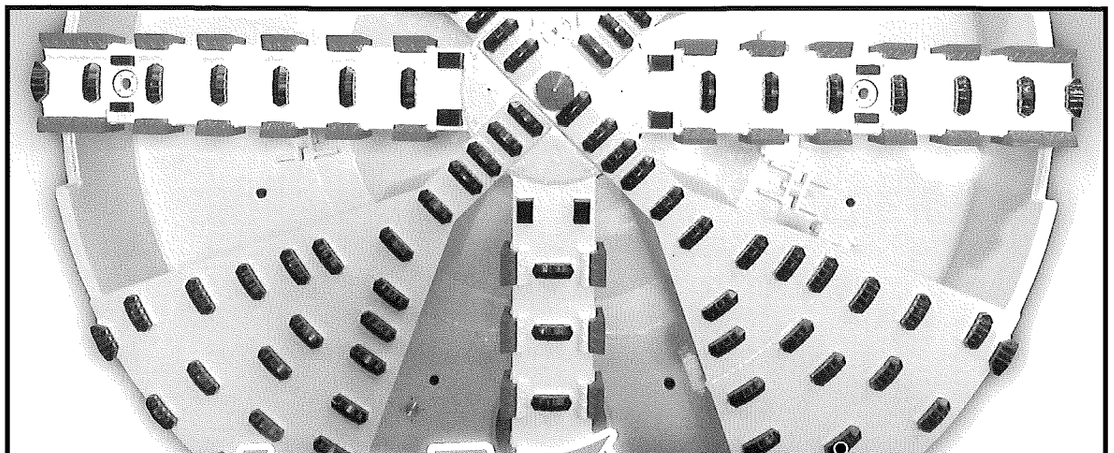
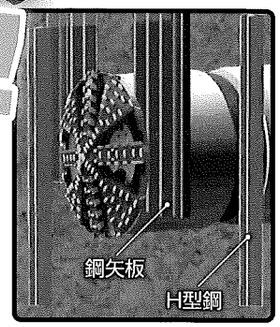
トンネルと地下　平成26年8月1日発行第45巻第8号
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂



ビットで斬る！杭を斬る！

支障物用ビット

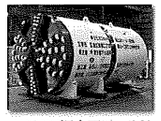


三菱の支障物切削技術は、シールドのカッターに杭切削用の特殊ビットを取り付けた円錐形状のカッターヘッドで、接触した支障物を中央部から外周部へと徐々に切削するシステムです。地中に残置されたH型鋼、鋼矢板、RC杭、PHC杭、松杭の切削が可能です。

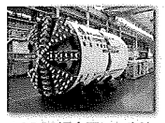
特　長

- 切羽に人が出る必要がなく安全性が高い。
- 泥土圧・泥水式どちらでも適用可能。
- 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。

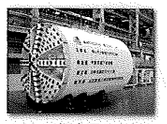
施工実績



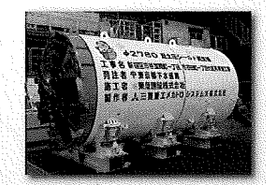
φ2680泥土圧シールド
H型鋼(300H)×8本
鋼矢板(Ⅳ型)×2面



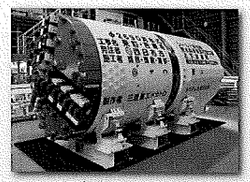
φ4240泥土圧シールド
H型鋼(350H)×6本
鋼矢板(Ⅵ型)×2面



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



φ2690泥水式シールド
鋼矢板(Ⅱ,Ⅲ型)×12面

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 1,620円
本体価格1,500円
雑誌06619-8
4910066190842
01500

26年8月1日発行(毎月1回1日発行)　第45巻第8号　通巻528号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 8

vol. 45
no. 8
2014

Tunnels and Underground

小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削
水平注入工などで国道1号直下を土かぶり1mで函体推進
大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部35kmをTBMで突破
高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討
小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価

日本トンネル技術協会誌



FRD FURUKAWA

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

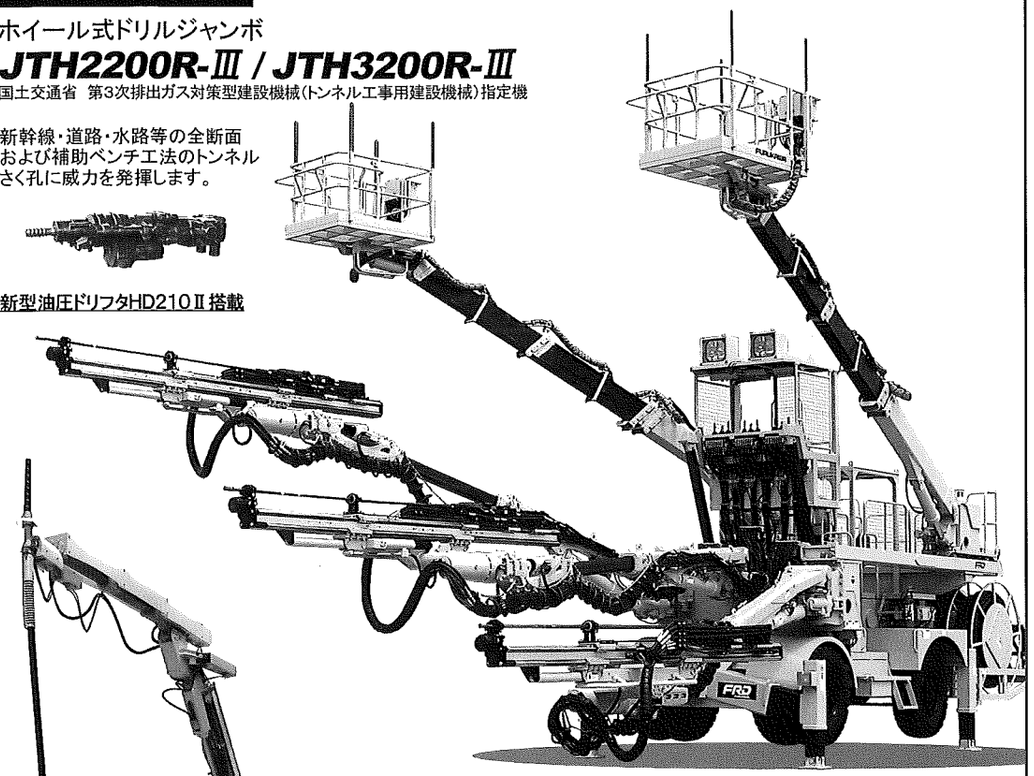
ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R-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

長尺鋼管切羽補強工　高付着型長尺鋼管切羽補強工

特許第3862118号

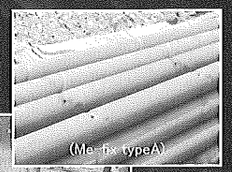
Me 工法
Metal eco

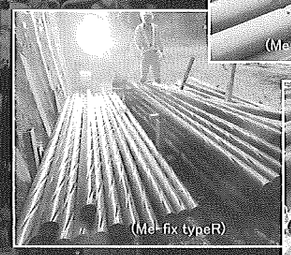
特許第4942211号

Me fix
Metal eco

エコロジー&地山拘束効果。
新しい長尺鋼管切羽補強システム。









特徴①　分別回収による鋼材のリサイクル化　※特別仕様 NETIS番号:KT-080027

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

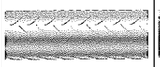
特徴②　接続部補強により鋼管の薄肉化

「**Me** 工法」、「**Me-fix**」は接続部拡径・縮径によりネジ部耐力の増強を図り、小口径薄肉鋼管(Φ76.3×4.2～4.5 ㎜)の使用を可能とし、軽量化に伴い経済性、施工性が向上します。

特徴③　長尺鋼管切羽補強工の付着耐力の向上

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

NEW!

	Me	Me-fix (typeA)	Me-fix (typeB)	Me-fix (typeR)
形状	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.2)	φ76.3 (t=4.5)	φ76.3 (t=4.2)
概要図				
1m当り付着耐力 (kN/m)	50	150	500 以上	150

※付着耐力は室内試験結果。プレミックスモルタルは材令 24hr(qu≒12N/mm²)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部:東京都港区芝公園芝パークビル B 館　TEL 03－6402－8251
大阪土木営業部:大阪市北区西天満 3 丁目 2－17　TEL 06－6363－1884
技術部　:東京都港区芝公園芝パークビル B 館　TEL 03－6402－8257

日本で生まれ、世界へ広がる。
NATMの補助工法

当社は，注入式フォアポーリングや長尺フォアパイリング，長尺鏡ボルトなど山岳トンネル工事の補助工法における樹脂系の注入材のパイオニアとして，数多くの実績を築いてきました．

スーパーＳＲＦは「湧水地山においても水の白濁や泡立ちがなく確実に発泡固結し，湧水に流されることなく効果を発揮する」という他の樹脂系注入材にはない圧倒的な優位性があります．更に，多くの特許を取得しているため，他が追従できない商品です．

補助工法ラインナップ

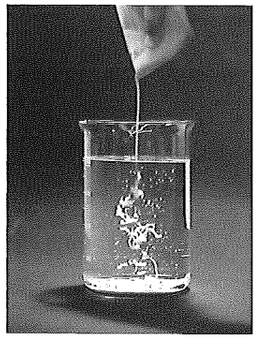
⇒ 注入式フォアポーリング
⇒ 各種 長尺フォアパイリング
⇒ 多重式 長尺フォアパイリング
⇒ エコリムーブ工法
⇒ パノラマ工法
（φ60.5MRS, φ76.3, φ89.1）

※特許取得，ＮＥＴＩＳ登録されているものがありますので，お問い合わせください．

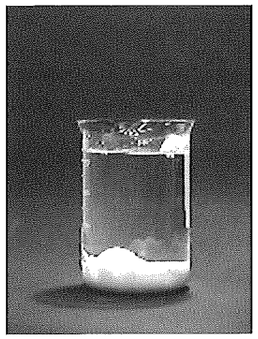
スーパー SRF の優位性

スーパーＳＲＦは，水に溶解，希釈することなく反応して発泡固結体を形成するため，湧水地山においても，水の白濁や泡立ちが発生せず，地山中に沈着し強固に結合するため，湧水に流されることなく卓越した効果を発揮します．これが他の樹脂系注入材には存在しない圧倒的な優位性であり，多くの特許を取得した「唯一無二」の技術です．

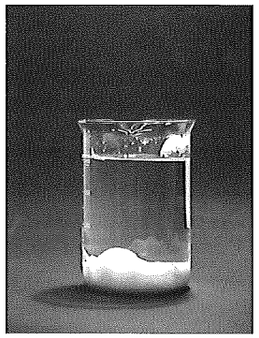
混合直後



３分後



１０分後



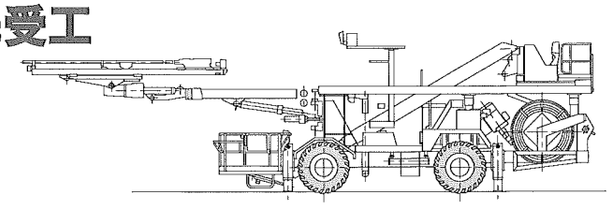
KATECS 株式会社 カテックス
建設資材事業部
ホームページ http://www.katecs.jp/

技術部・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
東京支店（仙台事務所）
TEL）022-344-6041 FAX）022-344-6042
関西営業所
TEL）06-6578-3235 FAX）06-6578-3237
九州営業所
TEL）092-574-0856 FAX）092-574-0846
北海道地区（㈱エイチ・アール・オー）
TEL）011-821-5868 FAX）011-821-6644

環境対応型長尺鋼管先受工

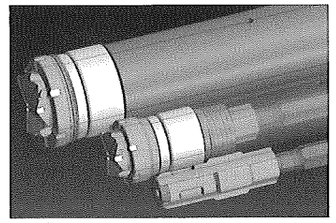
TOHO **AGF** System

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

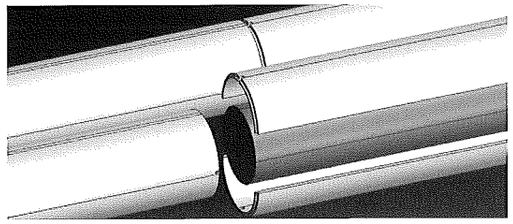


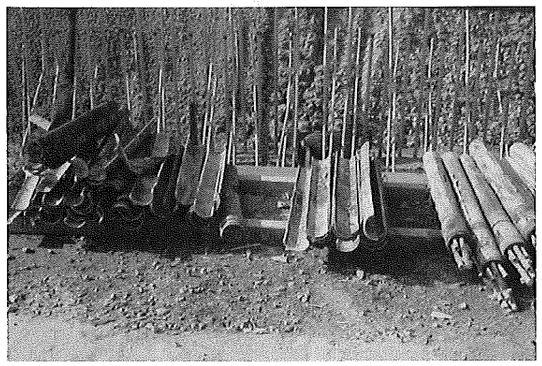
AGF-Me工法

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



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



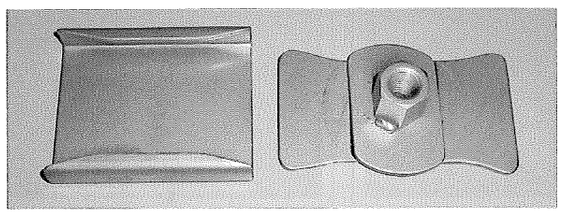


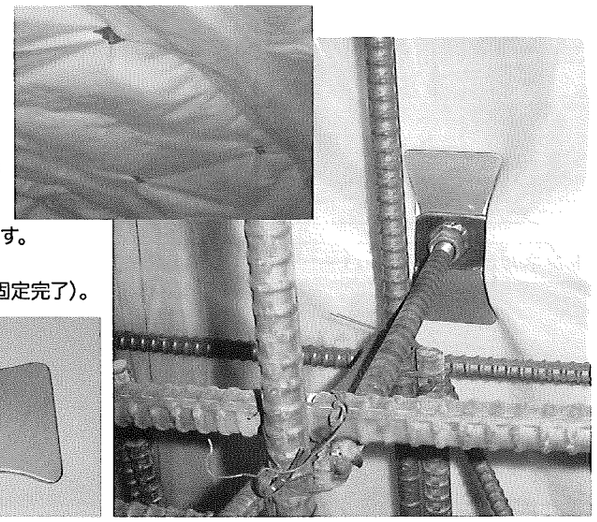
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

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

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





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

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

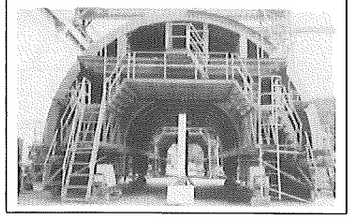
各種トンネル覆工型枠・施工設備メーカー

東和機電工業株式会社 頴田（かいた）工場

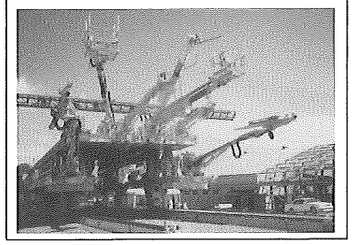
〒820-1111　福岡県飯塚市勢田（せいた）2594番地の18
電　話：(09496)2-3500(代表)
ＦＡＸ：(09496)2-6310
E-mail：info@towakiden.co.jp
ホームページ　http://www.towakiden.co.jp

道路・鉄道・水路トンネル用コンクリート型枠はもとより，
各種鋼構造物の設計・製造をおこなっております．

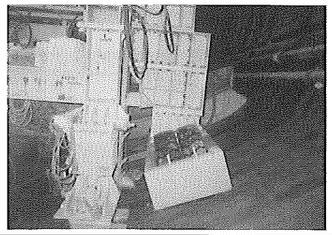
高流動コンクリート対応型
全断面ステンレスフォーム



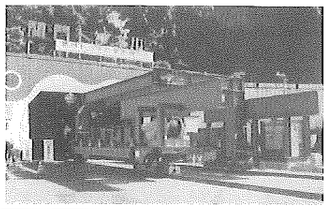
ワークステーション架台



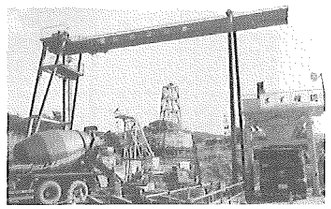
全輪タイヤ式インバート桟橋



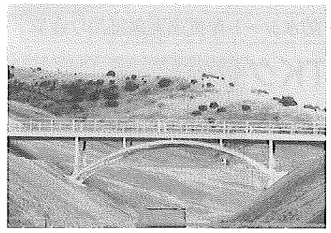
勾配対応全輪駆動式
トンネル床版撤去架台



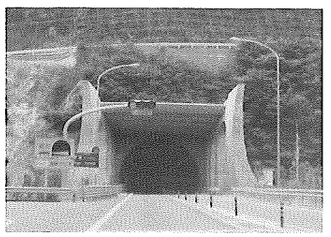
立坑ズリ出し設備
(4.5t×60m)



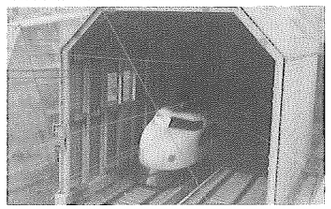
林道橋



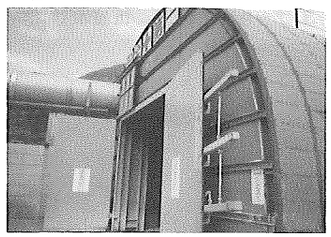
トンネル坑口修景ルーバー



新幹線微気圧伝播緩衝工
(鋼製，総溶融亜鉛メッキ)



防音シェルター

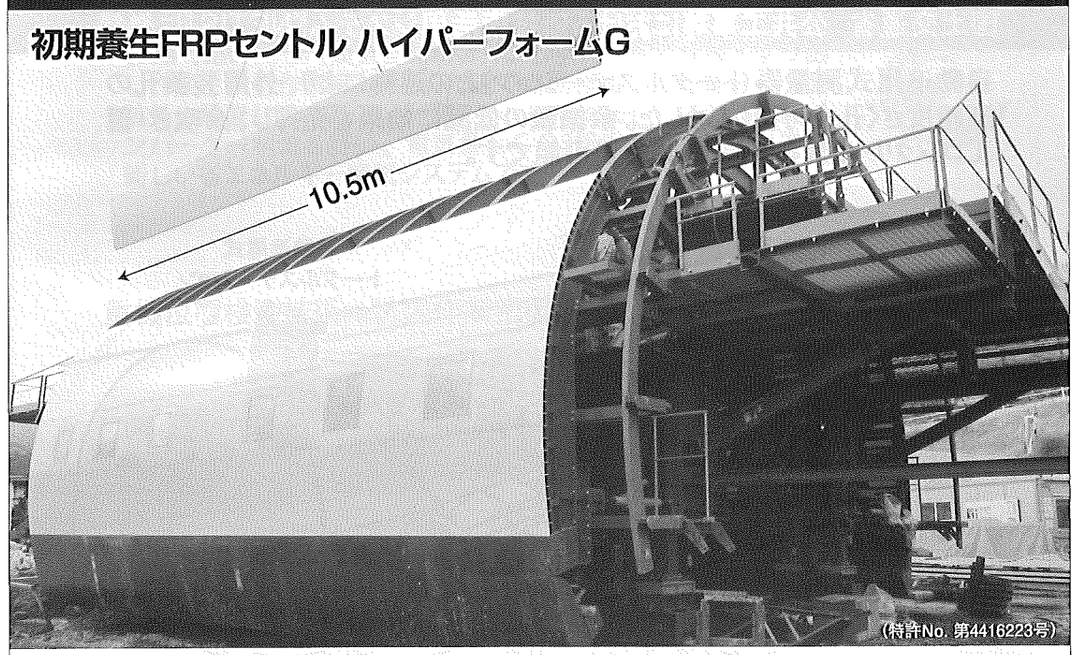


離島を含む九州一円中国四国圏内におきましては，
地の利を生かした営業・打合せ・納品・対応を行ってまいります．

連続ベルコンを通過させるセントルにおいて，ベルコン側の懐を拡げるためにガントリーを偏芯させ高強度化することは，弊社の所有特許です．

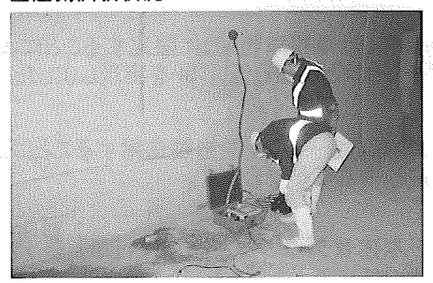
新着ニュース FRPセントルによる覆工コンクリートの密実性を検証

初期養生FRPセントル ハイパーフォームG



(特許No. 第4416223号)

■透気試験状況



国土交通省東北地方整備局楢遠トンネル ㈱フジタ施工

国土交通省東北地方整備局が発注した東北中央自動車道(相馬～福島)の楢遠トンネル工事(全長1,492.8m)において、トンネル全線(非常駐車帯部を除く)で採用したFRP製セントルと非常駐車帯部で使用した鋼製セントルで施工された覆工コンクリートの表層部分の透気係数を測定することにより、コンクリートの中性化速度係数が30%～50%程度低下し耐久性が大幅に向上する事が実証された。

特徴

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

M.K.E 株式会社 エムケーエンジニアリング

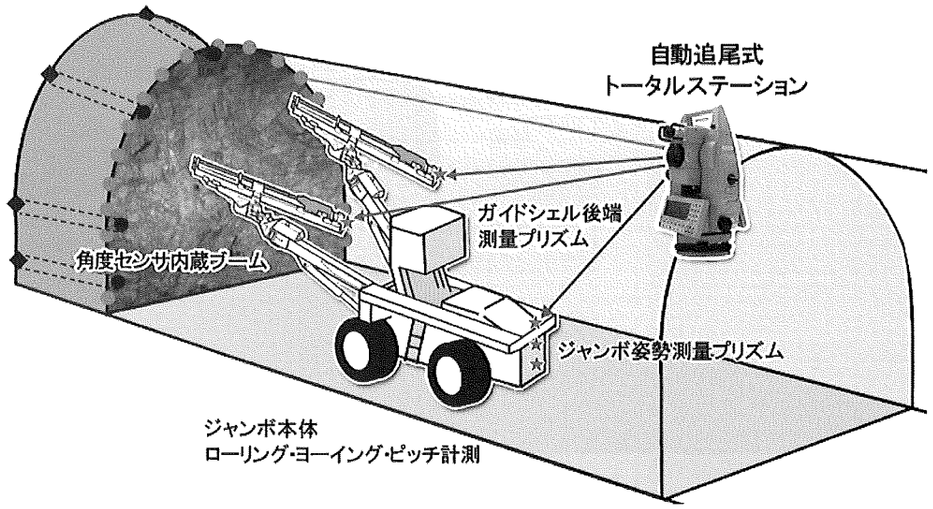
■ 本　　社　〒553-0006　大阪市福島区吉野1-20-30 阪神野田駅前ビル　TEL:06-6443-7060
■ 九州営業所　〒812-0011　福岡市博多区博多駅前2丁目20番1号　TEL:092-409-8008
■ 指定工場　〒919-0441　福井県坂井市春江町定重(森本工業)　TEL:0776-51-2410

NETIS登録番号:KK-100049-A

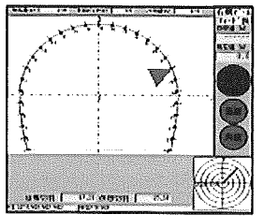
自動追尾式余掘り低減システム

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

This May Debut

TAG Navi－V (換気自動制御)

Automatic Ventilation Control System

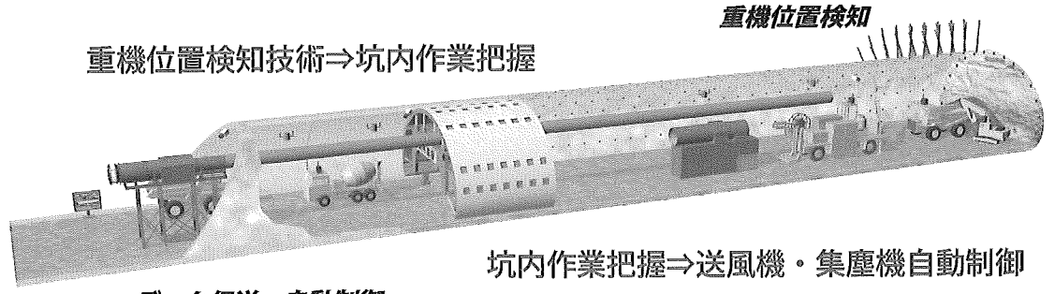
CYBER NATM

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



重機位置検知

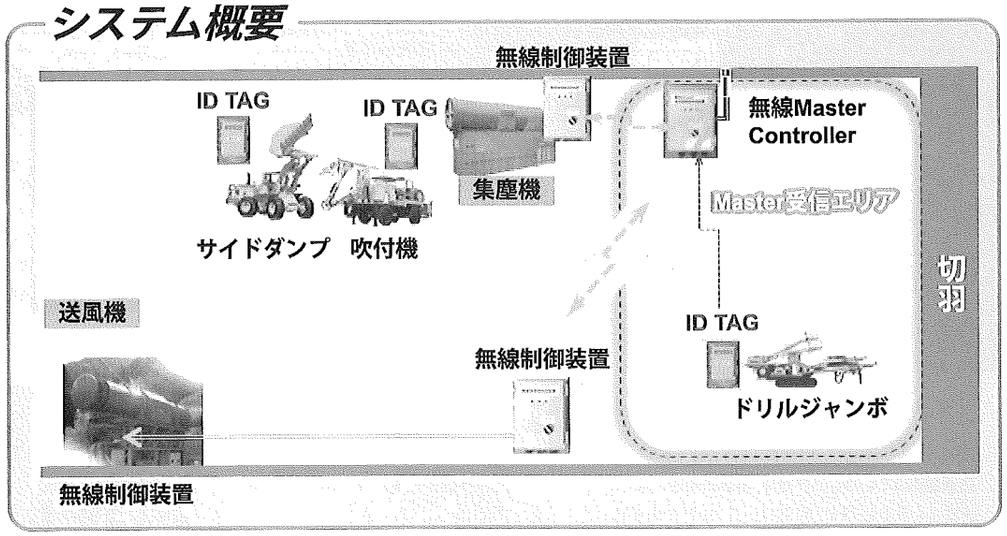
重機位置検知技術⇒坑内作業把握



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.*

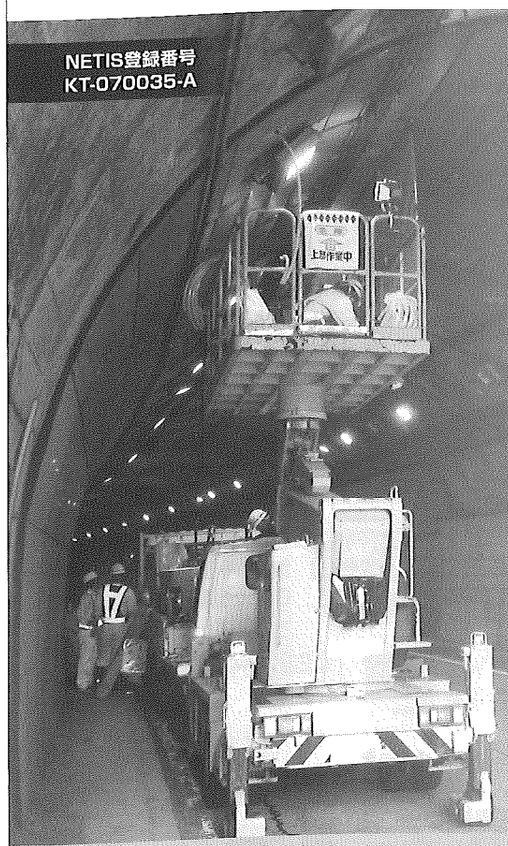
■京都本社　〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237番地3

TEL:075-417-0100　FAX:075-417-0200

日本のインフラ維持が注目される今!!

アキレスTn-p工法

トンネル裏込補修用ウレタン注入工法　老朽化したトンネルを災害から守る新しい工法です



1 超軽量で安全性向上

充填材が超軽量であり、覆工コンクリートの負荷を大きく軽減できます。

2 注入設備がコンパクト

注入設備がコンパクトで、4t車1台に全ての設備と材料を積載することが可能です。

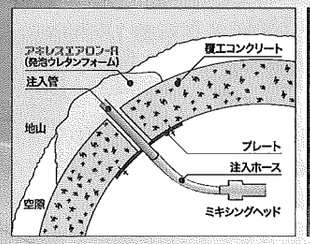
3 急速固化でリーク減少

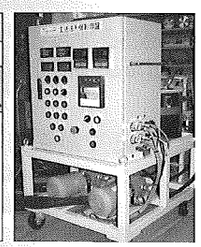
注入後、数分で発泡固化するため、亀裂等からの材料リークの危険性を低減できます。

4 環境対応型ノンフロン

発泡剤にフロン類を一切含まず、地球環境保護に貢献します。

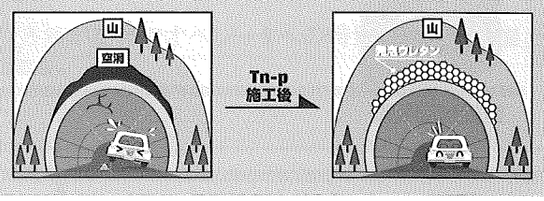
ノンフロン 明日のために、ノンフロン。





『アキレスTn-p工法』とは?

古いトンネル(矢板工法)の覆工コンクリート背面には、空洞が生じていることがあり、崩落の原因になりかねません。その空洞を『発泡ウレタン』で充填補修し、災害を防除するための工法です。



あなたの身近にいつも…
Achilles
アキレス株式会社

断熱資材販売部

本　社	〒160-8885	東京都新宿区大京町22-5	03-5379-4528
関西支社	〒530-0005	大阪府大阪市北区中之島2-2-7 23F	06-4707-2355
北海道営業所	〒061-3241	北海道石狩市新港西1-726-3	0133-73-9591
九州営業所	〒813-6591	福岡県福岡市東区多の津1-1-4	092-622-2871

Tn-p工法　検索
http://www.achilles-foamsystem.com/

月刊推進技術
定期購読のご案内



定期購読料金 12,337円 1冊1,130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12,337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

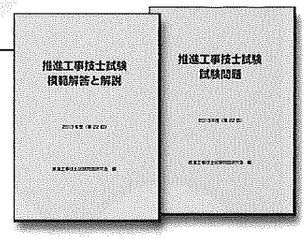
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/　月刊推進技術　検索

お問い合わせ先
月刊推進技術 編集室
http://www.lsweb.co.jp/micro-tunnelling/
〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201　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12年間(平成14～25年度)

試験問題と模範解答・解説集

推進工事技士試験問題研究会編



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

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

平成25年度版発売中!!

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)

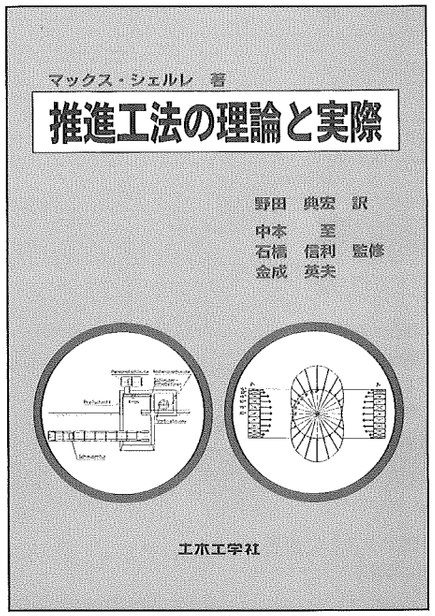
3．申込方法

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/
〒135-0033　東京都江東区深川2-12-4-201
電話 03-5621-7850　FAX 03-5621-7851　E-mail oda@lsweb.co.jp

推進工法の理論と実際

マニュアルを超えて推進工法の理解をさらに深める一冊



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

推 薦 の 言 葉

中本　至・石橋信利・金成英夫

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

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

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

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

【好評発売中】

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》

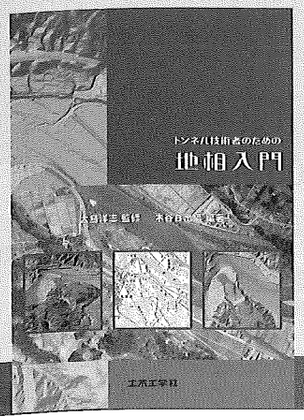
セグメントの新技術 _____ 冊　申込みます．

所 在 地　〒(　　)

事業所名　　☎

部 課 名　　申込者名　　㊞

新刊図書のご案内　**地形にも相がある 地形の性質を知ろう！**



トンネル技術者のための

地相入門

大島洋志 監修　　木谷日出男 編著

B5判　203頁　定価3,200円+税　送料別

図・表・写真　288点収録

山にも人の人相のように山の相がある．地形の性質を知り，事前に危険な箇所を把握することはトンネルを施工する上で重要である．
本書のように地形中心にこれほどまとまったトンネル技術書は今までになかった．施工者には施工中に予測される地形上の危険把握のため，発注者にはもっとも安全に施工できる路線選定ため，本書を有効利用いただくことが執筆陣の願いである．
第Ⅰ編では地形図の読み方を平易にまとめ，第Ⅱ編ではそれぞれの地形種について施工事例を交え説明している．第Ⅲ編では監修者の経験を基に路線選定の注意点を施工事例とともに紹介している．

《主要目次》

序　編　まえがき
地相は人相　山の性状

第Ⅰ編　地形から読み取れる情報
地形から地相を読む方法 / 地形から得る具体的な情報

第Ⅱ編　地形種とトンネルの施工事例
段丘・台地 / 崖錐・沖積錐・扇状地 / 傾斜層 / 地すべり /
マスムーブメント・滑落崖 / 断層（断層変位地形）/
断層（断層削剥地形）/ 火山地形 / カルスト地形・残丘 / 地形改変

第Ⅲ編　路線選定
地相をよく観て路線選定を行う

あとがきにかえて
座談会

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

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 土田義式

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㈹

ゴムクロ・ミキサー車

国土交通省排ガス2次トンネル並用指定



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：0197-71-2405
fax：0197-71-2406

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

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

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

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

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





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。

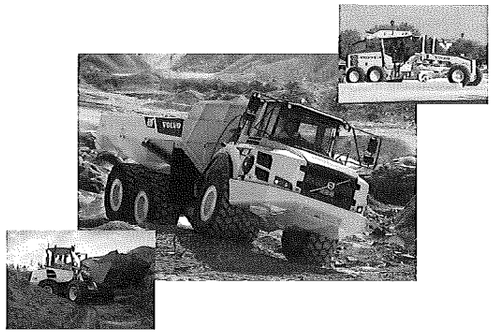
www.oricaminingservices.com
にアクセスして頂ければ、
トンネル現場の最新技術を
ご覧になることができます。

ORICA
MINING
SERVICES

VOLVO 建設機械

TMS Techni-Métal Systèmes

高い作業性とクールなデザインが人気
年々強化される排ガス規制にも対応



ボルボ事業部　担当：浅野
TEL0538-66-1215　FAX0538-66-6162

多目的運搬台車
4次オフロード法取得　レールからの解放



TMS 社 日本総代理店
担当：渡邊

Yamazaki Machinery

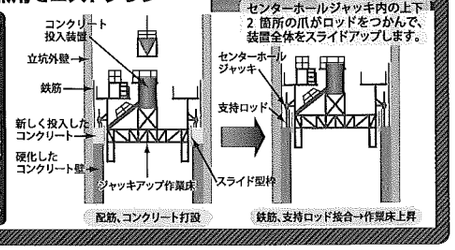
山崎マシーナリー株式会社
〒438-0216　静岡県磐田市飛平松 216 番地 1
代表 TEL0538-66-1211　FAX0538-66-6410

スーパージャッキシステム
トンネル・地下工事に貢献！

立坑スリップフォーム工法

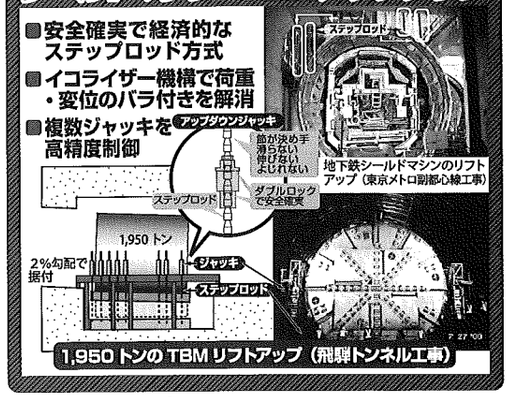
■コンクリート連続打設で工期短縮
■型枠・足場組ばらし不要
■掘削・グラウトスカフォード兼用でコストダウン





シールドマシン・TBMアップダウン

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



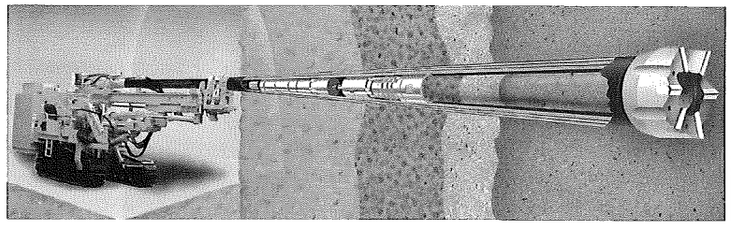
営業品目
■ジャッキリース・オペレータ
■架台・型枠足場　設計・製作・据付工事

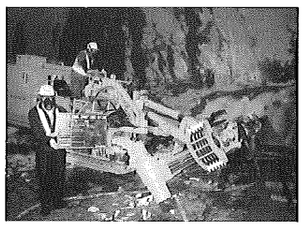
JFE シビル 株式会社
都市基盤営業部　特殊工法グループ
〒111-0051 東京都台東区蔵前2丁目17番4号（JFE蔵前ビル）
TEL:03-3864-5293　FAX:03-3864-7319
URL http://www.jfe-civil.com/　E-mail jack@jfe-civil.com

トンネル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

■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なえ、施工時間が大幅に短縮できます。
■2重管ワイヤ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比べて大幅に向上しました。





地球にKOKEN する会社。
鉱研工業株式会社
本　社　〒171-8572　東京都豊島区高田2丁目17番22号　目白中野ビル1階
TEL(03)6907-7888(大代表)　FAX(03)6907-7527

お問合せ先：エンジニアリング本部　エンジニアリング部
TEL. 03-6907-7512　FAX. 03-6907-7522
http//www.koken-boring.co.jp

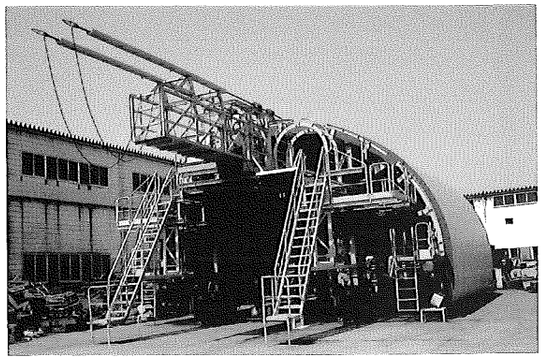
北海道支店：(011)561-4961　東北支店：(022)762-6075　信越支店：(025)275-6877　首都圏事業部：(03)-6907-7511
大阪支店：(06)6385-0350　中国支店：(083)972-8757　九州支店：(092)924-5001　海外事業部：(03)-6907-7515

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-V
（平成 26 年度活用促進技術）

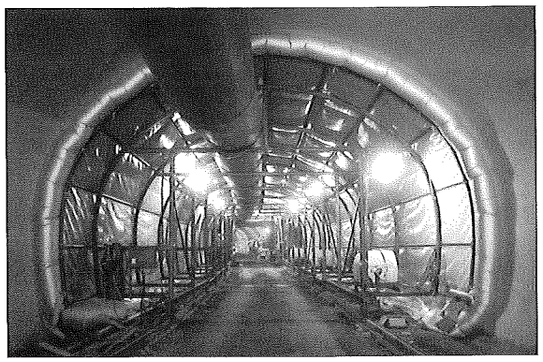


期待される効果・特徴

- 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

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

北野工場：〒936-0806 富山県滑川市北野新 888 番地　TEL076(476)2155　FAX076(476)2177

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

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

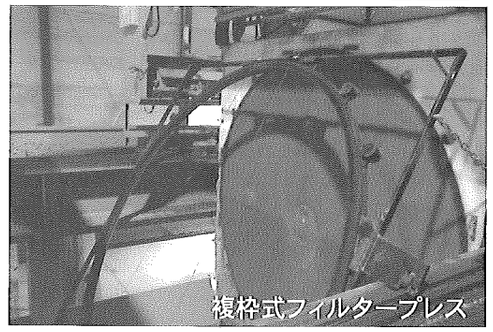
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします

環境にやさしい ＴＷＳ型濁水処理シリーズ

小規模のpH中和装置～ダム骨材用の大規模処理装置まで対応します



100.0㎥/Hr 濁水処理設備



複枠式フィルタープレス

【TWS型濁水処理装置の特徴】

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

≪汎用車輌全般≫



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





10T ミキサー



4.5㎥ベッセル搭載ダンプ



10T 低床ダンプ



10T ダンプ

各種車輌 取り扱っております

株式会社 フジテックス

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

トンネルと地下　8月号目次　Vol.45, No.8, 2014 Aug.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

総合評価方式がトンネルにもたらしたもの
村上　哲朗……5

■研　　究

高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討
山田　隆昭・中田　雅博・殿垣内正人・大津　敏郎……39

小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価
野々村政一・井浦　智実・岸田　　潔……55

■施　　工

小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削
―国道１号笹原山中バイパス２号トンネル―
毛利　　勇・遠藤　拓二・山田　勝己・船田　哲人……7

水平注入工などで国道１号直下を土かぶり１ｍで函体推進
―滋賀県栗東市　葉山川横断函渠―
河田　真一・中村　　衛・岩川　真一・髙木　　清……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1,296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

大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部35kmをTBMで突破
―マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル―
河田　孝志・仲野　義邦・水戸　　聰……27

■連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法（３）
―セメント固化改良工法（１）―
「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会……67

■現場だより

「北限の海女・あまちゃんの舞台」岩手県久慈市より
松戸　直人……16

■語り継ぎ　言ひ継ぎ行かむ

基本の大切さを痛感
熊井　文孝……49

■資　　料

土木情報
編　集　部……26

トンネルジャーナル
編　集　部……79

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……81

【表紙説明】　小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削
―国道１号笹原山中バイパス２号トンネル―



本トンネルは，静岡県三島市山中新田～同市笹原新田に計画される国道１号笹原山中バイパス（L＝4.3km）のうち，史跡山中城跡に近接して施工される延長L＝78mの山岳トンネルである．

本トンネルは，軟弱なローム層と風化～強風化した火山礫凝灰岩を主体とした未固結地山を最大土かぶり約10mの特殊条件下で新東名高速道路の３車線断面と同等の扁平大断面トンネルを施工するものである．

写真は，トンネル完成後の坑口全景である．〔**写真提供**：国土交通省〕（本文７頁参照）

管理しながらコンクリートを育てる

NETIS登録No.CB-120032-A

コンクリートトータル養生システム



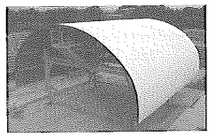
加温しながら初期強度を上げる

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



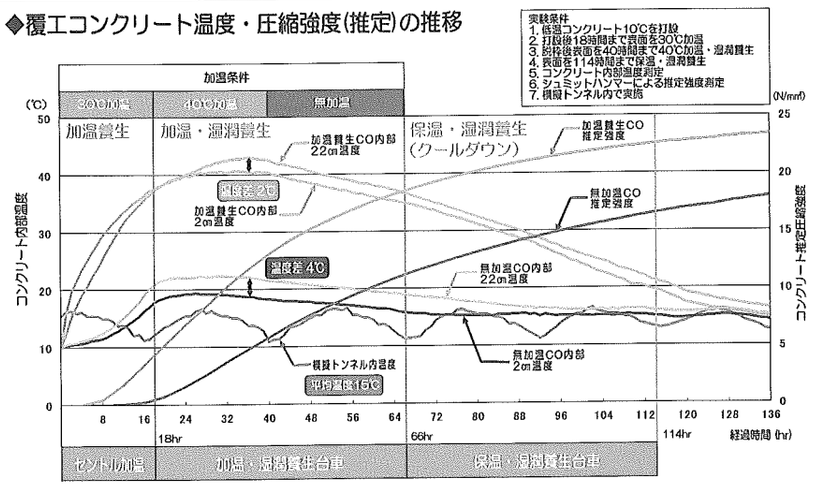
コンクリートの強度を予測管理

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 岐阜県瑞穂市田之上 811 番地　TEL 058-257-1000(代)　FAX 058-257-1013
営業部本部 TEL 058-257-1001 東京支店　TEL 03-5836-0531 札幌営業所 TEL 011-374-7027
仙台営業所 TEL 022-259-2239 九州営業所 TEL 092-918-3880 宮古出張所 TEL 0193-77-5472

【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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔幹　　事〕

居 相 好 信
株式会社大林組生産技術本部統括部長

伊 藤　　聡
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

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

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
担当部長(トンネル)

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

長谷川 雅 彦
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

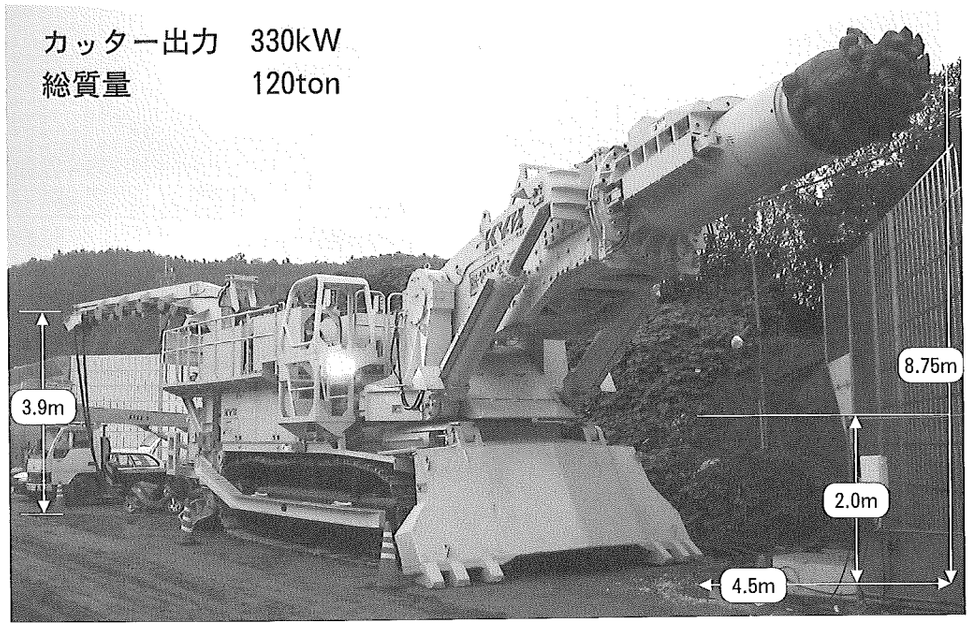
藤 井 義 文
株式会社竹中土木執行役員

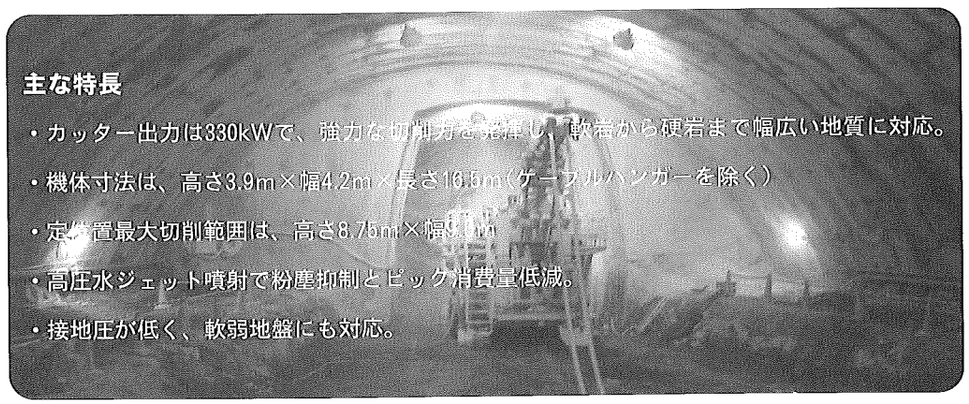
松 原 利 之
飛島建設株式会社建設事業本部
エンジニアリング事業推進部長

吉 富 幸 雄
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル室参与

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開発センター最高技術顧問
首都大学東京客員教授

〔編集参与〕

木谷日出男
国際航業株式会社フェロー技術開発センター
地盤研究室長

小山幸則
立命館大学総合科学技術研究機構客員教授

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

〔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

岡田龍二
東京地下鉄株式会社鉄道本部改良建設部
技術基準担当課長

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
東京電力株式会社パワーグリッド・カンパニー
工務部流通土木グループマネージャー

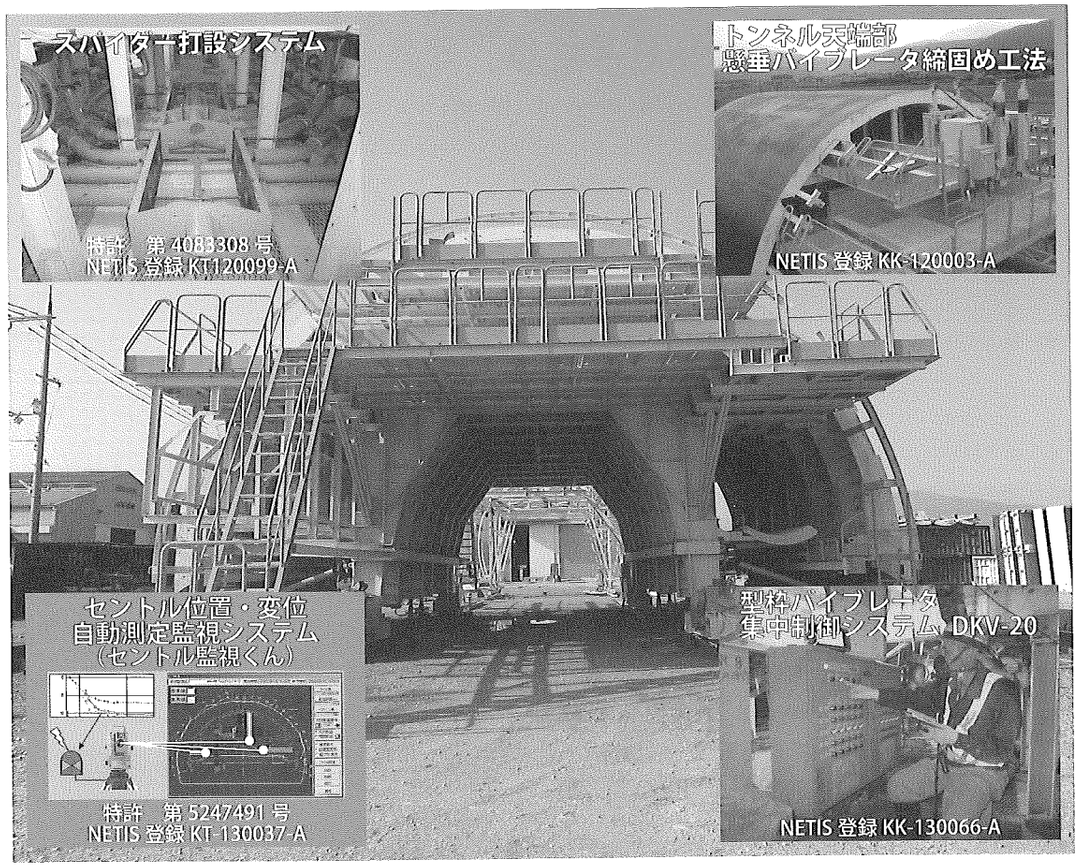
谷内雅之
東京都交通局建設工務部計画改良課長

真下英人
国土交通省国土技術政策総合研究所
道路構造物研究部長

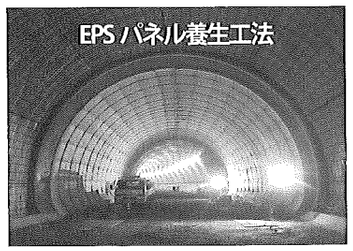
焼田真司
公益財団法人鉄道総合技術研究所
構造物技術研究部トンネル研究室長

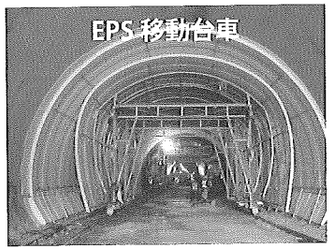
柳雄
東京都下水道局建設部設計調整課長

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





EPSパネルの保温性、保湿性が効く

実績および計画		
施主	実績	計画中
国土交通省	27	1
NEXCO	6	1
地方自治体	14	3
鉄道・運輸機構	1	0

平成25年12月1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/　E-Mail：daiei-co@minos.ocn.ne.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. 45　No. 8　掲載概要

掲載頁 7

小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削
—国道1号笹原山中バイパス2号トンネル—

国土交通省　毛利　勇

国道1号笹原山中バイパス2号トンネルは，静岡県三島市山中新田から同市笹原新田に至る区間で計画される国道1号笹原山中バイパス（L＝4.3km）のうち，史跡山中城跡に近接して施工される延長L＝78mの山岳トンネルである．

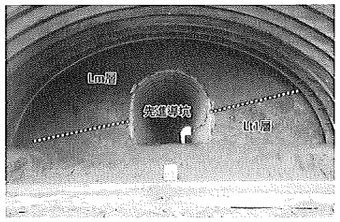
本トンネルの地質は，軟弱なローム層と風化～強風化した火山礫凝灰岩を主体とした未固結地山である．また，最大土かぶりが約10mと非常に小さい．これら特殊条件下で新東名高速道路の3車線断面と同等の扁平大断面トンネルを施工するため，トンネル掘削時の切羽崩壊やトンネル変位，地表面沈下などが懸念された．

本稿では，特殊条件下での掘削状況，計測工，FEM解析について報告する．

Excavate Shallow Flat Large-section Tunnel in Unconsolidated Ground with Centre Drift—National Route 1, Sasahara-Yamanaka Bypass, Tunnel No. 2 —

By Isamu Mori, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

Tunnel No.2 on the Sasahara-Yamanaka Bypass (L=4.3 km) of National Route 1 is a mountain tunnel of 78 m in length which is located close to the historic site of Yamanaka Castle ruin. The bypass is planned to be constructed between Yamanaka-Shinden and Sasahara-Shinden in Mishima City, Shizuoka Prefecture.



