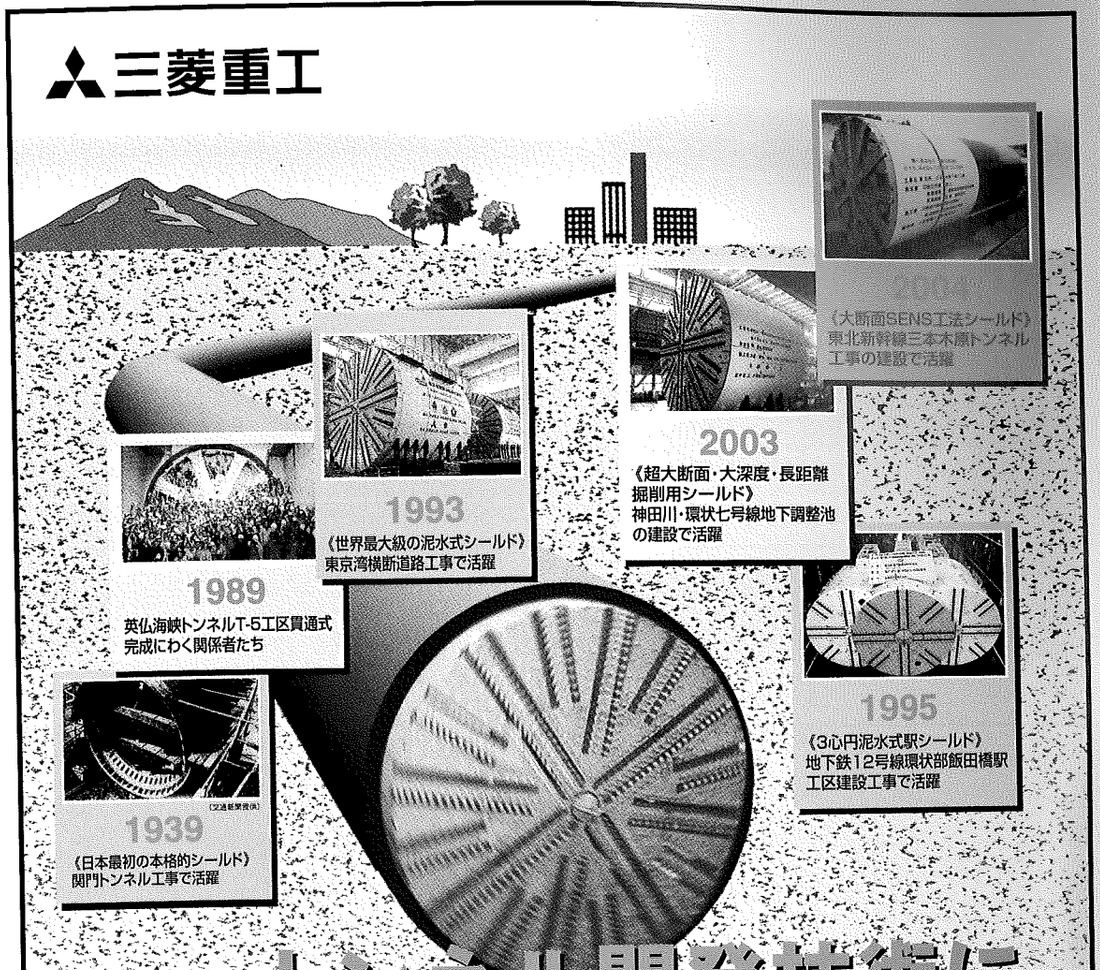
トンネルと地下　平成17年6月1日発行第36巻第6号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

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06619-6
4910066190651
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成17年6月1日発行（毎月1回1日発行）　第36巻第6号　通巻418号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 6

vol. 36
no. 6
2005

Tunnels and Underground

東北新幹線八甲田トンネルが全貫通
大断面双設泥水式シールドによる近接施工
直上にφ3,250雨水幹線をかかえながら開削駅を施工
市街地狭隘道路下でシールド切替型推進工法を採用
東京礫層での地中掘削のリスク管理と変形予測の一考察
トンネル工事のリスク

日本トンネル技術協会誌



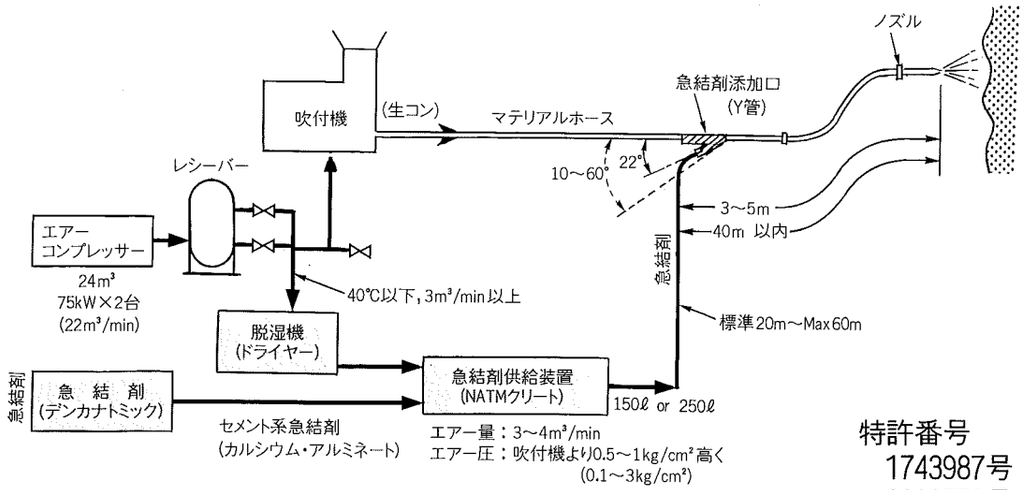
世界に誇る日本のNATMトンネル

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、剝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

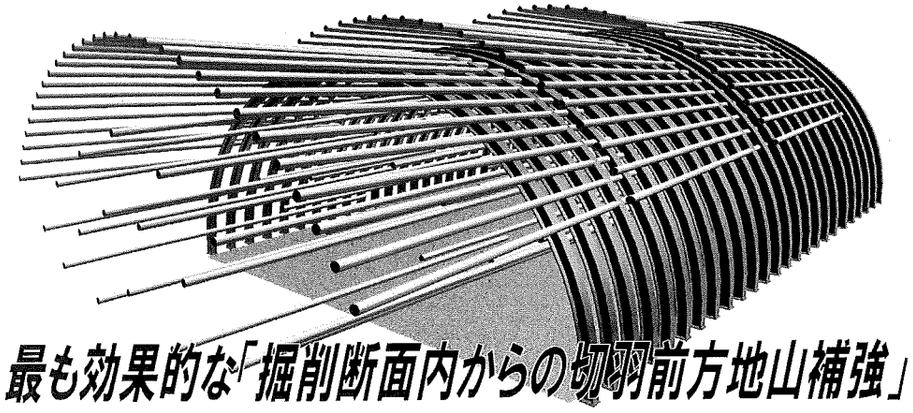
本社●特殊混和材事業部
東京都千代田区有楽町1-4-1 〒100-0006
電話 03－3507－5358

全方位 GFRP 管長尺補強システム

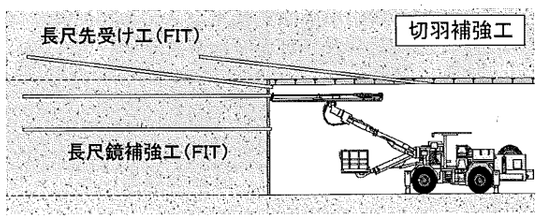
NETIS登録
（No. CB-030065）
施工実績 150件以上

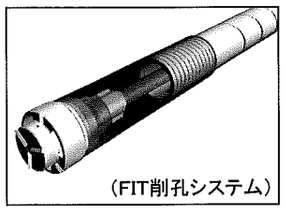
FIT 工法

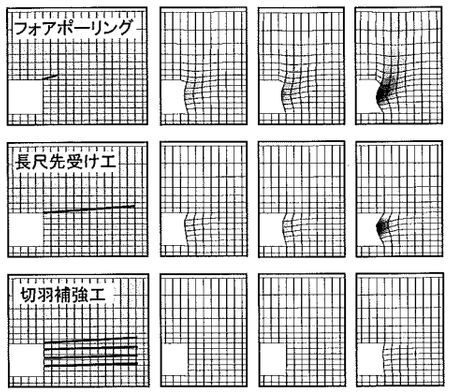
FRP INJECTION TUBE

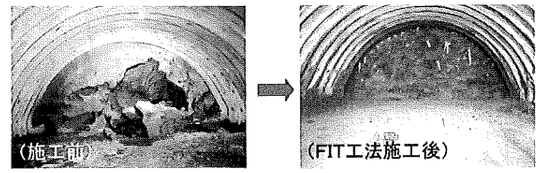


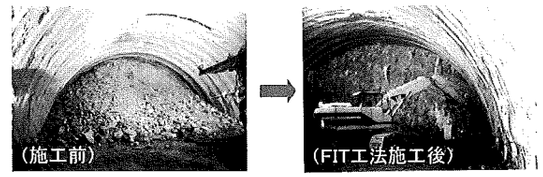
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」











（数値解析による切羽補強効果の検証例）

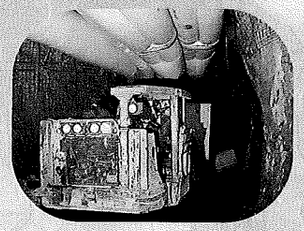
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

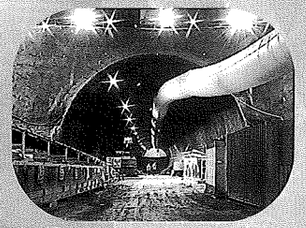
東京土木営業部	TEL(03) 3798-8511	FAX(03) 3798-8516
大阪土木営業部	TEL(06) 6363-1884	FAX(06) 6313-0755
名古屋支店	TEL(052) 223-1050	FAX(052) 223-1059
札幌支店	TEL(011) 751-4681	FAX(011) 751-4682

ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

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



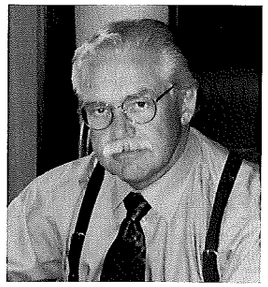


親愛なる日本の皆様

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

トンネル内装工防汚システム



無機質・無溶剤・常温硬化形コーティング材

ダイヤセラゼックス

NETIS登録番号：TH-000053

特長

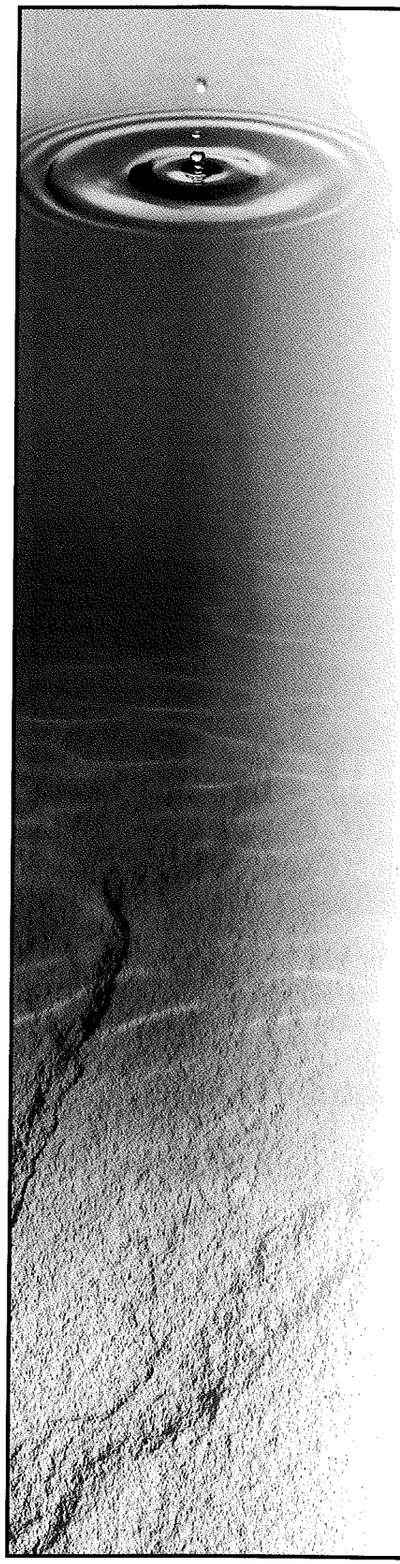
視環境性	視認性を向上させる。
美　観	美観を整え、不快感を与えない。
安全・誘導	トンネル壁面の位置を視認させ、かつ視線誘導効果を向上させる。
明るさ	照明の効果を向上させる。
汚染除去性	排気ガスなどの汚れが容易に除去でき、傷が付かず、かつ視認性が復元できる。
不燃性	事故による火災時に内装材が延焼しない。

DC ダイヤコーティング協会

建物の保護と美装にダイヤの塗材・建材

DIA 恒和化学
恒和化学工業株式会社

本　社
〒143-6550　東京都大田区平和島６-１-１　東京流通センタービル９Ｆ
☎(03)3767-3561(代)　FAX.(03)3767-3917
URL http://www.dia-kowa.co.jp/

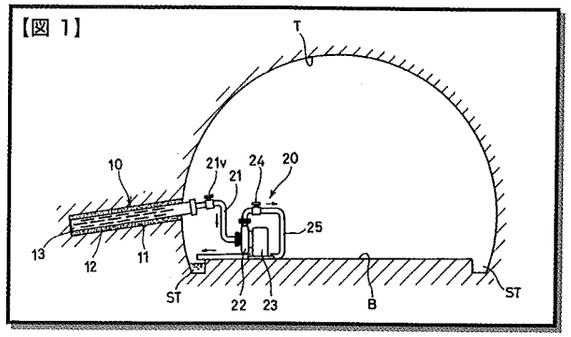


トンネル坑内 湧水濾過処理工法

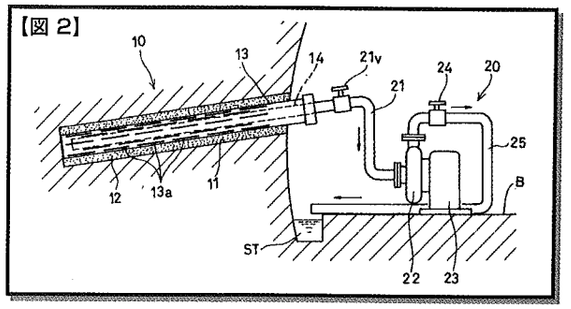
特許 第3497116号

トンネル坑内で掘削時に発生する湧水を濾過処理する湧水濾過処理方法において、掘削されたトンネル内に生じた湧水点又はその付近に削孔を掘削し、周囲の土に影響を及ぼさない濾過材でストレーナ管の外周を囲んだ濾過手段を上記削孔に装着し、この濾過手段で湧水を濾過して清水とし、その清水を所定の吸引圧で吸引して側溝へ排出するようにしたことを特徴とする湧水濾過処理方法。

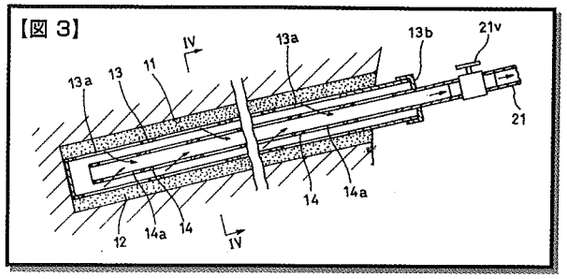
【図 1】



【図 2】

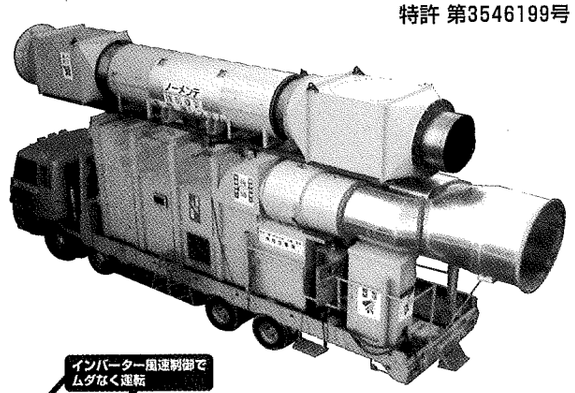


【図 3】



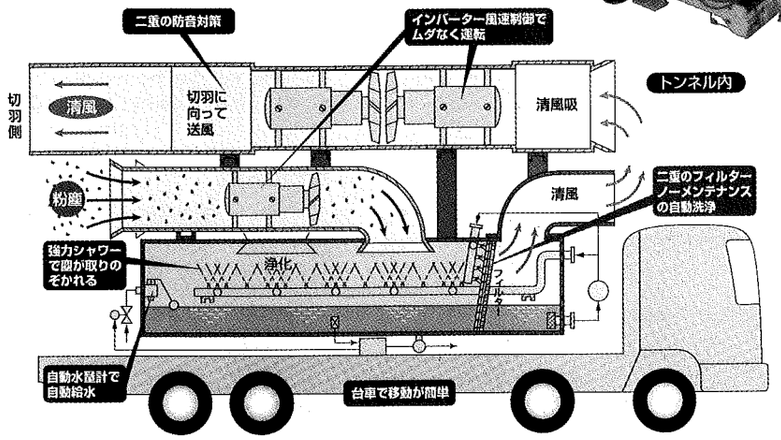
ノーメンテナンス“集塵機”強制換気システム

特許 第3546199号



集塵機の目的

- 人体に有害な粉塵の除去
- 作業員の視野の確保
- 周辺の環境の粉塵公害対策



【仕様表】

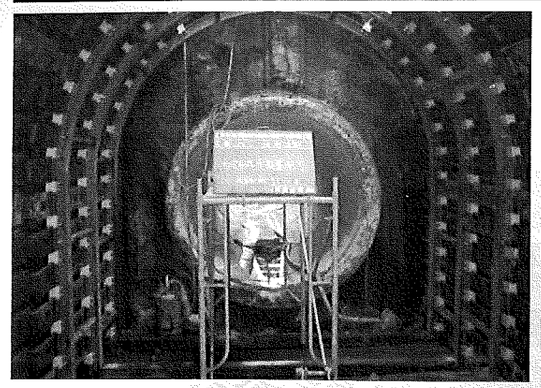
		集塵機	集塵機強制換気ファン	
		S-C-900	SW37	SW55
吸込ファン	型式	MFA90Pz 37kw	SW37kw 2連並列	SW55kw 2連並列
	口径	φ900	φ1,000	φ1,100
	風量	700m³	1,100m³×2 2,200m³	1,200m³×2 2,400m³
	全圧	全圧180mmAδ×9.8=1,764pa	1台当り全圧180mmAδ×9.8=1,764pa×2台	1台当り全圧240mmAδ×9.8=2,352pa×2台
	回転数	1,450rpm 50Hz 1,800rpm 60Hz	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm
送気ファン	型式	—	SW55kw 2連直列	SW80kw 2連直列
	口径	—	φ1,200	φ1,300
	風量	—	1,300m³×1 1,300m³	1,500m³×1 1,500m³
	全圧	—	全圧500mmAδ×9.8=4,900pa	全圧500mmAδ×9.8=4,900pa
	回転数	—	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm
散水圧力ポンプ	型式			
	吐出量	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min
	出力	7.5kW	11kW	11kW
	回転数	1,500rpm~1,800rpm	1,500rpm~1,800rpm	1,500rpm~1,800rpm
	装置寸法	L4,500 H2,800 W1,800	寸法は現場のニーズによる	寸法は現場のニーズによる
	能力	セメント配置 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント~排気200カウント	セメント配置 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント~排気200カウント	セメント配置 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント~排気200カウント
	1カウント	=1m²空気中に0.01mmgの粉塵量	=1m²空気中に0.01mmgの粉塵量	=1m²空気中に0.01mmgの粉塵量
その他		—	温度計、排水システム、記録計付きインバータ制御で、粉塵の状況に応じて風速も自由に変換できます	

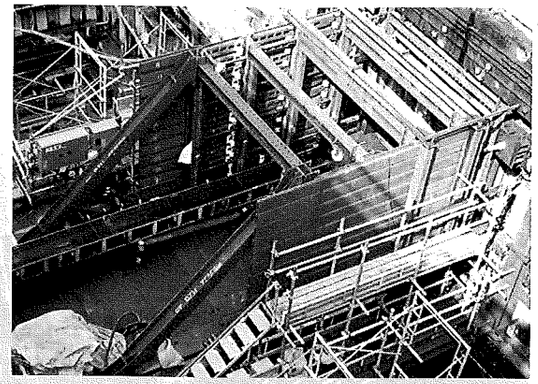
S 株式会社 阪本商会
http://www.sakamoto-shokai.co.jp

本 社：大阪市浪速区稲荷1丁目10番4号
TEL.(06)6562-7657 FAX.(06)6562-7650
西営業所：兵庫県小野市大開町字南谷415-30
関東営業所：静岡県田方郡天城湯ヶ島町佐野字奥野869-619

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）

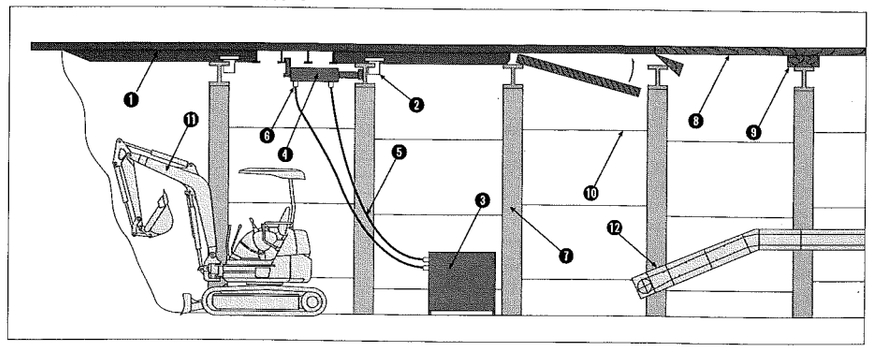
特徴

- 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

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

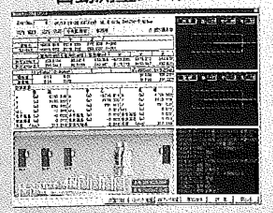
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

シールド工事向け自動測量システム

実績　日本国内・アジア No.1

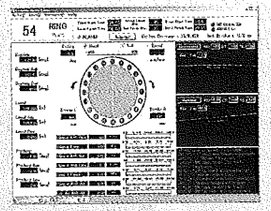
シールド工事における自動測量システムの納入実績は、国内はもとよりアジア地区でNo1となりました。数々の高速・高精度施工の新記録を打ち立て、現在も世界各国の現場で稼動しております。

自動測量システム

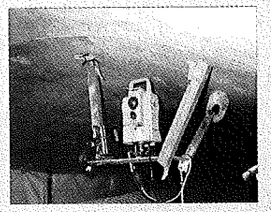


坑内は勿論離れた事務所からの遠隔測量も実現します

ガイダンスシステム



掘削オペレーターには解かり易いガイダンス画面を提供します



トータルステーションは施工工種や施工条件により弊社エンジニアが最適なスペックの機材を提案致します

ARiGATAYA V3.0

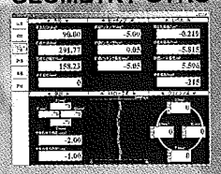
シールド工事向け掘進管理システム

各々の現場における要望等を最大公約数で取り入れ、システムアップし、常に進化しております。
弊社は強力なコンサルタント部門による提案型スタイルで、お客様にご満足頂いております。

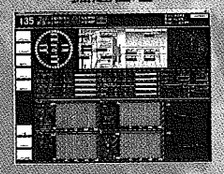
システムタイプ
- 泥土圧　泥水　TBM
- 上下水道　共同溝　地下鉄　道路　etc.
（各々専用のソフトをご用意しております）

オプション
- Shiled Broad Band（ブロードバンドシステム）
- FOG（光ジャイロシステム）
- 3D土量計測システム
- シールド測量パック
- セグメント内空・変位計測
- CG・VR・ホームページ作成

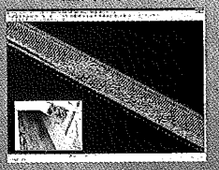
GEOMETRY GYRO



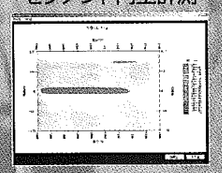
掘進管理



3D土量計測システム



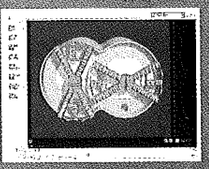
セグメント内空計測



Shiled Broad Band



CG・VR作成



enzan Roubou

Visit Our Web Site : www.enzan-k.com

株式会社 演算工房
本社office：京都市中京区烏丸通押小路上る秋野々町535番地 日土地ビル4F　TEL.:075-213-7200　FAX:075-213-7201
東京office：東京都千代田区神田錦町3-15-6 川崎パークビル17F　TEL.:03-3518-2588　FAX:03-3518-2589

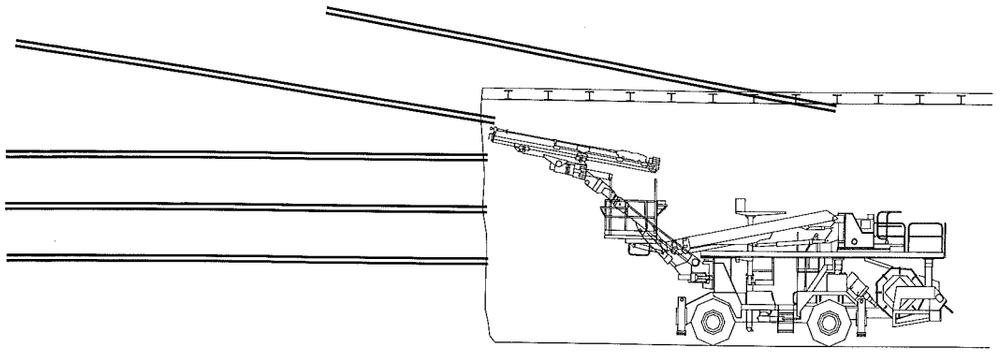
WORKS Cyber

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

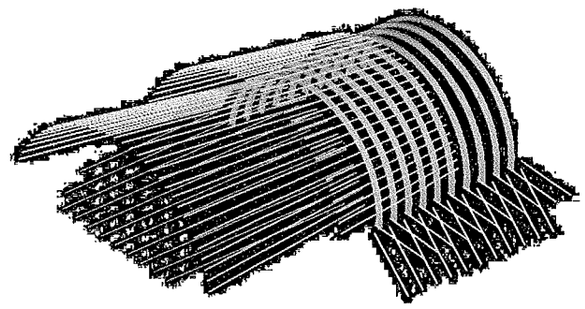
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

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

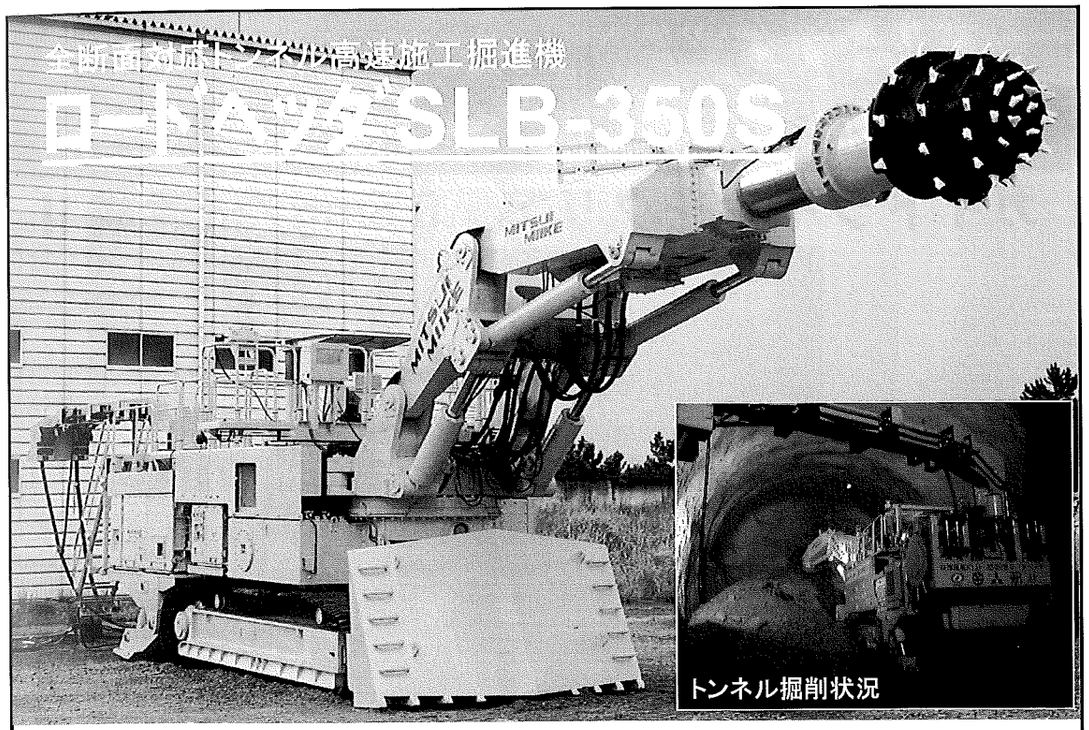
地山の維持・補修用工具システム

☆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！！



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



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。



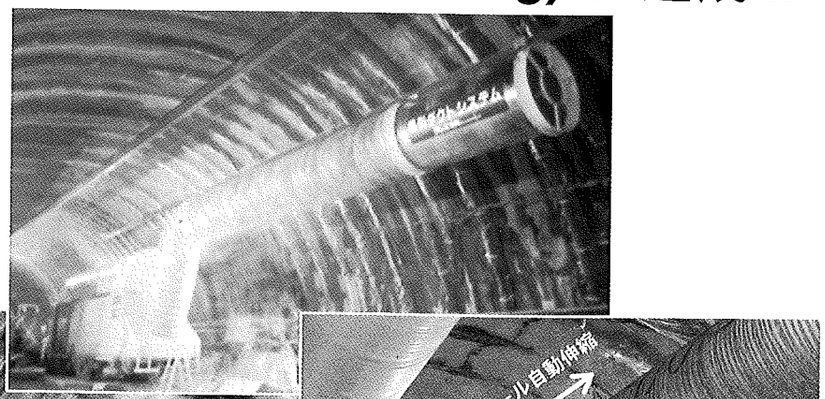
※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

