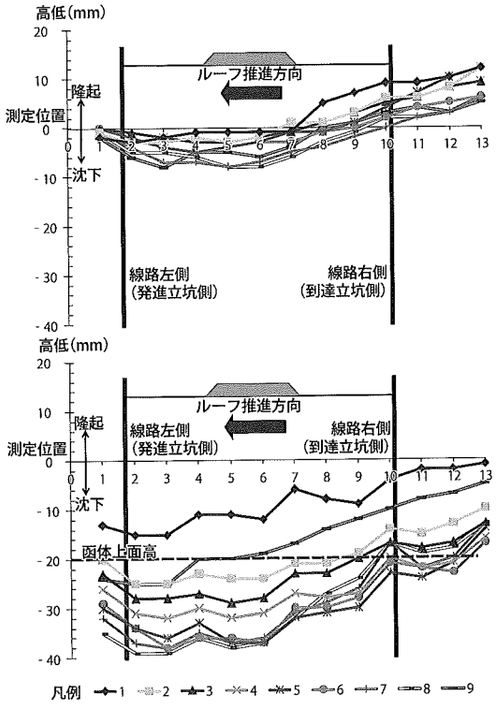


図-7　上部ループ推進出来形（上：ループ推進直後，下：函体けん引前）

るとループ側方よりループ内へ土砂が流入し，施工基面の陥没に至ったもの考えられる．また，軌道への影響としては，レベル測量での変化量で10㎜程度の隆起が確認された．

そこで，掘削土の排土を最小限にしながら慎重にループ推進を施工した結果，1晩あたりの推進量は計画の1.5mから1.0mに低下した．そのため2編成目以降は，施工基面の陥没抑制および推進速度の向上を目的に刃口先端部を改良するとともに(**図-6**)，当初計画はダミー管を設置し，刃口先端をずらして推進する計画であったが，3本の刃口先端を極力そろえて推進する計画に変更した．その結果，2編成目からは，ループ先端からの土砂の流入は減少し，推進速度も1晩あたり1.5mを確保することができた．

懸念していた軌道への影響については基準管ループ推進時と同程度であったが，施工基面の陥没については，φ500㎜程度までには至らないものの小規模な施工基面の陥没は数回発生した．

図-7に上部ループの高低出来形を示す．縦軸に鉛直変位，横軸に線路横断方向の測定位置を示しており，図の出来形は鉛直方向に40㎜余裕を持たせた箇所を初期値とし，線路横断方向の測点間距離は1.0mとした．

推進完了時のループの施工誤差は，計画どおり－10㎜以内に収まるものであった．しかしながら，約6か月間放置後の函体けん引前のループ高低出来形を見ると，最大で－39㎜まで沈下しており，存置期間中での最大沈下量は34㎜であった．

図-8に線路左側施工基面の鉛直変位の経時変化とループ推進作業工程の関係を示す．縦軸に鉛直変位，横軸に時間を示す．施工区間の中心(197k160m)で下部ループ推進開始直後に段階的に5㎜から10㎜程度の沈下が発生していることが確認でき，累積で約20㎜施工基面が沈下していることを確認した．

施工区間起点方の197k155m付近では垂直部ループ推進時に最大で20㎜程度の沈下が発生していることが確認でき，累積で約50㎜の沈下が発生していることを確認した．

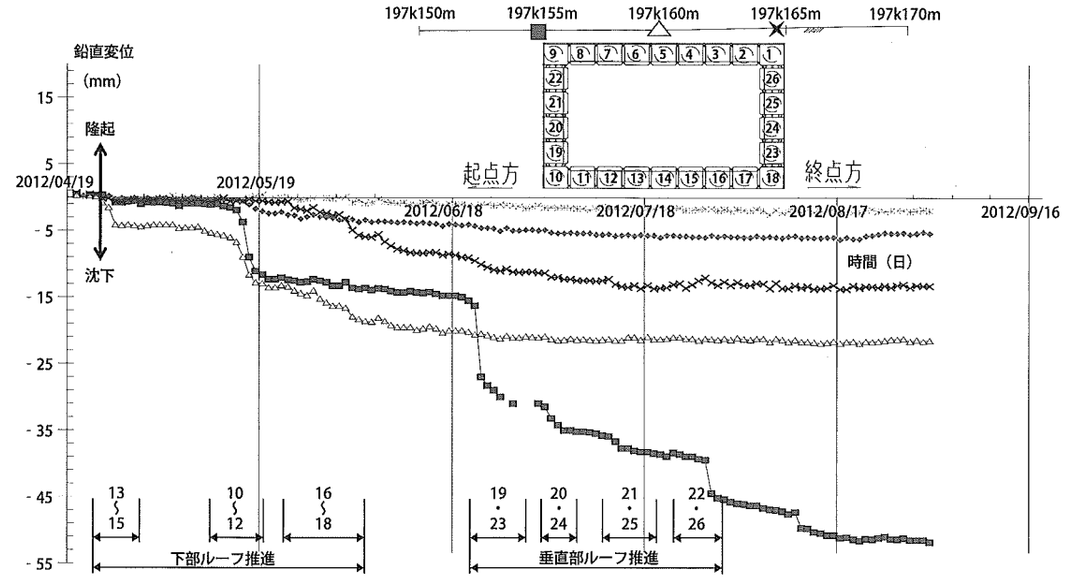


図-8　線路左側施工基面の鉛直変位の経時変化とループ推進作業工程

5-2　考　察

上部ループ推進完了時のループ出来形に関しては，計画推進量を1.5mとし，慎重にループ推進を行うことで，当初計画していた－10㎜以内という推進精度を確保することができた．

存置期間中にループ自体が最大で34㎜沈下したことに関しては，線路左側施工基面の鉛直変位と作業工程の関係より，下部ループ推進時の影響によるものと考えられる．また，著しい施工基面の沈下は，おおむね下部ループ推進開始直後に現れていることから，鏡切りの際の余裕幅やそれに伴う準備作業により地盤が乱されたものと考えられる．

垂直部ループ推進に伴う施工基面への影響については，終点方の197k165m付近の下部ループ付近では，既設のボックスカルバート取壊しのために薬液注入工を施工していたため，ループ推進に伴う施工基面への影響は発生せず，薬液注入工を施工していない起点方の197k155m付近のみに，累積で約50㎜の沈下が発生したものと考えられる．

6　函体けん引施工結果

6-1　函体けん引計画

石手Bvで採用したSFT工法は，前述したとおり，けん引により函体を線路下へ築造する施工法である．その際のけん引材料としてPC鋼より線を使用する．PC鋼より線の使用により予想されるのが，フロンテジャッキに力をかけた際の，静止摩擦係数と動摩擦係数の差異による弾性伸びの急激な変化による脈動移動である．脈動移動が発生すると函体けん引施工精度の低下および周辺地盤や軌道への影響が考えられるため，石手Bvでは設計最大けん引必要力である約16,000kNの30％である約4,800kNを発進立坑側から補助推進ジャッキ(1,500kN級)4台に負担させることにより，PC鋼より線の弾性伸びによる脈動移動を抑制する計画とした．

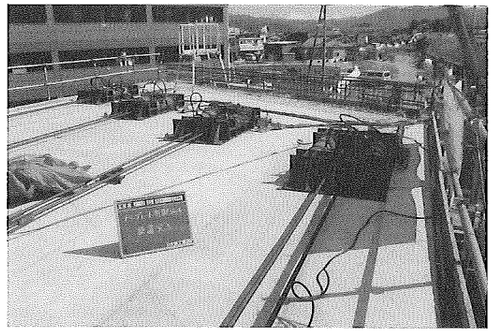


写真-3　FCプレート制御ジャッキ据付け状況

また，発進立坑側より上部FCプレートの水平変位を測定し，制御ジャッキ(1,500kN級)8台にてFCプレートを調整するFCプレート自動制御装置を設置することにより，けん引作業に伴う線路横断方向の変位の発生を抑制する計画とした(**写真-3**)．

6-2　函体けん引時の地盤変位予測

文献1)によれば函体けん引時の地盤変位予測法として，路盤に現れる鉛直変位はルーフの傾斜と函体のけん引長に比例することが，実験および解析データをもとに提案されている．石手Bvの函体けん引については，函体けん引前のルーフの傾斜および函体天端の出来形精度による傾斜を算出し，その各要素が持つ鉛直変位量を算出し，任意地点にて函体けん引長に伴う鉛直変位量を予測し，実測値との比較を行うこととした．

図-9に函体けん引前のルーフ高低出来形および函体天端高の高低出来形を示す．縦軸にルーフおよび函体の高低を示し，横軸に線路横断方向の測定位置を示す．線路横断方向の間隔は1.0mとし，ルーフに関してはジョイントごとである3.0m間隔で実測し，函体天端高に関しては2.7m間隔で測定した．この各要素が持つ鉛直変位量を線路左側施工基面の4番の位置で累積させ，けん引長と鉛直変位の関係を予測し，実測値との比較を行った．

6-3　函体けん引結果

図-10に⑤番ルーフ上の線路左側施工基面におけるけん引長ごとの鉛直変位の予測値と実測値を示す．なお縦軸に鉛直変位，横軸にけん引長を示す．また，計測は線路左側の施工基面およびバラスト肩で実施した．鉛直変位量は多少のばらつきはあるものの，施工基面およびバラスト肩での実測値は，予測値とほぼ同傾向を示していることが確認でき，施工基面で1㎜の隆起，バラスト肩で4㎜の沈下であった．しかしながら，軌道への影響としては，けん引長約13.0mに達した際に18㎜の軌道隆起が発生し，その後もけん引に伴い軌道隆起が発生し，累積で48㎜の軌道隆起が発生した．

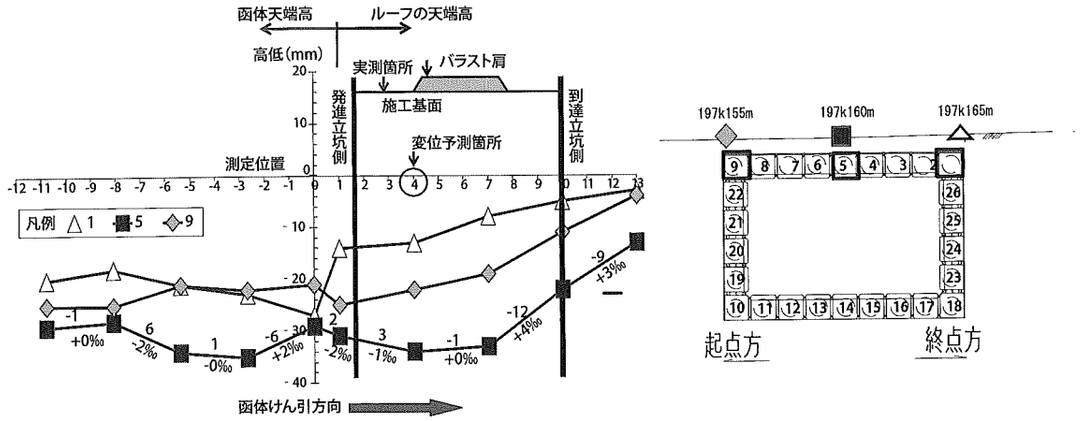


図-9　函体けん引前のルーフおよび函体天端の高低出来形

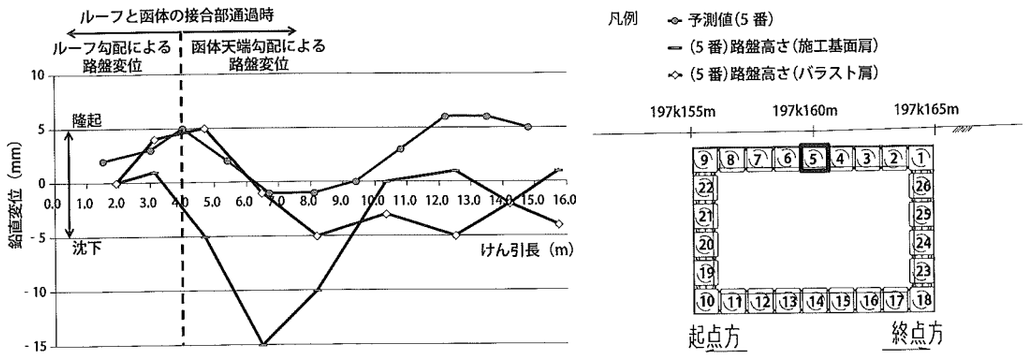


図-10　⑤番ルーフ上の線路左側施工基面におけるけん引長ごとの鉛直変位の予測と実測

6-4　考　察

バラスト肩での鉛直変位量に比べ，施工基面に発生した鉛直変位量が大きいのは，小土かぶりであることやルーフ推進の際に施工基面の土塊が少なからず乱されていたことにより，顕著に影響が表れたと考えられる．それに対し，道床バラストは，毎晩けん引作業終了時にタイタンパおよび振動コンパクタで突き固めていたことや道床バラスト間の噛み合いにより，施工基面ほどの影響は発生しなかったと考えられる．

7　ま　と　め

7-1　ルーフ推進について

施工結果より，1晩あたりの計画推進量を制限したこと，およびルーフ刃口先端を改良したことにより，上部ルーフより上層の地盤への影響を軽減することができた．しかしながら，ルーフ内への土砂流入は，対策後も数回発生したため，FCプレートのさらに外方に薄鋼板を設置することや滑材の使用により，ルーフ推進時の摩擦抵抗を軽減するなど，さらなる対策を講ずる必要がある．

既設のボックスカルバート取壊しの際に施工した薬液注入箇所では，土砂流入はあまり発生せず，その上部の施工基面への影響も少なかった．このことから，薬液注入工は土砂流入を防ぐ有効な手段であると考えられる．また，函体けん引までの約6か月の間に下部ルーフおよび垂直部ルーフ推進の影響を受け沈下したと考えられる上部ルーフは，推進の施工手順を変更することで函体けん引前のルーフ出来形精度を確保することができると考えている．具体的には，上部ルーフを施工し，順に下部ルーフ，垂直部ルーフを施工する一般的な施工手順を下部ルーフ，垂直部ルーフ，最後に上部ルーフを推進するという施工手順に変更することが効果的だと考えている．なお，施工手順の変更に伴う効果性の確認は，本年度より本格化する件名で検証する予定である．

7-2　函体けん引について

石手Bvの施工により，函体けん引時のルーフおよび函体天端出来形精度による地盤鉛直変位は，施工基面やバラスト肩では提案されている式による予測値とほぼ同傾向で発生することが確認できた．しかしながら，軌道変位については，施工基面やバラスト肩とは全く違った挙動を示しており他の要因が関係していると考えられる．

けん引時の現場状況として，けん引長約7.0mを超えたあたりから，しばしば脈動移動が発生した．この脈動移動が，軌道隆起の直接的な要因かどうかは解明できていないが，なんらかの関係があると考えている．本年度より本格化する件名で，けん引作業の際に軌道への外力がどのように働いているかなどを具体的に検証していくとともに，当面の対策として，補助推進ジャッキの反力制御の徹底など，脈動移動を少しでも軽減するような現場管理を行う必要があると考えている．

8　お　わ　り　に

石手Bvの計画・施工は，JR四国における他の非開削工法での施工実績を踏まえ，課題を抽出し，施工計画に反映させた．その結果，無事故で工事を完遂することができた(**写真-4**)．しかしながら，ルーフ推進時の軌道への影響やルーフ存置期間中

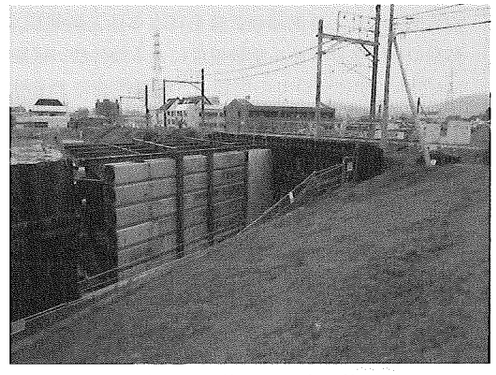


写真-4　函体けん引完了状況

の上部ルーフ自体の沈下および函体けん引時の軌道への影響など，課題は多く残っている．

また，今後SFT工法で施工する架道橋工事が本格化するため，石手Bvの施工により得られた知見から課題を再度抽出し，より良い施工計画を策定し，安全を最優先とした工事の施工管理に努めていきたいと考えている．

最後に，本工事の計画・施工にあたりご指導いただいた関係者の皆様に感謝の意を表する．

参 考 文 献

1) 山下康彦・岡野法之・角雄一郎：函体推進による線路下横断工施工時の地盤変位予測法，日本鉄道施設協会誌，Vol.50，No.7，pp.551-553，2012.7.

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

NATMの導入以来，トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって，トンネルの力学がますます重要視されるようになった．

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し，設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき，また，計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である．

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

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

現場だより 2013 トンネルと地下

「豊かな自然と食材・伊達なまち」愛媛南予・宇和島市より

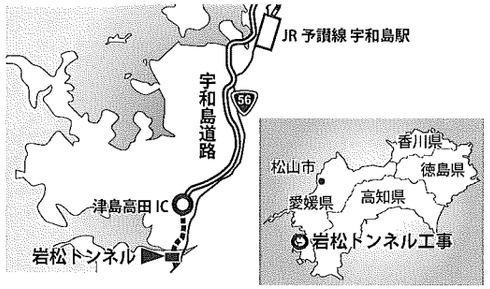
原　　康彦

宇和島市は，愛媛県の南西部に位置し，1615(元和元)年に仙台の伊達政宗の長子，秀宗が入部してから，「伊達十万石の城下町」と呼ばれ，四国南西地域の中心として発展してきた歴史と文化に育まれた地である．

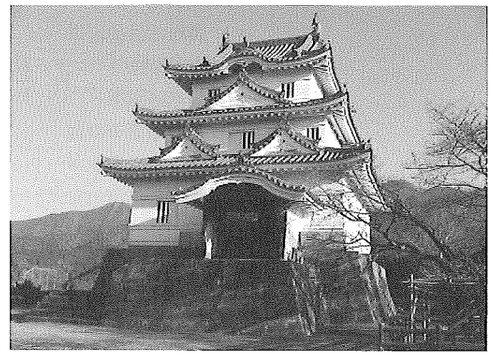
なかでも家老・山家公頼を主祭神とする和霊神社では，毎年7月22～24日に「和霊大祭・うわじま牛鬼まつり」が開催される．牛鬼とは高さ5～6mの山車で，牛をかたどった竹組みの胴体に，丸木で作った長い首と恐ろしげな鬼面の頭を取り付け，全身はシュロの毛または赤色の布で覆われる．この「牛鬼」が長い首を打ち振りながら練り歩き，悪魔払いをするのである．

また，南予地域は，みかんの栽培はもちろんのこと，日本屈指のリアス式海岸地帯である宇和海を擁し，1978(昭和53)年には真珠生産で日本一の座に輝いた．また鯛の養殖においても20年以上にわたって，日本一の生産量を誇っており，海の幸には事欠かない．生の鯛の刺身をご飯の上に乗せ，卵とだし汁を混ぜたものをかけていただく「鯛めし」や小魚をすり潰して油で揚げた「じゃこ天」，白身魚をほぐして味噌と合わせた「さつま汁」など多彩な郷土料理を楽しむことができる．

昨年の4月22日～11月4日までの半年間は，松山自動車道宇和島延伸を記念して「えひめ南予いやし博」が開催された．愛媛県と宇和島・松野・鬼北・愛南の4市町で「うみ・かわ・もり・ひと」の魅力を生かした177のイベント(シーウォーカーやキャニオニングなど)に70万人以上が訪れ，豊かな自然と食材を満喫した．



位　置　図



宇和島城天守閣

牛鬼まつり

このような自然と歴史に育まれた宇和島で，現在，松山自動車道宇和島延伸工事が行われている．宇和島道路は，国土交通省発注の高規格道路で，国道の渋滞緩和と南海トラフの巨大地震時の防災道路として位置づけられており，ひいては四国8の字ネットワークの一端を担っている．

当社施工の岩松トンネルは延長500mと短いトンネルだが，昨年5月から施工を開始し，地元の方々の協力を得ながら，現在今年8月の竣工に向けて，急ピッチで掘削と覆工作業を進めている．

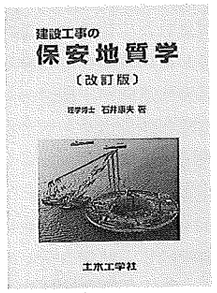
今後とも，「まず確認」の合言葉のもと，関係者一同が熱い想いを胸に，無事故・無災害で工事が終わることを目標として頑張っている．

(大成建設(株)岩松トンネル作業所所長)

土木情報 No.480 今月の主な入札結果

（4月10日～5月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東地整	上武道路函渠他その2	石橋建設工業	138.5
〃	〃 関根改良他函渠	沼田土建	202.5
〃	H24・25圏央道桶川インターHランプ函渠	高橋土建	227
〃	圏央道神崎地区函渠	石井工業	232
〃	〃 江戸崎函渠その他	新みらい	110
北陸地整	北部排水トンネル集水ボーリングその3	会津土建	107
首都高速道路	(修)トンネル剥落防止対策24-1-1	奥村組	396
〃	〃 24-1-2	SMCシビルテクノス	373.5
茨城県	24国補湖流下第55-2号，合流改善施設土木	株木・斉藤JV	525
都・財務局	善福寺川調節池(その2)	飛島・冨士・マルトJV	3,350
東京都新都市建設公社	西東京第4処理分区中央第1幹線築造	飛島・奥山JV	540
〃	武蔵野市公下合流式下水道改善施設(神田川排水区)築造	鉄建・武蔵野トランスポートJV	611
横浜市	相鉄・東急直通線新横浜駅地下鉄交差部土木	鹿島・鉄建・不動テトラ・NB JV	3,079
上越市	公雨補24-48-56号御殿山雨水幹線85	加賀田・田中JV	230



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 〒340円

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

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

施工

最小土かぶり3m・最小離隔2mで双設トンネルを掘る

—京都第二外環状道路　北春日トンネル—

国土交通省近畿地方整備局京都国道事務所工務課工務係長 滋野勝稔
大成建設(株)関西支店北春日トンネル工事作業所所長 今中晶紹
大成建設(株)関西支店北春日トンネル工事作業所工務主任 佐藤将路

1 はじめに

京都第二外環状道路(通称：にそと)は，沓掛ICと久御山ICをつなぐ総延長15.7kmの片側2車線，上り下り線を合わせて4車線の自動車専用道路である．

また，一般国道478号京都縦貫自動車道を構成する自動車道の一部で，名神高速道路とも連結するもっとも京都市寄りの部分であり，京都都市圏の交通混雑を緩和すると同時に，近畿地方の広域交通網強化の一端を担う道路である(図-1)．

このうち，北春日トンネルは，京都三山の一つである西山の大原野エリアに位置し，近隣には長岡京に由来する大原野神社や花の寺などが存在する．

この地域一帯は，第一種風致地区および第一種自然風景保全地区に指定されていることもあり，

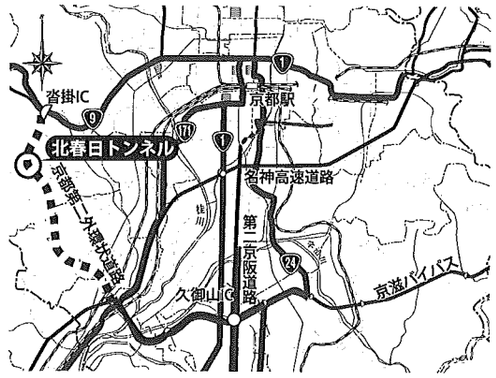


図-1 施工位置図

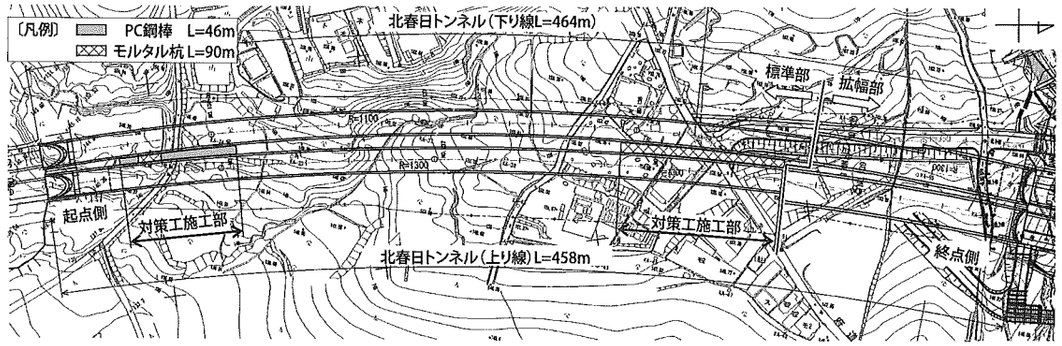


図-2 全体平面図

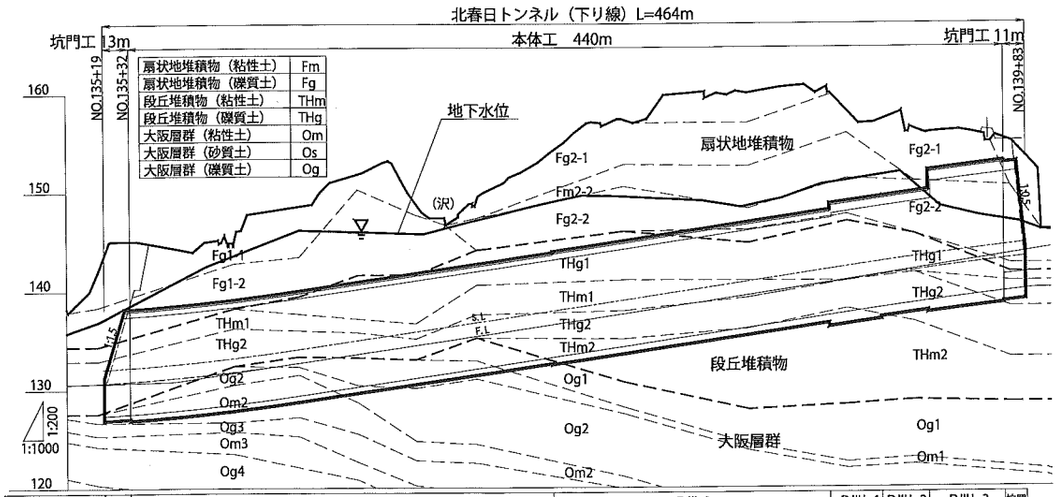
トンネル掘削工法は環境保全に有利な非開削のNATMを採用している．

北春日トンネルは，最小３ｍの小土かぶり，未固結地山を施工した最小離隔２ｍの超近接双設トンネル(延長：約460m，掘削断面：標準部 約100m²，拡幅部 約200m²，ウォータータイト構造)である．

本稿では，当トンネルの標準部にて発生した想定以上の変位を抑制するために実施したPC鋼棒およびモルタル杭による対策工について報告する．**図-2**に全体平面図を示す．

2　トンネル構造概要

図-3の地質縦断図に示すように，トンネル掘削部は，扇状地堆積物層や段丘堆積物層，大阪層群から構成される未固結地山であり，土かぶりが３～15m程度と非常に小さい(0.3～1.5*D*程度)．トンネル上部にあたる扇状地堆積物層は粘土質砂礫および礫混じり粘土から構成され，土石流堆積物の特徴がみられる．その下部に存在する段丘堆積物層は粘土質砂礫層を主体としている．大阪層群は過去数回にわたり，大阪湾を通じて京都盆地内



支保パターン	坑門	DⅢ-1	DⅢ-2	DⅢL-1	DⅢL-2	DⅢL-3	坑門
区間長(m)	13.0	213.0	138.75	26.25	23.75	38.25	11.0
覆工厚(cm)	-	50	60	100	80	100	-
吹付けｺﾝｸﾘｰﾄ(cm)	-	25					-
鋼アーチ支保工	-	H-200					-
掘削工法	-	NATM機械掘削工法					-
補助工法	-	注入式長尺鋼管先受け・鏡ボルト・鏡吹付け・仮インバート					-
地質	-	未固結土砂（扇状地性堆積物・段丘層・大阪層群）	未固結土砂（扇状地性堆積物・段丘層）				-

図-3　地質縦断図

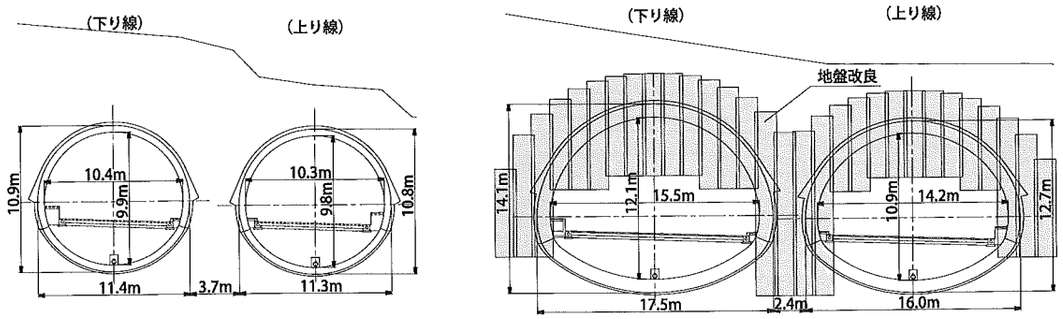


図-4　トンネル横断図(左：標準部，右：拡幅部)

に海水が浸入して海域となった際に堆積した海成層であり，均質な粘土およびシルトを主体とし，砂層や砂礫層が挟在する．

北春日トンネルはウォータータイト(防水型)構造となっていることから，完成後に想定される設計荷重として，上載荷重や土圧に加え，水圧も考慮されており，トンネルには高い外力が作用することとなる．このため，トンネル断面形状は外力に対して有利な円形あるいは楕円形に近い形状を有している．トンネルの内径は**図-4**に示すように，標準部で内径10m程度の円形(断面積：約100m²)，拡幅部で内径14～15m程度の楕円形(断面積：約200m²)となる．

トンネル掘削の補助工法としては，標準部で注入式長尺鋼管先受け(AGF)，鏡ボルト，鏡吹付けコンクリートなど，拡幅部で地盤改良(機械攪拌深層混合処理工法 ϕ1,600，一軸圧縮強度１MN/m²)を実施した．

3　変位発生状況

トンネル掘削工事は機械掘削により起点，終点の両坑口から開始した(先進坑：下り線，後進坑：上り線)．終点側にある拡幅部においては地盤改良を実施した効果が高かったことから，200m²を超える大断面双設トンネルであるにもかかわらず，トンネルの沈下および内空変位はともに最大15㎜程度と小さく，とくに問題なく施工を進めることができた．

一方，標準部では掘削開始直後に先進坑(下り線)側でトンネルの沈下および内空変位が大きくなる傾向が計測されたため，掘削工法を当初計画である上半先進ベンチカット工法から補助ベンチ付き全断面工法へ変更した(**図-5**)．これにより，仮インバート(t=150㎜)の閉合効果が得られ，変位は収束する傾向を示した．しかしながら，一部の区間で先進坑(下り線)掘削後の後進坑(上り線)掘削に伴い，先進坑の沈下，内空変位および地表面沈下(直上)が**図-6**に示すように急増傾向を示した．両トンネルに挟まれた柱状の地山部(以下，「ピラー部」と称す)側における変位が大きく，とくに沈下量は累計36㎜に達し，管理基準値(管理レベルⅢ，41㎜)に一挙に近づいた．

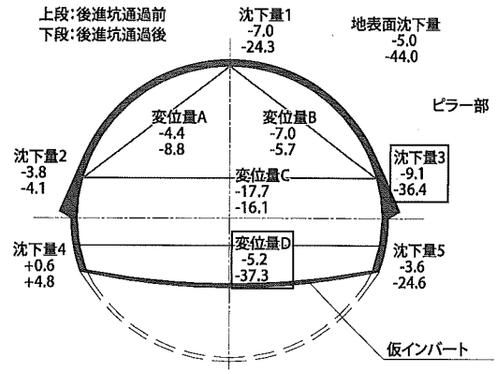


図-6　変位発生状況

仮インバートの状態を確認すると，ピラー部側の鋼製支保工の脚部付近において，トンネル軸方向に沿ってひび割れが発生していた．ピラー部のはらみ出しによるトンネル内側への変位に対し，仮インバートが耐え切れずに発生したものと考えられた．そこで，仮インバートの再施工を実施するとともに，以後の仮インバートの厚さを150㎜から200㎜に増厚し，変位への抵抗力を高める対策を実施した．その結果，変位は収束傾向を示したため，掘削を再開することが可能となった．

トンネルの上下半掘削を完了し，インバート掘削を残したこの時点において，上記のように管理基準値(レベルⅢ)程度に及ぶ変位が発生したことから，その後のインバート掘削時に対する安全性について検討を実施した．