写真は本坑切羽状況

The geological conditions of this tunnel are unconsolidated ground mainly consisting of weak loam and weathered to strongly-weathered lapilli tuff. In addition, maximum cover was extremely small at approx. 10 m. As the tunnel with dimension similar to the 3-lane tunnels on the New Tomei Expressway was constructed under these unique conditions, there was concern about collapse of cutting face, tunnel deformation and ground surface subsidence during tunnel excavation.

This report contains information on excavation under special conditions, monitoring and FEM analysis.

掲載頁 17

水平注入工などで国道1号直下を土かぶり1mで函体推進
—滋賀県栗東市　葉山川横断函渠—

国土交通省　河田　真一

本稿は，滋賀県が行う1級河川葉山川改修事業の一環で，国道1号（東海道）とJR東海道新幹線が交差する道路直下に延長52.5mの函体（RC場所打ちボックスカルバート）を設置した施工報告である．

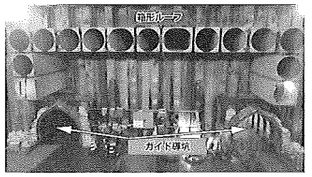
当該函渠の計画位置の直上には日交通量51,000台の国道1号が位置し，その上方には東海道新幹線の高架橋が横断し，さらに国道側方には電力高圧線が通る支障物件の多い状況であった．これらの近接構造物への影響を抑制するため，函渠の設置は非開削のR&C工法が採用された．しかし，河川の水理条件からボックス函体の土かぶりが1mと非常に小さいため，R&C工法の補助工法や函体推進などによる路面変状が懸念された．また，東海道新幹線の橋台や関西電力高圧線などの近接構造物への影響も抑制する施工が求められた．各施工段階でさまざまな対策技術を駆使して施工にあたった記録を報告する．

Box Jacking directly beneath National Route 1 in Small Cover using Horizontal Grouting, etc.
—Hayamagawa River Culvert—

By Shinichi Kawada, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism

This is a construction report for the installation of culvert (Box-type, precast RC) of 52.5 m in length directly under National Route 1 (Tokaido) and the viaduct of JR Tokaido Shinkansen line as part of the first class river Hayamagawa improvement project conducted by Shiga Prefecture.

The site lies near many obstacles such as National Route 1 with a daily traffic volume of 51,000 vehicles directly above the site, viaduct of Tokaido Shinkansen crossing above the site and route 1 and high-voltage cable passing laterally on the route 1. In order to restrict the effects on these adjacent structures, the trenchless technique of R&C method was adopted for installing the river culvert. However, as box cover is extremely small at one meter due to hydraulic conditions, there was concern about road surface subsidence due to the works of grouting, jacking, etc. In addition, there was a requirement to control effects on adjacent structures such as piers and foundation of Tokaido Shinkansen viaduct and high-voltage cables of Kansai Electric Power.



写真はガイド導坑施工状況

This report contains construction records using various countermeasure techniques at each works of construction.

掲載頁 27

大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部35kmをTBMで突破
—マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル—

清水建設(株)　河田　孝志

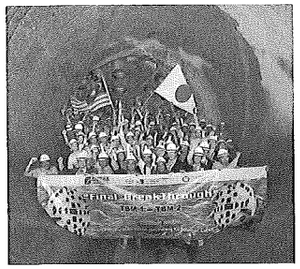
パハン・セランゴール導水トンネルプロジェクトは，マレーシアのマレー半島中央部に位置する全長44.6kmの長大トンネルを建設するプロジェクトである．本プロジェクトは，4工区2.5kmの作業トンネル，導水トンネル本体は，44.6kmのトンネルを8工区に分け，3工区34.6kmをTBM(Tunnel Boring Machine)，4工区9.1kmをNATM(New Austrian Tunneling Method)，1工区0.9kmを開削工法で施工する非常に珍しい大規模なトンネルを建設するプロジェクトである．2008年4月28日開札，2009年4月28日着工命令，5月25日契約調印式が執り行われ，6月1日に着工し，2014年2月19日に最後の貫通をもって東南アジア最長のトンネルが貫通し，現在に至る．

本稿では主に，最大土かぶり1,246m，1,000mを超える大土かぶり下で発生した山はね，岩盤温度上昇，大量突発湧水および2台のTBMのメインベアリング損傷などの困難，直面した厳しい条件でのTBMの施工結果について報告する．

TBM Broke through at Deep 35 km Tunnel in Granite Ground with Handling Large-volume Water Inflow and High-temperature Rock —Pahang Serangor Raw Water Tunnel in Malaysia—

By Takashi Kawata, Shimizu Corporation

The Pahang Serangor Raw Water Tunnel Project is to construct extremely rare large-scale raw water tunnel of 44.6 km in the centre of the Malay Peninsula in Malaysia. The project constructed four working adits of 2.5 km in total and a raw water tunnel of 44.6 km in length divided into eight sections, three sections of 34.6 km in total with TBM (Tunnel Boring Machine), four sections of 9.1 km in total with NATM (New Australian Tunneling Method) and one section with cut-and-cover technique for 0.9 km. Bidding opened on 28th April, 2008, groundbreaking was ordered on 28th April, 2009 and the contract signing ceremony was held on 25th May of the same year. Construction started on June 1st, 2009 and final breakthrough was achieved on 19th February, 2014, it was a breakthrough of the longest tunnel in South East Asia.



写真は最終貫通状況

This report mainly contains information on the TBM works results in difficult conditions such as high cover up to 1,246 m, rock-burst that occurred under large cover of over 1,000 m, rise in ground temperature, large-volume water inrush and damage to the main bearings of two TBMs.

掲載頁 39

高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討

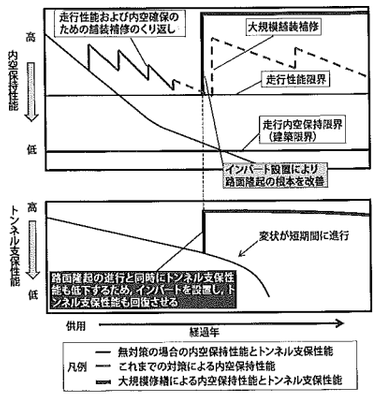
東日本高速道路(株)　山田　隆昭

東・中・西日本高速道路会社では，高速道路ネットワークの機能を今後も永続的に活用していくことを目指し，「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」(委員長：藤野陽三・東京大学大学院工学系研究科特任教授)を設置し，橋梁，トンネル，土構造物の長期保全について技術的検討を行った．高速道路の全トンネル1,677本について点検・調査データ，覆工健全度，地質データを分析した結果，泥岩・凝灰岩などでインバート未設置区間の路面の一部に隆起が生じていることや，風化しやすい岩で矢板工法のトンネルの覆工健全度がとくに低下していることなどが判明し，一部のトンネルでインバートの設置や覆工の補強など大規模な修繕が必要であると判断された．

Investigation of Major Repairs in Expressway Tunnels

By Takaaki Yamada, East Nippon Expressway Company Limited

The East/Central/West expressway companies, aiming to utilize expressway functions in the future, established the 'Technological Examination Committee for the concept of Long-term Maintenance and Renewal of Expressway Property' (Chairman: Yozo Fujino, Professor, Department of Civil Engineering, University of Tokyo) and conducted a technical investigation into the long-term maintenance of embankments, bridges and tunnels. The results of analysis of inspection results, survey data, soundness of lining and geological conditions for 1,677 tunnels on expressways showed that there were heaving on part of road surface in sections where no invert were installed in mudstone or tuff and that tunnel lining soundness particularly fallen to lower level in some tunnels which were built in easily-weathered rock with timbering support. It was judged that it is essential to conduct major repairs such as installation of invert concrete and reinforcement of lining in some tunnels.



図はトンネルの健全性および性能に関する概念

掲載頁 55

小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価

(株)レールウェイエンジニアリング　野々村政一

小土かぶりのトンネルが連続する東北新幹線八戸・七戸間のトンネル群では，先受け工などの補助工法を取り入れた施工が行われている．このうち，事前地山改良工は，小土かぶり未固結地山における有効な対策工として多く採用されている．

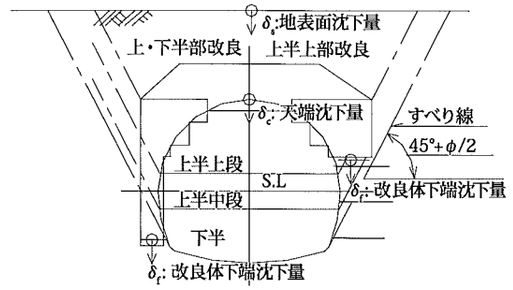
本稿では，東北新幹線で事前地山改良工を実施したトンネルの現場計測から，地表面沈下や地中変位，土圧を分析した．次に，改良範囲をパラメータとした室内模型実験を行い，改良範囲が地表面沈下や土圧の変動に与える影響を比較検討した．さらに，事前地山改良工を実施したトンネルをモデル化した掘削挙動解析を行い，地山改良が周辺地山の応力状態に与える影響を評価した．以上の検討結果から，事前地山改良工のトンネル掘削時の沈下抑制効果を考察し，事前地山改良工の評価手法を示した．

Evaluation of Preliminarily Improved Ground Stability for Tunnelling in Unconsolidated Ground with Small Cover

By Masaichi Nonomura, Railway Engineering Co.

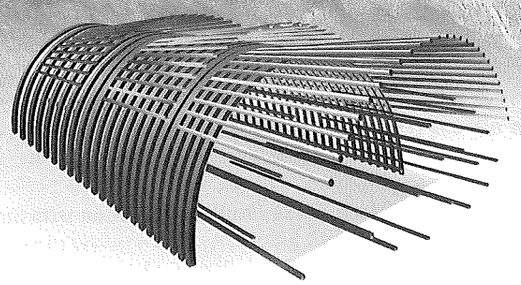
Many tunnels between Hachinohe and Shichinohe on the Tohoku Shinkansen in small cover were built with auxiliary working such as fore-poling. Among these, preliminary improvement works were frequently adopted as an effective countermeasure in unconsolidated ground with small cover.

This report analyzed ground surface subsidence, deformation and earth pressure from monitoring data of tunnelling on Tohoku Shinkansen which were installed preliminary improvement. Next, we conducted laboratory model experiments parametizing improved area to make a comparative investigation of the effects of improvement area against ground surface subsidence and fluctuations of earth pressure. Furthermore, we simulated excavation behaviour in modeled improvement ground to evaluate the effects of improvement on the stress state of surrounding ground. From the results of the above investigations, we considered the subsidence control effects of preliminary ground improvement works at the time of excavating a tunnel and showed methods for evaluation of preliminary ground improvement.



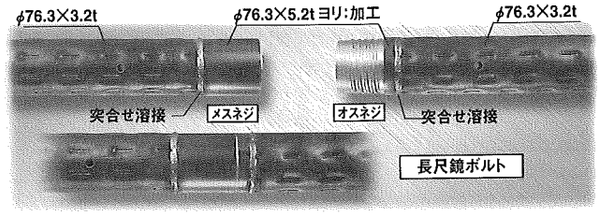
図は掘削段階で地山に生じるすべり線と改良体の位置関係

ユニークな発想でVEを提案



FIXチューブ(S型)（ストロング）

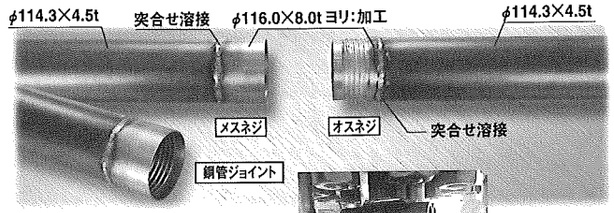
※長尺鏡ボルトは凹み面状の鋼管で周辺地山をしっかりとFIXします。
※長尺フォアパイリングのねじ強度改善!
※鋼製シースで環境に優しい無拡幅施工!



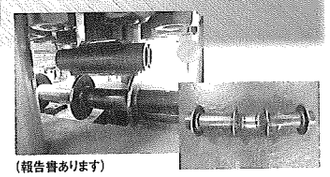


AGF-STD工法

※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!

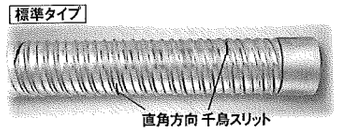


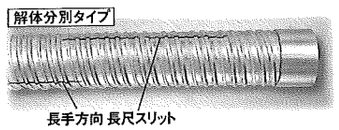
曲げ耐力30%UP!!

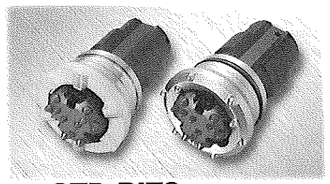


接続部の抗折力試験

撤去管の選択







STD BITS (ロストリング方式)

呼称	鋼管径	リングビット径
100A	φ114.3	φ124

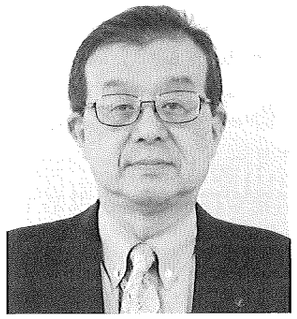
注入材・その他工法

※ウレタン系注入材：NEW-TSRF、NEW-TBU
※セメント系注入材：コロイダルスーパー、デンカES
※セメント系充填材：デンカPモル
※高速フォアボーリング：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）



総合評価方式がトンネルにもたらしたもの

三井住友建設(株)常務執行役員土木本部副本部長
村上　哲朗

平成17年３月，公共工事の品質確保の促進に関する法律，「品確法」が施行され，翌平成18年度に「総合評価落札方式」(以下，総合評価)が本格的に導入されてから，丸８年が経過しました．

総合評価の導入当初は，いわゆる「低入」が横行し，価格競争的な状況も多かったようでしたが，緊急対策として「施工体制点」が設けられたことによって，それ以降は「技術」(技術提案力)と「価格」(積算精度)の勝負となっています．

山岳トンネルの案件では，技術提案の評価項目として，「地山の安定化対策」，「覆工コンクリートの品質・耐久性向上対策」，「工期短縮の方策」，「周辺環境対策」などが設定されてきました．技術提案数や提案書枚数については，当初は無制限に近く，技術ダンピング的な状況でしたが，近年では５～10提案で数枚程度と少なくなってきています．

総合評価の導入によって，ゼネコンからは，「技術提案書の作成に多大な時間とコストを要する」，「過大なコスト負担が工事原価を圧迫する」などの不満の声が未だなくならないようですが，それ以上に総合評価がトンネルにもたらした功績は大きいと感じています．

それは，工事の品質確保に対するトンネル技術者の意識が向上したこと，とくに覆工コンクリートの美観と，ひび割れがほとんど見られなくなったように品質が飛躍的に向上したことだと思っています．

総合評価が導入される前，すなわち今から10年位前までは，トンネル技術者は，手ごわい地山を相手に，作業の安全を確保しつつ，いかに変位，変状を抑えて進行を伸ばすかを第一に考えてきました．その一方で，「覆工コンクリートは化粧巻き」，「無筋コンクリートだから，ひび割れは防ぎようがない」など，昔ながらの感覚が少なからず残っており，覆工コンクリートの品質に対しては必ずしも十分に注力してこなかったのが実態と思われます．

総合評価の導入以来ずっと「覆工コンクリートの品質・耐久性向上対策」が求められ，各社とも技術提案で高評価を得て工事を受注するために，コンクリートの配合，締固めや充填などの打設方法，養生方法などに関するさまざまな技術開発や技術改善を進めてきました．

アーチ部はセントルの検査窓を閉めてしまうので締固めはできないとあきらめていましたが，引抜きバイブレータなどによってアーチ部も確実に締固めることが可能となり，それまで見られた見苦しい縞模様はなくなって，見栄えが格段に向上しました．

充填検知センサー，加圧充填，ブリーディング水排出技術，あるいは吹付け面や覆工背面の平滑化技術などによって，覆工コンクリートの背面空洞をなくすことが可能となりました．また，非鋼繊維の混入や繊維シートの設置などによって，予防保全として施工段階における目地部のはく離・はく落防止対策が講じられるようになりました．

なかでも，養生技術の開発には目を見張るものがあります．それまでは，覆工コンクリートに対する養生は，冬期の脱型時にセントル表面にコンクリートが付着することを防ぐために，せいぜいセントルをブルーシートで覆って，その中をジェットヒーターで暖める程度だったようです．総合評価の導入に伴って，養生材の塗布，保温・保湿養生，給温養生，そして加湿・湿潤養生と，一般のRC構造物と同等以上の養生技術が開発され，現場に適用されています．

近年竣工したトンネルを自動車で走り抜け，白く綺麗な覆工コンクリートを見るたびに，安心感と満足感を覚えるのは私だけでしょうか．

今，トンネルをはじめ，多くの土木構造物は建設後50年以上が経過し，設計上の寿命を迎えています．これらの構造物に対しては適切な点検技術，補修・補強が必要となっています．その一方，総合評価で建設されたトンネルは，覆工コンクリートの品質・耐久性が飛躍的に向上したために，長寿命化が図られていると思っています．

われわれ人間も，健康に対する意識の高揚によって，ますます寿命が延びています．総合評価によって，工事の品質確保に対する意識向上が定着した今，総合評価の新たな評価項目として，「安全意識の更なる向上対策」，「作業環境の更なる向上対策」，「作業の省力化対策」などを設定することで，トンネルは次のステップに踏み出せるのではと思いますが，いかがでしょうか．

施工

小土かぶり未固結地山の扁平大断面トンネルを中央導坑により掘削

—国道1号笹原山中バイパス2号トンネル—

国土交通省中部地方整備局沼津河川国道事務所御殿場国道出張所所長　毛利　勇
(株)不動テトラ国道1号笹原山中バイパス2号トンネル作業所所長　遠藤拓二
(株)不動テトラ国道1号笹原山中バイパス2号トンネル作業所工事主任　山田勝己
(株)不動テトラ土木事業本部技術部技術室課長　船田哲人

1　はじめに

国道1号笹原山中バイパスは，静岡県三島市山中新田から同市笹原新田に至る延長L＝4.3kmの道路であり，国道1号現道の幅員狭小，線形不良，急勾配区間をバイパスし，交通安全の確保を図るとともに，沿道環境の改善を目的として，現在整備を進めている．

笹原山中バイパス2号トンネルは，事業計画区間の山中地区(L＝1.6km，平成27(2015)年度供用予定)のほぼ中央に位置する．また，日本百名城のひとつである史跡山中城跡に近接し，西ノ丸西側曲輪(豊臣秀吉の攻撃に対する前線として造られた西ノ丸前面の段曲輪)を貫くため，史跡保全と歴史的景観保持への配慮が必要である(図-1)．

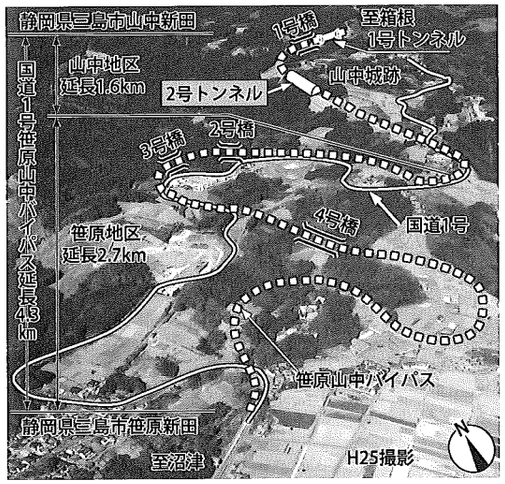


図-1　施工位置図

本トンネルは，新東名高速道路トンネルの3車線断面とほぼ同程度の大きさの扁平大断面トンネルである．また，トンネル全線が小土かぶり(最大土かぶり約10m)であり，地表面は軟弱なロームが厚く堆積した未固結地山であるため，地表面沈下抑制や切羽の安定化に配慮した施工が求められた．

本稿では，この特殊な条件下でのトンネル掘削状況と実施した計測，FEM解析について報告する．

2　工事概要とトンネル構造

2-1　工事概要

本トンネルは，NATM機械掘削により中央導坑先進補助ベンチ付き全断面工法で延長L＝78mを施工する山岳トンネルである．トンネル縦断勾配は掘削開始側となる終点側坑口から起点側坑口に向かって約8％の上り勾配である．

トンネル掘削は平成25(2013)年７月に終点側坑口から開始し，中央導坑(先進導坑)完了後，本坑掘削を平成25(2013)年８月から実施し，平成25(2013)年10月に全線が貫通した．

2-2　トンネル構造

図-2に支保パターン図を示す．支保パターンは土かぶりが小さいことからトンネル全線でDⅢaパターンが採用されている．

トンネル上下半の掘削断面積(設計)はA＝127.48m²(先進導坑：A＝26.311m²含む)であり，扁平率は0.5である．

トンネル掘削の補助工法は，天端安定対策として終点側坑口部は坑外から超長尺鋼管フォアパイリング工(L＝21.5m，@450㎜)を施工し，以降は全線で長尺鋼管フォアパイリング工(L＝12.5m，@450㎜，ただし最終シフトはL＝11.5m)を６mシフト(オールラップ)で施工した．注入材にはシリカレジンを使用した．

覆工コンクリートおよびインバートコンクリートは，設計厚t＝500㎜の複鉄筋構造が全線で採用され，設計基準強度は30N/㎟である．

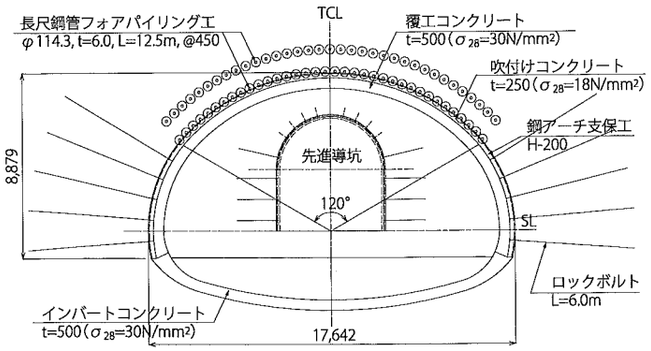
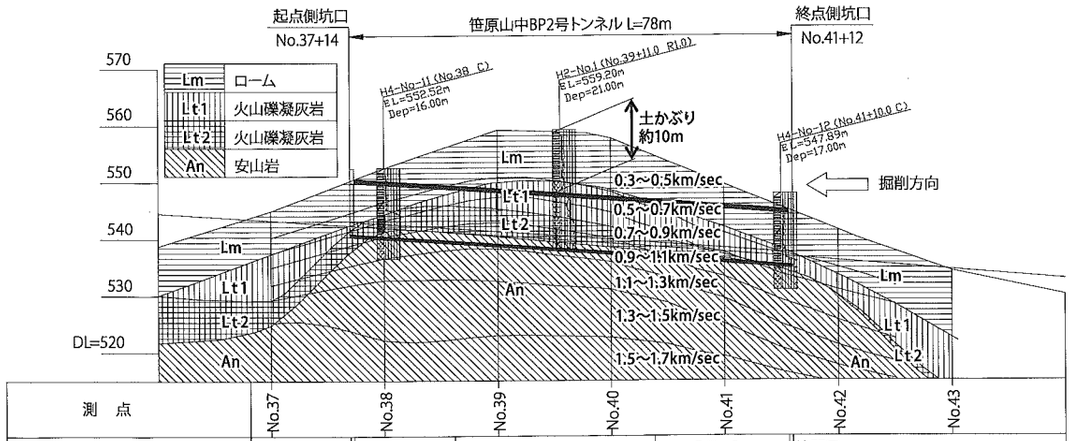


図-2　支保パターン図(DⅢa-1)



測　点		No.37	No.38	No.39	No.40	No.41	No.42	No.43
設計支保パターン		坑門工	DⅢa-1'	DⅢa-1		DⅢa-2	坑門工	
覆工巻厚 (cm)			50 (50)	50 (50)		50 (50)	() 内はインバート厚を示す.	
支保工	吹付けコンクリート (cm)		25	25		25		
	金　網		上下半	上下 半		上下半		
	ロックボルト [ ] 内：長尺鋼管		6.0 [11.5]	6.0 [12.5]		6.0 [21.5]		
	周方向×延長方向		1.0×1.0 [0.45×6.0]	1.0×1.0 [0.45×6.0]		1.0×1.0 [0.45×24.3]	[ ] 内は長尺鋼管を示す.	
	鋼アーチ支保工		H-200	H-200		H-200		
補助工法			長尺鋼管フォアパイリング	長尺鋼管フォアパイリング		坑口部超長尺鋼管フォアパイリング		
本坑区間長 (m)		0.7	17.7	35.3		23.6	0.7	
先進導坑			Ds					
先進導坑区間長 (m)			78.0					
掘削工法			NATM先進導坑補助ベンチ付き全断面工法 (機械掘削)					

図-3　地質縦断図

3　地形・地質概要

図-3に地質縦断図を示す．トンネル掘削箇所の地形はトンネル中央部が約10mの最大土かぶりとなり，横断方向にやや偏圧地形を呈する．地質は地表からN値が10以下の全体的に均質で粘土質なローム(以下，Lmとする)が10m程度の厚さでトンネル全体に分布する．その下部には火山砂礫状から火山礫混じりローム状を示し，N値が10～40程度の比較的不均質な風化した火山礫凝灰岩(以下，Lt1 とする)とLt1 層と同様であるが密な火山礫凝灰岩(以下，Lt2 とする)が分布する．トンネル下半からインバートにかけては亀裂が多いものの比較的堅硬な安山岩(以下，Anとする)が分布する．地下水位は，事前調査ではLt2 層とAn層の境界のインバート付近に分布するが，土かぶりも小さく後背地からの地下水供給も少ないことから湧水については問題ないと判断した．

事前地質調査では，トンネル縦断方向に３か所(両坑口部付近，トンネル中央部)の鉛直ボーリング調査が実施されていたが，トンネル横断方向の地質分布の確認と地山性状を再確認するため，トンネル掘削に先立って地表から最大土かぶり箇所となるNo.39＋10の測線で２本(トンネル中心より左右12m離れの位置)の鉛直コアボーリング調査を追加した．その結果，各地質(Lm，Lt1，Lt2)とも事前に想定されていた層厚でほぼ水平に分布し，地山性状も同等であることが確認された．また，調査時に実施した孔内水平載荷試験で得られた地山の変形係数も事前調査と同様の結果が得られた．

4　トンネルの施工状況

4-1　先進導坑掘削と本坑掘削

先進導坑掘削は，油圧切削機(ツインヘッダ2,100kg級)を使用して掘削していたが，風化変色したLt1 層に硬質な玉石が混在していたため，油圧ブレーカ(250kg級)を併用しながらの施工となった．

本坑掘削は，油圧切削機(ツインヘッダ2,100kg級)および油圧ブレーカ(1,300kg級)を使用した．地質は，先進導坑と同様にLt1 層に硬質な玉石層が混在しており，全体的には粘土質なLm層および風化～強風化したLt1 層が分布していた(**写真-1**)．湧水については，滲水～滴水程度であった．

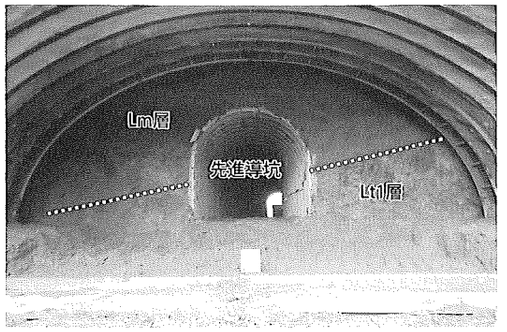


写真-1　本坑切羽状況(No.40＋18)

4-2　補助工法

本トンネルは小土かぶり地山であり，天端には未固結なLm層が分布することから，天端安定を目的に先進導坑は充塡式フォアポーリング工(L＝2.0m)，本坑は坑口部超長尺鋼管フォアパイリング工(L＝21.5m)および長尺鋼管フォアパイリング工(L＝12.5m)が当初から計画されていた．また，対象地山がLm層であるため，注入材の注入不良が懸念されたが，実施注入量は当初設計注入量の約1.4倍となったため，Lm層は固結度が悪く，緩んだ状態であったと考えられる．

補助工法の施工にあたっては，大量の削孔水を必要とする長尺鋼管フォアパイリング工において，削孔水によるLm層および強風化したLt1 層の軟弱地山の劣化が懸念された．このため，少量の削孔水および圧縮空気で削孔可能な起泡削孔装置を使用することで，地山劣化と切羽の不安定化を抑制し，先受け工の地山改良効果とあわせて掘削中の天端崩落を防止できた．また，削孔水による路盤の泥濘化も防止することができた．

追加の補助工法として，軟弱なLm層および強風化したLt1 層の切羽において，先進導坑と本坑の掘削時に肌落ちが多く見られたため，地表面および周辺地山の不安定化を防止する目的で，鏡吹付けコンクリート(t＝5cm)を施工し，鏡面の安

定化を図った．なお，本坑掘削においては，先進導坑が切羽安定にある程度の効果を発揮し，鏡吹付けコンクリートにより切羽が安定したため，鏡ボルトなどのさらなる補助工法は不要であった．

4-3　インバート掘削

インバート掘削地山は，事前調査で弾性波速度0.5～1.1km/secの亀裂の発達した軟岩(Lt2層，An層)と想定されたが，弾性波速度3.7km/sec以上の硬岩(An層)が出現した．当初は，油圧ブレーカ(1,300kg級)による掘削を実施していたが，油圧ブレーカ掘削適合上限とされる弾性波速度3.5 km/sec[1]を超える硬岩の出現で油圧ブレーカでの掘削は不可能となった．そこで，小土かぶり地山へ与える影響，周辺環境および工程への影響を比較検討し，蒸気圧破砕薬(ガンサイザー)を併用した油圧ブレーカ(1,300kg級×2台)による掘削を採用した．

5　計　測　工

5-1　計測計画

本トンネルでは以下に示す理由から，日常的に実施する計測Aに加えて，「地山の挙動およびトンネルの変形確認」「支保工の安全性確認」を目的として計測Bを実施した．

- 扁平大断面トンネルであるため，変形が大きくなる可能性がある．
- 最大土かぶりが約10mと小さく，切羽天端には未固結のLm層が分布するため，地表面沈下や切羽の不安定化の可能性がある．
- 支保工の安全性は，数値解析手法で確認されているが，その不確実性の問題が残されており，想定以上の変形や支保応力発生の可能性がある．

表-1　計測Bの実施断面

計測B断面	土かぶり	地質分布
No.39＋10	約10m（最大土かぶり）	地表からトンネル天端上部にかけてLm層が分布し，上半断面にLt1層，Lt2層が分布する．
No.40＋15	約5m	地表から上半断面上部にかけてLm層が分布し，上半断面下部にLt1層が分布する．

表-2　計測Bの項目

計測項目	計測断面	記号
地表面沈下測定（横断方向）	3～5m間隔で全線	▼
地中水平変位測定	No.39＋10	H1，H2
地下水位測定	No.39＋10	W1
先受け工応力測定	本坑・先進導坑：No.39＋10	G，G′
坑内地中変位測定	本坑：No.39＋10	E2～E5
地中沈下測定	No.40＋15	◆
吹付けコンクリート応力測定	本坑・先進導坑：No.40＋15，No.39＋10	▲
鋼アーチ支保工応力測定	本坑・先進導坑：No.40＋15，No.39＋10	■
ロックボルト軸力測定	本坑・先進導坑：No.39＋10	M2～M5 M2′～M5′
作用土圧測定	先進導坑：No.40＋15，No.39＋10	●

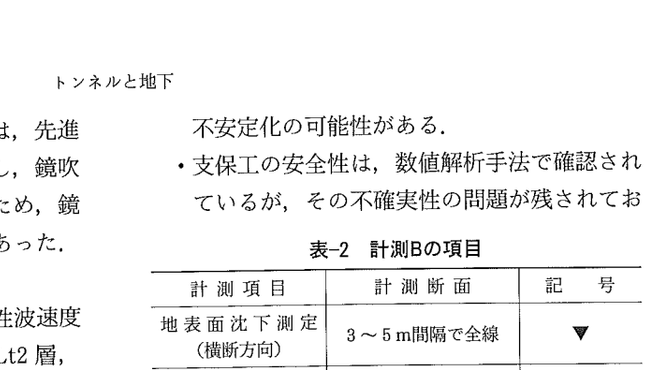


図-4　計測Bの計測点配置

計測Bの実施断面は，表-1に示すとおり土かぶりと地質分布の異なる2断面とした．また，計測B項目を表-2に，計測点配置を図-4に示す．

5-2　計測結果

5-2-1　地表面沈下・坑内変位

地表面沈下と坑内変位の収束値を図-5に示す．本坑掘削時の最大変位は，地表面沈下：－44mm(先進導坑掘削時の－5mm含む)，天端沈下：－21mm，内空変位：－9mmであり，終点側の土かぶり5m未満の断面で沈下が大きくなっていた．これは相対的に固結度の低いLm層とLt1層が下半盤に分布していたためと考えられる．

No.39＋10断面における地表面沈下分布を図-6に示す．一般にトンネル掘削に伴う地表面沈下分布は，トンネルセンターを最大値とする正規分布を示すことが知られているが，今回の分布をみると，図-7に示すとおり，トンネルセンター上の測点7を中心に左右9m(測点4～10)の間がほぼ等しく沈下していることがわかる．本坑断面では長尺鋼管フォアパイリング工が左右約8mの間に施工されていることから，その剛性により改良体が一体となって沈下しているものと考えられる．

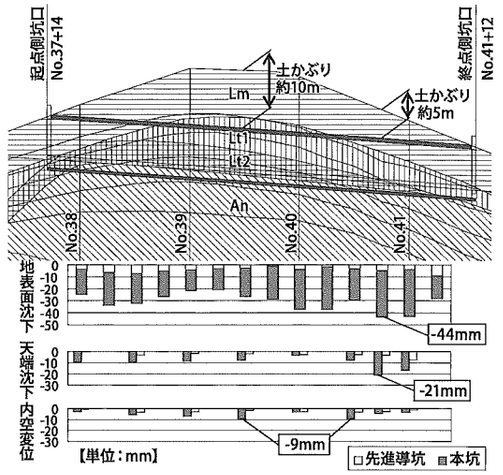


図-5　地表面沈下と坑内変位の収束値

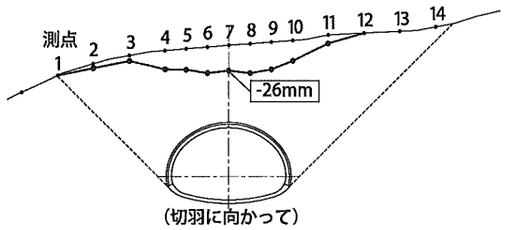


図-6　地表面沈下分布(No.39＋10)

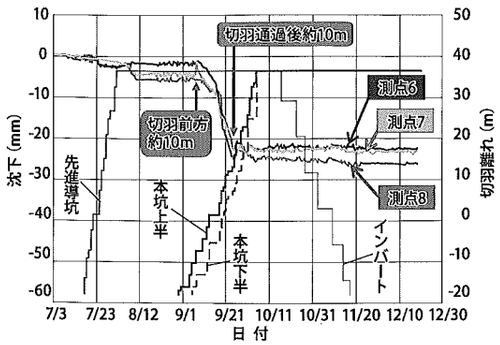


図-7　地表面沈下経時変化(No.39＋10)

トンネルセンター付近の3測点(測点6～8)の地表面沈下経時変化を図-7に示す．本坑上半切羽との関係に着目すると，切羽前方約10m(≒土かぶり)から沈下が始まり，通過後やはり約10mで収束している．収束時期は下半切羽通過時と同時期であり，補助ベンチ付き全断面工法での下半支保の早期施工が有効であることが確認できた．

5-2-2　先受け工の効果

No.40＋15断面において実施した先進導坑天端の地中沈下測定より，切羽到達時の先進導坑直上の地中沈下分布を図-8に示す．地中沈下分布は直線状をなしており，一様な引張ひずみが発生している．

一方，No.40＋15断面において，FEM解析を実施して求めた地中沈下分布を図-9に示す．ここには，先進導坑先受け工(充塡式フォアポーリング工)の効果をアーチ状改良体として評価した場合と評価しない場合の2通りの結果を示している．先進導坑先受け工を改良体として考慮した場合には鉛直変位分布は実測値と同様に直線状であることから，先進導坑先受け工は改良体としての先受け効果を発揮していたと考えられる．

No.39＋10断面における本坑先受け工(長尺鋼

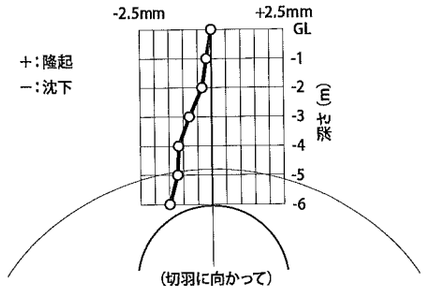


図-8　先進導坑直上の地中沈下分布(No.40＋15)

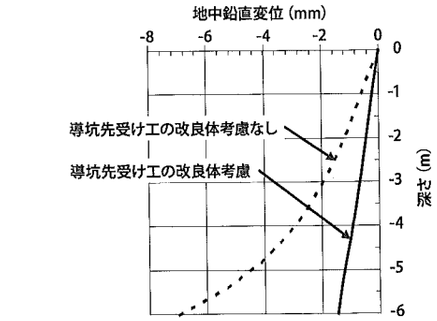


図-9　FEM解析による先進導坑直上の地中沈下分布(No.40＋15)

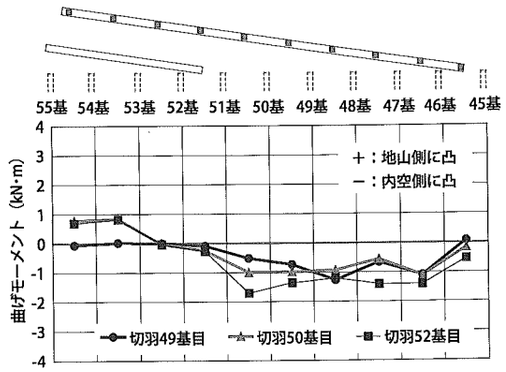


図-10　本坑先受け工曲げモーメント分布

管フォアパイリング工)の曲げモーメント分布を図-10に示す．本坑先受け工は切羽の進行に伴って，先端付近で地山側に凸，掘削部では内空側に凸のモーメントが発生している．とくに先端側では６m以奥に比較的大きなモーメントが発生している．このことは手前側が単純支持，奥が固定支持の梁として機能していることを示すものであり，本坑先受け工は６mシフトであることから，先受け工が重なり始める６m付近を境にモーメントが

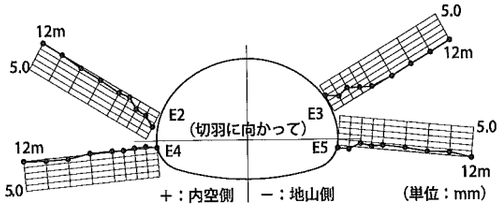


図-11　坑内地中変位分布(No.39＋10)

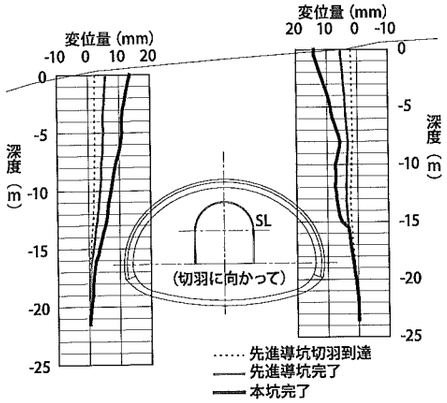


図-12　地中水平変位分布(No.39＋10)

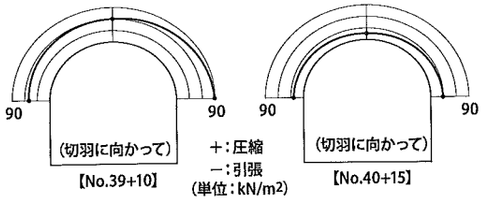


図-13　先進導坑断面の作用土圧の収束値分布

反転している．

5-2-3　地山および支保部材の挙動

(１)　地山挙動

No.39＋10断面における本坑地中変位分布を図-11に示す．壁面変位は肩部で約３㎜，区間ひずみも0.1%程度であり，明らかなゆるみを示すような挙動ではなかった．

また，同断面(No.39＋10)における地中水平変位測定結果を図-12に示す．先進導坑掘削により，先進導坑SL付近より上部がトンネル側に３～５㎜程度変位している．本坑掘削により，SL付近までの変位は小さいが肩部より上がトンネル中心側に向かって変位している．坑内地中変位・地表面沈下とあわせると上半地山が地表面までほぼ一

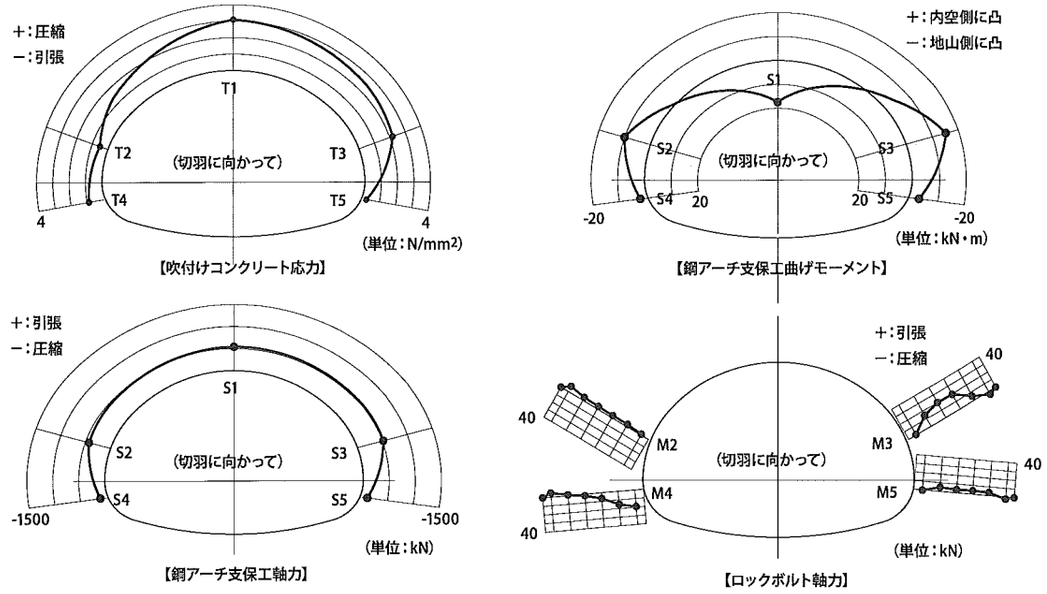


図-14　本坑支保部材力の収束値分布(No.39＋10)

