トンネルと地下　平成18年10月1日発行第37巻第10号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
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

三菱重工



トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。

昭和14年（1939年）我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして60余年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。
豊かな21世紀を育むために、三菱重工は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

三菱重工業株式会社　本社　地中建機事業ユニット　営業グループ　東京都港区港南2-16-5〒108-8215　TEL03(6716)3111
神戸造船所　地中建機事業ユニット　営業課　神戸市兵庫区和田崎町1-1-1〒652-8585　TEL078(672)2876

定価1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-10
4910066191061
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成18年10月1日発行（毎月1回1日発行）　第37巻第10号　通巻434号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 10

vol. 37
no. 10
2006

Tunnels and Underground

小土かぶり破砕質地山における補強対策
土圧シールドの7.5kmにわたる逆解析手法を用いた沈下計測管理
アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進
復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発
初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターンにおける計測結果と考察

日本トンネル技術協会誌



世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

安全性・経済性・高品質

デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

一般吹付け・高品質吹付け

デンカナトミックTYPE-5

・NATMトンネル万能タイプ
・信頼の実績
・優れた急結性
・確かな初期強度、長期強度発現性
・湧水に強い
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10

・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

瞬結吹付け・初期高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

・脅威の初期強度発現性(10分-3N/mm²)
・優れた長期強度発現性
・急結剤による強度低下がない
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》

デンカナトミックUS-32
デンカナトミックUS-50

《デンカスーパースラリーショット》

デンカナトミックUSS
デンカナトミックLSA

・安定した低粉じん吹付けが可能
・確かな初期強度、長期強度発現性
・湧水、低温に強い
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

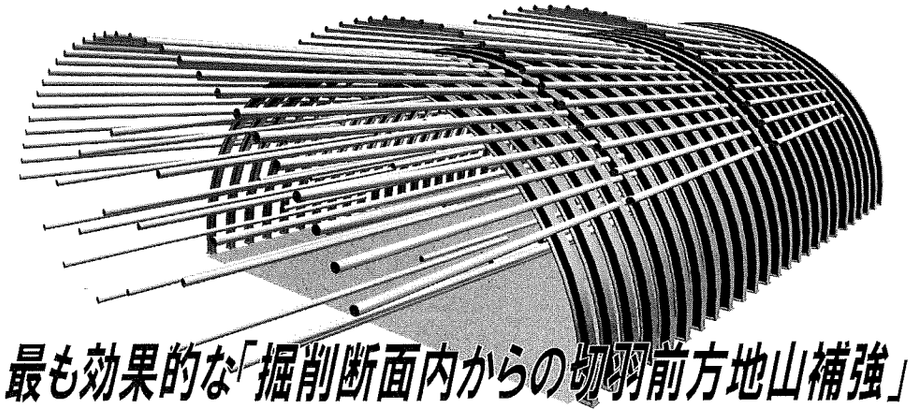
◆トンネル関連製品
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・デンカクリアップ･･･吹付けコンクリート用粉じん低減剤
・デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材
・デンカパワーCSAタイプS／タイプR･･･コンクリート用膨張材
・デンカハードロックⅡ･･･アクリル系接着剤(ひび割れ注入，シート接着)

DENKA
電気化学工業株式会社
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

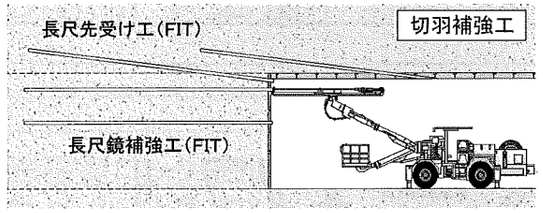
全方位 GFRP 管長尺補強システム

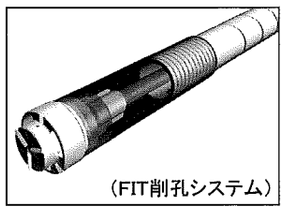
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

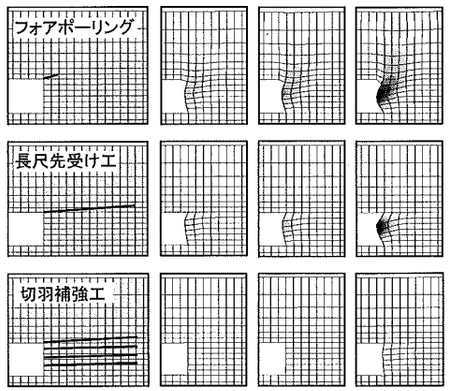
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE

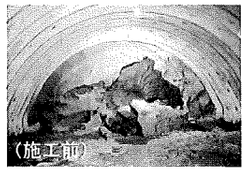


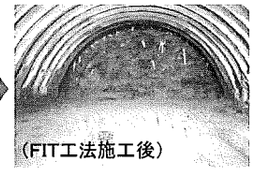
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」

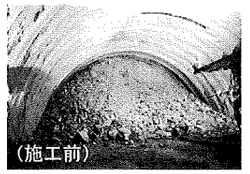



(FIT削孔システム)




(施工前)


(FIT工法施工後)


(施工前)


(FIT工法施工後)

(数値解析による切羽補強効果の検証例)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

東京土木営業部	TEL(03) 3798-8511	FAX(03) 3798-8516
大阪土木営業部	TEL(06) 6363-1884	FAX(06) 6313-0755
名古屋支店	TEL(052) 223-1050	FAX(052) 223-1059
札幌支店	TEL(011) 751-4681	FAX(011) 751-4682

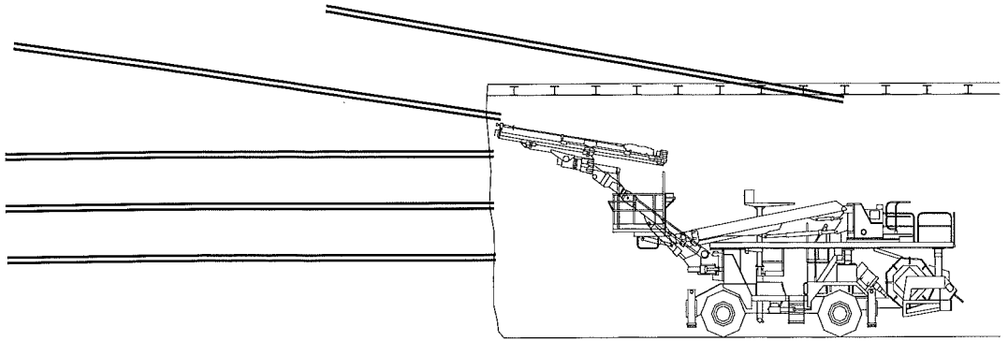
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

パノラマ工法は切羽から長尺樹脂管（GRP管）を打設しシリカレジンを注入することで切羽前方地山を効果的に拘束するための全方位マルチパターン地山補強工法です。
特殊強化樹脂管を切羽から全方位に打設することで、天端部の先受工と併せて鏡面補強も同時に施工することができ、切羽の安定性を高め、掘削の安全性を向上させます。



アルカリフリー型液体急結剤

AFK－777J

『 AFK-777J 』は、コンクリートとの混合が良く付着性に優れ、液体急結剤を少量のエアで添加するため、従来の粉体急結剤と比較して、粉じんやリバウンドが低減されます。

また、液体急結剤吹付けコンクリート用高性能減水剤『404シリーズ』を併用することで、安定した品質の吹付けコンクリート施工が実現できます。



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

KATECS

発泡型シリカレジン

SR－L

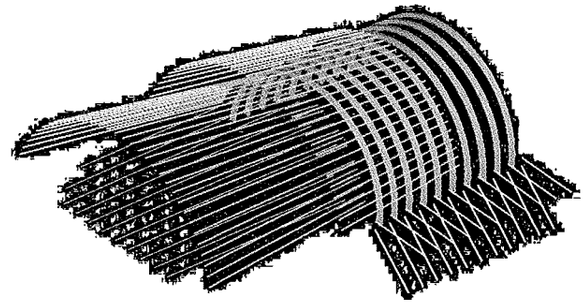
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

注入式長尺先受工法

AGF工法
AGF－P工法
AGF－S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

KATECS
株式会社 カテックス 建設資材事業部
http://www.katecs.co.jp/

本　　社　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号
技術営業部　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164

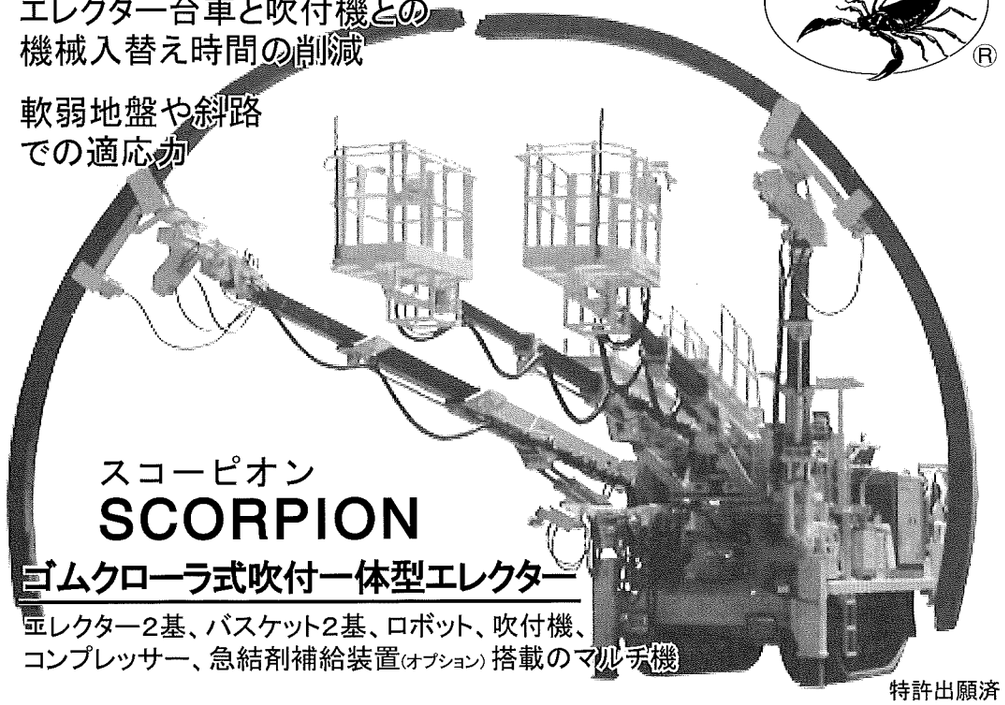
中部営業部　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164
東京支店　〒112-0014　東京都文京区関口1丁目15番3号　TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648
関西営業所　〒550-0015　大阪市西区南堀江4丁目1番18号　TEL 06-6578-3235　FAX 06-6578-3237
広島事務所　〒735-0022　広島県安芸郡府中町大通1-2-13　TEL 082-285-6601　FAX 082-285-6651
九州営業所　〒816-0932　福岡県大野城市瓦田4-15-26　TEL 092-574-0856　FAX 092-574-0846
北海道地区　〒003-0011　札幌市白石区中央1条5丁目8番2号　㈱エイチ・アール・オー　TEL 011-821-5868　FAX 011-821-6644

Tonneru no Rental

エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

軟弱地盤や斜路
での適応力

Scorpion®

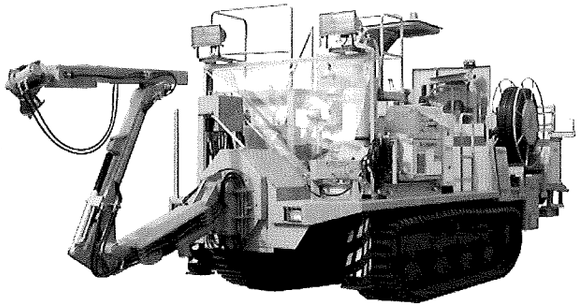


スコーピオン
SCORPION
ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

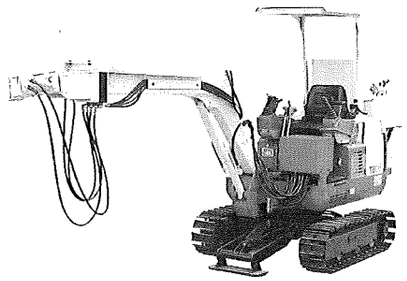
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション) 搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



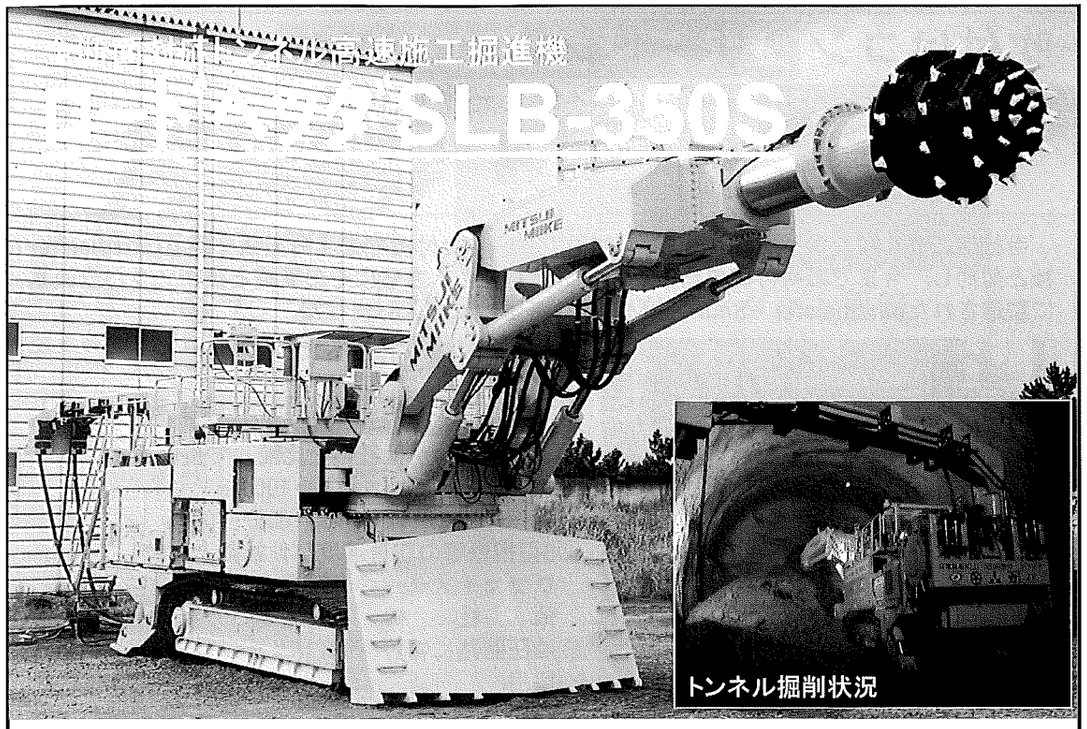
MBTL：小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機



MR：小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画
URL http://www.tonneru-rental.co.jp/

株式会社 トンネルのレンタル
〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地２８６−１
TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp



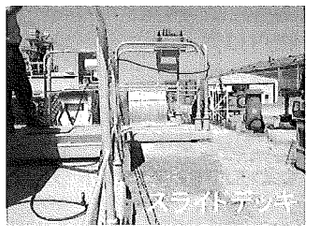
大断面トンネル用高速施工掘進機
ミニモグラ SLB-350S

トンネル掘削状況

大断面トンネルの高速施工を目指して

特　徴

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



スライドデッキ

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

販売・レンタル及びメンテナンス ミイケ機材株式会社 本社／〒103-0021 東京都江戸川区中央１丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

札幌営業所 TEL. 011-644-9110 ／ 仙台営業所 TEL. 022-247-7155 ／ 新潟営業所 TEL. 0258-47-1085
名古屋営業所 TEL. 052-895-5460 ／ 大阪営業所 TEL. 06-6308-1090 ／ 福岡営業所 TEL. 0944-59-6201

製造元 販売元 株式会社 三井三池製作所 本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203
http://www.mitsuimiike.co.jp E-mail koken@mail.mitsuimiike.co.jp

吹付けコンクリートシステム

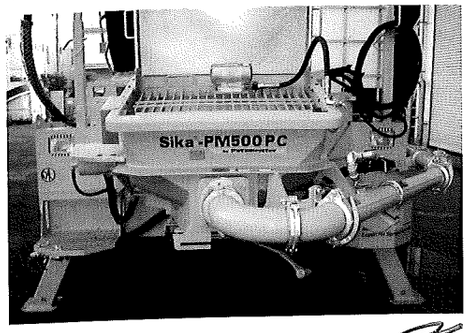
Experts on Sprayed Concrete

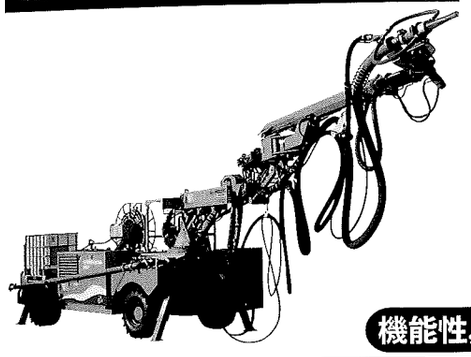
コンクリート吹付機

Sika®-PM500 PC

by Putzmeister

当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し，今までの吹付機の発想をことごとく変え，さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®-PM500PC を国内に導入しました.





特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

①シリンダーが他社機と比較して長い
　プツマイスター　　L＝1000㎜
　他　社　機　　L＝600～700㎜
②S型揺動管の切替速度が他社機と比較して速い
　プツマイスター　　0.15sec
　他　社　機　　0.20～0.30sec
③油圧回路に特許FFH(フリーフロー回路)機能を採用

この三大特長によって，吹付け時の脈動が非常に少なく，またそのことに関連して息つぎが防止され，コンクリートの付着性が著しく向上，作業時間の短縮，飛散リバンドの減少，さらに部品の消耗，油圧ホース，油圧ポンプ等々を含めコストダウンその減額を可能とします.

コンパクトで群を抜く使いやすさ！

機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

吹付けコンクリートシステム
　putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機
　Putzmeister S.A.
　一体型吹付機・特殊型吹付機
　設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

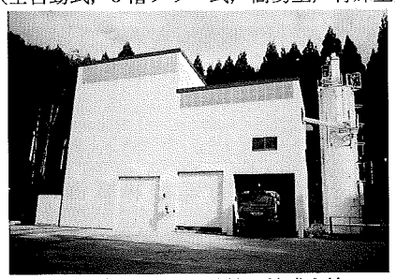
VOLVOダンプトラック
(A25C-TS，A25C-TR，A20/30C-T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

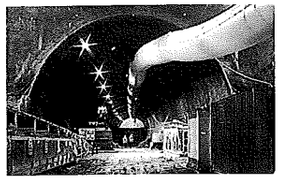
バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)

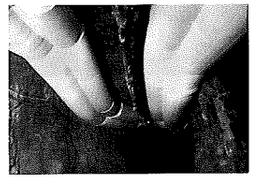


設計・製作：名岐機器株式会社

トンネル換気システム

ABC VENTILATION SYSTEMS





●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管

総代理店　東友エンジニアリング株式会社

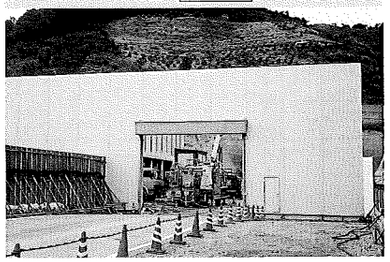
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



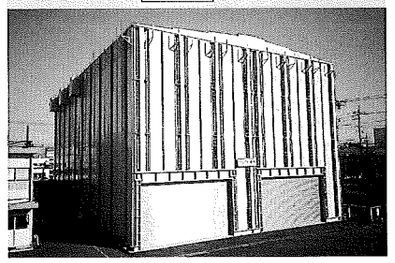
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



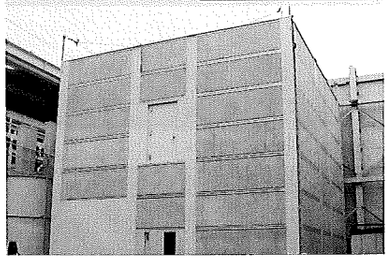
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

〒102-0073　東京都千代田区九段北3-2-5　TEL：03-3234-8901　FAX：03-3234-8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03-5226-5971　FAX：03-5226-5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299-27-6211　FAX：0299-27-6233

自削孔
NTロックボルト PAT.P

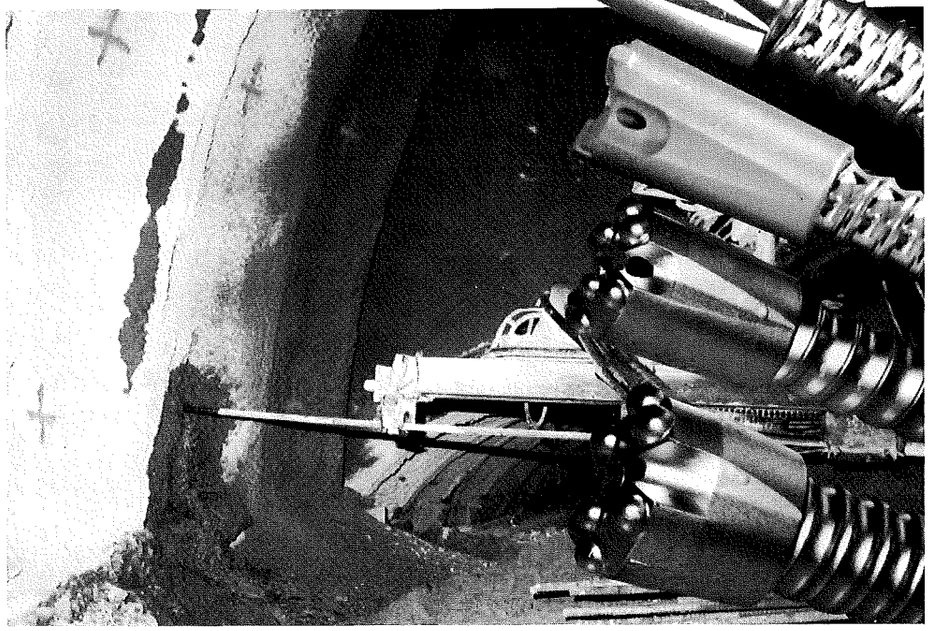
特　徴

自削孔：削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。

施工性：スイベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。

左ネジ：削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの打設が可能。

多様化：適応地山、使用目的に適応した４種類のロックボルトと各種ビットがある。



ＮＴロックボルト本体仕様

種　類	ＲＢ－３０	ＲＲ－３２	ＲＡ－４０	ＦＰ－７３
材質及び形状	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、ロープネジ	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、台形ネジ
寸　法	28.5D＊11d(P13.0)	31.0D＊16d(P12.7)	39.6D＊18d(P13.0)	72.0D＊54d(P8.0)
重　量	3.5kg	3.5kg	6.6kg	12.5kg
耐　力	≧19ｔｆ	≧19ｔｆ	≧35ｔｆ	≧60ｔｆ
破断荷重	≧25ｔｆ	≧25ｔｆ	≧50ｔｆ	≧80ｔｆ

製造元 **日東鐵工株式会社**

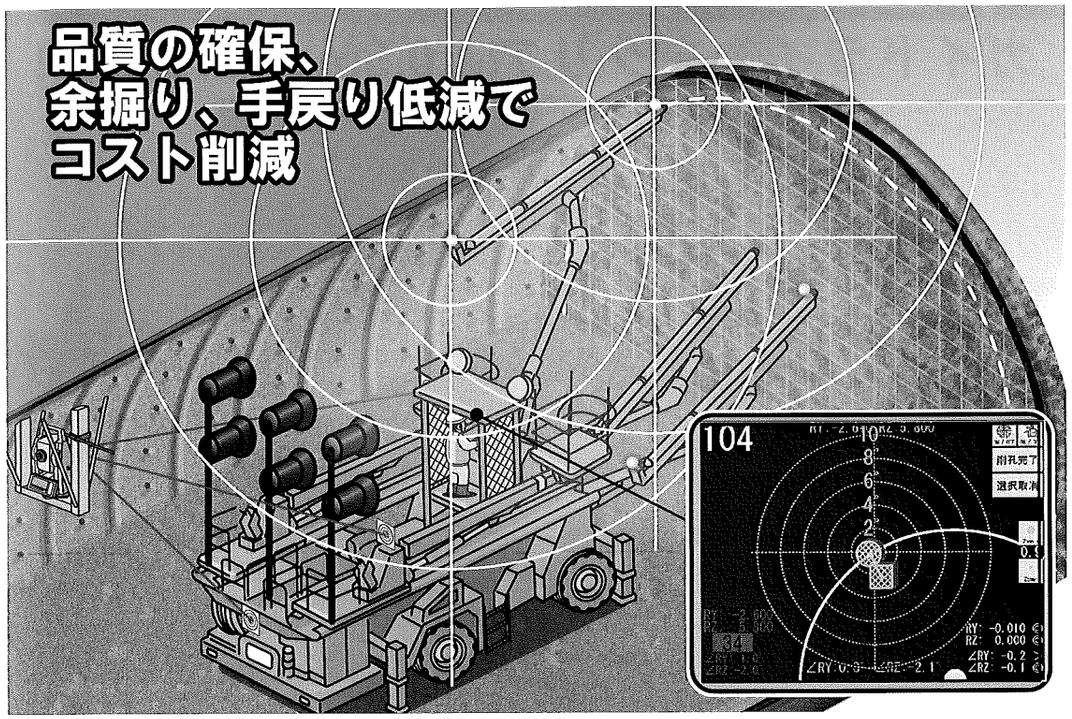
本　　社　〒142-0043 東京都品川区二葉４－１－20 ＭＣ中延ビル
ＴＥＬ　03－5702－０１６１(代表)
ＦＡＸ　03－5702－０　１　６　５

中国営業所　〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 ＹＡＦ内山下ビル
ＴＥＬ　086－234－４　８　０　０
ＦＡＸ　086－234－４　４　０　０

相模原工場　〒229-1112 神奈川県相模原市宮下１－１－38
ＴＥＬ　042－773－４１１１(代表)
ＦＡＸ　042－774－０　９　３　９

ジャンボナビゲーションシステム

3次元リアルタイム画像処理と高精度自動測量により究極の余掘り管理を実現します



★最適な削孔位置、角度の割り出し

3次元リアルタイム画像処理技術によりガイドセルの位置、角度を正確に把握

★オペレーターの作業性UP

最適Pointを運転席モニターでガイダンス

★削孔情報のデータベース化

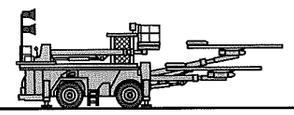
データは数値化され、データベースとして蓄積、次の削孔に活用

★リアルタイムモニタリング可能

オンライン化により事務所でも同時にデータ閲覧が可能

★従来のジャンボがグレードアップ

お手持ちのジャンボに搭載が可能

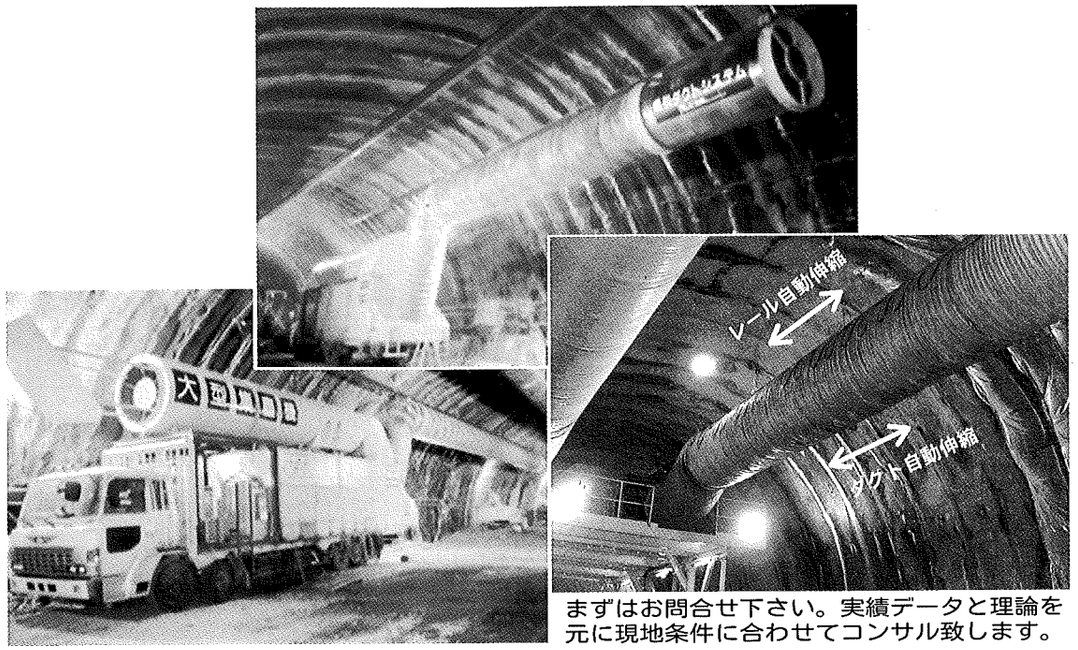


株式会社 演算工房 http://www.enzan-k.com/

■京都本社　〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階　TEL. 075-213-7200 FAX. 075-213-7201
■東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号 川崎パークビルⅠ7階　TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589

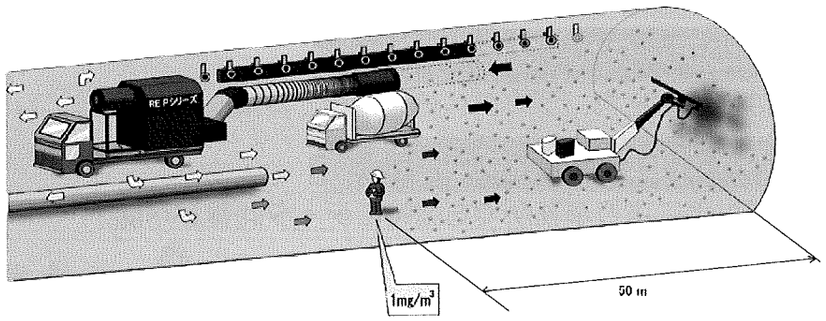
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(※)0.5mg/m³達成!!



まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- 発生源粉塵対策の決定版。
- ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- 掘削工法や作業サイクルに適応。操作にお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- 適応外径はΦ600～Φ1800、負圧－2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。

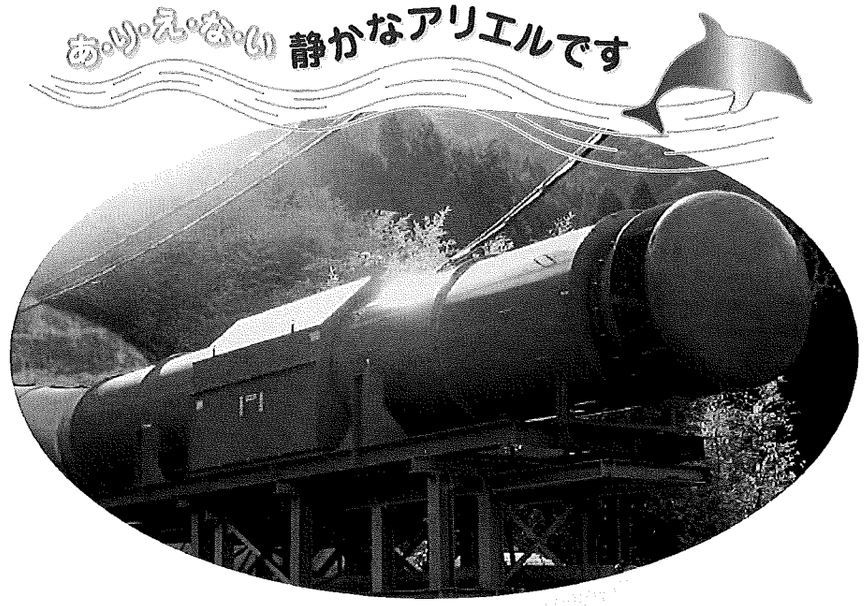


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400（代） FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680（代） FAX：0296（37）7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

今時、静かなのは当たり前!!



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

シールド、都市NATMなどの都市環境や
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。
必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

超低騒音：エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比－5dB
省エネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人－△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高効率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×２～200kW×２の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400（代） FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680（代） FAX：0296（37）7681

高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

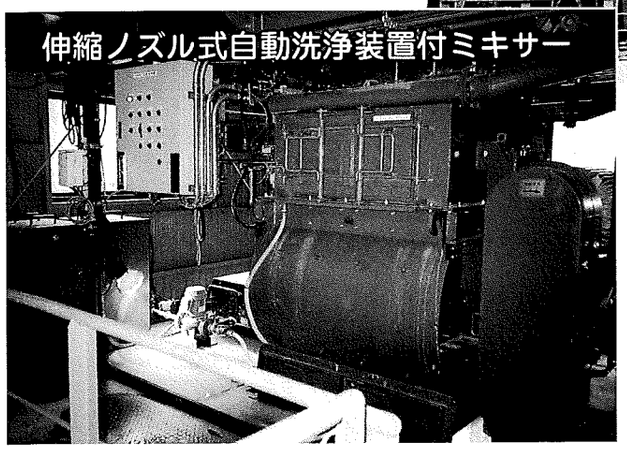
全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。





■ MKS-500KBE-TME型

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減！

生コン洗浄水処理装置

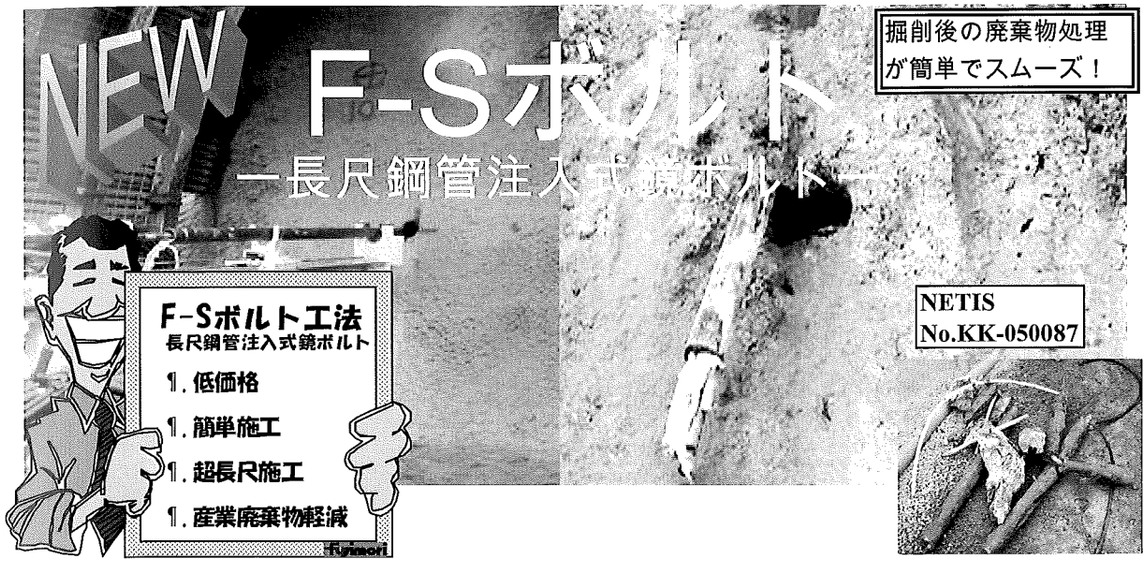
ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

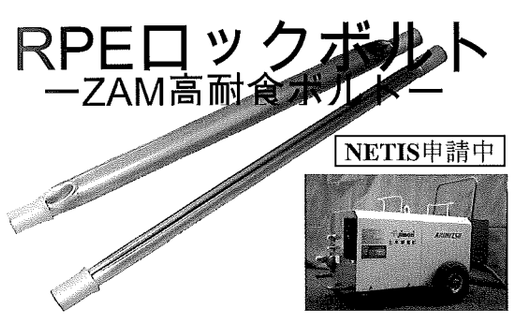
- スチールファイバー供給設備
- 濁水処理プラント（能力 10T/H～100T/H）ユニットタイプ
- 砕石プラント・産廃プラント・ベルトコンベアー　設計・製作
- 油圧バケット、特殊クレーン設計・製作
- ターンテーブル（30ton・重タンプ用・40ton通過）

名岐機器株式会社

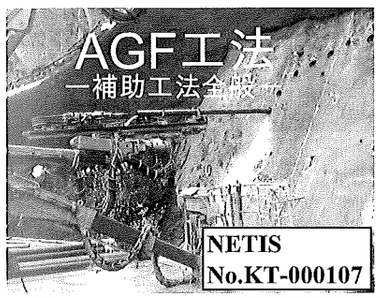
本　　社　岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227　TEL（0584）35-3735㈹
FAX（0584）35-3736

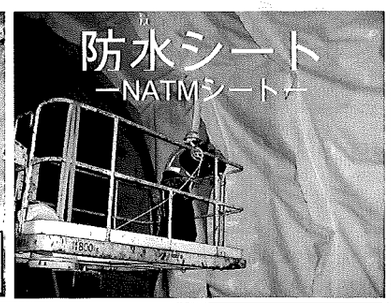
本巣工場　岐阜県本巣市神海
〒503-1235　TEL（0581）32-5066
FAX（0581）32-5565













fujimori

フジモリ産業株式会社

〒141-0022
東京都品川区東五反田２－１７－１
オーバルコート大崎マークウエスト９F

URL　http://www.fujimori.co.jp

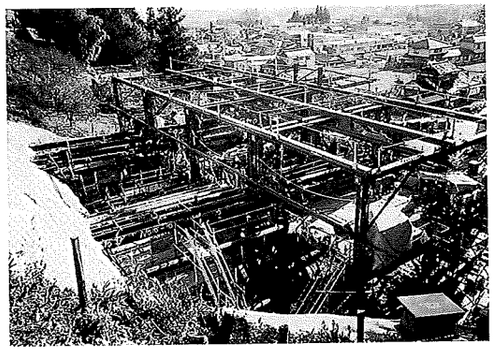
– 東京本社	TEL：03-5789-2384	FAX：03-5447-2073	担当：平山
– 大阪支店	TEL：06-6228-3864	FAX：06-6228-3886	担当：南川
– 北海道営業所	TEL：011-222-4171	FAX：011-221-1370	担当：大黒
– 東北営業所	TEL：022-263-1591	FAX：022-223-0067	担当：村田
– 九州営業所	TEL：092-262-8521	FAX：092-262-6750	担当：北村

ＴＨパイプルーフ工法

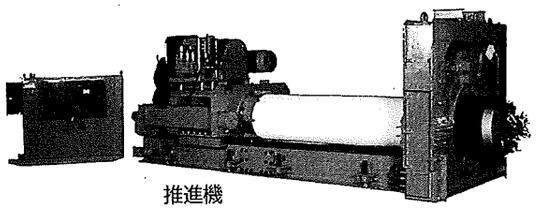
高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

★特　徴★

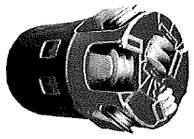
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です。
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易です。）
- オーガ中掘り掘削。地山との空隙に同時注入もできます。
- 推進途中でのビットの交換が可能で層変りに対応できます。
- 適応管径は、φ200～φ1200mmです。
- 最大推進長は、約70～100mです。
- 推進機は推力100t、200t、300tがあります。



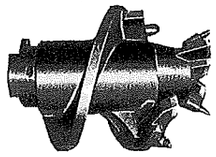
パイプルーフ打設状況（山岳トンネル）



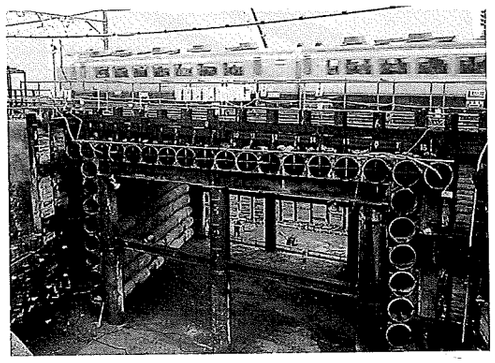
推進機



硬質地盤用ビット



土砂用ビット



パイプビーム工法

〔会　員〕

九州基礎㈱	福岡県	TEL 0946-22-7445	㈱最上機工	山形県	TEL 0233-32-3885
㈱小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299	ケミカルグラウト㈱	東京都	TEL 03-5575-0511
㈱進栄機工	北海道	TEL 011-382-8048	サン開発工事㈱	大阪府	TEL 0726-41-4951
東洋地工㈱	福井県	TEL 0776-53-5335	東邦地下工機㈱	東京都	TEL 03-3474-3143
日特建設㈱	東京都	TEL 03-3542-6401	日本基礎技術㈱	東京都	TEL 03-3476-5701
北條基礎㈱	大阪府	TEL 072-626-1002	㈱山昌	兵庫県	TEL 0727-59-8568

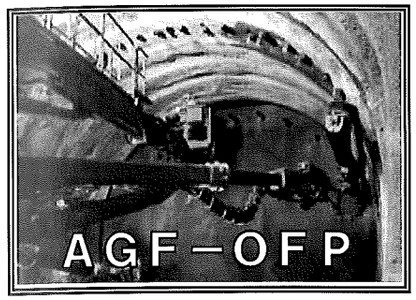
http://www.piperoof.jp

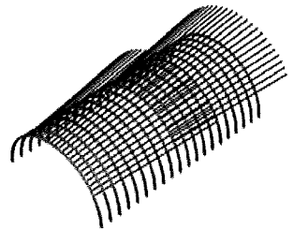
THパイプルーフ技術協会

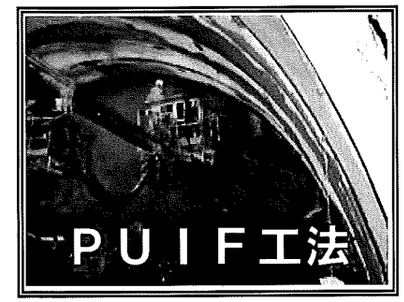
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
TEL 03(3474)3143　FAX 03(3474)3163
E-mail：jimukyoku@piperoof.jp

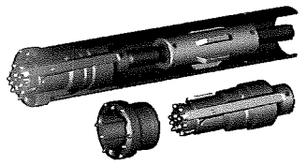
トンネル補助工法【岩盤固結材他】

トンネル補助工法における資材の製造・販売

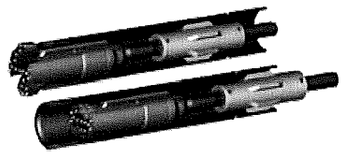




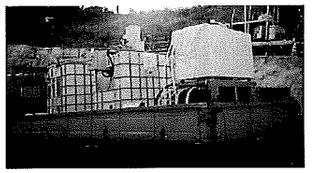




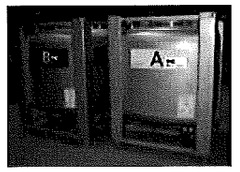




R（リサイクル）コンテナシステム

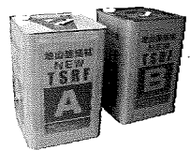


◎環境に配慮した注入システムであり１斗缶の産業廃棄物処理が無くなります。
◎R（ﾘｻｲｸﾙ）コンテナが工場と現場を往復します。



岩盤固結材

New-TSRF



New-TBU



NTRフォーム



＊ 平成18年6月から東海ゴム工業㈱より岩盤固結材に関する事業を継承し製造・販売を行っております。

TMC 株式会社ティーエムシー

本社	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里5-23-3　冠第2ビル5F	TEL. 03-3891-8211	FAX. 03-3803-6380
大阪支店	〒578-0903	大阪府東大阪市今米1-2-1　中辻第3ビル3F	TEL. 072-966-6280	FAX. 072-966-5720
仙台支店	〒984-0826	宮城県仙台市若林区若林2-5-5　SKビル3F	TEL. 022-286-5111	FAX. 022-286-5113
名古屋支店	〒486-0844	愛知県春日井市鳥居松町4-165　春日井中央ビル4F	TEL. 0568-56-4288	FAX. 0568-56-9219
九州営業所	〒839-0809	福岡県久留米市東合川3-12-40 ｱｲ･ｿﾘｭｰｼｮﾝﾋﾞﾙ1F	TEL. 0942-40-8151	FAX. 0942-40-8152
富山営業所	〒933-0806	富山県高岡市赤祖父707　古川ビル2F	TEL. 0766-29-0001	FAX. 0766-29-0002

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

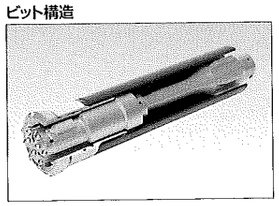
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■用途　注入式鋼管先受け工法・脚部補強・水抜き・フェイスボルト・パイプルーフ・基礎工・アンカー

●ウルトラメックスビット（UMB）打撃削孔式リングロストタイプ

・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合により回収時のトラブルを克服
・穴曲がりを極力抑えたハイスピード削孔を実現
・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

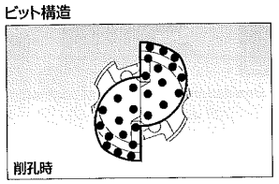
ビット構造

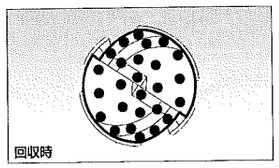


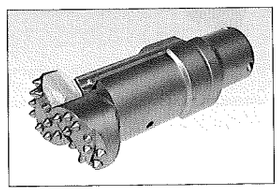
●スーパーメックスビット（SMB）打撃削孔式拡縮径タイプ

・国内外で多くの使用実績を誇るヘッド全可動式拡縮径タイプ
・ヘッド全可動式が可能とする安定した削孔性能
・ヘッド全面を取り替える為、高いコストパフォーマンスを実現
・軟・中硬岩に幅広く対応

ビット構造





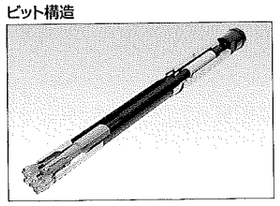


●スモールP（Small-P）システム

●小孔径（2～2.5インチ）打撃削孔式ビットロストタイプ

・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合によりインナーの回収時のトラブルを克服
・穴曲がりを極力抑えたハイスピード削孔を実現
・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

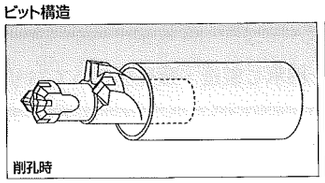
ビット構造

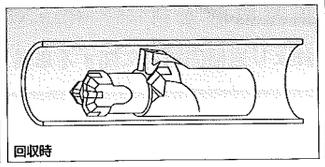


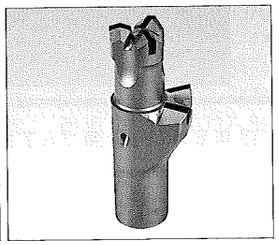
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

・軟質層等軟岩用簡易拡径
・独自の形状・構造の為、使い易い
・シンプル形状の為、製品剛性が高い

ビット構造







※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

三菱マテリアル
●東京支店 ☎(03)5819-5263　●大阪支店 ☎(06)6355-1053　●九州営業所 ☎(092)573-7372　●海外グループ ☎(0584)27-5011

Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

電線共同溝をはじめとする
電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う
光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

1.独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）
・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

2.可とう性に優れる
・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

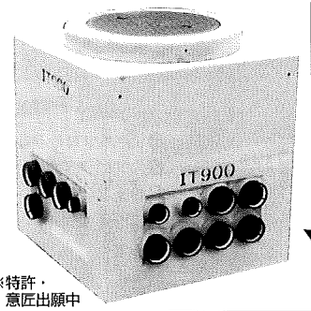
3.優れた性能
・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
・JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

4.摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ

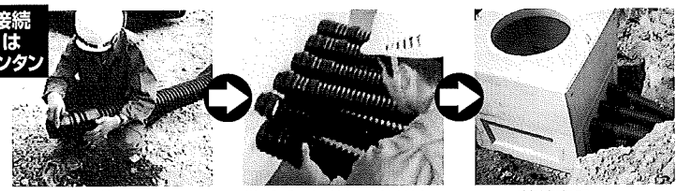


ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・
意匠出願中



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

ワンタッチ継手（ベルマウス付直材）を工場で取り付けてご納品。
管路接続がスピーディー、確実に行えます。

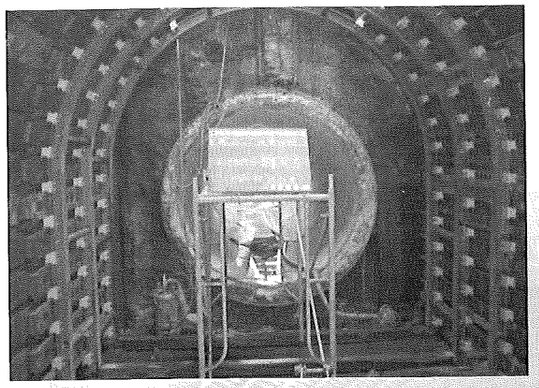
●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