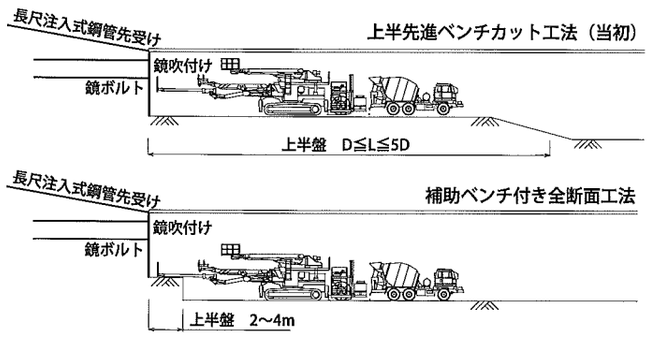


図-5　掘削工法の比較

4　計測結果の再現と予測解析検討

インバート掘削時の挙動を予測するために，図-7の検討フローに従い，FEM解析(有限要素法)を実施した．

FEM解析ステップを図-8，解析モデルを図-9に示す．変位が急増傾向を示した状態が図-8のSTEP 9に該当するため，地山物性値を同定するための事後解析は，STEP 1～9までとし，その後のインバート掘削時の予測解析をSTEP 10～13までとする．以下に検討内容を記述する．

4-1　事後解析による再現

計測結果(変位量)を再現すべく，事後解析を実施した．当初，弾性解析を用いたが，変位挙動を再現することができなかったことから，弾塑性解析によって再現を試みた．その結果，トンネルの変形モード(水平・鉛直変位の比)を再現すること

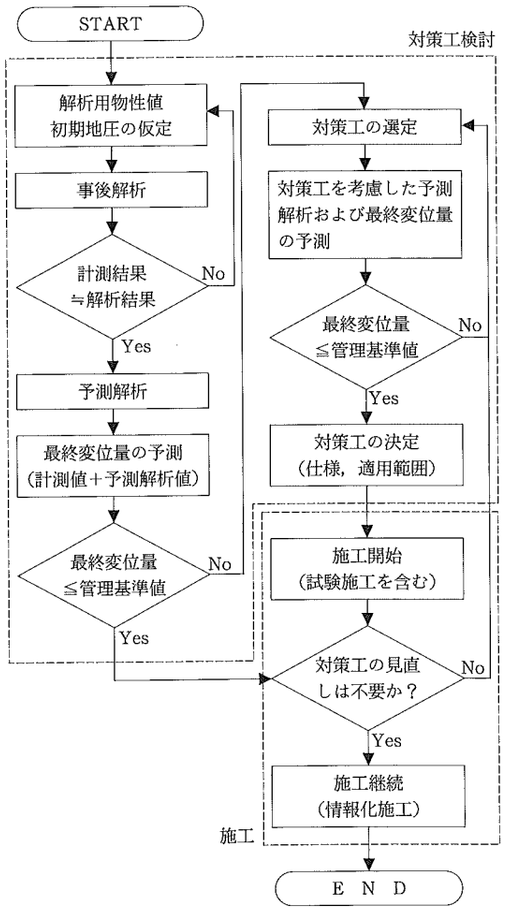


図-7　対策工検討フロー

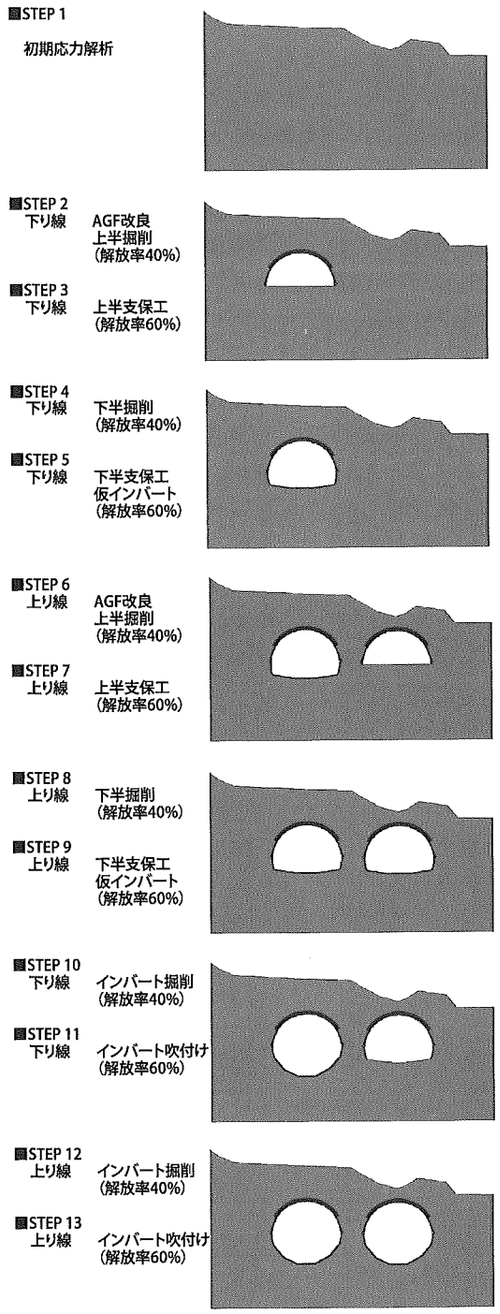


図-8　FEM解析ステップ

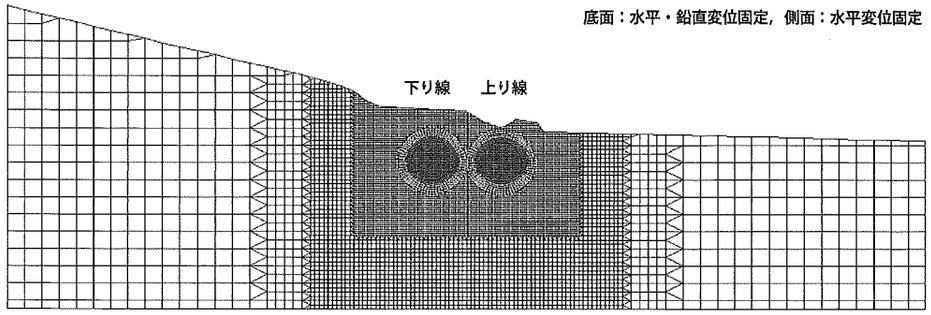


図-9　起点側検討断面解析メッシュ

ができたが，変形量を再現するための地盤強度は当初推定値よりも低い値を示した(当初はN値からの推定値：粘着力c=140～250kN/m²⇒解析結果：c=40～70kN/m²)．また，解析の結果から変位が急増した原因としては後進坑(上り線)掘削に伴い，ピラー部のほぼ全域が塑性化(不安定化)し，トンネル周辺地山の安定性が損なわれたと考えられた．

4-2　追加土質調査

前項の事後解析により，実地盤が有する強度は当初よりも低いものと推定されたことから，その強度定数の妥当性を確認することを目的として，追加の土質調査を実施した．トンネル上部の地表から行った調査ボーリング(ロータリー式チューブサンプリング)およびトンネル内部から行ったブロックサンプリングにより，それぞれ試料を採取した．

当初のN値から推定した値と一軸圧縮試験の結果を表-1に示す．一軸圧縮試験より得られる実地盤の強度(粘着力)は採取方法によらず，当初のN値から推定した値と比較して小さく，室内試験結果と事後解析結果(c=40～70kN/m²)を比較すると，両者は同等程度であることから，事後解析より推定された強度は，実地盤が有する強度に比較しても，妥当であると判断できた．

表-1　当初推定値と一軸圧縮試験結果の比較

	(当初)N値からの推定値	一軸圧縮試験結果
	$c=N/0.16$ (kN/m²)	$c=q_u/2$ (kN/m²)
Fm2-2(粘性土)	144 (N=23)	43
THm1 (粘性土)	219 (N=35)	71
THm2 (粘性土)	250 (N=40)	62
Om1　(粘性土)	250 (N=40)	48

4-3　無対策時の予測解析

無対策時におけるインバート掘削時の予測解析を実施した結果，図-10に示すようにピラー部は

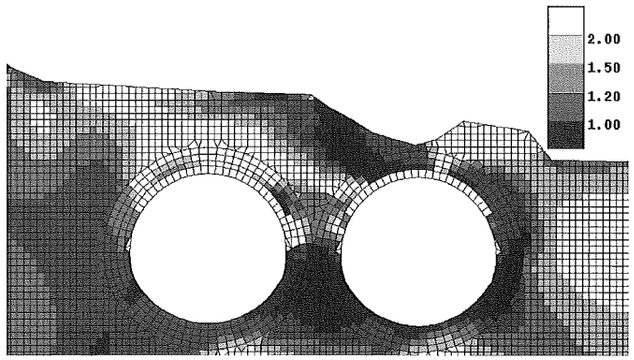


図-10　安全率分布コンター

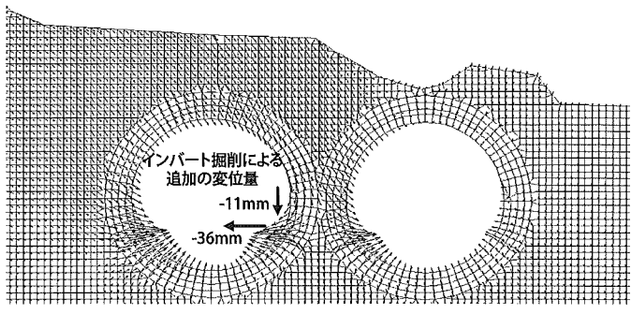


図-11　変位ベクトル

さらに塑性化(安全率が1.00以下の濃色箇所)し，トンネルの沈下と下半の内空変位はさらに増加するものと予測された．

変形のモードは図-11に示すように，ピラー部の下端部がトンネル内側へはらみ出すような形状となり，その変位増分は11㎜の沈下，36㎜の内空変位が予測された．

4-4　変位対策工の検討

前述の予測結果および追加土質調査より，インバート掘削時の変位対策工としてピラー部の補強が不可欠となり，切羽作業に支障をきたさない施工方法として，図-12, 13に示すようなPC鋼棒あるいはモルタル杭によりピラー部の補強を実施する対策工を提案した．

対策工の範囲を決定するために，対策工の必要性の判定指標として管理基準値の考え方を採用した．図-14に示す管理基準と安全管理体制の関係において，管理基準値(レベルⅢ)を超過する場合には厳重注意体制となり，「施工の停止，変状要因傾向の解析，トンネル補強の検討」となる．今回の場合，変位が既に管理基準値(レベルⅢ)の値近くまで達していることから，この値と解析による最終変位量の推定値と比較することによって，対策工の必要性を判定した．

対策工実施時における予測解析の結果，PC鋼棒およびモルタル杭の両工法ともに変位を抑制する効果が確認された．とくに，PC鋼棒は内空変位の抑制に効果が高く，モルタル杭は沈下の抑制に効果が高いことが判明したことから，各工法の特徴を踏まえ，場所ごとの変位状態に応じた対策工を選定した．

一例として，先進坑における無対策時の予測解析結果とモルタル杭による対策時の予測解析結果を図-15に示す(凡例における記号は図-6参照)．図は各ステップにおける沈下量および内空変位量を示しており，前述したようにSTEP 9までが事後解析，STEP 10からは予測解析となっている．無対策時の予測解析結果をみると，STEP 10のインバート掘削時に沈下量が管理基準値(レベルⅢ)を超えるとともに，内空変位量も管理基準値

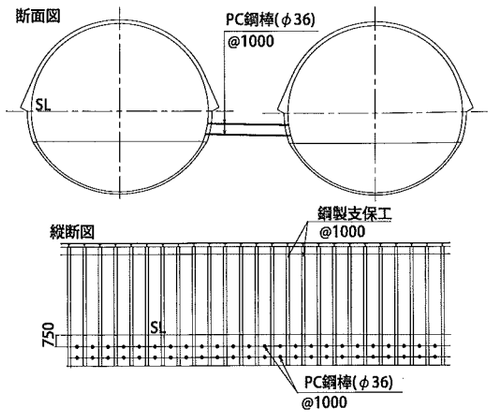


図-12　PC鋼棒による対策工

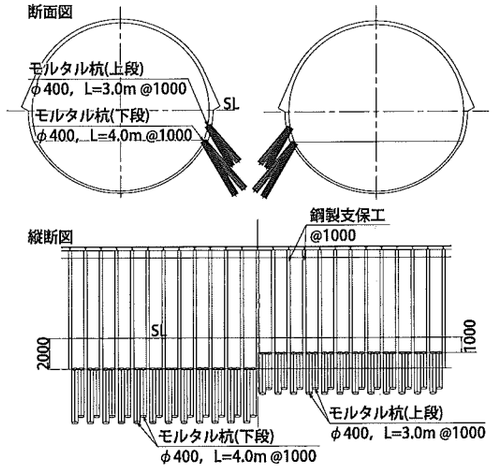
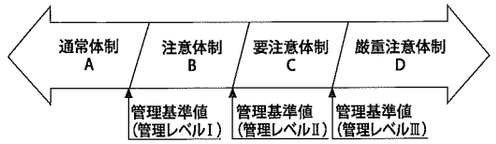


図-13　モルタル杭による対策工



A：通 常 体 制……定時計測
B：注 意 体 制……計測頻度強化，現場点検，作業員への注意強化
C：要注意体制……計測体制の強化，軽微な対策工の実施
D：厳重注意体制……施工の停止，変位要因・傾向の解析，トンネル補強の検討

図-14　管理基準と安全管理体制の関係[1)]

(レベルⅢ)付近にまで一挙に到達する結果となっている．

一方，モルタル杭による対策時の予測解析結果

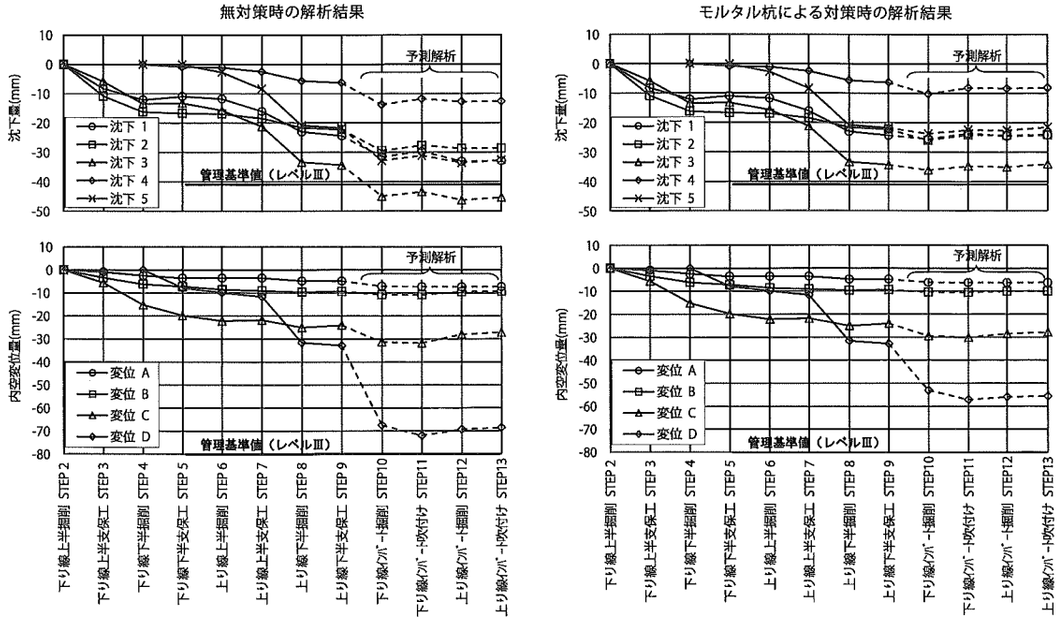


図-15　先進坑(下り線)における予測解析結果

をみると，STEP 10のインバート掘削時においても，沈下量は管理基準値(レベルⅢ)を超過しない程度に収まることがわかった．また，対策の効果として予測の沈下量で約80%の低減(無対策11㎜⇒対策後2㎜)，内空変位で約40%の低減(無対策39㎜⇒対策後24㎜)となることがわかった．

5　変位対策工の施工とその効果

試験施工を実施し，計測の結果からPC鋼棒およびモルタル杭の両工法ともに変位抑制対策として適用可能と判断できたため，必要箇所における施工を実施した．

図-15の予測解析結果において変位量が大きかった測定箇所「沈下3」と「内空変位D」(位置は図-6参照)のSTEP 9からSTEP 11までに着目し，計測結果と予測解析結果の比較をしたものを図-16に示す．この図はインバート切羽からの距離と変位量の関係を表したもので，距離が0mのときに当該計測位置の掘削が完了(通過)したことを示している．

計測の結果，沈下に関しては予測解析値よりも若干大きな値を示したが，管理基準値(レベルⅢ)

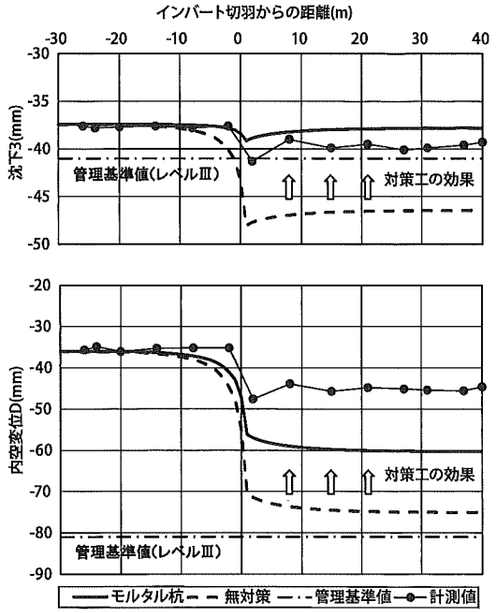


図-16　予測解析結果と計測値の比較

程度，内空変位に関しては予測解析値の50%程度に留まり，対策工として十分な効果を発揮したと考えられる．

以上の計測結果が示すように，PC鋼棒および

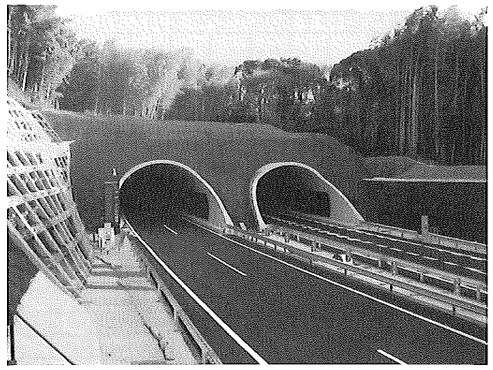


写真-1　起点側坑口全景

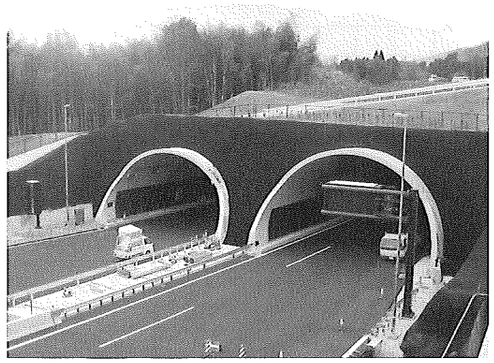


写真-2　終点側坑口全景

モルタル杭による対策工を採用することにより，インバート掘削を安全に施工することができた．いずれの工法ともに予測値程度の沈下および予測値以上の内空変位の抑制効果があった．

しかしながら，初期に発生した変位量が大きかったために，当初設計どおりの覆工コンクリートの巻厚(500，600㎜の２種)の確保が困難となる区間が発生した．巻厚を確保するための対策として，トンネルの縫返しを実施することも検討したが，その場合，吹付けコンクリートを撤去しなければならず，その影響によりトンネルが不安定化し変位が増大するおそれがあった．そこで，覆工コンクリートの再設計を実施し，コンクリート強度のアップ(当初設計基準強度30N/㎟⇒変更後33N/㎟)をすることにより巻厚の減少分(50～100㎜)を補う対策も併せて行った．

6　おわりに

本工事は，小土かぶり・未固結地山の超近接双設トンネルという厳しい施工条件であったが，PC鋼棒，モルタル杭および覆工コンクリートの再設計という各々の効果を反映した変位対策により，安全に施工完了することができた．今回の報告が，同類のトンネル工事の変位対策工として参考となれば幸いである．

最後に，本トンネルの計画・設計・施工にあたり，ご指導・ご協力をしていただいた関係各位に感謝の意を申し上げたい．

参考文献

1) 土木学会編：トンネル標準示方書　山岳工法・同解説，p.263，2006.7

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

施工

地下鉄直下の崩壊性地盤におけるS字急曲線シールド

—大阪市天満堀川抽水所　雨水滞水池築造工事—

大阪市建設局下水道河川部調整課担当係長　臼田利之
大阪市建設局北部方面管理事務所管理課担当係長　熊本尚紀
間・青木マリーン特定建設工事共同企業体天満堀川シールド作業所長　伊藤寛基

1　はじめに

大阪市はその市域の約10%を水域が占め，水の都と呼ばれている．その中でも大川は大阪市を代表する河川である．大川では日本三大祭りの一つで，130万人以上の人が訪れる天神祭が開催され，その川辺には大阪市中央公会堂などの歴史的建造物群が立地するなど，大阪市の主要な観光スポットでもある．

大阪市では下水道に家庭などから排出される汚水と雨水を同じ管で流すという合流式下水道を採用している．そのため，雨の強さが一定水準を超えると雨水とともに生活排水などが直接河川に放流され，河川の水質汚濁の原因の一つとなってい

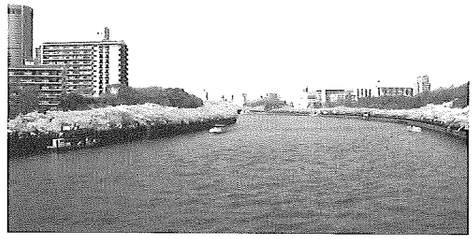


写真-1　大川の状況

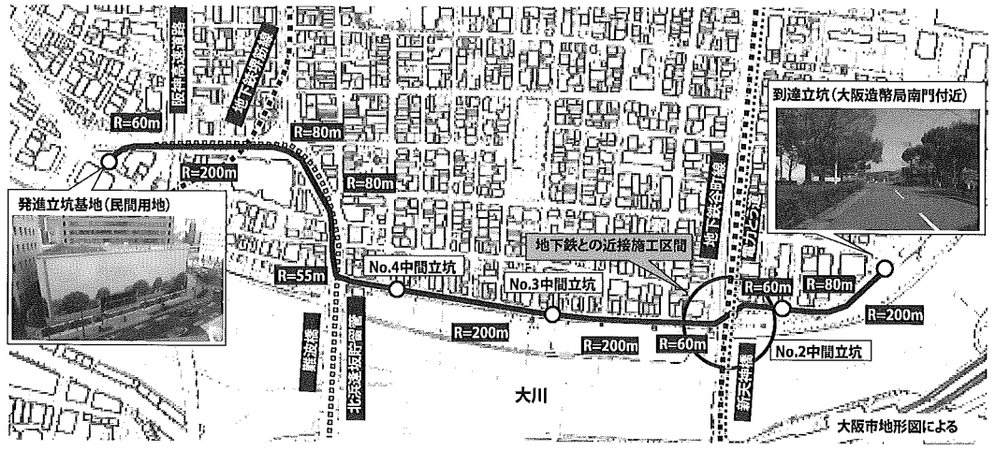


図-1　シールド掘進区間平面図

る．大川右岸にも13か所の雨水吐口があり，降雨時には合流式下水の一部が河川に放流されている．

大阪市では大川の水質保全のために初期の汚れた雨水を貯留する天満堀川抽水所雨水滞水池(貯留管)(以下「本工事」)の建設を進めている．天満堀川抽水所雨水滞水池は内径3,000㎜，大阪高等裁判所に程近い大阪市北区西天満の発進立坑より，桜の通り抜けで有名な大阪造幣局南門付近の到達立坑に至る延長1.2kmのトンネルを泥水式シールド工法にて建設するものである．

工事場所である大阪市北区は都市化が進み，地下空間も高度に利用されている．そのため，本工事では地下鉄や高速道路，電力とう道，橋梁などの重要構造物との交差施工となった．

シールドトンネルは道路下に建設する計画であり，道路線形により急曲線部を多く抱えていた．シールド通過部は上町断層が横切っており，掘削時に地盤の急変により大きなトラブルが発生する懸念があった．とくに大阪市営地下鉄谷町線との近接施工区間では，交差離隔が約７mと直下でのS字急曲線(R＝60m)の路線線形があり，掘削地盤は崩壊性の高い砂礫と砂の互層であった．シールド掘進に伴う地下鉄構造物への影響を最小とする必要があった．

また，本工事では民間用地を発進立坑基地に使用しており，関連するトンネル工事(北浜逢阪貯留管，内径6,000㎜，延長約4.8km)の到達立坑基地として用地を活用する計画であった．多くの課題を抱えるなか，本工事では発進立坑基地の使用期間の制限があり，工期の厳守が求められていた．

本稿では，本工事において実施した，これらの課題への取組みについて報告する．

2　工　事　概　要

工事名称：天満堀川抽水所雨水滞水池築造工事(その１)

工事場所：大阪市北区西天満１丁目～天満１丁目

工　　期：平成22年３月24日～平成24年10月31日

3　シールド掘進

3-1　土質概要

トンネルは土かぶり23～25mに建設される．シールド通過地盤は洪積層の砂質土，粘性土で構成され，一般的にいう大阪層群に分類される．南北方向には上町断層が存在するなど地層構造は複雑である．そのため，設計段階の土質調査にあたっては通常のボーリング調査に加えて，火山灰分析を行うとともに，浅層反射法による探査を行い，断層帯部を含む地層想定断面図を作成した．想定断面図によれば，同断層の影響により，地層のずれが見られ，とくに西側の地層は急角度で西側へ傾斜し，東側はやや傾斜が緩くなっている．

表-1　工事内容

シールド工	
シールド工法	泥水式シールド工法
路線延長	L＝1,198.827m(縦断勾配0.5‰)
シールド外径	φ3,530㎜
セグメント外径	φ3,400㎜(内径：φ3,000㎜)
セグメント種別	RC(二次覆工省略型)×590R
	SSPC(二次覆工省略型)×756R
	ST(接続部・到達部ほか)×33R
曲線部諸元	R55m×１か所，R60m×４か所
	R80m×３か所，R200m×５か所
立坑(特殊マンホール)工	
到達(No.1)立坑	沈設：アーバンリング工法
立坑外径	φ5,408㎜(内径：φ5,000㎜)
仕上がり内径	φ4,000㎜
中間(No.2～4)立坑	沈設：ケコム工法×３か所
立坑外径	φ3,090㎜(内径：φ3,046㎜)
仕上がり内径	φ2,400㎜
接続工	ベビーモール工法，水中刃口
接続管外径	φ1,016㎜(内径φ800㎜)
補助地盤改良工	高圧噴射攪拌(PJG)工法
構築方法	側壁先行構築＋中床版・頂版部
	プレキャスト設置工法
発進立坑工(別途施工済)	
土留め工	RC地中連続壁工　φ14.8m (壁厚＝1.0m，壁長＝95.5m)
立坑内径	鉄筋コンクリート工 φ11.2～12.4m (壁厚＝1.2～1.8m，壁長＝36.87m)

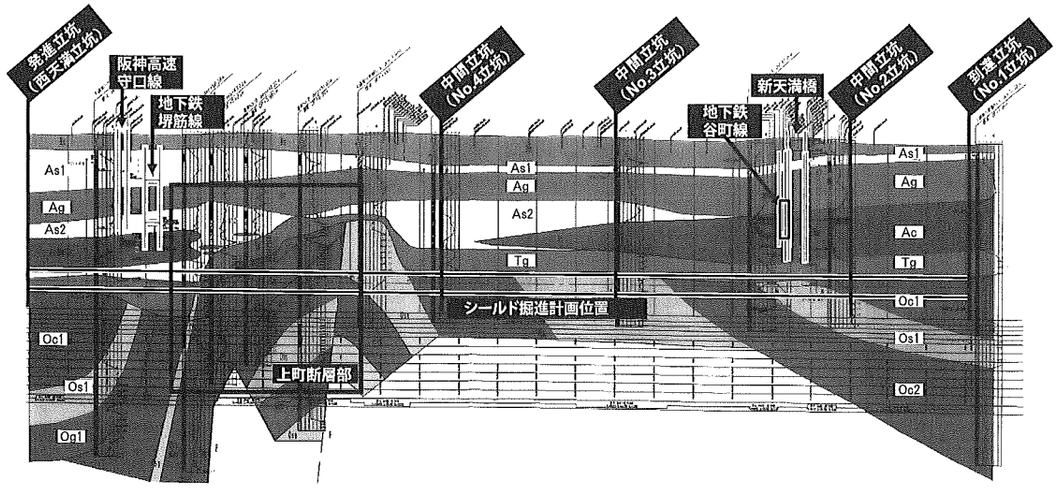


図-2　地盤想定断面図

表-2　シールド通過地盤の土質性状

	層名	バインダー分(%)	透水係数(cm/s)	平均N値	均等係数	分布比率
上部	砂礫層(Tg)	5.1	7.6×10^{-2}	55	11.67	23～25%
下部	砂層(Os1)	7.7	7.9×10^{-4}	57	3.52	77～75%

シールド区間の地盤は，沖積粘性土層(Ac)，砂質土層(As3)，大阪層群粘性土(Oc1～Oc5)，砂質土(Os1～Os3)，砂礫土(Og1～Og3)である．シールドは発進後約120m地点で上町断層帯部に進入し，その後約300mの区間にわたり地層の急変区間が存在する．以降の地盤は砂礫層(Tg)が上部に既存しつつ，粘土および砂の互層である．地下鉄との近接施工区間は，シールド掘進部上部に砂礫層(Tg)が既存しつつ，砂層(Os1)が互層の地盤構成である(**図-2**)．シールド通過地盤は，N値が高く，バインダー分(シルト＋粘土)が低いこと，透水係数が高いこと，均等係数が低い土質の分布比率が高いことから，崩壊性の高い土質と判断された(**表-2**)．

3-2　シールド

(１)　複雑な地盤特性への対応

シールド通過地盤は，砂礫・砂質土・粘性土など複雑な地盤構成であり，上町断層部を境に土質が急変するなど，さまざまな土質性状に対応する必要がある．そこで，スリットの開口率を約20%とし，崩壊性の高い地盤においても，泥水性状を変化させることで切羽を保持するものとした．

カッタビットは，全路線で硬質な粘土混じり砂層(大阪層群)の掘進に耐えられる必要があった．そこで，ビットの摩耗対策として，先行ビットを段差配置(高低差：50㎜)し，すべて強化型ビットとした．また，粘性土掘削時において先行ビットおよびメインビットへの粘性土の付着を防止するため，先行ビット(低)を面板側に配置するとともに，スポーク形状を丸型とした．

シールド内の排泥管については，シールド路線上に発生する最大礫径が土質調査結果より180㎜と想定されたため，排泥管が閉塞しないよう，排泥管の口径を10B(250㎜)とし，チャンバ内に入った礫をシールド内に取り込める構造とした．

(２)　急曲線部への対応

シールド掘進区間には７か所の曲線部があり，そのなかでも最小曲線半径は55mであった．シールド長をできるだけ短くするため，中折れ機構をV形(中折れ角度：左右3.0度，上下0.5度)とした．また，急曲線部でのテール部からの地下水の流入を防止するために，テールシールを２段とするとともに，テールグリス自動給脂装置を配備した．また，曲線施工および姿勢制御における余掘り機構としてコピーカッタを２基(１基は予備)装備した．

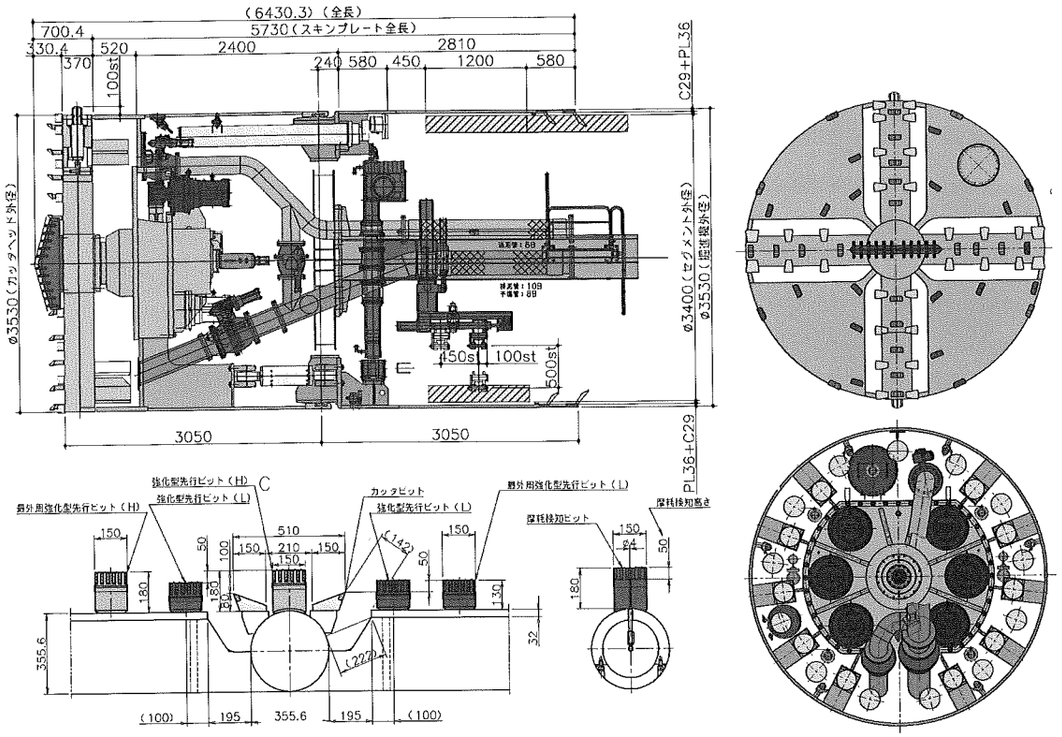


図-3　シールド

表-3　泥水処理設備の泥水容量

項目 / 名称	当初計画 容量	当初計画 台数	変更計画 容量	変更計画 台数
調整槽	60m³	1	60m³	1
原水1槽	30m³	1	30m³	1
原水2槽	—	—	40m³	1
泥水容量	90m³		130m³	

