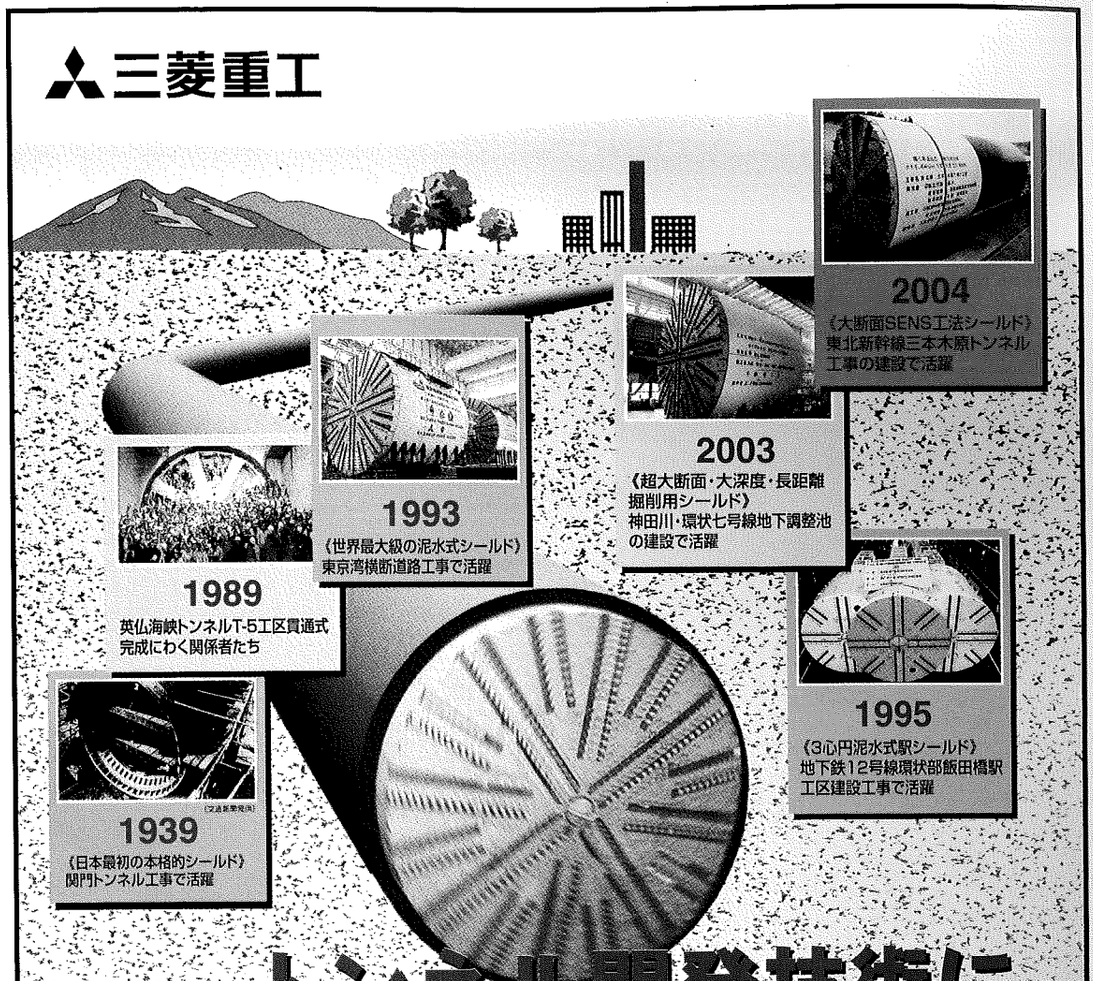
トンネルと地下　平成18年2月1日発行第37巻第2号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

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06619-2
4910066190262
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成18年2月1日発行（毎月1回1日発行）　第37巻第2号　通巻426号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 2

vol. 37
no. 2
2006

Tunnels and Underground

国内初 TBMで鉄道単線を全断面掘削
HEP＆JES工法でJR中央線直下に首都高ボックスカルバートを構築
地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法
SMW芯材を本体利用した立坑設計と計測
JTA-COB第8回技術交流会議報告

日本トンネル技術協会誌



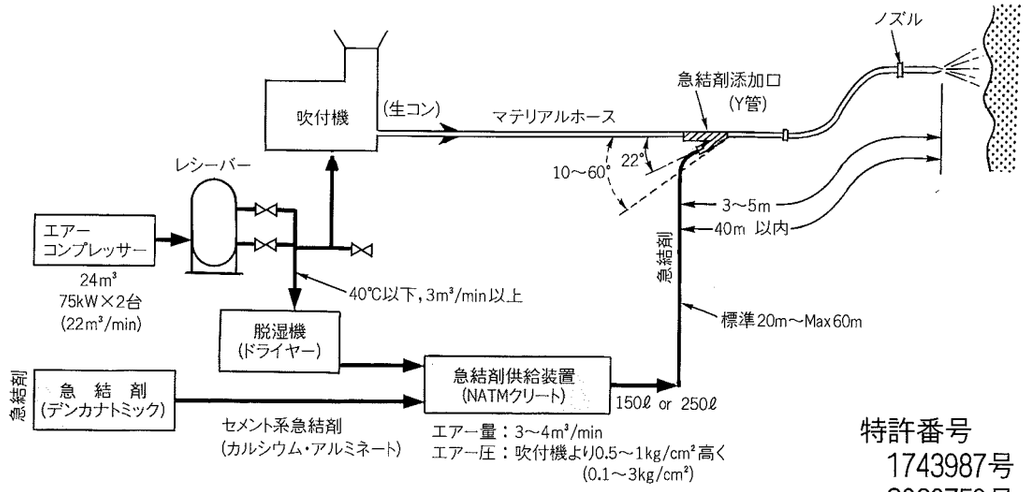
世界に誇る日本のNATMトンネル

安全性・経済性・高品質

技術者が選ぶ デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

NATMトンネル吹付けシステム（デンカナトミック使用時）



特許番号
1743987号
2060759号
2118718号

湧水、剥落をシャットアウトする 急結力

- 湧水に強い
- 急結性が優れている
- 付着性が大きく、はね返り損失が少ない
- 短時間強度・長期強度とも優れている

《デンカナトミック》 ――――― 種類

＊：TYPE-Lは，液状急結剤です．

TYPE	かさ比重(標準)		真比重	標準使用量	主成分	性能および主な用途
	有振動	無振動	(標準)	(×C%)		
3	1.03	0.73	2.48	3～6 (標準5)	無機塩	一般吹付け工事，用排水路・法面吹付け工事，他
5	1.22	0.78	2.68	5～10 (標準7)	急結性セメント鉱物	高急結性一般吹付け工事，湧水部の吹付け工事，ナトムトンネル用万能タイプ
10	1.18	0.70	2.86	10～25	超急硬性セメント鉱物	高強度用　緊急・補修吹付け工事，ぼうあつトンネル工事，膨張性地山工事，地下貯蔵用タンク
L*	—	—	1.47	4～8	無機塩	一般吹付け工事 トンネル・用排水路・法面吹付け工事

■ トンネル関連製品

- デンカ Σーショット…高強度吹付けコンクリート用混和材
- デンカ FTN…吹付けコンクリート用高機能混和剤
- デンカ サブショット…小断面トンネル（TBM）用吹付けモルタル
- デンカ Pロック…長尺ボルト・ケーブルボルト用定着材
- デンカ ウレタン/MIF…地盤注入およびフォアパイリング定着材
- デンカ AGF…AGF工法用セメント系定着材
- デンカ ES…無公害な土質安定用急硬材
- デンカ CSA 100R…トンネル2次巻きのひびわれ抑制に（水和熱抑制型膨張材）
- デンカ GK-10…セメント系裏込注入材

チャレンジする化学

デンカ

電気化学工業株式会社

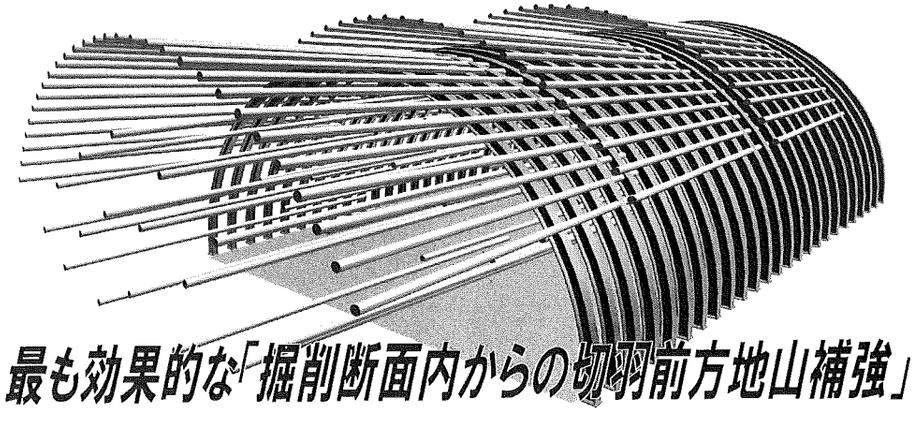
本社●特殊混合材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1 〒103-8338
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

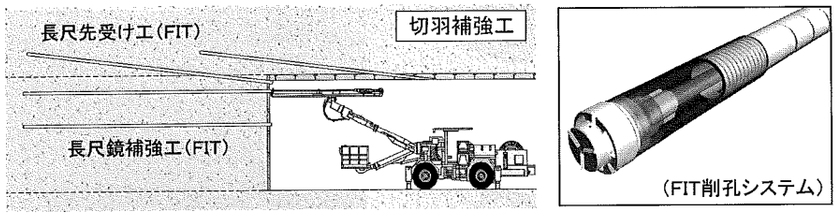
NETIS登録
（No. CB-030065）
施工実績 150 件以上

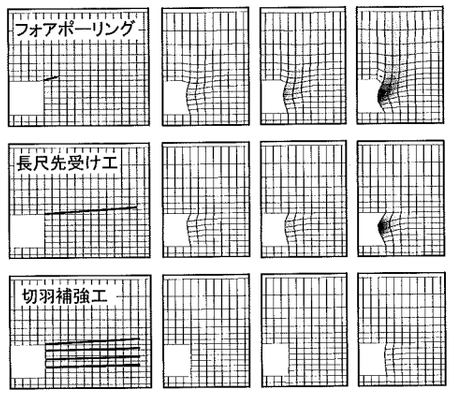
FIT 工法

FRP INJECTION TUBE

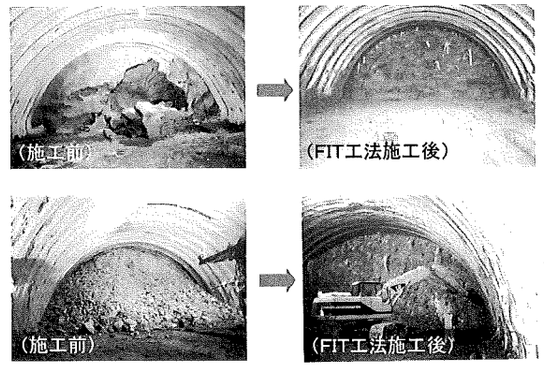


最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」





(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

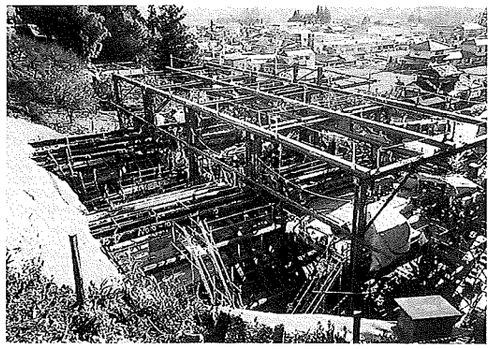
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

THパイプルーフ工法

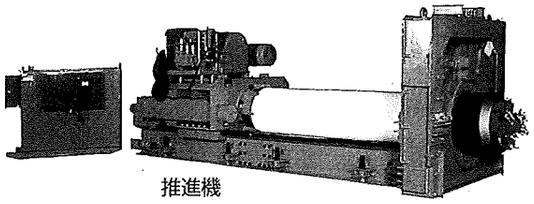
高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

★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。



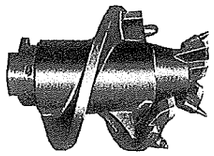
パイプルーフ打設状況（山岳トンネル）



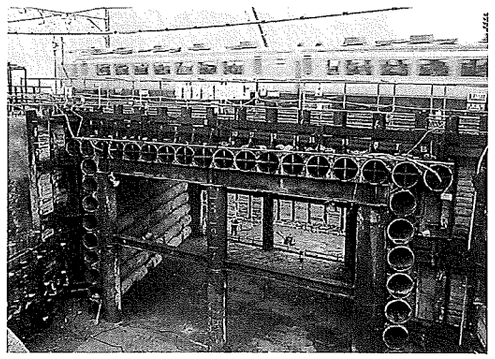
推進機



硬質地盤用ビット



土砂用ビット



パイプビーム工法

〔正会員〕

九州基礎㈱	福岡県	TEL 0946-22-7445	ケミカルグラウト㈱	東京都	TEL 03-5575-0511
㈱小宮山土木	長野県	TEL 0267-56-1299	サン開発工事㈱	大阪府	TEL 0726-41-4951
東興建設㈱	東京都	TEL 03-5773-2015	東邦地下工機㈱	東京都	TEL 03-3474-3143
東洋地工㈱	福井県	TEL 0776-53-5335	㈱日さく	埼玉県	TEL 048-644-3934
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	北海鋼機㈱	北海道	TEL 011-382-3361
㈱最上機工	山形県	TEL 0233-32-3885	㈱山昌	兵庫県	TEL 0727-59-8568

〔賛助会員〕

㈱辰巳商会	長野県	TEL 0263-48-1711	電気化学工業㈱	東京都	TEL 03-5290-5360

http://www.piperoof.jp

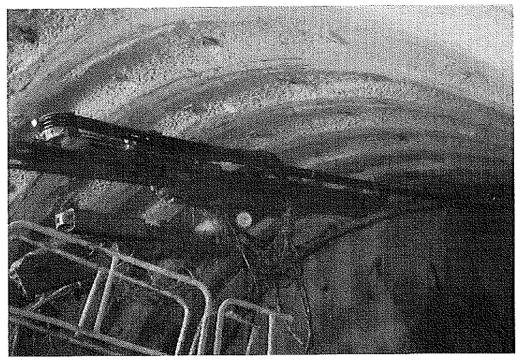
THパイプルーフ技術協会

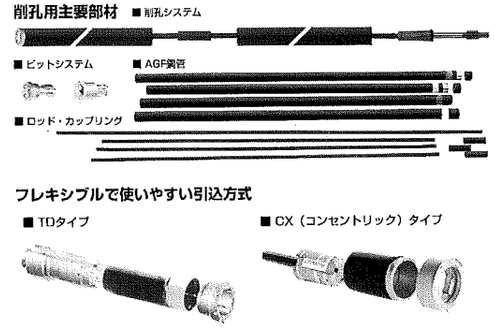
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
TEL 03(3474)3143　FAX 03(3474)3163
E-mail：jimukyoku@piperoof.jp

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。

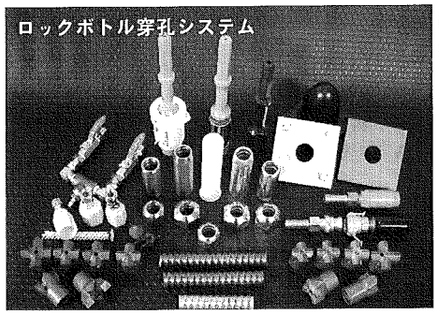




▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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)







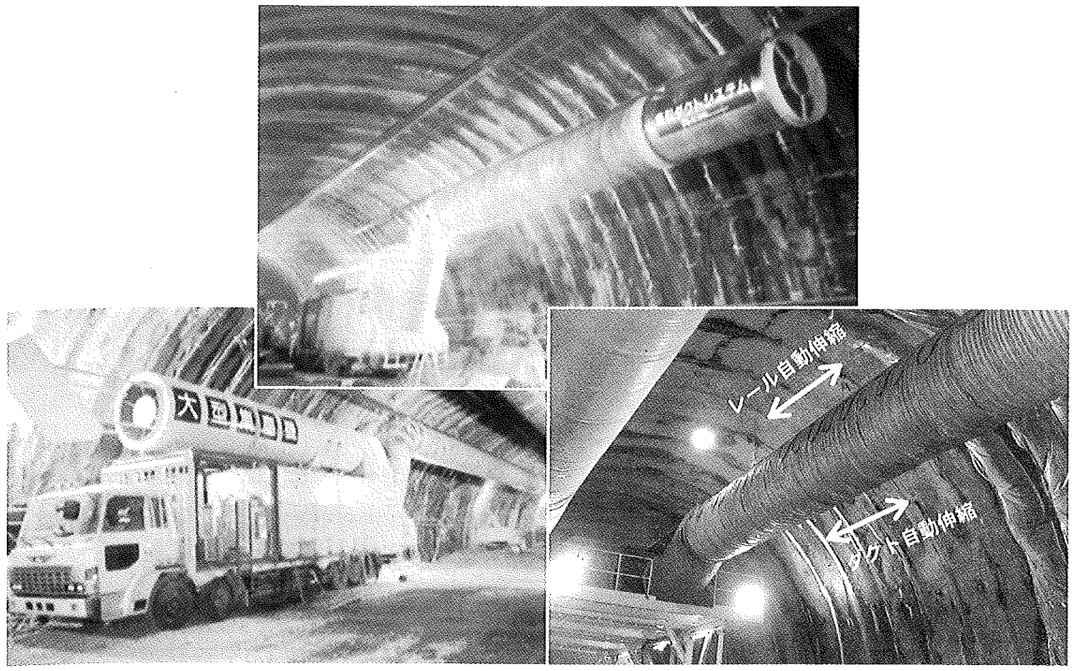


TFT Tube Forming & Technological
株式会社 ティーエフティー

〒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

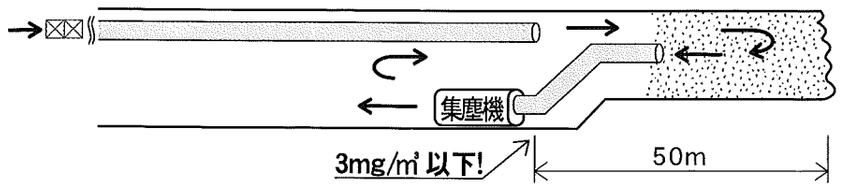
吸引ダクトシステム

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。

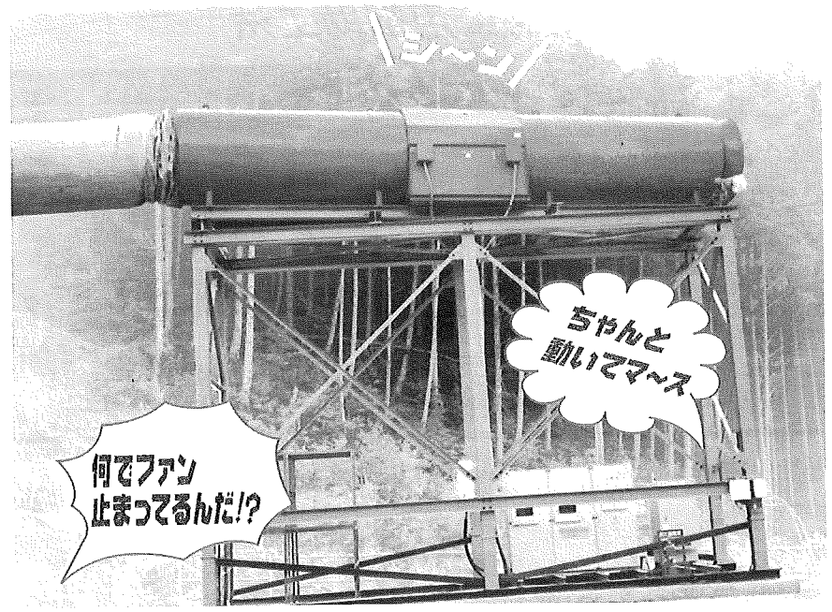


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

耳をすまして下さい！●●サ・ア～～これ、ファンの音なんです。



今時、静かなのは当たり前!!

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：標準78dB(A)、オプションサイレンサーで60dB(A) 以下も可能。
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、Y－△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

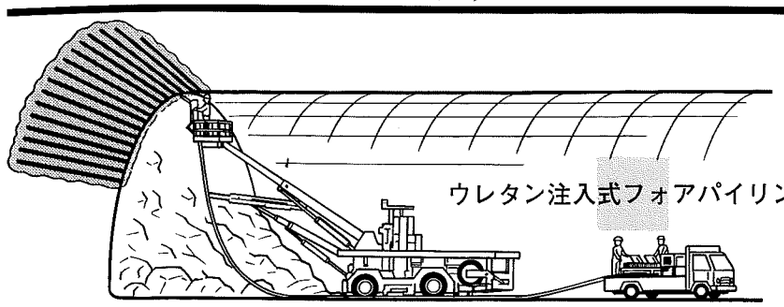
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400（代） FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680（代） FAX：0296（37）7681

BRIDGESTONE

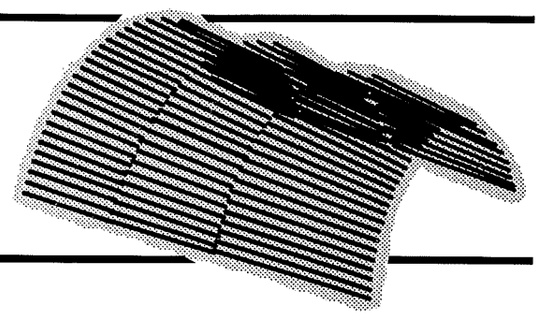
厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

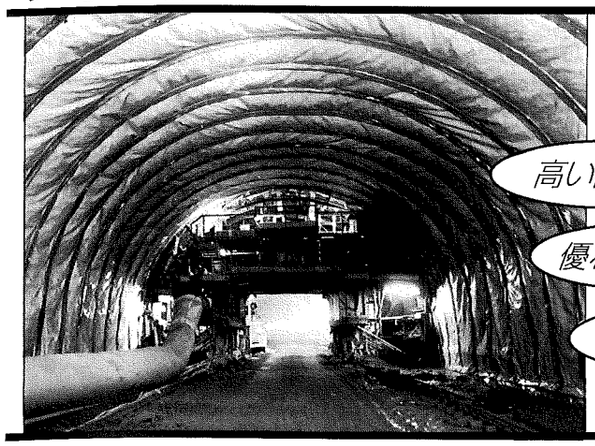
切羽の安定化対策用補助工法
エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法



注入式長尺先受工法
（AGF工法）



ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

優れた耐久性

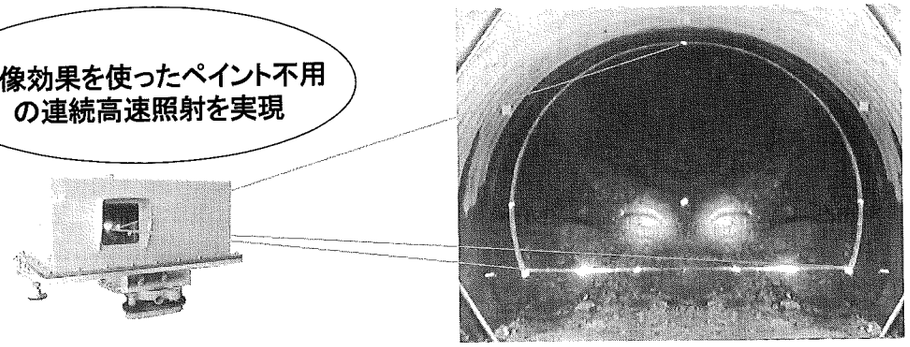
容易な施工性

株式会社ブリヂストン　土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話　東京(03)5202-6870

レーザーマーキングシステム

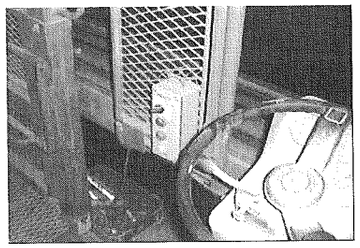
国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現



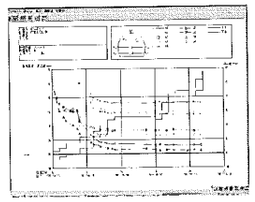
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



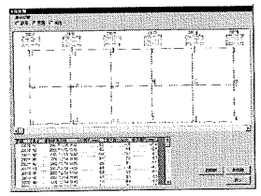


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

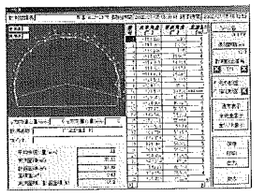
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



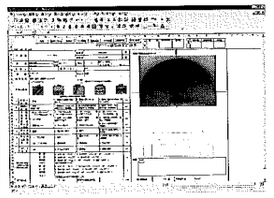
A計測データ処理



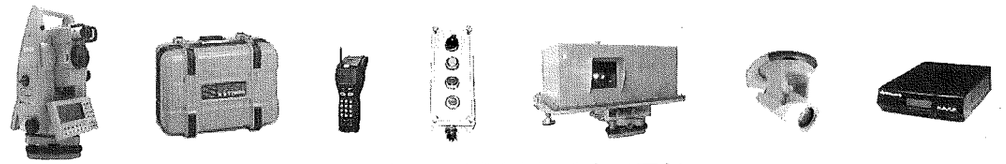
支保工立込精度、変形量



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

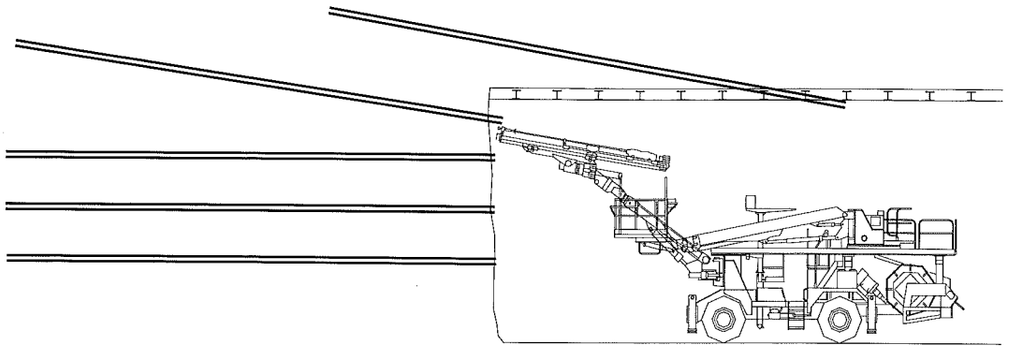
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

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

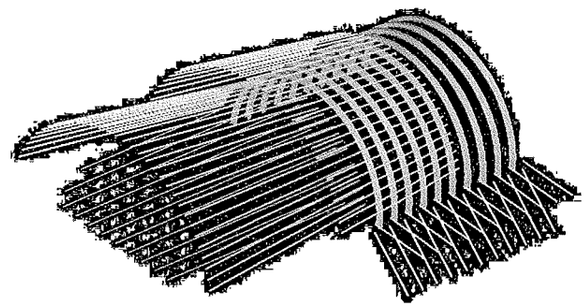
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

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

MITSUBISHI DIABIT

地山の維持・補修用工具システム

☆玉石・軽石混じり砂礫層掘削に威力を発揮！！　☆掘削しながら同時にケーシングが挿入できる！！



主な用途

- ○トンネル……鋼管先受け工
  水抜きボーリング
- ○法面……アンカー
  水抜きボーリング
  鏡ボルト
  鏡補強
- ○基礎……地盤改良
- ○調査……ボーリング

三菱マテリアル

東京支店 ☎03-5819-5263　岐阜駐在 ☎0584-27-5082
大阪支社 ☎06-6355-1053　海外グループ ☎0584-27-5011
九州営業所 ☎092-573-7372

自削孔 NTロックボルト PAT.P

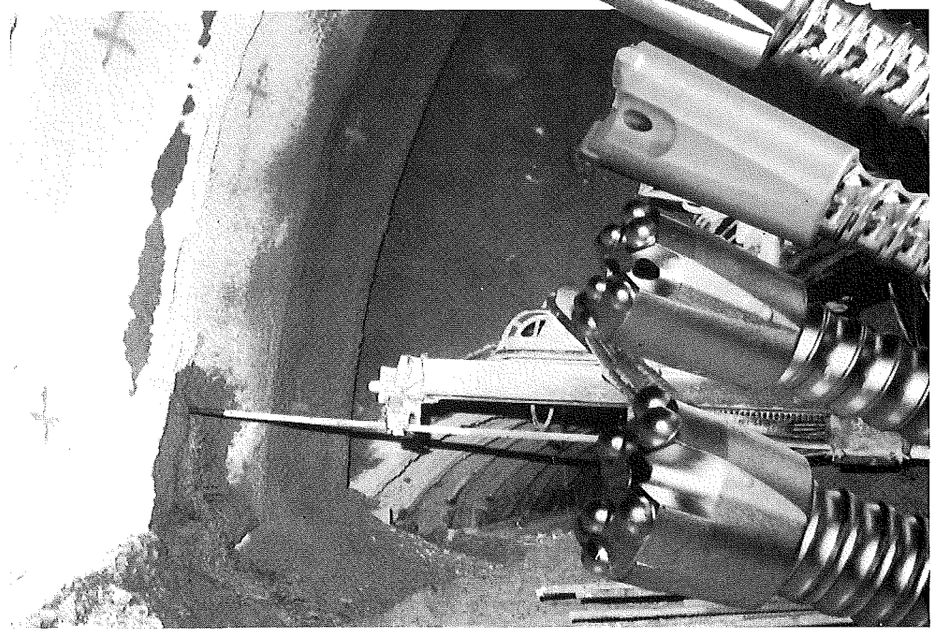
特　徴

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

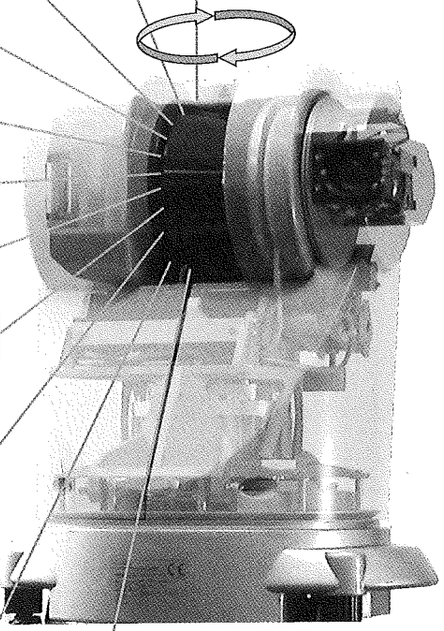
Callidus™ レーザースキャナー

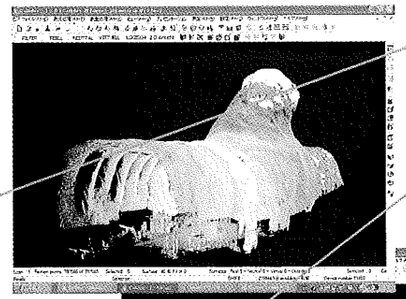
3次元トンネル断面計測機

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。

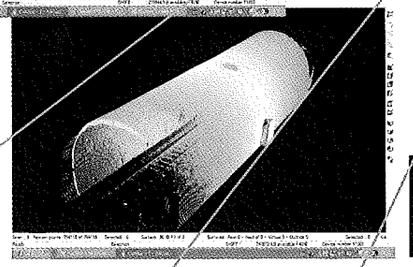
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン

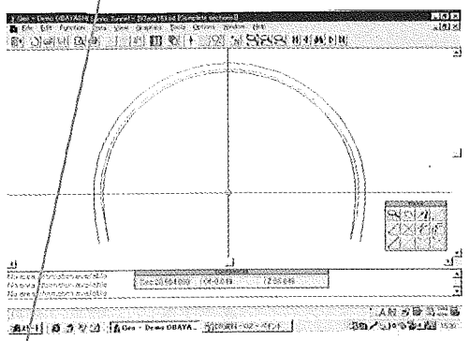




特殊なトンネル形状も対応可能です。



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。

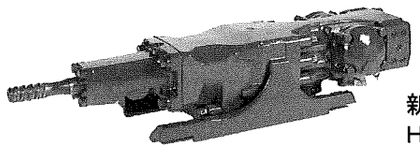
■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL : 06-6586-1707 FAX : 06-6586-1277
URL : http://www.sooki.co.jp/

■ 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

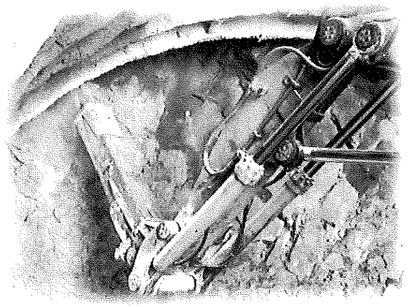
TOYO　SANDVIK

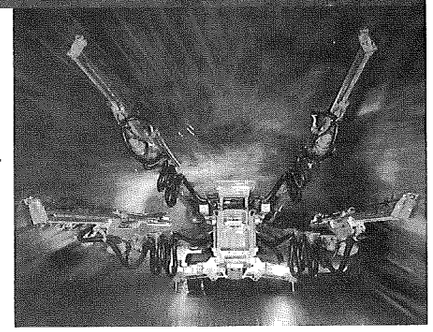


サンドビックトーヨーは、高速さく孔と
作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター
HLX5



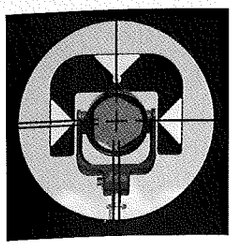


TOYO　EJC　Rammer
TAMROCK　TORO

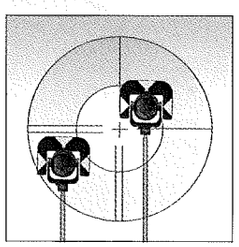
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

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

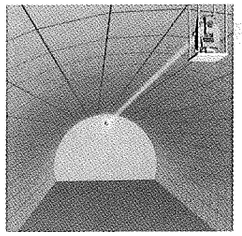




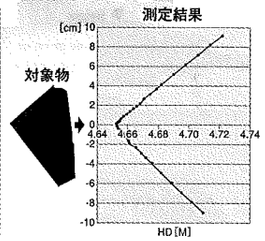
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



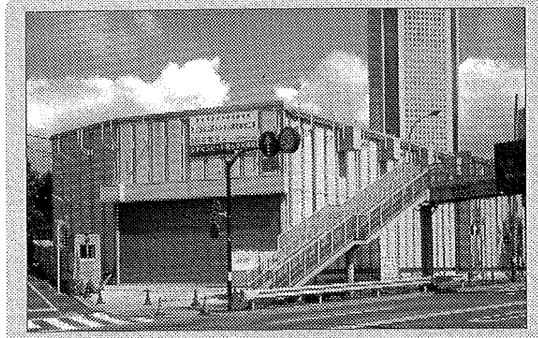
ノンプリズム精度の向上
PinPointR300ノンプリズム測定なら、測定対象物の正確なデータ取得が可能。

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

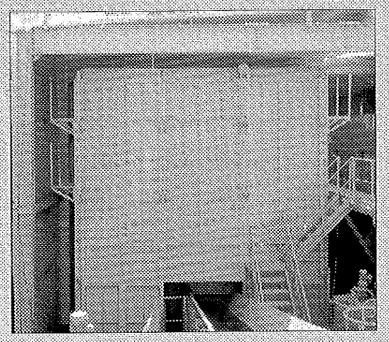
大丸の防音システム



サイレントハウス（Bタイプ）
- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

コスモス（Cタイプ）
- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に





VLFシステム
- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB（実績）

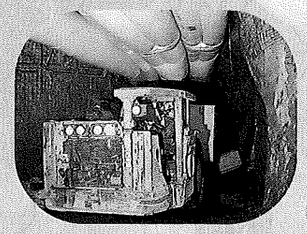
設計・施工　東京都知事許可（般ー13）第76001号　鋼構造物工事業
建設コンサルタント登録　建13第5745号

DMR Daimaru
大丸防音株式会社
http://www.daimaru-bouon.co.jp

本社　〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1　TOMACビル2F
TEL.03-3537-6700（代表）　FAX.03-3537-6701
営業所　〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151　FAX.06-6821-6477

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



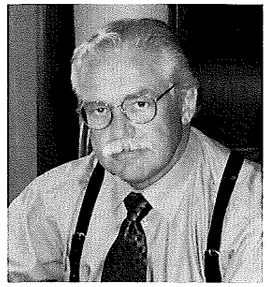


親愛なる日本の皆様

ABCカナダは，1968年の設立以来，トンネル掘削・鉱山用高品質換気システム開発に常に斬新な改革を続けてまいり，現在ではそれらの多くの現場において世界で最も優れた風管メーカーとしての地位を得ております．

ABCカナダの最も重要な使命は，風管メーカーとして如何にお客様の要望に応え，如何にお客様に満足を与えることが出来るか常に努力を続けることであり，それがお客様の幸せに貢献できるものと信じております．そのためにABCカナダはいち早くISO9001をクリアし，品質管理面においても常にお客様の満足度を満たすために努力をしております．

37年間の悲願としてこのたび日本のマーケットに参入できることはABCカナダにとり大きな喜びであり，日本国内総代理店である東友エンジニアリングと共に日本のお客様に十分満足していただける商品とサービスをお届けしていきたい所存です．



Darryl C. Yausie
President
ABC Ventilation Systems

総代理店　**東友エンジニアリング株式会社**　代表取締役社長　泉　俊憲

〒102-0073　東京都千代田区九段北３丁目２番地５号　東伸24九段ビル８階
TEL 03-3234-8901　FAX 03-3234-8900

TOYU GROUP　株式会社トーユーエコサポート　TEL 03-5226-5971　FAX 03-5226-5974
（取り扱い商品：防音システム）
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL 0299-27-6211　FAX 0299-27-6233

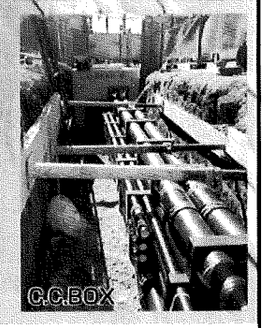
電力・通信ケーブル用多条保護管

カナパイプPV型

Kanaflex
ISO9001
認証取得

トンネル内埋設工事を
省力化・効率化


トンネル


C.C.BOX

用途
- トンネル●道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝（C.C.BOX）
- 大規模プラント

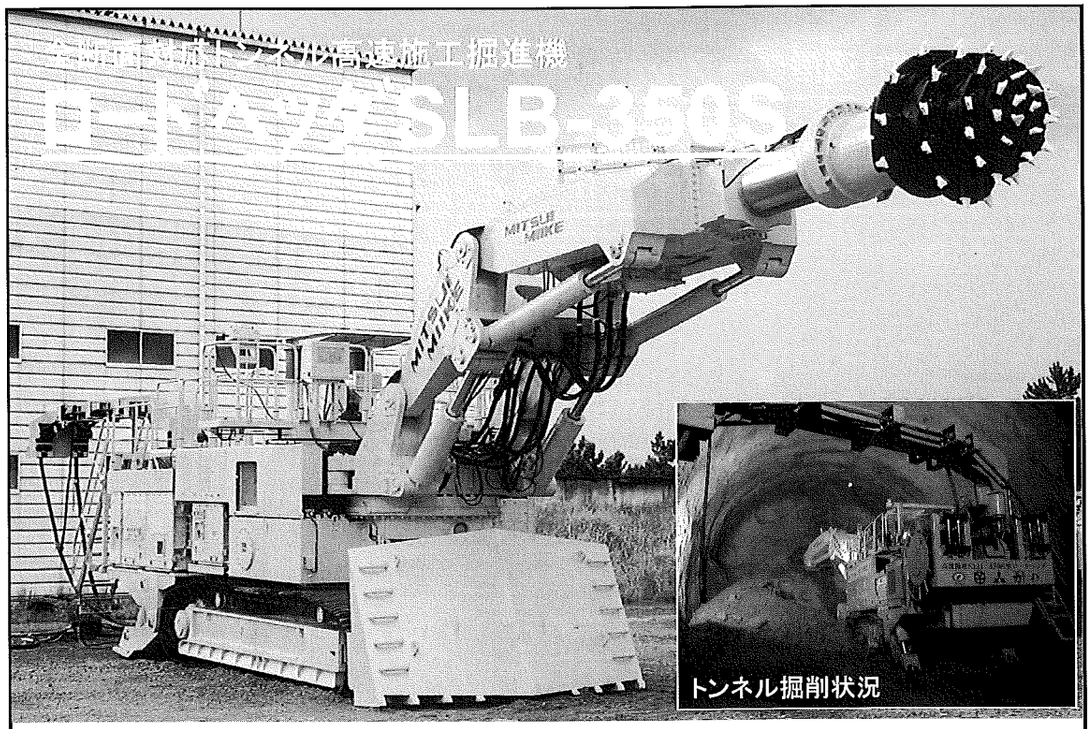
難燃ポリエチレン製の多条ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックス コーポレーション株式会社

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)6881-0776　FAX(06)6881-0760
札幌営業所　TEL(011)271-8770　仙台営業所　TEL(022)792-3055　横浜営業所　TEL(045)241-7511　新潟営業所　TEL(025)226-5111
静岡営業所　TEL(054)275-2258　金沢営業所　TEL(076)234-5660　名古屋営業所　TEL(052)955-1511　神戸営業所　TEL(078)360-6173
広島営業所　TEL(082)240-0609　高松営業所　TEL(087)861-4600　北四国営業所　TEL(0875)57-6120　福岡営業所　TEL(092)474-2630
鹿児島営業所　TEL(099)224-8404
直営工場　北海道工場　仙台工場　栃木工場　千葉工場　滋賀工場　愛東工場　広島工場　四国工場　九州工場
URL　http://www.kanaflex.co.jp