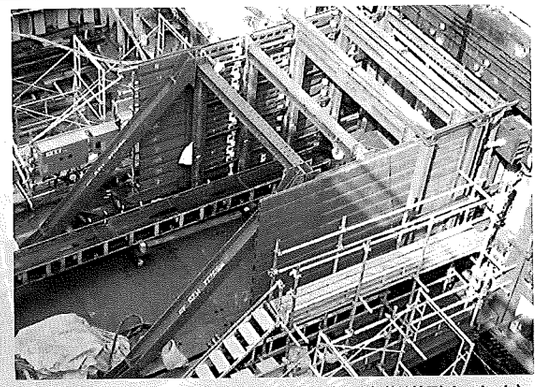
TVコマーシャル放映中　テレビ朝日系「サンデープロジェクト」（日曜　朝10:00～11:45）

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック
東京本社　〒106-6117　東京都港区六本木6-10-1（六本木ヒルズ森タワー17F）
TEL(03)5770-5111　FAX(03)5770-5130
大阪本社　〒530-6017　大阪市北区天満橋1-8-30（OAPタワー17F）
TEL(06)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・新潟・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・北四国・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績(工法指導致します)

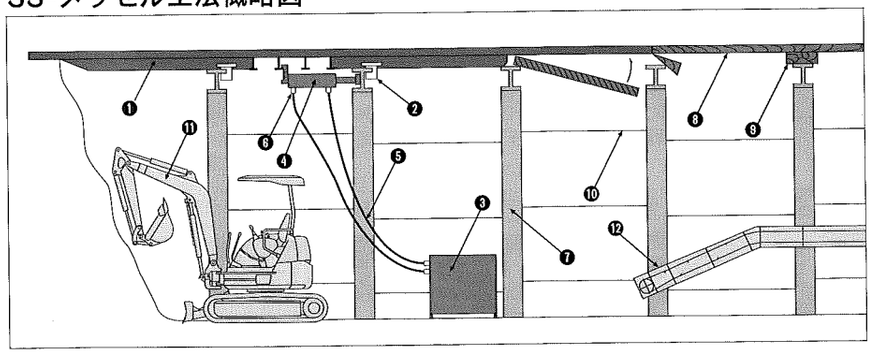
特徴

- 地山をゆるめず任意の断面形状のトンネル掘削ができます。
- 余堀りがなく切羽の掘削と一次覆工が同時に安全に施工できるので地表面が沈下しません。(都市トンネル工事では最適)
- SS-メッセルプレートとスタビライザとの組合せにより、メッセルの離脱及びノーズダウンを防止する構造になっています。直線・曲線掘進に適応します。
- SS-メッセル工法に使用される断面は、支保工の形状に従って、円形・角形・アーチ形・馬蹄形、のいずれでも自由に選べます。

実績

- JR線等線路直下横断工事。鉄道・道路・下水道・共同溝などトンネル工事に多数の実績をもっています。

SS-メッセル工法概略図

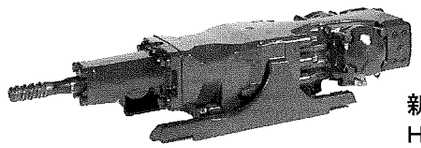


❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンパー
❿径間パイプ、タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

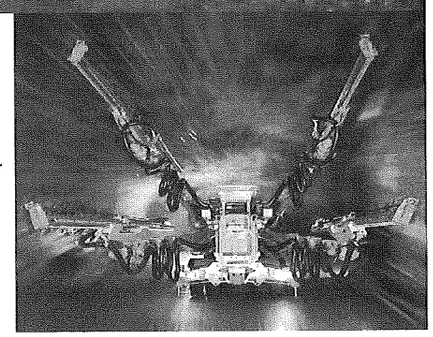
SIETECH 株式会社シーテック
URL http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/

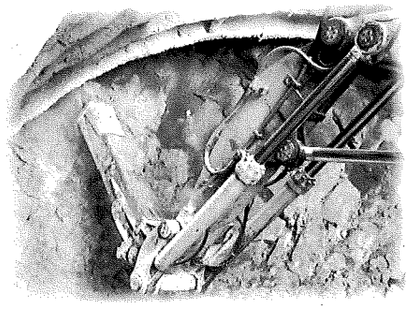
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915





新型高性能ドリフター
HLX5





TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

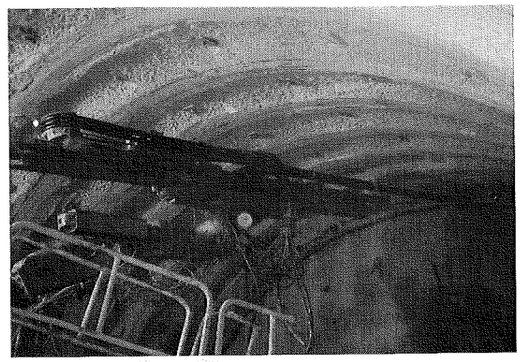
Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661
URL: http://www.SMC.sandvik.com

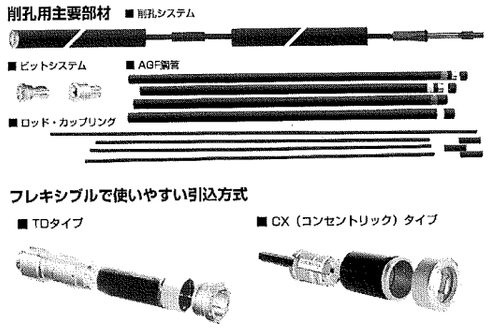
ＴＦＴのトンネル資材

▼ ＡＧＦ工法

トンネル工事において軟弱地山の先行ゆるみ抑制のためAGF鋼管を打設し、その後注入をおこなうことにより地山を安定させ掘削を可能にする工法で、「AGF-φ工法」等があります。

当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。



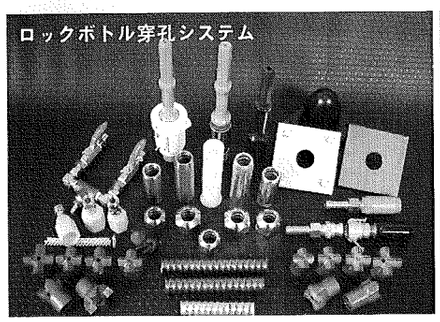


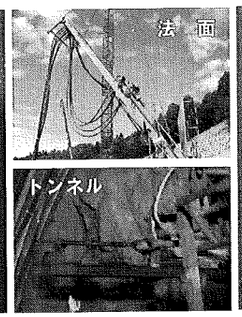
▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

トンネルのフォアパイリング用ボルトから法面用ロックボルトまで幅広く使用されています。どんな削孔機でも施工でき、しかも小型削岩機も使用可能であり足場費の低減が図られます。

また削孔ビットもφ45～φ65㎜と広く準備されています。

品　名	外径㎜	断面積㎟	引張荷重	降伏荷重	せん断荷重
TF22	31.5	375	235kN (24Tf)	196kN (20Tf)	125kN (12.7Tf)
TF26	31.5	420	274kN (28Tf)	215kN (22Tf)	176kN (18.0Tf)
TF32	34.0	500	353kN (36Tf)	274kN (28Tf)	216kN (22.0Tf)







TFT Tube Forming & Technological 株式会社 **ティーエフティー**

〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

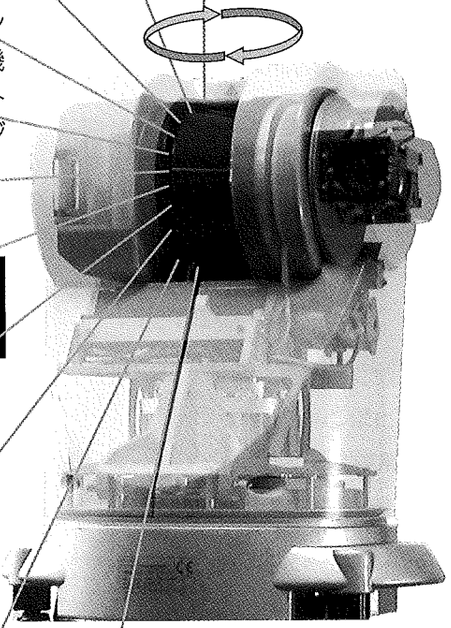
Callidus™ レーザースキャナー

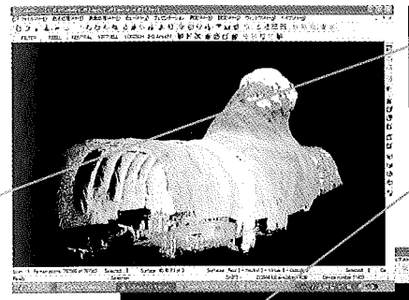
3次元トンネル断面計測機

測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m(1)の範囲を10分で計測できます（機械点前後）。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

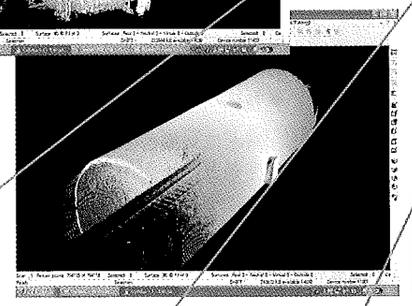
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





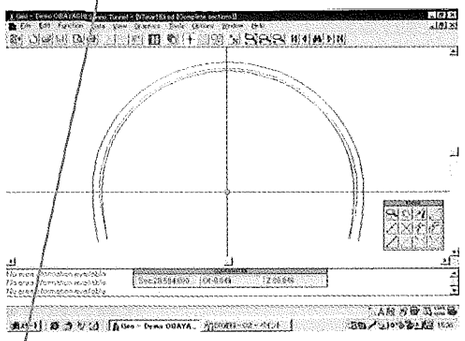
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ（ポリゴン）で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長、観測断面の面積、観測範囲のボリューム計算などが計算・表示・出力できます。



■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ

〒550-0025 大阪市西区九条南4-2-4

TEL : 06-6586-1707 FAX : 06-6586-1277

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

■ 製造元 トリンブルジャパン株式会社

〒135-0007 東京都江東区新大橋1-8-2

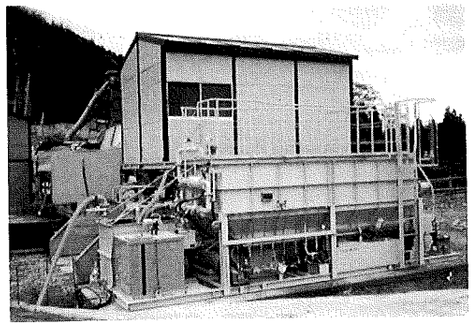
新大橋リバーサイドビル101

TEL : 03-5638-5022 FAX : 03-5638-5016

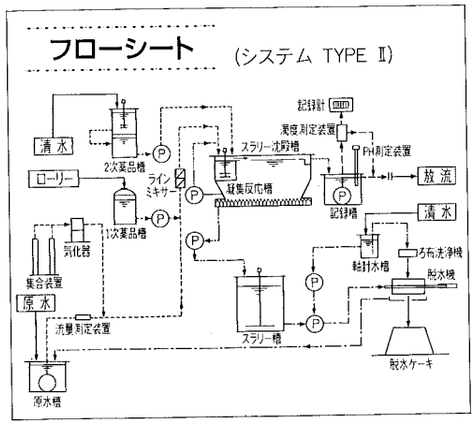
TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力

Waste Water Treatment System



フローシート (システム TYPE Ⅱ)



特　長

1．基礎、土木工事の期間が短く安価である。
設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合せにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式沪板型の脱水機を採用していることから沪布等の消耗費が少ない。
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。

3．シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。

4．運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

脱水機は、全自動無人化タイプを採用している。処理水の水質監視装置及び記録を自動化しており、運転状況の確認が容易である。

5．多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。

6．豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置（異状警報装置と連動）
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置（エアレーション装置等）
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動沪布洗浄装置

シックナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。
あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

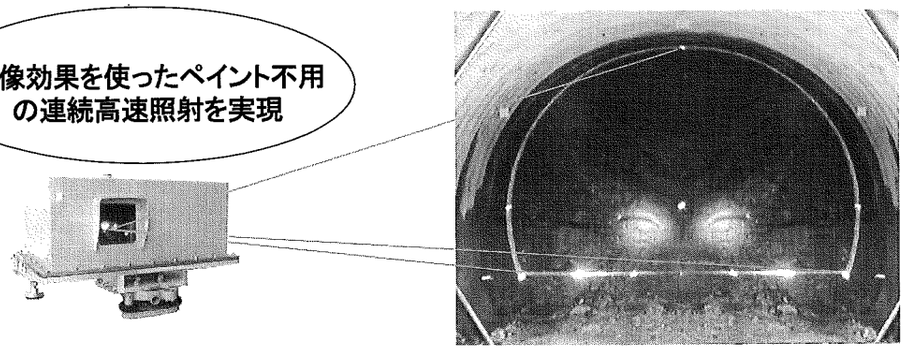
詳細資料請求、お問い合わせは

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

レーザーマーキングシステム

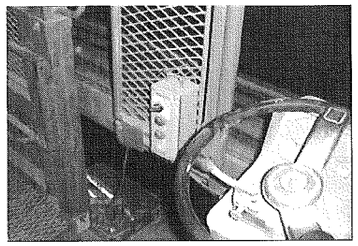
国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現



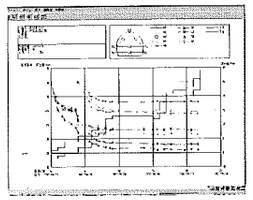
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



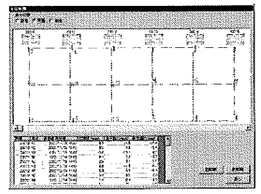


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

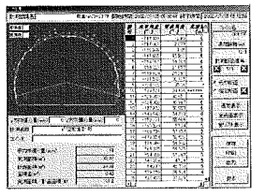
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



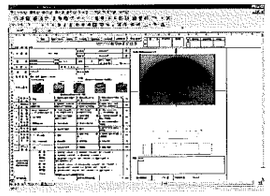
A計測データ処理



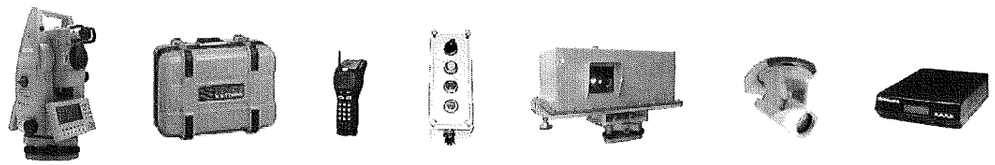
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

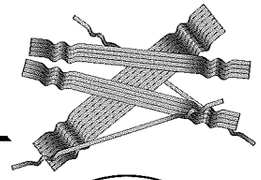
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191　FAX (047) 371-3190

〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

BRIDGESTONE　厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

コンクリートをより強く、よりしなやかに。

タフグリップ コンクリート補強用鋼繊維



地山不良

技術提案

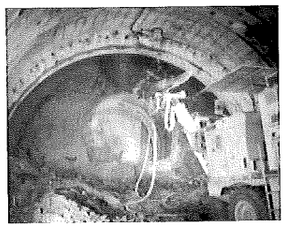
トラブル対応

断層破砕帯
膨張性地山
変形増大

■ 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
■ 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

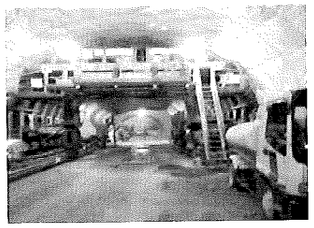
一次吹付

- 吹付のコンクリートの崩落防止（膨張性地山）
- 山はね対策
- メッシュ置換（安全対策）
- 切羽の自立補助



二次覆工

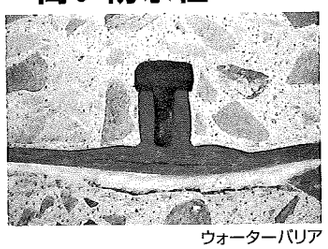
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

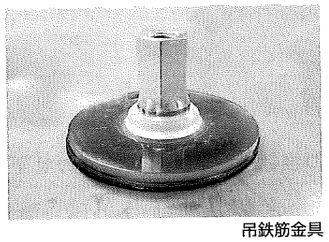
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



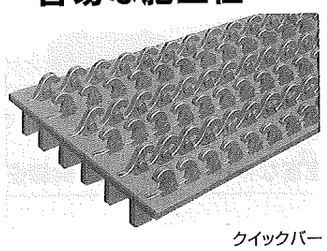
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

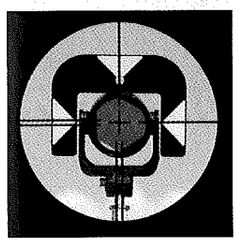
■ 容易な施工性



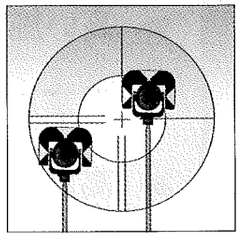
クイックバー

株式会社ブリヂストン
土木・建築資材販売促進第2部
東京都中央区八重洲1-6-6　〒103-0028
TEL.(03)5202-6872　FAX.(03)5202-6874

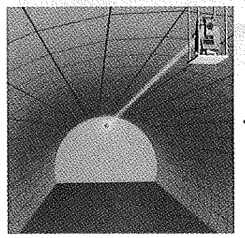




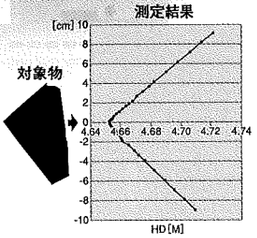
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



自動視準視野が変更可能
制御コマンドを使用して視野を1/3にすることにより、プリズムが近くに並んだ状態でも測定可能。



ノンプリズムの距離延長
新特許技術PinPointR300により ノンプリズム測距範囲500mまで可能。これにより、器械のターニング回数が減少。※対象物反射率90%のとき



ノンプリズム精度の向上
PinPointR300ノンプリズム測定なら、測定対象物の正確なデータ取得が可能。

ライカ ジオシステムズ株式会社　http://www.leica-geosystems.co.jp

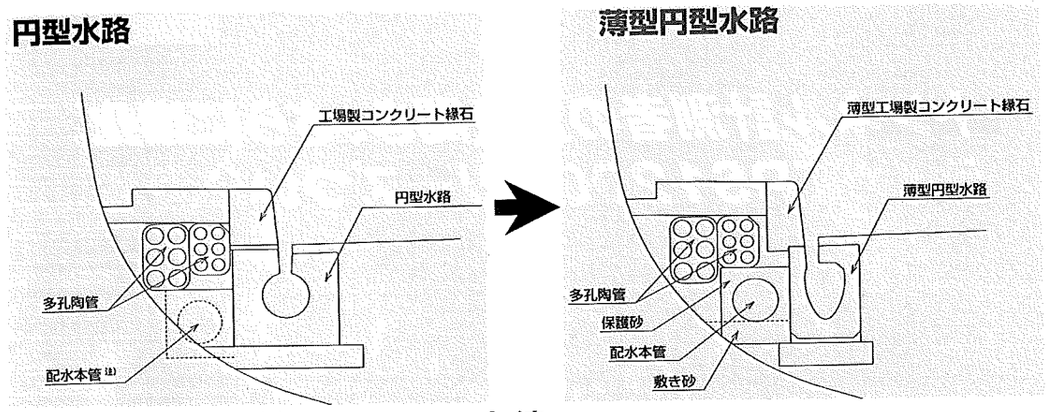
本社	〒113-6591	東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート	Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
テクニカルセンター	〒113-6591	東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F	Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
大阪支店	〒540-6131	大阪市中央区 城見2-1-61 Twin21 MID タワー31F	Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733
福岡営業所	〒812-0016	福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多偕成ビル6F	Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221
札幌出張所	〒063-0829	札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F	Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102

Leica Geosystems

監視員の通路下の管路のスペース確保に

NETIS NO. CB-010015

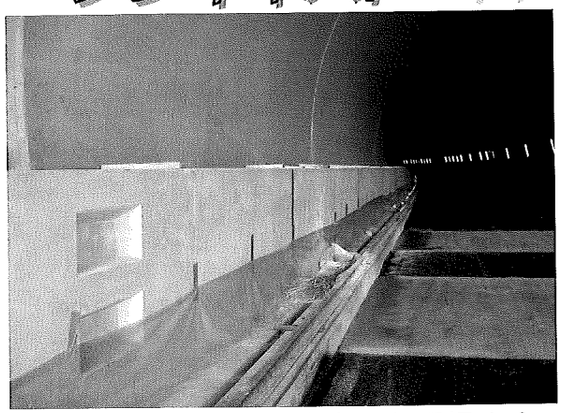
トンネル側溝® 薄型円型水路



- トンネル内だけで80kmの実績
- NEXCO 3社との共同特許
- 全国での製造可能

監視員通路壁の品質確保に

プレキャスト トンネルウォール



- 高い施工性
- 豊富なバリエーション
- 高品質



※当製品は、測量などを含めた現場志向のサービスをご提供出来ます。

TOTAL LANDSCAPE CREATION
GOTO
ゴトウコンクリート株式会社
ISO9001認証登録 JMAQA-1390

本 社／営業本部：〒442-0024 愛知県豊川市西豊町2丁目188番地
☎〈0533〉85-4145㈹ FAX〈0533〉85-4188
http://www.goto-con.co.jp E-mail info@goto-con.co.jp

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

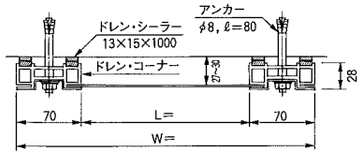
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

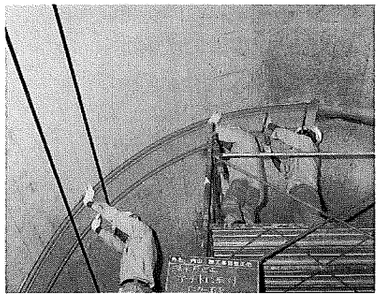
本 社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹ FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

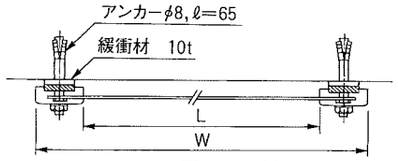
■特 徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

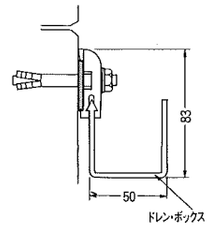
アーチ・パネル



JH 水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン



■特 徴
- スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

ニホン・ドレン工業株式会社
〒910-2166 福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp



機械切削工事に
1.0m³ベース＋MT2000ツインヘッダ

klea

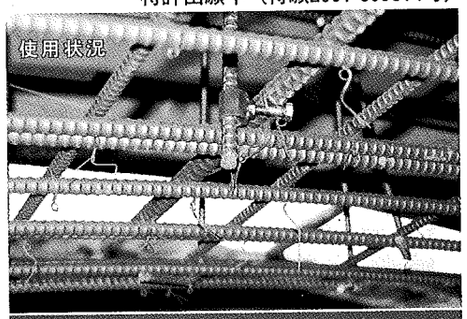
株式会社 ケイ・リー
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372

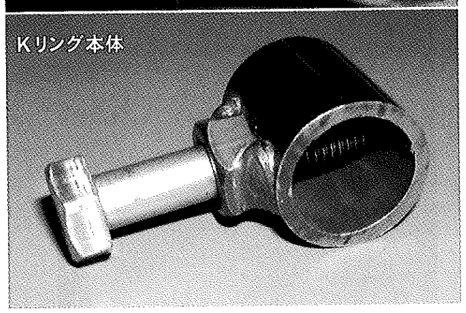
URL http://www.klea-cat.com

コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中（特願2001-309314号）

トンネル工事におけるインバート、アーチ鉄筋組立金物





トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取付けていましたが、"防水シートを焦がす"、"塵肺作業である"、"作業効率が悪い"等問題点が指摘されていました。当社開発のKリングを使用することにより、スピードアップ、コストダウンを可能にすると同時に諸問題をすべて解決することができました。

ご納入実績

鹿島・西松・大豊共同企業体	第二東名高速道路　富士川トンネル東工事
大林・白石・地崎工業共同企業体	第二東名高速道路　掛川第三トンネル工事
奥村組・名工建設・矢作建設工業共同企業体	第二東名高速道路　島田第五トンネル工事

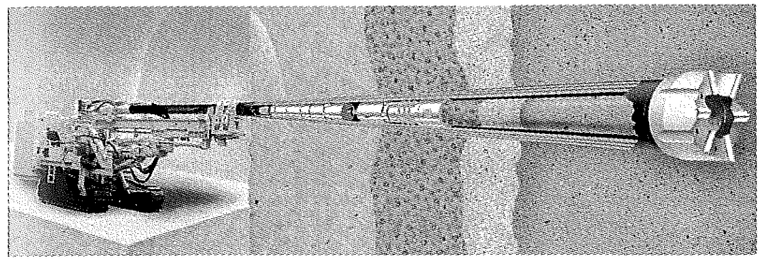
製造・販売元

KTK
ケーティーケー

〒436-005静岡県掛川市弥生町 105 番地
Tel：0537-24-5988 Fax:0537-24-3859
E-mail：ktk@r5.dion.ne.jp
URL：http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■特長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

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

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



様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み
重ねてきた各種ドリルジャンボ製品。
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。



次世代型ホイール式ドリルジャンボ
JTH2200R/JTH3200R
(2ブーム、2ケージ)　(3ブーム、2ケージ)

ホームページ：http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

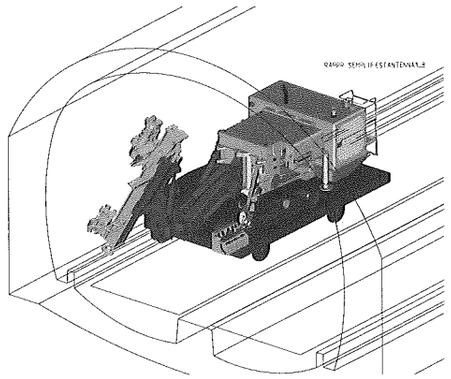
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名：古河機械販売株式会社)

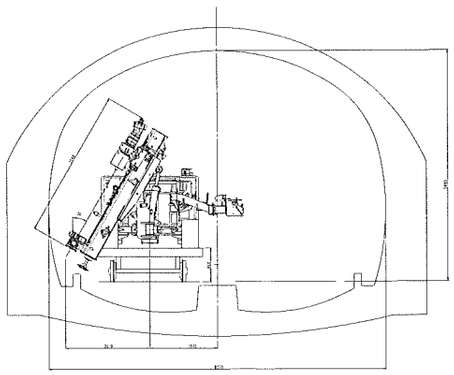
本　　社　〒103-0022　東京都中央区日本橋室町２丁目３番14号　古河ビル　特機営業部　TEL：03-3231-6966

札　幌 ☎011-861-3261　東　北 ☎022-356-5771　関　東 ☎027-322-5953　名 古 屋 ☎0568-77-7700　静　岡 ☎054-620-1641
関　西 ☎06-6475-8221　広　島 ☎082-231-5621　四　国 ☎087-833-4833　九　州 ☎092-948-2010
整 備 工 場　関東工場 ☎027-460-7011　名古屋工場 ☎0568-77-6363　大阪工場 ☎06-6475-8461　九州工場 ☎092-948-2010

トンネルの削孔機械・輸入資材

● 油圧削孔機 SM401 ショートマスト仕様
現場に応じたショートマスト長を選択可能（ロッド長１ｍ～２ｍ）



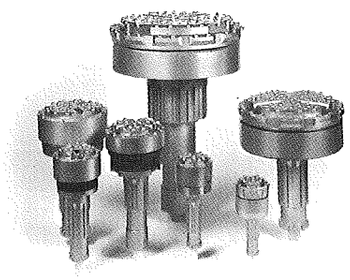


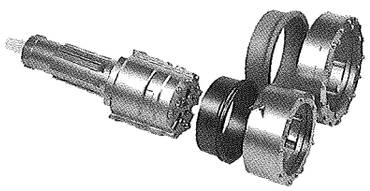
● グラスファイバーチューブ & ボルト
トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。

STAR 500S

WIBOLT STAR

● SOROFLEX［リングビット］
小口径から大口径までケーシングを用いる二重管削孔に最高のビットシステム





SOILMEC Drilling and Foundation Equipment
ソイルメックジャパン株式会社
〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-12　サンバードビル3F
TEL:03(5643)1271 FAX:03(3664)6451 http://www.soilmec-j.com/

トンネルと地下　10月号目次　Vol.37, No.10, 2006 Oct.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

既存設備の資産価値向上に向けて
砂道　紀人……5

■研　　究

復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発
桑原　清・小泉　秀之・松岡　茂・柳　博文……39

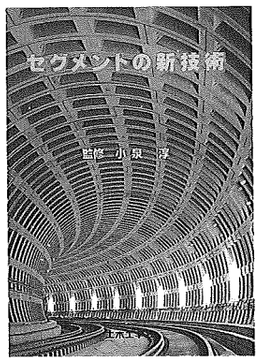
初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターンにおける計測結果と考察
野々村政一・西　恭彦・木内　勉……47

■施　　工

小土かぶり破砕質地山における補強対策
—北海道浦河町町道まきば通線　まきばトンネル—
郷　康則・荒井　隆治・伊藤　由明・村山　秀幸……7

土圧シールドの7.5kmにわたる逆解析手法を用いた沈下計測管理
—チャンネルトンネルレールリンク220工区(ロンドン付近)—
南　敏文・山崎　宏・萩原　敏行……19

アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進
—東京都下水道　第二十二社幹線暫定貯留切替推進工事—
宇田川孝之・吉川　静雄・船越　誠・田村　憲……29



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■連載講座

都市トンネル工事の計測(最終回)
—座談会—
佐藤　亘・斉藤　正幸・清水　幸範・関　聡史・土橋　浩・名倉　浩・
西村　聡・樋口　佳意・三戸　憲二……55

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(最終回)
—Ⅳ．その他の検査手法および変状監視手法—，—Ⅴ．連載のおわりに—
JTA保守管理委員会……67

■現場だより

「人と自然が調和した交流文化のまち」郡上市より
田中　英男……28

「昔石炭，今ししゃもの町」白糠より
後藤　良平……38

■資　　料

トンネル千夜一夜(22)
小野田　滋……36

土木情報
編　集　部……74

トンネルジャーナル
編　集　部……75

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……76

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……77

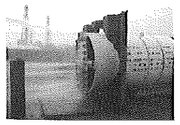
海外文献速報
JTA国際委員会……78

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……80

【表紙説明】

アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進
—東京都下水道　第二十二社幹線暫定貯留切替推進工事—



本工事は，東京都渋谷区笹塚一丁目付近の浸水対策として十二社幹線へ流入する下水の一部を，第二十二社幹線へ切り替える管路を泥濃式推進により築造するものである．

推進路線途中で地中障害物に遭遇することが予測されたため，推進機に備えた超高圧ジェットノズルにより機内から地盤改良を行い，アブレシブジェット水流によって障害物を切断することにより，地上部から施工を施すことなく地中障害物を通過することができるDO-Jet(Double Object-Jet)工法を採用した．写真は，DO-Jet推進機．

〔写真提供：東京都〕(本文29頁参照)

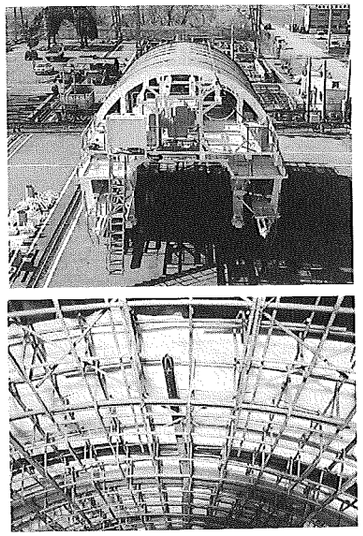
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

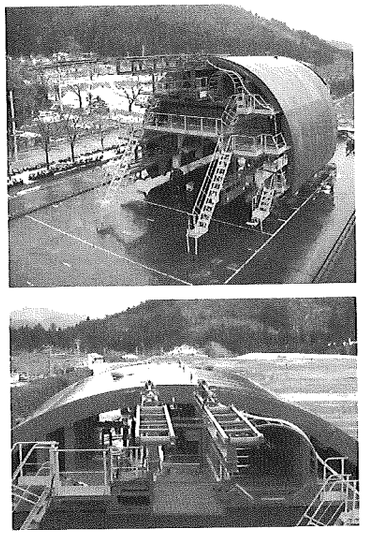
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



効果・特徴

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

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

本社営業部　(058)323-2001
東 京 支店　(03)3262-1285(代)
仙台営業所　(022)259-2239
九州営業所　(092)713-5265

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

会誌ＷＧの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

伊　藤　範　行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長

鈴　木　　明
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

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
技術第二部部長

長　島　芳　雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長

端　　則　夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱　　建　介
株式会社アオバ取締役会長

松　尾　勝　弥
飛島建設株式会社土木本部トンネル統括部長

山　田　邦　博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

山　田　隆　昭
中日本高速道路(株)中央研究所
トンネル研究主幹

山　道　哲　二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山　四　郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島　田　隆　夫
鉄建建設株式会社社友

高　橋　彦　治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田　島　利　男
NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット
トンネル担当

西　松　裕　一
東京大学名誉教授

林　　博
西松建設株式会社専務取締役

松　本　崇　義
(元)東京都理事

丸　安　隆　和
東京理科大学教授

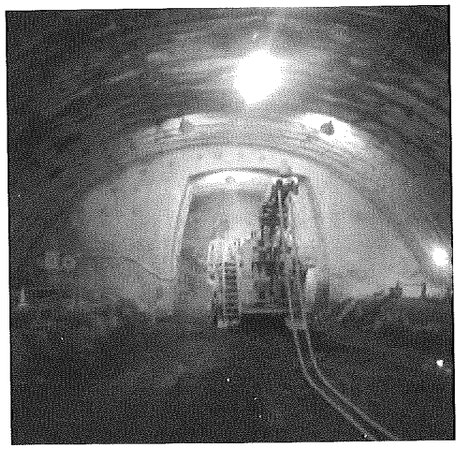
吉　村　　恒
吉村とんねる・らぼ

渡　邉　和　夫
株式会社熊谷組執行役員副社長

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.
http://www.kyb-ksm.co.jp
(旧社名:日本鉱機株式会社)

本社・営業 カスタマーサービス 〒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
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139
西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

定塚正行
日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本定雄
中黒建設株式会社顧問

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸　務
東京都水道局建設部工務課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部主任研究員

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤　亘
東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部
構造技術センター課長

津金昭一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

西村　聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

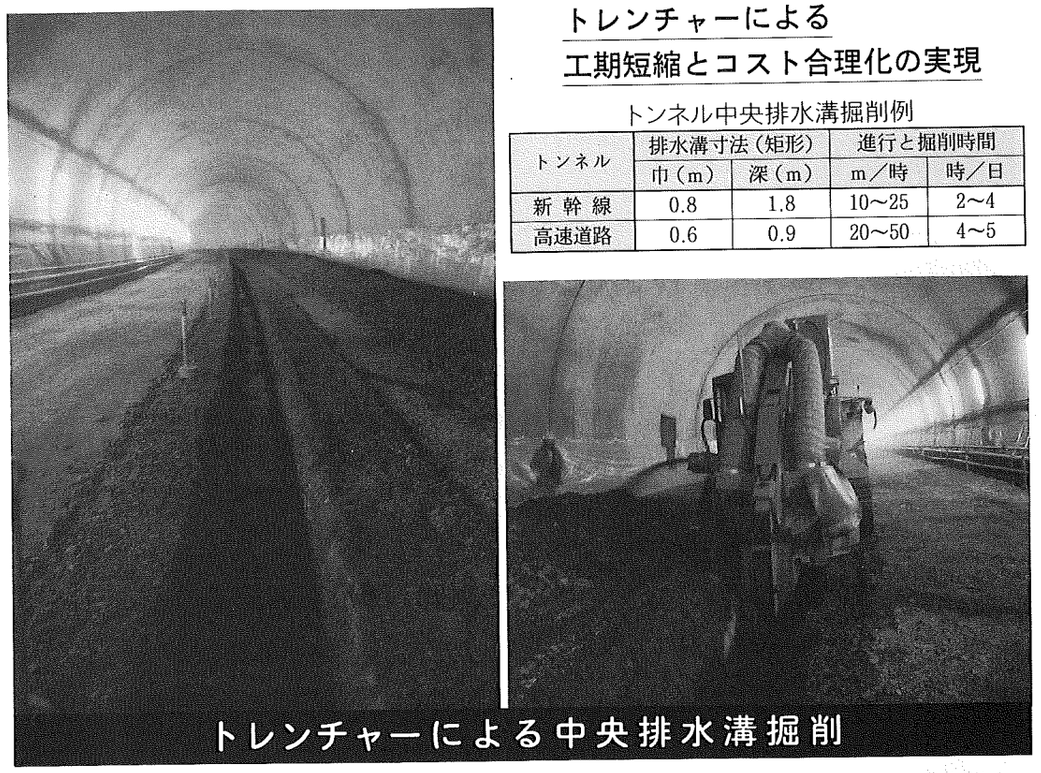
真下英人
独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
上席研究員(トンネル担当)

町田俊二
東京都交通局建設工務部計画改良課長

山田隆昭
中日本高速道路株式会社中央研究所
トンネル研究主幹

岩盤切削機 トレンチャー

TRENCOR inc.
an Astec company



トレンチャーによる
工期短縮とコスト合理化の実現

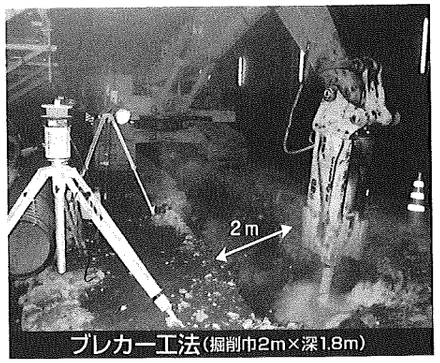
トンネル中央排水溝掘削例

トンネル	排水溝寸法（矩形）		進行と掘削時間	
	巾（m）	深（m）	m／時	時／日
新幹線	0.8	1.8	10～25	2～4
高速道路	0.6	0.9	20～50	4～5

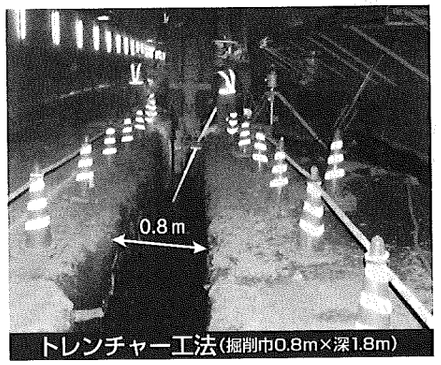
トレンチャーによる中央排水溝掘削

	切削巾	切削深	用途
トレンチャー	0.3～2.4m	0.5～10.0m	深溝掘削 ⇒ トンネル中央排水溝、道路、造成地内溝
ロードマイナー	3.0～4.8m	0.9～1.9m	広幅掘削 ⇒ トンネル下半、道路盤、造成工事
ロックソー	0.1～0.3m	0.9～1.4m	狭溝掘削 ⇒ 光ケーブル、電力線、その他

どちらの工法を選びますか？



ブレカー工法(掘削巾2m×深1.8m)



トレンチャー工法(掘削巾0.8m×深1.8m)

TRENCOR INC.
TEXAS. U.S.A
www.trencor.com

総代理店 オオヤマ & Co.(Ohyama & Co.)
〒121-0813 東京都足立区竹の塚1-27-9
TEL.03-3885-0864 FAX.03-3885-0864
mail：ohyama@mui.biglobe.ne.jp

トンネルと地下 VOL.37 No.10 掲載概要

掲載頁 7

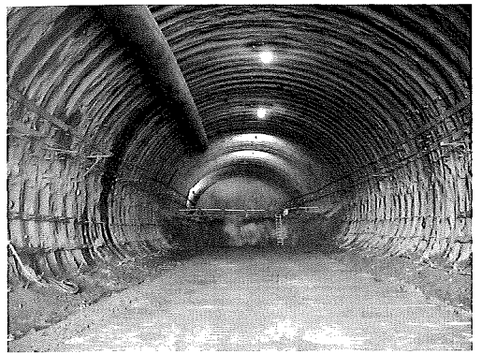
小土かぶり破砕質地山における補強対策
—北海道浦河町町道まきば通線 まきばトンネル—

北海道室蘭土木現業所 郷 康則

まきばトンネル工事は，北海道浦河町が建設を進めている町道まきば通線の道路事業計画の一環として，北海道代行事業として着手した．本トンネルは，最大土かぶり22m程度で，地質は中生代白亜紀の上部上蝦夷層群浦河累層で破砕作用の著しい泥岩で構成され，両坑口部は偏圧地形を呈する．坑口から17mの地点で地表面とトンネル坑内がほぼ同時に200㎜を超えるきわめて大きな共下がり沈下現象が発生した．

本稿では，坑口部付近で発生した異常沈下現象の要因を追加調査・試験および数値解析によって定量的かつ定性的に検証し，その要因を考慮して坑口および坑内で実施した補強対策工の作用効果について報告する．

Tunnel Construction in Fractured Ground using Auxiliary Methods—Makiba Tunnel Project



写真は坑内状況

By Yasunori Go, Hokkaido Muroran District Public Works Management Office

The Makiba Tunnel Construction Project is a part of the Makiba Dori Road Project of Urakawa Town, Hokkaido, which is promoted by Hokkaido Agency. On this tunnel, the overburden is up to 22 m, the geology is fractural soft mudstone named Urakawa Formation of the upper Kami-Ezo group in Cretaceous period Mesozoic, and the both portals are located in eccentrically pressured ground. Huge subsidence with the magnitude of 200 ㎜ occurred both on the ground surface and inside the tunnel at the same time at the point of 17 m distance from one portal.

This paper reports the research of huge subsidence, the numerical analysis of it and the measures against it.

掲載頁 19

土圧シールドの7.5kmにわたる逆解析手法を用いた沈下計測管理
—チャンネルトンネルレールリンク220工区(ロンドン付近)—

西松建設(株) 南 敏文

本稿は，ロンドンのチャンネルトンネルレールリンクプロジェクトのうち，220工区の泥土圧シールドトンネル(シールド外径8.11m，先行線・後行線各7.5km×2本)施工中の周辺地盤変状，ならびに交差して通過する供用中地下鉄トンネルなどの近接構造物の挙動に関する報告である．

本トンネルは，ほぼ全線にわたって鉄道または民家に近接した長距離トンネルであるため，沈下対策と高速施工を両立させることが課題であった．沈下対策については，とくに4本の地下鉄トンネルおよび鉄道橋台近接部が重要であった．本工事の概要，計画および施工結果の一部については既に本誌に報告済みである．本稿は，前回詳しく報告できなかった沈下計測管理および解析の結果について報告するものである．

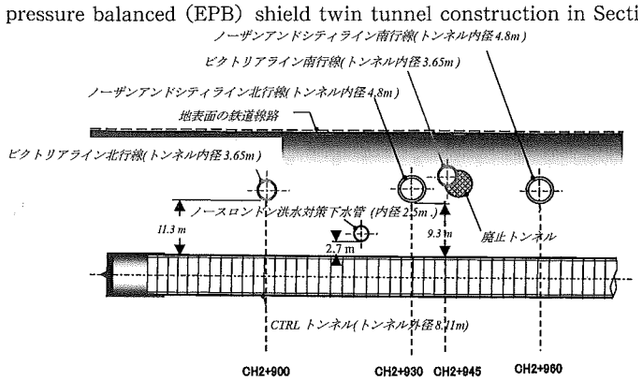
Measurement of Settlement induced by EPB Shield Tunnelling using Reversed Analysis

By Toshifumi Minami, Nishimatsu Construction Co., Ltd.

This paper reports the ground movement and the behaviors of surrounding structures induced by the earth pressure balanced (EPB) shield twin tunnel construction in Section 220 of Channel Tunnel Rail Link Project executed in London. The diameter of shield is 8.11 m and the both of preceding tunnel and following one are 7.5 km long.

The measures against the settlement and the rapid excavation were big issues because this tunnel is a log tunnel adjacent to existing railways including four subway tunnels, one abutment, and residences.

This paper follows the previous one reported in Tunnels and Underground and presents the management of measurements of settlement and the numerical analysis.



図は地下鉄トンネル近接区間縦断図

掲載頁 29

アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進
—東京都下水道　第二十二社幹線暫定貯留切替推進工事—

東京都下水道局　宇田川孝之

本工事は，東京都渋谷区笹塚一丁目付近の浸水対策として十二社幹線へ流入する下水の一部を，第二十二社幹線へ切り替えることを目的とする管路を泥濃式推進により築造するものである．

施工の特徴として，推進路線途中で地中障害物に遭遇することが予測されたため，推進機に備えた超高圧ジェットノズルにより機内から地盤改良を行い，アブレシブジェット水流によって障害物を切断することにより，地上部から施工を施すことなく地中障害物を通過することができるDO-Jet（Double Object-Jet）工法を採用していることである．

本工事ではこの工法によって，支障杭を３本切断した．実際の施工を通して工法の特徴をより有効かつ確実に実施できる技術的知見を得たので報告を行う．

Pipe Jacking Project Cutting Obstacles in Ground by Abrasive Water Jet

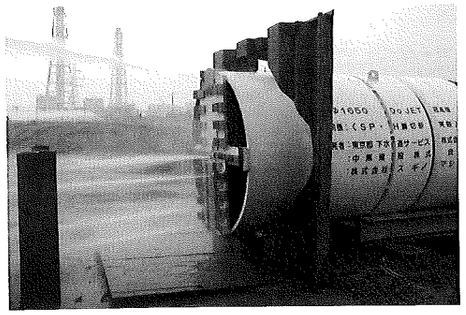
By Takayuki Udagawa, Bureau of Sewage, Tokyo Metropolitan Government

Junisou Sewer Main No.2 was constructed by the high-dense slurry pipe jacking method to settle inundation in Sasaduka 1-Chome, Shibuya Ward, Tokyo, and stores one part of rainwater in the existing Junisou Sewer Main.

The Double Object-Jet system (DO-Jet system) was used to remove expected obstacles in ground using the equipments inside the machine comprising

1. High water pressure jet nozzle to improve ground
2. Abrasive jet water to cut obstacles

This paper reports the construction records that three piles were cut by this system.



写真はDO-Jet推進機

掲載頁 39

復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発

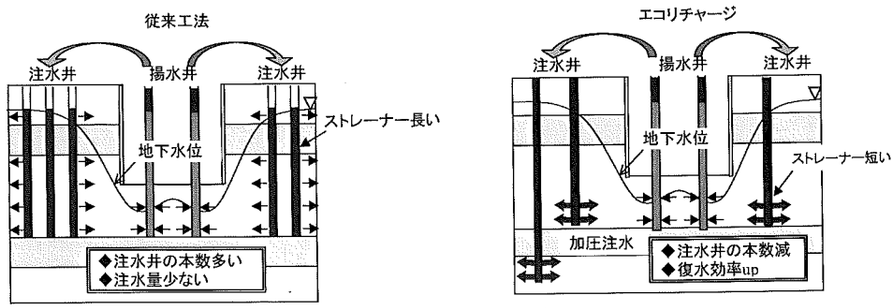
東日本旅客鉄道(株)　桑原　　清

地下構造物建設において地下水の環境保全は，きわめて重要な課題である．排水工法による地下水位低下に伴って発生する井戸涸れや地盤沈下などの問題に対して，リチャージ工法を併用することが有効であることが知られている．しかし，時間の経過とともに発生する目詰まりによる復水効率の低下などの問題点もある．そこで，筆者らはリチャージ工法の復水効率の向上と運転システムの構築を目的として簡素化された小口径注水井による高圧注水試験を実施した．その結果，小口径注水井からの高圧注水によって，目詰まりのない復水効率向上と運転システムの有用性を確認し，循環型地下水制御工法(通称，エコリチャージ)の開発に至った．

Development of New Recharge Method

By Kiyoshi Kuwabara, East Japan Railway Company

The environmental protection of groundwater is a serious issue during construction of underground structures. It is well known that the recharge method is effective to solve the problems such as drying-up of wells and settlement of ground surface. But, the blocking of pipe sometimes degrades the efficiency of recover of groundwater level. We have developed the new recharge method to improve the efficiency to recover groundwater level. This method injects pressurized water into well having a small diameter. The experiment to verify the efficiency and the performance of operation was successfully done. This paper introduces the new circular-type groundwater control system named the Eco-Recharge method.