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

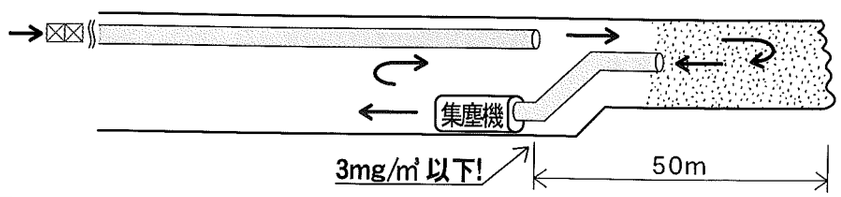
吸引ダクトシステム

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。

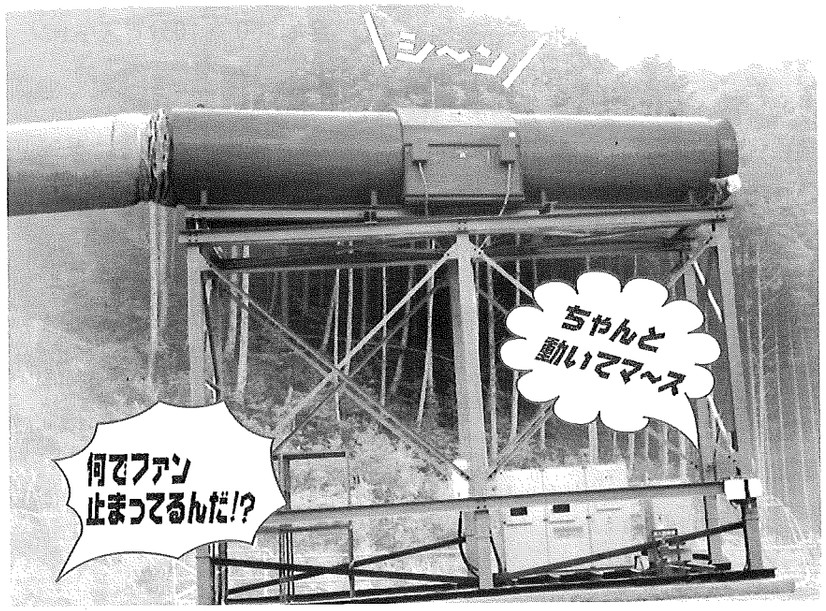


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

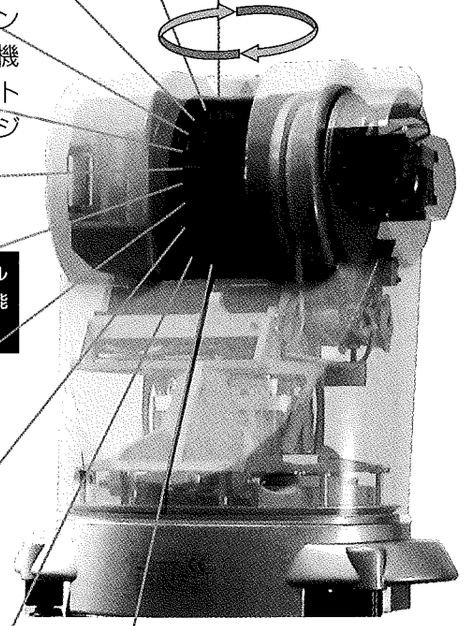
Callidus™ レーザースキャナー

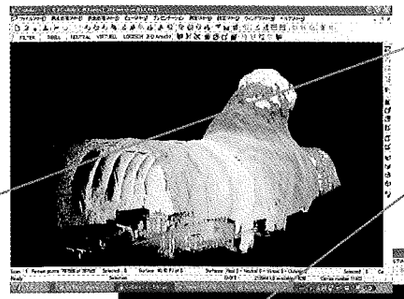
3次元トンネル断面計測機

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。

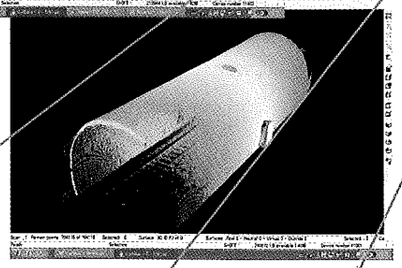
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





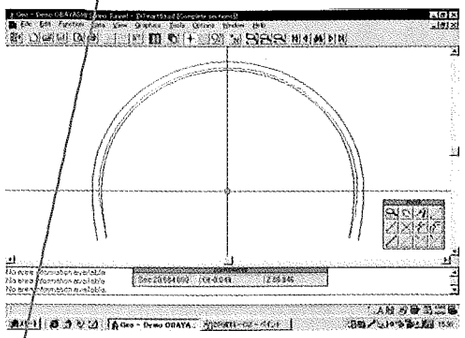
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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。



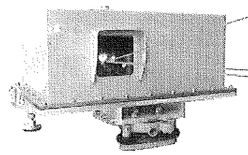
■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

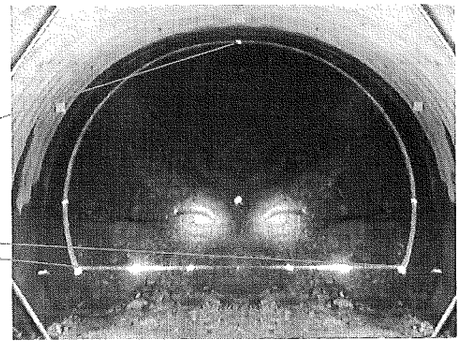
■ 製造元 トリンブルジャパン株式会社
〒135-0007 東京都江東区新大橋1−8−2
新大橋リバーサイドビル101
TEL：03-5638-5022 FAX：03-5638-5016

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

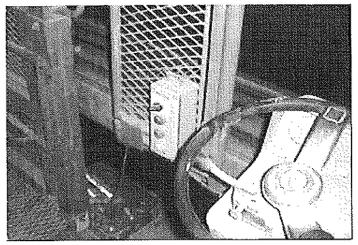
残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現





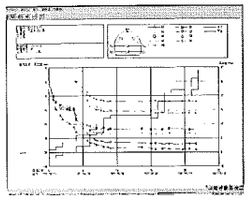
現場環境に耐え得る頑強なコントローラー



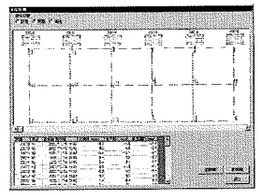


ジャンボに取付けて使用可 AC200V対応

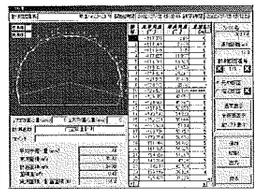
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



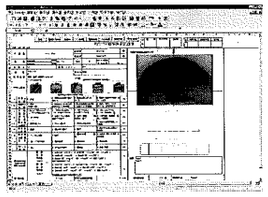
A計測データ処理



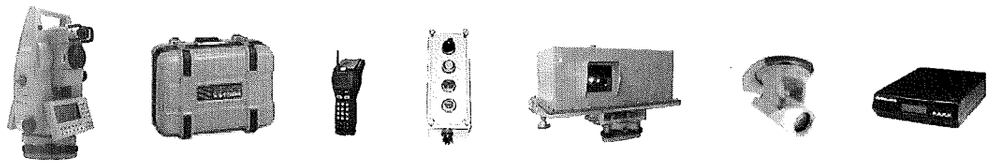
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



切羽観察、etc



豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

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

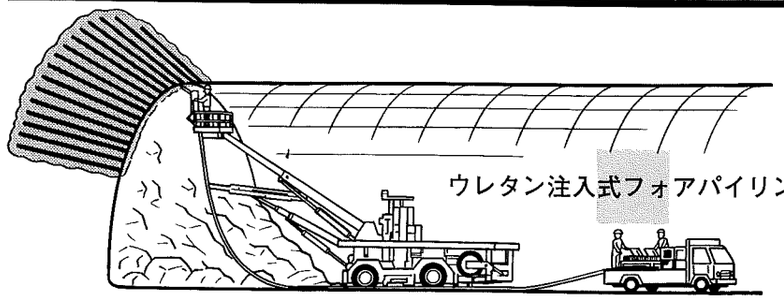
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

BRIDGESTONE

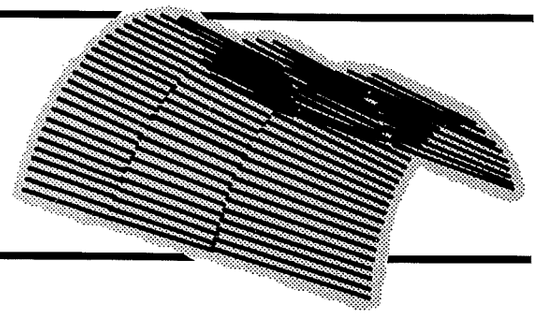
厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

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

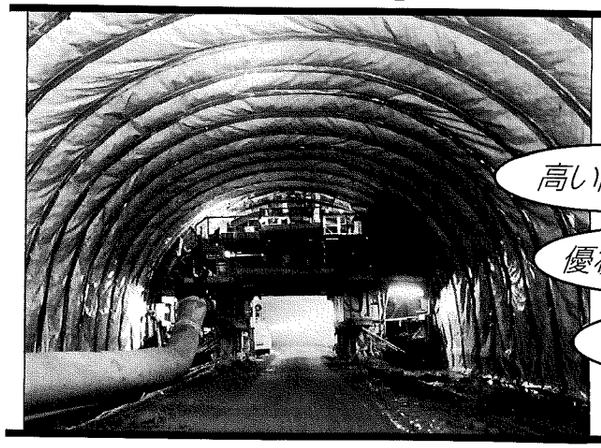


ウレタン注入式フォアパイリング



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

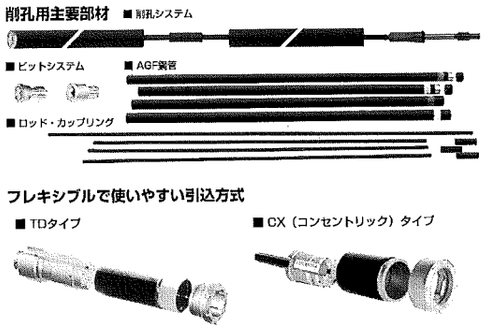
株式会社ブリヂストン　土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話　東京(03)5202-6870

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。

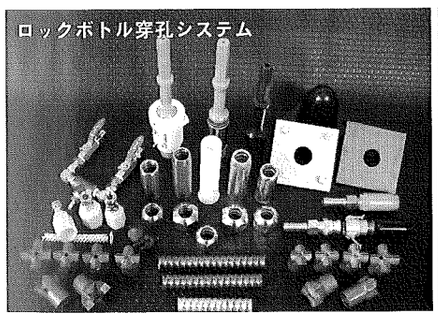


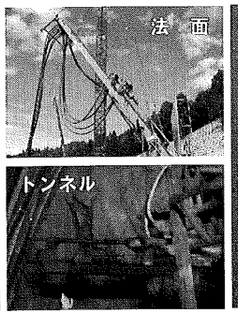


▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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

自削孔
NTロックボルト PAT.P

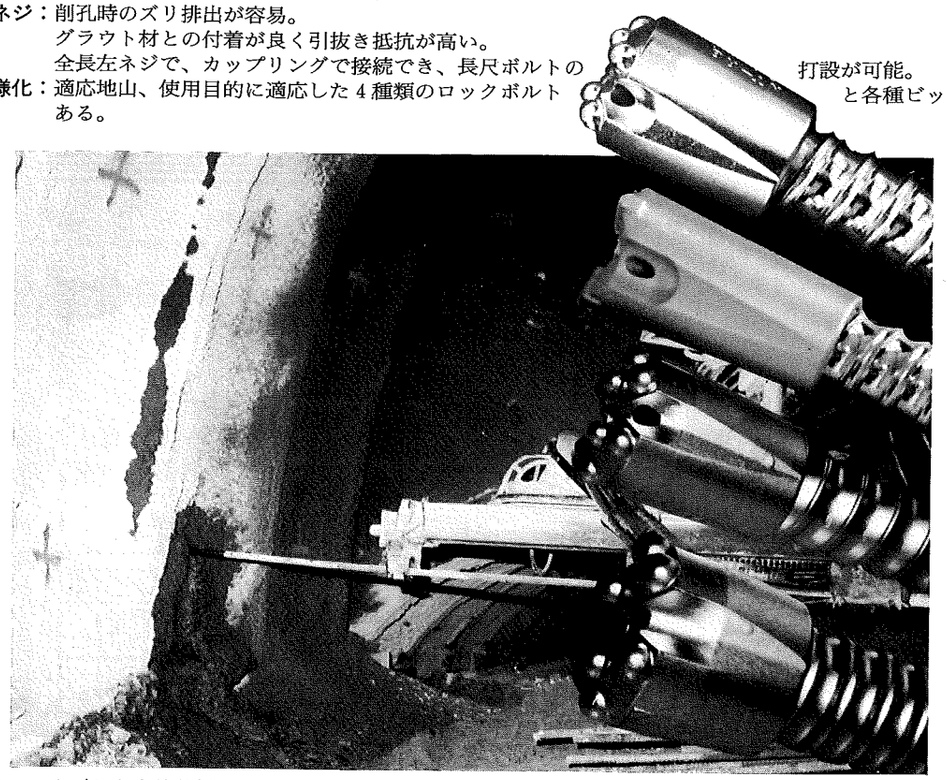
特　徴

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

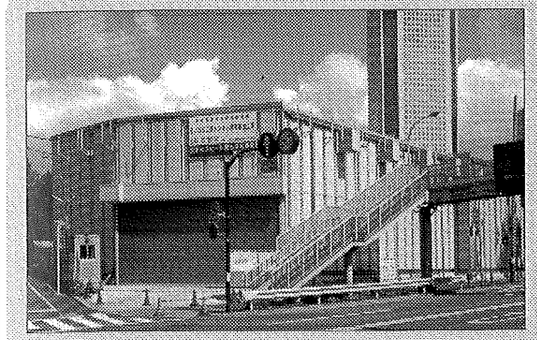
製造元　日東鐵工株式会社

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

大丸の防音システム

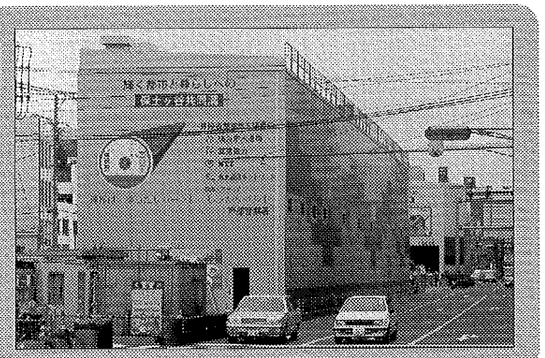


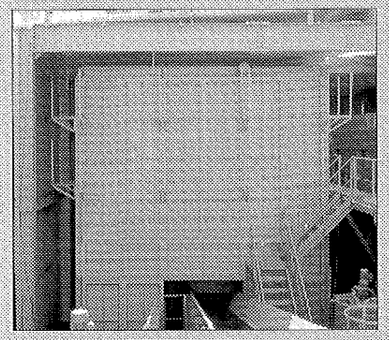
サイレントハウス(Bタイプ)

- 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－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

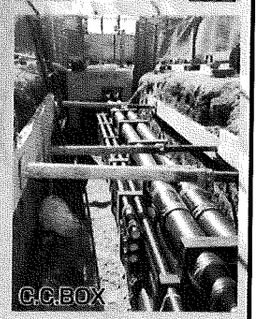
電力・通信ケーブル用多条保護管

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。

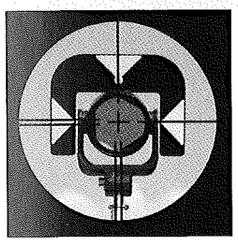
カナフレックス コーポレーション 株式会社

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

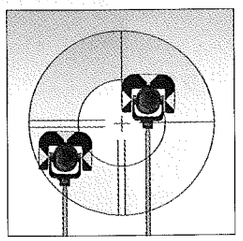
トンネル測量システム

トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。
ライカTPS1200シリーズついに登場。

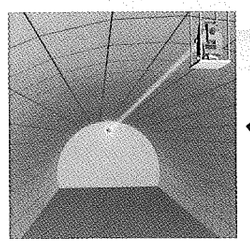

TCRA1200



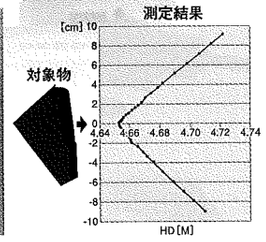
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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。

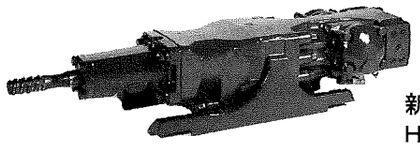
ライカ ジオシステムズ株式会社　http://www.leica-geosystems.co.jp

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

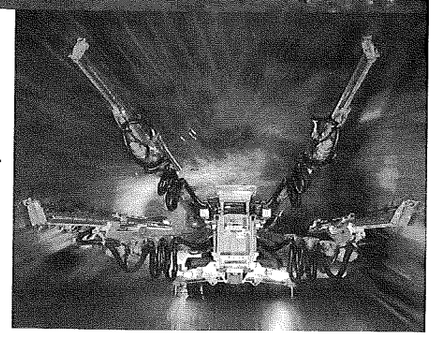
Leica Geosystems

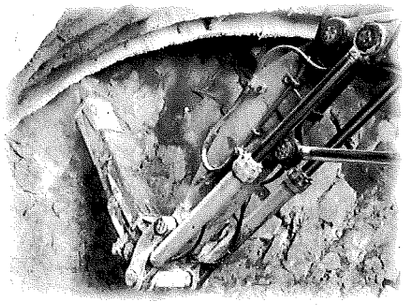


サンドビックトーヨーは、高速さく孔と
作業環境改善の実現をお約束します



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

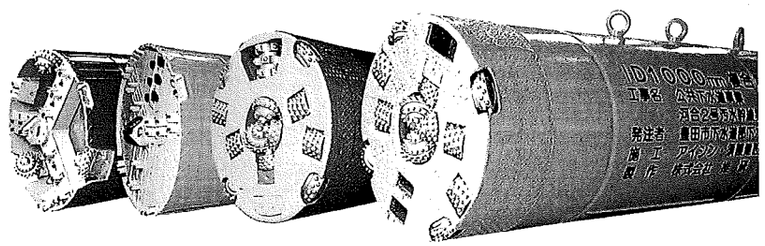
岩盤推進を創めて20年

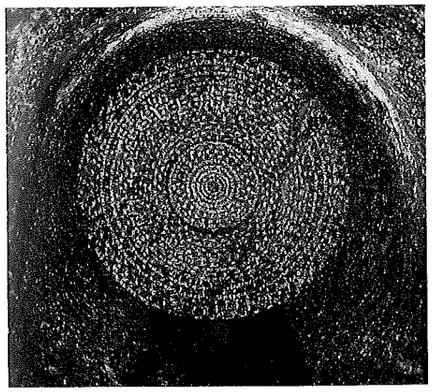
軟弱土から硬岩まで!!

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

環境にやさしい高浸透型注入材 TT2000

TT2000

- 高い浸透性と優れた止水性をあわせもった注入材です。特に未固結の砂質地盤の改良に威力を発揮します。
- 毒物・重金属を含んでおらず、引火・燃焼しない安全性の高い注入材です。
- 専用注入機の使用により取り扱いが容易、且つ薬液配合比率の設定で硬化時間の調整が可能です。



■アクリル酸塩系注入材によって自立している地山状況

ご案内

当社が所有する地山固結工法に関する特許権（特許番号第2056106号・第2784561号）に就いて、本誌2002年1月及び2月号に掲載した弊社広告の中でこの特許発明名称として、『地山固結工法（長尺先受工法）』と表示いたしましたが、（長尺先受工法）との部分は登録された発明の名称中に含まれるものではなく、また本件特許は長尺先受工法そのものを内容とするものではございません。

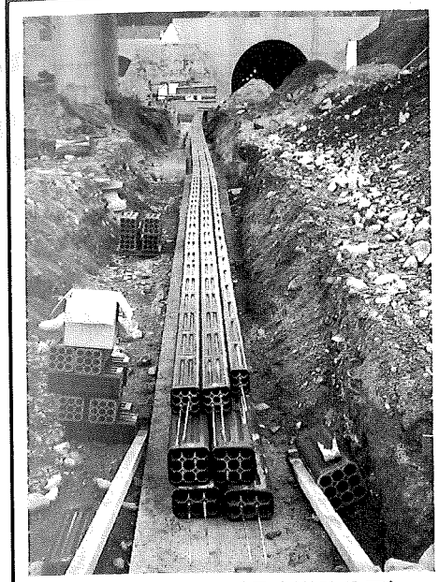
事実と異なった記述を掲載いたしましたことと、関係各位にご迷惑をお掛けいたしましたことをお詫び申し上げます。

なお、この特許（特許番号第2056106号）に関しましては係争中のことでもありましたので、お知らせが遅くなりましたことも、重ねてお詫び申し上げます。

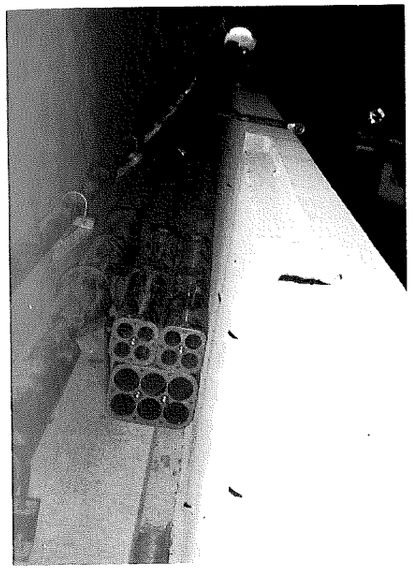
TRI TOKAI
東海ゴム工業株式会社

本　　社 愛知県小牧市東三丁目1番地 ☎(0568)77-1024(直通)
東京支社 東京都港区赤坂1丁目11番30号(赤坂1丁目センタービル2階) ☎(03)3585-1557(代表)
大阪支社 大阪市西区新町1丁目4番26号(栄泉四ツ橋中央ビル8階) ☎(06)6533-2125(代表)
名古屋支店 愛知県小牧市東三丁目1番地 ☎(0568)77-4908(代表)
広島支店 広島市中区紙屋町1丁目3番2号(銀泉広島ビル5階) ☎(082)248-1991(代表)
福岡支店 福岡市博多区東比恵3丁目16番7号 ☎(092)451-3261(代表)
札幌支店 札幌市中央区南1条西12丁目322番地(新永ビル2階) ☎(011)261-5586(代表)
東北支店 仙台市宮城野区宮城野1丁目26番-15号 ☎(022)293-3035(代表)
四国営業所 高松市城東町1-6-26（蓮井ビル4階） ☎(087)851-0556

永久施設に永久管路



▲宇治トンネル　〔日本道路公団〕



▲関南トンネル〔日本道路公団〕

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

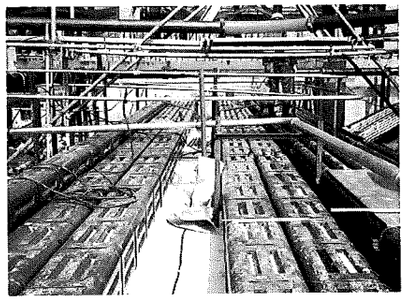
燃えない　錆びない　壊れない

地中配線管路材（JIS C 3653）

トンネル内の狭い空間の多条数のケーブル布設に最適な管路です



▲川越火力発電所〔中部電力㈱〕



▲広野火力発電所〔東京電力㈱〕

狭い空間（トンネルetc）での制約された条件下でも施工が簡単、迅速に行える、杉江の“多孔陶管”は多条数ケーブル布設に最適です。予備孔も安価に設けられる等、管路省力化工事に是非お役立て下さい。

sugie 杉江製陶株式会社

本社・工場　愛知県知多郡武豊町字上山1－76　〒470-2387　☎(0569)35-2360(代)　FAX (0569)35-4087
東京支店　東京都渋谷区恵比寿1－21－8　〒150-0013　☎(03)3442-6181(代)　FAX (03)3442-1691
大阪支店　大阪市都島区御幸町1－3－1　〒534-0012　☎(06)6922-6991(代)　FAX (06)6922-2498
札幌連絡所　札幌市北区新川2条10丁目575-28　〒001-0922　☎(011)763-8907(代)　FAX (011)763-8790

トンネル工事のコストダウンにご利用ください

高効率・低粉じん

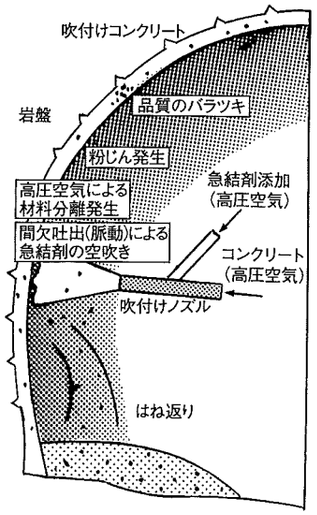
SEC吹付けコンクリート

建設技術審査証明（平成15年土木研究センター建技審証第0309号）

【性能向上のために分割練混ぜ（SEC）をしたコンクリート】

■はね返り率，粉じん発生量は，一括練りに対して10%以上減少する。
■材齢28日コア圧縮強度は一括練りに対して10%以上高い。

吹付けコンクリートの課題



SECおよび高品質吹付け技術（シリカフューム・石灰石微粉末を活用して粘性の向上を計る）による課題の改善

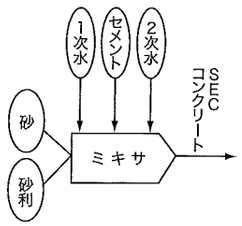
SECの造殻効果

- 分離抵抗性の増大
- ホース内圧送抵抗の低減
- ポンプ圧送性の向上
- 急結剤・混和剤使用量の低減

高品質吹付けの効果

- 粘性の向上によるさらなる分離抵抗性の増大
- はね返り・発生粉じんの大巾な低減
- トンネル掘削コストの縮減

SEC対応のバッチャープラント



実績
湿式吹付け（一般）：140トンネル
高品質吹付け（新幹線・他）：120トンネル
初期高強度吹付け（新幹線）：4トンネル
高強度吹付け（第2東名・他）：5トンネル

SEC®（**S**and **E**nveloped with **C**ement）工法は，配合水を分割投入して練り混ぜることにより，低水セメント比のセメントペーストを骨材表面に付着（造殻）させるコンクリート工法です。

吹付けコンクリートにとって必要なコンクリートとは，過酷な加圧&外力（ポンプ圧送圧，空気圧，壁面への衝突圧）に抗することができる粘性をもった材料分離が少ないコンクリートです。

これをSEC工法により経済的に製造することで吹付けコンクリートの施工性能が向上します。

SECコンクリート機械協会がお手伝いさせて頂きます。

SECコンクリート機械協会

正会員	リブコンエンジニアリング㈱	石川島建材工業㈱	㈱東洋製作所	㈱北川鉄工所
	光洋機械産業㈱	成和機工㈱	石川島建機㈱	㈱ティーエムシー
	日工㈱	名岐機器㈱	丸友機械㈱	村上工業㈱
特別会員	大成建設㈱	㈱大林組	清水建設㈱	㈱熊谷組
賛助会員	ユアサ商事㈱	東友エンジニアリング㈱	グレースケミカルズ㈱	㈱ポゾリス物産
	伊藤忠建機㈱	㈱イゲタプロテック	新和商事㈱	㈱フローリック
	日産機㈱	電気化学工業㈱	太平洋マテリアル㈱	

事務局 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 新有楽町ビル リブコンエンジニアリング㈱内
電話 03（3287）8011㈹ FAX 03（3287）8015 協会 http://www5.ocn.ne.jp/~ seckikai/

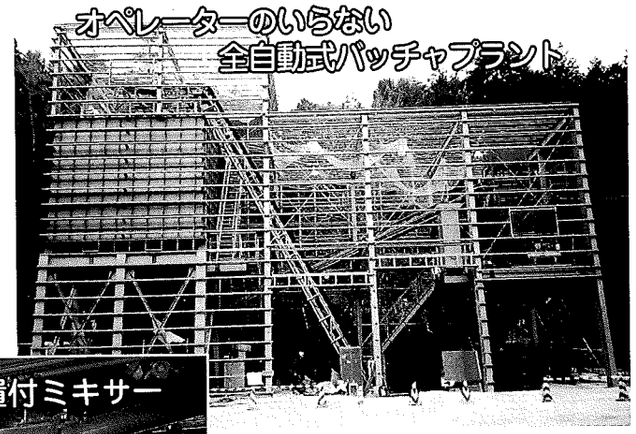
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

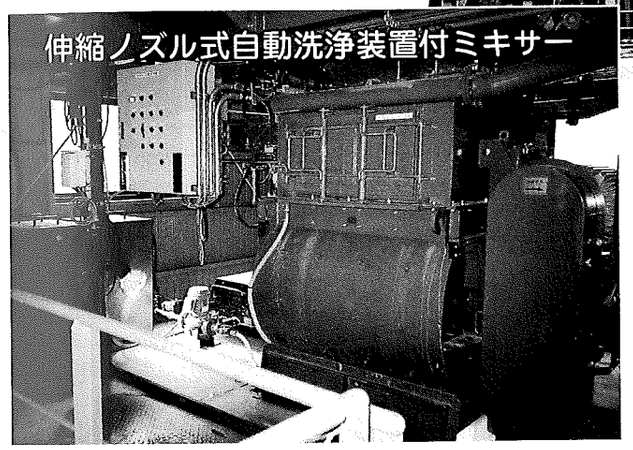
全自動式 **バッチャプラント**

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

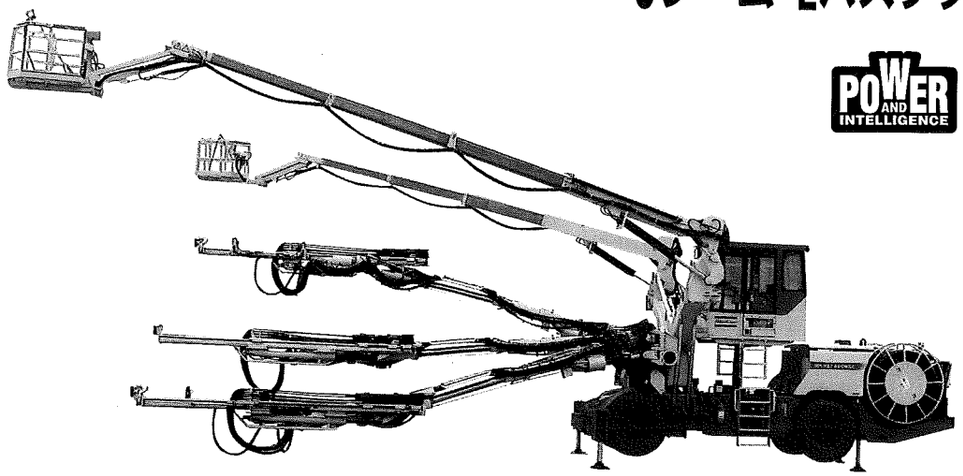
本社 岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227 TEL（0584）35-3735㈹ FAX（0584）35-3736