全断面掘進トンネル用高速施工掘進機

ロードヘッダ 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

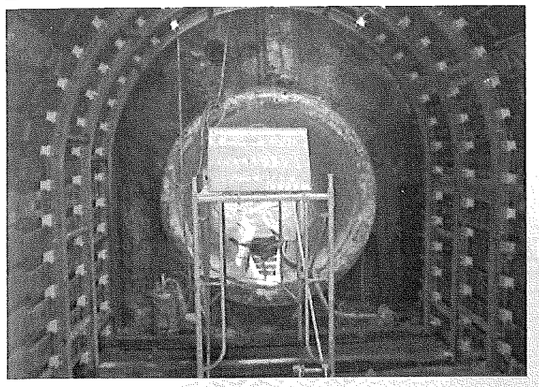
※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

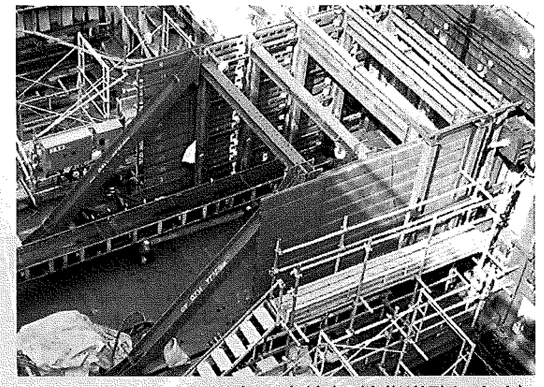
製造元 販売元 株式会社 三井三池製作所　本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械部　TEL. 03-3270-2006　FAX. 03-3245-0203
札幌支店　TEL. 011-251-5211　FAX. 011-221-3704　／　大阪支店　TEL. 06-6448-6851　FAX. 06-6441-6537
福岡支店　TEL. 092-271-8871　FAX. 092-271-0653
http://www.mitsuimiike.co.jp　E-mail　koken@mail.mitsuimiike.co.jp

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

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）

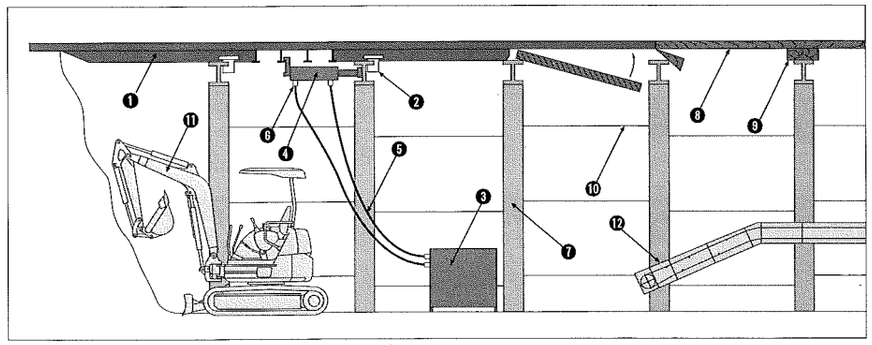
特徴

- 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木製キャンバー
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/

〒102-0072　東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号　TEL.(03)3263-7457(代)　FAX.(03)3262-0915

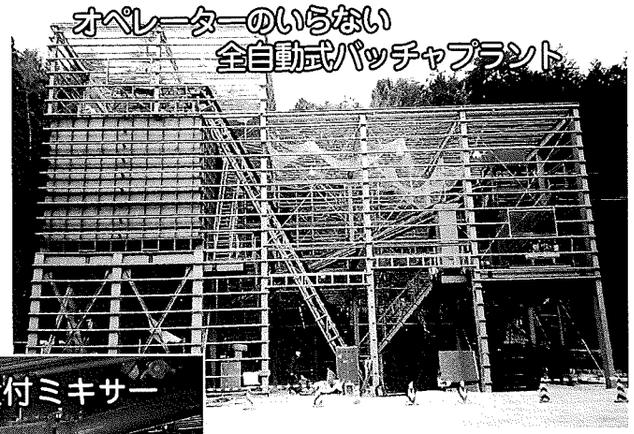
高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

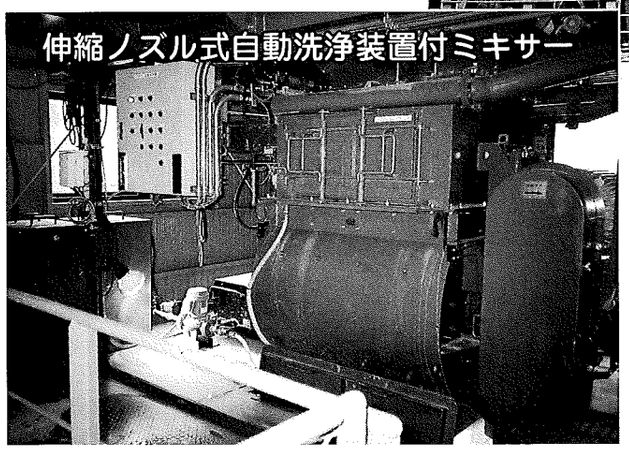
全自動式 バッチャプラント

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

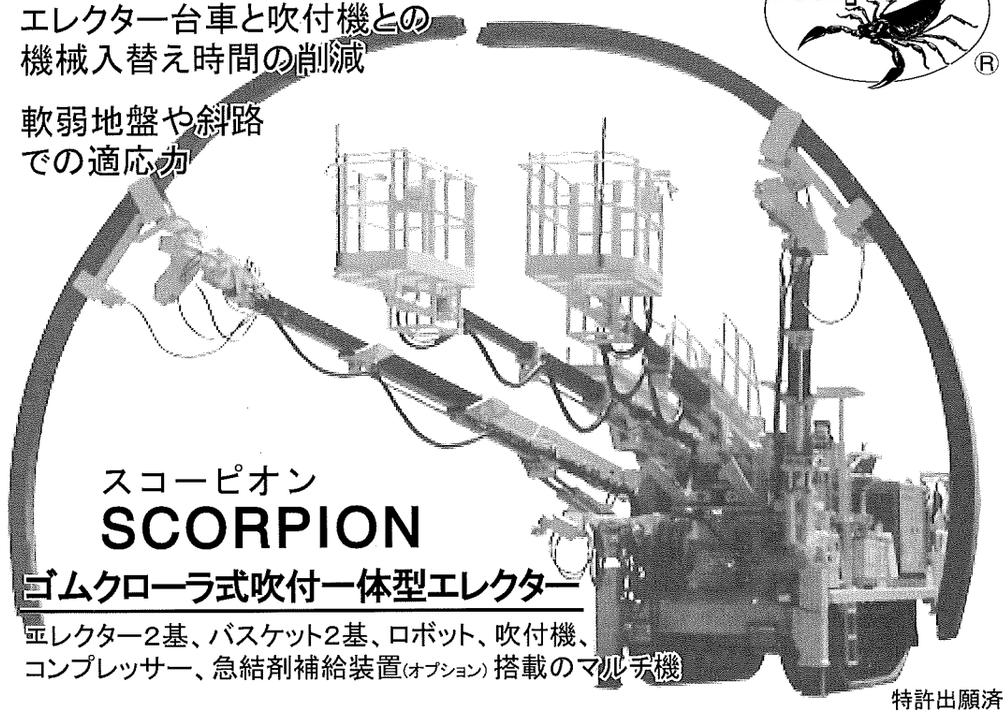
本巣工場　岐阜県本巣市神海
〒503-1235　TEL（0581）32-5066
FAX（0581）32-5565

Tonneru no Rental

Scorpion®

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

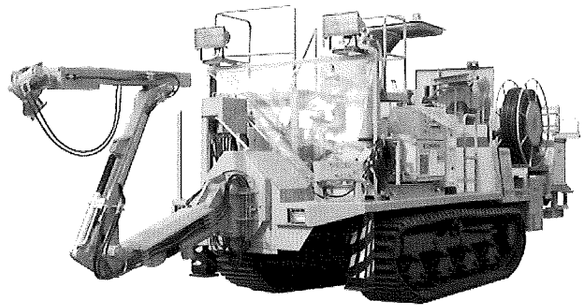


スコーピオン
SCORPION
ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

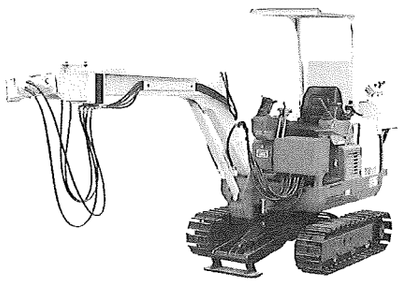
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

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

新製品

CyberWorksシリーズ **PictureMAGIC**

自動デジタルカメラ搭載型測量機と最新3Dステレオ処理による高精度空間測量システム



株式会社演算工房　本社　〒604-0847 京都市中京区烏丸通押小路上る 日土地京都ビル4階　TEL075-213-7200 FAX075-213-7201

http://www.enzan-k.com/ enzan enzan kougyou

美しさと合理性をもつ多分割式アーチシステム
モジュラーチ®

「モジュラーチ」(MODULARCH)は、フランスのマティエール社(Matiere®)が開発した新製品を日本に技術導入した、大型の鉄筋コンクリート二次製品です。アーチ特有の形状-美しさと合理性をもつ多分割式アーチ形構造物です。

モジュラーチの特長の主なものは次の通りです。

(1) 多分割式のため**大断面の構造物**が構築できます。

(2) アーチ型構造物に加わる荷重によるモーメントが、最も小さい箇所で分割する**合理的な分割方式**です。

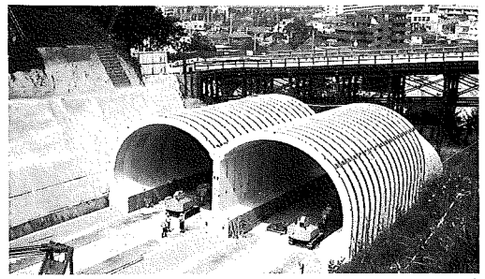
(3) 頂版部と側壁部の継手はヒンジ構造となっており、**耐震性**に優れた構造です。
(財)土木研究センターによる「モジュラーチ工法の耐震性向上に関する研究委員会」において、地震時に対する安全性について実験を行い、部材、継手とも安全上まったく問題ないことが確認されております。

(4) 側壁部材が自立する構造になっており、**安全性、施工性**に優れています。

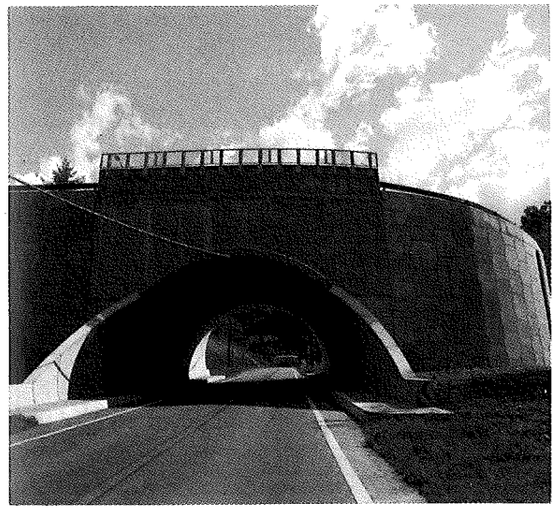
モジュラーチには次のものがあります。

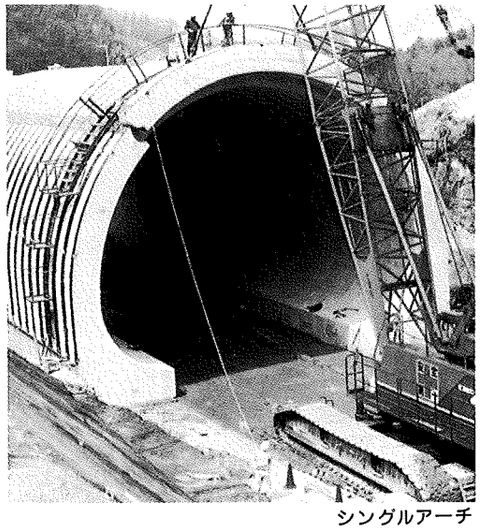
(1) シングルアーチ
4分割1組を単体としたもの

(2) マルチアーチ
4分割で中間側壁をもつ2連以上のもの



マルチアーチ





シングルアーチ

MODULARCH **モジュラーチ工法協会**

本部・事務局 〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-10-5 TMMビル5F
日本ゼニスパイプ㈱内 TEL 03(3865)2618 FAX 03(3865)2625

会員会社
日本ゼニスパイプ㈱ TEL(03)3865-2611 FAX(03)3865-2630
ジオスター㈱ TEL(03)5844-1204 FAX(03)5844-1221
日本ヒューム㈱ TEL(03)3433-4114 FAX(03)3436-3275
オリエンタル建設㈱ TEL(03)3261-1174 FAX(03)3234-1949
日本コンクリート工業㈱ TEL(03)5462-1051 FAX(03)5462-1040

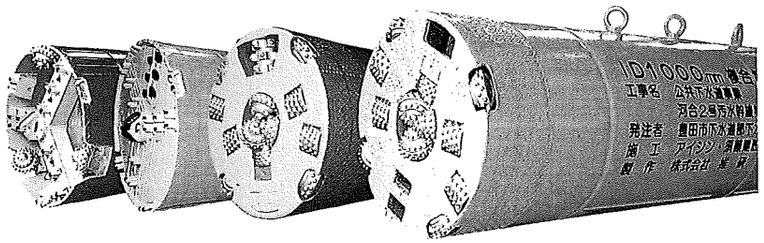
岩盤推進を創めて20年

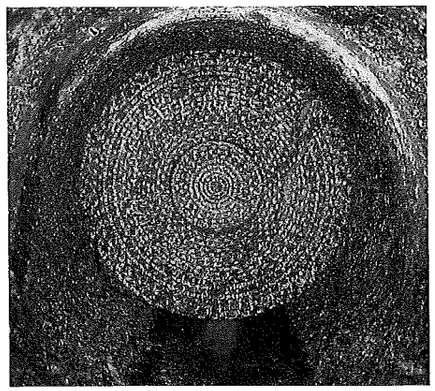
軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法（C.M.T工法）

- ●800mm～3000mmまで対応
- ●機内よりビット交換が可能です.
- ●岩盤と普通土との互層土質も施工可能です.
- ●長距離曲線推進も可能です.

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例





C.M.T工法協会
株式会社 推研
本　社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029
研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186













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

【好評発売中】

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判　約280頁　本体価格4,660円　送料 340円

〔推薦の言葉〕　東京都技監兼下水道局長・工学博士　村田 恒雄

泥水式，土圧式シールドの開発と実用化により，切羽の崩壊や地盤沈下の防止はもとより，適用地盤の拡大，施工性や作業環境の改善なども飛躍的に進み，都市トンネルの施工法としてシールド工法は一般化されてきた．そして，今日では，立坑の設置や発進などの工夫や，特殊な断面形状や多円形のシールド工法の開発など，今日的なニーズや用途に応じた技術が誕生している．これらの技術は，国内はもとより英仏海峡トンネルの建設でも活用されるなど，広く海外でも日本で育ったトンネル技術として社会基盤造りに貢献している．

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

本書の刊行が，シールド工事のより一層の安全性や経済性に寄与するとともに，新しいシールド技術の発展に貢献するものと確信するものである．

主　要　目　次

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

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

き…り…と…り…線

《ご　注　文　票》

シールドトンネルの新技術 ＿＿＿＿＿＿ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

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）

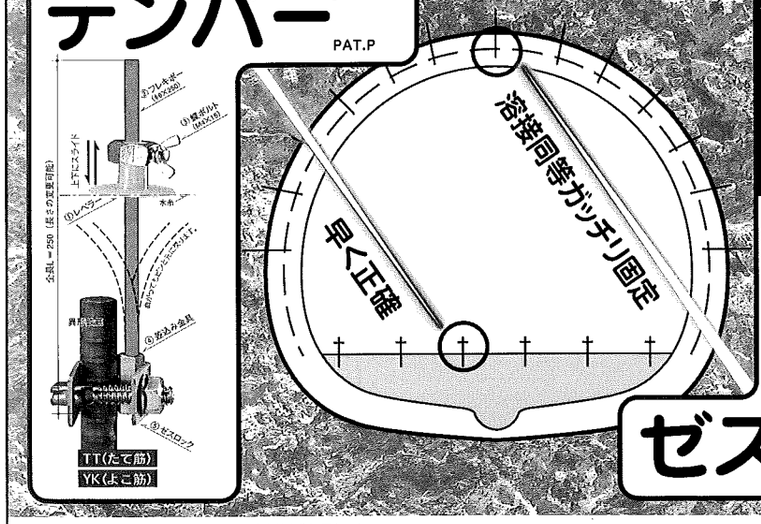
【営業品目】 複層タイヤ／油圧ホース／マテリアルホース／各種中古車／触媒／線路（中古）

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

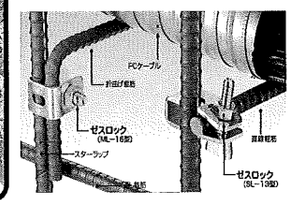
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

安全・作業効率・経済性を追求した“トンネル副資材”!!

コンクリート床版の天端出し表示具
テンバー®
PAT.P



溶接不要!!
鉄筋組立クロス部金具
”結束金具”

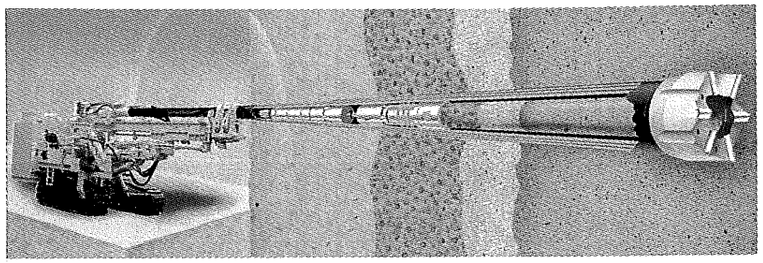


ゼスロック®
PAT.P

建設の安全と省力化にアタック
ゼン技研株式会社
〒818-0105 太宰府市都府楼南5－16－13
TEL(092)925-8161　FAX(092)925-3449
URL http://www.zen-g.co.jp/

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。

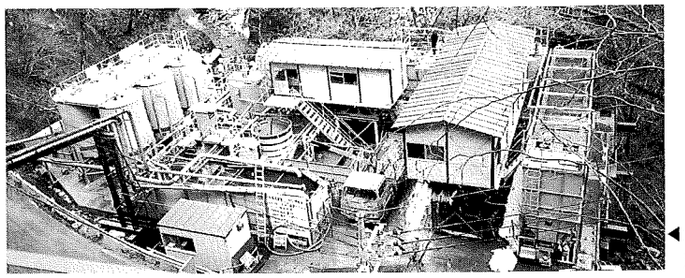
②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわりなく、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉱研工業株式会社

本　社　〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
TEL (03)3366-3111(大代表)　FAX (03)3366-3341

お問い合わせ先 ： エンジニアリンググループ
TEL. (03)3366-3123　FAX. (03)3366-3365
http://www.koken-boring.co.jp/

数々の技術・豊富な実績が
明日を築く東急の濁水処理設備



◀北陸新幹線碓氷峠トンネル(東)
濁水処理設備

◘営業品目◘

トンネル工事濁水処理設備
都市土木工事
P.Hコントロール設備
炭酸ガス中和設備
水処理各種計器器材
上記　設計、施工、管理

TOKEN SANGYO 東建産業株式会社
(旧 東急設備㈱)

本　　社　東京都渋谷区渋谷1−16−14
〒150-0002　TEL 03(5466)9511
関西事務所　大阪市北区豊崎3−19−3
〒531-0072　TEL 06(6371)6447

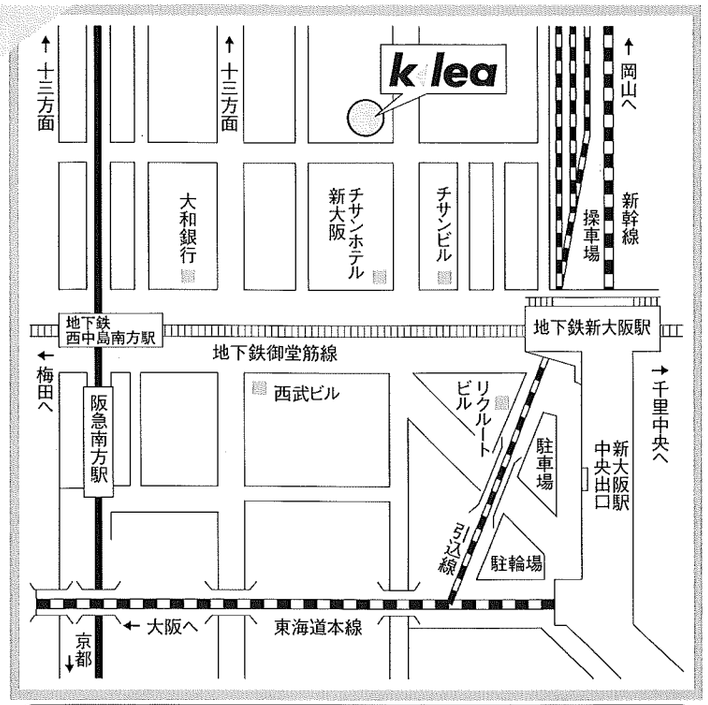
大　阪

〒532-0011
大阪市淀川区西中島6丁目3-32
第2新大阪ビル808

TEL/06(6838)1372
FAX/06(6390)9511

e-mail
r0klosas@tces.scm.co.jp

アクセス
JR新大阪駅より徒歩10分
地下鉄新大阪駅より徒歩7分



k lea
株式会社 ケイ・リー

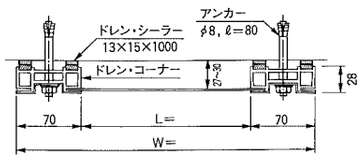
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372

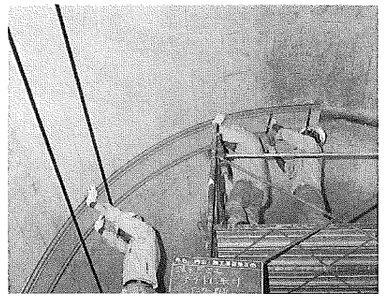
URL http://www.klea-cat.com

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

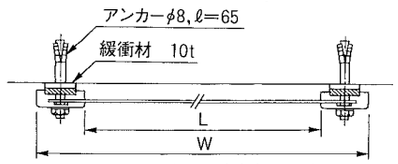
アーチ・ドレン導水樋

■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。





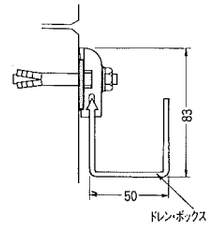
コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



JH 水戸　大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン

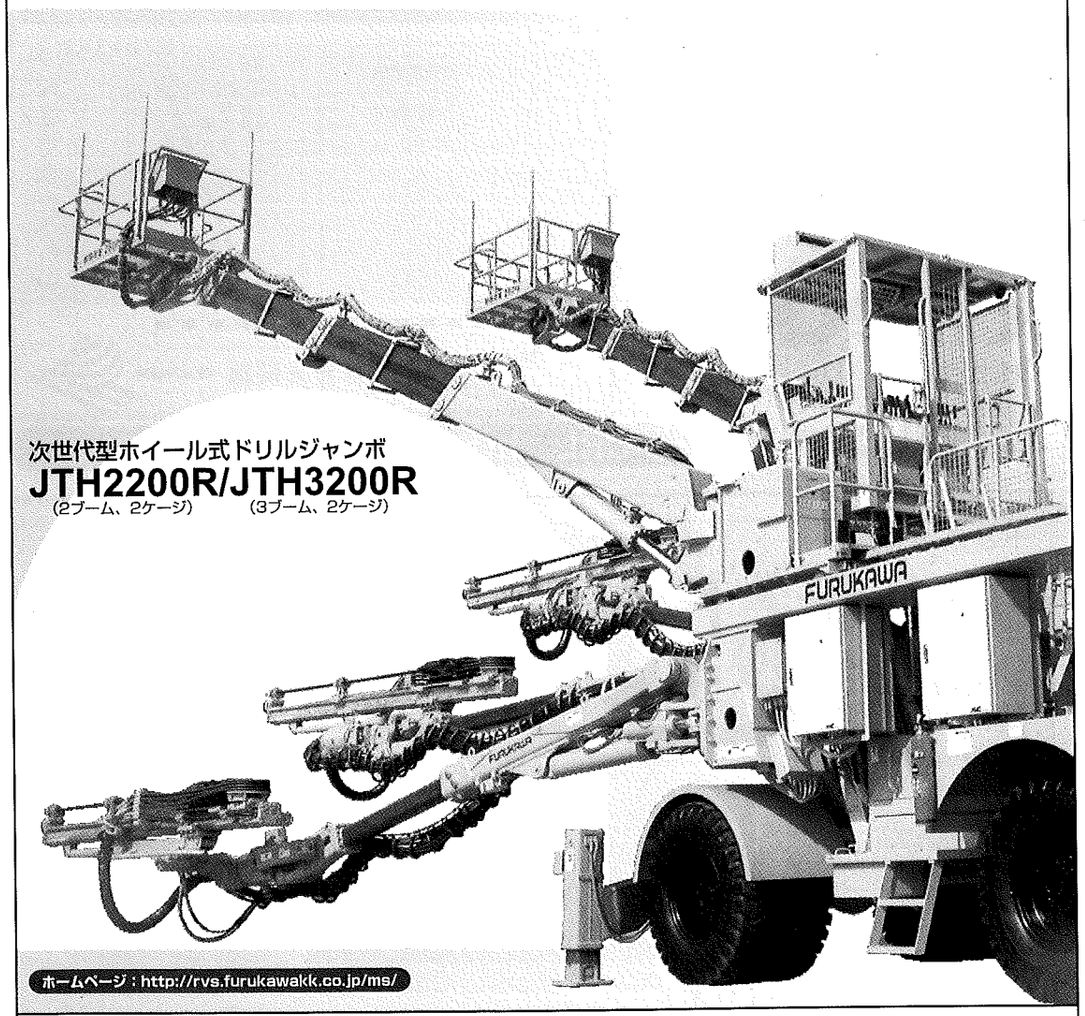


■特　徴
・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

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

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/

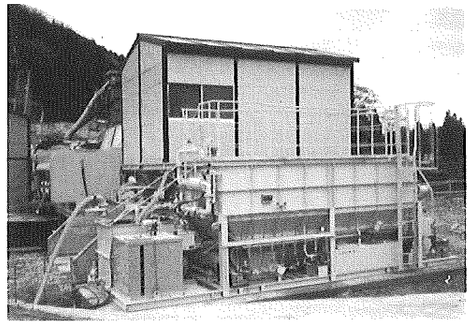
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名：古河機械販売株式会社)

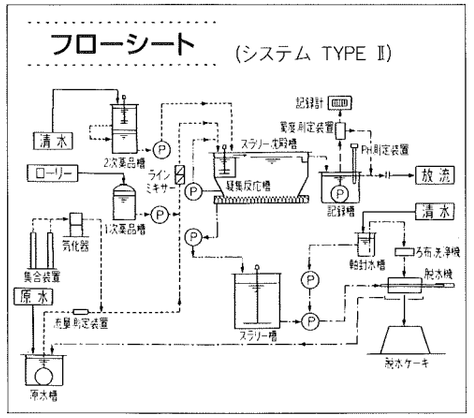
本　　社　〒101-0047　東京都千代田区内神田2丁目15番9号　古河千代田ビル　特機営業部　TEL：03-3252-2544

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

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





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。

Waste Water Treatment System

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㈹　FAX (076)452-1617

トンネルと地下　2月号目次　Vol.37, No.2, 2006 Feb.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

ものづくり，人づくり
川合　勝……5

■研　究

SMW芯材を本体利用した立坑設計と計測
内藤　幸弘・須田　嘉彦・井出　周治……37

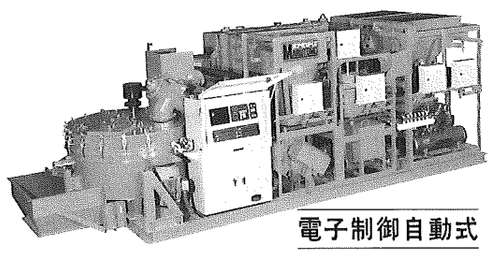
■報　告

JTA-COB第8回技術交流会議報告
JTA代表団……45

■施　工

国内初 TBMで鉄道単線を全断面掘削
—JR吾妻線付替　八ッ場トンネル新設工事—
岡野　法之・辻　徹・高橋　徹・茅野　浩一……7

HEP＆JES工法でJR中央線直下に首都高ボックスカルバートを構築
—首都高中央環状新宿線JR東中野駅付近交差工事—
山口　敏・三丸　英寿・杉浦　慎一・橋新　重雄……13

コンパクトで計量精度は抜群…
丸友の移動式
コンクリートプラント
製造・販売・リース
生産量 10～90m³/H

電子制御自動式
(印字自動記録装置付)
丸友機械株式會社
本　社　名古屋市東区泉一丁目19番12号
〒461-0001　電話〈052〉(951) 5 3 8 1 (代)
東京営業所　東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024　ミツバビル　電話〈03〉(3861)9461(代)
恵那工場　岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121　電話〈0573〉(28) 2 0 8 0 (代)

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法
—つくばエクスプレス　南流山トンネル(西平井工区)—
木村　宏・本堂　亮・小松　敏彦・櫻井　孝臣……25

■連載講座

都市トンネル工事の計測(2)
—最近の計測技術の概要—
佐藤　亘・中山　淳……55

■現場だより

「最新工業団地とゆたかな自然」ふるさと愛川より
水越　史郎……36

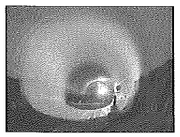
■資　料

トンネル千夜一夜(14)
小野田　滋……52
土木情報
編　集　部……54
トンネルジャーナル
編　集　部……61
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……62
海外文献速報
JTA研究開発委員会……63

■会　報

会　報
日本トンネル技術協会……66

【表紙説明】　地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法
－つくばエクスプレス　南流山トンネル(西平井工区)－

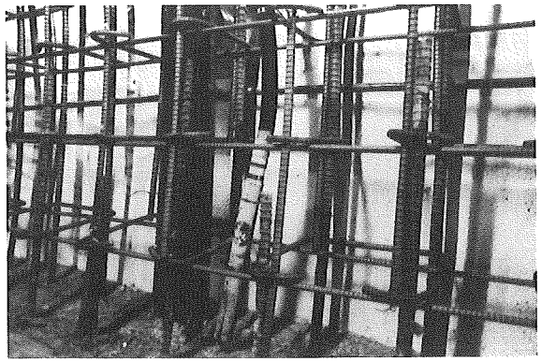


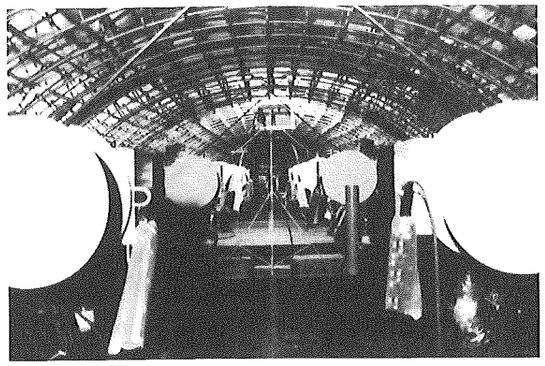
つくばエクスプレス南流山トンネル西平井工区の主な掘削対象地山は，均等係数2前後の成田砂層であり，地下水位はトンネル天端より上方2～3mに位置する．計画路線上には総武流山電鉄や民家が近接して存在し，地下水位低下を招くとこれらの構造物に影響を与える恐れがあった．トンネルは当初シールド工法を採用する予定であったが，工期短縮を図るためNATMを採用した．

写真は，高品質のウォータータイトトンネルを構築するために工夫した表面平滑型シート展張り工法完了状況．

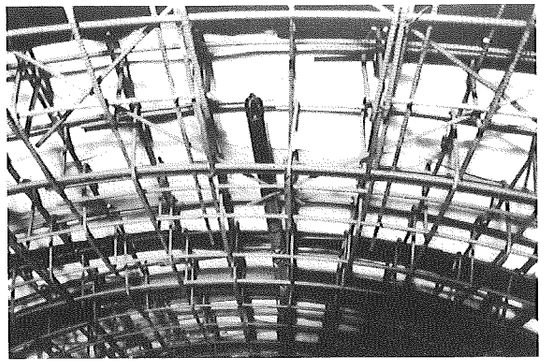
〔写真提供：鉄道・運輸機構〕(本文25頁参照)

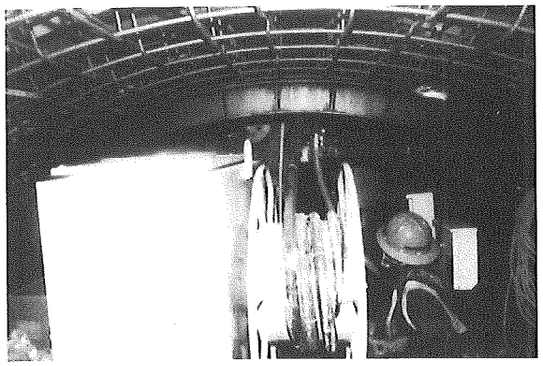
コンクリート打設の新技術



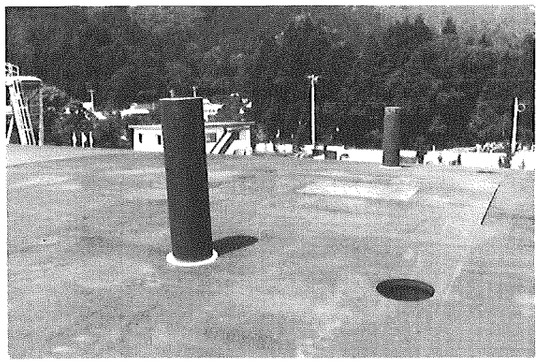


コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレータシステム
（バイブレータに内臓されたセンサーがコンクリートを感知し自動的に巻き取る）

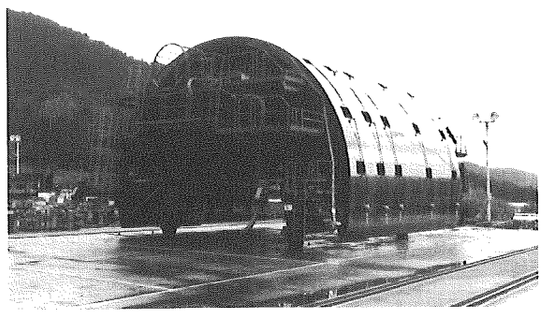




トンネル天場部の引抜式バイブレータシステム
（トンネルの天場縦断を締固める）



伸縮式バイブレータシステム



浮きバイブレータシステム

岐阜工業株式会社
GIFUKOGYOU 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

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/

会誌委員会の構成（五十音順・敬称略）

〔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

〔委　　員〕

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

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

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
技術第二部部長

永　島　　茂
東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長

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

宮　林　秀　次
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

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
株式会社ロードエンジニアリング代表取締役

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

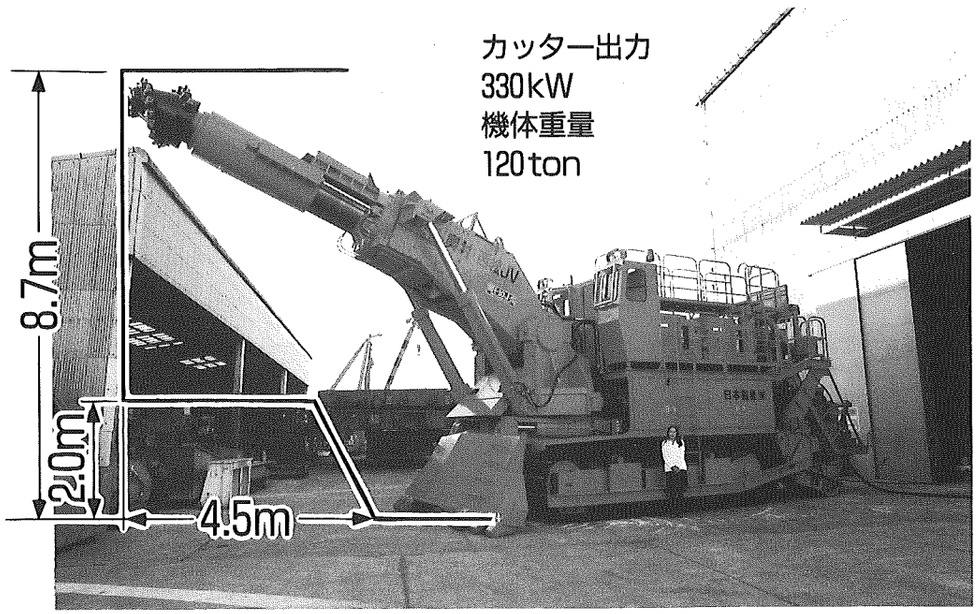
丸　安　隆　和
東京理科大学教授

吉　川　新　吉
東京発電株式会社常任監査役

吉　村　　恒
吉村とんねる・らぼ

渡　邊　和　夫
株式会社熊谷組執行役員副社長

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッダー



RH-10J-S型は
①積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。
②トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社 建設機械部
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6階 TEL 03-5733-9441
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　株式会社コンテク代表取締役社長
鈴木章　月島機械株式会社顧問
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
水谷敏則　(財)先端建設技術センター専務理事

〔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

佐野正生
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

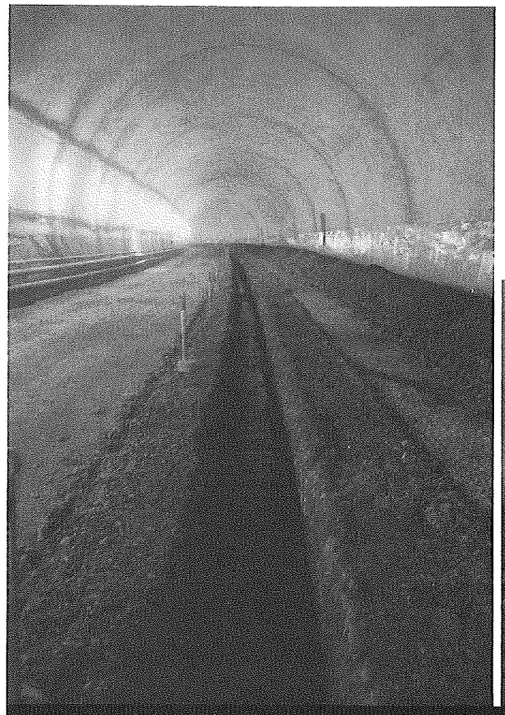
西村聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

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)

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

岩盤切削機 トレンチャー

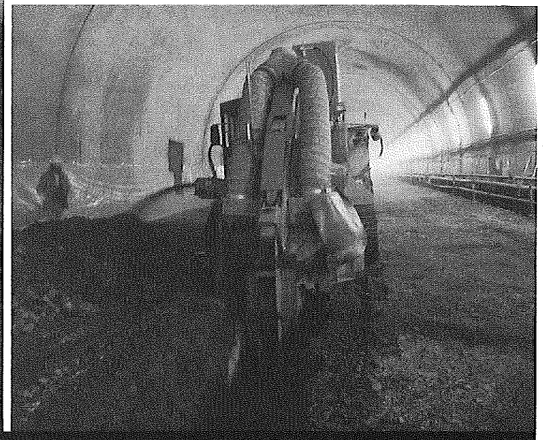
TRENCOR inc.
an Astec company



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

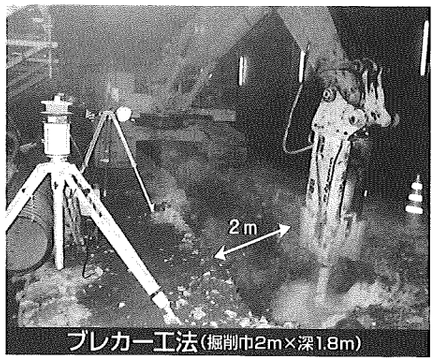
トンネル	排水溝寸法（矩形）		進行と掘削時間	
	巾（m）	深（m）	m／時	時／日
新幹線	0.8	1.8	10～25	2～4
高速道路	0.6	0.9	20～50	4～5



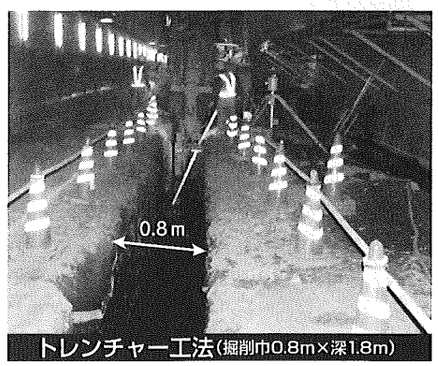
トレンチャーによる中央排水溝掘削

	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

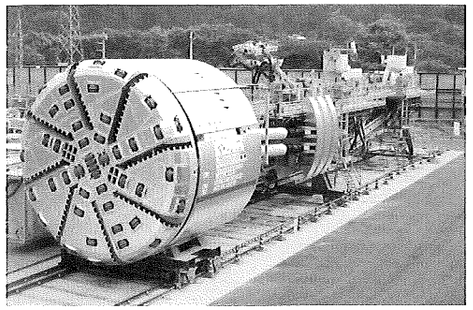
トンネルと地下 VOL.37 No.2 掲載概要

掲載頁 7

国内初 TBMで鉄道単線を全断面掘削
—JR吾妻線付替 八ッ場トンネル新設工事—

東日本旅客鉄道(株) 岡野 法之

国土交通省が建設を進めている八ッ場ダム事業に伴い，JR吾妻線の一部が水没するため，JR東日本では，現在，吾妻線付替工事を行っている．そのうちの一つ，単線断面の八ッ場トンネル新設工事において，鉄道トンネルとしては国内初となる全断面TBM工法を採用し，高速掘進と高精度の両立を達成し，無事貫通した．本稿では，施工結果のうち掘進精度と速度，および不良地山対策について報告する．



写真はTBM全容

Breakthrough of Yamba Tunnel Project — Full Face Excavation of Single Track Railway Tunnel by TBM

By Noriyuki Okano, East Japan Railway Co., Ltd. (EJR)

The relocation work of Agatsuma Railway Line managed by EJR is now under construction because Yamba Dam Project promoted by Ministry of Land, Infrastructure and Transportation will inundate this line. The construction of Yamba Railway Tunnel is a single track one and a part of this relocation work. The full face excavation of this tunnel was successfully executed with a TBM. This paper reports the rapid excavation and high accuracy of drive control of TBM in unstable ground.