図はリチャージ工法の概要

掲載頁 47

初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターンにおける計測結果と考察

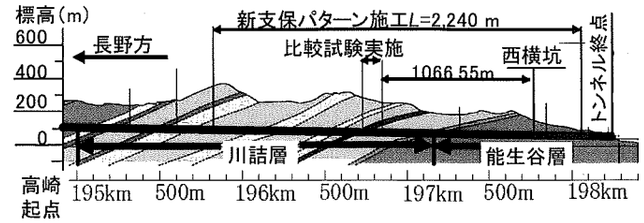
鉄道・運輸機構　野々村政一

NATMによる山岳トンネル支保工の当初設計は，既往のトンネル工事の実績と経験にもとづいて作成した標準支保パターンによっている．本研究では，従来の標準支保パターンでは吹付けコンクリート，ロックボルトおよび鋼製支保工を使用する軟岩地山において，経済性や安全性の向上を目的とし，高性能初期高強度吹付けコンクリートを用いて鋼製支保工を不要とする新支保パターンの適用性を検討した．北陸新幹線峰山トンネル西工区で行った，標準支保パターンとの比較試験および実施工における新支保パターンの挙動特性より，初期に高い剛性を発揮する高性能初期高強度吹付けコンクリートを用いた新支保パターンの支保性能の優位性が認められた．

Study on New NATM Support Pattern using High-Early Strength Shotcreting

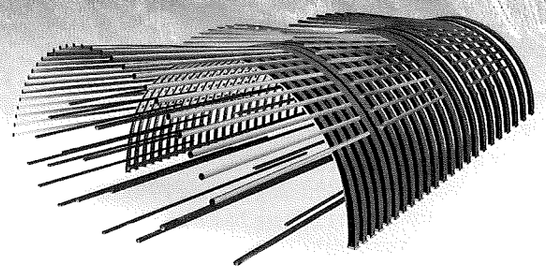
By Masaichi Nonomura, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The lining of mountainous tunnel is designed using the standard support pattern based on the experience and construction records of tunnels constructed in the past. On tunnel construction in soft rock, the structure of tunnel lining consists of shotcrete, bolts and steel supports conventionally. We study the new support system using the high-early strength shotcrete without steel supports. This new support pattern was adopted in West Section of Mineyama Tunnel of Hokuriku Super Express Railway Project. This paper presents that the new support pattern excels the conventional one.



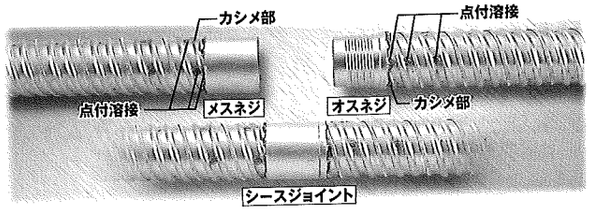
図は峰山トンネル西工区新支保パターン施工区間縦断面図

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

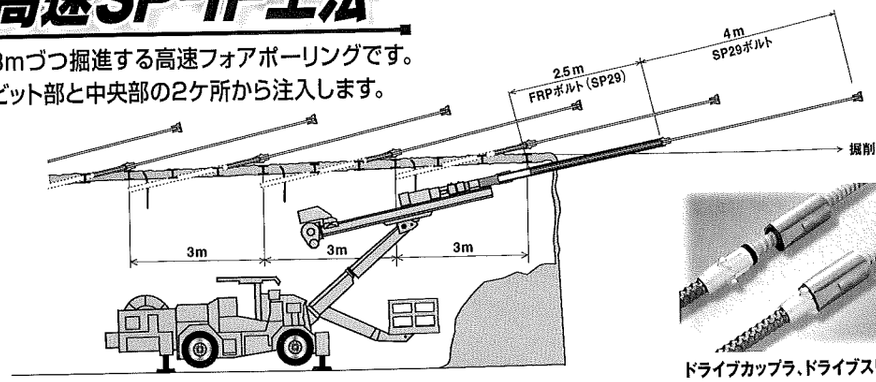
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

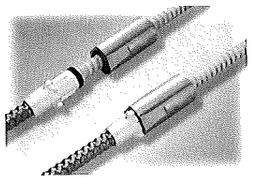




高速SP-IF工法

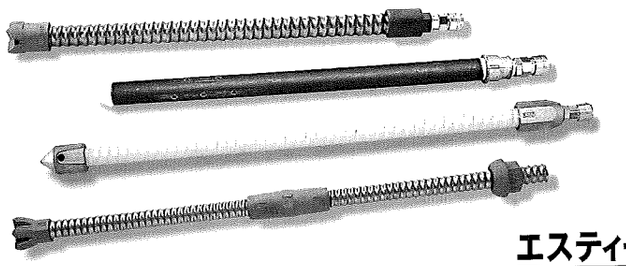
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

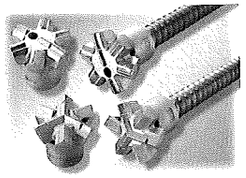




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管





φ65mm ロストビット(SP29)

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

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

巻頭言
(題字 小森 博会長)



既存設備の資産価値向上に向けて

電源開発(株)水力エンジニアリング部長(本協会評議員)
砂道紀人

水力発電所の新設見通しが得られない中,「電力インハウスエンジニアとして何をやるべきか」いろいろな形で模索してきた. 新規事業・海外への事業展開・商品開発etc…….

その一方で, 当社の主要水力設備が50年程度経過してきた現実, 大規模地震発生の可能性が活発に議論されている状況, 電力自由化が進展する中で効率的な投資が求められる社内事情などを冷静に見つめ, 今やらなければならないことを整理してきた.

公共投資全体が減衰する中で, 一般土木設備の保守分野でも舗装の打替えや橋梁などの塗装を初めとする投資間隔が短い一部分野では, 一過性の投資金額検討のみに留まらない, ライフサイクルコストに着目した総合的な検討が当たり前に行われるようになってきた. しかしながら, 発電設備の中で, とりわけ土木設備はダム・トンネルに代表されるように耐用年数が長く, また設備安全度が相当程度確保されていることから, 保守コスト(更新投資)について深刻に捕らえられていなかった. 定期的な巡視点検による状態監視を行う中で, 不具合に結びつく事象を発見し, その都度対応することで済ませてきた.

電力業界の中で, 卸売電気事業者に位置づけられる当社水力発電所の卸売り料金は, 水系別に客先である電力会社と契約されており, 原則的に総括原価主義にもとづいて算定されている. 今後, 電力自由化の進展が電力料金の引き下げを招くことは必至であり, 更なるコスト低減はもとより, 発電所単位での収支, 発電設備の価値評価がますます重要な視点になるものと考えられる. この結果, 水系一貫開発した大規模水力以外の比較的中小規模の水力発電所はかなり厳しい状況になることが予想されており, 今後の経営課題になるものと考えている.

一方で, 長期的な視点から発電所存続を考えると, 堆砂処理ほかの恒常的な維持管理

費用の増大が見込まれるとともに，抜本的な流入土砂対策あるいは貯水池環境対策として排砂バイパス，濁水早期排出設備などへの恒久的な設備投資が必要となっている．当然これらの設備投資は，以降の償却資産として発電所収支に大きな影響を与えるという認識の下，その合理的な意思決定プロセスを早急に明確化したうえで投資判断を行うことが必要不可欠となる．

さらには，東海・東南海・南海地震を初めとする大地震や異常出水などに対する防災対策の整備が急務であり，総合防災の観点を合わせて，資産管理の合理化と資本投下の最適化(アセットマネジメント)手法の導入が緊喫の課題となっている．

これらを踏まえ，このたび社内体制を大幅に組み替え，上記検討を重点的に行うための組織整備を行った．発電設備ごと，具体的には水力発電所と火力発電所という資産ごとに，上述した管理の合理化と資本投下の最適化を自ら検討する体制とした．同時に，それらを実現するための各種ツールの導入に併せ，新技術や新工法などの技術検討・蓄積も併せて行うこととし，更には海外への発電事業展開における技術コアとしても位置づけ，組織としてやるべきことの明確化を図った．

この流れの中で，本協会との関連としては，恒久的な設備投資としてのダムの排砂・濁水排除のためのバイパストンネルがまず考えられる．とくに堆砂が計画以上に増加している河川は一般的に地質が悪く，その条件下で相当の断面積を持つトンネルを確実かつ経済的に掘削することが主たる要求事項になるものと考えている．

さらに，電力業界の土木陣が当社も含めこれからの分野として新しく眼を向けているものに，LPG地下備蓄・高レベル放射性廃棄物地層処分事業・リニアコライダーなどの多くの地下開発関連プロジェクトがある．つまりトンネル技術の応用・発展としての技術が，これからも求められていることは明らかである．

その一方で，本年７月に土木学会トンネル標準示方書が現在の技術・研究実態にあわせた形で10年ぶりに大幅改定され，トンネル技術も一つの節目を迎えたものと認識している．

今後も，既存設備の価値向上と新たな地下開発分野を中心として，本協会会員の皆様との一層の連携をお願い申し上げます．

施工

小土かぶり破砕質地山における補強対策

—北海道浦河町町道まきば通線　まきばトンネル—

北海道室蘭土木現業所事業部道路建設課長　郷　康則
北海道室蘭土木現業所浦河出張所主査　荒井隆治
フジタ・西江・北興特定建設工事共同企業体現場代理人　伊藤由明
(株)フジタ技術センター土木研究部主任研究員　村山秀幸

1 はじめに

北海道浦河(うらかわ)郡浦河町における町道まきば通線の道路事業計画は，昭和56年７月および８月の２度にわたる大雨災害と，翌昭和57年３月に同町を中心として発生した震度６の浦河沖地震により，沢沿いに形成している市街地は道路が寸断され，海岸沿いを走る国道235号に平行した避難連結路を確保することが生活上，最重要かつ緊急課題となったことを契機としている．

北海道代行事業として平成13年に着手した本トンネル工事では，切羽が坑口から17mの地点で200㎜を超えるきわめて大きな沈下が発生した．本稿では，破砕質地山で小土かぶりトンネルにおける沈下要因の分析と補強対策について述べる．

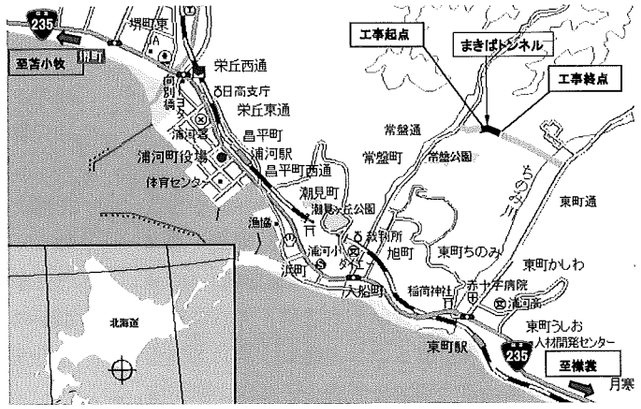


図-1　現場位置図

2 工事概要

本トンネルは，北北東—南南西方向に伸びる標高80m前後の丘陵地を最大土かぶり22m(約1.5D，D：掘削幅)でほぼ東西方向に横断する(図-1)．トンネルの北側には共同墓地，南側には公園が位置し，丘陵部にはこれらの諸施設へのアクセス町道と浦河町の上水道配水池が存在する．地山は破砕作用の著しい泥岩を主体とし，両坑口部は偏圧地形を呈し，上水道配水池を土かぶり17m(約1.2D)で通過する．工事概要を表-1に示す．

表-1　工事概要

工事名称	町道まきば通線道路改良(まきばトンネル)工事
工事場所	北海道浦河郡浦河町常盤町～東町ちのみ三丁目
工　期	平成13年９月27日～平成17年３月10日
発注者	北海道胆振支庁(室蘭土木現業所)
施工者	フジタ・西江・北興特定建設工事共同企業体
工事内訳	トンネル延長　L＝190m (図-2) 道路幅員　W＝12.5m (図-3)
掘削工法 掘削方式	上半先進ベンチカット工法 機械掘削
道路規格	第４種３級　40km/h

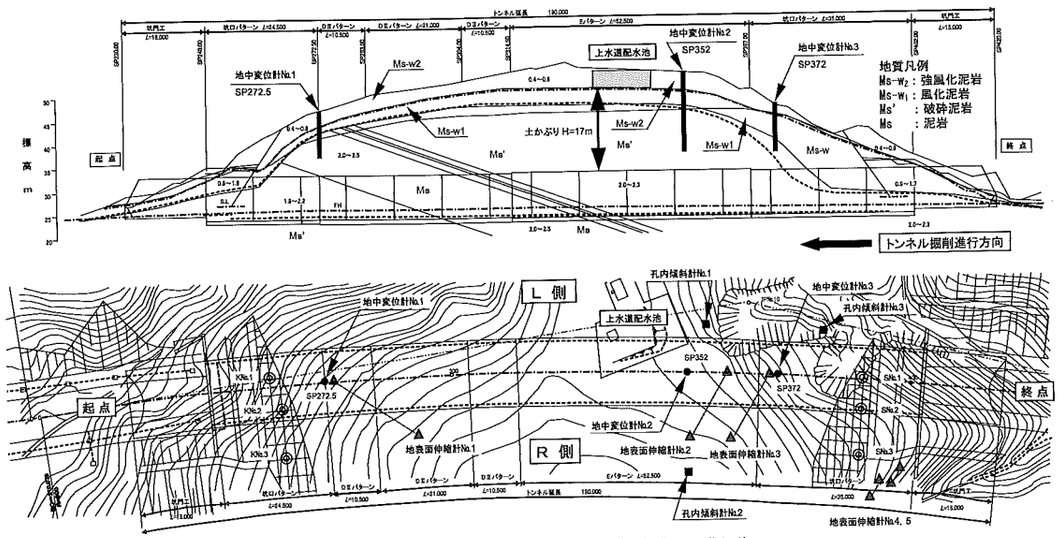


図-2　地質地形縦断・平面図(計測工B配置含む)

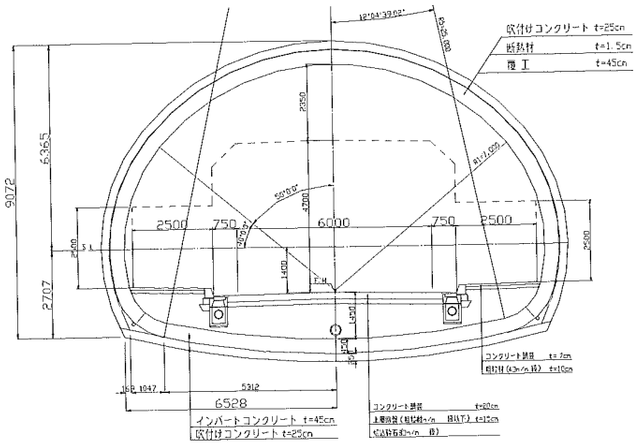


図-3　標準断面図

3　地形地質概要と当初設計における対応

3-1　地形地質概要

本トンネルの地質は，中生代白亜紀の上部上蝦夷層群浦河累層の泥岩で構成され，風化と破砕程度により強風化泥岩(Ms-w_2)，風化泥岩(Ms-w_1)，破砕泥岩(Ms')，泥岩(Ms)に区分される(図-2)．

地山は，全般的に軟質で固結度が低く，とくに両坑口部周辺は，破砕質で亀裂に富み，地すべり地形を呈している．破砕泥岩は，膨張性地山の各種判定基準値[1]を超過し，全線で地山強度比も1.0以下と膨張性，押し出し性の可能性が高い．

地質構造は，西北西―東南東の走向で30～40°北に緩く傾斜しトンネル方向と斜交する．

3-2　当初設計における対応

3-2-1　両坑口部における対応

両坑口部の地山は，強風化～風化泥岩からなり北側が沢部となる偏圧地形を呈し，トンネル施工時および供用時に地すべりの発生が懸念される．

当初設計では，不安定土塊を切土により極力除去し，切土のり面をのり枠工とグラウンドアンカー工で抑止し，トンネル掘削による地表面沈下抑制と偏圧対応として，パイプルーフ工(起点側L＝20.0m，終点側L＝30.0m)を採用している．

3-2-2　上水道配水池に対する対応

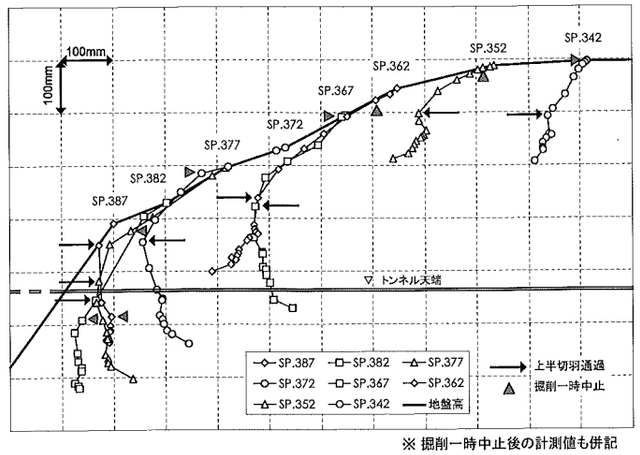
事前調査における各種地山物性値を用いた数値解析(FEM)を実施し，トンネル掘削が上水道配水池に与える影響を検討している．その結果，特殊地山に対応したEパターンの採用[2]により，上半掘削時におけるトンネル坑内の天端沈下量は最大13mmと小さく，配水池には大きな影響を与えないと想定された．

4　異常沈下現象の発生と対策工の検討

4-1　終点側坑口部での異常沈下の発生と対応

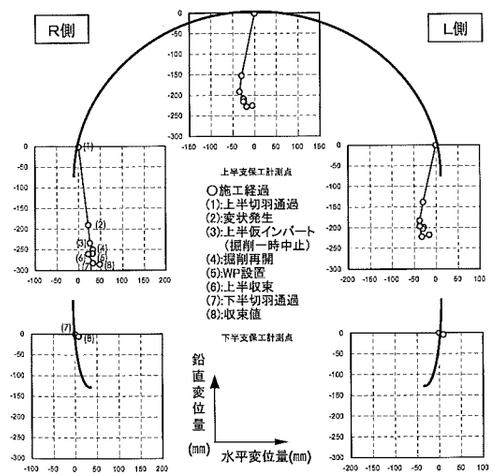
切羽がSP380(坑口から17m)に達した時点における計測結果から，地表面沈下，トンネル内空変位・天端沈下などが急激に計測管理レベルⅢ(天端沈下：30mm，内空変位：60mm)を超過する異常な沈下が確認された(図-4)．よって直ちに切羽の崩落防止として鏡吹付けコンクリート(t=10cm)と鏡ボルト(L=4.0m)を施工した．同日の再計測結果から，周辺の地表面とトンネル坑内がほぼ同時に200mm程度沈下した共下がり現象の発生が確認され，直ちに上半仮インバート工を施工した結果，沈下は落ち着いた(図-4, 5)．

異常沈下発生後の切羽には湧水もなく，支保工は，ほぼ健全な状態でロックボルトのプレートがわずかに変形している程度である．また，地表ではのり枠工梁部の2か所にクラックの発生が確認されたが，開口クラックや隆起などの地山変状を目視で確認することはできなかった．



※掘削一時中止後の計測値も併記

図-5　地表面地沈下測点における変位ベクトル図



※掘削一時中止後の計測値も併記

図-4　SP387坑内計測

このような状況からトンネル掘削を一時中止し，以降のトンネル施工方法に対する抜本的な見直しを，北海道内のトンネル有識者から構成される『まきばトンネル工法検討委員会(委員長：三上隆・北海道大学大学院教授)』において検討することとなった．

4-2　異常沈下現象発生の要因分析と検証

4-2-1　原位置試験による検証(孔内水平載荷試験)

異常な沈下現象は，地質的要因と外的要因が複合的に作用して発生したと想定される．そこで，変状地山の特性と物性を把握するために，坑内からボーリング孔を用いた水平載荷試験を実施した．

試験箇所は，仮インバート施工によってスレーキングなどの劣化が少なく，変状発生時の地山特性が保存されていると考えられたSP387断面で沈下量の大きいR側側壁および底盤とした．

(1)　変形係数に関する考察

事前調査における破砕泥岩の変形係数(水平，鉛直)は，最大795MPa，最小17.6MPaとばらつきが非常に大きい(表-2)．今回得られた変形係数は事前調査の下限値近傍の値に相当し，ばらつきは小さく，さらに小さな値(14.2MPa)も確認された(表-2，図-6)．

鉛直ボーリングにおける変形係数は仮インバートに近いほど小さくなる傾向を示し，トンネル掘

削による緩み領域は，仮インバート直下３m程度と考えられる(**図-7**)．また，地山本来の変形係数を約85MPa(深度2.95mで76.4MPa，深度3.95mで94.3MPaの平均値)と考えれば，掘削により緩んだ地山の変形係数は17～30%(14.2MPa, 25.5MPa)と約1/6～1/3にまで低下している．この変形係数の低下は，通常の地山におけるトンネル掘削による緩みの影響よりかなり大きく，本トンネルにおける注目すべき地山特性である．

表-2　孔内水平載荷試験結果(事前・今回)

		試験数量	変形係数(MPa)			降伏圧(MPa)		
			最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値
事前	水平	8	795.00	17.60	327.76	5.90	1.19	3.00
	鉛直	2	234.00	39.50	136.75	1.60	1.19	1.40
今回	水平	4	254.47	45.13	184.49	2.13	1.42	1.60
	鉛直	4	94.33	14.20	52.61	1.12	0.81	0.88

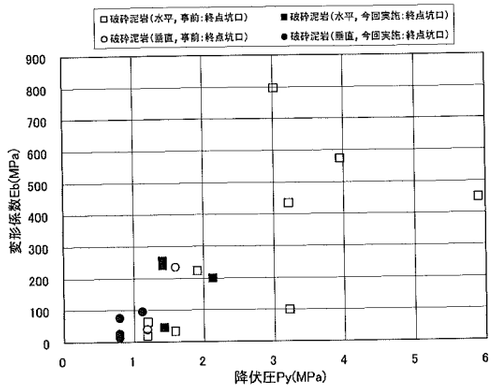


図-6　孔内水平載荷試験における降伏圧と変形係数の関係(事前・今回)

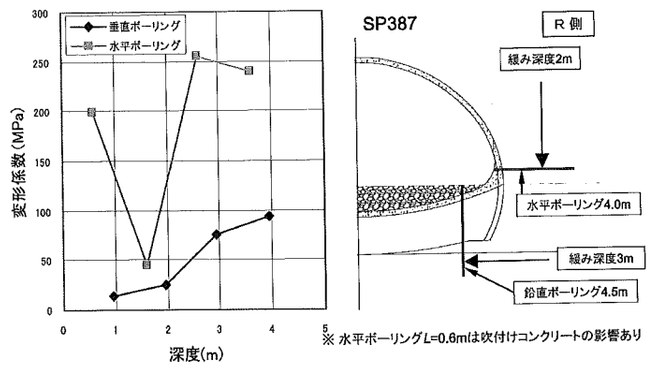


図-7　孔内水平載荷試験の試験深度と変形係数の関係

水平ボーリングにおいても同様の傾向が見られ，緩み領域は２m程度と考えられる(図-7)．

(２)　脚部沈下に対する考察

事前と今回の試験で得られた平均降伏圧を比較すると，水平方向で3.0MPaから1.6MPa，鉛直方向で1.4MPaから0.88MPaと約50～60%に低下していることがわかり，掘削の緩みによって地山の地耐力が急激に低下したと考えられる．

ここで，単純に一進行長(１m)あたりでトンネルに作用する上載荷重を両脚部の支保工(有効幅0.25m)で支えると考える．降伏圧0.88MPaの地山が支えることのできる荷重は0.88MPa×0.25m×2＝0.44MN/mとなる．トンネル掘削幅(W)14m，単位体積重量(γ)23kN/m³で緩み高さをHとし，先行応力解放率50%とすれば一進行長に作用する上載荷重は$\gamma HW\times50\%$となる．この上載荷重を両脚部で支えることのできる荷重と等しいとすれば，$\gamma HW\times50\%=0.44$MN/mとなり，緩み高さ(H)は約2.7mとなる．この結果は，変形係数の低下として確認したトンネル緩み領域とよく整合する．

4-2-2　室内試験による検証(除荷試験)

実施した試験は，圧密試験リングに岩石試料をセットし，採取地点の土かぶり相当荷重(初期応力状態の再現)を載荷後，段階的に上載荷重を除荷して供試体高さの変化(間隙比の変化)を求める試験[3]であり，本工事では除荷試験と称した(**写真-1**)．

試験結果より，土かぶり厚さ２～３mに相当する上載荷重50～60kN/m²より低拘束圧領域に達すると急激に供試体高さ(間隙比の増大に相当)が変化することがわかる(**図-8**)．

この結果は，孔内水平載荷試験における変形係数と降伏圧の低下現象と非常によく整合している．

4-2-3　数値解析(FEM)による検証

(１)　SP387(異常沈下確認)断面における逆解析

異常沈下の計測データを用いて逆解析(FEM)を実施した結果，沈下地点

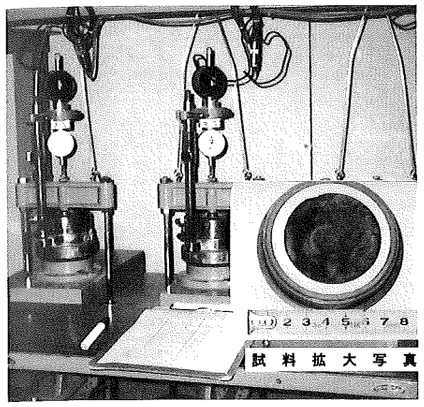


写真-1　除荷試験変位計測状況

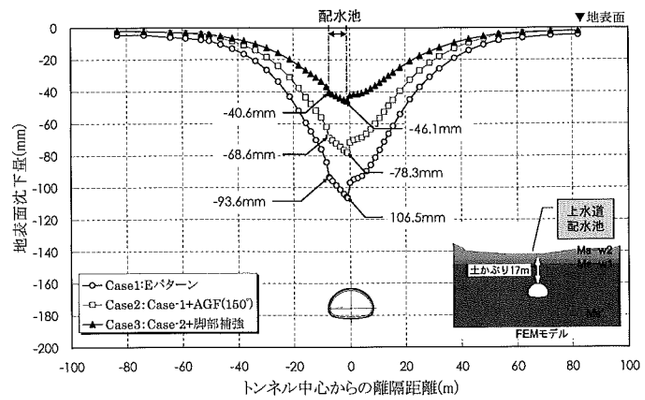


図-9　SP 334(上水道配水池)断面における予測解析結果

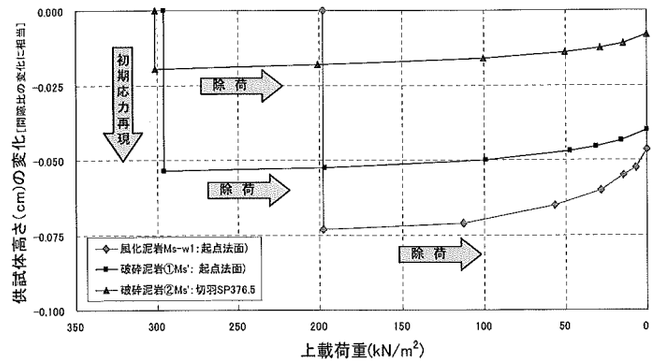


図-8　除荷試験結果表

の地山である風化泥岩の変形係数は2.3～3.0MPaとなり，当初設計で用いた23MPaが塑性化して1/8～1/10まで低下したと想定された．この結果は，孔内水平載荷試験で得られた変形係数の低下現象と整合している．

(２)　SP334(上水道配水池断面)における予測解析

前述の逆解析結果より，破砕泥岩の変形係数も掘削によって当初設計で用いた250MPaが1/10の25MPa程度まで低下する可能性が示唆される．この値を用いて上水道配水池の沈下予測解析を実施した結果，配水池の沈下量は，ある程度の規模の対策工を実施しても設定した許容値[4]である絶対沈下量30㎜および相対沈下量0.5×10⁻³radを満足することができないことが判明した(**図-9**)．

4-2-4　異常沈下現象発生の要因分析

以上の各種検討から，本トンネルで異常沈下現象が発生した要因を分析すると以下のようである．

トンネル掘削による応力解放に伴う緩み現象として，トンネル周辺地山２～３mの領域において地山の間隙比が急激に増加し，同時にその領域の変形係数および地耐力が急激に低下した．天端部ではこの緩み領域の荷重をパイプルーフが支えていたが，脚部の地耐力が急激に低下したことと連動して，一気にその緩み荷重が脚部に集中して地山は降伏し塑性化した．その結果200㎜を超える坑内沈下が地表面に達し共下がり現象となった．

以上の要因分析から，本トンネルでは掘削による緩みを補助工法によって抑止し，極力地山を塑性化させないことが重要となると考えられた．

4-3　補強対策工法の検討

4-3-1　追加動態観測工

掘削再開に向けて地山変状を早期に把握するために動態観測工を以下のように強化した．

- 計測工A：坑内計測と地表面沈下計測の測点間隔を５mとした．
- 計測工B：グラウンドアンカー荷重計測６か所(起点側・終点側のり面各３か所)，地中変位計測３か所(トンネルセンター)，孔内傾斜計測３か所(トンネル周辺崩壊地ほか)，地表面伸縮計測５か所(トンネル周辺各所)を配置した(図-2)．

4-3-2　上水道配水池移設の経緯

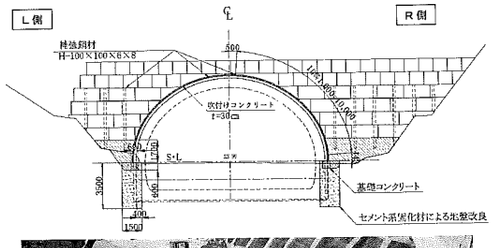
前述のトンネル工法検討委員会において異常沈下現象の発生要因と予測解析結果(図-9)を検討した結果，上水道配水池を供用しながらトンネルを掘削することは非常にリスクが高く，上水道配水池を移設することが提言された．よって，トンネル工事の再開は移設工事完了後とした．

4-3-3　対策工法の選定

（1）　両坑口部の坑外対策：押さえ盛土工

掘削による地すべり土塊への影響を再検討した結果，終点側と起点側の両坑口で地すべりを抑止する押さえ盛土工が必要となった(図-10)．

両坑口の限られた用地において，必要抑止力を確保するために大型鉄筋かごと大型土のうによる押さえ盛土工を計画した．本工法の利点は，①狭い用地でも急勾配により必要盛土量の確保が可能，②良好な排水構造，③機械を用いた良好な施工性などである．



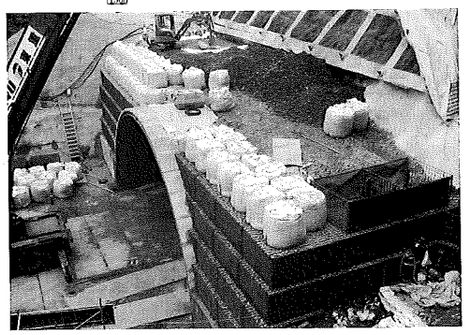


図-10　終点側坑口の押さえ盛土工

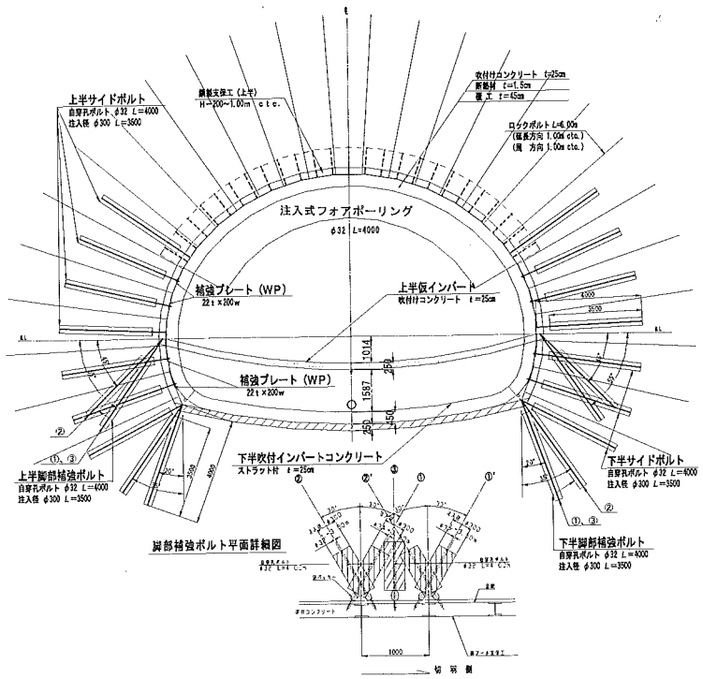


図-11　補強工一般断面図

（2）　坑内対策：補助工法の選定

補助工法は，天端の安定対策，切羽の安定対策，脚部の支持力不足対策を考慮して選定した．また，切羽観察結果や計測結果などを総合的に勘案し，計測管理基準値から対応レベルを設定して順次その採否を判定した．

以下に補助工法の選定結果を述べる(図-11)．

- 天端の安定対策：フォアポーリング(注入式)
- 切羽の安定対策：鏡吹付け工＋鏡ボルト
- 脚部支持力不足対策：脚部補強工(脚部注入ボルト，サイド補強＝サイド注入ボルト，補強プレートによる支保工連結)＋仮インバートによる早期閉合

注入材は，現場での試験施工結果から，本地山への浸透性およびボルトとの接着力が高く，地山改良効果が期待できるウレタンを採用した．

5　トンネル掘削経過と総括

5-1　トンネル掘削経過

図-12に，実施支保パターン，地質状況，切羽評価点，坑内・坑外計測結果，補助工法の一覧を

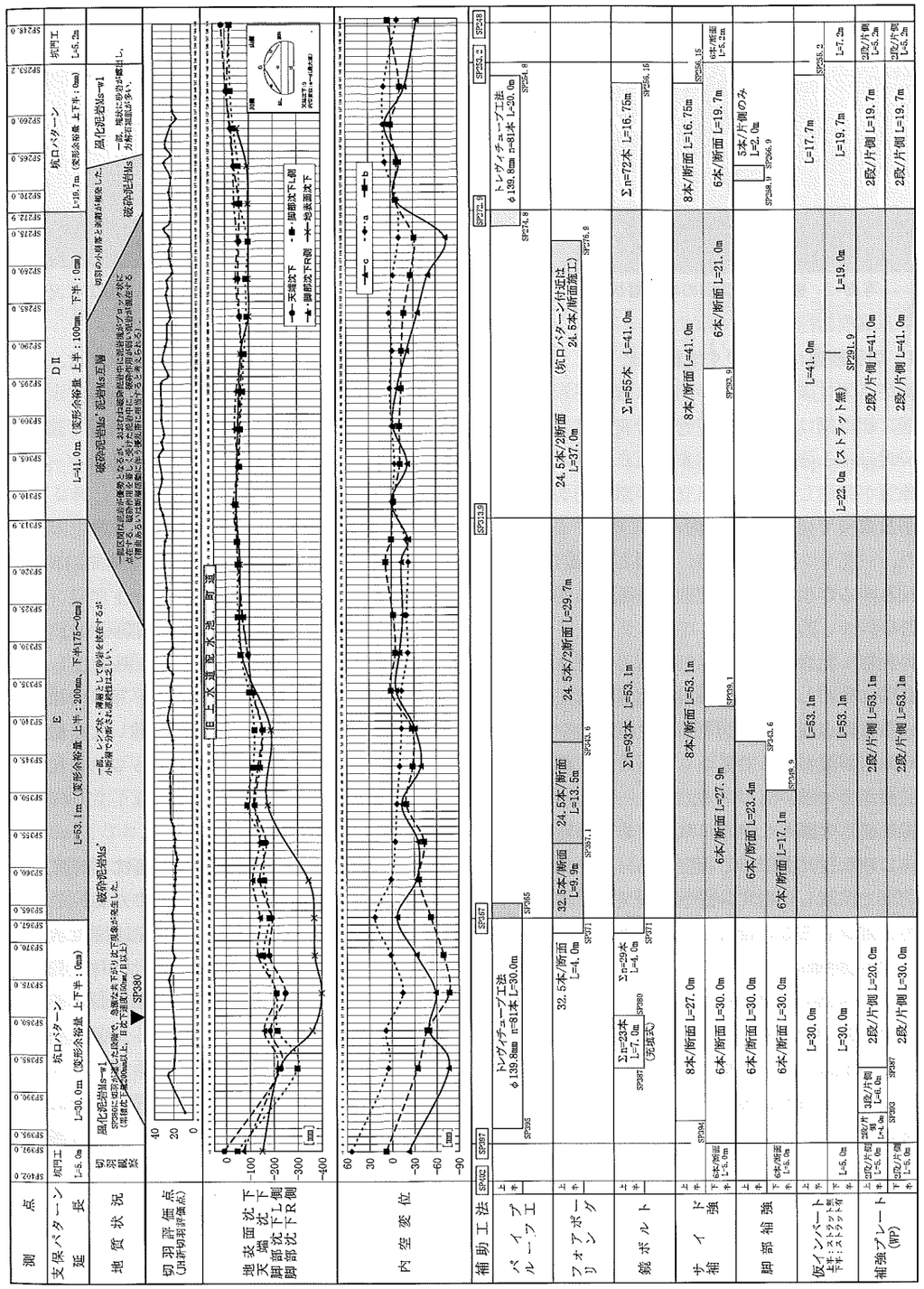


図-12　トンネル掘削総括図(実施支保パターン，地質状況，切羽評価点，坑内・坑外計測結果，補助工法の一覧)

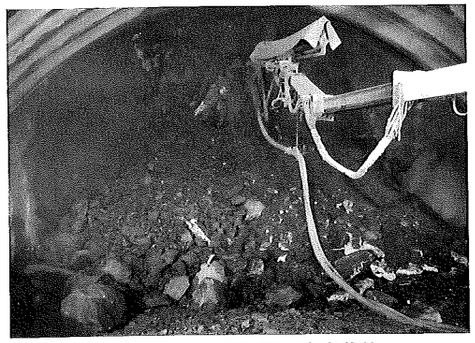


写真-2 破砕泥岩切羽の小崩落状況

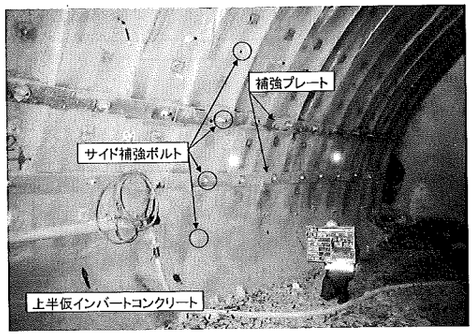


写真-3 サイド補強と補強プレート施工状況

トンネル掘削総括図として示す.

5-1-1 切羽観察にもとづく地質状況

路線終点側は破砕泥岩，中間部は破砕泥岩・泥岩互層，起点側は主に破砕泥岩が分布した.

破砕泥岩は，強い破砕作用を受けランダムに微細な亀裂が発達し，切羽の自立性が悪く切羽の小崩落が数箇所で発生した(写真-2).

また，一部レンズ状に砂岩，薄層として方解石脈を挟在するが小断層や微褶曲で分断され連続性は乏しい.

破砕泥岩・泥岩互層は，当初泥岩と想定されていた区間に分布し，おおむね破砕泥岩中に泥岩がブロック状に点在する．切羽の自立性はやや強度の高い泥岩が混在することから良好となるが，基質は破砕泥岩で破砕質である.

全線を通じて顕著な湧水はなく，まれに時間経過に伴い鏡吹付け面が滲む程度であった．なお，適時切羽で採取した岩片の浸水試験では，地山の膨張性を確認することはできなかった.

5-1-2 切羽評価点

トンネル全線の切羽評価点(JH新切羽評価点)は８～34の範囲で，風化泥岩は最小値の８，破砕泥岩と破砕泥岩・泥岩互層は19～34，泥岩がやや優勢になる区間は30程度と全線がD級以下の地山区分に相当した.

5-1-3 採用支保パターンと補助工法

支保パターンは坑口パターンを除き，主に破砕泥岩区間のSP367～SP313.9をEパターン(変形余裕量：上半200㎜，下半０～150㎜)，破砕泥岩・泥岩互層区間のSP313.9～272.9をDⅡパターン(変形余裕量：上半100㎜)とした.

天端の安定化対策のフォアポーリングは，パイプルーフ施工区間を除く全線で，切羽の安定化対策の鏡吹付け工と鏡ボルト工もほぼ全線で施工した．また，脚部支持力不足対策の仮インバートと補強プレートも全線で実施した.

脚部補強対策の脚部補強ボルトは，上半ではSP397(終点側坑口)～343.6区間，下半ではSP397(終点側坑口)～349.9区間で実施した.

また，起点側では切羽崩落が頻発した上半SP268.9～266.9(２m区間)でも片側のみ施工した．サイド補強ボルトは上半では全線，下半では一部の泥岩優勢区間(SP339～293.9)を除いて全線で実施した．サイド補強と補強プレートの施工状況を写真-3に示す.

5-2 動態観測結果の概要

5-2-1 計測工A(坑内計測，地表面沈下計測)

(１) 終点側坑口周辺区間：SP397～352

異常沈下を確認したSP387では，最終的に天端・脚部沈下量が200～300㎜，地表面沈下量が220㎜程度発生したが，下半掘削時の変位量は脚部補強と押さえ盛土の相乗効果により40～50㎜程度と最終沈下量の15%程度であった(図-4, 5).

SP382～362区間では，異常沈下の発生により周辺地山が塑性化したために最終地表面沈下量が350～400㎜(図-5)に達したが，天端・脚部沈下は100～250㎜に低下し各種地山補強工の効果が確認された.

一方，地耐力が極端に低下した地山では，上半仮インバートにより閉合しても50㎜程度の沈下が断続的に継続する現象が確認された(図-13)．なお，地表面沈下量が最大約400㎜に達しても，地表面には地すべりに起因する開口クラックなどの顕著な地盤破壊現象を目視では確認できなかった.

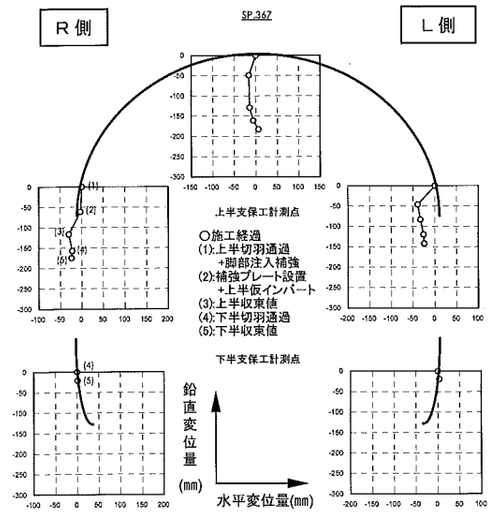


図-13 上半仮インバート設置後・撤去後に沈下が大きな例

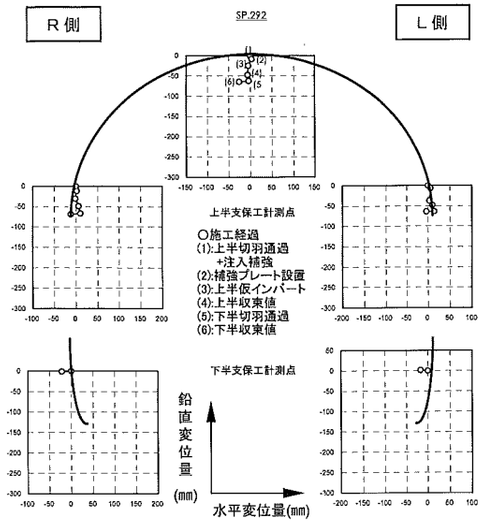


図-14 全体的に計測値が小さな例

(２) 上水道配水池周辺区間：SP352～292

地形がほぼ平坦で土かぶりも約20m(約1.5*D*)となったこと，各種補強工によって地山の塑性化が抑制されたことなどが相乗的に作用した結果，天端・脚部沈下量は40～120㎜，地表面沈下量は40～190㎜となり，沈下量は終点側坑口区間の約1/2～1/3程度に抑制された(図-14)．ただし，共下がり傾向は依然として確認できた.

上水道配水池から町道周辺に至る区間の地表面沈下量は40～190㎜となり，絶対沈下量の許容値30㎜を大幅に超過している．よって，トンネル掘削再開以前に上水道配水池を移設した判断は適切であったと考えられる.

(３) 起点側坑口周辺区間：SP292～253.2

天端・脚部沈下量は50㎜以下と小さく，地表面沈下は80～100㎜で共下がり傾向は顕著ではない．坑内沈下量に比べて地表面沈下量が大きい要因は，脚部補強などによる地山改良効果と小土かぶり区間でのパイプルーフが地山アーチの形成に寄与し，本来の機能を有効に発揮した結果と考えられる.

5-2-2 計測工B(地中変位計測，アンカー荷重計測)

ここでは，計測工Bの計測結果の一例として，トンネルセンターの３か所に設置した地中変位計と起点側坑口切土のり面のグラウンドアンカーに設置した荷重計の計測結果について述べる(図-15).

地中変位計の深度別沈下量から，終点側のNo.3では極端な共下がりが発生しているが，配水池近傍のNo.2から起点側のNo.1に向かうに従って共下がり傾向は多少解消され，深度別沈下量も極端に小さくなる．一方，終点側のNo.3では上半切羽通過後の変位が極端に大きい.