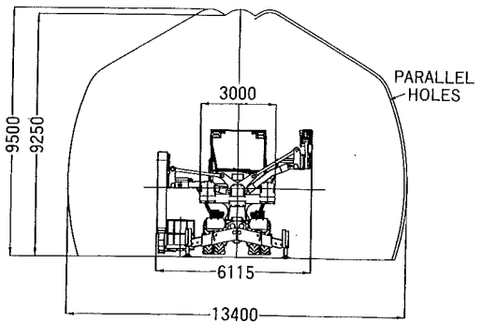
本巣工場 岐阜県本巣市神海
〒503-1235 TEL（0581）32-5066 FAX（0581）32-5565

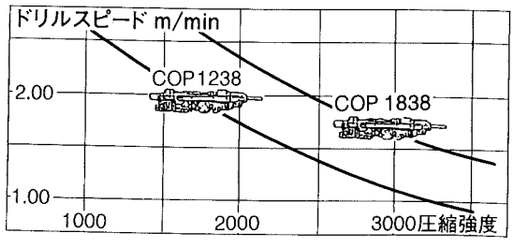
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B
COP1838油圧ドリフター搭載
3ブーム・2バスケット

POWER AND INTELLIGENCE







ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

本　　社	〒116-0013　東京都荒川区西日暮里2-23-11 TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店	〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4 TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店	〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14 TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
焼津営業所	〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1 TEL(054)620-7301番　FAX(054)620-7303番
兵庫工場	〒679-1332　兵庫県多可郡加美町大袋川端454-3 TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

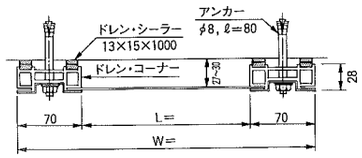
中濃産業株式会社
代表取締役　土田義式

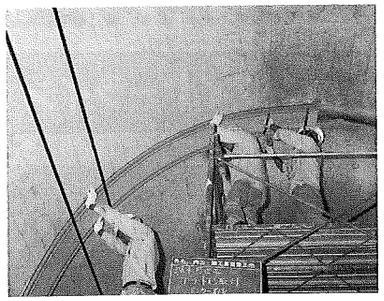
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

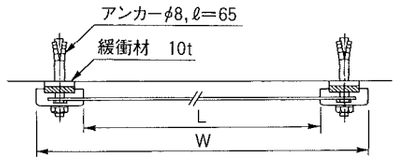
アーチ・ドレン導水樋

■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。



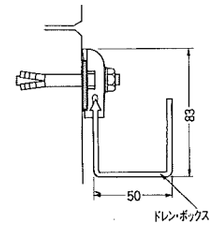


コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



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

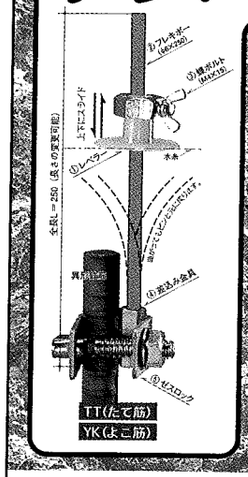
ニホン・ドレン工業株式会社
〒910-2166　福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

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®

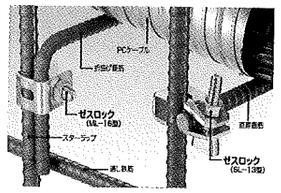
PAT.P



溶接同等ガッチリ固定

早く正確

鉄筋組立クロス部‘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

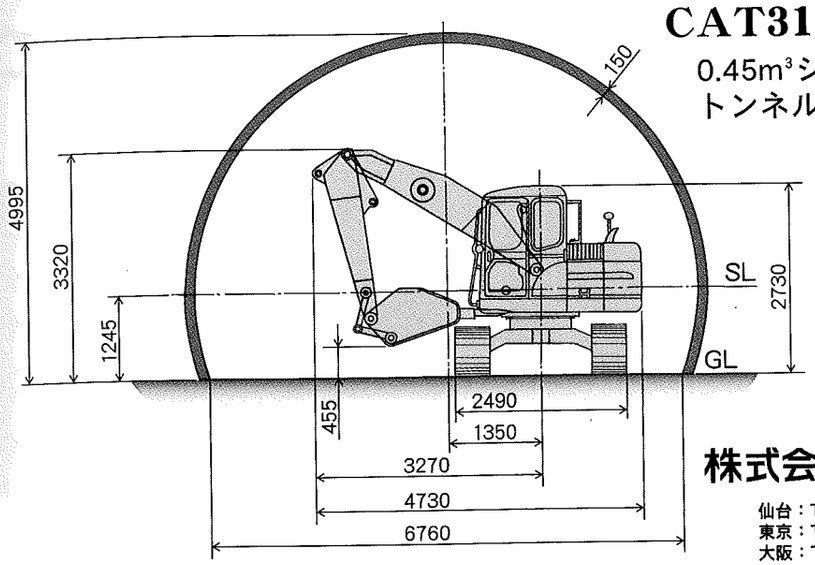
ゼン技研株式会社

〒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/

小断面にも入ります?

CAT313B

0.45m³ショートブーム
トンネル仕様



株式会社 ケイ・リー

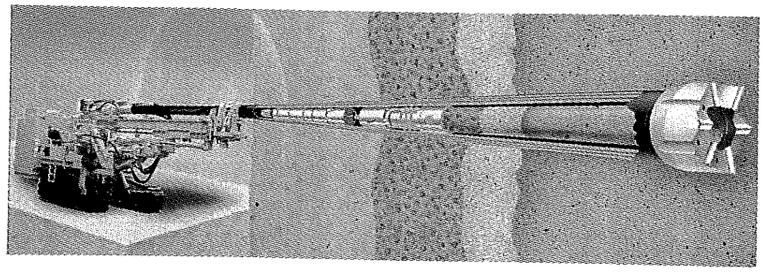
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372

CATERPILLAR（キャタピラー）及びCATはCaterpillar Inc.の登録商標です。

トンネル掘さくの安全施工に

アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

本　社　〒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/

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

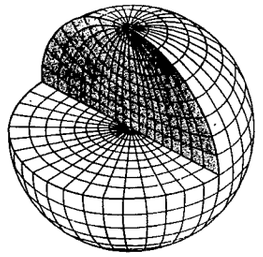
ブロック理論と岩盤工学への応用
R.E.グッドマン，G.H.シー著／吉中龍之進・大西有三訳
A5判　360頁　税込 5,097円　送料 340円

建設工事の保安地質学【改訂版】
石井康夫　著
A5判　474頁　税込 6,300円　送料 340円

建設工事の地質診断と処方
石井康夫・矢嶋壯吉　共著
A5判　324頁　税込 4,515円　送料 340円

岩盤地下空洞の設計と施工
E.フック，E.T.ブラウン　共著
小野寺透・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆　共訳
B5判　444頁　上製本　税込 10,290円　送料 450円

山岳トンネルの新技術
ジェオフロンテ研究会　編集
B5判　500頁　税込 15,301円　送料 450円



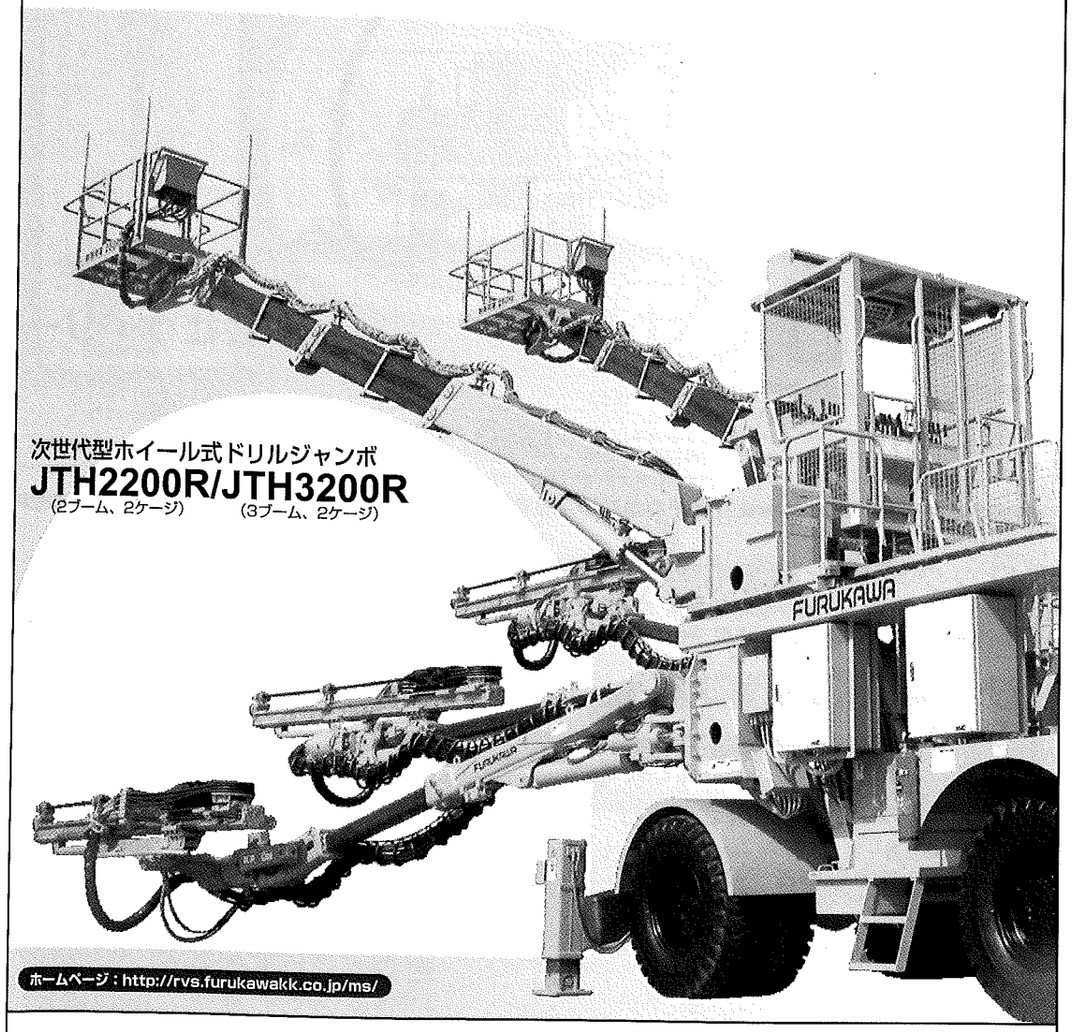
わかりやすいトンネル力学
福島啓一　著
B5判　286頁　税込 6116円　送料 340円

岩盤の計測と解析
工学博士　鈴木光　著
A5判　244頁　税込 4,410円　送料 340円

地質工学概論
菊地宏吉　著
B5判　276頁　税込 4,994円　送料 340円

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

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/

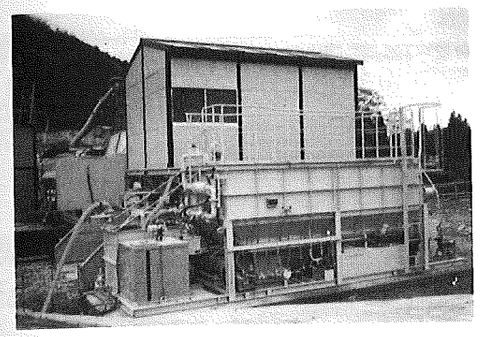
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名：古河機械販売株式会社)

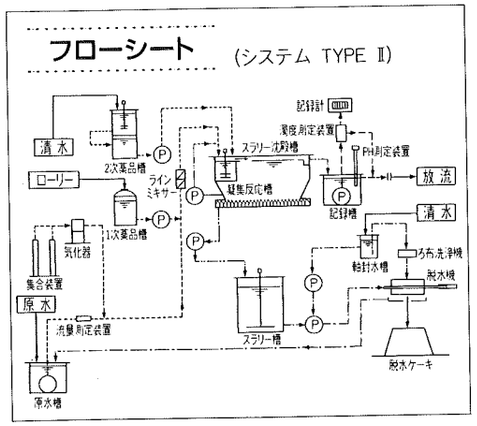
本　社　〒101-0047　東京都千代田区内神田2丁目15番9号　古河千代田ビル　特機営業部　TEL：03-3252-2544

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。
凝集反応槽撹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(代)　FAX (076)452-1617

トンネルと地下　6月号目次　Vol.36, No.6, 2005 Jun.

■巻　頭　言

土木のファン作りはまず現場から
　杉　　晟……5

■研　　究

東京礫層での地中掘削のリスク管理と変形予測の一考察
　高橋　浩一・大河内保彦・龍岡文夫・金澤　博……43

■解　　説

トンネル工事のリスク
—Zimmerbergベーストンネルにおける検討と手順—
　K.Kovari・M.Bosshard・(訳)近藤達敏……53

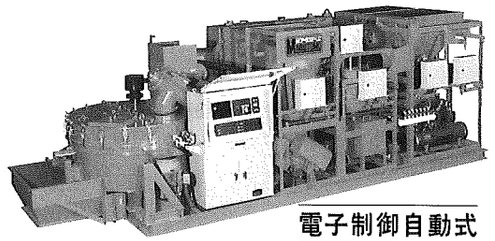
■計　　画

市街地狭隘道路下でシールド切替型推進工法を採用
—東京都下水道　谷川雨水幹線—
　高相恒人・松井邦恭・山本一郎……35

■施　　工

東北新幹線八甲田トンネルが全貫通
　木村裕俊・佐々木幹夫……7

大断面双設泥水式シールドによる近接施工
—首都高速中央環状新宿線　上落合シールド—
　亀ヶ谷　勲・小西由人・村上初央・宗澤敦郎……17

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) 5381 (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) 2080 (代)

直上にφ3,250雨水幹線をかかえながら開削駅を施工
—横浜市高速鉄道4号線　高田町駅工区—
　伊佐見孝夫・遠嶽信幸・原岡　充……27

■連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(20)
補助工法(1)—切羽安定対策—
　「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会……67

■現場だより

「ロケット発祥の地」秋田県由利本庄市岩城より
　澤田　和也……16

■資　　料

土木情報
　編　集　部……26

トンネルジャーナル
　編　集　部……52

トンネル千夜一夜(6)
　小野田　滋……64

工法・技術・製品ニュース
　編　集　部……66

文献紹介
　編　集　部……79

トンネルワールドニュース
　JTA国際委員会国内広報ワーキング…80

海外文献速報
　JTA研究開発委員会……82

■会　　報

会　　報
　日本トンネル技術協会……84

【表紙説明】

東北新幹線八甲田トンネルが全貫通



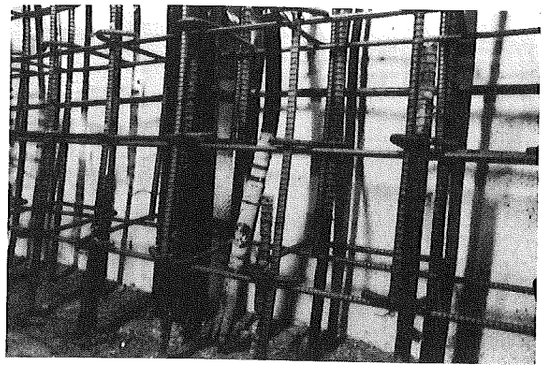
東北新幹線八甲田トンネルは，平成17年2月27日に全貫通を果たした．同トンネルは八戸・新青森間にある延長26k455mの長大トンネルで，既に開通している岩手一戸トンネルを抜いて，世界最長の陸上トンネルとなった．

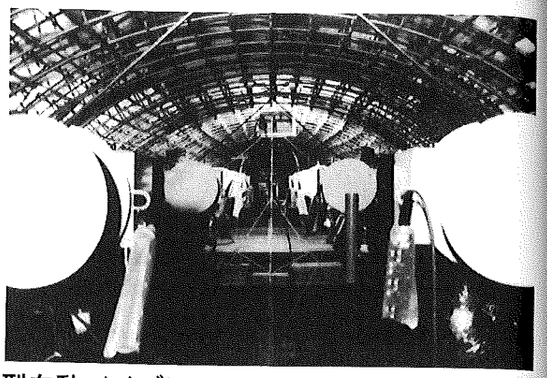
工事は6工区に分割され，平成10(1998)年3月から着手し，本年2月までに掘削を終了した．施工は山岳長大トンネルであるため，断層破砕帯や突発湧水などにも悩まされながらも慎重に施工を続けた．また，同地域は八甲田山の火山作用を受けた鉱化変質帯でもあり，岩石中に含まれる成分により酸性水を発生し周辺環境汚染を引き起こす可能性があったため，その対策を行った．

写真は，八甲田トンネルの開通式の状況である．

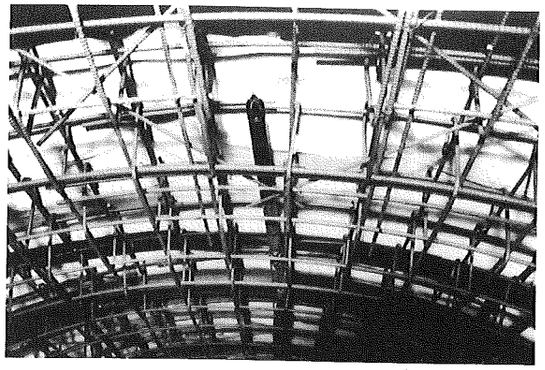
〔写真提供：鉄道・運輸機構〕(本文7頁参照)

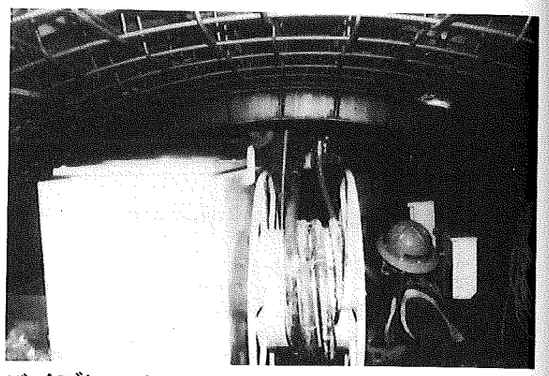
コンクリート打設の新技術



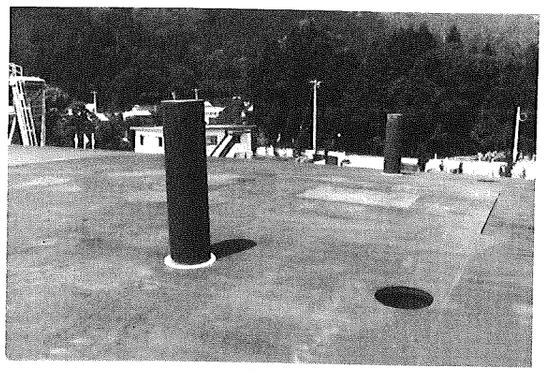


コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレータシステム
（バイブレータに内臓されたセンサーがコンクリートを感知し自動的に巻き取る）

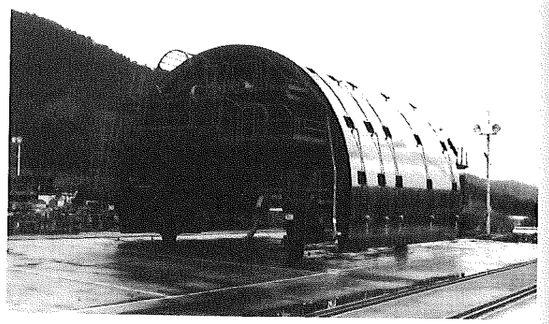




トンネル天場部の引抜式バイブレータシステム
（トンネルの天場縦断を締固める）



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

猪俣正
飛島建設株式会社執行役員技師長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社土木営業本部技術部長

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

三浦正彦
株式会社大林組土木技術本部技術部長

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
日本道路公団試験研究所調査役

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

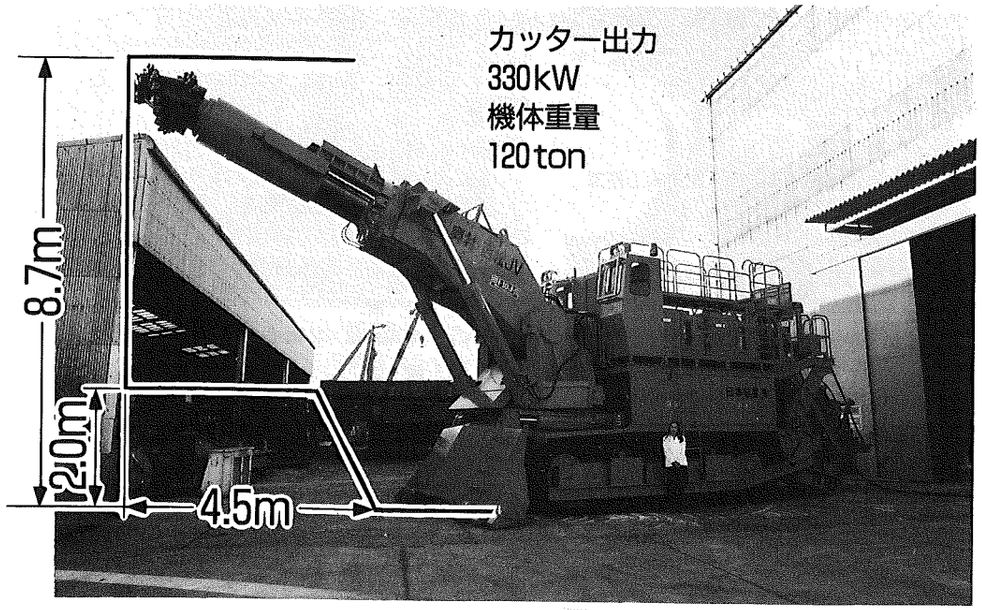
丸安隆和
東京理科大学教授

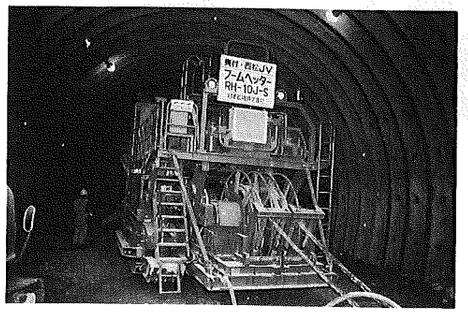
吉川新吉
東京発電株式会社常任監査役

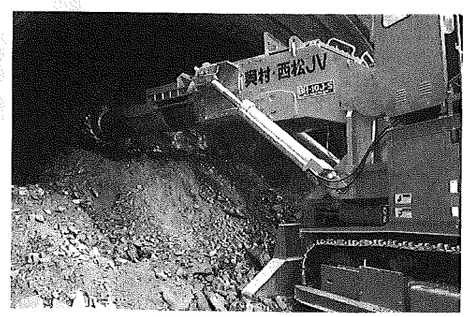
吉村恒
吉村とんねる・らぼ

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: ㊀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〕

橋本定雄　不動建設株式会社特別顧問
（元）東京都下水道局長

〔編集参与〕

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
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
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〕

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

佐藤亘
東京電力株式会社工務部送変電建設センター
首都圏調査グループ課長

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

高橋良文
東京都下水道局計画調整部事業調整課長

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

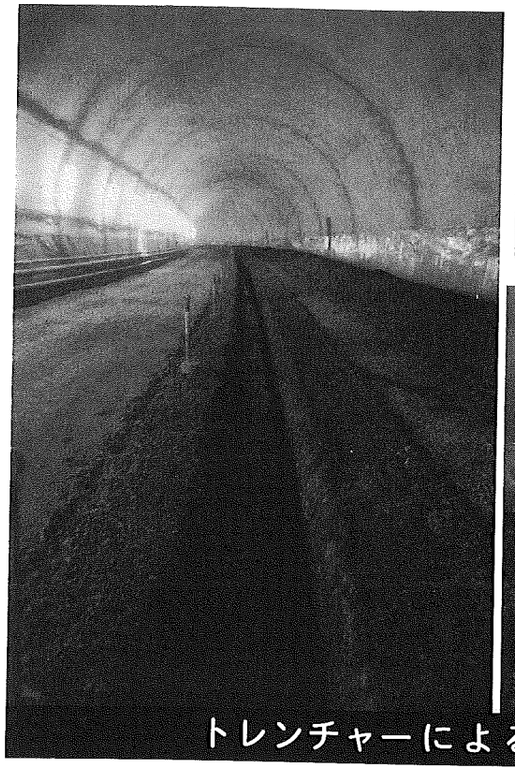
原薗一矢
東京都水道局建設部工務課長

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
日本道路公団試験研究所調査役

岩盤切削機 トレンチャー

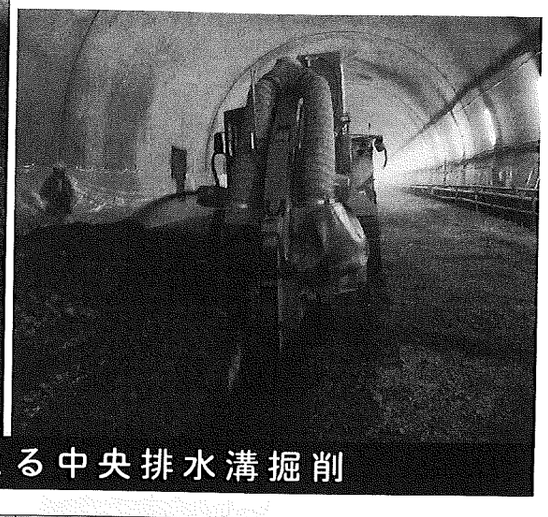
TRENCOR inc.



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

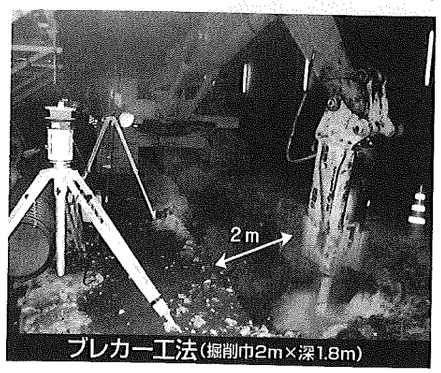
トンネル	排水溝寸法（矩形）		進行と掘削時間	
	巾（m）	深（m）	m／時	時／日
新幹線	0.8	1.8	10～25	2～4
高速道路	0.6	0.9	20～50	4～5



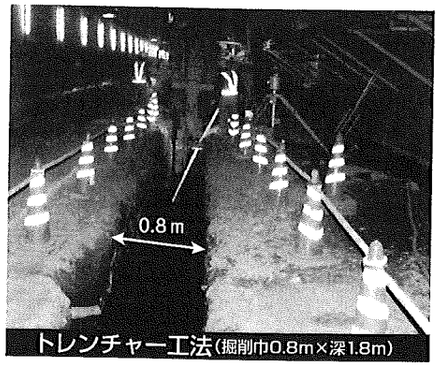
トレンチャーによる中央排水溝掘削

	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.36 No.6 掲載概要

掲載頁 7 東北新幹線八甲田トンネルが全貫通

鉄道・運輸機構 木村 裕俊

東北新幹線八甲田トンネルは，平成17年２月27日に全貫通を果たした．同トンネルは八戸・新青森間にある延長26k455mの長大トンネルで，既に開通している岩手一戸トンネルを抜いて，世界最長の陸上トンネルとなった．トンネルルートは青森県天間林村から同県青森市に至る．

工事は６工区に分割され，平成10(1998)年３月から着手し，本年２月までに掘削を終了した．施工は山岳長大トンネルであるため，断層破砕帯や突発湧水などにも悩まされながらも慎重に施工を続けた．また，同地域は八甲田山の火山作用を受けた鉱化変質帯でもあり，岩石中に含まれる成分により酸性水を発生し周辺環境汚染を引き起こす可能性があったため，その対策を行った．

本報告は，八甲田トンネルの計画とこれまでの施工経過について述べたものである．

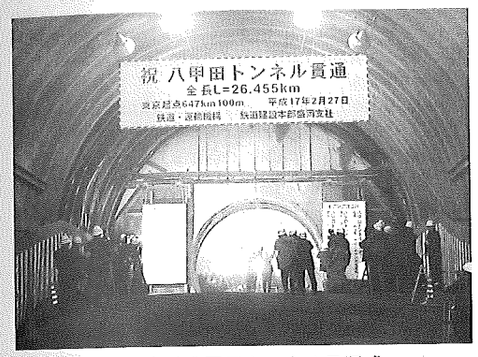
Breakthrough of Hakkoda Tunnel in Tohoku Shinkansen (Superexpress railway)

By Hirotoshi Kimura, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The excavation works of Hakkoda Tunnel in Tohoku Shinkansen, which is located between Temmarin Village, Aomori Prefecture and Aomori City, was complete on February 27, 2005. The length of this tunnel is 26.455 km and the longest among tunnels excluding undersea tunnels in the world.

This tunnel project was divided into 6 sections. The excavation began on March, 1998 and ended on February, 2005. The measures against environmental pollution by acid ground water were required because this tunnel penetrated fractured zones and spring water zones in metamorphic rocks made by the volcanic action of Hakkoda Mountain.

This paper reports the construction program and construction results of this project.



写真は八甲田トンネル貫通式

掲載頁 17 大断面双設泥水式シールドによる近接施工
—首都高速中央環状新宿線　上落合シールド—

首都高速道路公団 亀ヶ谷 勲

SJ46工区（２）トンネル工事は，内回り線，外回り線の２本のトンネルをφ11.42mの泥水式シールド工法にて施工するものである．

路線中，本シールドトンネルは，地下鉄，NTTとう道，ガス管などの重要構造物と近接する．また，本工事と同時期に施工中である首都高換気所の躯体下部を244mにわたり離隔1.0mで掘進する．

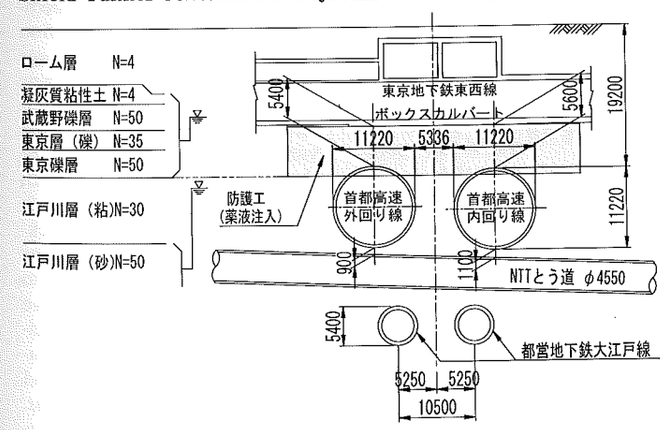
本稿は，既設重要構造物および換気所との近接施工について，近接影響検討，計測計画，施工管理および計測結果をまとめたものである．

慎重な施工管理の結果，既設構造物に構造上，機能上悪影響を及ぼすことなく，シールド施工を無事完了した．

Shield Tunnel Construction adjacent to Existing Structures-Kami-Ochiai Section of Metropolitan Circular Expressway

By Isao Kamegaya, Metropolitan Expressway Public Corporation

Kami-Ochiai Expressway Tunnel is twin one constructed with two slurry shields with a diameter of 11.42 m. This tunnel is adjacent to existing tunnels and lifelines such as the subway, the communication tunnel of NTT and the gas pipe and the shields passed beneath the ventilation shaft for this expressway under construction with the clearance of 1.0 m and with the distance of 244 m. The intelligent construction system made this project successful without the negative impact against the existing substructures. This paper presents the construction records of this shield tunnel project.