体となって変位したことがわかる．

(２)　支保部材の挙動

先進導坑断面における作用土圧の収束値分布を図-13に示す．土かぶりはNo.40＋15断面が約５m，No.39＋10断面が約10mであり，作用土圧も２～３倍の違いとなっていた．また，No.39＋10断面は，切羽に向かって右側(山側)の作用土圧が大きく，偏圧地形の影響を受けていることが窺える．

No.39＋10断面における本坑支保部材力の収束値分布を図-14に示す．各項目とも切羽に向かって右側(山側)が若干大きくなっている．また，鋼アーチ支保工曲げモーメントは，天端が内空側に凸，側壁部が地山側に凸の分布となっており，小土かぶり扁平断面特有の天端が下がって側壁部が横に拡がるような分布形状となっている．発生応力自体は土かぶりが小さいこともあって，鋼アーチ支保工天端に管理レベルⅠ(設計強度の1/2)程度の応力が生じているほかはレベルⅠを下回っており，支保の安全性は確認できた．

6　計測結果にもとづく挙動予測と評価

本トンネルは延長がきわめて短いため，本坑掘

図-15　逆解析による検討フローチャート

削時の実測値にもとづく逆解析から，以降掘削する本坑挙動を検討することは現実的ではない．そのため，断面形状や寸法が異なるものの先進導坑

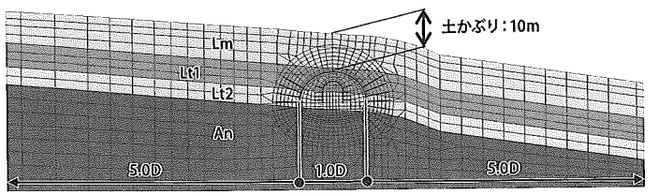


図-16　解析モデル図(No.39＋10)

表-3　解析入力物性値

地　層	N値	単位体積重量 (kN/m³)	変形係数 E(MN/m²)	粘着力 c(kN/m²)	内部摩擦角 φ(度)
ローム(Lm)	3	14.5	8.4	20	5
火山礫凝灰岩 (Lt1)	8	18.0	28.9	50	20
火山礫凝灰岩 (Lt2)	48	21.0	150	169	21
安山岩(An)	300	22.0	500	170	38

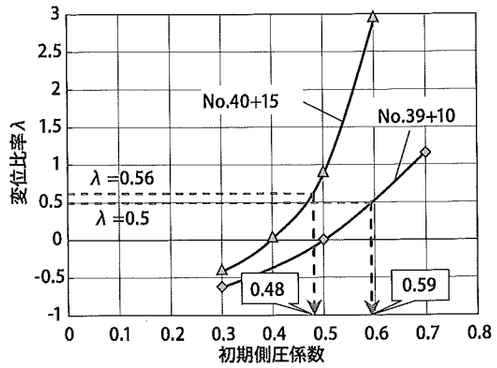


図-17　変位比率曲線

掘削時の変位や各支保部材の作用効果にもとづく逆解析により各種定数を推定し，本坑掘削時の挙動予測を実施した．検討フローチャートを図-15に示す．

6-1　先進導坑の実測値にもとづく逆解析

解析検討は，二次元非線形弾性解析とし，先進導坑No.39＋10とNo.40＋15の2断面で実施した．

No.39＋10断面における解析モデル図を図-16に，解析入力物性値を表-3に示す．

逆解析は初期側圧係数K_0をパラメータとしているが，未固結地山では初期応力計算の時点から非線形性を考慮すると仮定した側圧係数と初期応力計算結果の側圧係数が異なってしまうため，初期応力状態までは線形モデルとした．

表-4　先進導坑断面の支保部材力(No. 40＋15)

計測項目	実測値	解析値
吹付けコンクリート応力 (N/mm²)	0.4	0.6
鋼アーチ支保工軸力 (kN)	60	91

先進導坑掘削時のNo.40＋15断面に対し，初期側圧係数：K_0＝0.3，0.4，0.5，0.6の4ケースで順解析を実施し，変位比率曲線を作成した(図-17)．一方，先進導坑切羽から約20m離れた時点の実測変位(天端沈下δ_v：－2.5mm，内空変位δ_h：－1.4mm)をもとにした変位比率λ(＝δ_h/δ_v)は0.56となり，図-17より側圧係数K_0＝0.48を得た．次にK_0＝0.48で順解析を実施した結果，解析変位が約2/3となったことから，基部の安山岩層を除いた3層の変形係数を75%に低減し，再度解析し実測変位とあわせた．また，No.39＋10断面に対してもこの変形係数を用いて同様の検討を実施し，K_0＝0.59を得た(図-17)．

先進導坑No.40＋15の支保部材力に関しては表-4に示すように実測値が解析値の2/3程度にとどまっていたが，数値自体が小さく，とくに支保部材モデルの見直しは必要ないと判断した．

6-2　本坑断面のFEM解析結果と評価

先進導坑断面での逆解析結果を本坑No.39＋10とNo.40＋15の2断面に適用し，本坑掘削前にFEM順解析による本坑支保の検証を実施した．

No.39＋10断面における本坑掘削時の地山のゆるみ安全率分布を図-18に示す．ゆるみ安全率が1.0以下の非線形領域は，側壁面近傍のみに限定され，先受け工の効果もあり天端を含めた周辺地山の安全性を事前に確認できた．

No.39＋10断面における沈下・変位および支保部材力を表-5に示す．解析値の支保部材力が管理レベルⅠより小さく，安全であることを確認し，施工した．また，沈下・変位と支保部材力の実測値は，解析値とおおむね同等であり，先進導坑の

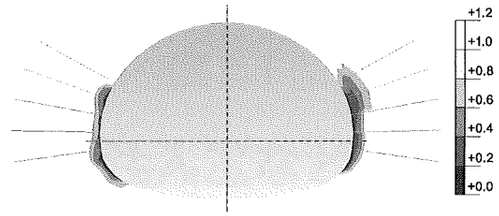


図-18　本坑断面のゆるみ安全率分布(No.39＋10)

実測値にもとづく逆解析による本坑挙動の予測精度が妥当であったと評価できる．

本坑支保の検証結果から，本坑No.39＋10，No. 40＋15の2断面ともに周辺地山と支保工の安全性を確認でき，DⅢaパターンとしての本坑支保部材の適用妥当性を確認できた．

7　おわりに

本稿では，扁平大断面トンネルを小土かぶりで未固結地山という条件下で施工した事例について報告した．

当初は，特殊条件ということで，地山の不安定化や大きなトンネル変形が懸念されたが，先進導坑掘削の実測値にもとづく逆解析による本坑支保の事前検証によって支保の安全性を確認したうえで施工を進め，各種計測によって安全性を確認できた．また，掘削時には補助工法の効果が発揮され，問題となるような地表面沈下や切羽崩壊も発生することなく安全に施工することができた．今回の報告が同種工事の施工に役立つことができれば幸いである．

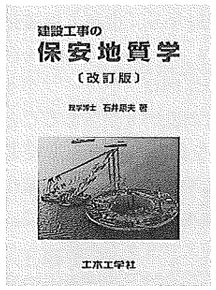
表-5　沈下・変位および支保部材力(No. 39＋10)

	計測項目	実測値	解析値
沈下・変位	地表面沈下(mm)	－26	－36
	天端沈下(mm)	－8	－10
	内空変位(mm)	－9	－1
支保部材力	吹付けコンクリート応力(N/mm²)	3.0	1.8
	鋼アーチ支保工応力(N/mm²)	－122	－101
	ロックボルト軸力(kN)	25	33

最後に，本トンネルの施工にあたり，ご指導・ご協力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) ジェオフロンテ研究会：ブレーカ工法積算基準(案)報告書，1999.11.



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　〒350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

現場だより 2014 トンネルと地下

「北限の海女・あまちゃんの舞台」岩手県久慈市より

松　戸　直　人

久慈市は，岩手県北東部の沿岸に位置し，東側は太平洋に面した海岸段丘が連なり，西側は遠島山など標高1,000m以上の山領を有する北上高地の北端部にあたる．「北限の海女」は，総延長180kmにも及ぶ陸中海岸国立公園の北部，久慈市の小袖海岸で活躍する海女たちの総称である．沖合は世界三大漁場の一つに数えられる漁場であり，サケをはじめ，マグロ，カツオ，サンマ，サバ，イカなどが多数水揚げされている．さらに良質な海藻が育つ磯は，ウニ，アワビなど高級食材の宝庫になっていて海女たちの格好の漁場になっている．海女のはじまりは，明治初頭と言われており，伝統の漁法を今に伝える久慈市の海女が有名になったのは昭和34(1959)年に放送のラジオドラマ『北限の海女』がきっかけで，また昨年NHKの朝ドラマ『あまちゃん』の人気により全国から注目を集め岩手県を代表する観光地の一つとなっている．

気象は，太平洋に面していることもあり，海洋性気候と内陸性気候の両方の気象状態を併せ持つ．夏季はヤマセ(偏東風)の影響を受けることが多く，平均して比較的冷涼な気候である．冬は比較的温暖であるが，今年は太平洋側に雪が多く降ったこともあり案内トンネルが位置する山間部は，1日で80cmの積雪があり国道から現場事務所に入るのに腰まである雪をかき分けたどり着くという，なかなかできない体験ができた．

久慈市は，このように自然環境に恵まれている一方，伝統工芸の「小久慈焼」，国内最大の産出を誇る「琥珀」(白亜紀後期約8,500万年前)，郷土料理の「まめぶ」や山形村短角牛を使った「べこの汁」，古くから郷土に伝わる「久慈秋まつり」など盛りだくさんの地域資源や食べ物，行事がある．

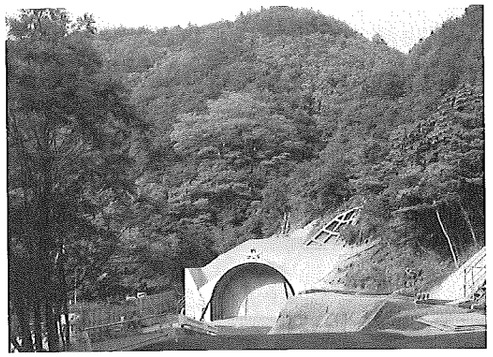
さて，一般国道281号は，盛岡市から久慈市に至る



位　置　図



まめぶ(久慈市山形総合支所より)



起点側坑口部の状況

延長約112kmの幹線道路であり，岩手県東日本大震災津波復興計画では，国道281号を「復興支援道路」と位置づけ，災害に強い交通ネットワークの構築を図っていくこととしている．事業区間は，急カーブが9か所連続し，防災対策が必要な斜面が8か所あることから，トンネル(延長1,150m)を新設することで交通の安全確保，物流輸送の効率化や緊急輸送道路の強化，医療施設への安定輸送を目指すものである．

現在(2014年5月末)，受注より6か月が経過したところで，これから掘削を開始し，地元の方々との交流を深めながら安全でより良いもの作り上げるため職員・協力会社一丸となって早期に無事完成を目指す所存である．

((株)竹中土木・(株)福田組・矢作建設工業(株)特定企業体案内トンネル作業所所長)

施工

水平注入工などで国道1号直下を土かぶり1mで函体推進

—滋賀県栗東市　葉山川横断函渠—

国土交通省近畿地方整備局滋賀国道事務所建設監督官　河　田　真　一
西松建設(株)西日本支社関西支店栗東葉山出張所長　中　村　　衛
西松建設(株)西日本支社関西支店栗東葉山主張所副所長　岩　川　真　一
西松建設(株)土木事業本部土木設計部担当部長　髙　木　　清

1　はじめに

本工事は，滋賀県が行う1級河川葉山川改修事業の一環で，国道1号(東海道)とJR東海道新幹線が交差する道路直下に延長52.5mの函体(RC場所打ちボックスカルバート)を設置するものである．日交通量51,000台の国道1号の交通切回しが不可能なため，非開削工法のうちR&C工法が採用された．さらに，河川の水理条件から函体の土かぶりが1mと非常に小さいため，R&C工法の補助工法や函体推進などによる路面変状が懸念された．また，東海道新幹線の橋脚や関西電力高圧線などの近接構造物への影響も抑制する施工が求められた．

2　工事概要

2-1　工事概要

本工事で採用されたR&C工法は，軌道や道路の下に箱形ルーフを貫入して，函体と置換設置する非開削工法であり，小土かぶりで地下構造物を設置できる特徴があるが，土かぶりがわずかであるため，施工による影響が現道路面にただちに影響することが危惧された．このため，事前に危険有害要因をリストアップし，各種の対策を講じることで，路面への影響を抑制しつつ，施工精度および品質を向上させる施工を行った．

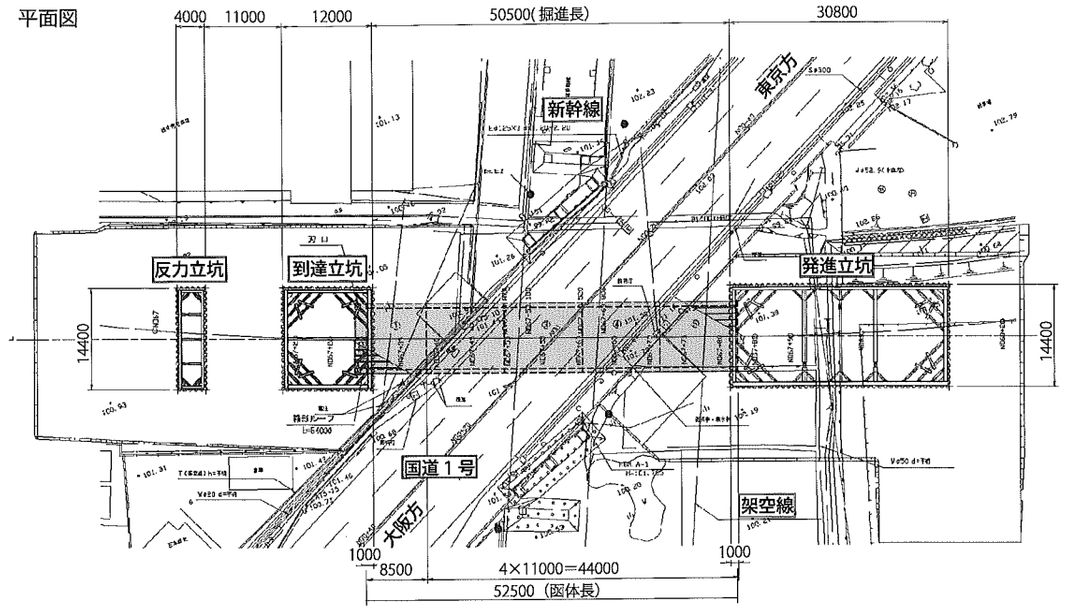
工 事 名：国道1号葉山川横断函渠設置工事
発 注 者：国土交通省近畿地方整備局
工事場所：滋賀県栗東市坊袋(ぼうぶくろ)地先
工　　期：平成24年2月28日～
　　平成26年2月28日
工事内容：薬液注入工　注入量1,344,084L
　　(2重管ダブルパッカ工法)
　　箱形ルーフ工　延長757.5m
　　(50.5m×15set)
　　ガイド導坑工　延長101.0m
　　(50.5m×2本，断面積4.2m²)
　　函　体　工　内空高3.6m×幅8.7m×延長52.5m(8.5m+4@11.0m)
　　コンクリート　992.0m³

2-2　施工条件

函渠の一般図を**図-1**に示す．函渠は国道1号(東海道)を横断する計画であり，上部にJR東海道新幹線(高架橋)，関西電力高圧線が位置し，下部には大阪ガスの配管も存在する．

このため，立坑土留め壁の打設はこれらの施設

平面図



断面図

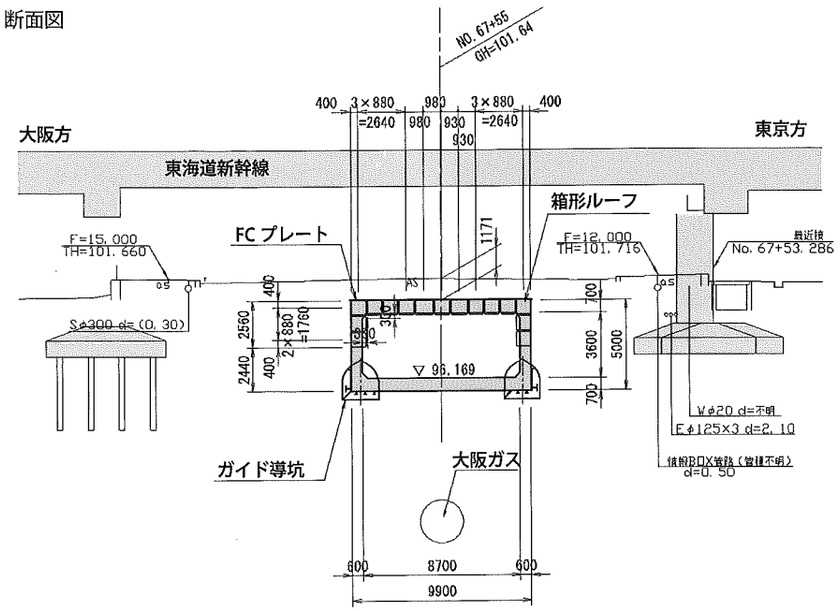


図-1　函渠一般図

への影響を考慮する必要があり，その後の各工種においても直上の国道１号の路面沈下をはじめとし，近接する各構造物などへの悪影響の防止が求められていた．

2-3　R&C工法施工方法

本工事ではR&C工法の牽引方式が採用されており，次の手順で施工を行う(図-2)．

① 発進立坑，到達立坑，反力立坑の３つの立坑を構築する．

② 立坑内および地上からガイド導坑掘削用の地盤改良(薬液注入工法)を行う．

③ 到達立坑から箱形ルーフを，人力掘削を併用し油圧ジャッキで圧入する．

④ ガイド導坑を山岳工法で掘削，構築する．

⑤ 函体のうち，２基を発進立坑内で構築する．

⑥ 構築した２基の函体の前面を掘削しつつ，土中に牽引する．牽引に伴い押出されてきた箱形ルーフは随時撤去する．２基の函体を土中内に牽引後，次の２基の函体を構築し牽引作業という流れで，３回の函体構築と牽引をくり返す．

⑦ 所定の位置まで牽引が完了したら，函体間の中押しジャッキを撤去し目地の防水を行う．最終緊張にて函体同士を結合し，最後に函体周囲に裏込め注入を行い完成させる．

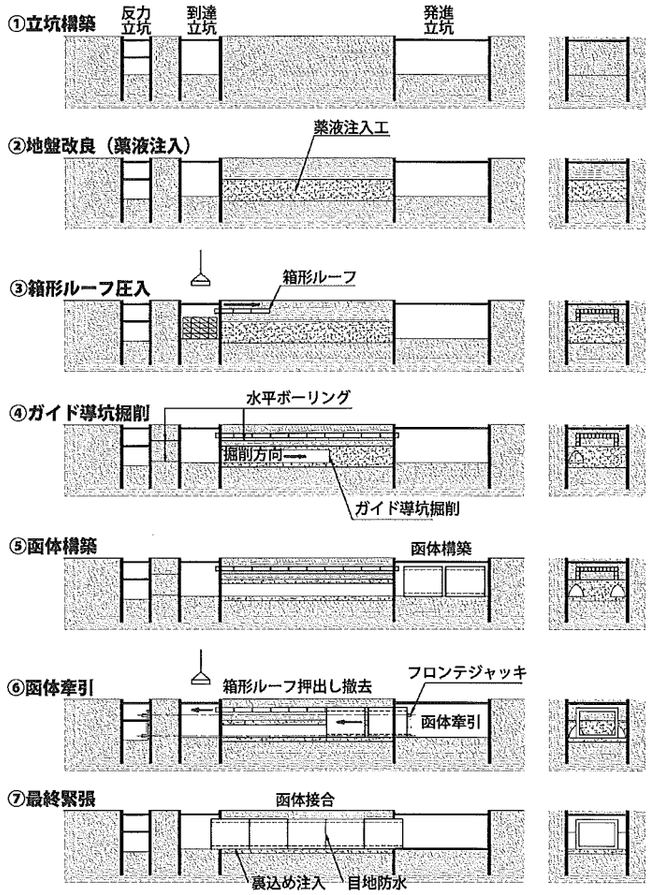


図-2　R&C工法施工順序図

2-4　計測工

本工事で採用されたR&C工法は，小土かぶりでの現道路面の交通機能確保のため，仮設備工事が工事費の約９割を占めている．そのなかで薬液注入工，箱形ルーフ工，ガイド導坑工，および構造物を土中に牽引する函体工の４工種においては，施工時に直接路面に影響を及ぼすことが懸念された．このため，施工による路面への影響の監視用に，道路上に２m間隔で格子状に測点を設け，高さ管理を行った．

交通量が多く人力計測が困難なため，自動追尾型トータルステーションを使用し，計129測点の計測管理を行った．また，路面への影響の事前把握のため，水盛式圧力沈下計を地中に14点設置して測定を行った．計測頻度は１時間間隔を基本とし，箱形ルーフ工などの重

表-1　管理基準値

管理体制	管理値	設　置　理　由	対　策
１次管理値（警戒）	±10㎜	２次管理値の50%．路面状況の監視を強化し，２次管理値を考慮した準備を行う．	・自動計測機器の測定値が手動レベルと合っているか確認 ・緊急資材備蓄の確認 ・路面監視人配置とレベル計測実施
２次管理値（緊急）	±20㎜	道路補修の判断基準(日本道路協会：道路維持修繕要綱) わだち掘れ深さ ・交通量多い一般国道　30～40㎜ ・高速道路　20～30㎜ 段差すりつけ　橋　30㎜ 以上のなかで，もっとも厳しい基準を２次管理値とした．	工事を一時中断し，路面補修の実施および施工対策案の検討

点管理施工期間は影響範囲のみ10分間隔にて計測し，リアルタイムで事務所で監視できるようにした．また，計測値の大きさにより色を変える変位灯を設置し，異常を即座に感知できるようにした．

路面変位管理基準は，道路修繕管理基準を参考に定め，管理値を超過した場合の対策案を**表-1**に示すよう定めた．

また，危機管理体制を構築するため，道路維持出張所，JR東海保線区，バス会社，栗東市，警察署などの関係者との協議を行い，以下のように非常事態に備えた．

① 道路機能障害発生時の緊急連絡体制の構築
② 異常値計測時，関係者へのメール一斉配信
③ 道路法80条協議(道路占有許可)の事前実施
④ 緊急路面補修体制の構築(補修用資材および交通規制資材備蓄，24時間稼働アスファルトプラント工場の選定)

3　各施工段階の課題と対策工の選定

3-1　立坑構築工

立坑は，発進立坑，到達立坑，反力立坑の3基であり，いずれも鋼矢板(Ⅳ型，一部Ⅴ型)土留めで計画され，アースオーガ併用圧入工法で施工する予定であった．しかし，発進立坑位置は新幹線と近接しており，さらに高圧線が上空に存在するため，高さの高い施工機械では，転倒時に高架橋や高圧線へ支障する恐れがあった．

このため各管理者と協議を重ね，鋼矢板の場所ごとに施工方法・機械を変えることとし，転倒しても高架橋や高圧線に影響しない方法を用いることとした．

3-2　薬液注入工

ガイド導坑掘削時および函体推進時の切羽面の自立，周辺地盤の緩みの防止のため，二重管ダブルパッカ工法による薬液注入が計画されていた．小土かぶりでの注入時には圧力の上昇により路面の隆起が懸念されたため，以下の観点から施工方法を変更した．

(1)　注入方向の変更

当初の設計では立坑付近の地上から，斜めに注入し，地盤の下方から上方に向かって改良を行う計画であった．しかし，この方法では地上の削孔位置や改良範囲の重複が多く，注入圧力の上昇が懸念された．このため，立坑内からの水平注入を主体に変更することとした．

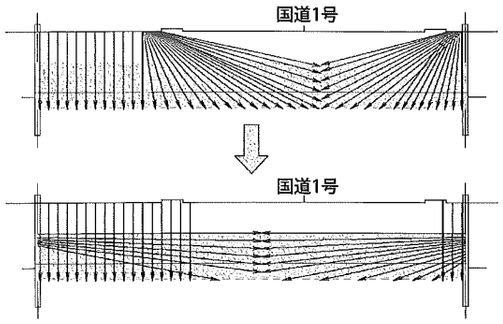


図-3　薬液注入施工法変更内容

注入範囲と変更の内容を**図-3**に示す．水平注入箇所では，指向性グラウチング注入バルブを使用し，薬液の吐出を下方向へ制御することとした．

(2)　注入圧力上昇による路面隆起の抑制

注入管理システムとして，一定基準の圧力が作用すると自動的に注入量を少なくし，圧力を制御する機能を有する「COGMAシステム」を導入し，過剰な圧力を作用させないようにした．注入圧力は事前に試験施工を行い，各注入箇所の土かぶりに応じて管理値を決めるようにした．

3-3　箱形ルーフ工

箱形ルーフは，本工法の特徴である「土かぶりを最小にできる」ためのもっとも重要な部材であり，設置時には下記の原因により路面への影響が考えられた．

(1)　掘削時の過掘りによる路面沈下

箱形ルーフにあらかじめ設置しておいた注入孔から加泥注入材「クレーショック」を掘進ごとに充填し，空隙の除去と摩擦軽減を行うこととした．また，障害物撤去時にできる空隙による路面沈下に対しても，クレーショックを充填することで対応する．

注入量は空隙の大きさに応じて適量の注入を行う．また，緊急時に備え，土留め材として膨張式袋体ゴムパッカおよび土嚢を常備する．

(2)　掘削切羽面の崩壊や緩みによる路面沈下

箱形ルーフは，通常の掘進サイクルを50cmとして作業を行っているが，車道部下ではストローク長を20cmに短くすることで，緩み範囲の拡大を極力抑えることとした．

3-4　ガイド導坑掘削工

ガイド導坑は，本体構造物の函体をスムーズに所定の位置へ牽引，推進するためのガイドとして設置するレールで，函体の左右の底版端に設ける．施工は，薬液注入により固結された地盤を人力掘削し，鋼製支保工を建込む在来山岳工法である．したがって，下記の路面への影響が考えられた．

(1)　土留め矢板と地山との空隙による路面沈下

掘削し支保工を建込むためには，天端，側方ともにある程度の余掘り部分が生じる．この余掘り部を充填し，支保工を地山と密着させないと，導坑周囲の地盤は時間の経過とともに緩みが生じ，路面の沈下の原因になる．このため，支保工を建込む側面部の空隙を砂・発生土で，上部を発泡ウレタンにて空隙充填を行うこととした．発泡ウレタンは2液タイプのものを使用し，短時間で発泡・硬化が望めるものとする．

(2)　地盤改良不足による切羽崩壊，路面沈下

ガイド導坑の切羽安定のための薬液注入は，路面への影響を抑制するため，水平注入を主体に行い削孔注入箇所の適正な間隔を確保することとしたが，地盤の不均一性や障害物により，改良不足の箇所が生じる可能性がある．このため，導坑掘削時にはつねに切羽の観察を行い，日々の切羽点検を実施し，異常が発生した場合は，薬液による止水注入を行うこととした．さらに，緊急時に備え，土嚢および水中ポンプを常備することとした．

3-5　函体推進工

本体構造物である函体は，全延長52.5mを5分割にして発進立坑内で構築し，第1と第2函体を1度目に，第2と第3函体を2度目に，最後に第5函体を立坑内で構築して，合計3度に分けて推進工を行う．函体と函体の間には，推進時に中押しジャッキを備えるための隙間を設けて推進するが，全函体の推進完了時には中押しジャッキを外し，隙間分をPC鋼線の再緊張によって所定の位置に移動させ設置完了となる．

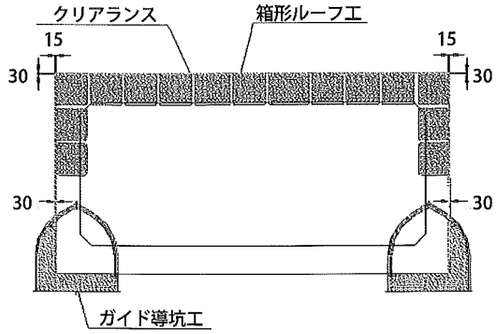


図-4　函渠各箇所のクリアランス

本工事のなかでもっとも大型の部材を，国道下を移動させることになるので，次のような危険性が想定された．

(1)　箱形ルーフ・ガイド導坑と函体の置換え時にできる空隙による路面沈下

設計段階で上部，側面部ともに3cmのクリアランス(**図-4**)を見込んでおり，これらは函体最終緊張後の裏込め注入時に充填される．そのため，空隙のまま最終緊張まで放置され，路面沈下の原因となることが懸念された．対策として箱形ルーフ同様，クレーショックにて空隙充填を行うが，このクリアランスをいかに小さくするかが重要であり，箱形ルーフ・ガイド導坑ともに施工精度を向上させる必要がある．

(2)　長期作業休止時の切羽崩壊による路面沈下

函体推進時の切羽は幅9.9m，高さ5.0mの大きさであり，上部および側部に鋼製エレメントがあるとはいえ，大きく緩んだり崩壊すると切羽前方の鋼製エレメントが沈下し，路面への影響が発生することが想定される．おもに薬液注入により固結している地山であるが，上部の箱形ルーフ下部は未改良であるため，緩みや崩壊が懸念される．このため，長期間にわたり切羽が放置される躯体構築に伴う長期作業休止時は，切羽面に高強度吹付けコンクリートを施工する．また，監視カメラによる監視と押出し計測による測定により，切羽面の崩壊を未然に防ぐこととした．

4　施工結果と追加対策

4-1　立　坑

発進立坑の鋼矢板（Ⅳ・Ⅴ型L＝16.0m）の打設は，図-5に示すように，各施工機械が転倒しても新幹線に支障せず，高圧線の安全離隔が確保できるように，①アースオーガ併用圧入工法，②アースオーガ先行削孔＋圧入工法，③低空頭専用杭打ち機先行削孔＋圧入工法の３種の施工方法を場所ごとに使い分けて打設を行うこととした．施工は機械の搬入，組立て，搬出などが煩雑にはなったが，各工法とも安全に，施工法の違いによる挙動の差も生じずに施工を完了した．

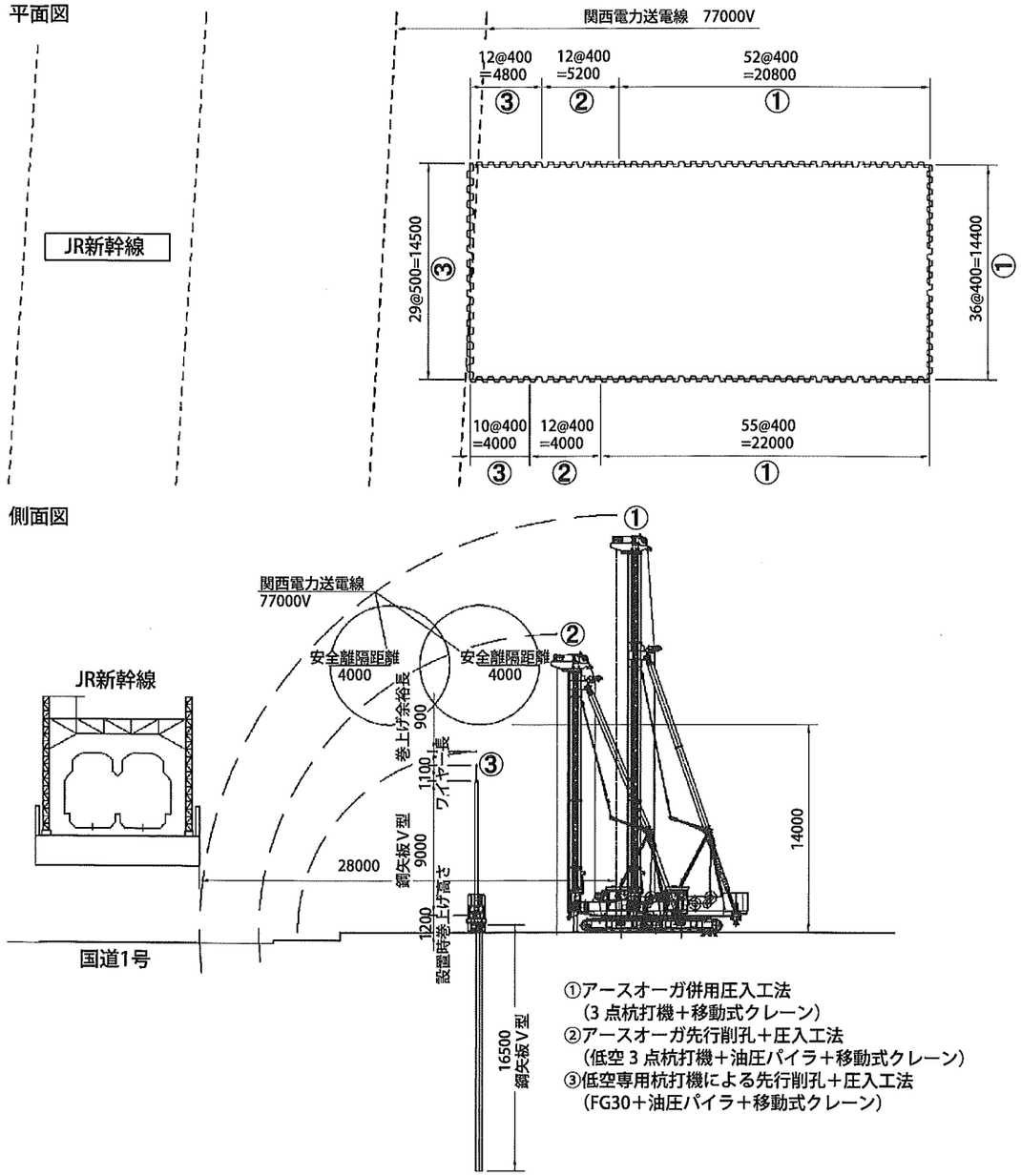


図-5　立坑鋼矢板施工法区分

4-2　薬液注入工

（1）　施工時の問題点および追加対策

改良範囲上段部の２次注入時に，薬液が路面上にリークし，表層を隆起させた．原因はアスファルト舗装とコンクリート舗装の施工継目と表層の劣化が考えられた．

対策として，舗装の打換えと目地補修による止水を行った．

（2）　完了時の路面変位

道路中心を頂点とする山形に全体が隆起した．最大で＋19㎜程度隆起したが，局所的な隆起は見られなかった（図-6）．

（3）　対策効果

注入方向を改善し，上部から下部へと改良を進めたことで，路面の隆起は比較的早い施工段階で生じており，下部の改良時には大きな変位はなかった．注入圧力は一定基準内で圧力および流量を自動調整し，安定した改良を行うことができたが，路面へのリーク時には圧力上昇がなかったため，対応が遅くなった．追加対策以降，比較的安定した路面維持ができた．

4-3　箱形ルーフ工

（1）　施工時の問題点および追加対策

掘進箇所に岩塊や木杭など多くの支障物が出現し，撤去した際に上層部の緩い砂質土が崩れ，舗装下に大きな空隙ができた．すぐに路面から空隙充塡を行い復旧したが，支障物がその後も出現したため，対策として事前に路面から箱形ルーフ下面までの支障物の撤去と地盤の置換えを行った．支障物は，上下線とも昭和30年代に２車線から４車線の拡幅された外側の車線下に集中しており，旧官民境界の民間地側の古い遺構と考えられる．

（2）　完了時の路面変位

薬液注入時に隆起した路面が全体的に沈下し，当初の路面高に近づいた．沈下量に多少のばらつきが見られたが，交通への影響はなかった（図-7）．

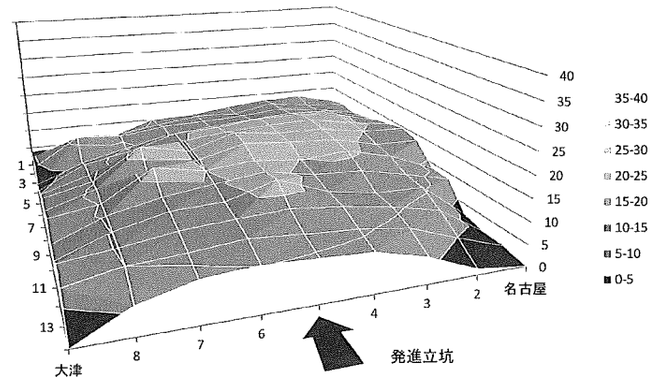


図-6　薬液注入完了時路面変位分布

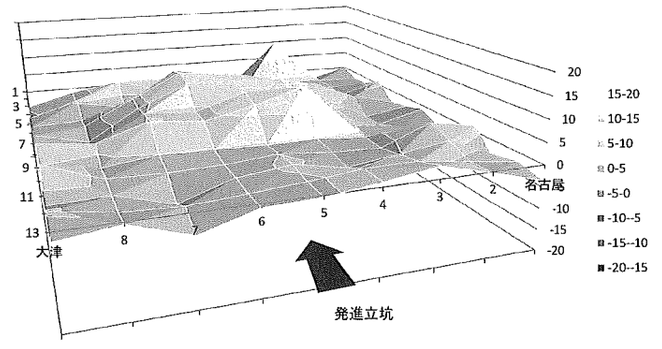


図-7　箱形ルーフ完了時路面変位分布

（3）　対策効果

空隙部へのクレーショック充塡は施工後の一時的な効果は見られたものの，箱形ルーフが推進するごとに，一緒に移動してしまうため，何度も注入する必要があった．また強度不足も懸念された．ストローク長の調整は地山の安定を図れ，また施工精度の向上にもなるため，有効であったと考える．しかし，支障物があると上層部の地山確認ができず，ストローク長の調整ができないため別途対策を講じる必要がある．

4-4　ガイド導坑工

（1）　施工時の問題点および追加対策

各施工段階のなかでもっとも路面影響があると考えていたが，想定の範囲内で施工できたため，追加対策は行わなかった．

（2）　完了時の路面変位

最大変位で－７㎜，平均で－３㎜程度であり，大きな沈下は見られなかった（図-8）．

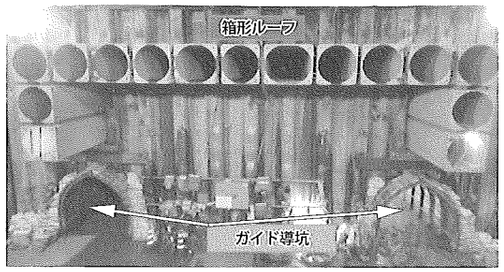


写真-1　ガイド導坑施工状況

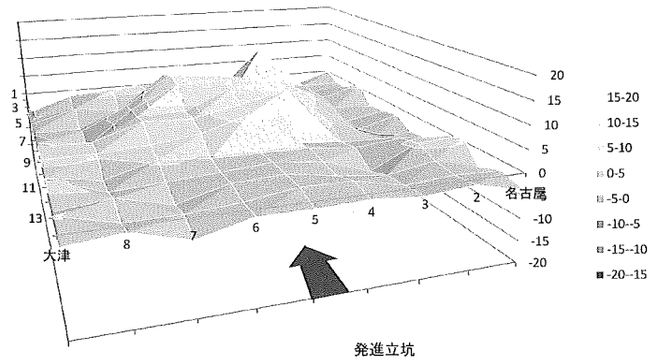


図-8　導坑掘削完了時路面変位分布

表-2　出来形結果(単位：mm)

	箱形ルーフ		ガイド導坑工		函体推進工	
	基準高	中心線の変位	基準高	中心線の変位	基準高	中心線の変位
平均値	1	−3	−5	6	−5	−2
最大値	15	14	−3	9	10	3
最小値	−14	−14	−7	4	−15	−11
データ数	130	70	30	30	18	15
社内管理値	±30	±30	−10〜0	±15	±30	±30
標準偏差	5.28	5.62	1.01	1.31	5.46	4.30

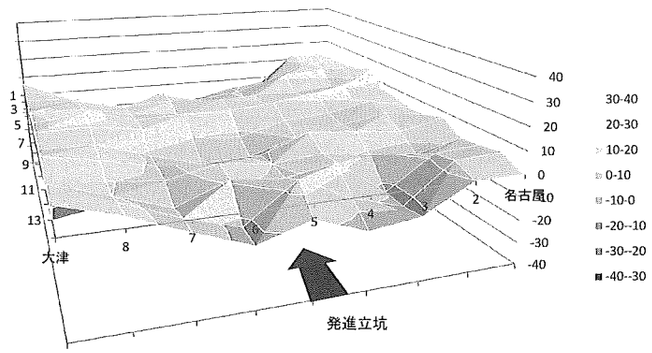


図-9　函体推進完了時路面変位分布

(3)　対策効果

上部の掘削余掘り部の充填として発泡ウレタンを使用したが，確実に発泡し早期に硬化したため，非常に効果的であった．函体掘進時に地山と密着しており十分に充填されていることが確認できた．薬液注入工による地盤改良は非常に良好で，導坑への漏水はほとんどなく，追加注入は行わなかった．

4-5　函体工

(1)　施工時の問題点および追加対策

箱形ルーフおよびガイド導坑の施工精度が，函体と地山との空隙発生の大きな要因となる．**表-2**にそれぞれの出来形測定値を示す．おおむね社内規格値の50%で収まっており，十分な精度で施工できた．このため，施工誤差に起因する空隙の増大は少ないと考え，追加対策をせず函体構築も同様の精度で施工を行った．

(2)　現在までの路面変位

切羽面上部と函体側面上部に沈下傾向が見られた(**図-9**)．各牽引完了時に路面補修を実施し，現在の路面を維持している．

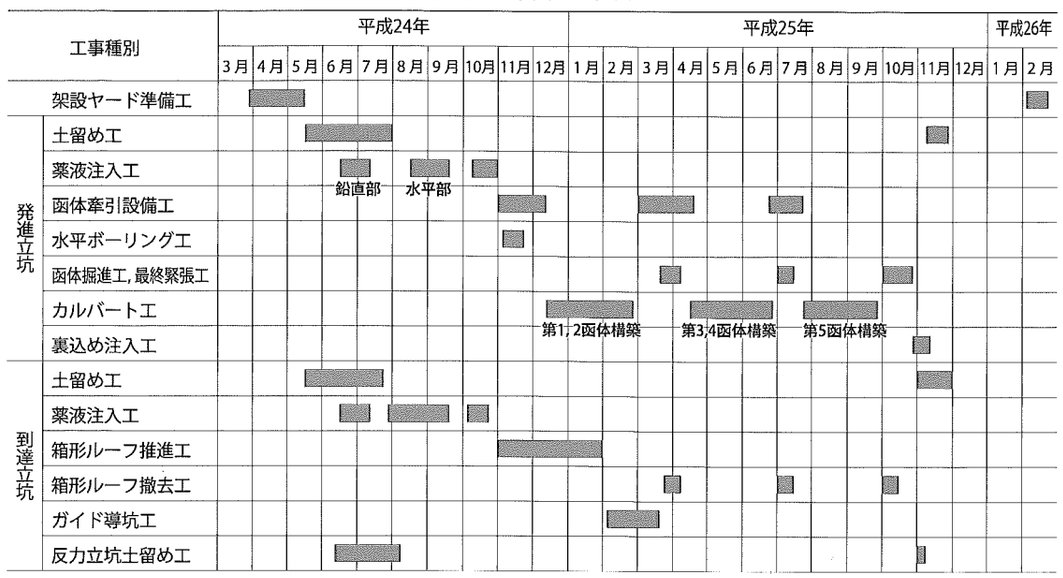
(3)　対策効果

施工精度を上げることで空隙の増大を防止したが，沈下傾向が見られた．沈下の原因は，いろいろ考えられるが，掘削による応力開放が主体と考えられる．切羽面への吹付けは地山を安定させることができたため，大きな変位を発生させることなく施工を終了できた．

5　ま　と　め

R&C工法をはじめとする非開削の函体推進工法は，多くが鉄道下の地下道などの立体交差用に開発されており，交通量の多い道路下横断での工事実績は少ない．線路下の場合には夜間の列車停止時間帯に行える作業でも，交通

表-3　工事実施工程表



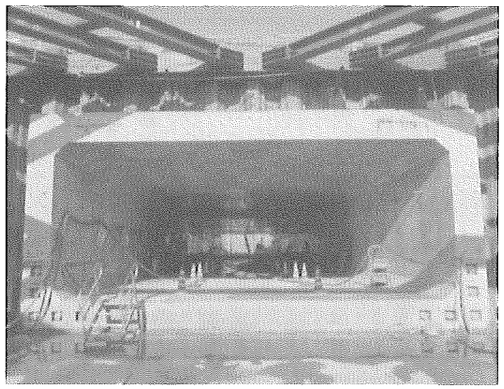


写真-2　函体牽引完了状況

量の多い道路下では不可能であり，直上の地盤のわずかな緩み，変位，陥没でも大きな事故につながりかねない難しさがある．

本施工では事前に予想される危険有害要因に対し，各種の対策を行うことで路面変位を2次管理値内に抑制することができた．実施工では予期せぬ事態が生じたが，事前に各要素への対策の検討を行っていたため，すばやく事態に対応できたうえ，関係各所への連絡や対応をスムーズに行うことができ，路面交通への影響を防止する所期の目的を達成できたと考えている．本工事で採用した対策工がすべて万全であるとは言えないが，このような厳しい状況下での類似工事の参考になれば幸いである．

参　考　文　献

1)　アンダーパス協会：アール・アンド・シー(R&C)工法技術資料・積算資料，2008.5.
2)　田中幸一：国道1号におけるR&C工法施工事例について，平成25年度国土交通省近畿地方整備局研究発表会論文集，施工・安全管理対策部門，2013.7.
3)　西松建設：R&C工法における現道路面の維持管理について，2013年度土木シンポジウム論文集，2013.9.