表-3に各地中変位計における上半切羽と下半切羽通過時の先行変位率(切羽が到達するまでの先行変位と最終収束変位との比を百分率で表示)を示す．表より，終点側のNo.3と配水池近傍のNo.2では上半・下半切羽通過時の先行変位率が55～75%と大きいが，起点側のNo.1で45～50%と小さな値となり通常地山のトンネルにおける先行変位率[5),6)]に近づく．一方，下半切羽通過時の先行変位量は上半通過時と比較して大きな値となった．この要因として，上半掘削では，仮インバートによる閉合で沈下は一時的に抑制されるが，下半掘削では，事前に上半仮インバートを取り壊すこと

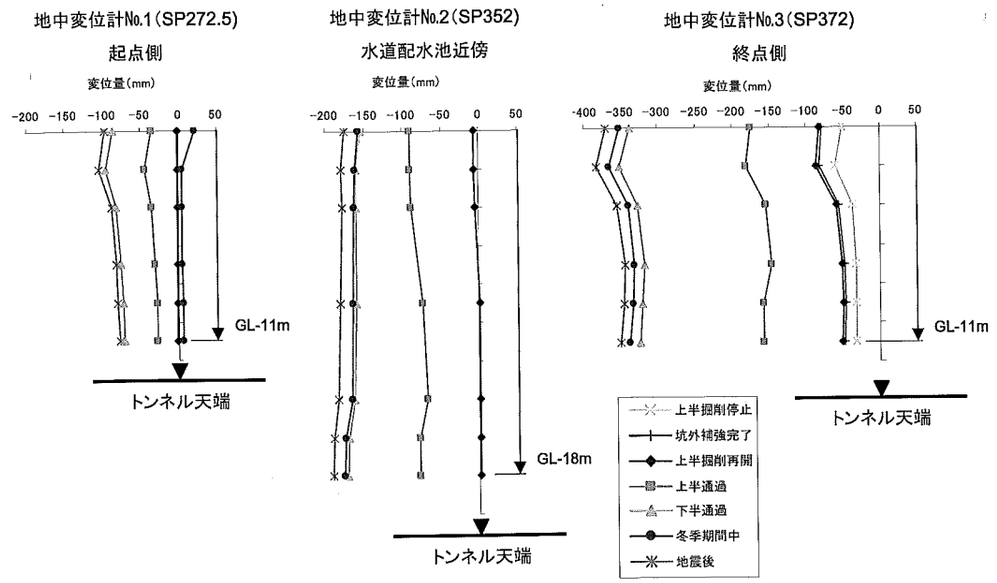


図-15　地中変位計による深度別沈下計測結果

表-3　地中変位計測における先行変位率

	上半切羽通過時	下半切羽通過時
地中変位計　No.1 (SP272.5；起点側)	45% (切羽前方40m)	50% (切羽前方20m)
地中変位計　No.2 (SP352；水槽周辺)	60% (切羽前方20～30m)	75% (切羽前方20～25m)
地中変位計　No.3 (SP372；終点側)	55% (切羽前方６～８m)	70% (切羽前方25m)

※(　)内は先行沈下の発生する影響領域

によって，比較的大きな先行沈下が発生したと考えられる．

よって，極端に塑性化した地山では先行変位率が大きく，切羽到達以前にトンネル周辺の地山に比較的大きな荷重が集中し，掘削後に発生した変位を抑制することが難しくなる．しかしながら，今回採用した各種の補助工法によって先行変位率が減少し，切羽到達以前から地山に作用する荷重を小さくすることができたと考えられる．

以上の地中変位計測結果から，各種実施した地山補強工の効果は，共下がり傾向の減少，坑内外沈下量の減少，先行変位率の低下として把握できたと考えることができる．

図-16に，起点側坑口部のアンカー荷重計の経時変化と切羽位置の関係を示す．グラウンドアンカーの設計緊張力は250kN/本であるが，トンネル掘削による影響でアンカー緊張力が増減することが予測されたため，あらかじめ設計緊張力の80%に相当する200kN/本で仮緊張した状態でトンネル掘削を実施した．ここでは，トンネルにもっとも近いNo.1荷重計に注目して考察する．図-16より，No.1荷重計ではアンカー定着部と上半切羽の離隔が21m(1.5D)に達した段階で緊張力が徐々に低下傾向を示し，離隔15m(約１D)でさらに緊張力が低下する．この緊張力の低下はトンネル掘削の緩みの影響を受け，アンカー定着部周辺地山の拘束力が低下し見かけの周面摩擦力が減少したことによると考えられる．よって，この傾向が継続すると，最終的にはアンカーが抜け落ちたと考えられる．

しかしながら，上半切羽とアンカー定着部の離隔が11m(約0.8D)を境として緊張力は徐々に増加に転じ，上半切羽が定着部直下を通過した段階で最大値を示し，その後徐々に低下しほぼトンネル掘削の影響を受ける前と同レベルで収束する．この現象は，アンカー頭部が固定された状態で定着部全体がトンネル掘削の影響によってトンネル内空側に変位することによって緊張力が増加し，切

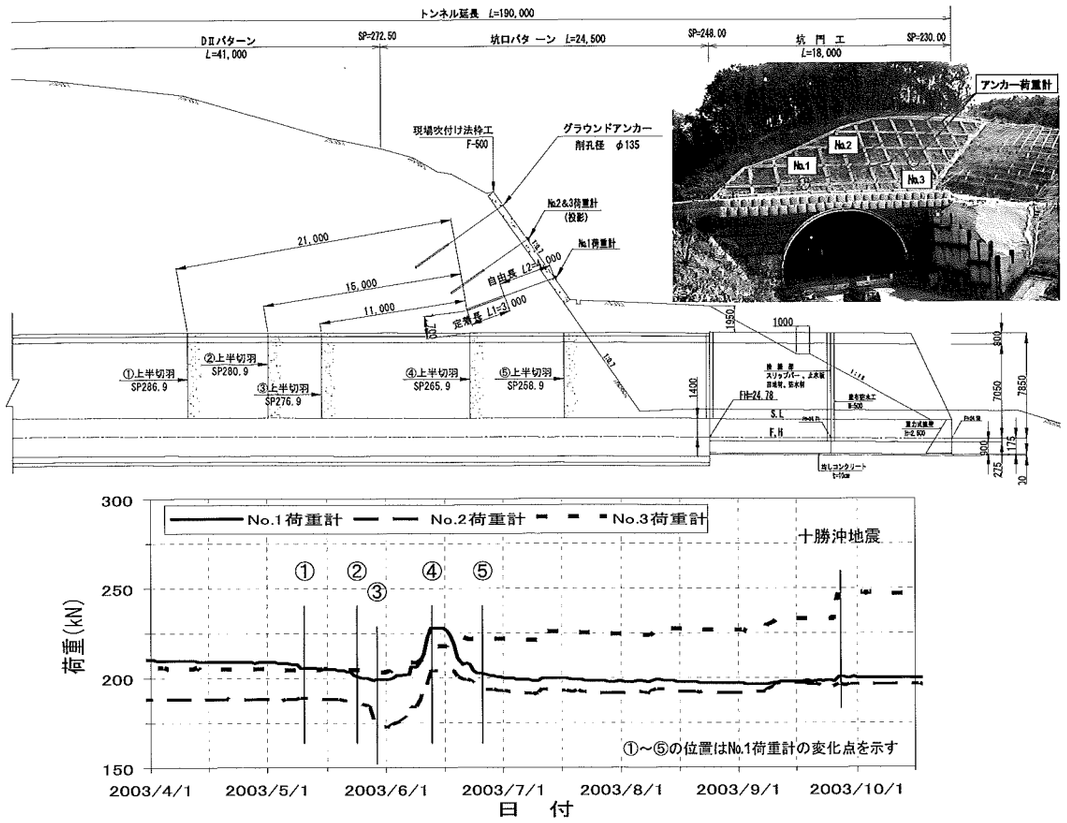


図-16　起点側坑口部アンカー荷重計および切羽位置と経時変化図

羽通過後は固定点のアンカー頭部へも掘削の影響が及んだことにより再度緊張力が低下したと考えられる．

上記のNo.1荷重計における緊張力の変化動向は，No.2荷重計でもタイムラグは多少あるがほぼ同様である．しかしながら，トンネルからもっとも離隔のあるNo.3荷重計では，上半切羽が定着部近傍通過後も緊張力の低下はみられなかった．この要因は，２つの切土のり面の交差部に近く，アンカー定着部はトンネル内空側に変位しても，アンカー頭部はトンネル掘削の影響と切土のり面の形状効果によって拘束された状態となり緊張力が低下しなかったと考えられる．

以上のように，トンネル掘削がグラウンドアンカーの緊張力に与える影響は，単にアンカー定着部や頭部とトンネルの離隔のみで評価することができない場合もある[7]．本工事のようにトンネルとグラウンドアンカーが近接する場合には，動態観測による抑止効果の確認と管理が重要となる．

一方，平成15年９月26日に浦河地域は震度６弱の地震に２度見舞われた(2003年十勝沖地震，本震：４時50分11秒，M8.0，深さ42km，最大余震：６時８分３秒，M7.1，深さ35km)．地震発生時点のトンネル状況は，上半が貫通し，下半掘削を数m残した状態であったが地震による災害はとくに発生しなかった．

ただし，地震前後の地盤変動を自動計測の計測工Bで顕著に捕らえることができた．図-15, 16に示したように，地中変位計では10～20㎜の沈下，アンカー荷重計では20～25kN/本の緊張力側への変動が確認された．地表面伸縮計では10～35㎜地形傾斜方向あるいは逆方向に変位した．いずれの変化も突発的でほぼ継続性がないことからトンネルへ直接的な影響はないと判断した．

6 おわりに

本トンネルで発生した200㎜を超える急激な共下がりの異常沈下現象は，通常では考えづらい非常に大きな変位量であり，しかも最大土かぶり22m(約1.5*D*)と小土かぶりであっても地表面に開口クラックの発生などの地山変状を目視で確認することはできなかった．このような現象は，上部上蝦夷層群浦河累層の破砕泥岩の特異な地山性状が要因となって発生したと考えられる．

本工事では，掘削前に動態観測工を整備し，情報化施工により異常沈下現象を早期に察知できたことが，無事にトンネル施工することにつながった．

本稿では，終点側坑口部付近で発生した異常沈下現象に対して，原位置および室内試験で地山物性を把握し，数値解析などさまざまな検討・検証の実施によって，その要因を定量的かつ定性的に示すことができた．また，異常沈下現象の要因を勘案して，坑外および坑内で実施した補強対策工の作用効果を検証した事例について述べた．

最後に，異常沈下現象の要因分析からトンネル掘削の対策検討において多大なご指導を賜ったまきばトンネル工法検討委員会の委員長，委員各位ならびに各種試験，設計検討業務に傾注していただいた住鉱コンサルタント(株)に深謝致します．

参考文献

1) 土木学会：トンネルにおける調査・計測の評価と利用，pp.76-79，1989.5.
2) 北海道開発技術センター：道路トンネル設計施工要領，pp.2-26，1999.9.
3) 奥園誠之：切取斜面の設計から維持管理まで，鹿島出版会，p.100，1983.
4) 土木学会：トンネル・ライブラリー第5号　山岳トンネルの補助工法，pp.28-29，1994.
5) (財)鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル，p.21，1986.9.
6) 土木学会：トンネル標準示方書［山岳工法編］・同解説，pp.197-198，1995.7.
7) 伊藤隆・越智修・小山昭・中川信男・重田佳幸：土被りの小さいトンネルにおける大型先受け工の効果に関する評価手法，土木学会トンネル工学研究論文・報告集，Vol.9，pp.113-118，1999.11.

【好評発売中】

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修　B5判　209頁　本体価格 2,500円　〒340円



本書は，平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「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．

〔主要目次〕

序　編　トンネルと地質の関わり
第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件
第Ⅲ編　地質調査法
第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

施工

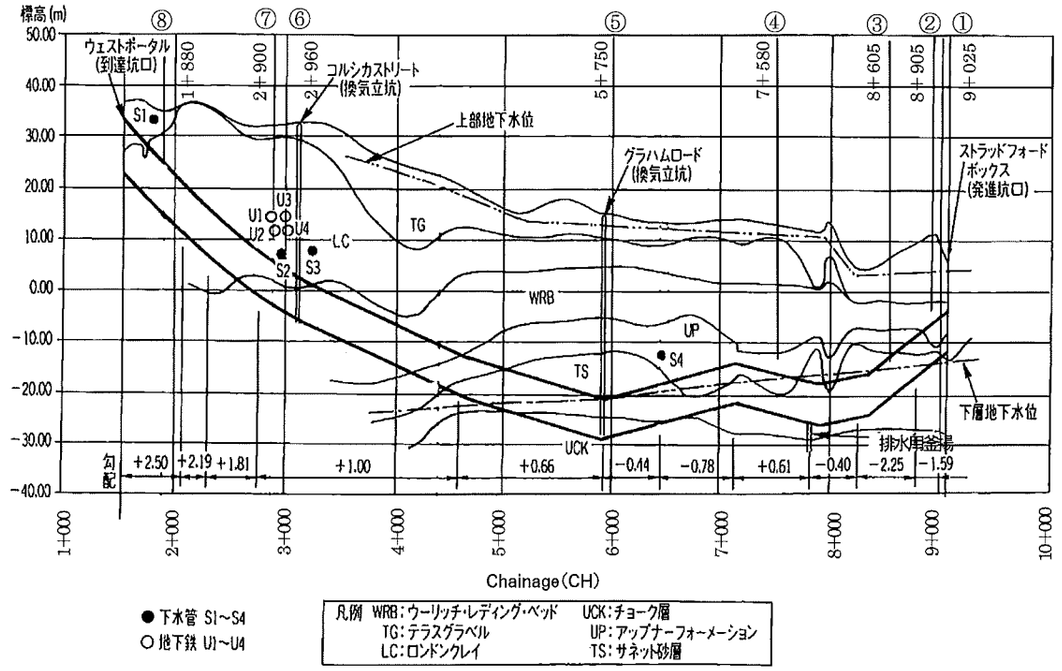
土圧シールドの7.5kmにわたる逆解析手法を用いた沈下計測管理

—チャンネルトンネルレールリンク220工区(ロンドン付近)—

西松建設(株)技術管理部技術課課長代理　南　敏文
西松建設(株)シンガポールC828出張所工事係長　山崎　宏
西松建設(株)技術研究所土木技術研究課課長　萩原敏行

1 はじめに

チャンネルトンネルレールリンク(CTRL)は，国際列車ユーロスターの英国内での高速化を図るため，ドーバー海峡に面したフォークストンとロンドンを専用の高速線で結ぶ全長109kmのプロジェクトである．本工事(220工区)は，CTRLプロジェクトのロンドン側基点に位置する延長約19



①～⑧番号は，FEM解析断面の位置を表す．①～③は試験施工区間，⑥，⑦は地下鉄トンネル近接区間，⑧は鉄道橋台近接部を示す．

図-1　地層構成およびトンネル縦断図

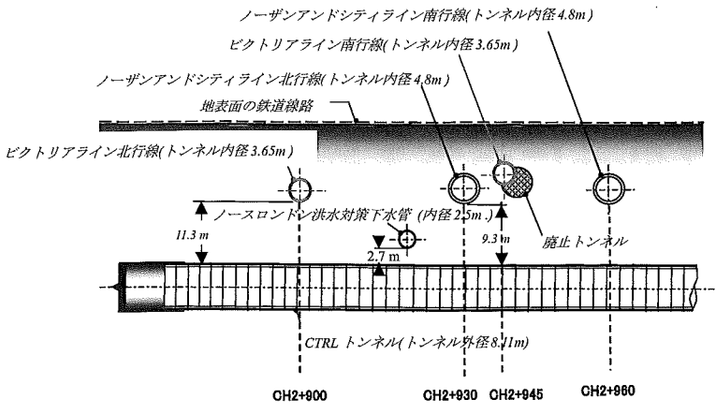


図-2 地下鉄トンネル近接区間縦断図

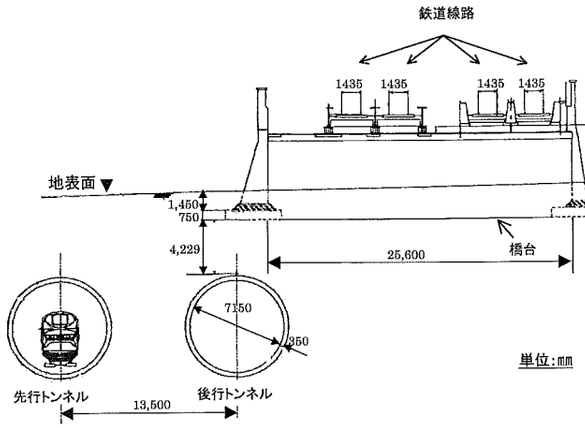


図-3 鉄道橋台近接部横断図

kmのロンドントンネルのうち，最長工区であるロンドン東部のストラットフォード駅から中心部のセントパンクラス駅1.6km手前までの7.5kmのトンネル上り線，下り線2本を泥土圧シールド工法で築造するものである．本工事の地層構成を含むトンネル縦断図を図-1に示す．

本トンネルはほぼ全線にわたって鉄道または民家に近接した長距離トンネルであるため，沈下対策と高速施工を両立させることが課題であった．沈下対策については，とくに4本の地下鉄トンネルおよび鉄道橋台近接部が重要であった(図-2, 3参照)．

本工事の工事計画ならびに施工結果の一部については，本誌既報[1),2)]に報告済みであり，2004年3月に掘削完了している．本稿では，前回詳しく報告できなかった沈下計測管理および解析の結果について報告する．

2 沈下予測解析および計測管理の手法

2-1 全体の流れ

図-4に沈下予測と計測管理および解析フローを示す．経験的手法による沈下予測にもとづいた影響評価などを行ったうえで沈下目標値を設定し，計測結果の分析，掘削パラメータの再検討などを日常的に行うことが基本的な流れである．それに加えて，重要構造物近接区間3断面およびその手前5断面の合計8断面(図-1参照)についてFEM解析を行った．実測値と比較することによって地盤定数，応力開放率などについての再検討をくり返し行い，重要構造物近接区間において精度の高い沈下予測を行うことを計画した．

2-2 経験的手法による沈下予測および評価

沈下予測は，事前検討段階において，図-5に示す正規確率曲線を逆さにしたペックの沈下曲線[3)]を用いた沈下予測をほぼ全区間について行った．これにもとづいた影響評価の結果および過去の実績を勘案して，一般部における地山ロス率は0.5～1.0%を初期管理目標値として設定した．ここで地山ロス率とは，トンネル掘削によって発生したトンネル延長1mあたりの沈下容積(断面積に相当する地山ロスと呼ぶ)を掘削断面積に対する比率で表したものである[3)]．すなわち，任意点における沈下量は式(1)によって表される．

$$S_v = S_{max} \cdot e^{-(y^2/2i^2)} \quad (1)$$

ここに，地表面からの深さZにおいて，

S_v ：任意点における沈下量

S_{max} ：最大沈下量

y ：トンネル中心から任意点までの水平距離

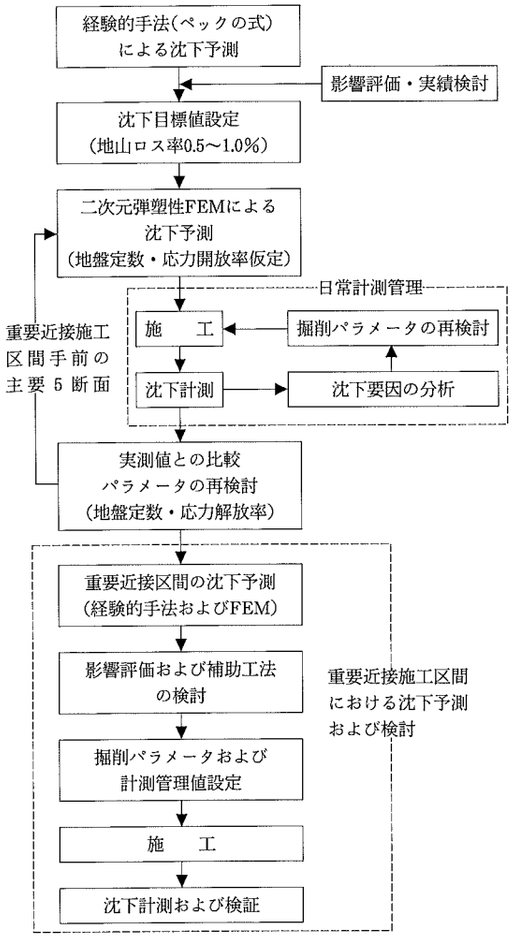


図-4 沈下予測と計測管理および解析フロー

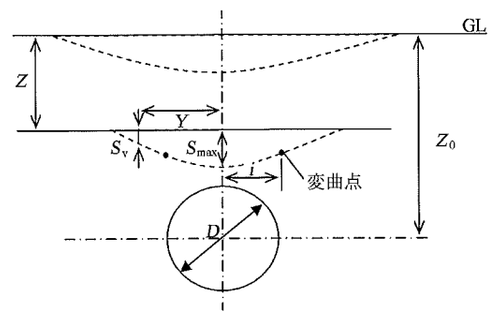


図-5 地山ロス率の定義

i ：トンネル中心から変曲点までの水平距離

粘土層の場合のトンネル中心から変曲点までの水平距離は次式で表される．

$i = K(Z_0 - Z)$

ここに，

K ：沈下トラフの幅を表す係数

Z_0 ：地表面からトンネル中心までの深さ(m)

Z ：地表面から任意点までの深さ(m)

トンネル延長1mあたりの沈下容積(沈下トラフの断面積)は式(2)，(3)で表される．

$$V_S = \frac{V_L}{100} \times \frac{\pi}{4} D^2 \quad (2)$$

$$V_S = \sqrt{2\pi} \cdot i \cdot S_{max} \quad (3)$$

ここに，

V_S ：沈下断面積

V_L ：地山ロス率(%)

D ：トンネル掘削径(m)

本手法は沈下予測だけでなく，計測結果の近似曲線を作成し，地山ロス率を算定することによって沈下実績の評価にも用いた．

2-3 日常計測管理

各計測断面の地盤変状計測結果を迅速に分析し，日常的なフィードバックを行った．具体的な分析およびフィードバックの手法は以下のとおりである．

① 全計測断面において計測結果の近似曲線を作成し，地山ロス率を算定することによって沈下実績の評価を行った．

② 全計測断面において沈下プロセス図を作成し，沈下要因を分析することによって掘削パラメータ(切羽土圧，排土量，裏込め注入量，圧力および初期強度)管理値の再検討を行った．

③ 沈下曲線の形状特性(K値)を地盤種別ごとに統計分析することにより，測点数が少ない断面でも近似曲線を作成できるようにした．

④ 切羽土圧と地山ロス率の関係を地盤種別ごとに統計分析することにより，設定土圧の見直しを行った．

2-4 FEM解析による沈下予測および評価

重要構造物近接区間における高精度な沈下予測および掘削管理に対する適切な評価を行うために二次元弾塑性FEM解析[4)]を行った．

沈下の大きさおよび形状は地盤特性に左右され

る部分が多い．したがって，粘土層から砂層まで多岐にわたり複雑かつ変化に富む地盤構成を有する本トンネル工事においては，地山ロス率だけで高精度な沈下予測および掘削管理に対する評価を行うことが難しい．

一方，適切な地盤定数を用いたFEM解析から得られた応力開放率は掘削管理の良否の度合いを示す重要な指標の1つであるため，これによって高精度な沈下予測および掘削管理に対する評価が可能になると考えた．

FEM解析は図-1に示した8断面について行った．最初の5断面は，重要構造物近接区間における地盤定数などの解析パラメータの最適化のための予備解析との位置付けである．すなわち，1断面ごとに予測解析および計測結果からの逆解析を行い，解析パラメータを修正した．

これをくり返すことによって，重要構造物近接区間における沈下予測の精度を向上させることを目的とした[2]．

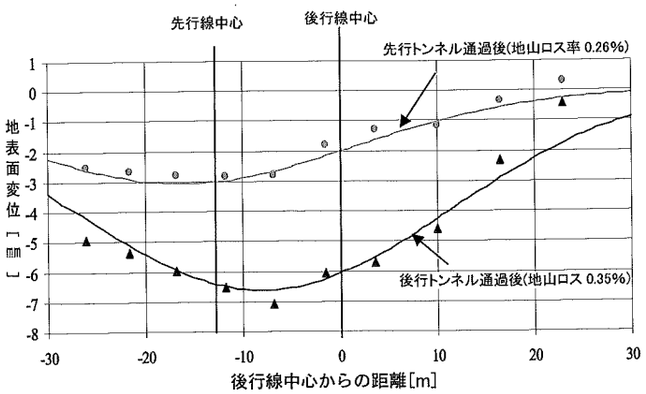


図-6　砂地盤における地表面沈下トラフ

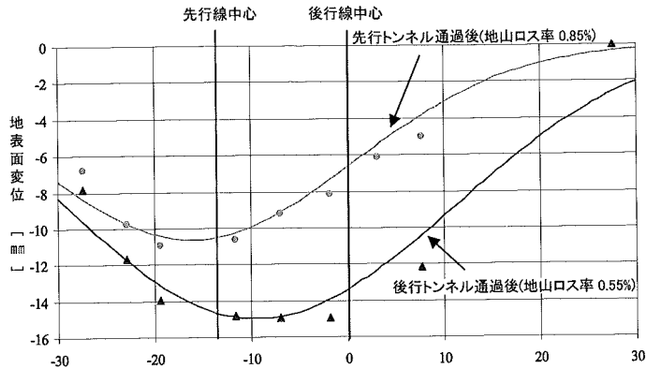


図-7　粘土地盤における地表面沈下トラフ

3　地盤変状計測結果の分析

3-1　土質別地盤変状特性

3-1-1　沈下量および沈下トラフ形状

砂地盤(CH5＋685地点サネットサンド)における先行および後行トンネル通過後の地表面の沈下トラフを図-6に示す．地山ロス率は先行トンネル通過後で0.26%，後行トンネル通過後で0.35%，K値は0.42であった．一方，粘土地盤(CH3＋300地点ロンドンクレイ)における先行および後行トンネル通過後の地表面の沈下トラフを図-7に示す．地山ロス率は先行トンネル通過後で0.85%，後行トンネル通過後で0.55%，K値は0.47であった．

全般的において地山ロス率は，砂地盤の場合0.2～0.5%と小さいのに対して，粘土地盤の場合は0.5～0.8%と比較的大きい傾向を示した．また，地表面における沈下トラフの幅を示す係数(K値)は砂地盤と粘性土地盤で大差はなく，0.3～0.5の範囲で平均約0.4であった．

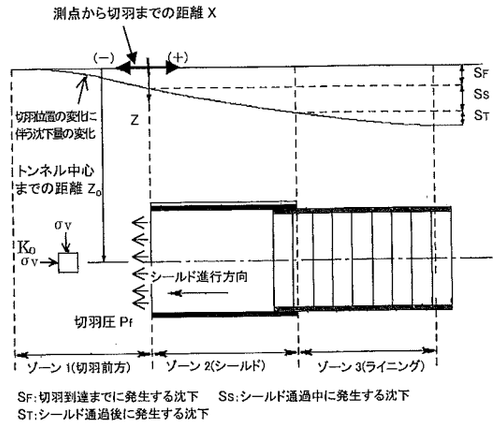
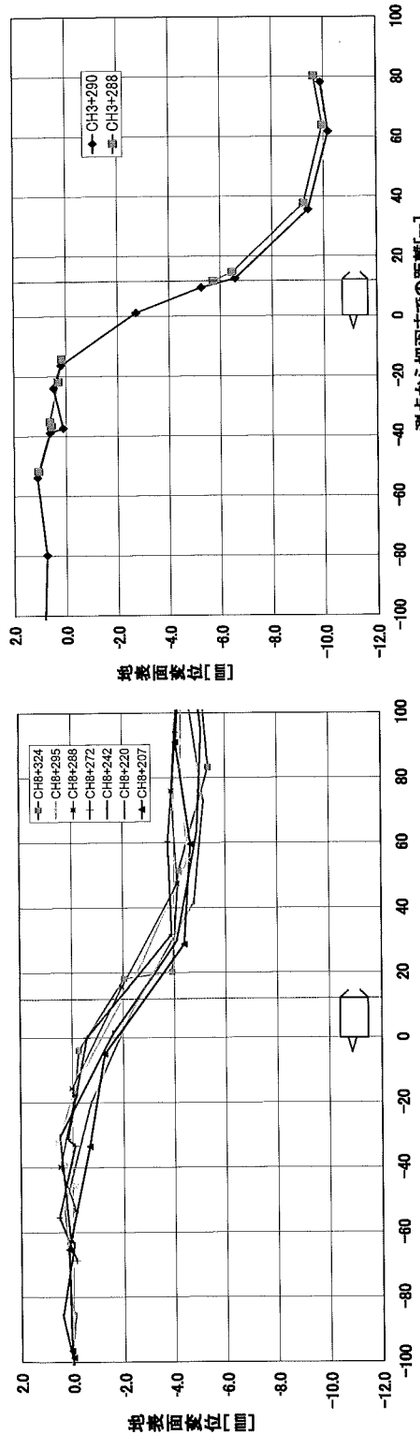


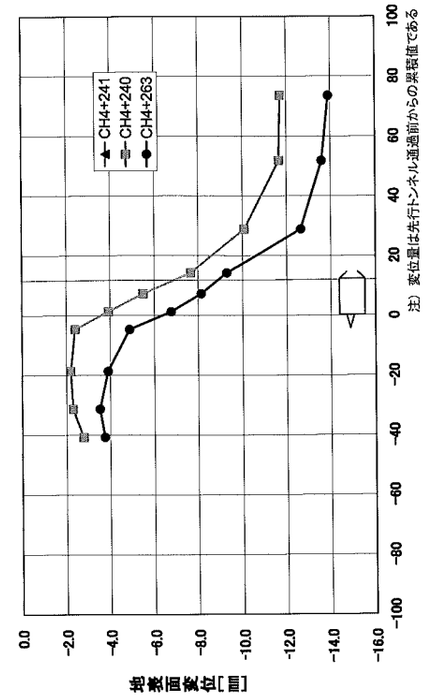
図-8　沈下プロセスの概念図

3-1-2　沈下のプロセス

シールドの通過に伴う沈下のプロセスは，切羽



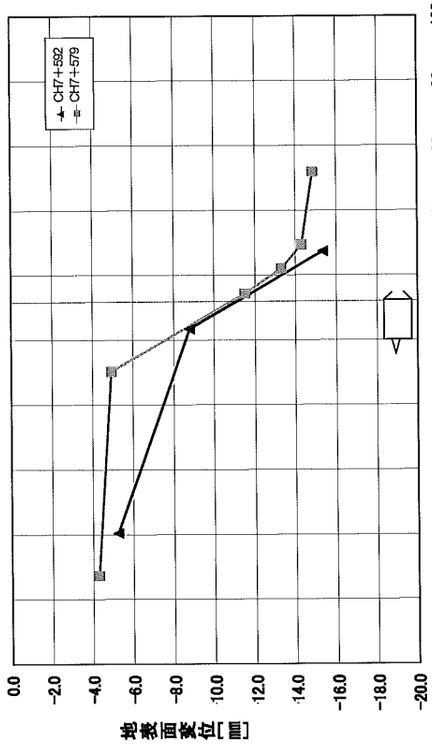
(1)　先行トンネル通過時(CH3＋300付近WRB)



(2)　後行トンネル通過時(CH4＋250付近WRB)

図-10　粘土地盤における地表面沈下プロセス

(1)　先行トンネル通過時(CH8＋200～300付近サネットサンド)



(2)　後行トンネル通過時(CH7＋600付近サネットサンド)

図-9　砂地盤における地表面沈下プロセス

到達前沈下S_F，シールド通過中の沈下S_S，およびシールドテール通過後の沈下S_Tの3段階に分けられる(図-8参照)．

砂地盤(サネットサンド)および粘土地盤(ロンドンクレイ；WRB)における沈下のプロセスを図-9, 10にそれぞれ示す．また，測点ごとの最終沈下量に対する沈下割合をまとめて表-1に示す．

これらの結果から示されるように，各段階の沈下割合は砂地盤と粘性土地盤に大差はなく，平均すると切羽到達前で20～25%，シールド通過中に20～30%，シールドテール通過後に50～55%であった．

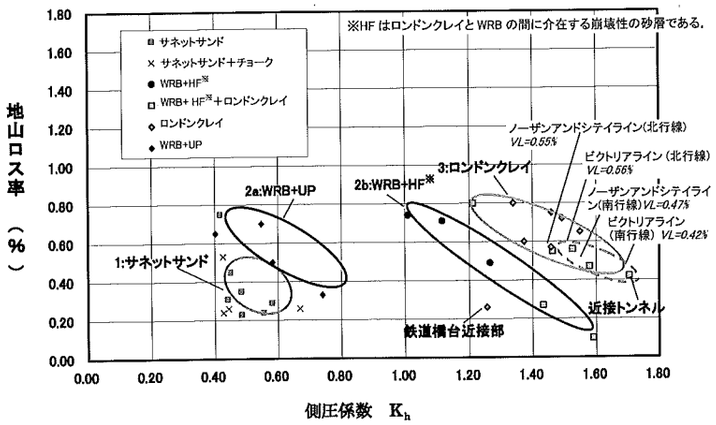


図-11　地山ロス率と切羽土圧の関係

3-2　切羽土圧と沈下量の関係

切羽土圧と地山ロス率の関係を地盤種類ごとにまとめたものを図-11に示す．ここで，横軸は，平均切羽土圧をテルツアギーによる緩み土圧で正規化した側圧係数K_hとして表示している．

非常に密な砂地盤(サネットサンド)においては，K_h=0.4～0.6に対する地山ロス率は0.2～0.5%である(楕円1)．

硬質粘土主体のWRB層においては，砂地盤と比較すると，側圧係数と地山ロス率の間に明瞭な相関関係が認められ，K_h=0.4～0.8に対する地山ロス率は0.3～0.8%である(楕円2a)．ただし，ロンドンクレイとの境界に介在する崩壊性の砂層(ハロウィッチフォーメーション)がWRB層天端部に出現する場合，同程度の地山ロス率に抑えるためには1.0～1.6の高い側圧係数が必要である(楕円2b)．

均一な硬質粘土層であるロンドンクレイにおいてもWRB層と同様に，側圧係数と地山ロス率の間に明瞭な相関関係が認められる．ただし，地山ロス率0.4～0.8%に対する側圧係数はK_h=1.2～1.7で，崩壊性の砂層を伴うWRB層よりもさらに高い切羽土圧が必要であることが判明した(楕円3)．

すなわち，ロンドンクレイはWRBよりも過圧密状態にあり，初期水平応力が高いことから，応力開放を抑えるためには，それに見合った高い切羽土圧が必要であるといえる．

表-1　地表面の最終沈下量に対する各沈下プロセスの割合

地盤種別	計測位置	S_F (%)	S_S (%)	S_T (%)	備　考
砂地盤(サネットサンド)	CH8+324	12	14	74	先行トンネル通過時
	CH8+295	24	18	58	
	CH8+288	21	16	63	
	CH8+272	15	23	62	
	CH8+242	30	16	54	
	CH8+220	35	15	50	
	CH8+207	38	21	41	
	CH7+579	28	33	39	後行トンネル通過時
	平　均	25	20	55	
粘土地盤(WRB)	CH3+290	26	22	52	先行トンネル通過時
	CH4+263	19	27	54	後行トンネル通過時
	CH4+241	26	25	49	
	CH4+240	10	37	53	
	平　均	20	28	52	

3-3　重要近接構造物の挙動

3-3-1　地下鉄トンネルの挙動

4本の地下鉄トンネルのうち1本について，先行トンネル通過後の沈下トラフを図-12に示す．同図は，実測値をFEM解析による予測と比較して示している．地山ロス率は，FEM解析による

予測値0.36%に対して実測値0.47%であった．2-4で述べたように，FEM解析は地下鉄交差断面の手前5断面の予備解析によって最適化した地盤定数，応力開放率などのパラメータを用いて行った結果である．FEM解析の経緯とパラメータの変遷は，表-2に示すとおりである．

一方，沈下のプロセスは図-13に示すとおり，切羽到達前6%，シールド通過中22%，通過後72%であった．3-2で述べたような分析から，切羽土圧の設定は適切であったために，今回切羽到達前の沈下量は非常に低く抑えられたものと評価できる．

また，FEM解析結果よりも大きな沈下量が発生したことを受けて，逆解析を行って解析パラメータを再度修正し，最後の重要近接構造物である鉄道橋台の沈下予測に反映させた．

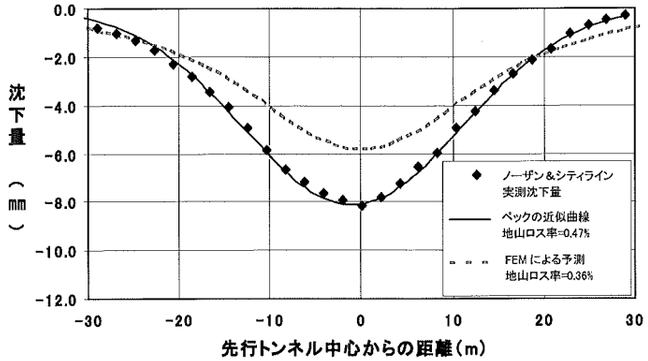


図-12　近接地下鉄トンネルの沈下トラフ

3-3-2　鉄道橋台の挙動

上記のとおり，地下鉄交差断面における逆解析の結果，地盤定数の修正は行わなかったが，応力開放率を19%から22%に修正した(表-2参照)．

図-14は，鉄道橋台近接部における先行トンネル通過後の地表面の沈下トラフを示している．図に示すとおり地

表-2　FEM解析の経緯とパラメータの変遷

解析ステップ	解析断面および地盤種別	地盤定数	応力開放率	地山ロス率
Step-1 初期解析	Section 1, 2, 3 初期掘進および試験施工区間 (CH8+605～9+025) WRB+アプナーフォーメーション+サネットサンド	土質調査結果にもとづく初期設定	仮設定	仮設定
Step-2 沈下実績にもとづく逆解析		右記沈下実績をもとにK_0, Gを修正	右記沈下実績をもとに45～50%に修正	Section 1：0.7%および Section 3：0.4%(実測値)
Step-3 沈下予測	Section 4 (CH7+580) アプナーフォーメーション+サネットサンド	Step-2の沈下実績をもとにK_0を修正	直近の沈下実績をもとに14%に修正	0.45%
Step-4 沈下実績にもとづく逆解析		右記沈下実績をもとにK_0を修正(掘削断面K_0=0.35)	右記沈下実績をもとに45%に修正	0.57%(実測値)
Step-5 沈下予測	Section 5 (CH5+750) サネットサンド	省　略	省　略	省　略
Step-6 沈下実績にもとづく逆解析		Step-4に準拠	右記沈下実績をもとに19%に修正	0.24%(実測値)
Step-7 沈下予測	Section 6, 7 ハイブリーコーナー (CH2+900～2+960) WRB+ハロウィッチフォーメーション+ロンドンクレイ	Step-4に準拠	Step-6に準拠(19%)	0.36%
Step-8 沈下実績にもとづく逆解析		右記沈下実績をもとにK_0を修正(掘削断面K_0=0.10)	右記沈下実績をもとに22%に修正	0.47～0.56%(実測値)
Step-9 沈下予測	Section 8 カレドニアンロード (CH1+880) ロンドンクレイ	Step-8に準拠	Step-6に準拠(22%)	0.37%
Step-10 沈下実績にもとづく逆解析		Step-8に準拠	右記沈下実績をもとに20%に修正	0.26%(実測値)

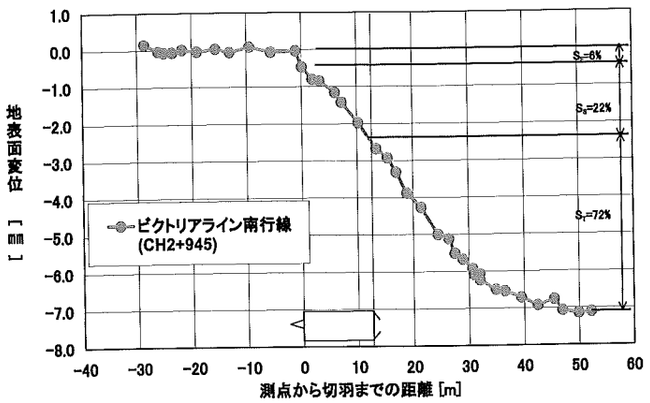


図-13 近接地下鉄トンネルの沈下プロセス

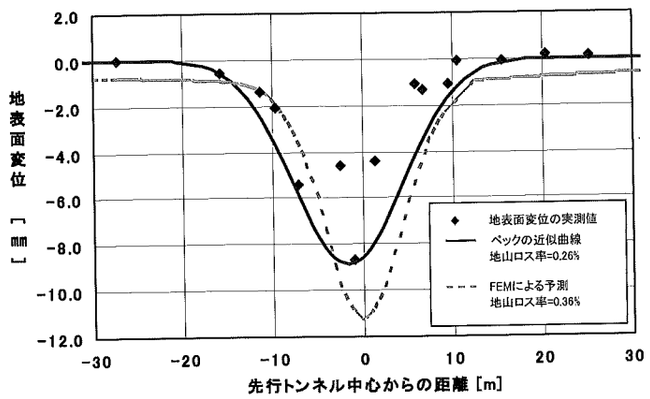


図-14 近接鉄道橋台部の地表面沈下トラフ

山ロス率は，FEM解析による予測値0.36%に対して実測値0.26%であった．図-3に示すとおり，当該箇所は営業線の鉄道橋台との離隔が4.2m(0.5D)，土かぶりも6.4m(0.8D)と非常に小さく，厳しい施工条件であったが，それまでの約7kmに及ぶ豊富なデータの分析結果を反映させることによって，沈下量を最小限に抑えることができたと評価できる．

3-4 地盤変状計測および分析結果のまとめ

以上，地盤変状計測および分析結果について述べた．

本研究で得られた知見をまとめると，以下のとおりである．

(1) ペックの沈下曲線を用いて地山ロス率を算定することによって，多種多様な地盤条件における膨大な地盤変状計測データを迅速かつ適切に評価することができた．

(2) 地山ロス率は，非常に密な砂地盤において0.2～0.5%，過圧密状態の硬質粘土地盤において0.3～0.8%であった．これらの結果から，今回すべての地盤区間に対して，地山ロス率を初期管理目標上限値1.0%以内に抑えることができた．

(3) 沈下量(地山ロス率)と切羽土圧(側圧係数)の関係を地盤種類ごとに整理することにより，目標沈下量に対する適正切羽土圧の設定が容易となることが明らかにされた．

(4) 先行トンネルの沈下のプロセスは地盤種別にかかわらず，最大沈下量に対して切羽到達前25%，シールド通過時20%，通過後55%の各割合を示した．

(5) 複数断面でFEM解析による沈下予測および実績にもとづいた逆解析をくり返し行い，地盤定数，応力開放率などの解析パラメータの最適化を行うことで，最終的に信頼性の高い沈下予測を行うことができた．

4 おわりに

本稿では，7.5kmの長距離土圧シールドトンネルにおける地盤変状，ならびに近接する重要構造物の変状について，現場計測結果および数値解析の結果を中心に述べた．

本トンネル工事においては，沈下量を限りなく小さく抑えることに挑んだわけではないが，沈下対策と高速施工の両立という大きな課題に対して一定以上の成果が得られた．

本トンネル工事に関連した報文は，工事計画，施工の報告に続いて本稿で第3稿目となる．海外工事で長距離・高速施工および沈下対策問題に取り組んだ成果をより深くご理解いただくために，前2稿と併せて参照していただければ幸いである．

最後に，これまで多くのご指導，ご支援をいただいた関係各位に対し深く感謝の意を表し，本稿の結びとする．

参考文献

1) 阿野豊・宇津木薫・南敏文：7.5km長距離シールドトンネルの工事概要，チャンネルトンネルレールリンク220工区，トンネルと地下，Vol.33, No.4, pp.31–36, 2002.4.
2) 山崎宏・南敏文・阿野豊：7.5km土圧シールドの高速施工とその掘進管理，チャンネルトンネルレールリンク220工区，トンネルと地下，Vol.35, No.8, pp.27–35, 2004.8.
3) Peck, R. B.：Deep excavations and tunneling in soft ground, Proceedings of the 7th ICSMFE(Mexico), State of the Art Volume, pp.225–290, 1969.
4) Wongarioj, J., Borghi, F.X., Soga, K., Mair, R.J., Sugiyama, T., Hagiwara, T. and Bowers, K.H.：Effect of TBM driving parameters on ground surface movements: Channel Tunnel Rail Link Contract 220, Proceedings of Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground (Bakker *et al.*,(eds)), Amsterdam, Netherland, pp. 335–341, 2005.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学 各B5判 全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

第Ⅰ巻 地下水の物理と化学 価格4,281円 〒340円
第Ⅱ巻 地下水環境学 価格4,485円 〒340円
第Ⅲ巻 地下水と地質 価格3,873円 〒340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため，水の物理学・化学的性質，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多岐にわたっており，地質学者，水理地質の実務者，地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者，または，地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている．

＜第Ⅰ巻 主要目次＞
■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 主要目次＞
■地下水の化学■化学反応■物質輸送の数字理論■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■水質浄化の対策

＜第Ⅲ巻 主要目次＞
■水資源■堆積盆水環境における地下水■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
電話 (03)3267-2888（代） 振替00110-8-190072

現場だより
平成18(2006)年

「人と自然が調和した交流文化のまち」郡上市より

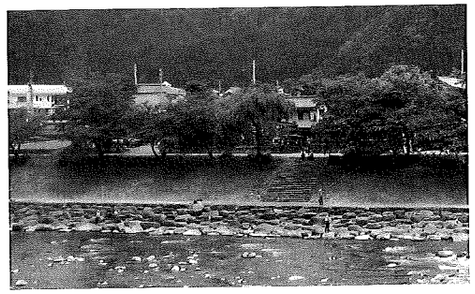
田 中 英 男

郡上市は，岐阜県のほぼ中央に位置し，平成16年3月1日，郡上郡7町村(八幡町・大和町・白鳥町・高鷲村・美並村・明宝村・和良村)が合併し岐阜県で19番目の市として誕生した．

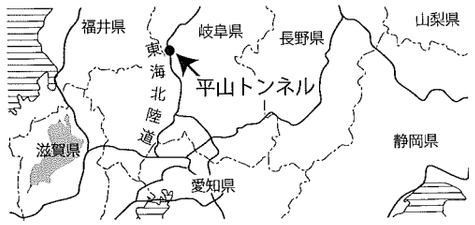
郡上市の地勢は，最低海抜地の美並町木尾(こんの)が110m，最高海抜地の白鳥町銚子ケ峰が1,810mと高低差が大きく，長良川の源流部にあたる高鷲町の大日山麓一帯にはひるがの高原・上野高原が，明宝水沢(みずさわ)上一帯には，めいほう高原が広がっており，雄大な自然に囲まれたロケーションとなっている．さらに，長良川をはじめとして和良(わら)川，石徹白(いとしろ)川など一級河川が24本あり，山林の高い水源かんよう能力によって，美しく豊かな水に恵まれている．

長良川の上流には，支流を含めて荒瀬の多い清流が何本か流れており，これらの川で育つ天然鮎は身が締まり，藻の香りがプーンとして味も最高である．市内を流れる川には，郡上鮎を狙って竿を下ろす太公望の姿があちこちに見られ，この風景は郡上の夏の風物詩でもあり，現場事務所からも毎日鮎釣りの様子が眺められる．

7月15日のおどり発祥祭を皮切りに，郡上の夏の風物詩で国重要無形民俗文化財の「郡上おどり」がはじまる．八幡地域の「郡上おどり」は安土桃山時代の後期から400年を数える歴史ある踊りで，京都の八坂神社と同じ名を持つ神社がここにもあり，7月中旬から9月上旬まで行われる．踊り納めまでの30夜を，縁日のお祭りとして踊りが続き，踊り保存会による生のお囃子が特徴だ．そして見物客より踊り手がだんぜん多い参加型の踊りで，だれでも自由に参加できる．とくに盂蘭盆会(うらぼんえ)の8月13～16日までの4日間は徹夜踊りとなり，雨が降っても朝までお囃子が鳴り続ける．


現場事務所より長良川を望む


郡上おどり



位 置 図

東海北陸自動車道は愛知県から富山県へ日本列島の中央部を南北につなぐ高速道路として早期の完成が望まれている．現在，暫定2車線の美並～白鳥間の4車線化事業の一部として当平山トンネル工事がある．地質はトンネル北側半分がチャート主体，南側は砂岩主体で，美濃帯特有のメランジェ構造を伴った地質である．当初，Ⅰ期線の施工実績から大量の湧水が懸念されたため，切羽前方探査によるトンネル地山評価システムを試行的に導入し，事前に地山の状態を把握しながら安全かつ経済的に施工を進めている．北側から南へ掘進し，7月末現在，1,396mのうち980mまで掘削が進み，覆工も約3分の1が終了している．

発注者・関係各位のもとJV職員一丸となって安全で高い品質の施工を心掛けながら，年内の貫通を目指し，鋭意努力している．

(鴻池組・ロッテ建設特定建設工事共同企業体平山トンネル工事所長)

施工

アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進

—東京都下水道　第二十二社幹線暫定貯留切替推進工事—

東京都下水道局流域下水道本部技術部長(前)東京都下水道局中部建設事務所長) 宇田川 孝 之
(財)下水道新技術推進機構研究第二部副部長(前)東京都下水道局中部建設事務所工事第二課長) 吉 川 静 雄
大成建設(株)第二十二社幹線作業所長 船 越 誠
大成建設(株)第二十二社幹線作業所現場代理人 田 村 憲

1 はじめに

本工事は東京都渋谷区笹塚一丁目付近の浸水対策として十二社(じゅうにそう)幹線へ流入する下水の一部を，第二十二社幹線へ切り替えることを目的とする管路を泥濃式推進により築造するものである(図-1)．

施工の特徴として，推進路線途中で地中障害物に遭遇することが予測されたため，推進機に備えた超高圧ジェットノズルにより機内から地盤改良を行い，アブレシブジェット水流によって障害物を切断することにより，地上部から施工を施すことなく地中障害物を通過することができるDO-Jet(Double Object-Jet)工法を採用していることである(写真-1, 2)．

本工事ではこの工法によって，支障杭を3本切

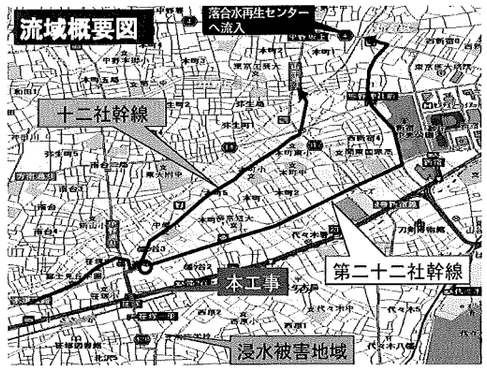
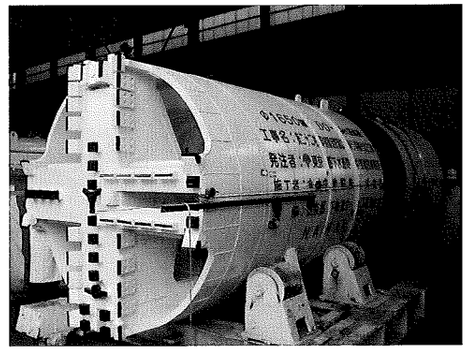