図は近接位置断面図

掲載頁 27

直上にφ3,250雨水幹線をかかえながら開削駅を施工
—横浜市高速鉄道４号線　高田町駅工区—

横浜市交通局　伊佐見孝夫

横浜市は放射環状形の鉄道網の形成による市域の一体強化と都心，副都心の強化育成を図るとともに，交通不便地域の解消などを図るため，横浜環状鉄道構想の一翼を担う路線の一部として，平成13年１月よりJR横浜線中山駅から東急東横線日吉駅に至る横浜市高速鉄道４号線（延長13.1km，10駅）の工事に着手している．工事は，日吉駅から２駅目の高田町駅部を開削工法で施工する．

本稿は，線路縦断方向にある高田合流雨水幹線（φ3,250）直下部の土留めの一部に透かし掘り掘削機を用いた透かし掘り工法を採用し，また同幹線の防護工として採用した吊り・受け防護工について報告する．

Construction of Subway Station by Cut & Cover Method under Sewer Main—Takadachou Station Section of Yokohama Municipal Subway Line No.4

By Takao Isami Transportation Bureau, City of Yokohama

Yokohama Municipal Subway Line No.4 is one part of the circular line of railway network in Yokohama City and will join Hiyoshi Station of Tokyu-To-Yoko Line, leading to Shibuya, Tokyo, and Nakayama Station of JR-Yokohama Line, and have a length of 13.1 km and 10 stations.

Takadachou Station, next to Hiyoshi Station of Tokyu-To-Yoko Line but one, is under construction by the cut and cover method. This paper reports the construction works of this station including the undermining method and others (the suspension system or the supporting system) to protect Takada Storm-Water Sewer Main overlying this station.



写真は透かし掘削機オーガ部折り曲げ状況

掲載頁 35

市街地狭隘道路下でシールド切替型推進工法を採用
—東京都下水道　谷川雨水幹線—

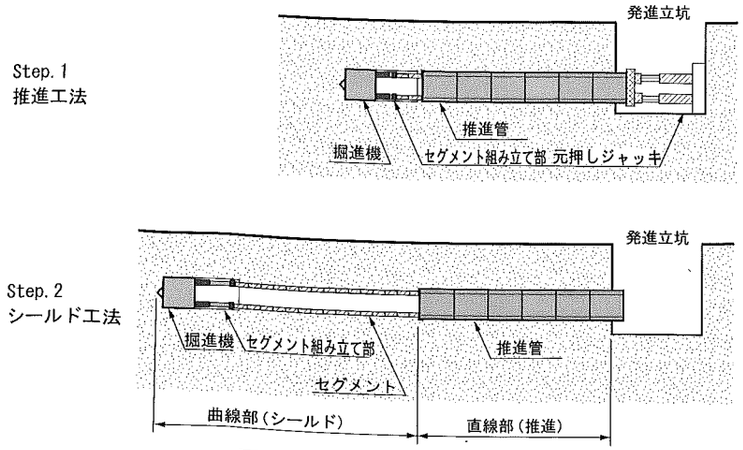
東京都下水道局　髙相　恒人

東京都区部下水道の施設計画を行うにあたっては，地下埋設物や道路使用の制約条件から非開削工法の採用や路上作業の削減など，交通や周辺環境への十分な配慮の検討が求められている．そして，既存の市街地では，計画路線が狭隘かつ複合した曲線道路や十分な作業基地の確保が困難など，厳しい施工条件となることが多くなっている．谷川雨水幹線増補管計画において，このような条件下の路線を実施するために，同一路線で推進工法とシールド工法を同じ機材・設備にて施工する「シールド切替型推進工法」の計画・検討を行った．そして，東京都下水道局では初めてとなる当工法を採用し，周辺環境への影響の低減・急曲線部の確実な施工・コスト縮減を図る計画である．

Application of Machine for Pipe Jacking Method convertible into Shield Machine—Yagawa Storm-Water Sewer Main

By Tsuneto Takaso, Tokyo Metropolitan Government

The bored tunnelling method is often adopted to construct sewers in Tokyo in consideration of narrow construction space, existing substructures and traffic condition on surface. These conditions lead to the difficulty to secure construction yard and the adoption of sharply curved alignment. In Yagawa Sewer Main Project, the machine for the pipe jacking method convertible into the shield machine is adopted to settle the problems under above-mentioned construction conditions, mitigate the negative impacts against environment and reduce the construction cost. This paper introduces the planning of this project.



図はシールド切替型推進工法の概要

掲載頁 43

東京礫層での地中掘削のリスク管理と変形予測の一考察

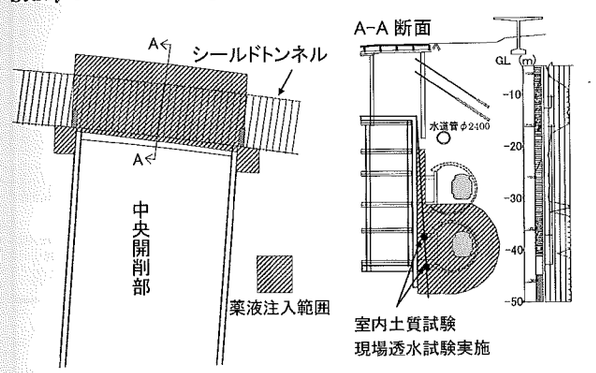
鉄道・運輸機構　高橋　浩一

高被圧水を持つ東京礫層内に薬液注入による止水工を施し，シールドセグメントの一部を撤去して立坑と開削で連結して駅部を築造する．出水事故等のリスクを低減し，安全施工を達成するために，薬液注入の通常の施工管理に加え，比抵抗トモグラフィとリスク低減のためのディープウエルを実施した．また，過大な変形による水みちの生成や既設構造物への影響を避けるため，複雑な施工過程を極力再現した三次元および二次元FEMを実施し，施工管理基準値を策定し慎重な施工を実施した．その結果，安全施工が達成された．また非線形弾塑性モデルを含めた事後解析を実施し，弾性二次元FEMを用いた実務的な変形予測手法を提案した．

Study on Risk Management and Prediction of Ground Movement by Tunnel Excavation in Gravel Layers

By Ko-ichi Takahashi, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

The chemical injection method with the specific resistance tomography method and the deep well method was adopted to construct the station by jointing the shaft and shield tunnel in the aquifer of Tokyo-gravel layer to mitigate the risk of seepage water and secure safe works. And, the two-dimensional FEM and three-dimensional one were adopted to predict the ground behavior in consideration of the process of construction works. After the construction, the reversed FEM analysis using non-liner elasto-plastic model was done. This paper proposes the two dimensional model to predict ground behavior simply and realistically.



図は薬液注入範囲

掲載頁 53

トンネル工事のリスク
—Zimmerbergベーストンネルにおける検討と手順—

チューリッヒ工科大学　K. Kovari
訳　ジオ ホロン パートナーズ　近藤達敏

本論では，次の４つの主題を取り上げている．①リスクや不確実性などの用語の概念を明確にして共通の文脈理解を図ること，②リスクがもたらす損害額とその生起確率の積でリスクをグラフ上にわかりやすく表現すること，③トンネルのルート全体にわたって考えられるすべての不安と安心の要素を書き出し，それらをバイアスなしに評価すること，④工事に参画する全てのメンバーに安全性計画の全容を開示して理解を求めることが参加メンバーに対する共通の目標とゴールとなり，リスク回避に大きく貢献する，と考えることである．ここで述べた④の問題はトンネル工事のみならず企業経営や組織行動においても経営上のきわめて重要な鍵となることはよく知られている．また，②は，予め想定された危険範囲の外側のところに予想のしない危険要素が潜んでいるということを示唆した重要な考え方である．

このようなことから，本論は単なるトンネル工事の実績紹介という範疇を遙かに超えて，確率的に予知することの出来にくい不可逆なトンネル工事のリスク管理手法にアプローチするための実態に基づいた提案となっている．

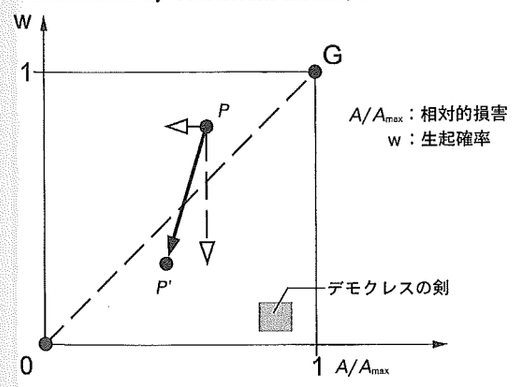
Abridged Japanese translation of "Risk in Tunnelling: Analysis and Procedures relating to the Zimmerberg Tunnel" by Prof.Dr.K.Kovari, Tunnel 6/2000 issued by STUVA

Translated by Tatsutoshi Kondo, Geofront Partners

This paper discusses the following themes.

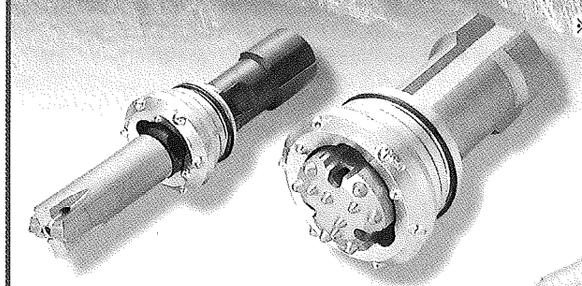
1) To define technical terms on risk and uncertainty to have common the recognition on them
2) To quantify the risk by the product of amount of damage and the incidence (probability) of risk
3) To identify certainties and uncertainties in tunnel project and evaluate them without bias
4) To mitigate the risks by understanding of all of persons in charge of tunnel project on safety program

Theme No.4 is important not only for success of tunnel project but also for management of organization of client or contractor. Theme No2. suggests damages by unexpected risk. This paper proposes the approach to identify risks on irreversible tunnel project that it is difficult to predict with the probability method.



図はリスクを構成する二要素

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。



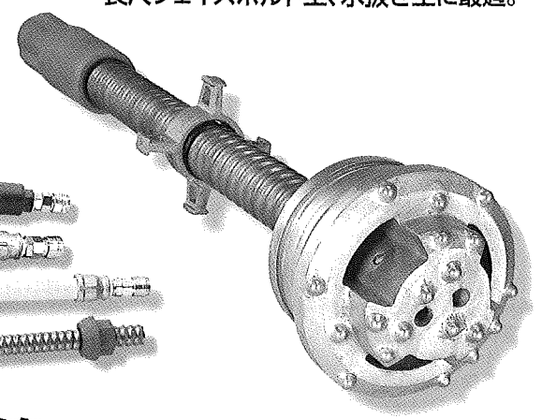
STD BITS

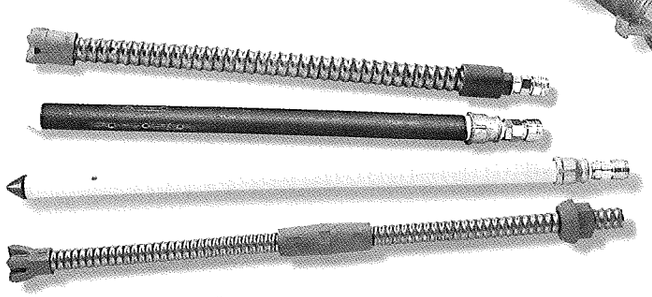
（ロストリング方式）

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

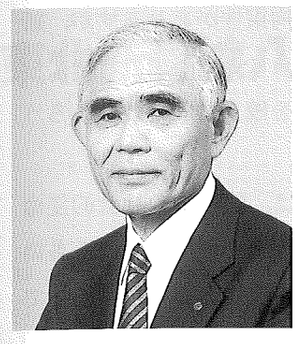
R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

※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
〒581-0869　大阪府八尾市桜ヶ丘3丁目101番地
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
E-mail : steng@kawachi.zaq.ne.jp

巻頭言

（題字　三谷　浩会長）



土木のファン作りはまず現場から

佐藤工業(株)代表取締役社長(本協会理事)
杉　晟

昨年は自然災害の多い年でした．夏から秋にかけていくつもの台風や未曾有の集中豪雨に見舞われ，10月には新潟県中越地方で震度７を記録する大きな地震，年が明けて３月には九州の地震空白地域で震度６弱という福岡県西方沖地震が発生しました．また，国外では暮も押し詰まった12月26日にスマトラ沖地震による大津波によって多くの人命・財産が失われました．被災された方々には心からお見舞い申し上げます．災害はいつどこで起きるかわかりません．あらためて安全で災害に強いわが国土づくりの先頭に立つ建設業の社会的な役割がきわめて大きいことを痛感した次第です．このところ公共事業については「税金のムダ遣い」といったマイナスイメージばかりが喧伝される風潮がありますが，このような災害の実態をみると，安全で安心して暮らせる社会資本の整備はまだまだ不十分であると言えます．例えばトンネルや地下空間構築技術が活かせるものとしては「首都圏外郭放水路工事」，「環状七号線地下調整池工事」のような広域的な浸水対策地下施設が，多くの地域で待ち望まれています．

本誌１月号の巻頭言で本協会の三谷会長が，「1978年当時に比し現在の消費者物価は約2.5倍に伸びているがトンネル建設費は横ばいであり，実質 ６割ものコスト削減がなされてきたという見方もあります」と述べられています．まことにトンネル工事ほど品質，経済性，安全性を追求して，さまざまな技術開発が行われてきた分野はないと思います．

私は土木本部長時代に，改良の進んだTBMの工事を数箇所つぶさに視察する機会を得ました．そこではTBM工事に不可欠な切羽前方探査技術，掘削ずりを切羽から坑口へ搬出させる長距離ベルコン技術，無人化・省力化を図るため無線で資機材を搬出入させるトンネル自動搬送システム，掘削と覆工の同時進行を実現した自動吹付けシステム，このようなといった多くの新技術が開発され，積極的にコストダウン，安全性の向上，施工の効率化を図っている，つまりTBMの地質適用範囲の拡大と急速施工の進展を支えていることを現場で実感

しました．

建設業界が改善を期待している課題のひとつに，予定価格の上限拘束性がありますが，新工法・新技術の導入に逡巡することがなくなればコストダウンはさらに進むと思われます．そのためには，自由に新しい代案技術を提案・採用できるシステムを確立する必要があろうかると思います．

(社)日本土木工業協会が主催する「100万人の市民現場見学会」は，建設業の社会的使命や社会資本整備の必要性などを理解してもらうために同協会が全国規模で展開しているものです．3月に開催された徳島県のトンネル現場見学会では，地域の小学生からお年寄りまで約200名の参加があり，初めて目にするトンネル工事に「すげえなぁ」「貴重な体験ができた」と感嘆の声があがったそうです．現場では，ヘルメットをかぶり，きびきびと働いている技術者の姿や高度な技術が好印象を与えるはずです．そして「なぜこのトンネルは必要なのか」，「どのようにして造るのか」といった疑問にその場で答え，工事の意義や内容とわれわれが誇りとしている技術をわかりやすく説明することができるこの見学会は，「土木/Civil Engineering」のファンになっていただける，たいへん有効な手段だと思います．まもなく2万回を数えるこの見学会で，たくさんの建設会社に「現場」を使ったコミュニケーションのノウハウが蓄積されたわけですから，これからは自分たちでも新しい見学会の企画を立案・実行すべきだと思います．それが，われわれの社会的ステータスアップにつながることで，最近縮みがちな土木屋に元気と自信が戻ってくると信じています．

東北新幹線八甲田トンネル(L=26.5km)が2月27日貫通し，陸上トンネルとしては世界最長となりました．工期短縮のため6工区に分けて工事を進め，ずり出しに長大ベルトコンベヤの採用など自然環境に配慮した新工法を採用し，わずか6年半で全線の貫通を成し遂げました．開業すれば東京～青森間が現在の約4時間から3時間程度に短縮されます．本州北端の青森まで高速交通体系が完成することにより，沿線地域の文化や経済の発展に大きく寄与するものと期待されています．貫通を機に，マスメディアにも久々に全国的に大きく取り上げられたことは，われわれ建設に携る者にとってたいへん喜ばしいことです．公共事業の社会的価値を説明できる絶好の機会であり，私もまず家族，そして友人知人への説明を実践しています．

建設業では，公共工事の品質向上，工事費の縮減，環境保全，既設構造物の維持管理，京都議定書の発効にともなう地球温暖化対策など多くの課題がありますが，三位一体の改革など大きな変革の時であればこそ，より良質な社会資本の整備に向け，さらなる技術開発に努めていきたいと思っています．

施工

東北新幹線八甲田トンネルが全貫通

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第二部工事第五課課長 木村裕俊
鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第二部工事第四課課長 佐々木幹夫

1 はじめに

東北新幹線八戸・新青森間(延長81.2km)の八甲田トンネルは，延長26k455mの長大トンネルであり，既に開通している岩手一戸トンネル(延長25.8km)より長いトンネルで，本年2月に無事貫通し，世界最長の陸上鉄道トンネルとなった．

トンネルルートは青森県天間林村から同県青森市に至る．工事は6工区に分割され，平成10(1998)年3月から着手し，本年2月に掘削を終了した．

施工は，山岳長大トンネルであるため，断層破砕帯や突発湧水などに悩まされながらも慎重に施工を続け完了させた．また，八甲田山の火山作用を受けた鉱化変質岩は酸性水を発生させ，周辺環境汚染を引き起こす可能性もあったため，その対策も行った．

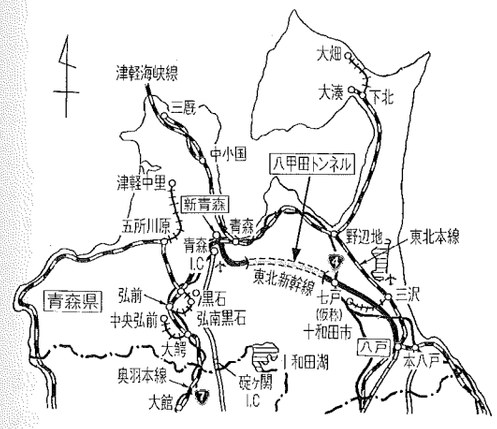


図-1 八甲田トンネル位置図

本稿では，八甲田トンネルの計画とこれまでの施工経過について述べる．東北新幹線八甲田トンネルの位置平面を図-1に示す．

2 線路計画

2-1 平面線形

東北新幹線の八戸・新青森間の線形は，八戸Stから七戸Stに向け北西に進み，七戸Stからはほぼ西側をめざして八甲田トンネルにさしかかる．八甲田トンネルを抜け，青森平野からは北側に進路を変え，新青森Stに至る．

八甲田トンネルのルートはほぼ東西方向である．トンネルの入口付近と中間部から終点にかけての2か所にR=8,000mの曲線区間が入っている．

八戸・新青森間の線路平面を図-2に示す．

2-2 縦断線形

八甲田トンネルは総延長26.5kmにもなるため，各工区の工事基地の場所・トンネル排水などを考慮しトンネルの中間点にあたる青森市と天間林村の行政境を頂点とした10‰山形の拝み勾配としている．線路縦断を図-3に示す．

2-3 斜路

八甲田トンネルの中間4工区は，工事基地と本トンネル間を斜路で結び，掘削発生土の搬出および資材搬入を行った．

斜路の断面は大型車両の通行・換気管・排水管などの敷設を考慮して，約30m^{2}程度としている．斜路勾配は工事基地と本トンネルの高低差と延長によって決まるが，最大でも大型車両の通行に支

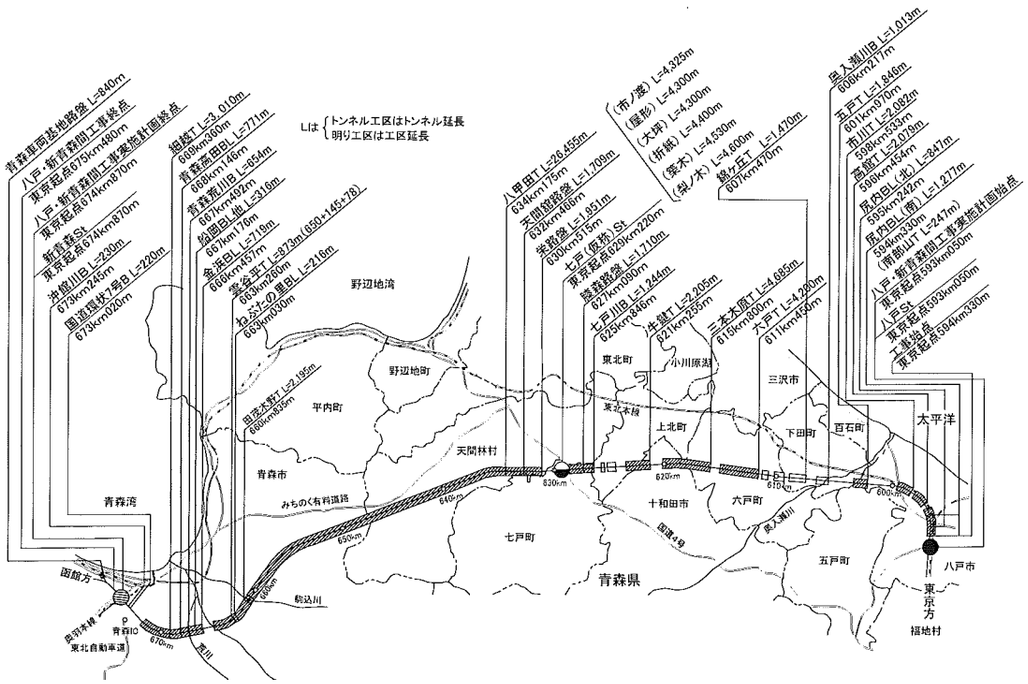


図-2　八戸・新青森間線路平面図

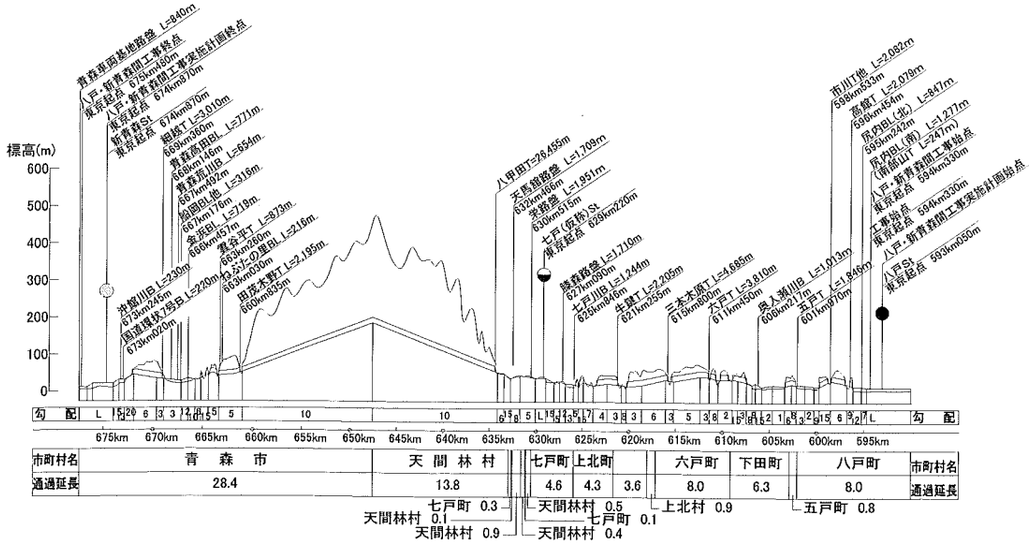


図-3　八戸・新青森間線路縦断略図

障のない10%以下とした．斜路延長は工事基地の地形によって左右されるが，1,330～718mとなっている．車両行き違い設備はおおむね100mに1か所程度設けている．

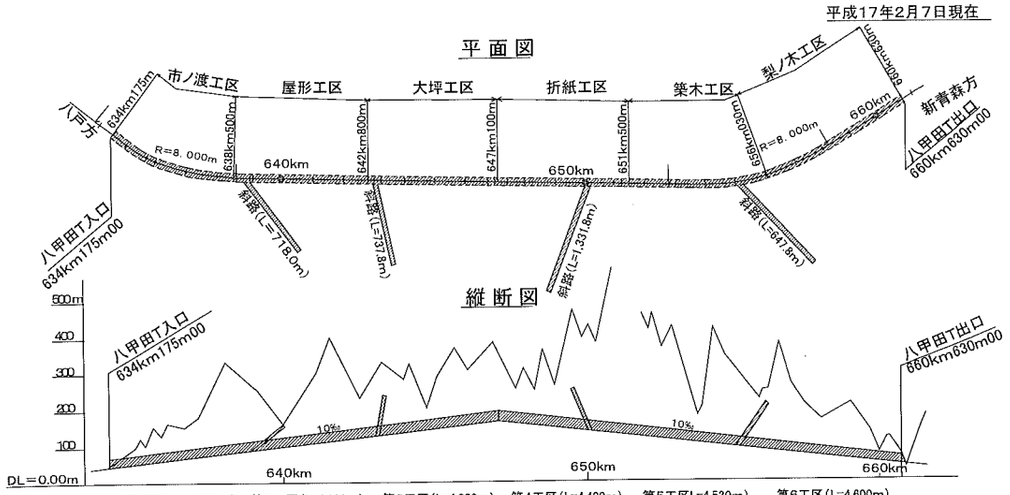
2-4　本トンネル

本トンネルの工区割は，前述のとおり6工区とした．天間林村と青森市との市村境の頂点を挟んで3工区ずつとしている．各工区の工区長は

4,600～4,300mとほぼ均一である．斜路が取り付く工区では排水などの施工性を考慮し，突っ込み勾配での掘削延長を1,000m程度に計画した．

本坑の掘削支保パターンは地山等級によって標準支保パターンを設定し適用することとしたが，地山状況によっては更に細分化してより地山に合った経済的なパターンを模索した．

八甲田トンネルの進ちょく状況を図-4に，トン



		第1工区(L=4,325m) 市ノ渡工区	第2工区(L=4,300m) 屋形工区	第3工区(L=4,300m) 大坪工区	第4工区(L=4,400m) 折紙工区	第5工区L=4,530m) 築木工区	第6工区(L=4,600m) 梨ノ木工区	合　計
斜　路	計　画		718m	738m	1, 331.8m	947.8m		3, 735.4m
	進ちょく		718m (100%)	737.8m (100%)	1, 331.8m (100%)	947.8m (100%)		3, 735.4m (100%)
掘さく	計　画	4, 325m	4, 300m	4, 300m	4, 400m	4, 530m	4, 600m	26, 455m
	進ちょく	4,325.0m(100%)	4,300.0m(100%)	4,300m(100%)	4,398.0m(99%)	4,530.0m(100%)	4,600.0m(100%)	26, 453.0m (99%)
覆　工	計　画	4, 325m	4, 300m	4, 300m	4, 400m	4, 530m	4, 600m	26, 455m
コンクリート	進ちょく	4,325.0m(100%)	4,26.0m(100%)	3,536.5m(83%)	1,846.9m(42%)	2,022.8m(45%)	4,630.0m(100%)	20, 631.2m (78%)
インバート	計　画	4, 325m	4, 300m	4, 300m	4, 400m	4, 530m	4, 600m	26, 455m
	進ちょく	4,325.0m(100%)	4,300.0m(100%)	4,132.0m(97%)	2,093.0m(48%)	2,369.2m(52%)	4,630.0m(100%)	21, 819.2m (83%)

図-4　八甲田トンネル進捗状況

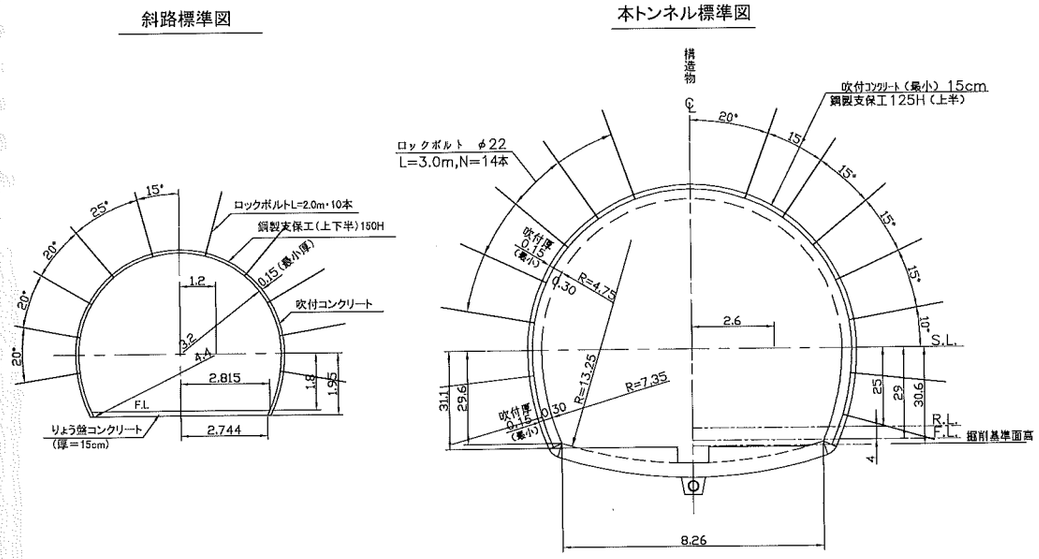


図-5　トンネル標準支保パターン

ネルの標準支保パターンを図-5に示す.

2　八甲田トンネルの地形と地質

3-1　地　形

東北新幹線(八戸・新青森間)のルートが通る青森県南東部から中部にかけては，東北地方の中央部を南北に連なる奥羽山脈の北端部にあたり，十和田湖北側の御鼻山(1,110m)，八甲田連峰大岳(1,585m)，柴森山(715m)，折紙岳(921m)，三角岳(753m)，鳥帽子岳(720m)を経て夏泊半島へと標高700～1,500mの山々が連なっている.

この奥羽山脈の西側では十和田湖から八甲田山の西山腹から浅瀬石川が西流し，弘前付近で岩木川に合流して十三湖に注ぐ．北側では八甲田山近傍の酸ケ湯，田代平といった温泉地帯からは荒川，駒込川が北流し，さらに北の折紙岳，三角岳付近からは野内川が西北に流下し，陸奥湾に注いでいる.

3-2　地　質

八甲田トンネル付近の地質は，出口側(梨ノ木工区)の一部を除き基盤の新第三紀層が出現している．この新第三紀層は全体的によく固結した火山起源主体の地層であるが，上北鉱山に代表される鉱床が散在し，一部鉱化変質している.

トンネルに出現する地層は，下位より安山岩を主体とした比較的硬質な金ケ沢層，凝灰岩類を主体とした軟岩～中硬岩の四ッ沢層，砂岩・頁岩・泥岩を主体とした軟岩～中硬岩の和田川層，礫岩・砂岩・泥岩を主体とした市ノ渡層となっていた．このうち金ケ沢層～和田川層に鉱化変質している地質が多かった.