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(〒300円)
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代)　振替 00110-8-190072

土木情報 No.494 今月の主な入札結果

（6月10日～7月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄総合事務局	H25宮古伊良部農業水利事業仲原地下ダム（ホグタ東部西）	鴻池・大廣JV	393.6
関東地整	圏央道真瀬地区函渠他	岩崎工業	108
都市再生機構	大宮西部地区H25公下（その３）	ケイワールド日清	220
東日本高速道路	札樽道札幌管内トンネル補修	日本高圧コンクリート	237
〃	上信越道観音平T	熊谷組	3,720
〃	関越道関越T（下り線）はく落防止対策	ショーボンド建設	187.9
中日本高速道路	新東名道高取山T西	清水・みらいJV	8,360
〃	東海北陸道古屋T	五洋建設	2,114.64
西日本高速道路	中国道加西地区C-BOX	大鉄工業	445
都・下水道局	台東区橋場一，二丁目付近再構築	渡辺建設	572
兵庫県	（一）広畑青山線（仮称）西蒲田T建設	松本組	715
長野県	H25社会資本整備総合交付金（広域連携）・諏訪辰野線	藤森土木建設	152.3
坂東市	26国補公下第１号，江川第五排水区雨水管渠	オオシン	105
神栖市	神契公告第42号，26北公共埠頭１号雨水幹線整備	常総開発・大平JV	419
真岡市	公下雨水管渠整備松山町地区26-1 号	日正・丸二JV	135
川越市	新河岸川右岸第 2-1 排水区雨水管築造（その３）	初雁興業	119.48
藤沢市	柄沢特定土地区画整理事業関連雨水調整池整備	戸田・瀬南営繕協会・瀬南アーキテクチュアJV	1,796
三条市	雨水対１号旧一ノ木戸小学校跡地調整池整備	外山・山本JV	209
名古屋市	道徳雨水調整池流入管下水道築造	大有建設	235
豊中市	H26下水道築造（原田中央幹線・その２）	淺沼・光耀JV	1,068.22

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

（注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません）

送付先　株式会社土木工学社　編集部　投稿係

〒162-0832東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂

電話（03）3267-2888（代）

施工

大量湧水や高温岩体を伴う花崗岩大土かぶり部35kmをTBMで突破

—マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル—

清水建設（株）土木技術本部本部長（（前）清水建設（株）・西松建設（株）・UEMB・IJM共同企業体所長）　河田孝志

清水建設（株）・西松建設（株）・UEMB・IJM共同企業体副所長　仲野義邦

清水建設（株）・西松建設（株）・UEMB・IJM共同企業体副所長　水戸聰

1 はじめに

本プロジェクトは，JICA（（独）国際協力機構）が資金貸与する円借款工事であり，マレーシアの首都クアラルンプールおよびセランゴール州の生活・工業用水を確保するため，隣接するパハン州より日量189万m³の導水能力を持つ延長44.6km，直径5.2mの導水トンネルの建設工事である（図-1）．

工事は2009年６月に始まり，2014年２月19日に，東南アジア最長となる延長44.6kmのトンネルが貫通した．導水路トンネルは，３つのTBM工区と４つのNATM工区および１つの開削工区の計８つの工区に分けて施工した．NATM施工については本誌（Vol.44，No.1）ですでに報告している[2]ので，本稿では主に３台のTBMを用いたTBM工区の施工で得た知見について報告する．

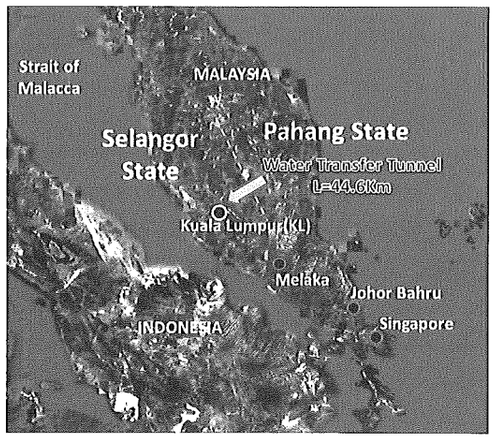


図-1　現場位置図

2 プロジェクト概要

本プロジェクトは５工区15.8kmの工事用道路，４工区2.5kmの作業トンネル，導水トンネル本体は44.6kmのトンネルを８工区に分け，３工区34.6kmをTBM（Tunnel Boring Machine），４工区9.1kmをNATM（New Austrian Tunneling Method），１工区0.9kmを開削工法で施工する（図-2）．

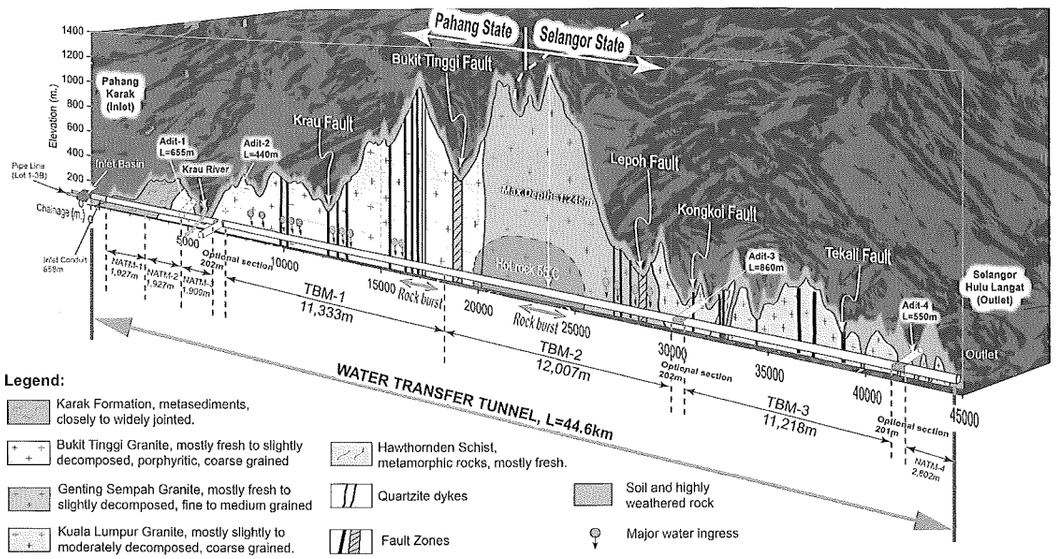
工　　期：2009年６月１日～2014年７月30日（1,886日）

発 注 者：マレーシア政府，エネルギー・環境技術・水資源省

設計・施工管理：東電設計・SMEC（豪）・SMHB（マレーシア）

施　　工：清水・西松・UEMB・IJM JV（UEMB，IJMはマレーシアのゼネコン）

工事金額：384億円（2009年５月１日レート換算）



図–2　プロジェクト概要図

資　　金：JICA75%，マレーシア政府25%

契約約款：FIDIC(1987年第４版，1992年修正版が基本)

契約方式：BQ方式

3　地形・地質概要

パハン・セランゴール導水トンネルはマレーシア半島を南北に縦断するティティワンサ山脈の標高50～1,300m程度を東西に横断する．

山地構成体は，ペルム紀(約２億9,900万～約２億5,100万年前)から三畳紀(約２億5,100万～約１億9,960万年前)に形成された硬質な花崗岩(細粒花崗岩～粗粒花崗岩)がほぼ全体を占め，起点側工区のNATM–1, 2 工区(延長3.1km)に堆積岩が分布する．

本トンネル施工区間には，６か所の断層と17か所のリニアメントが確認されている．

3–1　大土かぶり区間下の岩盤温度

本トンネル最大土かぶりは1,246mに達し，セランゴール州側のTBM–2 工区(延長12,007m)では岩盤温度40℃以上の区間が約6,200mを占める．TBM–2 工区では土かぶり増に伴い，岩盤温度も上昇し最大岩盤温度は55℃に達した．しかし，パハン州側のTBM–1 工区では土かぶり増に伴う岩盤温度上昇という顕著な現象は生じなかった．これは，TBM–1 工区における大量湧水が岩盤温度上昇を抑制しているとも推察される(図–3)．

3–2　大土かぶり区間下の山はね

本トンネルは1,000m以上の土かぶり区間が５kmと長いことが特徴である．土かぶり約1,000m掘進地点で側壁に鱗片状の岩片の突出が断続的に確認された(写真–1)．

3–3　大量突発湧水

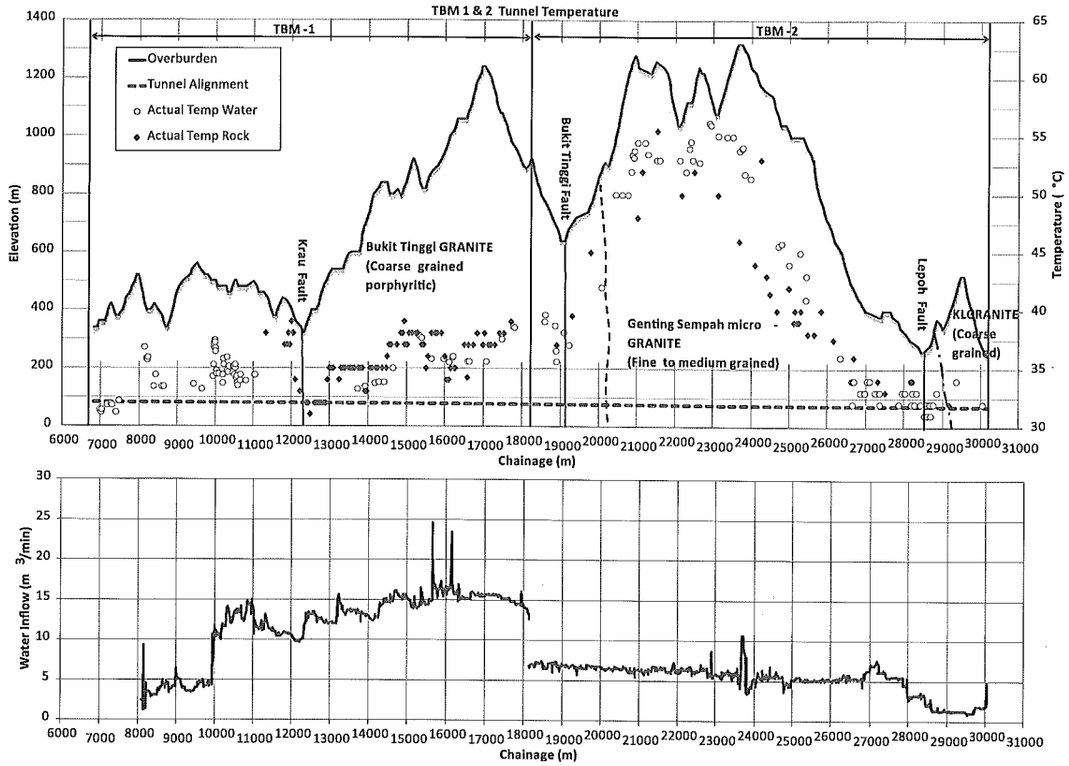
最上流に位置するTBM–1 工区は，３つのTBM工区のなかで唯一の下り勾配(1/1,900)である．TBM–1 工区では度重なる突発湧水に遭遇し，最大坑内湧水量は24.6m³/minに達した．突発湧水箇所は沢位置と符合する(図–4)．

3–4　小土かぶり河川横断部

NATM–3 工区に位置する河川横断部の地質は，直下に位置する古い断層を境に新鮮な花崗岩と破砕後に熱水変質を受け再固結した軟質な花崗岩が存在し，土かぶりは11mと浅い．

4　プロジェクトの進捗

2009年６月に着工以来，工事用道路の建設，坑口仮設準備を行い，2009年12月には最初の作業トンネル(ADIT–4)の掘削をNATMで開始した．

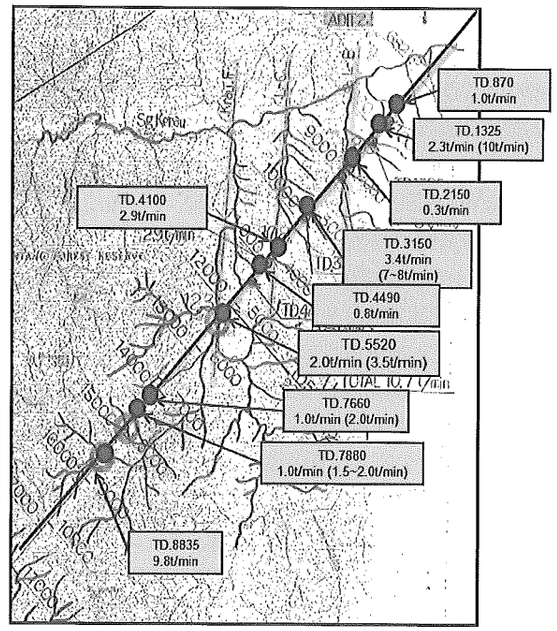


図–3　TBM–1 工区とTBM–2 工区の岩盤温度と湧水温度の分布および坑内湧水量



写真–1　山はね発生状況

2014年４月末現在，出来高：97.6%(予定99.9%)，延べ労働時間：1,026万時間，工事用道路を含む明かり工事：99.4%，作業トンネル４工区L＝2.5km(完了，平均月進106m)，本坑NATM　L＝8.6km(完了，平均月進108m)，TBM　L＝34.4km(完了，平均月進364m)の掘削が完了している．



図–4　TBM–1 工区の地形図および突発湧水発生位置

5　TBM掘削

5-1　TBM仕様

TBMは，最大一軸圧縮強度250MPaの岩の掘削に対応できるように高スラスト，高トルクを基本とするオープンタイプTBMである．ディスクカッタ径は，シングルカッタが19インチ，センタカッタは17インチであり，ディスクカッタ数は35個である．

掘削径は，導水能力を確保するのに必要な内空断面からφ5.2mである．TBMの主要諸元とTBM全景を**表-1**，**写真-2**に示す．

5-2　仮設備

（1）　大量湧水対策

TBM発進基地は作業トンネル終点部(下り勾配5.7～10%)にあるため排水設備は当初排水能力20m³/minで計画した．しかしTBM-1工区では，突発湧水発生後の顕著な坑内湧水量の減少傾向が見られず，かつ，坑内湧水量合計が20m³/min近く達したため，坑内排水能力を30m³/minまで増強した．

（2）　高温対策

TBM-2工区では土かぶり増に伴う岩盤温度の上昇により坑内温度環境が劣悪となり，坑内作業場所の温度低下が急務となった．当初各TBMには冷却設備(水冷式，能力450kW)を設置していたが，TBM-2ではさらに冷却設備(水冷式，能力450kW)を1台増設した．また冷却設備増設に伴い給水系統の増設(1.5m³/min→3.0m³/min)を行った．作業員坑内移動車にも水冷式の冷却設備を設置した(**写真-3**)．

5-3　支保システム

TBM坑の支保構造は，これまでのTBM坑の施工実績や第二東名・名神のTBM導坑の実績を参考に，薄肉ファイバー入りモルタル吹付けと鋼リング支保工の組合せによる支保パターンを基本として，自立度の低い崩壊性地山では，ルーフサポート背面の無支保区間の崩落域が深部に進展しないよう注入式フォアポーリングの補助工法を併用した．

表-1　TBM主要諸元

TBM型式	オープンタイプ	
掘削外径	φ5.2m	
TBM全重量	4,018kN（後続設備含む）	
カッタ径とカッタ数	外周カッタ	19インチ27個
	センターカッタ	17インチ 8個
総推力	14,000kN	
カッタモータ出力	2,310kW（330kW×7）	
装備カッタトルク	4,054kN・m	

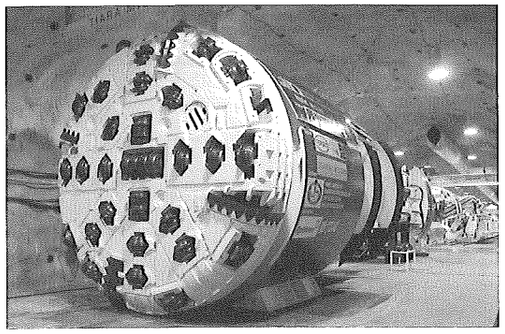


写真-2　φ5.2mTBM全景

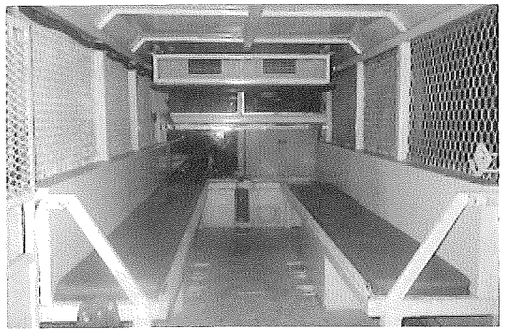


写真-3　作業員坑内移動車内部の水冷式冷却装置

5-4　TBM掘進実績

各TBMの掘進実績を**図-5**に，各TBMのサイクルタイム実績を**表-2**に示す．実掘進進行(364.2m/月，本掘進)は計画掘進進行(485.5m/月，本掘進)に達しなかった．この大きな原因は以下のとおりである．

① カッタ貫入量の低下．
② メインベアリング損傷による交換(TBM-1とTBM-2)．
③ 高温状況下での作業効率低下(TBM-2)．
④ 連続ベルトコンベヤ接合部破断．

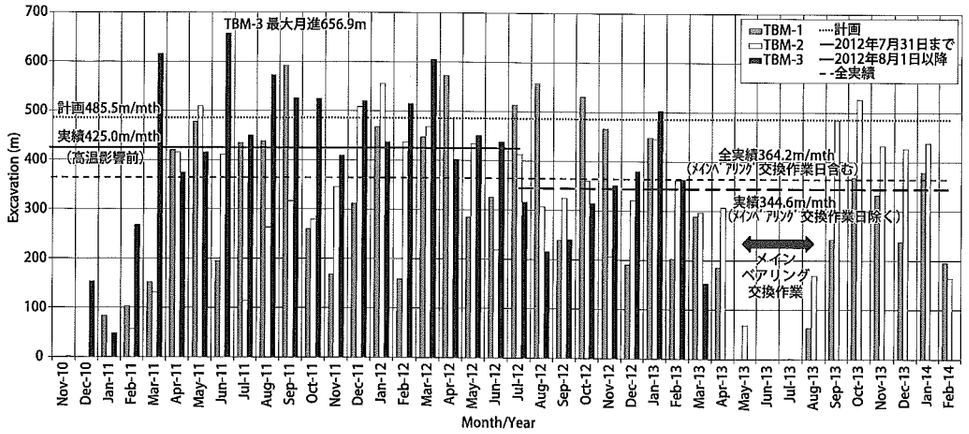


図-5　TBM掘進実績

表-2　サイクルタイム実績

（単位：%）

	TBM-1	TBM-2	TBM-3
TBM掘進	25.7	27.3	28.0
グリッパ盛替え	4.0	3.0	4.4
支保	4.1	1.8	4.3
機械メンテナンス(カッタ点検含む)	11.0	16.6	12.3
カッタ交換	6.1	9.7	11.9
地質調査(TSP，探り穿孔)	1.5	0.4	0.7
ベルト，ケーブル延伸	3.3	3.1	3.3
トラブル 機械関係	7.4	4.0	9.2
トラブル 電気関係	4.2	4.6	5.7
トラブル コンベヤ関係	9.3	13.6	11.1
トラブル 気象関係(落雷によるコンベヤシステム停止待機)		0.1	0.6
トラブル メインベアリング交換	10.3	8.1	
トラブル 突発湧水に伴う土砂流出(人力による土砂除去)	2.6		
トラブル 脱線	0.6	0.4	0.9
高温(TBM掘削による作業場所温度上昇，温度低下まで待機)		1.2	
その他	9.9	6.1	7.6
計	100	100	100

表-3　カッタ貫入量

	計画	TBM-1	TBM-2	TBM-3
	q_{ud}：150MPa	$q_{u\,max}$：202.0MPa q_{um}：131.0MPa	$q_{u\,max}$：211.9MPa q_{um}：115.9MPa	$q_{u\,max}$：173.2MPa q_{um}：94.1MPa
カッタ貫入量(mm/rev)	5.6	2.9	2.8	3.6
カッタ貫入量低下率(%)		48	50	36

q_{ud}：一軸圧縮強さ，$q_{u\,max}$：最大一軸圧縮強さ，q_{um}：平均一軸圧縮強さ

計画カッタ貫入量と各TBMのカッタ貫入量実績の比較を**表-3**に示す．計画カッタ貫入量に対する低下率は36～50%である．カッタ貫入量低下によるTBM掘進進行低下は労務編成を3班2交代制にし，TBM稼働率を高めることで影響緩和を図った．

5-5　カッタリング消費実績

カッタ交換はカッタヘッド外周部に新品カッタリングを装着し，順次内側へ転用していくことを基本とした．カッタリング許容最大摩耗量35mmに達した時点でカッタリングをカッタハブから取外し，新品カッタリングをカッタハブに装着する．各TBMのカッタリング使用実績を**表-4**に示す．カッタリングライフに関してTBM-3がTBM-1とTBM-2に比べて長い理由はカッタ貫入量が大きいことによる．各カッタの転動距離1kmあたりの摩耗量の関係を**図-6**に示す．TBM-3のカッタ番号29，31，33の値が突出しているが，これはカッタハウジングの歪みによるものである．全体としては各

表-4　カッタリング使用実績

		TBM-1	TBM-2	TBM-3	全TBM
掘削延長	m	11,217.6	12,007.0	11,333.3	34,557.9
掘削体積	m³	238,230	254,995	240,687	733,912
使用カッタリング数	個	1,340	1,468	1,055	3,863
カッタ交換回数	回	2,274	2,822	1,987	7,083
カッタリング転用回数	回	934	1,354	932	3,220
カッタリング1個あたり転用回数	回	1.7	1.92	1.88	1.83
カッタリングライフ	m³/個	178	174	228	190

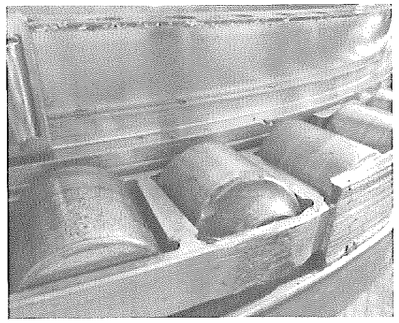


写真-4　メインベアリング損傷状況

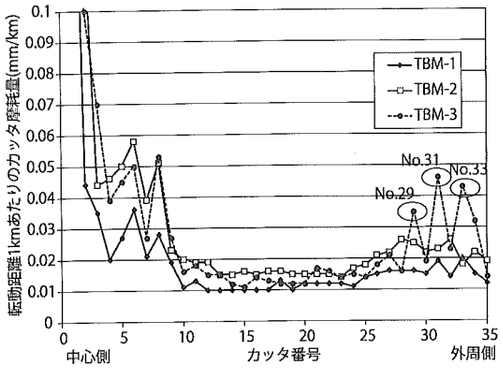


図-6　カッタの転動距離1kmあたりのカッタ摩耗量の関係

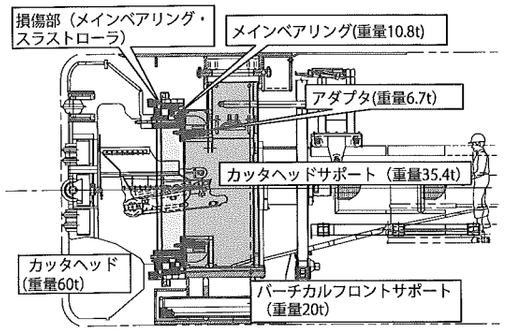


図-7　メインベアリング取付け位置図

TBMとも大きな差異はなかった.

5-6　TBMメインベアリング交換

TBM-1が掘進延長9,514m，TBM-2が掘進延長9,363mに達した時点で両TBMのメインベアリングの損傷が確認され，メインベアリング交換のための掘進停止を余儀なくされた．メインベアリング損傷状況を**写真-4**に，メインベアリング取付け位置を**図-7**に，メインベアリング破損までのカッタヘッド累積回転数を**表-5**に示す．計画段階のリスク検討で予備のメインベアリングを2個準備していたことにより，掘進停止期間を最小限にとどめることができた(TBM-1：2.5か月，TBM-2：2か月)．メインベアリング交換状況を**写真-5, 6**に示す.

5-7　TBM連続ベルトコンベヤトラブル

各TBMの延長が11km以上と長いことから，中間ブースタドライブを各1台，ベルトは金属ワイヤが内装されているスチールベルト(ST1600，幅610㎜)を使用した．しかし，コンベヤ関係のトラブルは全作業の9.3～13.6%も占め(表-2参照)，大半は連続ベルトコンベヤ接合部破断によるものである．連続ベルトコンベヤ接合部破断は中間ブースタドライブ設置後，掘進延長8km以降で多発した．全TBMでの連続ベルトコンベヤ接合部破断回数は計43回にも及ぶ.

表-5　TBMメインベアリング損傷時のカッタヘッド累積回転数

	TBM-1	TBM-2	TBM-3
TBM先端位置	9,514.1m	9,363.1m	11,217.6m（掘進完了）
カッタヘッド累積回転数(rev)	5,060,985	4,722,845	4,172,829
ベアリング損傷の有無	あり	あり	なし

破断状況を**写真-7**に示す．原因として以下の事項が挙げられる.

① 中間ブースタドライブプーリーのラギングプレート損傷剝がれ(**図-8**，**写真-7, 8**).

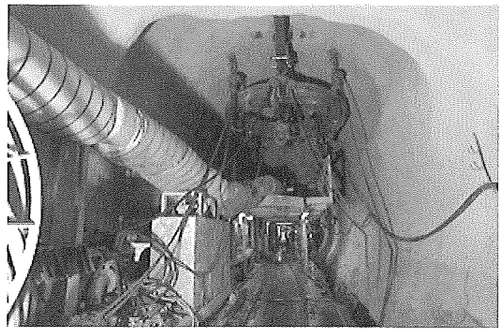


写真-5　メインベアリング交換状況(交換用ベアリングを上部拡幅部へ一時格納)

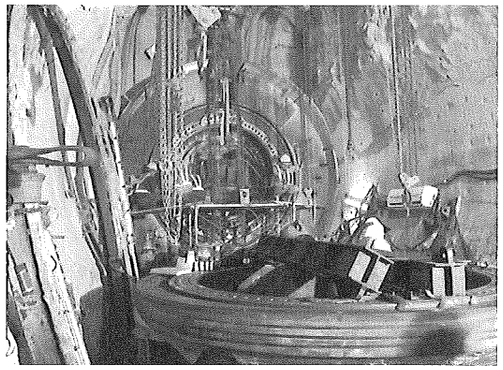


写真-6　メインベアリング交換状況

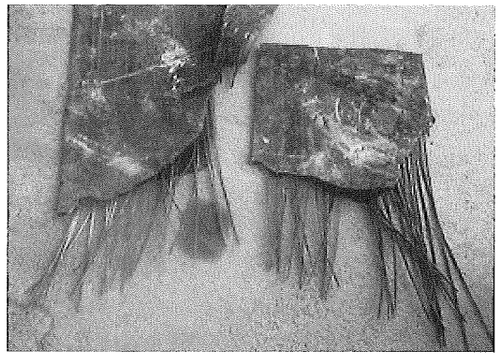
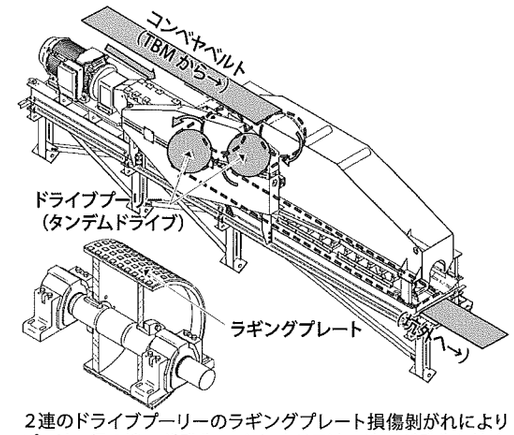


写真-7　連続ベルトコンベヤ接合部破断状況

② ベルトコンベヤ接合部の劣化.

③ ベルトコンベヤ加硫接合機器(加熱機器)の不良および，ベルトワイヤ間のゴム幅の不均一により，加熱後のゴムに空隙が発生したことによる接合部強度低下(**写真-9**).

④ 高温下でのブースタドライブのインバータ制御装置の破損(TBM-2工区).



2連のドライブプーリーのラギングプレート損傷剝がれによりプーリー径の違いが発生．これにより周速の違いが発生し接合部に負荷が発生したわみが発生.

図-8　中間ブースタドライブ概要

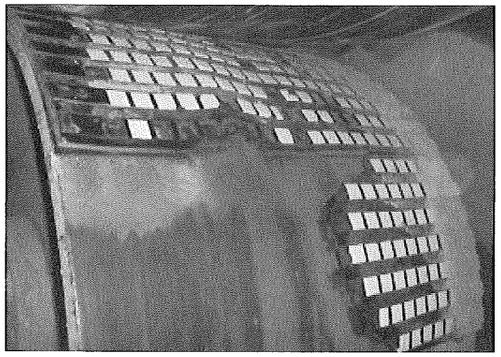


写真-8　ラギングプレート損傷剝がれ状況

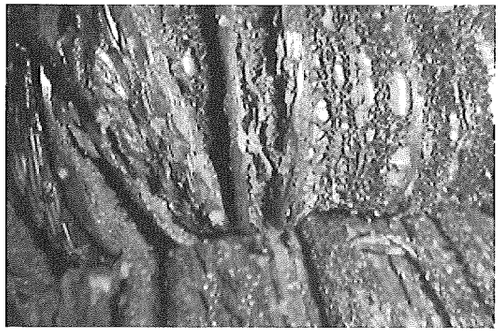


写真-9　ベルトワイヤ間ゴム空隙発生状況

6　前方地質探査

6-1　TSP(反射法地震探査による前方地質探査)

TSPは事前地質情報にもとづいた断層および

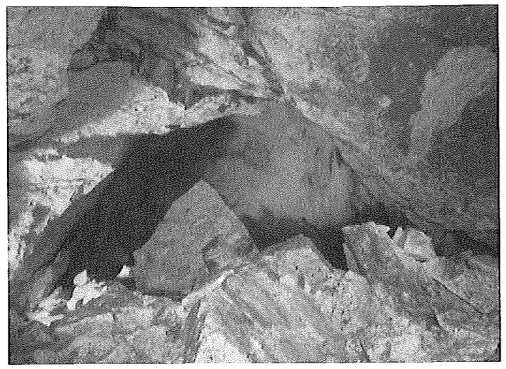


写真-10　崩落状況（TBM-3 工区）

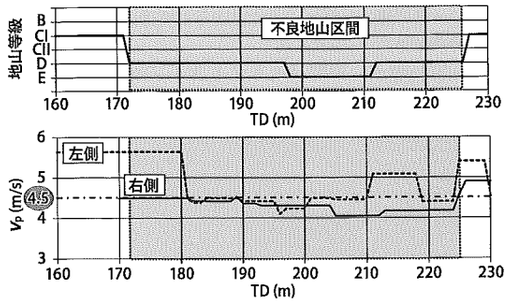


図-9　TSP測定結果例（TBM-3 工区）

リニアメントの位置とトンネル地山急変時に行った．TSPによる前方探査範囲はTBM先端100～150m前方である．TBM施工初期段階での崩落地山不良区間（TBM-3 工区，**写真-10**）でのTSPの結果を**図-9**に示す．崩落地山不良区間での弾性波速度（V_p）の範囲は4.0～4.5km/sであり，この値は文献1）での花崗岩の変質の指標（V_p＝3.0～4.5 km/s）と符合している．以降，本トンネル花崗岩部での弱層部判定の指標としてV_p≦4.5km/sとした．

6-2　探り削孔

TSPで事前に弱層部と推定された区間は，TBM本体に搭載された削岩機により推定弱層部手前で探り削孔を実施した．探り削孔による評価項目は，穿孔速度，削孔スライムおよび湧水量の3項目である．探り削孔による探査範囲はTBM先端より最大50mとした．

6-3　TBM機械データ

TBM掘進時の地山状態（一軸圧縮強さ）をリアルタイムで把握する指標として，掘削エネルギー[2]を用いた．本工事ではTBM全線にわたり，10mごとにシュミットハンマによる推定一軸圧縮強さと，およそ50mごとに岩盤コア（直径75㎜）による一軸圧縮強さのデータを採取した．シュミットハンマの測定上限が200MPaであることによりデータにばらつきはあるが，シュミットハンマによる推定一軸圧縮強さと岩盤コアによる一軸圧縮強さの関係は，ほぼ1対1の関係があることがわかる（**図-10**）．また，ばらつきはあるものの掘削エネルギー（E）とシュミットハンマによる推定一軸圧縮強さ（q_u）には（1）式に示す関係がある（**図-11**）．

$$E=2.5q_u \quad \text{または} \quad q_u=0.4E \qquad (1)$$

この関係は日本国内TBM工事で得られた結果とほぼ同じである[3]．

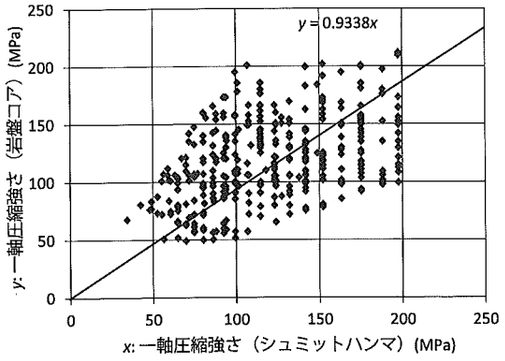


図-10　岩盤コア一軸圧縮強さとシュミットハンマー一軸圧縮強さの関係

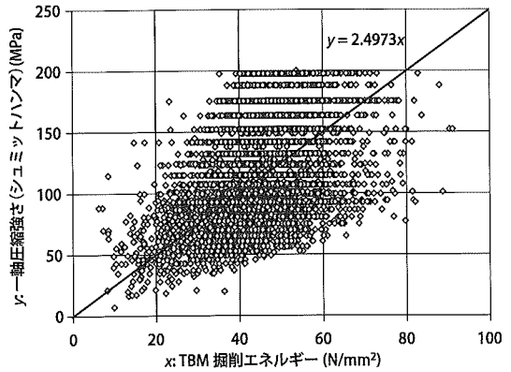


図-11　シュミットハンマー一軸圧縮強さとTBM掘削エネルギーの関係

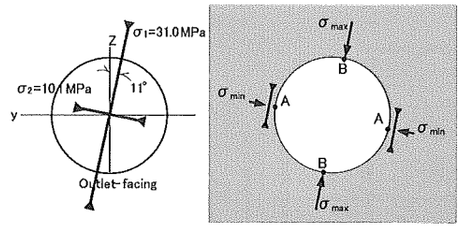


図-12　初期地圧測定結果（トンネル横断方向）

（1）　TBM機械データによる山はね予測

TBM-2 工区にて行われた，土かぶり1,130m下での岩盤の円錐孔底ひずみ法による初期地圧測定結果（**図-12**）より壁面に発生する最大圧縮応力（σ_A）は（2）式で表される．

$$\sigma_A=3\sigma_{max}-\sigma_{min}=82.9(\text{MPa}) \qquad (2)$$

TBM-1 およびTBM-2 工区での山はね発生区間での掘削エネルギー（E）と（2）式より計算される一軸圧縮強さの関係を**表-6**に示す．この結果より，事前の岩盤内の初期応力状態の情報が得られれば，TBM機械データにより大土かぶり下での山はねの予測が可能である．

7　TBM坑内解体

TBM-1 工区とTBM-2 工区の貫通点はTBM坑同士の貫通となり，TBM解体はTBM坑内での作業となる．TBM解体の制約条件として以下の事項が挙げられる．

① TBM-1 工区の坑内湧水量は12m³/minと多く，かつ下り勾配であるため，TBM-1 工区の排水設備の撤去はTBM-2 工区の吹付けライニング作業完了後となる．排水設備存置のままでTBM-1 を解体搬出する場合は，坑内での解体分割数が多くなり時間を要する．

② TBM解体作業場所の温度は高温であるため，作業効率が悪い．よって坑内解体作業を少なくする必要がある．

以上の制約条件のもとで下記のTBM解体計画を立てた．

① TBM-1 とTBM-2 の両機体はTBM-2 側へ搬出する．

② TBMカッタヘッド，ルーフサポート，サ

表-6　山はね区間におけるTBM掘削エネルギーと推定一軸圧縮強さ

	TD 始点	TD 終点	延長 (m)	TBM掘削エネルギー (N/㎟) 最小	TBM掘削エネルギー (N/㎟) 平均	推定一軸圧縮強さ (MPa) 最小	推定一軸圧縮強さ (MPa) 平均	推定一軸圧縮強さと最大接線応力との比 最小	推定一軸圧縮強さと最大接線応力との比 平均
TBM-1 工区	8,983	8,985	2	39.4	48.6	98.5	121.5	1.2	1.5
	8,997	9,007	10	48.2	56.4	120.5	141.0	1.5	1.7
	9,443	9,446	3	36.1	41.5	90.3	103.8	1.1	1.3
	9,480	9,485	5	41.6	47.0	104.0	117.5	1.3	1.4
	9,555	9,587	32	9.8	33.7	24.5	84.3	0.3	1.0
	9,645	9,646	1	12.8	34.0	32.0	85.0	0.4	1.0
	9,652	9,662	10	32.2	41.9	80.5	104.8	1.0	1.3
	10,035	10,047	12	18.3	32.5	45.8	81.3	0.6	1.0
	10,063	10,070	7	29.3	35.4	73.3	88.5	0.9	1.1
	10,260	10,267	7	47.9	52.0	119.8	130.0	1.4	1.6
	10,545	10,552	7	42.8	49.8	107.0	124.5	1.3	1.5
	10,625	10,626	1	46.8	51.5	117.0	128.8	1.4	1.6
	10,747	10,752	5	38.3	50.3	95.8	125.8	1.2	1.5
	10,793	10,798	5	25.8	28.8	64.5	72.0	0.8	0.9
	10,820	10,822	2	48.0	48.9	120.0	122.3	1.4	1.5
	10,913	10,914	1	57.8	59.5	144.5	148.8	1.7	1.8
	10,925	10,926	1	47.5	50.5	118.8	126.3	1.4	1.5
	10,988	10,989	1	51.8	54.5	129.5	136.3	1.6	1.6
TBM-2 工区	5,550	5,570	20	47.2	64.1	118.0	160.3	1.4	1.9
	5,930	5,935	5	34.1	49.4	85.3	123.5	1.0	1.5
	6,030	6,040	10	25.9	42.9	64.8	107.3	0.8	1.3
	6,250	6,280	30	18.1	43.0	45.3	107.5	0.5	1.3
	6,350	6,385	35	10.8	22.2	27.0	55.5	0.3	0.7
	6,415	6,435	20	6.5	19.9	16.3	49.8	0.2	0.6
	6,825	6,837	12	24.0	49.4	60.0	123.5	0.7	1.5
	6,858	6,861	3	40.0	54.3	100.0	135.8	1.2	1.6
	7,115	7,117	2	44.4	46.7	111.0	116.8	1.3	1.4
	7,140	7,150	10	39.7	48.9	99.3	122.3	1.2	1.5
	7,310	7,315	5	28.8	32.1	72.0	80.3	0.9	1.0
	7,348	7,350	2	34.3	39.0	85.8	97.5	1.0	1.2
	7,426	7,427	1	32.4	33.1	81.0	82.8	1.0	1.0
	8,165	8,180	15	26.2	52.2	65.5	130.5	0.8	1.6
	8,193	8,197	4	38.7	49.9	96.8	124.8	1.2	1.5
	8,203	8,218	15	16.2	29.6	40.5	74.0	0.5	0.9
	8,235	8,245	10	26.1	40.6	65.3	101.5	0.8	1.2
平均				33.4	43.8	83.4	109.6	1.0	1.3

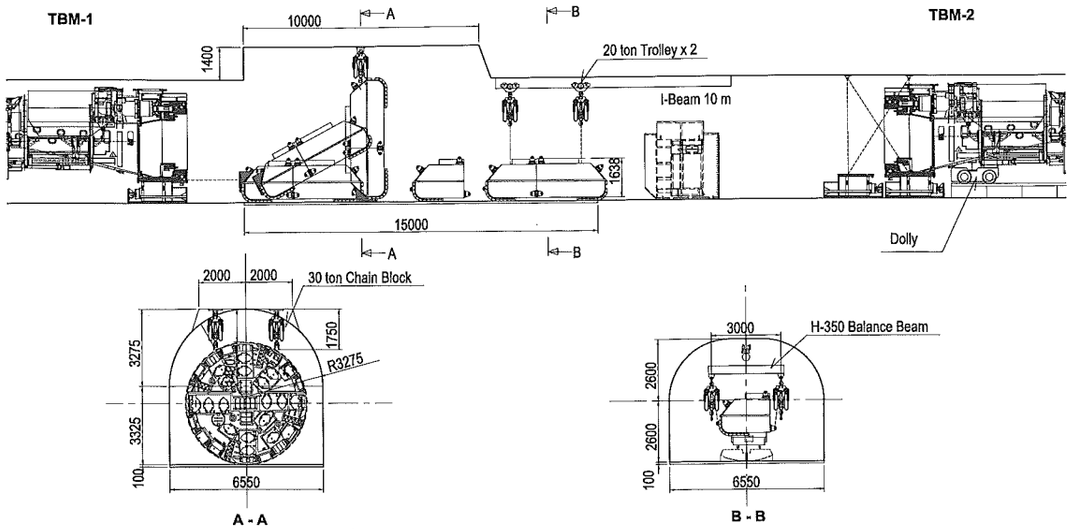


図-13　TBM坑内解体概要図

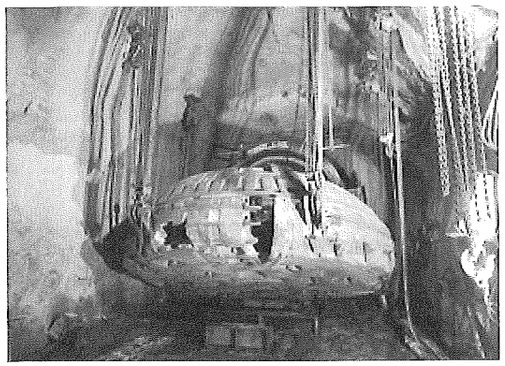


写真-11　TBMカッタヘッド解体状況

イドサポートおよびバーチカルサポートのみ坑内解体とし，TBMカッタヘッドサポート，メインビームおよびメイングリッパなどの主要部は自走式移動台車を設置して一体のまま坑外へ牽引搬出する．

③　TBM後続台車は一体のまま坑外へ牽引搬出する．

坑内TBM解体概要を**図-13**に示す．TBMカッタヘッド解体状況を**写真-11**に示す．

8　NATM掘削

8-1　NATM掘削機械編成

NATM掘削幅が5mと狭いこと，硬岩地山でのNATM掘削高速施工性の確保および安全性確保から**表-7**に示すNATM掘削機械編成とした．

表-7　NATM機械編成

作業項目	使用機械	特徴ほか
穿孔	2ブーム1バスケットコンピュータジャンボ	削孔角度および削孔長をコンピュータで管理することにより，硬岩での確実な発破掘削および余掘り低減が図られる．
装薬	バルクエマルジョン自動装填装置	バルクエマルジョン装填量をあらかじめ設定し装填．
ずり出し	シャフローダ	連続してずり出しが可能．
	前後進対応型20tダンプトラック	キャビン内部に前後2つのステアリングを有し，かつ後方カメラ搭載．
吹付け	吹付けロボット	急結剤はアルカリフリー液体急結剤使用．

8-2　NATM掘削実績

4つのNATM工区の掘削進行実績を**図-14**に示す．

NATM-1工区は堆積岩である頁岩が主で，注入式フォアポーリングを併用した支保パターンが大部分を占めていたことによる掘削進行低下，TBM-3工区では小土かぶり河川横断部掘削による掘削進行低下がみられるが，それら以外は計画とおりの掘削進行の確保ができ，TBM-2工区では最大月掘削進行283mを記録した．

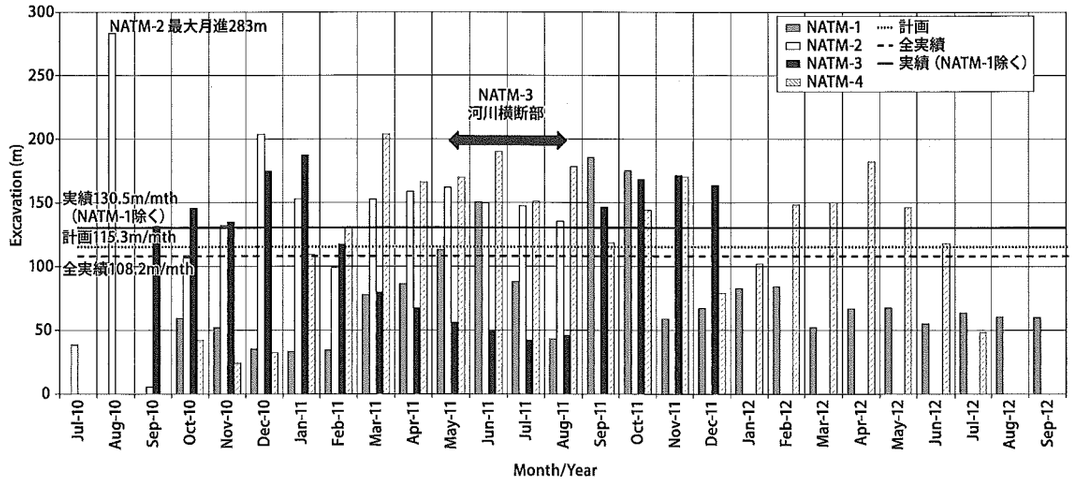


図-14　NATM掘削進行実績

表-8　鋼繊維補強吹付コンクリート基準

項目	材齢	規格	備考
圧縮強度	8時間	5 MPa	
	1日	10MPa	
	3日	20MPa	
	28日	30MPa	
タフネス（エネルギー吸収量）	28日	1,000J	EFNARC準拠

9　ライニング

9-1　鋼繊維補強吹付けコンクリートライニング（TBM区間）

TBM区間のライニングは鋼繊維補強吹付けコンクリートにより設計されている．標準吹付け厚さ（CIパターン）は10cmである．鋼繊維補強吹付けコンクリート基準を**表-8**に示す．仕上り状況を**写真-12**に示す．

9-2　覆工コンクリート（NATM区間）

NATM区間のライニングは従来の移動式覆工型枠を用いた覆工コンクリート施工方法である．標準覆工厚さは20cmである．仕上り状況を**写真-13**に示す．

10　おわりに

本プロジェクト開始当初，想定されるさまざまな問題点を洗い出し，検討を行い実施してきたが，

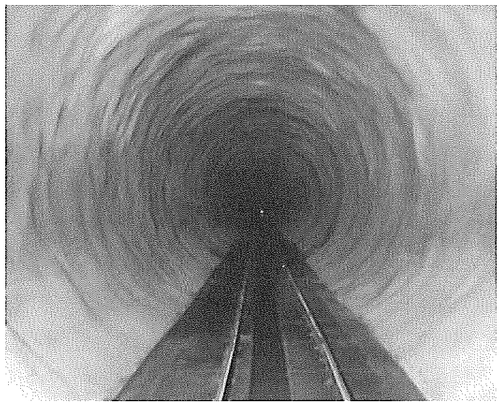


写真-12　鋼繊維補強吹付けコンクリートライニング（TBM区間）

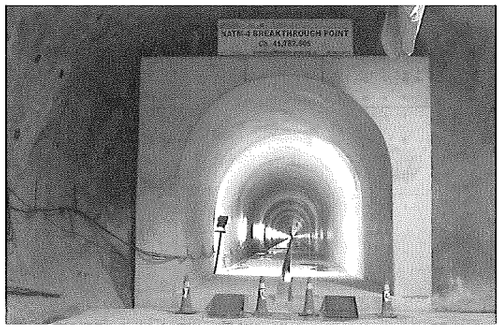


写真-13　覆工コンクリート（NATM区間）

2台のTBMのメインベアリング損傷，大量突発湧水，高岩盤温度による坑内温度の上昇および山はねとさまざまな困難に直面した．しかし問題点



写真-14　最終貫通状況

を一つ一つ検討解決しながら工事を進め，この厳しい条件を克服し，本プロジェクトに携わる皆が一丸となって2014年２月19日に最後のTBM貫通をもって東南アジア最長のトンネルが貫通した．最終貫通時，最前線で困難な環境のもと奮闘した皆の歓びの笑顔がこのプロジェクトの成功を表している．

本プロジェクトの施工結果記録が，今後の長距離TBM工事に役立てていただければ幸いである．

最後に，本工事の施工にあたり，大島洋志・国際航業(株)上席フェロー技術開発センター最高技術顧問，大久保誠介・東京大学教授，福井勝則・東京大学准教授，西垣誠・岡山大学教授，発注者であるマレーシア政府，エネルギー・環境技術・水資源省のみなさまならびに設計・施工管理者である東電設計・SMEC・SMHBのみなさまから多大なご指導，ご支援を賜りましたことに深く謝意を表します．

参　考　文　献

1) 九里尚一・阿部司・斉藤徳美：花崗岩類の風化に関する研究(Ⅰ)，物理探鉱，Vol.24，No.1，pp.6–17，1970.
2) 河田孝志・仲野義邦・水戸聰：全長44.6km，最大土かぶり1,246mでマレー半島を貫く，マレーシア　パハン・セランゴール導水トンネル，トンネルと地下，Vol.44，No.1，pp.33–44，2013.
3) 大友強一・芳賀伯文・松本茂美・水戸聰：TBMで6kmの避難坑を高速施工，日本海東北自動車道　温海トンネル避難坑，トンネルと地下，Vol.39，No.3，pp.15–26，2008.
4) 河田孝志・水戸聰・岩野健：貫通直近　東南アジア最長L＝44.6km，パハン・セランゴール導水トンネル施工状況報告，電力土木，No.369，No.1，pp.102–104，2014.