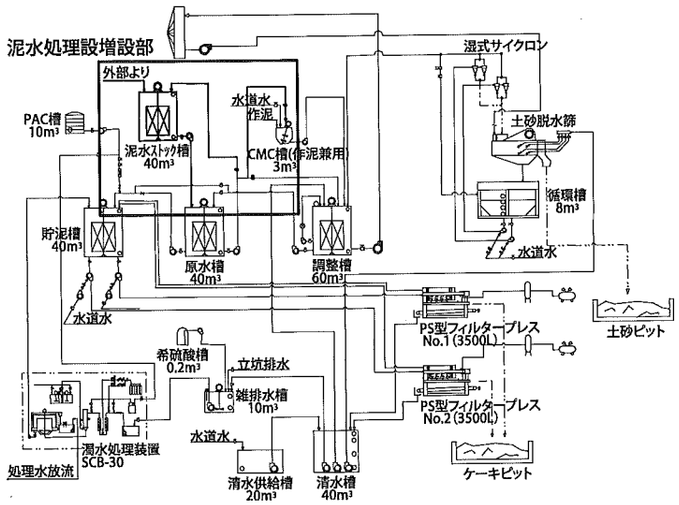


図-4　泥水処理設備の増強

3-3　泥水管理

（1）　泥水処理設備の増強

当初計画では，シールド掘進時に使用する泥水容量は，物質収支計算により機器容量を合計90m³としていた．しかし，砂質土層，砂礫層での逸泥を考慮し，初期掘進後に原水2槽を増設し，機器容量を130m³とした(表-3, 図-4)．

（2）　泥水性状管理

シールド掘進地盤は，砂礫-砂質土-粘性土の互層である．安定した掘削を行うため，泥水性状を比重1.17～1.20＋粘性20秒前後(±2.0秒)と設定し，調整槽および原水1槽にストックすることとした．また，上町断層帯部の影響により掘進中に急激な地盤の変化に遭遇し，逸泥の発生が想定された．

そこで，原水2槽には比重1.25～1.28＋粘性30秒以上の泥水を常時ストックすることとした．

3-4　セグメント

（1）　高速施工への対応

高速施工を行うため，セグメントは二次覆工省略型とし，直線部と緩曲線区間(R＝200m)はRCセグメント，急曲線区間(R＝55～80m)はコンクリート中詰め鋼製(SSPC)セグメントを採用した．RCセグメント幅は120cm，コンクリート中詰め鋼製セグメント幅は60cmとした．セグメントの継手形式は，二次覆工省略に適した内面平滑型のワンタッチ継手(セグメント間：コーンコネクター，リング間：H-KL継手＋緩衝キー)を採用(図-5)した．

（2）　急曲線部への対応(線形管理)

本工事の縦断勾配は0.5‰であり，テーパー量の設定やセグメントの回転などによる通常の線形管理では，セグメントの上下・左右の蛇行や回転，セグメントのせりなどの発生が懸念された．

そこで，シールド掘進前に全リングの割付けパターンを検討し，セグメントのテーパー量を設定した．施工時には片番ごとに測量を実施し，シールドの位置およびセグメントの軌跡を把握し，コンピューター支援設計(CAD)を用いて，今後の線形予測を行い，セグメントの最適な割付けを検討するなど，線形管理を徹底した．

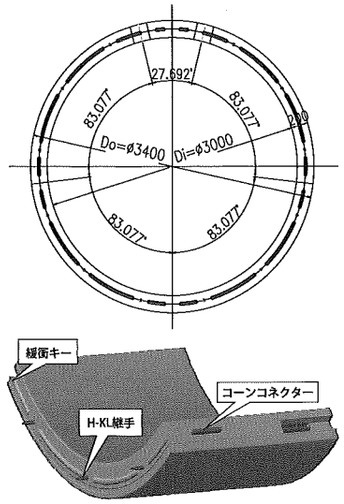


図-5　RCセグメント

4　地下鉄との近接施工

4-1　地下鉄谷町線について

大阪市高速鉄道2号線(谷町線)は，1967(昭和42)年開業の路線である．

本路線は大阪キタの中心部である東梅田とミナミの玄関口である天王寺を通り，日平均の輸送人員が約48万人と大阪市の主要な地下鉄の一つである．本工事との近接区間(南森町駅-天満橋駅間：ML10k732m～ML10k768m)付近は，潜函工法で建設されている．

4-2　地下鉄構造物への影響検討

シールド掘進に伴う地下鉄構造物への影響につ

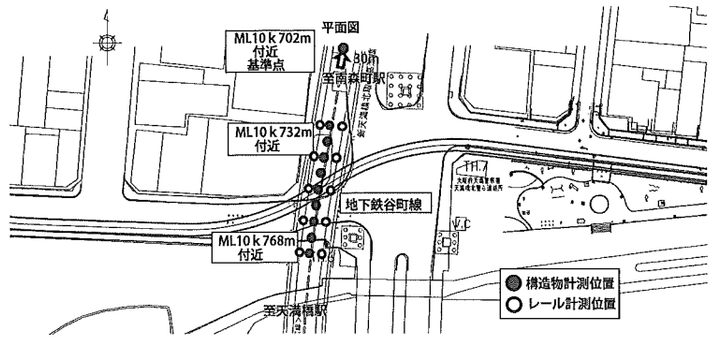


図-6　地下鉄とシールドとの位置関係

いて，縦断方向と断面方向の検討を行った．

縦断方向の影響検討は２次元平面ひずみ弾性FEM解析によりシールド掘進による地下鉄構造物下端面の地盤沈下量を求め，梁要素と地盤ばねを用いたフレーム解析により構造物の応力度を照査した．断面方向についてはフレーム解析により構造物の応力度を照査した．

FEM解析の結果，シールド掘進時の地下鉄構造物底面の沈下量は0.8㎜と想定された(**図-8**)．また，地下鉄構造物の許容応力度発生時の沈下量は2.5㎜となった．これらの結果にもとづき，シールド掘進時の計測管理値を**表-4**のとおり設定した．

4-3　シールド掘進時の対応

地下鉄との近接施工区間(910m(1,026R)～957m(1,104R)，離隔＝7.19m：約２D)は，崩壊性の高い地盤で構成されているとともに，シールド掘削線形はS字の急曲線施工(R＝60m)となる．シールド掘進による地下鉄構造物への影響を最小限とするために，泥水処理プラントの増強や泥水性状管理，線形管理を実施した．これに加え，段取り替え時などシールド停止中の切羽の崩壊を防止するため，昼勤を８：00～18：00，夜勤を20：00～６：00とすることで，シールド停止時間の短縮をはかった．地下鉄近接区間の施工は，月曜日昼勤からの開始とし，５日以内での完了を目標とした．

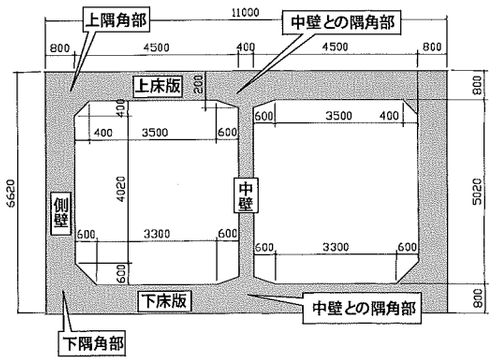


図-7　地下鉄構造物断面図と応力度照査位置

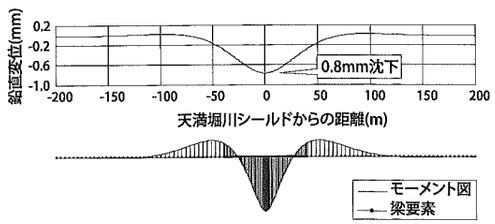


図-8　シールド通過による想定沈下量

表-4　シールド掘進時の計測管理値(単位：㎜)

管理項目	一次管理値	二次管理値	管理限界値
鉛直変位	0.8	1.2	1.6

4-4　地下鉄計測結果

(１)　事前調査

シールド掘進前の事前調査では，地下鉄坑内で地下鉄構造物の既存クラック・浮きなどを目視にて確認(**図-9**)した．

(２)　計測方法および期間・頻度

地下鉄とシールド掘進の立体交差に関する計測計画は，鉄道管理者との協議により決定した．影響検討の結果，シールド掘進による地下鉄構造物への影響が軽微であったことから，計測方法は地下鉄構造物とレールの鉛直変位について手動計測でのレベル測量によるものとした．計測期間および計測頻度は**表-5**のとおりである．

(３)　計測結果

近接施工期間中の地下鉄構造物の沈下量計測結果(**図-10**)によれば沈下量は最大でも0.6㎜にとどまり，すべての測点において一時管理値(0.8㎜)以内となった．また，地下鉄構造物の目視による事後調査においても，構造物のクラック・浮きなどに変化は生じていなかった．事後計測においても沈下量に変化はなく，本工事による地下鉄構造物への影響は生じなかった．

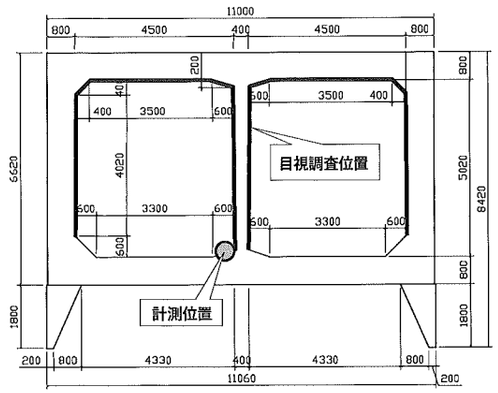


図-9　地下鉄構造物の目視調査・計測位置

表-5　計測期間および計測頻度一覧表

計測種別	計測期間	計測頻度
事前計測	影響工事前に周期的な変状の有無を確認できる期間(約１か月)	１回
本計測	影響範囲内掘進工事期間	１日/回
事後計測	シールド工事影響がないことを確認できる期間(約１か月)	１回

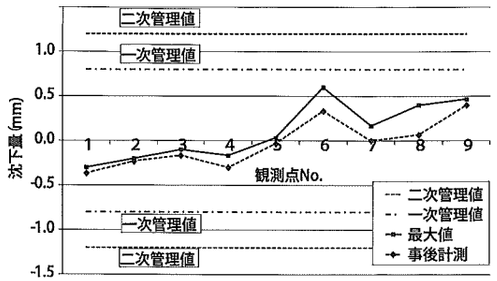
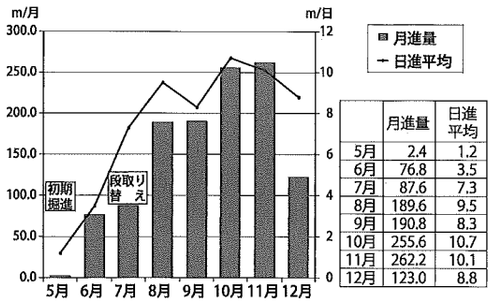


図-10　地下鉄構造物の沈下量計測結果



	月進量	日進平均
5月	2.4	1.2
6月	76.8	3.5
7月	87.6	7.3
8月	189.6	9.5
9月	190.8	8.3
10月	255.6	10.7
11月	262.2	10.1
12月	123.0	8.8

図-11　掘進実績一覧表

表-6　シールド掘進の日進量(単位：m/日)

	直線部		曲線部	
	実績	計画	実績	計画
初期掘進	5.94	4.50	3.56	3.6
本掘進	10.32	9.10	9.11	7.28

5　シールド掘進実績

5-1　掘進実績

シールド掘進に際しては多数の急曲線部や地盤の急変などへの対応を実施したが，最大月進量は262mに達するなど，十分な進捗が確保(**図-11**)できた．初期掘進および本掘進での直線(R≧200m)，曲線区間(R≦80m)の日進量(**表-6**)についても，ほぼ計画を超えた進捗である．

とくに難易度の高い本掘進曲線部の施工においては事前のセグメント割付けシミュレーションや初期掘進時でのシールドの挙動などの把握，各リングの測量結果にもとづくシールドおよびセグメント割付け予測やジャッキスピードの設定(30～35㎜/分)により，施工サイクルの効率化などが進捗に寄与したものと考えている．

5-2　地下鉄近接区間での施工実績

(１)　掘進実績

地下鉄近接区間は計画どおり平成23年11月14日(月)昼勤～11月18日(金)昼勤の4.5日で通過することができた．当該区間の施工実績は16～19リング/日(9.6～11.4m)であった．

(２)　泥水性状管理

地下鉄近接施工区間に進入後，当初の想定どおり砂層の割合が増加し，泥水の希釈が顕著となった．そこで，泥水性状が1.25-30秒まで希釈された時点から作泥をくり返し行い，1.27～1.28-35秒前後の泥水性状を保持した．当該区間の１リング施工中に最大2.3m³の逸泥が生じたが，泥水の補充を適宜実施することで，地下鉄構造物などへの影響は発生しなかった．

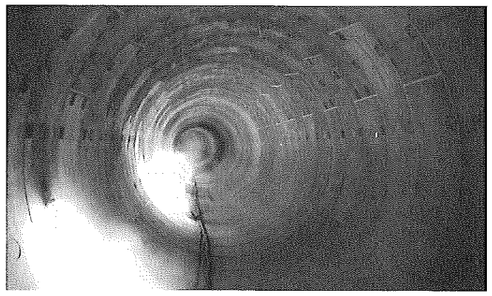


写真-2　トンネルの完成状況

6　おわりに

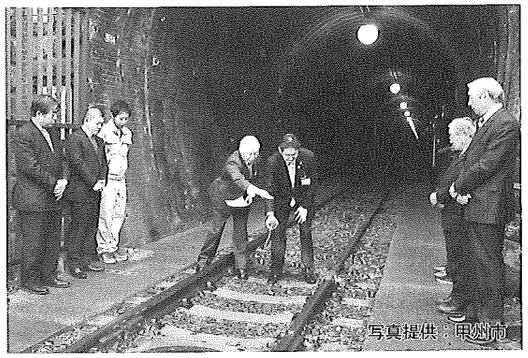
本工事は大きなトラブルもなく，無事，工期内に完成することができた．本工事はシールド掘進区間に多くの急曲線施工や地盤の急変箇所が存在するなど，非常に難易度の高いものであったが，発注者と受注者が互いに知恵を出し合い，協力して課題に取り組むことで，これらの課題を解決できたものと考えている．これもひとえに本工事に携わった関係者各位のご尽力の賜物によるものであり，深く感謝するものである．

トンネルジャーナル

大日影トンネル遊歩道が再開通

漏水と経年劣化への大規模対策を行うため，2012年１月から閉鎖されていた大日影トンネル遊歩道が工事を終え，約１年３か月ぶりに開通した．

同トンネルは，中央本線下り線の甲斐大和駅–勝沼ぶどう郷駅にあった1,369mの単線トンネル跡．1903年に開通し，1997年に線形改良のため隣接して設置された新大日影第二トンネルが開通するまで供用された．廃止にともない甲州市(旧勝沼町)に無償譲渡されたのち，遊歩道として整備され，2007年から一般に無料開放されていた．また，同年には，「甲州市のワイン醸造を支えたインフラ施設・建築物」の一部として経済産業省の近代化産業遺産に認定されている．


写真提供：甲州市

トンネル遊歩道内は，線路脇に舗装がされたのみで，鉄道標識，待機所，排水溝などの設備が往時のまま保存され，また1931年に電化されるまで運行していた蒸気機関車による煤が壁面に付着するなど，地域の歴史，文化，風土を知る観光資源として活用されている．

通行可能時間は年末年始を除く午前9時～16時．無料で開放されている．

THパイプルーフ技術協会　通常総会および懇親会開催

THパイプルーフ技術協会は去る４月17日に東海大学校友会館(東京)で第16回通常総会および懇親会を開催した．

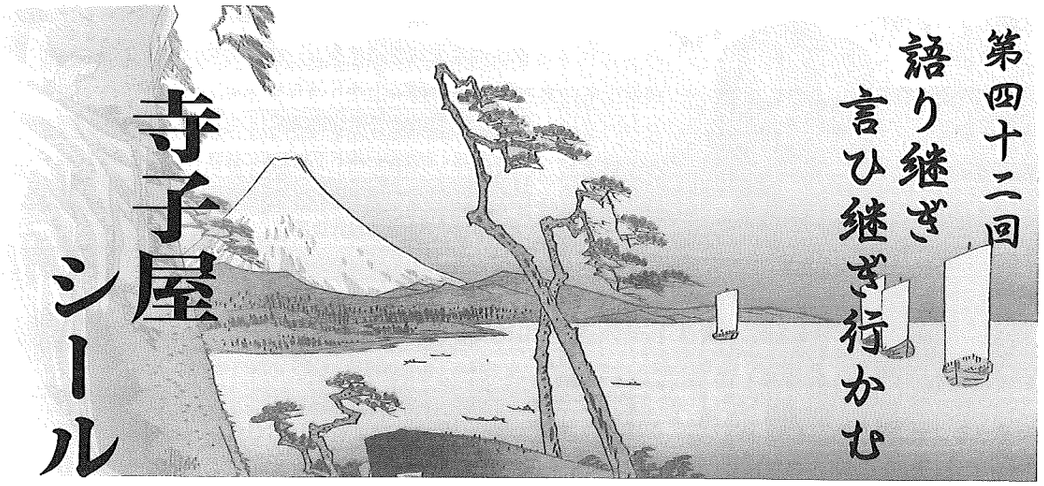
通常総会では，平成24年度事業報告，収支決算報告，平成25年度事業計画および収支予算などを審議し，満場一致で承認された．

総会後に行われた懇親会の冒頭では荒井民雄会長より挨拶があった．前年度の実績として長野県における河川改修の道路防護工など例に挙げ，着実に同工法が実績を上げていることを述べた．また昨年度は，都市型パイプルーフでは過去12年間で２番目に長い施工実績となり，山岳型パイプルーフと合わせた施工延長も７年ぶりに2,500mを超えたことを発表した．

建設工事の地質診断と処方

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

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



第四十二回 語り継ぎ 言ひ継ぎ行かむ

寺子屋 シールド物語入門

(元)(株)熊谷組
松村 信雄

はじめに

平成18年の退職を機に約40年の土木屋稼業から完全卒業と勝手に決め，すぐに山梨に越して田舎暮らしを始めて６年目，いっぱしの「いなかびと」になったかなと思い始めたところに今回の企画参加へのお誘いをいただいた．技術関連資料類は数冊を残してすべて処分していたので，いささかの戸惑いもあった．

しかし，現役のころは多くの場で諸先輩から「技術の継承」を受けてきながら，自分は「『継承する』ことについて果たしてどうだったのか？」を改めて考え，今回の企画に参加させていただくこととした．

技術習得のタイミング

「技術の継承」は，受ける立場から言えば「技術の習得」と言い換えることができる．受け手は，その時々の経験量に見合ったレベルの技術をタイミング良く受け取れればベストである．

■見習いの１年目

私が入社したころは，第１次全国総合開発計画の発表(1962(昭和37)年)や，東京オリンピック開催(1964(昭和39)年)，大阪万博の準備(1970(昭和45)年)などもあって，全国で大型インフラの整備・建設がダイナミックに行われているさなかであった．

代表的なものは首都高速道，名神・東名高速道，山陽新幹線，地下鉄新線，上下水道幹線などの建設で，トンネル分野では大断面化，多様な地盤への対応，急速施工，工事公害対策などに関する技術開発が盛んに行われていた．

このようななか，入社して１か月ほどで東西線乗り入れに伴う中野駅改良工事の現場に配属になった．新入りの業務は，早出でのトイレ，事務所の清掃から始まり，図面などのコピー，資機材の検収，現場の出面とり，測量の手元などであった．新入りマーク付きのヘルメットを着用して，ホームの乗

著者近影

著者経歴

昭和40年	(株)熊谷組入社　東京土木支店配属
昭和44年	圧気シールド(手掘り)洞道工事に従事
	国鉄，下水(機械堀り)，地下鉄の圧気シールド工事に従事
昭和51年	泥水シールド下水工事に従事
	下水，水道の泥水シールド工事に従事
昭和59年	本社土木設計課長
平成3年	シールド技術部長
平成8年	技術管理室長・知的財産部長
平成12年	(株)熊谷組退社，ジオスター(株)入社
平成14年	常務取締役 技術・市場開発部長
平成18年	ジオスター(株)退社

降客の目を気にしながらの毎日であった．

一方，技術については先輩に「聞きに来れば教える」と言われたが，まずは何を聞いて良いのかもわからない状況だった．そうは言いながら，先輩が輪番制で教官になり勉強会(試験付き)を定期的に開催してくれた．

また，新入生研修の現場見学会も実施された．シールド現場にも行ったはずだが，記憶にあるのは山陽新幹線六甲トンネルと地下鉄東西線開削トンネルである．六甲トンネルでは，切羽で身を挺して作業している斧さしの姿と，1時間ほど見学してから戻ろうとしたら行くときには大丈夫だったはずの導坑が変形して狭くなっていたこと，また，地下鉄東西線開削トンネルでは木製の支保工(尺角と太鼓落しの行列)の壮観さを覚えている．これが土木工事に対しての原体験のひとつとなった．

余談ではあるが，当時盛んであった「都市対抗野球」の応援団参加が義務づけられ，事前の半合宿，後楽園での応援を経て現場に戻ってみると，先輩から「人前で大声でものが言えるようになった」と褒められたことも思い出す．

■シールド現場に配属

入社5年目に圧気シールド現場に配属となり，以後シールド屋として歩むこととなった．

シールド工事では覆工・掘削・推進・裏込め注入の作業を1現場で数百回経験する．シールドの操縦(推進)は社員に義務化されており，機械を設計計画線上に乗せていく操縦の腕も，測量結果と掘推記録などの照合をくり返すことで，徐々に向上していった．

このころから技術の対話もまともにできるようになり，事務所では所長，主任や先輩から，現場や坑内では協力会社のベテラン工長などから味のある技術の「口伝」を受けることができた．

■一人前のシールド技術者を目指して

熊谷組は，加納倹二氏(戦前に鉄道省関門トンネルで日本初のシールド工法を採用された)を1949(昭和24)年に迎えて以来，積極的な技術開発と技術導入の社内の気運と相俟って，シールド分野でも業界最先端を歩んでいた．その技術は施工面だけに止まらず，シールド，セグメント(RC，スチール)の設計，製造，コンサル設立など幅広い分野でパイオニアとしての実績を有していた．また，これらに直接参画した多くの先輩方が現役で活躍されていたので，トラブルが発生したときなどに，直接このトップランナーの先輩方に相談して解決策，ヒントを得ることができ，同時に設計や製造に関しても教わることができたことは幸運であった．

■他社の現場で得たもの

それまで圧気シールドを専らとしてきたが，1976(昭和51)年，西松建設さんの泥水シールド工法の現場に従事した．

初めての泥水現場で最初に感じたことは，圧気が掛かっていない坑内の快適さと，切羽の地質を排泥パイプから噴出する泥水を手に受けて類推せざるを得ないのかという不安であった．もちろん，各種の機器データの分析結果から切羽の状況を推定できることは頭では理解してはいたが，地質や切羽の安定状況は直接目で見て，手で触って確認することを基本としてやってきた私には不安であった．

当然，基本的なものは圧気と同じであるので新技術も比較的容易に吸収でき，あわせて「多くの知己(先達)」を得ることもできた．また，他社の風土や文化に触れて得たものも大きかった．

■新たな部署で

現場のマネージメントの苦しさ，面白さもわかり始めたころの1984(昭和59)年夏，本社に異動し，全国の現場の技術面を支援する立場となった．あわせて，シールド関連の学会や技術協会，同業者の工法協会などにも参加することになった．

10件に満たない現場経験で身につけたものと，客観的な立場から年間10件を超す多様な現場の課題を協議・検討することで得られるものとは質・量とも相当違うものがあった．また，学会，技術協会活動ではそれぞれの分野の第一人者，技術のプロと交流することで視野が広がったとも感じた．

現場支援部門の責務とは，このようにして社内外で得られる情報を生きている現場へ展開し，活用してもらうことだと気づいた．

そのあと一時期，知的財産部も担当した．土木の特許とは，主に公共構造物が対象であり，また発注者に採用されてこそ，その技術が進歩することも考えれば，権利の主張は最小限にして，発注者，技術力のある同業者に広く実施権を譲渡し，その工法の普及を図ることを第一目的にすべきと感じた．iPS細胞でノーベル賞を授与された山中教授は，特許権の譲渡条件は「真に医学界全体の発展のために活用してもらえることが見込める多くの方々に」と言っておられた．これを聞いて相通じるものがあると「勝手に同感」している次第です．

シールドにかかわるエピソード

まずは余談から．戦前に加納氏が書かれたシールド工法の書籍を先輩からお借りしたおり，シールドは「鋼盾」，セグメントは「環片」と書かれているのを見て，巧みな翻訳に妙に感心したことを覚えている．

以下でシールド，セグメント，施工の各分野で体験したこと，感じたことを列記してみる．

■シールド

私が使用したシールドは，そのほとんどが自社設計・製造，あるいは自社設計，他メーカー製造であった．

設計，製造に先立ち，現場と製造部門で行う検討会は非常に厳しいものであった．現場からは類似現場での失敗例とそれを今回の設計でどのように活かしたかを，製造部門からは地質(ボーリング資料)をどう読み込んで要求性能を決めたかなどの踏み込みこんだ議論がなされた．

体験した具体的な事柄を以下に述べる．

(1)プレスリング

これは剛性の高いドーナツ状のリングを全推進ジャッキを包含した状態で取り付けたもので，推力を平滑にセグメント面に伝えることにより，縦リブや端面の座屈・変形を防止するための装置である．とくにスチールセグメント使用時に効果があった．欠点は組立て中のセグメントの必要箇所を局所的に保持しづらいことにあった．この装置はジャッキヘッドの各々に大型のスプレッダを装着することが可能になり次第に使われなくなっていった．またその後，組立て時には別箇に，かつ，推進時には全ジャッキを正しい平面で自動追随させる制御システムも開発され現在に至っている．

(2)新しい回転機構の面板を備えた機械掘りシールド(写真参照)

これは「KMS(クマガイ・メカニカル・シールド)」と称し，特徴はシールド内周両側に相対して設置した油圧ジャッキの伸縮を駆動源として，ラチェット(爪付き歯車)を介して「間断的」な面板揺動を行う構造であった．

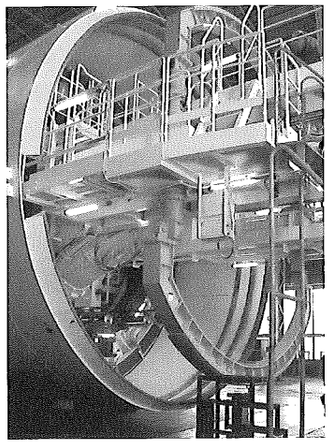
その後，次第に油圧モータの高出力化も進み，現在ではコンパクトで強力な油圧モータで円滑な回転を得られるようになった．

また，大断面化による必要推力の増加は切羽断面積に比例(直径比の2乗で)して増加するのに比べ，ジャッキ配置場所のスペースが追い付かなくなるという懸念もジャッキの高出力(耐圧)化により解決された．

(3)真円保持機(セグメントの形状保持装置，写真参照)

鉄道のトンネルを施工したとき，

KMSシールド



真円保持装置

初めて真円保持機を経験した．このときの装置は，左右２本の柱（油圧ジャッキ内蔵）の上下に鋼製アーチ梁を「こ」の字状に配した構造になっている．これを門形に起こし，「こ」の字形の上下アーチを伸長してセグメントリングを保持する．

当時はシールド本体内にスペースが取れないため，後続設備からの片持ち梁に懸架して移動，盛り換えをする方式を採用した．セグメント中心と自動的に調芯できる機能も備えた優れものであった．本装置は初期推進完了時に設置したもので，それまでのセグメントと比較して，欠け，目違い，目開きの減少，真円度，端面平面度の向上，漏水の減少に格段の効果があった．

本来は数リング分，しかも全周リング状に堅固に保持できるものがベストで，軽量かつ簡略，しかも手品みたいに簡単に設置できるものを夢想したりもした．

（４）テールパッキン（シール）

当時のテールパッキンは薄板鋼製のバネパッキン，ゴム・樹脂製，あるいは材料を複合させたものが主流で，その耐久性は，全施工延長の「何割くらい，または何百リングくらいまでは大丈夫でしょう」が相場であった．現場では，茨城県で大量に手配した藁束でひも状に束ねた長尺の「藁パッキン」を作り置きし，数リングごとにセグメント背面に入れ込んで使用し，効果を得た．

その後，他の現場でシールドを引き出したおり，テール全周に残ったこのパッキンを直接目で見る機会があった．本パッキンは推進時の摩擦で適当に熟れ，水分とモルタル分を含んで，弾性のある厚手のフエルト状を呈していた．塑性化したものは順次テールから押し出され，常にテール内は弾性を保つ，いわゆる使い捨てにより止水性能を保持できるものであった．

反面この藁パッキンは，材料の手配時期と質・量が限定されるうえ，人の手で作るため軟らかさ，太さ，長さにバラツキが出る，設置に苦労する，坑内が汚れるなど多くの欠点もあった．のちほど開発された「水膨張シール」が当時存在したなら，適当な繊維材とブレンドした使い捨てシール材の開発を技術研究所に依頼していたかもしれない．

その後，鉄建建設さんが開発した「ワイアーブラシ型パッキン」により種々の課題はほとんど解決した．仕様に「専用グリースを間断的に適切に注入すること」の記載をみて，使い捨ての真髄を共有できた気がした．

（５）泥水式シールド面板（カッタフェイス）の異常摩耗

最後の現場は上水道幹線の泥水式シールド工事であった．その掘進延長約2,500mは当時日本で最長であり，面板，ビット類の摩耗が最大の課題であった．そのうえに土質は粘土から，シルト，砂，礫（大径を含む）まで都市土木で体験できるほとんどが出現することになっていた．まずは摩耗に関しどの土質が支配的になるかの検討に入った．当然多種多様な土質現場に納入実績を持つ製造部門も一緒になりボーリングデータおよび地質縦断図を検討し，以下の設計方針を決定した．

・面板の摩耗については全延長の約95％を占める粘性土を含んだ砂を対象とした材質のビット配列を基本とする．
・スリット幅に関しては，排泥管口径を参考とし，まれにしか出ないと考えられる大径礫対策は切羽での擦り割り効果とチャンバ内礫取り装置に期待し，排泥効率を優先する．

掘削を開始してすぐに大きな問題に直面した．礫の量が増えだし，100mを過ぎたころに「首元から折れたカッタビット」が礫取り装置で見つかり，方向転換立坑（150m地点）到達までに順次20個くらいが回収された．胃の痛くなる思いのなかで掘進を続行した．

立坑に到達できて確認した状況は以下のごとし．

・折損したビットはすべて回収できていた．残った台座で掘削した形跡もある．
・残余のビットもほとんどが首元（取付け台座付近）で摩耗が激しい．
・想定外の面板外縁部とスキンプレートの間隙にも異常摩耗が発生している．

検討の結果，直接の原因はアズキ大のチャート質角礫による摩耗と判明した．

本質的な原因は方針設定時の地質データの読み方にあった．礫層に関するボーリングデータや地質縦断図を先入観を持って読んでいたことにある．

すなわち，2,500mのうちのたったの150m的な見方（礫質よっては100m以下でもたったではない）と，礫の最大径とそれの性質や切羽に占める割合などに目が行き過ぎてチャート質角礫の存在まで読み込まなかった，などが原因であった．また当然であるが，縦断地質図の各地層の位置，境界はボーリングを行ったジャストポイントでのみ正確であり，各ポイントの間はフリーハンドで書き込むもので当事者の好み・癖などが出る場合があることを知った．

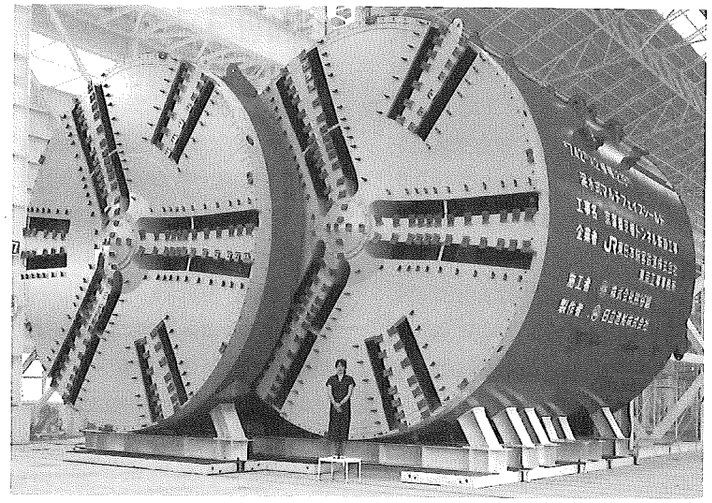
「羹（あつもの）に懲りて」，無骨過ぎるくらいのグレードで，面板の修理を終えたあとは，残余の2,300mあまりを，混在する粘土に一時悩まされながらも無事に工期の遅れも取り戻して掘り終えることができた．カッタビットも，もう2,000m掘れるくらいの余力を残していた（マシン製造責任者談）．