図-1　流域概要図


写真-1　DO-Jet推進機


写真-2　DO-Jet推進機

断した．実際の施工を通して工法の特徴をより有効かつ確実に実施できる技術的知見を得たので報告を行う．

2　工　事　概　要

工事名称：第二十二社幹線暫定貯留に伴う切替その２工事
発 注 者：東京都下水道局中部建設事務所
施 工 者：大成建設(株)
施工場所：東京都渋谷区笹塚一丁目・幡ヶ谷一，二丁目

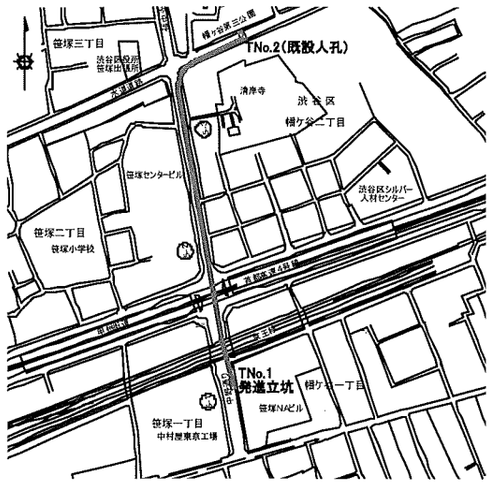


図-2　推進路線図(平面図)

延　　長：402.2m
内　　径：φ1,650㎜
縦断線形：－10～0‰
土かぶり：7.2～10.7m
平面線形：急曲線(R＝25m)
〈泥濃式推進機〉
機　　長：5,390㎜
外　　径：φ1,970㎜
重　　量：33t
高圧ノズル：3か所

3　支障杭の状況とDO-Jet工法標準施工

3-1　支障杭の状況

遭遇した支障杭は，高圧ノズルから水を噴射し，障害物形状を想定する前方探査を行った結果，3本ともH形鋼(H-350)と確認され，図-7に示すように推進機進行方向の右側にフランジ端部を手前側に向け，やや斜めに構えた状態で確認された．

3-2　超高圧ノズルによる地盤改良

地盤改良については，図-4のようにジェット水ラインにセメントミルクを混入させ，245MPaの噴射圧力で改良材を地山に噴射し改良体を造成する．

改良の目的としては，障害物を切断する際に噴射するジェット水流による地山の洗掘防止のために行う．

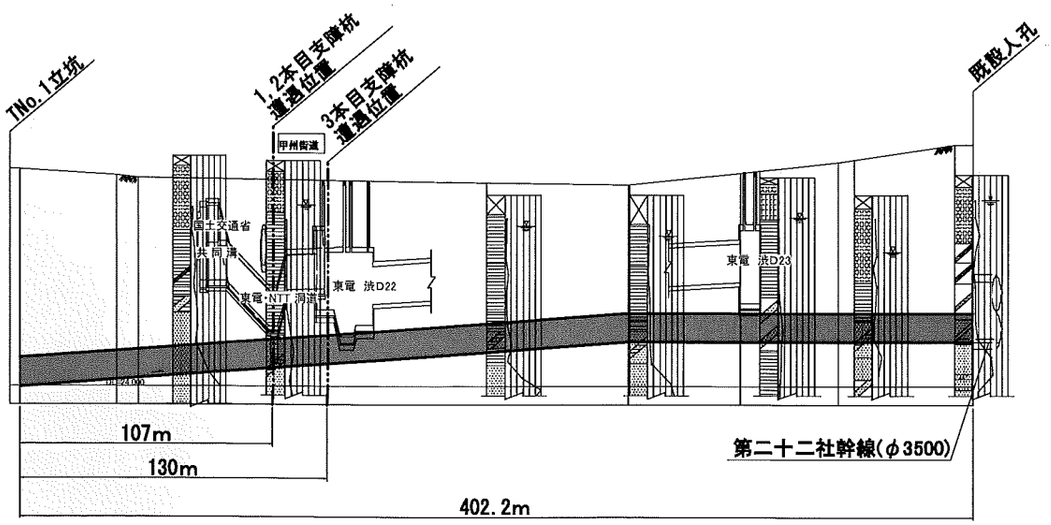


図-3　支障杭遭遇位置図(縦断図)

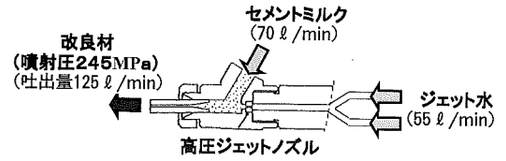


図-4　高圧ジェットノズル(地盤改良時)

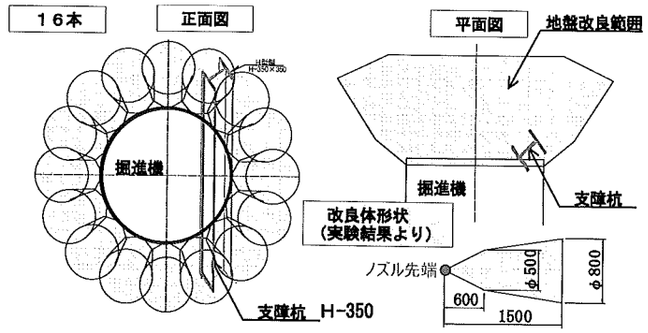


図-5　地盤改良形状図

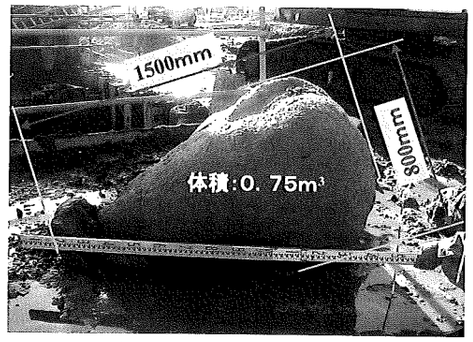


写真-3　改良体形状確認(実験時)

施工方法としては，図-5に示すように16本の円錐形の改良体(写真-3)を推進機前方にリング状に形成する．改良材噴射の際に出てくる排泥水はチャンバ内土圧を保持しながら推進機の排土孔より取り込む．

改良体１本あたりの改良材使用量は下式に示す量とし，損失係数は日本グラウト協会による高圧噴射攪拌杭工法の係数とした．この場合１本あたりの改良材噴射時間は約15分である．

体積0.75m³×(1.0＋0.06*)＝0.795m³
＊0.06：損失係数(日本グラウト協会より)

改良材全体使用量

0.795m³/１本あたり×16本＝12.72m³

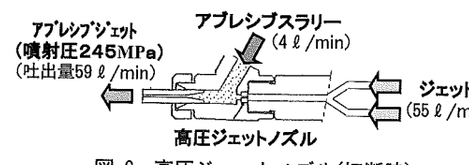


図-6　高圧ジェットノズル(切断時)

3-3　支障杭切断

支障杭については，図-6のようにジェット水ラインにポリマー溶液(高分子溶液)とガーネット粒子(研磨材粒子)が混合したアブレシブスラリーを混入させ支障杭に噴射し切断する．

切断実験のデータによると高圧ノズルから300㎜以上離れると切断能力が減衰することから手前側300㎜以内のH形鋼を先に切断し，その後推進機を200㎜前進させてから残りを切断する２段階で行った．

切断順序は最外周を切断するためのゲージノズルとカッタ中心から外周までを移動する内周ノズル(写真-4, 5)の２つのノズルを使用し，これにカッタの回転を組み合わせて切断した(図-7)．

切断時に発生する余剰水も地盤改良時と同様に

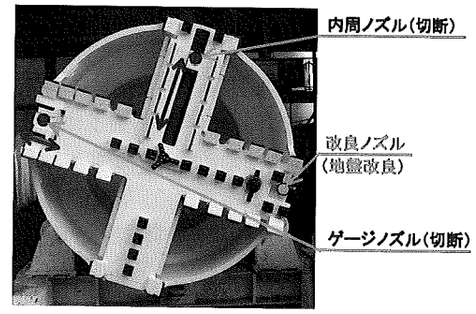


写真-4　DO-Jet推進機

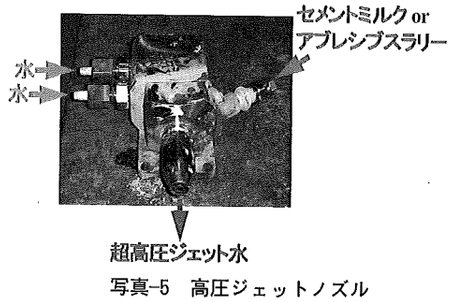


写真-5　高圧ジェットノズル

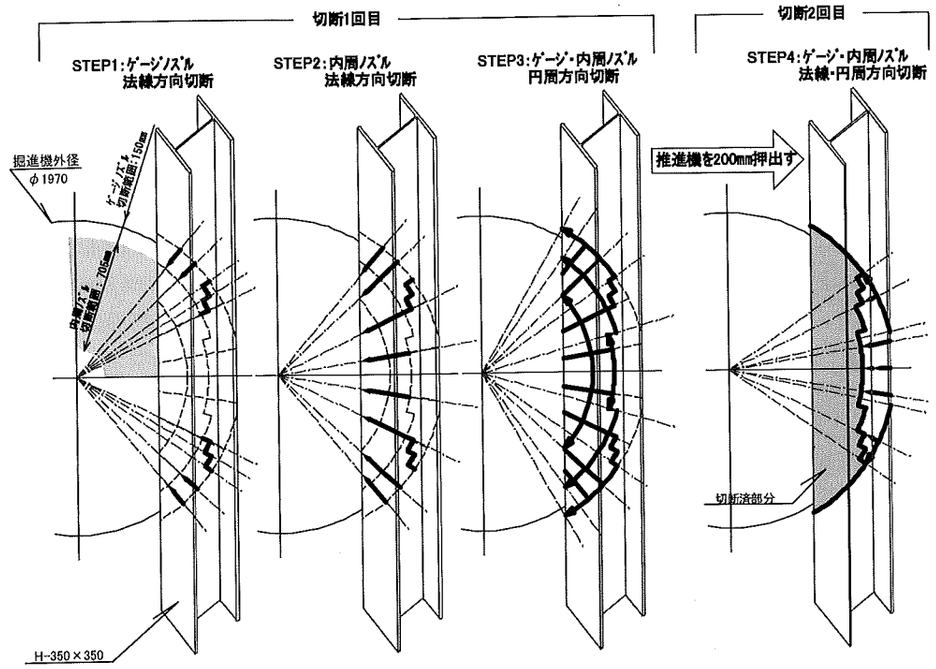


図-7　支障杭切断計画図

前面の土圧を保持しながら推進機の排土孔から取り込む.

4　今回工事におけるDO-Jet工法の問題点と技術的対策

3章に示す内容は実験結果にもとづいたDO-Jet工法の標準施工方法である．今回の施工においても標準施工方法に従って地盤改良および支障杭切断の実施を試みた．しかしながら，施工を行った当該地山は地下水が集まりやすく，かつわずかな流れを有しているとともに，カルバートなどの地中構造物の施工に伴う埋め戻し土を主体とする土層構成となっていたため，計画どおり施工することが困難なことが判明した.

そのため，このような特殊条件下でのDO-Jet工法施工においては**表-1**に示すように工法の特徴を確実に生かすための技術的対策が必要となった.

4-1　地盤改良工への対策

地上からのボーリングで改良体の出来形確認を行ったところ，実験で得られたような形状に造成されておらず，その改良体が連続形成されていない可能性が考えられた.

表-1　DO-Jet工法の問題点と技術的対策

工　種	問 題 点	必要とされる技術的対策
地　盤 改良工	地盤改良では地上からの確認ボーリングの結果，未改良部が認められた.	地下水位以下での土中において，水平方向のジェット噴射による地盤改良で，セメントミルクを地山と置換・滞留させ所定の改良体を造成するための対策.
支障物 切断工	支障杭切断では約40%のジェット水が土中に浸透・逸水し，地山に影響を与える危険性があった.	支障杭切断時に噴射したジェット水を土中に浸透・逸水させることなく噴射量と回収量の収支バランスを的確に保ちながら施工するための対策.

そこで，1本の改良体を造成する際，カッタを左右に動かし，噴射しているノズルを約500㎜揺動させ，隣り合う改良体が重なり合うよう試みた(**図-8**)．また，地山に注入された改良材が地下水によって希釈・逸水を防ぐ目的としてジェット水にJIS 3号水ガラス溶液(以下，ケイ酸溶液と称す)を混合した(**図-9**).

試験施工により，混合効果について検証を行い，以下の点が明らかになった.

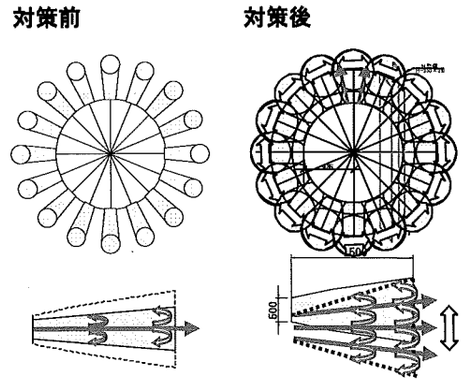


図-8　改良材噴射方法の違い

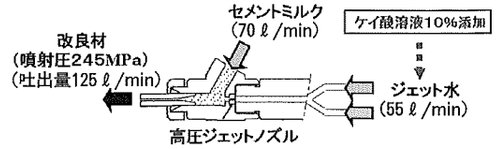


図-9　高圧ジェットノズル(ケイ酸添加)

ジェット水にケイ酸溶液を20%混入させて改良材を噴射したところ，排泥が排土管中でゲル化し始め，閉塞の可能性が見受けられる状態となってしまい明らかにゲルタイムが早いと考えられた.

ケイ酸溶液を15%濃度にし施工したところ，排泥は排土口から良好に戻ってきたが，立坑から地上まで排泥を運び出すスクイーズポンプでゲル化し始め詰まってしまった.

次にケイ酸溶液を10%にした場合では排泥および地上までの運搬も良好であった.

このケイ酸溶液とセメントミルクを混ぜたときのゲルタイム測定を地上で行ったところ20%，15%，10%の濃度のいずれも40分ほど経過したあたりでゲル化が認められた.

しかし，実際に地山に噴射されるときの高圧ジェット水の温度は40～50℃ぐらいと思われ，この温度差がゲルタイムを早めている要因と考えられる．施工が順調だったケイ酸溶液10%濃度の場合の排泥水は採取して約20分後にゲル化が認められた.

吐出量に対する回収量の割合を排泥率と称すると，ケイ酸溶液添加前の排泥率が80%であるのに対して，添加後はほぼ100%の排泥率となった.

このことからも，噴射したセメントミルクとジェット水は地山に浸透することなく噴射と排泥の収支バランスを保ちながら地山への影響を最小限とした施工ができたと思われる.

次に，地盤改良時にでてくる排泥を2分ごとに採取し，その性状を調べた結果が**図-10**，**表-2**である．排泥の性状から見ると改良材を噴射開始してから約16分経過したあたりから粘性，比重，色合いともに安定した状態となった．この状況から改良材噴射後16～18分の間でセメントミルクと地山の置換が完了していたと考えられる.

この排泥の性状から改良材噴射後16分が置換完了と考えた場合，16分間に噴射したセメントミルクは1,120ℓである.

当初計画していた改良体1本あたりに噴射するセメントミルクは445ℓであったので今回施工では当初計画の約2.5倍の量のセメントミルクを噴射したことになる.

ただし，噴射方向などの条件の違いがある中で置換が完全に行われるためには，ある程度の安全率を考慮するべきと考え，今回は改良体1本あたり1,260ℓのセメントミルクを噴射した.

4-2　チャンバ内の固結防止対策

改良材を噴射する際，セメントミルクが混入した排泥水を機内へ取り込むためチャンバ内がセメ

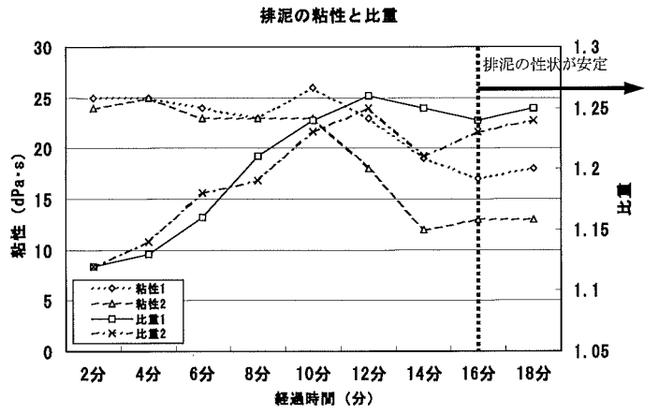
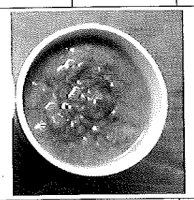
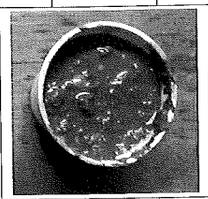
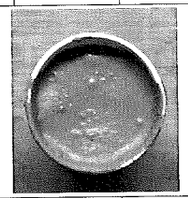
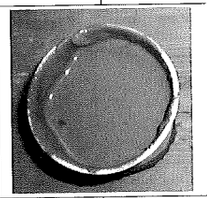


図-10　排泥の粘性と比重

表-2　排泥の性状記録一覧表

噴射経過時間	2分	4分	6分	8分	10分	12分	14分	16分	18分
排泥水温度	18℃	20℃	24℃	29℃	29℃	32℃	33℃	33℃	34℃
摂取時の粘性(dPa・s) 1回，2回	25，24	25，25	24，23	23，23	26，23	23，18	19，12	17，13	18，13
比　重 1回，2回	1.12，1.12	1.13，1.14	1.16，1.18	1.21，1.19	1.24，1.23	1.26，1.25	1.25，1.21	1.24，1.23	1.25，1.24
σ3日強度 (kN/m²)	—	—	58.8	—	—	171.0	—	—	357.5
色あい									
備　考	チャンバ充填材が混入していて白っぽい	チャンバ充填材が混入していて白っぽい	地山(シルト)と思われる粒が混入しており排泥が黒っぽい	地山(シルト)と思われる粒が混入しており排泥が黒っぽい	地山(シルト)と思われる粒が混入しており排泥が薄茶色	地山(シルト)と思われる粒が混入しており排泥が薄茶色	地山(シルト)と思われる粒が混入しており排泥が薄茶色	きれいなペースト状で粒がなく排泥は灰色	きれいなペースト状で粒がなく排泥は灰色

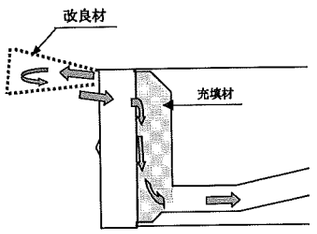


図-11　チャンバ内充填状況想定図

表-3　チャンバ充填材配合
(500ℓあたり)

助　材	25kg
SP-α	1.5kg
SP-RS	1.0kg

ント分により固結・閉塞してしまうことが懸念された(図-11).

そこで，標準方法では加泥材をチャンバに充満させ地盤改良をする計画であったが，今回はチャンバ内でセメントミルクの混合を抑制するため半ゲル状の高分子系の充填材(SP-α)を使用するとともに，セメント分がチャンバ内で固結することを防止するため遅延材(SP-RS)も合わせて混入させた(表-3).

その結果，改良材がチャンバ内で固結することなく施工することができた.

4-3　支障杭切断への対策

切断工での問題点の推定原因としては次のことがあげられる

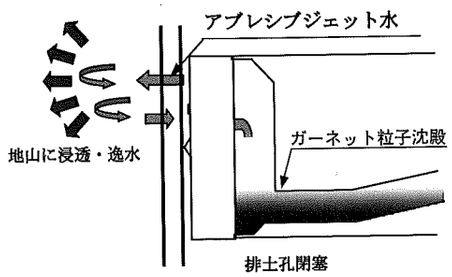


図-12　ジェット水の浸透・逸水イメージ

① カッタ前面の未改良部からアブレシブジェット水が地山へ浸透・逸水した.

② アブレシブスラリー中のガーネット粒子が沈殿してしまい，リターン排水の水みちに目詰まりを起こし，結果，チャンバおよび排土孔が閉塞状態になった(図-12).

①の対策としては前面未改良部分に推進機内から注入ロットを4m前方まで削孔し薬液注入を行い，前方に噴射されたジェット水が地山に浸透することを防ぐ目的で注入ゾーンを形成した(図-13).

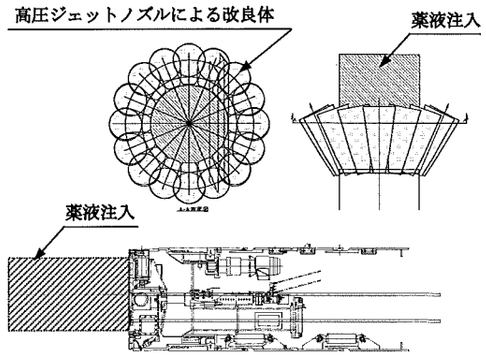


図-13　未改良部薬液注入範囲

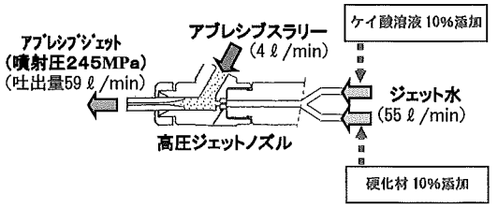


図-14　高圧ジェットノズル(切断時ケイ酸・硬化材混入)

また，ジェット水の地山浸透防止対策として2系統あるジェット水ラインのうち，一方にはケイ酸溶液を，もう一方には硬化材を混入して，噴射後のジェット水が地山内で，ほどよくゲル化することにより地山に浸透・逸水するのを防ぐ試みを行った(図-14).

ケイ酸溶液は10%濃度で一定とし，硬化材濃度を5%，10%で変化させ，もっとも施工に適している配合を探ってみた.

硬化材濃度5%の場合，地上でのゲルタイムを計測したところゲル化は認められなかった．そこで，硬化材濃度10%まで上げたところ地上でのゲルタイムは1分40秒ほどでゲル化は確認できたが，ゲル化したホモゲルは非常に脆く，すぐに崩れ球になって流れてしまうようなものであった.

この性状であれば地山の間隙に浸透しにくいと判断し，この配合でジェット切断を行ったところ排泥水は少し粘性を帯びた感じの性状で，リターンの状況も良好であった.

さらに，このときのリターン排水は切断開始から



写真-6　機内から回収された切断片

ら終了まで終始，チャンバおよび排土孔の閉塞を起こさずにほぼ100%に近い排水率で回収できた.

この良好なリターン排水状況の要因としては，噴射されたジェット水はいったん，軽くゲル化し，すぐに崩れ，流れ出てくるために多少の粘性を帯びており，その性状が，これまで水みちを閉塞させていたガーネット粒子を包み込むように，一緒に排水されてくるため閉塞がなく良好な水みちが確保されていたものと判断される.

5　ま　と　め

DO-Jet工法の施工管理ポイントは地盤改良体の出来形確保とジェット水の噴射量と回収量の収支バランスを的確に管理しながら施工することがもっとも重要な管理事項であると考える.

機内から回収された切断片を写真-6に示す.

今回，支障杭遭遇(H形鋼)1，2本目のときは試行錯誤のくり返しによりデータを蓄積し，3本目の支障杭遭遇の際には地盤改良および切断に対する施工ノウハウを見出すことができたと考える.しかしながら，今回のノウハウは当該土質の場合に対してであるため，今後，さまざまな土質の地山に対する更なるデータの蓄積と展開を行っていくことでDO-Jet工法の施工技術がより合理的で，効率的に向上できるものと考えられる.

最後に本工事にご協力いただきました関係各位に対し感謝の意を表しお礼申し上げます.



■豊州鉄道の建設と3本のトンネル

豊州鉄道と言っても今ではそんな名前の鉄道会社は存在しないが，現在の平成筑豊鉄道・行橋～田川伊田間とJR九州・日田彦山線田川伊田～豊前川崎間のルーツとなった鉄道である．延長35.6kmのこの路線は，石炭輸送を主目的として敷設されたもので，1890(明治23)年に工事が開始された．しかし，その後の水害や物価の高騰，日清戦争の影響などで工事は進まず，5年後の1895(明治28)年にようやく完成した．

線路はすべて単線であったが，列車本数の増加を見越して複線分の用地を確保し，改築が困難なトンネルはあらかじめ複線断面で建設して将来に備えた．トンネルは合計3本が掘削され(図-1)，このうち崎山～源じいの森間の第一石坂トンネル(延長33m)と第二石坂トンネル(延長74m)は今も現役で，石材と煉瓦を用いた明治期のトンネルの姿を今日に伝えている．しかし，田川伊田～田川後藤寺間にあった伊田山トンネル(延長97m)は(**写真-1**)，すでにこの世に存在せず，列車で通過しても切通しが残るのみである．伊田山トンネルは，いつごろ，どのような経緯で撤去されてしまったのだろうか．

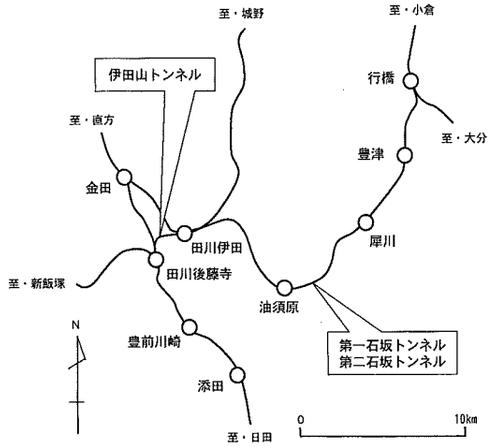
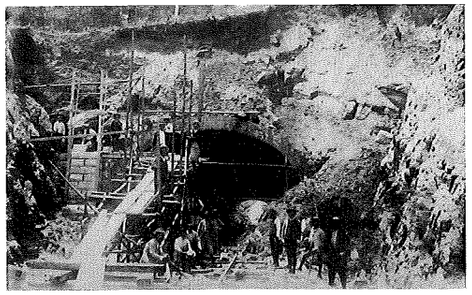


図-1　伊田山トンネルの位置

■トンネルの中で行われた開業式

伊田山トンネルが確かに存在していたことは，豊州鉄道の開業式の様子を伝える新聞記事にも見出すことができる．豊州鉄道・行橋～田川伊田間の開業式は1895(明治28)年8月15日に挙行され，午前11時25分に小倉駅を出発した祝賀列車は，城野，苅田を経由して午後12時30分に行橋に到着し，ここから豊州鉄道線に入って豊津，柚須原を通って田川伊田へと向かった．列車には，開業式に出席する来賓や会社の幹部が乗っていたが，未開業(田川伊田～田川後藤寺間は翌年2月に開業)であった伊田山トンネルのあたりで停車し，一同はここで下車してトンネル内へと案内された．

実は，この伊田山トンネルこそ開業式の会場で，


写真-1　建設中の伊田山トンネル(筆者所蔵)

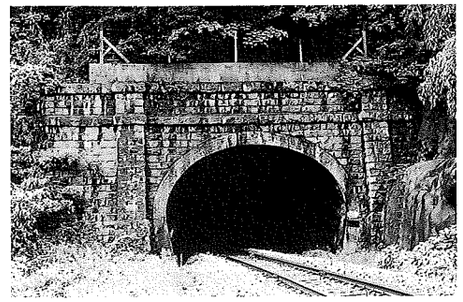
涼しいトンネル内で祝宴を催すことによって暑気払いを兼ねたのである．季節はあたかも夏の真っ盛りで，当時の新聞記事によれば，「一たび此の中に入れば，恰かも通風器中に在るが如く，忽ち三伏の熱を忘れんとす．」(『門司新報』明治28年8月17日付)とあり，まさに天然の冷房室状態であった．式は社長の挨拶ののちに立食パーティーとなり，音楽隊の演奏や小倉・行橋の芸妓30余名による接待があったと伝えられている．記事に「歓声は隧道中の小天地に充てり．豊鉄万歳の声は起れり．」とあることからも，当時の盛況ぶりが偲ばれる．祝宴は16時半ごろに終了し，出席者は17時5分発の列車で小倉へと引き返した．鉄道の開業式と言えば，駅前広場や近くの公園などで行われるのが相場であったが，涼を求めてトンネル内で開業式を行うという趣向は，前代未聞の粋な計らいであった．

■短命に終わった伊田山トンネル

こうしてめでたく開業を果たした豊州鉄道は，伸び続ける石炭輸送に支えられてその後の経営も順調であったが，九州北部一帯の鉄道をその傘下におさめる九州鉄道(現在の鹿児島本線，長崎本線，佐世保線などの前身)と合併した方が営業上も有利であると判断され，1901(明治34)年9月をもって九州鉄道の路線の一部となった(のちに国有化されて，国鉄→JR九州→平成筑豊鉄道)．

ちょうどそのころ，伊田山トンネルでは，覆工の表面に原因不明の亀裂を生じるようになり，付近一帯の炭坑の掘削にともなう地盤沈下によるものではないかと噂された．九州鉄道の「明治三十


写真-2　現在の伊田山トンネル跡地と土留壁


写真-3　登録文化財の第二石坂トンネル
(線路は単線であるが，トンネルは複線断面)

五年度下半期営業報告書」によれば，諸官庁に願い出て坑道の方向などの調査を含む原因究明に乗り出したが，炭坑との因果関係を立証するには至らず，対策工事を行う術もなかったため，やむなく伊田山トンネルを撤去して開削区間とすることとした．撤去工事は，1904(明治37)年上半期に完了し，伊田山トンネルは開業からわずか9年あまりで姿を消してしまった．

短命に終わった伊田山トンネルであったが，現地には百年以上の歳月を経て今もその痕跡が残っている．田川市役所のやや北側に位置する陸橋から行橋方の線路を見下ろすと，両側が切り取られて谷底のようになっており，背の低いコンクリートの土留壁が左右に続いている(**写真-2**)．このあたりが伊田山トンネルのあった場所で，よく見るとコンクリートの土留壁には，トンネルの一部とおぼしき煉瓦がわずかに残っている．

ちなみに，残る2本のトンネルのうち第二石坂トンネルは，1999(平成11)年に北九州地方の歴史を支えた近代化遺産として，国の登録文化財に登録され，観光名所となっている(**写真-3**)．

現場だより
平成18(2006)年

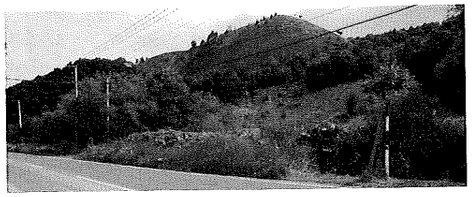
「昔石炭，今ししゃもの町」白糠より

後　藤　良　平

北海道白糠(しらぬか)郡白糠町は，北海道東部の中心都市釧路市の西隣に位置する，人口１万１千人の町である．かつては石炭と林業の町，現在はししゃもとしその町と呼ばれている．白糠町名の由来は，シラリカ(アイヌ語の平磯をしきつめた岩磯のほとり)が転訛したものといわれている．

白糠町の石炭としししゃもについて紹介する．白糠の石炭の歴史は古く，1781年の『松前志』に「焚き石」として登場する．1854年日米和親条約により箱館(函館)が開港，外国船の燃料として石炭を要求され，1857年幕府の箱館奉行所直営で白糠町石炭岬にて採炭開始された．北海道最古である．７年の採炭後，1896年まで途絶したが，以後再開され，町の主要産業として1970(昭和45)年まで継続した．町の東部を南下する庶路(しょろ)川沿いには，通算８か所もの炭鉱が存在した．白糠から庶路川に沿って北上する道道沿いの中庶路地区には，昭和38～40年に町最大の出炭量を誇った，明治鉱業(株)本岐炭鉱の遺構が今も残る．林の中に見え隠れするコンクリート煙突や建物，廃校，ボタ山に当時の繁栄が偲ばれ，感慨深い．

ししゃも漁は，北海道の冬の訪れを告げる風物詩である．白糠町のししゃも生産高は276トンと，広尾町，釧路市と並び道内のトップクラスである(平成16年度データ)．ししゃもは，サケ目キュウリ科に属し，北海道の太平洋沿岸にしか分布しない遡河性の魚で，日本の固有種である．釧路地方の川沿いでは，アイヌが10月末の漁の時期にししゃも祭りを行い，神への感謝と，収穫物の豊穣を祈っていた．ししゃもはアイヌ語のスス・ハムの転訛したもので，柳の葉を意味する．『柳さんという老夫婦が，旱魃不作の年に神に祈ると，突然大雨となり川べりの柳の葉が水面に落ち，川下に流れていった．それがししゃもとともに川を上ってきて，コタンを飢えから救った』というアイヌ伝説が伝えられている．ししゃもが漢字で柳葉魚と表される由縁である．


中庶路のボタ山

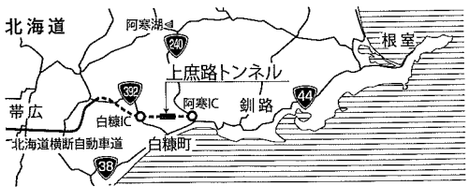

事務所横の丹頂鶴

釧路海域で昭和45年以前3,000トンを超えていた漁獲量も以後減少し，昭和63年には過去最低を記録した．しかし，ふ化場整備や親魚の乱獲防止のため遡上日前終漁，密漁防止の監視など関係者のさまざまな努力により，近年は1,000トン以上の漁獲高を取り戻している．近年庶路川下流部にも人工ふ化場が完成し，更なる漁獲量の増加が期待されている．

さて，当工事北海道横断自動車道上庶路トンネルは，庶路川沿いの上庶路地区に位置し，工事用道路約1,100m，本線土工約300m，トンネル延長758mを施工するものである．北海道横断自動車道は，十勝平野の東端本別ICまで開通しており，東向きに(仮称)阿寒ICまで延伸工事中である．現在は来年のトンネル着手に向けて，工事用道路を鋭意施工中である．

JV事務所には時折丹頂鶴も飛来する．自然豊かな白糠町で，発注者，JV，作業員が一丸となり，一日も早いトンネル着手を目指している．

(北海道横断自動車道上庶路トンネル工事東亜・福田特定建設工事共同企業体所長)



位　置　図

研　究

復水効率を向上させた新しいリチャージ工法の開発

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室副課長　桑　原　　清
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所工事管理室　小　泉　秀　之
鉄建建設(株)技術センター副所長　松　岡　　茂
鉄建建設(株)技術センター　柳　　博　文

1 はじめに

地下構造物建設工事において，地下水の湧出を的確に抑制することは大切である．この対策を怠れば，浸透水圧などの影響によってクイックサンドやパイピング，あるいは盤膨れなどの問題が生じ，地表面の陥没など，重大な事故に結びつく可能性がある．地下水の湧出を抑える方法としては，地盤改良に代表される止水工法やディープウェルなどによる地下水位低下工法がある．しかし前者においては，改良薬液注入時に地表面が浮き上がり，交通機関の運行などを阻害する場合や施工精度のばらつきにより，改良地盤から出水する場合がある．また後者においても，掘削地盤の有効応力増加によりせん断強度は増すが，周辺環境において井戸枯れや地盤沈下といった悪影響が懸念される．このような地下構造物建設工事における安全性および地下水環境保全に対する対策はきわめて重要となるが，その解決策の一つとして一般的に，地下水位低下工法とリチャージ工法を併用して使うことが有効であることが知られている．しかし，従来のリチャージ工法では周辺地盤の帯水層内に復水するに際して，時間の経過とともに復水効率の低下が起こるため，逆洗浄を何回も行うことが多い[1)~3)]．この復水効果の低下は，土粒子移動による目詰まりなど地盤の透水性低下に起因することが多いが，逆洗浄以外に目詰まりに対して有効な対策は今のところない．工事期間中，長期的かつ効率的に安定した復水を行うためには，この問題を解決する必要があると考えられる．そこで，筆者らはリチャージ工法の復水効率の向上と運転システムの構築を目的として小口径注水井による高圧注水試験を実施し，循環型地下水制御工法(通称，エコリチャージ)を開発した．従来のリチャージ工法では，重力式工法が主に採用されており，注水量が少なく，多本数の注水井を必要とし，逆洗浄などの目詰まり対策を行っていたが，本工法の開発により注水井の本数減と復水効率の向上を確認することができた．本稿では，本開発において実施された小口径注水井による高圧注水試験について報告する．

2 試験概要

図-1に示すように，従来のリチャージ工法は自然流下による重力式工法を主に採用し，注水量が少なく，多本数の注水井を必要とする．エコリチャージでは注水井の構造を簡素化するとともに，加圧注水によって注水井１本あたりの注水量を増量させて，注水井の本数減と復水効率の向上を図る．

高圧注水試験は図-2に示すように，(１)注水井構造確認試験，(２)揚水・注水連続運転試験の２

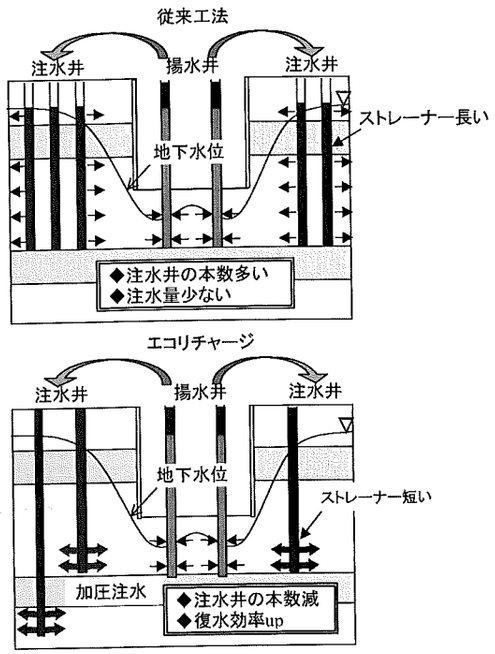


図-1　リチャージ工法の概要

(1)注水井構造確認試験

①高圧注水の有効性確認
　高圧下での流量変化
　流量と圧力の経時変化→注水による周辺地盤の目詰まり
②簡素化された小口径注水井の止水性能→セメントシールの止水
③注水量と注水圧の関係
④地下水位の観測→地盤の平均的な透水性能算出

(2)揚水・注水連続運転試験

1か月の揚水・注水運転(揚注水量15,000m³)
①注水による透水性能の変化(目詰まりなど)
②地下水位の経時変化→地下水位計算
③運転システムの有効性

図-2　高圧注水試験目的

段階で行われた．(1)では，小口径および簡素化された注水井による加圧注水の有効性確認と注水井周辺から加圧注水による地下水の地上への逆流の有無を確認する．また，注水量と注水圧の関係と地下水位計測により地盤の平均的な透水性能を把握する．(2)では，約1か月間の連続運転に対して注水井の目詰まりなどの有無と，揚水・注水に対する運転システムの有効性を確認する．また，流量，注水圧および周辺の地下水位を随時自動計測し，揚水・注水運転および周辺の地下水位変動状況を把握する．さらに，そのデータをもとに周辺地盤の平均的な透水性能(透水量係数および貯留係数)を算出し，試験結果と計算結果の地下水位変動を比較する．

3　注水井構造確認試験

3-1　試験概要

試験は，千葉県成田市で行った．地質状況と注水井構造確認試験概要を図-3に示す．地質状況は柱状図のように，主として上部の粘土混じり細砂，砂質粘土層(不透水層)，下部の成田層(貝殻混じり細砂)から構成され，地下水は砂質粘土層を挟んで上部と，成田層中の地下水の二つが存在する．今回の試験では，不透水層以深の透水性の良い地盤(透水係数 $k=2.6\times10^{-3}$cm/sec程度)に注水を行った．注水井構造の概要を図-3に示す．特徴として，ϕ42.7㎜の小口径の鋼管を使用しており，注水は注水井先端部分2m区間(深度16～18m)のストレーナー部分のみとなっている．加圧注水で

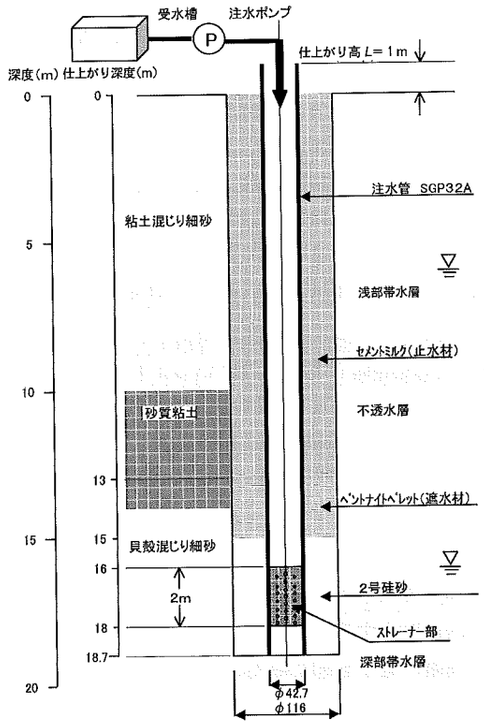


図-3　試験箇所柱状図および試験概要

あるため，地下水の逆流を防ぐ意味でフィルター材上部の止水材にはセメントミルクを使用している．試験は，20m³×2基の貯水槽(水道水)から注水ポンプにより流量制御で注水を行い，ポンプ圧力の状況を確認しながら，図-4に示すように注水量を段階的に増加させていった．その際，図-5に示すように，周辺にランダムに配置した観測井により地下水位変動状況を確認した．

注水井からもっとも近い観測井で5m，もっとも遠い観測井は約94m離れている．

計測項目として，注水量をパルス発信型流量計で，注水圧を圧力変換器で，地下水位を観測井に設置した水位計でそれぞれ計測する．計測は自動計測とし，10秒間隔でデータを収集する．

3-2　試験結果

図-6に注水圧と注水量の経時変化を示す．注水量を100→170→300→500→700→300 ℓ/minと変化させて約115分間注水した．500 ℓ/min注水時には注水圧約600kPa(6 kgf/cm²)で約40分間注水したが，貯水槽容量(20m³×2基)の制約から長時間の注水は実施していない．最大で約700 ℓ/min(10分程度)の注水を行い，平均的に注水圧は約900kPa(9 kgf/cm²)まで上昇した．このとき，注水井のセメントシールからの地下水の逆流はみられなかった．さらに，図-7に示すように再度注水量700 ℓ/minを注水圧約800kPa(8 kgf/cm²)で40分間，300 ℓ/minを注水圧約130kPa(1.3 kgf/cm²)で40分間注水したが，やはり注水井周辺からの地下水の逆流はみられなかった．

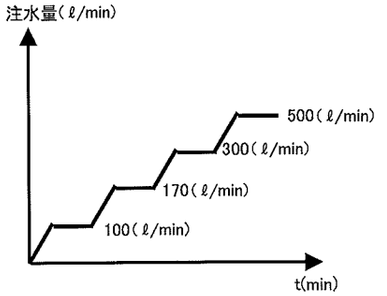


図-4　注水パターン例

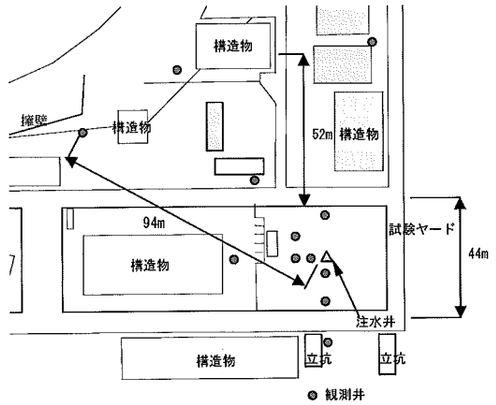


図-5　注水井および観測井配置

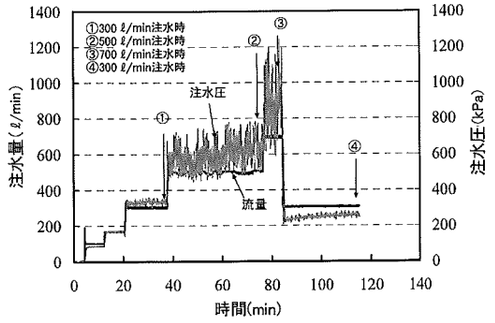


図-6　注水圧と注水量の経時変化(1回目)

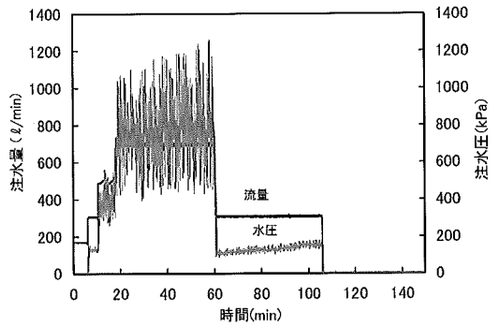


図-7　注水圧と注水量の経時変化(2回目)

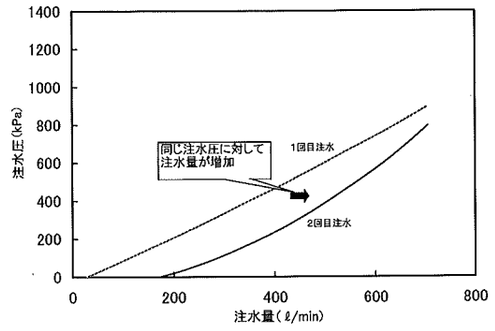


図-8　注水圧と注水量の関係

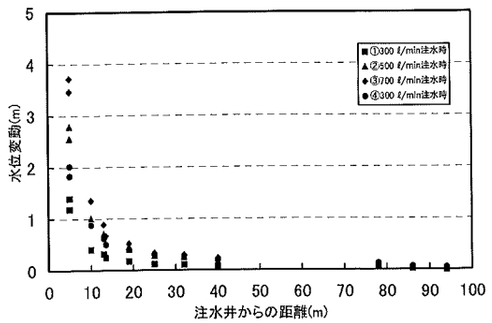


図-9　地下水位の変動状況

図-8に1回目と2回目の注水における注水圧と注水量の関係を示す．ここでは，注水圧と注水量の関係はおおよそ比例関係になっている．この関係を把握することは，注水量や注水井の必要本数などを決定するうえで非常に重要である．しかしながら，地盤によってこの関係は大きく変わる可能性がある．今後，それぞれの現場による注水試験のデータを蓄積し，この関係性を把握していく必要があると考えられる．また，1回目と2回目の注水を比べると，2回目の方が同じ注水圧に対して注水量が増加している傾向があることがわかる．

図-9に図-6中の①～④の注水時での観測井の地下水位変動を示す．試験結果からランダムに配置された観測井の地下水位は各注水量において指数関数的に広がっており，地盤に断層や障害物などはなく地盤は一様であることがわかる．また，注水量の影響は注水井から10mまでは顕著となるが，10m以上離れるとその影響はほとんどない．

3-3　地盤の透水性能の推定

市街地や住宅地など地下水位の低下を最小限にしたい領域については，観測井の水位をもとに注水量をコントロールして地下水位の推定，管理をする必要がある．そのためには，施工中の地盤の透水性能に対して，地下水位データをフィードバックさせて適時精度の高い地下水位の予測を行う必要がある．そこで，パラメータ同定の計算を行い，透水量係数Tと貯留係数Sを算出する．

算出方法は，注水井により，時間$t=0$から一定量Qで注水され，水位変動量sが異なった井戸からの距離rおよび時間tで記録されると，(r, t, s)がn個(観測井数)得られる．これらのデータを用いて，式(1)で定義される測定値と計算値との偏差が最小となるように，貯留係数Sと透水量係数Tを求める[4]．

$$f(S,\ T) = \sum_{i=1}^{n}(s_i^{soku} - s_i^{kei})^2 = \sum_{i=1}^{n}(s_i - s(r_i,\ t_i,\ S,\ T))^2 \quad (1)$$

試験結果にもとづいて計算すると，下記の値を得る．

透水量係数　$T=0.11(\mathrm{m^2/min})$

貯留係数　$S=0.009$

ここで，$T=D\times k$で，D：帯水層厚(m)，k：透水係数(m/min)である．

この算出方法を利用して，施工中の地下水位変動に対して，適時計測データをフィードバックさせることで，施工地盤の平均的な透水性能を的確に把握し，地下水位低下の影響範囲などを推定することができる．

4　揚水・注水連続運転試験

4-1　試験概要

連続注水による目詰まり状況や運転システムの有効性，地下水位変動状況を確認することを目的に，揚水・注水連続運転試験を約1か月間連続して実施した．また，注水井構造確認試験の結果をもとに算出した地盤の平均的な透水性能より浸透流解析を実施し，その妥当性を検証した．揚水井