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　〒350円
本書は，「トンネルと地下」に17回にわたって連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに，加筆および整理してまとめたものである．本書では，最新のトンネル技術，地質学，ならびに，地質調査法などを挙げ，学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている．
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

研　究

高速道路トンネルの大規模修繕に関する検討

東日本高速道路(株)建設・技術本部技術・環境部トンネル専門役　山　田　隆　昭
中日本高速道路(株)技術・建設本部構造技術・支援部専門主幹　中　田　雅　博
西日本高速道路(株)技術本部上席専門役　殿垣内　正　人
(株)高速道路総合技術研究所道路研究部トンネル専門主幹　大　津　敏　郎

1　はじめに

高速道路の歴史は，昭和38(1963)年に名神高速道路・栗東～尼崎間の開通に始まり，昨年50年が経過した．平成26(2014)年１月末現在，東・中・西日本高速道路(株)(以下，「NEXCO３会社」という)が管理する高速道路は約9,000kmで，利用台数は１日約700万台に達し，国内陸上貨物輸送のじつに48%が高速道路を利用するなど，国民生活に欠かせない道路となっている．

一方，高速道路の供用後の経過年数の増加，大型車交通量の増加，重量超過車両の走行，凍結防止剤使用量の増加，さらには短時間異常降雨などの増加や地盤材料の風化・劣化などにより，変状の増加や新たな変状の発生などが顕著化してきている．

このため，NEXCO３会社では，高速道路ネットワークの機能を今後も永続的に活用していくことを目指し，平成24(2012)年11月に学識経験者による「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」(委員長：藤野陽三・東京大学大学院工学系研究科特任教授，(現)横浜国立大学特任教授．以下，「委員会」という)を設置した．

委員会では，橋梁，トンネル，土構造物のいわゆる高速道路本体の構造物に関して予防保全の観点も視野に入れ，構造物の更新や修繕のあり方に関して技術的検討を行った．

具体的な検討にあたっては，NEXCO３会社が管理する全区間の橋梁(約２万橋)，トンネル(約1,700本)，土構造物の健全性や変状の要因を分析するとともに，経年的な劣化の見通しを予測した．これをもとに，現時点で対策の実施が必要と判断した対象構造物ごとの大規模更新および大規模修繕について，平成26(2014)年１月に最終報告書をとりまとめ，公表したところである．

本稿では，委員会での検討概要についてトンネルを中心に報告する．なお，内容の詳細はNEXCO３会社のホームページに『高速道路の更新計画』と題して委員会報告書などの資料を掲載しているので参照していただきたい．

2　委員会の検討概要

2-1　大規模更新と大規模修繕の定義

大規模更新および大規模修繕は，本体構造物に対して，ライフサイクルコストの最小化，予防保全および性能強化の観点を考慮し，技術的見地から必要かつ効率的な対策を講ずることにより，高速道路ネットワークの機能を長期にわたって健全に保つことを目的としており，委員会では表-1のとおり定義した．

2-2　検討の手順

概略の検討手順について，以下に説明する．

(１)　変状の現状把握

点検・調査データにより，構造物の変状が発生している事例の収集・整理を行った．

表-1　大規模更新，大規模修繕および通常修繕の定義

	定　義	目標性能	標準的な交通影響	代表的な対策
大規模更新	補修を実施しても，長期的には機能が保てない本体構造物を再施工することにより，本体構造物の機能維持と性能強化を図るもの．	最新の技術で，現在の新設構造物と同等またはそれ以上の性能を確保	長期間にわたる通行止め，または車線数減少などの通行規制をともない，交通への影響が多大なもの．	・橋梁上部工(床版，桁)の架替え
大規模修繕	本体構造物を補修・補強することにより性能・機能を回復するとともに，予防保全 の観点も考慮し，新たな変状の発生を抑制し，本体構造物の長寿命化を図るもの．	最新の技術で，建設当初と同等またはそれ以上の性能を確保	車線数減少などの通行規制をともない，通常修繕に比べ，交通への影響が大きいもの． ただし，トンネルのインバート施工は大規模更新相当の交通への影響をともなう．	・橋梁の高性能床版防水や表面被覆などの予防保全対策 ・盛土の排水機能強化などの安定性確保対策 ・最新の基準による切土のり面のグラウンドアンカーの再施工 ・トンネルのインバート施工による補強 ・トンネル覆工の炭素繊維補強など
通常修繕	構造物の性能・機能を保持，回復を図るもの．	建設当初の性能を確保	車線数減少や路肩規制などの通行規制をともなうが，原則，日々の通行規制解除が可能であり，交通への影響が小さいもの．	・舗装補修 ・橋梁床版の部分補修 ・トンネル覆工背面空洞対策 ・コンクリートはく落対策　など

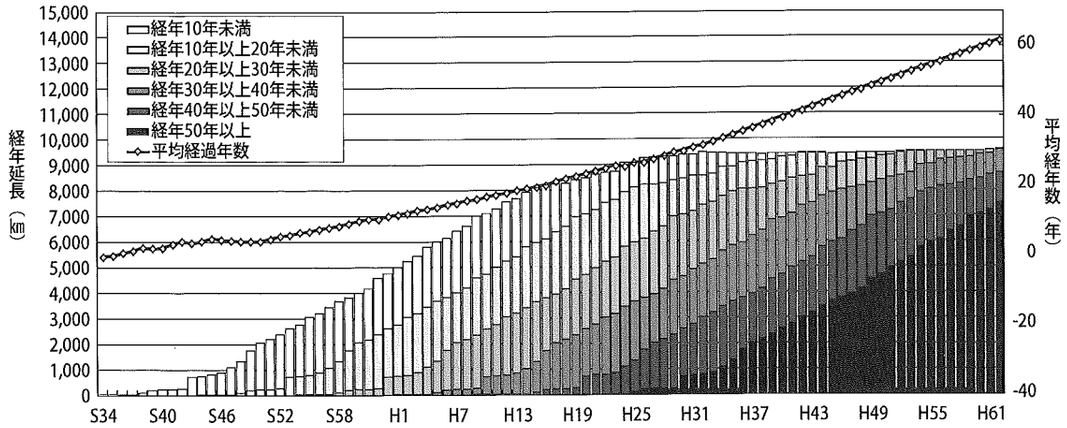


図-1　高速道路の経過年数の推移

（2）　変状発生要因の整理と分析

収集・整理した変状について，発生要因の整理を行った．

その後，変状発生要因に関して，経過年数と健全度の関係などを分析した．

（3）　大規模更新・大規模修繕の必要要件

変状発生要因の分析より，大規模更新・大規模修繕の必要要件を設定した．

（4）　実施時期の検討

対策が必要となる構造物の現在の状態や変状の進行速度などをもとに，現時点で大規模更新・大規模修繕の実施が必要と判断したものを抽出した．

2-3　高速道路トンネルの大規模修繕検討

2-3-1　トンネルの課題

（1）　経過年数の増加―経年劣化の進行―

図-1に示すように，平成24(2012)年度末時点で，供用後30年以上経過した高速道路の延長が約4割となり，平成60(2048)年度には供用後50年以上の高速道路の延長が約8割となるため，経年劣化のリスクの高まりが懸念される．このうち，トンネルについては，**図-2**に示すとおり平成24(2012)年度末時点で，供用後30年以上経過しているトンネル本数の割合は約2割である．

なお，各構造物の延長比率は，橋梁約15%，トンネル約11%，土構造物約74%となっている．

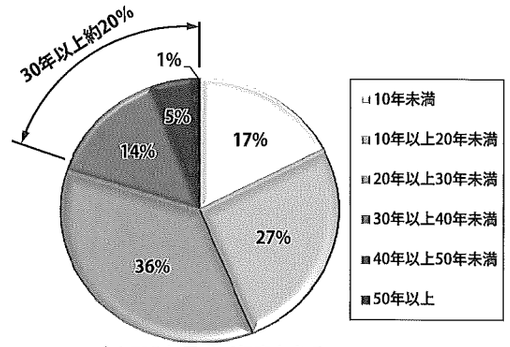


図-2　トンネルの経過年数比率

（2）　変状リスク―設計・施工基準の変遷，地山材料の風化・劣化による変状リスク―

旧基準により設計施工されたことなどにより，これまで明確になっていなかったトンネル本体の変状などのリスクが顕著化してきている．

2-3-2　トンネルの現状分析

高速道路トンネルの構造種別および供用年度ごとの延長推移を**図-3**に示す．高速道路トンネルの91%は山岳トンネルであり，施工法はNATMが70%，矢板工法が21%を占めている．NEXCOでは昭和58(1983)年からNATMを標準工法としており，昭和62(1987)年前後の供用時期で施工法がはっきり分かれている．なお，開削工法のトンネルは9%あるが，延長に占める割合は2%弱とわずかである．

トンネルの変状分析を行うにあたって，平成23(2011)年度末時点で供用していた高速道路トンネルの全数1,677本について，構造図，点検・調査データ，覆工健全度データ(覆工スパンごとに評価)，地質データを収集した．

トンネル覆工コンクリートの健全度は，**図-4**に示すとおり経過年数とともに低下する傾向となっており，40年以上経過すると半数近くの覆工コンクリートに何らかの対策が必要な変状が発生している．また，一部のトンネルで路面の隆起(盤ぶくれ)が生じている(**写真-1**)．

その他，覆工背面の空洞，覆工の目地部のはく落・浮き，目地部からの漏水などが見られるが，現時点では通常修繕での対応とし，これまでと同様に計画的に実施していくこととして整理した．

よって，今回の大規模修繕の対象としては，トンネル本体工の路面隆起とトンネル覆工の変状を

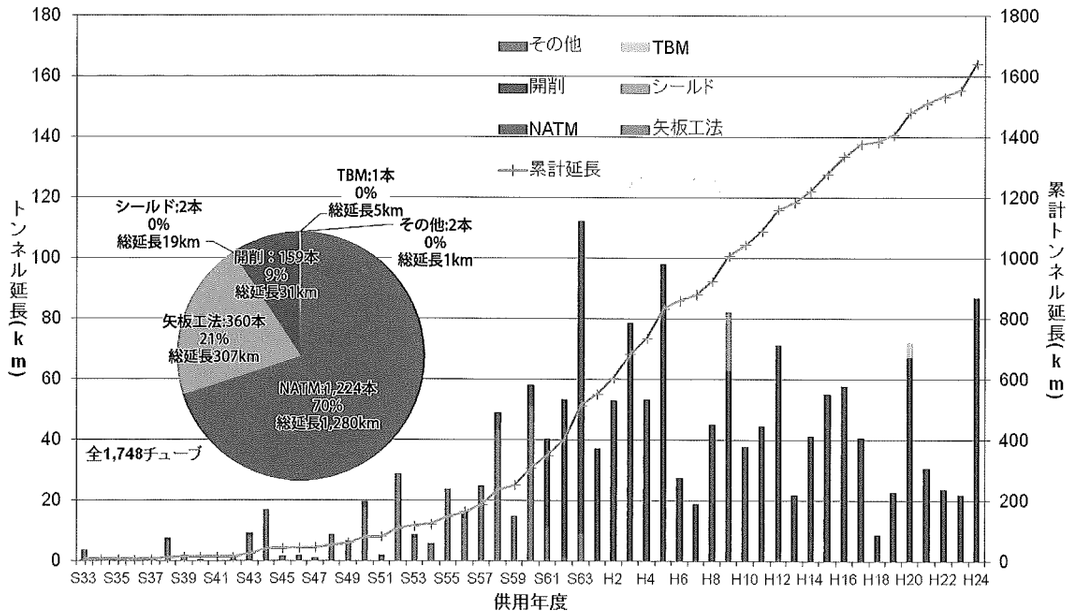
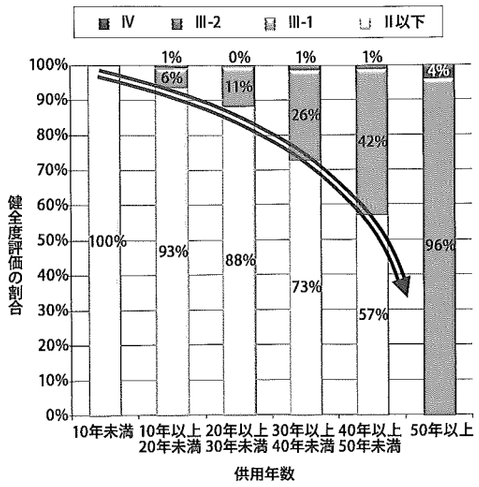
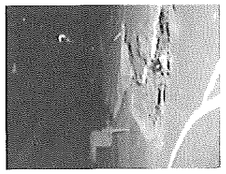


図-3　トンネルの構造種別および供用年度ごとの延長推移





（トンネル覆工の変状状況）

≪覆工健全度≫　※高速道路３会社『保全点検要領』(平成24年)による

健全度ランク	定　義
Ⅰ	変状がないか軽微なもの
Ⅱ	変状があるが，現状は継続的に監視を行う必要があるもの
Ⅲ-1	変状があり，適切な時期に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅲ-2	変状があり，速やかに何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅳ	変状が著しく，早急に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅴ	変状が極めて著しく，直ちに何らかの対策を行う必要があるもの

図-4　トンネル経過年ごとの覆工健全度

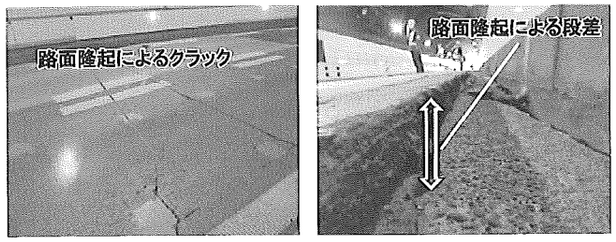


写真-1　トンネル路面の隆起事例

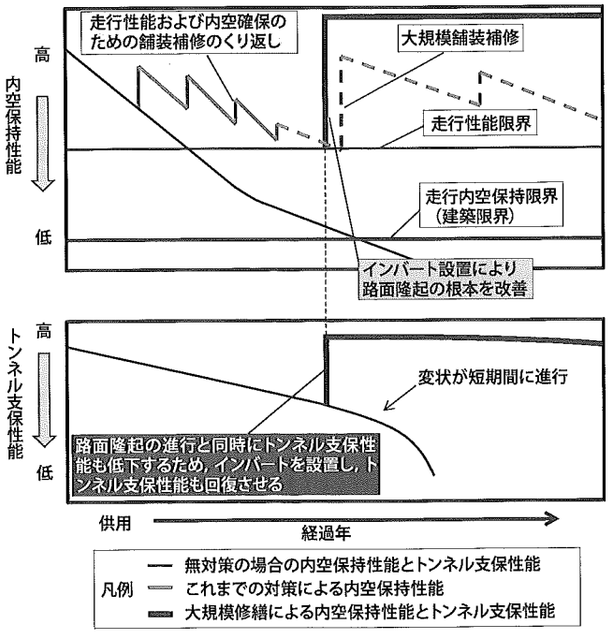


図-5　トンネルの健全性および性能に関する概念

取扱うこととした．なお，トンネルの路面隆起に関して大規模修繕が必要であることを示す概念を図-5に示す．この図は，周辺地山の強度低下や吸水膨張により路面隆起が生じ，これまでのような舗装補修をくり返しても変状が収まらず，内空保持性能が低下するだけでなく，トンネルの支保性能も低下するため，インバートの設置が必要になることを表現している．

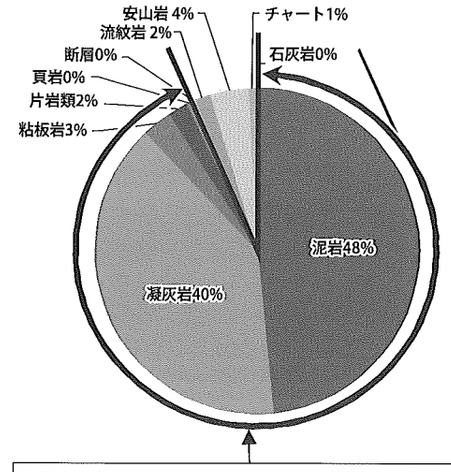
2-3-3　トンネル変状発生要因の分析

トンネルの変状要因は，地震などの外力の作用を除き，主として岩種に依存することから，トンネル周辺地山の地質と変状の状態(健全度など)について分析を行った．

（1）　トンネル本体工(路面隆起)

路面隆起は，地中の湧水や地下水を起因とするトンネル周辺地山の風化・劣化による強度低下や吸水膨張によりトンネル周辺の土圧が増加し，路面の隆起や覆工のひび割れなどの変状を引起こす現象である．

現在路面隆起が発生しているトンネルの岩種を分析した結果を図-6に示す．こ



長期的に強度低下を示す岩種や膨張性を有する岩種が９割

図-6　路面隆起発生箇所の岩種割合

の結果，路面隆起が発生している区間は，長期的に強度低下を示す岩種や膨張性を有する岩種で，インバートが設置されていない箇所で顕著である．NEXCOでは平成10(1998)年以降，地山が長期的に強度低下や膨張性を示す岩種でトンネルを建設する場合は，標準的にインバートを設置することとしており，路面隆起が発生している区間はそれ以前の旧設計要領が適用された区間である．その区間の中で現在の設計要領の考え方でインバートが必要となる岩種の延長比は約９割以上を占める．

路面隆起が供用後どのくらいの期間で生じるかを調べた結果が図-7である．この結果を見るかぎり，供用期間と路面隆起時期には相関が見られない．

路面隆起の速度を調べた結果が図-8である．この結果を見ると，隆起速度は数㎜/年から30㎜/年程度である．なお，山形自動車道盃山トンネルと上信越自動車道日暮山トンネルは既設インバートが破損したもので，破損までの経過やほかの要因などの考察が必要となる事例である．対策工として長崎自動車道の俵坂トンネルとうれしのトンネルに着目すると，ロックボルト工を施工したことで隆起速度は鈍化するものの，隆起は完全に止まらず，インバート設置以降は，路面隆起は確認されていない．このようなことから，路面隆起の恒

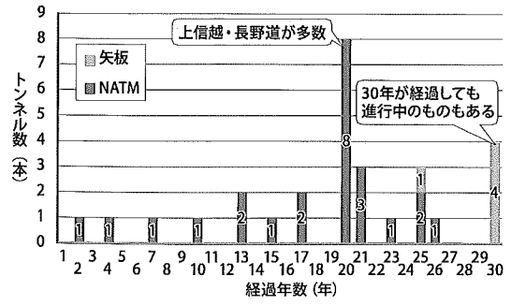


図-7　路面隆起トンネルの供用後経過年数の状況

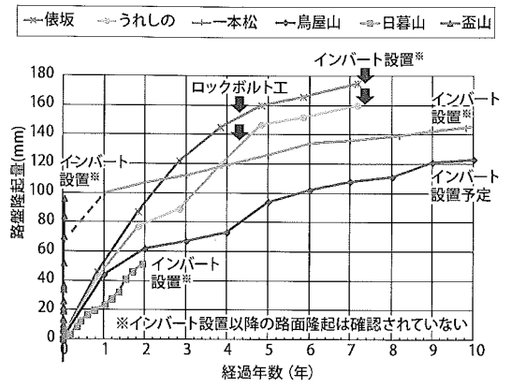


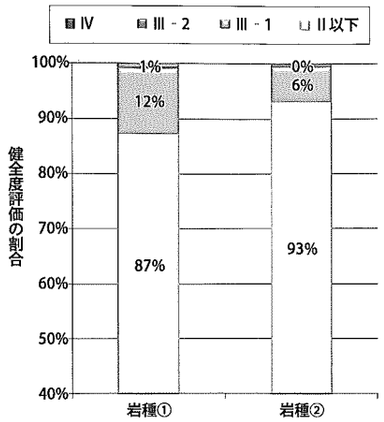
図-8　路面隆起速度と対策工

久対策工としては，インバートの設置がもっとも有効と考える．

（2）　トンネル覆工(覆工健全度)

トンネル経過年数と覆工健全度の関係は，図-4に示したとおり，経過年数とともに健全度は低下する．次に覆工健全度を地山の岩種に着目して分析した結果を図-9に示す，この結果より，風化しやすい岩種①は，風化しにくい岩種②に比べ，変状対策が必要とされる健全度Ⅲ-1以上の割合が高く，健全度が低下する傾向にある．また，岩種①については，図-10, 11に示すとおり，比較的状況の良い健全度ランクⅠ・Ⅱの割合が経過年とともに低下し，健全度ランクⅢ-1より悪い覆工の割合が増加していることから，時間の経過とともに健全度が低下する傾向にある．なお，覆工健全度Ⅲ-2より悪い覆工の割合が極端に少ないのは，すでに何らかの補修がなされているためである．

このように，風化しやすい岩種に位置するトンネルは，地山中の湧水・地下水などにより地山が



≪覆工健全度≫　※高速道路３会社『保全点検要領』(平成 24 年)による

健全度ランク	定　義
Ⅰ	変状がないか軽微なもの
Ⅱ	変状があるが，現状は継続的に監視を行う必要があるもの
Ⅲ-1	変状があり，適切な時期に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅲ-2	変状があり，速やかに何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅳ	変状が著しく，早急に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅴ	変状が極めて著しく，直ちに何らかの対策を行う必要があるもの

岩種①[風化しやすい岩]	岩種②[風化しにくい岩]
蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩，千枚岩，黒色片岩，緑色片岩，頁岩，泥岩，流紋岩，粘板岩，グリーンタフ，マサ土，シラス，ローム，シルト，崖錐，砂礫	安山岩，玄武岩，石英安山岩，ひん岩，斑れい岩，花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，花崗斑岩，ホルンフェルス，角閃石岩，砂岩，礫岩，石灰岩，チャート，片麻岩

図-9　岩種区分におけるトンネル覆工健全度割合

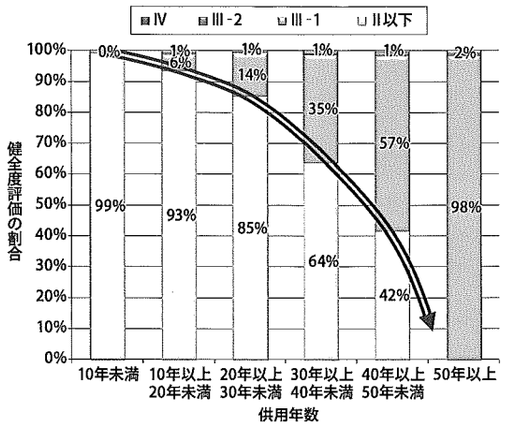


図-10　岩種①の供用年数別健全度割合

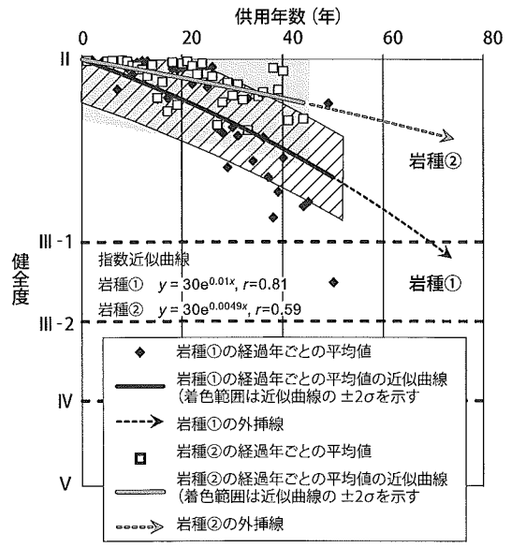


図-11　供用年数別の覆工健全度の推移と予測

脆弱化し，トンネル周辺の安定していた地山が緩むことにより覆工へ過度な土圧が生じ，変状が進行すると考えられる．

（3）　トンネル変状分析のとりまとめ

前述したトンネル変状分析の結果を**表-2**に示す．

表-2　トンネル変状分析のまとめ

トンネル本体	トンネル本体工	・路面隆起は，強度低下や膨張性を示す岩種で，インバート未設置区間での発生傾向が顕著． ・路面隆起や覆工健全度の低下に対して，早めにインバートを設置することが重要．
	トンネル覆工	・風化しやすい岩種で，経年とともに健全度が低下する傾向． ・覆工の変状が進行すると修復が困難なため，早めに補強対策を行うことが重要．

2-3-4　トンネル大規模修繕の必要要件

（1）　トンネル本体工(路面隆起)

路面隆起対策としては，すでに路面の隆起が発生しているトンネルについて優先的に行うこととし，変状がない場合でも長期的に強度低下を示す岩種や膨張性を有する岩種で，インバート未設置

区間かつ覆工健全度ランクⅢ-1～Ⅴとなっている箇所は，近い将来路面隆起の発生が懸念されるため対象とする．なお，覆工健全度ランクⅡより良い覆工でも重点的な経過観察を実施し，変状が見られた場合はインバートの設置を検討する．

トンネル本体工(路面隆起)に対する大規模修繕の判定フローを**図-12**に示す．

（2）　トンネル覆工

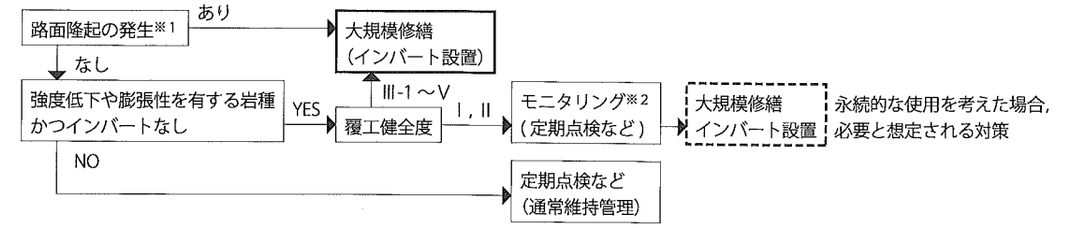
覆工の変状に対しては，風化しやすい岩種①で覆工健全度ランクⅢ-1～Ⅴについて覆工コンクリート内面補強などの対策を行う．

トンネル覆工に対する大規模修繕の判定フローを**図-13**に示す．なお，健全度評価の結果，著しい変状が発生しているものについては，当該フローによらず早期に適切な対応を施すものとする．

2-3-5　トンネル大規模修繕の実施時期

（1）　対策実施時期の考え方

対策実施時期としては，**図-14**に示すように，変状の進行状況の分析および点検サイクルを踏まえて期間を15年と設定し，対策の優先度などから

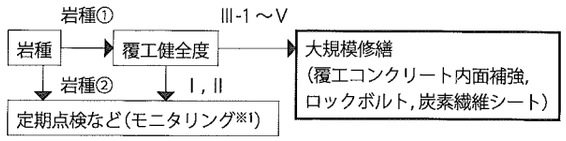


≪覆工健全度≫　※高速道路３会社『保全点検要領』(平成 24 年)による

健全度ランク	定　義
Ⅰ	変状がないか軽微なもの
Ⅱ	変状があるが，現状は継続的に監視を行う必要があるもの
Ⅲ-1	変状があり，適切な時期に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅲ-2	変状があり，速やかに何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅳ	変状が著しく，早急に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅴ	変状が極めて著しく，直ちに何らかの対策を行う必要があるもの

※1 路面隆起箇所では，覆工・照明への接触，走行安全性および将来的なトンネル健全性確保の観点から対策が必要．
※2 現基準ではインバートの設置が必要な区間である．緊急性は低いと思われるが時間の経過とともに路面隆起が懸念されるため，重点的な経過観察が必要．

図-12　トンネル本体の大規模修繕の判定フロー



≪覆工健全度≫　※高速道路３会社『保全点検要領』(平成 24 年)による

健全度ランク	定　義
Ⅰ	変状がないか軽微なもの
Ⅱ	変状があるが，現状は継続的に監視を行う必要があるもの
Ⅲ-1	変状があり，適切な時期に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅲ-2	変状があり，速やかに何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅳ	変状が著しく，早急に何らかの対策を行う必要があるもの
Ⅴ	変状が極めて著しく，直ちに何らかの対策を行う必要があるもの

岩種①[風化しやすい岩]	岩種②[風化しにくい岩]
蛇紋岩，凝灰岩，凝灰角礫岩，千枚岩，黒色片岩，緑色片岩，頁岩，泥岩，流紋岩，粘板岩，グリーンタフ，マサ土，シラス，ローム，シルト，崖錐，砂礫	安山岩，玄武岩，石英安山岩，ひん岩，斑れい岩，花崗岩，花崗閃緑岩，石英斑岩，花崗斑岩，ホルンフェルス，角閃石岩，砂岩，礫岩，石灰岩，チャート，片麻岩

図-13　トンネル覆工の大規模修繕の判定フロー

実施時期①から実施時期③の３つの期間に区分した．そのうえで実施時期①に，現時点で対策の実施が必要と判断したものを抽出した．

（２）　トンネル本体工の対策実施時期の検討

すでに路面の隆起が発生しているトンネルや，変状がない場合でも長期的に強度低下を示す岩種や膨張性を有する岩種のトンネルは，インバートの設置が必要である．

対策実施時期は，すでに路面隆起が発生しているものを実施時期①に，路面隆起が発生していなくても，強度低下を示す岩種や膨張性を有する岩種で覆工に変状が発生している覆工健全度ランクⅤ～Ⅲ-1のものは，実施時期②に区分した．次に，実施時期②のうち覆工健全度ランクⅢ-2以上のものは，地山の劣化が進んでおり路面隆起発生の可能性が高いと考えられるため，実施時期②から実施時期①にくり上げた．

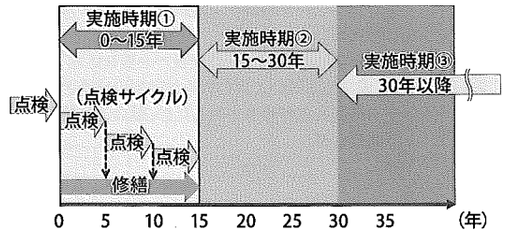


図-14　対策実施時期の期間設定

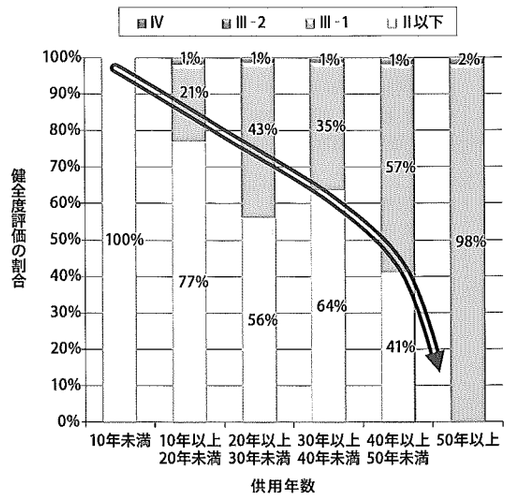


図-15　岩種①の供用年数別健全度割合（矢板工法）

（３）　トンネル覆工の対策実施時期の検討

風化しやすい岩種で覆工健全度が低下しているトンネルは，覆工コンクリートの内面補強などを実施する必要がある．対策実施時期は，覆工変状の進行が確認されている覆工健全度Ⅴ～Ⅲ-2の区間を実施時期①とした．次に，覆工健全度Ⅲ-1の範囲でも過去に標準とされていた矢板工法で施工されたものは，**図-15**のように覆工健全度の低下が顕著であり，実施時期②から実施時期①にくり上げた．

2-3-6　トンネル大規模修繕の対策工について

トンネル大規模修繕の対策工は，各トンネルの変状状況，地質条件や施工条件などを勘案し選定されるものであり，一義的に決定されるものではないが，多くの場合はこれまでの設計・施工実績を勘案して現地条件に適合した工法を選定していくこととなる．以下，NEXCOでの施工実績や検討状況を踏まえ，トンネル大規模修繕の対策工となる例を示す．

（１）　トンネル本体（路面隆起）

路面隆起の抜本的な対策は，覆工と一体となって地山の圧力に抵抗できるようにインバートを設置することである．暫定２車線で供用した俵坂トンネルやうれしのトンネルなど，過去に実施された路面隆起対策は，高速道路Ⅱ期線開通時に新設トンネル側に交通を切替え，Ⅰ期線を通行止めにしてインバートを設置する方法が採られてきた．しかしながら，今後，路面隆起対策が必要となるトンネルは，前述のような条件を備えて全面通行

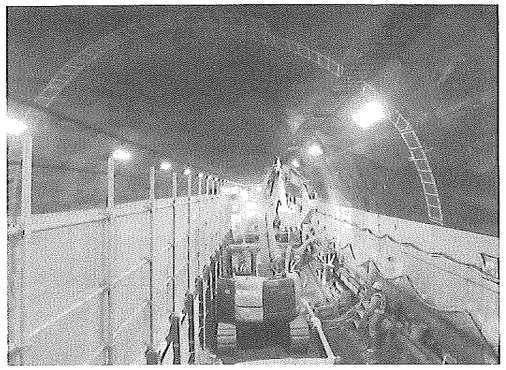


写真-2　日暮山トンネル インバート半割り施工

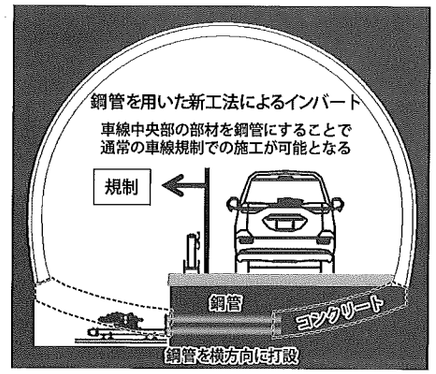


図-16　安全と急速施工を目指したインバート半割施工



写真-3　風波トンネル内巻き工の施工状況

止めにより施工を行うことが困難な箇所がほとんどである．

このため，トンネル内で片側通行規制をしながらのインバートの半割り施工となり，施工中の安全確保，規制期間の長期化，インバートの施工品質など多くの検討課題がある．本誌Vol.44，No.12（2013年12月号）およびVol.45，No.7（2014年７月号）に掲載された上信越自動車道日暮山トンネル（**写真-2**）や長野自動車道一本松トンネルのように，徐々にではあるがインバート半割り施工の経験も積んできており，課題を克服すべく施工技術の進化を求めていきたい．また，本誌Vol.45，No.6（2014年６月号）に掲載の鋼管複合インバート構造は（**図-16**），規制中の安全性確保や工期短縮が期待できることから，新しい技術として早期に確立し，現地への適用を検討しているところである．

（２）　トンネル覆工

トンネル覆工の変状対策は，覆工健全度，変状の原因や進行具合，地山の状況（地質，土かぶり，劣化，湧水など）などを考慮して選定する必要がある．変状の進行速度が速く，地山が劣化して強度低下している場合（覆工健全度Ⅲ-2程度），炭素繊維シートの２層張り程度を基本とし，ロックボルトなどにより地山の補強を行う．さらに変状が著しく，覆工に作用する荷重が大きいと推定される場合は，内巻き工などの内面補強により覆工を剛な構造とする必要がある．北陸自動車道の風波トンネルの変状対策において（**写真-3**），型枠一体化による内巻き工法を採用した実績があり，最新の技術的知見を加えて現地に適用していく．なお，矢板工法で施工されたトンネルにおける対策については，覆工背面の空洞注入対策をあわせて実施していく必要がある．

表-3　大規模更新・大規模修繕計画（概略）内訳

	区　分	項　目	主な対策	延　長※1	概算事業費※2
大規模更新	橋　梁	床版	床版取替	約 230km	約16,500億円
		桁	桁の架替	約 10km	約 1,000億円
	小計			約 240km	約17,600億円
大規模修繕	橋　梁	床版	高性能床版防水など	約 360km	約 1,600億円
		桁	桁補強など	約 150km	約 2,600億円
	土構造物	盛土・切土	グラウンドアンカー 水抜きボーリングなど	約1,230km	約 4,800億円
	トンネル	本体・覆工	インバートなど	約 130km	約 3,600億円
	小　計			約1,870km	約12,600億円
合　計				約2,110km	約30,200億円

・「長期保全等検討委員会」の検討を踏まえ高速道路３会社において検討した計画（概略）
※１：上下線別および連絡等施設を含んだ延べ延長
※２：端数処理の関係で合計が合わないことがある

3　大規模更新・大規模修繕の事業規模

委員会で検討・整理された「現時点で大規模更新・大規模修繕が必要と判断された事業」に対して，NEXCO３会社で検討した概略事業費を**表-3**に示す．事業費は，全体約３兆200億円のうち，

橋梁にかかる対策費用が約7割を占めている．トンネルに関しては，路面隆起対策としてのインバート設置および覆工のひび割れ対策としての内面補強工を実施する延長は約130km（トンネル全延長約1,600kmの約8％）で，費用は約3,600億円を見込んでいる．

なお，この事業規模は現時点における技術的な知見にもとづき検討したもので，顕在化していない変化や劣化メカニズムが明らかになっていないものなどについては含まれていないため，今後とも点検やモニタリングにかかわる技術の向上を図るとともに，適時見直しを実施する必要がある．

4 おわりに

高速道路ネットワーク機能を永続的に確保するためには，大規模更新・大規模修繕が不可欠との結論に達したが，事業化に向けてさまざまな課題を抱えている．おもな課題としては，社会的な理解を得るための説明責任の履行，交通規制による渋滞の緩和方法，構造物の劣化抑制対策，点検の効率化や補修材料および急速施工方法などの技術開発，コスト削減，事業実施体制の強化，国や地方公共団体などとの連携などが挙げられる．

また，高速道路の資産の老朽化や潜在的リスクに対して安全・安心を確保するため，大規模更新・大規模修繕に加え，点検から補修・記録にいたる維持管理サイクルの確立，点検の信頼性向上のための教育や自動化・機械化，第三者等被害防止対策として二重の安全対策などに取組んでいく．

最後に，委員会でご尽力いただいた藤野陽三委員長，太田秀樹委員，宮川豊章委員，西村和夫委員に心よりお礼を申し上げます．

■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

業界案内 2014

目次

協　会　I
コンサルタント業ほか　III
建　設　業　IV
建設機械業　V
建設資材業　VI
掲載順不同

凡例

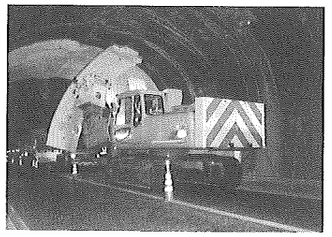
会社名
代表者名　および　役職
業務内容，　取扱商品名　など
問い合わせ先
所　在　地
TEL：XXX-XXX-XXXX　　FAX：YYY-YYY-YYY
E-mail：XYZ@ZZZ.jp
URL http://www.ZZZ.jp

協　会

PCL協会

会長　潅津　亨

＜技術概要＞
①プレキャスト製コンクリートアーチを組立て，トンネルの補修，補強を行う工法です．
②PCL版はアーチ構造で自立します．
③トンネル内部では専用重機による据付けを行います．
④片側交互交通開放下による施工が可能です．
⑤新設トンネルの2次覆工としても使用可能です．
⑥主に道路トンネルに使用されますが，最近では水路の補修・補強としても用いられています．



PCL工法
PRECAST CONCRETE LINING

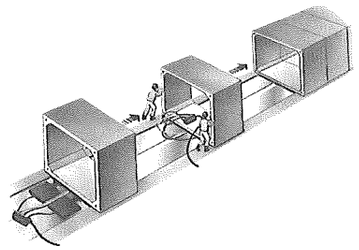
問い合わせ先：事務局
〒130-0026　東京都墨田区両国2-10-14石川島建材工業(株)内
TEL：03-6271-7327　FAX：03-6271-7298
E-mail：pcl-kyokai@nifty.com
URL http://www.pcl-kyokai.com/

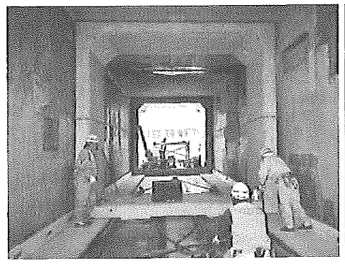
エアーキャスターボックス工法研究会

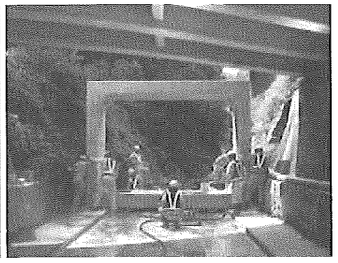
事務局代表　倉田　貴志

近年，労働者不足により，プレキャスト製品の需要が高まってきていますが，施工場所が，【市街地の民家密集地】【架空地線下】【高架下】【トンネル内への据付】など，様々な制約条件により据え付けクレーンの設置場所が確保できないことが少なくありません．エアーキャスター工法は，そういった施工場所でも，空気により作動する搬送装置を用いることで，プレキャスト製品を目的地まで水平に移動し据え付けが可能です．

この工法は，特別な軌条設備を設けることなく，エアーキャスターとコンプレッサーの組み合わせで，空気圧により製品を浮上させることで，摩擦抵抗を大幅に低減させて移動が可能となり，移動時に必要な負荷は，搬送物質量の約3/1000程度となります．任意の平面線形や数100mに及ぶ長距離施工にも適用可能であり，1％以上の勾配などがある場合は，ウインチなどの牽引装置を併用することで，施工性を向上させることも可能です．







【NETIS　登録番号: KT-010013-V】【ARIC　登録番号: 1052】

問い合わせ先：事務局
〒111-0043　東京都台東区駒形2-4-11 SMCコンクリート(株)営業本部内　　TEL：03-3847-5321　FAX：03-3847-8621
E-mail：info@air-caster.com　　URL http://www.air-caster.com/

URT協会

協会長　飯田　廣臣

URT協会(Under Railway / Road Tunnelling Method Association)は，
URT工法(Under Railway / Road Tunnelling Method)と，**PCR工法**(Prestressed Concrete Roof Method)をもって，
安心・安全・確かな技術で交通を遮ることなく鉄道・道路等の直下を横断する，
さまざまなトンネルを構築する工法の研究開発・普及に取り組んでおります．



URT工法は，鉄道または道路を挟んで発進立坑および到達立坑を設け，必要なトンネル断面を箱型中空の鋼製エレメントで取り囲み覆工する工法です．



PCR工法は，路盤下横断構造物を上部路面を供用しながら，方形断面の PCR 桁を地中に並列推進し，これにプレストレスを導入して，非開削で本体構造物を構築する工法です．

協会会員　(全36社, 50音順, 平成25年1月現在)

(株)IHI	(株)奥村組	(株)熊谷組	清水建設(株)	鉄建建設(株)	西松建設(株)
(株)浅沼組	オリエンタル白石(株)	広成建設(株)	(株)錢高組	東急建設(株)	日本ケーモー工事(株)
(株)安藤・間	(株)加賀田組	(株)鴻池組	第一建設工業(株)	東鉄工業(株)	(株)不動テトラ
石川島建材工業(株)	鹿島建設(株)	佐藤工業(株)	大成建設(株)	戸田建設(株)	前田建設工業(株)
伊藤組土建(株)	九鉄工業(株)	三軌建設(株)	大鉄工業(株)	飛島建設(株)	三井住友建設(株)
大木建設(株)	窪田工業(株)	ジェイアール東海建設(株)	(株)竹中土木	南海辰村建設(株)	名工建設(株)

問い合わせ先：事務局
〒130-0026　東京都墨田区両国2-10-14両国シティコア(石川島建材工業(株)内)　　TEL：03-3633-6280　FAX：03-6271-7298
URL http://www.urt.jp

コンサルタント業ほか

メトロ開発株式会社

代表取締役社長　矢萩　秀一

●都市トンネルの調査・設計・施工管理●トンネル近接施工の渉外業務・影響検討・計測管理●建築・設備設計・施工管理●IPH(内圧充填接合補強)の施工●海外都市鉄道建設の支援業務

問い合わせ先：技術部　技術管理課
〒103-0001　東京都中央区日本橋小伝馬町11-9
TEL：03-5847-7807　FAX：03-5847-7825
E-mail：y-yamakoshi@metro-dev.co.jp
URL http://www.metro-dev.co.jp

Japan Asia Group 国際航業株式会社

代表取締役社長　土方　聡

・持続可能な社会へ寄与する新しいインフラ整備
・空や地上地下から地形地質を調査計測し，多様なニーズに応えるデータ構築サービスを提供
・山岳トンネルの調査・解析・計画・設計・点検

問い合わせ先：技術開発センター
〒183-0057　東京都府中市晴見町2-24-1
TEL：042-307-7110　FAX：042-330-1050
E-mail：naoki_muto@kk-grp.jp
URL http://www.kk-grp.jp

株式会社　ロード・エンジニアリング

代表取締役　清水　洋

道路，道路構造物，付帯設備の調査，設計，施工管理およびトンネル点検・調査・補修設計，とくにトンネルに関する部門を完備

問い合わせ先：本社
〒116-0013　東京都荒川区西日暮里5-24-7　冠ビル
TEL：03-3891-0711　FAX：03-3891-0701
E-mail：info@road-eng.co.jp

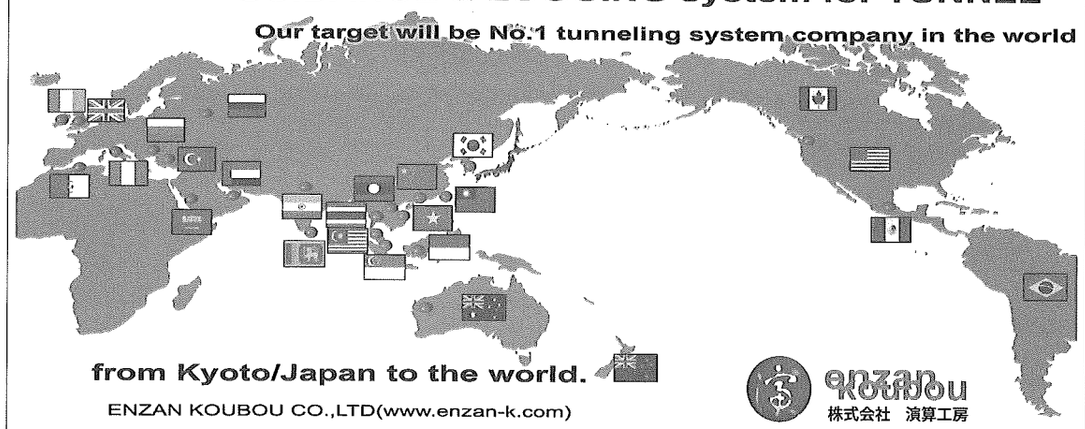
enzan KOUBOU 株式会社 演算工房

代表取締役　林　稔

Easy to handle, Difficult to imitate.

GUIDANCE & LOGGING system for TUNNEL

Our target will be No.1 tunneling system company in the world



from Kyoto/Japan to the world.