（６）MF（マルチフェイス）シールドの開発（写真参照）

ここでは開発時の裏話的なものを紹介する．

MFシールド（２連式）工法の開発は松本嘉司先生指導のもと，当時の国鉄技術陣が先頭に立ち開始されたもので，熊谷組も比較的早い段階から参加していた．基本的な内容が固まった段階で，工法の信頼性を，さらに確実にするために当時の関連分野の学識経験の第一人者の方や各発注機関のシールド部門の権威者計７名による検討会が持たれ，実プロに採用OKの結論を得た．事務局の手伝いで陪席し，錚々たる顔ぶれに目を見張ったものである．事務局内では以後この会を「７賢人会」と称したりもした．

一方，社内でも同時進行で具体的な検討が進んでいた．社内の一番の課題は扁平でしかも中央がくびれている切羽の安定であった．泥水圧と面板の押さえ効果に加え，



泥水式マルチフェースシールド

取込み量を制御できるシステムにより問題はないと力説してまわった．受注後も，万万が一のシールドダウン，切羽に異常が現れた場合の対応策を内々に行い，圧気手掘り式に改造して３交代で再開すれば最低限構造物本体を工期内に完成できるというゼネコン特有の泥臭い担保も確認できた．あわせてその場合の総費用の概算も算定．結果は無事の貫通．その後は３連（３芯円）のMFシールド工事２件が各々違う発注者，受注者により引き続いて施工され，実績の積み重ねがなされた．

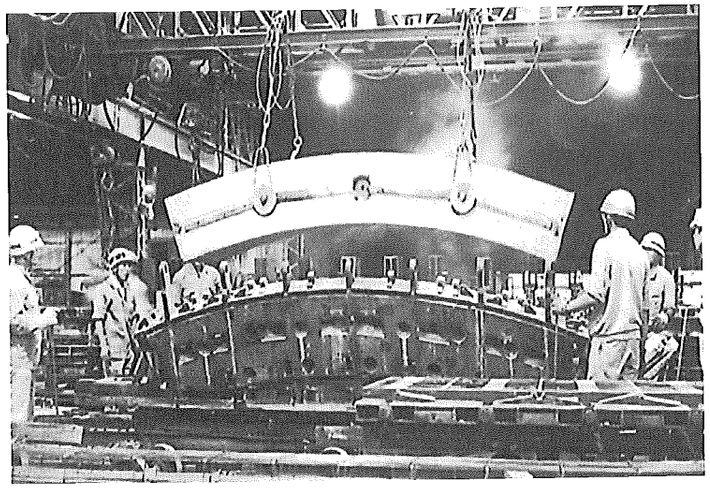
■セグメント

セグメントの慣用設計計算法の研究を担った山本弘先輩には，現場でも，本社でも直属の上司として仕える機会を得て，当時は大型電気計算機と格闘しながら解析に当たったなど色々な苦労話も聞いていた．工事現場で育った私には，直接関係してこなかった分野でもあり，その設計概念がわかる程度の理解であったが，計算法の合理化により，以後は必要鋼材量，鉄筋量が格段に減少したという成果は今でも覚えている．

さて，以下では，設計理論などの多分に学問的な分野以外のことについて，RCセグメントに限定して述べてみる．

セグメントはトンネル本体として唯一残るもので，これの製造技術がトンネルの品質・寿命を担保するといっても過言ではない．

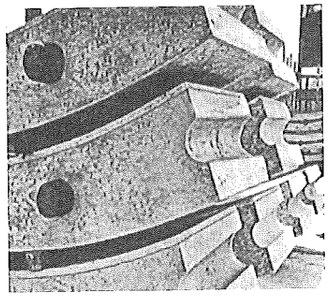
まずは，時系列的に逆転するが，現役として最後に「ジオスター（株）」にお世話になったときの話．



ウッドプラグセグメント

この会社の源流は昭和30年代に遡る．コンクリートの権威・吉田徳次郎博士は，前述の加納氏が中枢として推進した日本初の本格的シールド「関門トンネル」建設に学識経験者としてかかわり，圧気内で採取したテストピースが地上のものに比べ格段に強度が勝っていることに着目，「機械的な加圧保持のまま，４時間の蒸気養生，４週材齢で1,170kg/cm²の強度発現」をいう論文を1940（昭和15）年，土木学会に発表された．

ジオスターの創業者・津田寛が，のちにこれを知り，当時コンクリート製品業界で高強度化が競われていた状況下で，これをバイブルにして1958（昭和33）年に「日本プレスコンクリート工業（株）」を設立，以後，熊谷組およびセグメント製造部門との連携も深め，発展的に1970（昭和45）年「日本プレスコンクリート（株）」に，1994（平成６）年「ジオスター（株）」に社名変更して現在に至っている．直接指導いただいた吉田博士をはじめとし，



ウッドプラグセグメントの継手部

官・学・民の方々に来訪のおりに製作いただいた「プレスコンクリートのテストピース」が数多く陳列保存されおり，公開の「強度確認会（？）」開催のタイミングを密かに窺がっている．

手元に残された数少ない資料の一つである社史「ジオスター30年の歩み」のセグメント関連を見ると，採用された「セグメント継手」のオンパレードの感もあるが，この中で自分がとくに気にいっている（？）のは1967（昭和42）年から製造開始した「ウッドプラグセグメント」である．施主は近畿日本鉄道で，近鉄線の難波乗り入れ線用として，製品寸法φ9,900×450×

1,000㎜，延長1,390m分を製造，納品した（写真参照）．

当時としては直径，幅は世界最大級，厚さは最薄であったことに加え，構造をみるとヒンジ接合タイプ，大胆にも重要な継手に木材：ホワイトオーク（白樫）を採用していることに目を見張った．だれがこの構造と継手を設計・採用をしたかは知らないが，当時日本でも土中では松材が100年以上の耐久性があることは知られていたし，私もある立坑の掘削時に出現した松の尺角材をそのまま，あるいは２つ割りに製材し，土留め材などに利用した経験がある．白樫は強度面，耐久性で松に勝るとも劣らない材質であったのだろう．なお，白樫は所定の寸法・形状に加工済のものをカナダから輸入したと聞いた．

さて，次は豪州へシールドトンネルの応札のための手伝いに行ったときの話．セグメントのシール材として当時国内では膨張率の制御も可能になっていた「水膨張シール」を得意げに提案したところ，エンジニアが早速シールド工法の本家であるイギリスに問い合わせて，「テムズ河のトンネルも港のドッグ岸壁の防水も瀝青系材料で現に100年以上機能している．提案シールも100年以上の耐久性の証明ができないなら採用できない」と言われ諦めた．また，「セグメントに限らずほとんどのコンクリート構造物はまずプレキャスト化の可能性から検討に入る，止むを得ない場合だけが場所打ちとなる」という話から彼我の考え方の差を痛感した．

■施　工

シールドトンネルでは耐久性の保証がとくに重要である．工場で作り込まれたセグメントの品質を損なうことなく，精度高く，周辺地山に密着したトンネルを構築することが施工者の責任である．具体的には，①所期の精度でトンネルルートを確保すること，②長期的に安定した土水圧がセグメントに作用するように真円度，端面の平面度を高く保持する．あわせて，掘削，推進時に乱される周辺地山に十分な裏込め注入を行うこと，③セグメント組立て時には有害な欠け，クラックの発生を防止すること，と言える．

（１）測　量

基線の坑内持込みの苦労話を紹介する．測量には大きくは，トンネルセンター基線を正確に坑内に持込み維持・延長して行くことと，シールドの操縦者に次の推進指針を与えるために基線とセグメント芯とのズレなどを計測することの２つがある．

高精度のジャイロスコープなどが一般化する以前の話で，狭小で深い（25m程度）立坑であったため，地上の開口部にセットしたピアノ線に重錘付きピアノ線２本を坑底の２個の油入りバケツに下し，その２本を見通すという「古典的な方法」で基線を取り込んだ．さらにその精度検証のため発進から150m程度の所に事前にセンターチェック用の井戸を設置し，それが切羽に出てきたときに地上の座標値を，やはり重錘で持込み精度の確認・補正を行った．

（２）裏込め注入

同時注入，即時注入，速やかな注入という技術用語が存在した時代，その定義は非常に定性的であった．

現場では常に即時注入を大原則とし，圧気手掘りの場合は注入準備が完了しないかぎりシールドの推進を行わないことを徹底した．注入量は切羽に噴出しないかぎりは所定の圧力が立つまでとし，また泥水式では切羽の水質のアルカリ化や水圧アップを検知するまでとした．

残念なことに真の同時注入方式を体験する機会には出会えなかった．

（３）テルツアギーに出会った

とくに圧気式の砂質土の場合，乾燥による粘着性の低下，近辺の脱水圧密の促進，酸欠領域の増大などを招きやすいので過圧気は厳禁であった．作業員に「作業性が低下する」と文句を言われながらも常に低めに保つことに努めた．目安は湿潤線を切羽中段以下にしないことである．それでも，切羽地質が急変することもあり間々崩壊を招いた．見上げた崩壊部は学生のころ見たテルツアギーの緩み崩壊線形状（しかもドーム状）に酷似していた．後に推進工法による管路を掘り出したときも，その頂部に見事な教科書どおりの形を発見，路面の激しい車両荷重にも耐えているのを見て，「また会えた」と思えて妙に嬉しかった．

（４）山岳トンネルの技術に触れて

シールド現場で民地の仮設立坑

から横坑を介して道路直下で発進する場合があった．この横坑を山岳トンネルの送り矢板工法で掘削した．当然，斧さしがこれに当たった．上載の車両荷重に反応してパラパラと矢板裏を叩く砂利音がキャンバの打込みでピタッと止まるのをみて感心したものだ．また，他のシールド現場で切羽の孕み出しが発生したとき，ベテラン作業員がすぐに数本の異形鉄筋を打込み，見事にこれを止めた．のちに導入されたNATMの縫地効果を彼は経験で体得していたのだろう．

欧米ではシールドはTBMの範疇に含まれると聞いている．現に国内でも古くは圧気シールド工法，ルーフシールド工法，近くではECL工法やSENS(写真参照)が山岳トンネルに適用された．今後はシールドと山岳トンネル両方を理解できる技術者が増えることが望まれてくると考えている．

おわりに

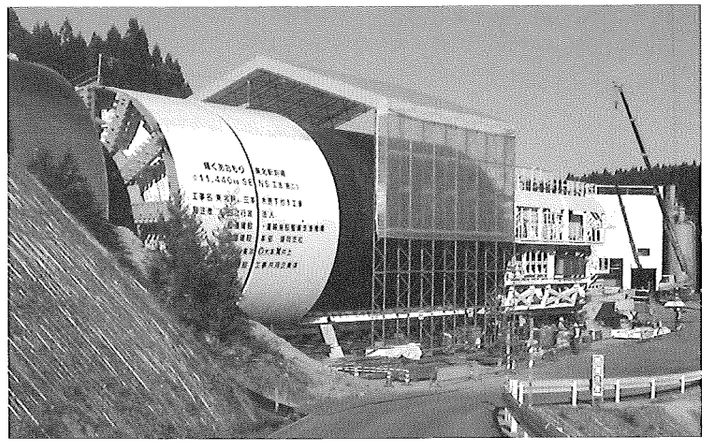
団塊の世代(私もこれの先駆け)が大量に定年退職しはじめてから，土木の分野に限らず，ほとんどの分野で「技術の継承」が問題になっている．この世代は徒弟制度の残り香を嗅ぎながらも，急激な右肩上がりの時代に年齢と経験を重ねてきた．

とくにシールド分野のこの世代は，1955(昭和30)年始めごろから技術の研究・開発を進めてこられた大先輩たちから，多くを直接引き継ぐことができた恵まれた環境下で，ひたすら前進することが許された．ややもすれば後進への技術継承を疎かにし，それを自分の中に抱え込んでしまった世代とも言える．

ここで漠然と使用されている「技術」という言葉をより具体化し，若い人たちに理解を深めていただくために，「技術の定義(英単語からの分類)」を例示する．

この表によれば，「mechanism」から「tool」までが若い人たちが現場で習得すべき技術の範囲と考えられる．

最後に，事業量が停滞している今だからこそ，各企業が技術を継承する**寺子屋的組織**を早急に構築する必要があると感じていることを記して終わりとする．



SENSマシン

技術の定義―英単語からの分類―

method	方法，(特に)組織的方法，手段
system	組織，組立，体系，システム，制度，系統
technology	科学技術《人生に必要なものを供給するためのいっさいの科学的方法》，応用科学
mechanism	機械，機構，機械装置
equipment	準備，支度，設備(仕事に必要な)知識
technique	(専門)技術，技巧
skill	熟練，老練，巧妙，技，術
know-how	実際的知識，技術情報，コツ〔method〕，技術〔technique〕
knowledge	情報，認識，理解，経験
tool	道具，工具，工作機械
standard	標準，規格，模範

参考文献

1) 株式会社熊谷組40年史，1978.
2) 技術でひらく未来―ジオスター30年の歩み，2000.

報　告

アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(1)

JTA山岳工法小委員会支保ワーキング

1 はじめに

トンネル工事を施工する際に，設計図書や示方書に記載されている内容どおりに施工することが困難であったり，あるいは，できない場合がしばしば経験される．これは，施工者の理解不足が原因であることもあるが，実際の現場で施工できることと理論や定説にもとづく設計との間の「乖離」が原因である場合もある．この乖離は，理論や定説が実際の施工上の制約を考慮していない場合に発生する課題である．

そこで，本WG(表-1)では，このような設計と施工の乖離について，施工上改善可能な課題と，施工上やむを得ないため設計で考慮すべき課題などを明らかにするために，現状を調査した．その結果を2回に分けて報告する．なお，参考文献は次号にまとめて示す．

表-1　委員名簿

(平成22年4月～平成24年3月)

主　査		蓼沼　慶正	(独)鉄道・運輸機構
〃	※	深沢　成年	〃
委　員		日下　敦	(独)土木研究所
〃		小川　澄	(株)高速道路総合技術研究所
〃		冨田　敦紀	東京電力(株)
〃		浅野　剛	(株)奥村組
〃		永久　和正	(株)大林組
〃		須藤　敦史	岩田地崎建設(株)
〃		横尾　敦	鹿島建設(株)
〃		森﨑　泰隆	(株)熊谷組
〃		富澤　直樹	(株)鴻池組
〃		浅川　敏似	五洋建設(株)
〃		桑原　嗣	佐藤工業(株)
〃		石井　三郎	清水建設(株)
〃		中塚　静夫	大成建設(株)
〃		柳　博文	鉄建建設(株)
〃		徳留　修	東急建設(株)
〃		内藤　将史	戸田建設(株)
〃		森脇　丈滋	飛島建設(株)
〃		岡井　崇彦	西松建設(株)
〃	※	玉井　靖広	日本国土開発(株)
〃		丸山　貴久	〃
〃	※	古川　幸則	(株)間組
〃		稲葉　秀雄	〃
〃		野間　達也	(株)フジタ
〃	※	水谷　和彦	前田建設工業(株)
〃		菊池　晃徳	〃
〃	※	中込　正貴	三井住友建設(株)
〃	※	鷹觜　智司	〃
〃		山本　信幸	〃
〃		國村　省吾	応用地質(株)
〃		石田　積	電気化学工業(株)

※前任者を示す

2 アンケート概要

2-1　アンケート方法

2-1-1　設　問

設計と施工の乖離に関する実態を調査する手法として，アンケート形式を採用した．設問の内容は，トンネル施工全般に関する全23問＋自由回答1項目とした．なお，本WGで事前に設計と施工の乖離に関する予備調査を行い，その結果，集まっ

た課題や疑問点を整理したうえで設問とした．

2-1-2　回答方法

アンケートの回答方法としては，回答者の負担軽減に配慮し，回答例を複数準備した回答選択式を採用した．実態を調べる目的で各選択肢に「施工」と「理想」の２つのチェック欄を設けた．施工欄については，実際に現場で実施されている，あるいは実施した経験があるものに○を，理想欄については，本来そうあるべきことや理想として実施することが「良い」と思われる(賛同される)ものに○を(複数可)，「もっともよい」と思われるものに◎を記入していただいた．

加えて，選択肢のほかに実施したことのある対策やアイデアなどと，施工と理想が異なる場合にはその理由について，フリーフォーマットで意見を記入していただいた．

2-1-3　調査対象

日本トンネル技術協会団体会員(特A級)に対して，各社それぞれ５名程度の年齢層の異なる回答者を選定していただくようお願いした．

2-2　アンケートの集計結果

アンケート回答は，前述会員338名と支保ワーキング幹事16名の計354名から得られた．回答者の年齢および経験年数の分布を図-1に示す．年齢別で見ると30～50代が約９割を占め，中でも40代が約４割と多かった．また，経験年数別に見ると10年以下と11～20年の経験者で約８割を占め，21年以上の長期間経験者は約２割であった．

回答分析では，実年齢や経験年数によって回答に違いが出るかどうかについて着目したが，結果的に大きな差は見られなかった．そこで，以下の分析結果の報告では，年齢別の回答数で整理した．

2-3　回答結果の整理方法

得られた回答から設計と施工の乖離を判定する方法として，以下のような整理・分析を行った．

まず各設問に対して，選択肢ごとの施工および理想の回答数をグラフ化し，その分布パターンを以下の３つの視点で捉えて，乖離の有無などについて判定した．

(１)　回答の分散・集中による判定

①　[施工]の回答が分散：回答者がイメージした現場条件や経験の差がでている可能性がある．

②　[施工]がある回答に集中：施工のやり方がほぼ決まっている．

③　(理想)の回答が分散：回答者ごとで考え方が異なり，理想の施工方法が定まっていない．

④　(理想)がある回答に集中：理想の施工方法・考え方が統一されている．

(２)　[施工]と(理想)の分布パターンの違いによる判定

①　[施工]と(理想)のパターンが異なる：理想と思っていないことを施工で行っている．

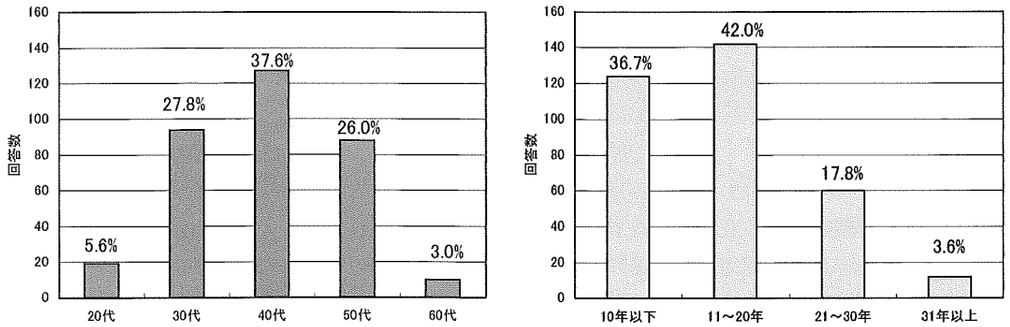
②　[施工]と(理想)のパターンが同じ：理想と施工が一致している．施工するうえでとくに問題がないと考えられる．

③　[施工]と(理想)のパターンが局所的に異なる：何か特別な理由があるかも知れないため，回答理由の記述に着目する．

(３)　施工と理想でそれぞれ回答数の多い項目の違いによる判定

①　[施工]において(理想)とされていない事項の回答が多い：理想の施工方法とは思っていないが，何らかの理由によりその施工方法を採用している．

②　[施工]において(理想)とされる事項の回答が少ない：理想の施工方法があるが，何らかの理由によりその施工方法を採用していない．



(1)　年齢構成　　(2)　経験年数構成

図-1　回答者の年齢・経験年数の分布

3　回答の整理結果

アンケート結果を分析する過程で，アンケートには次のような問題があることが判明した．

- 設問によっては，地山条件など施工条件が明確に示されていなかったため，回答者が想定する条件が異なる場合があり，それが原因で回答がばらついた可能性がある．
- 設問によっては，発注者の設計や協議事項にかかわる項目があり，その考え方によっては回答がばらつく可能性がある．
- 施工者を主な調査対象としたため，施工者としての思考の強い回答が多かった．

一方で，それぞれの問題について条件設定によっては色々なとらえ方・考え方があることがわかった．また，設問に対する直接的な回答ではなく，関連した参考意見なども寄せられた．これらには相反する意見もあった．このような多面的な考え方を知ることも，より良い設計・施工を実現するためには有効だと考え，得られた結果と回答を誌面の許される範囲で，設問の順番にこだわらずに，関連する設問をまとめて紹介することとした．

以下，設問は枠書きとし，枠下の丸数字による箇条書きは各設問での選択肢を示す．また，積上げ式の棒グラフは下から20歳代，30歳代，40歳代，50歳代，60歳代を示す．

3-1　核残しに関連する設問

Q１　切羽安定確保の一手法として核残しがありますが，鋼製支保工の建込みに労力を要し，ロックボルトの打設が非常に困難となるなど，施工上の問題が発生すると思います．どのように対処すればよいと考えますか？

①　リング掘削を先行して，いったん坑壁や鏡面を吹付けたのちに核部を掘削する．

②　下部の根掘りから行い，全体を１進行分掘削する．

③　リング掘削の部分を掘削し，核部はできるだけ残すように掘削する．

④　核部をいったん掘削したのち，次のリング部を掘削する．

(１)　乖離の有無と多数を占める回答

- 乖離はない．
- 極力核を残して掘削・支保を行うことが望ましいが，核残しを行う場合，ロックボルトは１～２間遅れて打設する．

(２)　その他の回答

- 核残しはサイクルタイムなどに影響するが，積算に反映されない．
- 核残しは掘削サイクルやボルトの施工性に関するデメリットがあるので，鏡ボルトや鏡吹付けコンクリートなどの補助工法を適用する

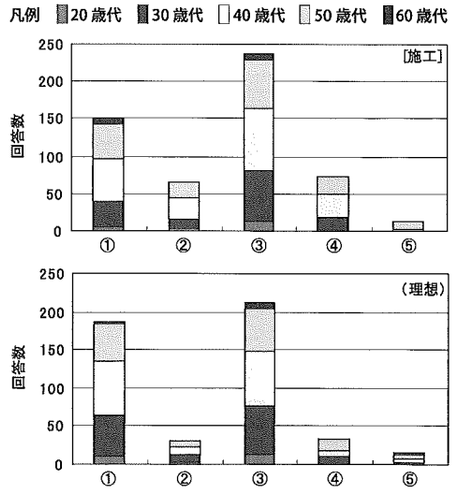


図-2　Q１の回答結果

べきである．
- NATMでは核を残さずに掘削して，1断面ずつ支保を完成させるのが基本であり，それができない場合は補助工法によって鏡の安定を図るべきである．
- 標準示方書には切羽安定対策の一つとして核残しが記載されている．
- 核残しを行う場合でも，ロックボルトは設計どおり施工すべきである．
- 斜めロックボルトは標準示方書にロックボルトの配置例の一つとして記載されている．直ボルトと比べて支保構造の優劣がほとんどないとの報告がある．

Q2　掘削後，直ちにロックボルトを設置するのが支保効果からは理想ですが，核残しで切羽安定を確保している場合，ガイドセルが所定の位置にセットできず，ロックボルトが法線方向に打設できない場合があります．どのように考えればよいでしょうか？

① 正規の方向に打設できないので，次の間を掘削後，正規の角度で打設する．
② 打設可能な角度で設計長のロックボルトを打設する．

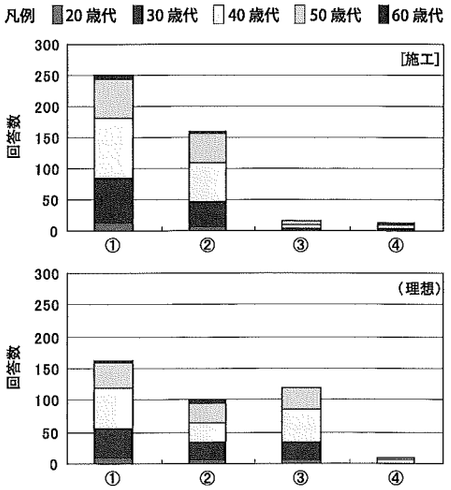


図-3　Q2の回答結果

③ 正規に打設した場合と同じ範囲を補強できる長さに変更し，斜めに打設する．

（1） 乖離の有無と多数を占める回答
- 乖離がある．[施工]では，標準のボルトを使用する①と②に集中するのに対して，(理想)では，ボルト長を変える③が増えている．
- 1間遅れであっても設計どおりの位置・方向へ打設する．
- たとえ斜めであってもロックボルトを切羽直近で施工するのが望ましい．

（2） その他の回答
- 斜めボルトの効果に関する報告はあるが，必ずしも認知はされておらず，斜めに打設する長さの設定も不明である．斜めに打設する場合に必要な長さや，斜めボルトの挙動(曲げ引張り)の確認が必要である．

◆Q1とQ2に対するWGでのコメント

Q1とQ2で得られた核残しに関する回答およびコメントを図-4にまとめておく．核をどの段階で撤去するのか，あるいはそもそも核を残してよいのかなど，そのあり方についてはWG内でも諸説あり，今後の課題である．また，写真-1に示すように核残し時にボルトの施工が遅れる事例は少なくないので，斜めボルトと一間遅れのボルトの支保効果を今後検証する必要がある．

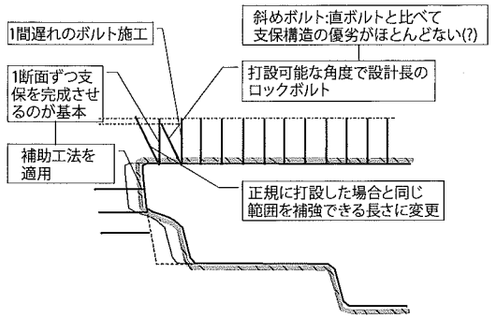


図-4　核残しに関する課題

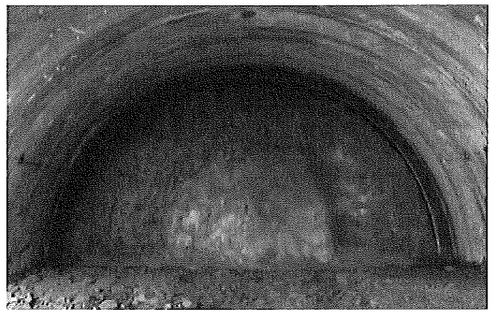


写真-1　核残しの例

3-2　インバートに関連する設問

Q3　早期に施工する本設インバートは変形抑制に有効ですが，そのような地山でインバート1スパン分を掘削すると沈下が懸念されます．どのように対処するのがよいと考えますか？

① 別段対処はしない．
② 事前協議をして，下半支保工をインバート部まで延長する．
③ 下半側壁部(脚部)に沈下防止用のロックボルトを追加打設する．
④ 1回の掘削延長を(　)m程度に短くする．
⑤ 事前協議をして吹付けインバートを施工する．

（1） 乖離の有無と多数を占める回答
- 多少乖離がある．(理想)では，別段対処はしない①はきわめて少ないのに対し，[施工]ではその①がかなり増えている．
- 1施工長を4～6m程度(1/2スパン程度)とするのが望ましい．

（2） その他の回答
- どの程度の変位・沈下であれば吹付けインバートを採用するのか事前に検討・協議しておく必要がある．

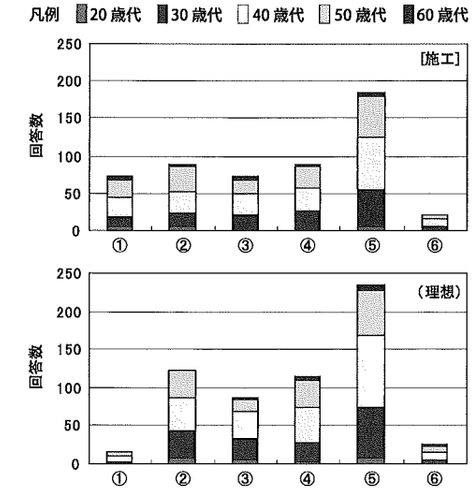


図-5　Q3の回答結果

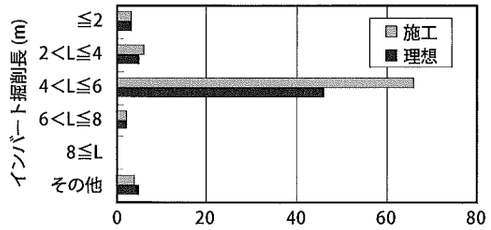


図-6　インバート掘削長の回答結果(選択肢④)

Q4　吹付けインバートだけによる早期閉合は十分な効果を発揮するのでしょうか，鋼製ストラットが必要ではないでしょうか？

① 閉合した構造に変更すれば吹付けインバートのみで十分である．
② 吹付けインバートは沈下抑制には効果があるが，側方や底版からの押出しには弱いので，押出しが考えられる場合にはストラットが必要である．
③ アーチ構造を完成させるにはストラットが必要である．

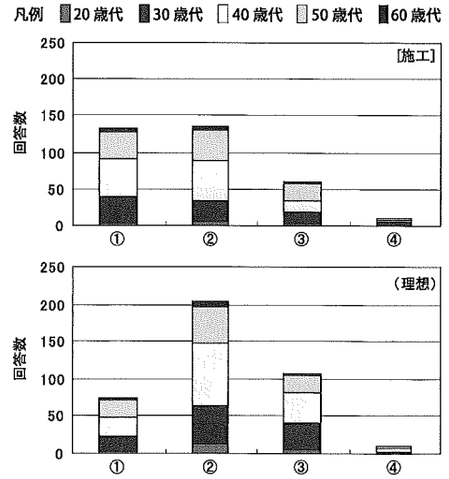


図-7　Q4の回答結果

（1）　乖離の有無と多数を占める回答
- 多少乖離がある．
- 自立性の乏しい地山では早期閉合がもっとも効果的な工法であり，補助工法を追加しても補助ベンチ付き全断面工法がよい．
- 導坑やベンチ掘削などで加背を小さくして掘削するのが効果的である．

（2）　その他の回答
- 段階施工は，早期閉合よりも変位を増大させる．
- 変位があれば早期閉合を採用し，変位がなく切羽の自立性確保を目的とするのであれば，加背を小さくする．
- 通常断面であれば早期閉合，大断面であれば加背を小さくするなど，掘削断面の大きさにより判断するべきである．

◆Q３とQ４に対するWGでのコメント

現状では，インバートの掘削長の違いによる地山の安定性や沈下・変形に関する明確な根拠がないため，今後明らかにする必要がある．

インバートによる早期閉合は，大変形が予想されるトンネルの安定化を図るためや掘削による変形など周辺への影響を低減するために採用事例が増えつつある技術である．このような状況を鑑み，本WGでは早期閉合のためのインバートを３つのレベルに区分した整理を試みているので，**表-2**に参考として紹介する[1]．

Q５　インバートの施工において片側施工した場合，中央部で施工目地が発生し，弱点となることが懸念されます．どのように対処するのがよいと考えますか？

①　片側ごとでの施工を行う（とくに対処はしない）．
②　片側ごとでの施工を行い，施工目地部には差し筋を施工し補強を行う．
③　全幅員で施工し，工程調整により対応する．
④　全幅員で施工し，インバート桟橋で対応する．

（1）　乖離の有無と多数を占める回答
- 乖離がある．（理想）では全幅員施工，とくにインバート桟橋での対応④が多く，片側施工の①と②が少ない．[施工]では④が減り，打継ぎ処理のない片側施工①が大幅に増えている．
- 品質および安全上，インバートを全断面で施工するのが望ましい．
- 実施工では，コストや工程で優位な片側施工を採用する．

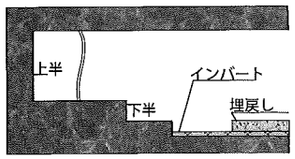
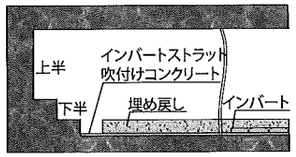
（2）　その他の回答
- 片側施工が否定されている理由は，構造上の弱点となる品質面と車両走路・作業ヤードにかかわる安全面である．
- 片側施工はコストと工程で有利である．
- インバート桟橋にはコストの問題が，切羽作業を止めるインバート施工には工程調整の問題がある．
- インバートは軸力部材なので，目地があっても問題にならない．
- 曲げが作用する場合もあるため，目地処理材，差し筋などの一体化の工夫をしておくほうがよい．
- 全断面施工のほうが良いのはわかるが，無筋コンクリートの軸力部材であり，インバート中央部の打継ぎ目が弱点となったインバートの不具合事例があるか？
- インバート桟橋は，切羽の進行とインバートの品質向上に有効である．標準化されることを望む．
- 新幹線トンネルでは，インバート部に中央通路があることとインバートに構造的な初期欠陥を設けないために全断面施工を基本としており，標準的にインバート桟橋を採用している．
- 道路トンネルではインバートの工程を積算・設計で考慮していない．考慮してもらえると，インバート桟橋の優位性が示される可能性が高い．

◆Q５に対するWGでのコメント

写真-2に示すような片側施工が力学的に問題があるかどうかの明確な根拠はないので，これについては今後の課題である．片側施工と全断面施工の得失を**表-3**に整理して示す．

（文責：富澤直樹・(株)鴻池組）

表-2　早期閉合のためのインバートのレベル[1]

	対応レベルⅠ	対応レベルⅡ	対応レベルⅢ
概要	下半切羽後方で本設インバート 	下半掘削直後で吹付けインバート 	下半掘削直後でインバートストラット＋吹付けインバート 
	・計測結果にもとづき，本設インバートの範囲，施工時期を検討・通常より早期に本設インバートを施工	・下半掘削後，切羽近傍で吹付けコンクリートをインバート素掘り面に吹付け・早期に閉合効果を得る	・下半掘削後，切羽近傍でインバートストラットと吹付けコンクリートを施工・より早期に閉合効果を得る
長所	・汎用資機材で可能・断面閉合時間に余裕がある場合最も経済的	・下半掘削と併行して施工できるので早い時点で閉合が可能（ただし，吹付けコンクリート強度発現まで時間がかかる）	・下半掘削と併行して施工できるので早い時点で閉合が可能・吹付けコンクリート強度発現を要しないのでストラット設置後短時間で効果を発揮
短所	・下半切羽からある程度離れた位置で断面閉合・施工時間およびコンクリート強度発現まで数日かかる	・無筋なので過大な荷重に弱い・本設とする場合インバートコンクリートとの一体化に留意が必要	・新たな材料調達に時間を要するため，あらかじめ準備が必要

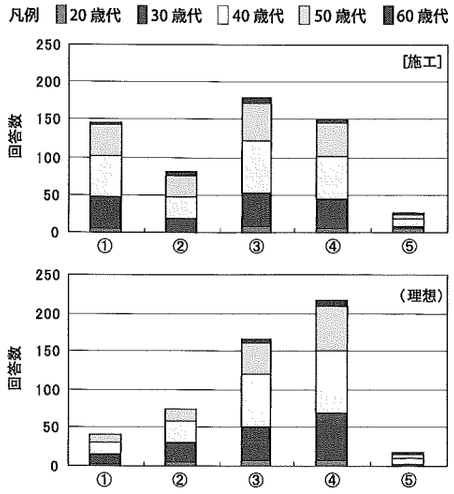


図-8　Q５の回答結果

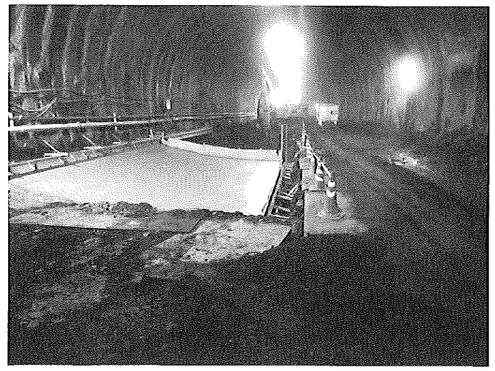


写真-2　インバートの片側施工の例

表-3　インバート施行方法の比較

評価視点	片側施工	全幅員施工	
		切羽作業を止める	インバート桟橋
早期閉合への対応	×	○	○
インバートの品質	△	○	○
安全性	× （大断面では○）	○	○
工程	○	×	○
コスト	○	×	×

文献紹介

解　　説

特集/下水道コンクリート構造物の防食マニュアル改訂，防水ジャーナル，No.490，2012.9.