掲載頁 13

HEP&JES工法でJR中央線直下に首都高ボックスカルバートを構築
—首都高中央環状新宿線JR東中野駅付近交差工事—

東日本旅客鉄道(株) 山口 敏

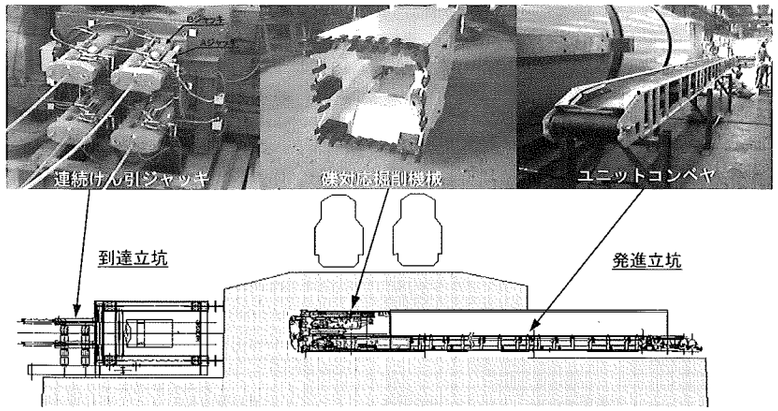
首都高中央環状新宿線のうち約8km区間は，環状6号線(以下，「山手通り」という)の直下のトンネル構造(地下式)となっている．このうち，JR中央線と交差する東中野交差部において，山手通り，JR中央線，都営大江戸線が立体交差することになる．ここを含む約130m区間で地下構造物(幅約29.6m×高さ約13.8m)の築造ならびに山手通りの現桜川橋橋りょう(幅員22m)を撤去し，幅員40mの橋りょうを新設する工事を首都高速道路(株)からの委託で，JR東日本が設計・監理を行っている．完成すれば，主要な鉄道(都営大江戸線，JR中央線)と道路(山手通り，首都高中央環状新宿線)が4層に形成されることになる．

本稿では，HEP&JES工法で，これまで用いられていた掘削機械での硬質な地盤に対する課題を克服するために採用した，礫対応掘削機械の開発経緯と実施工における成果について報告する．

Construction of Metropolitan Expressway beneath Railway Line

By Satoshi Yamaguchi, East Japan Railway Co., Ltd. (EJR)

8 km of Central Loop Line of Metropolitan Expressway is located under Tokyo Metropolitan Loop Road No.6 (Yamate Dori)and has a underground structure. Higashi-Nakano Crossing has a structure of three-level crossing comprising Yamate Dori, Central Line of EJR and Oedo Line of Tokyo Metropolitan Subway. EJR has been awarded the underpassing works of Metropolitan Expressway beneath Central Railway Line and the construction of adjacent viaduct section with a length of 130m by Metropolitan Expressway Co., Ltd. EJR is in charge of the design and supervision of construction. After the completion of this work, Higashi-Nakano Crossing has a structure of four-level crossing. The HEP & JES method is applied to this underpassing work in gravels. This paper introduces the development of this method.



図は砂礫層けん引掘削システムイメージ

掲載頁 25

地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法
—つくばエクスプレス　南流山トンネル(西平井工区)—

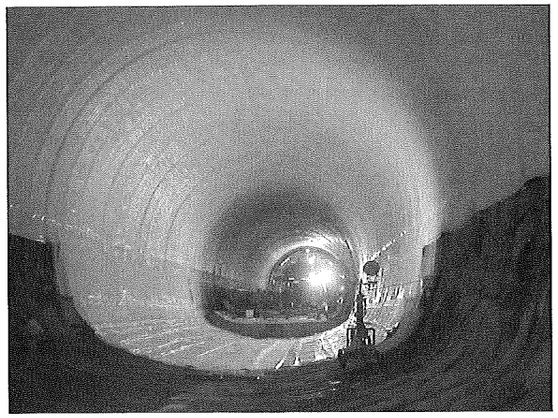
鉄道・運輸機構　木村　宏

つくばエクスプレス南流山トンネル西平井工区の主な掘削対象地山は，均等係数2前後の成田砂層であり，地下水位はトンネル天端より上方2～3mに位置する．計画路線には総武流山電鉄や民家が近接して存在し，地下水位低下を招くとこれらの構造物に影響を与える恐れがあった．トンネルは当初シールド工法を採用する予定であったが，工期短縮を図るためNATMを採用した．

本稿では，NATMの適用にあたって採用した掘削方法，補助工法(地下水位低下工法，地盤改良工法ほか)と，高品質のウォータータイトトンネルを構築するために工夫した点(ハイイータス工法)について報告する．

Minami-Nagareyama Tunnel of Tsukuba Express Railway Line constructed with NATM using Waterproofing Method under Groundwater Table

By Kou Kimura, Japan Railway Construetion, Transport and Technology Agency



写真は防水シート展張り完了状況

The geology of Nishi-Hirai Section of Minami-Nagareyama Tunnel of Tsukuba Express Railway Line is Narita Sand Stratus having the uniformity coefficient of about 2 and the groundwater table is located 2－3 m above the tunnel crown. Sobu-Nagareyama railway and residence and residential areas are adjacent to this tunnel and it is expected that the lowering of groundwater table would give negative impacts to them. In this project, the shield method was not adopted but NATM was adopted because the construction period had to be reduced. This paper reports the excavation method of NATM, auxiliary methods such as the groundwater table lowering method and the ground improvement method and the High-Etus method that is one to secure the watertightness of lining.

掲載頁 37

SMW芯材を本体利用した立坑設計と計測

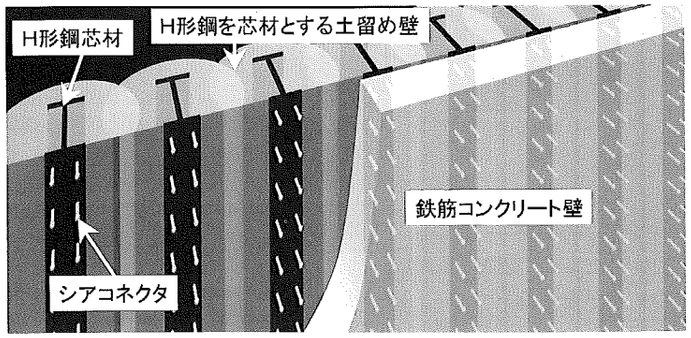
東京電力(株)　内藤　幸弘

本稿は，H形鋼を芯材とした土留め壁を本体利用する場合の設計法を提案し，あわせてこの設計法を用いて現場に適用(推進管路の立坑)した事例を紹介するものである．本稿で提案する本体利用は，H形鋼と鉄筋コンクリート壁を，シアコネクタと称する頭付きスタッドを用いて一体化を図る工法である．この工法では接合面のせん断剛性が完全剛性といえるレベルには至らず，不完全な合成状態を考慮する設計法を採用している．現場では，計測結果を用いて設計内容を照査し，その妥当性を検証した．

Design of Shaft using SMW and measurement of its Construction

By Yukihiro Naito, Tokyo Electric Power Co., Inc.

This paper studies the design method of shaft using H-shaped beams of SMW(Soil Mixed Wall)as permanent members of retaining wall, which was used as one of pipe jacking method. In this project, the wall of shaft consisted of H-shaped beam and the inner wall. They were jointed with studs having heads named shear connector to make them perfect composite structure. Actually, they are not perfect composite structures but imperfect ones because the shear stress is not perfectly transmitted between the both. This paper proposes the reasonable design method in consideration of this fact. This design method was checked with the results of measurement in the site.



図はH形鋼芯材の本体利用概念図

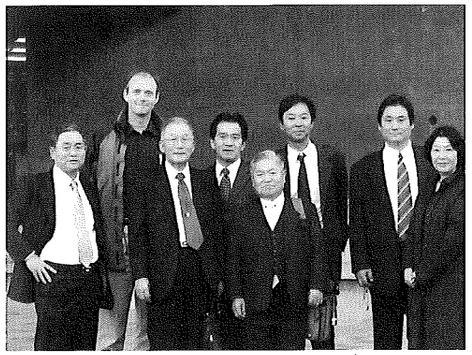
掲載頁 45

JTA-COB第8回技術交流会議報告

JTA代表団

JTAとCOB(オランダ地下建設センター)の第8回技術協力会議が，10月3～5日の3日間オランダで開催された．第6回の技術交流会議で技術交流の内容を今後スリム化することで双方が合意しており，今回も第7回と同様に日程を短縮して行われた．今回の訪蘭の目的は，第8回技術交流会議をJTA，COB双方にとって有意義なものにすることと，JTA理事会で決定された今後の技術交流の方針，すなわち“第8回技術交流会議を似って相互訪問による両国の技術交流を終了し，今後は技術情報などの交換を中心に交流を実施する”にCOB側の同意を得ること，の2点であった．

本稿では，第8回技術交流会議の主な項目について報告する．



写真はワークショップ会場となったTUデルフトにて

8th JTA-COB Joint Meeting

Reported by JTA Delegates

The 8th JTA-COB(Netherlands Centre for underground construction)Joint Meeting was fruitfully held in the Netherlands between October 3 and 5. The both had agreed to reduce the technical contents of program of this meeting in the 6th Meeting. According to the decision of the Executive Council of JTA, JTA proposed that this joint meeting is the last one in Japan or the Netherlands and the both will exchange technical data and information with another means in the future. This paper reports the results of this meeting.

ユニークな発想と高品質・自信の価格



※連続突起を有する鋼製シースを地山に引込み、芯材を挿入して固化材を注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。



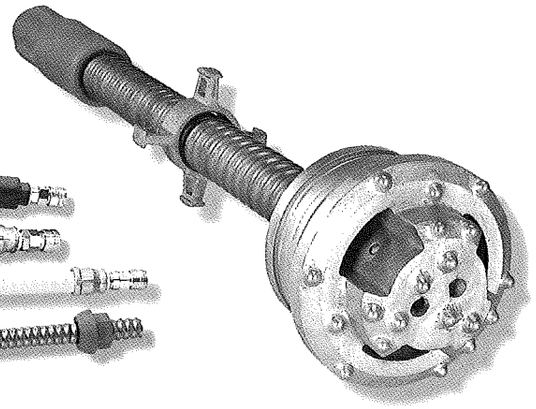
STD BITS

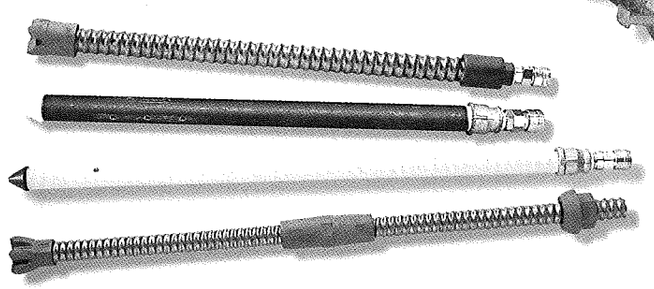
（ロストリング方式）

呼称	鋼管径	リングビット径
65A	φ76.3	φ86
90A	φ101.6	φ108
100A	φ114.3	φ124
125A	φ139.8	φ144

FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。





自穿孔ボルト&注入管

AGF-SP 工法

名称		形状 外形状	形状 内径	降伏荷重 (kN)	破断荷重 (kN)
SPアンカー		R29	φ13	204	>255
		R32	φ17	204	>255
		R38	φ16	400	>500
SPミニパイル		R51	φ29	600	>750
		R73	φ50	960	>1200
注入管	鋼管	φ27.3	φ15	155	>215
	GFRP	φ28	φ17	–	>180

R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

※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
E-mail : steng@kawachi.zaq.ne.jp

巻頭言
（題字　小森　博会長）



ものづくり，人づくり

鹿島建設(株)代表取締役副社長(本協会理事)
川合　勝

近年，わが国の発展を支えてきた「ものづくり」に翳(かげ)りが見られる例として，原子力発電所の点検問題，自動車産業での欠陥問題と併せて，土木分野においても，阪神淡路や新潟県中越地震での新幹線をはじめとする土木構造物の被害などが挙げられると思う．ただし，大きな違いは，問題発生に至る時間の経過である．われわれ土木界が担う社会資本は，数十年から長い場合には百年の単位に及び多くの人々に利用される．時の流れに耐える質の高いものを残していくことこそが，土木に課せられた基本命題である．公共投資予算の削減や，激烈な価格競争が進展する中にあっても，この本質を忘れてはならない．

今後，限られた予算の中で質の高い社会資本を効率的・効果的に整備していくための基本要件として，生産性の向上と，人材の確保・育成が挙げられると思う．

バブル経済崩壊後，製造業がほぼ一貫して生産性を向上させる一方で，建設業の生産性は低下傾向にあった．雇用の受け皿としての建設業の性質や，屋外現地個別生産の建設施工の特色などによる面もあろうが，基本的な問題として，とりわけ公共工事においては機会均等を強調するあまり，企業の研究開発による技術革新が生産性を向上させ，そこから得られた収益により研究開発投資が促進されるというサイクルが回りにくい面があったことは否めない．

情報通信技術の急速な発展により，建設業の生産性向上を阻む要因となっていた屋外現地個別生産による制約は，大きく緩和されつつある．技術革新が建設業の生産性を飛躍的に高める可能性が生じつつある今日，社会資本整備においても，新しい技術を積極的に導入する風土の醸成(じょうせい)と，卓抜した研究開発成果を出した企業が大きく伸び得る環境整備が急がれる．

建設業が国民の負託にこたえ，活力ある産業として発展していくためには，生産性の継続的な向上に加え，若者にとってやりがいを感じ夢を託せる産業であることが不可欠である．公共事業が税金の無駄遣いの象徴とか，環境破壊の元凶というような，建設業バッシングとも言える状況を座視していては，優秀な若者が土木界に入ってくることは

期待できず，土木界の衰退は避けられない．

国土狭小で世界的な地震国という厳しい自然環境の中で，安全で豊かな暮らしの実現にきわめて重要な役割を果たす土木界の衰退は，国民全体にとっての損失につながることである．土木界が今までに取り組んできたさまざまな実績や，これから国民生活や産業活動の基盤整備にどのような役割を担おうとしているかを，産官学が一致協力して，わかりやすく社会に訴え続けることがきわめて重要となっている．

縁の下の力持ちを美徳とし，人目に触れにくい環境で力を合わせて黙々と働くことに慣れたわれわれ土木屋は，ともすれば，土木技術者の顔を社会に見えるようにする努力が，後世に残るものづくりに従事することの意義と喜びを若い人に伝えることになるという認識に欠けるきらいがあったように思う．

むろん，土木事業や人の実情を知らせる努力に加えて，生産性，安全性を高め，土木に従事する技術者や技能者の就労環境や処遇改善を図ること，資格制度を充実して社会的な地位の向上を図ることなど，現状の改善を図ることも併せ注力する必要性は言うまでもない．

これらの人づくりに向けた対応は喫緊の課題であると思う．

最近，大学の土木科の学生におけるゼネコン希望者の減少傾向が顕著となっているようだ．淘汰の時代が喧伝される影響もあるものと思われるが，ものづくりの実務の中核をなすゼネコン希望者の減少を，優秀でバイタリティに溢れた若者の土木離れの予兆と見るのは，ゼネコンに身を置く者ゆえの過ぎたる心配であろうか．

入札方式の多様化やPFI事業の導入に見られるように，ゼネコンが担う業務は，施工を核としながらも，大きな広がりを見せつつある．額に汗しながら，自らの目や耳で自然の反応を確かめ，志高くリーダーシップをもってものづくりに励む技術者や，ものづくりに通じた設計や研究業務を担う技術者を希望する人材が減るようでは，土木に課された質の高い社会資本を残していくことは難しく，土木界全体の健全な発展に支障をきたしかねないと懸念する．

ゼネコン自らに，そこで働くことの意義を若者に積極的に伝える努力が求められていることは言うまでもないが，大学を始めとする関係各方面の格別のご配慮をお願いしたい．

社会は大きく急速に変わっている．建設業も，変化を受身で捉えるばかりでは未来は拓けない．産官学のさまざまな分野で責任ある立場で活躍中の土木技術者は，ものづくり，ひとづくりの原点に返り，本音の議論を通じて，時代に即した新たな建設業の構築に向けて行動する使命を負っていることを自覚する必要があると思う．

施工

国内初 TBMで鉄道単線を全断面掘削

—JR吾妻線付替　八ッ場トンネル新設工事—

東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所長野原工事区助役　岡野法之
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所長野原工事区区長　辻　徹
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所長野原工事区施設技術係　高橋　徹
清水・西松・ハザマ共同企業体八ッ場JV工事作業所所長　茅野浩一

1 はじめに

昭和22年，関東地方を襲ったキャスリン台風は利根川流域に大きな被害をもたらした．そこで，利根川下流部の洪水被害の軽減と首都圏への水道用水および工業用水確保のため，国土交通省は群馬県吾妻郡長野原町に八ッ場(やんば)ダム建設事業を推進している．この八ッ場ダム事業により，JR吾妻線岩島～長野原草津口間のうち約6km区間(川原湯温泉駅含む)が水没することとなり，JR東日本では国土交通省からの委託により約10.4kmにわたる吾妻線付替工事を進めている．

この付替工事は，トンネル3本，大小5橋梁，1高架橋および1駅の新設からなるプロジェクトであり，このうち，八ッ場トンネルは，付替線の始点方(岩島駅側)にあたる吾妻町大沢地区から長野原町川原湯地区に至る延長4,582mの新設単線トンネルである(図-1)．

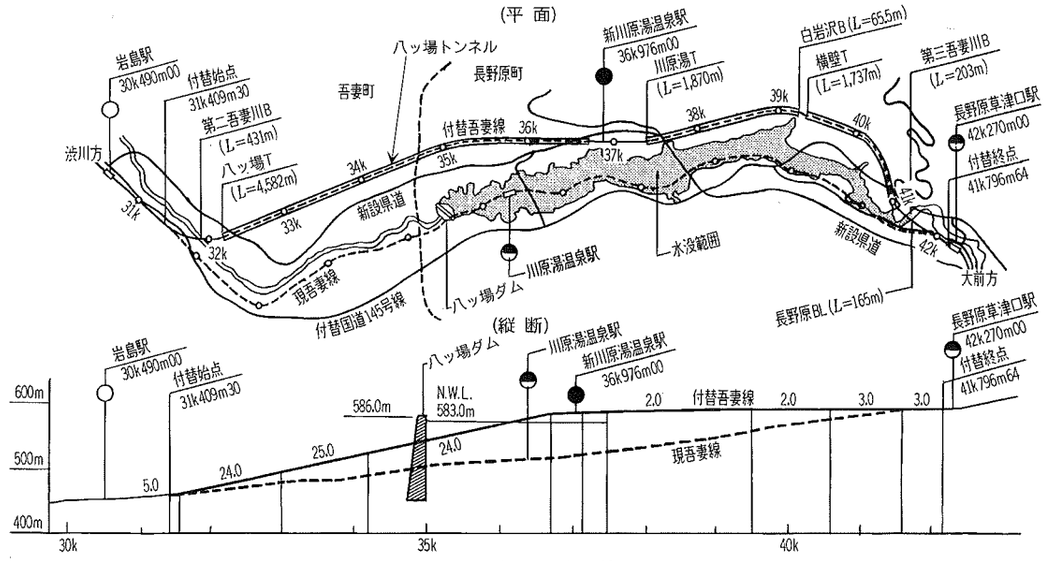


図-1　八ッ場トンネル位置図

本稿では，鉄道トンネルにおいて国内初となる全断面TBM工法による八ッ場トンネル新設工事の施工結果のうち，①掘進精度と速度，および②不良地山対策について報告する．

2　TBM工法選定の経緯

八ッ場トンネルにおける施工上の条件としては，以下のことが挙げられたため，TBM工法を採用することとした．

- 施工延長の大半がTBMの掘削に適した中硬岩～硬岩の凝灰岩(一軸圧縮強度：40～120N/㎟)が主体であること．
- 大きな断層・破砕帯が事前の調査では確認されず，良好な地質状況と予想されたこと．
- 施工延長が4kmを超えるにもかかわらず，急峻な地形なためルート途中における進入路確保が困難であることや終点方坑口付近が温泉街であることから，工区分割ができず片押し施工が求められたこと．
- トンネル延長の2/3がダム湛水面(計画高水位)以下となることから，坑内湧水に対する配慮をすると，地山を緩めない施工方法が望ましいこと．
- 終点方の温泉街への影響を最小限にするため，騒音・振動が比較的抑えられる施工方法であること．

3　TBMの形式および仕様

TBMの型式は，掘進精度を最重要課題と位置づけ，掘進精度確保に有利なサポートジャッキを全周に装備し方向制御可能なオープン型を採用した．本工事で使用したTBMを**写真-1**に示す．

主な仕様は以下のとおりである．

- 掘　削　径：6,820㎜
- 機械本体長：約17.8m
- 装備電動機総出力：2,342.8kW
- カッタ駆動装置：
  - 動　力　315kW×6台＝1,890kW
  - トルク　3,071～6,142kN･m
  - 最大回転数　0～6回/min

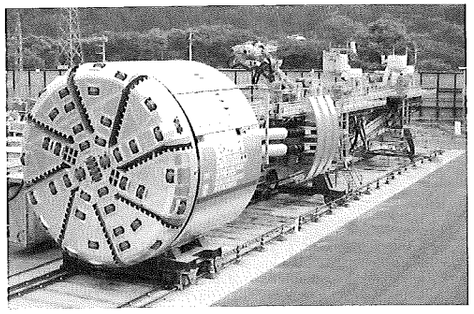


写真-1　TBM全容

- 推進装置：
  - 総推力　12,900kN(ジャッキ4本)
  - ストローク　1,800㎜
- ローラーカッタ：17inch　48個/35m²
- 最大掘進速度：60㎜/min

4　TBM工法における施工上の課題

4-1　掘進精度と高速掘進の両立

鉄道トンネルでは，列車の安全かつスムーズな走行を保証するうえで内空断面の確保が絶対条件であり，掘進時に想定以上の大きな蛇行が発生した場合，縫い返しにより断面を確保しなければならない．

鉄道トンネルにおけるTBMの適用事例は10例程度あるが，いずれも先進導坑に用いられたのみであり，今回の八ッ場トンネルのように全断面をTBMで掘削したトンネルはなく，この点で過去の事例とは大きく異なる．TBMによる先進導坑掘削と本坑掘削の決定的な違いは，先進導坑掘削時の蛇行は，本坑掘削時に解消可能であるのに対し，全断面掘削の場合は，TBMの蛇行がトンネル自体の蛇行に直結する点である．過去には先進導坑掘削時に上下方向1.7m，左右方向5.6mの誤差を生じた事例も報告されており，このような点からも，八ッ場トンネルでのTBMによる掘進は，蛇行管理を確実に行い，高い掘進精度が要求された．

その一方で，掘進精度の確保が最重要課題ではあるが，工期および経済的な面から，TBMの特徴である高速掘進も要求される．つまり，掘進精度の確保と高速掘進という，相反する2つの要求を両立する必要があった．

4-2　不良地山対策

TBMは不良地山に遭遇すると，掘削ずりの過剰取り込みやグリッパ反力不足による蛇行の発生，最悪の場合にはTBM本体への地山の締め付けにより掘進不能となり，工期，工事費にも多大な影響を及ぼしかねない．そこで，事前の地質調査および掘進途中での切羽前方の地山状況の確認方法，不良地山に遭遇した場合を想定した対応策の検討が必要であり，かつ重要である．

事前の地質調査結果から，本トンネル延長のうち90%以上が堅硬で安定した地山であると想定されたが，TBM掘進区間に5か所の弾性波低速度帯が見られ，弱層の存在が懸念された．また，土かぶりが1D(約5m)の沢部直下の掘進時の突発湧水の可能性もあった．

5　課題に対する対策および施工結果

5-1　掘進精度の確保

高い掘進精度を確保するためには，TBMのノーズダウン防止，掘進中の方向制御，掘進精度の確実な把握，操舵に関する基準の設定などが必要と考え，これらについて検討した．

5-1-1　ノーズダウン対策

ノーズダウンについては，TBMの頭部の重量が3,500kNと偏っているため，TBM頭部が沈下しやすい傾向にある．この対策として，**図-2**に示すようにフロント下部の地山への設置面積を基本設計時と比較して約38%拡大し，接地圧を基本設計時の0.59MPaから0.43MPaへと軽減した．

5-1-2　可動式サポートの採用

TBMの方向制御は，一般に，スラストジャッキ1ストローク分の掘進方向をメイングリッパ部で決定し，掘進中は制御を行わない．しかし，今回はより高い掘進精度を確保するため，図-2に示す80㎜伸縮するボトムサポートジャッキ，±80㎜の伸縮が可能なルーフサポートおよびサイドサポートを搭載し，掘進中にも水平方向・垂直方向の方

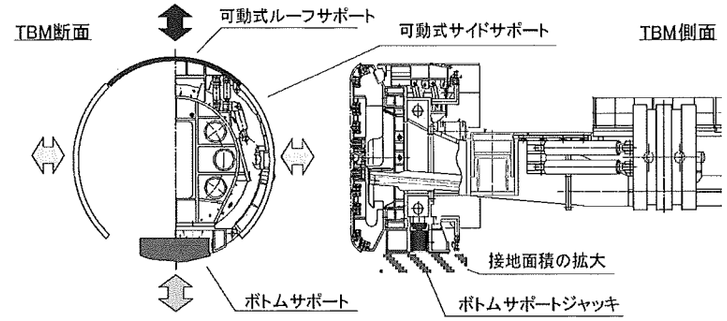


図-2　方向制御のための設備

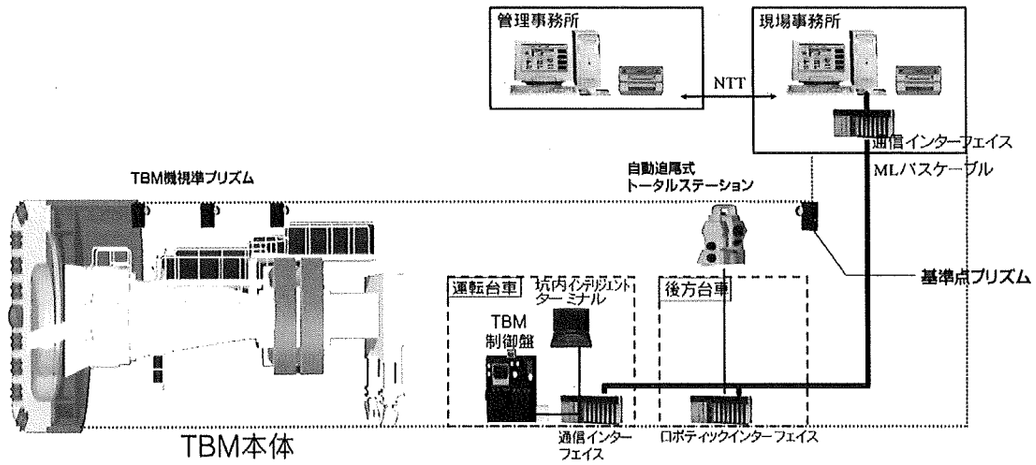


図-3　自動追尾式トータルステーションによる掘進精度管理システム

向制御を行った．

5-1-3　掘進精度管理システム

掘進中の精度管理は，三次元自動追尾式のトータルステーション(**図-3**)を使用した．これは，一定間隔で測量することによりTBMの位置と方向を連続的に測量可能なシステムである．これにより，TBMオペレーターがTBM運転席で掘進精度を確認でき，リアルタイムに掘進方向制御が可能となった．

5-1-4　掘進精度管理基準値

TBMは急な方向修正が難しいので，掘進精度の確保を目的に**表-1**のような操舵に関する基準を設けた．半径方向許容蛇行量100㎜は設計覆工厚を満足させる最低限の値であり，これを侵すことはできない．また，TBMは小回りが利かず方向修正を早めに行う必要があることから，より厳しい管理基準値を設け，管理の基準値内の蛇行に抑えるために，方向修正アクション値を設定し，操舵の基準とした．

5-1-5　掘進精度の実績

以上の対策の結果，全掘削延長でノーズダウンすることなく，鉛直精度-18～＋20㎜，水平方向-31～＋30㎜の範囲で精度確保ができた(**図-4**)．いずれも蛇行余裕量，掘進精度管理基準値を大幅に満足する結果であり，非常によい精度で掘削が行えた．また，方向制御のために搭載したボトムサポートジャッキおよび各可動式サポートは，TBMオペレーターにより掘進中頻繁に使用され，操舵性に優れ，効果を発揮した．

表-1　TBM操舵に関する基準

基準項目	管理値	備考
許容蛇行量(上下左右)	70㎜	半径方向許容蛇行量÷√2
管理基準値	35㎜	許容蛇行量×50%
方向修正アクション値	20㎜	方向修正管理値×60%

5-1-6　地山等級と掘進精度

地山等級と掘進精度の相関を**図-5**に示す．I_{LP}を除き，鉛直蛇行量・水平蛇行量の標準偏差に大きな差は見られなかったが，地山の良いIII_{NP}において鉛直・水平方向ともに誤差の最大値を記録している．これは，III_{NP}が80～100N/㎟の凝灰岩主体で，TBM掘進にもっとも適した地山であり，高速で掘進したためと考えられる．一方，掘削に難航したI_{LP}区間では，非常に遅い速度で慎重に掘進したので，蛇行量は小さかった．

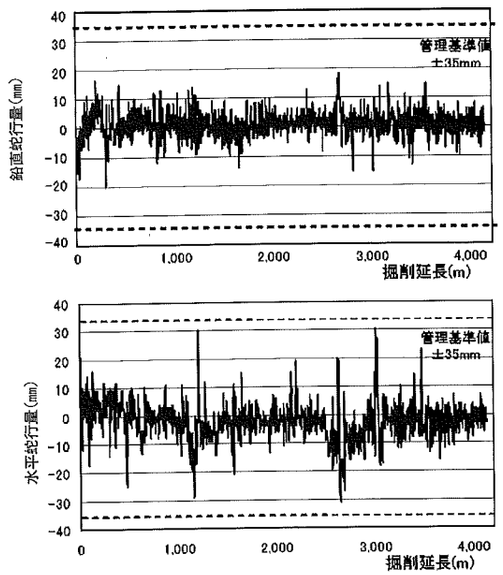


図-4　TBMの方向制御実績

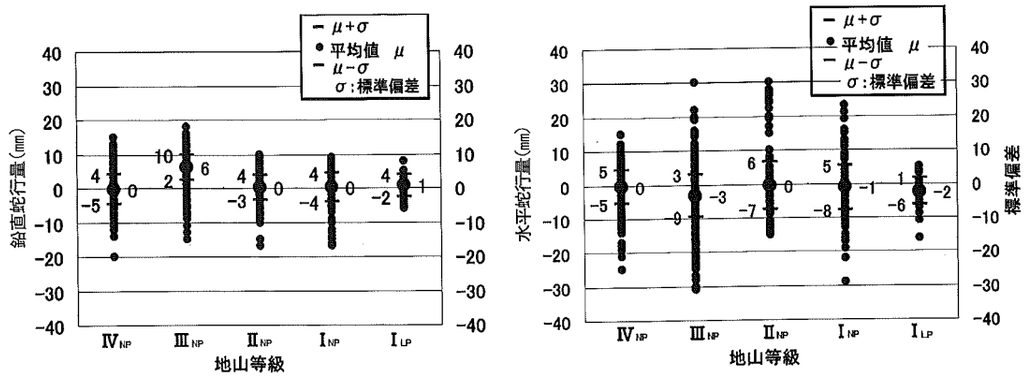


図-5　地山等級ごとの蛇行量

5-1-7　掘進速度の実績

掘進実績は**図-6**に示すようにTBM掘削全長4,130mを14.5か月にて掘進し，平均月進284.8m，最大月進424.2m，最大日進47.6mを記録した．支保パターンの検証などのために実施した試験施工区間(TBM掘進開始位置から300m)を除く平均月進は，314.8mであった．

以上，TBM自体の仕様および掘進時の精度管理方法などについて，さまざまな検討，工夫を行い，実施工にて実践したことにより，非常に高い精度を確保しつつ，高速掘進を実現できた．

5-2　不良地山対策について

事前の地質調査で判明した弾性波探査の低速度帯と比抵抗値の急変帯および断層の出現が懸念された箇所において，切羽前方の地質確認のため3成分HSP探査および探りボーリングを計画した．探りボーリングにおいては，削孔速度，削孔時のスライムによる地山状況の把握以外に，削孔時の破壊エネルギーによる判別も適用可能か試みた．なお，3成分HSP探査は，坑内弾性波探査の一種であり，坑内で人工的に発生させた振動の反射波をとらえ，切羽から150～200m先の地山状況を調査する手法で，大きな断層破砕帯などの地質急変部の存在確認や特性の把握を目的としている．

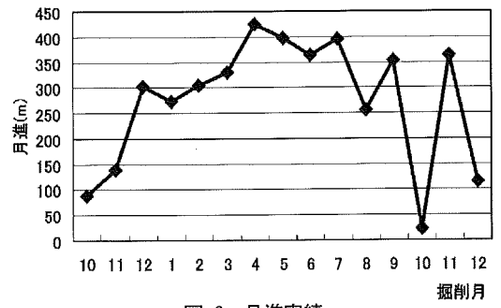


図-6　月進実績

3成分HSP探査の結果を**表-2**に示す．今回の探査では，探査対象となる大きな断層が存在しなかったにもかかわらず，ある程度の地質の変化を捉えることができ，事前の地質調査結果の補完，あるいは掘進を進めるうえでの有効な判断材料となった．探りボーリングについては，弱層部をのみ下がりやスライムなどにより確認できた．破壊エネルギーと地山状況の相関性は，オペレーターの操作方法によるばらつきが大きく，破壊エネルギーを地山の判断指標とするのは困難であった．

不良地山では切羽が自立せずに，掘削土の過剰取り込みや天端崩落などが予想される．そこで，事前に不良地山に遭遇した場合を想定し対策の検討を行った．まず，切羽における肌落ち，小規模な崩落はフォアパイリング，大規模な崩落は空洞部へのシリカレジンの注入，切羽前面への水ガラス剤の注入，フォアパイリングなどの補助工法を計画した．

表-2　3成分HSP探査結果

No.	探査範囲	岩種	地山等級*	探査結果と地山性状		
				地質調査結果	HSP探査による予測	掘進実績と評価
1回	32K606～706m	凝灰角礫岩 安山岩溶岩	III_N, I_N, IV_N	多亀裂帯と予測	顕著な弱層部の検出なし	地山の硬軟をある程度捉えており，掘削時における整合性も良好
2回	34K350～450m	凝灰岩	III_N	亀裂が多く，固結度も低いと想定	顕著な弱層部の検出なし	弱層は確認されなかったが，大量湧水が発生．地山状況は良好
3回	34K445～545m	凝灰岩	III_N	亀裂が多く，突発湧水も懸念	明瞭な弱層の懸念なし	突発湧水があったが，弱層はなく掘削困難になることはなかった
4回	35K459～559m	凝灰岩	II_N, III_N	軟質な地山と良好な地山が交互に出現が想定	軟質地山とやや良好な地山が交互に分布	破砕帯や断層の確認なし．軟質な傾向が顕著．明らかな地山状況の変化なし
5回	36K070～170m	凝灰岩 凝灰角礫岩	I_N, II_N, I_L	断層破砕帯(打越沢)の出現が予想．八ッ場安山岩類と溶結凝灰岩との層境	断層があるとしても小規模	掘削時にカッタヘッド前面部の崩落を確認．弱層部の範囲が探査結果と異なった

実際，TBM発進坑口から3,614m付近において遭遇した不良地山部(打越沢断層：延長約15m)では，TBMカッタヘッド前面の地山が鏡肌で非常に脆く剥離する状態であり，崩壊による過剰取り込みのため，面盤前面に空洞が生じた．この対策として，空洞部を発泡スチロール，発泡ウレタンで充填し，切羽の自立を確保した．これと同時に天端に，計画時の対策工をさらに深度化させ，注入式長尺先受け工(AGF工法)，注入式フォアポーリングをルーフ後方から施工した．この区間では月進24.1mと他の区間に比べ進行が大幅に落ち込んでいるが(図-6参照)，TBMが掘進不能となり，立ち往生するという最悪のケースを回避し，無事に施工することができた．

土かぶり1Dの沢部直下は，地表河川の水替え工を実施し，また，突発湧水(3か所，約2,000 ℓ/min)にも遭遇したが，水抜きボーリングなどにより問題なく施工できた．

5 ま と め

八ッ場トンネルへのオープン型TBMの適用は，高速掘進と掘進精度の確保の両立などにより妥当であったと考える．本稿で述べてきたことをまとめると，以下のとおりである．

① 掘進精度については，全線において鉛直方向で20㎜，水平方向で約30㎜以内を，また高速掘進性については，80～100N/㎟の凝灰岩，凝灰角礫岩主体の区間において300m/月以上を確保でき，十分な結果が得られた．

② 不良地山部においても，適切な補助工法の適用により掘進不能に陥ることなく施工できた．ただし，月進が24mと極端に遅くなったので，不良地山部においてもある程度の進行を得るための検討が今後必要であると考える．

③ 今回切羽前方探査に採用した，3成分HSPは，探査対象の大きな断層が出現しなかったにもかかわらず，ある程度の地質の変化を捉えることができ，地質調査結果を補完するのに有効であった．

6 お わ り に

鉄道トンネルにおいては全断面TBMの適用事例がなく，また，導坑にTBMが用いられた事例をみても成功例はない．そのような中で，今回，延長が4,000mを超える八ッ場トンネルにマシン径6,820㎜の全断面TBM工法を採用し，全断面を高精度かつ高速で掘進できた意義は非常に大きい．今回の施工事例が，鉄道に限らず，今後のTBM工法の発展の一助となれば幸いである．

末筆ながら，八ッ場トンネルの計画から施工に至るまで多くの方々にご指導，ご鞭撻ならびにご協力をいただいたことに対して感謝する次第である．

参 考 文 献

1) 渡部保利・飯塚英之・田口芳範・岡野法之：オープン型TBMによる高速掘進への挑戦，八ッ場ダム建設に伴うJR吾妻線付替え工事，トンネルと地下，Vol.31，No.1，pp.33-40，2000.1.
2) 田口芳範・齋藤貴・石毛勝男・茅野浩一：わが国初の鉄道トンネル全断面TBM工法に挑む，吾妻線 八ッ場トンネル試験施工区間，トンネルと地下，Vol.35，No.10，pp.7-17，2004.10.
3) 橋口誠之：歴史に残る鉄道トンネルの物語，日本鉄道施設協会誌，Vol.41，No.6，pp.2-3，2003.6.