ENZAN KOUBOU CO.,LTD(www.enzan-k.com)

enzan KOUBOU 株式会社 演算工房

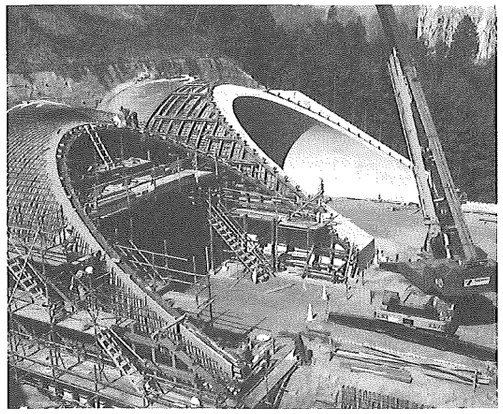
問い合わせ先：営業部
〒602-8268　京都府京都市上京区智恵光院通中立売下ル山里町237-3　　TEL：075-417-0100　FAX：075-417-0200
E-mail：info-staff@enzan-k.com　　URL http://www.enzan-k.com

建 設 業

木部建設株式会社

代表取締役社長　木部　哲実

トンネル・ダム工事および首都高速・地下鉄工事の専門工事業者として，安全な良質施工に心掛けています．



問い合わせ先：本社　営業部　もしくはホームページより
〒180-0005　東京都武蔵野市御殿山1-6-10
TEL：0422-48-7221　FAX：0422-47-6967
E-mail：t.takahashi@kibekensetsu.co.jp
URL http://www.kibekensetsu.com

新日本開発株式会社

グループ代表取締役　箕井　　伸

トンネル補助工法(AGF，切羽補強ボルト，脚部補強工)，先進ボーリング及び前方探査，コア採取，各種パイプルーフ工事，マイクロパイル，気泡削孔，斜面安定工，重金属環境汚染対策，地盤改良工他

問い合わせ先：技術部
〒550-0012　大阪府大阪市西区立売堀2-4-19
TEL：06-6543-1175　FAX：06-6543-1170
E-mail：info@njd.co.jp または，gijutu@njd.co.jp
URL http://www.njd.co.jp

東亜建設工業

代表取締役社長　松尾　正臣

総合建設業

問い合わせ先：土木事業本部　技術部
〒163-1031　東京都新宿区西新宿3-7-1新宿パークタワー31F
TEL：03-6757-3841　FAX：03-6757-3846

URL http://www.toa-const.co.jp

日本基礎技術株式会社

代表取締役社長　中原　　巌

トンネル補助工事，地盤汚染対策工事，ダムグラウチング工事，斜面安定工事，地すべり対策工事，地盤改良工事

問い合わせ先：東京本社　技術本部　技術部
〒151-0072　東京都渋谷区幡ヶ谷1-1-12
TEL：03-5365-2500　FAX：03-5365-2521
E-mail：gijutsu-as@jafec.co.jp
URL http://www.jafec.co.jp

吉岡建設株式会社

代表取締役社長　吉岡　隆一

伝統のトンネル技術を中心に，ダム・シールド・都市土木工事などの得意分野で，高品質施工に挑戦しています．

問い合わせ先：工事部
〒569-1136　大阪府高槻市郡家新町41-2
TEL：072-681-1861　FAX：072-681-1866
E-mail：yoshiokakensetsu@e-yoshioka.com
URL http://www.e-yoshioka.com/

建設機械業

カヤバ システム マシナリー株式会社

代表取締役社長　廣門　茂喜

自由断面トンネル掘削機：ブームヘッダー(RH-10J，RH-250-MB-SL，RH-8J)，ミゼットマイナー(MM-90，MM-49)，ブームカッターシールド(BCS)，シャフトヘッダー(SH-37)

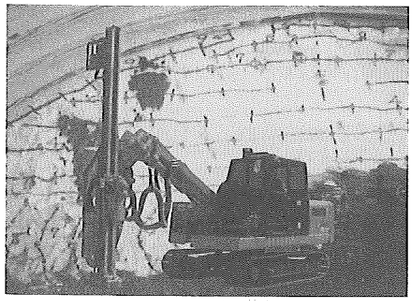
問い合わせ先：本社　営業統轄部　営業４部
〒105-0012　東京都港区芝大門2-5-5　住友不動産芝大門ビル
TEL：03-5733-9444　FAX：03-5733-9506

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

ヤマモトロックマシン株式会社

代表取締役　山本　勝俊

油圧・空圧さく岩機・ドリフター，油圧・空圧クローラドリル，アタッチドリル，法面せん孔機，ドリルジャンボ，401・301・201・101ロックボルトせん孔機，立坑・石材せん孔機，トンネル用油圧割岩機，電撃・静的破砕剤，製鐵・ゴミ溶融炉開孔機関連機器・機材．



HCD油圧ロックボールトせん孔機

問い合わせ先：東京営業部
〒100-6309　東京都千代田区丸の内2-4-1丸の内ビルディング903区
TEL：03-3201-0701　FAX：03-3201-5702
E-mail：y-hirasawa@yrm.co.jp
URL http://www.yrm.co.jp

株式会社　フジテックス

代表取締役　藤本　湯干

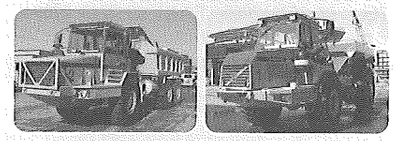
濁水処理からズリ出しまで
トータルにフォローアップいたします



【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．

汎用車両全般ほか
各種車両取り扱っています



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



4.5m³ベッセル搭載ダンプ　　10T低床ダンプ

問い合わせ先：営業部
〒930-0821　富山県富山市飯野12-1　TEL：076-452-1616　FAX：076-452-1617
E-mail: ftc@ruby.ocn.ne.jp

トンネル・シールド工事用機械のセットリース
ケンサンリース株式会社

代表取締役社長　晴披　　保

トンネル，シールド工事用機器類，資材のリース，および販売
バッテリーロコ，ズリ等運搬台車，掘削積込み機械，覆工コンクリート関連機械，レール，分岐器ほか

問い合わせ先：本社
〒171-0022　東京都豊島区南池袋3-13-15
TEL：03-5396-9331　FAX：03-5396-9333
E-mail：l.kensan@oregano.ocn.ne.jp
URL http://www9.ocn.ne.jp/~l.kensan/

FRD 古河ロックドリル株式会社

代表取締役社長　猿橋　三郎

トンネルドリルジャンボ，油圧クローラドリル，油圧ブレーカ，油圧圧砕機，コンクリート吹付機，スロットドリル，インパクトオーガドリル，空圧さく岩機，エキセントリックリッパー

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

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

株式会社 三井三池製作所

代表取締役社長　平川　幸知

ロードヘッダ，ツインヘッダ等の掘削機，および動翼可変ピッチ制御コントラファン，エムデックス（バグフィルタ式集じん機）といったトンネル工事用換気設備を提供しています．

問い合わせ先：営業本部　産業機械営業部
〒103-0022　東京都中央区日本橋室町2-1-1
TEL：03-3270-2005　FAX：03-3245-0203
E-mail：sanki@mitsuimiike.co.jp
URL http://www.mitsuimiike.co.jp

建設資材業

カヤク・ジャパン株式会社

代表取締役社長　川崎　勝樹

産業用火薬類の製造・販売：含水爆薬（アルテックス，ランデックス），アンホ爆薬，電気雷管，電子雷管（EDD），導火管付雷管（アイデット）
危険性評価試験：消防法試験，国連試験，その他

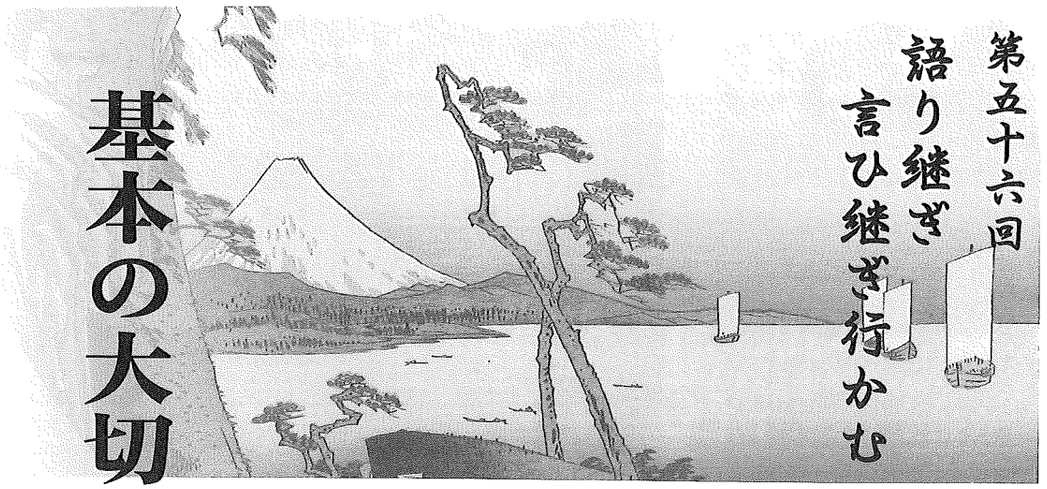
問い合わせ先：営業本部
〒130-0015　東京都墨田区横網1-6-1（国際ファッションセンタービル9F）
TEL：03-5637-0901　FAX：03-5637-0939
E-mail：info.901@kayakujapan.co.jp
URL http://www.kayakujapan.co.jp/

JAPEX 株式会社ジャペックス

代表取締役社長　小川　昭彦

トンネル用爆薬遠隔装填装置セーフチャージャー
含水爆薬（ハイジェックス，快力），ダイナマイト
アンホ爆薬，電気雷管，導火管付き雷管ハイネル
導爆線，発破器類，発破技術サービス

問い合わせ先：営業企画室
〒105-0003　東京都港区西新橋1-11-5　新橋中央ビル4F
TEL：03-3506-9061　FAX：03-3580-8244
E-mail：japex-staff@highjex.jp
URL http://www.highjex.jp



第五十六回
語り継ぎ
言ひ継ぎ行かむ

基本の大切さを痛感

熊井文孝
（元）鉄建建設（株）

はじめに

建設会社に36年勤務し，リタイアしてすでに12年が経過しているが，記憶を辿り，わが思いを記す．

入社後10年を少し過ぎた昭和52（1977）年ころに，大断面泥水シールドの適用に向け，帯水砂・礫層に適応する泥水（安定液）および掘削管理システムの開発を担当することになった．それ以後，泥水，泥土圧シールド工事の施工を担当する機会が多くなった．また，昭和60（1985）年ころからは，直打ちコンクリートライニング（ECL）工法の開発を手掛け，それらの工事も一部担当することになった．

検討に着手した当時は，参考とする資料がきわめて少なかったため，検討目的に合うような試験機を工夫したり，メーカーと共同で試行錯誤しながら開発を進めたように記憶している．

小職の担当したシールド工事では，事前に定めた掘進管理基準をもとにシールド掘進を進め，諸データをフィードバックし管理限界を新たに設けて掘進する方法により地表面沈下の少ない良好な施工ができたものと考えている．

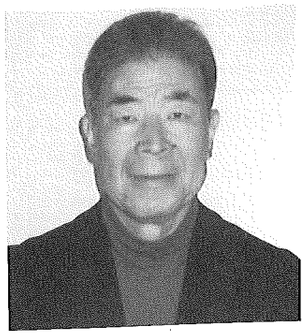
ここでは，かなり基本的なことを記述していると感じられる方も多いと想像するが，泥水シールドを施工するうえで，現在でも共通する重要な部分について述べるのでご容赦をいただきたいと考える．記述内容は，①泥水シールドに適用する泥水（安定液）の性能について，②切羽泥水圧力について，③掘削量管理など，安全な掘進における重要な要点を総合的に述べる．

続いて，北陸新幹線・秋間トンネル（東）工事で採用した，環境に配慮したカプセルずり搬送システムの実施例について述べる．

泥水シールドにおける重要な管理項目について

■泥水シールドの概要

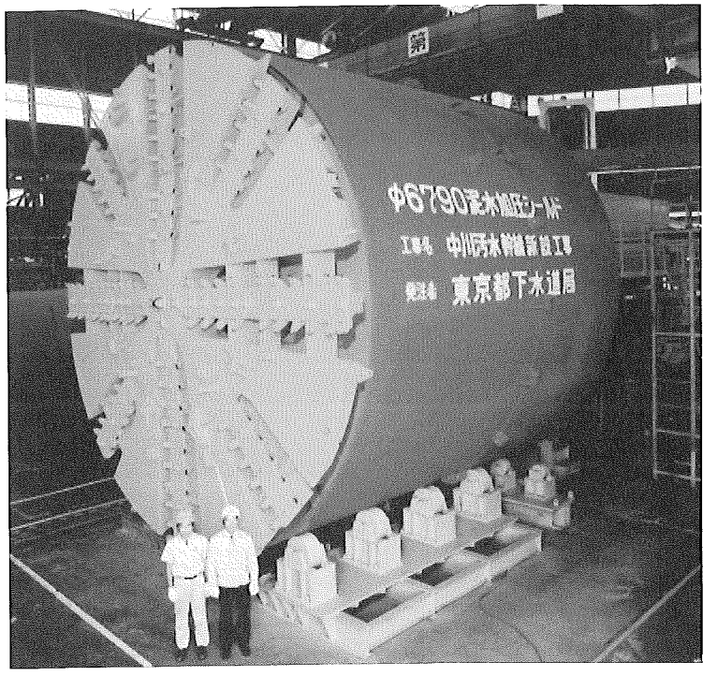
泥水シールドは機械前部に隔壁を設け，密閉構造として，切羽側に加圧した泥水（安定液）をポンプ



著者近影

著者略歴

昭和18年4月生	現在71歳
昭和41年4月	鉄建建設(株)入社
昭和52年12月～昭和56年4月	中川汚水幹線その5工事(作業所所長)
平成4年3月～平成7年3月	北陸新幹線秋間T(東)工事(作業所所長)
平成14年3月	退職
平成14年7月	熊井技術士・労働安全コンサルタント設立



中川汚水幹線その5工事の泥水シールド

で送り込むとともに，カッタを回転させ取り込んだ土砂を泥水として地上の処理施設に輸送する工法である．適用される地盤は一般的に崩れやすい軟弱な地層が多く，重要構造物の直下やきわめて近接した条件で掘進するシールド工法として，また，大断面に適用される事例が多い．

つまり，泥水圧力を切羽に作用させ地山を継続して安定・保持させることにより，切羽の安定を図る安全な工法として定着していたことは間違いない事実であろう．とくに昭和40～50年代にかけてかなりの事例があった．

■掘進する地層に合致する泥水(安定液)の性能

泥水シールドにおける泥水(安定液)として必要な性質は，

① 切羽泥水圧力を保持できること
- 確実に設定泥水圧力を維持できること
- 泥水圧力により地層中に多く浸透しないこと(逸泥が少ないこと)

② 適度な粘性があり沈降が生じないこと
- 輸送管内や切羽チャンバ内で沈降が少ないこと

③ 処理設備で掘削土砂(とくに細粒分)の排除処理が容易であること
- 掘削土砂を速やかに排除できる泥水であること

などが代表的に挙げられるが，②と③は相反する性質であるため事前にしっかり検討しておくことが必要になる．このほかに考えられる要素として，

- チャンバ内で張り付きが生じにくいものであること
- カッタビット，カッタフェイスなどの滑材として，また冷却効果が期待できること

が求められる．

■泥水(安定液)の材料

掘進開始前に，掘進ルート上の地質に適応する泥水(安定液)の基本配合を決定しておくことが大事である．

掘削開始直後は，泥水(安定液)の性質を維持できるが，継続して掘進を続けると，地山の細粒分(粘土・シルト・細砂など)が泥水(安定液)中に溶け込み，細粒分が過多になったり，逆に細粒分が不足するなどにより，泥水(安定液)の性状が変化してくるので，適切な時期に補正し基本配合に近づけて掘進管理を行わなければならない．

補正のため使用する材料として，

① 水：清水が望ましく，海水などを使用する場合は泥水(安定液)の性質を維持できるように十分検討する．

② ベントナイト：市販されているため手に入れやすいが土砂の分離作業に影響を及ぼす．

③ 粘土・シルト：掘進する地山に存在する細粒分で不足する場合を考慮し，事前に準備しておくことが重要である．

④ 砂：掘進する地層に砂礫層がある場合には，目詰まり効果により逸泥防止を図るのに重要な役割をする．

⑤ CMC(セルロース系有機高分子化合物)：粘性の増強．

などが挙げられる．

■掘進する地層に適合する泥水(安定液)の基本配合の検討

泥水(安定液)の基本配合を検討する際は，以下のような手順で進めると良い．

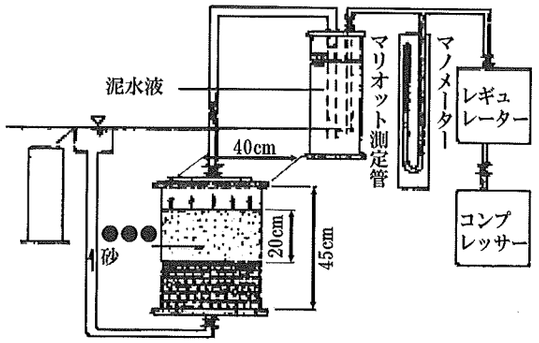
① 掘進対象となる地層の試料を，立坑掘削時にできるだけ乱さない試料として採取して，粒径加積曲線などを総合的に分析するほか，大型モールド試験機(図参照)を用いて清水による加圧ろ過試験を行って，対象地盤の透水係数と近似していることを確認する．

② 対象地盤のデータを分析し，過去の経験および試験結果を参考に，数種の泥水(安定液)配合を仮に定め，順次，大型モールドろ過試験機により加圧ろ過試験を行い，泥水の浸透量が少なく逸水量が小さい配合を基本配合とする．大型モールドによる試験は再現性にばらつきが出るので，再度，同様に試験を行い最善の基本配合を求める．

③ 経験から求めた泥水(安定液)の配合は，事前に粒径加積曲線を求めておき，試験の結果をもとに，さらに配合の手直しを行い，強靭な泥膜と浸透量の少ない配合として定める．

■泥水圧力の設定

泥水圧力は，地山をカッタで切削したさい，即座に泥膜および浸透圧により切羽地山を自立・安定させるもので，泥水(安定液)性状とともにきわめて重要な管理項目である．



大型モールド試験機

一般的に泥水圧力は以下の式であらわされる．

設定泥水圧力＝土圧＋水圧＋変動圧＋余裕圧(経験的に変動圧は0.2 kg/cm²を取ることが多い．)

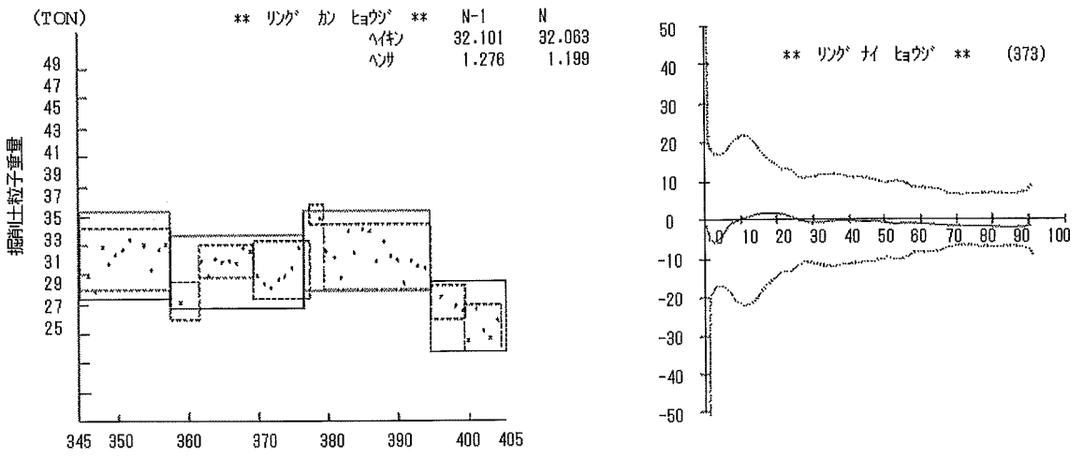
設定泥水圧力は，掘進ルートの地質縦断図と合わせて全体を表記すると，地上の状況，土かぶり，地下水頭の変化，地質などと合わせて総合的に判断できるので，このように加工したものを掘進管理室の制御盤近くに張付けておくことが必要である．

基本的に土かぶりが1D程度の場合は，泥水圧力および泥水(安定液)の管理と慎重な施工が求められる．それより小さい場合は地山の安定にとって厳しいので，つねに地上の変位を測定しながら，泥水(安定液)が噴発することがないよう泥水圧力の調整が必要になる．

■掘進する地層の地下水頭は変化するので計画段階の検討が重要

泥水圧力を正しく管理して掘進することが重要であることはすでに述べたが，季節によって地下水頭が変化するほか，海岸に近いところでは，1日の中で大きく変化が見られるので事前に水頭調査を行って変化を把握し，泥水圧力管理図に反映させておかなければならない．

また，河川，湖沼，海面下の掘進にあたっては，水頭の変化により，泥水圧力が管理泥水圧力下限値を，絶対に下回らないよう，つねに変動状態にとくに注意しなければならない．



(左)リング間掘削重量管理の例，(右)リング内掘削重量管理の例

■掘削量の管理について

当時，鉄建建設では，掘削量を管理する方法として以下の方法を標準的に採用した．

① 後方設備台車に流量計，γ線密度計を送泥ラインおよび排泥ラインに設置した．

② γ線密度計により，掘削度粒子重量を算出し管理した．

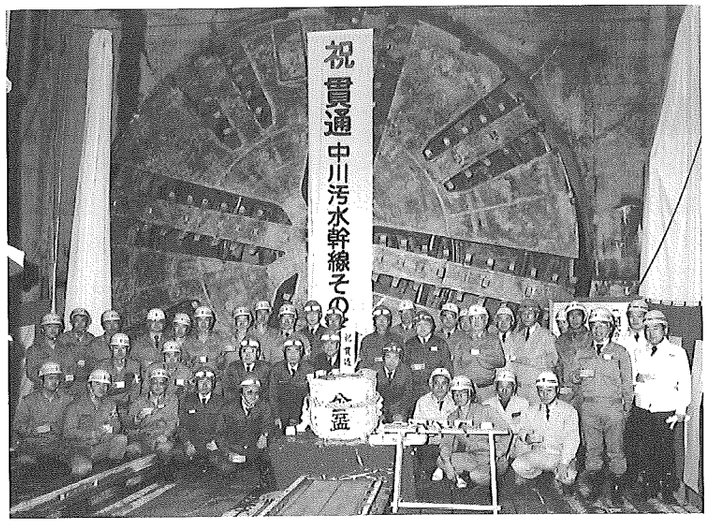
③ 掘削度粒子重量は，粘土・シルト，砂，礫の混入率により変化するので，つねに地質の変化と異常時の判別ができるように，統計管理の方法(上図，リング間掘削重量管理の例を参照)を取り入れた．

④ 掘進中は，1cm単位で掘削重量(上図，リング内掘削重量管理の例を参照)をアウトプットし異常の有無を判断した(掘進開始後の掘削土量は掘削土砂が泥水に均等に混ざっていないため，定量化するまでは切羽の圧力計を監視した)．

以上，要点に絞って述べたが，一方で緊急事態の発生を否定できないため，想定できる対策を講じていたが，一度もこれらの設備を使用することがなかったことは幸いであった．しかし，万一に備えて点検は怠らず実施した．

そのほかの項目として，裏込め注入を掘進と並行して注入するいわゆる即時裏込め注入をしたことで，地表面沈下を少なくすることにおおいに効果があった．

私たちシールド技術者は，安全なシールドの最後の砦として掘進作業に従事した．貫通の瞬間の充実感は今でも思い出すと身震いするほどである．



中川汚水幹線その5工事　到達時

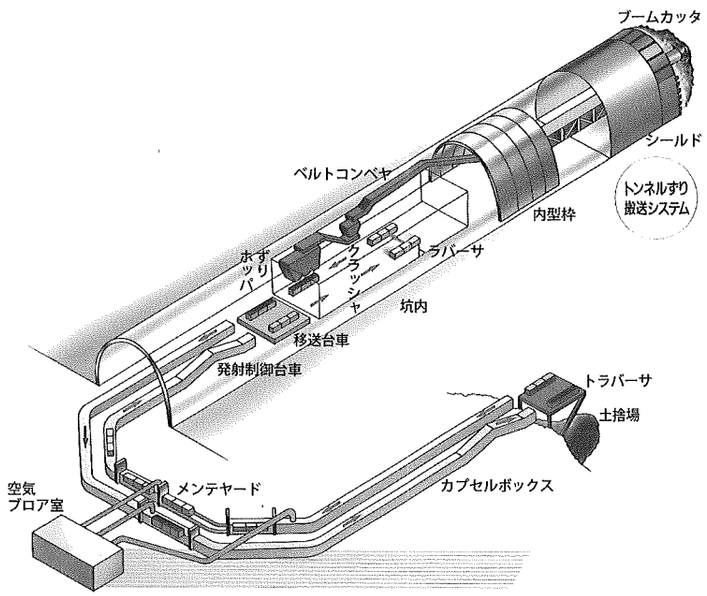
環境に配慮したカプセル「ずり」搬送システム

北陸新幹線秋間トンネル東工事(延長4,335m)は，1990年11月にNATMにより，ECL(掘削覆工併進工法)機械設備を設置するために必要な延長225mの掘削を開始した．その後，ECLは，機械掘削機(ブームカッタ搭載型)および後方設備台車(右図，掘削覆工併進工法設備模式図参照)を組立て，1991年7月からECL掘進を開始した．

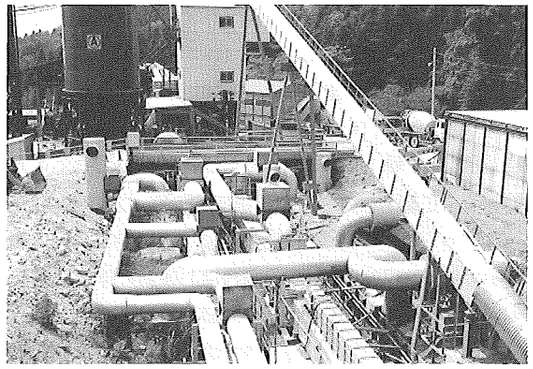
この報告は，ECLで掘削したずりを郊外の土捨て場まで専用の搬出設備を設け，24時間搬出を行った記録である．

■公害をもたらさない「ずり」搬送システムである

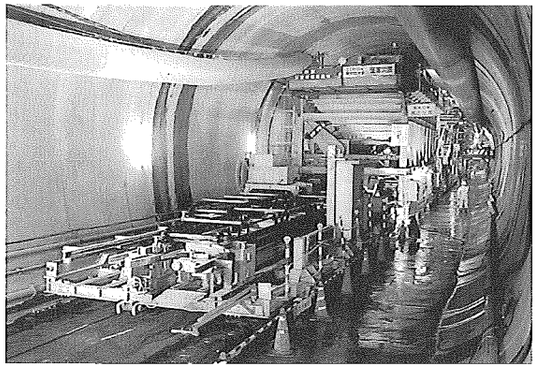
トンネル坑口から，秋間梅林土捨て場まで，約3kmにコンクリートボックス(2連型コンクリート二次製品(内空断面90cm×90cm×2連))を並べる．搬送ルートは，



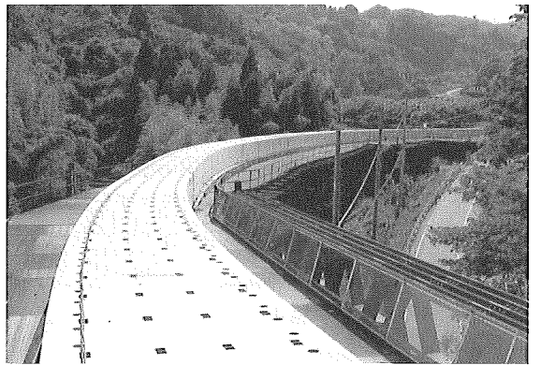
掘削覆工併進工法設備模式図



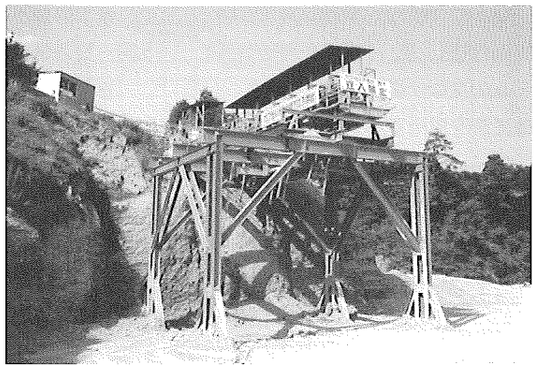
坑口設備



坑内後続台車付近の搬送設備



土捨て場までの搬送路全景



土捨て場風景

「ずり」搬送システムの主な仕様

項　目	主な仕様
①搬送能力	ずり：約80m³/h
②最大勾配	±10%
③最小半径	50m
④搬送延長	坑内：7 km程度，坑外：3 km程度
⑤カプセル車	3 両連結
⑥積載量	ずり：1.1m³/カプセル
⑦発射間隔(最小)	150秒
⑧平均走行速度	7 m/sec
⑨管路	形式：2 連鉄筋コンクリートボックスカルバート 内空：90cm×90cm
⑩輸送動力	〈ルーツブロア〉 ずり搬出ブロア：260m³/min× 2 空車返送ブロア：380m³/min× 1 空車搬入ブロア：450m³/min× 1

公道を使用せず民地を借り上げトンネル・桟橋などにより設置した．

トンネル切羽で掘削された「ずり」は，ベルトコンベヤで後方の「ずり」ホッパに搬送される．ホッパ下で待機するカプセル台車(1トレーンは3両編成)に積込まれたあと坑口まで進み，これから先は空気の力で搬送路をコンピュータ制御され土捨て場まで走行する．土捨て場で「ずり」を下ろしたあと，再び坑口まで空気力によって戻る．搬送路は複線で上り・下りはそれぞれ専用線である．

以下に「ずり」搬送システムの主な仕様(上表，「ずり」搬送システムの主な仕様を参照)を示す．

■工法を採用するメリットについて

きわめて良好な坑内作業環境

山岳トンネルの「ずり」出しは，レール方式およびタイヤ方式のいずれかである．今回報告する「ずり」出しは，専用の搬送路(前述)を走行するため，トンネル内の空気が清浄でかつ，騒音もなく整然として安全である．

公道を使用しないので制限を受けることが少ない

① ダンプトラック通行時の騒音，振動などの問題が発生しない．

② 一般公道を使用しないので通行時間の制限がない．

③ 「ずり」出し道路を必要としないので現道改良および補修工事が不要である．

④ 交通誘導員を大幅に削減できる．

「ずり」仮置場を要しないほどの大量輸送が可能

カプセル台車は土捨て場まで直行するので「ずり」の仮置場が不要である．また，掘削がきわめて順調に進んだ場合でも，カプセル台車の発射間隔を調整することで大量輸送に対応可能である．

■工法のデメリットについて

① 設備費の設置撤去費用が高価であるので，費用対効果について十分検討する必要がある．

② 設備の設置撤去に時間を要するので詳細に工程の検討が必要である．

③ 掘削ずりが硬岩の場合には粉塵などの問題が起きないが，多少でも粉塵の可能性がある場合はセンサの感知能力が低下する場合があり，ブレーキ装置が誤作動を生じることもある．

おわりに

技術は日進月歩である．今日，センサ技術は高度に進歩し，機械的により安全性が増してきていることは確かである．しかし，トンネル技術者としてものづくりを担当する場合は，技術の本質を知るとともに，施工現場の環境・条件をしっかり調査・分析したうえでリスクに対応しなければならない．

私たちの時代は，ある面，試行錯誤の時代であったとは言え，決して失敗が多くあったわけではない．これからのトンネル技術者にとって，当時の工事で積み上げてきた基本的な作業手順を理解するうえで，本資料が参考になれば，このうえない幸せである．

研　究

小土かぶり未固結地山トンネルにおける事前地山改良による地山安定性の評価

(株)レールウェイエンジニアリング専務取締役　野々村　政　一
鉄道・運輸機構九州新幹線建設局工事第三課長　井　浦　智　実
京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻准教授　岸　田　　潔

1 はじめに

小土かぶりのトンネルが連続する東北新幹線八戸・七戸間のトンネル群では，先受け工など数々の補助工法を取入れた施工が行われている[1)~3)など]．このうち，事前地山改良工は，小土かぶり未固結地山における有効な対策工として多く採用され[4)~8)]，この工法の有効性と課題について，本誌Vol.42，No.5(2011年5月号)にとりまとめ報告している．

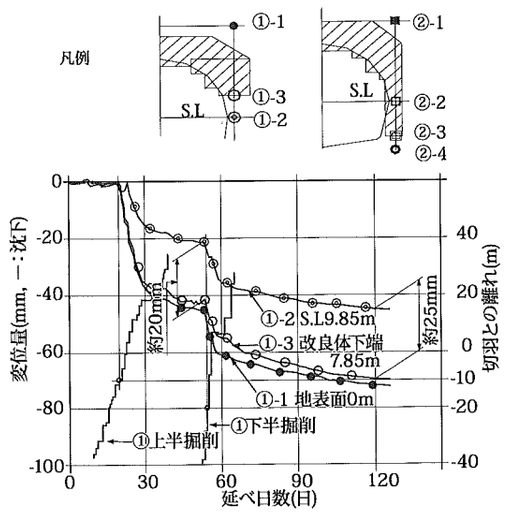
本稿では，東北新幹線で事前地山改良工を実施したトンネルの現場計測から，地表面沈下や地中変位，土圧を分析し，つぎに，改良範囲をパラメータとした室内模型実験を行い，改良範囲が地表面沈下や土圧の変動に与える影響を比較検討した．さらに，事前地山改良工を実施したトンネルをモデル化した掘削挙動解析を行い，地山改良が周辺地山の応力状態に与える影響を評価した．

以上の検討結果から，事前地山改良工のトンネル掘削時の沈下抑制効果を考察し，事前地山改良工の評価手法を示すものである．

2 事前地山改良したトンネルの計測結果

事前地山改良を行った牛鍵トンネル(上半上部改良)と赤平トンネル(上・下半部改良)の計測結果を図-1に示す．計測項目は，地表面沈下測定，地中変位測定，傾斜計による測定のほか，牛鍵トンネルでは，土圧測定，沈下板による地中沈下測定，土中傾斜測定を実施している．

計測値は，地表から事前地山改良後，上半掘削，



a) 牛鍵トンネル土かぶり4.5m(上半上部改良)

b) 赤平トンネル土かぶり2.0m(上・下半部改良)

図-1　地中鉛直変位の経時変化[9)に加筆]

上半支保(鋼製支保工，吹付けコンクリート，ロックボルト)，下半掘削，下半支保(支保工は上半と同じ)の施工段階での値を示している．

上半上部改良の場合，地表面と改良体下端の変位量は上半掘削時および下半掘削時ともに同程度の値で沈下する傾向を示している．スプリングライン(S.L)部は上半掘削時には改良体下端の約1/2の変位量で，下半掘削時には地表面と改良体下端と同程度の変位で沈下する傾向を示している．

一方，上・下半部改良の場合は，上半掘削時の地表面，S.L部の変位は小さく，下半掘削時に，地表面と改良体下端およびS.L部の変位は同程度の値で沈下する傾向を示している．

いずれの場合も改良体下端以下を掘削すると，改良体と地表面が一体的に沈下するというとも下がり現象が確認された．とくに，上半上部改良の場合で変位量が大きくなる要因は，改良体が未改良部の地盤で支持されることと改良体下端以下の掘削による影響と考えられる．

つぎに，地山改良されたトンネルの縦断方向の土圧の変化を示す．**図-2**は，上半上部改良の牛鍵トンネルの上半掘削時のトンネル縦断方向の土圧の変化を示したものである．掘削により改良体に作用するトンネル中心直上の土圧は，掘削断面が15mから10mに近づいた段階から一度減少し，その後，ばらつきはあるが，当初土圧の約1.0～1.3に増加し，掘削断面が，5mから3mに接近したあと，通過にかけて急激に減少し約0～0.3となり，その後は約0.1～0.7に復元する傾向が認められた．掘削断面の通過時の減少した土圧は，切羽の前後左右方向に再配分されていると考えられる．

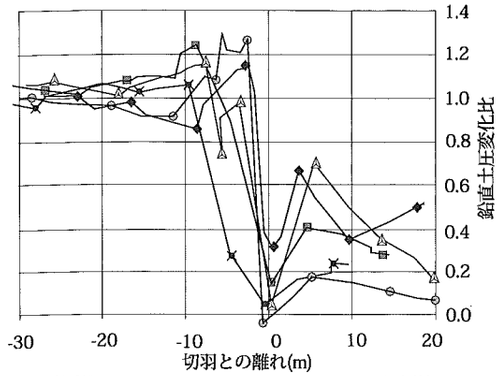


図-2 縦断方向土圧の変化(牛鍵トンネル)[10]から引用

以上の計測結果から地山改良工に着目した知見はつぎのとおりである．

① 改良体下端付近および以下の断面を掘削すると，改良体と地表面が一体的に沈下するとも下がり現象を示す．このことから，改良体は門型構造体として挙動していると考えられる．

② 上半上部改良の場合のとも下がりの沈下量が大きくなる要因は，改良体下端部の地質と改良体下端以下の掘削による影響と考えられる．

③ 改良体は変位やゆるみの抑制に大きく寄与しており，とくに上・下半部改良の場合はその効果が大きい．

④ 掘削断面では改良体天端の土圧の減少が認められる．この減少した土圧は切羽の前後左右方向に配分されているものと考えられる．また，切羽が接近すると，ばらつきがあるが切羽前方の土圧は最大1.3倍程度増加していることが認められる．

3 地山改良工の沈下抑制効果に関する3次元降下床模型実験

地山改良の形状については，前述したように改良形状により，地表面沈下や地中変位の発生傾向や変位量で差異が確認された．そのため，現場計測結果を補完することを目的として，改良範囲をパラメータとして模型実験を実施し，改良形状による沈下抑制効果，改良体の有無による掘削解放に伴う荷重再配分のメカニズムに関する検討を行った．

模型実験は，改良体がトンネル縦断方向に連続していることを踏まえ3次元降下床模型[11)～13)]により行うこととした．模型実験では主として地山改良体の改良幅と改良深さについて効果の検討を行った．また，実験によるトンネル掘削過程は，

改良体を設置した地山の下部に設置した6枚の降下床を縦断方向に順次に下降させることでモデル化した．

実験は，**図-3**に示す3次元降下床実験装置[14),15)]により行った．実験ケースは，**表-1**に示す4ケースとした．降下床下降時の地表面形状の変化は，地表面変位計測装置により計測を行った．また，2個の土圧計と各降下床に設置された荷重計により，土圧および降下床荷重の計測を行った．

模型地盤は，乾燥した珪砂6号を約60cmの高さから気中落下させて作成した．相対密度はD_r=70%である．改良地山の剛性の増加は，砂地盤の含水比を増加させ，サクションでの粒子の吸着効果により見かけの粘性を増加させることで模擬した．

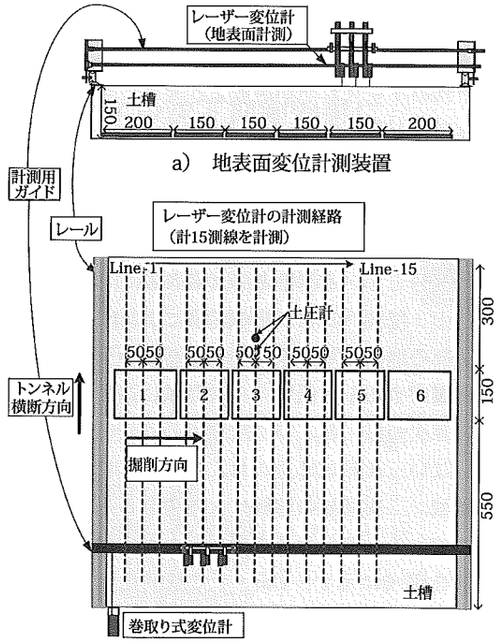
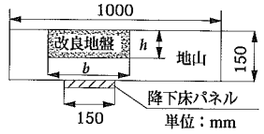


図-3 3次元降下床実験装置[14)に加筆修正]

表-1 実験ケース

ケース	地山改良範囲(b(mm)×h(mm))
Case-1	改良なし
Case-2	250× 50
Case-3	250×100
Case-4	350×100



改良体の作成にあたっては，周辺の乾燥地盤に水分が移動するのを極力防ぐため，改良地盤と乾燥地盤の間には仕切り板を設置して改良範囲を設定し，改良範囲の規定の高さまで乾燥硅砂6号を気中落下させ，所定の量の水を霧吹きで均質に吹きかけた．気中落下と水の散布を小刻みに実施して地盤を作成することで，均質な地盤の作成を目指した．含水比は約5%を目安とした．実験開始(降下床下降)直前に仕切り板を外すこととした．1サイクル所要時間は約15分程度を要している．

模型地山の内部摩擦角は45°，単位体積重量は15.1kN/m³で，改良体の単位体積重量は15.6kN/m³である．また，改良体と模型地山の強度は，ポータブルコーン貫入試験を実施し，コーン貫入抵抗Q_c(kN/m²)値により改良前後の地山の強度を求めることとした．**表-2**に貫入抵抗値を示す．強度比で約2～3倍の値となっている．

図-4は，降下床3に設置した土圧計による鉛直土圧の変化を示したものである．鉛直土圧は測定鉛直土圧を初期鉛直土圧で除し規準化したもの(以下「規準化土圧」という)で示した．規準化土圧はいずれのケースも降下床4の降下時に最大値を示している．Case-1では，土圧計2には変化が現れず，土圧計1に初期鉛直土圧の1.15倍の鉛直土圧が再配分されている．改良体があるCase-2では，土圧計1はCase-1とほぼ同じであるが，土圧計2の鉛直土圧が上昇する．改良深さを深くしたCase-3では，土圧計2に作用する鉛直土圧は，Case-2と同程度の値を示すが，土圧計1に作用する鉛直土圧は，降下床3と降下床4の降下時に大きく変化し約1.7倍と増加している．降下床4の降下時の鉛直土圧が後方にも再配分されている．改良幅を広くしたCase-4はCase-3に比べ土圧計1の鉛直土圧が減少し，土圧計2の土圧が

表-2 改良地盤の強度

貫入深さ(cm)	Q_c値(改良前)(kN/m²)	Q_c値(改良後)(kN/m²)	比
5.0	72.7	238.7	3.3
10.0	201.2	526.2	2.6
15.0	335.1	738.7	2.2

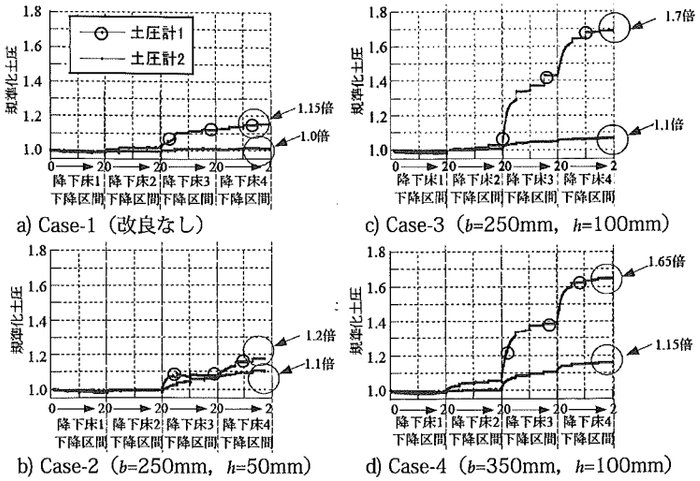


図-4　各ケースの規準化土圧[16]から引用

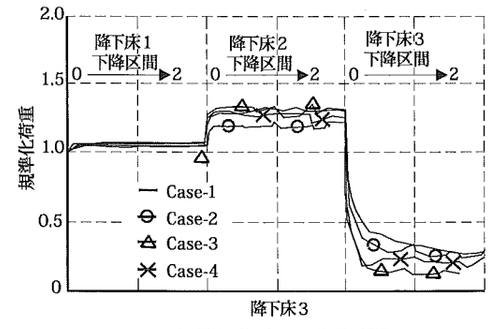


図-5　規準化荷重の変化[16]から引用

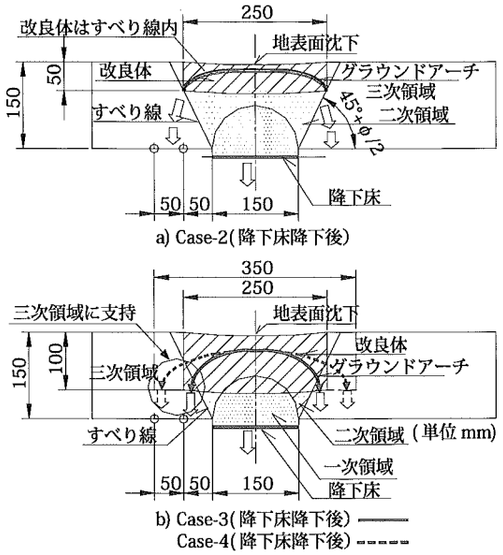


図-6　室内模型実験より考えられる地山内部の挙動と荷重再配分[16]から引用

増加している．改良範囲を拡げたことで，広い範囲で再配分された荷重を分担する傾向が見られる．

図-5は，切羽の進行に伴う降下床パネル3に作用する荷重の変化を示したものである．荷重は測定荷重を初期荷重で除し規準化したもの(以下「規準化荷重」という)で示した．

降下床に作用する荷重は，切羽前方の2つ前のパネルの降下から影響が現れて，改良なしを含めいずれのケースも荷重は増加し，約1.3倍程度になっている．これは，米山ら[17]が示している鉛直応力解放時の前方の土圧増加と同じ現象と考えられる．つぎに，降下床3を下降した場合の降下床3に作用する荷重は，いずれのケースも初期荷重より大きく変化するが，改良深さが厚いCase-3およびCase-4は，Case-1およびCase-2に比べて，降下床に作用する荷重の変化(ゆるみ荷重)は大きい．これは，改良体が上部荷重を受け，図-4 c)，d)に示したように周辺に再配分している影響と考えられる．

村山・松岡[18]の落し戸の実験によれば，トンネル上部の地山は降下床下降初期から降下床と同一の移動をする一次領域，一次領域に追従して移動する二次領域，および二次領域の外側にあって移動しない三次領域に分かれ，地表面変位はこの一次領域，二次領域の移動により生じるものと考えられている．この考えを援用した室内模型実験の解釈を図-6に示す．Case-2で基準化土圧が小さい理由は，降下床の降下により三次領域と二次領域の境界に生じるすべり線内に改良体があり，降下床の下降と同一の挙動をする一次領域と，それに追従する二次領域と連動しているからと考えられる．一方，Case-3で基準化土圧が大きくなる理由は，改良深さを大きくして改良体を降下床に近づけると，改良体がすべり線を包括し，グラウンドアーチが三次領域に支持され，かつ，降下床の下降と同一の挙動をする一次領域が小さくなり，

それに追従する二次領域も小さくなることによると考えられる．改良幅を大きくしたCase-4の場合の沈下量がCase-3と同じ理由は，一次領域と二次領域の変化量が変わらないことによる．この場合の効果としては，三次領域の支持範囲が広がり，再配分荷重が分散されたことが考えられる．

これらの挙動から，沈下抑制効果がより効果的に得られる地山改良の範囲とは，一次領域および二次領域の範囲を地山改良し，かつ，二次領域と三次領域の不連続な境界線を包括するように改良幅を定めることが重要である．この場合，断面方向周辺部には，図-4c)に示したように改良体による伝達荷重により大きな鉛直土圧が作用し，縦断方向にも図-5に示したように切羽前方での増加荷重が作用することになる．

4 事前地山改良によるトンネル沈下抑制効果に関する数値解析

現場計測の分析，室内模型実験を通じ，改良体による土圧の再配分，地表面沈下量の抑制効果が確認された．ここでは図-1に示した計測地点をモデル化して二次元有限要素法による弾性解析を行い，改良体が周辺地山の安定性に寄与する状況を検証した．解析領域と境界条件を図-7に示す．解析領域は水平方向4D(D：トンネル掘削幅)，下方向1Dとした．

解析方法は，トンネル周辺の地山の安全率の分布概要を把握することを目的としており，簡易な計算法として弾性解析を用いることとした．また，解析は弾性解析であることから，表-3に示した対象地山および改良体の物性値のうち，単位体積重量(γ)，変形係数(E)，ポアソン比(ν)を使用し，安全率の算定は同表に示す粘着力(c)と内部摩擦

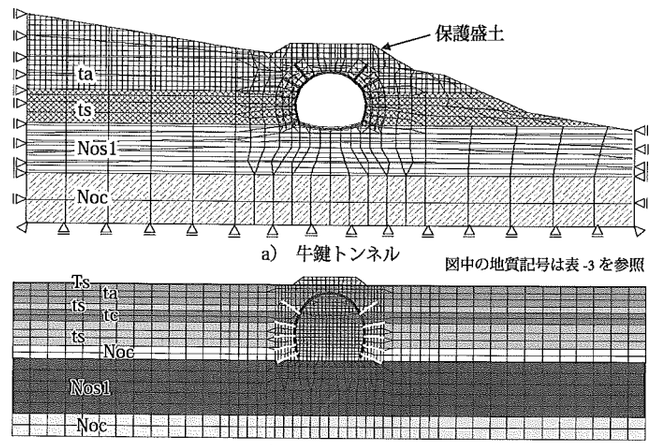


図-7　解析領域と境界条件[16]から引用

表-3　地質および改良体の物性値[16]から引用

	名　称	記号	N値	単位体積重量γ (kN/m³)	変形係数E (kN/m²)	ポアソン比ν	粘着力c (kN/m²)	内部摩擦角φ (°)
牛鍵トンネル	高舘火山灰層	ta	2～4	14	3.5×10^3	0.35	36	0
	高舘段丘構成層砂質土	ts	10～15	18	2.0×10^4	0.35	20	30
	改良体浅層混合処理			19	5.0×10^4	0.35	144	30
	改良体事前混合処理			19	1.0×10^5	0.35	288	30
赤平トンネル	表土	Ts		15	5.0×10^3	0.4	13	—
	高舘火山灰層	ta	3～8	15	1.25×10^4	0.4	30	—
	高舘段丘構成層砂質土	ts	7	17	1.75×10^4	0.35	—	31
	高舘段丘構成層粘性土	tc	3～4	15	1.0×10^4	0.4	57	—
	高舘段丘構成層砂質土	ts	7～22	18	3.0×10^4	0.35	—	31
	野辺地層粘性土層	Noc	5	17	1.25×10^4	0.4	31	—
	野辺地層砂質土層	Nosl	16～50	20	1.25×10^5	0.3	—	38
	野辺地層粘性土層	Noc	17～26	17	5.0×10^4	0.35	125	—
改良体浅層混合処理				19	1.0×10^5	0.35	288	30

表-4　支保工の物性値[16]から引用

名　称	規　格	弾性係数E (kN/m²)	ポアソン比 ν	断面積A (m²)	断面二次モーメントI (m⁴)
吹付けコンクリート	t=20cm	3.4×10^{6}	0.2	0.2	—
鋼製支保工	H-150	2.1×10^{8}	0.3	3.97×10^{-3}	1.62×10^{-5}
合成断面	—	2.1×10^{8}	0.3	7.21×10^{-3}	1.62×10^{-5}
インバート	t=45cm	2.2×10^{7}	0.2	0.45	—
ロックボルト	ϕ22	2.1×10^{8}	0.3	3.87×10^{-4}	—