地質構造は全体としてはトンネル中央部付近に背斜軸をもつ大きな褶曲構造をなしており，トンネル中央部にもっとも古い金ケ沢層が分布し，その両翼に順次新しい四沢層，和田川層が分布する構造となっていた．そして，これらの堆積時とほぼ同時期に活動していたと思われる貫入岩類が新第三紀層を貫いて分布していた．なお，トンネル入口部付近には市ノ渡層が和田川層を覆い，出口付近では八甲田火砕流堆積物である第四紀の溶結凝灰岩が2期にわたって和田川層を覆って分布していた．溶結凝灰岩の第1期と第2期の不整合面には層厚約10mの未固結砂層が分布し，梨ノ木工区では約300mにわたってトンネルに出現した.

4　各工区の施工状況

4-1　市ノ渡工区

市ノ渡工区は，八甲田トンネルの八戸方の入口側坑口に位置する．本坑は開削トンネルを含めて4,325mの工区である.

地形は，八甲田連峰の山裾に位置し，なだらかな河岸段丘の丘陵地となっている．地質は，坑口より約2,000mは第三紀中新世市ノ渡層の凝灰岩質の未固結砂岩，凝灰岩などで構成され，これより以深の区間では和田川層の凝灰角礫岩，凝灰岩，四沢層の泥岩，および貫入岩の安山岩などが出現した.

掘削方法は，坑口より約2,000mまでは機械掘削によるショートベンチカット工法とし，それ以奥は発破による補助ベンチ付き全断面掘削工法で行った．掘削の補助工法として繊維混入吹付けコンクリートを採用することにより，経済的な支保構造の確立と鋼製支保工建て込み作業をなくして安全性を確保した.

また，本工区の特長として，掘削ずりはベッセルを使用して仮置きし，クラッシャーを併用した坑内延伸ベルコンにより坑外まで搬出する工法を採用した．このことにより坑内換気設備の縮小化と省エネルギー化を実現することができた(写真-1).



写真-1　坑口ベルコン設備

4-2　屋形工区

屋形工区は，八甲田トンネルのうち起点側から2番目の工区で，斜路718m，本坑4,300mの工区である.

地質は，新第三紀中新世の和田川層凝灰岩と，四沢層泥岩および貫入岩の安山岩から構成されていた．地質は全体的に安定していたが，鉱化変質の影響をやや強く受けていた.

トンネル掘削の施工は，斜路と本坑の交差部付近の軟弱部で内空変位が収束するまでに長時間を要した．また，土かぶり30mの小坪川直下での難工事や貫入岩地帯での突発湧水など厳しい場面にも直面したが，全体的にはほぼ順調に施工することができた.

掘削工法は，発破工法の補助ベンチ付き全断面掘削工法とした．使用機械は，3ブーム油圧ジャンボ，3.5m³ローディングショベルによるずり積み，吹付けロボット，25t積みダンプトラックなどを使用した(写真-2).

4-3　大坪工区

大坪工区は，八甲田トンネルのうち起点側から3番目の工区で，斜路738m・本坑4,300mの工区である．青森方の折紙工区との工区境は，天間林村と青森市との行政境となっており，八甲田トンネルの中間点でサミットとなっている.

地質は，644k800m付近の大坪川を挟んで2つに大別され，起点側が第三紀中新世の和田川層凝灰角礫岩を主体とし，終点側が四沢層安山岩，石英安山岩などであった．このうち四沢層安山岩類に鉱化変質岩が多く含まれ，貫入岩の周辺は粘土化帯で一部は膨張性を呈する地質であった.

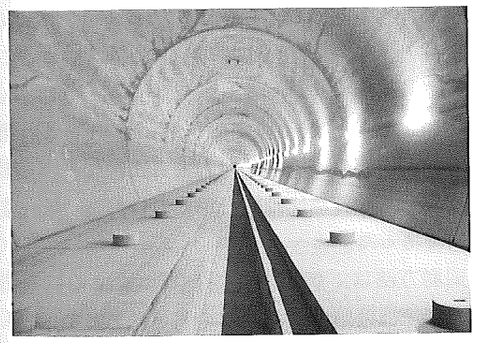


写真-2　路盤鉄筋コンクリート完了区間

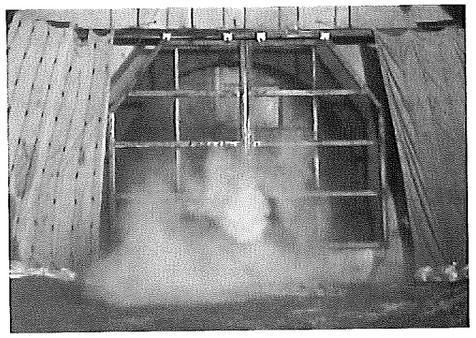


写真-3　八甲田トンネル貫通発破の瞬間

トンネルの掘削は，全区間を発破工法で行ったが，起点側の和田川層は補助ベンチ付き全断面掘削工法で，終点側の四沢層はショートベンチカット工法で行った．トンネルは，斜路を含めて片押し延長が4,700m以上となるため，ずり出しに坑内ベルコンを採用した.

同工区の近傍を青森県道路公社の「みちのくトンネル」と接近するため，この区間は綿密な発破振動管理を実施して慎重な施工を行った．また，大坪川直下は土かぶり約35mで大量の湧水が想定され，非電気式雷管を使用するなど安全管理にも努めた.

八甲田トンネルの掘削は，同工区と折紙工区が最終となったため，トンネルの中間点(工区境)で全貫通を行った(写真-3).

4-4　折紙工区

折紙工区は，八甲田トンネルの起点側(八戸側)から4番目の工区で，斜路1,332m，本坑4,400mの工区である.

地質は，新第三紀金ケ沢層の変朽安山岩とそれに伴った火砕岩類，閃緑岩を主体とし，全体に変質が著しく，鉱化変質帯や変質粘土帯が不規則に介在していた.

このため湧水量が多く，掘削途中に3～5 m³/分の突発湧水にしばしば遭遇し，トンネル内の総湧水量のピークが14.8m³/分に達したこともあった.

掘削にあたっては，断層破砕帯に入り，湧水とトンネル上部の抜け落ちがたびたび発生したが，



写真-4　八甲田トンネル貫通式

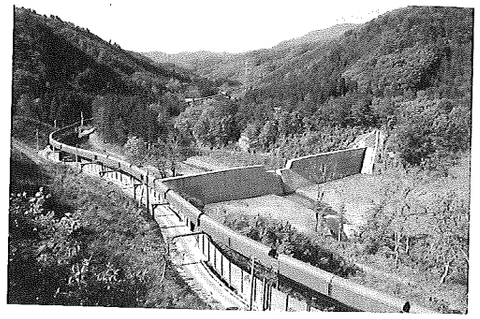


写真-5　坑外の長大カーブベルコン

多くは水抜きボーリング，注入式先受けボルト，インバート仮閉合，鏡吹付けコンクリートなどの施工により無事突破している．

工事は平成12年10月から斜路掘削にかかり，本坑は平成14年３月に起点側から掘削したが，悪地質区間が続いたため工期が遅れ，平成15年10月からは起点側，終点側の２切羽を同時掘削した．使用機械は，３ブーム油圧ジャンボ，ずり積み機，吹付けロボット，25t積みダンプトラックを使用している．

本工区の特長の１つとして，かつて八甲田トンネル中央部の地質調査を目的とした唐川調査坑（昭和56～57年および平成７～８年に実施　$L=465$m）が本坑と出合うことから，この調査坑を換気坑として利用し，長大トンネルの坑内環境の向上を図った．

八甲田トンネルの全貫通は，平成17年２月27日に大坪工区と当工区の間で行われた（**写真-4**）．

4-5　築木工区

築木工区は，八甲田トンネルの起点側から５番目の工区で，斜路948m，本坑4,530mの工区である．

地質は，第三紀四沢層の石英安山岩，玄武岩，凝灰岩,泥岩などであった．地質は比較的に安定した区間が多かったが，全体的には鉱化変質の影響を受けていた．

土かぶりは最大で350m，最小（沢部）で40mであったが，火山岩類の貫入部や層境では亀裂帯，破砕帯が出現し，数回の突発湧水事故（３～５m^3/分）に遭遇した．

掘削工法は，補助ベンチ付き全断面掘削工法で施工し，使用機械は，３ブーム油圧ジャンボ，ずり積み機はシャフローダ，吹付けロボット，25t積みダンプトラックを使用した．

トンネルの掘進も順調に進み，月進200m以上を５回，最大月進236.5mを達成し，早期完成をめざした．

築木工区の特長は，坑外での土捨てまでのずり運搬を長大カーブベルコンを採用し，周辺が豪雪地域であり，稀少動物の生息地であったことなどから，周辺環境に配慮して，排ガス・騒音・振動を大幅に削減し，トンネルずり運搬を安定的に行うこととした（**写真-5**）．

4-6　梨ノ木工区

梨ノ木工区は，八甲田トンネルの青森方の出口側坑口に位置する．本坑4,600mの工区である．

地質は坑口より約1,400m区間は，八甲田山に起因する第四紀の溶結凝灰岩を主体とする火砕流堆積物で構成され，約300m間にわたって帯水未固結層がトンネル内に出現した．この間での施工では，深さ150mにも及ぶ大深度ディープウェルを主体とする補助工法を採用し，無事突破することができた．

坑口より約1,400m以奥の区間については，第三紀和田川層の凝灰岩・泥岩・玄武岩などの互層が出現し，地質は比較的安定していたが，鉱化変質帯であった．

掘削方法は，坑口より約1,400mまでの軟岩区間では，機械掘削によるショートベンチカット工法としたが，それ以深の中硬岩区間では補助ベンチ付き全断面発破掘削工法とした．使用機械は，３ブーム油圧ジャンボ，油圧ブレーカ，サイドダンプ，ずり積み機，吹付けロボット，25t積みダンプトラックという標準的な組み合わせで行った．



写真-6　路盤鉄筋コンクリート打設状況

掘削は平成11年５月から開始し，完了は平成15年１月となっており，開始・完了とも八甲田トンネルでもっとも早い工区となった（**写真-6**）．

5　鉱化変質岩の環境対策

5-1　鉱化変質岩の性状

八甲田トンネルの近傍には，ほぼ全域にわたって旧金属鉱山が点在している．トンネルルートには，少量の鉱脈と膨大な量の黄鉄鉱を含んだ火山変質岩（鉱化変質岩と呼称する）が分布している．鉱化変質岩中に含まれる黄鉄鉱は，地中内にある場合には還元状態で安定しているが，酸素と水に触れると酸化反応を生じる．また，他の硫化鉱物も伴う場合，鉄以外の重金属（亜鉛，鉛，銅，ヒ素など）も酸性水によって溶出することも考えられた．

5-2　判定方法

鉱化変質岩のうち，酸性水を生じさせる可能性のあるものを「管理型」として区別するようにした．

鉱化変質岩の判定は，工区ごとに１日１回ずつ行われるが，その膨大なデータは，すべてデータベース化して蓄積・整理され，試験室の調査・分析にフィードバックしながら判定基準の見直しを行っていくこととした．

以下に判定基準の概要を示す．

① トンネルの切羽観察・試料採取は，鉱山経験のある地質技術者が行う．

② 肉眼鑑定で，切羽に鉱脈・鉱石が認められる場合は「管理型」とする．

③ 岩石が帯磁率を多く含み，鉱化作用の影響を受けていないものは「一般型」とする．

④ 簡易溶出試験は，φ10㎜以下の試料を蒸留水につけてpH・Ecの経時変化を測定する．毎日の判定では，１時間後のpH６以下のものを「管理型」と判定しているが，７日，28日，56日後の測定も行い，データベース化して判断基準の見直しを行うこととした．

⑤ 全岩分析を行い，硫黄含有量が２％以上のものは，酸性水を発生させる可能性があるとして「管理型」に判定する．また全岩分析において，一定基準以上（環境省の指針に準拠）の重金属が検出された場合も「管理型」ずりとして管理している．

5-3　掘削発生土の処理方法

鉱化変質岩によって生成された酸性水や溶出した重金属が直接河川などに流出すると環境への影響が懸念された．こうした環境汚染を防ぐ目的から，学識経験者，鉄道・運輸機構，沿線自治体などで構成される「八甲田トンネル技術委員会」を設置し，種々の対策が検討された．

トンネルの発生土は，鉱化変質岩をすべて一律に「管理型」として管理することは，不経済なので，酸性水を生じさせる可能性のある鉱化変質岩を「管理型」として区別するようにした．この判

表-1　「管理型」ずりの出現状況

工区名	延長	発生土全量	「管理型」ずり	
			予想	現在出現土量
市ノ渡工区	4,325m	456,690m^3	32,500m^3（７%）	18,850m^3（４%）
屋形工区	4,300m	43,000m^3	89,700m^3(20%)	101,010m^3(23%)
大坪工区	4,300m	448,700m^3	114,400m^3(25%)	74,230m^3(17%)
折紙工区	4,400m	483,340m^3	127,400m^3(26%)	177,580m^3(37%)
築木工区	4,530m	512,330m^3	64,350m^3(13%)	77,250m^3(15%)
梨ノ木工区	4,600m	481,650m^3	60,970m^3(13%)	113,230m^3(24%)
合計	26,455m	2,825,710m^3	489,000m^3(17%)	562,150m^3(20%)

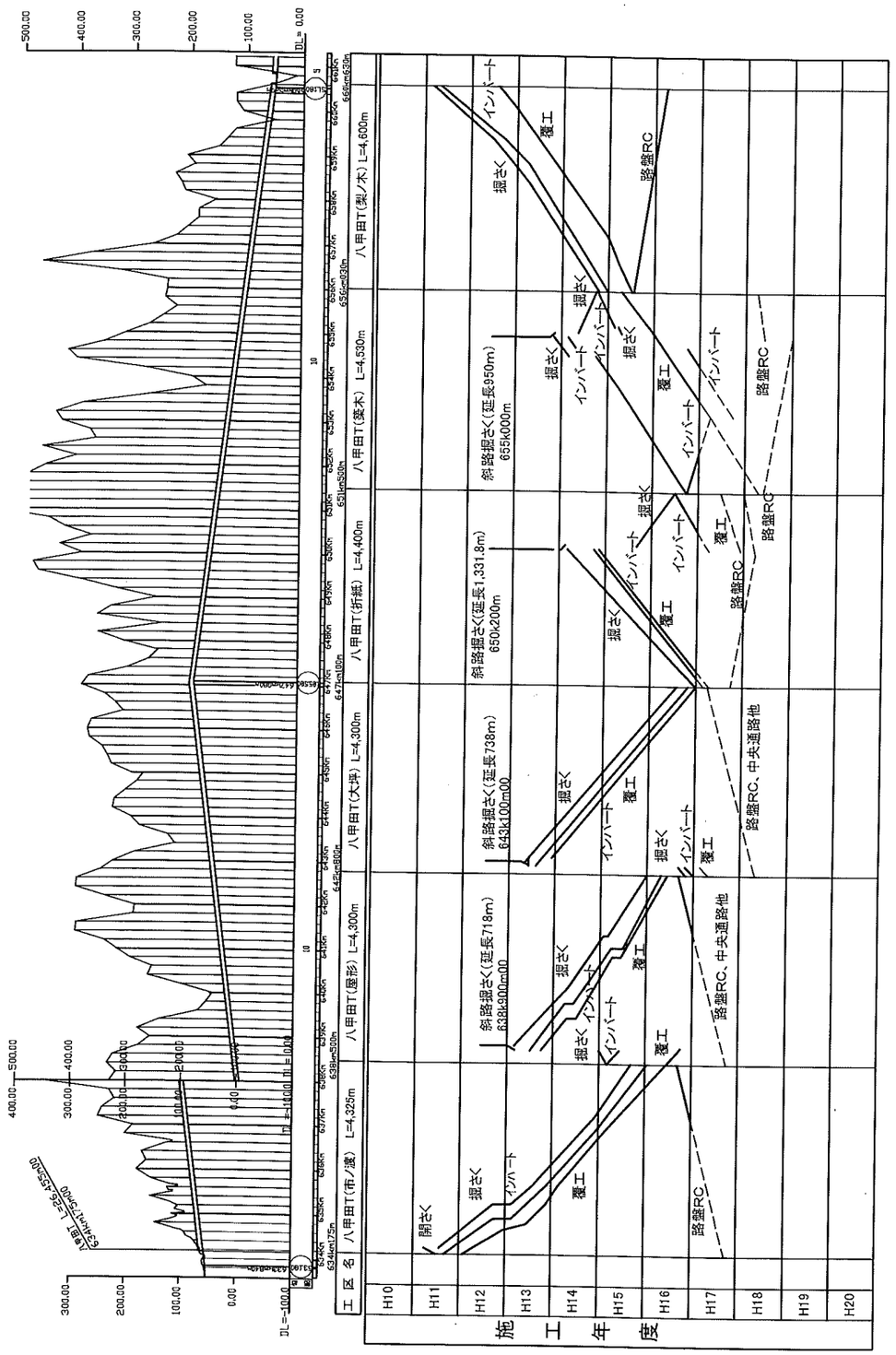


図-6 八甲田トンネル工程表

定は，委員会において一定の判定基準を定め，現場付近に設けられた八甲田トンネル試験室で分析・判定することとした．「管理型」と判定された鉱化変質岩は，遮断型の「管理型土捨て場」で管理し，それ以外のものについては「一般型」として通常の土捨て場に堆積することとした．

5-4 「管理型土捨て場」の構造

掘削発生土の鉱化変質度の判定は，毎日切羽から採取する試料で行われる．判定結果がでるまでにはおおよそ半日程度かかるため，掘削発生土の仮置き場は2分割して最大2日分の溜め置きができるようにしてある．「管理型」と判定された掘削発生土は「管理型土捨て場」に捨土し，雨水・地下水などとの接触を断ち，環境汚染を防止している．

「管理型土捨て場」の構造は，産業廃棄物管理型最終処分場に準拠した構造を有し，底盤部・法面部・覆土部のすべてを二重シートで覆い，遮水構造としたものである．搬入中に「管理型土捨て場」から出た浸出水は，周辺の雨水・地下水とは別系統の貯留池に集め，水質検査を行い適正な処置を行った後に河川などに放流している．

「管理型土捨て場」は，すべての掘削発生土を搬入後に覆土し，緑化することとしている．土捨て場からの浸出水がなくなったことを確認したうえで，排水管を閉鎖することとしている．

5-5 発生の現状と最終処分

鉱化変質岩の発生状況は，当初全体掘削量の20％弱と考えていたが，実際掘削してみると工区ごとにかなりのバラツキがみられ，4～37％となっており，全体的には予想量を若干上回って出現している．掘削全体の量と「管理型」ずりの出現状況を**表-1**に示す．

6 工 程 管 理

八甲田トンネルは全体を6工区に分割し，平成10年7月に青森方坑口の梨ノ木工区の工事着手を皮切りに，平成11年3月には天間林村方坑口の市ノ渡工区の工事着手を，平成12年3月には中間4工区の屋形・大坪・折紙・築木工区がそれぞれ工事に着手し，全工区工事に着手した．

実際の掘削開始から終了までは，延べ80か月程度の期間で掘削を終了できた．これまで，突発湧水や断層破砕帯に遭遇しながらも，全体的には順調に掘削を進めてきた．

八甲田トンネル全体工程表を**図-6**に示す．

7 お わ り に

東北新幹線八戸・新青森間の工事は，平成10年3月の工事着手以来準備を含め約7年を経過した．この間，自治体や関係者のご支援・ご協力を得て，工事を順調に進めることができた．

八甲田トンネルが無事貫通したことにより，八戸・新青森間の最大の難工事区間を突破することができ，東北新幹線の開業目標を，平成22年度に定めることができた．

新幹線工事は，今後橋梁，高架橋をはじめとする明り工事が主体となるが，今後とも安全で効率的な工事を進めていきたい．

参 考 文 献

1) 佐々木裕・佐々木幹夫：東北新幹線八甲田トンネル全工区着手，トンネルと地下，Vol.32，No.6，2001.6.
2) 木村裕俊：新幹線トンネルで発生する鉱化変質岩の環境対策について，国交省東北整備局，平成15年度管内技術発表会，2003.7.

現場だより
平成17(2005)年

「ロケット発祥の地」秋田県由利本庄市岩城より

澤 田 和 也

秋田県由利本庄市は平成17年３月に本庄市・矢島町・岩城町・由利町・西目町・鳥海町・東由利町・大内町の１市７町が市町村合併して誕生した新しい町である．

南には「奥の細道」で有名な象潟があり，芭蕉が訪れた元禄２(1689)年には付近は松島のような島が点在する海だったそうで，この付近一帯は隆起しているようである．

由利本庄市から北側の秋田にかけての地域は，油田が存在し，戦前まで国内最大級の産油量を誇っていた．本トンネル周辺でも，石油が採取されている．

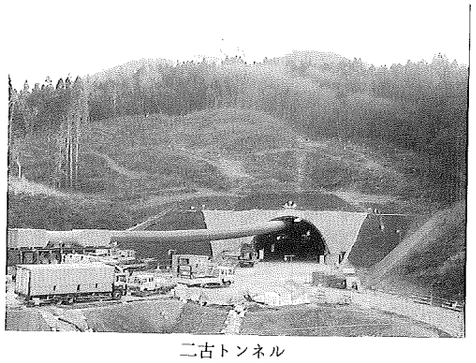
付近一帯の海岸線には，かつては美しい松林が並んでいたが，いまでは，ほとんどが立ち枯れてしまっている．変人扱いをされながらも植林しつづけた江戸時代の秋田の偉大な変人である栗田定之丞の無念さが偲ばれ，何とか黒松林の再現を願っている．

また，糸川英夫博士を中心としたチームによって，昭和30年に国産初のペンシルロケットがこの地の道川で打ち上げられた．H-Ⅱロケットの成功もここが出発点と勝手に思っている．

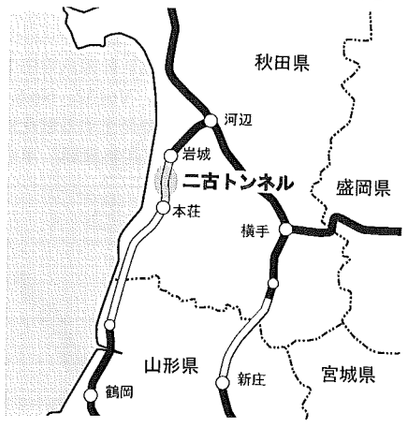
車で30分程の位置に秋田市があり，東北３大祭りである「竿灯祭り」は稲穂に見立てた長さ10mもあろう竿を男が肩，腰，額に軽々差し上げ操る姿は壮観である．また，白神山地，鳥海山のほかに大晦日に男鹿半島全域約60地区で行われる「なまはげ」が有名で，この地域では熱した石を豪快になべに投入する石焼料理が美味である．また，横手市では冬の「かまくら祭り」が，大曲市では「全国花火競技会」，女性に人気の「乳頭温泉」などなど……．見所，食べ所に困ることはない．



油 田



二古トンネル



位 置 図

二古トンネルは，日本海東北自動車道の岩城IC～本庄IC区間，岩城ICの南600mの地点を北側坑口とした延長1,417mのトンネル工事である．

地質は海岸線と並行に南北性の方向を有する構造の発達が顕著である新第３紀中新世後期の船川層泥岩である．トンネルには特異な変位が発生しているが，工夫を加えて慎重に施工している．

現場も，日本発のロケット打上げの志に習って，高い理想と理念そして日々の不断の努力でこの難工事を無事故・無災害で完成させる所存である．

(東急・鉄建特定建設工事共同企業体主任)

施 工

大断面双設泥水式シールドによる近接施工

—首都高速中央環状新宿線　上落合シールド—

首都高速道路公団東京建設局建設第一部池袋工事事務所工事第二課長　亀ヶ谷　　勲
首都高速道路公団東京建設局建設第一部設計第一課班長　小　西　由　人
西松建設(株)土木設計部設計課係長　村　上　初　央
西松・鉄建・アイサワSJ46(2)トンネル特定建設工事共同企業体監理技術者　宗　澤　敦　郎

1 はじめに

首都圏の高速道路ネットワークは，３本の環状方向道路と９本の放射方向道路で構成される．首都高速中央環状線は，３本の環状道路のうち，もっとも内側の道路であり，計画総延長は約47km，2004年現在の開通延長は約26kmである．

首都高速中央環状新宿線(以下，新宿線)は，中央環状線西側区間を形成し，現在建設中である．この新宿線の工事区間の一部であるSJ46工区(２)トンネル工事は，内回り線，外回り線の２本のトンネルをφ11.42mの泥水式シールド工法にて施工するものである(図-1)．

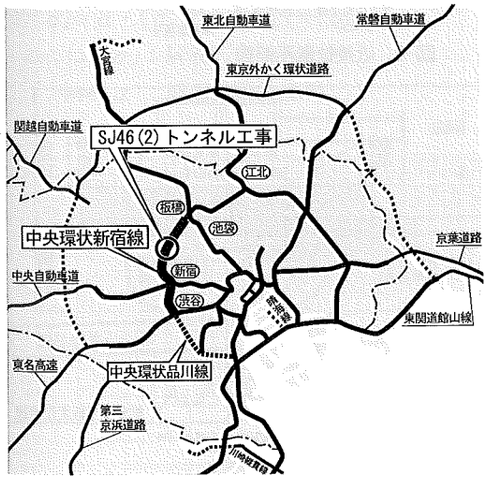


図-1　首都高速道路整備概要図

シールドは，内回り線を発進到達立坑から発進し，約570m掘進後に回転立坑に到達する．回転立坑内でシールドを回転し，外回り線を回転立坑から発進到達立坑に向けてUターン施工する(図-2)．

当該シールドトンネルは，地下鉄，NTTとう道，ガス管などの重要構造物と近接する．また，本工事と同時期に施工中である換気所の躯体下部を244mにわたり離隔約1.0mで掘進する．

本稿は，既設重要構造物との近接施工について報告するものである．

2 工事概要

工 事 名：SJ46工区(２)トンネル工事
発 注 者：首都高速道路公団
施 工 者：西松・鉄建・アイサワSJ46（２）トンネル特定建設工事共同企業体
施工場所：東京都中野区東中野三丁目・四丁目～新宿区上落合二丁目・三丁目
工　　期：平成13年８月30日～平成17年３月31日
工事内容：トンネル延長　L＝570m×２(Uターン施工)

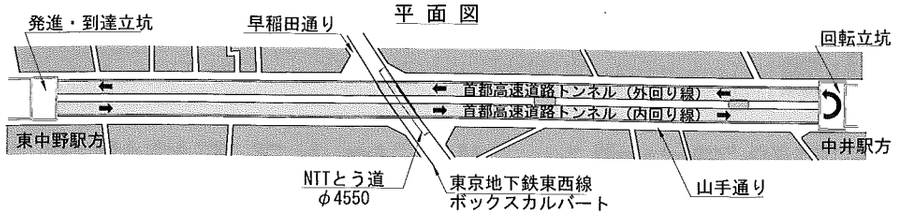


図-2 路線全体平面縦断図

シールド外径
D=11.420m
セグメント外径
D=11.220m
仕上がり内径
D=10.420m
セグメント種類
RC, ダクタイル, 鋼製

3 地 質 概 要

シールド通過断面の土質は，当該区間ではほぼ一定で，上部が東京礫層でN値30～50，スプリング位置が江戸川層(泥岩)でN値25～30，下部が江戸川層(砂)でN値50以上であり，東京礫層および江戸川層(砂)については地下水が豊富である．

4 近 接 状 況

シールドは路線中，既設東京地下鉄東西線ボックスカルバート直下を離隔約5.5mで交差する．さらに同一位置にて既設NTTシールドトンネル直上を離隔約1.0mで交差する．また，路線全線にわたり，既設都営地下鉄大江戸線シールドトンネル直上を併走する．

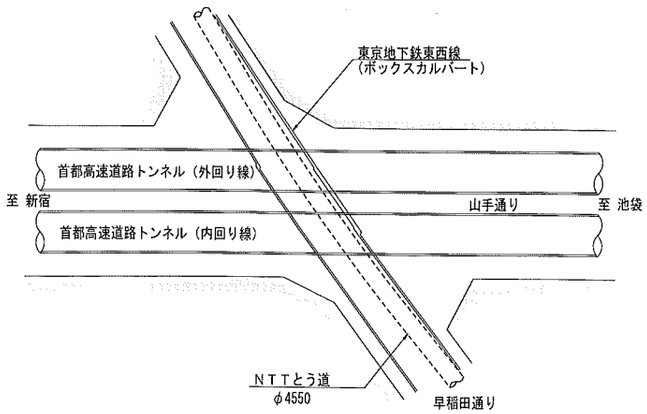


図-3 近接位置平面図

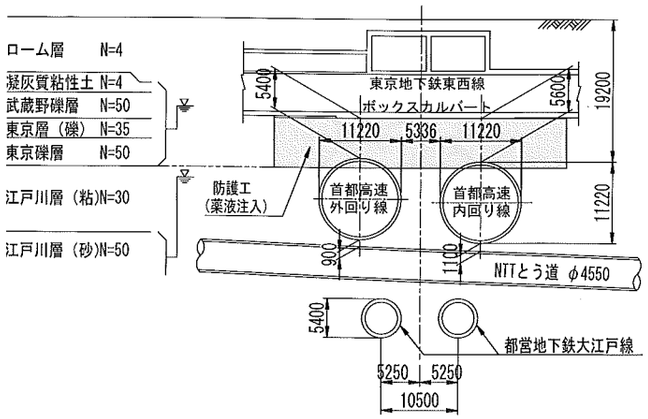


図-4 近接位置断面図

本稿では，東京地下鉄東西線およびNTTとう道との近接位置に着目し，計画および工事について報告する．

図-3, 4に近接位置付近の平面図，断面図を示す．

なお，本シールド通過位置の既設東京地下鉄東西線は駅舎であり，場所打ちRCボックスカルバート構造である．本シールド下部のNTTとう道は，鋼製セグメントに二次覆工を施したシールドトンネル構造である．同じく下部の既設地下鉄は，ダクタイルセグメントを用いた二次覆工省略のシールドトンネル構造である．

5 地下鉄およびNTTへの近接施工対策工

5-1 近接影響検討

本シールド施工に伴う地下鉄ボックスカルバートおよびNTTとう道への影響を事前に把握するため，近接影響検討を行った．

5-1-1 東京地下鉄東西線への影響検討

東京地下鉄東西線への影響検討は，2次元弾性FEM解析および地下鉄の剛性を評価した弾性床上の梁の計算にて行った．FEM解析のモデル図を図-5に示す．なお，FEM解析において，シールド掘進による解放応力は下記のように設定した．

$$\sigma_p = \alpha \cdot (\sigma_0 - \sigma_m) = 0.7 \times (\sigma_0 - \sigma_m)$$

ここに，σ_p：解放応力(kN/m²)

α ：補正係数(=0.7)

σ_0：原地中応力(kN/m²)

σ_m：泥水圧(kN/m²)