〔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．

施工

HEP&JES工法でJR中央線直下に首都高ボックスカルバートを構築

—首都高中央環状新宿線JR東中野駅付近交差工事—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課課員 山口 敏
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課副課長 三丸英寿
東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所新宿工事区助役 杉浦慎一
鉄建建設(株)東京支店JV東中野作業所所長 橋新重雄

1 は じ め に

東京圏の3環状線道路(首都圏中央連絡自動車道，東京外かく環状道路，首都高速中央環状線)整備プロジェクトの一つ中央環状線で，目黒区青葉台より板橋区熊野町に至る延長約11kmの間に首都高速中央環状新宿線(図-1)の建設工事が進められている．このうち約8km区間は，環状6号線(以下，「山手通り」という)の直下のトンネル構造(地下式)となっている．さらに，東京都の都市計画道路拡幅整備事業にもとづく山手通りの拡幅工事が，あわせて進められている．

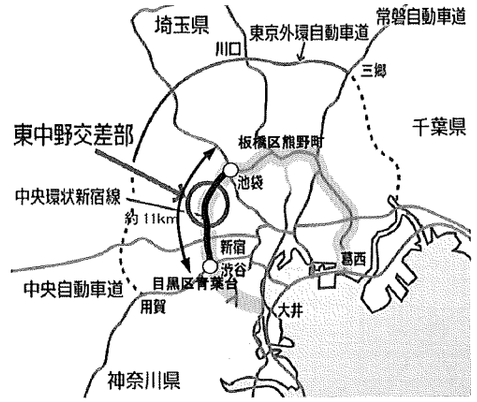


図-1 中央環状新宿線ルート概要図

中央環状新宿線は，JR中央線と交差する東中野交差部において，図-2のように山手通り，JR

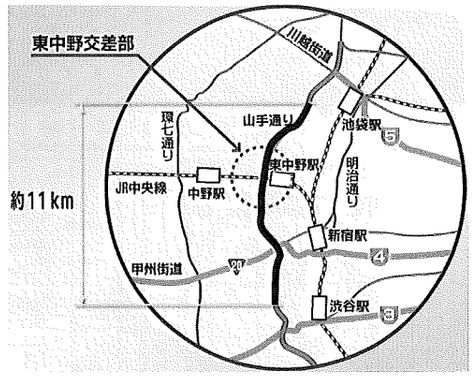


図-2 詳細位置図



写真-1 平成14年10月の現場状況

中央線，都営大江戸線が立体交差することになる．ここを含む約130m区間で地下構造物（幅約29.6m×高さ約13.8m）の築造ならびに山手通りの現桜川橋橋りょう（幅員22m，**写真-1**）を撤去し，幅員40mの橋りょうを新設する工事を首都高速道路㈱からの委託で，JR東日本が設計・監理を行っている．完成すれば，主要な鉄道（都営大江戸線，JR中央線）と道路（山手通り，首都高中央環状新宿線）が4層に形成されることになる（**図-3**）．

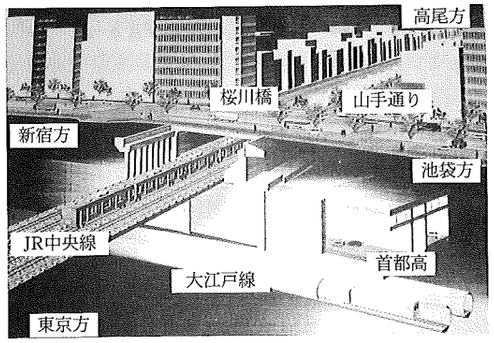


図-3　完成予想図

本稿では，HEP&JES工法で，これまで用いられていた掘削機械での硬質な地盤に対する課題を克服するために採用した，礫対応掘削機械の開発経緯と実施工における成果について報告する．

2　地　質　概　要

高速道路のトンネル函体はJR中央線地盤より土かぶり約7.0mであり，地質は礫率が60%と高い東京礫層と武蔵野礫層が介在した礫質土で，その下はN値50以上の硬質の砂質土となっている（**図-4**）．

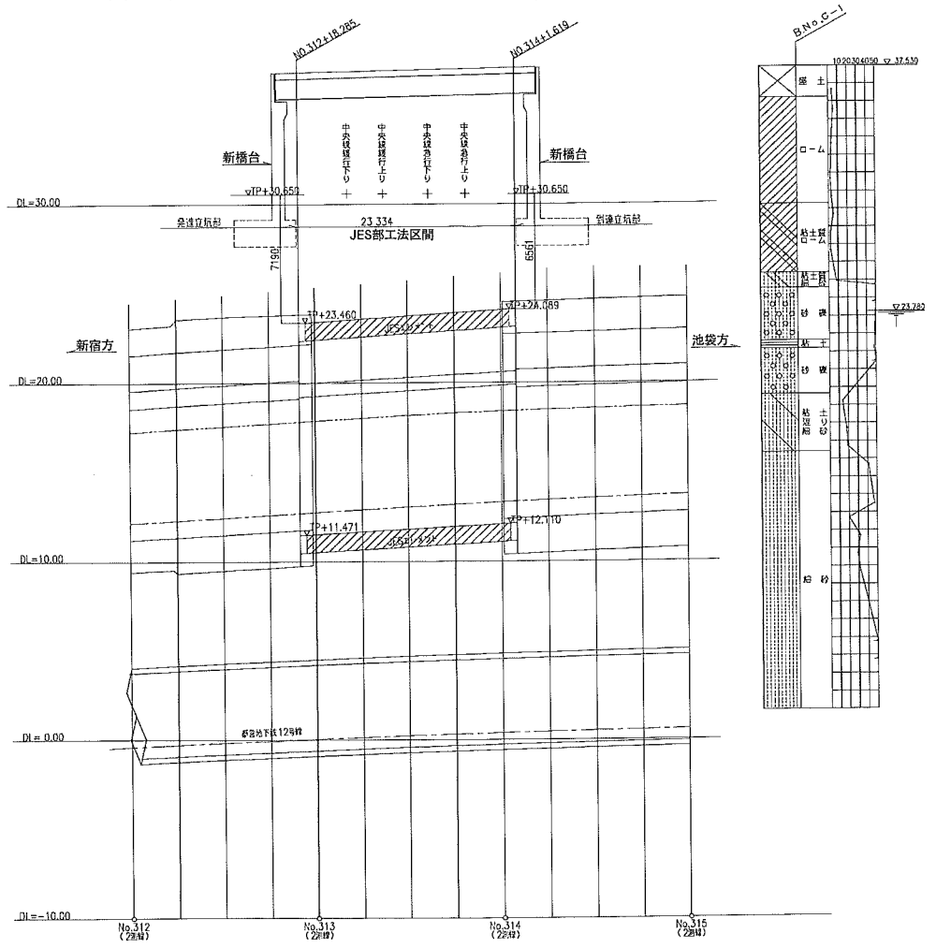


図-4　地質柱状図

3　HEP&JES工法の概要

HEP（High Speed Element Pull）& JES（Jointed Element Structure）工法は，アンダーパス工事を速く，精度良く，安全に施工するための新しい工法である．HEP工法は，エレメントを発進側から推進機によって挿入する従来の工法にかわって，到達側からPC鋼より線でエレメントをけん引するため，高速で精度良く施工できる工法である．また，JES工法は，けん引するエレメントの軸直角方向に力を伝達することが可能な継手部を有するコの字形の鋼製エレメントを用い，路面下に非開削で箱形ラーメン形状または円形状などの構造物を延長に制約されずに構築できる工法である（**図-5**）．

HEP&JES工法は，これら2つの工法を組み合わせ，双方の利点を生かした合理的な施工技術である（**図-6**）．

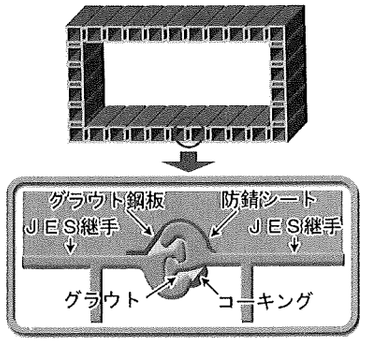


図-5　JES工法の概要

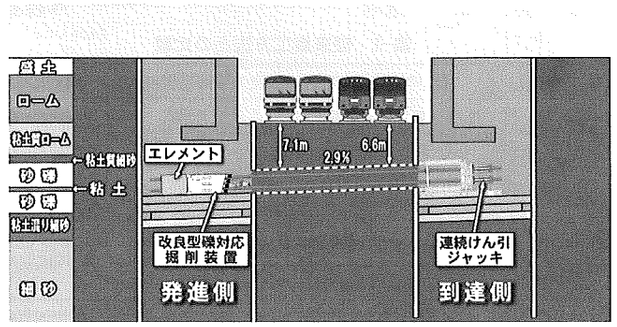


図-6　HEP&JES工法の概要

4　硬質な地盤に対する掘削課題と対策

HEP&JES工法による函体構築で，N値30以上の砂質地盤においては，従来のオーガタイプ掘削機械での対応が困難な場合，人力掘削による対応を行っていた．人力掘削では掘削に時間を要し，とくに礫層地盤では顕著となっている．このため，

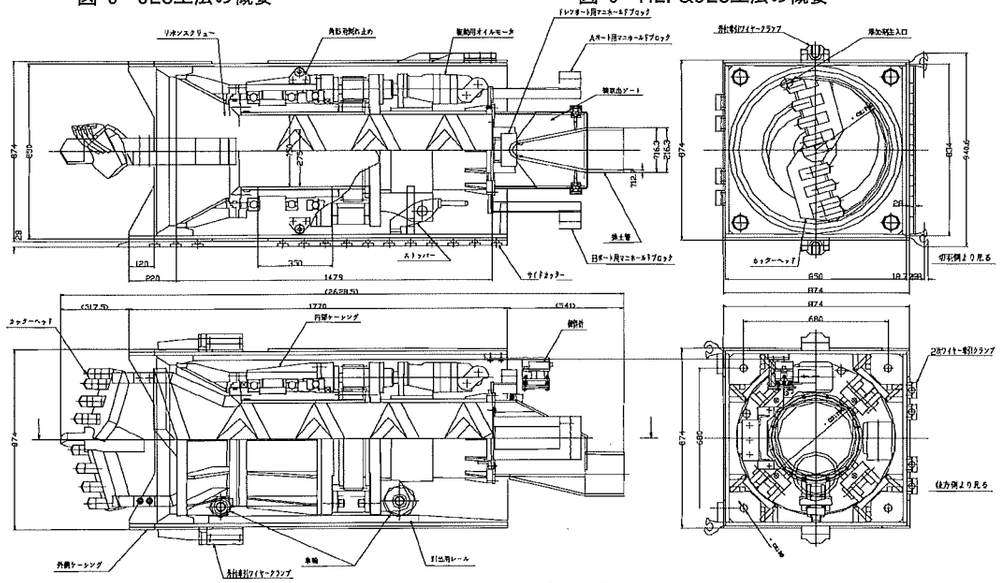


図-7　オーガタイプ掘削機械

機械掘削によるけん引掘進の適用土質拡大を図る必要があり，新しい掘削機械を開発することとなった．

4-1　開発の概要

新掘削機械のコンセプトとしては次の３点である．

① 200㎜以上の玉石，礫混入率30%程度の地盤を機械掘進できること

② 人力掘削に対して高速度で掘進できること

③ 軌道面や路面に対する影響が小さいこと

開発にあたっての具体策は以下の２項目である．

① スコップによる掘削，礫や土塊，土砂の排出：油圧バケットの適用

② ピックを用いた礫および硬質地盤の突き崩し：油圧ハンマの適用

以上のように，油圧バケットと油圧ハンマを装備した新しい掘削機械を製作した．

この礫対応掘削機械を採用することで，人力掘削では断続的であった掘進状況を連続的にし，従来のオーガタイプ掘削機械では適応できなかった地盤への適応を可能にした．また，これまでと同様に施工の安全性と精度の確保を図ることが可能である．

図-7に従来から使われているオーガタイプ掘削機械，**表-1**に施工方法の比較を示す．

表-1　従来施工方法との比較

項　　目	現状の人力掘削	従来の掘削機械	礫対応掘削機械
掘削機構	スコップ，ピックなど	カッタ形式	ハンマ・バケット
掻き込み機構	スコップ	リボンスクリュ形式	バケット
排土機構	トロ・ベルコン	ベルコン・吸引装置	ベルコン
対応礫径	割岩することで制限はないが，時間を要する	200㎜以下だが，一度に大量の処理は不可	300㎜程度まで
掘進機構	けん引	けん引	けん引
マシン機長(㎜)	刃口1,500*	2,629*	2,200*
マシン質量(t)	0.67～0.72*	5.46*	2.16*
純けん引速度	10㎜/min以下*	50～200㎜/min以下*	10～50㎜/min以下*

※数値は，HEP実施工(試験施工)での代表値

4-2　礫対応掘削機械の構造

開発した礫対応掘削機械は，掘削機械の中央にアームデッカ(油圧バケット)を配置し，断面中央部分の砂礫土砂の掘削，掻き落としを行う．また外殻部分に振動体(油圧ハンマ)を配置し，砂礫層に振動を与え，中央部の自由断面方向に崩し落とし，および縁切りを行い，断面全体の掘削を行うものである．

掘削土砂の排土に関しては，

① 300㎜程度の礫が搬送可能

② 粘土塊の搬送が可能

③ 再練りされた粘土の塊が搬送可能

④ 搬送能力は時間あたり５m³以上

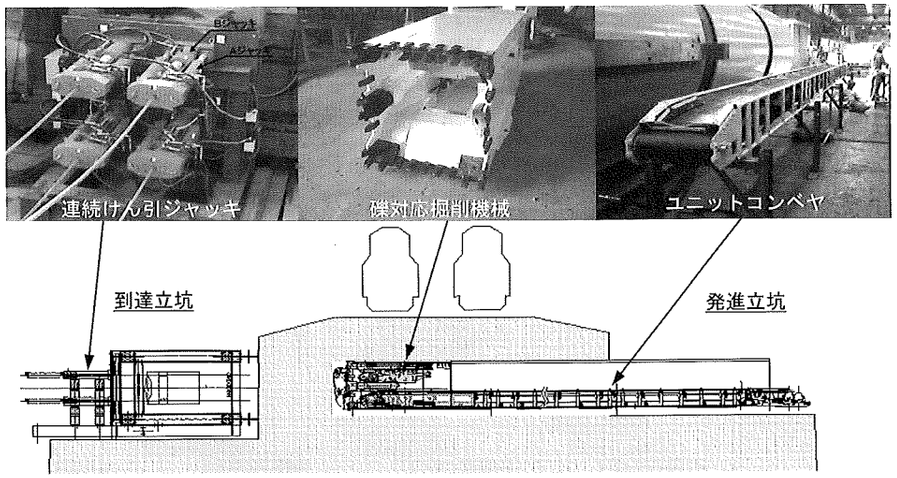


図-8　砂礫層けん引掘削システムイメージ

以上の条件を満足する方法として，連続ベルトコンベヤ(ユニットコンベヤ)を採用することとした．全体構造として，**図-8**に砂礫層けん引掘削システムイメージを示す．

また，試作機械の仕様を**表-2, 3**に，機械図を**図-9**に示す．

表-2　試作機械バケットの仕様一覧

	項　　目	定　格	備　　考
1	バケット旋回力	2.7kN	シリンダー２本
2	バケット下げ力	20kN	シリンダー２本
3	バケット刃先力(掻き込み力)	22kN	シリンダー１本
4	ブーム伸縮力	20kN	シリンダー１本
5	バケット幅	516㎜	
6	バケット長さ	258㎜	
7	掻き込み能力	5.4m³/h	

表-3　試作機械油圧ハンマの仕様一覧

	項　　目	定　　格
1	油圧ハンマ数	６台
2	油圧ハンマ打撃力	160N-m
3	打撃数	1,350回/分
4	使用油量	22ℓ/min/台
5	使用油圧	18MPa
6	６台作動時必要油量	132ℓ/min/６台
7	油圧ユニット出力	30kW

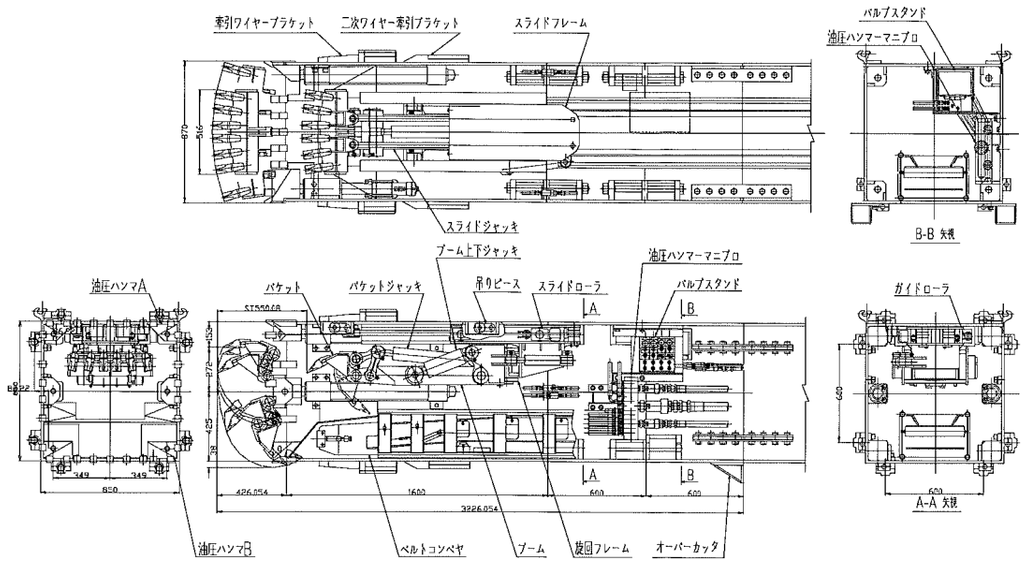


図-9　礫対応掘削機械図

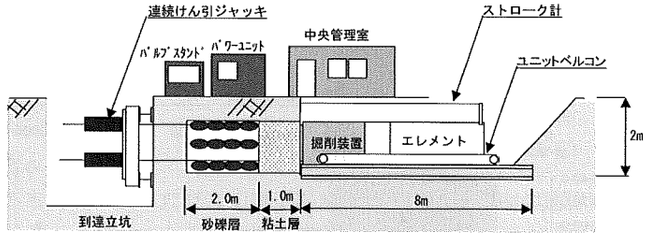


図-10　性能確認試験概要

5　試験施工での掘削性能確認

開発にあたり，試験施工によって掘削性能確認を行った．

(1)　掘削に関する基本性能

砂礫層の掘削能力，掘進能力，けん引の円滑性，騒音・振動．

(2)　軌道面や路面に与える影響

礫対応掘削機械直上部の地盤変状確認．

5-1　試験方法の概要

図-10のように模擬地盤において，けん引時の掘削状況，排土状況から礫対応掘削機械の性能を確認した．模擬地盤は粘土層と砂礫層とし，システムイメージに沿って連続けん引ジャッキとユニッ

トコンベヤによるけん引掘進を模擬して行った．

（1） 模擬地盤

・粘土層（砂混じり）
（けん引距離0.0m～1.0mまで）
・砂礫層（礫混入率50vol%）
*N*値50以上，最大礫径300㎜
（けん引距離1.0m～3.0mまで）
・土かぶり1.0m

（2） 計測項目

・けん引力：連続けん引ジャッキの作動油圧からの計算値
・けん引速度：ジャッキストローク計の計測値
・振動・騒音：定置式計測器および記録計による測定
・路盤変状：直上部沈下板のレベル計測

5-2 試験結果

砂礫層は，礫混入率50vol%（最大礫径300㎜）でセメントを50kg/m³加え地盤改良を行い，地盤強度はコーン支持力で1.86 N/㎟（*N*値換算：50以上）であった．試験では，粘土層1.0m，砂礫層2.0m区間を，けん引平均速度80㎜/minで掘削できた．

また，バケットの運転は，粘土層掘削時は自動運転で進行可能であり，砂礫層掘削時は手動運転を併用して掘削した．

5-3 けん引試験

けん引試験結果を**図-11**に示す．粘土層の掘削は，けん引距離300～1,300㎜の範囲で，けん引速度82～128㎜/minでけん引し，そのときのけん引力は，421～646kNであった．

砂礫層の掘削は，けん引距離1,300～3,300㎜の範囲で，けん引速度平均85㎜/minでけん引し，けん引力は400～750kNであった．

5-4 路盤変位測定結果

粘土層の掘削では，鏡切り時の応力解放の影響もあり，最大８㎜の沈下が見られた．砂礫層の掘削では，最大５㎜の隆起で収まっており，ハンマヘッド先端とケーシング外周のカッティングエッジビットの効果と，バケットの掻き込み・掘削能力に伴う自由内空間の確保による貫入抵抗の低減により隆起が抑えられたと考える．

これらの結果から，礫対応掘削機械は砂礫層などの硬質砂質地盤においてけん引掘進能力に優れ，適用土質の拡大が可能で，また軌道面や路面に与える影響が従来と同様に小さいことを確認できた．

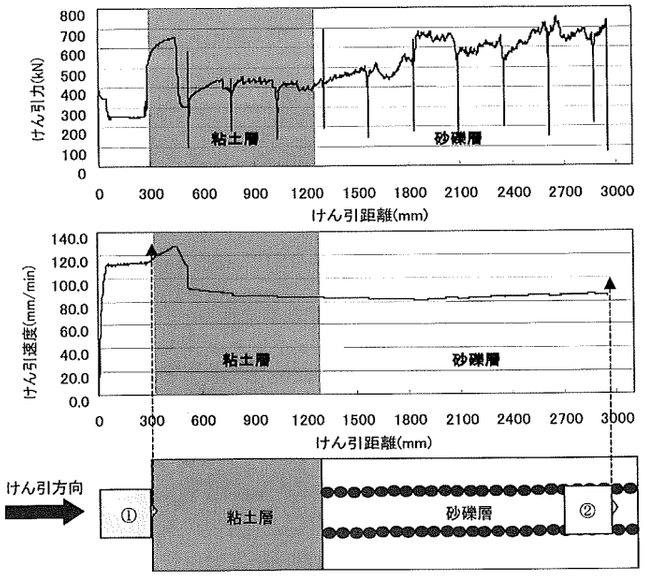


図-11　けん引試験結果

6　実施工での掘削性能確認

6-1 実施工試験概要

試験施工ののち，内幅12.5m，内空高さ6.3m，長さ15.1mのボックスカルバートをHEP&JES工法で構築する工事で，一部のエレメントについて開発した礫対応掘削機械を用いて掘削けん引を実施し，その有用性を確認した．

掘削断面の地層は，発進立坑と到達立坑部での地質調査結果に対して，上部では玉石混じり砂・砂礫，下部ではシルト混じり砂礫，砂礫混じりシルトであった．施工位置は，到達側から発進側に向かい右側（塩沢方）側壁部のD2～D3（D4），隅角部E，下床部F1～F3である（**図-12**）．

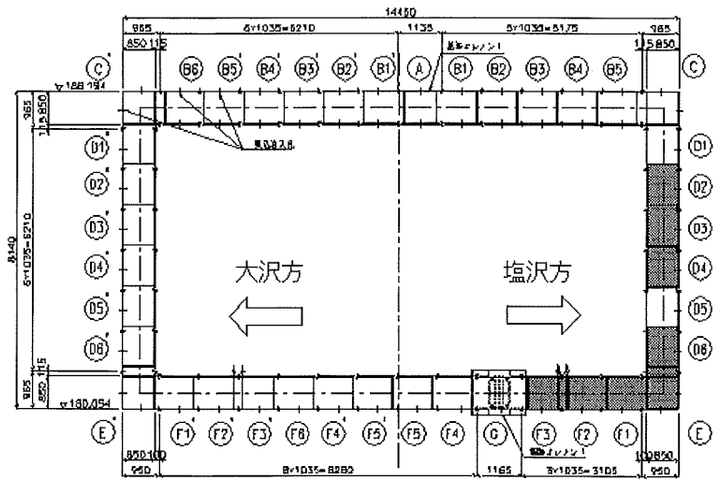


図-12　エレメント施工断面

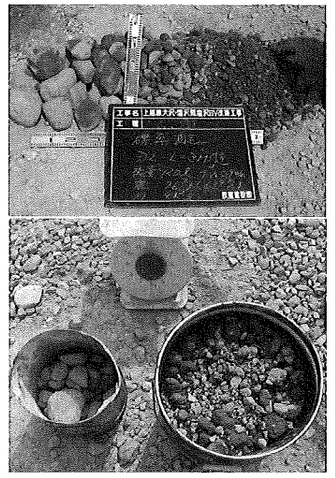


写真-2　礫ふるい分け状況

表-4　礫混入率測定結果

測定位置	砂	礫	計
D2，*L*＝3m	31.1%（43.3ℓ）	63.9%（76.7ℓ）	100.0%（120.0ℓ）
D4，*L*＝3m	35.5%（106ℓ）	64.5%（58ℓ）	100.0%（164ℓ）
F3，*L*＝6m	86.6%（23.9ℓ）	13.4%（3.7ℓ）	100.0%（27.6ℓ）

6-2 けん引結果

6-2-1 掘削土

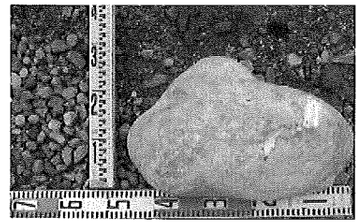
今回の礫対応掘削機械の施工対象土質は，砂礫，砂質シルト，砂礫シルトなどであった．D2，D3，F3において，礫混入率の測定を行った．測定結果を**表-4**に，測定状況を**写真-2**に示す．なお．ふるい分けには，9㎜メッシュのものを使用した．また，D2施工時に出現した玉石を**写真-3**に示す．

従来の掘削機械では，掘削不可能であった径200㎜を超える玉石混じりの地盤においても問題なくけん引掘進が可能であることが確認された．

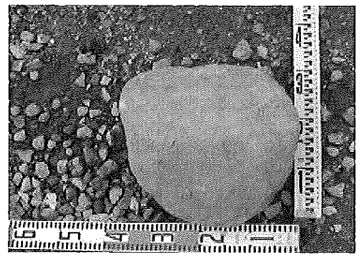
6-2-2 けん引速度

塩沢Bv工事のけん引速度について，施工箇所別に分類してグラフ化したものを**図-14**に示す．

表-5より，平均けん引速度は40.4㎜/minであり，人力掘削で施工されたほかのエレメントのけん引速度（５～10㎜/min）に対して，３～５倍の掘進速度が得られている．また，図-14のように，けん引速度を大幅に変動させることなく，安定したけん引掘進が実施されていることが確認できた．



（1）　400㎜×300㎜



（2）　300㎜×300㎜

写真-3　D2掘削時に出現した礫（玉石）

6-3 成果と課題

実施工試験を通じて，側壁部，隅角部，さらには下床部と一連の主要部位における礫対応掘削機械の適用性について，検証・確認することができた．

また，地質もφ300㎜級の玉石を含む，礫率45%と高い砂礫層，固結した砂質シルト層，軟弱なシルト層とさまざまな地質でその能力を確認できた．

油圧ハンマの起振力で地山に点在するφ300㎜級の玉石であっても破砕することが可能であり，

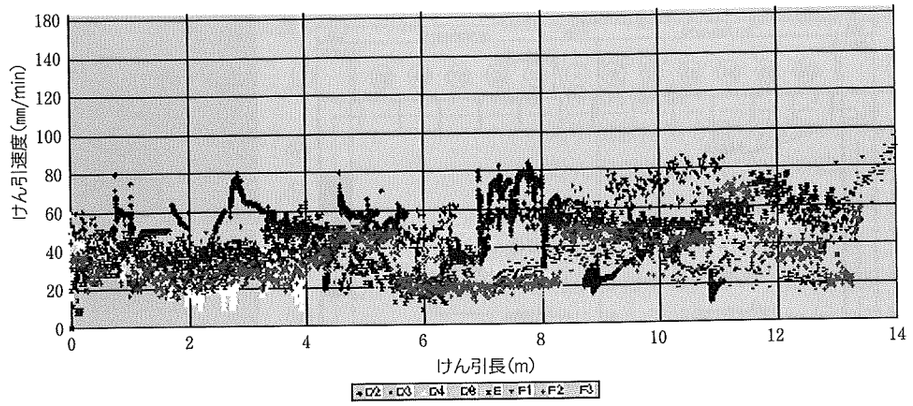


図-14　けん引速度の計測結果

表-5　平均けん引速度

エレメントNo.	平均けん引速度 (mm/min)
D2	44
D3	38
D6	41.9
E	42.9
F1	49.5
F2	34.4
F3	32.1
平　均	40.4

※1cm単位ごとにけん引ストロークと要した時間をデータサンプリングし，けん引速度を算出した．これを単純平均して平均けん引速度とした．

破砕後にバケットで取り込むことが可能であった．また，φ100～250mmの玉石はバケットで直接取り込み可能であった．これらのことから，当初設計とした最大φ300mmの礫，礫率30%以上の砂礫層のけん引掘進が可能であることが確認された．

また，固結したシルト層では，掘削の自動運転が有効に機能することも確認できた．なお，軟弱なシルト層部分では下床部施工時にローリングが発生したが，固定翼による対応により現象を解消している．また，一連の機械操作を機内に設けた3台のTVカメラで行ったが，クリアな映像で切羽状態が確認でき，良好な操作ができることを確認した．さらに，当初，懸念されていた振動・騒音についても，作業ヤードの外周では暗騒音・暗振動相当のレベルであり，近隣住民からの苦情もなく施工できた．

施工サイクルについては，人力掘削の場合ではけん引掘進5方，段取り替え1方の計6方となったのに対して，礫対応機械による半機械式掘削の場合で，けん引掘進3方，段取り替え2方の計5方と1方分短縮する結果となった．

以上のように，実施工試験によっても，油圧ハンマを装備したバケット掘削タイプの半機械式掘削機械が有効であることが確認できた．

一方，ローリングの課題，ダミー防護を含めたオーバーカッタの課題が残っており，さらなる改良を図り，実施工に反映させる必要があることがわかった．

7　東中野の礫対応機械掘削の計画

以上のような実施工の経験を踏まえ東中野タイプの礫対応掘削機械の対応を行った．

7-1　実施工試験からの対応

実施工試験にもとづき，以下の項目についてさらなる改良を加え，完成度を高めた．

7-1-1　オーバーカット

実施工試験では，エレメント継手部を防護すべく，オーバーカッタを取り付けたが，これは，外部ケーシングより外側に突出形状となる．このため，砂礫層ではクサビ効果が発生したり，乗り上げ現象の誘因となった．先行して砂礫を対象断面の外側に逃がす方法もあるが，このような方法をとった場合には，発進，到達時に使用する水平定

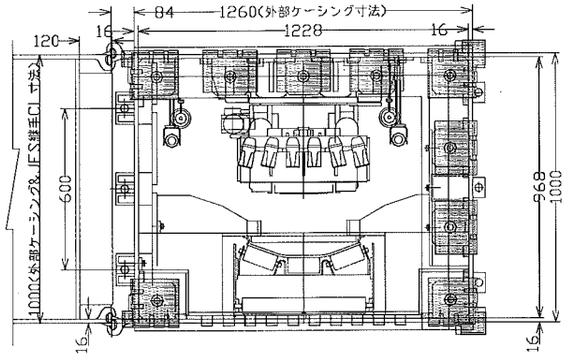


図-15　東中野タイプ礫対応掘削機械(1200タイプ)

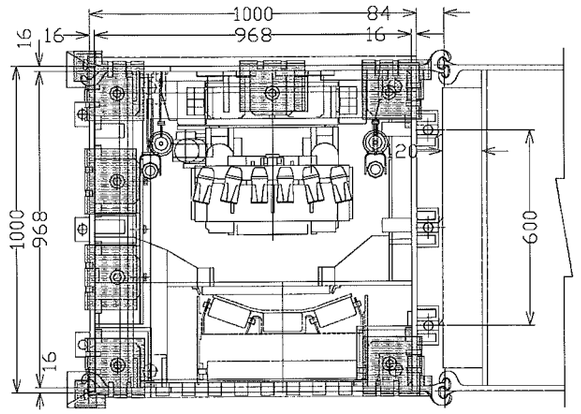


図-16　東中野タイプ礫対応掘削機械(1000タイプ)

規の障害となる．あるいは，後述する方向修正効果を低減するなどのことが考えられる．そこで，継手による突出部を包含するように掘削断面を拡大し，継手間のボイド部分にはスライド板(ダミー継手)を取り付け，次回のけん引掘進時に到達側に押し出し，回収し転用を図る構造を計画した．

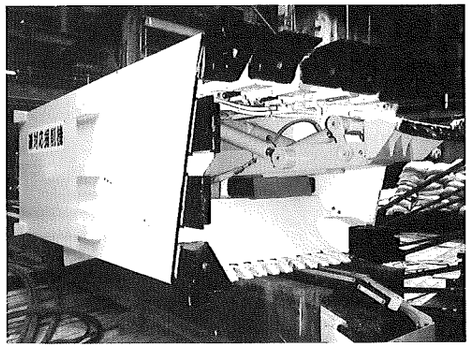


写真-4　東中野タイプ礫対応掘削機(1200タイプ)

掘削機械仕様
バケット幅：516mm　　バケット長：258mm
油圧ハンマ打撃力：100N-m　　打撃数：1,000回/min
施工にあたっては，掘削機械の前面左右にCCDカメラ取り付けを計画し，中央制御管理室にて切羽の状態をモニターしながら掘進する．

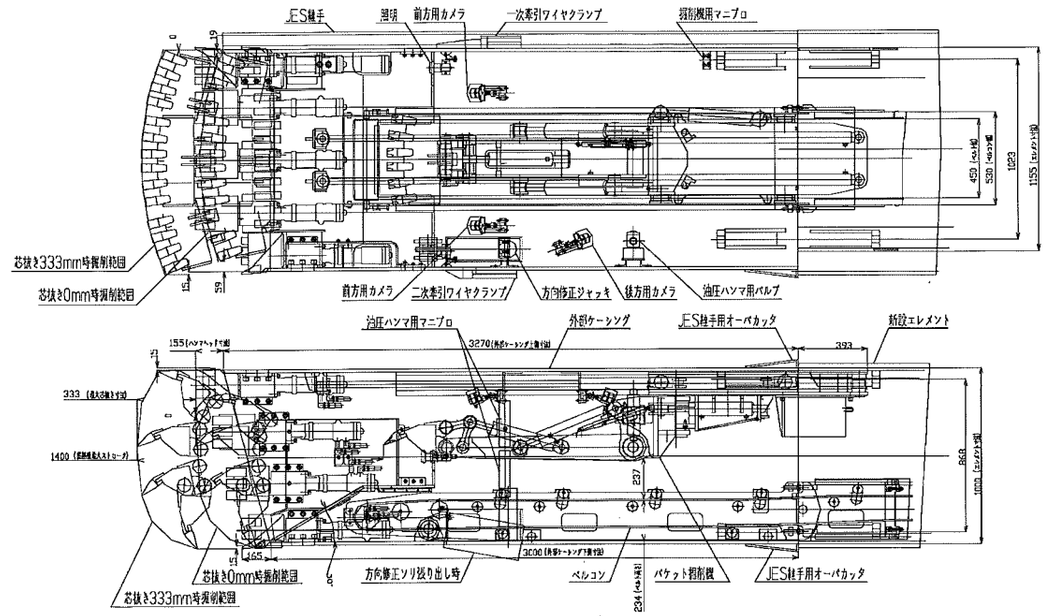


図-17　東中野タイプ礫対応掘削機平面・側面図

このように，継手防護方法とオーバーカットは深いかかわりがあり，今後の長距離施工も視野に入れて検討を進め，下記内容を設計に反映させた．

（1） 油圧ハンマの増加

7台～最大9台に増設し，掘削速度を向上させる．

（2） 全断面掘削

JES継手部を含むマシン外形を計画し，施工精度を向上させる．**図-15, 16, 写真-4**に東中野タイプの掘削機を示す．

5-1-2 土砂搬送能力の向上

けん引掘進速度の向上を図るためには，掘削とともに土砂搬送能力の向上が必須となる．試験施工および実施工試験では，添接板の取り付け位置の関係から350㎜幅のユニットベルコンを採用したが，今回は450㎜幅のユニットベルコンを導入した．また，切羽でのトラブルに対応するため，作業員が切羽の状態を直接目視確認が可能なスペースを確保できるよう外部ケーシングを長く3.27mに計画した(**図-17**)．

5-1-3 方向修正機能

実施工試験では部分的に軟弱なシルト層が介在し，ローリングが発生した．実施工では，固定翼を取り付けることで対応したが，その規模と効果をあらかじめ予想することは困難である．今回は，地盤反力が得られるような地質であるため，可動ソリを装備する計画とした．

8 東中野工事における礫対応掘削機械の効果

8-1 エレメント出来形計測結果

エレメント出来形については，発進，到達の2か所について各エレメントの上下および左右変位量を測量し，設計値と比較した．

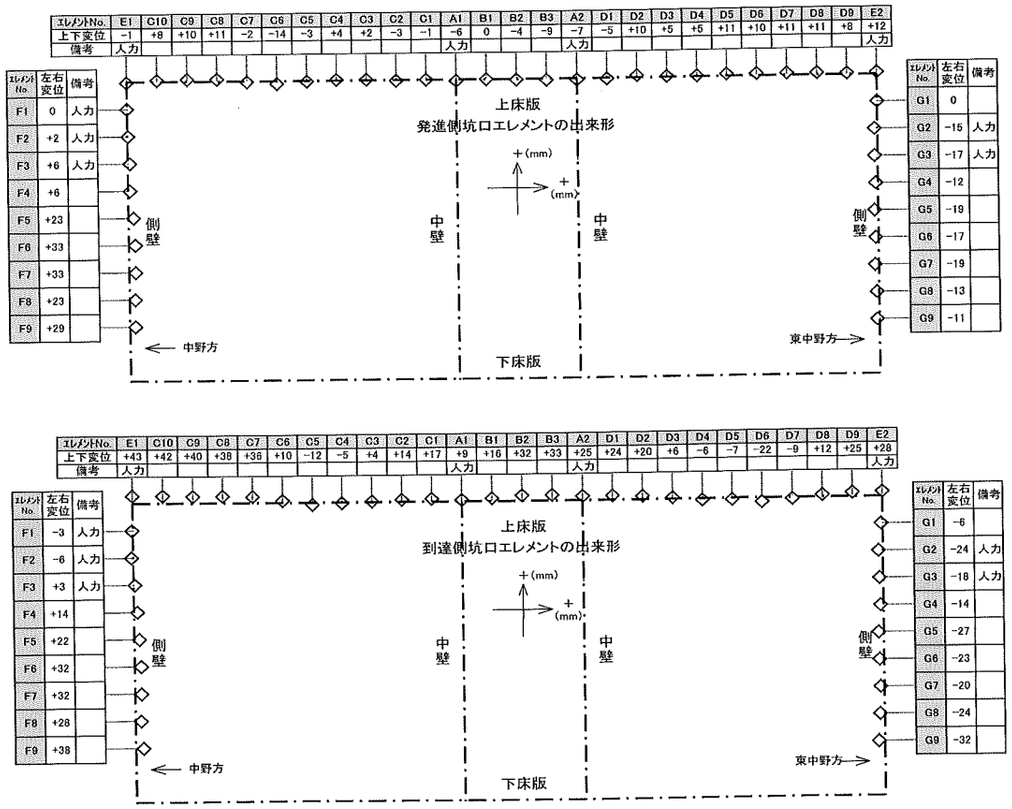


図-18 発進，到達でのエレメント変位量

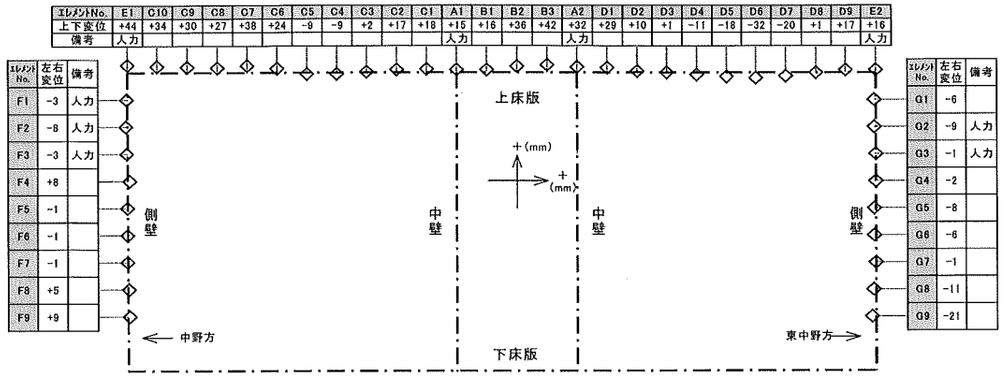


図-19 けん引施工精度

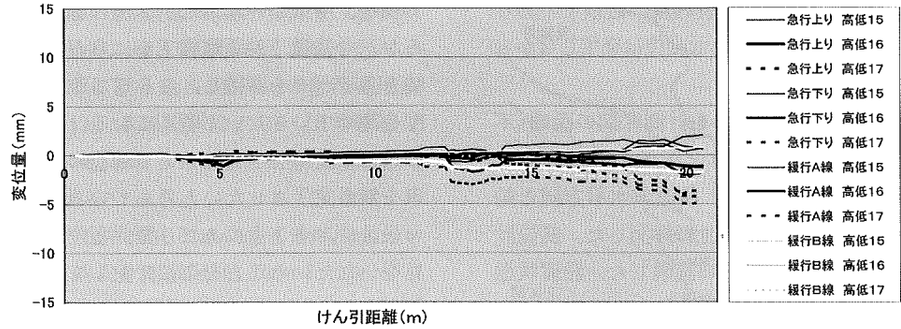
表-6 けん引施工精度

単位(㎜)

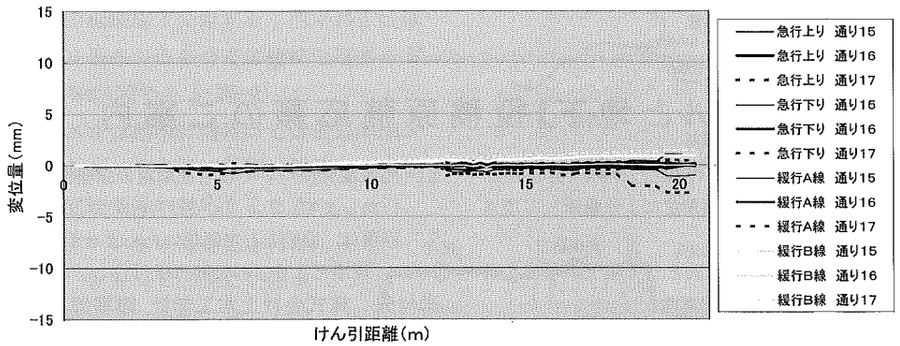
	上下方向	左右方向
最大変位量	42	38
	(No.C10)	(No.F9)
けん引施工精度	42	−21
	(No.B3)	(No.G9)
	0.19%	0.10%



写真-5 リンク軌道沈下計測器設置状況



(1) B2エレメント(高低)



(2) B2エレメント(通り)

図-20 軌道変位計測結果

上床版エレメント完了後の計画断面に対する対象エレメントの出来形計測結果を**図-18**に示す．変位量の表の表示は，設計値に対して上および右方向への変位を＋，下および左方向を－としてmm単位で表している．

次に発進坑口を基準としたけん引施工精度を**図-19**に示す．図の値は，発進坑口の変位量から到達坑口の変位量を差し引いたものである．

エレメントの出来形計測結果から，最大変位量とけん引施工精度を**表-6**に示した．対象エレメントの施工延長(けん引延長)は22.0 mであり，上下，左右方向ともに施工基準である0.2%以下であった．

8-2　軌道面への影響

東中野工事における実施工について，上床版エレメントけん引掘進時の軌道面の計測結果を**図-20**に示す．いずれの結果も発生した変位量は，従来の掘削機械による施工と同様に5 mm以内であり，7 mmの管理値を満足して施工が完了した．このことにより，軌道面の影響は管理基準値以下であり，列車運行に支障を与えるような変位は発生しなかった．

計測は，リンク型変位計を計測区間の両端(不動点あるいは基準点)間にリングパイプ(中間ロッド)を介して複数個接続し，軌道の水平方向と鉛直方向の変位を連続的に線上に計測した．変位計は，固定治具を用いて枕木に設置した．設置状況を**写真-5**に示す．

以上のようにして，施工性試験，実施工の結果から，新たに開発した掘削機械が，自立性の高い地盤におけるけん引掘進能力に優れていること，軌道面に与える影響を従来の掘削機械による施工と同程度に抑制できることを確認した．