伊藤健一：地下鉄道の火災と排煙対策，建設の施工企画，No.751，2012.9.

小野田滋：天城山隧道と土木遺産，中西省吾「天城山隧道巻立補強工事について」『土木技術』1952年9月号をめぐって，土木技術，Vol.67，No.10，2012.10.

特集/推進工法における知的財産，月刊推進技術，Vol.26，No.11，2012.11.

小山幸則：シールド施工技術の進展と耐圧版工法，池田重喜，大森友良「東北新幹線・第2上野トンネルに伴う構造物の防護(耐圧版工法)」『土木技術』1982年3月号，土木技術，Vol.67，No.11，2012.11.

鈴木裕彦・林稔：山岳トンネルにおけるITコンストラクションの現状と新たな取り組み，建設の施工企画，No.753，2012.11.

朝倉俊弘：土木学会「トンネル標準示方書(山岳編)」の変遷，吉川恵也「土木学会「トンネル標準示方書(山岳編)同解説(昭和52年版)について」昭和52年9月号，土木技術，Vol.68，No.1，2013.1.

岡田勝也：トンネルの凍害とメンテナンス・フリーの断熱工法，小川清著「各種建造物の凍害について」昭和25年12月号，土木技術，Vol.68，No.2，2013.2.

研　究・開　発

長谷川延広・今井俊雄：断層用鋼管の開発，建設の施工企画，No.751，2012.9.

竹本幸弘・佐竹辰州・羽馬徹：耐震補強等に用いるあと施工型せん断補強技術，建設の施工企画，No.751，2012.9.

副島幸也・白井孝昌：トンネル覆工において浸水養生を実現，浸水養生システム「アクアカーテン」の開発，建設機械，Vol.48，No.12，2012.12.

小宮山一重・牧野正敏・山崎貴志：自走装置を用いた樋門函体の三次元変位計測技術の開発，建設機械，Vol.48，No.12，2012.12.

重松尚久・河村倫太郎・小田登：ディスクカッタビット摩耗検知システムの開発のための基礎的研究，建設機械，Vol.49，No.1，2013.1.

安井成豊・岩尾哲也・西村和夫：インバートのない既設トンネルの補強方法に関する研究，曲線および直線鋼管削孔実験，建設機械，Vol.49，No.1，2013.1.

計画・調査・設計

スムーズな走行を促す壁面デザイン，あつみトンネルなど4トンネル(山形県鶴岡市)，土木のチカラ，日経コンストラクション，2012年9月24日号，2012.9.

金平修祐・沖安芳幸・吉原修：パイプライン埋戻し土中の異物に対するタイムスライス解析，水土の地，Vol.80，No.10，2012.10.

石田喜代志：一級河川東川の地下河川の完成，土木技術，Vol.68，No.1，2013.1.

施　　工

折田央：営業線軌道直下における鉄道地下化工事，調布駅付近連続立体交差事業，土木技術，Vol.67，No.9，2012.9.

平賀宙・石ヶ谷幸暁：25,000kL LNG地下タンク建設に向けた取り組み，建設の施工企画，No.751，2012.9.

中村臨：FRPM管によるサイフォン部における急傾斜改修工法事例，建設機械，Vol.48，No.10，2012.10.

森研一郎・笠松直生：仙台市地下鉄東西線の地盤と工法，地盤工学会誌，Vol.60，No.10，2012.10.

特集/低耐荷力方式 礫・帯水層・長距離への挑戦，月刊推進技術，Vol.26，No.10，2012.10.

前島俊雄：我が国初のLPG地下岩盤貯槽の建設，土木技術，Vol.67，No.11，2012.11.

湯田坂幸彦・米沢実・豊田敏之・吉村隼人：長距離・大断面泥土圧式シールドの立坑部におけるトンネル大型資材搬入リフトの適用，首都高速道路中央環状品川線，建設機械，Vol.48，No.12，2012.12.

特集/推進工法を支える注入技術 材料の発展と今後の役割，月刊推進技術，Vol.26，No.12，2012.12.

伊藤省二・志水政弘・伊藤達也：トンネル工事における自然由来重金属含有掘削ずりの管理，第二伊勢道路2号トンネル河内工区環境保全対策報告，建設の施工企画，No.754，2012.12.

北出直人：廃止路線(岡崎幹線水路矢作サイホン)における閉塞施工について，農業振興，No.757，2013.1.

上下2段の近接配管を推進工法で，桜町排水区浸水対策貯留管工事(埼玉県)，ズームアップ［トンネル］，日経コンストラクション，2013年1月14日号，2013.1.

特集/大土被りと高水圧下の施工，月刊推進技術，Vol.27，No.2，2013.2

藤原武司：ダム機能の延命化を図る土砂バイパストンネルの施工，平成20年度 小渋ダム土砂バイパストンネル工事，建設の施工企画，No.756，2013.2.

研　究

事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性

中日本高速道路(株)名古屋支社保全・サービス事業部部長待遇　八　木　　弘
(株)奥村組技術研究所トンネル担当部長　浅　野　　剛
首都大学東京大学院都市環境科学研究科助教　土　門　　剛
首都大学東京大学院都市環境科学研究科教授　西　村　和　夫

1 はじめに

平成24年4月14日に開通した静岡県内の新東名高速道路(以下「新東名」という)の金谷トンネル(開通後の名称：粟ケ岳トンネル)では，天端部の崩落対策として先進導坑内からケーブルボルトによる事前補強(以下，「事前補強」という)を施工することとした．さらに，このケーブルボルトを拡幅掘削時の支保工として活用することによって，安全で経済的な施工を実現[1]した．

本稿では，金谷トンネルの亀裂性地山区間における事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果と適用性について報告する．

2 事前補強の概要

2-1 金谷トンネルの概要

新東名のトンネルは，安全で快適な高速走行を確保するために，全路肩付きの片側3車線断面で計画されている．このため，幅員構成を満足させるために掘削幅が約18m，掘削断面積約190m²の扁平な大断面トンネルとなる．

事前補強を行った金谷トンネル(延長：上り線4,527m，下り線4,667m，掘削断面積：191m²)は，静岡県掛川市大字倉真～島田市金谷に位置する新東名でもっとも長い双設トンネルである．金谷トンネルの地質は，**図-1**に示すようにトンネル中央部を境に新第三紀中新世の倉真層群と古第三紀漸新世の瀬戸川層群に分けられる．

新東名金谷トンネルでは，直径5mのTBMによる先進導坑掘削を行った結果，砂岩・頁岩の互層となる崩落の危険性の高い亀裂性地山が存在することが判明した．このため，TBM導坑掘削時においては施工時の崩落に対する安全性や確実な掘進を確保するために，**写真-1**に示す簡易鋼製ラ

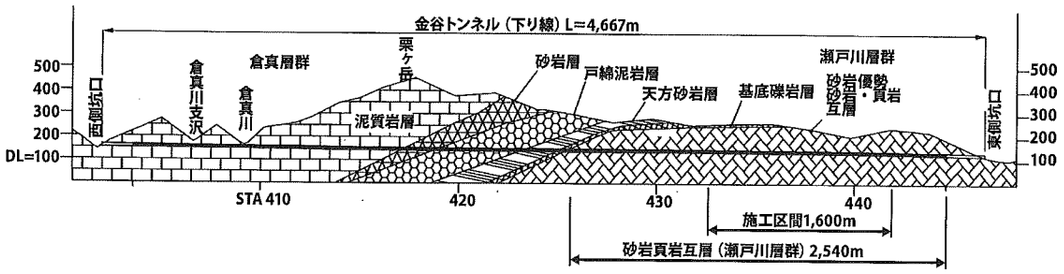


図-1　金谷トンネルの地質概要図

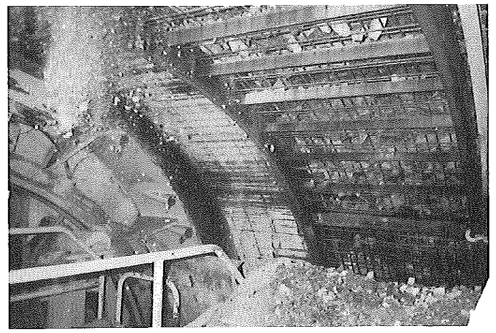


写真-1　崩落状況と簡易鋼製ライナー

イナーを採用している．

また，拡幅掘削時においても天端部の崩落に対する安全性を確保することを目的として，先進したTBM導坑内からケーブルボルトによる事前補強を施工することとした．このケーブルボルトは拡幅掘削時に坑壁側の一部が切断除去されるが，残りの部分が掘削後の支保工としても効果を発揮するならば，天端部のパターンボルトを省略することが可能となり，切羽の安定性に加え経済性をも追求できることになる．

2-2　ケーブルボルトに期待する支保効果

ケーブルボルトの特徴は，長尺のPC鋼より線をドラムに巻きつけて運搬することが可能で，限られた空間から長尺施工できることである．ケーブルボルトは降伏時のひずみが鉄筋ボルト鋼材（1％程度）と比べて4～5倍程度大きい．また，地山の変形追随性に優れるなどの特徴があり，とくに掘削前の岩盤の事前補強に効果があると考えられている．

金谷トンネルでは，対象とする地山が崩落の危険性の高い亀裂性地山であることから，吊下げ効果や縫付け効果に加えて，地山物性の改良効果や内圧効果，吹付け支持効果も期待している．

2-3　事前補強ケーブルボルトの設計

事前補強ケーブルボルトの設計にあたっては，ケーブルボルトの材料の選定，事前補強の範囲の決定，ベアリングプレートの定着治具の開発などを行ったうえで，支保パターンを決定した．

（1）　ケーブルボルトの材料の選定

ケーブルボルト材料の選定にあたっては，導坑内からの施工性とボルトとしての降伏荷重を考慮し，降伏荷重222kNの材料を採用することとした．**図-2**に詳細図を示す．

（2）　事前補強の範囲の決定

地山等級DIにおける標準設計の支保断面と，ケーブルボルトによる事前補強を行う支保断面を**図-3**に示す．

この事前補強のケーブルボルトが支保部材として十分に機能すれば，施工区間の天端における先受け工としてのフォアポーリング8本とパターンボルト5本を省略できることとなる．

（3）　ベアリングプレートの定着治具の開発

ケーブルボルト頭部のベアリングプレート定着

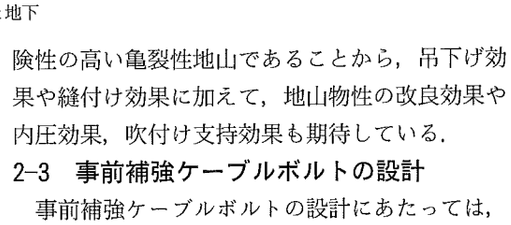


図-2　ケーブルボルトの詳細図

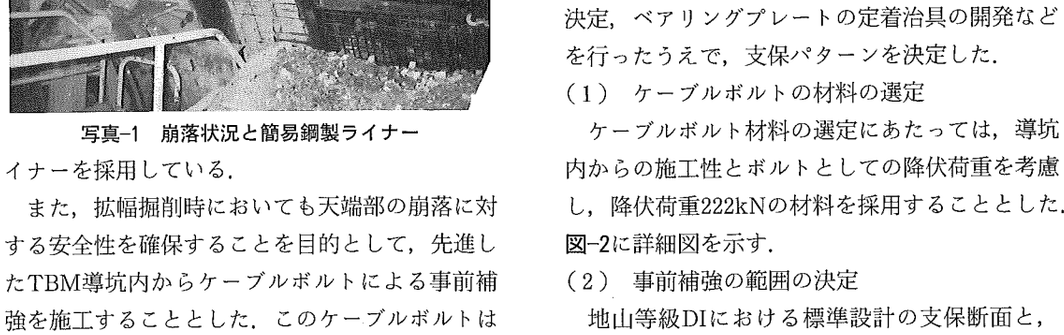


図-3　標準断面図と事前補強断面図との比較

治具の開発[2]にあたっては，ケーブルボルトの耐力相当の荷重に耐えられることと，ベアリングプレートの装着に，さほど時間を必要としないことを開発のコンセプトとした．

（4）　計測計画

事前補強ボルトの作用効果を確認するための計測は，補強あり区間と補強なし区間から各々3断面ずつ選定した．

断面の地質条件および事前補強の有無などの地山性状を**表-1**に示す．表から補強あり断面は補強なし断面に比べ，全般的に地山状況が悪いことがわかる．

表-1　計測断面の地山性状[1]

事前補強	距離程	地質	岩級	土かぶり（m）	TBM導坑切羽評価点	準岩盤強度（N/mm²）
なし	断面A 下り 442＋20	(h)-Ss	CL～CH	115	25.2	21.4
	断面C 下り 440＋80	h-Ss	CL～CH	94	26.2	41.2
	断面F 上り 443＋06	(h)-Ss	CL～CM	102	25.3	19.4
あり	断面B 下り 441＋70	h-Ss	CL～CH	116	24.7	22.5
	断面D 下り 439＋00	Ss-Sh～h-Ss	CL～CH	83	20.3	8.3
	断面E 上り 443＋51	h-Ss	CL～CM	103	20.7	16.0
備考	地質はいずれも古第三紀漸新世瀬戸川層群の砂岩・頁岩互層 (h)-Ss：砂岩優勢砂岩層厚50cm以上主体 h-Ss　：砂岩優勢砂岩層厚5～20cm以上主体 Ss-Sh　：砂岩・頁岩等量 準岩盤強度はTBM機械データから算定					

3　計　測　結　果

補強あり区間と補強なし区間の断面における，上半天端沈下と地中変位について以下に考察する．ここで，切羽の位置と天端沈下との関係は，一般に**図-4**のようになる．切羽距離は－が切羽到達前，＋が切羽到達後を示す．なお，計測結果を整理するにあたって，今回用いた用語および記号とその目的について**表-2**に整理した．ただし，断面EおよびFについては，天端沈下，内空変位，地中変位ともに上半掘削までのデータしか得られていない．

3-1　天端沈下

ケーブルボルトによる補強の有無が天端沈下に及ぼす影響を比較するために，先進導坑内に設置した地中変位計による切羽通過前後の天端沈下の推移を**図-5**に示した．

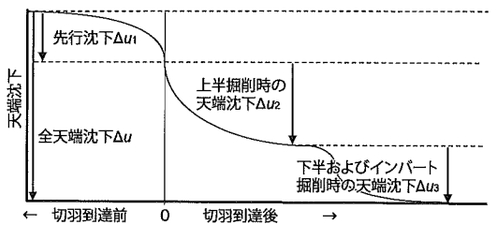


図-4　切羽の位置と天端沈下の関係

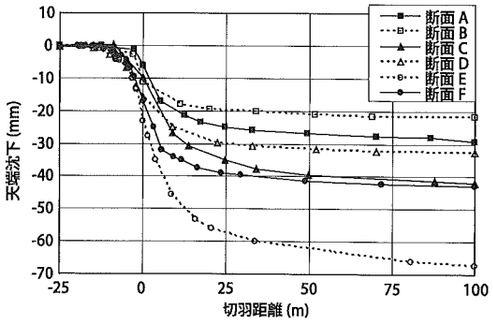


図-5　地中変位計による天端沈下の推移

表-2　用語の定義と使用目的および算出式

用　語	定　義	目　的	算出式	備　考
先行沈下	上半切羽到達時の天端沈下量	ケーブルボルトの補強の有無による切羽到達前の天端沈下の程度を把握する	Δu_1	uは天端沈下量
上半収束時先行沈下率	上半収束時の天端沈下に対する先行沈下の割合	上半掘削に伴うケーブルボルトによる天端沈下の抑制効果を把握する	$\Delta u_1/(\Delta u_1+\Delta u_2)$	

先行変位は切羽到達前15m程度から発生しはじめており，補強あり，補強なし区間ともに天端沈下の発生状況に大差はないようにみえる．

ただし，計測断面Eの天端沈下量が極端に大きくなっているが，**図-6**に示すように無次元化すると，他の断面と同じ変形モードとなっている．これは，計測断面Eでは表-1に示した地山物性より実際の地山物性が悪かったものと推測される．図-6は，上半掘削の影響がない切羽到達前25m地点を天端沈下率０％，上半掘削による天端沈下がほぼ収束した切羽到達後100m地点を天端沈下率100％としている．

そこで，上半切羽到達時および上半収束時の天端沈下を**表-3**にまとめた．前述の表-1に示したように，補強あり断面においては補強なし断面に比べて地山の状況は悪い．この結果，表-3に示す補強あり断面の上半切羽到達時の天端沈下(以下，「先行沈下」という)は，補強なし断面に比べて若干大きくなっている．ケーブルボルト補強の有無による上半収束時の天端沈下をみると，補強なし断面では上半収束時の先行沈下率は平均0.27となる．このことは，先行沈下も含めた上半収束時の天端沈下は，先行沈下の3.7倍に達していることになる．一方，補強あり断面では上半収束時の先行沈下率は平均0.44となり，先行沈下の2.3倍の天端沈下に留まっている．

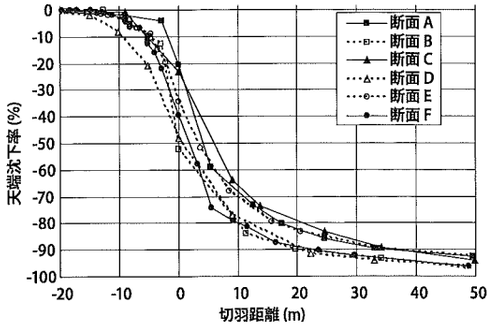


図-6　切羽到達前後の天端沈下の推移(無次元化)

表-3　地中変位計により計測された天端沈下量

補強の有無	距離程	切羽到達時	切羽到達～上半収束時		
		天端沈下(㎜) Δu_1	天端沈下(㎜) (Δu_2)	先行沈下率 $\Delta u_1/(\Delta u_1+\Delta u_2)$	先行沈下率平均
補強なし区間	断面A 442＋20	6.3	23.5	0.21	0.27
	断面C 440＋80	9.7	30.3	0.24	
	断面F 443＋06	16.7	31.7	0.35	
補強あり区間	断面B 441＋70	11.3	10.7	0.51	0.44
	断面D 439＋00	15.7	15.7	0.50	
	断面E 443＋51	23.1	48.7	0.32	

3-2　地中変位

断面A～Fにおける地中変位の分布を図-7～12に示す．地山の状況によって変位量は異なるが，図-7, 8の補強ありの断面B, Dでは拡幅掘削に伴うゆるみ範囲の広がりが，補強なし断面に比べ抑制されている．一方，図-10～12の補強なし断面A, C, Fでは先行変位は小さいものの，天端から肩部にかけて拡幅掘削に伴うゆるみ範囲が，深さ12m～1D(18m)程度まで広がっている様子がうかがえる．

ケーブルボルトは構造的な特徴から付着力や軸剛性が小さく，より線や定着治具のしまり代のために初期荷重に対する伸びが大きくなる特徴[3]がある．よって，後述する軸力の発生状況も考慮すると，事前補強ケーブルボルトはその効果を発揮するには多少の変形が必要となり，切羽到達前の先行変位を大きくは抑制しないものの，事前補強による地山の一体化によって，拡幅掘削後の天端のゆるみが拡大するのを抑制する効果が期待できる．これは3-1節で述べたように，事前補強があれば拡幅掘削後の天端沈下が抑制されていることと整合する．つまり，拡幅掘削に先立って打設されるケーブルボルトは，集中的な軸力が発生しにくく，平滑的で穏やかに補強効果を発揮できる特徴があるといえる．

また，断面B, Dに比べ比較的地山が悪い図-9の断面Eは，事前補強があるにもかかわらず上半収束時の天端沈下が71.8㎜と大きくなっている．しかし，ゆるみ範囲は深さ12m程度までで，補強なし断面に比べてゆるみ範囲は狭い．断面Eにおいては断面B, Dに比べて先行沈下率が小さく，事前補強の効果が十分発揮されていないように見受けられるが，この考察は4-4節「付着切れのメカニズム」で述べる．

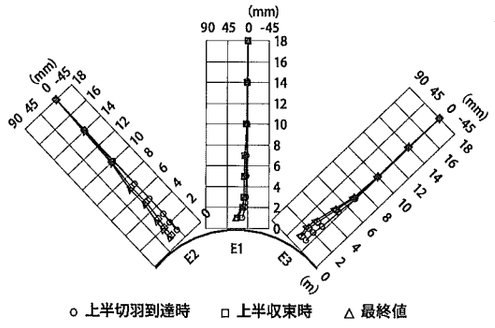


図-7　地中変位分布(断面B：補強あり)

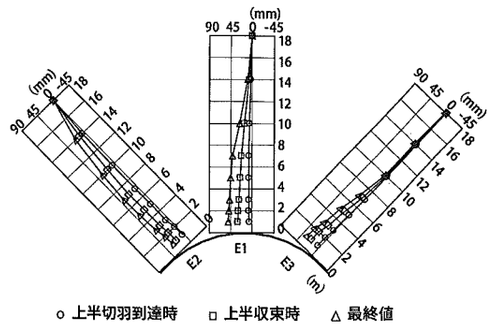


図-10　地中変位分布(断面A：補強なし)

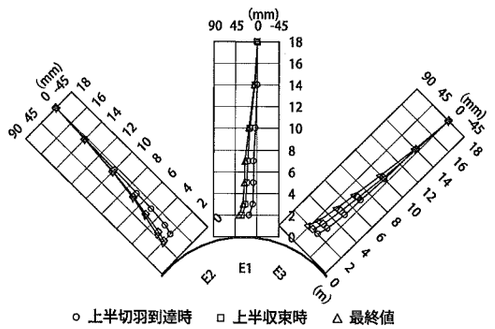


図-8　地中変位分布(断面D：補強あり)

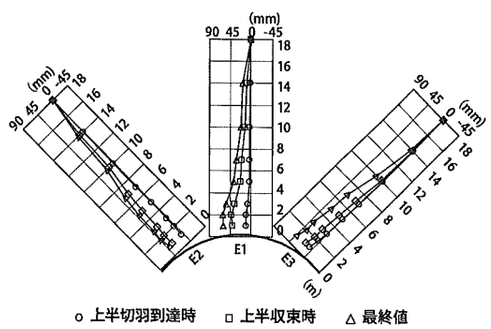


図-11　地中変位分布(断面C：補強なし)

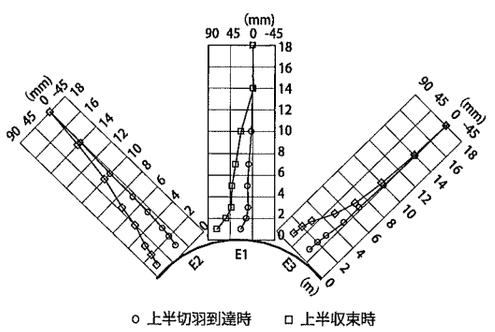


図-9　地中変位分布(断面E：補強あり)

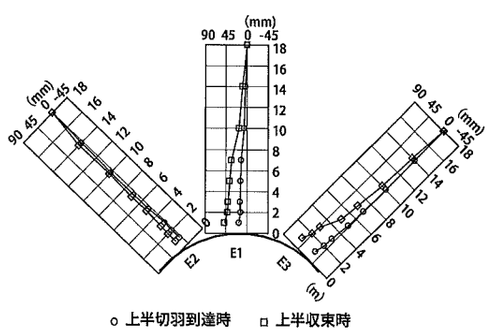


図-12　地中変位分布(断面F：補強なし)

4　作用効果の考察

本章では，計測結果をもとにケーブルボルトの補強の有無による変形挙動の相違の要因を推察したうえで，事前補強材料としてのケーブルボルトの作用効果について考察する．

4-1 地山状況とケーブルボルト軸力

ケーブルボルトに発生する軸力と地山との関連を把握するために，補強あり断面B, D, Eにおける地中変位計のボーリングデータからみた地山性状と，ケーブルボルト軸力との関係を図-13～15に示す．ボルトの位置および地質表示例については図-16を参照されたい．

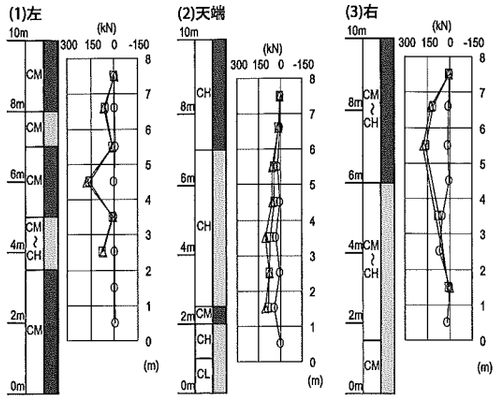


図-13 ケーブルボルト軸力と地質図(断面B)

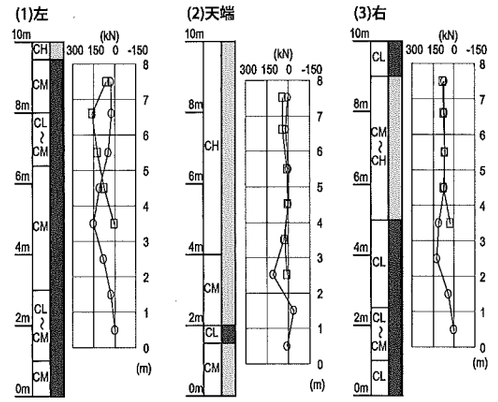


図-14 ケーブルボルト軸力と地質図(断面D)

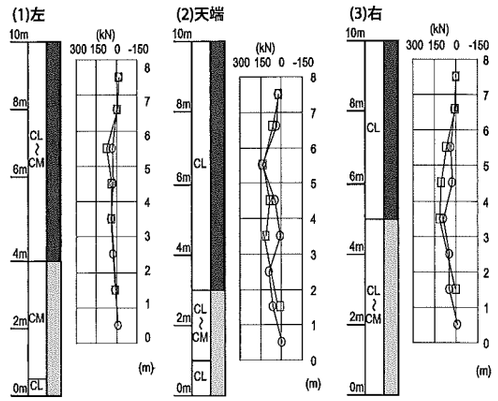


図-15 ケーブルボルト軸力と地質図(断面E)

図から，各ケーブルボルトには砂岩・頁岩互層，あるいは砂岩優勢層と砂岩・頁岩互層との境界付近の地山に比較的大きな軸力が発生していることがわかる．一方，砂岩優勢層のCH～CM級地山においてはケーブルボルトの軸力は比較的小さい．このことは拡幅掘削に伴って弾性係数の低い砂岩・頁岩互層の地山に他の区間より大きなひずみが発生することで，この箇所のケーブルボルトに軸力が生じていることになる．

唯一，断面Dの天端部においては砂岩優勢層のCM級地山(ボルト2.5m付近)で最大の軸力が発生している．この地点のボーリングデータをみると，ほぼ同一地点に亀裂の多い脆弱なCL級地山が10cm介在している．よって，ケーブルボルトは軸力が発生することで，ケーブルボルトがない場合に比べて地山のひずみの拡大を抑制していると考

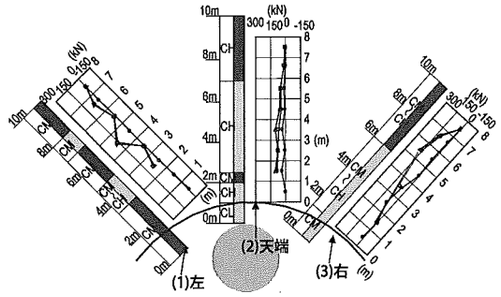


図-16 ボルト軸力と地質図の表示例

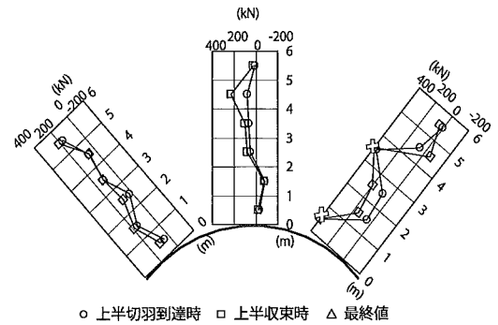


図-17 ロックボルト軸力分布(断面C：補強なし)

えることができる．

事前補強のない断面のロックボルトは，図-17に示すように一部区間で高い軸力が集中的に発生し，この傾向はさらに下半掘削でも拡大し，ボルトの局部的な降伏につながっている．

4-2 ケーブルボルト軸力と地山ひずみとの関係

断面B, DおよびEにおいて，もっとも大きな軸力が発生した箇所のケーブルボルトの軸力と地山ひずみとの関係を図-18～20に示す．しかし，断面Dについては上半拡幅掘削時期が予定よりも遅れたために，1.2Dまでのデータしか得られなかった．

断面B, Dにおいては，ひずみとケーブルボルトの軸力の増加がほぼ正の相関にあり，ケーブルボルトが地山の一体化に関して一定の効果を発揮していることがわかる．また，断面Bの天端部のケーブルボルトのように降伏軸力に達する前にひずみだけが増加し，軸力が伸びない現象が見られる．このような現象は大きな変位が発生した断面Eや，図-21に示すようにロックボルトにも見られる現象である．

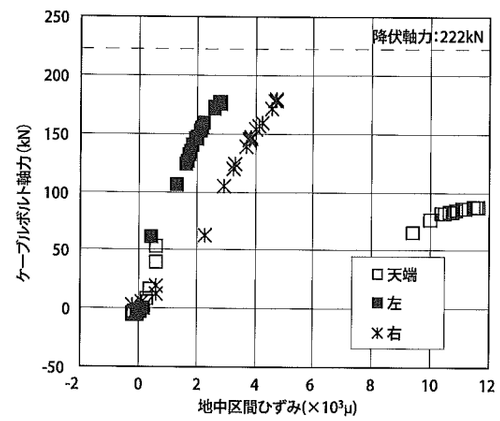


図-18 ケーブルボルト軸力と地中区間ひずみの関係(断面B)