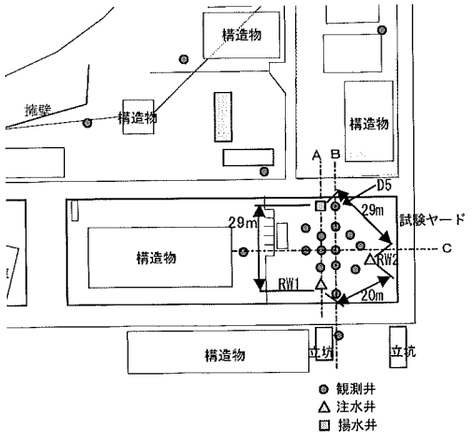


図-10　井戸配置

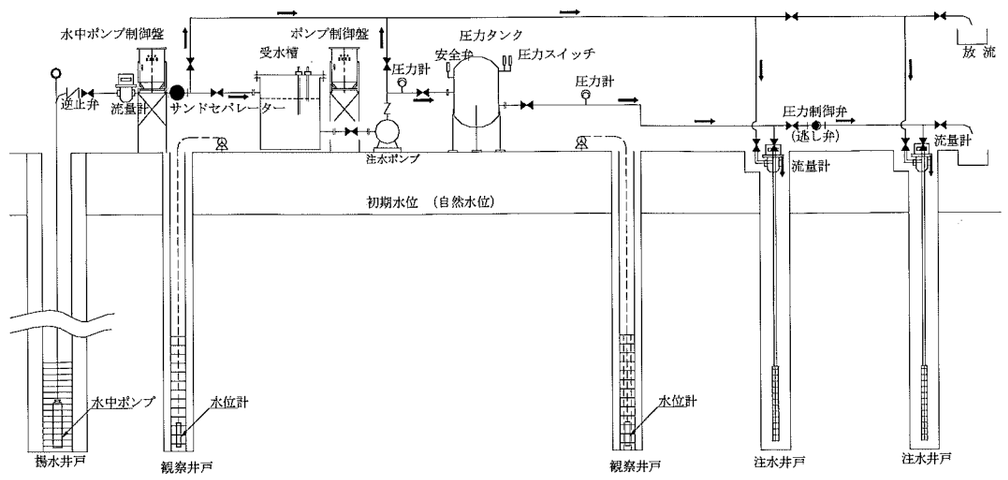


図-11　連続運転試験の揚水・注水設備

1本と先の注水井構造確認試験と同じ構造の注水井2本および観測井19本を図-10のように配置した．図中の破線で示したラインをA～Cラインとした．図-11に運転システムの概要を示す．サンドセパレーターなどのろ過装置によって揚水井からくみ上げた地下水の砂分を分離し，受水槽に貯水する．そこから注水ポンプを使って2本の注水井に分担して注水される．それぞれの注水井の注水量はバルブによる手動調整である．圧力タンクは注水時の注水圧の変動を防止するために設置した．計測は，揚水量，注水量，注水圧，および各観測井の地下水位を自動計測し，それぞれのデータをパソコン上で画面管理した．

4-2　揚水井の仕様

適当な圧力・流量で継続的に揚水・注水を行うために，揚水・注水量を300 ℓ/min程度，注水圧400kPa(4 kgf/cm^2)程度で行うことを計画した．実際の現場では，地下水位をどのくらい下げるかを決めて揚水するが，今回の試験では揚水量を確保することを重点に揚水井の深度を決定した．地盤調査および周辺の井戸状況を調査し，Sichart(シチャート)の式[1]から推定した結果，揚水井の仕様はストレーナー位置を70～90m，揚水井深度を100m，口径をϕ150㎜とした．

4-3　試験結果

今回の試験では，揚水量を確保して揚水・注水

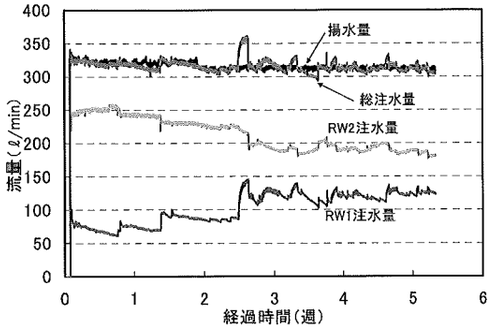


図-12　流量の経時変化

の連続運転をさせるため，揚水井のストレーナーを地下水の豊富な深度70～90mの位置に設置した．このとき約320 ℓ/minの揚水に対して，揚水井から5 m離れた観測井で地下水位変動はなかったことから揚水井による地下水位低下の影響はほとんどない．図-12に試験期間中の揚水量と注水量の経時変化を示す．試験開始時には，RW1の注水量が減少して目詰まりの傾向がみられたが，バルブ調整により注水量を調整し，揚水量と注水量のバランスをとることで，目詰まりもほぼ解消していった．その結果，RW1の注水量は最低で約60 ℓ/minまで減少したが，最終的に最大で約130 ℓ/minまで注水することができた．調整が手動であるため受水槽内の水位が設定した水位範囲外になると，揚水ポンプあるいは注水ポンプが停止し，設定水位範囲内になると再びポンプは稼働するこ

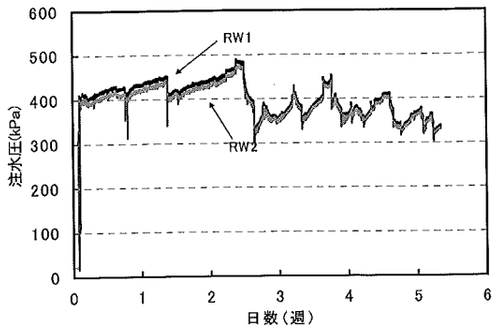


図-13 注水圧の経時変化

ともあったが，揚注水が停止することはなかった．注水ポンプがいったん停止して再稼働したときには一時的に注水量が増加し，注水井構造確認試験と同様の傾向がみられた．

図-13に注水圧の経時変化を示す．試験開始時，注水量が約60ℓ/minまで減少すると注水圧は450kPa(4.5kgf/cm²)程度まで上昇したが，最終的には約130ℓ/minの注水を約350kPa(3.5kgf/cm²)程度の注水圧で行うことができた．揚水ポンプと注水ポンプは，このシステムでは別々に独立して稼働していたので，揚水量と注水量のバランスがとりにくく手動による調整が必要であったが，揚水量約320ℓ/minで揚水し続けた結果，総流量約15,000m³の地下水をすべて注水することができた．これにより，手動調整ではあるが，このシステムによる連続運転が可能であることが確認できた．また長期間の連続注水において，注水により帯水層内の細粒分が移動し，注水圧，動水勾配に応じた目詰まり現象が懸念されたが[5),6)]，今回の試験では顕著な目詰まりは確認されず，2本の注水井における総注水量の減少はみられなかった．

4-4 試験結果と計算結果の比較

図-14～16にA～C各ラインにおける地下水位の変動状況および計算結果を示す．A～C各ラインは，図-10で示した破線のラインの地下水位状況を表しており，計算結果は，3-3で算出したパラメータを使って，井戸理論による非定常計算を行ったものである．いずれのラインにおいても，おおよそ20～40cm程度の水位の動きはあるが，おおむね地下水位は安定している．計算結果は，ほぼ

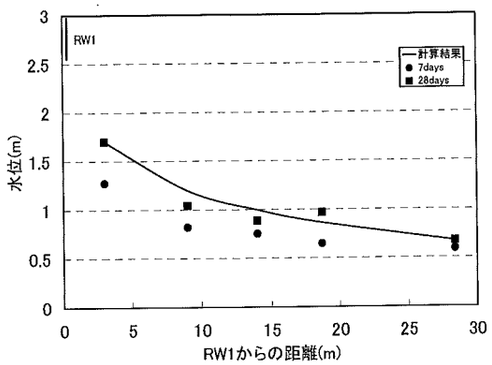


図-14 Aラインの地下水位状況

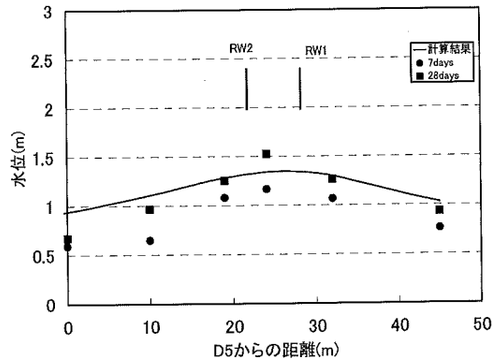


図-15 Bラインの地下水位状況

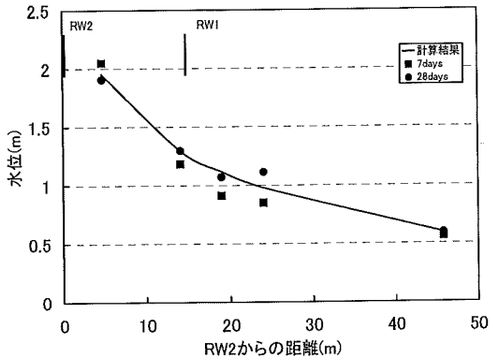


図-16 Cラインの地下水位状況

定常状態になった7daysの地下水位ラインであるが，試験結果と比較すると計算結果が若干大きくでているもののおおむねその傾向は一致している．これにより，ほぼ一様な地盤ではあるが井戸理論による非定常の計算で地下水位ラインのおおよその推定が可能であることを確認できた．これにより，3-3と同様の方法で計測データをフィードバックさせることで精度の良い地下水位予測を行うことができる．

4-5 注水井周りの圧力について

注水井には，最初の注水ポンプから300～400kPa(3～4kgf/cm²)程度の圧力が井戸先端部でかかっている．したがって，その周辺の地盤にも大きな圧力がかかっていることが危惧される．しかし，注水量約300ℓ/minで注水圧約330kPaをかけたときの地下水位結果と計算結果を図-17に示すが，これによると，注水井から5m離れた観測井では約1.4mの水位上昇しかみられず，これは圧力に換算すると約14kPa(0.14kgf/cm²)である．つまり，5mの距離の間で急激な水位低下と圧力低下が起きているため，周辺地盤からの地下水の噴出や地盤の浮き上がりといった現象も起きないと考えられる．計算でも試験結果と同様な結果となった．

4-6 注水ポンプのインバーター制御

市街地や住宅地など地下水位の低下を極力抑えたい地域では，地下水位の変動をコントロールする必要があるため，それぞれの注水井の注水量を制御しなければならない．また，掘削範囲内の地下水位の低下を保持するためには，工事期間中に揚水ポンプを停止させることはできない．そこで，揚水に対してより安定した注水を行い，注水井の注水量を制御するために，注水ポンプにインバーターを取り付けた．受水槽内に水位計を設置し，水槽水位を安定させることで変動する揚水量と注水量のバランスがとれるように注水量を制御した．このときの運転システムを図-18に示す．注水ポンプをインバーターで制御することにより，注水圧の脈動を防ぐための圧力タンクは不要となった．図-19に3日間の揚水量と注水量(移動平均)の経時変化を示す．注水量を約5分間隔で移動平均すると，揚水量とほぼ一致しており，揚水量に対して注水量はコントロールできている．また，図-20に水槽内の相対水位を示す．相対水位はおおよそ±20㎜程度で変動しており，揚水量に応じた注水量のコントロールが可能であることを確認した．また，揚水量の増減が50ℓ/minと急激に変化しても，相対水位は±60㎜程度までの変化で急激な流量変動にも対処できた．これより，受水槽に設

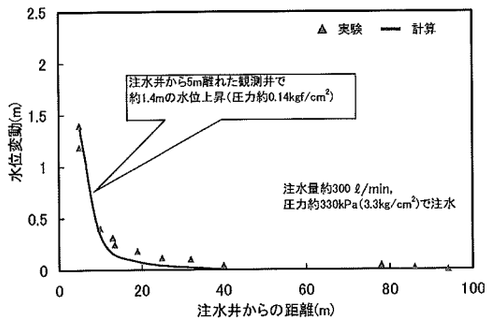


図-17 注水圧330kPa時の注水井周辺の地下水

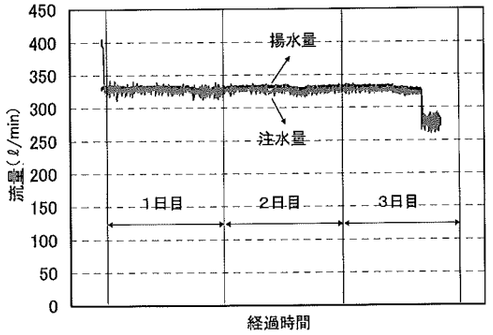


図-19 インバーター制御による流量の経時変化

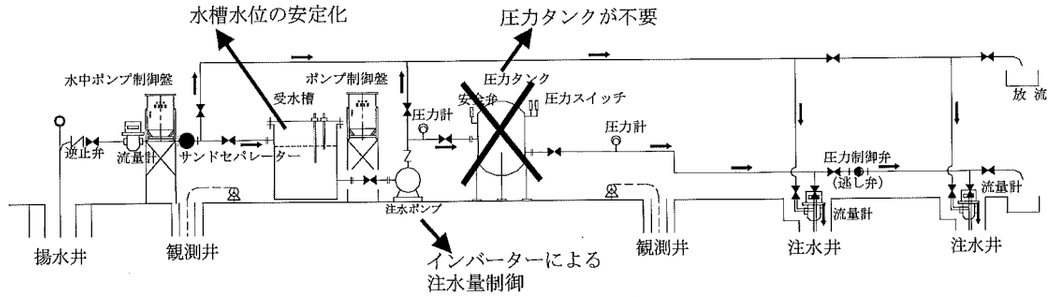


図-18 インバーター制御による運転システム

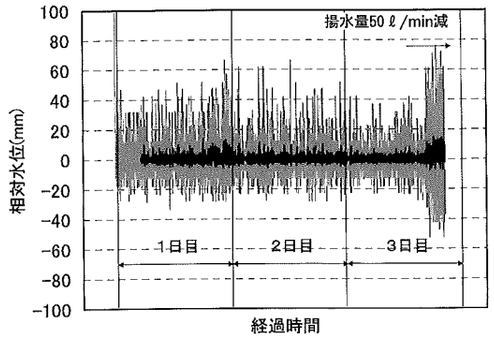


図-20　受水槽内の相対水位変化

置した水位計測による水位安定と注水ポンプのインバーター制御により，揚水に対してより安定した注水や周辺地盤の地下水位コントロールが可能となった．

5 おわりに

今回，循環型地下水制御工法(エコリチャージ)の開発において，リチャージ工法の復水効率の向上と運転システム構築を目的として簡易的な小口径注水管による注水井構造確認試験および揚水・注水連続運転試験を実施した．以下にその結果を示す．

(1)　深層部においては，最大注水量700 ℓ/minを注水して水圧900kPaまでかけることができ，砂層において高圧での注水が可能であることを確認した．

(2)　セメントシールの止水性については，注水圧900kPa(9 kgf/cm²)の注水時に地下水が逆流してくるようなことも発生せず，簡素化した注水井構造での止水性能を確認できた．

(3)　総流量約15,000m³の揚注水ができ，連続した運転が可能であることがわかり，目詰まりなどによる影響もほとんどないことが確認できた．

(4)　受水槽に設置した水位計測による水位安定と注水ポンプのインバーター制御により，揚水に対してより安定した注水ができ，周辺地盤の地下水位コントロールが可能となった．

(5)　地下水位の変動については，注水試験により平均的な地盤の透水性能を算出することで，非定常の計算によりおおよそ地下水位の変動を再現することができ，地下水位の経時変化の推定も可能であることを確認した．これにより所定の地下水位を得るために，効率的な揚水井および注水井の配置を検討することができると考えられる．

以上のことから，簡易的な小口径注水井構造を使った揚水・注水の運転システムにより，復水効率を向上させる高圧注水の循環型地下水制御工法(エコリチャージ)を構築することができた．長期的な建設工事において，従来工法では復水効率を低下させる目詰まり対策として逆洗浄などを実施していたが，エコリチャージでは目詰まりの発生がなく，逆洗浄を必要としないことも確認できた．また，市街地や住宅地など地下水位の低下を極力抑えたい地域，あるいは地下水位低下領域において，地下水位のコントロールが可能となり，揚水に対して安定した注水を実施することができる．さらに，施工中の計測データをフィードバックさせることで，より正確な地下水位予測も可能になる．以上のことから，エコリチャージの施工に対する安全性が高まり，周辺地域の環境保全対策としても有効であると考えられる．

今後は，実施工において，エコリチャージを適用し，さらなるシステムの向上を図っていく予定である．

参考文献

1) 地盤工学会：根切り工事と地下水―調査・設計から施工まで―，1991.
2) 西垣誠：被圧水及び高地下水位地域での基礎工の設計と施工の問題点，基礎工，Vol.18，No.8，pp.26–32，1990.8.
3) 永井宏・余村仁・三好康夫：連続切土区間の地下水保全について，第19回日本道路会議論文集，pp.169–161，1991.
4) W. キンツェルバッハ著，上田年比古 監訳，杉尾哲ほか共訳：パソコンによる地下水解析，森北出版，286p.，1990.6.
5) 鬼木剛一・笹倉剛：復水工法における注水量の時間依存性の評価について，土木学会第47回年次学術講演会論文集第3部，pp.1156–1157，1992.9.
6) 川端淳一・鬼木剛一・瀬尾昭治：目詰り現象における最適動水勾配に関する実験的研究，土木学会第48回年次学術講演会論文集第3部，pp.1066–1067，1993.9.

研　究

初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターンにおける計測結果と考察

鉄道・運輸機構設計技術部第二課長　野々村　政　一
鉄道・運輸機構設計技術部　西　恭　彦
清水建設(株)土木技術本部技術第二部トンネル担当部長　木　内　勉

1 はじめに

一般にNATMによる山岳トンネル支保工の当初設計は，既往のトンネル工事の実績と経験にもとづいて作成した標準支保パターンにより，地山分類や地山等級に応じて支保部材の仕様を決定している．

鉄道・運輸機構における従来の標準支保パターンI_{NP}[1]では，吹付けコンクリート，ロックボルトおよび鋼製支保工を使用している．本研究では，このI_Nに相当する軟岩地山において，経済性や安全性の向上を目的とし，鋼製支保工を不要とした高性能初期高強度吹付けコンクリートを用いる新支保パターンの検討を行った．さらに，図-1, 2に示す北陸新幹線峰山トンネル西工区(新潟県)で，地山条件に応じて新支保パターンを用いて施工した．本稿では，北陸新幹線峰山トンネル西工区での新支保パターンの挙動特性について，従来の標準支保パターンとの比較試験を中心に報告する．

2 新支保パターンの構想

2-1 初期高強度吹付けコンクリート[2]

従来の標準支保パターンI_{NP}を見直し，鋼製支保工を省略する新支保パターンでは，高性能初期高強度吹付けコンクリートで鋼製支保工を代替する．高性能初期高強度吹付けコンクリートの強度は，次の2点を考慮して決定した．①材齢10分で既往の実績[3]を参考にして，2 N/mm²の強度を安定的に発現できること．②材齢7時間以降の耐荷内圧が鋼製支保工を用いる標準支保パターンと同等以上であること．これにより，圧縮強度は，10分の超若材齢で3 N/mm²，材齢3時間で4 N/mm²，材齢1日で15N/mm²，材齢28日で36N/mm²以上とした．高性能初期高強度吹付けコンクリートの材料試験結果によるとヤング係数は，28,000N/mm²である．従来の吹付けコンクリートは22,000N/mm²程度であり，強度に

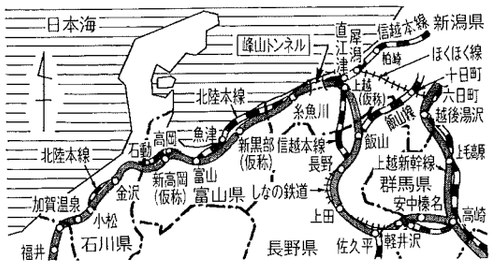


図-1　峰山トンネル位置図

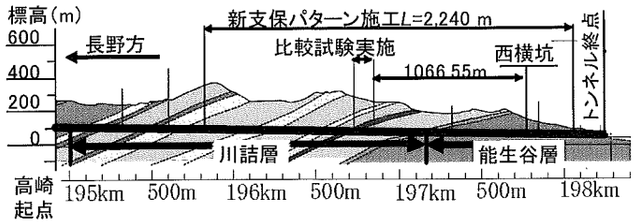


図-2　峰山トンネル西工区新支保パターン施工区間縦断面図

伴って剛性も大きくなっている．

2-2　高速掘進計画

新支保パターンの適用にあたっては，鋼製支保工省略によるサイクルタイム短縮効果に加えて，高性能初期高強度吹付けコンクリートによる早期支保効果が期待できるため，機械設備を含めた施工法を工夫することにより，高速掘進を行うこととした[3]．鋼製支保工の省略に加え，高速掘進によるさらなる工期短縮や工費低減が期待できる．

3　比　較　試　験

新支保パターンの支保性能を検討するため，峰山トンネル西工区の比較的均質な地山条件が連続する区間で，支保パターンや掘進速度を変化させた施工パターンを設定し，比較試験を行った．

3-1　実施位置

トンネルの縦断面を図-2に示す．峰山トンネル西工区の新支保パターン施工区間の地質は新第三紀中新世～鮮新世初期の能生谷層，鮮新世の川詰層からなり，発達した同斜構造をなす．新支保パターンにより施工した各層の特徴としては次のとおりである．

- 能生谷層は塊状無層理の泥岩を主体とし，一部に凝灰岩を挟在する箇所もある．泥岩の岩相は砂質の岩相を呈する部分も多く分布する．
- 川詰層は砂岩の卓越する地層，礫岩の卓越する地層，泥岩を主体とする地層に区分され，ほかに凝灰角礫岩や凝灰岩の分布が見られる．特徴は，砂岩，礫岩などの粗粒堆積物の多い地層である．

比較試験は，比較的安定した均質地山が連続すると予想された川詰層地山で行った．施工位置は，峰山トンネル西横坑より長野方へ1,066.55mの地点から121mの区間である．

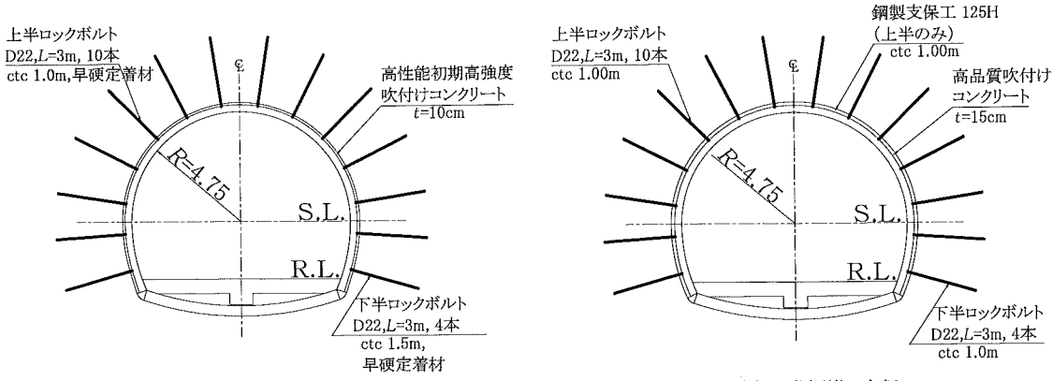
3-2　比較試験施工パターン

比較試験では，表-1に示す施工パターンを設定した．高速掘進A支保は，新支保パターンとし，掘進速度は比較試験実施までの実績を踏まえて250m/月(10.9m/日)とした．通常掘進A支保は，新支保パターンとし，掘進速度は通常程度の100m/月(4.3m/日)とした．通常掘進B支保は，当初設計で想定した標準支保パターンI_{NP}とし，掘進速度100m/月(4.3m/日)とした．

図-3に，各支保パターンのトンネル標準断面図を示す．

表-1　試験施工パターン

試験施工パターン	掘進速度（目標）	1サイクル進行長	支保パターン 種別	吹付けコンクリート	ロックボルト	鋼製支保工
高速掘進A支保	250m/月(10.9m/日)	1.5m	新支保	高性能初期高強度[2], t=10cm	l=3.0m, n=14本, c=1.0m	——
通常掘進A支保	100m/月(4.3m/日)	1.0m				
通常掘進B支保			標準支保(I_{NP})	高品質[5], t=15cm	同　上	H-125, ctc=1.0m



(1)高速掘進A支保・通常掘進A支保　　(2)通常掘進B支保

図-3　各試験施工パターンのトンネル標準断面図

通常掘進A支保と通常掘進B支保との比較から支保パターンの違いによる影響を，高速掘進A支保と通常掘進A支保との比較から掘進速度の違いによる影響を比較することを意図したものである．

比較試験区間は，2003年6月20日～7月16日の約1か月間にわたって掘進をした．

また，図-4に示すように，高速掘進A支保，通常掘進A支保および通常掘進B支保の順に施工した．

3-3　計測および岩盤調査

比較試験区間では，図-4に示すように計測および岩盤調査を実施している．計測は，各施工パターンで計測Aと計測Bを実施した．計測Aは，鉛直変位と内空変位測定について各施工パターンで3断面(計測A-①～③)実施した．計測Bは，計測A-①と同じ断面で，地中変位測定，吹付けコンクリート応力・ひずみ測定，ロックボルト軸力測定，鋼製支保工応力測定(通常掘進B支保のみ)について実施した．

計測器配置を図-5に示す．

また，岩盤調査として，各施工パターンの計測A-①断面近傍でボーリングを実施し，採取した試料による室内試験，各ボーリング孔での原位置試験を行った．加えて各施工パターンの区間で弾性波探査を行った．

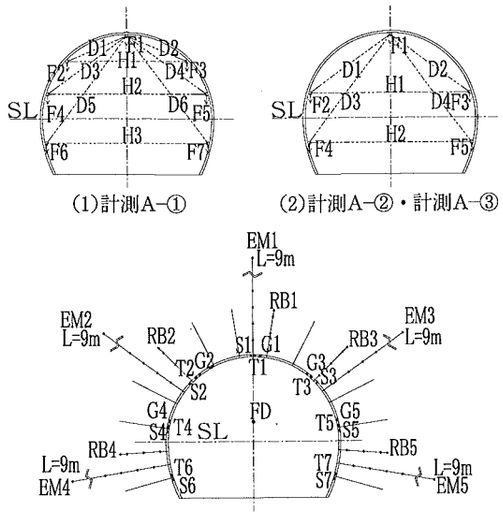
岩盤調査結果により当該試験施工区間の地山特性が次のようであることが判明した．

(1)　本地山は新第三紀の泥岩地山である．一軸圧縮試験による圧縮強度が10～20(平均17.7)MPa，坑内水平載荷試験による変形係数4,680N/mm²で，亀裂もほとんどなく，泥岩としては硬質な地山である．

(2)　主要粘土鉱物，2μm以下の粒子の含有率，塑性指数，陽イオン交換量，浸水崩壊度の指標は，膨張性地圧が発生しうる特性を示しているが，含水比が平均で10%程度と非常に小さいことから水の影響を受けず，実際には膨張性地圧は作用しない地山である．

(3)　粘性倍率はおおむね0.15前後と小さく，クリープの影響は小さい地山である．ただし，一部に粘性倍率が0.38といったデータも認められた．

(4)　初期地圧測定結果から，地圧には傾きがあり，土かぶりから想定される地圧に対し，水平2方向および鉛直方向とも1.5倍以上の平均6.6MPaの地圧が発生している．



計測項目	記号
吹付けコンクリート応力測定	T
鋼製支保工応力測定(B支保)	G
ロックボルト軸力測定	RB
地中変位測定	EM
吹付けコンクリートひずみ測定	S
切羽前方地山変位測定	FD
内空変位(斜め測線)	D
内空変位(水平測線)	H
天端沈下、脚部沈下	F

図-5　計測器配置

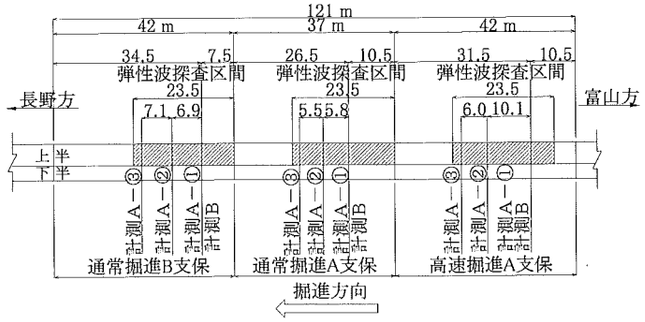


図-4　試験施工区間の計測および岩盤調査位置

4 新支保パターンによる施工

北陸新幹線峰山トンネルでは，図-2に示すとおり，比較試験区間を含む約2,240mの区間で，一部地山条件の悪かった区間などを除き，新支保パターンを採用して施工を行った．新支保パターンを適用した区間でも，変状は認められず安全に施工を行うことができた．新支保パターンによる高速掘進の平均月進は170m，最高月進は304m，連続30日進行は321mであり，NATMとして現状では国内最速の掘進速度を達成した．

5 計　測　結　果

5-1　比較試験

比較試験区間では2003年6月20日～7月16日の約1か月間にわたり掘進し，その後2003年11月10日(高速掘進A支保は掘削後136日，通常掘進A支保は126日，通常掘進B支保は117日)まで2-3で述べた計測を行った．本稿での分析は原則としてその範囲を対象とした．

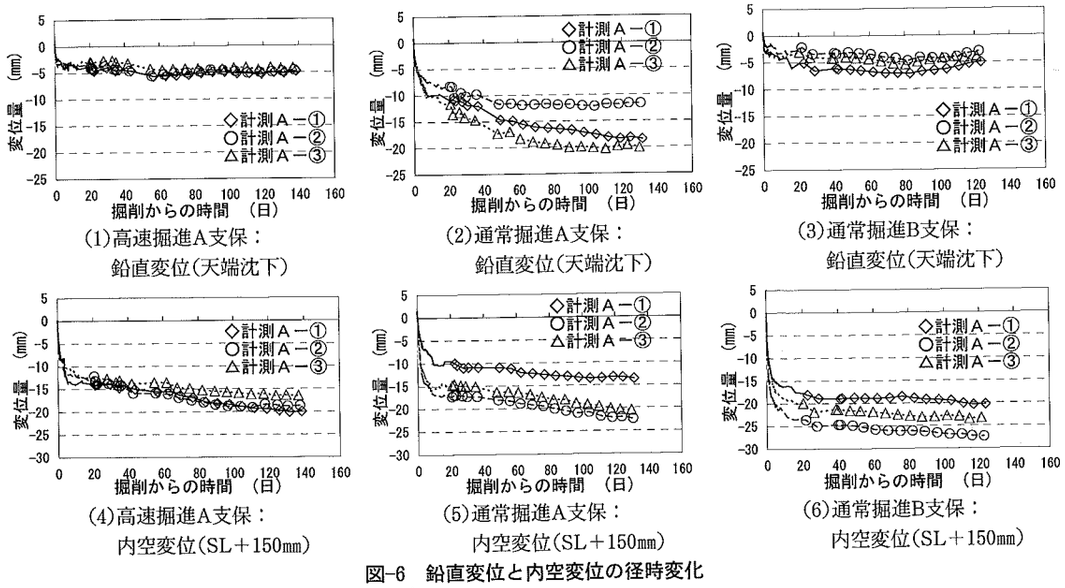
5-1-1　トンネル内空の挙動特性

鉛直変位および内空変位の経時変化を図-6に示す．鉛直変位については天端沈下(図-5中F1)，内空変位についてはSL＋1,500㎜のレベル(図-5中，計測A-①ではH2，計測A-②，A-③ではH1)のデータを示す．これより，以下のことがわかる．

(1)　天端沈下，内空変位の径時変化は，おおむね掘削後10日以内に大きな沈下，変位が生じている．天端沈下は通常掘進A支保の断面A-①で約1.5㎜/月の微小な変形が進行しているほかは，ほとんどの断面で収束している．内空変位はほとんどの断面で約0.5～1.5㎜/月の微小な変形が進行している．なお，当該区間で2004年2月までにインバートが打設されており，トンネル断面が閉合されてから1か月以上が経過した2004年3月時点では，変位は収束している．

(2)　天端沈下の施工パターン別の最大変位は，高速掘進A支保と通常掘進B支保が5～7㎜程度であるのに対し，通常掘進A支保では約12～20㎜と大きい．一方，内空変位の最大値について見れば，逆に通常掘進A支保が高速掘進A支保と通常掘進B支保より小さい．

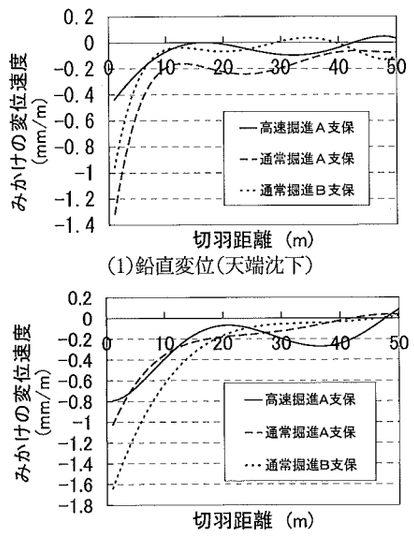
鉛直変位速度，内空変位速度については，掘進速度が施工パターンにより大きく変化することから，切羽通過後の時間ではなく切羽距離との関係について着目した．すなわち，図-6の変位量を切羽距離の関数として多項式近似し，切羽距離で微分したみかけの変位速度(単位：㎜/m)を用いて整理した．計測A-①でのみかけの変位速度と切羽距離との関係を図-7に示す．みかけの変位速度の0付近への収束は，いずれも高速掘進A支保がもっとも早く，通常掘進B支保，通常掘進A支保の順になった．



(1)高速掘進A支保：鉛直変位(天端沈下)　(2)通常掘進A支保：鉛直変位(天端沈下)　(3)通常掘進B支保：鉛直変位(天端沈下)

(4)高速掘進A支保：内空変位(SL＋150㎜)　(5)通常掘進A支保：内空変位(SL＋150㎜)　(6)通常掘進B支保：内空変位(SL＋150㎜)

図-6　鉛直変位と内空変位の径時変化



(1)鉛直変位(天端沈下)

(2)内空変位(SL＋150㎜)

図-7　みかけの変位速度と切羽距離との関係(計測A-①)

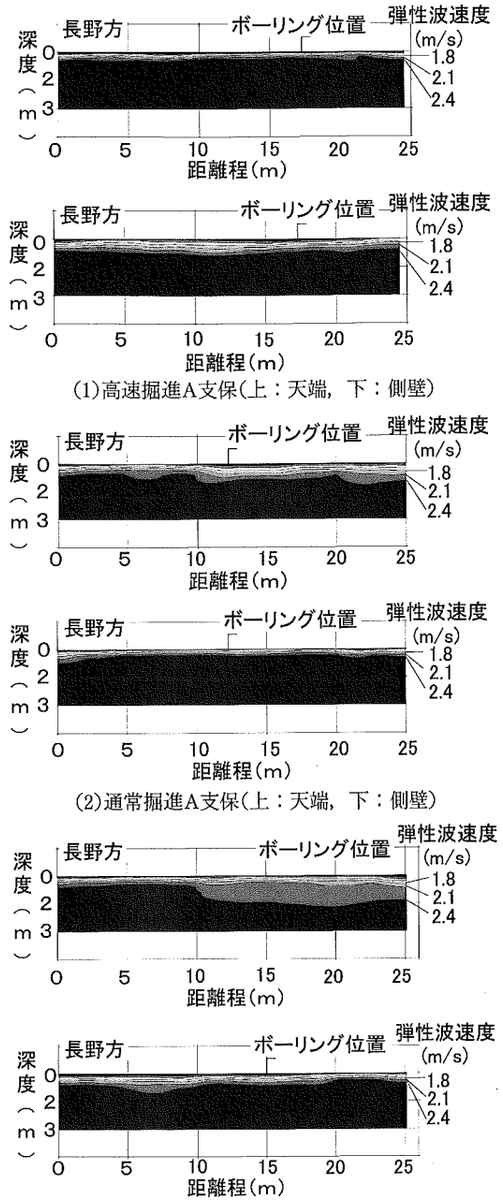
5-1-2　トンネル周辺地山の挙動特性

弾性波探査試験結果を図-8に示す．弾性波速度が2.4km/s以下となる領域を緩み領域と考えると，緩み領域は試験施工区間全延長にわたりトンネル坑壁からおおむね0.5～2mの範囲となっている．天端部の緩み領域についてみれば，高速掘進A支保は1m以下で，その他のパターンは1～2mと大きく，かつ緩み範囲の変化が大きい．側壁については，高速掘進A支保と通常掘進A支保が1m以下となっているが，通常掘進B支保は緩み領域の変化が大きい．

地中変位分布と内空表面の変位ベクトルについて，2003年11月10日時点のものを図-9に示す．図-9から，以下のことがわかる．

(1)　高速掘進A支保は，地中変位と内空表面測点での変位量は同等レベルである．地中変位の深度9m位置は不動点で，トンネル掘削影響領域は掘削面から3m程度であると考えられる．

(2)　通常掘進A支保は，内空表面測点での変位量は，天端部を除き約2倍程度の差異が生じている．地中変位の計測はアンカーが動点となった可能性があるが，数値の分布からトンネル掘削影響領域は掘削面から4m程度であると考えられる．天端の地中変位は，内空変位を含め高速掘進A支保や通常掘進B支保に比べきわめて大きい．

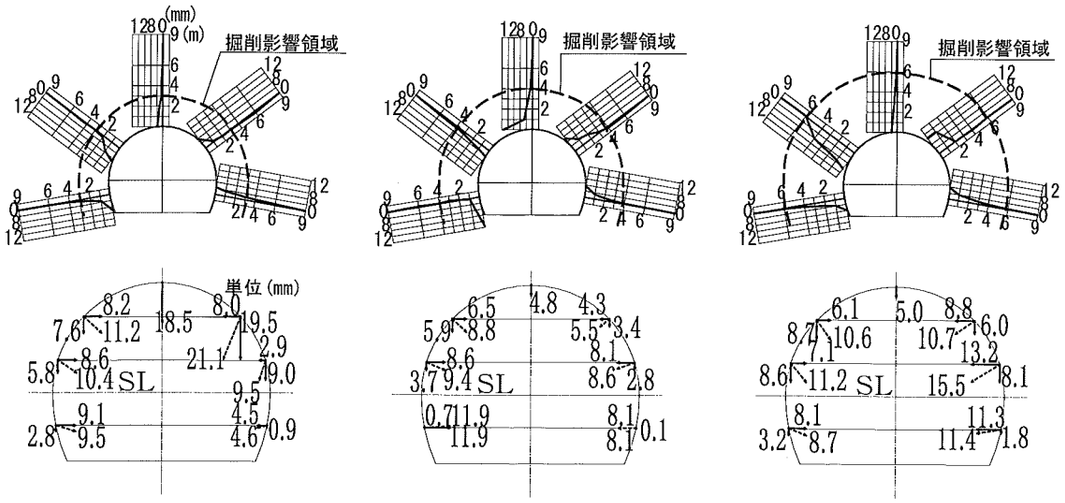


(1)高速掘進A支保(上：天端，下：側壁)

(2)通常掘進A支保(上：天端，下：側壁)

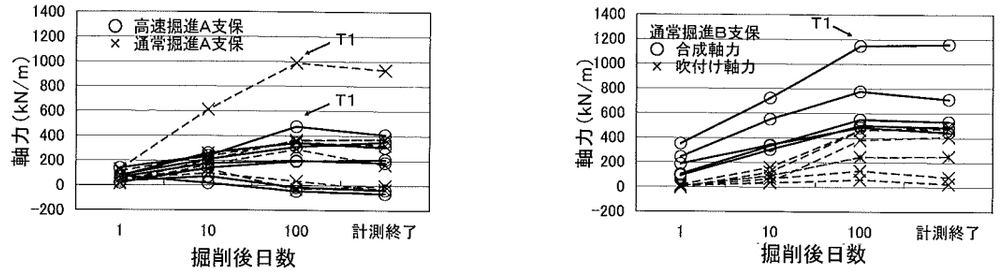
(3)通常掘進B支保(上：天端，下：側壁)

図-8　弾性波探査試験結果



(1)高速掘進A支保　(2)通常掘進A支保　(3)通常掘進B支保

図-9　2003年11月10日時点の地中変位分布と内空変位ベクトル



(1)高速掘進A支保・通常掘進A支保

(2)通常掘進B支保

図-10　支保の軸力の径時変化

(3)　通常掘進B支保は，内空表面測点での変位量は同等レベルである．地中変位計測での深度9m位置は不動点とみなせ，トンネル掘削影響領域は掘削面から6m程度であると考えられる．

以上のことから，地中変位分布から想定した掘削影響領域は高速掘進A支保がもっとも小さく，通常掘進A支保，通常掘進B支保の順に大きくなっている．

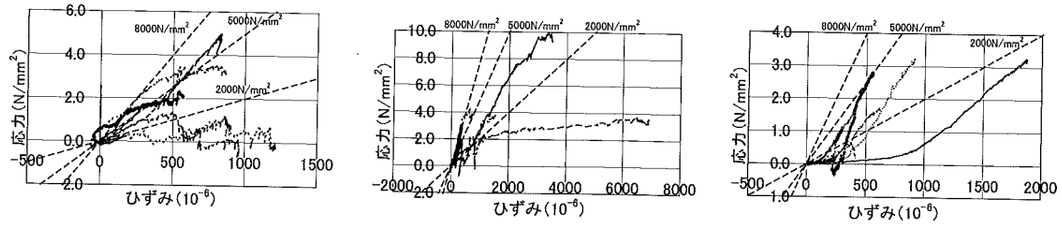
5-1-3　トンネルの力学的安定

図-10に，吹付けコンクリートおよび通常掘進B支保の支保工の合成軸力(吹付け＋鋼製支保工)を示す．図中の軸力の記号は図-5の応力測定位置を示している．軸力は計測した応力に断面積をかけ，トンネル延長1mあたりに換算したものである．グラフには掘削1日後，10日後，100日後，および計測終了時(2003年11月10日)のデータを示してある．

これより，以下のことがわかる．

(1)　支保工の軸力は天端部(A支保のT1，B支保の合成1)が最大である．天端部の支保工の軸力は通常掘進B支保，通常掘進A支保，高速掘進A支保の順に大きい．

(2)　通常掘進B支保は，掘削10日目のデータまでは剛性軸力と吹付けコンクリートの軸力の差が大きい．この差は鋼製支保工の軸力を示している．吹付けの初期の剛性が低いため，鋼製支保工で受け持つ荷重が大きいといえる．また，10～100日目にかけての吹付けの軸力の増加が大きい．



(1)高速掘進A支保　(2)通常掘進A支保　(3)通常掘進B支保

図-11　吹付けコンクリートの応力-ひずみ関係

(3)　高速掘進A支保，通常掘進A支保は引張応力が観測された断面があった．吹付けコンクリートの観察では，大きなクラックは発生していなかったが，乾燥収縮による局所的な収縮の影響だと考えられる．

(4)　圧縮応力がでている断面の支保全体の軸力の変化の傾向は，支保パターンの違いにかかわらずほぼ同じであり，100日目以降ではほぼ収束している．

吹付けコンクリートの応力-ひずみ曲線を図-11に示す．図には，ヤング率が2,000，5,000，8,000 N/mm²となる応力-ひずみ関係もあわせて示している．応力-ひずみ曲線の初期の傾きからヤング係数を算出すると，A支保の高性能初期高強度吹付けコンクリートは5,000～8,000N/mm²程度で，B支保の高品質吹付けコンクリートは300～600N/mm²程度となり，材料試験結果よりかなり小さい値となる．その後，高性能初期高強度吹付けコンクリートの応力-ひずみ曲線の傾きは小さくなってきているが，これは吹付けコンクリートのクリープ，乾燥収縮の影響によるものであると考えられる．一方，高品質吹付けコンクリートの応力ひずみ曲線は計測を終了するころには3,000～8,000N/mm²程度の接線ヤング係数になった．

5-1-4　施工パターンごとの比較

比較試験の計測結果を施工パターンの違いに着目して分析する．

支保パターンの違いに着目して分析すると，高品質吹付けコンクリートを用いる標準支保パターンに対して，新支保パターンは掘削影響領域，地山の変位量，天端部の支保軸力が小さくなっており，高性能初期高強度コンクリートの強度，剛性の早期発現による効果と考えられる．

また，掘進速度の違いに着目すると，本比較試験では，通常掘進よりも高速掘進のほうが天端での地山の緩み領域，掘削影響領域，沈下量，みかけの変位速度の収束期間，支保軸力が，顕著に小さくなった．これは，高速掘進は通常掘進よりも，掘削完了から吹付け完了までがより短時間になったため，早期に支保の効果が発現されることで，掘削影響領域，地山の変位量が小さくなったと考えられる．

また，吹付けコンクリートの応力-ひずみ曲線上には，新支保パターンで吹付けのクリープ，乾燥収縮の影響と見られる挙動があった．その要因としては，以下のことが考えられる．(1)粉体量，混和剤量の多い初期高強度吹付けコンクリート配合の影響．(2)鋼製支保工を用いない新支保パターンで若材齢時に吹付けに大きな荷重が作用する影響．(3)標準支保パターンで乾燥収縮が鋼製支保工に拘束され大きなひずみが進行しない影響．

5-2　新支保パターン施工区間での計測

比較試験施工区間を含めた新支保パターン施工区間において，各地点での天端沈下量，上半内空変位量の初期変位(掘削1日後)と最終変位との関係を図-12に示す．標準支保パターンと新支保パターンとの初期変位と最終変位との関係は，ほぼ直線的な比例関係で，その関係は支保パターンに関係なくほぼ同じである．支保パターンを地山条件によって使い分けているため単純には比較できないが，従来の標準支保パターンに対して新支保パターンは耐荷性能上，初期の大きな変位がでたり，最終変位が大きくなったりするなどの問題はないものと考えられる．

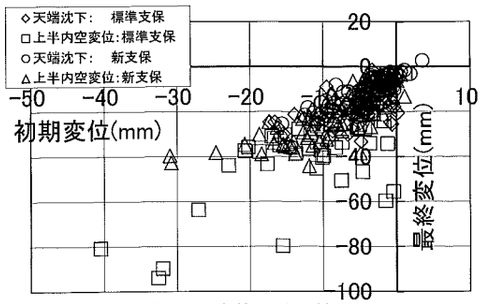


図-12 変位量計測値

5-3 新支保パターンの適用範囲

計測結果を踏まえて，新支保パターンの適用範囲について検討する．比較試験時の地山試験値によると変形係数は4,680N/㎟，初期地圧は6.6MPaである．変形係数はI_N地山としては大きく，吹付けのヤング係数に近かったため，内空変位量が20㎜程度に抑えられたものと考えられる．地山の変形係数が吹付けのヤング係数に比較して小さい場合に初期地圧が大きいと，内空変位量が大きくなり，吹付けに発生する応力が大きくなるため，新支保パターンの適用は難しくなってくると考えられる．

6 まとめ

従来の標準支保パターンI_{NP}に対応する，鋼製支保工を不要とし高性能初期高強度吹付けコンクリートを用いたNATMの新支保パターンを適用して，比較試験および実施工を行った．

比較試験では，支保パターンや掘進速度を変化させた3つの施工パターンを比較した．鉛直変位(天端沈下)，内空変位，地中変位，吹付けコンクリート応力および鋼製支保工応力の計測データより，変位特性，掘削影響領域ならびに支保の安定性について分析した．その結果，初期に高い剛性を発揮する吹付けコンクリートを用いた新支保パターンの支保性能の優位性が認められた．また，高速掘進ではさらに優位性があることが認められたが，これは掘削から一次支保完了までを速やかに施工したためであると考えられる．

実施工でも，トンネルに変状は認められず安全に施工を行うことができた．

ただし，今回適用した地山は，地下水の影響がほとんどなく，泥岩としては安定した硬質な地山であった．また，初期地圧が大きく，地山の変形係数が吹付けコンクリートの剛性に対して小さい地山への適用は難しいと考えられる．新支保パターンの適用可能な地山を見極めるためには，当トンネルとは地山条件の異なる現場で実証試験を行う，地山条件を変えて解析的検討を行うなど，さらなる検証が必要であると考えられる．

参考文献

1) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，1996.
2) 越智修・小澤勝巳・吉原伸行・石田積：高性能初期高強度吹付けコンクリートの開発，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.303-308，2003.
3) 田名瀬寛之・芹川博・山本宏司・菅 正：軟岩トンネルのTWSによる急速施工(2)，北陸自動車道 山王トンネル，トンネルと地下，Vol.29，No.11，pp.963-973，1998.11.
4) 田中健一・森直樹：初期高強度吹付けを用いたNATM新支保パターン，北陸新幹線 峰山トンネル西工区，トンネルと地下，Vol.34，No.10，pp.7-16，2003.10.
5) 日本鉄道建設公団：高品質吹付けコンクリート設計・施工指針(案)，1997.