検討の結果，防護工を行わない場合，地下鉄の許容絶対変位量5㎜以上の沈下が発生することが予測された．なお，地下鉄の許容沈下量は，東京地下鉄(株)と協議のうえ設定した．

解析による予測沈下量は5.6㎜であり，防護工なしに本シールド施工を行った場合，既設地下鉄ボックスカルバートに機能上悪影響を及ぼすことが予測された．このため地下鉄への影響を低減させることを目的とした防護工を計画・実施した．

5-1-2 NTTとう道への影響検討

NTTとう道シールドセグメントの設計荷重は，ゆるみ土圧である．本シールド施工に伴い，NTTとう道に作用する荷重が変化するため，本トンネル建設後のNTTとう道セグメントの応力度照査を行った．このセグメント断面力の計算は，本トンネル建設後の荷重状態に対して慣用計算法を用いて行った．

応力度照査の結果，NTTとう道鋼製セグメントに発生する応力度は許容応力度以内に収まることを確認した．

また，2次元弾性FEM解析についても実施し，NTTとう道に許容鉛直変位量以上の隆起が生じないことを確認した．許容鉛直変位量については，NTTと協議のうえ5.0㎜とした．

以上から，NTTとう道に構造上問題となるような影響を及ぼすことはないことがわかったため，地盤改良などの防護工は行わないこととした．

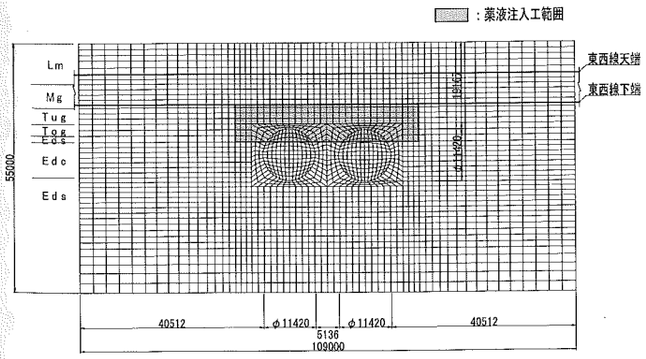


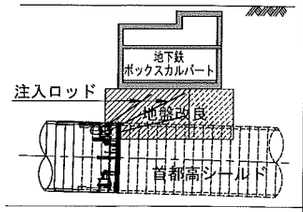
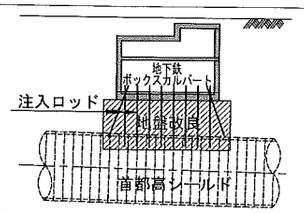
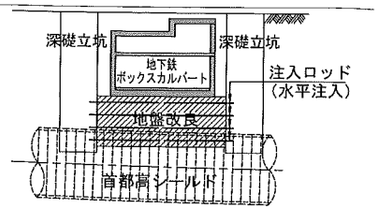
図-5 FEM解析モデル図

5-2 東京地下鉄東西線構築への対策

東京地下鉄東西線の防護工について，工法比較検討を行った結果，防護工施工時に地下鉄構築を削孔する必要がなく，地下鉄への影響を最小限に抑えることができ，かつ工期，工費に優れた水平薬液注入工法を選定した．概略の防護工比較表を表-1に示す．

水平注入は，地下鉄側部に設置した仮設深礎立坑(直径6 m，掘削深さ22.9

表-1　防護工施工法の比較表

①シールド内から地盤改良(薬液注入工法)	②地下鉄構内から地盤改良(薬液注入工法または高圧噴射撹拌工法)	③深礎から地盤改良(水平薬液注入工法)
		
機内からの注入となるため，シールドが長期間地下鉄下に停止することになり，地下鉄への悪影響が予想される．	地下鉄カルバート躯体を削孔することにより，地下鉄の強度が低下すること，地下鉄営業時間外しか作業ができないこと，③に比べてロッド削孔本数が多く工期工費に劣ることから，③に劣る．	地下鉄構内での作業がないこと，躯体削孔による地下鉄へのダメージがないこと，ロッド１本あたりの削孔長が長いため本数が少なくなり工期工費に優れることから，本工事にもっとも適する．
△	△	○

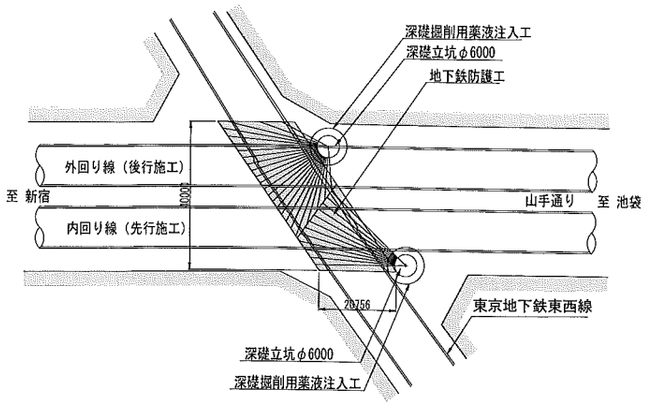


図-6　東西線防護工平面図

m)から地下鉄直下に向けて削孔した水平ボーリング孔を用いて行った．工法はダブルパッカー工法を基本とし，１ステップあたりの注入範囲を広げるために注入箇所と地山との接触面積を大きくした特殊ストレーナを採用した．これにより，注入ロッドの本数を減じ，工期・工費の低減を図った．薬材は，改良強度が大きく，比較的浸透性の高い懸濁型の材料を使用した．

図-6に，東西線防護工平面図を示す．

5-3　NTTシールドへの対策

近接影響検討の結果，NTTに構造上問題となるような影響を及ぼすことはないことがわかったが，NTTとの離隔が0.90mしかないことから，計測工を実施し，リアルタイムでとう道への影響を監視することとした．

6　地下鉄およびNTTの計測管理

6-1　計測計画

6-1-1　東京地下鉄東西線の計測計画

シールド施工に伴う地下鉄への影響をリアルタイムで監視するため，地下鉄カルバートの計測工を計画・実施した．計測項目を表-2に，計測位置図を図-7に示す．

計測は，地下鉄の上下線各々について縦断方向に10mピッチで行った．

6-1-2　NTTシールドの計測計画

NTTとう道の計測項目を表-3に，計測位置図を図-8に示す．

6-2　実施工および計測結果

6-2-1　実施工

本シールドの地下鉄下部かつNTTとう道上部の通過は，内回り線が2004年２月，外回り線が2005年１月であった．地下鉄近接位置での日進量は６～７Ring/日(セグメント幅1.5m)であり，近接施工中にシールドの閉塞などのトラブルもなく順調であった．

図-9(１)～(７)にリングごとにおけるシールド掘進スピード，ジャッキ総推力およびカッタトルクを示す．

裏込め注入は，シールドに取り付けた同時注入

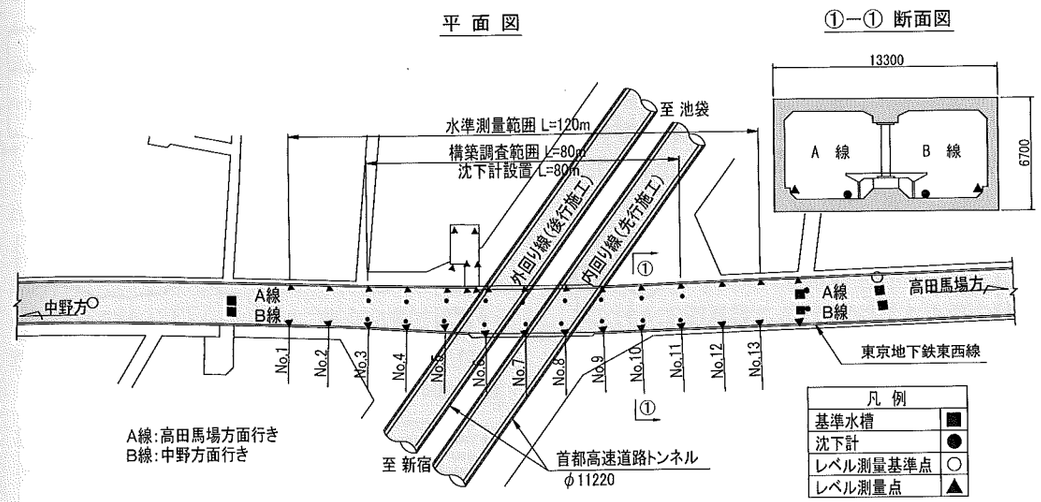


図-7　東京地下鉄東西線計測位置図

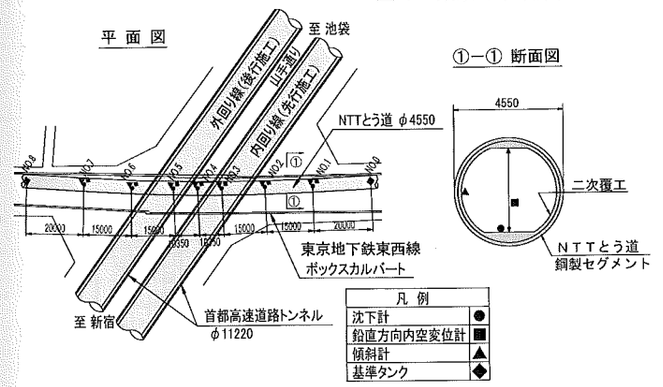


図-8　NTTとう道計測位置図

管を使用し，施工管理は，基本的に注入量管理(注入率120%)とし，同時に過大注入圧とならないよう，圧力についても監視した．

6-2-2　切羽水圧変動対策

シールド施工中に閉塞が生じた場合，泥水圧が急激に上昇する．この泥水圧の急上昇は，短期的ではあるが，既設構造物と近接した状況下では，既設構造物内への泥水の噴発やクラックの発生を伴う可能性がある．

この泥水圧の急上昇による既設構造物への影響を低減するため，以下の切羽水圧変動対策装置を装備した．

①　PV1(送泥側緊急圧抜き弁)，PV2(排泥側緊急圧抜き弁)

表-2　地下鉄計測項目一覧表

計測項目	計測方法
沈下計測	水盛式沈下計によるリアルタイム計測
沈下計測	レベル測量(終電後深夜に測量)

表-3　NTTとう道計測項目一覧表

計測項目	計測方法
沈下	水盛式沈下計
傾斜	傾斜計
鉛直方向内空変位	内空変位計(ロッドによりトンネル内径の変位を計測)

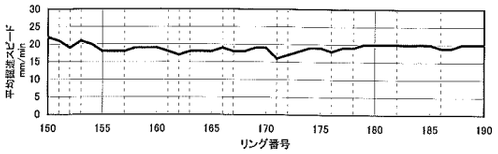
②　アキュムレータ

③　ウォーターハンマープロテクタ(機械式緊急圧抜き弁)

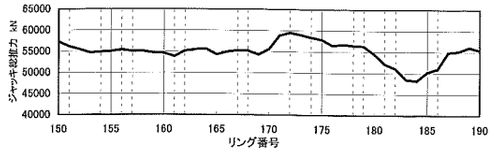
上記対策を講じた結果，シールドの閉塞時においても切羽水圧が急激に上昇することなく，泥水圧管理を行うことができた．

6-2-3　東京地下鉄東西線計測結果

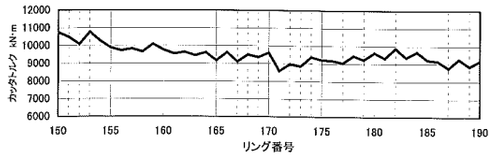
本シールド通過後における地下鉄の鉛直変位分布を図-10に示す．さらに，同図中に影響解析により得られた地下鉄予測沈下曲線を示す．また，計測点のうち，本シールド内回り線通過による影響がもっとも大きい測点A-8，B-8および外回り線の影響がもっとも大きい測点A-6，B-6について，鉛直変位量の経時変化グラフを図-11に示す．



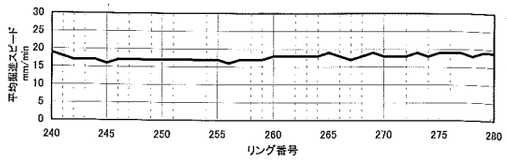
(1)掘進スピード(内回り)



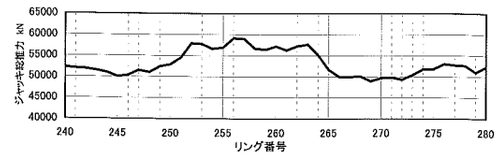
(2)シールドジャッキ総推力(内回り)



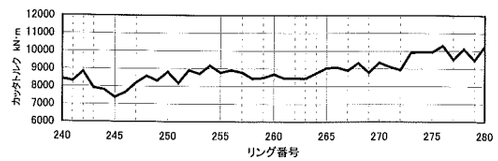
(3)シールドカッタトルク(内回り)



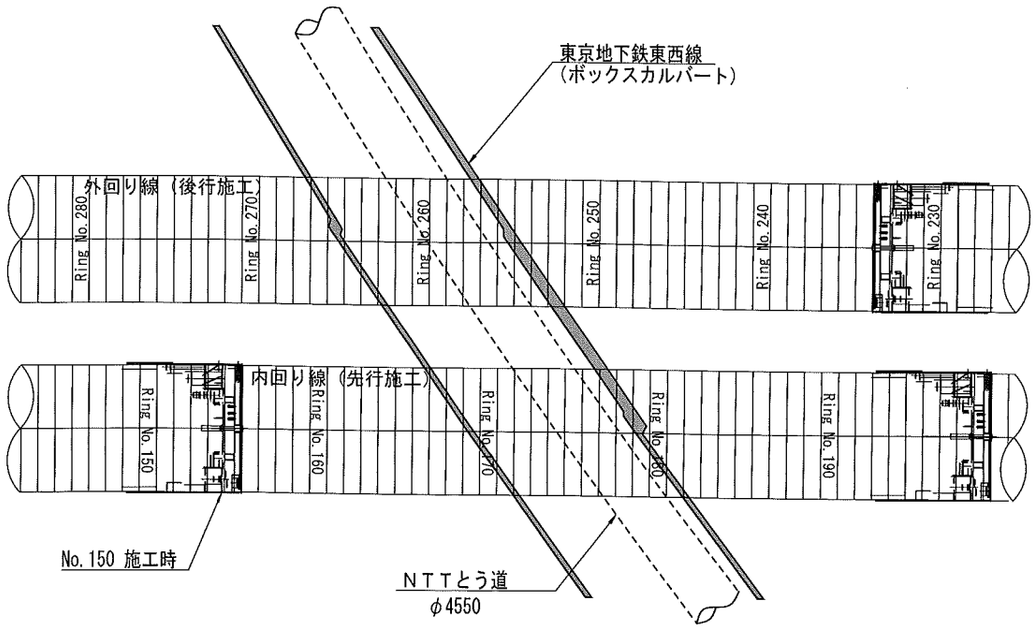
(4)推進スピード(外回り)



(5)シールドジャッキ総推力(外回り)



(6)シールドカッタトルク(外回り)



(7)セグメント番号図

図-9 近接位置部でのシールド掘進スピード，ジャッキ総推力およびカッタトルク

計測結果および考察を以下に示す．

(1) 本シールド通過後の地下鉄最大沈下量は，4.3㎜であり，地下鉄の許容変位量5㎜以内に抑えることができた．地下鉄縦断方向の沈下分布形状については，予測値と実測値で若干異なる分布となったが，最大沈下量は，事前に2次元弾性FEM解析を用いて行った影響解析による予測沈下量4.3㎜とよく合う結果であった．

(2) シールド掘進に伴う周辺地盤の沈下としては，「切羽前沈下」，「シールド通過時沈下」，「テールボイド発生沈下」，「後続沈下」がある．本施工では，図-11からわかるように，シールドのテールが地下鉄下を通過する際の沈下がもっとも大きくその後数日で沈下量が収束していることから「テールボイド沈下」が主要因であったと考えられる．また，切羽前沈下がほとんど生じていないことは，切羽圧管理，掘削土量管理が十分適切に行われたためと考える．

(3) 地下鉄と本シールドは，直交交差ではないため，シールド通過に伴い地下鉄に軸方向のねじれを伴うような沈下が生じる可能性があった．しかし，図-10からわかるように，測点「A-8とB-8」，「A-6とB-6」のように地下鉄の同一横断面にある測点ではほぼ同等の沈下となり，ねじれはほとんど生じなかった．これは，地下鉄躯体の剛性が大きかったことに加え，地下鉄防護のための地盤改良の効果が大きかったものと考える．

6-2-4 NTTとう道計測結果

シールド通過後におけるNTTとう道の計測結果を**表-4，図-12**に示す．

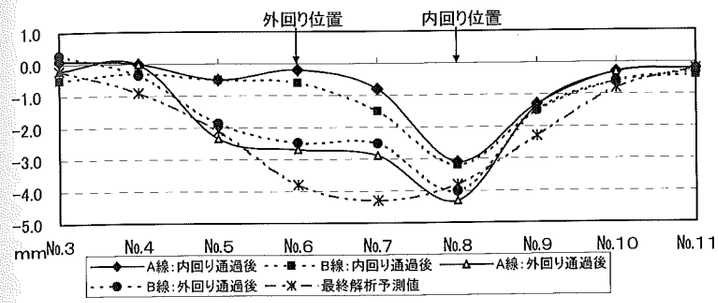
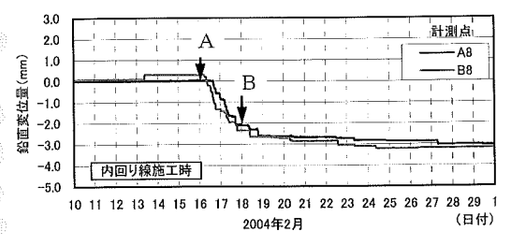
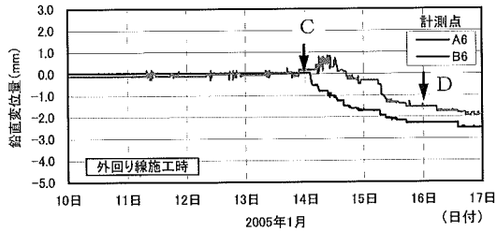


図-10 地下鉄縦断方向鉛直位置図

本シールド施工に伴い，シールドと近接する位置のNTTとう道に浮き上がりが生じた．また，浮き上がりが生じた箇所では，とう道の鉛直方向内空変位も縦方向への伸びを示していることから，本シールド掘進に伴う地山の応力解放によりNTTとう道が上方へ引っ張られてい





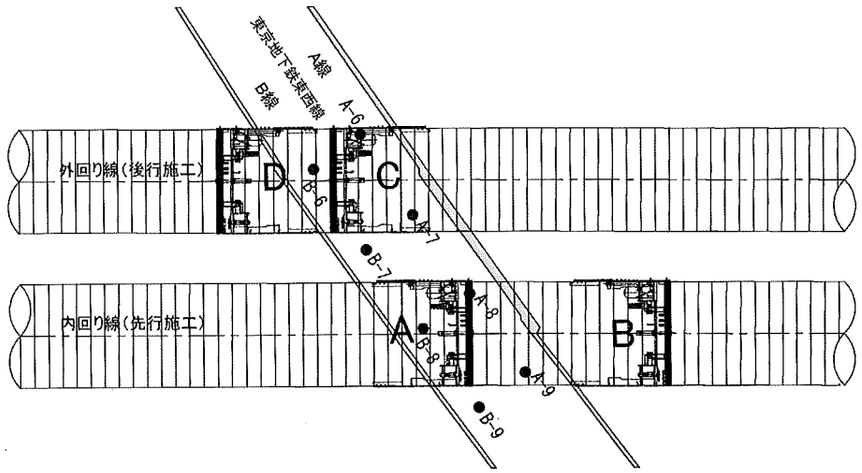
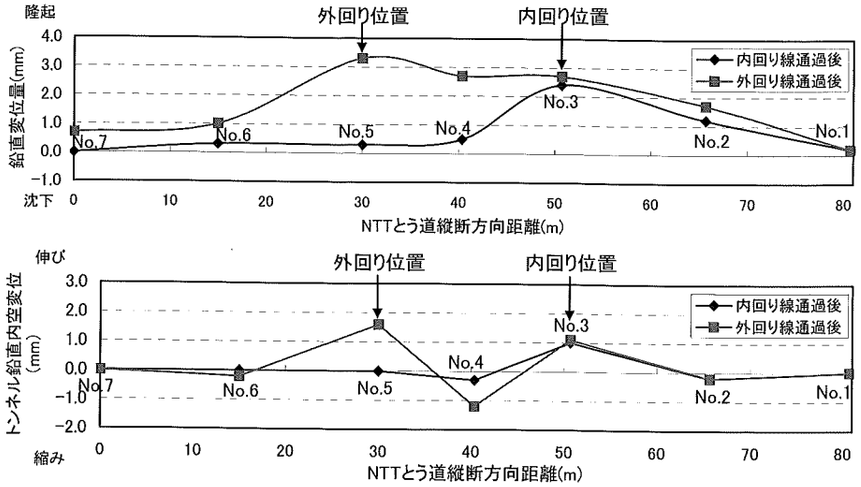


図-11 地下鉄鉛直変位経時変化



図−12 NTTとう道計測結果

表−4 NTTとう道計測結果

計 測 項 目	実測最大値	許容値
鉛直変位量(mm)	3.3 (隆起)	5.0
傾 斜 量(分)	0.9	5.0
鉛直方向内空変位量(mm)	1.6 (伸び)	2.0

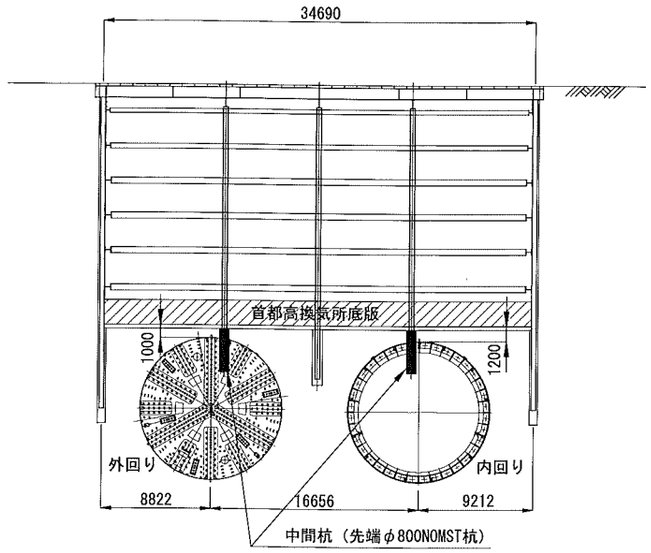
ることがわかる．計測値としては，NTTとう道の鉛直変位量，傾斜量，内空変位量ともに許容値以内に収まる結果であり，確実な施工管理ができたものと考える．

7 換気所下部のシールド施工

7−1 換気所下部でのシールド掘進概要

本シールドは，施工中の換気所(地中構造物)底版直下を内回り，外回り各244m区間にわたり離隔約１mで掘進する．シールド掘進時の換気所の施工は，底版コンクリートを打設完了し，順次側壁を構築中の状況である(図−13)．

シールド掘削断面には，換気所開削施工のための中間杭がある(図−13参照)．中間杭のうち，シールド断面に位置する部分は，φ800のNOMST構造であり，シールド通過に際しては，この中間杭を断続的に切削することとなる．シールドにて切削する中間杭は，内回り，外回り各44本，合計88本である．



図−13 換気所位置断面図

なお，中間杭に作用している換気所の路面覆工荷重および切梁座屈反力は，換気所底版にて受け替えられているため，中間杭をシールドにて切削しても，構造上の安全は確保されている．

7−2 実施工での対応

7−2−1 シールド泥水圧管理

換気所下部以外の位置(以下一般部という)と同等のシールド泥水圧(200kPa)にて換気所下部を掘進した場合，換気所底版に大きな断面力が生じることとなる．そこで，換気所下部掘進時は，換気所底版への影響を抑えるため，泥水圧を流体輸送が可能な範囲で極力下げ，かつ泥水圧により底版に作用する浮力が底版重量とほぼ同等となる泥水圧(140kPa)にて管理した．

内回り線シールドの換気所下部掘進時泥水圧実績図を図−14に示す．

なお，シールドが換気所下に進入する際には，切羽の安定を確保するため，一般部と同等の泥水圧とする必要がある．そこで換気所の一般部側30m区間は，一般部の高い泥水圧に抵抗できる底版構造を採用し，シールドはこの高泥水圧対応区間にて泥水圧を段階的に下げることとした．なお，泥水圧を下げる際には，シールドを一旦停止し，泥水圧を下げた状態にて一定時間保持し，切羽水圧が上昇しないことを確認した後，掘進を再開した．

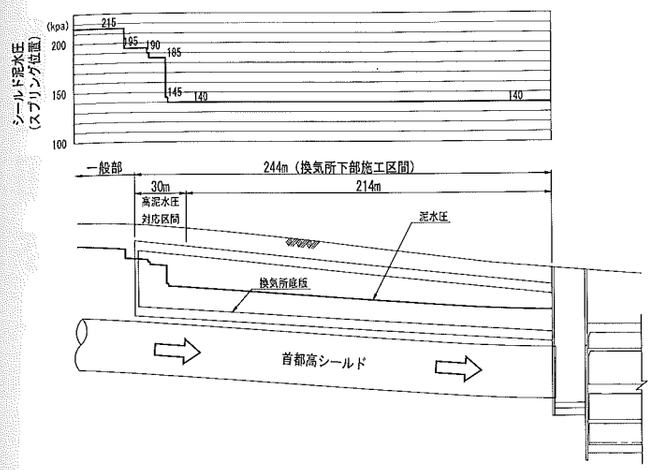
7−2−2 シールド掘進速度管理

NOMST杭切削時は，シールドの掘進速度を落とす必要がある．換気所下掘進中は，NOMST杭が約５mピッチで出現するため，事前に打設後の杭位置の測量を行って，位置を正確に把握し，杭の切削中は掘進速度を落として管理した．掘進速度は，杭と杭の間では，20㎜/分で管理したが，杭切削中は3〜5㎜/分にて掘進した．

施工前は，NOMST杭がシールドカッタ前面で大割れし，カッタスリットから取り込めなくなることが懸念されたが，慎重な掘進管理の結果，NOMST杭の大割れもなくシールド掘進を行うことができた．

7−2−3 シールド施工後の換気所への影響

シールド施工により，施工中の換気所に±1㎜程度の鉛直変位が生じたが，機能上および構造上問題となるものではなかった．



図−14 シールド泥水圧実績図

8 おわりに

一般に，シールド工事は市街地で行われることが多く，路線中には多くの地下構造物と近接しているケースが多い．

本シールドのような外径10mを超える大断面シールドでは，とりわけ周辺構造物および地盤への影響も大きいことから，十分な事前検討および慎重な施工が要求される．

本稿は，当該シールド工事のうち，東京地下鉄東西線，NTTとう道および首都高速換気所への超近接施工についての報告を行った．本稿が今後のシールド工事における近接施工工事の参考になれば幸いである．

最後に，近接工事にあたりご協力を頂いた東京地下鉄(株)，東日本電信電話(株)，エヌ・ティ・ティコミュニケーションズ(株)，エヌ・ティ・ティインフラネット(株)，東京都交通局をはじめ関係各位の方々に，この場を借りて感謝の意を表する次第である．

土木情報 No.384 今月の主な入札結果

（3月19日～5月10日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
小樽開建	国道229号泊村兜T	戸田・中山・荒井JV	269
関東地整	圏央道城山八王子T(その1)	熊谷・前田JV	6,980
〃	菖蒲川浄化導水工事	小川工業	618
四国地整	三坂第1T第2	西松・鴻池JV	2,310
〃	新松尾T	前田・さとうJV	2,300
〃	手結山第1T	大成・鉄建JV	2,350
〃	手結山第2T	大日本	1,730
北陸地整	国道291号山古志T 1	大林組	750
〃	〃 2	熊谷組	790
近畿地整	排水T 1号拡幅補強 2	大旺建設	290
九州地整	福岡202号外環状共同溝第二工区Aシールド立坑	新井組	450
道公・北陸	上信越道さみずT	三井住友・株木JV	2,700
道公・東京	北関東自動車道唐沢T	鹿島・五洋・飛島JV	6,930
首都公	SJ22工区(1-2)富ヶ谷出入口T(その2)	三井住友・JFE工建・若築JV	1,890
〃	SJ23工区(1)新宿南出入口T(その2)	前田・本間・株木JV	2,390
〃	〃 (2)新宿南出入口T(その2)	ハザマ・東鉄・大木JV	2,640
〃	SJ52工区(3-2)池袋南出入口T(その2)	清水・みらい・地崎JV	2,920
埼玉県	大久保浄水場原水・返送管築造	大成・五洋・ニッ和給合建設共同組合・小川工業・関口工業JV	4,150
〃	〃 導水管布設	鹿島・ユーデイケー・島田建設工業・織田興業JV	1,650
都・財務局	神田川・環状7号線地下調節池善福寺川取水施設	新井組・京王JV	922
都・下水道局	江東区東雲2付近再構築その2	大豊建設	558
〃	墨田区両国2，横綱1付近再構築その3	八幡建設	323.23
都・水道局	蒲田5～蒲田4地先間配水本管	大豊建設	181
〃	上高田1～東中野4地先間配水本管	東鉄工業	220.4
〃	西六郷3～仲六郷4地先間配水本管	京急建設	215
〃	南水元4配水本管敷設替	大蔵工業	247.2
〃	八王子市堀之内3～多摩市中沢1地先間配水本管	朝倉組	266
〃	大田区南蒲田1～萩中2地先間配水管	JFEエンジニアリング	602.44
札幌市	3・4・160藤野通藤野T	新太平洋・勇・山田組・道興加茂・一二三坂井JV	375
横浜市	南部処理区滝頭地区下水道再整備(その8)	弘栄土木	120.6
〃	中部処理区山下地区下水道再整備(その7)	岳南建興	93.9
〃	北部処理区関内 地区下水道再整備(その10)	保土ケ谷工業	161
〃	〃 潮田地区下水道再整備(その11)	浅井建設	163.27
川崎市	川崎駅西口雨水貯留施設建設その1	鹿島・佐藤・藤智JV	728
大阪市	昭和～阪南幹線管渠	国土開・コーセンJV	386
福岡市	山王雨水調整池1号流入管(2)下水道築造	松尾土木	257
長崎市	中部シシトキ排水区雨水渠	東亜・須田JV	226.8
東京地下鉄	赤坂見附出入口新設ほか土木	鹿島・清水・錢高JV	3,180