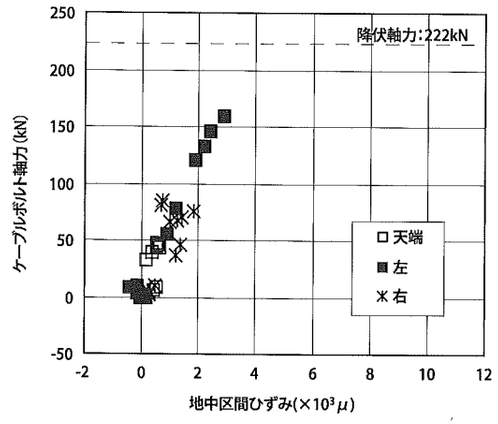


図-19 ケーブルボルト軸力と地中区間ひずみの関係(断面D)

このような現象を示したボルトの地山状況を図

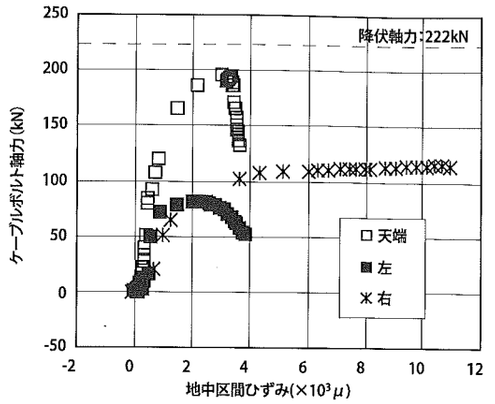


図-20 ケーブルボルト軸力と地中区間ひずみの関係(断面E)

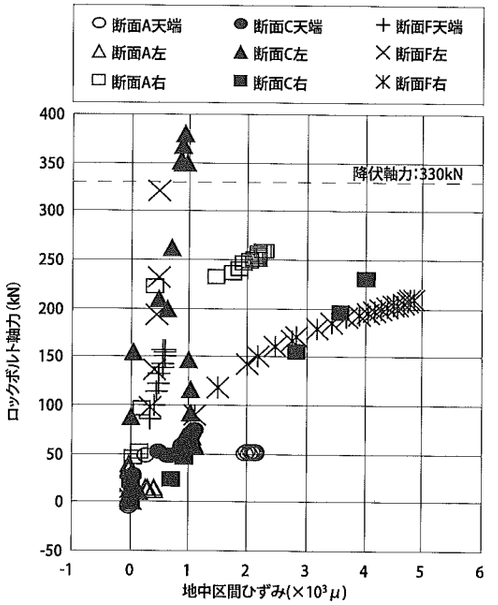


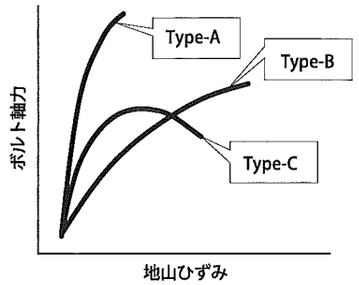
図-21 ロックボルト軸力と地中区間ひずみの関係(断面A，C，F)

−14〜16から見ると，断面Bに打設した天端部のケーブルボルトを除いてすべてCL級地山となっている．また，断面Bの天端部のケーブルボルト軸力の計測位置は坑壁から1.5mの地点となっており，発破掘削によりCL級地山と同程度に損傷していると推定される．

4-3　作用効果のタイプ別分類

今回の計測結果から，ケーブルボルトには地層の境界部あるいは弾性係数の低い砂岩・頁岩互層の地山で大きな軸力が発生し，拡幅掘削に伴う不連続面の変位を抑制する効果が確認された．このことから，前述したようにケーブルボルトは拡幅掘削に伴う地山の亀裂の開口やそれに伴うせん断方向のずれを抑制するような働きが期待できることが裏づけられる．

とくに，大きな変位が発生した断面Eにおいては，降伏耐力に達する前に軸力が低下している．このように軸力が低下する現象は付着力の高いロックボルトには見られないことから，比較的定着力の低い地山に打設されたケーブルボルトの特徴といえる．この現象を図−18〜20から得られたケーブルボルトと地山区間ひずみの関係をもとに分類すると，図−22のようになる．

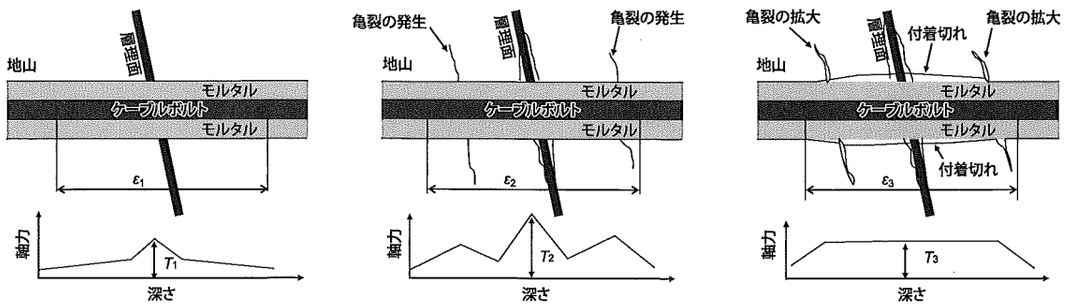


図−22　ボルト軸力と地山ひずみとのタイプ別分類

4-4　付着切れのメカニズム

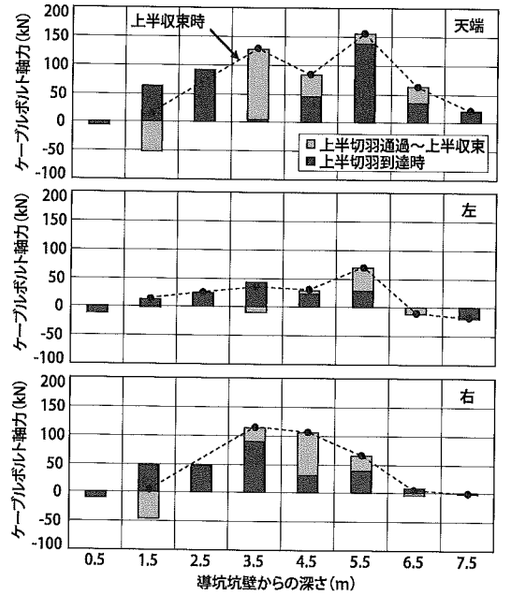
金谷トンネルのように，先進したTBM導坑内から事前補強が施工されている場合には，拡幅掘削によって掘削面に変位が発生する．これに伴って地山内では，まず層理面や亀裂の部分で，周辺の地山より大きなひずみが発生し，図−23(1)に示すようにケーブルボルトには局所的に大きな軸力が発生する．さらに，変位の進行に伴って周辺の地山にもひずみが拡大し，図−23(2)に示すように地山内には亀裂が発生して軸力は分散していく．このときの地山のひずみの大きさによっては，ケーブルボルトの軸力は地山との付着力の限界値まで近づいていく．しかし，地山の弾性係数が小さく，地山に十分な強度が期待できない場合には，図−23(3)に示すように地山とグラウトとの付着切れが発生することで，ケーブルボルトの軸力は低下していくことになる．このとき，ケーブルボルトの軸力は$T_2 > T_1, T_3$，地山の区間ひずみは$\varepsilon_1 < \varepsilon_2 < \varepsilon_3$の関係になる．ケーブルボルトが打設されていなければ，地山は降伏に至る可能性が高くなるが，ケーブルボルトの存在によって地山は降伏後も塑性的な挙動を示すことが期待できる．

金谷トンネルの検証断面のうち，もっとも大きな変位が発生した断面Eの天端部における，上半切羽到達時と上半収束時のケーブルボルト軸力の推移を図−24に示す．図から，上半切羽到達時には一部の区間に集中的な軸力が発生しているもの



（1）　地山ひずみの発生初期段階　　（2）　地山の亀裂発生段階　　（3）　付着切れの発生段階

図−23　ケーブルボルトの付着切れのイメージ図



図−24　ケーブルボルトの軸力推移(断面E)

の，上半収束時には次第に他の区間にも軸力が発生し，なだらかな分布となっていることがわかる．断面Eの地山は図−15に示すようにCL級の比率が多く，他の断面に比べても地山状況としては悪い．

このとき，ケーブルボルトと地山との間には図−23(3)のように付着切れが発生し，これに伴って図−24のように軸力が分散しているものと推察される．3-1節および3-2節で比較したように断面Eの事前補強の効果が十分確認されなかった要因はここにあると考えることができる．

このことは，図−23に示したように地山の区間ひずみの増大とともにケーブルボルト全体に軸力が分散しているものと思われる．軟岩地山に打設されたケーブルボルトには，不連続面の変位を抑制する効果に加えて，付着切れが発生した一部区間の軸力が分散することで地山全体の一体化を図り，延性特性の向上に寄与することが期待できると考えられる．

5　ま　と　め

金谷トンネルのように天端部の崩落が懸念される亀裂性地山においては，事前補強ケーブルボルトの施工によって，拡幅掘削に伴う地山のゆるみと天端沈下を抑制することが可能である．とくに，掘削断面が大きくなる大断面トンネルほど先進導坑の必要性が高まり，ケーブルボルトによる事前補強が有効に機能する．さらに，付着切れが起きるほどの大きな変位が発生して，ケーブルボルトの効果が低下すると予測される場合には，上半掘削時点で通常のパターンボルトより耐力や本数を低減したボルトを打設することで，トンネルの安定が図れるものと思われる．

今回の事前補強の施工によって得られた知見を以下に要約する．

① 事前補強ケーブルボルトは，より線という構造的な特徴から上半切羽到達前の先行変位を大きく抑制することはないが，拡幅掘削後の天端沈下の拡大を抑制する効果がある．

② 掘削断面が大きくなる大断面トンネルでは，拡幅掘削に伴う天端部の崩落防止と天端沈下抑制を目的として，先進導坑内からの事前補強ケーブルボルトが有効に機能する．

③ ケーブルボルトはこれまで硬岩〜中硬岩地山で多く使用されてきていたが，今回の施工によって亀裂の多い軟岩地山においても十分な事前補強効果が期待できることがわかった．

④ ケーブルボルトの一部は付着切れを起こしながらも，ベアリングプレートの定着治具の装着によって，内圧効果や吹付け支持などの支保機能を期待できる．さらに，発生したケーブルボルトの軸力に余裕があれば，掘削後の支保部材としても有効に活用できる．

6　お　わ　り　に

ケーブルボルトは，これまで地下発電所や新東名の具体化に伴って，主に硬岩〜中硬岩地山を対象に研究が進められてきた．しかし，これらの事業が一段落したことや，軟岩地山においては実際の現場を活用した研究が十分に行われなかったことから，軟岩地山における作用効果については，十分に解明されていなかった．

ここでは，大断面トンネルにおける先進TBM導坑内からの事前補強ケーブルボルトの作用効果

について，金谷トンネルで得られた計測データをもとに考察を加えた．その結果，亀裂性地山への適用も可能であることが確認されるとともに，ケーブルボルトの作用効果のメカニズムが解明できた．今回の計測結果が，今後のトンネル工事における安全性や経済性，施工性の確保に向けた一つの選択肢になるとともに，これまで整備された既設トンネルの改築・拡幅に応用可能な新たな技術開発につながることを期待したい．

参　考　文　献

1) 八木弘・浅野剛・安井義則・土門剛・西村和夫：大断面トンネルにおける事前補強ケーブルボルトの作用効果に関する検証，土木学会トンネル論文集，F1（トンネル工学），Vol.69，No.1，pp.10-28，2013.
2) ケーブルボルトの定着装置，特許第3898557号，2007.
3) 日本規格協会：JIS G 3586 PC鋼線及びPC鋼より線解説，p.11，2008.

■図書案内

地　下　水　の　科　学　— 全3巻 —

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

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

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

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

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

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

連載講座

トンネル技術者のための地相入門(14)

—地相をよく観て路線選定を行う(とくに水問題を対象に)—

「地相入門」連載講座小委員会

① はじめに

トンネル十訓の「地相は人相　山の性状」という教えが大好きで，これを連載に取り上げることを提案した筆者自身の業務経験の中から，地相を観ることの大切さを事例を交えつつ記述する．なお，トンネル湧水とそれに伴う減・渇水問題を主務としてきた関係上その観点からの事例が多く，かつ，前号までの表現形式と異なったものとなることを前もって断っておく．

② トンネル路線選定においては広域に地相をみる必要がある

まず最初に，筆者自身が路線選定のあり方に関し，先輩達から教わり，今なお強烈な印象として残っている事例の中から2つを紹介する．

2-1　山陽新幹線三原・広島間[1)]

三原・広島間には標高200m前後の西条盆地(東広島市)とそれを囲む山地が難関として控えている(図-1)．JR山陽本線の瀬野・八本松間の急こう配区間が在来線における難所とされていることからもわかるとおり，山陽新幹線の路線選定においても，盆地へどのように上り下りするかが最大の問題であった．三原から西条盆地までの路線は，比較的簡単に決めることができたが，盆地から広島までは種々検討の結果，最終的に最短路線よりは長いが，工期短縮のための作業坑の設置が可能で，環境問題が少ないと考えられる盆地の南側を迂回する路線が選ばれた．この路線内で最長の安芸トンネル(13,030m)の場合，中間部に3つの斜坑(作業坑)を擁する5工区に分割して施工された．とくに，斜坑のある工区は早期に着工ならびに坑内から出てくる岩石ずりの処理などが容易だったこともあり，トンネル全体の工事はたいしたトラブルもなく，所定の工期内で順調に進んだ．この路線選定の責任者は，「新トンネル十訓」提案者の斉藤徹氏で，盆地周辺をくまなく踏査し，全貌を把握したうえで大筋を決めていくという手法をとっておられた．これがトンネル路線選定の極意なんだと強烈に印象づけられた．

2-2　長野新幹線高崎・軽井沢間[1),2)]

群馬・長野県境の高崎・軽井沢間にはアプト式鉄道とか峠の釜飯で有名な碓氷峠が難所として控えている(図-2)．この区間は直線距離で約34km，標高差は約850mであり，単純には25‰の片こう配で上っていけることになる．しかし，地形を考えれば現実的ではないことは一目瞭然で，在来線は横川まで碓井川沿いに上り，横川から軽井沢までの峠を66.7‰という急こう配で越えていた．

高崎・軽井沢間を従来の新幹線の規格である最急こう配12‰で軽井沢まで上ることを考えると，最低71km(850m/12‰)を要することになる．これではあまりに遠回りになりすぎる．ならば，大深度地下駅という考えもあるが，非現実的ということで，高崎から佐久へ直行させる方向で計画が進んでいたという．しかし，それでは新幹線の価

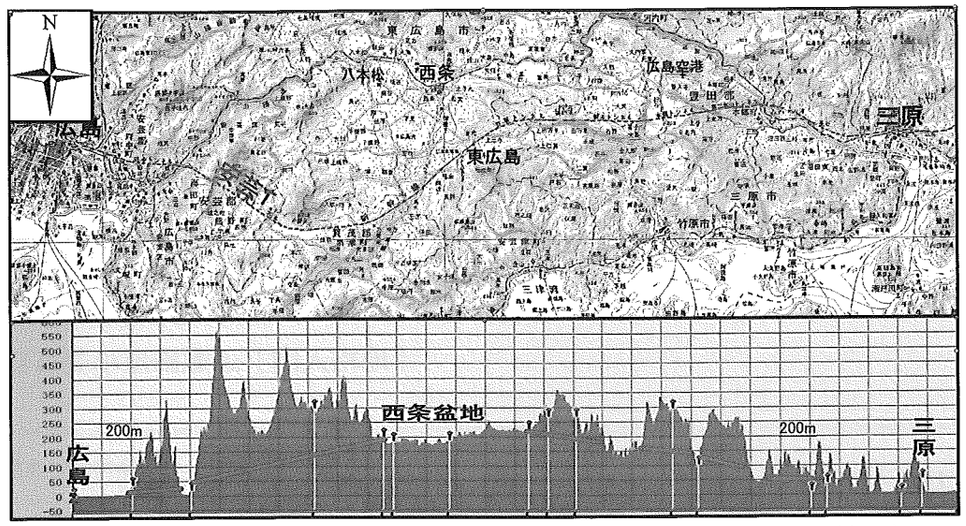


図-1　山陽新幹線三原・広島約60km間の平面・縦断線形(縦断図の目盛りは横2km，縦50m)

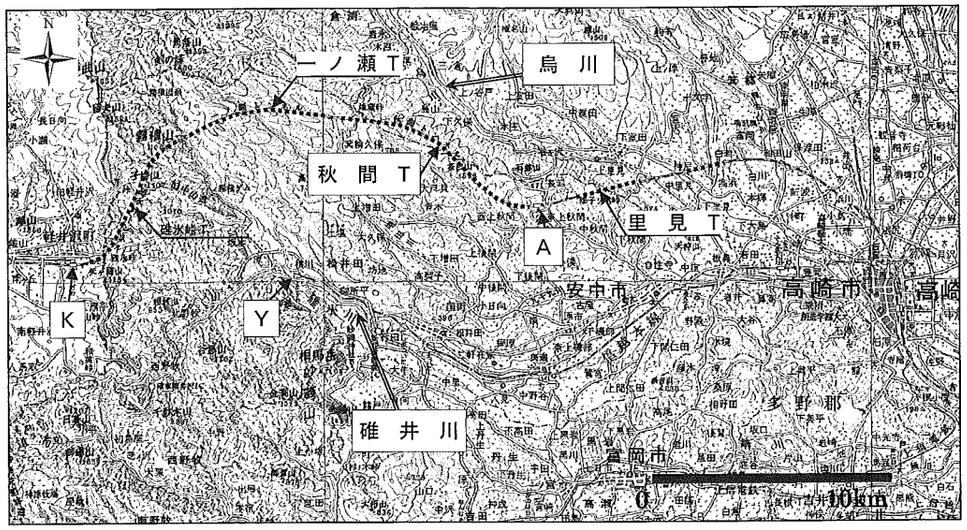


図-2　長野新幹線高崎・軽井沢間の路線概要　20万分1

値が半減するという国鉄の意見があり，当時鉄道建設公団総裁であった仁杉巌氏(後に，国鉄総裁)が，軽井沢地上駅を可能にする路線はないか(横川駅の高さに相当するものをもっと高崎に寄った場所に選べないか？)との考えで地形図をもとに種々検討しているうちに，30‰の最急こう配を許容するならば，図-2に示す，高崎から北へ榛名山の南山麓を目指し，そこから西へ曲がりつつ4本の短いトンネルを経て烏川を渡り，そこから碓氷川との間に挟まれた安中・秋間の丘陵部に取り付き，里見トンネル，安中榛名駅(図-2にAで表示)，秋間・一ノ瀬・碓氷峠トンネルと上り続け，軽井沢駅(図-2にKで表示)へ至る総延長41.8km(在来線と同程度)の路線を発見したというわけである．もちろん，仁杉氏の要請により30‰の急こう配を上り下りできる車両を開発できたことが背景にあるが，この英断がなければ，長野新幹線軽井沢駅はなく，長野新幹線の成功もなかったかもしれない．これぞ，大局的に地相を観るということになるのだと思ったものだ．

2-3　九州新幹線筑紫トンネル[1),3),4)]

筆者は旧国鉄の時代に，九州新幹線鹿児島ルートのうち，福岡・佐賀県境に跨る背振山地を南北に貫く筑紫トンネルの路線選定に深くかかわった．当初は，直行路線Aが本命とされていた(図-3)．しかし，福岡県下の山陽新幹線福岡トンネルにおいて，国会にまで取り上げられることとなった大量湧水とそれに伴う減・渇水問題を体験していた筆者は，A案の線形は平面・縦断ともに素晴らしいのだが，福岡市を始めとする周辺自治体の水瓶ともいえる背振山地のうち，牛頸・山神などのダム計画がある牛頸山周辺，水利用がけっこうなされている平等寺の盆地付近や河内貯水池付近を通るため，大量の湧水と，それに伴う減・渇水問題で難工事となることが必至と確信した．そこで，水利用が少ない地域を，できるだけ低い水頭で通過するという前提でBとCの比較路線を追加し，それらを含む背振山地の広い範囲の地相(地質・地形だけでなく，水・土地利用，道路事情など)を広域に調査・検討を行うことにした．

そうしているうちに，C路線に仁杉氏が高崎・軽井沢間に適用されたような最急こう配を採用すれば，水問題を小さくできる可能性のある平面・縦断形を見つけ出した．すなわち，西側(那珂川水系側)に迂回することを前提に，車両基地付近から35‰で一気に上げつつトンネルに入り，県境の九千部山の直下付近までは5‰で上り，県境から先を35‰で一気に下って新鳥栖駅に抜けるという線形である．上記は最終微調整の結果であるが，筆者が提案した考えが大略採用された．

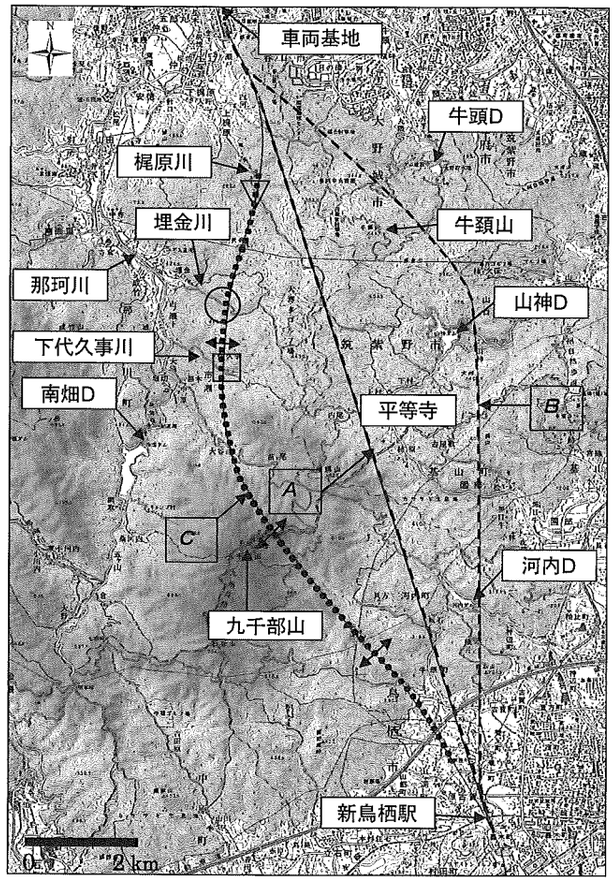


図-3　九州新幹線筑紫トンネル比較路線平面図(5万分1)

筑紫トンネル(11,935m)は北から，①梶原，②南畑，③河内，④山浦の4工区に分割して施工された(図-3の両端矢印が工区境)．施工段階および供用後の段階で，トンネル湧水にかかわる施工上の問題や水文環境への影響が，期待するような効果となって現れるかを見守った．その結果，最大湧水量は佐賀県側の③工区における10m³/minであったが，他の工区はそれより，かなり少量であり，水利用への問題は驚くほど軽微なもので済んだ．それは，当路線の平面・縦断形との関係で下記①，②のような利点を発揮できたからであると考える．

① 図-3の□印は那珂川支流の下代久事川との交差付近である．南側の佐賀県境までを担当する南畑工区は，この沢筋から上りこう配(26.9‰)の横坑(延長741m)で本坑へ取り付けることができた．本坑に湧出する地下水を横坑から自然流下させることができたため，下流側の水利用に対する影響はほとんどみられなかった．

② 図-3の○印は，那珂川支流の埋金川流域との交差付近である．その上

流側にはゴルフ場がある．トンネル交差部での土かぶりは50m程度であるが，下流側へ急こう配で下っているため，河道の高さはすぐに施工基面より下になってしまう．そのこともあって，交差部付近では坑内湧水は非常に少なかった．結果的にこの流域でも渇水問題は起きなかった．

③　図-3の▽印は梶原川とトンネルの交差部である．交差部付近の詳細測量の結果，線路高さに対する河床高さの余裕があまりなかったため，交差部より下流側に堰堤を設け，その背後に明かり巻きトンネルを築造して，河川水はトンネルの上を流すような構造とした．

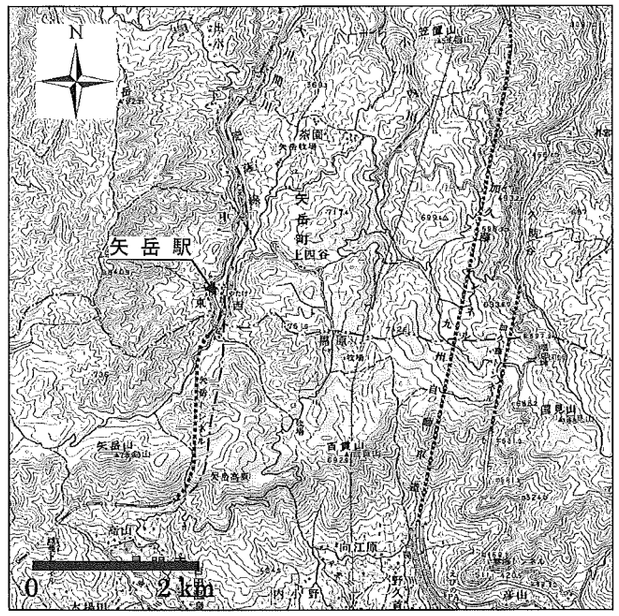


図-4　加久藤カルデラ壁を貫く3トンネル(5万分1)　左よりJR矢岳，九州縦貫道加久藤，国道221号加久藤の各トンネル

③ カルデラ付近のトンネル

カルデラとは，本連載(11)で記述したとおり，火山の大噴火が原因で火山中央部が広域に陥没し，それによってできる円形状の広い凹地をいう．

ここでは，九州の霧島および阿蘇火山にかかわるカルデラ付近のトンネルに関し，本連載(11)の事例紹介と重なる部分があるが，筆者の経験を記述する．

3-1　JR肥薩線矢岳トンネル，九州縦貫道および国道221号の加久藤トンネル―河川直下はできるだけ直交して横断―

九州の熊本・鹿児島・宮崎三県境にまたがる霧島火山の北西部，加久藤(かくとう)カルデラ外輪山付近には3本のトンネルがある(**図-4**，本連載(11)図-15)．

JR九州の肥薩線にある矢岳トンネル(1911年開業/2,097m)は，大量の湧水で難航したトンネルとして有名であるが，現在でも季節的変動はあるものの20m³/min もの大量湧水がある．矢岳駅の南側でトンネルに入り，すぐに球磨川支流(大川間川)の直下を小さな土かぶりで約700m間にわたって斜め横断している．上記の大量湧水は，この横断部からの河川水流入であり，当トンネル最大の難航はこの横断部だったと思われる．

現時点で考えると，矢岳駅および南側坑口は固定したとして，図中に一点鎖線で示したような，東側の沢の下を直に渡って尾根に早く取り付け，南側坑口にすりつけるような路線にしておけば，大量湧水に起因する難工事は免れ，かつ線形も良くなったのではと思うが，いかがだろう．

東側の加久藤峠付近には道路トンネルが2本ある．前後にループ橋をもった国道221号加久藤トンネル(1972年開業/1,809m)はFL≒580mで，地下水面上にあるため坑内水は全くない．国道トンネルより約250m下位にある九州縦貫道加久藤トンネル(2004年上下線全通/6,260，6,255m)はカルデラ外壁に近い宮崎県側の火山岩や火山噴出物層から噴き出す大量の地下水で難航した．両トンネルの湧水量の差はカルデラ外壁部の地下水面とトンネル施工基面の高さ関係に起因している．後知恵になるが，南坑口を平面形なども考慮しつつ，もう少し距離を稼いで数十mでも高い位置に設けることができていたら，これほどの難工事にならなかったのではと思うが，いかがだろう．

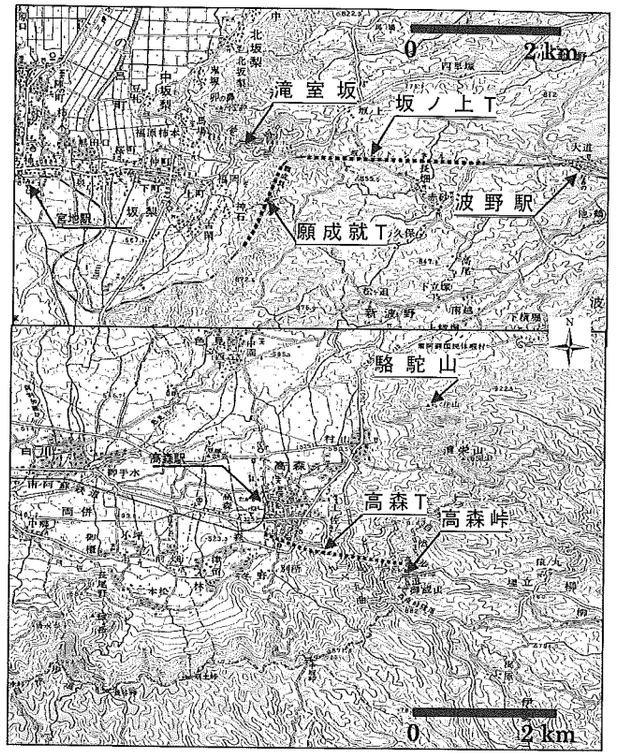


図-5　阿蘇カルデラ外輪山を貫くトンネル(5万分1)
上図はJR豊肥線宮地・波野間の願成就・坂ノ上トンネル
下図は高千穂線高森トンネル(建設を途中で断念)

3-2　JR豊肥線坂ノ上トンネル，高森湧水トンネル公園[5),6)]

阿蘇火山の大噴出で形成されたカルデラ外壁部付近を貫くトンネル群を**図-5**に2葉示す．

上の1葉はJR豊肥線の宮地・波野(なみの)間の平面図である．宮地駅を大分方面に出た豊肥線はいったん南へ下がって外輪山麓に取り付いた後，大きく向きを北東へ変えて外輪山壁斜面を徐々に上りこう配で高度を稼ぎつつ願成就(がんじょうじゅ)トンネルを経て滝室坂の手前付近に至る．そこから進路を東へ変え，標高710m付近で坂ノ上トンネル(2,283m)に入り25‰で上り詰めた後，波野駅に至る．

当線区は1990年7月の豪雨災害で斜面の崩壊，築堤・橋梁の流失で長期に不通となるなど，昔からの災害多発区間であるが，2012年7月の集中豪雨で坂ノ上トンネル坑内の1.5kmものレールが西坑口に吐き出されるという信じられない災害があり(net情報)，24年ぶりの不通状態となっている(2013年9月開通予定)．

外輪山壁直近に沿う願成就トンネルは地下水面よりはるか上位にあるため，坑内湧水は全くない．坂ノ上トンネルも宮地駅より180m近く高度を上げ，土かぶりも最大で100m程度でしかないこともあって坑内湧水量は少ないが，外輪山の上面近くに広域に堆積している軽石層に大雨時の雨水が貯留され，それがカルデラ形成に起因してできたカルデラ壁に平行する縦亀裂から浸透・流下し，この亀裂を串刺しに貫く坂ノ上トンネルに大量に流れ込む結果，降雨に敏感に反応するトンネルとなっている．

個人的には，レール吐き出し事故は時間雨量100㎜が4時間連続，前後8時間の積算降水量が500㎜という異常な集中豪雨に起因した坑内水量の急激な増加に因るものと考える．

下の1葉および本連載(11)図-13は南阿蘇の高森町から宮崎県延岡市を結ぶ高千穂線高森トンネル(6,480m/1973年着工)の西部分の平面図である．

高森トンネルは豊肥線のようにこう配を稼ぎつつ高い位置で外輪山を貫くということをせず，カルデラ底からいきなりトンネルとしたため，掘進とともに湧水が増え続け，1975年2月には坑口から2,055mで36m³/min の大量出水となった．これにより町内の多数の湧泉が枯渇し，工事を一時中断したが，そのうち，高千穂線建設計画自体が廃止となった．その後，トンネル550mを含む周辺はトンネル湧水を活用した親水公園として整備され，一般に開放されている．

駱駝山(らくだやま)周辺などの外輪山内壁斜面の等高線変化をよく観れば，外輪山壁に平行する数条の同心円状鞍部列の存在に気づくと思う．トンネル湧水はこれら鞍部列に胚胎した地下水由来のものであり，枯渇した湧泉も，この鞍部列から湧出していたものである．

④ 火山山麓を貫くトンネル

火山国日本には，火山山麓を貫くトンネルが多数ある．これらのトンネルは丹那トンネルを筆頭に大量の湧水とか，熱水や温泉で変質した不良地山に起因した膨圧で難工事となったトンネルがかなりある．その中から数例を紹介する．なお，丹那トンネルに関しては筆者の本誌への既報[7]や，本連載(11)の事例紹介もあるので省略する．

4-1　JR山陰本線夜久野トンネル―トンネルを併設するときは地下水の下流側上位に―[1),6)]

図-6に山陰本線京都・兵庫県境にある夜久野(やくの)トンネル(単線並列トンネル/旧：1,287m，新：1,517m)を示す．南側の旧トンネルは明治末，北側の新トンネルは昭和末の竣工である．トンネルの北側には半径600m±で比高差100m余りの円錐状の小さな宝山(標高349m)がある．形状から火山では？　と推察可能であろう．宝山の南東側に広がる夜久野原は宝山から流れ出た玄武岩溶岩からなる台地であり，トンネルはその台地を貫いている．