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析　　工博 鈴木 光著

A5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

最近では，有限要素法を利用し，地盤や構築物の変形や応力分布に関する予想解析が行われるようになりつつある．そのために入力などに信頼度の高い各種計測値が要求されるようになってきた．

このような理由から，建設工事では，従来にも増して計測や解析が重要となりつつある．

本書は，応用範囲も広く重要と思われる岩盤の計測と解析法の紹介と解説を試みた実務書である．

連載講座

都市トンネル工事の計測(最終回)

—座談会—

(司会) 東京電力(株)電力流通本部工務部設備渉外・調整グループ課長 佐藤 亘
日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部構造技術ソリューション部部長 斉藤正幸
パシフィックコンサルタンツ(株)交通事業本部鉄道部地下構造設計グループ課長補佐 清水幸範
東京急行電鉄(株)鉄道事業本部工務部土木課課長補佐 関 聡史
首都高速道路(株)東京建設局設計第一グループ統括マネージャー 土橋 浩
(株)間組土木事業本部技術第一部課長 名倉 浩
東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所所長 西村 聡
坂田電機(株)計測工事部計測技術課係長 樋口佳意
西松建設(株)土木設計部設計課副部長 三戸憲二

はじめに

司会 みなさまこんばんは．本日はお忙しい中，お集まりいただきありがとうございます．「トンネルと地下」では連載講座「都市トンネル工事の計測」を9回にわたって掲載してきました．

本日は，本講座の締めくくりとして，今後必要となる都市トンネル工事において第一線で活躍されている皆さんの経験を踏まえ，生のご意見やご提案をお伺いするため座談会を企画しました．

それでは，自己紹介を兼ねて，今までの工事の経験や計測に関する考え方から簡単にご紹介いただきたいと思います．まず，事業者の方からお願いいたします．



佐藤 亘 氏

土橋 首都高速道路(株)の土橋と申します．

現在，東京建設局設計第一グループに所属し，主に中央環状新宿線の設計・施工を担当しております．

中央環状新宿線の路線延長は，約11kmで，このうち約10kmがトンネル構造になっています．このトンネル工事は，鉄道，地下鉄，河川や大規模な地下埋設物などと交差・近接しており，これらに対する防護，あるいは影響を的確に把握するため，計測が必要不可欠になっています．

またこの事業では，新工法を採用しているため，新たな設計法を開発しています．これには，計測結果を分析し，その設計法を検証しているところです．今後は，安全管理に加えて，コスト削減の観点などから設計の合理化にまで踏み込むため，その結果を評価し，今後の設計に反映すべく，検討を進めているところです．

このほか，湾岸線(3期)工事では，羽田空港沖合展開部の軟弱地盤におけるトンネルや，旧B滑走路に近接する京浜南運河

で大規模な開削トンネルを担当しました．いずれの工事も，計測管理を活用した情報化施工の実施により，安全を確保し，設計条件を確認しながら工事を進めました．また，大規模土留めの設計の基礎となるデータを収集しました．

西村　東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所の西村と申します．

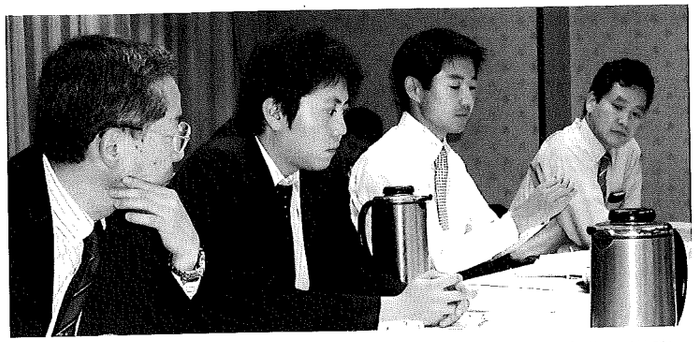
現場の経験は，有楽町線の駅部開削工事，車両基地とその周辺の都市計画道路の受託工事，南北線では，駅部開削と複線シールド工区を担当しました．その後，埼玉高速鉄道(株)に出向し，全線の建設計画と調整業務を担当しました．現在は地下鉄13号線(池袋～渋谷間)約９kmのうち，新宿地区の現場管理業務を行っております．

東京メトロの新線建設工事では情報化施工の観点から，シールド工事では各種計測を，開削工事では先行工区における土留め壁の変位や切梁の軸力などの計測結果を後から施工する工区に反映させられるように，安全を確保したうえでの経済的な施工を行ってまいりました．

計測方法には，簡易なものから高度な解析手法を用いるものまでさまざまなものがありますが，手法はともかく，都市土木を施工するうえで計測管理は必要不可欠なものとなっています．

関　東京急行電鉄(株)工務部土木課の関と申します．

トンネルは経験工学と言われる中で，どんなお話ができるかわかりませんが，私の経験についてお話します．



平成11年３月からの約４年間，横浜駅～元町・中華街駅を結ぶ「みなとみらい線」と東急東横線を接続させるため，東白楽駅～横浜駅間約２kmを地下化する工事を担当しました．この工事は，供用中の東横線直下に開削，シールド，都市NATMによりトンネルを構築するもので，私は，都市NATM区間の担当として掘削を開始する１年前から現場に入りました．

計測に関しては，基本的な計画はあるものの，トンネルを掘削しながらいかに列車の安全運行を確保するのか，詳細な計画から，事前計測，施工管理，計測管理に至るまでを現場の実務として担当しました．また，計測データは，鉄道の安全管理やトンネル断面の設計変更にも使用しました．

現在は，大規模構造物の管理者との近接協議も担当しています．現在計画されている再開発には，鉄道の高架橋直近で大深度・大規模な掘削の計画もあり，協議を行いながら，計測手法などを検討し，今も実際の業務で計測とかかわっております．

司会　どうもありがとうございました．事業者側の計測の位置づけは，適切な施工管理を行うための手段の一つとして考えられることかと思います．それでは，引き続きまして，コンサルタントの方から伺いたいと思います．

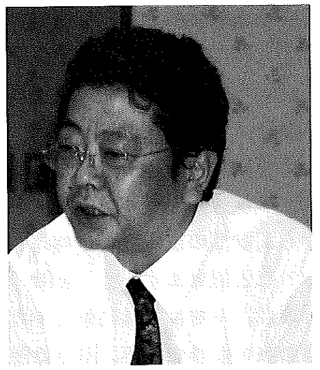
斉藤　日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部構造技術ソリューション部の斉藤と申します．

入社してから約６年間は，現場計測を専門に扱う部門に所属し，その後，設計や計画の部門に移りました．現在，私の部署に現場計測を扱う技術者がいる関係から，いつまでも現場計測から離れられない状況です．

実際に現場計測に携わる部署にいて，現場計測にはいくつかの目的があると感じました．

一つ目は現場管理です．とくに，都市部では，工事の安全確保や周辺環境に対する影響を最小限に抑えるために絶対に必要なものです．

二つ目は，設計の検証です．設計方法が基準化されている場



斉　藤　正　幸　氏

合や，実績が十分にある場合については特段必要ありませんが，そうでない場合は，ある仮定にもとづいて割り切った設計をせざるを得ない場合がでてきます．その際に，その結果が妥当なのか，将来，構造物に不具合が残らないのかを検証するために行います．

三つ目は，研究開発などを目的としたものです．研究開発は，何かテーマを見つけて，その事象の解明や，新たに開発した工法を実証することです．

この中でコンサルタントにとって一番大事なことは，二つ目の設計の検証を目的にした計測だと思います．

建設業は，経験工学的な部分があって，諸先輩方が構築し，苦労された経験をもとに，いろいろなものをつくってきました．これからは，現場計測で構造物，地盤，地下水などの挙動を観測した生のデータを，具体的な数字として広く開示することによって，多くの技術者がその情報をその後の設計や技術開発などに活用することで技術の発展に大きく貢献していくと思います．

清水　パシフィックコンサルタンツ(株)の清水と申します．

主にシールドトンネルや開削トンネルの設計，既設構造物の耐震補強の設計を担当しています．

私は，建設会社にいた当時にシールド工事と，そのシールドを通すためのアンダーピニングの工事を担当しました．アンダーピニングは，非常に規模が大きく，建物３棟を受替えるものでした．また，シールドはアンダーピニング下だけでなく，その前後で車両基地や，鉄道の営業線の直下を掘進するものでした．大変込み入った工事だったので，建物の変状防止のための防護などに計測を非常に有効に使えたと思っています．

また，シールド工事では，仮壁を直接切削して発進・到達する工法を採用していたため，カッタビットが磨耗していると切削の振動が伝播して近隣の住居が揺れてしまう恐れがあったため，近隣の方々への対応として，到達時に振動の計測などを行いました．

現在の立場から計測を見させていただくと，一つは，設計をするうえでどうしてもわからないものがでてくると，安全側に割り切って行います．このようなとき，現場の計測データなどを開示していただければ，より合理的な設計ができると思います．

二つ目は設計手法の変化への対応です．地下構造物の設計は，従来，許容応力度設計法で行われていましたが，土木学会などの動向を見ますと，限界状態設計法へと移行しつつある過渡期にあります．現場の計測結果を用いて，安全係数にどのぐらいの変動幅があるのかを突き詰めて，より合理的な設計ができるような計測が必要だと思います．

三つ目は計測というより調査に入るのかもしれませんが，古い構造物では資料が残っていないことも多々あり，いざ補強を行うときにどのようにすればよいのか，鉄筋を切断しないで孔をあけられるのか，などが問題になってくることがあるので，非破壊で調査・計測する技術にも期待したいと思います．

司会　ありがとうございました．コンサルタントの立場ですと，設計の検証，あるいは限界状態設計法という新しい設計法に向けたデータの取得，地元への説明のためなどが目的の一つで，またデータを公開できるシステムが必要というところでしょうか．

それでは，引き続き，施工者側からのご意見を伺います．

名倉　(株)間組土木事業本部技術第一部の名倉と申します．

設計，施工支援を行っている部署に所属し，主としてシールド，推進，開削トンネルなどの都市土木を担当しています．

入社６年ぐらいまではシールドの自動測量，自動組立や統合的な掘進管理システム開発に携

わっており，その中で計測というよりは自動制御やプログラミングを行っていました．

現場経験としては10年ほど前，東京電力の長距離シールド工事において，設計・技術担当という立場でさまざまな議論や提案をさせていただきました．契約時・契約後VEを取り入れた先駆け的工事でもあり，技術提案という形で新技術を導入させていただき，検証の手段として計測を行いました．また，都市部の長距離施工では，多数の近接施工があり，企業者に出向き，協議をさせていただきました．

その後は現在の部署に移り，セグメントの開発や，いろいろな現場の近接施工に携わっております．現在，首都高中央環状新宿線で開削と非開削の２工区の切り開き工事で，設計や技術的なサポートをしています．

確かに，都市土木では計測は不可欠ですが，施工者としては設計・施工の最終結果として生のデータを提供することに，いろんな意味で抵抗を感じるときがあります．



名　倉　　浩　氏

話題は変わりますが，トンネル標準示方書[シールド工法編]の改訂にあたり施工に関する分科会の中で，山岳工法では内空変位などの計測が日常管理となっているのに対し，シールド工法ではそうした計測に関する条文がないのかという議論がありました．シールド工法は，密閉型シールド工法の普及によりある程度確立され，掘進管理は別として，沈下測量以外は，地中変位といったいわゆる計測はあまり行いません．工法の初期段階では，施工の検証や，もしくは危機管理，リスク管理としての計測を行いますが，それがある程度信頼性が得られた段階で必要がなくなることから，最近のシールド工法での計測は，近接施工，もしくは新技術に特化しているように感じています．

三戸　西松建設(株)土木設計部の三戸と申します．

若いころは，明かり工事の現場を経験し，それから本社の設計部に入りました．その後，いくつかシールド現場を経験した後，設計部において都市トンネルを中心に担当しております．所属は設計部ですが，技術研究所，機材部と一緒になって，シールド関連を中心とする技術開発にも携わっています．また，トンネルの施工経験豊かな所長，技術関係の専門家で組織する社内のトンネル委員会のメンバーとして，都市トンネルを担当してシールド現場の施工管理に関与しています．

都市トンネルにかかわり始めた約25年前とは異なり，最近ではほとんどが密閉型シールドになりました．密閉型の場合，切羽を直接目視できないため，手探りの状態で掘進するわけですから，計測の重要性がより高くなったと思います．

また，トンネルは経験工学と言われておりますが，最近は従来の施工経験だけではなかなか判断できない難しい条件の工事が増えてきています．このため，施工管理も含めて計測の重要性は高まっていると思います．

例えば，掘進管理一つをとっても，都市部では地盤沈下が許されないため，慎重な計測・施工が要求されます．掘進にあたっては，経験をもとに各種掘進パラメータの影響程度を適切に判断して掘進管理方法を定めますが，その妥当性の確認および補正を行うためには，初期掘進や構造物の直前での地盤変状計測が必要不可欠となります．

そういう中で，ちょっと変わった経験として，東京湾横断道路(アクアライン)があります．川崎人工島から発進するシールドは，0.6MPaの高水圧下で連壁の鏡を切って発進しましたが，この発進防護凍結工およびシールド発進について，計測から施工管理まですべてに携わりました．海底下における超大口径シールドの発進でしたので，出水すると立坑が水没してしまい，工期延伸はもとより，工事の成否に大きく影響するため，リスク管理の面で計測が非常に重要でした．

その他，セグメントの開発にあたっては，室内構造実験での計測，それを実際に現場に適用する際の妥当性を検証するための計測を経験しています．

司会　どうもありがとうございました．施工者側から見ると，新たな施工条件や難しい施工条件に対して，どのようにリスクを補完するかが主な計測の位置づけのようですね．

それでは，メーカー側の立場からお伺いいたします．

樋口　坂田電機(株)計測工事部の樋口と申します．

当社は，計測機器メーカーなので，センサをつくっておりますが，私の部署ではセンサの取り付けや計測計画の立案，計測データの評価などを行っています．

現場計測では，長期に安定した計測データを正しく供給することが大前提となりますが，欠測のトラブルなどがあります．その原因のほとんどがケーブルで，これを回避するにはケーブルレスにしてしまうことです．ケーブルレスの技術は，ようやくここ10年ぐらいで無線化技術の実績が増えてきました．無線といっても，通常の空中で使う電波では，地中や水中だと減衰が激しくて，通信できないことがあります．そこで，電磁波の周波数を工夫して，地中でも無線通信ができる技術を開発し，それらを利用した計測技術の研究開発を行ってきました．

他方で，計測というのはどうしてもセンサを付けた代表的な点のデータしか得られませんが，これからは線的・面的な計測が求められており，光ファイバに注目が集まる中，これらを使った計測技術にも携わっております．

現場計測は，コスト縮減や設計の合理化が求められる中で，ぎりぎりの設計をしていく場合の検証，耐震補強などの補強効果の判定などで，これからも必要になってくると思います．

また，維持管理の面では建設中だけでなく，供用後も廃棄するまで連続して計測し続けることが必要になってきます．センサをつくる側としても，構造物の長寿命化に対応したセンサの長寿命化を図らなければなりません．それには，センサのメンテナンスフリーやリプレースが重要になってきます．電子部品の進歩は速く修理や交換のときに同じ部品が用意できるかわかりません．維持管理やリプレースしていくうえでどのようなセンサをつくっていけばよいのかを考えていかなければならないと思っています．

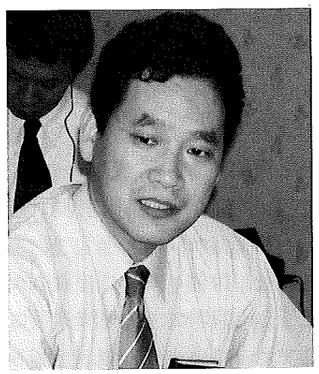
計測の目的と検証

司会　いろいろな立場から，計測の必要性とそれに付随するお話がでてきました．これからは具体的な工事で実施した計測について，その目的や結果，さらにはそれをどのような形で設計に反映させたのかなどについてお伺いいたします．

土橋　先ほど少し説明しましたが，中央環状新宿線についてお話しします．全線のほとんどが環状第６号線(山手通り)の地下に建設されるため，シールド，開削，あるいはアンダーピニングなど，さまざまな工法で施工しています．トンネル区間約10kmのうち約７kmがシールドトンネルです．

道路トンネルの分合流部は，従来，開削工法で施工していましたが，沿道環境の環境負荷を低減し，できるだけ合理化・コスト削減するという観点から，シールド工法で長距離施工して，その途中に出入り口を構築する工法を採用しました．本工法は，シールドトンネルを施工後，セグメントを切り開いて出入り口躯体を構築するため，施工時の安全管理に加え，設計法の検証を目的に計測を実施しています．

先ほど名倉さんのお話にもありました開削，非開削工法によるシールド切り開き工区のうち，シールド施工後，開削工法で地



土　橋　　浩　氏

上から切り開いていく開削切り開き工事を紹介します．

工事は，まずシールドの外側に遮水壁をシールドクラウン上に土留め壁を施工した後，シールドを掘進し，その後，地上から通常の開削工法で掘削します．このため根入れの小さい土留め壁となり，また，シールドトンネル自体も一つの土留め壁の一部となる構造系で成り立っています．このような土留め支保工の設計事例はなく，従来の弾塑性による土留め解析を行っているものの不確定な要因が多いため，施工時の安全確保という観点からも計測を実施しています．

具体的には，このシールドトンネル間を掘削しますから，これに伴うシールドの変位・変形などが施工時の安全性を確保するうえで非常に重要となります．さらに土留めがシールドと一体的な仮設系をなしていることから，土留め壁や切梁支保工の軸力なども計測しています．

今回のような断面変化が大きく延長が長いシールドトンネル間の掘削は，過去に例がなく，ブロック施工を行いながら慎重に掘削しました．

今回，シールドの縦断方向の絶対変位が施工時の構造系において重要であるため，トータルステーションを使った計測管理を行いました．

現在，床付けまでほぼ掘削が完了した段階で，最終構造系にまで至っていませんが，予測した設計値に対して変形や応力などが半分程度となっています．しかし，今後躯体が構築されて，ある程度安定な構造系になるまでは息が抜けない状況です．

計測は，自動計測を採用し，各計測データは施工者，工事事務所および建設局に送信され，同じデータを同時に管理できる体制をとっています．

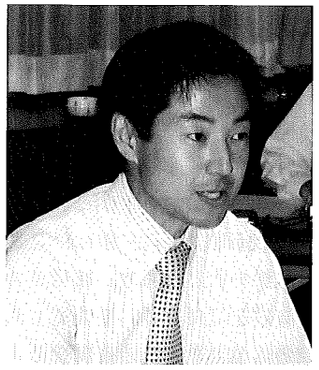
トンネル内で計測する環境は，湿度はあるものの温度がある程度一定で良好かと思っていました．しかし，切り開き工事とシールドの掘進を同時施工しているため，坑内温度が局所的に上昇してしまいました．今回，シールドの排泥ポンプがトータルステーションの近くにあったため，その周辺の温度だけが上昇してしまい光波が屈折して，桁違いのデータを計測してしまいました．これは明らかにオーダーが違うため，すぐに機器の計測異常だとわかりましたが，機器の設置位置などを工事の状況を考慮したうえで計画することが重要と反省しました．この対策としては，単純ですが，扇風機で風を送り局所的な温度上昇の影響をなくしました．

司会　ずいぶんご苦労されているようですが，これには計測器の細かい特性を理解していないと，本当に適した測定位置か，どんな計測方法がいいのかを判断するのは難しいことなのですね．

樋口　温度の話というのは，計測ではついて回ってきて，温度計が必要であることを施工者さんや事業者さんに言っても，そんな余計なセンサは付けないでくれと言われます．測りだしてから，恐らく温度だろうと思われるようなノイズ的なデータが入ってくることがあります．温度に対して，センサだけでなく，躯体も温度の影響を受けて動いたりしますので，温度を測ってリードタイムを設けることが重要だと感じています．

司会　計測結果を設計に反映させたというので比較的わかりやすいのは，関さんが担当し，土木学会技術賞を取られた横浜の現場ではないでしょうか．そこでのお話をお聞かせ下さい．

関　工事は，約２kmの地下区間のうち，850mを都市NATMで行いました．工事区間の中心部に島式ホームがあり，駅部では三連断面，駅前後では単線双設断面，メガネ型断面，そして複線単円断面というように，連続的に断面が変化していく設計でした．これは，都市部のNATMですので，なるべく切羽の加背を小さく切って少しずつ掘削してリスクを減らそうという思想を反映したものです．



関　　聡史氏

事前の判断では，駅に向かい上下線の離隔が離れていくと，普通の単円複線断面だと150m²くらいの大きさになってしまい，大きな変位が生じて営業線に影響がでるため施工は困難であると判断していました．

しかし，小さなトンネルを重ねた断面は機能性に問題がありました．列車風の問題に対しては，単線双設断面で，通風坑を設置するなどの対応を計画していました．また，複雑な構造による水密性などのメンテナンス上の問題もありました．

トンネルを掘進するに従い，坑内で行った計測，地中の計測，軌道に設置した計測などを分析した結果，ほとんどの計測データで予想より状態がよかったため，計測データを武器に施工者と協議を重ねた結果，技術的な納得を得たうえで，補助工法が軽減できました．

さらに掘進して単線双設断面に近づいたところで，既に得られた計測データをもとに150m²の複線大断面に設計変更ができるのではないかと検討を始めました．逆解析によって物性値を改め，新たなFEMを行って地盤変位が少なくなることを確認するとともに，万一許容値を超える大きな変位が生じた場合の対応策を検討しました．そして，軌道面に５～10mごとに連続的に設置した約110点の沈下計から得られた沈下特性曲線に注目すると，切羽到達50～60m前から沈下がスタートし，切羽が到達してシールドが過ぎ去るまで約100mにわたり沈下がゆっくりと進むことがわかりました．その結果，沈下特性曲線が沈下初期段階で大きな変位を示した場合には，早期に補助工法などの対応をとることが可能と判断し，大断面の施工に踏み切りました．

今回の場合，計測データをフルに活用して安全管理や設計変更の交渉を行い，実現することができました．そういう意味では，計測が大活躍した事例といえると思います．

司会　そのときの計測データ信頼性の判断の方法などについてお話いただけますか．

関　ピンポイントの計測では，その一つの計測が本当に信頼できるかを判断するのは非常に難しい問題だと思います．ただし，今回の計測では，多くの測点で連続的に計測を行いました．そういう中から，信頼のあるデータだと確証でき，それを有効に活用することができたと思います．

司会　ある意味でこれは現場計測の一番理想的な使い方ということですね．

名倉　多分，NATMでしかも自社の線路下ということが設計変更を可能にしたと思います．これがシールドトンネルですと最初に外径が決まり，セグメントなどが製作されているため，施工中このような大幅な変更は困難ですが，ダイナミックに変更されたことに感銘を受けます．

関　営業線直下における都市NATMの採用は会社として大きな判断だったと思います．ただし，東横線の線路は線路10m間の相対沈下で７㎜とミリオーダでの管理が必要で，計測がかなりしっかりできることが前提でした．

司会　今おっしゃられたように計測データがある程度多くなると，設計への信頼できる判断の一つになるかと思います．

三戸　その現場は，中間層の下の地下水を抜いても地上に影響がでない条件だったと記憶しています．都市部では地下水位低下による地盤沈下に配慮する必要があり，その対策に工期・工費を要する傾向にありますが，地盤がよければこの現場のような対応が有効だと思います．

関　施工中に本当に地下水が抜けないのか地下水位計測をかなりの地点で実施し，他のデータと合わせて管理しました．

司会　では，そのような観点で，施工者側からお伺いいたします．

三戸　先ほど申し上げたアクアラインの現場です．

アクアラインでは，海の中に設置した連壁による円形立坑(川崎人工島)から，約0.6MPaの高水圧下でシールドが４本発進しました．ジャケット間の中詰め盛土の中に連壁を打設したのですが，海底が軟弱粘性土であったため，ジャケットの水平抵抗を確保するために，一般部



水　戸　憲　二　氏

はサンドコンパクションで，シールド通過部はDMM(深層混合改良)で改良しました．シールド発進防護工は高水圧対応で実績があり，信頼性の高い凍結工法を適用しましたが，凍結に伴う膨張圧対策が問題となりました．水は氷になると体積が９％膨張します．砂質土だと水を排出しながら凍結するため膨張しませんが，粘性土だと排水しにくく，場合によっては吸水もしながら膨張するため，凍結膨張圧が発生します．ここでは，凍結対象地盤が主に粘性土であったこと，凍結範囲の背面が堅固なDMM改良地盤であったことから，約1.1MPaの凍結膨張圧が生じることが予測されました．

そこで，凍結膨張圧を緩和するために，変位吸収溝というものを３列あった凍結管列のうちの２列目と３列目の間に掘り，凍土が閉塞する直前までの凍結膨張量を吸収することにしました．この方法は，神田川Ｉ期シールド工事で，鹿島さんが洪積粘土を対象に凍結膨張圧対策工を実施しておりましたので，参考にさせていただきました．変位吸収溝が閉塞してからは，凍結膨張量を吸収するものがなくなるため，設計凍土厚さに対して余分な凍土を造成しないように，維持運転管理を行いました．

ここでのリスクは，連壁に温度応力の影響に加えて凍結膨張圧が作用した際に，連壁前面はもちろんのこと，凍結範囲の外からでもクラックが入って出水し始めたら，水圧0.6MPaですから，もう止まりません．鏡切りでそういう状態になると水没させるしかなく，大幅な工期の遅れや安全面も問題になります．

そのため，変位吸収溝の中に変位計を設置して凍結膨張の吸収量を直接計測するとともに，連壁の中に温度計付き鉄筋計を埋め込んで，その鉄筋計に発生するひずみをもとに凍結の温度応力の影響，膨張圧の影響を把握しました．そして，当然のことながら，凍土の状態を把握するために，地中温度の計測を密に行いました．

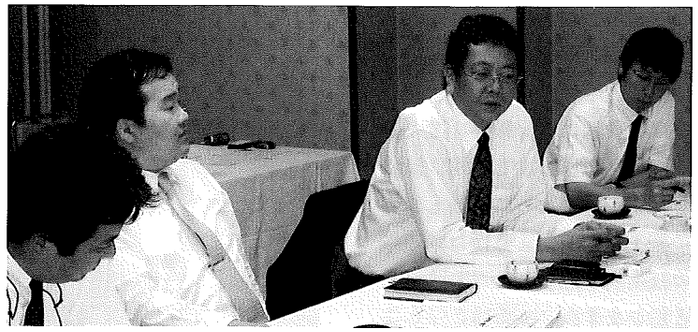
また，内部構築養生期間中に地盤温度を10℃に低下させ，本凍結運転期間を短縮することを目的に，プレクーリングを行いました．これにより，鉄筋計の計測値から，まず温度応力だけの影響を先行して把握し，次に凍結膨張圧が作用し始めたら，温度応力の影響を計測値から除外して，膨張圧だけの影響を把握することができました．その結果，変位吸収溝の効果が十分に発揮されたことを確認でき，過大な凍結膨張圧を連壁に与えることなく，健全な状態で鏡切りを完了し，シールドを発進できました．

司会　それでは，コンサルタント側からお伺いいたします．

斉藤　最近，大断面の道路トンネルで超近接の併設トンネルが掘られるようになってきましたが，この設計法はまだ確立されていません．この併設トンネルの影響に関する計測は，私が入社した昭和60年には既に行われていました．当時，併設トンネルの影響に関する設計については，旧国鉄が監修した「シールドの設計・施工指針(案)」だけでした．それには併設度に応じて，荷重を全体に割り増すという設計法が示されていましたが，これで設計すると，曲げモーメントは余り増えずに，軸力がどんどん増えていく結果になりました．そのため，旧鉄道建設公団が，京葉都心線の工事をやる際に併設の影響計測を行った結果，全く違う答えがでてきて，設計法の見直しが必要であるという結論に達し，技術的な話を論文にまとめています．

最近になって首都高が設計要領をまとめられた中では，ある一定のやり方で設計しておけば安全は確保できそうだというところまで何とか進んできたところです．

今回の連載の中でも書かせていただきましたが，これは首都高が実際に現場で計測された事



例にもとづいてそういう設計法を検討されたもので，これも設計法の検証そのものだと思います．ただし，これはまだ完全に結論がでた話ではなくて，われわれも必死になってこの件について取り組んでいる最中です．

このように設計にフィードバックがうまくできている例はいくつかあります．

昭和60年代に東京都下水道局では，急曲線施工で苦労し，複数の現場で急曲線施工の計測を行いました．その結果，急曲線施工を行うとセグメントに大きな負荷がかかることがわかってきて，設計法や設計上の留意点をまとめて整理しました．その後，東京電力でも急曲線の勉強をやられており，１つのテーマではありますが，継続して違う立場で，いろいろな視点から，計測や分析をしていくことで設計法の精度が上がっていくことの一つの例だと思います．

しかし，精度を上げていくのにあまり時間をかけ過ぎると，いざ答えがでたときには時代遅れになって役に立ちません．スピードと継続性の両面性を持ってやっていくことが，設計に対するフィードバックにおいて大切なことだと思います．

司会　計測の継続性ということですと，データの蓄積方法や管理方法がテーマになってくるのですか．

斉藤　先ほどお話しした併設の話ですと，鉄道系の事業者は，データをいくつか持っていますが，実際には鉄道系は離隔を比較的十分とっていますので，余り問題になっていません．実際に問題になっている道路の事業者は，そういうデータをあまり持っていません．そこで，どこかの協会などにデータを一元管理していただいて，必要な事業者さんや技術者に閲覧できる形がとれれば，技術の進歩に貢献できると思います．

司会　この点は第９回の講座で提案だけはしていますが，実際に実施する場合，非常にハードルが高い部分があると思います．

鉄道系のお話がでましたが，東京メトロさんでは，いかがでしょうか．

西村　最近やった10m級の泥水式シールドを例にお話ししますが，泥水式シールドというのは，絶えずデータをとりながら状況を把握して掘進していくため非常に管理しやすい工法です．

情報化施工の話を先ほどさせていただきましたが，データのとり方として，掘進に関するデータ，セグメント自体に対する影響を判断するデータ，近接施工の際の計測と，大きく分けて３つぐらいあると思います．

掘進に関するデータは，地盤沈下を起こさないために，土圧や切羽のバランスをどうとっていくかを泥水圧の管理，物性値の管理，取り込んだ土の理論掘削量と実掘削量のバランスの比較などで行います．

セグメントに対する影響は，それ自体に対する影響という意味で，断面の変形やテールクリアランス，作用荷重，セグメントの内部応力，継手の変位などを計測しています．また，鉄筋のひずみ計も設置してますし，土圧計，間隙水圧計，レーザープロファイラーによる変位計，レーザー距離計，温度計なども付けてデータ管理をしています．

近接施工に関しましては，大江戸線の東新宿駅の真下１ｍのところを掘削していますが，今のところほとんど影響はでていません．ここでは大江戸線を横断する形になりますので，当時の大江戸線を施工したときに打設した両サイドのモルタル杭をシールドで切削しながら施工します．そのため，大江戸線の変位を測定しながら側壁部分のモルタル杭を切削して真下に入り



西　村　　聡　氏

込んで，さらに反対側のモルタル杭を切削することになります．このような場合，いわゆる「守りの計測」といいますか，相手の企業者の基準に沿った形で計測しながら進んでいきます．東京メトロの仕事はまさに都心部を掘っていますので，どちらかというと相手のある「守りの計測」が非常に多くなっています．

学術的な解析という点では，先ほどお話しした新しいセグメント継手が設計どおりに機能しているのかを検証しています．

司会　「守りの計測」のデータは，結局その後の設計や施工にあまり生かされずにそこで終わってしまうことが多いのではないでしょうか．

西村　考え方にもよりますが，それはどんどん継承されていきます．例えば，昨年「トンネルと地下」に掲載させていただいた，都営新宿線シールド真上を11cmぐらいまで掘った事例では，リバウンドをどう対応していくかで分割施工を行いました．さらに，地下水圧が高く，リバウンドもさることながら，浮力の問題もありました．このため，地下水位の観測などを行って現場を把握しながら施工しました．先ほど計測には経験が必要だというお話がありましたが，計測した値をどのように判断してどの施工法を選択するかは，現場の技術者の感性がかなりあったと思います．

名倉　「守りの計測」と言われましたが，近接度合いが非常に厳しいものは「攻めの計測」ですよね．

西村　かなり攻撃的かもしれません．

斉藤　東京メトロが地盤の管理計測などで取られたたくさんのデータを使われて地盤の変位の解析方法の検討に生かされたという実績もあって，データの蓄積は信頼性を上げる意味では非常に大切なことだと思います．

司会　東京メトロさんではそういう使い方をされて，どんどん次の設計に反映させることが可能のようですが．

西村　そうですね．連綿と続いている地下鉄工事のデータが受け継がれているので，土留め杭の根入れの深さにしても，今までの経験にもとづいた技術的判断のもとに独自の基準をつくっています．これは計測といいますか，データの蓄積の結果だと思います．

司会　それをほかの企業さんでも生かせればいいと思うのですが，それは東京メトロさんとして独自の考えですか．

西村　多分，ほかの企業さんがうちの土留めのやり方でやるとなると，結構勇気がいるのかもしれませんね．

司会　それは設計だけでなく，施工面などのいろいろな要素を含んで，総合的に見てできるということですね．

西村　東京メトロでは社員が直接現場に張りついて施工管理をやっておりますので，その経験が設計に反映されているのだと思います．

将来への展望

司会　最後に，将来に向けた計測の技術展望ということで，最近感じていることなどがあればお願いいたします．

清水　一つは調査や計測技術を勉強して構造物のさらなる延命化に努めることが重要です．

もう一つは，今後，用地の制約などからより厳しい条件下での施工が増えることです．例えばシールドでは，営業線の鉄道と十字で交差する事例は数多くあります．しかしながら，それが連続的に，数百mの単位でなく，キロの単位で，かつ非常に小さい土かぶりで掘進しなければならない状況になりつつあります．併設シールドトンネルは超近接施工にならざるを得ません．そうした厳しい条件下の施工において，長距離にわたって全部計測するのは，コストの面から最良の策とはいえません．コストとリスクのバランスをどのようにとっていくのかを真剣に考えて，知恵を出し合い，これからの計測に生かしていかなければならないと考えております．



清　水　幸　範　氏

司会　計測メーカーさんの将来に向けた取り組みにはどんなものがあるのでしょうか．

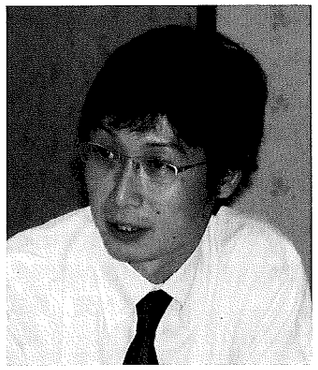
樋口　センサがない状態でデータが得られるのが理想だと思います．そのようなことに対する取り組みの一つとして，センサがない状態の計測までには至っておりませんが，ケーブルレスのセンサを開発していろいろな現場に導入しています．

別な見解として，道路法面などの斜面関連分野では，計測の必要性が問われています．計測は，安全管理や維持管理に使うわけですが，計測しているから確実に安全管理ができるとは限りません．要は，その計測データがきちんと評価できなければ意味がありません．最近，光ファイバで路線延長を測るという発表も多数あって，私自身も光ファイバセンシングにかかわっていますが，どんな効果があるかわからないモニタリングをするよりもハード対策をして安全側にした方が，総合コストを抑えられるという意見もあります．

先ほどお話がありましたデータの一元管理が行われ，データを自由に扱えるようになれば，無駄な計測がなくなり合理的になると思います．また，仕様書の中に「計測業務の仕様」という項目で，例えば特記仕様に，こういう計測ができるものでなければならないとか，そのデータの取り扱い方までが盛り込まれればいいと思います．

その一方で，これから都市部では，用地の制約が増え，近接程度も超近接になってきますので，ますます計測が不可欠になってくると思います．そのような中で，総合コストの低減に貢献できる計測技術，ユニバーサルデザインの発想で誰でも簡単に扱える計測技術など，時代のニーズに応えることが計測器メーカーの責務として必要と思います．

司会　関さんの方で，膨大なNATMの計測をやられましたが，メーカー側への要望や，今後こういう技術があればさらによくなると思うものはありますか．



樋　口　佳　意　氏

関　実は，先ほどお話した営業線の沈下測定に地形条件や実績などから水盛式沈下計を採用しました．確実なメンテナンスによりしっかりしたデータが得られましたが，風が吹くとすぐに警報が鳴るなどの問題点もありました．今後は水に変わって，光を使った計測が非常に有効になると思います．線上に連続した計測もできますし，どんどん経験が蓄積されていけば，低コスト化も期待できます．デジタルカメラを使った3次元計測などもあり，光が今後の計測の一つのポイントになるのではないでしょうか．

司会　では，最後にゼネコンさんから，何かそういう技術展望をお伺いいたします．

名倉　期待する計測技術としてはワイヤレス化やICタグのような，みずから発信してくれるセンサです．以前，セグメント切り開き工事の計測で，溶接作業などによってケーブルが切断されて，計測ができなかったことがありました．このような場合に，ワイヤレス化というのは非常に期待できます．通信はインターネットで高速になりましたので，センサがもう少し使いやすく，耐久性も上がったらと思います．

少し違う話として，今までは施工者としては，設計に入ってから計測を行うことが往々にしてありました．しかし，これからは，いわゆるデザインビルドが増え，設計責任も含めて計測

で品質や施工の信頼性などを証明する必要があります．また，コスト低減という観点から経済的な設計を提案する局面も増え，あわせて「攻めの計測」も提案していくことになると思います．そうなると，経済的な計測と同時に，いつでも，簡単に，すぐできるユビキタスな計測があると助かります．

西村　リスク管理という意味から言いますと，計測データはシンプルでわかりやすいものが必要だと思います．立派な計測結果をいろいろ解析すれば，設計には反映できるかもしれませんが，リスク管理には非常にシンプルでわかりやすいのがよいと思います．

司会　何年か経過した後は，設計値との絡みがどうなっているか，設計値に対してこの計測値は妥当なのかどうかという議論ができると思いますが．

西村　それはそれでまた別の取り方があると思います．物が動き始めるときは，必ず前兆があります．データを見て「おかしいな」とか「変だな」と思う感性が現場技術者には絶対必要で，そういうものをトレーニングしていくのが仕事だと思っています．若い人たちにはできるだけ現場を見て感性を鋭くしてもらうのも，計測が有効に使われる１つの要素ではないかと感じます．データを見て何なのか判断できなければ何にもなりません．前兆をどうやってつかむか．それが現場管理だと思います．

司会　そのためには，やはりある程度の経験の蓄積が必要であり，暗黙知なども重要となるのでしょうか．

西村　「おかしい」と思わない人を育ててはいけません．若くてもすごく感性の鋭い人はいますし，やはり物の見方を教えることが計測の観点にもつながると感じます．

司会　本日は皆さんのご経験を踏まえて有意義なお話しを伺いました．これを「トンネルと地下」連載講座に載せることによって，西村さんが言われたように感性を磨いていただく参考になり，かつ，コスト低減が図れる施工ができれば望ましいと思います．今後，計測データを有効に使うため，発注者，事業者，コンサルタント，メーカーの壁をとって，お互いの技術について議論することが必要と感じました．

本日は，長い時間ありがとうございました．

（収録：平成18年６月15日（木）八重洲龍名館　藤の間）

『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)

連載講座

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(最終回)

—Ⅳ．その他の検査手法および変状監視手法—
—Ⅴ．連載のおわりに—

JTA保守管理委員会

① 活用されている技術の概要

1-1　背面地山の探査手法

背面地山の探査技術については，トンネル背面地山の地質や空洞，緩み状態を把握する方法に，ボーリング調査および電磁波レーダー探査の手法がある．

1-1-1　地上部からのボーリング調査

トンネルまでの地質の状況が把握できるとともに，サンプルの採取が可能である．また，標準貫入試験を実施することでN値などの把握が可能である．

1-1-2　トンネル内部からのボーリング調査

土かぶりの大きいトンネルなどで複数のデータが必要な場合，地上からのボーリングでは手間がかかりすぎる場合がある．このような場合はトンネル内部から覆工面や路盤を削孔しトンネル周辺の地質などを調査するためにこの手法が利用されている．

1-1-3　電磁波を用いた探査

近年，電磁波レーダーを活用して地山背面の空洞を非破壊により調査する方法が開発，実施されている．

ボーリングのような手間がかからず，比較的広範囲を効率的に調査できる利点がある．ただし，把握できるデータが覆工の欠陥や厚さ，背面の空洞の有無などに限られる点が欠点である．

1-2　変状監視手法

1-2-1　光ファイバーセンシング

光ファイバーについては，伝送路としての利用がよく認知されているが，それ自体をセンサーとして用いて，モニタ技術としても活用されている．

方式としては，OTDR，BOTDR，ROTDRなどがあり，測定対象箇所が限定されず，連続広範囲に計測する場合に適している方式である．いずれの方式も，光ファイバーの利点である低損失性，無誘導性，細径，軽量などの特徴を活かし，ひずみ・変位・温度などの物理量変化の計測を目的としたものである．

1-2-2　導電塗料

光ファイバーほど多くの情報は得られないものの，ひび割れの発生・進展を検知できる，より安価な変状監視法として期待が大きく，近年その実用化について研究が進められている．

この方法は，導電塗料を塗布されたコンクリート表面にひび割れが発生すると，導電性が損なわれることを利用して，変状を検知するものである．

② 油圧探針装置による覆工背面地山の探査(東日本旅客鉄道(株))

JR東日本における都市部シールドトンネルである東京トンネルでは，漏水の影響から，背面の土砂がトンネル内に流出し，背面地山の緩み領域の拡大と偏圧が懸念される状況にあった．

当該トンネルは都市部の地下トンネルであり，地下水面より数十m下にある．建設後に東京都の地下水汲み上げ規制により地下水位が回復し，現在は水圧を受けている状態にある．

このため２次覆工や，背面地山への注入工などの対策工を実施することになったが，施工計画を策定するにあたりトンネル背面の状況を把握する必要があった．このような経緯で，JR東日本，佐藤工業(株)，東鉄工業(株)は共同で小型，軽量の油圧圧入式短針装置を開発した．

2-1　装置の概要

開発した油圧探針装置はϕ16㎜の貫入ロッドを油圧シリンダにより作動させ，その際の貫入量と先端支持力をパソコンの活用により測定，記録することができるものである(**写真-1**，**図-1**)．

反力は，アンカーボルトにより試験装置の架台をセグメントなどの構造物に固定することで得ることができる．

油圧の最大能力は20kN，重量は約50kgであり，

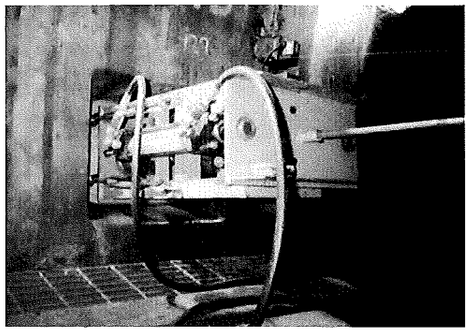


写真-1　油圧探針装置設置状況

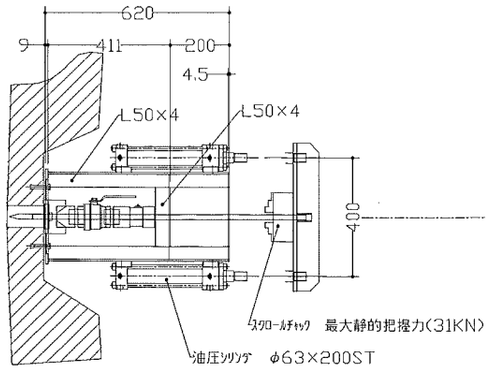


図-1　油圧探針装置概要

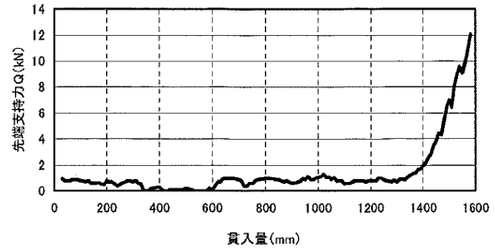


図-2　探針装置による測定結果例

作業員２人で扱うことが可能である．測定自体の時間は10分/箇所であるが削孔に時間がかかるため一晩あたり４か所の測定ができる．

装置自体はトロでの運搬が可能となるよう必要最小限の大きさとした．併せて地下水面下にあるトンネルでも適用できるよう止水金具を開発した．

2-2　探査結果

図-2は，実際に東京トンネルで測定した結果である．測定開始後貫入量が約1,300㎜までは先端支持力に変化はないが，1,300㎜以降では支持力が徐々に増加し，約1,400㎜を超えると急激に増加することがわかる．この結果，この箇所ではトンネル覆工背面において約1,400㎜の範囲では流動的な砂質土で不安定であることが想定される．実際の対策ではこの箇所には裏込め注入工を実施した．

2-3　今後の課題

以上紹介したとおり開発した装置は期待した成果をあげることができた．今後は，調査数量を増加し，試験試料などを用いた室内試験などでデータを収集し，先端支持力とN値の相関性を求め，有効な検査が可能になるようにすることが必要である．また，このような都市部のシールドトンネルにおいて漏水箇所と緩み領域の関係について調査することでより効率的な維持管理手法が構築できると考えている．

③　光ファイバーセンシングによる変状監視(日本電信電話(株))

トンネルを効率的に維持管理するうえで，変状を一定の範囲で事前に検知することも重要な課題であり，トンネル変状を遠隔監視するモニタ技術

の活用が進められている．

従来より，変状監視には多くのセンサーに電力を供給するケーブルや計測信号を伝達するケーブルが個々のセンサーごとに必要になることから，コスト面で課題が多かったが，これらを解決しうる光ファイバーセンシング技術を利用した手法がNTTで開発されているので，ここで紹介する．

3-1　光ファイバーセンシング技術の概要

光ファイバーセンシング技術にはさまざまな方式があるが，光ファイバーの利用という観点から分類すると次の２つに大別できる．

① あらかじめ加工したセンサー部分と伝送路としての光ファイバー部分から構成されている離散的な方式

② 光ファイバー自体をセンサーとして用いる連続的な方式

前者には，光学ストランド方式やFBG，MDMなどがあり，測定対象箇所が特定できその箇所数も多くない場合に適している．後者には，OTDR，BOTDR，ROTDRなどがあり，測定対象箇所が限定されず，連続広範囲に計測する場合に適している方式である．他の分類方法としては，入射されたパルス光の後方散乱光を時間分解測定・分析する方式，パルス光の反射光を測定・分析する方式，透過光強度の変化を測定・分析する方式で分けることができる．

3-2　BOTDR方式による変状監視の原理と特長

パルス光を光ファイバーに入射すると種々の後方散乱光が発生するが，その一つであるブリルアン散乱光に着目して計測・分析する方式が，BOTDR(Brillouin Optical Time Domain Reflectmetry)方式である．測定原理は，ブリルアン散乱光の周波数が光ファイバー長手方向のひずみの大きさに比例して変化する性質を利用するもので，ひずみは周波数シフト量を計測することにより得られる．発生位置は，光パルスを光ファイバーに入射してからその散乱光が観測されるまでの時間を測定することにより求められる．これにより，光ファイバー長手方向の任意の点における長手方向のひずみ分布計測が可能であり，地盤や構造物などの測定対象と光ファイバーを一体化することで，これらの変状をモニタリングできる．

本方式の特長としては，

① 電気的誘導，雑音の影響がない

② 光ファイバーであるため，耐腐食性がある

③ 現地での電気設備が不要

④ 長距離計測が可能である

⑤ 線的計測に加え面的計測が可能

という点があげられる．

なお，ひずみ分解能は30μ，空間分解能は１mで連続計測可能区間は約20kmである．また，公衆網を介して計測装置の遠隔制御やデータ収集をすることもでき，センター方式でのシステム構築も容易である(**図-3**)．

3-3　変状監視システム(常時監視)の概要

NTTが有する通信用トンネルの一部には，老朽，劣化，近接施工によるトンネルの変形を常時監視する技術として，長距離を連続的に計測する光ファイバーセンシング技術(BOTDR方式)を用いた監視システムが開発，導入され，常時監視が実施されている．導入されたシステムの概要を**図-4**に示す．

光ファイバー設置方法については，全面接着方式と一定間隔での固定方式(P-P方式)の２とおりである．実験の結果，P-P方式がより高感度であり，P-P方式をより効率的に実現するために，外

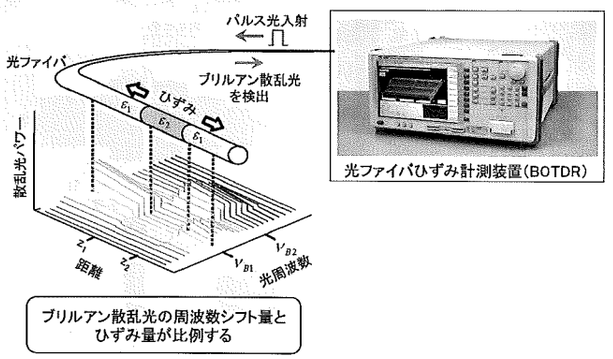


図-3　BOTDR方式概要

皮とファイバー部分を密着した構造のセンサーケーブルおよび治具を開発した(図-5).