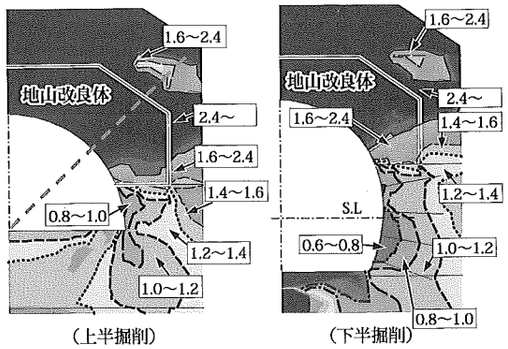


図-8　牛鍵トンネル掘削時の安全率の分布[16]から引用

角(ϕ)を使用した．また，トンネルの支保工の物性値は**表-4**に示したものを用い，地山，改良体，吹付けコンクリートを平面ひずみ要素，ロックボルトを棒要素，鋼製支保工を梁要素とした解析条件で各施工段階において考慮した．

解析は，トンネル掘削において掘削段階ごとに支保工などが追加され，トンネルの剛性が変化することを考慮し施工過程を追った段階解析とした．

施工過程としてはベンチカット工法を想定し，解析ステップを初期応力解析，上半掘削(上半切羽到達時)，上半支保(上半掘削完了)，下半掘削，下半支保とした．

解析においては，掘削予定面の応力を逐次解放する方法を用い，その時の応力解放率は，『鉄道構造物等設計標準・同解説　都市部山岳工法トンネル』などを参考とし，掘削時の応力解放率を40%，支保完了時に残りの60%を解放することとした．地山の破壊領域はモール・クーロンの破壊規準にもとづいた安全率(F_s)で評価することとした．

図-8は，牛鍵トンネルでの上半上部改良の場合の上半・下半掘削時のモール・クーロンの破壊規準にもとづく安全率の分布を示したものである．一般にN値が小さい小土かぶりの未固結地山では，掘削によりトンネル肩部45°斜め上方にゆるみ領域が生じる．このゆるみ領域に上半上部の地山改良を行った場合，上半掘削時には，斜め上方の地山および改良体の安全率は1.6以上となり，天端の安定は効果的に確保されていることがわかる．これは，地山に生じるすべり線を改良体が拘束し，地山の安全率の低下を妨げているものと考えられる．しかし，改良体下端の側壁部の地山では，算出された応力状態をモール・クーロンの破壊規準に代入すると破壊規準を超える応力状態となっている領域が確認できる．弾塑性解析であれば塑性変形を生じる領域と予想されることから，以下ではこの領域を「塑性領域」と呼ぶ．

これは図-4で示したように改良体が受けた地山荷重が，グラウンドアーチにより改良体両端へ伝達されたことにより，改良体下端への荷重が増加し，地山の支持力が不足したことによるものと考えられる．下半掘削時でも，改良体は下端部で安全率の低下が広がるが，1.6以上の安全率で保持されている．しかし，改良体下端，下半側壁部，インバート部の地山では安全率が1.0以下となる塑性領域が広く発生し，側壁部の一部では，安全率が大きく低下する領域が発生している．この塑性領域は，図-1a)①-1，①-3の下半掘削時の地表面と改良体の大きな変位量の発生箇所と一致しており，これが大きな変位の発生の要因と考えられる．

図-9は，赤平トンネルにおける上・下半部改良の場合の下半掘削時のモール・クーロンの破壊規準にもとづく安全率の分布を示したものである．

下半部側壁部にも地山改良を行うことにより，掘削壁面の改良体の安全率は2.0以上確保されている．この安全率の大きい領域では，図-1b)に示すように鉛直変位が小さい．掘削時に生じるすべり線を改良体が拘束し，初期地山応力に近い状態に保持しているからと考えられる．

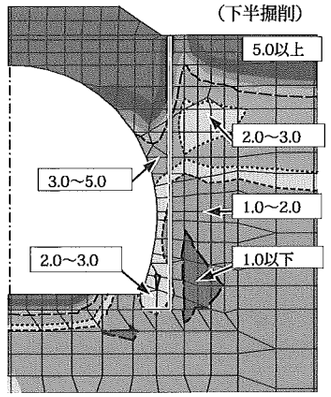


図-9　赤平トンネルの掘削時の安全率の分布[16]から引用

以上，解析の検討より以下のことが検証できた．

① 地山改良の形状は，掘削時のすべり線の発生を拘束する位置に設けると変位の抑制効果が高い．

② 改良体下端には掘削時の応力解放により大きな集中荷重が作用しており，地山の支持力を確保することが必要である．

③ 改良体の強度および改良幅は，改良体に接する地山の安全率を1.0以上確保するように設計することで高い沈下抑制効果が得られる．

5 地山安定性の評価

地山改良を用いた地山安定性の評価としては，地山改良形状の設定，横断面の安定性の評価，縦断方向の切羽の安定，改良体と地山応力の評価と考えられる．以下にこれらの評価の考え方を示す．

5-1 事前地山改良形状の設定

上半上部改良と上・下半部改良の掘削段階の地山で生じるすべり線と改良体の位置関係を**図-10**に示す．上半上部改良の場合，上半掘削時では，改良体はすべり線を拘束し，結果として沈下抑制効果が高いことになる．下半掘削時には，改良体は沈下に追従する領域に位置するため沈下抑制効果が小さくなる．一方，側壁下部まで上・下半部改良した場合は，上半・下半掘削時とも，改良体はすべり線と交差し，改良体の範囲は三次領域を包括するように設けられ，改良体の下端は三次領域にある．このため沈下量抑制効果は高くなっている．

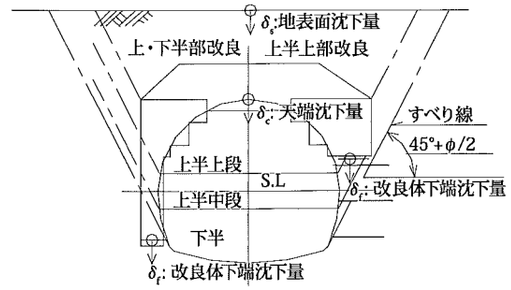


図-10　掘削段階で地山に生じるすべり線と改良体の位置関係[16]から引用

これらのことより，改良体は，横断面のゆるみ領域を拘束する位置に設け，村山・松岡[17]が示した沈下に連動する一次領域とそれに追従する二次領域の範囲を少なくし，かつ，改良体の範囲は三次領域を包括するように設け，改良体の下端はすべり線の外側の三次領域に配置することが必要である．

5-2 横断面の安定性の評価

トンネル掘削により生じる地山のすべり線を拘束するように改良体を設定すると，掘削時の沈下は大幅に抑制できるが，反面，グラウンドアーチからの伝達荷重が改良体下端に周方向の増加荷重として再配分され，下端部地山に大きな荷重が作用していることが確認できた．一方，改良体はトンネル縦断方向にも連続しており，掘削時の応力解放による力は，梁効果により切羽前方に再配分荷重として載荷される．この再配分荷重を，今回の計測と実験結果から再配分荷重係数(α)(α=1+β/100，β：再配分率(%))と定義して，トンネル掘削時の上載荷重に見込んでおくことが，安全側の設計として適当と考えられる．また，この工法は土かぶりが1D(D：トンネル幅)程度を対象としているので，土荷重は全土圧を考えるのが適当と考えられる．安定性の検討は，掘削直後の状態を想定し，支保工の支持力分担は安全上考慮しないこととした．

以上のことを踏まえ，横断面の安定性の評価と

して，トンネル掘削時の改良体下端の地山の安定性を検討する．安定性は，改良体の沈下に対しての検討を主体的に考え鉛直方向のみの釣合いを考えることとした．

図-11は，改良範囲を上半上部で設定した場合の上半掘削時と下半掘削時の荷重載荷の状態を示したものである．なお，荷重は，地山強度が小さい標準支保パターン[19]は支保間隔が１mであり，トンネル１mあたりの単位としている．

掘削時に作用する鉛直下向きの荷重は，改良体上部の土荷重(αP_v)と改良体自重など(αW)，鉛直上向きの荷重は，改良体側部における改良体と土の摩擦抵抗力(τ)である．改良体に接する鉛直面の区間(L_1)の土の摩擦抵抗力(τ_1)は，土の粘着力(c)と土の内部摩擦角(ϕ)の関係から式(1)で表される．

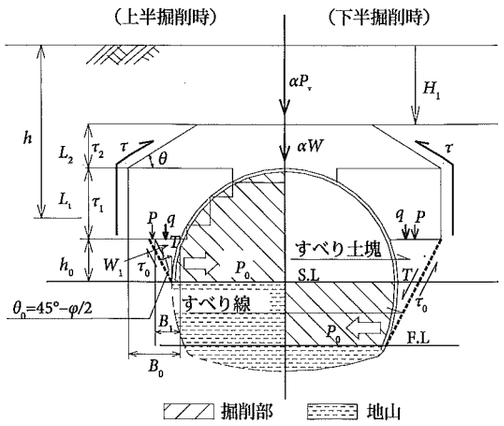
$$\sum \tau_1 = cL + K_0 \gamma h \tan\phi L \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (1)$$

ここに，K_0：静止土圧係数，$K_0=\nu/(1-\nu)$

ν ：ポアソン比

γ ：土の単位体積重量(kN/m³)

H：地表からの深さ(m)



P_v：鉛直土圧(kN/m)
H_1：土かぶり(m)
P_0：解放応力
τ：土の摩擦抵抗力(kN/m)
W：地山改良体，支保荷重(kN/m)
P：地盤に作用する鉛直力(kN/m)
q：B_1幅のすべり土塊が受ける鉛直力(kN/m)
W_1：すべり土塊重量(kN/m)
τ_0：土のせん断抵抗力(kN/m)
T：滑動力(kN/m)
α：再配分荷重係数

図-11　地山改良範囲が上半上部の場合の荷重状態[16]から引用

また，改良体に接する斜面角度(θ_1)の区間(L_2)の土の摩擦抵抗力(τ_2)は，式(2)で表される．

$$\sum \tau_1 = cL\sin\theta + K_0 \gamma h \tan\phi L \sin\theta \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (2)$$

これより，改良体全体の土の摩擦抵抗力(τ)は，式(3)で表せる．

$$\tau = \sum(\tau_1 + \tau_2) \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (3)$$

これより，改良体の鉛直面改良体脚部へ作用する地盤の鉛直力(P)は，式(4)に示すように，鉛直下向きの荷重と上向きの荷重の差分の荷重が脚部片側に作用することになる．

$$P = (\alpha P_v + \alpha W - \tau)/2 \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (4)$$

したがって，改良体脚部の地山の安定は，式(5)に示すように改良体脚部の地盤に作用する鉛直力(P)が，改良体脚部幅(B_0)でトンネル延長１mとする地盤の支持力(Q_a：許容支持力)以下であれば安定を保つことができる．

$$P \leq Q_a \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (5)$$

しかしながら，改良体下端部側面の地山を下方に掘削する場合は，掘削改良体脚部からの鉛直力(P)を受けたすべり土塊が安定することが必要条件となる．この検討は，安全率(R_s)を土のせん断抵抗力(τ_0)/滑動力(T)で定義すれば，安全率(R_s)が１以上であれば安定性を保つことができる．ここに，土のせん断抵抗力(τ_0)は，すべり土塊の重量(W_1)，改良体からのすべり土塊の鉛直力(q)，すべり土塊の高さ(h_0)，すべり線の角度(θ_0)とすると式(6)で表される．

$$\tau_0 = (W_1 + q)\sin\theta_0 \tan\phi + c h_0/\cos\theta_0 \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (6)$$

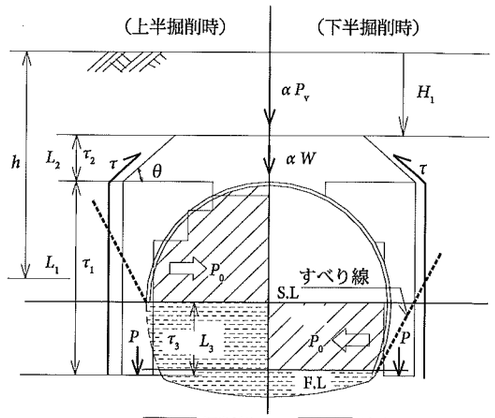
また，滑動力(T)は式(7)で表される．

$$T = (W_1 + q)\cos\theta_0 \quad (\mathrm{kN/m}) \qquad (7)$$

$$R_s = \tau_0/T \qquad (8)$$

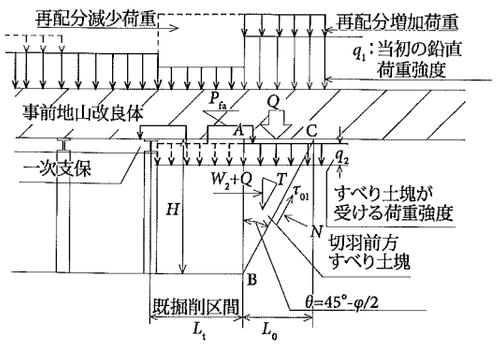
この改良範囲を設定した場合，下半掘削時のすべり線の拘束効果が小さく，下半掘削時の抑制効果は小さいことに注意が必要である．また，改良体下端のすべり土塊が安定しない場合は，すべり線と交差するようにサイドパイルなどの補強対策工を行うことが必要となる．

図-12は，改良範囲を上・下半部で設定した場



P_v：鉛直土圧(kN/m)
H_1：土かぶり(m)
P_0：解放応力
τ：土の摩擦抵抗力(kN/m)
W：地山改良体，支保荷重(kN/m)
P：地盤に作用する鉛直力(kN/m)
α：再配分荷重係数

図-12　地山改良範囲が上・下半部の場合の荷重状態[16]から引用



q_1 ：鉛直荷重強度
W_2 ：土塊の重量
H ：切羽の高さ
Q ：切羽前方土塊上部の作用荷重
T ：BC 面上の滑動力 $(W_2+Q)\cos\theta$
N ：BC 面上の垂直反力
τ_{01} ：BC 面上すべり抵抗力 $(W_2+Q)\sin\theta \tan\varphi + c\,H/\cos\theta$
P_{fa} ：既掘削区間からの再配分荷重
L_0 ：$H\tan\theta$
L_1 ：支保間隔（1m）
c ：地山の粘着力
φ ：地山の内部摩擦角

図-13　天端における上半掘削時の縦断方向荷重状態[16]から引用

合の上半掘削時と下半掘削時の荷重とすべり線の関係を示したものである．上・下半部で改良範囲を設定する場合，解放応力(P_0)により発生するすべり線は，改良体と交差し，水平方向に拘束される状態となっている．この場合の，改良体脚部の地山の安定は，式(5)に示したように改良体脚部に作用する地盤の鉛直力(P)が地盤の支持力(Q_a：許容支持力)以下であれば安定を保つことができる．上・下半部を改良していることにより改良体側部の摩擦抵抗力(τ)が上半上部改良に比べて大きく作用することとなり，改良体脚部に作用する鉛直力は軽減され，地盤の鉛直力は小さくなるものと考えられる．また，掘削面が改良体でありすべり線の発生は拘束されており，掘削面の安定性がいっそう増すものと考えられる．

5-3　縦断面の切羽の安定性の評価

地山改良は縦断方向に連続しており，掘削時の切羽前方地山の作用荷重の一部を負担することにより切羽の掘削面での作用荷重を低減，応力集中を抑制し，切羽の自立性を向上させていると考えられる．

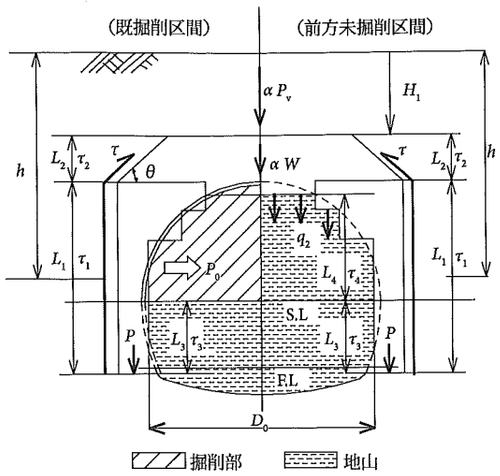
図-13は，計測と実験から地山改良を施工した場合の再配分荷重の状態を示したものである．掘削による解放応力は，改良体の縦断方向の連続する梁効果により，改良体上部の天端の荷重は，掘削区間の前方に再配分されて増加し，掘削部については天端の荷重は大きく減少する．この減少した荷重は切羽の前後左右に再配分されると考えられる．この変化は，時間が経過すると掘削以前の荷重に戻る．一方，改良体内側についても，掘削部分の土塊が負担していた荷重は，縦断方向に再配分される．したがって，縦断方向の切羽の安定性は，切羽前方未掘削区間の改良体から受ける荷重(P_1)と掘削面から再配分された荷重(P_{fa})を合わせた荷重(Q)を受けるすべり土塊の安定により確保されることになる．すべり土塊の安定はBC面上の滑動力(T)とすべり抵抗力(τ_{01})の比を安全率(R_s)とした式(9)により検討できる．

$$R_s = \tau_{01}/T \qquad (9)$$

前方未掘削区間の改良体からすべり土塊が受ける荷重(P_1)は，**図-14**より式(10)で表される．

$$P_1 = q_2 D_0 L_0 \quad (\mathrm{kN}) \qquad (10)$$

ここで，式(10)に示す「$q_2 D_0$」は，図-14に示す未掘削区間(支保間隔1m)における鉛直下向きの荷重(αP_v，αW)と改良体と地山における土の摩



P_v：鉛直土圧(kN/m)　　W：地山改良体, 支保荷重(kN/m)
H_1：土かぶり(m)　　P：地盤に作用する鉛直力(m)
P_0：解放応力　　q_2：Bすべり土塊が受ける荷重強度(kN/m)
τ：土の摩擦抵抗力(kN/m)　　α：再配分荷重係数

図-14　横断面方向荷重の釣合い[16]から引用

擦抵抗力(τ)の上向き荷重の差分の荷重であり，式(11)で表される．

$$q_2 D_0=\alpha P_v+\alpha W-\tau \qquad (11)$$

ここに，$\tau=\sum\tau_1+\sum\tau_2+\sum\tau_3+\sum\tau_4$

これより，改良体からすべり土塊が受ける荷重(P_1)は，すべり土塊上面の幅(L_0)を乗じた式(12)で表すことができる．

$$P_1=q_2 D_0 L_0=(\alpha P_v+\alpha W-\tau)L_0 \qquad (12)$$

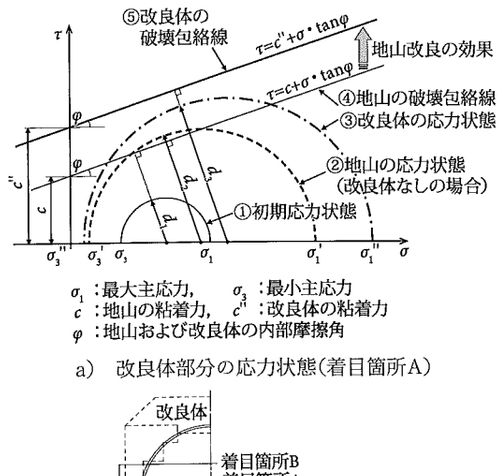
一方，既掘削区間(L_t)からのトンネル縦断方向への再配分荷重(P_{fa})は，**図-14**に示す既掘削区間における鉛直下向きの荷重(αP_v，αW)と改良体と地山における土の摩擦抵抗力の上向き荷重(τ)の差分の荷重が再配分され作用しているものとし，式(13)で表される．なお，掘削による未掘削区間に再配分される荷重は切羽の安定時の増加荷重と同じ再配分率(β)を用いることとした．

$$P_{fa}=(\alpha P_v+\alpha W-\tau)\beta L_t \qquad (13)$$

ここに，$\tau=\sum\tau_1+\sum\tau_2+\sum\tau_3$

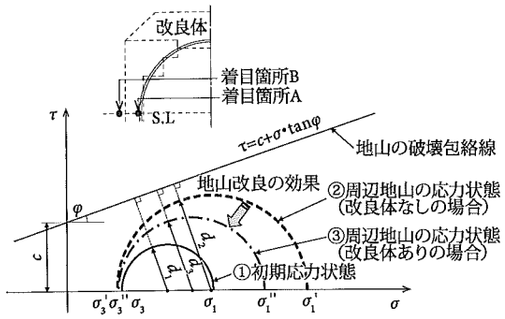
これより，切羽前方土塊上部の作用荷重(Q)は，式(14)で表すことができる

$$Q=P_{fa}+q_2 D_0 L_0=P_{fa}+(\alpha P_v+\alpha W-\tau)L_0 \qquad (14)$$



σ_1：最大主応力，　σ_3：最小主応力
c：地山の粘着力，　c''：改良体の粘着力
φ：地山および改良体の内部摩擦角

a)　改良体部分の応力状態(着目箇所A)



σ_1：最大主応力, σ_3：最小主応力
c：地山の粘着力, φ：地山および改良体の内部摩擦角

b)　周辺地山の応力状態(着目箇所B)

図-15　改良体と地山の応力状態の変化[16]から引用

5-4　地山と事前地山改良体の応力の評価

地山と事前地山改良体の応力の評価は，モール・クーロンの破壊規準にもとづく安全率で用いて行う．

図-15は，トンネル掘削時の改良体の有無による応力状態の変化をトンネル側部の改良体部分およびその周辺地山に着目し，モールの応力円で模式したものである．改良体部分の応力状態を図-15a)に示す．改良体なしの場合は，掘削に伴う応力解放の影響で，地山の主応力差が増加していくことによって破壊状態に達する．一方，改良体ありの場合は，周辺地山と比較し改良体の剛性が高く，掘削に伴う解放荷重を負担しやすくなるため最大主応力が増加するものの，事前地山改良の効果によって改良体自身の耐力が向上し，改良体は破壊に達することなく効果的に荷重を支持できる．

つぎに，改良体外側の周辺地山の応力状態を図

15b)に示す．改良体なしの場合であっても，トンネル掘削面からある程度離れた箇所では，地山が破壊状態にまで達することはない．しかしながら，トンネル掘削に伴う影響により，少なからず主応力差が生じ地山の不安定化が進行すると考えられる．一方，改良体ありの場合は，改良体によって周辺地山に対して内圧が付与され，その拘束効果によって周辺地山初期応力に近い状態で地山の安定を図ることができる．

このように，改良体の強度と改良幅は，トンネル周辺の改良体に接する地山の応力を破壊包絡線内になるように設定すればよい．

6　ま　と　め

トンネル掘削時の事前地山改良体の現場計測結果，室内模型実験および数値解析による検討を行い，地山安定性の評価および今後の設計に向けて留意点を整理した．

① 改良体は，周辺地山に対して3～10倍の剛性を有しており，とも下がり現象からも，一体となった門型構造体とみなし，設計することができる．

② 縦断方向の改良体前方には，掘削時の応力解放により再配分による増加荷重が生じるので，この再配分荷重を考慮する必要がある．

③ 地山改良の形状の検討に際しては，一次領域，二次領域と三次領域の不連続な境界線を包括して配置し，かつ，すべり線外側の三次領域に改良体下端を設定することが重要である．

④ 再配分荷重を含めた改良体上部の荷重に対して，改良体脚部の地盤支持力を十分に確保しておく必要がある．

⑤ 改良範囲がトンネル上半上部の場合，改良体脚部反力に対する改良体下部地盤のすべり土塊の安定が必要である．

⑥ 切羽の縦断面の安定は，改良体により低減された荷重により切羽の自立性の検討を行えばよい．

⑦ 改良体の強度と改良幅は，改良体と接する地山の安全率を1以上として設定することが必要である．

参　考　文　献

1) 田村栄二郎・松長剛：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その1)，東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.39，No.10，pp.7-16，2008.10.

2) 登坂敏雄・玉井達毅：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その2)，東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.39，No.12，pp.7-13，2008.12.

3) 中村純治・田野彰一：小土かぶり・帯水土砂地山トンネルの各種補助工法(その3)，東北新幹線　八戸・七戸間トンネル群，トンネルと地下，Vol.40，No.1，pp.15-24，2009.1.

4) 蓼沼慶正・磯谷篤実・小西真治・西山達也・奥津一俊：地山改良工を併用した低土被りトンネルの施工，トンネル工学報告集，Vol.13，pp.207-212，2003.11.

5) 北川隆・飯田廣臣・蓼沼慶正・奥津一俊・玉井靖広：低土被り土砂地山における地山改良工法の検討，構造工学論文集Ⅰ，Vol.50A，pp.45-52，2004.3.

6) 北川隆・磯谷篤実・奥津一俊・川口隆徳：地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削，トンネルと地下，Vol.35，No.4，pp.7-14，2004.4.

7) Konishi, S., Nishiyama, T., Iida, H., Miyabayashi, H., Tadenuma, Y. and Okutsu, K.: Face Stabilizing Method for Shallow Tunnels in the Loose Sandy Ground, *Proceedings of the ITA-AITES 2004 World Tunnel Congress & 30th ITA General Assembly, Singapore, H11,* 2004.5.

8) Kitagawa, T., Iida, H., Tadenuma, Y., Konishi, S., Kawashima, Y. and Okutsu, K. :Tunneling method for shallow tunnel with ground stabilizing, *Proceedings of the ISRM International Symposium 3rd ARMS, Kyoto,* Vol.1, pp.611-616, 2004.12.

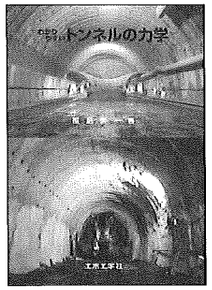
9) 日本トンネル技術協会：東北新幹線における未固結小土被りトンネルの設計施工対策評価書(別冊)，2008.3.

10) 日本鉄道建設公団盛岡支社：東北幹，牛鍵T他1地山改良施工区間　計測結果・解析結果中間報告書，2008.3.

11) 足立紀尚・木村亮・岸田潔・小坂馨太・坂山安男：3次元降下床実験によるトンネル交差部の力学挙動，土木学会論文集，No.638/Ⅲ-49，pp.285-299，1999.

12) 足立紀尚・木村亮・岸田潔・伊藤浩志：トンネル掘削過程を考慮したトンネルおよび周辺地盤の力学挙動の解明，土木学会論文集，No.694/III-57，

pp.277–296, 2001.
13) 菊本統・木村亮・岸田潔・足立紀尚：トンネル掘削時の力学挙動に関する3次元降下床実験とその数値解析，土木学会論文集，No.750/III-65，pp.145–158，2003.12.
14) 足立紀尚・木村亮・岸田潔・小坂馨太・坂山安男：3次元降下床実験によるトンネル交差部の力学挙動，土木学会論文集，No.638/III-49，pp.285–299，1999.
15) 足立紀尚・木村亮・岸田潔・伊藤浩志：トンネル掘削過程を考慮したトンネルおよび周辺地盤の力学挙動の解明，土木学会論文集，No.694/III-57，pp.277–296，2001.
16) 野々村政一・井浦智実・崔瑛・岸田潔・木村亮：小土被り未固結地山における事前地山改良工による地山安定性の評価に関する一考察，地盤工学ジャーナル，Vol.18，No.2，pp.166–175，2013.6.
17) 米山秀樹・指田健次・香川和夫・笹尾春夫：プレライニングの先受け・支保機構に関する考察，土木学会第51回年次学術講演会，1996.9.
18) 村山朔郎・松岡元：砂質土中のトンネル土圧に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，No.187，pp.95–108，1971.
19) 鉄道・運輸機構：山岳トンネル設計施工標準・同解説，p.65，2008.4.



わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒350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

連載講座

都市トンネルのための地盤改良工法(3)

—セメント固化改良工法(1)—

「都市トンネルのための地盤改良工法」連載講座小委員会

① はじめに

東北地方太平洋沖地震(2011年3月)において地震または津波によって未曾有の被害が発生したことは記憶に新しいが，地盤改良が施されていた構造物では大きな被害が生じなかったとの報告[1]もあり，将来の巨大地震に対する対策として地盤改良工法が注目されている．

地盤改良工法は改良原理[2]などによってさまざまな工法が存在し，かつそれぞれ独自に発展しているが，本講座では比較的軟弱な地盤に建設されることが多い都市トンネル(開削トンネル，シールドトンネル，都市NATMなど)に適用される地盤改良工法を対象としている．都市トンネルにおける地盤改良は，止水，地盤の強度増加および変形抑制などを目的とする場合が多い．本講座ではこれらを実現する工法として改良原理が「固結」に分類されるセメント固化改良工法について2回にわたって掲載する．なお，本講座ではセメント固化改良工法のうち，都市トンネルに適用されることが多い機械攪拌式工法と高圧噴射攪拌工法に絞ることとした．

セメント固化改良工法の第1回では，機械攪拌式工法と高圧噴射攪拌工法の概要と特徴，設計の考え方，品質管理方法と改良効果評価，最近の新技術などを紹介する．

② セメント固化改良工法

2-1 工法の分類

セメント固化改良工法は，原位置で，原地盤と固化材となるセメントを添加・混合・置換し，セメント固化した地盤を柱状，壁，格子，ブロック状に造成するものである．このセメント固化体(改良体)を造成する工法は，その造成方法の違いから，機械攪拌工法と高圧噴射攪拌工法に大別される．機械攪拌工法は，攪拌翼を有するロッドを地中に貫入・回転して固化材と原地盤の土を攪拌混合する．機械攪拌工法は，施工深度に応じて中層混合処理工法と深層混合処理工法に分類されているが，適用深度が10m程度とする中層混合処理工法は，バックホウなどの施工機械をベースマシンとして施工ができる特徴がある．10mを超える深度を対象とした深層混合処理工法では汎用のク

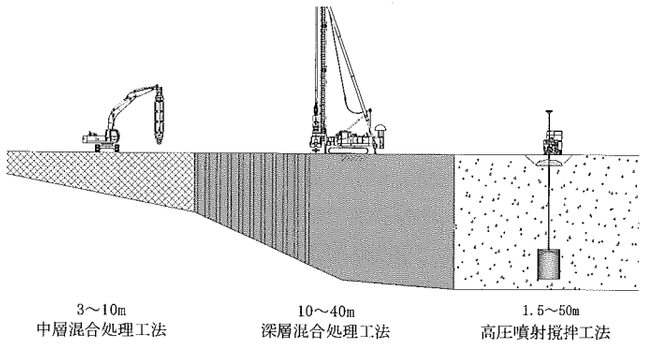


図-1　セメント固化改良工法の適用深度[2]

ローラークレーンをベースマシンとしており施工機械が大型となる．それに対して，高圧噴射撹拌工法は，高圧力水により地盤を切削しながら固化材を原地盤と混合または置換する工法で，自走移動式である機械撹拌工法に比べて，固定式であるものの，小さい施工機械で深くまで改良できる特徴がある．

2-2　機械撹拌工法

2-2-1　概　要

機械撹拌工法のうち，深層混合処理工法は，1960年代に日本と北欧で開発が始まり，70年代に実務への適用が始まった工法である．90年代には，アジア，欧米へと広がり，現在では一般的な地盤改良工法として世界的に広く普及した工法となっている．機械撹拌工法の施工機を**写真-1**に示す．

中層混合処理は，トレンチャー式混合方式と撹拌翼式混合方式に分類される．また，材料供給方式は粉体あるいはスラリー状の固化材を用いるタイプが存在する．

深層混合処理工法の施工機械は，撹拌軸が２軸の仕様が基本であるが，単軸のタイプも存在する．深層混合処理工法は，固化材の状態によってスラリー系と粉体系に分類される．機械撹拌工法は，高圧噴射撹拌工法と比べると経済性に優れるが，撹拌翼を有するため鋼矢板などの既設構造物と密着施工ができない点に留意が必要である．

2-2-2　代表的な機械撹拌工法

（１）　中層混合処理工法

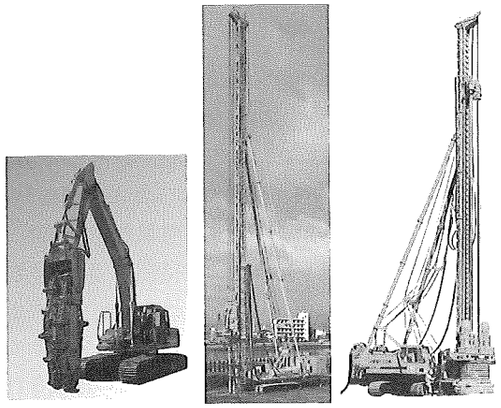
代表的な工法にトレンチャー式混合のパワーブレンダー工法がある[3]．ベースがバックホウ程度であり狭隘地での施工性に優れる．

（２）　粉体系深層混合処理工法

DJM(Dry Jet Mixing)工法が代表的である．スラリー化せず粉体のまま空気輸送した固化材を撹拌翼で掘削した空間へ添加し，土と混合させ所定の強度の改良体を造成する．粉体を用いるため高含水比の腐植土地盤への適用性も高い．また施工に伴う発生土も少ない．

（３）　スラリー系深層混合処理工法

CDM(Cement Deep Mixing)工法が代表的である．プラントでスラリー状にした固化材を油圧ポンプで混合処理機の先端に圧送し，改良範囲の軟弱層全深度にわたって軟弱土と固化材スラリーを撹拌翼で均一混合させ所定の強度の改良体を造成する．また撹拌翼の上部にスクリューを取付け，排土を併用する変位低減型もある．両工法とも改良体径は標準で1.0mである．近年では，コスト縮減の社会的要請を受けて経済性の向上が図られ，大口径工法なども開発されている．また，機械撹



中層混合処理工法（トレンチャー式）　CDM 工法　DJM 工法 深層混合処理工法

写真-1　機械撹拌工法の施工機

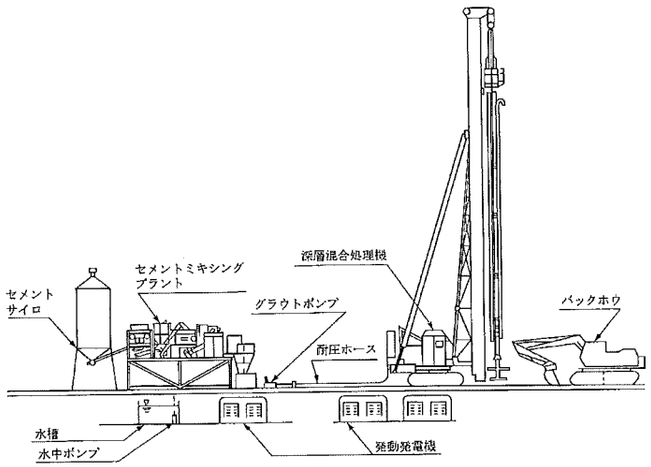
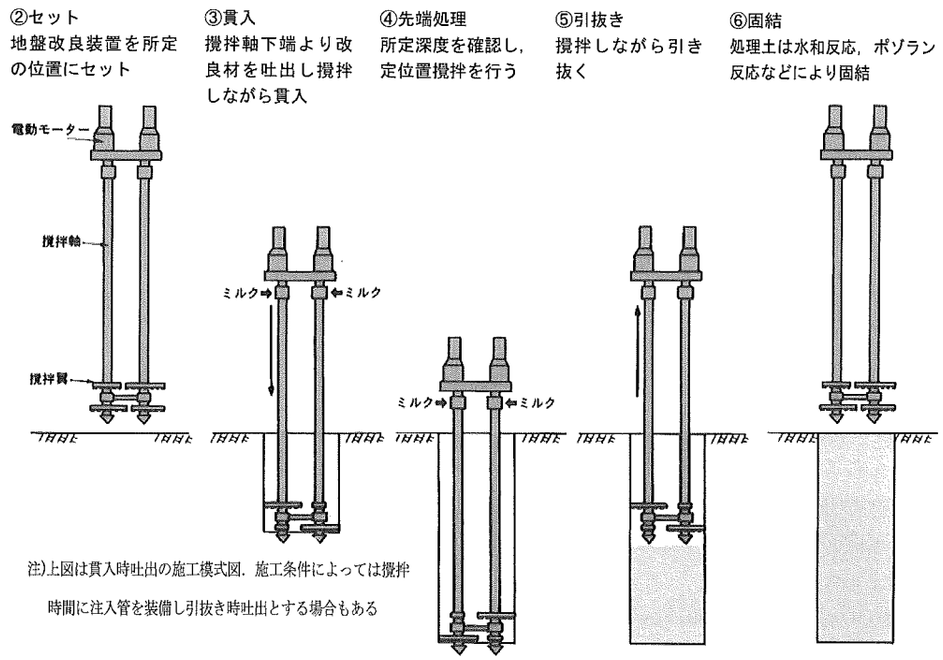


図-2　CDM工法の施工機械の基本構成[4]



注)上図は貫入時吐出の施工模式図．施工条件によっては撹拌時間に注入管を装備し引抜き時吐出とする場合もある

図-3　深層混合処理(CDM)工法の施工フロー

拌と高圧噴射撹拌の併用工法も開発され，矢板のような構造物との密着施工が可能になり，改良体相互のオーバーラップも容易である．

2-2-3　設計における改良体の物性値

設計では，原地盤の状況と改良目的に応じ，改良幅，改良深さ，設計基準強度，改良率などを比較検討し，さまざまなパラメータを決定する．

改良体の物性値としては一軸圧縮強さで表される設計基準強度が重要である．固化材による改良体の強度発現は改良対象土の影響を大きく受けるため注意が必要である．強度が発現しにくい土としては有機質土，火山灰質粘性土，黒ぼく，泥炭が挙げられ，これらの土に対しては過去の知見などを十分に考慮した配合設計が必要である．設計基準強度q_{uck}の実績は0.1～0.6MN/m²がほとんどを占めるが，中には1.0MN/m²以上の事例もある[4]．

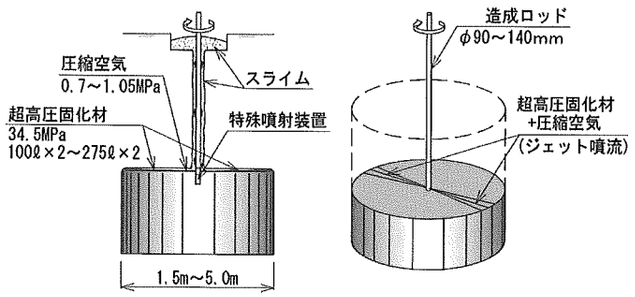


図-4　SUPERJET工法の概要図

2-3　高圧噴射撹拌工法

2-3-1　概　要

1970年代に実用化された高圧噴射撹拌工法は，高度経済成長期のインフラ整備事業の工事において，シールド工事における発進，到達防護や掘削底面の強度増加，止水対策などの仮設工事に数多く採用され，1995年の兵庫県南部地震以降，護岸や河川堤防などの液状化対策に始まり，近年では歴史的建造物や社会的基盤施設など，既存建築物の耐震補強工事にも採用されている．ここでは，代表的な工法のひとつである SUPERJET 工法をもとに概要を説明する．

図-4に示すように，SUPERJET 工法は，ロッドを回転させながら空気を添わせた固化材スラリーを噴射し，固化材と空気の持つ運動エネルギーを

利用して，地盤を切削・混合することにより地中に円柱状の改良体を造成する工法である．切削された土砂は，空気のアップリフト効果によりスライムとして地上に排出されるため，周辺構造物に変状をきたすことが少ないことが特長の一つである．

このように超高圧噴流体を用いるため，小さな孔(0.1～0.2m)で大口径(2.5～5.0m)の改良が任意の深度で可能であり，改良体どうしはもちろん，土留め壁などの構造物と密着性を図れることから止水性に富んだ改良ができる点も大きな特長である．

2-3-2　代表的な高圧噴射撹拌工法

高圧噴射撹拌工法は，流体の噴射形態により，**図-5**に示すように3種類に大別される．

それぞれの代表的な高圧噴射撹拌工法とその適用地盤と施工仕様(造成時間・改良径・強度)を**表-1**に示す．

表-1に示すように，1970年代に実用化された高圧噴射撹拌工法は，1990年代には，高速化と大口径化が図られ，改良径が5mにもなる工法技術が開発された(**写真-2**)．

そして，近年においては，改良径は5mを超え，改良強度も3MN/m²以上というような大口径化(**写真-3**)や高強度化が図られた工法技術や，狭隘な環境下でも施工が可能な小型施工機械(**図-6**)の開発がされている．

また，品質においても，先に述べたように既存建築物の基礎として，(社)日本建築センターの性能評価(評定)を受けた機械撹拌工法と同等の品質を，高圧噴射撹拌工法でも提供できる技術も開発されている．

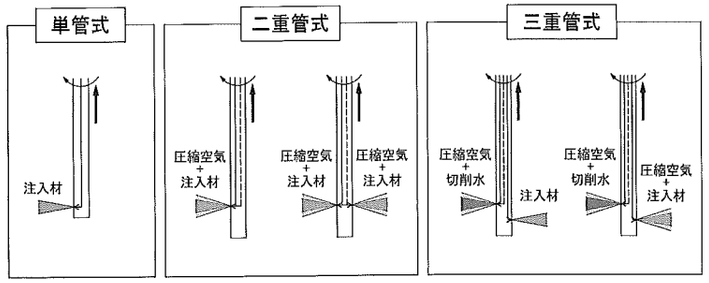


図-5　高圧噴射撹拌法の噴射形態による分類[5)]

表-1　高圧噴射撹拌工法

工法			単管式	二重管式		三重管式	
			CCP	JSG	SUPERJET	CJG	RJP
適用地盤		砂質土	$N<30$	$N\leqq50$	$N\leqq200$	$N\leqq200$	$N\leqq100$
		粘性土	$c<50$kN/m²	$N\leqq4$	$N\leqq9$	$N\leqq9$	$N\leqq5$
標準造成時間(分/m)			4～10	16～40	8～13	16～25	30～60
改良体の品質	改良径(m)		0.3～1.2	1.0～2.0	1.5～5.0	1.2～2.0	2.0～3.2
	強度(MN/m²)	砂質土	1.0～3.0	1.0～3.0	1.0～3.0	1.0～3.0	1.0～3.0
		粘性土	0.3～3.0	0.3～3.0	0.3～3.0	0.3～3.0	0.3～3.0
実用化時期			1970年	1980年	1991年	1970年	1990年

CCP工法：Chemical Churning Pile，JSG工法：Jumbo Jet Special Grout，
CJG工法：Column Jet Grout，RJP工法：Rodin Jet Pile



写真-2　SUPERJET工法の実証実験結果

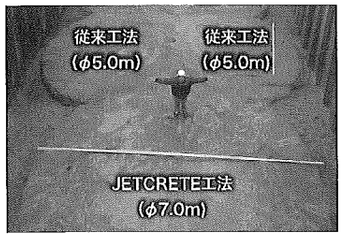


写真-3　JETCRETE工法の実証実験結果

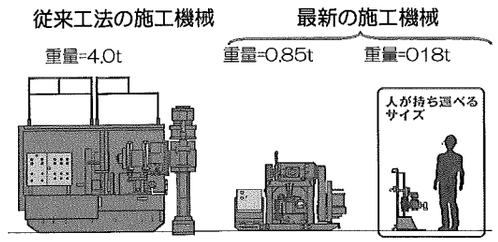


図-6　施工機械

その詳細については，3-1-5節にて紹介する．

2-3-3　設計における改良体の物性値

SUPERJET工法の設計基準強度を**表-2**に示す．

室内配合試験により固化材の配合(添加量)を決定する機械撹拌式工法に対して，高圧噴射撹拌工法は，固化材の配合が決まっており，土質と設計強度に応じて使用する固化材を選定している．

2-4　改良体の設計

改良体の設計上の取扱いは，改良体を「地盤」として考えるか，地中の「構造物」として考えるかに分かれる．改良体の機能・性能に応じて，考え方は変わるが，一般的には，改良強度を低く設計する場合には，地盤または複合地盤として考え，改良強度が高い場合には，地中構造物として考える場合が多い．

都市トンネルにおける改良体は，土留めの変形防止や，トンネルの防護，シールドの発進防護などで適用され，強度を必要とし，地中構造物として考える場合が多い．そのため，都市トンネルにおいて改良体は，改良強度だけでなく，連続性が求められる場合が多く，連続性が確保できる高圧噴射撹拌工法や，機械撹拌工法でもトレンチャー方式のように連続的に改良を行う中層混合処理工法が多く用いられる．また，深層混合処理工法の場合は，機械撹拌と高圧噴射を組み合わせた複合方式の改良工法を用いる場合が多い．

改良体の設計は，支持力の確保のための改良や法面のすべり防止など(**図-7**)に用いられる場合，各種設計指針[4),7)]が示されており，それに準じて外部安定，内部安定，耐震性の検討など設計方法

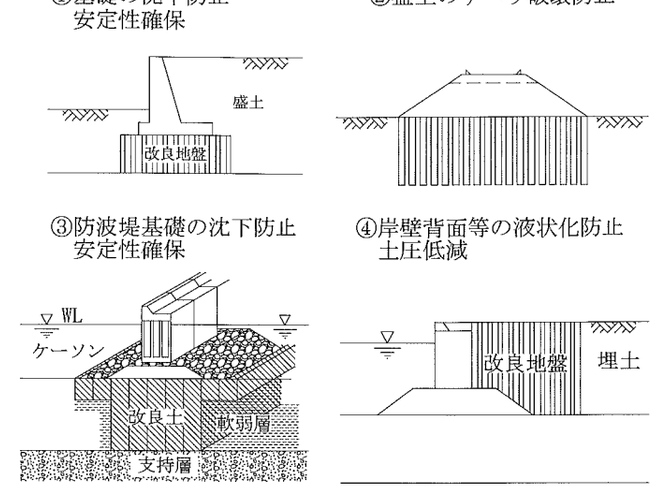


図-7　深層混合処理工法の適用例[4),7)]

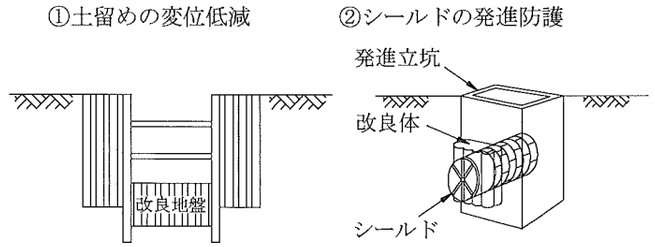


図-8　都市トンネルへの適用例[4)7)]

表-2　改良体の設計基準強度[6)]

固化材	土質	一軸圧縮強度(MN/m²)	粘着力c(MN/m²)	付着力f(MN/m²)	曲げ引張強度(MN/m²)	弾性係数E_{50}(MN/m²)
SJ-1号H型(強度発現型)	砂質土	3.0	0.5	1/3c	2/3c	300
	粘性土	1.0	0.3			100
SJ-1号L型(強度抑制型)	砂質土	2.0	0.4			200
	粘性土	0.7	0.2			70
SJ-2号(粘性土用)	砂質土	3.0	0.5			300
	粘性土	1.0	0.3			100
SJ-3号(高粘着力粘性土用)	砂質土	3.0	0.5			300
	粘性土	1.0	0.3			100
JG-4号(腐植土用)	腐植土	0.3	0.1			30

が規定されている．

しかし，都市トンネルに用いる場合は，仮設の地中構造物として用いる場合が多く(図-8)，その用途もさまざまであるため，その設計は土質力学，コンクリート工学などの知見をもとに適宜設計するのが基本であり，各工法協会から出されている技術資料[8]などを参考に設計者に判断を委ねられているのが現状である．

都市トンネルへの適用事例として，改良体を土留めに適用する場合，盤膨れ防止，ヒービング防止，変位抑制などさまざまな用途に用いられる．ここでは，軟弱地盤において土留め内部を改良して，ヒービング防止，変位抑制として用いる場合の設計の考え方[4]を示す．

ヒービングに対する安定検討では，通常，改良体をせん断強度が大きい地盤として評価するが，改良体のせん断強度は現地盤に比べて大きいため，計算上改良体の厚さが薄くなり，必ずしもせん断で破壊せず，曲げ破壊のような現象が生じることが予想される．

また，土留め壁の根入れが浅い浮きタイプの地盤改良の場合，改良体を持ち上げようとする現象が生じる可能性がある．そのため，改良体の曲げに対する応力の検討や浮き上がりの検討が必要とされている．

設計手順を図-9に，想定される荷重モデルを図-10に示す．

土留め壁の根入れ部に改良体を有する場合の設計上の留意点としては，掘削側改良の受働土圧や地盤バネの設定として，改良率に応じた複合地盤として評価する必要がある．また，10m程度以上の深い掘削では，改良部に塑性領域が生じることが多いため，土留め弾塑性法を用いた設計を行う場合は，設計計算と実現象の相違を勘案し，地盤改良部の弾性領域を50%程度以上残すことが望ましいとされている[4]．