旧トンネルの北側に最大150m離れで計画された新トンネルに関し相談を受けた．現地調査の結果，

① 旧トンネルには2～3 m³/min の恒常湧水がある

② 計画路線の近くには地元が灌漑や水道水源とする小さな湧水が数箇所ある

③ 旧トンネルの横に新トンネルを併設する場合，地下水流の下流側上位にすると，旧トンネルの水抜き効果で新トンネルは楽に施工できるという経験事例がある[5)]

ことをもとに，②の水源の枯渇が心配なら，図中矢印で示した想定地下水流の下流側となる在来トンネルの南側に路線を変更することを勧めた．しかし，残念ながら諸般の理由で当初計画どおりの路線となった．

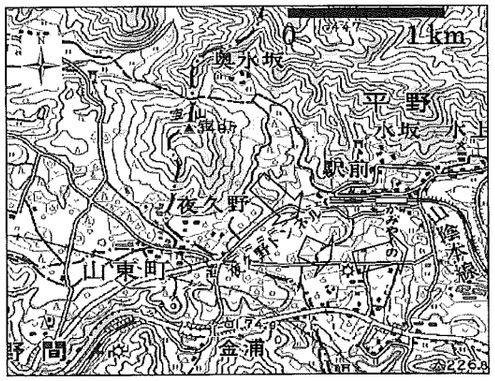


図-6　JR山陰本線京都・兵庫県境を貫く夜久野トンネル(5万分1)

トンネルは西側坑口から片押しで掘削開始し，順調に玄武岩中を掘り進んだ．まもなく東坑口付近に分布する頁岩層に到達すると予定していたころ，層境で突然にアンツーカー色をしたスコリア(玄武岩質の軽石)層にぶち当たり大量の出水に遭遇した．この出水によって当初の懸念が現実のものとなり，心配していた水源だけでなく，宝山の北部まで渇水対策をとらざるを得なくなった．旧トンネルにはスコリア層はなく，宝山火山噴出によるスコリア層が新トンネル付近から東，北側の火山山麓(基盤をなす地質時代の古い頁岩からなる山の裾)に沿って円弧帯状に分布し，これが帯水層となっていたと考えねば説明できない現象であった．路線選定上やむを得なかったとは思いつつも，悔いを感じるトンネルとなった．

4-2　上越新幹線中山トンネル―盆地直下や，連続する鞍部地形直下のトンネルは要注意―

本連載(1)の2-2(5)で紹介した榛名(はるな)・中山トンネルのうち，後者についてもう少し記述する．図-7に示したように，同トンネルは子持山(こもちやま)と小野子山(おのこやま)が作る鞍部およびその北にある中山地区の盆地(図中二重破線円部分)の直下を通過している．鞍部地形や盆地地形は，湧水や地圧問題を引き起こしやすいので，トンネルはできるだけその直下に選定しない方が良いと思っている．初回に説明した高坂先輩のお話はそういった過去の経験則をもとにしたものだといえる．

当トンネルは大変な難工事となったわけだが，最終的には，東側に良好な閃緑ひん岩が分布して

いることがわかり，トンネル内に異例ともいえる半径2kmの曲線が入った路線に変更(図-7の二重線楕円部分)して竣工させている(これもまた仁杉氏の決断である)．

中山トンネルの経験から言えることは，鞍部地形や盆地地形であっても，すべてが悪いというわけではないということである．最大の問題となった不良地質は矢木沢層と呼ばれる軽石層であって，大量で高圧の地下水を胚胎していた．これまた後知恵ではあるが，広域を地形・地質調査の対象としながら，矢木沢層の分布域を極力避ける路線が検討できていたら，鞍部の東側，高山盆地の東縁を通す路線(例えば，図-7中に一点鎖線で示す)が可能だったのかもしれない．

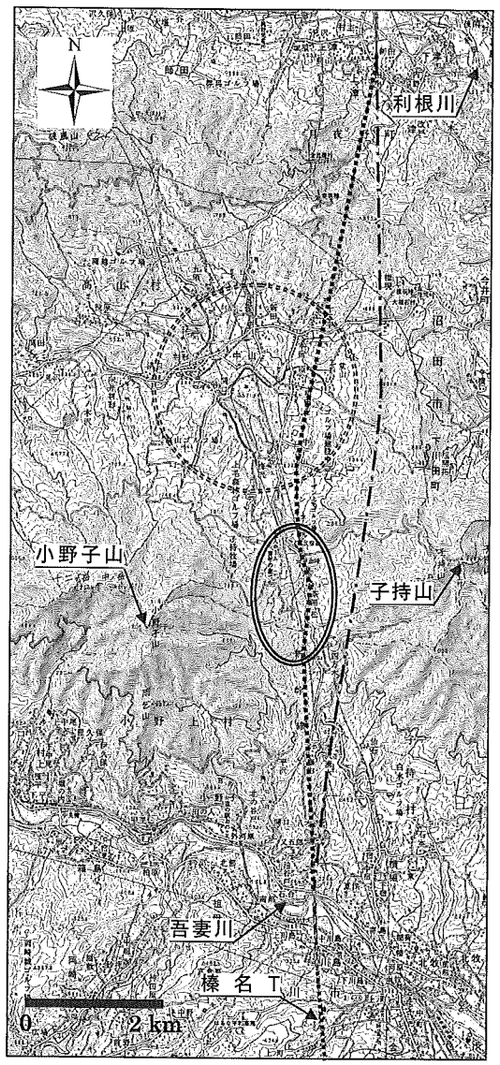


図-7　上越新幹線中山トンネル付近平面図(5万分1)

【放射状の水系模様】榛名・中山トンネル周辺には赤城山，榛名山，子持山，小野子山という4つの火山がある．そして，これら火山の特徴として，山頂から放射状に谷筋(水系模様)が発達していること，さらに，赤城山は他の山と比較して谷の密度や谷の深さが浅いことに気付くであろう(本連載(1)の図-4参照)．

鈴木[9)]は箱根火山の研究から，開析度の違いで火山の新旧がわかるとしている．したがって，赤城山とほかの山の開析度の違いは開析・浸食を受けた時間の違いによるもので，赤城山がこの中では透水性の良い火山灰などが十分に残った新しい火山であると考えることができるのである．富士山とその近傍の，箱根山，愛鷹山(あしたかやま)の3火山を含む範囲の地形図を放射状の水系模様に着目して観れば火山の新旧判別は一目瞭然であろう．また，先に紹介した図-5の下1葉にも，阿蘇外輪山の東・南斜面に同様な水系模様を観ることができる．

こういった放射状の水系模様は火山特有のものであり，こういった水系模様が地図上で確認できたとしたら，それは火山性の地形・地質であると考えて良い(本連載(11) 2-1節参照)．

4-3　九州新幹線田原坂付近のトンネル群

筆者が国鉄時代にかかわった新玉名・熊本間の九州新幹線は，在来の鹿児島本線に沿う形で，西南戦争の激戦地として有名な田原坂(たばるざか)付近を通過している(図-8)．田原坂は阿蘇火山噴出になる溶結凝灰岩や火山灰(ヨナ)などが阿蘇周辺に広域に積もって形成された台地の西裾部にあたる．その西側には有明海に面した金峰山(きんぽうざん)や二ノ岳，三ノ岳などの古い火山列が広がっている．両者の地質境界は本連載(12)の新田原坂トンネルの事例に添付の地形図(図-13)からも明瞭である．在来線は複線・電化に際し，溶結凝灰岩台地の下を田原坂トンネル(940m/単線)で貫いている．

新幹線は当初，もっと西側の上記旧火山群中心

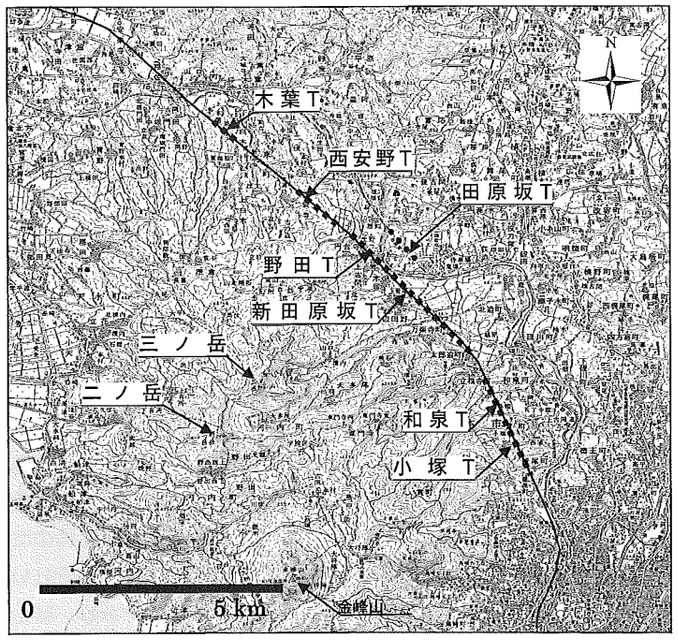


図-8　九州新幹線新田原坂トンネル付近平面図(5万分1)

部を長いトンネルで貫く計画であった．しかし，現地踏査で，これら火山体の山麓部には随所に湧水(泉)があり，直行案では，これら湧水群を枯渇させ，大きな環境問題になるおそれがあると考え，在来線に近い側で，湧泉の水頭よりも高い施工基面をもつ路線を探した．その結果が新田原坂トンネル(2,940m)ほか起点方から順に，木葉(760m)，西安野(150m)，野田(1,691m)，和泉(1,225m)，小塚(1,340m)の5トンネルをもつ現在の路線である(図-8)．

新田原坂トンネルの最大土かぶりは約30mで，約700m東北側を平行する在来線田原坂トンネルと同様に溶結凝灰岩の中にあり[10]，渇水問題となるような湧水はなかった(本連載(12)参照)．ほかの5トンネルも同様に，小土かぶりのトンネルという問題はあった[11]が，水環境問題は回避できた．

⑤　帯水した非固結の傾斜層を貫くトンネル

傾斜層がつくる流れ盤・受け盤地形については，本連載(3)と(6)で事例を交えつつ紹介した．ここでは，筆者の経験から，地形・地質情報以外に施工計画の知識も併せてトンネルの計画をたてる必要があることを紹介する．

5-1　上越新幹線浦佐トンネル—帯水砂層の受け盤方向への掘削は注意が必要—[12]

一般的には，水のない地盤の切羽安定性に関しては，受け盤の方が良く，流れ盤は不安定となりやすいと言われている．しかし，水をもった砂泥互層においてはこれが逆となることが多い．受け盤の場合，難・不透水層の存在が，切羽後方に高い水頭が残った状態で切羽が進むという悪条件をつくることになり，天端崩壊や流砂を起こしやすい．このような地質条件の場合，たとえ突っ込み施工であっても，流れ盤となる方向に切羽を進める方が安全なことがよくある．筆者は，帯水した砂泥互層を掘削する場合，「流れ盤は天国，受け盤は地獄」になると常々いっているが，上越新幹線浦佐・長岡駅間にある浦佐(L=6,087m)，堀之内(L=3,300m)の2トンネルはこの典型的な例といえる．

図-9は浦佐トンネル付近の地形図である．これまでの連載をとおして，地形図から全体的に北へ緩く傾斜するケスタ(cuesta：本連載(1)2-2節(6)参照)であることと，浦佐国際スキー場に見られる遷緩線はNNEの栃原峠へ伸びた断層では？といったことを読み取れると思う．

図-10は竣工後に作成された全体の概略地質縦断図である．

浦佐トンネルは，南・中・北の3工区に分けて施工が進められた．延長1,370mの南工区は坑口から約800mのところに約100mの横坑を設けて施工している．崖錐堆積物や埋木が混じった地すべり崩土とも思われる地質が混在する砂礫層中の施工で，それなりの苦労をしながらも3年以内で掘削を完了している．また，北坑口から掘削を始めた2,120mの北工区は掘削を3年以内で順調に終えている．

しかし，延長2,600mの中工区は貫通に6.5年を要する難工事となってしまった(図-11)．中工区は，上越線八色(やいろ)駅近くを流れる境川の上流部から約560mの横坑により南坑口から約2.2km地点で本坑に到達させ，そこから起点・終点両方へ向けて掘削をしている．起点方へ約800mの施工は，横坑の本坑交点付近で遭遇した断層破砕帯(図-9の？印付き破線で示した推定断層)の突破に時間を要している以外は南工区と同様の不良地山で難航したものの，大きな問題とはなっていない．

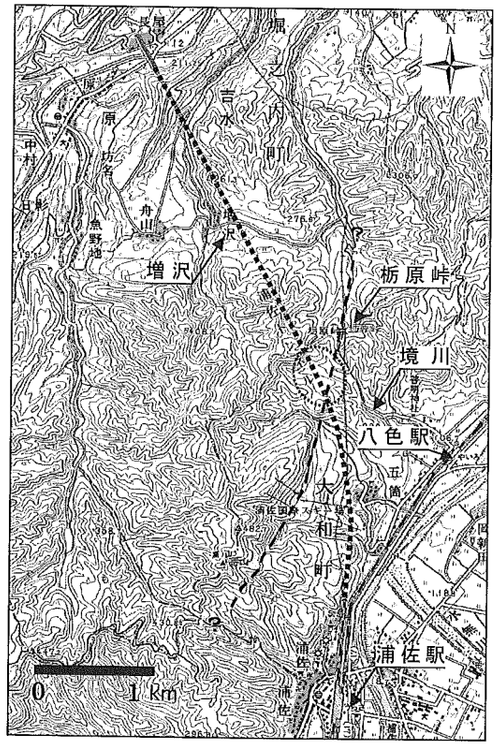


図-9　上越新幹線浦佐トンネル付近平面図(5万分1)

最大の難航は終点方への1,800m間であった．そのうちの2/3にあたる約1,200mは掘削完了していた北工区側からの応援で，大きなトラブルはなくおおむね2.5年で終えている．結局は1/3にあたる600m間(図-9点線楕円，図-10白抜き矢印部)の掘削が湧水を伴った土砂の流出や切羽崩壊で難渋し，その突破に約6年を要したことになる．これらのことから概略以下のことがわかる．

① 地質は固結度の弱い泥岩・礫岩互層あるいは凝灰角礫岩で終点方へ緩く傾斜(受け盤)
② 難航した区間の土かぶりは100m前後
③ こう配変更点(クレスト)は大和町・堀之内町の行政界から約600m北側で，それより起点方へ5‰と3‰，終点方へ9‰の下り(図-11)
④ 応援掘削の1,200m間は土かぶりが200m前後のこう配変更点前後，とくに突っ込み施工になって徐々に掘削速度が鈍化

これらから，シールドに側壁導坑，迂回坑，坑外からのディープウェル等々を試行錯誤するなど，最大の難航となった5‰の排水こう配の600m間

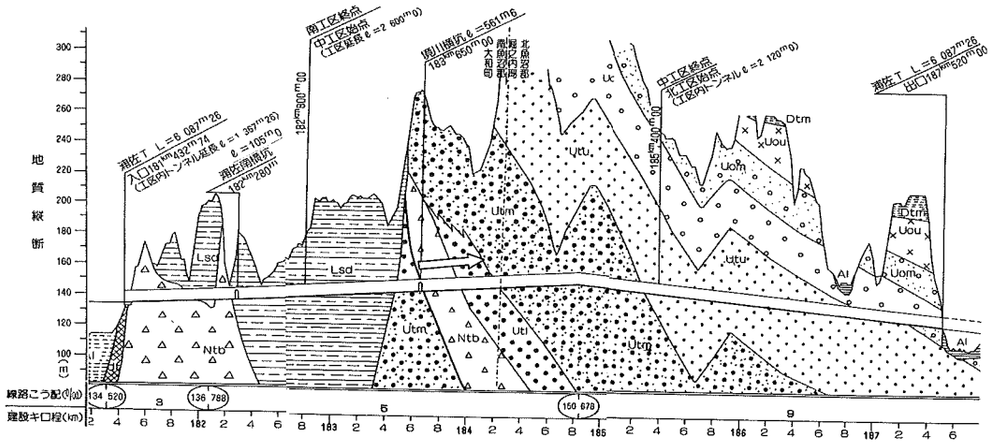


図-10　上越新幹線浦佐トンネル概略地質縦断図

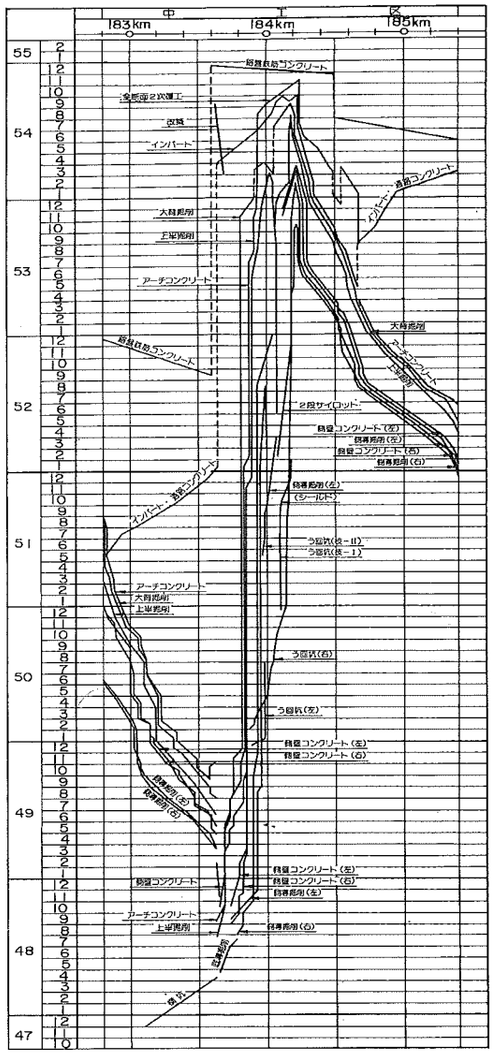


図-11　浦佐トンネル中工区工事工程図

は，断層破砕帯部付近の突破に時間を要している以外は，5‰の排水こう配で，最大土かぶり100mでしかないのに，帯水砂泥互層を受け盤状態での掘削であったことが，流れ盤状態での掘削となった応援掘削区間との最大の違いと言えそうである．

以上から，当トンネルの計画や施工に関し，下記のような変更があれば，これほどの難工事にならなかったかもしれないと思うが，いかがだろうか？

【縦断こう配】南工区にある3‰から5‰の変更点を最小土かぶり区間まで約400m伸ばす．そこから行政界まで約9‰で上り，そこをこう配変更点とする．北工区の9‰こう配は新しい変更点までそのまま伸ばす．

【工区割り】当時のままの3工区とした場合は，中工区の作業坑を堀之内町の増沢集落付近からの斜坑から入る計画に変える．現状なら2工区とするのが常識的と考える．この場合の工区境はこう配変更点付近とする．南・北の工区延長は各々約2.8km，3.3kmとなる．北工区は3工区の場合の増沢付近斜坑は不要となる．

【期待できる効果】難航した600m間は，土かぶりが約5m小さくなるだけであるが，2工区の場合は工区境付近となり，工程は楽となる．3工区の場合でも，上りこう配のまま流れ盤方向で掘削可能となった北からの施工は，実績よりもさらに順調にこう配変更点までいくことが可能であり，そうなれば，難航600m区間にある帯水層の地下水は流れ盤方向に事前に流出するだろうし，水抜きボーリングなどによる補助工法の応援も可能となる．したがって，当時のようなひどい難工事とならずに問題区間を突破できる可能性が高くなる．

⑥ 高低差のある並流河川に挟まれた細長い尾根を貫く（東海北陸自動車道平山トンネル）

東海北陸自動車道岐阜大和PA・白鳥IC間の平山トンネル(1,410m)に関して興味ある地形を紹介する．**図-12**はトンネル周辺の平面図およびトンネルを横断する細線に沿った断面図である．トンネル東側を長良川本流が南流している．その西600～700mには約100m高い位置を並流する落部谷川があり，トンネル(断面図◎印)はその間に発達した細長い尾根を貫いている．

これまでの学習から，

① 両河川はその直線性から断層線谷である

② 断面図の矢印部，平面図の○印部は断層鞍部であり，平面図の等高線間隔の変化や小尾根と渓流の系統的左横ずれを観ることで，断層鞍部と遷緩線からなる左横ずれの活断層(長良川上流断層帯の八幡断層)である

③ 平山トンネル直上(断面線の位置)の谷は両河川の分水嶺上に形成された風隙(wind gap：断層崖に上流部を切断された河川の上流部に生じた谷中分水嶺)を介して，落部谷川右岸部の谷と元は一続きであった

などの推定ができるのではなかろうか(図-12よりも広域の図で確認して欲しい)．

トンネルは細長い尾根の下を落部谷川下流側から長良川側に下りこう配で設定されているため，トンネルの施工基面は北上するほど落部谷川の河床よりも低くなる．トンネルは施工前に実施した2本の長尺水平ボーリング(図中北坑口から2本の矢印示す)で各々最大毎分7.2m³，2.5m³の湧水量を記録した[13]．切羽掘削は追加的な短尺水抜きボーリングなどの補助工法を必要としたが，先行水抜きボーリングの絶大な効果があって，比較的順調に進んだ[13]．

⑦ ダム湖に近接したトンネル

ダム湖に近接してトンネル(あるいはその逆にトンネルに近接してダム湖)が計画されることがある．この相互関係は地図を見ればわかることだが，筆者がかかわった2例を紹介して事例紹介の最後とする．

7-1　野岩線葛老山トンネルと五十里・川治ダム

利根川支流鬼怒川上流の川治温泉付近にある野岩鉄道会津鬼怒川線葛老山トンネル(4,250m)は標記2ダムが造るダム湖に挟まれた痩せ尾根を貫いている(**図-13**)．トンネルは昭和31年竣工の五十里ダムの西側尾根を掘削した際，湖面より下位のダム近接区間で大量の湧水に見舞われた．その後，昭和58年竣工の川治ダムの試験湛水(湛水位は五十里ダムより約30m高い)時に，開業前のトンネルの線路面が隠れるほどの異常な湧水量となり，トンネルとダムの両機能が支障するおそれありと判断され，両ダムの湛水位を低下させた状態で徹底的にトンネル内グラウトを行い，機能を確保させた．

現地を見たことのある筆者は，

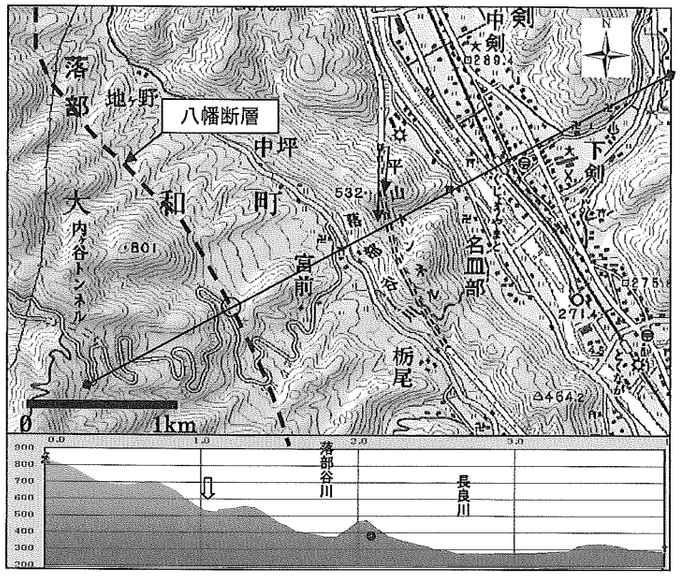


図-12　東海北陸自動車道平山トンネル付近平面・横断図(5万分1)

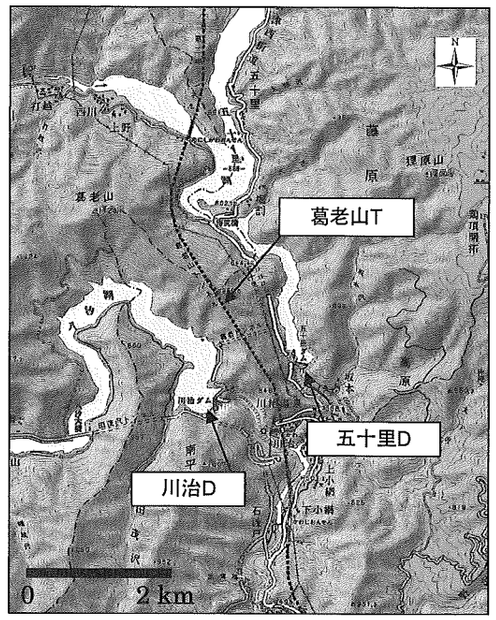


図-13　野岩線葛老山トンネル付近平面図(5万分1)

① 五十里ダム湛水後は，尾根部分を短絡する透水性亀裂を介して川治ダム水系への漏水があった
② 葛老山トンネルの建設でその漏水がトンネルへより大量に流れるようになった
③ 川治ダムの湛水で川治側の水も大量に坑内に流出するようになった，

と個人的に思っている．後知恵だが，五十里ダムの東側を，湛水面より少しでも高くなるような平面・縦断形にしない限りこの大量漏水問題は避けられなかったように思える．

7-2　JR福塩線八田原トンネルと八田原ダム

広島県芦田川流域の芦田ダム建設に伴い，JR福塩線河佐・備後三川間は線路付替えを余儀なくされた．筆者は，当初計画路線案を種々検討のうえ，八田原トンネル(6,123m)を主体とする路線に変更するよう提案した(**図-14**参照)．それは，大規模な断層が想定されるダムサイト上流近傍のNNEに延びる苦谷(にがたに)に沿う部分を谷沿いに約800m上流側に移動させるなど，極力湛水域から離すことでダム域から坑内への漏出水を少なくすることに配慮したからであった．苦谷の断層部分での苦労はあった[14),15)]が，それ以外は順調な施工ができた．開業時点において確認した範囲では坑内漏水量も想定どおりのもので，ダムおよびトンネルへの支障は全く認められなかった．

(文責：大島洋志・国際航業(株))

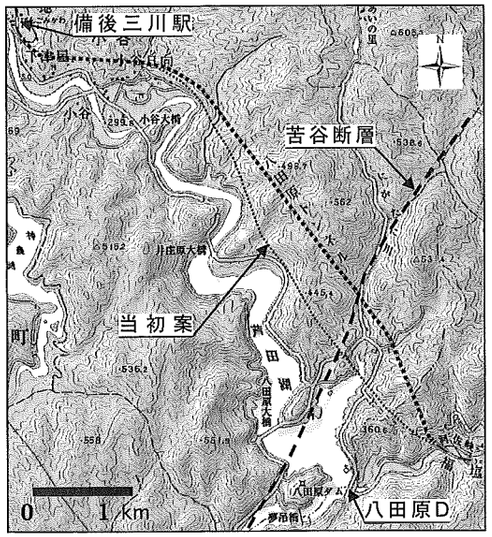


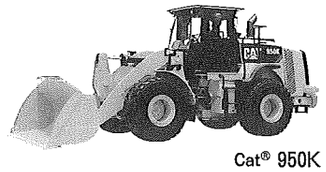
図-14　福塩線八田原トンネル付近平面図(5万分1)

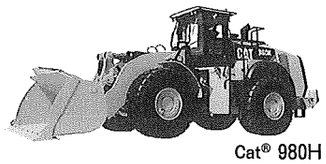
参　考　文　献

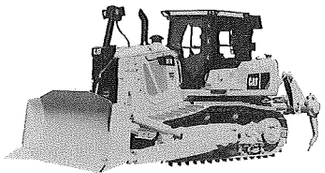
1) 大島洋志：私のトンネル路線選定秘伝，応用地質，Vol.45，No.4，pp.197-209，2004.10.
2) 仁杉巌：挑戦，交通新聞社，pp.235-243，2003.
3) 佐々木幸一・芳賀康司・直江久永：九州新幹線筑紫トンネルの貫通，周辺環境を考慮したルート選定と施工，トンネルと地下，Vol.39，No.4，pp.7-16，2008.4.
4) 吉野美喜男・村山正巳・吉川豊・前田政弘：土石流危険渓流交差部を明り巻きトンネルで施工，九州新幹線　筑紫トンネル(梶原工区)，トンネルと地下，Vol.40，No.2，pp.15-22，2009.2.
5) 大島洋志ほか：鉄道トンネルの湧水量実態調査，鉄道技術研究所速報，No.A-85-195，1985.11.
6) 篠崎知己：異常出水とその対策,高千穂線高森トンネル，トンネルと地下，Vol.7，No.7，pp.7-14，1976.7.
7) 大島洋志：開通75周年を迎えた丹那トンネル難工事を振り返る，環状凹地で発生した最大200m³/分の突発湧水，トンネルと地下，Vol.41，No.5，pp.47-58，2010.5.
8) 高森町観光協会：高森町観光案内マップ
9) 鈴木隆介：日本における成層火山帯の侵蝕速度：火山，第2集，Vol.14，pp.133-147，1969.
10) 丸山修・吉村直人・鹿狄耕治：複数の開削予定小土かぶり区間を地盤改良によりNATMで貫く，九州新幹線新田原坂トンネル，トンネルと地下，Vol.40，No.7，pp.7-16，2009.7.
11) 竹下安司・恩塚和信・干場登・福田浩二：産業廃棄物最終処分場直下の近接施工，九州新幹線　小塚トンネル，トンネルと地下，Vol.34，No.4，pp.7-13，2003.4.
12) 日本鉄道建設公団新潟新幹線建設局：上越新幹線工事誌(水上・新潟間)，第6編，第15節，浦佐トンネル，pp.634-706.
13) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座委員会：先進ボーリング入門(6)，施工事例(1)：施工前に坑外から実施する地質調査ボーリング，トンネルと地下，Vol.40，No.2，pp.55-66，2009.2.
14) 速水昭正・南光穂・白木博昭・笠原正規：100mに及ぶ断層破砕帯の突破，福塩線　八田原トンネル，トンネルと地下，Vol.16，No.11，pp.47-53，1985.11.
15) 井上増夫・坂本保彦：ダム建設に伴う既設鉄路の付替え成る，JR西日本福塩線八田原トンネル，トンネルと地下，Vol.20，No.11，pp.31-35，1989.11.