施工

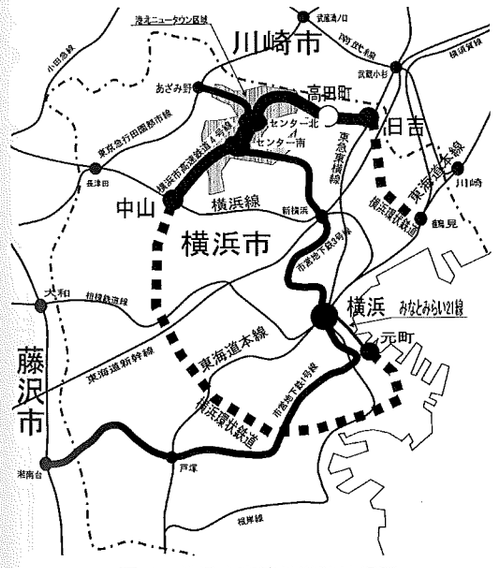
直上にφ3,250雨水幹線をかかえながら開削駅を施工

—横浜市高速鉄道4号線　高田町駅工区—

横浜市交通局工事事務所長　伊佐見　孝　夫
(株)熊谷組首都圏支店地下鉄高田町作業所長　遠　嶽　信　幸
(株)熊谷組首都圏支店地下鉄高田町作業所課長　原　岡　　充

1　はじめに

横浜市は放射環状形の鉄道網の形成による市域の一体強化と都心，副都心の強化育成を図るとともに，交通不便地域の解消などを図るため，横浜環状鉄道構想の一翼を担う路線の一部として，平成13年1月よりJR横浜線中山駅から東急東横線日吉駅に至る横浜市高速鉄道4号線（延長13.1km，10駅）の工事に着手している．


川崎市
高田町
日吉
中山
横浜線
横浜市
横浜
みなとみらい21線
元町
藤沢市
東海道本線
東海道新幹線
相鉄線
東横線
東急東横線
東急目黒線
東急田園都市線
東急多摩川線
東急池上線
東急大井町線
東急世田谷線
横浜高速鉄道
横浜市営地下鉄1号線
横浜市営地下鉄3号線
横浜市営地下鉄4号線
JR東海道本線
JR横浜線
JR京浜東北線
JR南武線
JR鶴見線
京浜急行電鉄
京急本線
京急空港線
京急逗子線
京急久里浜線
京急大師線
京急電鉄
京成電鉄
京成本線
京成小岩
京成押上線
京成金町線
京成成田空港線
京成千葉線
京成千葉線
京成千葉

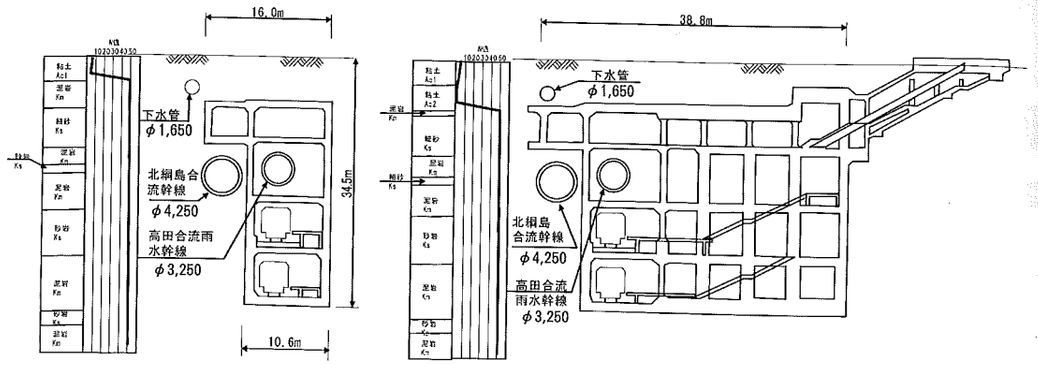


図-2　一般断面図および連絡階段部断面図

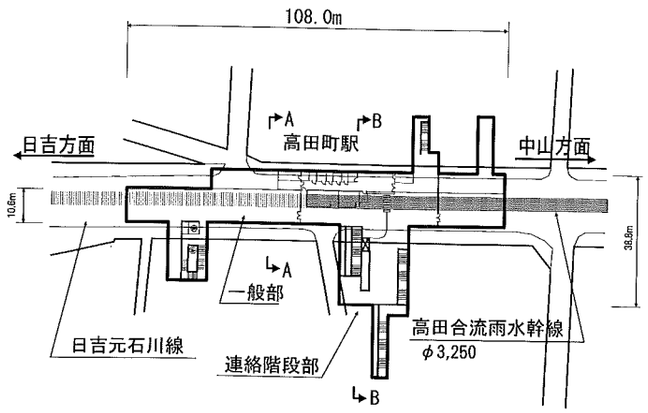


図-3　高田町駅工区平面図

3　地形・地質概要

付近は，早渕川沿いの旧来からの工場・商店・住宅地が混在する複合市街地であり，交差点に近いことから各種地下埋設物が集中している．

地質構成は，地表から1m程度までは埋土，その下GL－2～－10m程度までがN値0～10のシルト，以深はN値が50を超える前期更新世上総層群に属す泥岩層で，泥岩(Km)と細砂(Ks)の互層となっている．

また，地下水位はGL－1mと高く，地下水量は豊富である．

4　透かし掘り工法

4-1　概　要

電気・ガス・上下水道などの地下埋設物が輻輳する幹線道路下に駅舎などを建設する工事では，地下埋設物の切り回しや防護工が必要となり，切り回しが困難な場合は，土留めの窓明き部の発生が避けられず，この処置に要する工期・コストへの影響は大きい．

透かし掘り工法は，透かし掘り掘削機を用いてこれら地下埋設物の直下にRC地下連続壁や仮土留め壁を安全確実に構築できる．

本工事で実施した透かし掘り工法の施工箇所を**図-4**に示す．計3か所のうち，本稿では始点部，終点部の高田合流雨水幹線直下で実施した透かし掘り工法について述べる．

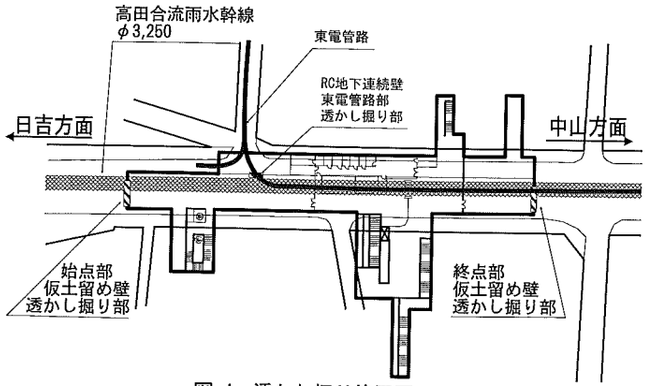


図-4　透かし掘り位置図

4-2　掘　削

透かし掘り掘削機(**写真-1**)の仕様を**表-1**に示す．

透かし掘り掘削機は，本体とオーガー部およびそれらを懸架するクローラクレーンからなる．オーガーと本体はピンで結合されており，オーガーは油圧により90度の角度まで折り曲げ可能である(**写真-2**)．



写真-1　透かし掘り掘削機全景

表-1　透かし掘り掘削機仕様

機　　種	8015型
カッタ形状	ツインカッタ
トルク(kN・m)	54.92
回転数(rpm)	5.9
壁　　厚(mm)	800～1,500
掘削深度(m)	50
掘削長さ(m)	4
自　　重(ton)	14
使用電力(kW)	60
ベースマシン	50tonクレーン以上



写真-2　透かし掘り掘削機オーガ部折り曲げ状況

掘削はまず合流雨水幹線脇に水平多軸式トレンチカッタにより先行掘削する．その溝壁に精度確保のためのガイドを取り付ける(**図-5①，②**)．透かし掘り掘削機をガイドに沿わせて溝底まで下ろし，掘削しながらオーガーを90度に折り曲げる．この状態で合流雨水幹線下まで掘削機を引き上げながら所定深度まで掘削する(図-5③)．

透かし掘り掘削機は排泥の設備を持たないので掘削ずりの搬出には水平多軸工法用掘削機を用いる(図-5④)．

合流雨水幹線下部の掘削完了後，H形鋼芯材を建て込むために残りの壁部を掘削する(図-5⑤，⑥)．

掘削の精度は超音波測定器で確認する．

4-3　鋼材建て込み

掘削後H形鋼芯材を建て込む．芯材はL形アングルの斜材により枠組み固定され，高田合流雨水幹線下部に潜り込む部分を含めてL字形に組み立てる．鉛直に吊れるように治具を取り付けて重心位置を調整したうえで坑内に吊り下ろす．溝底まで下ろしたあと水平移動させ高田合流雨水幹線下部の所定位置に建て込む(図-5⑦)．

4-4　流動化処理土の打設

H形鋼芯材建て込み後，トレミー管により流動化処理土を打設する(図-5⑨)．流動化処理土は，市場のプラントにおいて製造したものを使用する．

4-5　施工精度

施工精度の基準は，鉛直精度の1/600以内または±50m以内とした．本線掘削のときに露出した芯材(**写真-3**)の平面位置を確認したところ，始点部，終点部とも最深部の壁の平面位置で設計値に対し±20mm程度(1/1,725)の誤差に収まっていた．

4-6　技術的課題

透かし掘り工法は埋設物が輻輳する都市部で採用され，多くの制約の中での施工となることが多い．このため溝内でトラブルが発生するとその復旧に時間を要し，工程に悪影響を与える．本工事

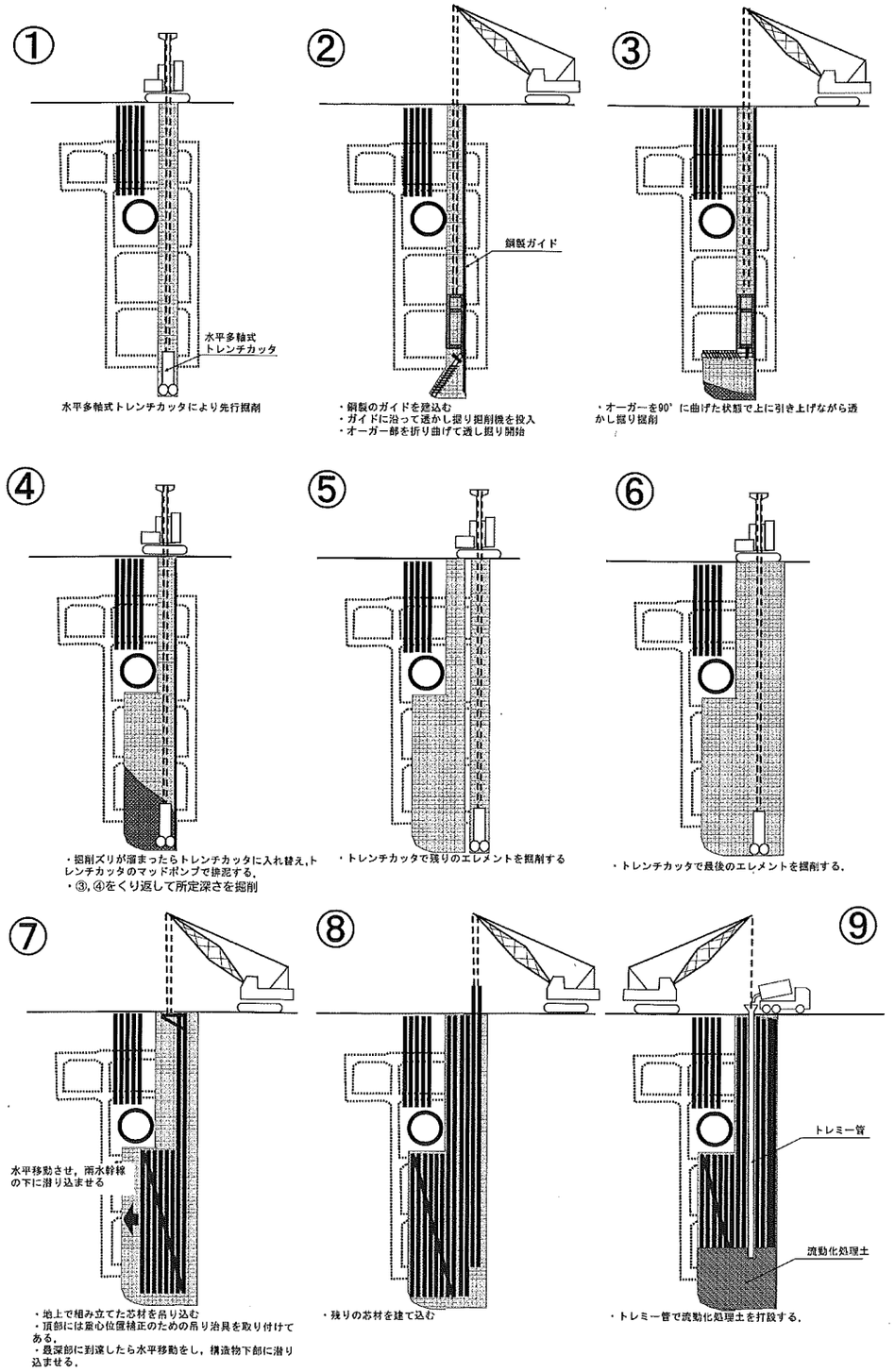


図-5　透かし掘り連続工施工フロー図

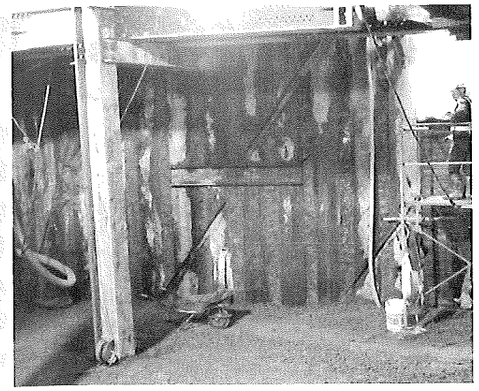


写真-3　始点部で露出した芯材(最深部GL－34.5m)

中においても，オーガーが折れるなどトラブルが発生し，その復旧に数日を要した．オーガーの機械的強度の向上が望まれる．

5　高田合流雨水幹線φ3,250防護工

5-1　概　要

高田合流雨水幹線φ3,250は駅舎のほぼ中央に位置し(図-2参照)，切り回しが不可能であるため工事期間中は受け防護を実施する．躯体築造には駅舎全線にわたり躯体B２F内部へ抱き込む設計となっている．始点，終点方各々10mは流動化処理土で充填し，残る86.4m間は軽量コンクリートで充填する．

本稿では工事期間中の仮吊り防護とその後の受け防護について述べる．

5-2　高田合流雨水幹線φ3,250について

高田合流雨水幹線φ3,250は，昭和58年９月に北綱島合流幹線に沿って高田ポンプ場と綱島西６丁目の間に設けられた．

北綱島合流幹線に雨水が流れ込み，下水処理場への流入量が多くなりすぎるのを調整する役割を持ち，綱島西６丁目の分水人坑において北綱島合流幹線を越流分流させ，高田合流雨水幹線に流し高田ポンプ場を介して早渕川に放流するものである．

高田合流雨水幹線はSCセグメントにコンクリートによる二次巻きを施している．図-6にセグメントの断面を示す．

セグメントは，セグメント外径φ4,050㎜セグメント長900㎜で，A型３枚，B型２枚，K型１枚

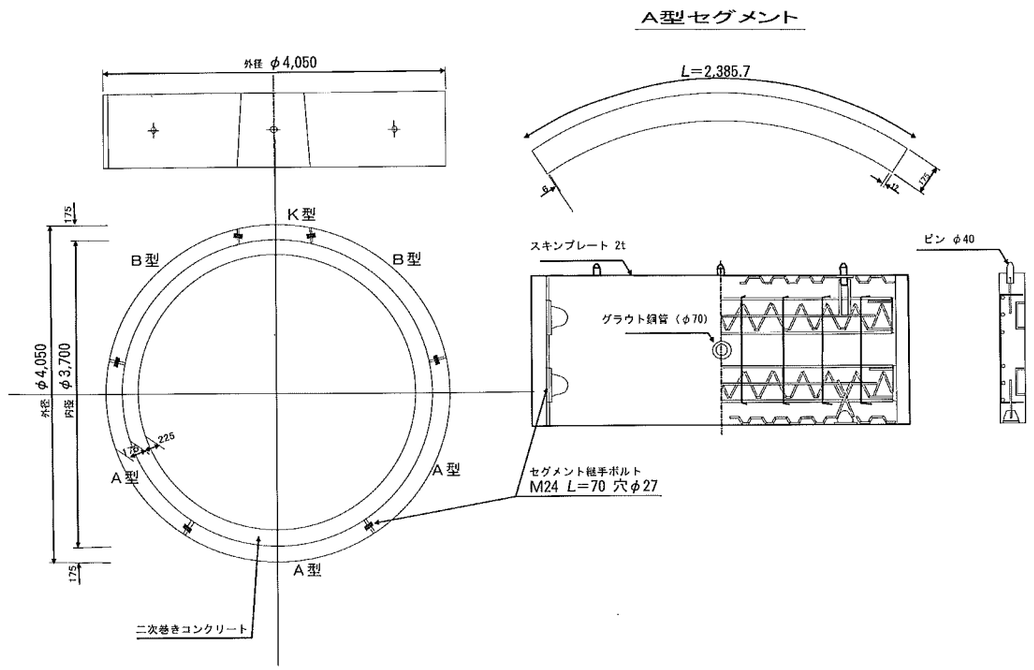


図-6　高田合流雨水幹線セグメント構造図

をM24のボルトで締結する．軸方向のセグメント間には止水ゴムが入り，セグメント同士はピンで固定されている．セグメントによる覆工完了後，二次巻きコンクリート(厚さ225㎜)をセントルを用いて打設している．

5-3　掘削時の影響

掘削の進捗に伴う上載荷重の除去により，地山がリバウンド現象を起こし，結果として高田合流雨水幹線に影響を与えることが予想される．その影響を事前に把握し，対策を検討することを目的として解析を行った．解析の結果によれば，次のような事象が発生すると考えられた．

① 地山のリバウンドにより鉛直上方に最大７㎜変位する．

② セグメントがむき出しになることにより，リング頂部に引張応力が生じる．

①については，１次管理値10㎜(後述)以内に収まるので問題はないと考えられた．②については，セグメントリングを固定するM24ボルトが破断する可能性があるため，鋼製吊りバンドで締め付けるなどの方法により，リング軸方向に軸力を与える必要がある．

5-4　防護工

防護工は最終的に躯体に抱き込むため受け防護とするが，施工の段階においては一時的に吊り防護の状態が生じ，合流雨水幹線を掘り出し受け桁を設置後保護コンクリートを打設し，受け防護を完了する．

5-4-1　吊り防護工

解析によると，シールド周囲の土圧が開放された状態では，セグメント頂部に引張応力が生じることが懸念された．この状態で吊り防護を実施すればセグメントリングが変形し合流雨水幹線の共用に支障をきたす恐れがある．このため，当初は平鋼をセグメント1リングごとに巻き付けそれを吊る計画としていた．しかし，施工性や工程確保などの問題を考え上記工法を再検討し，詳細な応力計算の結果にもとづき平鋼に変えてφ24㎜のワイヤーで吊り防護することとした．

このワイヤーをセグメント外周に１周半させることにより，セグメントのリング方向に軸力が生じるようにしている．**図-7**に吊り防護工の断面図と吊り具の詳細を示す．**写真-4**に吊り具とワイヤー巻きつけ状況を示す．

吊り防護の施工にあたり掘削は片押しとし，高田合流雨水幹線下部を２リング分掘削した後に１リングを吊ることとした．

ワイヤーの緊張は，吊り治具下部に取り付けたセンターホールジャッキ(**写真-5**)によって行う．載荷は，満水時の１リングあたりの重量を２本の吊りロッドで受け持つときの荷重87.7kN/本を下回らないように，かつセグメントリングの変位が

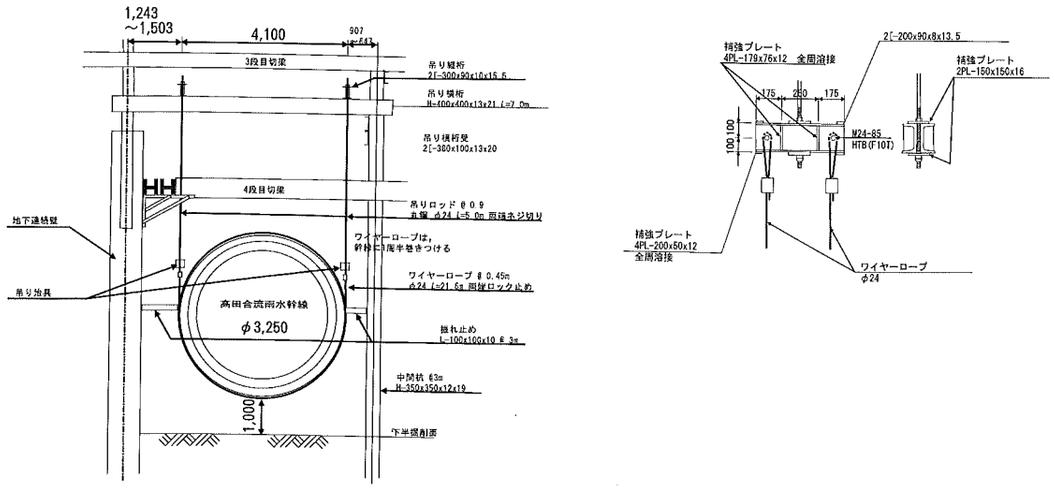


図-7　吊り防護工の断面図と吊り治具の詳細

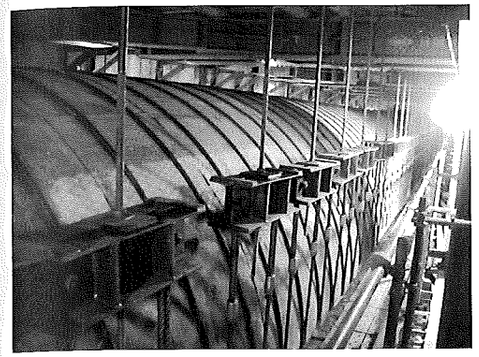


写真-4　吊り具とワイヤー巻き付け状況

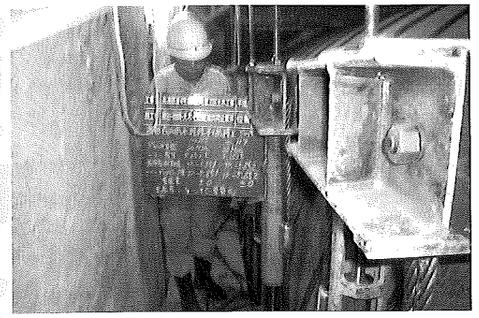


写真-5　センターホールジャッキによるワイヤー緊張状況

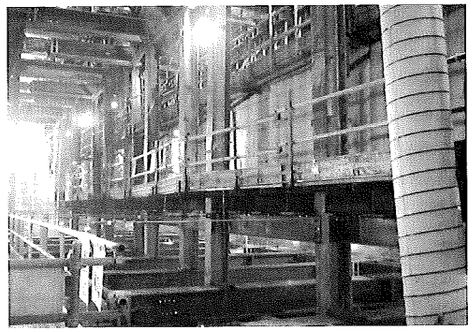


写真-6　受け防護完了

±２㎜以内に収まるように管理した．

5-4-2　受け防護工

吊り防護完了後，受け防護工を実施した．**図-8**に受け防護工の断面図を示す．H形鋼で受けた後，半周をコンクリートで防護する．

写真-6に受け防護工完了後の状況を示す．

5-5　計測管理

躯体への抱き込みが完了するまでの間高田合流雨水幹線の変位を監視するため，トータルステーションによる変位測定を実施している．計11か所のセグメント頂点にプリズムを設置し，全自動で変位を測定している．**図-9**に計測中のコンピューターの画面を示す．

管理値は，影響解析結果および(社)日本トンネル技術協会が定めた近接施工における下水道の管理値を参考に**表-2**のとおり定めた．

現在までのところ，最大水平変位4.2㎜，最大鉛直変位8.0㎜であり管理値内に収まっていて，合流雨水幹線本体に影響するような変動は認められない．

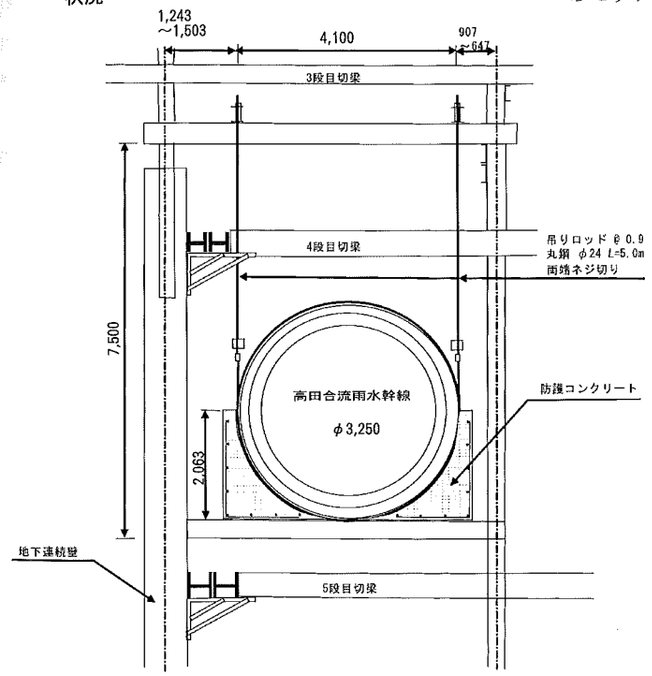


図-8　受け防護工の断面

6　おわりに

平成15年10月下旬に始まった駅部始・終点部の透かし掘り工法による土留め壁工も平成15年12月上旬に無事完了し，現在は一般部の掘削も完了し，躯体コンクリート工を施工しているところである．

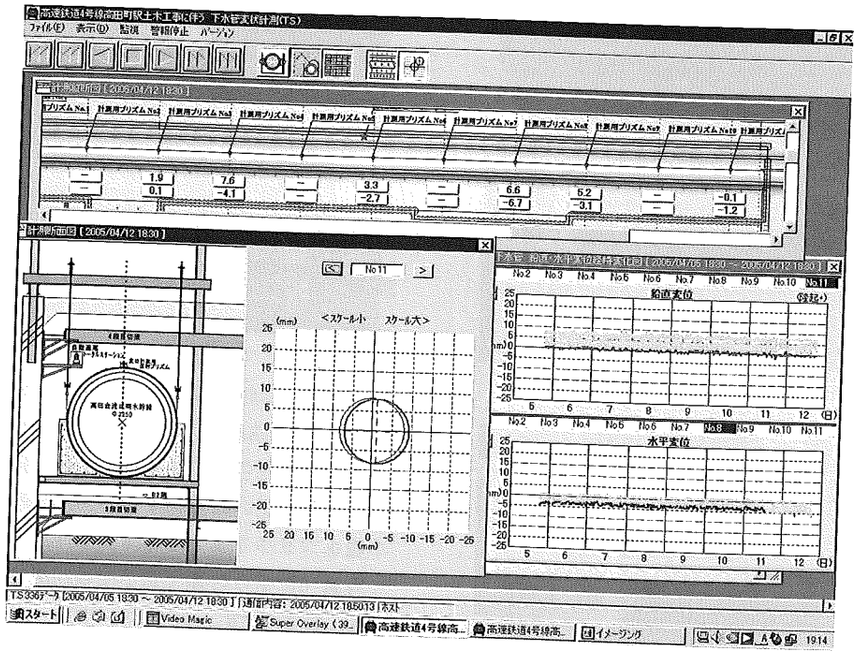


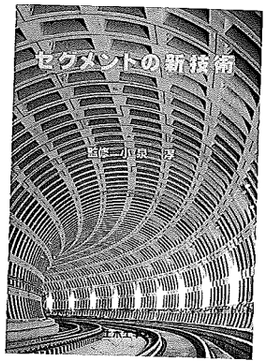
図-9　変位測定用コンピューターの画面

表-2　管理値

1次管理	10㎜
2次管理	15㎜

掘削が完了して初めて透かし掘り工法による地下連続壁の施工精度を確認することができた．最深部の壁の平面位置で品質管理基準の鉛直制度1/600または±50㎜に対し±20㎜程度(1/1,725)と精度よく収まっており，止水性も良好である．

一方，平成16年10月に始まった高田合流雨水幹線防護工も3か月後の平成17年1月には受け防護を完了した．今後も構築が完成し，躯体への抱き込みが終了するまで入念な計測管理を行いながら，慎重に工事を進めていく所存である．この透かし掘り工法と合流雨水幹線の防護工が同種工事の施工計画立案に参考になれば幸いである．



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　税込価格 2,100円　〒290円

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

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

計　画

市街地狭隘道路下でシールド切替型推進工法を採用

—東京都下水道　谷川雨水幹線—

東京都下水道局南部建設事務所長　髙　相　恒　人
東京都下水道局南部建設事務所設計課長　松　井　邦　恭
環境エンジニアリング(株)水ソリューション事業本部副本部長　山　本　一　郎

1　はじめに

東京都区部の下水道は，平成6年度末に100%普及概成を果たしたが，これは下水道の役割の一つである汚水の処理という事業を達成したに過ぎない．とくに，近年の急激な都市化による雨水流出量の増大は，集中豪雨や台風などにより各地に被害が頻発しており，分流地区の雨水管の整備や合流地区の雨水整備の拡充が急がれている．その他，戦前に敷設され耐用年数が経過した老朽化施設の再構築や，公共用水域の水質向上のための合流式下水道の改善，地球温暖化対策など，残された課題は山積みし，現在これらを重点事業として鋭意事業に取り組んでいる．

しかし，東京都の市街地では，管渠を敷設する道路には各種地下埋設物，地下構造物が輻輳しているほか，路面交通への影響や周辺住民への環境対策など，多くの制約条件があり，事業の推進に大きな影響を与えている．

加えて，道路は拡幅が進まず，狭隘なままで生活道路となっている。

本稿では，このような制約条件を克服すべく，市街地の狭隘かつ複合した曲線道路において，非開削工法による管渠構築を効果的に行う工法の紹介をするものである．

2　経　緯

今回紹介する「谷川(やがわ)雨水幹線」は，多摩川分流雨水整備区域の西北部に位置する谷川排水区約420haの雨水を収容する幹線として計画された(図-1)．

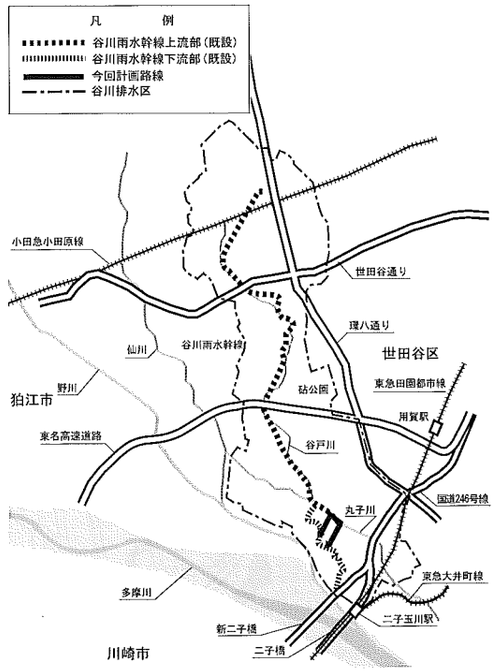


図-1　谷川雨水幹線流域図

谷川排水区を含む多摩川上流部では，戦後の高度経済成長による急激な都市化が進み，汚水量の増大とともに多摩川の水質汚濁は社会問題となった．このため，水質汚濁防止と水質改善の緊急性から昭和40年代半ばより，分流式を採用し，汚水管を先行させて整備を進めてきた．このようなことから雨水管の整備は，放流先の河川改修が進まず整備が遅れていることと相まって，未だ整備率は23%程度しか進んでいない．