9　ま　と　め

今回，首都高速中央環状線の函体施工において，JR中央線を交差する箇所に採用されたHEP＆JES工法の施工について，首都圏では初の礫対応掘削機械を導入し，下記のように効果を確認することができた．

① 450mm幅ユニットベルコンや連続けん引ジャッキなどの採用と併せて，作業全体の施工効率と施工速度の向上が期待できる．

② 機械施工の適用土質を拡大することができる．

③ 施工精度が高く，かつ，軌道面や路面に与える影響は十分に少ないものであった．

現在，中壁の一部分と下床部の施工を残しているが，今後は，長距離施工をにらみながら，引き続き各データを蓄積し，さらなる改良を加え完成度を高めていきたいと考えている．最後まで，列車運行に支障を与えないよう細心の注意を払い工事を無事完了させたいと考えている．

最後に，本工事にあたり関係各位より貴重な意見をいただいたことをここに記して，感謝する次第である．

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

送付先　株式会社土木工学社　編集部　投稿係

〒162-0832東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂

電話 (03) 3267-2888(代)

施工

地下水位下の成田層での止水壁併用NATMと新防水工法

—つくばエクスプレス　南流山トンネル(西平井工区)—

鉄道・運輸機構リニア実験線建設室長　木　村　　宏

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所主任　本　堂　　亮

前田建設工業(株)東北支店盛岡北山トンネル作業所所長　小　松　敏　彦

前田建設工業(株)東北支店盛岡北山トンネル作業所副所長　櫻　井　孝　臣

1　は　じ　め　に

つくばエクスプレス(常磐新線)は，東京都の秋葉原を起点として，埼玉県および千葉県を経て，茨城県つくば市に至る延長約58kmの都市高速鉄道である(**図-1**)．本線開通により，JR常磐線などの混雑緩和が図られるとともに沿線宅地の開発などが期待されている．

このうち，千葉県流山市に位置する南流山トンネルは，起点側より開削区間1,100m，シールド区間655m，NATM区間405mで構成され，開削区間の南流山駅でJR武蔵野線と，またシールド区間で総武流山電鉄線と交差する．西平井工区は南流山トンネルのもっともつくば側に位置する本線唯一のNATM区間である(**図-2**)．

南流山トンネルは都市計画時点では全線開削トンネルであったが，その後，県道，住宅，ライフラインなどの立地条件へ対応するため大半がシールドトンネルに変更された．しかしながら，シールド区間で交差する総武流山電鉄線との用地協議の工程から，つくばエクスプレス全体の工事完成時期に重大な影響を及ぼす可能性

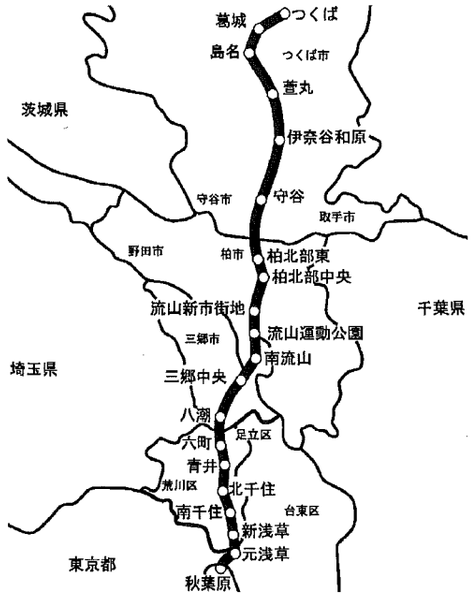


図-1　つくばエクスプレス路線図

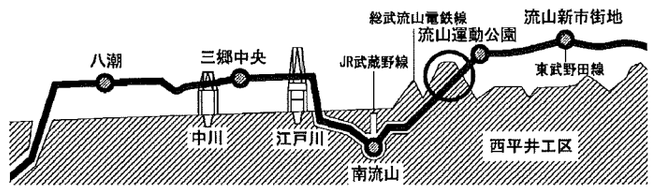


図-2　南流山トンネル(西平井工区)

が懸念されたため，つくば側からの迎え掘りが検討されることとなった．シールド工法では機械の設計製作期間や必要用地の確保が困難なことから，最終的に迎え掘りをNATMで実施することを決定した．

本稿は，トンネル施工時の工程の遅れが事業計画全体の工程に大きく影響を及ぼしかねない中で，過去にトラブルの多い地下水位下の成田砂層をどのように克服し，NATMにより，いかに高品質のウォータータイトトンネルを構築したのか，その経過を報告するものである．

2　地形・地質概要

当地域の地質は，第四紀更新世中期から後期に堆積した成田層(清川層，上岩橋層，木下層)を基盤としており，その上位に湖沼～潟湖堆積物の常総粘土層，立川～武蔵野ローム層が被覆している．また，低地部および台地部を開析した谷部には完新世の未固結堆積物である礫，砂，粘性土からなる沖積層が分布している(**図-3**)．トンネル周辺を構成する主な地質は，成田層(Ds3，Dc3，Ds4)と沖積粘土層(Ac)である．また，地下水位は高く，おおむねトンネル天端より上方２～３mに位置している．主な地盤の代表的な物性値を**表-1**に示す．

表-1　地盤物性値

	Ds3	Dc3	Ds4	Ac
湿潤密度 ρ_t(kN/m³)	20.7	15.9	19.0	17.1
自然含水比 W_n(%)	22.7	64.5	21.3	50.1
間隙比 e	0.73	1.84	0.73	1.36
細粒分含有率(%)	10	65	3	64
均等係数 U_c	3.0	—	2.1	—
N　値	5～30	15～30	30～50	0～2

3　工事概要

南流山トンネル(西平井工区)は起点側より到達立坑(L＝12m)，複線馬蹄形トンネル(L＝361m)，発進立坑(L＝32m)からなる工区である．到達立坑はNATMとシールドの接合部となり，変電所の立坑として利用される．工事概要を**表-2**に示す．

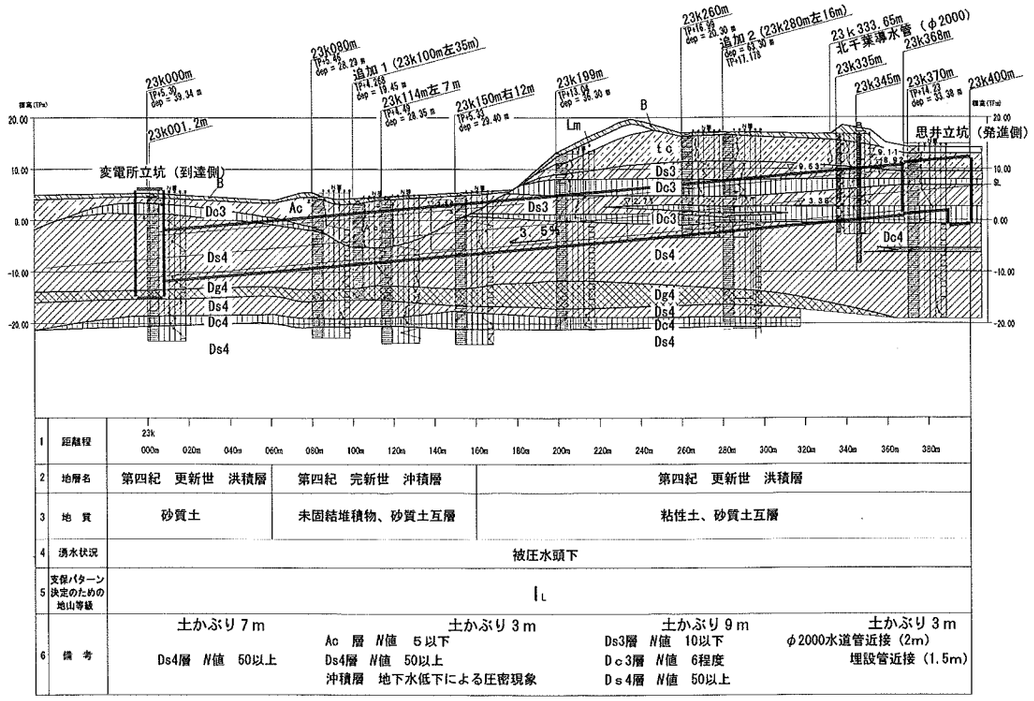


図-3　地質縦断図

本工事では主に以下のような技術的問題点があった．

- 本トンネル発進箇所に位置する流山市道との交差部には，トンネル天端直上約２mの離隔で北千葉広域水道導水管(φ２m)が約45°で斜交しており，沈下抑制が必要となる．
- 地山は主に砂分95%以上で，均等係数が２前後の成田砂層であり，流砂が発生しやすいものである．地下水位はトンネル天端より高い位置にあり，成田砂層において，このような被圧下では，開削やシールドトンネルにおいて，施工時にパイピングなどによる大規模な事故例も多く発生しており，地下水位低下を行わない状態でのNATMの施工事例はない．
- 地下水位低下により沖積層が分布する周辺地山が大きく沈下することが予想され，沖積低地ではトンネル本線部に隣接する総武流山電鉄線や民家が存在するため，地下水位の低下が許されない．
- 土かぶりは全般的に小さく，最大９m，最小２mで，５m以下がトンネル延長の半分以上を占めており，小土かぶり土砂地山として十分な切羽および天端の安定対策が必要となる．
- 防水型(ウォータータイト)トンネルの防水性能については，これまで満足に確保できた施工事例がなく，完成後周辺環境への影響，漏水，導水の補修費や維持管理費などの増大を招いている．

表-2　工事概要

工事件名	常新，南流山T(西平井)他工事
工事場所	千葉県流山市鰭ヶ崎～西平井～思井
発注者	日本鉄道建設公団関東支社
施工者	前田・白石・伊藤共同企業体
トンネル延長	361m
掘削断面積	79m²
縦断勾配	0.035
掘削工法	ミニベンチカット工法(NATM)
掘削方式	機械
ずりだし方式	タイヤ

以上の条件から，NATMの適用には適切な補強工の併用を十分に検討する必要があった．また，前述のとおり当工事がつくばエクスプレスの事業計画の全体工程に大きく影響する可能性があることから，工期の厳守が最重点課題であった．そのためには設計段階でコスト面を考慮し，合理性を確保しつつ施工時の安全率をいかに高めるか(欠陥のでにくい信頼性の高い方法)，施工段階で品質を確保し(トンネル掘削前の品質確認ができる方法)，それを確認することができるかが重要であった．

4　設　計

地山等級はI_Lであり，過去の成田層の掘削実績などを参考にして，支保パターンを決定した．断面図を**図-4**に示す．

前述のように，当トンネルでは施工中のトラブルによる工程の遅れが事業計画全体の工程に影響を及ぼしかねないことを念頭において，対策工および施工方法を検討する必要があった．

当トンネルで主として出現する成田砂層は，細

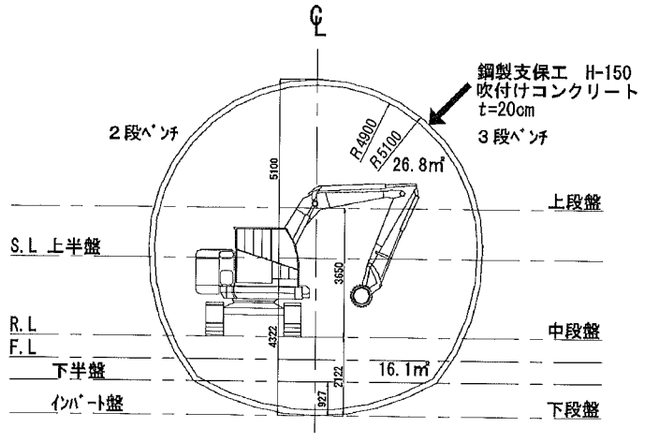


図-4　断面図

砂が主体であり，均等係数が小さく，細粒分含有率が低いことから，流砂が懸念される地山である．この成田砂層については地下水位以深での掘削において，過去にパイピングや地山崩壊などのトラブル事例が多く報告されており，はがき１枚の厚さのわずかな欠陥からもパイピングが生じ大規模な崩壊に至った例もある．

地下水位低下が許されない上記のような地山条件下では，一般的にトンネル周辺地山への薬液注入により難透水領域を形成する，いわゆる止水工法が用いられることになる．しかしながら，上部成田砂層中にはシーム状のシルトが多く存在しており，本工法ではこのような層境などに部分的な欠損が生じやすく，事前にトンネル掘削時の止水性の確認が難しく，万が一欠陥がある場合，掘削時のパイピングを起因とする周辺地山の陥没などが懸念されることとなる(図-5)．当工事においてこのようなトラブルの発生は，沖積低地のトンネル本線部に隣接する総武流山電鉄線や民家に大きな影響を与えることになるとともに，工事の遅延を招き，事業計画全体への影響も懸念されることとなる．したがって，このようなトラブルを確実に防止することが求められた．

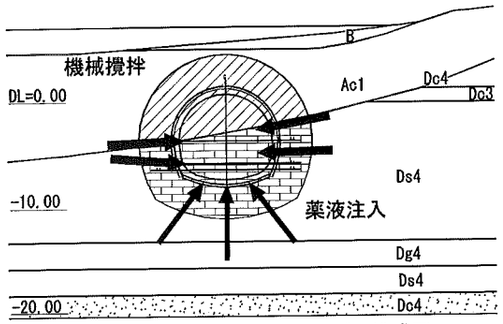


図-5　注入工法におけるトラブル模式図

一方，止水壁と底盤注入により，限定的に地下水位を低下する，いわゆる釜場工法は，トンネル両側に遮水壁を設け，トンネル底盤部に薬液注入による難透水領域を造成することで，トンネルを取り囲む釜場を構築し，釜場排水によりトンネルインバート位置までの水位低下を確認してからトンネル掘削を行う方法である．本工法は，釜場の品質確認がトンネル掘削前に実施でき，確実な水位低下が可能になることから，採用を決定した(図-6)．底盤の止水については当初，不透水層(Dc4層)へ止水壁を貫入させることも検討されたが，Dc4層の連続性が確認できないことから，薬液注入による底盤改良を実施することとなった．また，低地部のDs4層下部には透水性の高いDg4層が存在しており，地下水流動による底盤改良部への悪影響が懸念されたが，止水壁をDg4層以深へ延長することで地下水の流れを遮断することとした．なお，止水壁の築造には平地部ではSMW

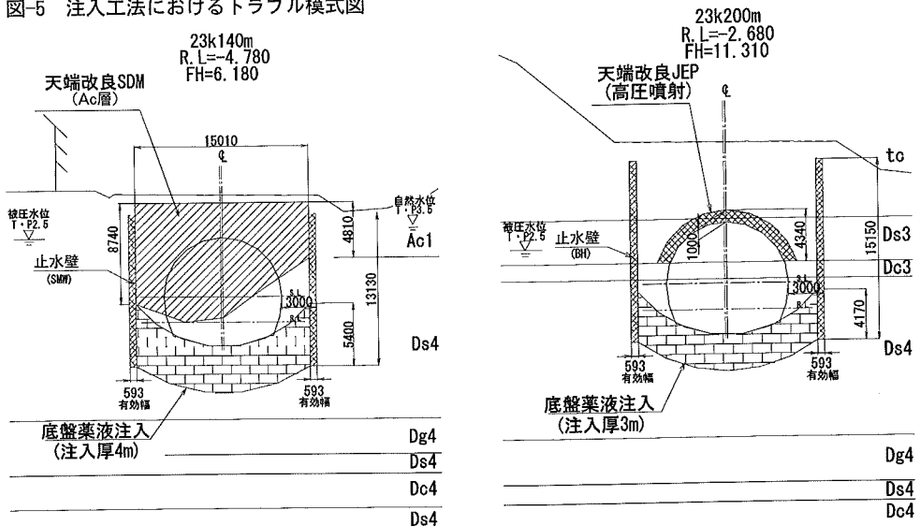


図-6　補助工法一般図

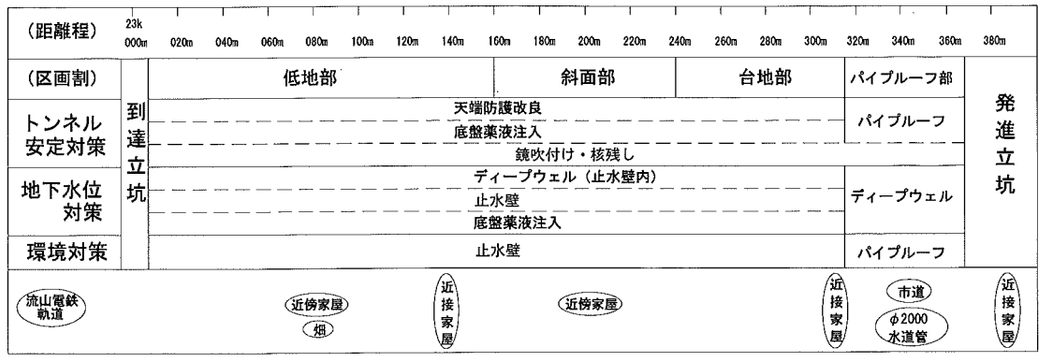


図-7　補助工法縦断図

工法，斜面部ではBH工法を採用した(図-7)．

止水壁の構造については，FEM解析により壁内の応力度が許容引張応力度以内となることから，補強材なしのソイルセメント壁とした．また，底盤改良厚についてはトンネル未閉合区間を対象とした盤膨れおよび改良部材の応力度検討により決定した．

トンネル掘削時の天端防護については，土かぶり，地質性状に応じて，適切な工法を検討，選定することとした．流山市道との交差部には，パイプルーフ工法を，台地部および斜面部には高圧噴射撹拌工法(コラムジェット，JEP)を，低地部には沖積粘土部で高圧噴射併用型機械撹拌工法(SDM)，砂層を含む沖積粘土部で機械撹拌工法(CDM-LODIC)を採用した．

5　施　　工

5-1　掘削方法

パイプルーフ施工区間を除く距離程23k007～315m間に薬液注入による隔壁を設置することにより，釜場を８ブロック(１ブロック40m)に分割して構築した(図-8)．その後，トンネル進行前に各ブロックの品質(止水性)を確認して，その結果によりトンネル掘進の可否を決定することとした．止水性の確認は，釜場のみかけの透水係数を１×10^{-6}cm/sと設定し，ゾーン内のディープウェルによる揚水を実施し，止水壁内外の水位観測用井戸での水位計測により，インバート面までの地下水位低下を確認した後，復水試験により各ゾーンで期待できる復水速度を把握するものである．なお23k160mの隔壁は，斜面部のり尻部であるため，台地・斜面部からの地下水，降雨水などの進入を極力防止するためにSMWにより造成することとした．

低地部の 4BLでの揚水試験結果より，当ブロックの止水性に不具合があることがわかった．これよりブロック内外の揚水による止水不良箇所の特定と補強注入を実施し，所定の品質を確保できたことを確認後，掘削に入った．

当トンネルにおいて，切羽面からインバート支保工による閉合位置までの開放ゾーンは，あたかも立坑掘削の底盤への到達状況に類似しており，インバート閉合が底盤コンクリート打設を意味するものであるといえる．つまり，ここでトンネル

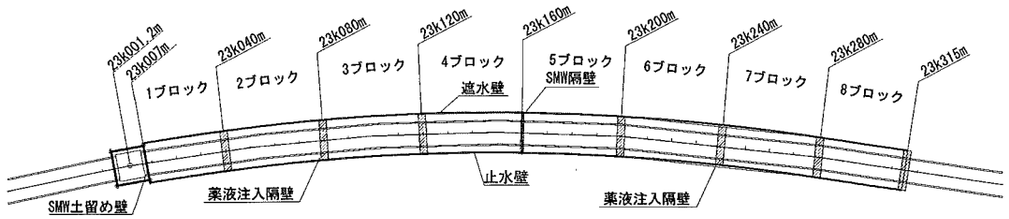
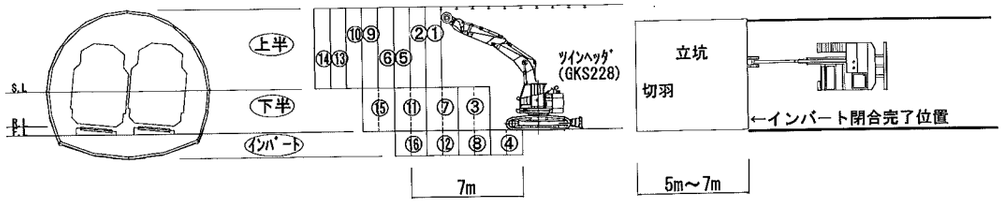


図-8　止水壁内ブロック割り平面図



断面図　縦断図　平面図

図-9　掘削順序図

掘進とはトンネル掘削幅と切羽面から閉合位置までの距離を長辺，短辺とする矩形立坑の底盤が掘進とともに進行方向に移動していくものと考えることができる．したがってインバートの閉合が遅れることは立坑の規模を大きくすることであり，パイピングや盤膨れなどのトラブル発生リスクが増大することを意味することになる．このことより当トンネルでは，トンネルの安定のみならず，施工トラブルのリスク低減にもインバートの早期閉合が重要な役割を果たすと考え，これを実施することとした．早期閉合のために上下半の切羽を接近させることは，地山の開放面を１か所に集中することになるため，切羽が不安定になることが懸念されたが，地表から実施した底盤注入の注入孔をセメントミルクで埋め戻して地山補強に役立てるとともに，天端防護工の効果も期待できることもあり，実際の地山の自立状況により加背高さとベンチを変更し，基本的には切羽から閉合までを５～７ｍで管理した(**図-9**)．

5-2　表面平滑型防水シート展張り工法の施工

本トンネルはウォータータイト構造で計画されているが，過去においてNATMでウォータータイト構造を完全に成功させた事例はきわめて少なく，供用開始後も地下水位の復元が計画どおりに進まず環境への影響に苦労している事例が多いのが現状である．当工事のような都市トンネルにおける漏水は，都市環境の保全面ばかりでなく，排水費用として直接維持管理コストを上昇させる要因となることから確実な防水構造の構築が必要となる．

従来工法では，漏水を防止するため，吹付けコンクリートの表面にコンクリート釘などを使って防水シートを張り付ける方法を採用している．また，支保部材として鋼製支保工やロックボルトを用いることから，吹付けコンクリートの仕上がり面には突起や凹凸が生じやすく，防水シートを取り付ける際には，変形追従性を考慮した適切な余裕が必要となる．しかし，その凹凸の状況は部位により差があるため，すべての状況に対して最適な張り具合への明確な基準の提示が困難であるのが現状であり，次のような問題点が挙げられる．

① 覆工打設時に防水シートに引張りやたわみが生じ，コンクリートの充填を妨げる．
② 覆工コンクリート背面の拘束低減効果にばらつきが生じ，覆工コンクリートにひび割れが入りやすい．
③ 鉄筋の組立作業において鉄筋の端部で防水シートを破損しやすく，また見逃しやすい．
④ 破損箇所の背面に水圧が作用した場合，防水シートと覆工の境界面に水みちが発生し，広範囲の漏水を招く．

今回開発・採用した表面平滑型防水シート展張り工法[1),2)]は，従来のように防水シートを凹凸のある吹付けコンクリートに直接張り付けるのではなく，簡易セントルのような防水シート展張り台車を用いて設計位置に防水シートをあらかじめ設置し，防水シートと吹付けコンクリート間にできる間隙へ，充填材を注入打設することにより防水シートは設計位置に設置され，かつ，滑らかなトンネル形状に仕上がる．(**図-10**)

これより先に述べた従来工法での防水工の問題点を，以下のように解決できる．

① 防水シートの展張りが吹付けコンクリートの凹凸に影響されず，たるみや余分な張力が生じず，均一に展張りできる．
② 覆工コンクリートの巻き厚が一定となり，巻き厚不足がなくなる．
③ ロックボルト頭部などの吹付けコンクリート面の突起物が防水シートに触れないため，防水シートの破損が少なくなる．
④ 覆工コンクリートの充填の妨げが少なく，覆工コンクリートと防水シートが密着した構造となる．

施工サイクルは，従来工法と大きく変わらない．従来，防水シートの張り付けは防水シート台車を用いて，人力で吹付けコンクリートへの打ち釘により点で布設していたが，本工法では，トンネル形状の型枠台車に防水シートを配置し，裏込め注入することで面での布設が可能になる(**図-11**)．

実際の施工では，型枠台車の延長に合わせた幅の広い(ロングスパン：幅６ｍ)防水シートを工場で加工して用いる．設置場所に運搬した１スパン分の防水シートを，一度に防水シート展張り台車の外周に沿って，ウィンチとロープ・吊り金具によってセントル上に展張りする．防水シートを台車の所定の位置にセットして固定した後，防水シートと吹付けコンクリートとの空隙に裏込め充填材を注入打設して，12時間以上の養生を行って脱型する．その後，鉄筋を組み立て，覆工コンクリートを打設する．

本トンネルでは，防水シートとして多くの実績をもつEVA樹脂を特殊加工し，セメントとイオン反応して接着する防水シートを用いた．これにより，防水シートと覆工コンクリート界面の水みちをなくし，より確実な防水が可能となる．なお，この特殊加工シートは，張り付け面の凹凸が大きな場合には追従できないため，従来の吹付けコンクリートに直接張り付ける方法には適用できず，滑らかなトンネル形状に展張りすることを可能とした本工法を用いることにより，NATMで初めて使用が可能となった．

防水シートと吹付けコンクリートとの間に注入する充填材は，シールドトンネルで用いられる裏込め充填材を改良して用いた．採用した充填材の配合を**表-3**に示す．充填材の製造・圧送プラントは，トンネル坑外に設置し，最大450mを圧送した．この充填材は1.5ショットのもので，坑外から固化材スラリーA液と急結剤(珪酸ソーダ)B液をそれぞれ圧送し，注入箇所の直前でA液とB液を合流・混合し，左右の側壁上部，肩部と天端の

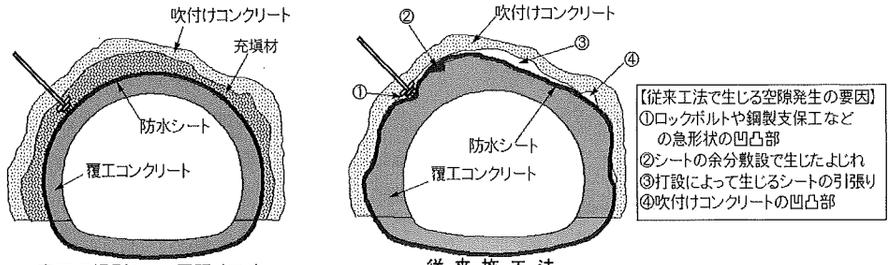


図-10　表面平滑型シート展張り工法と従来工法の構造比較

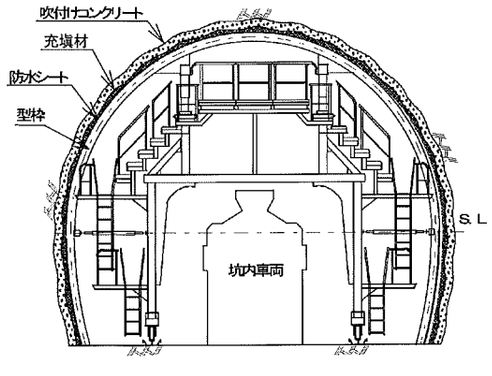


図-11　防水シート型枠台車

表-3　充填材の配合

A 液（1 m³）				B 液
固化材	助　剤	安定剤	水	急結剤
400kg	30kg	5 ℓ	854 ℓ	144 ℓ

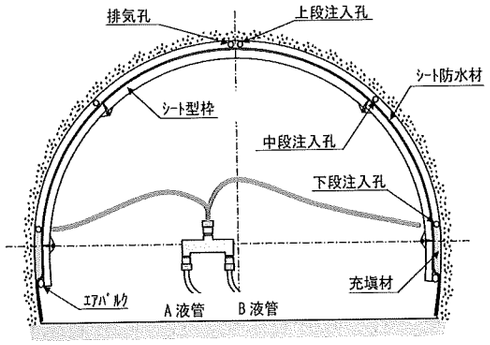
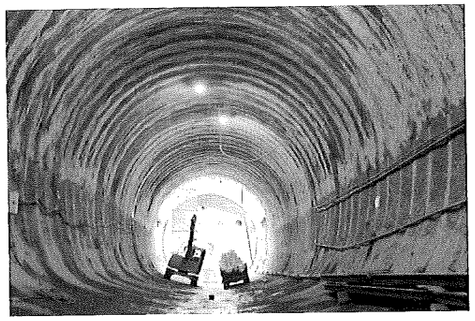
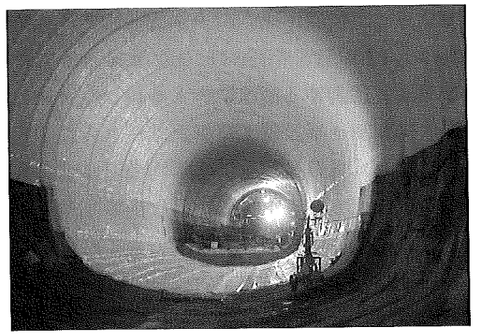


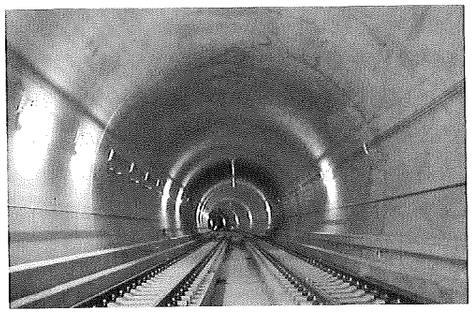
図-12　充填材の注入要領



（1）　掘削完了状況



（2）　防水シート展張り完了



（3）　覆工完成(水位復元後)

写真-1　トンネル完成図

5か所にあらかじめ挿入しておいた塩ビ管を用いて下部から順番に注入した(図-12).

各段階でのトンネル完成図を写真-1に示す.

西平井トンネルで本工法を採用した結果，以下のことが確認できた.

（1）　確実な防水構造による品質の確保

吹付けコンクリートと防水シートを間隙充填材を通じて確実に密着させ，防水シートをトンネル形状に円滑に設置することができた．さらに，覆工コンクリートの打設完了後の復水において，トンネル本体からの漏水はほとんどなく，完全に近い止水が実現できた．加えて，ひび割れの発生を低減することができ，耐久性を向上することができた.

（2）　安全性の向上

2.2m幅の防水シートを工場で6m幅に溶着加工し，防水シートの端部をつかみ治具で固定してウィンチを用い，従来人力で実施していた防水シートの展張りを機械化することで，安全性が向上した．同時に不安定なトンネル内での防水シートの溶着回数が半減するため，信頼性が向上した.

（3）　目標工期の確保

機械化および最適な充填材仕様の採用により，6mスパンでの施工を1日サイクルで施工することができ，1日あたりの掘進長以上の施工サイクルを確保した.

さらにコストについて述べることとする．吹付けコンクリートの施工後，覆工コンクリートを打設するまでに，防水シートを設置する作業は，従来工法でも必要であり，新たな工種の追加はない．また，吹付けコンクリートと防水シートの間隙に注入打設する充填材の占有範囲は，従来は覆工コンクリートを打設していた部分にあたり，その代替えとなっただけである．そのほかには特別な材料は必要としない.

ただし，通常工法に比較して，防水シート台車の改造費および注入打設のための労務費が新たに必要であり，この分の直接工事費は増大したが，従来工法では必要であった覆工完成後の漏水補修費用を削減できた．この覆工完成後の漏水補修費

用(過去の事例をもとに算定)を見込み，両者の工事費を比較した場合，1割程度のコストダウンが可能となる．さらに，供用開始後の維持管理費まで含めて比較した場合，漏水がなくひび割れも低減されることから，従来工法に対して大幅にコストを低減できる見込みである．また今後，施工の効率化を図ることなどで，更に工事費を低減できる見通しを得ている.

6　観察および計測

台地部では粘性土が切羽の大部分を占め，低地部側へ行くにしたがい砂質土の占める割合が多くなっているのがわかる(図-13)．調査時とほぼ同様な地質状態であったといえるが，23k100m付近において砂層の中に粘性土がかなり介在している．また全体的に粘土・砂が薄く重なり合う互層箇所が部分的ではあるが多数存在し，このような箇所では注入材が層境で脈状に現れ，その層境から湧水が認められた．このことは，事前検討時に懸念された底盤薬液注入の改良阻害要因となることが裏付けられたといえる.

図-14は低地部の代表的な切羽写真である．SDMおよびCDM-LODICによる沖積粘性土層，砂層での改良体の造成状況が確認できる.

図-15は地表面沈下縦断図であり，表中にある各管理値は事前予測として行ったFEM解析結果のそれぞれ50，100，150%の値を採用している．地表面沈下量はすべての測定値において一次管理値以内に収まり安定していた．このことは各補助工法(パイプルーフ，地盤改良)が効果的であったことを意味している．23k205m，23k160mの沈下量が他測点に比較して大きいが，この付近は土かぶりや地層が大きく変化し，地形上雨水の浸透も受けやすい位置であった．また台地部と低地部の境界付近であり，天端改良の工法変化点でもあるため，改良体の剛性が大きく異なる位置でもある．さらに，一部産廃土が存在しており，均一な改良が困難な範囲でもあった．全体を見ると，台地・斜面部(5～8BL)に比べて低地部(1～4BL)では最終地表面沈下量が小さくなっている.

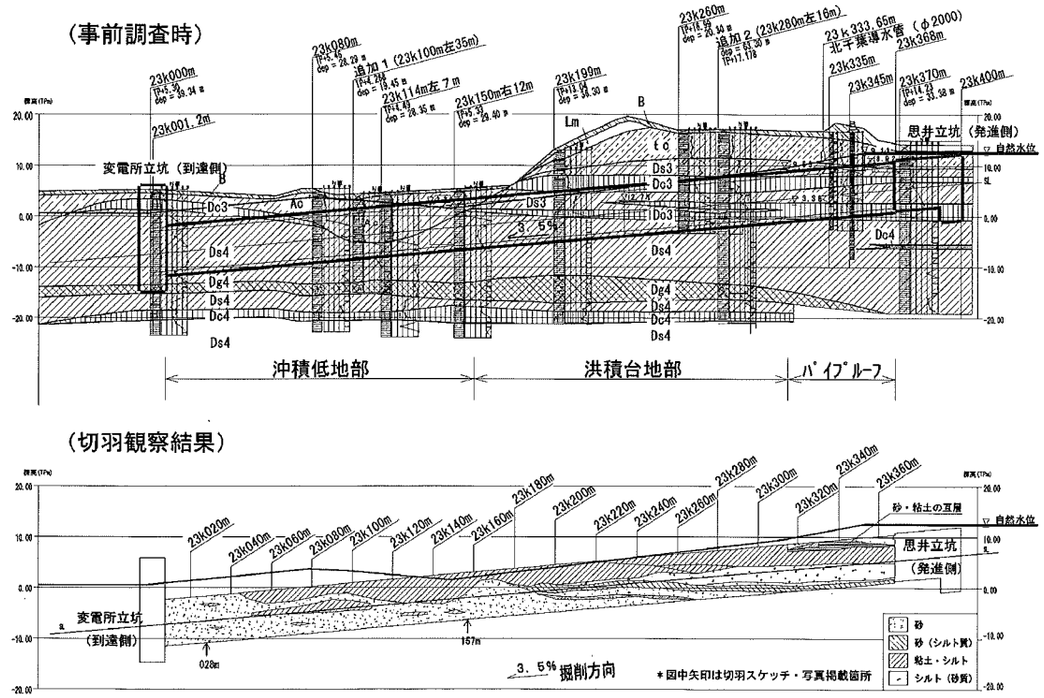
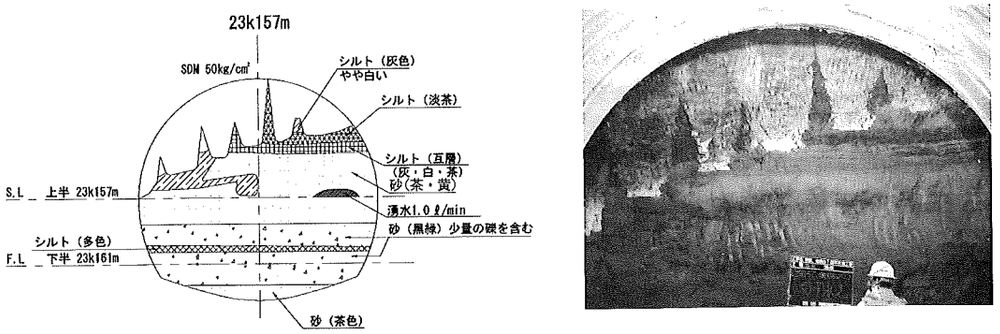
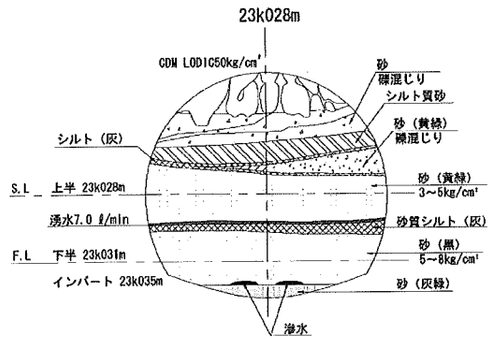
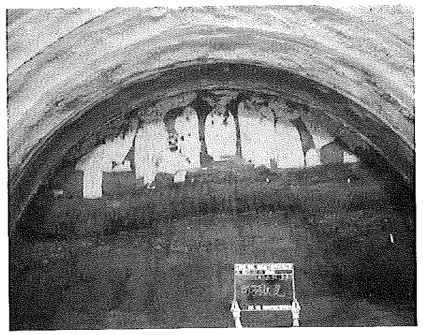


図-13　トンネル観察地質縦断図



（1） SDMによる改良部





（2） CDM-LODICによる改良部

図-14　低地部切羽状況

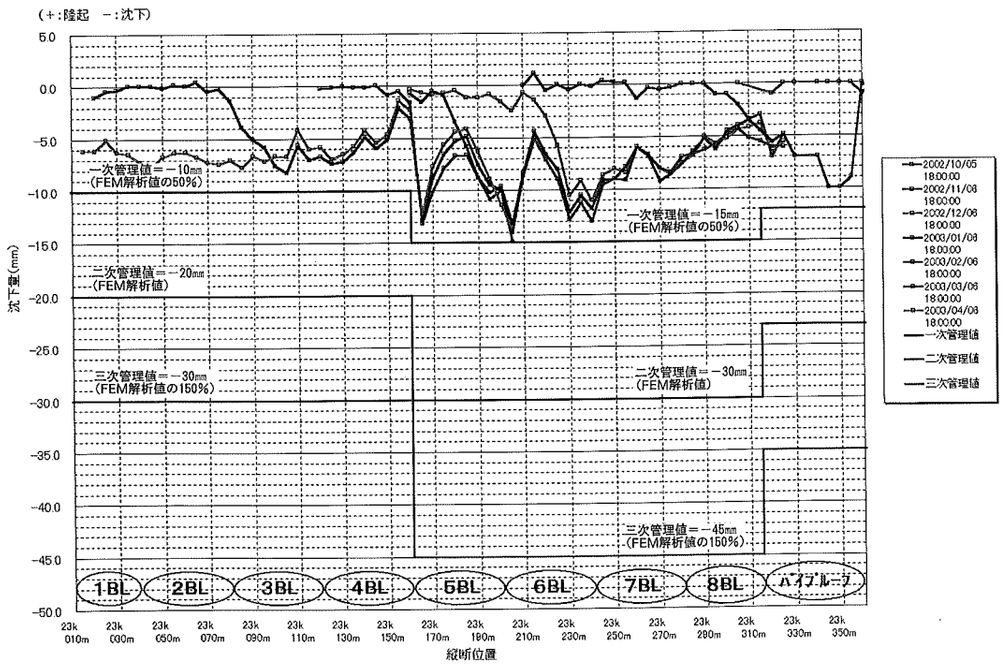


図-15　地表沈下縦断図

7 おわりに

トンネル施工の遅れが事業計画全体の工程に影響を及ぼしかねない中で，被圧地下水位下の成田砂層に対し，止水壁併用NATMの採用，止水構造の事前確認，早期閉合などの地下水への綿密な対応を図り，安定したトンネル掘削を実現し，シールドの到達前にNATMの掘削を完了でき，迎え掘り工区の役割を全うできた．

本トンネルで実用化した表面平滑型防水シート展張り工法は，山岳トンネルの防水性を向上させ，高品質の覆工コンクリートの施工を実現させ，山岳トンネルの長寿命化に対して従来工法が抱える構造上の欠点を根本から改善するものである．また，この工法により，都市部における完全防水型トンネルの実現も可能になると考えられる．近年，構造物のライフサイクルコストに関心が高まる中で，この工法はトンネルの長寿命化を図るとともに，ライフサイクルコストの削減が可能となることから，時代の要請に大きく寄与するものと考える．

また，本工事で採用した補助工法は，課された制約条件の厳しさに対応したものであり，一般的なものではないが，都市部の困難な条件でのトンネル施工が増えつつある中で，今後同様なトンネルの設計・施工に対して，本工法と管理方法が参考になれば幸いである．

参考文献

1) 小松・中村・赤坂・黒木：山岳トンネル工法における止水技術の提案，第13回トンネル工学研究発表，2003.
2) 小松・中村・赤坂・黒木：山岳工法（NATM）によるウォータータイトトンネルの高度な防水構造の提案，第11回地下空間シンポジウム，2003.