工法・技術・製品ニュース

製品　CAT®から中・大型ホイールローダ5機種と新世代ブルドーザ


Cat® 950K


Cat® 980H


Cat® D7E

キャタピラージャパン(株)広報グループ
Tel 03-5717-1122
e-mail：cjl-public.cat.com

キャタピラージャパンは，中・大型ホイールローダ5機種とエレクトリックブルドーザを，新たに発売すると発表した．

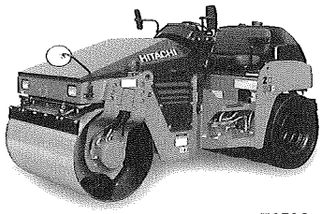
発売されるホイールローダーは，Cat 950K(バケット容量3.3m³，運転質量19.65t)，Cat 962K(同3.6m³，20.6t)，Cat 966K(同4.2m³，24.2t)，Cat 972K(同4.8m³，26.35t)，Cat 980K(同5.4m³，30.9t)．

今回のモデルチェンジでは，環境性能と燃費効率をさらに向上した新エンジンを搭載し，オフロード法2011年基準に適合させた．また，フュエルマネジメントシステム(FMS)を新たに採用したことで，さらなる燃費低減を実現する．さらに，最大トルクおよびトルクライズの向上や新型バケットの採用により，生産性を大幅に向上させた．このほか，オペレータ環境，安全性，アプリケーション対応力の向上など，オペレータの作業を支援するさまざまな装備を備えた製品となった．

ブルドーザは，Cat D7Eエレクトリックブルドーザで，ディーゼルエンジンで発電機を駆動し，稼働に必要な電力を供給する「エレクトリックドライブ」を採用した次世代型のブルドーザとなっている．今回のモデルチェンジでは，最新の環境技術を搭載した新エンジンを採用し，オフロード法2011年基準に適合．また，オートアイドルストップ機能を新たに搭載したことで，さらなる燃費低減を実現する．

さらに，GNSやトータルステーションに対応して，用途に応じて最適なシステムを選択可能な情報化施工に対応するシステムを標準装備しており，簡単かつ低コストで情報化施工に対応することが可能．このほか，オペレータ環境，安全性，耐久性の向上など，オペレータの作業を支援するさまざまな装備を備えた製品となった．

製品　日立建機　振動ローラ4機種をモデルチェンジ


ZC50C₋₃

日立建機(株)広報戦略室広報・IRグループ
Tel 03-3830-8065
http://www.hitachi-kenki.co.jp

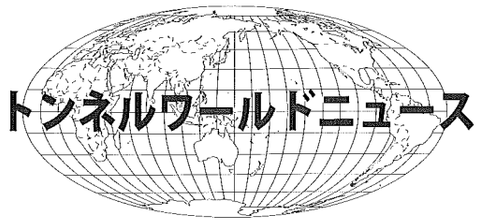
日立建機は振動ローラ ZC35C₋₃，ZC50C₋₃，ZC35T₋₃，ZC50T₋₃の4機種を発売した．

ZC35C₋₃(運転質量 2.80t)，ZC50C₋₃(同3.64t)は，ZC35およびZC50の後継機で，コンバインド型(前輪は鉄のドラム，後輪はタイヤ)の振動ローラ．ZC35T₋₃(運転質量 3.06t)，ZC50T₋₃(同4.13t)は，ZC35TおよびZC50Tの後継機で，タンデム型(前後輪共に鉄のドラム)となっている．

前後進レバーの中立だけでなく，駐車ブレーキスイッチが掛かっていなければエンジン始動できないシステムを継承して採用し，コンパクトなフレーム，ボンネット設計で，前方視界距離が2.2m(ZC50C₋₃)と短く，作業時の前方視界を確保するなど，従来機を踏襲した安全性能に加え，信頼性 および 耐久性を向上させた．

また，環境負荷を低減させるため，オフロード法の排出ガス第3次規制値をクリアし，国土交通省指定の超低騒音型建設機械の基準値もクリアしたことに加え，鉛フリー化への対応として，部材にハンダを使用しない配線やアルミラジエータも採用している．

その他，軟弱地からの脱出を容易にする油圧デフロック装置がオプション設定(コンバインド型のみ対応)されている．



（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

KORALMトンネルで使用する最初のTBMが搬入

オーストリアのKoralmトンネルで使用する2台のTBMのうち，最初の1台が8月末に搬入された．このトンネルはスイスのGrazとオーストリアのKlagenfurt間の新しい高速鉄道路線の一部である．Aker Wirth社製のシールドは今年の末までには稼働する予定であると先月報道された．

この2台のテレスコピックシールドの直径は9.93mである．延長32.5kmのKoralmトンネルプロジェクトのうち，約18kmの主要工区をこれらのシールドを用いて施工を行う．

Aker Wirth社の広報は，地下の施工ヤードへのアクセス方法が課題である，と述べた．アクセス方法は深さ60mの立坑のみであり，シールドの主要部品はこの立坑を通して搬入されたのち組み立てられる．

Aker Wirth社の鉱業・建設担当副社長であるHans Greve氏は，「このプロジェクトにおいて，われわれは40年以上の硬岩トンネルの施工経験を生かすことができる．搬入と地下での組立てに関する難題を，経験豊富な作業員とともにうまく解決することができるだろう」と述べた．

Koralmトンネル第2工区(KAT 2)JVのマシンエンジニアであるRobert Goliasch氏は加えて述べた．「1台目のシールドに対する立会検査を行い，重要な節目を迎えた．搬入時の参考のため，熟練した作業員とともに工場での組立てに立会い，その結果，新しいTBMを理解することができるようになった．それゆえに地下での組立てや迅速な試運転ための時間を確保することができるだろう．最初の性能試験では硬岩対応高品質シールド製造業者としてのAker Wirth社の実力が十分に発揮されている．」

(T&TI　'12.10　担当：陶山雄介・鉄道・運輸機構)

Robbins社TBMの掘削によりオースティンに飲用水が供給さる

地下最大107mに3基のTBM(うち，2基がロビンス社製)が稼働し，10.5kmの水道管路を掘削し，アメリカ合衆国テキサス州オースティン(Austin)の飲用水の容量を増強する．Southland・Mole共同企業体が，住宅地およびバルコンズ・キャニオンランズ国立野生動物保護区(Balcones Canyonlands Preserve)の下に内径2.1mのパイプラインを建設している．

2012年半ば，共同企業体保有のTBM 1基が1.4kmの掘削を完了した．ロビンス社は3.25mのメインビームを備えたTBMを追加で供給し，外径3mのダブルシールド型TBMをオハイオ州ソロンの工場で改造した．この2基は2012年8月に立坑より発進した．

地質は主に石灰岩と白雲岩で均一だと考えられるが，この地層全域にわたってカルスト地形の特徴が見られるため，トンネルの深度はこれらを避け設定された．

そのほかの障害としては，野生動物保護区に関連するものがある．絶滅が危惧される穴居性無脊椎動物(6種のクモ形類動物や昆虫を含む)がカルストの周辺に現在生息している．この事実が意味するのは，前方探査による薬液注入は地下水環境への漏出リスクがあるので実施できない，ということである．

「われわれは重い支保を要するとは想定していない．ロックボルトがさしあたり多用する支保になるだろう．ただし，一部区間では金網を要するかもしれない．地下水を胚胎する箇所があるとわかれば，スチールライナーで支保して裏込め材を充塡し，これら地下水をシールする」と，共同企業体所長のTim Winnは言う．

ロビンス社によると，TBMは8月末の掘削開始後1週間以内で90m進み，その掘削速度を維持しながら，これまで760m掘削した．

この高速掘進は緻密な計画により得られたものである．高速掘進を実現する要素はおおむね，小口径トンネルの採用という一点に絞られる．

Tim Winn曰く「坑内換気は最大の課題で，われわれは換気計画をより洗練させる必要がある．これに次ぐ課題は作業員・資機材の出入で，これに作業時間が食われている」．

2013年に完成すれば，このパイプラインによりトラビス湖(※Lake Travis：テキサス州の湖沼は全て人造湖)からオースティンまで1日最大19万m³の飲用水が送られる．

(WT　'12.11　担当：浅見　均・鉄道・運輸機構)

40億USドルのカトマンズ高速鉄道整備

カトマンズ高速鉄道(KMR)の実現可能性検討報告書(FS)の事前調査結果によれば，KMRの建設には約39億USドルの費用と，10年の期間を要するという．

このFSを作成したのは，5つの韓国企業と2つの地元企業の共同企業体であるが，彼らはKMRの安定的な建設・運営には，政府の関与が不可欠であると考えている．

「検討チームは，政府に対して建設に関する多くの提案をしてきた．しかし，政府がどの選択肢を採用しようとも，政府の補助金がこの事業の成功の鍵を握っていると，彼らは見ている」と，ネパール鉄道局監督技術者のRajeshwore Man Singh氏は述べる．

検討チームは，この検討の事前調査結果を上級の政府当局者と共有しており，将来的な見通しとして，この高速鉄道の料金は0.23～0.35USドルになると概説している．しかしそれは，投資資金の回収可能性を意味するものではない．

「最終的なFSはまだ提出されていない．しかし，政府はFSの分析後10年以内に高速鉄道を建設したいと考えている」とSingh氏は語っている．

およそ10か月前，政府はKMRのFSを作成するために以下の各社を任命した．韓国交通研究院(Korea Transport Institute)，Chungsuk Engineering Company，Kunwa Consulting and Engineering Company，韓国鉄道施設公団(Korea Rail Network Authority)と2つの地元企業，BDA Nepal社，EMRC社である．これら各企業には，業務を完遂するために70万5千USドルが支払われた．

このFSでは，さらに，KMRの全延長がおよそ77kmになるだろうと報告している．これは当初構想よりも11kmほど長いものである．

鉄道は，全体では5つの路線からなり，1路線は既存の環状道路を取り囲むものであり，残りの4路線はカトマンズ市内を4方向に通り抜けるものである．

このFSでは，2路線は地下鉄で，残りの3路線は高架で建設するよう政府に提案している．

「高架路線は主に2つの条件を考慮して提案されている．ひとつは軟弱な土質条件であり，もうひとつは用地取得にかかる膨大な費用負担である」とSingh氏は語った．

環状道路線はKalanki，Satdobato，Chabhilと各地域を結びKalankiに戻る27.35kmの路線で，報告書では高架となっている．

同様に，MaharajgujとSatdobatoとを結ぶ路線，KalankiとKoteshworeとを結ぶ路線，GongbuとKalankiとを結ぶ路線は高架鉄道となるだろう．

「その他のすべての路線は地下鉄道になるだろう」とSingh氏は語った．

2012年3月に政府によって認可された予備報告書においても，大量高速輸送機関である都市高速鉄道の整備を実施して，主要な5路線によりカトマンズ市内全域を連結するという概要が述べられている．

(T&T　'12.11　担当：玉田　誠・東京都交通局)

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会報

1. 会員の現状

	4月30日現在
正会員	1,445名
団体会員	325名
個人会員	1,120名

2. 平成25年度第1回理事会，第1回顧問・評議員会

日　時：4月24日(水)12：00～13：00
場　所：東京商工会議所8F「東商スカイルーム」
出席者：理事10名，監事2名，顧問1名，評議員22名，計35名
議　事：
①入退会について
個人会員2名の入会を承認．
②理事の交替について

旧	新	所属役職
金澤　博	宮林　秀次	(独)鉄道・運輸機構副理事長
山田　俊郎	望月　常好	五洋建設(株)専務執行役員
大石　富彦	—	(関西電力(株))

③特別会員の推薦について
特別会員として内田隆滋，岡田宏，萩原浩，三谷浩，小森博，佐藤信彦，南部隆秋，小島治雄，黒住光浩，山本稔，安藤憲一，廣瀬輝，早川和利，遠藤正宏，見波潔の各氏を推薦した．
④副会長，専務理事の互選について
定時総会(5月20日開催予定)において理事就任の議決が得られることを停止条件として，副会長を宮林秀次氏と中村満義氏，専務理事を水谷敏則氏とした．
⑤40周年記念事業実行委員会の設置について
2015(平成27)年8月1日に設立40年を迎える．記念事業実施にあたり実行委員会を設置することとした．
⑥平成25年度定時総会議案(案)について
定時総会の議案(案)を検討した．

3. 委員会の開催状況(4月1日～30日)

①運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会会誌WG(4/3)
大島洋志主査ほか12名，5月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

国際委員会(企画調整幹事会，ITA統括WG合同)(4/16)
猪熊康夫委員長ほか16名，24年度活動報告および25年度活動方針を検討

海外文献小委員会海外文献WG(4/10)
福井勝則主査ほか13名，英文原稿を査読

海外文献小委員会海外ニュースWG(4/23)
清水健志主査ほか7名，英文原稿を査読

計　4回開催　52名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理小委員会(4/12)
中井雅彦委員長ほか14名，地震対策の取り組みおよび40周年記念事業計画を検討

◎受託研究特別委員会

小断面掘削工法特別検討会(4/4)
吉富幸雄委員長ほか11名，原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会泥土圧WG(4/11)
守屋洋一主査ほか11名，原稿を検討

大深度シールド設備特別検討会泥水WG(4/24)
河本武士主査ほか13名，原稿を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会打合せ会(4/12)
松岡茂幹事長ほか4名，取りまとめ方針を検討

中流動覆工コンクリート特別委員会(4/26)
西村和夫委員長ほか20名，配合試験結果および耐久性を検討

相鉄・JR・東急直通線検討委員会開削駅WG(4/25)
舘山勝座長ほか28名，新綱島駅終点方非開削部の施工法を検討

計　7回開催　108名出席

合計　11回開催　160名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第39回ITA総会およびコングレス「Underground －the way to the 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/　論文募集中
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in South East European (SEE) region」	2015.5.22～28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association International Tunnelling and Underground Space Association (国際トンネル協会) http://wtc15.com/

＊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．TEL：03-3524-1755　FAX：03-5148-3655

5. 平成25年度催物開催現況

(平成25年5月現在)

催物名	開催日	人数	場所	CPD取得単位
(現場研修会) 横浜市下水道トンネル工事現場研修会 —中部処理区本牧第二幹線—	2013. 5.16	30	神奈川県	2.5
東北道路トンネル現場研修会 —国道106号新川目トンネル—	2013. 5.27	25	青森県	2.0
中部地区道路トンネル現場研修会 —県道牛川トンネル(仮称)，新東名乗本トンネル—	2013. 6. 7	25	愛知県	3.5
(施工体験発表会) 第72回(山岳)「課題克服に取り組んだ工事—周辺環境への配慮，創意工夫，効率化—」	2013. 6.25	200	東京都	4.6
第73回(都市)「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」	2013. 6.26	200	東京都	5.3

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

施工体験発表会のご案内

恒例の施工体験発表会を下記のとおり開催いたします．第72回は山岳を対象とし「課題克服に取り組んだ工事―周辺環境への配慮，創意工夫，効率化―」と題して９件，また，第73回は都市を対象とし「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」と題して９件それぞれ発表していただきます．トンネルは経験工学といわれています．多くの方々の経験から得られた技術を自らのものとする大変良い機会と考えます．多数ご参加くださいますようご案内申しあげます．なお，掲載のプログラムは必要に応じ変更する場合がありますのでご了承願います．また，詳細はホームページに掲載しておりますのでご参照願います．

―記―

開 催 場 所：虎ノ門発明会館「地下ホール」(案内図参照)
開　催　日：第72回(山岳)施工体験発表会　平成25年６月25日(火)
　　第73回(都市)施工体験発表会　平成25年６月26日(水)
プ ロ グ ラ ム：別紙のとおり
定　　員：各200名(定員になり次第締切いたします．)
参　加　費：第72回，第73回それぞれ個人会員10,000円，団体会員12,000円，一般15,000円
申し込み方法：添付の申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAX，E-mailをもってお申し込みください．受付後，事務局より受付番号を連絡します．電話での申し込みは受付けませんので，ご了承願います．
　　申し込み問い合わせ先
　　一般社団法人日本トンネル技術協会施工体験発表会係
　　〒104-0045中央区築地２-11-26築地MKビル６階
　　FAX：03-5148-3655　　TEL：03-3524-1755
支 払 方 法：上記申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者氏名，受付番号を記入のうえ下記へお振込願います．現金書留でも結構です．
　　郵便振替口座00160-7-196331　一般社団法人日本トンネル技術協会
そ　の　他：①参加費の払戻しはいたしかねますが，代理参加は差し支えありません．
　　②テキストをCDで事前に送付いたしますので，住所等は必ずご記入願います．
　　※なお，当日は印刷されたテキストを配布いたしませんので各自必要箇所コピーのうえご持参意願います．また，テキストのCDを受領し，参加費未納で欠席した場合は，テキスト代として5,000円請求させていただきますのでご了解願います．
　　③下記申し込みにかかわる個人情報につきましては，他に利用するものではありません．

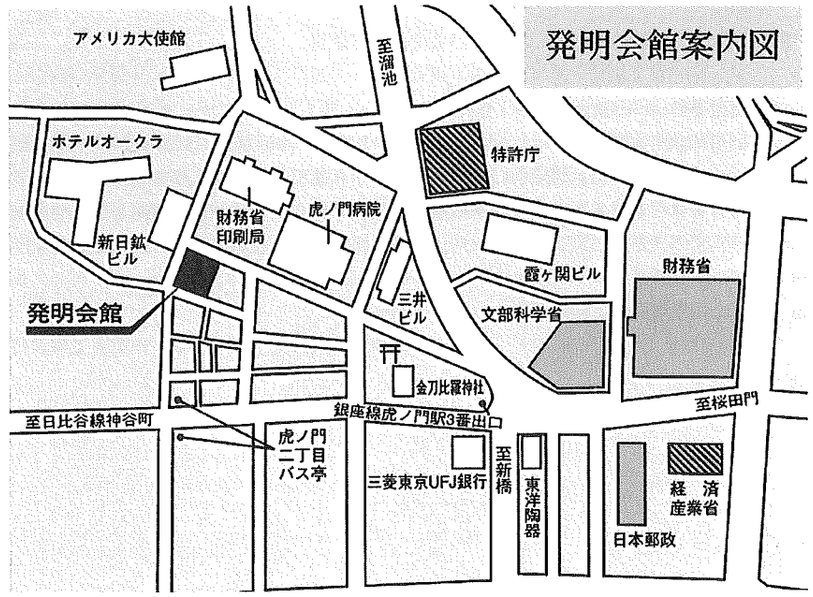
【施工体験発表会参加申込書】

平成25年　月　日

一般社団法人日本トンネル技術協会施工体験発表会係
〒104-0045　中央区築地２-11-26築地MKビル
TEL：03-3524-1755　　FAX：03-5148-3655　　E-mail：event@japan-tunnel.org

下記のとおり申し込みいたします．

発表会名	□第72回(山岳)，□第73回(都市)(□に✓印願います)				
氏名(ふりがな)		年齢	歳	電話	―　―
会社名					
所属役職					
会社住所	〒				
備　考	□個人会員，□団体会員，□一般(非会員)(□に✓印願います)				



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

第72回(山岳)施工体験発表会プログラム

「課題克服に取り組んだ工事―周辺環境への配慮，創意工夫，効率化―」

開 催 日：平成25年６月25日(火)

開催場所：虎ノ門発明会館「地下ホール」

司　会　事業委員会委員((株)奥村組東日本支社土木技術部技術一課長)　安井　啓祐

10：00　開　会　事業委員会委員長(日本交通技術(株)社友)　桑原　彌介

10：05　島尻泥岩における重要構造物直下のトンネル施工―豊見城トンネル―
飛島建設・仲程土建特定建設工事共同企業体豊見城トンネル作業所工事主任　古宮　正勝

10：35　小土被り区間における重要構造物との近接施工―さがみ縦貫愛川トンネル(その２)工事―
安藤・間関東土木支店愛川トンネル作業所作業所長　中島　浩

11：05　曲面切羽の全断面早期閉合で強度不足地山を克服―中部横断自動車道八之尻トンネル工事―
清水建設(株)関東支店土木部中部横断自動車道八之尻トンネル工事課長　遠藤　大治

11：35　【昼　食】

司　会　事業委員会委員(清水建設(株)土木技術本部地下空間統括部担当部長)　志岐　寛

12：50　営業中のゴルフ場直下における山岳トンネル工事―大和御所道路　巨勢山トンネル工事―
(株)大林組巨勢山トンネル工事事務所工事長　山本　剛史

13：20　国内最急勾配(57‰)下でのウォータータイトトンネルの施工―仙台高速鉄道東西線　亀岡トンネル―
奥村・不動テトラ・熱海特定建設工事共同企業体　山田　亮志

13：50　アーチダム直下狭小ヤードからの土砂バイパストンネルの施工
―平成20年度小渋ダム土砂バイパストンネル工事―
大成建設(株)名古屋支店小渋ダム土砂バイパストンネル作業所工事課長　藤原　武司

14：20　【休　憩】

司　会　事業委員会委員(前田建設工業(株)土木事業本部土木部トンネルグループ・マネージャー)　森田　篤

14：30　SENSによる未固結含水地山のトンネル施工―北海道新幹線　津軽蓬田トンネル―
鹿島建設(株)北海道新幹線津軽蓬田トンネル工事事務所監理技術者　亀山　好秀

15：00　自然由来のヒ素を含むトンネル内大量湧水の減水対策工について―北薩横断道路工事　北薩トンネル―
(株)熊谷組九州支店北薩トンネル出水工区作業所　鈴木　雅文

15：30　小土被り区間におけるウォータータイトトンネルの施工について
―尾道・松江自動車道高野工区大万木トンネル工事―
佐藤工業(株)大万木トンネル作業所工事課長　衣笠　晃司

16：00　閉　会

第73回(都市)施工体験発表会プログラム

「都市における創意工夫・新技術による地下構造物の施工事例」

開 催 日：平成25年６月26日(水)

開催場所：虎ノ門発明会館「地下ホール」

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

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

10：05　周辺環境に配慮した大規模開削・切開き工事の計画と施工
―中央環状品川線五反田換気所下部工事―　(株)安藤・間関東土木支店五反田作業所副所長　米元　達也

10：40　小断面シールドによる小土被り・高速道路横断トンネルの分割施工
―東関東自動車道谷津船橋インターチェンジ工事―　(株)大林組東京本店土木事業部工事主任　丹下　俊彦

11：15　矩形ブロックを使用したPCウェル工法によるエレベーターシャフト工事
―地下鉄千代田線　新御茶ノ水駅―　東京地下鉄(株)第一工事事務所統括改良建設係　眞弓　恵佑

11：50　【昼　食】

司　会　事業委員会委員(東京地下鉄(株)鉄道本部改良建設部工事課課長)　末富　裕二

12：50　巨礫(φ1,000㎜以上)層と凝灰角礫岩における４回の河川横断
―札幌市水道局 白川第３送水管新設工事　豊平川横断工区(泥土圧シールド)―
(株)熊谷組北海道支店土木部豊平川シールド作業所監理技術者　古賀　善友

13：25　大断面シールド工事に採用した新技術と小土被り掘進実績―大和川線シールドトンネル工事―
鹿島建設(株)大和川シールドJV工事事務所工事課長　紀伊　吉隆

14：00　φ3.0m貯留管を最小土被り3.5m，離隔1.1mで上下２段推進―川口市桜町排水区浸水対策貯留管―
(株)鴻池組東京本店鳩ヶ谷桜町推進工事所長　藤分　雅己

14：35　【休　憩】

司　会　事業委員会委員(東京都交通局建設工務部改良担当課長)　高橋　栄二

14：45　空港施設内の既設トンネルの補強工事について―成田木の根トンネル補強工事―
(株)大林組外環三郷工事事務所工事長　宮田健治朗

15：20　小土被り条件下での泥土圧シールドによる急曲線・軌道横断の施工―西桑名幹線雨水管路施設工事―
(株)熊谷組首都圏支店土木部作業所長　平石　富茂

15：55　国道直下の共同溝工事における環境負荷低減対策―交通量の多い国道１号直下での高輪・三田共同溝工事―
(株)奥村組東日本支社機械部技術課機械職員　宇留間高広

16：30　閉　会

7月号予告[7月1日発売予定]

●静的載荷試験による開削トンネルの耐震性の検討
●北海道新幹線　津軽蓬田トンネル
●舞鶴若狭自動車道　田上トンネル
●東京メトロ東西線　大手町駅連絡通路
●アンケート結果にもとづくトンネル支保工に関する定説と実際の乖離(2)
【連載講座】
●トンネル技術者のための地相入門(最終回)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆トンネルを含む構造物の老朽化にともなう補修・補強が急務になっています．インフラは，生活していくうえでなくてはならないものですが，費用が高額なため優先順位をつけざるを得ないのが現状です．そんななか，首都高速道路の大がかりな改修にかかる費用の一部を民間の資金を活用する案が検討され始めました．モデルケースとして考えられているのが，都心環状線の銀座周辺の半地下構造となっている区間で，道路の上部に人工地盤でふたをすることで新たな土地を生み出し，土地の使用権を民間に売却したり，空中権として周辺のビル所有者に売却することによって改修費用の一部にあてるとともに，ビル所有者には容積率が増え大規模なビルに建て替えることができるメリットがあります．
◆このように新しいアイデアによって，新たな資金が生まれ，震災の復興や老朽化した構造物の改修工事が加速し，1日も早く誰もが安全に快適に暮らせる国土が形成され，より多くの矢が放たれることを期待します．弊誌でも国土強靭化に少しでもお力になれるよう取り組んでいく所存です．

(K.Y)

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

トンネルと地下
第44巻 第6号〔通巻514号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成25年5月20日　印刷
平成25年6月1日　発行

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

本誌の購読について

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

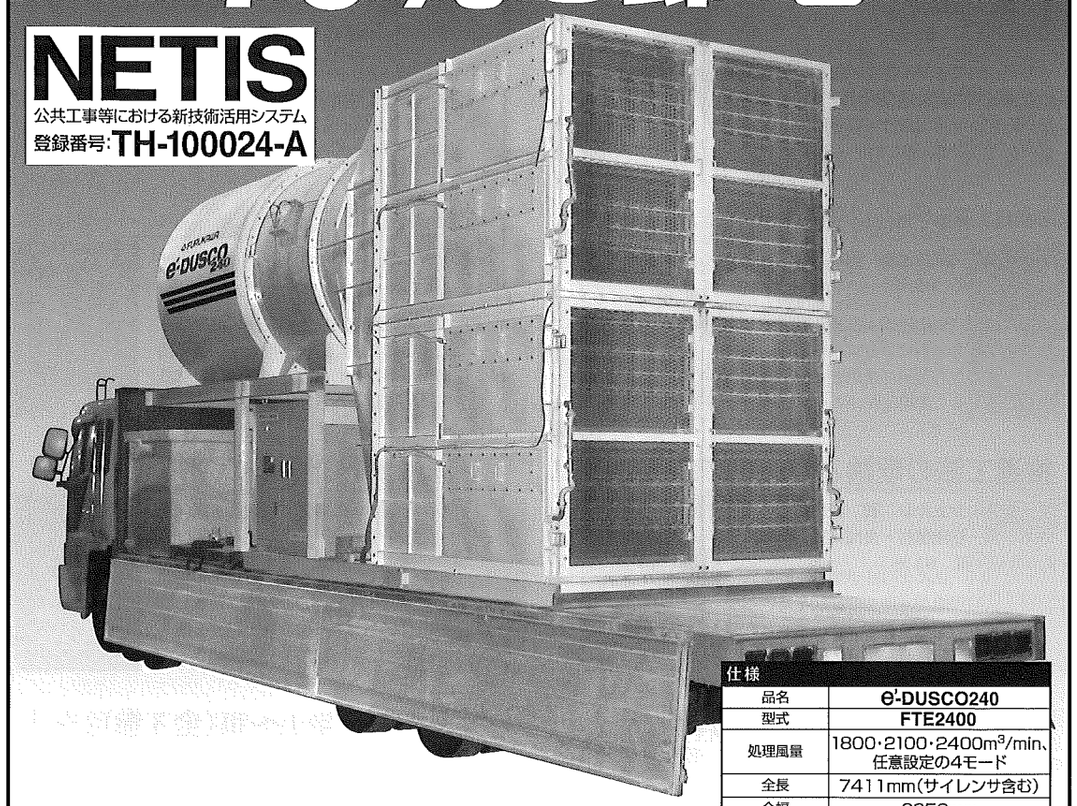
購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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

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



仕様

品名	e-DUSCO240
型式	FTE2400
処理風量	1800・2100・2400m³/min、任意設定の4モード
全長	7411mm(サイレンサ含む)
全幅	2350mm
全高※1	3700mm
本体重量	10t
電源仕様	3相3線400V58kVA
ファン動力	30kW
消費電力	23kW・28kW・33kW・任意
洗浄水	2.4m³/回
捕集ダストの処理	湿式
集じん効率※2	95%以上

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

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

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

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

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

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

図書案内

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

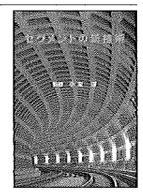
推進工法の理論を，多くの挿図を用い解説した．日本の現在の推進工法の基本となった原著を斯界の権威が翻訳・監修．

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．

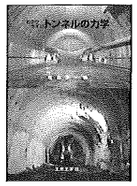
地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）

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

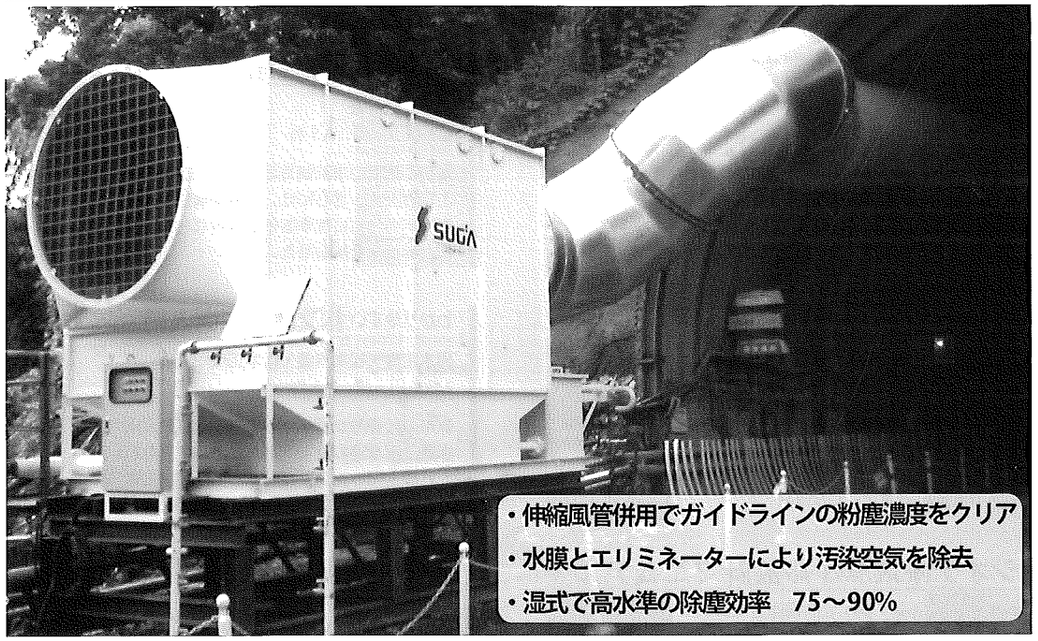
ご注文は当社へFAXまたは，書店にてお申し込みください．FAXでご注文の際は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ下記までお送りください．

(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！

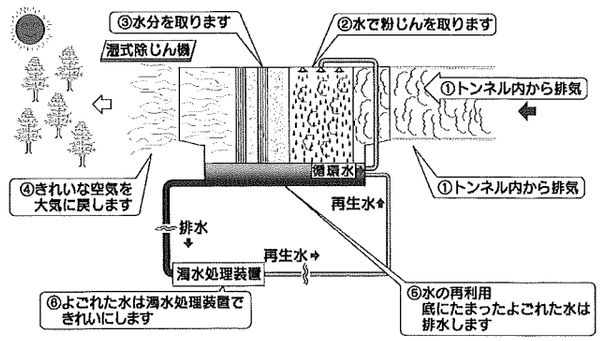
湿式除塵機 シャワーエリミナー

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

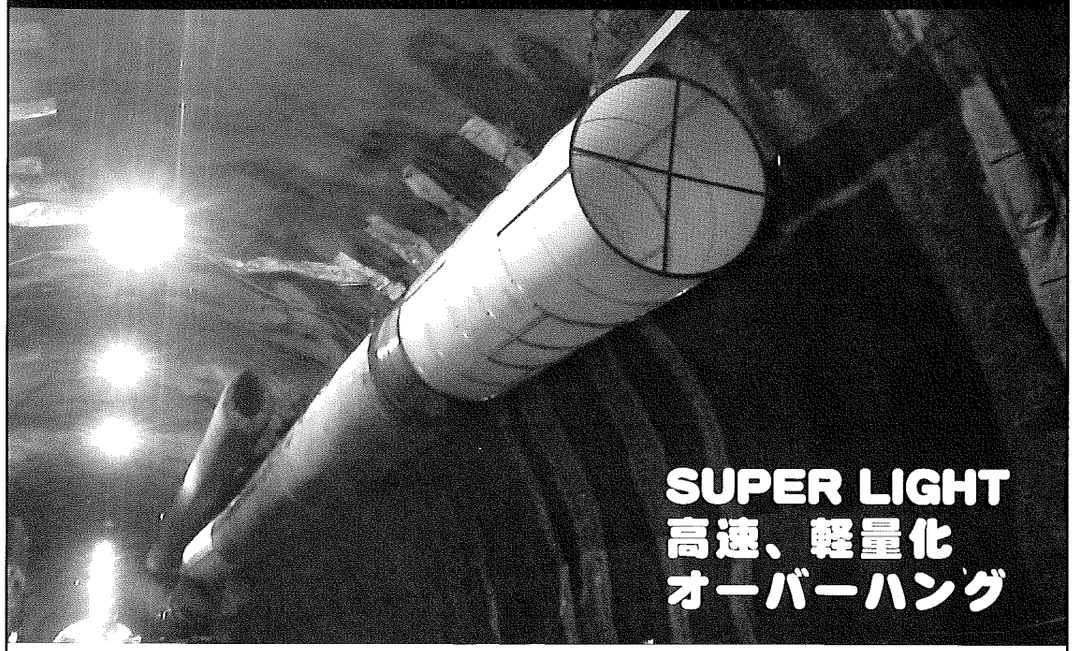
①1500㎥/min　動力：7.5kW
②2000㎥/min　動力：11.0kW
＊動力は循環ポンプのみ
＊使用水は再生水循環式

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

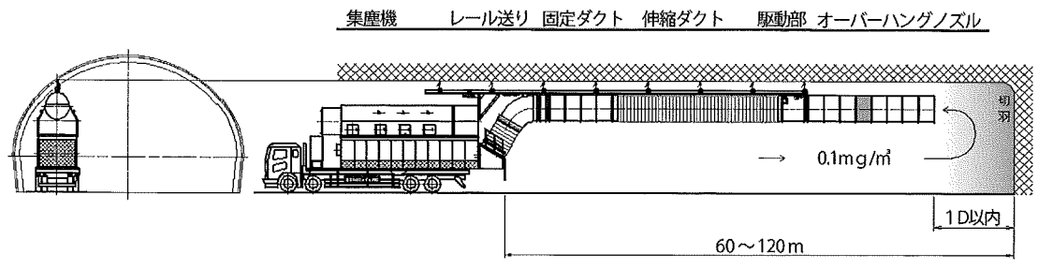
本社・大阪支店	〒550-0015	大阪府大阪市西区南堀江3-9-27	TEL 06(6541)7931
東京支店	〒101-0042	東京都千代田区神田東松下町12番地	TEL 03(5296)0551
福岡支店	〒812-0013	福岡県福岡市博多区博多駅東1-16-8	TEL 092(431)7181
名古屋営業所	〒455-0008	愛知県名古屋市港区九番町3-37	TEL 052(653)2491
京都営業所	〒615-0022	京都府京都市右京区西院平町25	TEL 075(314)4460

時代は吸引捕集方式へ･･･

トンネルじん肺を根絶できる最良の方法です



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



最適環境を創造する
株式会社流機エンジニアリング

〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 COI 聖坂ビル
TEL：0120-449-881
URL：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC・スマホ専用)