本センサーケーブルは外力あるいは測定対象物の変状を光ファイバーにロスなく伝達する構造のセンサーケーブルとそれを固定する治具および台座から構成される.

これら開発したセンサーケーブルおよび治具により，変位量20mm程度まで測定することができ，またトンネル内壁に2mピッチで固定することにより，0.1mm程度の精度で検知することができることを確認した.

3-4　変状監視システムの一時監視利用

近年，土地の高度利用により，地下空間の輻輳化が進行している．既設のNTT通信用トンネルについても，地下鉄，地下トンネルおよび上下水道の新設工事や地下鉄駅舎，地下構造物の新設・更新工事による近接施工の影響を受ける事例が増えている.

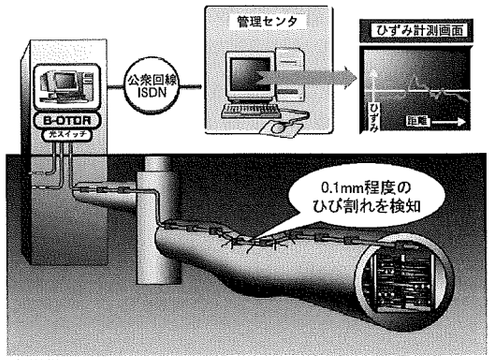


図-4　通信用トンネルモニタリングシステムイメージ

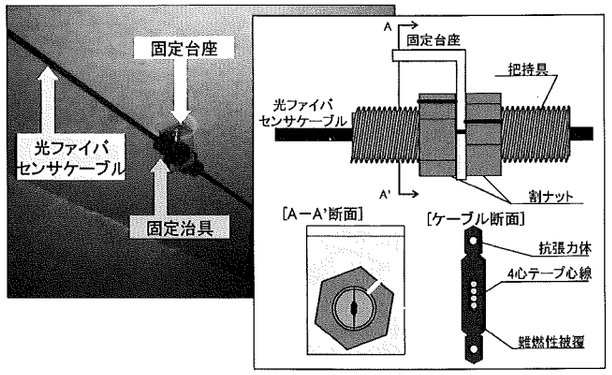


図-5　計測用センサーケーブルおよび治具

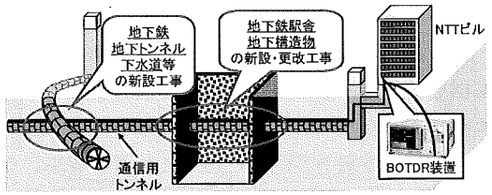


図-6　通信用トンネルに対する近接施工イメージ

このため，NTTでは前述の常時監視システムを応用した一時監視(影響計測)を実施している．この影響計測は，常時計測に利用する縦断方向の変状計測により軌道方向の影響を監視するのに加え，光ファイバーを断面方向にも設置し，工事による周辺土圧の変化による内空変位も計測している.

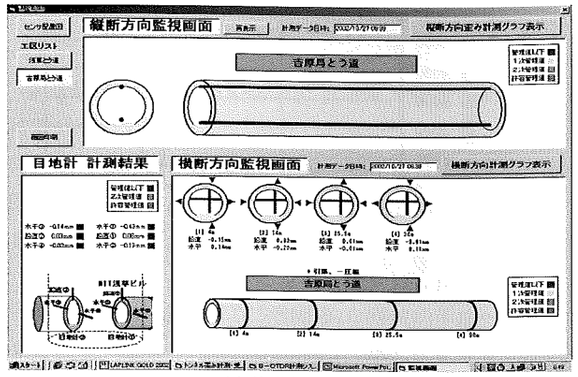
計測データは最寄りのNTTビルなどの監視センターに設置した各種計測用装置(BOTDR装置およびモニタリングシステムを起動させるパソコンなど)により収集され，アラーム情報とともに施工業者およびNTT両者に送信され，随時監視を実施している.

図-6にNTT通信用トンネルに対する近接施工実施のイメージを示す．また，図-7にモニタリングシステムの計測画面イメージを示す.

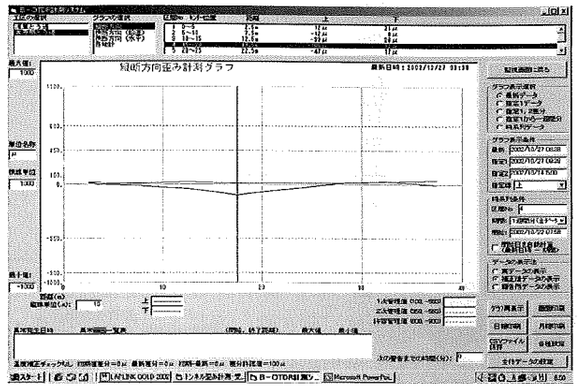
なお，トンネルの断面方向の計測については，FBG方式を使って，光ファイバーをトンネル壁表面円周に設置することにより点的に計測することができるが，1本のファイバーでの計測点数が30か所程度と限りがあるため，範囲を絞り込んだうえでの計測となる.

3-5　今後の課題および他分野への適用

光ファイバーセンシング技術はいずれの方式においても温度補正が課題となる．通信用トンネルは，温度変化はほとんどないが道路トンネルや鉄道トンネルのモニタリングに適用する場合には，温度の変化に伴って光ファイバーが熱収縮するだけでなく，測定・分析する反射光や後方散乱光が温度によりその数値を変えることが多いため，十分な補正検討が必要



(全体監視画像)



(縦断方向歪み監視画像)

図-7　モニタリングシステム計測画面イメージ

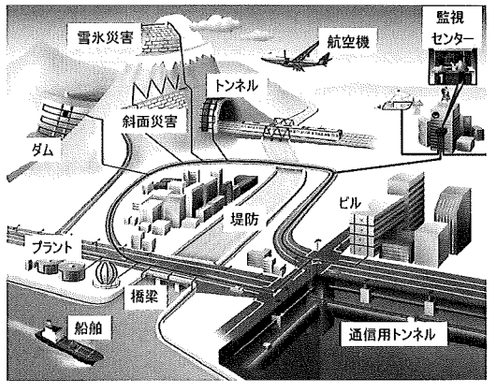


図-8　光ファイバーセンシング技術適用イメージ

である.

FBG方式では温度補正用センサーを併設する方式が考えられているが，BOTDR方式においては現場に応じたさまざまな方式が現在検証されている.

光ファイバーセンシング方式にはさまざまな種類があり，測定対象物に応じてその方式を選定することにより，従来型の電気式計測機器の課題をクリアすることのできる新たな技術である．とくにBOTDR方式は20km程度にわたる光ファイバーの連続的なひずみを計測できることから，土木・建築分野などの大型構造物のモニタリングに適している方式である．これまで実現できなかった分野・対象物に対するモニタリングも十分可能と思われ，防災の観点からの進歩が期待できる(図-8).

④　光ファイバーによる変状監視((財)鉄道総合技術研究所)

光ファイバーによるBOTDR法を利用した変状監視は，鉄道分野でも検討，開発が進んでいる.

従来，鉄道トンネルの変状や近接施工による影響の監視には，一般に，テープによる内空変位計測やひび割れ計によるひび割れ計測，ひずみゲージによる覆工ひずみ計測などが行われてきたが，トンネルのような長大構造物の挙動を線的・面的に長期間連続監視することは困難であった.

そこで，鉄道総研では，トンネル覆工に生じる歪みの変化や，ひび割れや剝離の発生・進展の程度と位置を遠隔地での連続監視法として光ファイバーに着目し，BOTDR法を用いてその適用性評価と敷設法の開発を行っている.

開発にあたっては，まず，覆工模型載荷実験，繊維シート接着工の押し抜き実験を行い，ひずみ，ひび割れ，剝離を実用上十分な精度(位置20cm，ひび割れ幅0.3mm，剝離長さ10cm)で検知できることを実証した．一方，敷設性や耐久性の基礎実験を行ったうえで，列車風圧を受ける新幹線トンネル斜坑において実証試験(図-9)を行っている.

また，変状が生じている在来線の鉄道トンネルにも設置し，3年程度の長期計測を行ってきた．これらの実績より，提案した設置方法によれば，

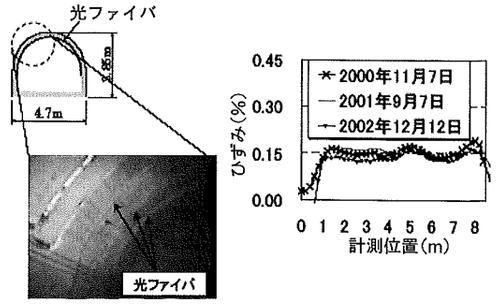


図-9　鉄道トンネル内での光ファイバー設置状況と計測結果

十分な信頼性と耐久性が得られることが実証されている．

この研究開発は，鉄道総研と三菱重工業(株)の共同研究として進めてきたものであり，実験の一部については，旧運輸省の補助金を受けて鉄道総研が行った成果が含まれている．

参　考　文　献

1) 小島芳之・栗林健一・朝倉敏弘・伊藤裕昌：光ファイバーによるトンネル変状監視法，トンネルと地下，Vol.36，No.2，pp.47-54，2005.2.

⑤　導電塗料による変状監視（(財)鉄道総合技術研究所）

導電塗料を用いて覆工に生じるひび割れの発生・進展を検知する方法は，光ファイバーほど多くの情報は得られないものの，より安価な変状監視法として，広く実用化が期待できる手法であると考えられる．鉄道総研では，この方法の適用性について研究を進めてきた．

この方法は，導電塗料を塗布したコンクリート表面にひび割れが発生すると導電性が損なわれることを利用して，ひび割れ発生を検知するものである．トンネル覆工面に導電性の塗料を塗布し，導電性を調べるセンサーを坑内に設置し，この判定信号を坑外へ送り，坑外で検知する．

このシステムは，①簡易かつ確実なひび割れの検知が可能，②常時検知が可能，③安価，などの特徴を持つ．

導電塗料の塗り厚や塗り幅と検知可能なひび割れ幅の関係(図-10)，現場に適した塗布方法，効率的な塗布形状，耐久性，通信方法などを調査・開発項目に，室内試験，暴露試験(写真-2)，現地試験を行ってきた．

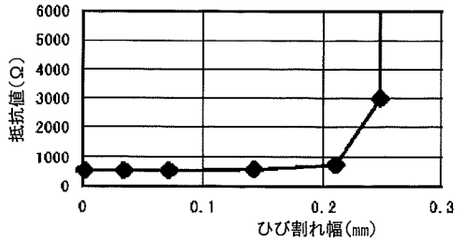


図-10　ひび割れ幅と抵抗値の関係(1例)

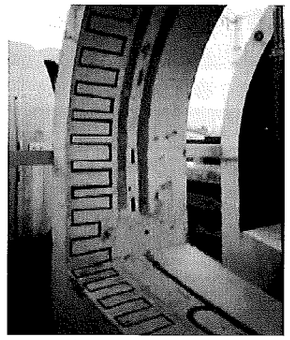


写真-2　暴露試験状況

現在この方法は，近接施工の影響監視法の一手段として実用されつつあるが，さらなる信頼性を高めるため，実現場での長期計測を進めるとともに，一様な塗り幅・塗り厚で塗布できるような塗布方法，耐久性のある塗付仕様，破断が検知されたときの破断箇所の特定方法，効率的な塗布パターン，監視システムのあり方などについて，引き続き研究を進めている．これらの研究は，現在，横川ブリッジ(株)，藤倉化成(株)と共同で進めているところである．

参　考　文　献

1) 岡田岳彰・小西真治・毛利豊重・建山和由：導電塗料を用いたひび割れ検知システムの研究，土木学会第56回年次学術講演会，VI-184，2001.
2) 小島芳之・榎本秀明：トンネル検査の自動化を目指して，新しい鉄道トンネル覆工検査法の開発，土木学会誌，Vol.87，2002.7.

Ⅴ．連載のおわりに

4月号(Vol.37，No.4)より，トンネル検査の新技術について採り上げ，紹介してきた．各企業，自治体ともさまざまな検査手法の開発に積極的に取り組んでおり，今後ますますの進歩が期待できる感を強くした．

従来，人手によってきた目視検査や打音検査については，より高精度かつ定量的な機械的手法へと変化を遂げ，発展著しいIT技術によりデータの分析・蓄積にも格段の進歩が見られた．また，以前から定量的な手法として用いられてきたモニタ技術についても，光ファイバーなどの新素材を活用することにより，これまで点単位での計測，診断が限界であった検査から，線や面での検査に進化しつつある．さらに取り組みを推進し，点の情報にもとづく健全度診断から，トンネル全体の診断へとつなげていって欲しいものである．

現在，各事業者は，団塊世代の大量退職という2007年問題に直面している．ベテラン技術者が有する維持管理に関する技術を，機械化・システム化により確実に継承し，技術の喪失という事態を招くことのないよう，トンネルの検査分野でも継続的に取り組んでもらうことを願うものである．

【新刊図書】



多様化するシールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会
B5判　141頁　本体価格2,500円

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

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

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

土木情報 No.400 今月の主な入札結果

（7月22日～8月11日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
北開・札幌	空知中央地区旧茶志内幹線1支線用水路外	田端本堂カンパニー	214
〃	〃 北海幹線用水路砂川吉野工区	菊地建設鉱業	127.5
〃	〃 市来知幹線用水路本郷工区	大木建設工業	165
〃	〃 大願幹線用水路峰延工区	松谷建設・協業組合大道建設・スミセキコンテックJV	493
〃	道央用水(三期)地区道央注水工東10線工区	前田建設	390
北開・旭川	ぴっぷ地区共栄幹線用水路5号工区	新谷・鈴木組・山元組JV	374.6
〃	〃 愛別川頭首工導水路外	丹野組・丸善建設・赤川建設興業JV	398
北開・帯広	札内川第二(二期)地区戸蔦送水幹線用水路西札内工区	道東建設工業・東日本道路JV	186
〃	更別地区中央幹線排水路東18号工区	井原工業	258
北開・釧路	はまなか地区第3号送水路外	渡辺組	366
東北地整	一般国道13号中川T	三井住友建設	1,021
近畿地整	大阪港夢洲T沈埋部(5・6号函)沈設等	東洋・佐伯・本間JV	1,920
〃	〃 〃 (7・8号函) 〃	五洋・みらい・テトラJV	2,395
九州地整	(仮称)鰐塚山T	大淀建設・南星建設JV	597
北海道	苫小牧地区工業用水道改築新苫一幹線配水管布設1工区	勝幸辰建設・坂本建設JV	117
〃	〃 〃 〃 〃 2工区	菱中建設・丸斗工業JV	156.5
〃	〃 〃 〃 〃 3工区	盛興建設・伊藤工業JV	113.9
〃	道道枝幸音威子府線道路改良(歌登T)	岩田建設・荒井建設・安田建設JV	1,389
石狩西部広域水道	送水施設創設1号送水管新設その80	地崎・戸田・伊藤組土建・佐藤・札建JV	1,688
福島県	(仮称)上浅貝T	大豊・常磐開発・渡辺組JV	1,274
群馬県	県営ため池等整備事業生枝地区放水路T	飛島・池下・沼田・土建JV	470
埼玉県	利根川右岸流域下水道管渠築造1工区1号	西武・武蔵JV	545
〃	〃 〃 2号	小川・サイレキJV	740
都・水道局	板橋区大谷口一丁目地先から同区中板橋地先間送水管・配水本管布設替及び配水小管撤去	大明建設・明治土木JV	509.88
都・下水道局	中央区入船二，三丁目付近再構築	イチフジ・富山工業・星輝JV	321
〃	品川区北品川一丁目付近再構築	鈴縫工業	310
〃	千川幹線再構築その3	鉄建	441
〃	菊川幹線再構築	奥村組土木興業	200
〃	江東区東砂七丁目，南砂六丁目付近再構築	都市クリエイト	196.03
〃	文京区本駒込二，五丁目付近再構築	石川徳建設	297.1
〃	〃 大塚五，六丁目付近再構築	奥村組	198.8
〃	世田谷区上馬四，五丁目付近枝線(雨水調整池)その4	竹中土木・伊藤組土建JV	299
〃	北区堀船一丁目付近管渠改良	東京三田組	111.76
愛知県	五条川右岸流域下水道事業管布設(小山工区)	東急・渡邊・昭和土建JV	1,510
和歌山県	国道168号((仮称)新越路T)道路改築	三井住友・丸濱JV	875
〃	国道424号((仮称)修理川1号T)道路改築	本間組・テンコーライフJV	699
広島県	県営一般農道整備事業中馬地区T	森本組	655
高知県	国道321号道路改築(以布利T)	入交・豚座・新谷JV	1,770
佐賀県	一般国道323号道路(古湯T(仮称))改良	松尾・深町・富士JV	911.46
登別市	登別1号幹線管渠新設その1	草塩建設・五洋建設JV	104.7
〃	〃 その2	宮武建設・地崎工業JV	100.45
さいたま市	加田屋落し排水区下水道(北建18-4)	三ツ和総合建設業協会・荒木建設工業JV	229
蕨市(埼玉県)	錦町雨水管渠築造(18-1工区)	奥村組	156
三郷市(埼玉県)	公下谷中雨水管渠築造(18-1)	須合建設	110
船橋市	長津幹線管渠築造	東急・風間JV	595
浜松市	西遠処理区鶴見五島幹線管きょ築造	三井住友建設	249
日向市(京都府)	日向市公下石田川2号幹線築造	奥村組	1,390
神戸市	古川町雨水幹線築造(その2)	関西建設工業	239

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL·TUNNEL JOURNAL·TUNNEL JORNAL·TUNNEL JOURNAL·TUNNEL

遺跡を保存し，開削からトンネル工法へ

北陸地方整備局新潟国道事務所は，日本海沿岸東北自動車道の村上IC付近で埋蔵文化財の試掘調査を行った結果，弥生時代高地性環濠集落跡とされる山元遺跡が確認された．

同遺跡は，環濠集落の北限とみられ，新潟県教育委員会から「歴史的価値が高い」と報告を受けたため，遺跡周辺の工事を開削工法からトンネル工法へと切り替えるとしている．

さいたま市の中心部を通過する高速埼玉新都心線開通

高速埼玉新都心線(新都心～さいたま見沼)が開通した．

今回の開通区間は，さいたま市中央区新都心～同市緑区大字三浦の3.5km．さいたま市の中心部を東西に通過する初めての高速道路．構造は，高架1.8km，半地下・平面0.2km，地下1.5km．

甲子トンネル貫通

東北地方整備局郡山国道事務所が進めていた福島県南部の甲子(かし)峠を越えて南会津・白川を結ぶ一般国道289号甲子道路の甲子トンネルが8月4日貫通した．

同トンネルは，延長4,345m，幅員7.5m．一般国道のトンネルとしては，一般国道283号の仙人トンネル(4,485m)に次ぐ．

南部会津～県南白川間は，冬季積雪時に甲子峠が通行不能となり，150kmの迂回を余儀なくされていたが，同トンネルが開通すれば，わずか35kmで直結することになる．

北陸新幹線 第一魚津トンネル貫通

鉄道・運輸機構が富山県魚津市で建設を進めていた北陸新幹線の第一魚津トンネル(蛇田－青柳区間)が8月22日貫通した．

同トンネルは，延長1,515m．片貝川と布施川の両河川間の堆積扇状地にあり，比較的軟弱な地盤だったが順調に工事が進められた．2004年8月に着工し，完工は来年12月を予定．

中国最長の鉄道トンネル 烏鞘嶺トンネル開通

中国最長の鉄道トンネルとなる全長20.05kmの烏鞘嶺トンネルが8月23日上下線ともに開通した．

蘭新鉄道(蘭州－新疆)の蘭州西から武威南の間に位置する同トンネルには2本の鉄道が完成し，アジア・欧州国際物流ネットワーク上の「ボトルネック」が解消された．これにより江蘇省連雲港からウルムチまでの3,651km間は，全線が複線となった．

日和佐道路 福井トンネルが貫通

四国地方整備局徳島河川国道事務所が整備を進めている一般国道55号日和佐道路のもっとも徳島市側に位置する福井トンネル(阿南市福井町から美波町田井)が8月25日に貫通した．

同トンネルは，工事延長1,279m，幅員9.5m上半先進ベンチカット掘削によるNATM．脆弱な地質や土かぶりが小さい部分については，フォアポーリング工法などの補助工法を採用し無事貫通した．

「環境レポート2006」発行

ハザマは，2005年度の環境保全・事業活動をまとめた「環境レポート2006」を発行した．

このレポートでは，「地球温暖化防止」，「資源循環・廃棄物削減」，「生態系・周辺環境の保全」，「汚染土壌対策と化学物質管理」の4つの区分にまとめ，屋上緑化技術，廃棄物の再利用技術，周辺への影響を抑える解体技術，汚染土壌の浄化技術，石綿(アスベスト)対策など，それぞれの分野における同社の環境への取り組みを紹介するとともに，昨年より導入した環境会計集計実績とグリーン調達実績を掲載している．

圏央道大栄～横芝間 アセス準備書を縦覧

関東地方整備局が計画を進める一般国道468号・首都圏中央連絡自動車道(圏央道)の千葉県内区間の大栄～横芝間延長約18.5km建設事業の環境影響評価(アセス)準備書の縦覧が始まった．

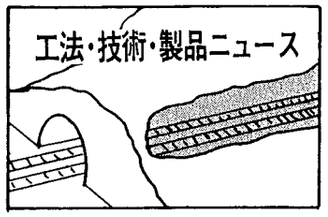
同区間は，圏央道の県内区間のうち，唯一都市決定を受けていない調査区間にあたる．

準備書によると，土工を基本構造とし，一部区間に橋梁およびトンネルが計画されている．土工部は盛土が約7km，切土が約9.3km，高架橋約1.5km，トンネル約0.7km．

九州初の大深度雨水貯留管 第3四半期にも発注

福岡市は，地下40m以深に築造する九州初の大深度雨水貯留管8(比恵9・12・13号幹線)の設計完了を待って工区割りや工事発注時期を決めるとしており，本年度第3四半期以降の発注の可能性もでてきた．

同幹線は，博多駅地区緊急浸水対策事業(レインボープラン)の一環として計画されているもので，口径2.2～5.0m，延長約2,350m．博多駅筑紫口前地区道路下40m以深に立坑数箇所を掘削してシールド工法で敷設する計画．



上向きシールドに直接切削セグメント初適用

大成建設は，錢高組と積水化学工業と共同開発したシールドで切削可能な「FFUセグメント」を，名古屋市上下水道局発注の名駅南雨水幹線下水道築造工事で上向きシールドの発進坑口に初適用した．

同セグメントは，硬質発泡ウレタンをガラス繊維で強化した部材を採用することで，シールドで直接切削が可能で坑口部の地盤改良や切り開き作業が不要となり，経済性や作業性に優れる．

扁平型断面シールド工法

奥村組，石川島播磨重工業，石川島建材の３社は，洪積層を主体とする硬質な地盤を低コストで施工できる「扁平型シールド工法」を共同開発した．

同工法は，硬質な地盤で扁平断面を確実に掘削するために，円形カッタと扁平張り出し部を掘削する２本のビームカッタで構成され，セグメントには，薄肉扁平形状を採用している．従来の円形シールド工法と同等の施工速度を確保するとともに，掘削断面を縮小することで掘削量を軽減し，セグメントのコストダウンを実現．約15%の工事費の低減が可能．

トンネル内の舗装補修に新工法

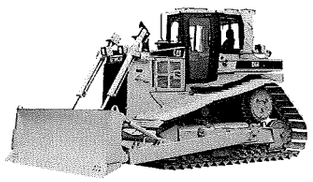
日本道路は，トンネル内のコンクリート舗装を補修する「明色トンネルシール」工法を開発した．

同工法は，冬場のチェーン走行などによって，帯状にわだち掘れが発生した部分だけを対象に，特殊なアスファルト混合物を10～20㎜程度の薄層で敷き均し，乗り心地を改善する．従来の路面を切削して補修する工法に比べ，低価格で廃棄物の発生もなく，専用の小型アスファルトフィニッシャーを用いるため粉じんや排ガスの換気対策を必要としない．

第三次排出ガス規制に対応した中型ブルドーザ

新キャタピラ三菱は，第三次排出ガス規制に対応する新世代環境対応型エンジン「ACERT」を搭載した中型ブルドーザCAT D6R SERIES Ⅲを発売した．

同機は，SERIESⅡのモデルチェンジ機で，車両転倒時にオペレータを保護する構造キャブを新たに標準装備したほか，足回りの磨耗寿命を大幅に延長する新開発のアタッチメント「ローリングブッシュ・トラック」を採用するなど，ワンランク上の環境性能や安全性，操作性，サービス性を実現．



ハンディタイプのレーザー距離計

ライカジオシステムは，ハンディタイプレーザー距離計ディストシリーズの新製品Leica DISTO™ A6を発売した．

同距離計は，機能，精度ともに業界トップレベルを誇るハイエンド向けに開発され，①測定データ無線通信機能，②無償ソフトにより，測定値をパソコンなどへ簡単に転送可能，③測定精度±1.5㎜，④長距離測定パフォーマンスの向上，⑤先進的な人間工学にもとづいたデザインと多彩な機能，などの特徴を有す．



新しい発想の表面含浸材

飛島建設は，恒和化学工業と共同でコンクリート面に塗布するだけで，はっ水機能(水をはじく性能)を付与するとともに，劣化因子の抑制効果を兼ね備えたコンクリート構造物の耐久性向上に有効な高性能表面含浸材「コンフィックスSM-9」を開発し，実用化した．

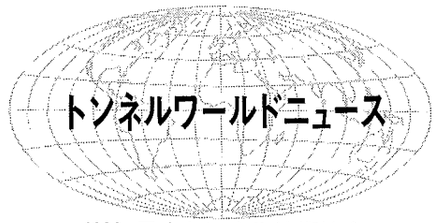
同材料は，はっ水性能と中性化進や塩化物イオンなどの劣化因子の浸入を抑制する効果を兼ね備えているため，従来の方法に比べ，はっ水処理と劣化抑制処理を同時に行うことができ，同等以下のコストでさらに高性能化を実現した．

1,625㎜幅対応の低溶剤インクジェットプリンタ

武藤工業は，1,625㎜幅対応の低溶剤インクジェットプリンタ「Valu Jet1604」を開発した．

同機は，低臭性のインクの採用により，ラミネート加工なしで，３年相当の耐候性と高い擦過性を実現した屋内外印刷物用大型プリンタ．





（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

ロビンズ社のTBMがアイスランドですべて再稼働した

アイスランドのカラハンジャ水力発電所第三作業坑において使用されている直径7.2mのロビンズ社製硬岩用TBMが再稼働した(T＆TI，p.16，2005.10)．

この事業は，アイスランドの主要電力会社である国営ランスビルキン社によって建設されている．インプレギオ社(建設会社)は2003年に落札価格3.4億ドルでこの導水トンネルを受注した．施工管理は，VI JVを構成するマットマクドナルド社(工事監理)，ニヌホヌーン社(工事監理)，HNIT社(地盤情報)，フジャルツン社(地盤情報)，スウェコ社(地盤情報，コンサルタント)，ノロコンサル(コンサルタント)，コインエトベイラー(地下・水系コンサルタント)が行う．

３機のロビンズ社製のTBMは，アイスランド特有の玄武岩と氷結した遊水を含む地層において導水トンネルを掘削している．直径7.6mのTBM１号機は下流側から13.3kmの導水トンネルを掘削している．2004年末に掘削に支障のあったTBM３号機は，第三立坑からハルソン貯水池に向け6.3kmのトンネルを掘削するため再発進した．

地山は砕けやすく，大量な遊水を含んでいた．T＆TIによると，坑口遊水量は，切羽からの200ℓ/sを含む最大1,000ℓ/sであった．TBMで掘削が行えるよう事前注入などのさまざまな補助工法を試みたが，去年の７月に5,198mの掘削を終えたあとに，TBM工法による施工を断念した．

取水口の方向への残掘削区間の代替え工法として，全断面の地盤改良が容易であることを理由に，ドリルと発破工法の併用が選択された．TBM３号機は，姉妹機であるTBM２号機の方向に4.5kmの掘削を開始するために後退させ，180度回転させた．再稼働させたあと，2005年末の時点で92m掘削した．

TBM３号機と姉妹機である直径7.2mのTBM２号機は，第二作業坑から11.1kmの導水トンネルを掘削している．ロビンズ社はT＆TIに対して，大規模断層への事前対策のために３か月程度作業を停止したのち，TBMを去年の11月に再発進させたと語った．去年の８月に前方の先抜けの崩壊によって，カッタヘッドが回転不能になった．１月にロビンズ社は地盤の状況が悪く，遊水の流入を留めることを継続していることは引き続き難しい状況だと話した．

このような問題にもかかわらず，11月には360m，12月には200m掘削を行った．

直径7.2mTBM１号機は，これまでのところもっとも順調に施工をすすめてきた．2005年の最終四半期に月あたり722，854，626mの掘削を行った．１月にロビンズ社はT＆TIに対して，地盤状況や遊水にもかかわらず，過去15か月において平均掘削長が629mに達していると語った．

(T＆TI　'06.2　担当：木原　浩・東京都交通局)

きみも金鉱を発見できる
金鉱の有望地域と探し方
理学博士　石井康夫著　新書判 202 頁　本体定価 980 円（〒 210 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

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会 国際委員会

ベルン近郊でのバースティングの成功例/Bursting runs score success near Bern

Tunnelling & Trenchless Construction, September, 2005, pp.20–23

スイスの首都ベルン近郊のPieterlen Grauholzで行われた2件のパイプバースティング(管破壊)プロジェクトについて紹介している．工事には，Terraの油圧式管破壊システムを使用した．油圧式管破壊システムは，ガス管，水道管，下水管の入れ替え工事で採用される装置である．

Pieterlen のプロジェクトは，既設下水管(コンクリート製，内径φ300㎜，延長44m)を，外径φ355㎜のHDPE管に，入れ替える工事であった．既設下水管は，幹線道路，歩道，駐車場，支線道路の下，土かぶり4mで敷設されていた．使用した油圧式管破壊装置は，高い信頼性と600kN(60tf)の牽引能力により，内径φ50～350㎜のPE管，鋼管，ダクタイル鋳鉄管を破壊または切断することができ，外径φ355㎜までのHDPE管を引き込み，新設することが可能である．

管破壊システムの手順は，まず既設管に高性能ロッドを挿入する．そのロッドが到達ピットに到着したら，3つのウィングを備えたバースティングロッド，拡張コーン，新設PE管を組み立て，ロッドに取り付ける．発進ピットの油圧装置により，ロッドを引くと，カッタが既設管を3つに切断し，拡張コーンが孔を拡張し，新しいPE管が引き込まれる原理である．これらの作業はすべて同時に行われる．長さ1m，φ47㎜，引張耐力60tfの特殊鋼管ロッドは，人力で簡単にすばやくネジで継ぎ足すことができる．この頑丈なネジ込み式継手により，急曲線にも対応でき，最小曲線半径は，無負荷状態で8m，60tfの過負荷状態で17mである．

Pieterlen のプロジェクトは，マンホールを横切って外径φ355㎜のHDPE管を敷設する難工事で，マンホールでの既設管の流入口と流出口には，15°の水平角度がついていたが，フレキシブルロッドは，この角度変化に容易に対応できた．ロッドは，延長44mの既設管内に1時間もかからないで挿入され，ロッドが到達ピットに着くと直ちに，3つのウィングの300㎜カッタ，φ406㎜の拡張コーン，新設HDPE管が組み立てられた．バースティング作業開始から2時間後には，カッタと新設管が発進ピットまで到達した．

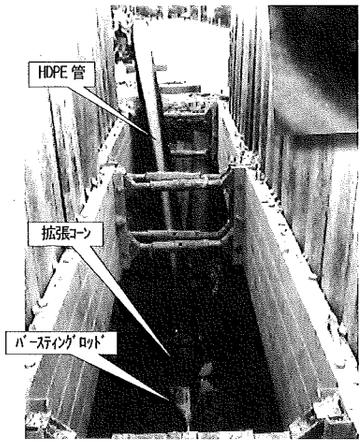


写真-1 バースティングと引き込み作業開始状況(Pieterlen到達ピット)

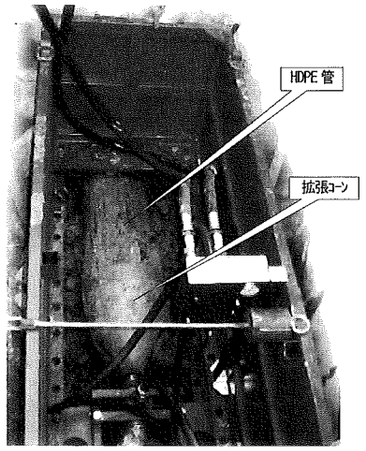


写真-2 バースティング作業完了状況(Pieterlen発進ピット)

もう1つのGrauholzでのバースティングプロジェクトは，破損した水道管(内径φ40㎜，鋳鉄管)を新しいHDPE管(外径φ75㎜)と交換する作業であった．この古い鋳鉄管は外径φ120㎜の厚いジョイントを含んでいた．このプロジェクトでの課題は，バーゼル(Basel)とトゥーン(Thun)間を結ぶガス管が，道路中央に敷設されていたことである．このガス管と，それに平行して走る制御パイプは，水道管のわずか0.3m下に埋設されていた．そのため，ガス供給会社であるGasverband Mittelland AGは，掘削機を使って新しい水道管を敷設することを許可しなかった．そこで，管破壊システム(牽引能力 30tf，牽引材φ22㎜ケーブル)を使って水道管を入れ替えることになった．このガス管との近接施工にあたっては，道路中央に小さな監視ピットを掘り，バースティング施工中に水道管とガス管の交差箇所を監視した．この結果，ガス管が何の損傷も受けないことを確認することができた．

(文責：金崎伸夫・佐藤工業(株))

地下空間へのアクセス：地下空間へのアクセスの現状と空間に対する要求事項の実例 ITAワーキンググループ4 "地下計画"/Access way to underground space: Present status of access ways to underground space with examples of spatial requirements ITA Working Group 4 "subsurface planning"

By Annica Nordmark: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.20, No.6, November, 2005, pp.534–557

本報告書は，異なるタイプの地下構造物における"アクセスのための設計基準"に関して，ITAワーキンググループ4により実施されたアンケート調査の結果をまとめたものである．本テーマは，1998年にサンパウロで開催された同WGにおいて，日本とスペインにより提案され，アンケートはITAのメンバー国に配布された．

1. はじめに
2. 道路トンネルの分析
 2.1 アンケート回答国
 2.2 幾何条件
 2.3 舗装材料
 2.4 車線区分線
 2.5 トンネル坑口の設計
 2.6 トンネルの視覚環境
 2.7 安全施設
3. 地下駅の分析
 3.1 アンケート回答国と構造物の種類
 3.2 駅の設備のための設計基準
 3.3 アクセスの空間レイアウトのための設計基準
 3.4 安全
4. 地下駐車場の分析
 4.1 アンケート回答国と構造物の種類
 4.2 地下駐車場のための設計基準
 4.3 アクセスの利便性と設備のための設計基準
 4.4 安全
5. 地下ショッピングモールおよびその他の施設の分析
 5.1 アンケート回答国
 5.2 地下ショッピングモールのための設計基準
 5.3 アクセスの利便性と設備のための設計基準
 5.4 安全
6. まとめ
7. 各国から収集された関連情報
8. 各国から収集された追加情報

(文責：酒井邦登・亀廼井寿明・東急建設(株))

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	7月25日現在	8月25日現在
正会員	2,222名	2,222名
団体会員	338名	338名
個人会員	1,884名	1,884名
名誉会員	1名	1名
計	2,223名	2,223名

2. 委員会の開催状況（8月1日～31日）

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

山岳工法小委員会：8/4(服部修一委員長ほか14名) 作業方針を検討

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：8/24(中島泰彦主査ほか18名)原稿を査読

計　2回開催　34名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：8/2(大島洋志主査ほか13名) 9月号の会誌と3か月計画を検討

ホームページWG：8/23(伊藤文雄主査ほか7名)活動の主旨説明

◎国際委員会

海外文献小委員会

海外ニュースWG：8/21(平澤泰作主査ほか8名)海外ニュースを査読

◎事業委員会：8/30(桑原彌介委員長ほか14名)催物計画を検討

同　打合せ会：8/28(伊藤範行委員ほか4名)発表会応募概要(山岳)を選考

同　打合せ会：8/29(中島誠三委員ほか3名)発表会応募概要(都市)を選考

計　6回開催　55名出席

合計　8回開催　89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1回　国際フォーラム 「道路・鉄道トンネルの安全」	2007. 4.23～25	リスボン (ポルトガル)	Tunnel Management International トンネルマネジメントインターナショナル社 http://www.tmi-intelligence.com
第33回ITA総会およびコングレス 「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5～10	プラハ (チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org
第34回ITA総会およびコングレス 「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9.22～27	ニューデリー (インド)	CBIP International Tunnelling Association 灌漑・水力中央委員会 国際トンネル委員会(ITA) http://www.cbip.org

＊論文募集に関する詳細は事務局(担当：関)までお問い合わせください．(社)日本トンネル技術協会 TEL：03-3553-6174

4. 平成18年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
（見学会）			
大阪市地下鉄現場研修会	2006. 4.17	16	大阪府
横浜市地下鉄現場研修会	2006. 5.30	28	神奈川県
東京地下鉄13号線現場研修会(新宿工区)	2006. 6. 2	24	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2006. 6.20	25	東京都
名古屋地区高速道路現場研修会	2006. 8.25	13	愛知県
北関東自動車道蓬田トンネル現場研修会	2006. 9. 8	25	茨城県
東京地下鉄13号線現場研修会(南池袋工区)	2006. 9.15	25	東京都
京都高速道路伏見工区トンネル現場研修会	**2006.10.20**	**25**	**京都府**
（発表会）			
第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」	**2006.11.29**	**150**	**東京都**
第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」	**2006.11.30**	**150**	**東京都**
（講演，講習会）			
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2006. 9.28, 29	30	青森県
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	**2006.11. 1, 2**	**30**	**東京都：下記参照**
（講演，講習会）			
第6回モグラ研究会	2006. 8.24	10	東京都

第8回トンネル技術ステップアップ研修会「シールド部門」開催のご案内

本研修会も8回目となりますが，前回までの研修実績を基本にしてこれまでの参加者のご意見等も加味し，シールド工法の計画から設計，施工，維持管理までを網羅した従来の研修内容をもとに，平成17年度にテキストを刷新しました．また演習につきましても，より中身の濃いものとしています．研修はトンネル経験5年から10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象としており，同研修会は(社)土木学会のCPDプログラムにも認定されていますとともに，土木学会トンネル工学委員会後援事業でもあります．

本講習会の特徴は，

・経験豊富な講師陣との本音の討論会　　・演習を通じての実践的事例研究

であり，

企業者の技術者には，「建設から維持管理にわたる技術全般」

コンサルの技術者には，「現場施工に関する知見」

施工会社の技術者には，「施工技術の習熟と計画や設計に関する知見」

メーカーの技術者には，「設計と施工に対する理解」

などに役立つプログラムとなっていますので，奮ってご参加くださいますようご案内申しあげます．

— 記 —

開催日：平成18年11月1日(水)，2日(木)

会場：日本トンネル技術協会会議室
東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル　TEL：03-3553-6174
有楽町線「新富町」駅下車　5番出口直上

研　修　内　容：

第1日目(11/1)

8：30　受付開始

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

9：00　開会の挨拶　日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉　桑原　彌介

9：10～9：20　主旨説明　(財)地域地盤環境研究所東京事務所長　小山　幸則

計画から維持管理までの調査のポイントと結果の判断方法

－建設副産物の取り扱い－

9：20～10：10　調査・計画　東京地下鉄(株)建設部調査課課長補佐　荻野　竹敏

10：10～10：20　休　憩

工法選定・シールドマシン計画のポイントとトラブル事例

10：20～12：00　施　工(1)

佐藤・日本国土・大本JV東京地下鉄西早稲田作業所所長代理　守山　亨

12：00～12：45　昼　食

施工計画・施工管理のポイントとトラブル事例

12：45～16：45　施　工(2)　(株)間組土木事業本部技術第一部課長　名倉　浩

(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部副部長　河越　勝

16：45～17：15　演習事前説明

「トラブルの原因と対策」について徹底討論

17：30～20：00　討論会(夕食含む)

第2日目(11/2)

覆工設計のポイントとトンネル変状の実例・原因・対策

－トンネル変状の実例と維持管理ポイント－

9：00～11：30　設計・維持管理

パシフィックコンサルタンツ(株)交通事業本部鉄道部技術部長　水上　博之

日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部構造技術ソリューション部長　斉藤　正幸

11：30～12：15　昼　食

シールドの設計・施工計画の演習

12：15～14：45　演　習(グループ検討)

14：45～16：30　演　習(グループ発表)

17：00　修了証書授与，同所解散

定　　員：30名

参　加　費：会員35,000円，一般50,000円(昼食2回，夕食，教材代含む)

申し込み方法：この案内文書添付の申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAXをもってお申し込み下さい．電話での申し込みは受け付けませんので，ご了承願います．

〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル

社団法人日本トンネル技術協会　ステップアップ研修会係

TEL：03-3553-6174　　FAX：03-3553-6145

支払い方法：上記お申し込みの後，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者名記入のうえ，下記にお振り込み願います．現金書留でも結構です．

郵便振替口座 00160-7-196331　　日本トンネル技術協会

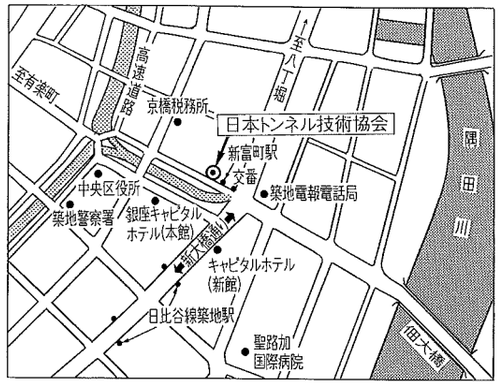
そ　の　他：①参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理出席は差し支えありません．

②参加者の変更通知は，開催日1週間前までに願います(修了証書発行)．

＊テキストを事前に配布いたしますので，住所などは必ず記載願います．

下記申し込みにかかわる個人情報につきましては，ほかに利用するものではありません．

〔案　内　図〕



社団法人日本トンネル技術協会
地下鉄有楽町線新富町駅下車　5番出口　徒歩0分
地下鉄日比谷線築地駅下車　入船橋(八丁堀)方面出口　徒歩4分

第8回トンネル技術ステップアップ研修会参加申し込み書(シールド部門)

下記のとおり申し込みます．

ふりがな 氏　名		年　齢	歳
最終学歴	年　卒	専　攻	
会 社 名		所属役職	
会社住所	〒　－	電話番号	－　－
現場経験	現場箇所と担当部署を記載(ない場合は，「なし」と書いてください．)		
研修会でお聴きになりたいことや議論する課題がございましたら書いてください．			

11月号予告[11月1日発売予定]

- ●シールドトンネルの長期荷重に関する研究
- ●九州新幹線　筑紫トンネル(山浦工区)
- ●一般国道289号甲子道路　甲子トンネル
- ●余裕深度処分埋設施設試験空洞掘削工事

【連載講座】

- ●発破技術の現状(1)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆今年に入り5回にわたって行われた「日本橋川に空を取り戻す会」の最終会合が開かれ，日本橋川の上に架かる首都高速道路の2kmの区間は，地表面と地下鉄との間の浅い地下に移設することが望ましい，と報告をまとめた．

◆会議資料には「固有の歴史的背景を持つ日本橋川沿岸地域は」，「『日本の顔』となる地区」であり，「日本橋川沿岸の都市再生は」，「"21世紀の品格ある都市づくり"を象徴する国家的プロジェクト」とあるが，ローカルな史跡に対するこの意気込みは私など地方出身者にはわからないところもある．

◆東海道の起点は日本橋だが，終点は京都の鴨川に架かる三条大橋になる．鴨川河川敷は京都都心部の憩いの空間としてもあり，たたずむ人も多く夏には納涼床が川沿いにならぶなど夏の風物詩となっている．いっぽう，日本橋に代表されるように，東京都心に流れる川の多くはその上に首都高の高架橋が架けられていることから，水辺を憩いの空間として楽しむことのできる場所はすくない．

◆将来を考えたとき，首都高速もいずれ老朽化して，抜本的に造り変えなくてはならないときがくるだろう．複雑な線形を構造物で処理してできた首都高がつくる独特の景観は，東京を象徴する風景として評価されることもある．この景観になじんだ世代が多数を占める将来にあって，水辺の再生による品格ある都市づくりと，構造物が織りなす都市的な景観は，一概にどちらが良いものとは言えないのかもしれない．

◆日本橋の問題をきっかけに，まちづくりに関する議論が高まれば，東京のまちは良くなっていくだろう．とはいえ，これが実現するころには，東京であくせくしていることより，南の島で隠遁していることを望んでいるのだが．

(K.K.)

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

トンネルと地下
第37巻 第10号〔通巻434号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成18年9月20日　印刷
平成18年10月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　小森　博
〒104-0041　東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jta
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

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

本誌広告のお申し込み方法

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

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

好評発売中

多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判　141頁　　本体価格2,500円



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

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

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

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

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

TAIKU



CL301E型
カッタローダ

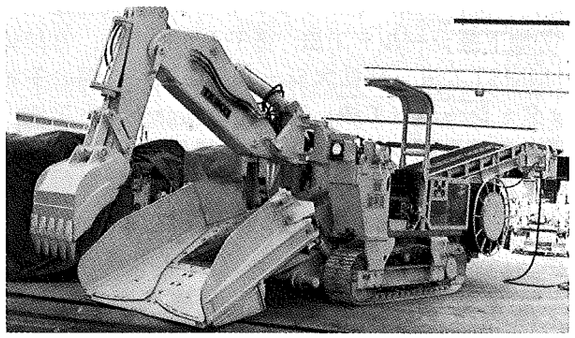
強力な掘削
最大掘削高さ6.6m

特長

1．カッタ駆動モータは、110kW電動機搭載
2．散水装置により、ビット冷却と粉塵抑制
3．パワーコントロールにより、岩質等に応じて、自動的にドラム送り制御
4．ケーブルリールにより、電源ケーブルのさばきが容易
5．走行移動用ディーゼルエンジン搭載

トンネル掘進機の本命・カッタローダ
山岳土木の豊富な実績を基に，なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機
アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

型式	RL16	RL10	RL5-1
適用ズリ取断面	10～32㎡	7～30㎡	4～14㎡
油圧パワーパック	53kW	45kW	31kW
ベルトコンベア能力	150㎥/H	150㎥/H	70㎥/H
質量	16.5トン	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル　株式会社 タイクウ

本社　〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号　☎(03)3741-3131(代表)　FAX(03)3741-6457

Kawasaki

KUT300
輸送重量27t・3軸4輪駆動

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!



コンパクト
■クラス最小の車体寸法
• 全長7,980mm
■クラス最小の回転半径
• 5,850mm
（後・後輪リフトアップ時）

大出力
■クラス最大級のエンジン出力
• 212Kw/2,300min⁻¹

クリーン
■万全の環境対応
• 第2次排ガス基準クリア
• セラミック製黒煙浄化装置

安全
■安全性
• 4段階調整式リターダ
• 後方カメラ&モニター

ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.5
90ZV	3.2

■ロードホールダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
M7	2.0
M8	3.0
M9Ⅱ	4.0
M10	5.0
M12	6.5
M14	7.0



ONE FOCUS
Complete Solutions
Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社
建設機械ビジネスセンター
東京本社　〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1（世界貿易センタービル）
☎(03)3435-6959　HPアドレス http://www.khi.co.jp/kenki/