【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

現場だより
平成18(2006)年

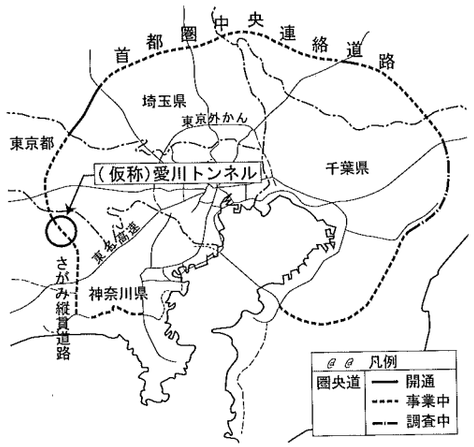
「最新工業団地とゆたかな自然」ふるさと愛川より

水　越　史　郎

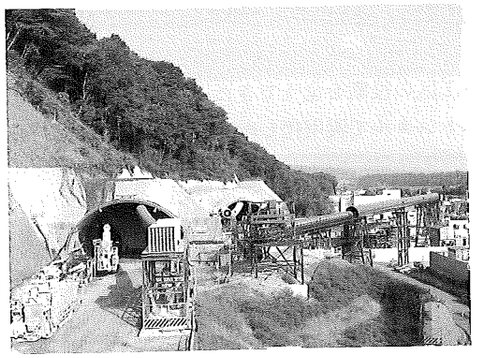
神奈川県の北部に位置する愛川町は，その中央を流れる中津川によってもたらされる豊かな自然に囲まれ，一方では234ヘクタールもの広大な規模の神奈川県内陸工業団地が展開する．まさに最新の技術，流通の拠点とみどり豊かな大自然に包まれたふるさとである．

昨年末，町長さんとお会いする機会があり，「『愛』という字の付く町名は素敵ですね．でも町の中に中津川と相模川はありますが愛川という川はありませんが？』とお尋ねしたところ，「『愛』で始まる町名はいいだろう．なんとなくうれしくなるよね．合併騒ぎでさらに少なくなるんだ(2005年10月調べで北海道愛別町，愛知県愛西市，愛媛県愛南町，長崎県愛野町，そして愛川町)．愛川の名は「鮎の川」，鮎川から愛川になったんだ(釣りの好きな方は中津川が鮎釣りで有名なのはご存知だろう)．」という説を伺った．

その愛川町も昔は，信濃(長野)や甲斐(山梨)から鎌倉に向かう古街道であった．永禄12(1569)年10月６日，小田原の北条氏を攻めあぐねた武田信玄の甲州への帰路，それを待ち伏せし奇襲せんとする小田原城後詰めの北条軍は，三増(みませ)山中(愛川町北部)に軍を隠して待った．待ち伏せを察知した武田勢は北条軍に先に攻撃をしかけ大山岳戦のすえこれを破った．これが三増合戦として武田戦記にも登場する激戦である．



位　置　図


坑口施工状況

時代は昭和へ．当時は中津村と呼ばれ中津川と相模川に挟まれた中津台地は一面の桑畑であった．その地に昭和15年，陸軍相模飛行場(通称中津飛行場)の建設が始まり，昭和16年飛行学校が開校，中津台地の空を２枚羽の練習機が舞うようになった．やがて戦局の悪化に伴い昭和19年には日本でもっとも高性能な戦闘機といわれた４式戦闘機「疾風(はやて)」の基地となり，ここから戦地へ派遣されたと言う．その後この広大な飛行場跡地は自然と調和した最新工業団地へと変遷した．

さて，さがみ縦貫道路は首都圏中央連絡自動車道の神奈川県区間を南北につなぐ新たな骨格として早期の完成が望まれている．神奈川県の北側区間に位置する愛川トンネル(仮称)は全長2,700m，上り線，下り線の２本を施工するもので(その１工事は南側坑口から約900mの施工)，切羽は上半部に相模川の段丘砂礫層，下半部には固結度良好な泥岩層，とはっきりとした層境が徐々に上昇する地層である．また，土かぶり40～50mで民家の下を掘削するため補助工法として長尺鋼管フォアパイリングを採用した．ずりの搬出にベルトコンベヤを使用するなど，CO_2削減，坑内外の騒音，粉塵の低減といった環境に配慮しながらの施工を進めている．今後も，地元の方々のご協力をいただき，JV職員一丸となって環境にやさしく，かつ安全で快適な工事を目指している．

(西松・五洋特定建設工事共同企業体愛川トンネル出張所所長)

研　究

SMW芯材を本体利用した立坑設計と計測

東京電力(株)工務部送変電建設センター土木グループ　内　藤　幸　弘
東京電力(株)工務部送変電建設センター管路整備グループ課長　須　田　嘉　彦
東電設計(株)第二土木本部公共施設部課長代理　井　出　周　治

1　はじめに

近年の地下連続壁を土留め壁に用いた工事においては，構造物の内空スペースの確保，本設構造物の合理化を目的として，土留め壁を本体に利用した実績が数多くある．

一方，SMW工法などのH形鋼を芯材とする土留め工法は，床付け深さ20～30m程度の掘削工事の土留め壁として数多くの実績があるが，この土留め壁の本体利用については，標準的な設計法が確立されておらず，適用実績がなかった．

そこで種々の検討および実験を行い，H形鋼を鉄筋コンクリート壁(以下，RC壁という)と一体化させる本体利用工法の標準的な設計手法を確立し，本工法を推進管路工事(φ1,200㎜)の発進立坑へ適用した．施工管理にあたっては，計測を実施して安全の確保および品質確認を行った．また，この計測値と設計値の比較検討を行い，実構造物における設計の妥当性についても検証した．

2　本工法の概要

H形鋼を芯材とする土留め壁を本体利用する場合，この部材は側壁となるが，この概念図を**図-1**に，平面図を**図-2**に示す．この側壁は，H形鋼とRC壁を，シアコネクタを用いて一体化を図った合成壁(以下，一体壁という)である．この一体壁の接合部材であるシアコネクタには，**写真-1**に示す頭付きスタッドを用いる．

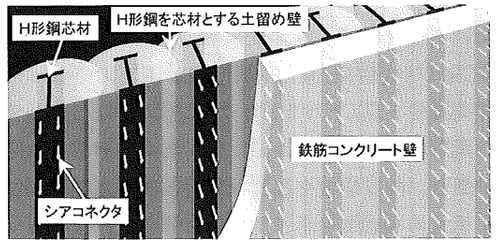


図-1　H形鋼芯材の本体利用概念図

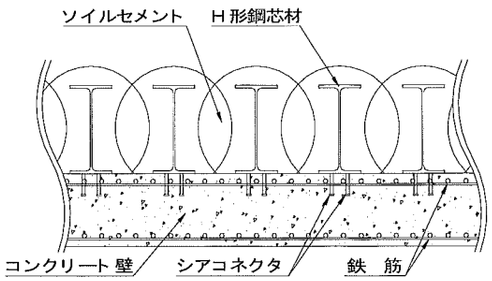
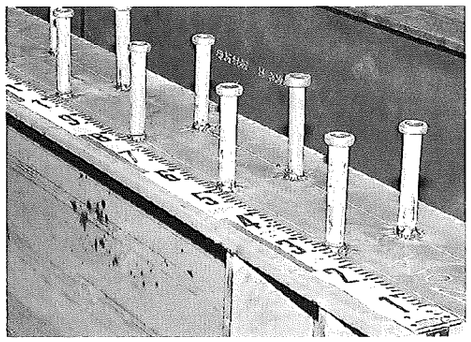


図-2　一体壁の平面図


写真-1　シアコネクタ(頭付きスタッド)

3　設計方法の概要

H形鋼芯材を本体利用する場合の一体壁設計においては，その部材の特性から以下の特徴がある．

（1）　載荷方向による一体壁の曲げ剛性の相違

一体壁は，土留め壁であるH形鋼芯材の内側にRC壁が打設されることから，常に外側にH形鋼，内側にRC壁という位置関係となる．RC壁の曲げ剛性は，圧縮状態と引張状態で大きく異なることから，一体壁の曲げ剛性も曲げられる方向によって大きく異なることになる．**図-3**に示すように，地中構造物の隅角部においてはRC壁が圧縮力を受け，H形鋼が引張力を受ける載荷モード（以下，モード①という）となる．逆に側壁中央部では，RC壁が引張力を受け，H形鋼が圧縮力を受ける載荷モード（以下，モード②という）となる．前者は両部材の利点を生かしたもっとも効率的な状態であり，曲げ剛性も高くなるが，後者は曲げ剛性が低く，場合によってはRC壁が全引張状態となり，貫通クラックを伴うことが考えられる．本設計法では，この側壁中央部のRC壁引張（H形鋼圧縮）モードの一体壁の曲げ剛性を，RC壁のコンクリートを無視し，H形鋼と鉄筋の曲げ剛性で評価することとしている．また，RC壁が全引張状態となる場合には，状況に応じて漏水対策などの対応が必要となる．

（2）　一体壁の曲げ剛性

一体壁に土水圧などが作用して曲げモーメントが発生すると，H形鋼とRC壁の接合部には互いにずれようとするせん断力が発生する．このせん断力に対してはシアコネクタが抵抗し，シアコネクタ量が多く，抵抗するせん断剛性が高ければ，接合部にはずれが発生せず完全合成状態となる．逆にシアコネクタ量が少なく，せん断剛性が低い場合は，重ね壁の状態に近づく．不完全合成状態は，この完全合成と重ね壁の間の状態である．本設計法は，山本の「不完全合成桁の曲げ理論」式[1]を準用し，任意のシアコネクタ量における不完全合成状態への対応を可能としている．

モード①では，H形鋼とRC壁の一体壁が完全合成状態となるためには，多量のシアコネクタあるいはせん断剛性の高い特別なシアコネクタが必要であり，実現困難である．しかし本設計法により任意の不完全合成状態への対応が可能となった

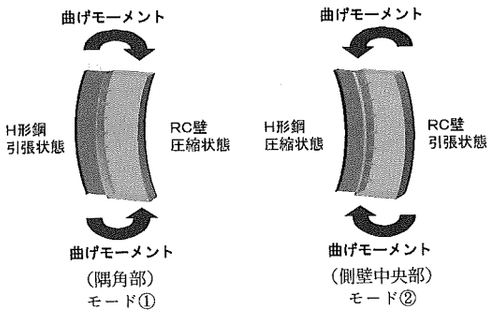


図-3　一体壁の曲げ載荷モード

1. 一体壁の曲げ剛性

$$E_s \cdot J = E_s \cdot J_s + E_c \cdot J_c + E_s \cdot J_a$$

J　：一体壁の断面二次モーメント
J_c　：RC壁の断面二次モーメント
J_s　：H形鋼の断面二次モーメント
J_a　：シアコネクタによる断面二次モーメントの増加量（せん断バネの関数）
E_s：H形鋼のヤング係数
E_c：コンクリートのヤング係数

2. 曲げモーメント

$$M = M_s + M_c + M_a$$

$$M_s = \frac{E_s \cdot J_s}{E_s \cdot J} \cdot M \qquad M_c = \frac{E_c \cdot J_c}{E_s \cdot J} \cdot M$$

$$M_a = N_a \cdot L_s + N_a \cdot L_c$$

M　：一体壁に発生する曲げモーメント
M_s　：H形鋼が負担する曲げモーメント
M_c　：RC壁が負担する曲げモーメント
M_a　：シアコネクタによる剛性増加が負担する曲げモーメント
N_a　：シアコネクタによりH形鋼，RC壁に発生する内部軸力（絶対値）
L_s　：H形鋼図芯から接合面までの距離
L_c　：RC壁図芯から接合面までの距離

3. 軸　力

$$N = N_s + N_c$$

$$N_s = \frac{E_s \cdot A_s}{E_s \cdot A_s + E_c \cdot A_c} \cdot N - N_a$$

$$N_c = \frac{E_c \cdot A_c}{E_s \cdot A_s + E_c \cdot A_c} \cdot N + N_a$$

N　：一体壁に発生する軸力（圧縮を正）
N_s　：H形鋼が負担する軸力
N_c　：RC壁が負担する軸力
A_s　：H形鋼の断面積
A_c　：RC壁の断面積

図-4　モード①（RC壁：圧縮，H形鋼：引張載荷モード）での一体壁設計式の概要

ことで，合理的な一体壁の設計が可能となった．

本設計法は，この不完全合成状態の一体壁の曲げ剛性を，H形鋼およびRC壁の剛性とシアコネクタのせん断バネの関数として表す．また一体壁に発生する断面力を，各々の部材が負担する成分に分配し，部材ごとに許容応力度法で照査する方法である．**図-4**にモード①での曲げ剛性および断面力の分配に関する概略式[2]を示す．

一方，モード②での一体壁の曲げ剛性は，前述のとおりRC壁のコンクリートを無視し，H形鋼と鉄筋の曲げ剛性（配筋位置を考慮）で評価する．鉄筋の曲げ剛性は，H形鋼に比べて非常に小さいことから，この載荷モードでは少量のシアコネクタで容易に完全合成状態となる．荷重レベルが低く，かつシアコネクタ数量も少ない場合には，コンクリートの引張強度を期待すれば，この載荷モードでも不完全剛性状態となる場合も考えられる．しかし，本設計法では差異が小さいこと，安全側の値を導き出すことや簡便性を考慮し，モード②では，すべての条件においてコンクリート剛性を無視した，H形鋼と鉄筋の完全合成体として扱うこととしている．**図-5**にモード②での曲げ剛性および断面力の分配に関する概略式[2]を示す．

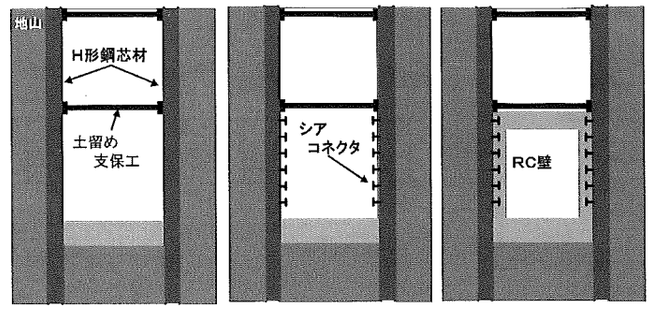


図-6　一体壁構築手順概要図

1. 一体壁の曲げ剛性

$$E_s \cdot J = E_s \left(J_s + J_e + \frac{A_s \times A_e \times L_G^2}{A_s + A_e} \right)$$

J　：一体壁の断面二次モーメント
E_s　：H形鋼および鉄筋のヤング係数
J_s　：H形鋼の断面二次モーメント
J_e　：鉄筋群の断面二次モーメント（位置・断面・数量考慮）
L_G　：H形鋼と鉄筋群の重心間距離
A_s　：H形鋼の断面積
A_e　：鉄筋群の断面積

2. 曲げモーメント

$$M = M_s + M_e + M_a$$

$$M_s = \frac{J_s}{J} \cdot M \qquad M_e = \frac{J_e}{J} \cdot M$$

$$M_a = N_a \cdot L_s + N_a \cdot L_e = \frac{J - J_s - J_e}{J} \cdot M$$

M　：一体壁に発生する曲げモーメント
M_s　：H形鋼が負担する曲げモーメント
M_e　：鉄筋群が負担する曲げモーメント
M_a　：シアコネクタによる剛性増加が負担する曲げモーメント
N_a　：シアコネクタによりH形鋼，鉄筋群に発生する内部軸力（絶対値）
L_s　：H形鋼図芯から接合面までの距離
L_e　：鉄筋群図芯から接合面までの距離

3. 軸　力

$$N = N_s + N_e$$

$$N_s = \frac{A_s}{A_s + A_e} \cdot N + N_a$$

$$N_e = \frac{A_e}{A_s + A_e} \cdot N - N_a$$

N　：一体壁に発生する軸力（圧縮を正）
N_s　：H形鋼が負担する軸力
N_e　：鉄筋群が負担する軸力

図-5　モード②（RC壁：引張，H形鋼：圧縮載荷モード）での一体壁設計式の概要

（3）　仮設時の残留応力度の影響

一体壁の構築手順は**図-6**に示すように，

①　仮設時：H形鋼芯材は掘削に伴う変形および応力が発生
②　RC壁構築前：シアコネクタを設置
③　RC壁構築時：RC壁の打設

が順次上部側へとくり返され，構築が完了する．

この一体壁の構築に伴う応力状態の推移を**図-7**に示す（コンクリートの打設直後から硬化に伴う剛性変化は無視）．仮設時においてH形鋼芯材に発生した応力（単独状態）は，RC壁の構築段階で，支保工撤去などの支点位置の変更に伴う断面力変化を受け（一体壁状態），さらに構築物の完成後に，側圧の長期安定化に伴う応力増加が加わり，最終応力状態となる．このように一体壁に発生する応力は，仮設時の応力（H形鋼）が最終状態まで残留する．このため，仮設時に許容値に近い大きな応

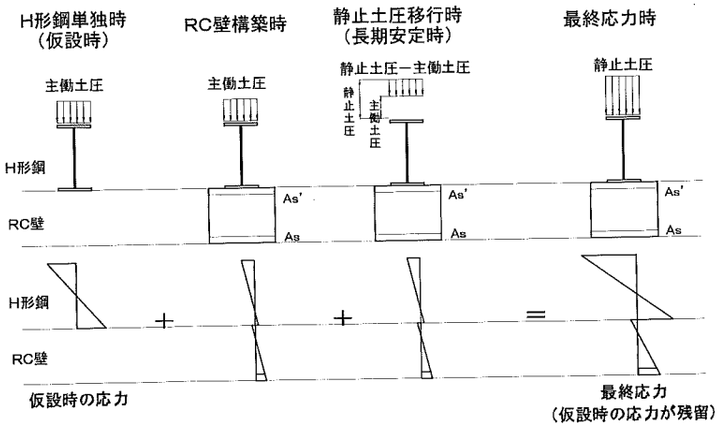


図-7　仮設時の残留応力度の概念図

力が発生する場合には，RC壁構築以降に発生する応力が小さくても，H形鋼の最終応力度が，許容値を超えてしまう状況が考えられる．

このような構築過程の応力推移を考慮して構造計算を行う手法を，逐次計算法という．この計算法は，こうした詳細な応力状態および過程が把握可能であるという利点がある反面，計算が複雑である．一方，こうした構築過程を考慮せず，一般的な地中コンクリート構造物と同様に，仮設時の土留め壁の応力計算と本体構造（ここでは，一体壁）の応力計算を，独立して別々に行う計算手法を分離計算法という．分離計算法による一体壁構造の計算においては，完成状態のみを考慮し，これに全載荷荷重を一度に作用させて行うため，逐次計算法に比べ，計算が簡易であるという利点がある反面，仮設時の残留応力度の正確な評価が得られない．

本設計手法においては，その簡便性から分離計算法を標準とし，仮設時の残留応力度の影響が大きい場合には，仮設時の許容応力度を低減する，あるいは逐次計算法を用いて詳細に評価するなど，仮設時発生応力を抑える対応を行うこととしている．仮設時の残留応力度の影響が大きくなる状況は，本体利用部のH形鋼の仮設時発生応力度が大きく，許容値に対して余裕が少ない場合である．

電力用立坑においては，中床版が比較的多く，深度方向にほぼ等間隔に配置される．このため，仮設時の最大発生応力は，掘削底面以下の根入れ部に発生することが多く，本体利用部の仮設時発生応力は小さいことから，こうした仮設時の残留応力の影響が大きくなる例は少ない．

4　現場適用

4-1　適用現場

このH形鋼を芯材とした土留め壁の本体利用工法を，推進管路工事（ϕ1,200㎜）の発進立坑に適用した．図-8に工事概要を示す．

土留め壁はSMW工法（ϕ650㎜，3軸オーガ）を用い，掘削平面寸法は4.56m×6.46m，掘削深度は21.45mで，側壁はH-390×300のH形鋼（打設間隔は450㎜）と厚さ350㎜のRC壁との一体壁である．シアコネクタにはϕ22㎜×150㎜の頭付きスタッドを用い，設置数量については最適化を図り，各フロアで変化させている．また，応力および変形挙動を把握し，施工中の安全管理と設計結果との比較による設計の妥当性確認を行う目的で，傾斜計によるH形鋼の変位計測，歪み計によるH形鋼のフランジ（内外とも）および鉄筋（内外とも）の応力度の計測を実施した．

計測位置については，平面図に示す位置のH形鋼に対し，傾斜計は深度方向に1mごとに，歪み計については縦断図に示す6点である．また計測頻度については，施工ステップごととした．

H形鋼芯材の施工精度については，土留め壁法線直交方向で1/300（最大70㎜），土留め壁法線方向で1/124（最大130㎜）であった．今回用いたϕ650㎜の柱列式地下連続壁の一般的な施工精度（それぞれ，1/150，1/100）を十分確保している．なお，今回はこの施工精度を考慮のうえ，必要壁厚350㎜を確保するように土留め壁を打設した．

4-2　設計結果

4-2-1　土留め計算

前述のとおり土留めには，H形鋼：H-390×300を芯材としたSMW工法（ϕ650，450㎜間隔）を用い，8段の切梁設置とした．また，根入れ長の短縮を目的に掘削底面は，底盤改良を実施している．

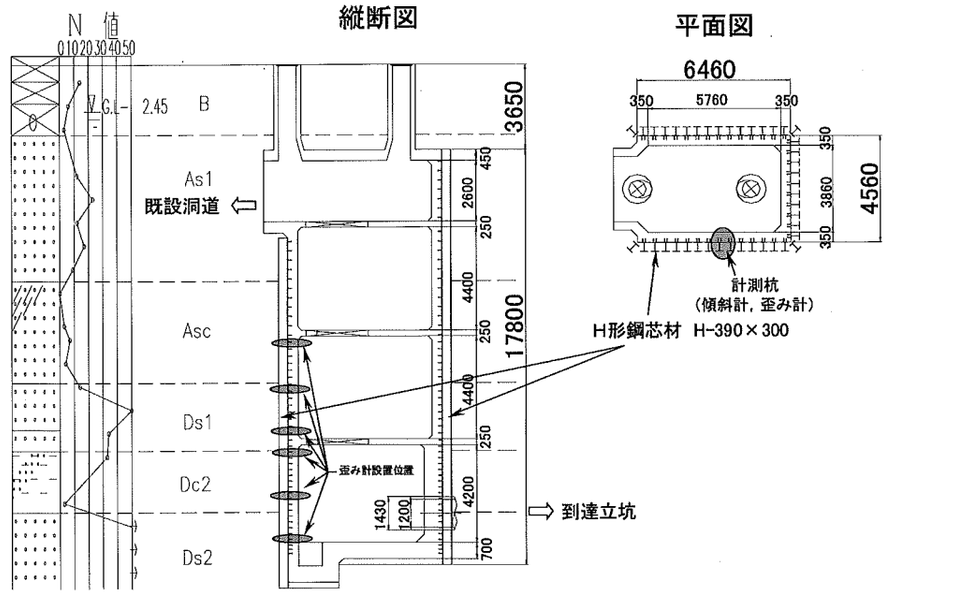


図-8　適用現場の概要図

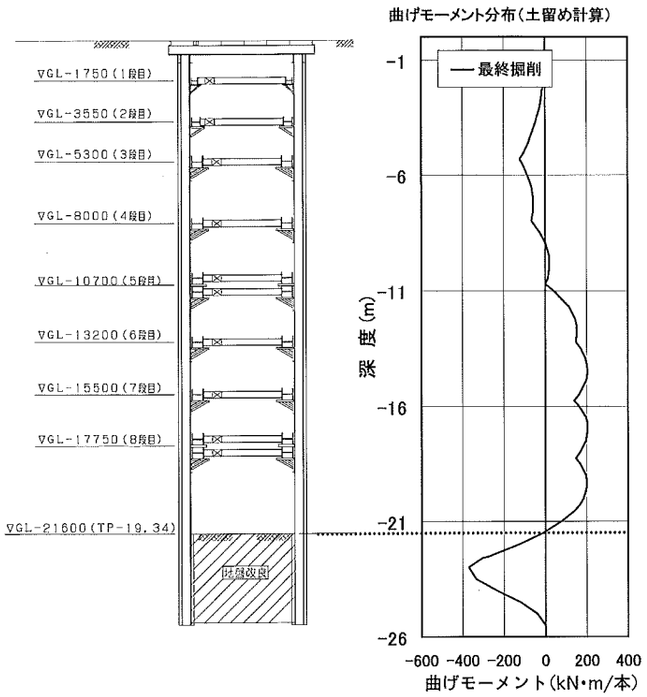


図-9　仮設縦断図

いる．

仮設縦断図および最終掘削時の曲げモーメント分布を図-9に示す．曲げモーメントの分布は根入れ部分で最大値の378.5kN・mを示し，掘削底面から上部側（本体利用部分）では最大値の5割程度の値となっている．この結果から，本体利用部の仮設時発生応力度が，許容値に対して余裕があり，最終応力において仮設時残留応力度の影響が小さい構造物であることがわかる．以上から本構造物の設計には分離計算法を用いた．

4-2-2　一体壁の設計

一体壁の構成部材のうち，H形鋼の仕様については前述の土留め計算によって決定する．このため，一体壁の設計においては，RC壁の壁厚および鉄筋量，H形鋼とRC壁を接続するシアコネクタ量を決定することになる．

設計の結果，RC壁の必要厚さは350㎜となった．本体利用を行わない場合の必要壁厚は700㎜であり，本工法の適用により半減したこととなる．ま

た鉄筋量についても側壁全体において，最小鉄筋量を満足するD16@225㎜(内外とも)を配筋することで，応力上は問題ない結果となった．

これは，モード①ではRC壁がほぼ圧縮部材となり，モード②ではH形鋼がほとんどの断面力を負担するためである．

次にシアコネクタ量については，各階ごとに，RC壁とH形鋼の接合面に発生するせん断力に対する強度を確保しつつ，最小量とすることで合理化を図ることとした．各階ごとの一体壁の曲げ剛性比を**表-1**に示す．各階の曲げ剛性は，重ね壁と完全合成の中間にあり，発生応力の大きい地下4階では，シアコネクタ量を多くして高い曲げ剛性を確保し，上層階になるに従って減少する発生応力に合わせてシアコネクタ量も減少させ，曲げ剛性を低下させている．このようにシアコネクタ量の任意設定が可能な本設計法の特長を生かし，必要に応じた合理的なシアコネクタの配置を行った．

表-1　各階ごとの完全合成に対する曲げ剛性比

	地下1階	地下2階	地下3階	地下4階
シアコネクタ量	14本	22本	30本	38本
(H形鋼1本あたり)	φ22@400 ×2列	φ22@400 ×2列	φ22@300 ×2列	φ22@250 ×2列
曲げ剛性比	49.4%	61.8%	66.8%	71.4%

※参　考

	完全合成	重ね壁	H形鋼
曲げ剛性比	100%	35.0%	22.0%

4-2-3　RC壁引張載荷モード部の漏水対策

今回の設計では，地下4階の側壁中央部においてRC壁が全引張状態となる結果となった．このため漏水対策が必要となるが，鉄筋に発生している引張応力度が小さいことから，止水工法を用いるのではなく，ひび割れ幅を制御する方法で対応した．文献3)は，**表-2**に示すように補修を必要とするひび割れ幅を0.2㎜以上としている．また当社の保守管理の実績において，0.2㎜程度の乾燥収縮に伴うひび割れ(貫通)では，漏水が発生しても遊離石灰などの析出物により，漏水が止まるとの報告がなされている．今回の設計ではこれらを参考に，ひび割れ幅が0.2㎜未満となるよう，曲げひび割れ幅算定式[4]を用いて必要鉄筋量を算出した．

5　設計結果と計測結果の比較

今回の適用現場では，前述した計測のほかに，比較確認を目的に逐次計算法による設計も実施した．

分離計算結果と構築完了時点の歪み計計測値の比較図を**図-10**に示す．H形鋼については引張応力度を(+)，鉄筋については圧縮応力度を(+)で示している．なお，ここで掲載した分離計算結果は，構築完了時点での側圧を，土留め掘削時と同様であると考え，主働側圧を用いて計算している．分離計算でのH形鋼発生応力度については，計算結果が計測値よりも小さく，鉄筋については逆に計算結果が計測値よりも大きい傾向を示している．

逐次計算結果と計測値の比較図を**図-11**に示す．逐次計算においても分離計算と同様，構築完了時点の作用側圧は主働側圧である．H形鋼の発生応力度は分離計算と異なり，計算結果の方が計測値よりも大きい値を示しているが，発生傾向は計算結果と計測値が類似している．また，鉄筋については，値および発生傾向とも整合性が非常に高い結果となっている．

表-2　補修の要否に関するひび割れ幅の限度

区分		耐久性からみた場合 きびしい	中間	ゆるやか	防水性からみた場合 ——
(A)補修を必要とするひび割れ幅(㎜)	大	0.4以上	0.4以上	0.6以上	0.2以上
	中	0.4以上	0.6以上	0.8以上	0.2以上
	小	0.6以上	0.8以上	1.0以上	0.2以上
(B)補修を必要としないひび割れ幅(㎜)	大	0.1以下	0.2以下	0.2以下	0.05以下
	中	0.1以下	0.2以下	0.3以下	0.05以下
	小	0.2以下	0.3以下	0.3以下	0.05以下

注：1)その他の要因(大，中，小)とは，コンクリート構造物の耐久性および防水性に及ぼす有害性の程度を示し，下記の要因の影響を総合して定める．ひび割れの深さ・パターン，かぶり厚さ，コンクリート表面被覆の有無，材料・配(調)合，打継ぎなど．
2)主として鉄筋の錆の発生条件の観点からみた環境条件．

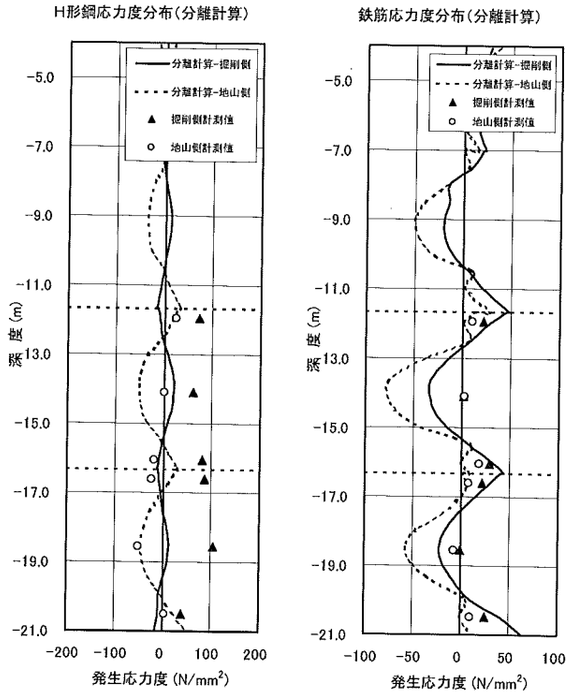


図-10　分離計算と計測値の比較

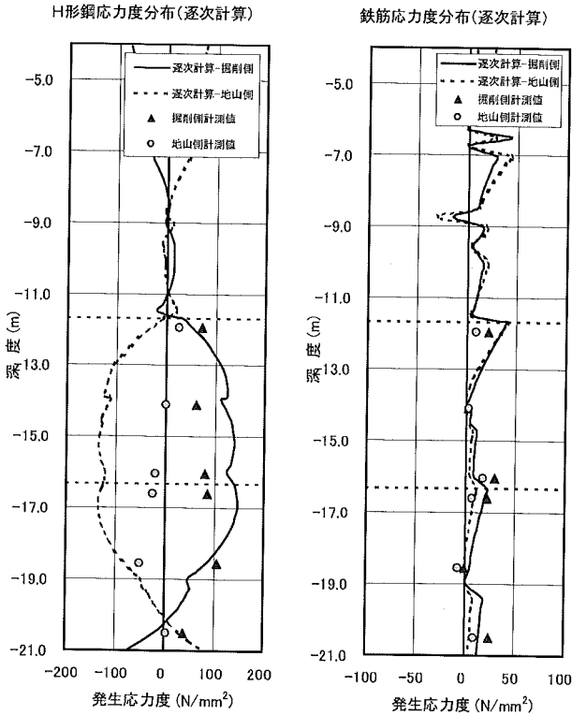


図-11　逐次計算と計測値の比較

る．

以上のように計測結果との整合性が，逐次計算の方が高いことから，H形鋼に発生する応力は，構築過程において，ほぼ図-7に示した経緯をたどっており，その最終応力度の詳細な評価には，仮設時の残留応力度の影響を考慮することが不可欠であると考えられる．

一方で，今回の設計および計測結果に見られたように，H形鋼の仕様は，仮設時の根入れ部における最大断面力で決定し，本体利用部の仮設時残留応力度は許容値(210 N/㎟)に対して余裕がある．また分離計算はRC壁について安全側の値を導き出すことから，こうした仮設時残留応力度の影響が小さい構造物に対して，仮設時残留応力度を無視し，簡便に計算が可能な分離計算法を採用しても問題ないことが，実構造物において確認できた．

最後に，設計時に貫通クラックが懸念された地下4階の側壁中間部においては，現状の計測値は小さい引張応力度を示し，漏水・クラックともに発生していない．

6　おわりに

以上のように，分離計算および逐次計算を用いた設計値と，構築時の計測値を比較検討した結果，計測値は設計値および許容値に対して十分な安全を確保していることから，本設計法の特長である，不完全合成状態の剛性算出手法，各部材が分担する断面力算出手法および仮設時残留応力度の評価手法の妥当性が，実構造物により検証できた．

逐次計算によるH形鋼発生応力の計算結果と計測値の差異については，実荷重と計算に用いた主働側圧の差と考えられる．なお，この差については，逆解析による荷重の推定を行い，再度詳細検討を行うことで，少なくできると考えられる．

最後に，本検討にあたり，多大なご指導とご助言をいただいた山本稔・東京都立大学名誉教授をはじめとする関係各位に深く感謝の意を表します．

参 考 文 献

1)山本稔：不完全合成桁の曲げ理論，土木学会論文集，No.67，1960.3.
2)(社)日本トンネル技術協会：H形鋼を芯材とする土留め壁本体利用の設計手引き，2002.7.
3)(社)日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，61p.，2003.
4)(社)土木学会：コンクリート標準示方書［構造性能照査編］，pp.100-102，2002.3.
5)笠井靖浩・吉本正浩・内藤幸弘：H形鋼を芯材とする土留め壁の本体利用，基礎工，Vol.31，No.4，2003.4.

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B5判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

〔目　次〕 **第一章　概説**　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性〇シールド工法の歴史〇シールド工法誕生以前のトンネル工法〇シールド工法の登場　2．わが国におけるシールド工法の歴史〇シールド工法の導入と発展の経緯〇シールド工法の現況　3．今後の技術開発の方向性　**第二章　調査・計画編**　1．シールド工法の調査技術　2．断面および線形計画　3．シールド機種の種類と選定　4．新しいシールド工法　**第三章　設計・施工編**　1．覆工〇一次覆工の設計〇二次覆工の設計と施工〇シールドトンネルの防水技術　2．立坑の設計と施工設備〇立坑の設計と施工〇シールド機の構造と装備〇仮設備の計画〇シールド工事による自動化　3．掘進と施工管理〇シールド掘進と施工管理〇シールド発進と到達〇裏込め注入工法と注入効果〇曲線施工と地中接合〇補助工法の種類と選定　4．近接施工と環境対策〇近接施工と対策〇アンダーピニングおよび支障物対策〇シールド工事と環境対策〇新工法の現状と将来展望〇ECL工法　5．切羽の安定と地盤変状防止〇切羽安定の理論と実際〇泥水式シールド工法の切羽安定〇土圧シールド工法の切羽安定　6．地盤変位の理論と実際　**付録**　1．セグメントの設計例　2．地盤変位予測解析手法の例　3．シールド工事の施工計画

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

報　告

JTA-COB第8回技術交流会議報告

JTA代表団

1 はじめに

JTAとCOB(オランダ地下建設センター)の第8回技術協力会議は昨年の10月3日(月)～5日(水)の3日間オランダで開催された．第6回の技術交流会議で技術交流の内容を今後スリム化することでJTAとCOBは合意し，一昨年東京で開催された第7回技術交流会議はワークショップ，セミナー，現場視察各1日ずつの3日間に日程を短縮して実施したが，今回も同様の方針で交流会議は実施された．また，JTAの代表団も**表-1**に示すように小森団長以下総勢6名とこれまでの最小人数で構成された．今回のJTA代表団の訪蘭の主目的は，第8回技術交流会議をJTA，COB双方にとって有意義なものにすることと，JTA理事会で決定された今後の技術交流の方針，すなわち“第8回技術交流会議をもって相互訪問による両国の技術交流を終了し，今後は技術情報などの交換を中心に交流を実施する”にCOB側の同意を得ること，の2点であった．技術交流会議のプログラムは**表-2**のとおりで，初日のワークショップに先立ち，COBのOud会長の歓迎挨拶と小森会長の答礼の挨拶があった．また，今後の技術交流の方針を議論するJoint Meetingは2日目のランチタイムに行われた．以上が第8回技術交流会議の概略の内容だが，以下に主な項目について報告する．

表-1　団員名簿

	氏　名	所　属
団　長	小森　博	JTA会長
団　員	宮口　尹秀	JTA専務理事
〃	真下　英人	(独)土木研究所基礎道路技術研究グループ上席研究員
〃	豊島　英明	(独)鉄道・運輸機構計画部積算課長
〃	中川　雅由	鹿島建設(株)土木設計本部プロジェクト設計部シールドグループ長
〃	河野　重行	清水建設(株)土木技術本部技術開発部長

2 Joint Meeting

今後の技術交流の方針などについて打ち合わせるJoint Meetingは10月4日(火)に今回のセミナーの会場となったCOVRA(放射性廃棄物処理中央機構)の会議室でランチタイムを利用して行われた．この会議にはCOB側からはOud会長，Admiraal専務理事ほか3名，JTA側は小森会長，宮口専務理事，河野幹事(国際委員会)の3名が出席した．

会議では双方の会長の挨拶の後，JTAから下記の3項目を提案し，小森会長がその背景を詳しく説明のうえ，COB側の同意を求めた．

・今後の技術交流の方針

① これまで続けてきた相互訪問によるワークショップ，セミナーなどは第8回技術交流会議をもって終了する．

表-2　第８回技術交流会議プログラム

10月３日(月)
ワークショップ　会場：デルフト市デルフト工科大学講堂
Host　Prof. J.W.Bosch
Chair man　JTA　宮口　尹秀
COB　Mr.Admiraal
COB　Oud 会長
JTA　小森会長

8：45～ 9：15　Opening

①地下プロジェクトのコスト削減
9：20～ 9：40　COB　Probabilistic cost estimating：managing risks and uncertainties　Ir. J.C. Kuiper(Holland Railconsult BV)
9：40～10：05　COB　The balance between costs, benefits and risks：how to obtain added value　Prof. Dr. ir. H.A. J. de Ridder(Delft University of Technology)
10：05～10：40　JTA　企画・設計段階でのコスト削減　豊島　英明(鉄道・運輸機構)
11：00～11：15　ディスカッション/コーヒーブレイク
11：15～11：35　COB　Risk identification en allocation of state of the art design projects　Ir. F. J. Kaalberg(Witteveen＋Bos consulting engineers)
11：35～12：05　COB　Alliance model：　experience in practice　Ir. P. E. M. Buck(Project Organization Betuweroute)
12：05～12：40　JTA　施工段階でのコスト削減の事例　中川　雅由(鹿島建設(株))
②今後のトンネルプロジェクトとその技術的課題
14：00～14：15　Evaluation morning session
14：15～14：45　COB　Overview of planned road tunnels in the Netherlands for the coming 10 years　Ir.F.F.M.de Graaf(Civil Engineering division of the department of Public Works and Water Management)
14：15～14：45　JTA　都市内道路トンネルプロジェクトの実現に必要な技術　真下　英人((独)土木研究所)
15：15～15：45　休憩
15：45～16：45　COB　The South Axis project at Amsterdam　Mr. W. Witteman(Holland Railcounsult BV)
JTA　整備新幹線のトンネル建設　豊島　英明(鉄道・運輸機構)
16：45～17：15　質疑応答後閉会

10月４日(火)
セミナー　会場：COVRA
地下利用の環境面での利点と欠点(一般的な観点)
9：45～10：30　Opening と Introduction　宮口　尹秀(JTA)
Dr. H. K. D. Codee(Executive Director, COVRA)
10：30～12：00　Keynote Speech
10：30～10：50　JTA　Advantages & disadvantages in environmental aspects through underground uses　河野　重行(清水建設(株))
10：50～11：10　COB　Planning the Use of Underground Space Bottom-Up　Ing. J.B.M. Admiraal
11：10～11：50　Extensive Discussion
11：50～12：00　セミナー議長による閉会挨拶
12：00～13：30　昼食・COVRA のツアー
12：00～13：30　Joint Meeting
13：30～13：45　歓迎と開会　COB　J.B.M. Admiraal
13：45～14：10　COB　Air pollution/fine dust particle emission(European Legislation)　Mr. Erwin van de Brink, editor of chief of the magazine "De Ingenieur"
14：10～14：35　COB　What recent developments in underground space use can be identified as part of logistical operation in port areas
14：35～15：00　COB　How will global climate change influence transport and mobility. Does this offer changes for underground space use
15：00～15：30　休憩
15：30～16：30　Creative Session－COCD "Underground Space Use as starting point for creativity"
16：30～17：30　デルフト大学，Eindhoven 大学，Zeeland 大学，Gent 大学の学生によるプレゼンテーション

10月５日(水)
現場視察
9：00～12：00　Huberts トンネル視察(ハーグ)
12：00～13：00　昼食
13：00～15：30　Randstadrail を視察(ロッテルダム)

② 今後のCOBとの技術交流は，技術などに関する情報の交換を中心に行うこととし，必要があれば，国際トンネル会議の際にJoint Meeting を開催することとする．
③ 将来双方に有益な活動が見出された場合，その対応について協議する．

COB側には相互訪問による技術交流を終了することに多少不満が残る様子であったが，昨年の交流会の際から非公式にJTAの実情を伝えていたので激しい議論なしでJTAの提案について同意を得ることができた．

最後に小森会長からこれまでの８年間のJTA-COBの技術交流の実績は大きい．このままで技術交流を打ち切るのはもったいない．これからも限られた予算の中で日蘭の交流を続け，友好関係を保っていきたいとの発言があり，Joint Meeting は無事終了した．