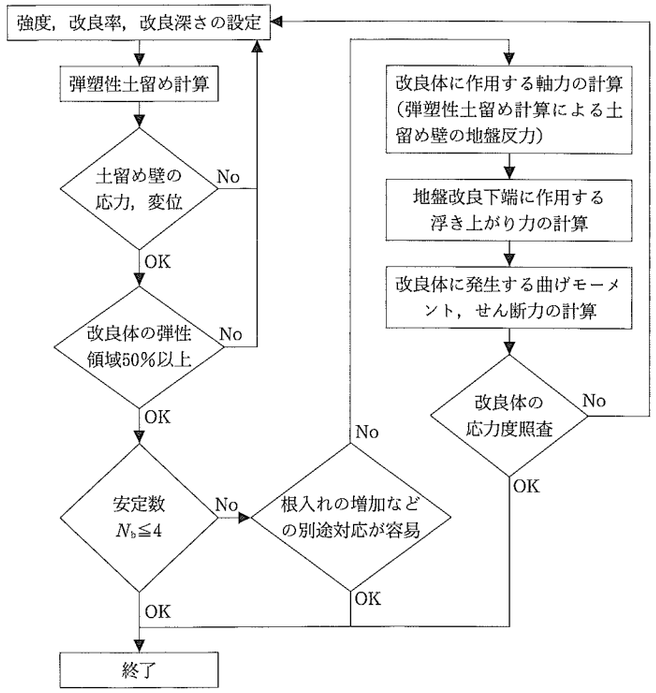


図-9　設計手順[4]

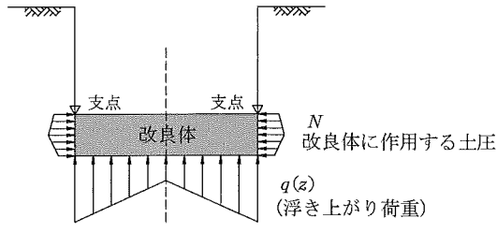


図-10　荷重モデル[4]

③ 品質管理方法

3-1　セメント固化改良工法における品質管理方法

都市トンネルでセメント固化改良工法を採用する場合，改良体は仮設物として取扱うことが多いと考えられる．しかし，セメントなどによって強度を発現した地盤改良体は，コンクリート構造物とは比較できないものの，改良前の地盤と比べれば強度や剛性が格段に向上するため，最近ではこれを本設物として取扱う事例も増えている[9),10)]．

ここでは，セメント固化改良工法の品質管理方法について紹介する．

3-1-1　一般的な方法

セメント固化改良工法の品質管理基準として表-3に示す国土交通省関東地方整備局『土木工事施工管理基準及び規格値』(平成23年4月改定)のうち，固結工の内容が一般的に使用されている．表-3に示すように改良後ある程度の養生期間を経た後に，ボーリングで改良体のコアを採取し，一軸圧縮試験を行う．ボーリングの実施時期は，一軸圧縮試験が材齢28日で実施できるようにするのが一般的である．採取したコアの上部，中部，下部から各3個の供試体(計9供試体)を採取し，これを対象に一軸圧縮試験を行う．しかし，改良体はそもそも一様でないため，供試体の選択方法によって得られる真の一軸圧縮強さを過大あるいは過小に評価する可能性が指摘されている[12)]．

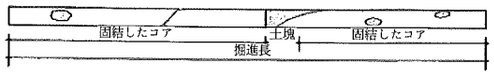
3-1-2　建築基礎のための地盤改良設計指針案での考え方

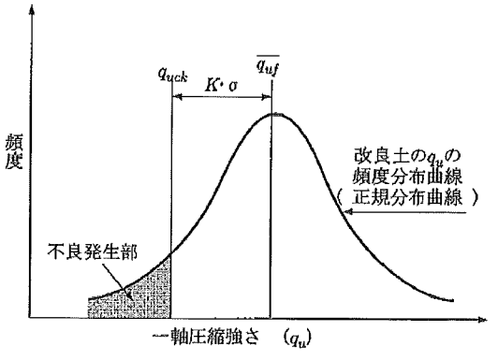
建築基礎への深層混合処理工法(機械攪拌式工法を想定している)の適用を前提に，日本建築学会[13)]は地盤改良体の実大強度とコアサンプルの強度を対比し，かつ破壊確率(不良率)を考慮し統計的に設計基準強度を決定する方法を示している．品質管理ではボーリングで採取したコアの一軸圧縮試験とボーリングコア全長の観察を基本としており，コアの一軸圧縮強さの平均値とそのばらつきに加えて，表-4に示すコア採取率によるコアの連続性も管理項目としている．コア採取率は改良体の連続性のほかにコア強度のばらつきとも密接に関係しているとの報告もある[13)]．統計的手法による品質管理は，コアの一軸圧縮強さの平均値と標準偏差で行う．コアの一軸圧縮強さが正規分布することを仮定し，一軸圧縮強さのばらつきと不良率を考慮すると，コアの一軸圧縮強さの平均値と設計基準強度は図-11に示すような関係となる．(財)日本建築センターの指針[17)]では不良率は10%としており，一軸圧縮強さの変動係数を20～45%に規定している．コアの一軸圧縮強さの変動係数がこの範囲を満足していることを条件として，不良率10%に対応した係数(図-11中，K)である1.3を標準偏差σに乗じて，コアの一軸圧縮強さの平

表-4　コア採取率の考え方[14)]

コア採取率	粘土・ローム	砂
ボーリングコア1mごと	85%以上	90%以上
ボーリングコア全長	90%以上	95%以上

コア採取率＝コア採取長(未硬化部分を除く)/掘進長(%)





ここに，
q_{uck}：設計基準強度(kN/m²)
K　：係数
σ　：現場強度の標準偏差(kN/m²)
$\overline{q_{uf}}$：原位置改良土の一軸圧縮強さの平均値(kN/m²)

図-11　設計基準強度と現場強度の関係[1)を修正]

表-3　地盤改良工の施工管理基準及び規格値[11)]

工種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値	試験基準
固結工	施工	必須	土の一軸圧縮試験	JIS A 1216	①各供試体の試験結果は改良地盤設計強度の85%以上． ②1回の試験結果は改良地盤設計強度以上． なお，1回の試験とは3個の供試体の試験値の平均値で表したもの．	改良体500本未満は3本，500本以上は250本増えるごとに1本追加する．試験は1本の改良体について，上，中，下それぞれ1回，計3回とする．ただし，1本の改良体で設計強度を変えている場合は，各設計強度ごとに3回とする． 現場の条件，規模などにより上記によりがたい場合は監督職員の指示による．

均値から引いた値（$\overline{q_{uf}}-1.3\times\sigma$）が，設計基準強度$q_{uck}$を上回るかを確認することになる．

なお，一軸圧縮試験に供する供試体数はできる限り多い方が望ましいとされており[13]，（財）土木研究センターのマニュアル[4]では25個以上，（財）日本建築センターの指針[15]ではコア１ｍにつき３個程度の採取が標準とされている．

3-1-3　新しい品質管理方法

最近では既述したような品質管理方法に加えて，非破壊試験や物理探査手法によって，地盤改良体全体の品質を評価する試みもなされている[12]．**表-5**に示す方法は研究，開発段階のものが多いようであるが，コアによる品質管理方法も完全とは言い切れない現状においては，新たな手法の実用化が待たれるところである．

3-1-4　機械攪拌工法の事例

土木工事における品質管理事例について紹介する[16]．地盤改良平面図と事後調査実施位置を**図-12**に，土質柱状図，改良体強度を**図-13**に示す．当事例における品質管理は，深層混合処理工の改良体の全数量が335本と500本未満であることから，試験基準に準じ３か所の事後調査ボーリングで改良体コアをサンプリングし，一軸圧縮試験で改良体強度を確認している．コア採取位置は，改良体

表-5　国内外で提案されている評価手法[12]

種　類	手　法
ボーリングコアに対する室内試験	サンプルの品質評価＋一軸圧縮試験 信頼性はサンプルの品質に大きく依存
ウエットグラブサンプルに対する室内試験	未固化のサンプルを養生，一軸圧縮試験 採取された処理土が現場の状況を代表しているか疑問
サウンディング	コラム貫入試験 翼状のプローブを処理土杭の中心に一定速度で静的に貫入，抵抗を連続測定
	コラム引抜き試験 コラム貫入試験と同様のプローブを，造成中の処理土杭下端に設置し，所定の試験日に引抜き抵抗の連続記録を得る．
	標準貫入試験(SPT)
	簡易動的コーン貫入試験
	静的-動的併用型コーン貫入試験
	コーン貫入試験(CPT)
	回転貫入サウンディング試験
	自動スウェーデン式サウンディング
	ベーン試験
ボーリング孔を用いた物理探査	PS検層
	電気的・磁気的手法による検層
孔内載荷試験	プレッシャーメーター試験
処理土杭頭における非破壊調査	インテグリティー試験
	衝撃加速度試験
載荷試験	処理土杭頭における平板載荷試験
	処理土杭の実大載荷試験
実物杭の引抜き	実物杭の目視観察ならびに試験
コアサンプル破片に対する試験	針貫入試験 引っかき試験

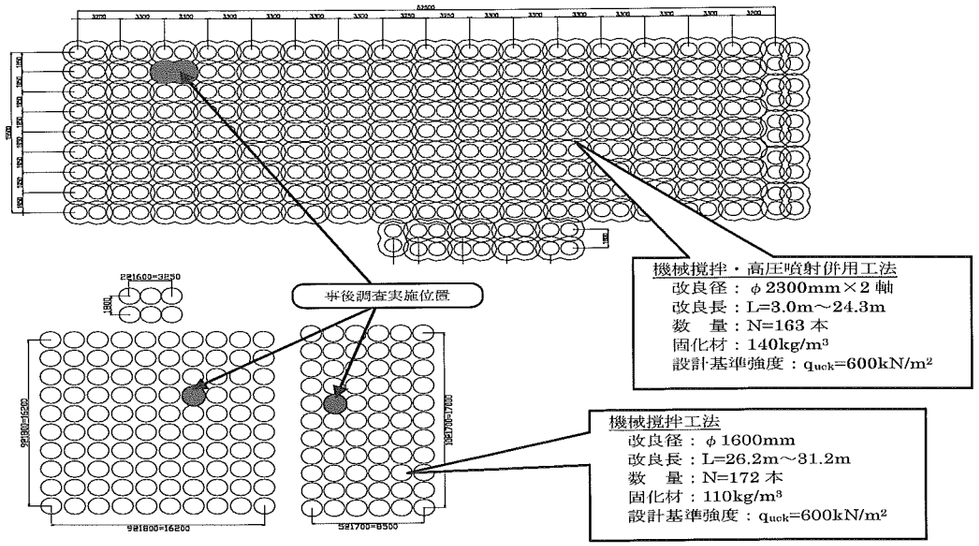


図-12　改良体配置平面図

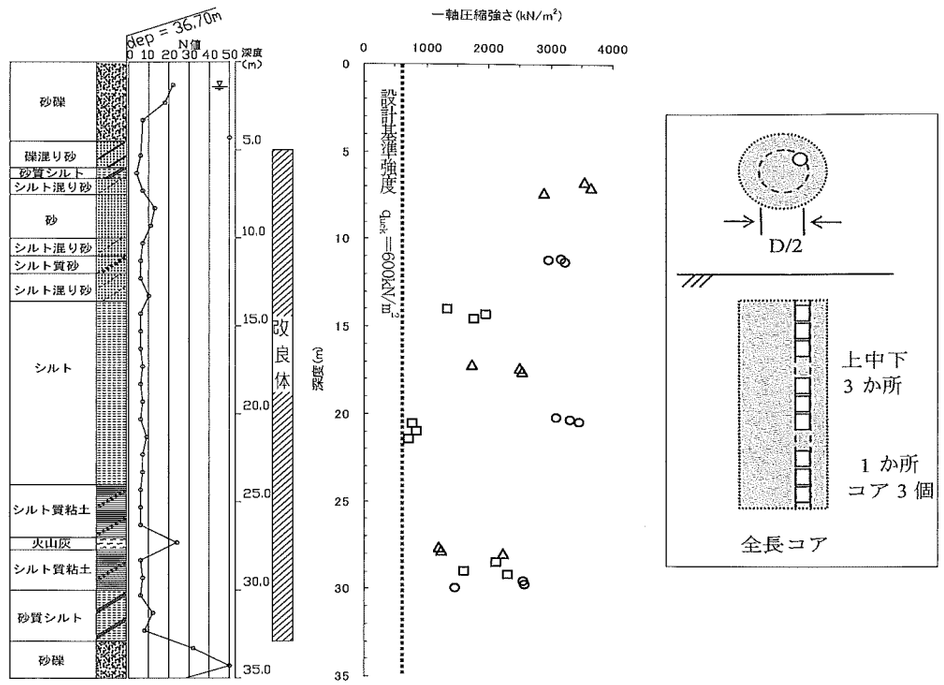


図-13　土質柱状図と改良体強度とコア採取位置

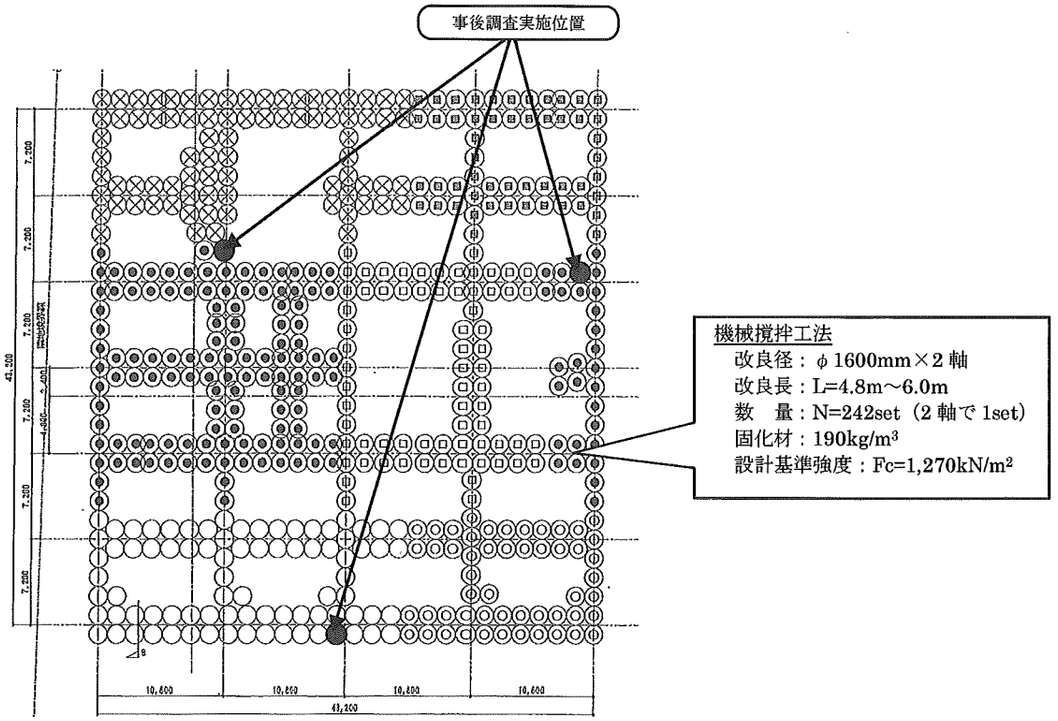


図-14　改良体配置平面図

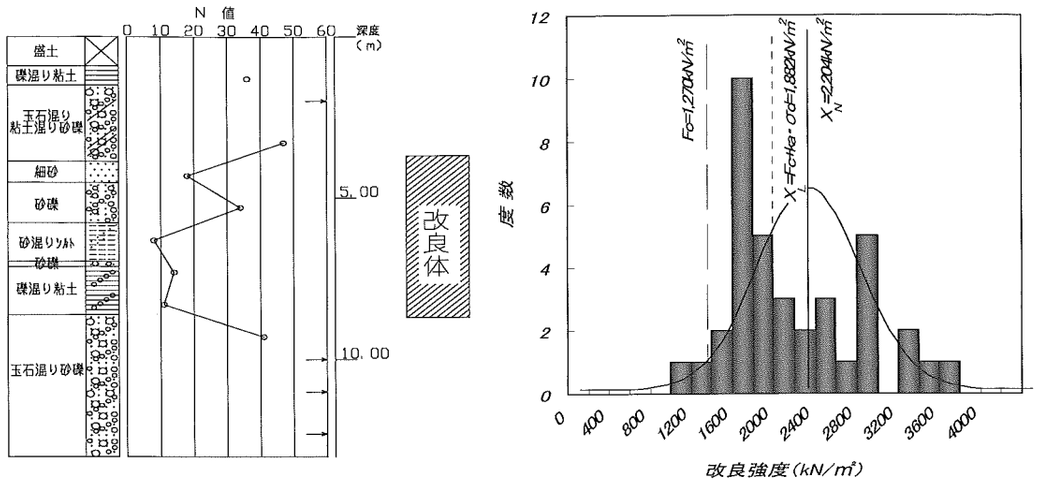


図-15　土質柱状図と改良体強度の分布図

中心から$D/4$(改良径：D)離れた付近で採取した．試験は，杭長約25mの改良体１本につき上中下それぞれ１回の計３回，１回の試験はコア３個の平均値によるものとし，コアは３深度×３個×３か所＝計27個採取した．試験の結果，すべてにおいて改良体強度は目標値の設計基準強度(q_{uck}＝600kN/m²)を満足し，良好な改良効果が確認された．

次に，建築基礎工事における(財)日本建築センター指針[15]にもとづいた一軸圧縮強さによる品質検査について紹介する[16]．改良体配置平面図および事後調査実施位置を**図-14**に，土質柱状図，品質検査結果を**図-15**に示す．当事例の品質検査は，検査数量の標準的な目安「ボーリング調査は改良体100本ごとに１本以上」に準じ，改良体数量242本(２軸同時施工の改良体１set＝１本と考える)から３か所で事後調査ボーリングを実施している．改良体コアは１mにつき３個程度の採取が標準とされており，杭長4.8m×２本，6.0m×１本から連続して計37個のコアを採取し，一軸圧縮試験を行った．試験の結果，全抜取り箇所のコア供試体による一軸圧縮強さの平均値X_N(2,204kN/m²)が，設計基準強度F_c(1,270kN/m²)にばらつきを考慮した合格判定値X_L(1,882kN/m²)以上であることから，設計要求を満足していることが確認された．

3-1-5　高圧噴射攪拌工法の事例

土木工事における品質管理方法は，機械攪拌工法と同じであるため，紹介は割愛する．

建築基礎工事の場合，前述したように品質のばらつきを考慮して品質検査を行うこととなる．品質のばらつきを考慮する方法としては，①品質のばらつきが想定できる場合，②品質のばらつきが検査前に想定できない場合，の２通りの方法がある．

高圧噴射攪拌工法は，各土質に対する品質のばらつきを把握しきれていない点があるため，現段階においては，②に当たる．そこで，ここでは，重要文化財建物の沈下対策[17]として，高圧噴射攪拌工法が採用された事例をもとに品質検査の結果について紹介する．

(財)日本建築センターの指針[15]に定める建築物の基礎として改良体に要求される品質は，計画通りの改良体長さであることはもちろんのこと，改良体の連続性と改良体の一軸圧縮強さの確認を行うこととなっている．

(１)　改良体の連続性の確認

改良体の連続性はコアの採取率によって評価する．コア採取率とはコア掘進長に対する採取コア内に含まれる土塊などの未固化部分を除いたコア採取長の比率で表される．要求されるコア採取率

は，全長に対して砂質土層95%以上，粘性土層90%以上であり，かつ１mあたりのコア採取率はそれぞれ５%減じた値である．

本事例での採取コアの全景写真とコア採取率を**写真-4**に示す．写真を見てわかるように，連続した棒状のコアが採取され，コアの採取率は100%と要求品質を満足する結果が得られた．

(２)　改良体の一軸圧縮強さの確認

前述したように，品質のばらつきが検査前に想定できない場合，採取したコアの強度から標準偏差や変動係数を設定するので，多くの検査数量が必要であり，原則としてコアの個数が25以上と規定されている．この検査における合格判定値は，実際に採取したコア強度の平均値と標準偏差から求められる．

一軸圧縮強さ試験の結果，コアの一軸圧縮強さの平均値X_n＝5.0MN/m²が，設計基準強度F_c＝1.2MN/m²にばらつきを考慮した合格判定値X_L＝3.3MN/m²以上(不良率10%)であることから，設計要求を満足していることが確認された．また，試験結果から得られた変動係数は32%と指針で規定する改良地盤の変動係数20～45%の範囲内という結果を得た(**図-16**)．

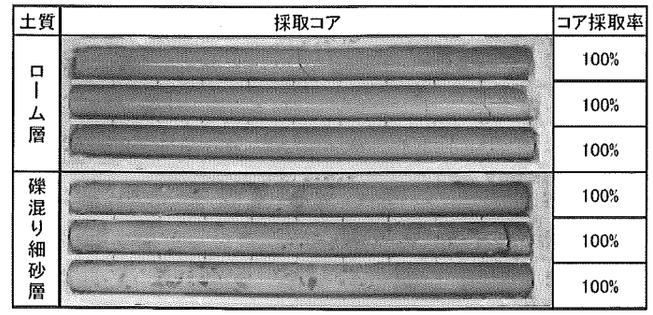


写真-4　採取コア全景とコア採取率

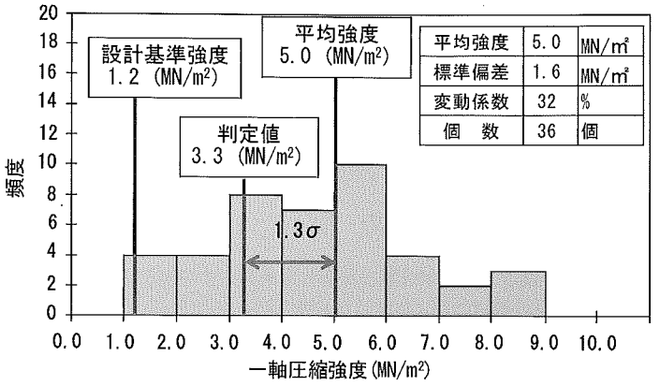


図-16　改良体コアの一軸圧縮強さの分布

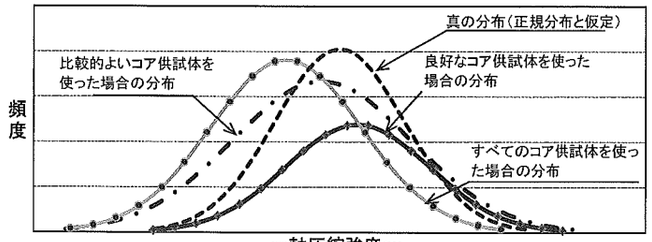


図-17　一軸圧縮強さのヒストグラムイメージ[18]

3-1-6　品質管理の課題

改良体の品質評価法については，コアサンプリング試料の一軸圧縮強さにより品質を評価するのが一般的であるが，この評価法に内在する技術課題が1996年地盤工学会の研究委員会[18]で報告されている．固化改良体は，原位置での施工となることから，一様な混合処理を行えるものではない．

報告の中で，仮に理想的な不攪乱試料が採取されたとすれば，図中の破線のような真の分布を有するが，コアサンプリング中のさまざまな乱れや，試験者の採取コアの選択によって，真の特性を過大にあるいは過小に評価する可能性がある点が指摘されている．このような問題を解決するために，前記事例でも示したように，連続したサンプルを採取し，コア写真の記録，目視観察，試料採取率などを加味して，固化処理土の連続性と試料の強度を定量的に評価する試みが行われている．また，日本建築学会[13]では，建築基礎として深層混合処理を適用する場合，実大規模の大きさの改良体強度とコアサンプルの強度を対比し，破壊確率を考慮して品質管理する手法や，設計基準強度を決定

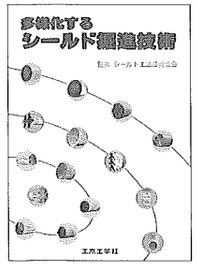
する考え方を示しているため参照されることを勧める．

以上，都市トンネルのための地盤改良工法として，セメント固化改良工法について工法概要と設計法，代表的な施工法,品質管理について示した．セメント固化改良は，その目的や用途によってさまざまな適用がされ，設計も一律の基準で行われるものではなく，その特性に応じて適切に検討を行う必要がある．次号では，セメント固化改良工法を実際に適用した施工事例中心に，検討方法から品質管理方法までを紹介する．是非そちらも参考にしていただきたい．

(文責：坂梨利男・藤崎勝利/鹿島建設(株)，田中博之/ケミカルグラウト(株)，竹内秀克/(株)不動テトラ)

参 考 文 献

1) セメント協会：東日本大震災におけるセメント系固化材を用いた地盤改良に関する調査報告書，2013.2.
2) 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工，地盤工学・実務シリーズ31，2013.4.
3) パワーブレンダー工法協会：パワーブレンダー工法技術資料，2013.7.
4) (財)土木研究センター：陸上工事における深層混合処理工法，設計・施工マニュアル，改訂版，2004.3.
5) 吉田宏：高圧噴射撹拌工法の技術的課題と展望，基礎工，Vol.37，No.5，pp.8-13，2009.5.
6) SUPERJET研究会：SUPERJET工法技術資料，2013.10.
7) 沿岸開発技術センター：海上工事における深層混合処理工法，設計・施工マニュアル，改訂版，2008.7.
8) 日本ジェットグラウト協会：ジェットグラウト工法，技術資料(第21版)，2013.10.
9) 大西義裕・近藤睦・服部和司：浜岡原子力発電所耐震裕度向上工事における土木工事，電力土木，No.331，pp.39-43，2007.9.
10) 三瓶智・柏木一夫・小原隆志・芝田正則・藤崎勝利：杭基礎を対象とした鋼殻補強コンクリート地盤改良工法の設計・施工(その3：施工実績編)，第48回地盤工学研究発表会(富山)，No.823，pp.1645-1646，2013.7.
11) 国土交通省関東地方整備局：土木工事施工管理基準及び規格値(H23.4改定)，p.Ⅱ-19.
12) 寺師昌明：機械式撹拌工法の技術的課題と展望，基礎工，Vol.37，No.5，pp.1-7，2009.5.
13) 日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案(2006制定)，2006.
14) 大西智晴：建築基礎における攪拌混合工法の品質管理，基礎工，Vol.37，No.5，pp.35-37，2009.5.
15) (財)日本建築センター：改訂版　建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針―セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法―，2002.11
16) (株)不動テトラ・(株)ソイルテクニカ：CI-CMC工法　先端建設技術・技術審査証明報告書(先端建設技術センター)，2012.1.
17) 加藤博規：重要文化財の沈下対策に用いた地盤改良工事，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，2012.9.
18) 細谷芳巳ほか：セメント系改良材による現場改良土の品質評価，セメント系安定処理土に関するシンポジウム発表論文集，1996.



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

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

トンネルジャーナル

平成25年度「土木学会賞」が授与

土木学会は6月13日に，ホテルメトロポリタンエドモンド(東京・飯田橋)で平成26年度定時総会を開催し，平成25年度の土木学会賞を授与した．
推薦または応募のあった252件のうち，受賞した個人や業績は全94件で，おもな業績は以下のとおりとなっている．

■技術賞

鹿児島3号新武岡トンネルの建設(軟質シラス地山にわが国最大級断面の地中分岐道路トンネルを施工)，鹿児島国道事務所ほか．

ボスポラス海峡横断鉄道トンネルにおける大規模地下駅及び大断面トンネルの建設技術，大成建設．

小土被り・超近接併設施工を克服した扁平断面シールドによる道路トンネルの急速施工―さがみ縦貫川尻トンネル工事―，相武国道事務所ほか．

青函トンネルの耐久性能の検証・評価による健全性の確立，　鉄道・運輸機構ほか．

倉敷・波方国家石油ガス備蓄基地の建設―地下150mに我が国初の水封式LPG岩盤貯槽を建設―，石油天然ガス・金属鉱物資源機構ほか．

首都圏における広域的鉄道ネットワークの結実―東横線渋谷～代官山間地下化工事―，東京急行電鉄．

■環境賞

都市環境との調和に向けた「大橋“グリーン”ジャンクション」の整備・完成，首都高速道路ほか．

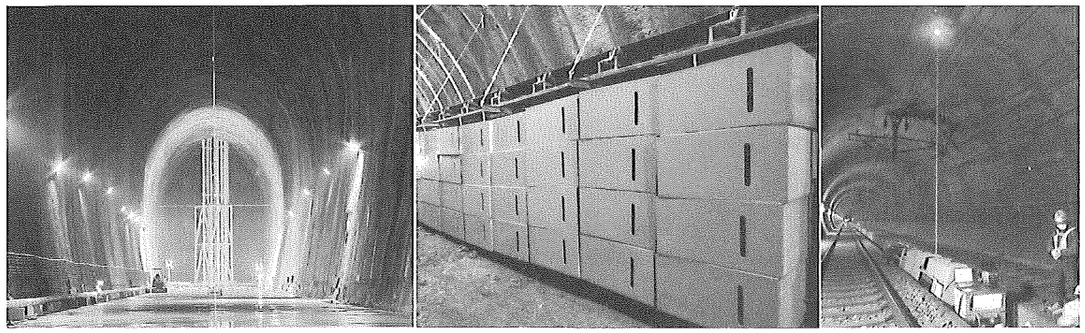
トンネル発破により発生する低周波音を大幅に低減できる吸音ボックス「ブラストウェイブ・イーター(BWE)」の開発と実用化，清水建設ほか．

■技術開発賞

レーザーによる非接触計測技術を用いたコンクリート剝離検査装置の開発，御崎哲一(西日本旅客鉄道)ほか．

密閉型矩形シールド工法(パドル・シールド工法)の開発，金丸清人(清水建設)ほか．

トンネル発破低周波音消音器の開発，本田泰大(大林組)ほか．



左から，倉敷・波方国家石油ガス備蓄基地(技術賞)，ブラストウェイブ・イーター(環境賞)，コンクリート剝離検査装置(技術開発賞)

アンダーパス技術協会　第9回定時総会開催



アンダーパス技術協会は6月13日に，アルカディア市ヶ谷(東京)で定時総会を開催した．

冒頭，植村誠会長より毎年恒例の「元気で長生きの秘訣」が披露された．今年は「笑う門には福来る」のことわざを挙げ，笑顔が医学的にも健康によいことが証明されてきており，笑顔で人と接することにより福を呼ぶと挨拶があった．

事務局より賛助会員1社の入会の報告があった後，平成25年度事業報告・決算報告，平成26年度事業計画・予算を審議し，満場一致で承認された．また，総会終了後，事務局より新工法のSFT工法の工事件数が20件となったと発表され，順調に工事件数が伸びていることが報告された．

先端建設技術研究開発助成の募集

先端建設技術センターは2014年度の先端建設技術研究開発助成を募集する．詳細は同財団のホームページ(http://www.actec.or.jp/)へ．

先端建設技術を活用し，建設事業の効率的な推進に資する土木技術分野の調査研究および開発を対象としており，①建設ロボット技術，無人化施工技術，CIM(計測)技術に関するもの，②社会資本の老朽化対策に資する技術(非破壊検査技術，モニタリング技術)に関するもの，③トンネル施工技術，シールド施工技術に関するものを募集する．

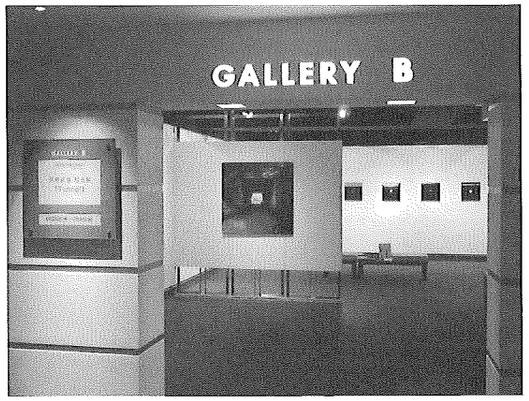
対象者は，①大学，高等専門学校およびこれらの付属研究機関に属する研究者および研究グループ，②法人格を有する民間企業等，③その他の研究者および研究グループとなっている．

原則として1件につき年間200万円を上限とする2件程度を対象とし，期間は2015年1月1日から12月末日．学識経験者らで構成する研究開発助成審査委員会の審査にもとづき，当財団理事長が決定する．

申請は，同財団のホームページで，2014年8月1日(金)から受付け，締切りは9月30日(火)(当日消印有効)となっている．

【問合せ先】
(一財)先端建設技術センター企画部
「研究開発助成事務局」
〒112-0012　東京都文京区大塚2-15-6
ニッセイ音羽ビル4階
電話：03-3942-3991，FAX：03-3942-0424

FOTO PREMIO “Tunnel” 開催



写真家・草野直也氏の写真展「Tunnel」がコニカミノルタプラザ・ギャラリーB(東京・新宿)で6月25日～7月4日に開催された．

草野氏がモチーフにしたトンネルは本誌で扱うような高速道路や新幹線などの長大トンネルではない．ローカル路線の高架下の短いトンネルなど地域の生活観が色濃く漂うようなトンネルだ．

トンネルをカメラのレンズに見立て，また，夜をカメラの中と想定し，本物のカメラで独特な世界を切り抜いていく．そして，そこに映し出される風景や光はフィルムに焼き付けられ人々を魅了する．今後の氏の撮影が期待される．

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
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

一般社団法人
日本トンネル技術協会
会　報

1. 会員の現状

	6月30日現在
個人会員	841名
団体会員	201名
推薦会員	207名
特別会員	13名
名誉会員	0名
賛助会員	155名
合　計	1,417名

2. 委員会の開催状況(6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(6/4)
大島洋志主査ほか9名，7月号の会誌と3か月計画を検討

◎設立40周年記念事業実行委員会

記念誌SWG(6/3)
安井啓祐主査ほか8名，提供依頼文を検討

催物企画WG(6/5)
中間祥二主査ほか4名，イベント内容を検討

作品展示WG(6/12)
吉富幸雄委員長ほか8名，イベント作業状況を確認，作業方針を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

海外ニュースWG(6/30)
清水健志主査ほか8名，英文原稿を査読

海外文献WG(6/17)
福井勝則主査ほか12名，英文原稿を査読

計　6回開催　55名出席

②調査研究関係委員会

◎技術委員会

保守管理技術小委員会打合せ会(6/4)
藤森伸一郎委員長ほか4名，講演会対策を検討

都市トンネル小委員会

シールド変遷史編集WG打合せ会(6/6)
五十嵐俊夫主査ほか8名，作業方針を検討

シールド変遷史編集WG(6/19)
五十嵐俊夫主査ほか23名，業務主旨説明および作業方針を検討

安全環境小委員会(6/13)
豊澤康男委員長ほか17名，安全啓発活動の準備状況確認と方針を検討

都市近接施工ガイドライン編集小委員会

編集WG(6/20)
西田与志雄主査ほか4名，第三章原稿を検討

参考資料WG(6/26)
山元寛哲主査ほか10名，原稿を検討

文献調査WG(6/30)
滝本邦彦主査ほか8名，アンケート調査結果，集計内容を検討

計　7回開催　81名出席

合計　13回開催　136名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第41回ITA総会およびコングレス「Promoting Tunnelling in See Region」	2015. 5. 22～28	ドヴロヴニク(クロアチア)	Croatian Tunnelling Association ITA(国際トンネル協会) http://wtc15.com/
第42回ITA総会およびコングレス「Uniting the Industry」	2016. 4. 22～27	サンフランシスコ(アメリカ)	Underground Construction Association of SME ITA(国際トンネル協会) http://www.wtc.2016.us
第43回ITA総会およびコングレス「Surface problems －Underground solutions」	2017. 6. 9～16	ベルゲン(ノルウェー)	Norwegian Tunnelling Society ITA(国際トンネル協会)

＊会議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

4. 平成26年度催物開催現況

（平成26年７月現在）

催　物　名	開　催　日	人数	場　所	CPD取得単位
（現場研修会）				
東北道路トンネル現場研修会 ―国道108号花渕山２号トンネル―	2014. 6.27	18	宮　城	2.0
中部横断自動車道トンネル建設工事現場研修会 ―八之尻トンネル，宮狩トンネル ―	2014. 7.24	25	山　梨	2.8
北海道道路トンネル現場研修会 **―北海道横断自動車道第二天神トンネル・天狗山トンネル，国道５号忍路トンネル―**	**2014. 8.28**	**25**	**北海道**	
（施工体験発表会）				
第74回(山岳)「課題克服に取り組んだトンネル工事―新技術，創意工夫，周辺環境への配慮―」	2014. 6.24	172	東　京	6.3
第75回(都市)「創意工夫・新技術によるトンネル・地下構造物工事―新設および改良・再構築の施工事例―」	2014. 6.25	114	東　京	5.5

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

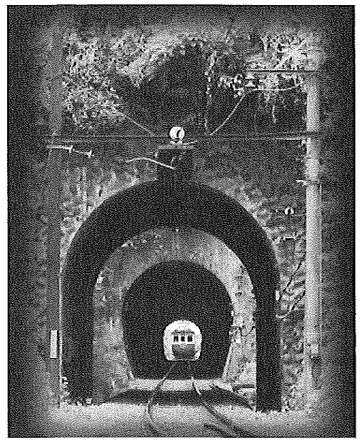
「トンネル・地下空間フォトコンテスト」作品募集のご案内

JTA 40th Anniversary

最優秀賞　１点　賞状，賞金10万円，記念楯
優　秀　賞　２点　賞状，賞金５万円，記念楯
特　　選　５点　賞状，賞金２万円
入　　選　10点　賞状，図書カード（５千円）
協会会長賞　１点　賞状，賞金３万円，記念品

設立40周年記念事業の一環として一般の方に写真を通じ，トンネルや地下に興味を持っていただくことを目的として「トンネル・地下空間フォトコンテスト」を実施することとなり，現在作品を募集しています．

記念事業の統一テーマは，「暮らしを支え，夢を叶えるトンネル・地下空間」としております．思い出に残るトンネルのある風景，環境と共生するトンネルのある風景，未来に残したいトンネルのある風景，私の好きなトンネルのある風景，私が作ったトンネルなどトンネルや地下空間をモチーフとした写真を募集します．応募作品は，記念事業で紹介する予定です．「トンネル・地下空間フォトコンテスト」の募集期間は，平成26年６月～11月となっております．



また，本コンテストについては，国土交通省，東京都，(独)鉄道・運輸機構，東日本高速道路(株)，中日本高速道路(株)，西日本高速道路(株)，東京湾横断道路(株)，首都高速道路(株)，阪神高速道路(株)，東日本旅客鉄道(株)，東海旅客鉄道(株)，西日本旅客鉄道(株)，東京地下鉄(株)，電源開発(株)，(公社)土木学会，(一社)日本建設業連合会，(公社)日本道路協会，(一社)日本民営鉄道協会，(一社)日本地下鉄協会よりご後援をいただいております．なお，応募要領の詳細は，トンネル技術協会のホームページをご参照ください．

応　募　資　格：制限はありません．
※小中学生や工事関係者の応募も歓迎します．
※プロカメラマンの方はご遠慮ください．

応募サイズなど：カラーまたはモノクロプリント
２L判(キャビネ)～四つ切

応募締め切り：平成26年11月30日(日)必着

応　募　方　法：プリントしたものに応募票を貼付のうえ，直接当協会に郵送してください．
応募作品は一切返却いたしません．ただし，入賞作品で作品の撮影原版(ネガ・ポジ・電子データ)を提出していただいた撮影原版は当協会が複製を作成後，撮影者に返却します．
作品の電子データでのメール応募，CD-Rなどの電子媒体による応募は受け付けません．

その他注意事項：応募作品は他の作品との著作権問題や，人物写真においては肖像権に抵触していないことを十分に確認してください．応募作品に著作権や肖像権の問題が発生しましても，当協会には一切関係なく，その責任・解決はすべて応募者に帰属するものとします．
立ち入り禁止区域での撮影・過剰演出(やらせ写真)など公序良俗に著しく反した場合は失格とします．

応募および問い合わせ先：
〒104-0045　東京都中央区築地 2-11-26　築地MKビル６F
TEL：03-3524-1755　　FAX：03-5148-3655　　担当：田中
ホームページURL：http://www.japan-tunnel.org/

個人会員加入のお誘い

技術の習得のために個人会員に加入してはいかがでしょうか．協会ホームページの申込書で簡単に入会手続ができます．

□個 人 会 費：年12,000円(月1,000円)
□メリット１：協会の機関紙「トンネルと地下」を毎月，無料でお届けします．
□メリット２：協会刊行図書が個人会員価格で購入できます．
□メリット３：協会開催の各種催物に個人会員価格で参加できます．

9月号予告[9月1日発売予定]

●圧密沈下に起因するシールドトンネルの変形予測手法
●新幹線トンネルにおける路盤隆起対策
●首都高速横浜環状北線
●国道17号　新三国トンネル
●新東名高速道路　徳定トンネル
【連載講座】
●都市トンネルにおける地盤改良工法(4)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆ジャーナル(80頁)でも紹介しましたが，6月の末，東京・新宿で開催された写真家・草野直也さんの写真展「Tunnel」を見に行きました．草野氏がモチーフにしたトンネルは高速道路や鉄道のトンネルのように人が通行できないものではなく，本当にわれわれの身近にある数メートルのトンネルでした．あまり表情のないトンネルというむずかしいテーマですが，カメラに切り取られた作品はドラマティックでもあり，また，明暗のバランスが絶妙な作品でした．

◆来年40周年を迎える日本トンネル技術協会ではさまざまなイベントが予定されております．その一つに「暮らしを支え，夢を叶えるトンネル・地下空間」というテーマでフォトコンテストを開催されます．生活に密接した身近なトンネルや個人的に好きなトンネル，あるいは，後世に伝えたいトンネル，さらに工事に携わった自慢のトンネルなどさまざまな視点で撮られた写真のエントリーが可能です．ご自分の感性で切り取った思い出に残るトンネルの風景をぜひフォトコンテストへご応募ください．すでに申し込みは開始されており，11月30日が締め切りとなっております．詳細は会報(82頁)または，協会ホームページ内の「http://www.japan-tunnel.org/40thPhotContestPortal」に載っておりますのでご覧ください．

(I.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(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45巻 第8号〔通巻528号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成26年7月20日　印刷
平成26年8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　1,620円(送料110円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

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



図書案内

トンネル技術者のための地相入門

大島洋志　監修，木谷日出男　編著
3,200円＋税　B5判



トンネルの計画・設計・施工にあたって留意すべき"地相"について，施工事例をもとに，豊富な図版と地形図を用いて，ていねいに解説した，画期的な入門書．

山岳トンネル設計の考え方

今田　徹　著
3,200円＋税　B5判



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

わかりやすいトンネルの発破技術

山田隆昭　監修
1,500円＋税　B5判



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

多様化するシールド掘進技術

シールド工法技術協会　監修
2,500円＋税　B5判



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

推進工法の理論と実際

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



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

わかりやすい土木地質学

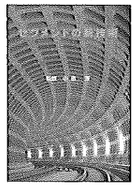
大島洋志　監修
2,500円＋税　B5判



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

セグメントの新技術

小泉　淳　監修
2,000円＋税　B5判



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

続 きみの庭にも温泉が出る

石井康夫・俣野恭寛　共著
1,200円＋税　新書判



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

建設工事の保安地質学〔改訂版〕

石井康夫　著
6,000円＋税　A5判



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

地質工学概論

菊地宏吉　著
4,757円＋税　B5判



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

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

シールドトンネルの新技術

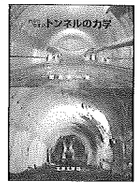
シールドトンネルの新技術研究会　編
4,660円＋税　B5判



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

わかりやすいトンネルの力学

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は，書名，部数，送り先，氏名，電話番号を明記のうえ右記までお送りください．

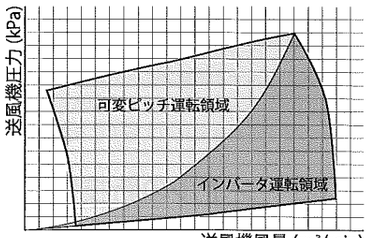
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL: 03 3267 2888　FAX: 03 3267 2807　http:/www.tunnel.ne.jp
株式会社 土木工学社

トンネル工事の必需品
可変ピッチ軸流送風機　ＢＩＧ－ＬＯＧ



BIG-LOG は当社の開発商品です

○可変ピッチとは……必要に応じ羽根の角度を変えて風量調整をおこなう方式　（右上図）
○風量を減らした場合でも圧力変動が少なくインバーター制御には無い幅広い運転領域を確保できます　（右図）
○風管抵抗に合わせて自動可変をおこない圧損調整をするため無駄な電力を消費しません
○風量設定が数値で出来るため一定風量で運転が可能（風量の見える化）



型　　式	能　　力	電　動　機	騒　音　値 機側 5m
CDH1120-30-60(4)W	1000m³/min × 3.92/4.9kPa 1500m³/min × 3.5/2.6kPa	60kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1250-26-80(4)W	1500m³/min × 3.92/4.9kPa 2000m³/min × 1.76/1.76kPa	80kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1250-26-110(4)W	2000m³/min × 4.11/4.9kPa 3000m³/min × 1.8/2.45kPa	110kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	74 ｄＢ
CDH1400-30-175(4)W	3000m³/min × 4.6/4.9kPa	175kW×4P×2 台 50/60Hz　400/440V	77 ｄＢ

※2 段で記載の機種はどちらか選択ができます

長距離でも無駄な風量を自動制御できるという可変式の特性を活かした省電力システム「ｉ-Ｒｅｓ」を開発しました

SUGA スガキカイ

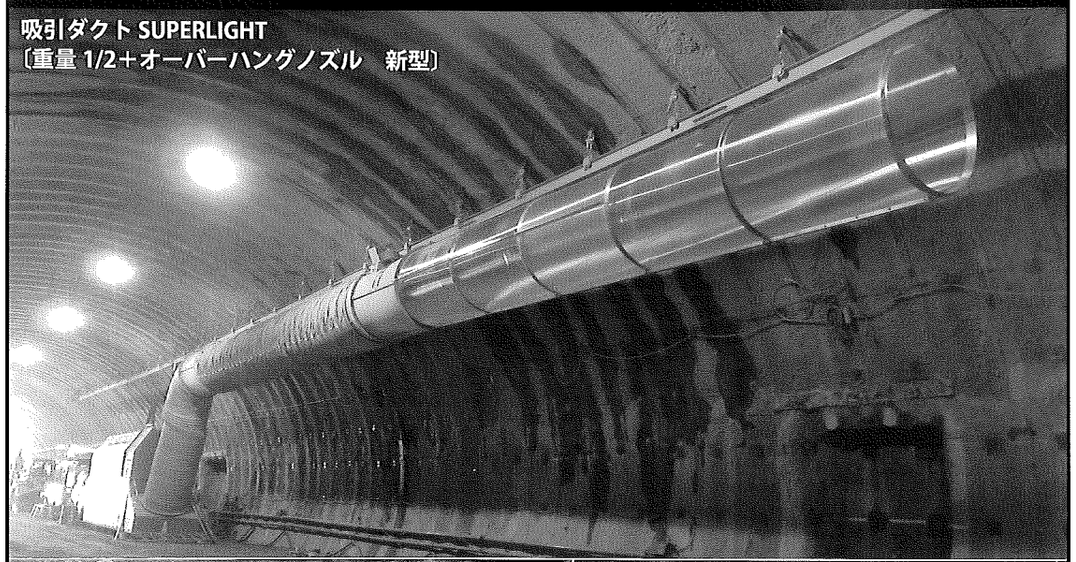
菅機械工業株式会社

90th ANNIVERSARY SUGA

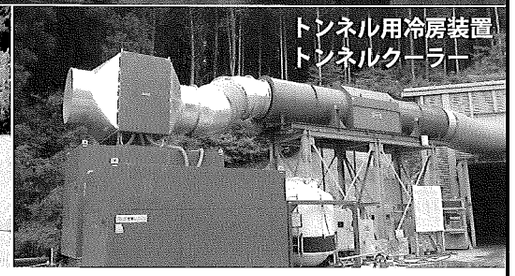
URL http://www.suga-kikai.co.jp

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

流機エンジニアリングだから出来ること
お客様の「できたらいいな」を実現します


吸引ダクト SUPERLIGHT
〔重量 1/2＋オーバーハングノズル　新型〕





除染事業対応装置のご提案
『除染作業を大幅に省力化できます』


集塵・換気設備（10 ㎥/min ～ 3000 ㎥/min）
バキュームシステム
エジェクターユニット（コンプレッサーエアーによる移送装置）

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 いちご聖坂ビル
ＴＥＬ：03-3452-7400
ＵＲＬ：http://www.ryuki.com/
E-mail：eigyobu@ryuki.com
(PC･スマホ専用)