(文責：宮口尹秀・日本トンネル技術協会)

3 ワークショップ

日　時：平成17年10月３日(月)8：45～17：15
場　所：デルフト市デルフト工科大学講堂
参加者：47名

3-1　ワークショップのテーマ

テーマは，毎回両国関係者で協議して決定している．

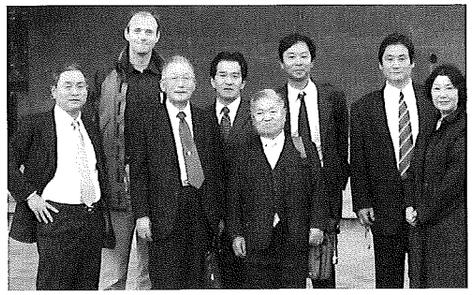
今回のテーマは，地下建設プロジェクトの計画，設計，施工段階におけるコスト削減策の適用と課題(テーマ１)，将来のトンネルプロジェクト計画と期待される新技術(テーマ２)の２つであり，本テーマに沿って合計10編の発表が行われた．

3-2　発表項目および特筆事項

3-2-1　テーマ１/セッションA：計画，設計段階における地下建設プロジェクトのコスト削減策の適用と課題

(１)　リスクマネジメントを適用した建設プロジェクトの見積りについて
(Ir.J.C.(Hans) Kuiper・オランダ鉄道コンサルタント)

オランダにおける建設プロジェクトの見積りシステムの現状と課題について紹介するとともに，計画段階で想定されるあらゆるリスクを統計理論にもとづいて見積り価格に反映するシステムの提案がなされた．実際の建設プロジェクトに内在するさまざまなリスクをどのように評価するのか具体例を用いた説明がなかったため，見積り価格の適正な審査など，本手法の運用に至るまでには技術的な課題が数多くあるとの印象を受けた．


写真-1　ワークショップ会場となったTUデルフトにて

(２)　建設コストと適正利潤，リスクのバランスについて
(Ir.H.A.J. de Ridder・デルフト工科大学)

建設プロジェクトの見積りにおいては，適正な建設工事費(コスト)，適正な利潤を加味したプライスを考慮する必要があるが，発注者は請負者(コンサルタント，施工業者)とともに，より付加価値(費用便益)を高める努力をすべきであるとの意見が紹介された．建設工事費(初期投資)のみではなく，工程短縮による早期供用効果や耐久性向上による維持管理を含めたLCCの削減など，近年のわが国の取り組みと同様の方向性を志向しているとの印象を受けた．

(３)　企画・設計段階における都市トンネルのコスト削減
(豊島英明・(独)鉄道・運輸機構)

横浜みなとみらい線，臨海副都心線，常磐新線において設計段階で適用した地下構造物の建設コスト削減策の適用事例を紹介した．シールドのUターンや駅舎部のスルーによるマシン転用，セグメント形状や継手の合理化策，掘削土砂の有効利用策，着脱式親子シールドやシールド地中接合の事例など，具体的な事例が数多く紹介された．

3-2-2 テーマ1/セッションB：施工段階における地下建設プロジェクトのコスト削減策の適用と課題

（1） 設計の立場から見た建設工事段階におけるリスク評価

（Ir. F. J.Kaalberg・設計コンサルタント）

オランダにおける地下建設工事の特性(軟弱地盤，高地下水での工事)による施工段階のリスクの代表例として，地盤や既設構造物の沈下が挙げられる．施工段階における沈下のリスク管理は，発注者，コンサルタント，請負業者の間でコンセンサスを得ながら進めるべきであり，同時に努力に対する報酬などのインセンティブも考慮すべきとの報告がなされた．

（2） 建設事業の遂行に際する協調について

（Ir. P.E.M. Buck・Betuweroute）

国際港湾都市ロッテルダムから東のドイツ国境付近まで，オランダ国内を横断する長距離鉄道として建設中のBetuweroute(延長160km)を例に，事業コストは環境への配慮，供用までの工事期間，構造物の品質，工事の安全性などを総合的に評価して決定すべきであり，関係者が事業の成功とリスクを当事者として共有することの重要性について報告がなされた．

（3） 建設段階におけるコスト削減事例について

（中川雅由・鹿島建設(株)）

デザインビルド方式で発注された春日井共同溝シールド(外径φ4.65m，延長6,820m)において，設計段階および施工段階で提案したコスト削減策の内容，およびその適用結果が紹介された．内容は，地盤改良不要のビット交換策，新型セグメントと搬送・組み立ての自動化システム適用によるコスト削減策，地中拡幅部の同時施工による工期短縮とコスト削減策など，具体的な事例の適用状況とコスト削減効果に関する報告であった．

3-2-3 テーマ2：将来計画されているトンネル建設プロジェクト，および関連する新技術

（1） 今後10年間で計画されているオランダの道路トンネル

（Ir. F.F.M. de Graaf・オランダ国土水資源省）

今後10年間で計画されている道路トンネルプロジェクトの概要について報告があった．紹介されたのは，開削トンネル工法，シールドトンネル工法，沈埋トンネル工法にて計画されている10プロジェクトであり，それぞれ施工条件，施工環境，施工法などについて簡単な紹介がなされた．

（2） 都市内道路トンネルプロジェクトの実現に必要な技術

（真下英人・(独)土木研究所）

東京外かく環状道路，首都高速中央環状線を例に取り上げ，都市内道路トンネルプロジェクトの実現に向けて開発が必要な技術に関する報告がなされた．とくに，大断面シールドの長距離・高速施工技術，分岐・合流部施工技術，換気・防災技術，地下水流動阻害抑止などの環境保全技術については，新技術の適用による合理的な計画が望まれていることが紹介された．

（3） アムステルダム鉄道南伸線の計画概要

（Ir. P.W. Witteman・オランダ鉄道コンサルタント）

アムステルダムの地下鉄南伸線のうち，WTC駅部において，高層ビルの直下に鉄道の駅舎，地下鉄の駅舎，地下道路(A10環状線)，地下駐車場，地下通路を建設する計画があり，3次元的なレイアウトを考慮した地下部の建設計画の変遷などが紹介された．

（4） 日本における整備新幹線の建設について

（豊島英明・(独)鉄道・運輸機構）

日本における新幹線の整備計画，新幹線システムや日本の地盤構成の特徴についての概要を説明した後，北海道新幹線，北陸新幹線，九州新幹線におけるトンネル計画の概要が紹介された．また，山岳トンネル工法における湧水や不良地山に対する対策，TBMとECLとNATM覆工を組み合わせた新工法である「SENS」についての技術的な説明がなされた．

3-3 感 想

日本側からの発表は具体的な事例や実績をもとにしたものであったため，オランダ側にとっては非常に有益な内容であったものと判断される．一方，オランダ側からの発表は，事業計画にあたってのコンセプトや計画論の発表がほとんどであり，残念ながら技術的な課題や具体的な解決策を取り上げた発表は少なかった．

また，セッション2で発表された「今後10年間で計画されているオランダの道路トンネル」の発表に対して，オランダ側から活発かつ執拗な質問が浴びせられた状況から推察すると，オランダではわが国のように計画段階からプロジェクト概要や技術課題をある程度オープンにすることはまれであるとの印象を持った．将来計画されているプロジェクトは，これまでの技術の延長線上では解決できない課題が山積しているものと思われるため，困難な技術課題の克服に向けて産官学一体となった技術委員会などを立ち上げて活動するといった日本での取り組みなどを参考にすべきではないかと判断される．

（文責：中川雅由・鹿島建設(株)）

4 セ ミ ナ ー

名 称：VAN DE PERRE SYMPOSIUM
日 時：平成17年10月4日(火)9：45～12：00
場 所：The COVRA at Vlissingen
参加者 ：111名

4-1 セミナーの概要

本セミナーは，COBのAdmiraal専務理事が教授として勤務するZeeland 大学主催のセミナーであり，午前・午後のセッションのうち，今回に限り，午前の部がJTAとCOBによるセミナーとの合同となった．発表はJTA側1件，COB側1件の計2件であった．

4-1-1 セミナーの総合テーマ

地下空間利用：環境面に対する利点と課題

4-1-2 セミナーの内容

（1） JTA側の発表(10：30～10：50)

（河野重行・清水建設(株)）

テーマ：地下空間利用を通した環境面の観点からの利点と課題

まず，日本の地下利用状況を実際の事例を示しながら説明し，かつ，今後の大深度地下利用の方向を紹介した．つぎに，これらの地下利用を通した環境面の観点からの利点と課題を実例を挙げながら述べたが，ここでの環境は，地下水など周辺の自然環境保全だけでなく，騒音・粉塵低減などの工事中の住民に対する環境の確保，供用後の利便さ・居住環境の確保，洪水や地震などの自然災害に対する安全性など，広義の観点から論じている．最後に，今後の地下利用に対する課題を挙げながら，どう対応していくべきかを論じた．

（2） COB側の発表(10：50～11：10)

（J.B.M. Admiraal・COB）

テーマ：ボトムアップによる地下空間利用の計画

公共インフラ整備のプロジェクトの計画・推進において，一般に，政策などトップダウンにより行われる場合が多い．これらの場合，従来，事業の進行にウエイトが置かれ，結果的に，環境面への配慮が欠け，環境問題を引き起こしたり，住民などからの反対により事業の進行に支障をきたす場合があった．一方，環境の観点からプロジェクトのあり方を議論する場合，ボトムアップでプロジェクトの計画・推進を行うものである．しかしながら，環境保全を重視するあまり，インフラ整備が大幅に修正・縮小せざるを得ない事態が生じる可能性がある．Admiraal専務理事は，今後のプロジェクトの推進において，環境の保全の観点から，トップダウンとボトムアップの両面からのアプローチが重要であると結論づけている．また，発表後のディスカッションにおいて，実際の事例を紹介するとともに，会場からの意見に答え，両面からのアプローチの難しさをも論じた．

4-2 COVRAの施設の見学

15：15～16：15に，セミナーの開催場所であるCOVRA(オランダの放射性廃棄物中央機構)の施設を，COVRAの専務理事であるH.K.D.Codee博士の案内により，JTAメンバーが見学した．COVRAは，オランダのすべての放射性廃棄物を安全に処理・貯蔵する責任を負う組織である．COVRAはオランダにある原子力発電所などから発生した低・中・高レベル放射性廃棄物貯蔵施設

を同地域に所有している．この施設のコンクリートの床，壁，屋根の厚さは，地震，航空機の落下，ガス爆発などから保護するために，1.7mときわめて厚くなっているとともに，特別な補強も施されている．

（文責：河野重行・清水建設(株)）

5 現 場 視 察

3日目は，COBの計らいによる現場視察の日で，午前は，デン・ハーグ市内の道路トンネル新設工事であった．デン・ハーグ市はオランダの政治都市で，王宮や政府機関，外交機関が点在する落ち着いた雰囲気を持つ町であるが，自動車交通の急激な増加に対処できず，いたるところで交通渋滞を起こしているようで，視察現場は，その交通渋滞緩和のための居住地の直下を抜けるバイパス道路トンネルの構築工事である．

延長1,400mの上下別線トンネルは，ハーグ市や居住者からの強い要望にもとづき国も投資して実施するもので，地上の道路・公園直下だけではなく，オランダでは珍しく，官庁アパートや民家の直下を通過するため，環境・地上への影響などに配慮した計画・施工が求められているとのことであった．現在はトンネル入口までのアプローチの工事が行われており，来年にはTBMによる本格的な掘削を行い，3年後には供用の予定である．



写真-2 10トン生コン車が行きかう現場にて作業員と

現場には現場見学者用の案内ハウスが置かれ，トンネル完成時のルート模型，TBM模型などが所狭しと置かれていた．オランダ流のコーヒー・クッキーによるもてなしの後，スライドによる説明・質疑応答があり，その後，U型RC擁壁の床版躯体コンクリートの下の基礎コンクリートを水中コンクリート工法にて打設中の現場を視察した．日本でもごく普通に見ることができる作業現場ではあるが，10トン用の大きな生コン車が次々と出入りしている様子はやはりヨーロッパスタイルとの印象を持った．

午後は，ロッテルダム中心部での鉄道新設現場であった．ロッテルダム駅前を起点とし市街を南に走る既存の地下鉄エラスムスラインを北西方向に延長し，途中で既存国鉄線を一部改良して乗り込み，新ベットタウン予定地などに新駅を設置しながらデン・ハーグ市までつなげようという，複数市域に跨る遠大な鉄道・都市一体整備事業を行っている現場であった．

駅から2kmほど先に単線TBMが坑口に据え付けられた現場があり，まもなくロッテルダム駅に向けて発進するとのことであった．この計画

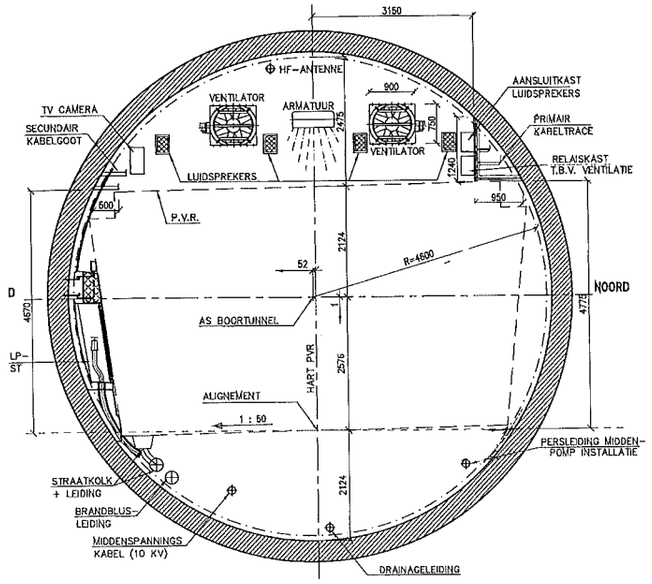


図-1 片側2車線のトンネル断面 内径R=4.6m

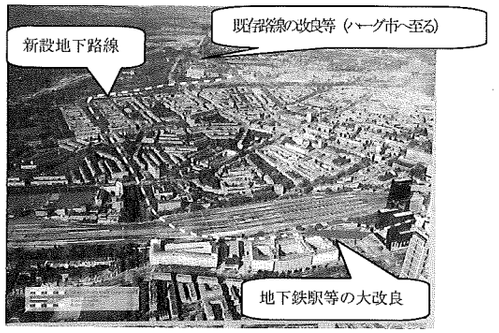


図-2 計画概要（ロッテルダム駅付近鳥瞰図）

に合わせ，ロッテルダム駅とその周辺を再開発しようという壮大な計画が抱き合わせられており，主な計画は以下のとおりである．

- 地下鉄ロッテルダム駅の大改良：1面2線を2面4線に．駅は地上にも顔を出し，国鉄ロッテルダム駅との連絡性をよくする．
- 駅周辺地下に駐車場スペース，バス発着スペースを大々的に設置する．
- 路面電車を駅前から離し，駅前広場を整備する．

これらの計画は数十年をかけて練られた遠大なもので，今般やっと着工となり，5年後の完成を目指して工事が始められているとのことであったが，周辺の進み具合を見ると5年後？の印象を持った．

（文責：豊島英明・(独)鉄道・運輸機構）

6 あ と が き

JTA-COBの第8回技術交流会議は前記のごとく，盛会裏に実施された．COB側のプレゼンテーションは今回もコンセプトとストラテジーが中心で，具体的な事例の紹介は少なかった．これは都市トンネルの実績が少ないためだと受け止めているが，技術的な課題に直面した際，その問題の根本に遡って検討し，課題解決のストラテジーをまとめる手法は日本側としても見習うべき点があると思われた．また，ワークショップやセミナーでは多数の方が熱心に聴講し，かつ活発な質疑をくり返ししていた．技術習得にかけるCOB関係者の熱意が相変わらず高いことに今回も感心した．

今後の技術交流の方針についてはJTAの提案どおり，COBの同意を得ることができた．今回の訪蘭の最大の目的は今後の技術交流の方針についてのJTAの提案をCOBに理解してもらい，同意を得ることだったので，これが予定どおり無事終了できて何よりだった．

これでCOBとの相互訪問による8年間の技術交流は終わったが8年を振り返るとCOBと密接な関係を持っていることはITAでの活動に際し，大変心強かったし，欧米に関する各種情報の窓口としてもありがたかった．またオランダ人は，きわめて合理的だが物事にこだわらない明るい人柄の人が多いし，技術交流は対等の立場でといいながら，日本から教えてもらっているという謙虚さがにじみ出ており，愛すべき国民だと思われる．相互訪問による交流は終了したが，これからも情報交換を通して良き関係を継続していきたいと思っている．

（文責：宮口尹秀・日本トンネル技術協会）

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では，研究論文（実験，技術開発など）を募集いたします．大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい．とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので，平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します．なお，応募方法の詳細につきましては24頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部
〒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）



パリのアンダーグラウンド(1)
―「死の帝国」カタコンベを訪ねる―

(財)鉄道総合技術研究所
小野田　滋

■地下の都・パリ

花の都，芸術の都，恋の都など，パリを表す形容詞にはこと欠かないが，パリはまた地下の都でもある．パリの地面の下には，採石場，地下墓地，下水道，共同溝，地下鉄などが縦横に走り，長い歴史の中でそれらが絡み合って独特の地下空間を形成している．その存在は，第二次世界大戦のナチス占領下で，レジスタンス運動の拠点となったほか，現在ではパリの地下探検を趣味とするマニアがいるほどである．

こうしたパリの地下世界は，ヴィクトル・ユーゴーの「レ・ミゼラブル」や，ガストン・ルルーの「オペラ座の怪人」といった小説にも描かれ，ジャン・ヴァルジャンは瀕死のマリユスを担いで下水道のトンネルを彷徨し，謎の怪人エリックはオペラ・ガルニエの地下空間にある湖に住み，闇の世界を跳梁するのである．

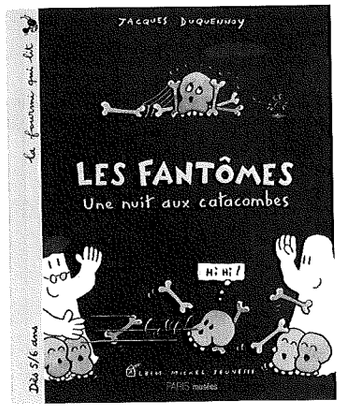


写真-1　カタコンベの絵本

今回は，こうしたパリの地下世界の中から，カタコンベを紹介してみよう(**写真-1**)．

■カタコンベとは？

カタコンベ(またはカタコンブ：catacombes)は，もともとローマ時代に迫害されていたキリスト教徒たちが築いた地下墓所で，ローマにある聖セバスチャン教会のものがその代表とされている．ローマのカタコンベは，1～4世紀にかけて発達したが，やがて地上に墓所を設ける習慣が一般化して，5世紀に廃れてしまった．しかしその慣習は，ヨーロッパ各地に継承され，さらにその植民地などへも広まった．

一方，白亜紀から古第三紀にかけて堆積した砂岩，泥灰岩，石灰岩を基盤層とするパリでは10世紀ごろから石造建築や城壁に用いる石材を地下から採取するようになり，パリ南部を中心にカリエール(採石場)が設けられた．石材の採取技術は次第に進歩し，空洞の大きさは，大規模なもので高さ20m近くにも達した(**写真-2**)．これらのカリエールはほとんど無計画に掘られたため，18世紀になると陥没事故を生ずるようになり，1777年に採石場監督局が創設されて，技師・ギヨモ(Guillaumot, Charles-Axel)による実態調査と対策工事が開始された．こうした地下空間の利用法として考えられたのがパリのカタコンベであった．

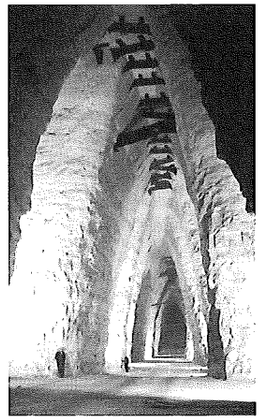


写真-2　カリエールの内部
(絵はがきより)

当時，パリの教会に付属する墓地はほぼ飽和状態に達し，1780年5月には聖イノサン教会の墓地(現在のレ・アール地区)に集積されていた遺体が，墓地に隣接する商店街との間の壁を突き抜けて地下室になだれ込み，住民が窒息死するという椿事が発生した．そこで，墓地からあふれた遺骨を地下の採石場跡に移すこととなり，1786～1814年(実際は19世紀後半まで)にかけて，教会ごとに古い遺骨を運びこむ作業が行われ，その数は約600万体にも及んだと言われている．

■カタコンベを訪ねる

パリのカタコンベは，モンパルナス南部に位置する14区のほぼ中央にあり，一般に公開されている．最寄りの駅はダンフェール・ロシュロー駅(Denfert Rochereau：RATP 4・6号線，RER－B線の交差駅)で，大通りに面して濃い緑色の小さな建物が建っているが，これがカタコンベの入口である(**写真-3**)．窓口で切符を買って螺旋階段で地下へ20mほど降りると，まずカタコンベに関するパネル展示があり，それから暗い坑道を延々と歩いてカタコンベへとたどり着く．

そこには「ARRETE ! C'EST ICI L'EMPIRE DE LA MORT」(止まれ！ここより死の帝国)の文字が刻まれ，その先には両側に人骨が累々と積み上げられた文字どおり「死の帝国」が続く．人骨は，ほとんど隙間がないほど丁寧に積まれ，髑髏を幾何学模様で並べるなどして装飾的な工夫もなされている(**写真-4**)．薄暗く狭い坑道の中に積み上げられた人骨に，はじめのうちは息を呑むが，その膨大な量に圧倒され，次第に感覚が麻痺してくる．とは言え，ここに安置されているそれぞれの遺骨にも，かつて私たちと同じ人生の喜怒哀楽があったことを思うと，胸に迫るものがある．



写真-3　カタコンベの入口

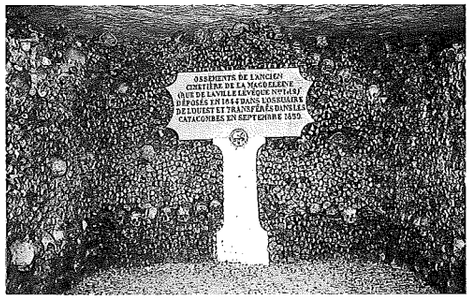


写真-4　墓地ごとに積まれた骸骨たち

見学時間はおよそ1時間弱で，坑道内はあちこちに枝道があるが，見学路以外は鉄格子で塞がれているので迷うことはない(カタコンベで迷子になった人がそのまま骸骨になってしまったという都市伝説もあるらしい)．カタコンベの出口は4号線のムトン・デュベルネ駅(Mouton-Duvernet)付近の裏通りにあり，通常は入口で行われる荷物検査をここで行っていたが，どうやら人骨をこっそり持ち出そうとする不心得者がいるようだ．

怪談話や心霊現象といった類に鈍感な筆者は，初めて見るカタコンベに驚くばかりであったが，同行のM氏はホテルへ帰るやいなや激しい高熱と腹痛におそわれ，むりやり誘った筆者をひたすら呪っていた．そう言えば，カタコンベの入口には子供やナーバスな人には刺激が強い旨の忠告が書かれていたので，この手の代物に弱い方は，それなりに覚悟を決めてから見学した方がよいだろう．

土木情報 No.392 今月の主な入札結果

（12月1日～12月22日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
北開・札幌	いしかり農業水利事業いしかり調整池	宮坂建設・開発工建JV	1,436
東北地整	前九年地区函渠工	東鉄工業	525
九州地整	福岡201号烏尾T新設１期	前田建設工業	1,680
中国四国農政	高瀬農地保全事業D１号排水T	鉄建	688
日本下水道事業団	岩国市尾津１号汚水幹線	三井住友・大栄JV	1,295
鉄道・運輸機構	北陸幹(糸・黒)，新親不知T(東)外他	大成・若築・矢作JV	520
東日本高速・関東	北関東自動車道足利中	鉄建・白石JV	3,070
〃	〃　佐野東	鴻池・本間・矢作建設JV	4,500
西日本高速・九州	東九州自動車道日向第二T	鉄建・菅組JV	2,060
青森県	土橋川床上浸水対策(放水路T)	鉄建・穂積・畑中・地代所JV	1,675
栃木県	県庁舎地下通路建設	五洋建設	179
都・水道局	東村山市富士見町三丁目地先から同市富士見町四丁目地先間導水管(2000㎜)移設	松尾工務店	212.032
都・下水道局	板橋区仲宿，板橋三丁目付近再構築	三登・大隈JV	538
〃	芝浦水再生センター～森ケ崎水再生センター間送泥管敷設その3-1	大盛工業	468
〃	真島町幹線再構築その４	鉄建	145
〃	第二十二社幹線暫定貯留に伴う切替その2-2	大明建設	211.1147
〃	新宿区戸山二丁目，新宿六丁目付近再構築立坑	大成・加賀田組JV	339
〃	浮間水再生センター放流渠	鹿島・清水・佐藤JV	681
〃	大田区千鳥一丁目，下丸子二丁目付近枝線	三井住友建設	689.25
〃	品川区東品川一丁目，北品川二丁目付近再構築	大本・丸磯JV	393
〃	品川区南大井三，四丁目付近枝線(雨水調整池)その３	中山組	178.06
〃	渋谷区広尾四丁目，港区南青山七丁目付近再構築立坑設置	新井・真柄JV	198
〃	銭瓶幹線管渠改良その２	日本国土開発	298
〃	世田谷区野毛二丁目付近枝線	吉田組	148.63855
〃	墨田区江東橋一丁目，江東区毛利一丁目付近再構築	北都建設協同組合	463.5
都・新都市建設公社	箱根ケ崎駅西地区汚水管布設	出水建設	149.5
〃	八王子市下恩方町1762番地先外下水道築造51(公26工区)	小樽工業	150.07
神奈川県	厚木市水引地内配水管布設第４回(推進)	東洋建設	231
兵庫県	西送水83号太子枝線(４工区)送水管布設	菅原土木	110
宮崎県	平成17年度連携国道8-1-1-1号(仮称)古園T	前田・吉原・大淀JV	1,740
〃	平成17年度交付建設第2-1-1号(仮称)北方インター線T	一心・山本・伊達JV	1,085
〃	平成17年度県営広域営農団地農道整備事業沿海北部４期地区１工区T	三井住友・松本・富岡JV	1,790
〃	平成17年度ふるさと林道緊急整備事業吐合線６工区	旭・大和・九建JV	990.5
札幌市	南北線さっぽろ駅地下歩行空間改造	伊藤・大林・岩倉・鴻池・西武JV	1,020
仙台市	福室第３号雨水幹線10	髙工・丸鹿JV	335
〃	国道45号電線共同溝整備に伴う合流管移設	伸和興行・サイト工業JV	370
さいたま市	南部第10処理分区南浦和２号幹線築造(南建-17-1)	鹿島・ユーディケー・三ツ和総合建設業共同組合JV	7,550
横浜市	都筑処理区藤が丘地区下水道整備(その23)	白崎建設	165
〃	港北処理区篠原地区下水道整備(その13)	奈良建設	133
〃	田谷から上倉田線φ900㎜配水管新設(その９)	岡田建設	151.5
川崎市	田島地区ほか下水枝線第115号	桔梗建設	102.225
〃	宮崎３号雨水幹線その４	加藤・渡辺JV	178.95
名古屋市	第２次南陽東部汚水幹線下水道築造	みらい建設工業	192.5
〃	扇川右岸雨水幹線下水道築造	大成・竹中土木・青木あすなろJV	1,560
〃	扇川左岸雨水幹線下水道築造	鹿島・東亜・森本JV	1,198
大阪市	住之江下水処理場～津守下水処理場配管廊築造	鹿島・戸田・鉄建・大豊JV	543
福岡市	住吉地区(博多駅前４丁目)地区下水道築造	大本・徳倉・松本JV	1,135
〃	姪の浜第13雨水幹線築造	戸田・福田・澄男・愛宕JV	1,860

進歩講座

都市トンネル工事の計測（２）

－最近の計測技術の概要－

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
坂田電機(株)常務取締役　中山　淳

① はじめに

構造物は，その構造物の重要度や環境条件を踏まえた設計が実施される．この際に解析による発生予想応力，変位などで評価される．設計の信頼性向上，工事費低減の観点から十分にその機能やその設置条件，信頼性の低下要因を考慮することにより，構造物が受ける挙動をより正確に把握できる．そのための手段の一つとして計測が実施され，解析値と管理値の比較により最適な現場対策や次現場へのフォローが可能な体制がとられる．この全体の関連については，第３～８回での具体的な現場での適用事例をもとにして報告される予定である．今回は，このうちセンサへのデータ入力から通信系に対する計測技術の現状と新技術を中心に述べることとする．計測技術の概要としては，１次，２次変換機の概要，計測器の信頼性の要因，耐久性，計測器設置のノウハウを述べることとする．

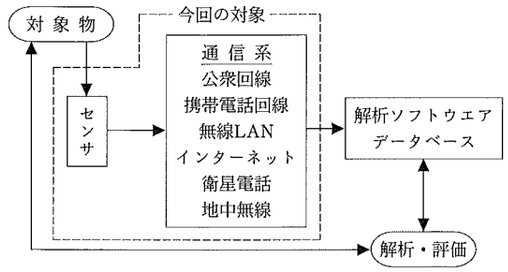


図-1　計測を取り巻く状況

② 計測技術の現状

以下にもっとも基本となる挙動の計測データへの変換方式について述べる．

2-1　計測の手順

土木，建築関係で使用される計測器は測定対象が地盤やコンクリートなど性質が多様に変化することが常であり，一般工業用計測器とは異なる専用計測器が用いられているのが現状である．測定対象である種々の物理量は図-2に示す１次変換器があり，変換後に２次変換器に引き継がれて電気変換される．計測器はひずみや応力などの物理現象を変位に変換する１次変換機構と変換された変位を電圧や周波数に変換する２次変換機構によって構成されるものが多い．また，近年実用化が進んでいる光ファイバセンサはファイバー自体を１次変換器とし，ひずみによって生じる光の周波数や透過損失特性，干渉特性などの２次変換機能によって電圧や周波数に変換するものであり，ファイバーが信号伝送経路として使用できることも特長である．

2-2　計測器の概要

表-1，2に目的別の１次変換器，２次変換器の方式を示す．

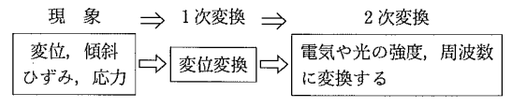


図-2　１次変換と２次変換の構成

表-1　主な計測器の概要（1次変換器）

目　的	方　　式
土　圧	土圧を受圧板の変位に変換する受圧機構：ひずみ(変位)変換方式 土圧を弦の張力に変換する受圧機構：振動弦方式 土圧を液圧に変換する受圧機構：ニューマチック方式
水　圧	水圧を受圧板の変位に変換する受圧機構：ひずみ(変位)変換方式 水圧を弦の張力に変換する受圧機構：振動弦方式 水圧を気体圧力と比較する受圧機構：ニューマチック方式
鉄筋応力	鉄筋のひずみを直接測定する：ひずみ計方式 鉄筋応力を変位に置換する変換機構：変位測定方式 鉄筋応力を弦の張力に置換する変換機構：振動弦方式
傾　斜	傾斜を振り子の振幅に置換する変換機構：変位測定方式 傾斜をばねの曲げひずみに置換する変換機構：ひずみ変換方式 振り子を原位置に復元する力に置換する変換機構：力バランス方式
相対変位	変位を直接変位計に伝達する変換機構 変位を回転に置換する変換機構 変位をひずみに置換する変換機構
ひずみ	ひずみを直接ゲージに伝達する変換機構：ストレンゲージ方式 ひずみを2点間の相対変位とする変換機構：変位測定方式 ひずみを弦の張力に置換する変換機構：振動弦方式
振　動	ピエゾ効果を応用する圧電式 力バランス方式
メタンガス	ガス検知器 泥水中の可燃性ガス分析装置

表-2　主な2次変換方式

変換器	方　　式
ひずみゲージ方式	測定対象物に貼った金属線の伸縮による抵抗変化を検出する
摺動抵抗方式	対象物の変位を摺動抵抗のスライダーに伝え，抵抗変化に変換する
振動弦方式	測定対象に生じる変位を鋼線の張力に変換し，張力に応じて変化する鋼線の固有振動数を検出する
差動トランス方式	コイルと鉄心の相対変位を電圧に変換するもので非接触変換方式である．
ニューマチック方式	地上から空気圧または液圧を送り，測定点に作用する圧力と比較して，加えた圧力を測定する平衡機能を持った方式
力バランス方式	振り子の傾斜による変位，荷重によるばねの変位などを検変位を戻す力に対応した電流を電圧として検出する．
カールソン方式	抵抗線の張力による伸び，ポアソン比による断面積の変化にもとづく抵抗変化からひずみを算定する方式
光学的な変換方式	レーザ光，発光ダイオードなどによる距離，水平・垂直変位などの電気変換
光ファイバセンサ方式	光ファイバに生じるひずみや変位を光ファイバ内の後方散乱光のひずみ依存性，温度依存性，透過損失などによって検出する変換方式

2-3　変換器の詳細

（1）　ひずみゲージ方式

小型軽量で直線性がよく，建設関係に限らず一般工業計測用として広く用いられている．圧力計の受圧板，荷重計の起歪体など，変換機構のひずみを直接検出するため，小型センサを作りやすい．

4枚のストレンゲージあるいは抵抗で構成するブリッジ回路によってストレンゲージに生じるひずみによる抵抗変化を検出する．一枚のストレンゲージを用いる1ゲージ法から4ゲージ法まであり，被測定体へのゲージの貼り方，あるいは回路構成の工夫によって種々の計測目的に対応することができる．また，測定体に直接接着することによって，構造物のひずみを直接測定することから建設現場での研究・調査計測に広く使用されている．

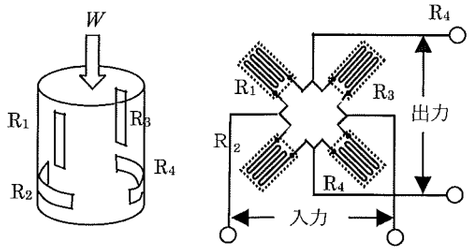


図-3　4ゲージによるロードセルの構成

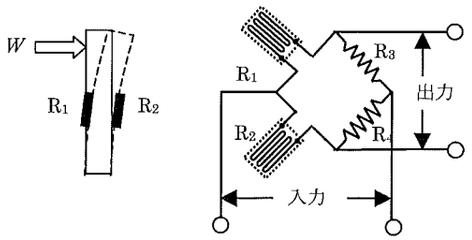


図-4　2ゲージによる曲げひずみの測定

（2）　差動トランス方式

変換機構の相対変位を非接触で検出する変換方式であるため，変換機構部の経年変化がない．微

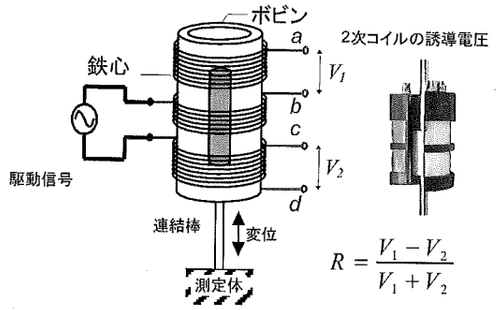


図-5　差動トランスの動作原理

小変位から大変位まで，目的に応じた変換器を作ることができる．電気出力が大きく，ノイズに強い．長尺のケーブルに対する感度変化を除く種々の方式が提案されており，**図-5**は2次コイル出力の和と差の比を求めることによって，ケーブル長や温度変化による感度変動を除去する方式の一例を示す．機械的，電気的に堅牢な変換方式であるがセンサの小型化が望まれている．

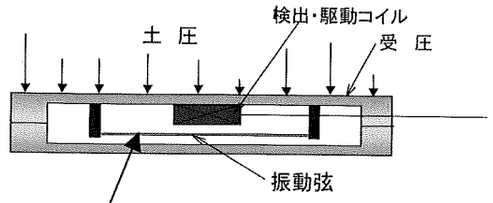
（3）　振動弦方式

変換機構の相対変位をワイヤの張力に変換し，固有振動数から張力を求める変換方式．内蔵される駆動・検出コイルは変換精度とは無関係であるため，堅牢かつ長期的に安定なセンサを作ることができる．測定時にパルスを与え，余韻としての周波数を検出する単発(ハンマー)方式と駆動コイルと検出コイルを増幅器でループ状に接続し常時固有振動を持続する自励方式がある．後者は動的測定に使用できる．

変換出力は振動数である．ワイヤの許容張力内で有効であるためダイナミックレンジは比較的狭い．欧米の主流である．**図-6**は受圧板のたわみを振動弦の張力変化に変換する機構の一例を示す．

（4）　力バランス方式

力バランスでは**図-7**に示すように振り子の傾斜による変位を検出し，サーボ増幅器でトルカーを駆動して変位を元に戻す力に応じた電流を出力抵抗両端の電圧として取り出す．トルカーは磁石とコイルで構成する電磁駆動機であり，外力とバランスするためにコイルに流れる電流は傾斜によって生じる錘の分力(傾斜)に比例する．変換部に実



2本のポール間に弦が張られている．受圧板の撓みによってポールは傾き，弦の張力が変わり固有振動数が変化する．

図-6　振動弦変換器の動作原理

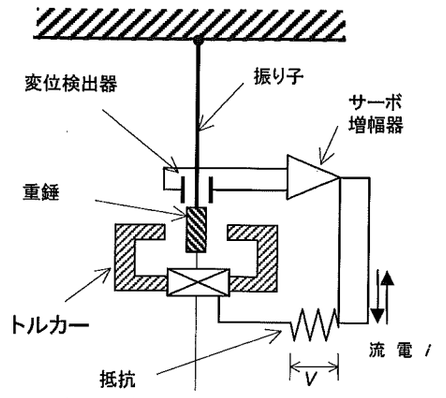


図-7　力バランス傾斜計の動作原理

用上変位がないので，ばねに起因する非直線性の問題がなく，振り子が動かないので測定範囲に機械的な制限がなく，広い測定範囲を持つ計測器を作ることができる．傾斜計のほか，振動加速度計(地震計)に多く用いられる．

③　計測器の信頼性

大深度地下での計測では計測器自身やその他計測方法の信頼性に関して検討する必要がある．そのため，各種の既存文献での当該項目に関する記述，計測器メーカー，ゼネコンなどの計測経験者からのヒアリング，計測器の原理などを踏まえた分析により主要な項目に関する信頼性を左右する要因とその具体的な内容を**表-3**にまとめた．

④　計測器の耐久性

4-1　計測器の耐久性を左右する要素

（1）　機械的耐久性

センサは，変位や応力の作用に対して長期間に

表-3　信頼性を左右する要因と具体的な内容

	信頼性を左右する要因	具体的内容
計測器設置	対象物への取り付け位置，取り付け方向の適合性	変形，応力発生位置と取り付け位置との整合性がとれていないこと．
	取り付け方法の合理性	取り付け治具と測定対象の剛性，熱的特性の相違
	計測箇所の構造弱点との適合性	設置深度と耐水性，温度影響と温度特性，地盤変状とケーブルの変形との関係
	計測器の設置間隔	設置間隔小による測定値への影響と間隔大による測定箇所逸脱の影響
ケーブル	ケーブル取り付けによる誤差	計測器とケーブル取り付けによる挙動の相違
	ケーブル存在による誤差	水みち形成による水圧の変化
土圧計	土圧計の形状と測定精度	地盤の変形係数と土圧計の形状効果と応答比との関連による誤差
	埋め戻し材と周辺地盤の土質条件との相違	周辺地盤と埋め戻し材の不整合による誤差
	設置時の計測器固定方法	周辺地盤と埋め戻し材の均一性が確保できないことによる誤差
	地盤粒度と受圧面外径との関係	粒度と受圧面外径との比率が小さい場合に発生する応力集中による誤差
水圧計	計測器設置時の加圧による影響	設置時の加圧による計測器変形，追加応力発生による影響
	地盤の透水係数に伴う影響	透水係数と時間遅れの関係による影響
	不飽和土の間隙水圧の影響	負圧を長期間測定できる間隙水圧計
	計測器のシール方法による影響	シール部の漏洩による誤差

わたって安定した動作を保持することが重要である．とくに荷重，応力に関するセンサは外力によって変形するばねのひずみや変位を1次変換原理とするものが多いのでばねの耐久性が測定精度，信頼性を左右することになる．センサ構造体の腐食は受圧板ばね体など一次変換機能の低下や防水構造の機能低下を招き，ケーブル絶縁体の長期使用に伴う脆性化，塑性変形を要因とするケーブルの破損，その結果として電気的な絶縁低下による耐久性の低下などがある．物理現象を変位変換するばねの変形量がセンサの変換感度を決めるので，2次変換効率を向上することによってセンサの耐久性(長期信頼性)の向上につながる．

(2)　電気的耐久性

電気部品の耐久性は，センサ構造体の機械的耐久性に比較して低いと考えざるを得ない．これは，土木計測ではセンサケーブルあるいは計測システムケーブルを地表面に敷設するケースが避けられず，落雷時に誘導雷障害を誘発することが多いためである．このため，センサ内には電子部品を用いず，必要に応じてセンサと測定システムの分岐点に避雷回路を入れることによって交換不能のセンサの耐久性確保に努めている．また，計測中の地盤変位に伴う地中ケーブルのせん断変形による絶縁不良もあり，埋設位置に注意が必要である．

4-2　耐久性の実績

フィルダムの間隙水圧，漏水量，LNGタンクや原子力発電所の地震関連測定器など，施設の維持管理に必要な計測器は長期測定を継続しており，30年を越す実績があるが，長期計測用埋設計測器の耐久性，信頼性の維持に関しては今後に残された問題が多い．その大部分はケーブルの絶縁不良によるものである．

⑤　計測器設置に関するノウハウ

被測定体に作用する現象を忠実に測定し，かつ，計測器の耐久性が向上することができる計測器設置技術が必要であり下記のノウハウはとくに重要である．

5-1　現象を忠実に測定するための設置技術

これには以下の技術がある．

(1)　構造材の曲げモーメントを測定するためのひずみ計，ストレンゲージの取り付け方

(2)　土圧を忠実に測定するための計測器の選び方，埋め戻し方法，設置面への初期設置圧の設定方法

(3)　間隙水圧計の設置点へのシール方法，埋め戻し方法

5-2　計測器の耐久性を向上するための敷設技術

これには以下の技術がある．

(1)　ケーブルに過剰な張力を作用させない敷設

(2)　ケーブルを水みちにしない敷設

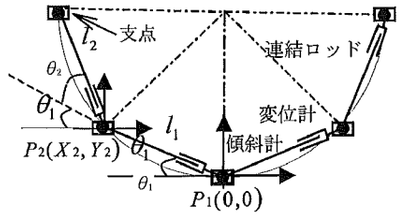
(3)　避雷回路の選び方と接地方法

⑥　計測に関する新技術

最近の計測に関する新技術として，代表的なものは以下がある．

6-1　トンネル内空変位の測定

従来，トンネル内空変位測定に用いられていたコンバージェンスメータは，内壁を直径方向に測定するものであるからシールド内で組み立てられたセグメントがテールエンドを経て地山にでる過程でどのような変形が生じているかについての測定結果はほとんどないのが実状である．これについて，トータルステーション，カメラを用いる画像解析などの測定法があるが，いずれもテールエンドから出た後の測定に限られている．図-8に示す内空変位計は，トンネル内壁を等分する測点間をいくつかの連結ロッドで結び，各ロッドの傾斜角とロッド長の変化量を検出して各測点の座標を求める新しい内空変位測定法である．セグメント組み立て時点からの変形を測定できるものであり数現場において測定実績がある[5]．



l_i ：初期支点間距離　　Δl_i ：支点間距離変化
θ_i ：初期角度　　$\Delta\theta_i$ ：角度変化

図-8　ユニバーサル変位計計測模式図

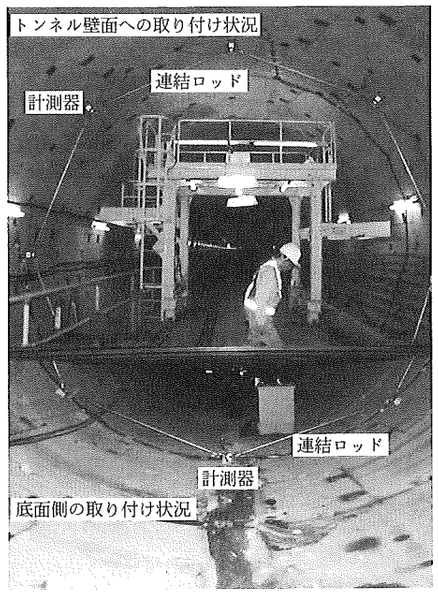


写真-1　シールドトンネル壁面で実施された内空変位計

6-2　ケーブルレスセンサ

従来の計測手法は，被測定物に取り付けられたセンサのケーブルを測定装置に接続して測定，データ収集する手順が必要である．そのため，例えばセグメント組み立て時に作用する応力のような施工中の現象を測定することは困難であった．最近，低周波磁界を用いた無線伝送方式によって地盤中や水中で無線伝送可能なデータ通信技術が開発されており，ケーブルレスセンサが実用化されている．

この無線伝送方式を利用することにより，セグメント内に設置されたセンサの測定結果をケーブル接続することなくデータ収集することができるようになった．セグメント製作，養生，組み立て，掘進に至るセグメントに作用する応力，変形などの測定が可能である．また，トンネルの測定結果を地上で受信することができるので，運用後のメンテナンス測定などの計測効果が期待されている．

6-3　レーザプロファイラ

レーザプロファイラは，図-9に示すように対象

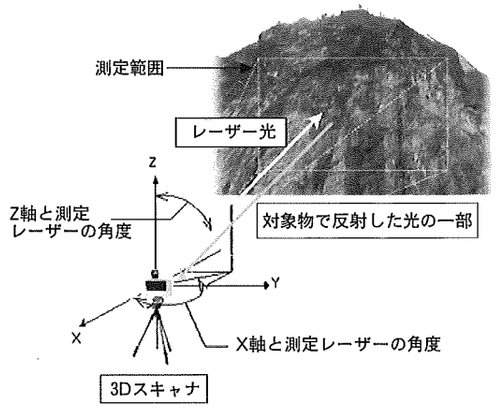


図-9　3Dスキャナによるプロファイルの測定

物にレーザ光を照射し，反射波が戻る時間を測定して距離を求めることによって被測定物の形状を求める手法であり，照射距離の短い道路の平坦度測定から，照射距離の長い地図やハザードマップの作成技術として用いられている．トンネルの表面形状を被接触測定することが可能であり，活用が期待されている．

7 おわりに

構造物の計測は，その置かれる環境条件と測定対象により種々変わるものであり，装置の形状，材質や設置方法などに日々改善が実施されている．しかし，精度や信頼性の向上に比例して構造物に要求される性能やコスト低減への要請も高まっている．そのため，今後とも計測器は，他分野の技術や海外での技術を取り込み，更なる精度向上や耐久性向上を図る必要がある．

参考文献

1) (社)土質工学会：現場計測と施工管理，1984.10.
2) (株)共和電業：計測技術で安全と安心への挑戦，1999.6.
3) (株)共和電業：現場計測における応力センサ，1991.11.
4) (社)地盤工学会：大深度地下使用における地盤および構造物の調査・計測技術，ワークショップテキスト，2002.7.
5) 橋本・水原ほか：連結ユニバーサル変位計の開発，第39回地盤工学会研究発表会，pp.1679–1680，2004.7.

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

トンネル ジャーナル

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

最小曲線半径10mをクリア

飛島建設は，広島県福山市が発注した下水道工事で，国内初となる最小曲線半径10mのS字急曲線を施工した．

同工事は，施工延長1,425.8m，仕上がり内径1,000㎜を3段中折れ機構の泥土圧式シールドで掘進するもので，玉石混じりの砂礫層を地上部の制約から1,000m地点の中間立坑まで，ビットを替えずに掘進した．工期は2004年6月～2006年3月末．

岩鼻トンネル貫通

関東地方整備局長野国道事務所が建設を進めている国道18号上田・坂城バイパスの岩鼻トンネルが貫通した．

上田・坂城バイパスは，長野県上田市上塩尻から坂城町小網までの延長4.9km．同トンネルは，延長333m，掘削断面積約88m²．供用は，2006年度中の見通し．

北海道新幹線工事が本格的に稼働

北海道新幹線新青森・函館間渡島当別トンネルの安全祈願祭が11月27日に行われたことによって，同新幹線工事が本格的に動き出す．

同トンネルは，木古内町亀川から上磯町湯の沢に至る延長8,080mの長大トンネルで，北海道新設トンネル区間で最長となる．工事は東西2工区に分け，西工事2,700mを鉄建JVが，東工事2,800mを大成JVが担当する．

大深度トンネル現有技術で施工可能

東京外かく環状道路・関越道～東名高速間約16kmをモデルに大深度トンネルの建設技術を検討している国土交通省の「大深度トンネル技術検討委員会」は，地下41m以上の大深度地下空間に道路を整備することは現有の施工技術で可能との見解で一致した．

地中拡幅部は，「曲線パイプルーフ工法」を用いれば施工可能．シールドは，実績から泥水式が妥当としている．一方，「大深度地下使用法」の適用については，地中拡幅部に対する大規模補助工法によって路線上部や地上の建築物基礎に問題が生じる可能性があり，法適用は難しいとの考えを示す一方で，技術開発が進展すれば無理ではないとの見解も示した．今後シールド工法の合理化方策などについて議論を進める．

九州新幹線玉名トンネル貫通

九州新幹線(鹿児島ルート)の玉名トンネルが貫通した．

同トンネルは，鹿児島ルート博多～新八代間では熊本県内最長の全長約6,780mのトンネルで，南北2工区に分けて施工した．この貫通により同ルートの全線完成・開業が大きく前進することとなった．

ハマシールド636発進

国土交通省関東地方整備局横浜国道事務所が進めている「新杉田共同溝工事」のシールド(ハマシールド636)が発進した．

このシールドは地元の小学生が応募した「ハマシールド」と「シールド636」を合体させて命名したもの．工事は，横浜市磯子区新磯子町1丁目～磯子区新杉田町までの延長3,234mを外径6.36mの泥水式シールドで約15か月かけて掘り進む．

智頭トンネル貫通

中国地方整備局が整備を進めている国道373号志戸坂峠道路のうち，6か所あるトンネルでもっとも長い智頭トンネル(1,975m)が貫通した．

仙台東部共同溝が既存共同溝と接続

東北地方整備局が，仙台市における災害に強く安定したライフラインの確保と道路機能の保全を目的に整備を進める共同溝事業の仙台東部(花京院)共同溝が，現在供用中の仙台共同溝と接続した．

同共同溝は，仙台市青葉区本町～宮城野区小田原の延長1,378mをシールドにより掘削した．今後，付帯設備や舗装工事を行い，2007年の完成を目指す．

浦川原1号トンネル貫通

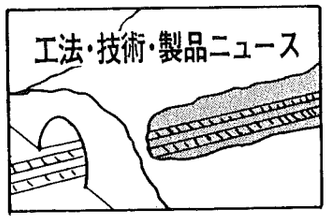
新潟県南西部を直結する地域高規格道として早期全通が待たれる上越魚沼地域振興快速道路の難関，浦川原1号トンネルが貫通した．

同トンネルは，土かぶりが小さく軟弱な地山という厳しい条件下で，AGF工法などの最新の土木技術を駆使して貫通した．直上にため池がある箇所では，水漏れがないウォータータイト工法を採用した．

セグメント設計・施工指針で説明会

コンパクトシールド工法研究会は，東京都下水道局と全国上下水道コンサルタント協会の協力を得て，「下水道シールド工事用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針(東京都下水道局)」の技術説明会を開催した．

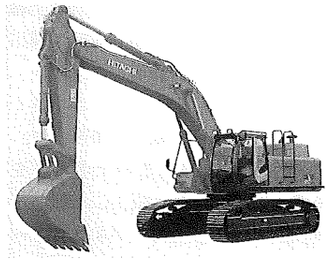
指針では，仕上がり内径2,600㎜以下の管渠については，コンパクトシールド工法を標準すると明記されており，出席した東京都の担当者から，同指針の内容，コンパクトシールド工法の概要説明などがあり，多くの参加者が耳を傾けた．



大型機で排ガス３次規制クリア

日立建機は，大型油圧ショベルZX-3シリーズ３機種を順次国内向けに発売する．

同シリーズは，日米欧の第３次排ガス規制に対応したエンジンを搭載し，騒音レベルは標準機で2006年欧州騒音規制対応の低騒音仕様．従来機の持つ高い生産性,操作性を継承するとともに，エンジン・油圧システムのさらなる効率化により，作業量アップを可能にし，低燃費，低騒音を高次元で実現した．



遠隔操作でカッタビット交換

西松建設と三菱重工業は，カッタビットを遠隔操作で交換できる「アピアビット工法」を共同開発した．

同工法は，カッタスポークに内蔵された予備ビットがスポークの回転に伴い固定カム上に沿って摺動し，切羽面に押し出されて交換する仕組み．すでに２現場で適用し，従来工法に比べ，工程・工期短縮，コスト低減，安全性の向上などを確認した．

ワイドフォーマットスキャナ

コンテックススキャニングテクノロジーは，A0サイズに対応したフルカラースキャナの高性能モデルとして「PUMA HS 36"」を追加販売した．

本製品は，新しくスキャナ内部にPCの性能を搭載することで，スキャニング用途のみならず，さまざまなプリンタと組み合わせて大判カラーの高性能複合機システムに拡張することが可能．

短中距離向けコンベヤに帆布ベルト採用

横浜ゴムは，省エネ効果の高いコンベヤベルト「エコテックス」シリーズに新しく短中距離向けの帆布コンベヤベルトをラインナップした．

同ベルコンは，ベルトがローラー上を通過する際に発生する乗り越え抵抗を大幅に低減したのが特徴で，この乗り越え抵抗を減らすことでコンベヤベルトを動かすモーター動力が小さくなり消費電力を削減できる．国内の石灰石鉱山に採用され，従来よりも消費電力を年間約25%削減する効果を上げている．また，二酸化炭素の削減に役立つ商品へのニーズが高まっていることから，今後，既存の帆布コンベヤベルトから省電力タイプへの取り替え需要が増えると見込み，新商品の投入で販売拡大を図っていく．

エコチャージ工法

JR東日本と鉄建は，地下構造物の建設で突発的な湧水を防ぐ新たな補助工法「循環型地下水制御(エコチャージ)工法」を開発した．

同工法は，揚水井戸からくみ上げた地下水を，砂分を分離装置で除去して受水槽に送水し，そこから注水ポンプを通じて現場周辺の地盤中に注水していく．さらに観測用の井戸を設ければ，注水量を管理し，近接した井戸の地下水低下の影響を防ぐことも可能．従来工法では，井戸枯れや地盤改良による固形化が部分的に不十分になることによる地盤陥没が懸念されていたり，地下水のくみ上げによる下水道処理費用がかさむことも課題であった．

門型シールドによるアンダーパス

戸田建設と三菱重工業は，非開削のアンダーパス工法「すいすいMOGLA(Multi Opera-Glass-Type Shield；モグラ)」を開発した．

同工法は，新たに考案した小型の「門型シールド」を使ってトンネルの上半部と下半部を層状に別々に構築し，側壁部を接続・閉合して完成させる外殻先行型矩形トンネル構築法．外殻を先行させるため，周辺地盤の変状を最小限に抑えられ，マシンが小型で製作費も安い．また，上・下半の段階的な施工が可能のため，シールド発進の位置を変えるだけで，立坑の大幅な簡略化が図れ，コスト縮減と工期短縮を実現．試算によると延長300mの２車線道路トンネルを構築する場合，大断面矩形シールドでの掘削時より約50%低減でき，工期もほぼ同等の20か月程度で済む．

養生バルーンを既設トンネル補修に活用

西松建設は，新設トンネルの覆工コンクリート打設直後の養生時に活用していた「トンネルバルーンシステム」を，既設トンネルの補修工事に導入する．

同システムは，2003年に資材総合商社の東宏と共同で開発したもの．冬季の坑内温度による打設コンクリートの急激な温度低下を抑えることで，型枠脱型時の剥離のない高品質の覆工コンクリートを実現する．最近の既設トンネルの補修需要の増加に伴い，トンネル内部のコンクリートとバルーンとの隙間で施工し，通過する交通車両に影響を与えない補修工法を確立．今後，営業ツールとして積極的に活用していく．

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
研究開発委員会

台湾の新幹線完成/Taiwan's high-speed rail link cruises home

By J. Bradford Townsend(THSRC：台湾高速鉄道公司): T＆TI, October, 2004, Vol.36, No.10, pp.21-25

台湾初のBOT事業であり，また世界最大のDB方式による台湾高速鉄道プロジェクトは，台湾高速鉄道公司が事業主体である．台北から高雄まで全長345km，時速300kmの鉄道計画は，2000年１月に着工され2005年10月営業開始予定である．

土木工事の概要は，以下のとおりである．

- トンネル区間は掘削部の総延長39km，完成後の断面積90m²
- 開削トンネル区間８km(桃園駅進入トンネル2.8kmを含む)
- PCa，PC製箱げた高架橋，およびトラス橋251km
- 切土，盛土区間32km

プロジェクトの総工費123億米ドルのうち，上記土木工事費は約53億米ドルである．延長92～7,360mの計42本のトンネル総延長は39,050m，合計掘削土砂量730万m³である．トンネルの掘削は21か月かけて2003年７月に完了した．プロジェクト全体の日進量は約78mで，１切羽あたり最高12m/日である．

台湾は，地震活動が活発な地殻プレートの集中する地点に位置している．本プロジェクトは東部の山岳地帯を避け,高度の低い西側の部分,すなわち山麓の丘陵地帯に沿って計画された．また,過去10,000年以内の活断層を横断するトンネルはない．

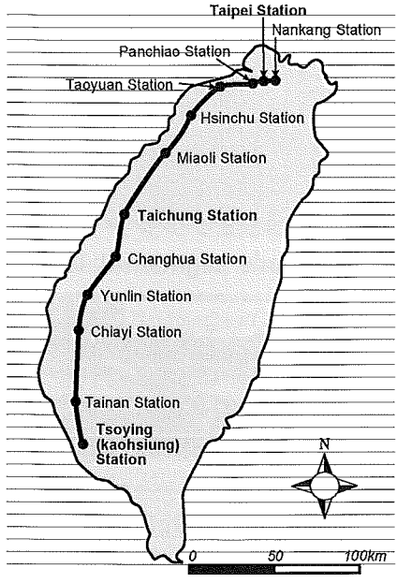


図-1 台湾新幹線路線図

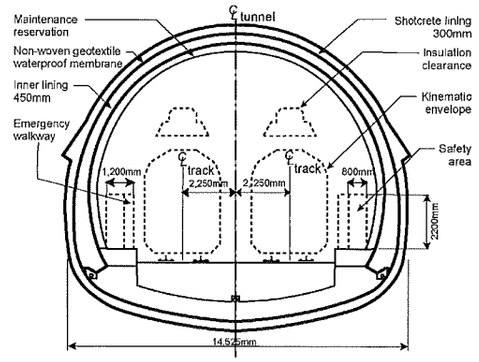


図-2 標準断面図

トンネル部の地層は新第三紀中新世～第四紀のシルト，砂，巨礫の堆積物が主体であり，地山の一軸圧縮強度は最大でも数MPaの軟岩である．

トンネル工法はNATMを標準とし，上半先進ショートベンチカット工法により施工を行った．地下水位の高い箇所では，主に切羽の水抜きボーリングにより水位低下を図ったが，いくつかのトンネルではディープウェルを採用した．

トンネルの標準支保は，吹付けコンクリートと鉄筋支保工およびロックボルトである．また，地山の状況に応じてフォアポーリング，長尺フォアパイリング，鏡ボルトなども施工した．覆工コン

クリートの厚さは，地山の状況により大きな幅があり，アーチ部で300～600㎜，インバートで450～500㎜であった．ライニングの設計は，ACI318，ユーロ規格EC 2 または英国BS8110などによった．

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

ロンドンにおけるセグメントライニングの進展/London's segmental lining development

By Chris Webb：T＆TI, October, 2004, Vol.36, No.10, pp.45–47

セグメント設計に的を絞ったアプローチ/A targeted approach to segment design

By Nick Blayney hris：T＆TI, October, 2004, Vol.36, No.10, pp.53–55

ロンドン地下鉄公社は，ビクトリア時代以来長年にわたって，鋳鉄セグメントを使用しており，150年を経た今なお健在である．近年は，展性，抗張力に優れたダクタイル鋳鉄セグメントが広く使用されている．ダクタイル鋳鉄セグメントは，軽量のため輸送コストが安く，火災時に煙や有毒ガスの発生が少なく，長寿命でメンテナンスコストが少ない利点がある．

RCセグメントは，ポルトランドセメントの発明と高品質の鉄筋の開発に伴って，1930年代半ばにロンドン地下鉄用に開発され，以後今日まで広く普及し使用され続けている．最近では，将来近接工事により長期的負荷が予想される立坑（ϕ＝8m，深度40m）の覆工にも使用されている．

RCセグメントの腐食や耐火性の問題に対して，橋脚や海中建造物と同条件であること，海峡トンネルでの火災に対して鉄筋はほとんど無傷であったことが述べられている．

近年はセグメントの補強材として，従来の鉄筋に替えてスチールファイバーやポリプロピレンファイバーを使用する傾向がある．

CTRL（ドーバー海峡トンネル連絡線）の覆工は，高度の耐久性，メンテナンスフリー，強力な耐火性に加えて，近隣の工事による地盤の移動や負荷にも耐えることが要求された．内径7.15mの併設トンネルには，設計耐用年数120年のスチールファイバーとポリプロピレンファイバーで強化した特製のセグメントライニングが40km以上使用された．

ポリプロピレンファイバーは，大火災の高熱で溶け，コンクリート内で発生する蒸気を逃すことにより，コンクリートの崩落のリスクが抑えられる．スチールファイバーと石灰岩や花崗岩の骨材を組み合わせたセグメントは，火災後も規定の構造強度を維持できる．

さらに，TBMの大きな推進力にも耐える強度を持っている．

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

HDD工法の現況/HAD Systems and Down Hole Accessories

T&TC, Decembere, 2004

【HDD工法の概要】

非開削の管路の敷設工事でよく使用される“HDD”工法の用語はHorizontal Directional Drillingの略である．この工法は一般に3段階で施工される．まず，地表の発進坑から到達坑まで，運河などの障害を迂回しながらの曲がりボーリングを貫通させる．次いで，ボーリングロッドの掘削ビットをリーマーに付け替え，反対方向に引き戻しながら所定の径まで拡径する．大口径の管路を敷設する場合はこの拡径作業を何度かくり返す．最後にリーマーの先端にクランプを介して供用管を連結し，引き戻し作業で設置を完了する．供用管の材質は柔軟なHDPE管とする場合が多い．

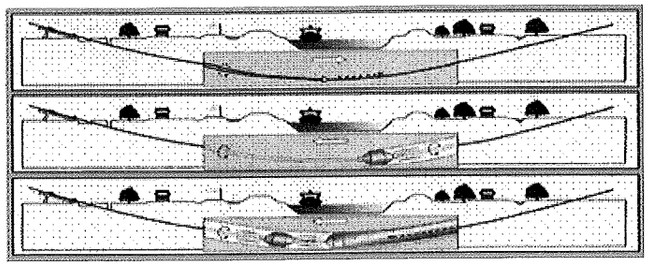


図-3 HDDの施工概要

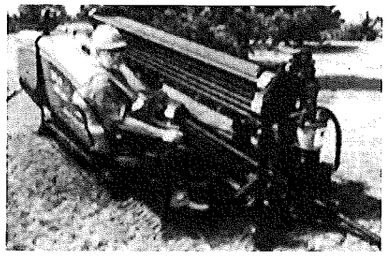


写真-1 小型のHDD(引き戻し力30kN程度)

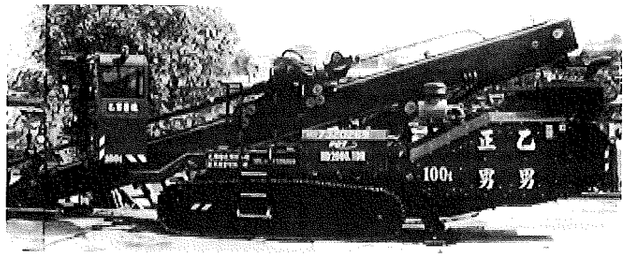


写真-2 大型のHDD(引き戻し力1,000kN程度)

【HDD工法のメーカー】

HDD工法の機械および備品のメーカーは世界各地に散在し，その取り扱う機械も以下のように多岐にわたる（下二重線を最大仕様）．

（1） Zoomlion Powermoleは中国/イギリス系の先駆的なメーカー

（2） American Augers はDD1モデル（引き戻し力450kN）からDD million eightyモデル（引き戻し力4,900kN）まで幅広く製作

（3） Central Mine Equip のCME 50 DDはトルク12,000 Nmで引き戻し力22kN

（4） Ditch WitchのJT 520モデルは引き戻し力22.2kNで，各種リーマーも製作

（5） EGTは9ドリルシステムで，引き戻し力50～4,000kNのHDDを製作

（6） Herrenknecht は引き戻し力1,000～4,000kNの機械でHDD市場に最近参入

（7） Horizontal Rig & Equipment のHDDは3ドリリングシステム

（8） Robbins のHDDは，最大1,800mの掘削が可能で，引き戻し力は2,450kNt

（9） Tracto-Tecnik は引き戻し力250～4,000kNのHDDを製作

（10） Wirth は1.5mまでの拡径が可能で，1,800mまでの掘削，引き戻し力がおのおの，340, 560, 700, 1,540, 2,550kNのHDDを製作

【HDD工法のトラブルと復旧】

HDD工法の最大のトラブルはなんらかの原因で管路の引き戻しができなくなることである．2004年の中頃から東テキサスのNormangee では延長1,650mのガスパイプラインの交換工事が，パイプラインの径を510㎜から915㎜まで5段階で拡径しながらHDD工法で行われていた．この工事の竣工間近に洪水が発生し，HDDが埋没して管路の引き戻しが全くできなくなった．こうしたトラブルの回復にはHammerhead Mole pipe rammer が有効である．このランマーは直径610㎜で，毎分300㎜の送り込みで約900tの衝撃力が発生し，この衝撃力で埋没管を少しでも動かすことができればHDD工法を救済できるとしている．

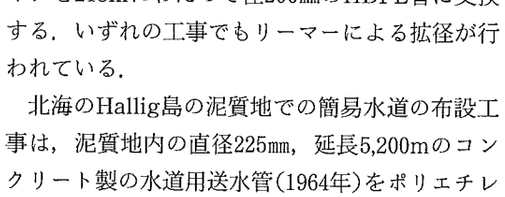


図-4 ハンマーヘッドモールランマーによる回復

【HDD工法の施工事例】

HDD工法による管路の敷設工事として3か所の事例を紹介している．

VIA DEL SEWER RENOVATION PROJECTは，既存の径300㎜の土管を280mの延長で径355㎜のHDPE管に交換する工事である．MARIPOSA PROJECTでは，径150㎜の土管の排水パイプを213mにわたって径200㎜のHDPE管に交換する．いずれの工事でもリーマーによる拡径が行われている．

北海のHallig島の泥質地での簡易水道の布設工事は，泥質地内の直径225㎜，延長5,200mのコンクリート製の水道用送水管（1964年）をポリエチレンと鋼管の複合管に交換するものである．現在，HDD工法により最後の400mの接続工事を行っているが，泥質地の潮の干満の間の短い作業時間内にもかかわらず，効率的に施工が進められている．

（文責 香川和夫・(株)フジタ）

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	11月25日現在	12月25日現在
正会員	1,983名	1,983名
団体会員	343名	343名
個人会員	1,640名	1,640名
名誉会員	1名	1名
計	1,984名	1,984名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

山岳トンネル小委員会幹事会：12/8（小暮誠幹事長ほか7名)今後の方針を検討

◎施工技術委員会

支保幹事会：12/15（服部修一幹事長ほか18名)検討課題を抽出

TBM工法小委員会幹事会：12/9（高津壮太幹事長ほか12名)原稿を検討

都市トンネル小委員会幹事会：12/6（服部公一幹事長ほか7名)項目を選定

◎研究開発委員会：12/8（大久保誠介委員長ほか14名)海外文献を査読

トンネル技術白書小委員会：12/9（朝倉俊弘委員長ほか24名)原稿を検討

◎保守管理委員会：12/14（向山路一幹事ほか11名)原稿を検討

◎東北新幹線トンネル技術委員会機械化WG：12/26（田村武幹事長ほか19名)設計を検討

◎開削トンネル設計方法特別検討会：12/5（木村亮委員長ほか21名)作業方針を検討

◎効率的掘削工法特別委員会：12/22（西村和夫委員長ほか27名)原稿を検討

◎耐震設計検討特別委員会幹事会：12/22（蒋宇静幹事長ほか12名)原稿を検討

計　11回開催　182名出席

②運営広報関係委員会

◎国際委員会

企画調整幹事会：12/15（石井一生幹事長ほか6名)COB会議報告

◎会誌委員会：12/7（大島洋志委員長ほか12名)1月号の会誌と3か月計画を検討

計　2回開催　20名出席

合計　13回開催　202名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等	備考
国際会議と展示会 21世紀におけるトンネルと非開削技術	2006. 3. 7～9	セランゴール（マレーシア）	The Institution of Engineers, Malaysia Tunnel and Underground Space Technical Division, IEM マレーシア工学会 トンネルおよび地下空間部会	http://www.iem.org.my/
第32回ITA総会およびコングレス 「地下空間の安全」	**2006. 4. 22～27**	**ソウル（韓国）**	**Korean Tunnelling Association International Tunnelling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会**	**http://www.ita2006.com**
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006. 9. 12～16	ウィスラー（カナダ）	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局	http://www.engconfintl.org/6ad.html
第4回アジア岩盤力学シンポジウム 「都市部における地下空間利用」	2006. 11. 8～10	シンガポール（シンガポール）	International Society for Rock Mechanics (ISRM) and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore (TUCSS) 国際岩盤力学協会 シンガポール地下建設協会	http://www.arms2006.org/ Call for paper
第1回国際シンポジウム 「都市部における地下空間の利用」	2006. 11. 6～7	シャルムエルシェイク（エジプト）	Egyptian Tunnelling Society エジプトトンネル学会	http://www.egyts.com/ Call for paper
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 Call for paper**

＊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17年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
（見学会）			
イスタンブール国際トンネル会議技術調査	2005. 5. 7～18	26	トルコ，スイス，フランス
神戸市地下鉄現場研修会	2005. 7. 8	20	兵庫県
京都市地下鉄現場研修会	2005. 7. 22	25	京都府
大強度陽子加速器施設現場研修会	2005. 8. 24	19	茨城県
北陸新幹線現場研修会	2005. 9. 15, 16	15	新潟県
北海道地区道路トンネル現場研修会	2005. 10. 6, 7	27	北海道
九州新幹線現場研修会	2005. 11. 17, 18	18	佐賀県
HEP＆JES工法現場研修会	2005. 11. 30	18	栃木県
首都圏トンネル現場研修会	2006. 1. 20	20	東京都
山陰地区道路トンネル現場研修会	**2006. 2. 2, 3**	**20**	**京都府，兵庫県**
（発表会）			
①第56回(山岳)「特殊環境下におけるトンネル工事」	2005. 12. 12	200	東京都
②第57回(都市)「都市トンネルにおけるリニューアルと補強工事」	2005. 12. 13	200	東京都
③2006トンネル技術の特別講演と技術発表会	**2006. 2. 24**	**300**	**70頁参照**
（討論会）			
第3回モグラ研究会「設計変更」	2005. 5. 26	15	東京都
第4回モグラ研究会「近隣対策」	2005. 7. 15	13	東京都
第5回モグラ研究会「技術の伝承」	2005. 10. 4	11	東京都
（講演，講習会）			
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2005. 6. 23, 24	32	富山県
第7回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2005. 10. 26, 27	36	東京都
トンネル技術特別講演会	**2006. 2. 16**	**300**	**68頁参照**

設立30周年記念トンネル技術特別講演会開催のご案内

本会設立30周年を迎え，今年はこれまでに各種の記念行事を実施してまいりましたが，このたびその締めくくりとして，特別講演会を開催することといたしました．

テーマは「21世紀の地下インフラ整備」と題し，技術革新を重ねてきたトンネルの各種技術が，今後の地下開発技術にどのような役割を果たし，そして評価を得ていくのか，トンネル技術者にとりましては将来を見据えたまたとない機会であると存じますので，多数ご参加下さいますようご案内申しあげます．

なお，本研修会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか，土木学会トンネル工学委員会後援事業でもありますことを申し添えます．

―記―

開　催　日：平成18年２月16日(木)

場　　所：北の丸公園　科学技術館地下「サイエンスホール」TEL：03-3212-8485
千代田区北の丸公園2-1　地下鉄東西線「竹橋」駅下車徒歩約７分(案内図参照)

プログラム：

司　会　〈事業委員会委員〉東京地下鉄(株)建設部沿道調整課長　中島　誠三
9：50　開会挨拶　(社)日本トンネル技術協会会長　小森　博
10：00　特別講演「大規模地震の被害想定と防災対策」　東京大学名誉教授　溝上　恵
11：30　本格化しつつある大深度地下利用―制度の必要性と神戸市大容量送水管事業―
国土交通省都市・地域整備局大都市圏整備課大深度地下利用企画官　松本　隆平
12：15　昼　食
13：00　整備新幹線建設におけるトンネル技術
(独)鉄道・運輸機構鉄道建設本部新幹線部長　元木　洋
13：45　首都高速道路建設におけるトンネル技術
首都高速道路(株)建設管理部技術管理室構造技術グループ総括マネージャー　小笠原政文
14：30　休　憩
14：40　放射性廃棄物地層処分と地下開発先端技術開発
(財)電力中央研究所地球工学研究所バックエンド研究センター長　河西　基
15：25　ボスポラス海峡横断鉄道工事の概要と現状
大成建設(株)土木本部理事土木設計部長　坪根　康雄
16：10　ITAとその有効利用
〈ITA(国際トンネル協会)主席副会長〉京都大学名誉教授・国立舞鶴工業高等専門学校校長
小野　紘一
16：55　閉会挨拶　〈事業委員会委員長〉日本交通技術(株)代表取締役社長　桑原　彌介
17：00　閉　会
(都合により講演内容が変更になる場合がございます．)

定　　員：300名

参　加　費：個人会員15,000円，団体会員18,000円，一般20,000円

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

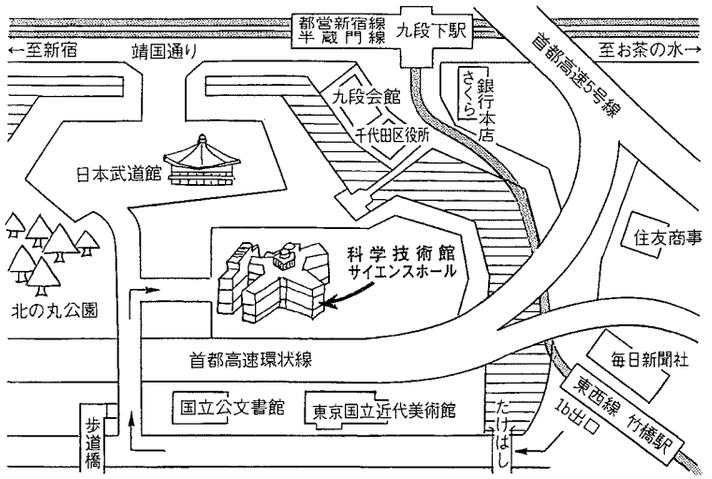
社団法人日本トンネル技術協会　トンネル技術特別講演会係
TEL：03－3553－6174　　FAX：03－3553－6145

支 払 方 法：上記お申し込みののち，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：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．

トンネル技術特別講演会参加申し込み書					
氏名（ふりがな）		年齢	歳	TEL	―　　―
会社名					
所属役職					
会社住所	〒　　―				

〔案　内　図〕



2006トンネル技術の特別講演と技術研究発表会プログラム

主催　北海道土木技術会トンネル研究委員会
社団法人日本トンネル技術協会
後援　財団法人北海道道路管理技術センター

日　　時：平成18年2月24日(金)　10：00～17：00
場　　所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)
(札幌市北区北8条西5丁目　TEL：011-758-5426)
参 加 費：研究発表会　6,000円(論文集を含む)　　20周年祝賀会　4,000円
申し込み方法：FAXにて出欠をお知らせ下さい(メールでも結構です).
申し込み先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局(株)ダイヤコンサルタント内　杉浦・水島
TEL：011-729-2701　FAX：011-729-2689　E-mail：T.Sugiura@diaconsult.co.jp
締め切り：平成18年2月17日(金)
定　　員：300名
そ の 他：・参加費は事前に銀行振り込みでお願いします(振込料はご負担願います). また，当日会場にて現金払いでも結構ですが，その旨を申し込み書に記載してください.
・論文集は当日，所属，氏名を確認のうえ，会場でお渡しいたします.
・発表会場に駐車場がありません.

※なお，本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか，土木学会トンネル工学委員会後援事業であります.

プログラム：

10：00～10：10　開会挨拶　　北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長　三上　隆
10：10～11：40　特別講演Ⅰ「トンネル技術の現状と課題」
首都大学東京都市環境学部都市基盤環境コース教授　西村　和夫
11：40～12：20　研究発表(第1部)
11：40～12：00　ワッカケトンネルにおけるバルーン養生について
西松・伊藤・石山JV
○小倉　仁志・跡部　芳昭・佐藤　喬一・佐藤　幸三・小林　雅彦
12：00～12：20　長大インバート桟橋を使用したトンネルの合理化施工
—3スパン移動桟橋によるインバート施工—
佐藤工業(株)四国支店新宇治川トンネル作業所　森　安弘・中谷　幸一
佐藤工業(株)本社土木事業部　○京免　継彦
12：20～13：20　休　憩(昼食)
13：20～14：50　特別講演Ⅱ「中国における道路トンネルについて」
長安大学公路学院助教授　Jianxun Chen
14：50～15：10　休　憩
15：10～16：50　研究発表(第2部)
15：10～15：30　脆弱な蛇紋岩区間のトンネル掘削について
—北海道横断自動車道東占冠トンネル工事における取組み—
東日本高速道路(株)北海道支社帯広工事事務所　大友　弘志・大高　新一
大成・奥村特定建設工事共同企業体　○内田　渉
15：30～15：50　連続ベルトコンベア使用時における伸縮風管式大型集塵機の有効性について
鹿島・地崎・宮坂特定建設工事共同企業体新佐呂間トンネルJV工事事務所
○佐藤　直樹・松木平恒美・橋本　義信

15：50～16：10　トンネル水文調査データの一元管理と可視化技術—トンネル渇水影響検討—
応用地質(株)技術本部　○佐々木達哉・大塚　康範・吉兼　理説・山本　武文
16：10～16：30　3次元孔曲り計測システムの開発とトンネル施工への適用事例
(株)エーティック企画開発部　○日向　洋一・共　放鳴・高　栄麗
(株)エーティック企画本部　舟田幸太郎
16：30～16：50　長尺GFRP管切羽補強工法の作用効果と設計法に関する研究
(株)熊谷組土木事業本部　○御手洗　良夫・森崎　泰隆・塩川　裕之
(株)ケー・エフ・シー土木資材事業部　辻　孝志
(株)ケー・エフ・シートンネル技術室　松尾　勉
16：50～17：00　閉会挨拶　　北海道土木技術会トンネル研究委員会副委員長　山口登美男
17：30～19：00　20周年祝賀会　センチュリーロイヤルホテル

2006トンネル技術研究発表会 参加申し込み書(FAX)

〒001-0010
札幌市北区北10条西2丁目13番地2
(株)ダイヤコンサルタント内
北海道土木技術会トンネル研究委員会
講習講演小委員会事務局
水島　秀明　　行
FAX：011-729-2689(TEL：011-729-2701)

発信元：
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿様
TEL：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
FAX：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

・と　き：平成18年2月24日(金) 10：00～17：00
・ところ：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)
(20周年祝賀会：17：30～19：00 センチュリーロイヤルホテル)

所属・氏名・出欠・連絡先をご記入申し上げます(締め切り平成18年2月17日).

所属(団体・会社・官庁)	氏　名 (フルネームで明記願います)	出　欠	
		発表会	懇親会
	(代表者)		

○：参加　×：不参加

・会費(銀行振り込みでお願いします．振り込み料はご負担下さい)ただし，弁当代は当日集金します.
※必要に応じ，請求書・領収書等を送付いたします(ご一報ください).
〈発　表　会〉￥6,000×＿＿＿名＝＿＿＿＿＿円
〈20周年祝賀会〉￥4,000×＿＿＿名＝＿＿＿＿＿円
合　計＝＿＿＿＿＿円(ご記入お願いします)
振り込み先：北洋銀行　北七条支店(312)　普通3518303
トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局 杉浦高広

※申し込みは，E-mail(H.Mizushima@diaconsult.co.jp)でも受け付けます.
申し込みの際は，参加者の所属・氏名，発表会・懇親会の出欠，参加費，代表者名・連絡先を明記ください.

3月号予告[3月1日発売予定]

●東北新幹線(八戸～新青森間)の土砂地山トンネル
●九州新幹線　玉名トンネル
●第二東名高速道路　金谷トンネル
●新神戸トンネル第Ⅱ期築造工事
【連載講座】
●都市トンネル工事の計測(3)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆1月の2週目になって学校が始まり朝の電車が混みだした．正月明けのだらけた体には，続く寒波とともに少し堪えます．山古志村の復旧工事をしている後輩がこの寒波でどうしているか少し心配です．現場勤務の方，風邪など引かぬようご注意ください．

◆そんな中，1月11日にカメラメーカー大手のニコンが事実上フイルムカメラからの撤退を発表しました．一部のフイルムカメラ以外，在庫がなくなりしだい販売中止となります．今後は，一眼およびコンパクトカメラともデジタルカメラを主流として事業展開することになるそうです．

◆5年くらい前までは，まだ原稿の写真は印画紙に焼き付けたものを提出される方が多かったのですが，最近ではほとんど電子データで提出されております．また，最近販売されたコンパクトカメラの最低画質が600万画素もあり，フイルムカメラの仕上がりとそん色ないようになってきています．一眼のデジタルカメラに至っては1000万画素を超えていますのでかなりきれいな仕上がりです．

◆印刷工程も電子データでいただいたほうがきれいに印刷することができます．印画紙の写真は一度スキャナーに取り込んで電子データ化しますので工程も多く，ダイレクトで処理する場合より若干品質が落ちます．今後は原稿を提出される皆様方が画質高めの設定で写真を撮っていただければさらにきれいに印刷できますのでご配慮ください．

(I.Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(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2号〔通巻426号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成18年1月20日　印刷
平成18年2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．

近日発行予定

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　140頁程度　本体価格2,500円(予価)



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

問い合わせ先
㈱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

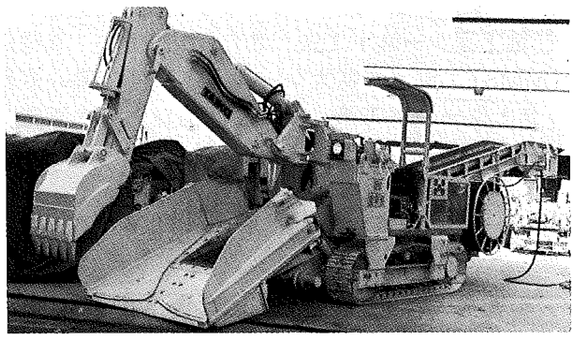
強力な掘削
最大掘削高さ6.6m

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



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/