本流域の地区は，おおむね丸子川を境に高段地区(以下，上流部)，低段地区(以下，下流部)に分けられる．上流部の河川沿いの広範囲と下流部の一部に浸水被害が発生しており，とくに上流部は排水しにくい平坦な地形と流域の雨水を収集し丸子川に注ぐ谷戸川の流下能力不足により，たびたび浸水被害が発生した．このため，地域住民からの浸水防除対策の強い要望が出され，早急な対策が求められてきている．

「谷川雨水幹線」の事業は，昭和49年度より始まり，幹線下流部は既存の河川を矩形渠に置換えたもので，平成４年度に完成している．幹線上流部は，シールド工法による管渠の構築を行い，平成８年度に立坑の設置工事に着手し，平成16年度に完了予定である．

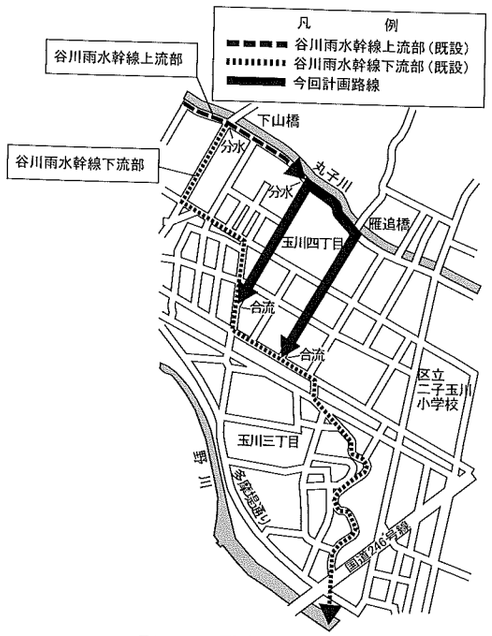


図-2　計画路線案内図

しかし，当幹線工事着手時から，土地の高度化による利用形態の変化に伴って雨水流出量が増大したため，河川改修による幹線下流部は流下能力不足となった．このため，昭和56年度に，今回施工する幹線が既設幹線を補完するよう，計画変更された．

具体的には，上流部の流入量に対し，上・下流部接続地点(下山橋付近，世田谷区瀬田四丁目７番)にて，既存幹線下流部の流下能力に相当する流量を分水・流入し，残りを更に下流部(世田谷区瀬田四丁目６番)にて等分に分水し，後に合流する計画である(図-2)．

3　計画の概要

今回計画したのは，幹線上流部(シールド区間)の流量を分水し，幹線下流部の流下能力不足分を補う増補幹線の施工である．当該地域において，不足となる流量分の管渠(φ2,600㎜相当)を設置できる道路がなく，やむなく２つの路線に分けている．

このため，一つの路線は，ほぼ直線の平面線形で，もう一つの路線は屈曲部を有する線形となった．本稿で紹介する工法は，この増補幹線の一部で，屈曲部を有する路線(以下，本路線)に適用したものである．

また，起点と終点は，既設幹線上・下流部への接続箇所にあたるが，推進工法やシールド工法の立坑はもとより，人孔を設置できるスペースの確保さえ困難であるため，路線の途中に人孔(発進立坑)を計画し，各既設幹線へ直接接続することとした．

本路線の諸元は以下のとおりである．

管　径：φ1,800㎜
勾　配：－1.0‰
延　長：約290.0m

3-1　地質概要

本路線は，武蔵野台地面に沿った多摩川低地に位置しており，表層より埋土層(F)，沖積粘性土

層(Ac)，沖積砂礫層(Ag)，立川ローム：ローム層(Lm)，上総層群の土丹層(Kz-m)が分布している(図-3)．

本路線の掘削対象土層は，上総層群の土丹層(Kz-m)で，N値50以上(測定N値80～250：平均値135)の強固な砂質泥岩層である．

地下水位は，GL－1.50～2.50m程度である．

3-2　路線の概要

本路線の計画・施工において，とくに留意した点は，以下のとおりである．

3-2-1　狭隘で複合曲線の道路

発進立坑から丸子川までの約160mは，ほぼ直線の線形となるが，道路幅員が一定でなく，3.1mから5.3mまで幅員が変わるため，占用位置の変更と緩やかな曲線線形が必要となる．そして，丸子川沿いの道路に出る交差点付近は，幅員が3.1mと非常に狭くなっている(図-4)．

丸子川に沿った道路は，6.0～6.7mの道路幅員があるものの，丸子川の河川形状に伴った半径20～30m程度の複合するS字の曲線線形をなしている．

3-2-2　市街地(閑静な住宅地)での施工

東急田園都市線の二子玉川地区は，住宅地としての人気が非常に高く，本路線はその中でも，と

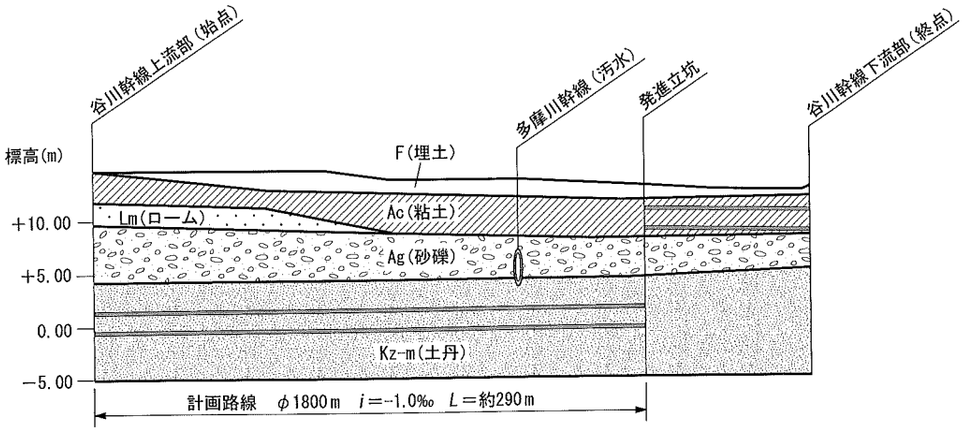


図-3　計画路線地質縦断図

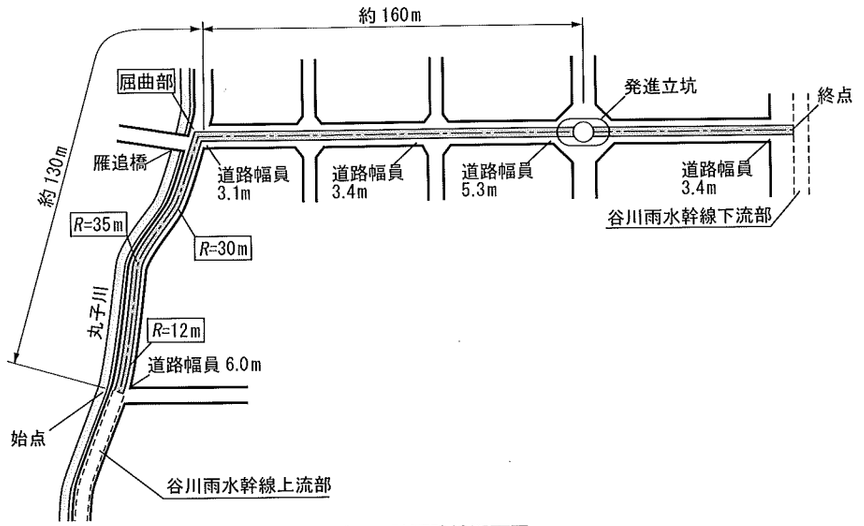


図-4　計画路線平面図

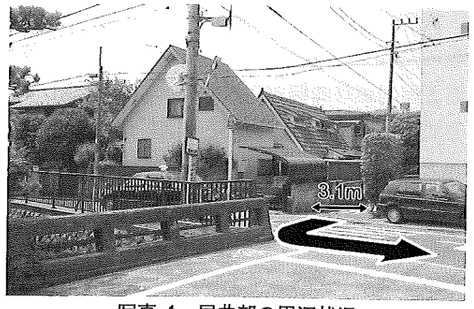


写真-1　屈曲部の周辺状況

りわけ閑静な住宅地の道路に管渠を構築することになる．

そのため，工事による周辺環境への影響は，極力少なくすることが求められ，とくに，立坑の設置工事においては，振動・騒音や交通阻害を最小限にする必要がある．

3-2-3　屈曲部の施工

本路線において，**図-4**のとおり，丸子川の雁追橋付近の交差点部は，屈曲した線形となる．通常の場合であれば，到達・再発進立坑や回転立坑の設置を計画するところであるが，当箇所は変則な交差点形状と，丸子川を伏越する既設下水管をはじめ水道，ガスなどの埋設物が輻輳しているなど，地下空間の制約から立坑の設置は困難である．

また，丸子川沿いの道路は，その曲線形状のために車両・歩行者の通行に対して，工事の施工上かなりの注意を要する箇所となっており，わずかな障害も交通渋滞の原因となることが想定される．

とくに，当交差点には信号機がなく，「国道246号線」と「世田谷通り」への抜け道となっていることから，終日交通量は非常に多く，周辺の道路状況から迂回路の確保もできないため，当箇所への立坑設置の施工はもとより，路上作業さえも非常に困難をきわめる状況が想定される．

屈曲部の周辺状況を**写真-1**に示す．

4　施工方法の検討

4-1　推進工法による検討

当初，本路線の管径，延長から推進工法による管渠築造の検討を行ったが，以下のような理由により他の工法を検討するに至った．

- 屈曲部に到達・再発進立坑，回転立坑の設置は困難である．
- これまでの推進工法の超急曲線施工の実績（ϕ1,800㎜では曲線半径15m）においても路線が民地を侵してしまう．
- 仮に超急曲線推進を行うとしても，管材は1/8管の高強度の管が必要となり，屈曲後の距離を考慮すると経済性，施工性において非効率となる．
- 屈曲部以降到達までの区間は，曲線半径30m程度の急曲線が複合したS字をなしており，このような線形における推進工法での実績は乏しく，施工の確実性と安全性が確保できない．

4-2　シールド工法による検討

次にシールド工法による検討を行ったが，超急曲線線形（曲線半径10～12m）の施工は可能であり，施工実績も十分であった．

しかし，路線延長が300mにも満たないため，機械損料および設備費が割高となり，コスト面の課題が非常に大きい結果となった．さらに，発進基地の候補地が道路上しかなく，確保可能な用地面積も160m^{2}程度であった．これらの点からも，シールド工法の採用には大きな課題があった．

4-3　推進工法とシールド工法の併用の検討

以上のことから，管渠の構築方法として採用できるのはシールド工法のみとなるが，コストと発進基地用地の確保が大きな課題となった．

このため，発進立坑から屈曲部までの直線区間は推進工法を用い，それ以降の急曲線が複合する区間はシールド工法にて管渠を構築する工法の検討を行った．掘進設備は，推進工法を利用することで発進基地用地の解決を図った．**図-5**に本工法の概要図を示す．

推進工法とシールド工法との２つの工法の併用において，検討時の課題は以下のようなものがあった．

① 管渠材料（推進管，セグメント）の選定
② 推進工法とシールド工法の切替え方法
③ 掘進機の機能，装備

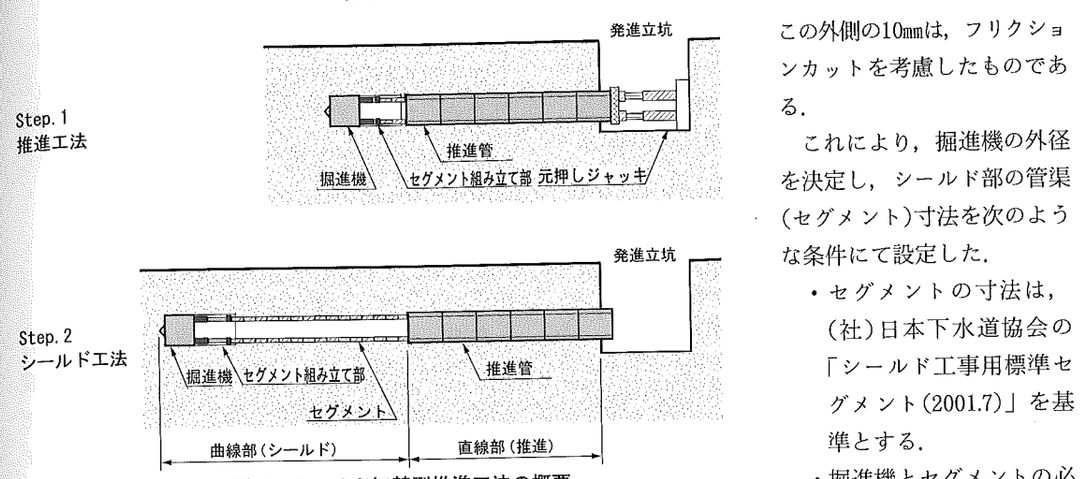


図-5　シールド切替型推進工法の概要

④ 二次覆工方法

これらの課題について，検討結果を以降，記述する．

5　シールド切替型推進工法の検討

5-1　管渠材料（推進管，セグメント）の選定

本工法は，推進工法とシールド工法を併用するため，２つの管材が必要となる．管材の材料・寸法の決定にあたっては，基本事項を以下のように設定した．

- 各管材の内径は同じとする．
- （社）日本下水道協会の「下水道推進工法用鉄筋コンクリート管（JSWAS A-2 1999）」（以下，推進管）の寸法（外径，管厚）を基準とする．
- 掘進機は標準的な推進工法の掘進機を基準とする．

掘削断面の縮小と掘進機のコスト縮減を図るため，管渠断面は推進管を基準とし，この推進管外径をもとに掘進機を設定した．

掘進機の外径は，各種推進工法によってϕ2,120～2,160㎜と幅があったため，本計画では，推進管外径2,120㎜＋2×10㎜＝2,140㎜と設定した．

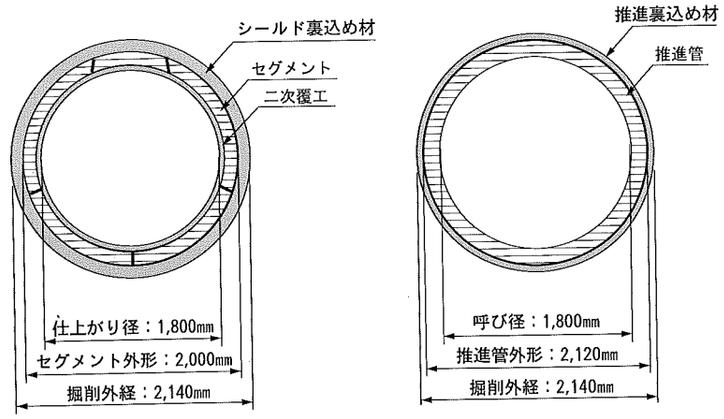


図-6　管きょ断面図

この外側の10㎜は，フリクションカットを考慮したものである．

これにより，掘進機の外径を決定し，シールド部の管渠（セグメント）寸法を次のような条件にて設定した．

- セグメントの寸法は，（社）日本下水道協会の「シールド工事用標準セグメント（2001.7）」を基準とする．
- 掘進機とセグメントの必要スペースは，片側60～65㎜を確保する．

掘進機とセグメントの必要スペースについては，標準シールドを参考として設定した．

この条件にあてはまるセグメントを標準セグメントから選択し，強度計算と急曲線部の掘進シミュレーションを行い，次のようにセグメントを設定するに至った．

セグメント種類：コンクリート中詰め鋼製セグメント
セグメント外径：ϕ2,000㎜
セグメント桁高：75㎜
セグメント幅：750㎜

標準のコンクリートセグメントは，その最小厚さが125㎜であるため，外径が2,150㎜以上となり不適となった．さらに急曲線部への適用が困難な

こともその要因である．

コンクリート中詰め鋼製セグメントは，今回計画したセグメント厚さの条件下で，坑内におけるコンクリート打設の省略とジャッキ推力に対する強度が高いというメリットを有している．さらに，工場製作による品質の均一と仕上がり精度の高さという点も考慮して採用に至った．図-6に各工法の管渠断面を示す．

5-2　推進工法とシールド工法の切替方法

推進工法は，掘進機と推進管を発進立坑からジャッキにより圧入・押し込み，管渠を布設する工法である．シールド工法は，掘進機の後方部にセグメントによる支保工を順次組み立て，掘進機側からシールドジャッキで押し，これを反力として管路を形成する工法である．

両工法を併用する場合，推進区間では発進立坑部のジャッキ推力を掘進機が受け，シールド区間では掘進機から推力を発生させる形となり，掘進機・ジャッキ・管渠間の推力の伝達と切替えをスムーズに行う必要がある．

このため，寸法の異なる推進管とセグメントの推力の伝達を図り，各工法の推進時に止水性と強度を持った接続部材が必要となった．

そこで，推進管の中押し管(S)の継手部を参考として推進管とセグメントを接続する部材の検討を行った．

この接続部材の設定基準は，以下のとおりである．

- 推進管との接続は，標準推進管の埋め込みカラーと同じ構造とする．
- セグメントとの接続は，標準セグメントと同様にボルトによる接続とする．
- 止水性は，推進管，セグメントの止水で用いられるシール材により確保する．

図-7に接続部の詳細を示す．

この接続部材は，掘進機設置時点でセグメントと一緒に取り付け，推進区間ではシールドジャッキにより固定することで推力を掘進機に伝達する．そして，シールド区間への切替え地点に残置する．

5-3　掘進機の機能と装備

掘進機は標準的な推進工法の掘進機を基準とし，本路線の特徴に応じた機能を検討した．本路線において必要とされる機能の装置・設備は以下のとおりである．

① 急曲線対応中折れ装置
② シールドジャッキ設備
③ セグメント組み立て装置

なお，セグメントの運搬に支障とならないために，坑内設備はセグメント組み立て装置の前に設置する必要があるが，本路線については，坑内空間が比較的大きく，更に泥濃式推進工法を採用するために，通常の設備配置とした．しかし，小さい管渠径や他の工法を採用する場合には，坑内空間の確保を考慮した坑内の設備計画が必要となる．

また，①～③の機能を持った「ジャッキ筒」を，掘進機とは別の設備として計画を行った．本計画では，急曲線対応のために「ジャッキ筒」を掘進機のすぐ後方に取り付ける構造とした(図-8)．

5-4　二次覆工方法

下水道のシールド工法の二次覆工は，一次覆工の蛇行修正や内面平滑性の確保，止水性の向上や防食を目的として，セグメントの内側に無筋コンクリートを打設することが一般的であった．しかし，近年の技術開発にて，掘削精度やセグメントの止水性はかなり向上してきたため，二次覆工の省略やコンクリート以外の材料を用いた二次覆工の技術が提案されている．

本路線で必要とされる二次覆工の機能は，流速を確保するための内面平滑性，鋼製部分の防食機能が重要であるが，二次覆工に確保可能な厚さは，

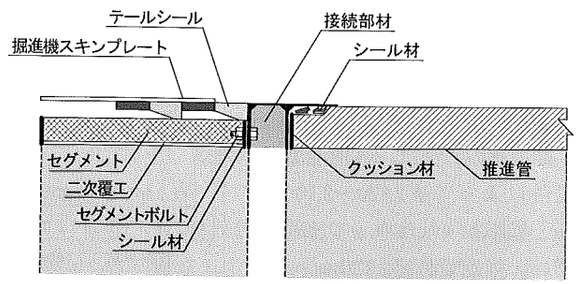


図-7　推進シールド切替部詳細図

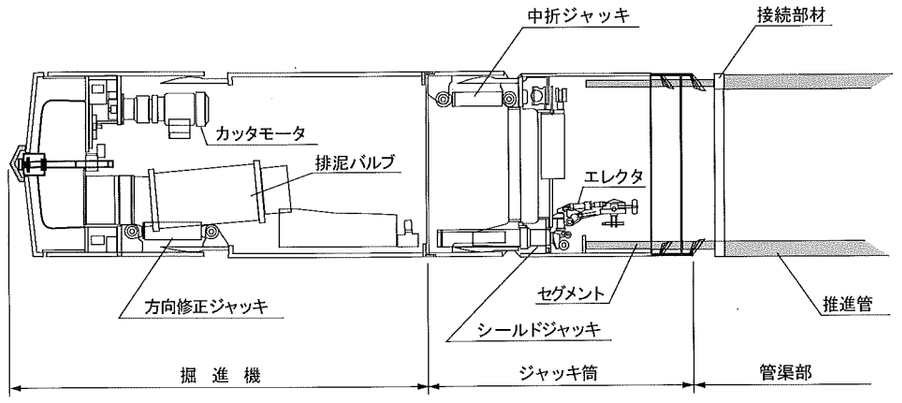


図-8　掘進機およびジャッキ筒

セグメントのスキンプレート厚(3㎜)と桁高(75㎜)を除くとわずかに22㎜である．

このスペースに適用できる二次覆工として，セグメント内面に樹脂のライニング材を施す「内面被覆工法」を採用するに至った．

セグメント内面被覆工法には，樹脂パネル・樹脂シートを設置するタイプと樹脂を吹付けまたは塗布するタイプの工法などあるが，いずれの工法も被覆厚は1.5～7.0㎜程度と非常に薄いものの，高機能を有している．

今回，本計画の二次覆工は次期工事となるが，下水道シールドの内面被覆工法としての性能規定を満足し，経済性，施工性，品質の安定などを考慮して選定・決定する方針である．

6　工　法　の　評　価

以上のように，本計画における「シールド切替型推進工法」の適用を検討し，2工法の併用によって厳しい線形と発進基地面積の課題を解決するに至った．

本計画において，従来のシールド工法と「シールド切替型推進工法」を比較した場合，必要とする工期はほぼ等しく，経済性においては，「シールド切替型推進工法」が有利となった．これは，路線の半分以上を占める推進区間が，コストの縮減に寄与したものと考える．

この工法の適性や優位性は，管渠断面や路線線形，シールド区間と推進区間の割合など，路線条件によって大きく変わるため，一概にその評価を判断することは難しい．とくに，汎用管材，汎用掘進機を使用することで，経済的効果は期待できる反面，適用可能な管渠断面や路線延長などの制約がある．

しかし，本路線のように，直線区間が路線の半分を占め，その後に複合する曲線区間があるような場合には，推進工法の経済性とシールド工法の確実性という両者の特性を生かし，コストの縮減と周辺環境への影響低減を実現できる非常に有効な工法と考える．

7　お　わ　り　に

本計画における「シールド切替型推進工法」は，東京都下水道局では初めての工法となるため，平成16年9月に「下水道新技術選定委員会」に付議し，審査・承認され，平成16年12月に工事発注となった．

今回は，都市部のトンネル工事，とくに非開削工事において直面する計画ルート上の厳しい条件や制約，周辺環境に配慮した立坑の削減などの問題を含み，そのうえでコストの縮減を図るというものであった．

現在，工事が始まろうとしているが，今回の計画では，当局として初めての技術や特殊な工法を採用しているため，本工事の進捗とともに，実施工事の状況を正確に把握・分析し，計画と施工の課題を整理し，これからの計画に生かしていきた

いと考えており，工事完了後に施工報告をする予定である．

今後，同じような課題のあるトンネル工事にあたって，今般の計画が参考になれば幸いである．

参 考 文 献

1) 東京都下水道局：下水道東京100年史，1989.3.
2) (社)土木学会：トンネル標準示方書［シールド工法編］・同解説，1996.
3) (社)日本下水道協会：下水道推進工法の指針と解説，2003.
4) (財)下水道新技術推進機構：下水道シールドトンネルの内面被覆工法技術資料，2002.3.
5) 石塚千司：小口径シールド施工を可能にした「デュアルシールド工法」，月刊下水道，Vol.27，No.8，2004.7.
6) 日経BP社：技術フラッシュ，推進工法とシールド工法を組合わせ最小で内径１mのトンネルを掘削，日経コンストラクション，2004.7.9.

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　税込価格4,893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○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

研　究

東京礫層での地中掘削のリスク管理と変形予測の一考察

鉄道・運輸機構北陸新幹線第二建設局局長　高　橋　浩　一
(株)NOM代表取締役　大河内　保　彦
東京理科大学工学部土木工学科教授　龍　岡　文　夫
鉄道・運輸機構理事　金　澤　　博

1 はじめに

洪積層，とりわけ東京礫層と称される高被圧水を有する砂礫層における掘削工事では，土留めの弱点部や地盤改良の不足などと推測される箇所からの出水事故が後を絶たない．

トラブルの原因を分析すると，構造部材は許容応力度内であっても，掘削による地盤変形により，新たな水みちが生じるなど弱点部が拡大し，出水に至るケースがほとんどである．

また，変形予測においては，地盤の剛性の評価が予測精度に大きく影響を及ぼすが，従来はほとんどの場合，掘削による地盤ひずみのレベルおよびその変化や拘束圧の影響を考慮せず，N値から求められる経験式から機械的に地盤剛性を設定し，予測をしているに過ぎなかった．

この場合，地盤変形係数は，実際より小さめの値となり，解析により得られる変形量や荷重の予測値は過大な傾向を示す場合が多かった．

このような背景から，りんかい線大井町駅駅工事を対象とした本研究においては，安全施工上の観点から被圧地下水に対するリスク管理，情報化施工における管理値の把握などの検討を行った．この結果，洪積層地盤における掘削による周辺地盤と地下構造物に及ぼす影響について，地盤ひずみを考慮した地盤剛性の設定による，より合理的な設計・施工方法について考察を行ったものである．

2 りんかい線大井町駅駅工事の概要

平成14年12月に開業した，りんかい線の大井町駅は，きわめて特殊な地下駅であり，重要構造物に囲まれた密集市街地内で，軌道＋プラットホームを収容する直径10mの大断面シールドトンネルを離隔１mで上下２段に掘進し，さらにコンコースや改札口などの駅部本体の立坑をシールドトンネルから約１m離して開削工法で構築し，それらを最大延長30mにわたって連絡通路として地中で連結させるという構造である．**図-1**に駅開削部とシールドの連結工を示す．

地中連結工位置の地質は，**図-2**に示すように，上段が東京粘性土層に位置し，下段が被圧水を有する東京礫層に位置していた．

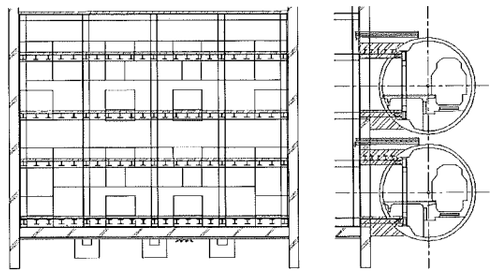


図-1　駅開削部断面図

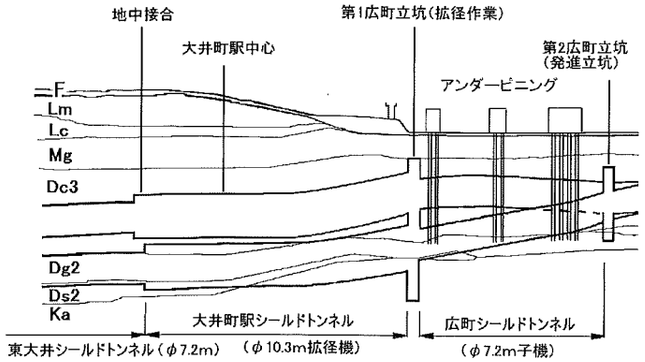


図-2　地層構成と施工位置

地中連結工の掘削中はシールドセグメントを一部撤去するなど不安定な構造となる過程があり，施工時の構造物の安全性と近接構造物への影響について十分な検討を行う必要があった．

このため，実施工にあたっては，施工過程をできるだけ再現した精度の高い地盤変形解析と動態観測による施工管理へのフィードバックが不可欠と考えられた．

3　東京礫層の止水対策[1)]

当該礫層のように高被圧下での止水対策として，従来は凍結工法を採用するのが安全で，確実と考えられていた．しかし，工費が高く，とくに工期が長いという問題があり，本工区では，コスト縮減の観点からも薬液注入工法で止水を図ることとなったが，止水工の不備が事故に直結すると考えられたため，その施工管理，品質管理，リスク管理についてはとくに慎重に行うものとした．薬液注入範囲を図-3に示す．

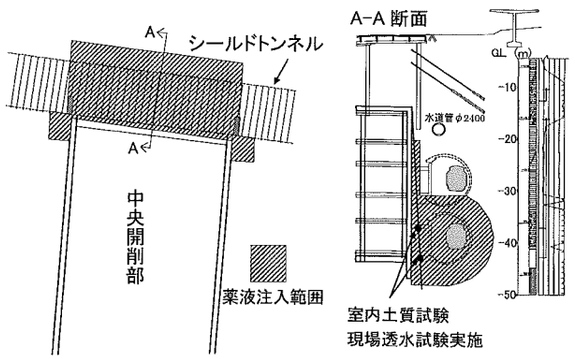


図-3　薬液注入範囲

従来，事故の原因は薬液注入による改良が均一にされず，未改良部が透水性の高い部分として残ってしまうこと，改良が均一に行われた場合でも，掘削過程で過大な変形が生じた場合に水みちができてしまうことなどが考えられている．後者については，後述する事前の変形予測から安全と考えられる施工管理値を設定しつつ動態観測するものとし，薬液注入の施工に関しては，以下に示すような三段階で実施することとした．

1)　一次注入

シールドトンネル通過前に中央開削内から二重管ダブルパッカーによる路下施工を行った．パッカーを機能させるために，先行して地中に設置するマンシェットチューブと地山の隙間をセメントベントナイトで充填後，溶液型水ガラス系薬液により下段シールド周辺地盤の止水性向上を図った．

2)　二次注入

シールドトンネル通過後，トンネル内および駅開削立坑内から実施した．強度特性および浸透性に優れる有機系の溶液型水ガラスを採用し，二重管複相注入で実施した．

3)　補足注入

トンネル側から止水効果確認のボーリングを実施し，毎分の湧水量が200cc以上(透水係数に換算しておおむね1×10^{-4}cm/s)の箇所に行った．

結果的に中央開削部では，約180万ℓの一次注入，約100万ℓの二次注入を実施した．その結果，補足注入は約14万ℓであった．

施工管理は通常のチャートを用いて実施したが，注入速度は10ℓ/minを最大値とし，動態観測を行い，立坑への影響を勘案しつつ適宜注入速度を変更するものとした．

品質管理試験としては，トンネル内部，立坑内部からボーリングを実施し，現場透水試験，ルジオン試験を行った．また，前述のように湧水量も確認し，再注入の判断材料とした．

図-4に現場透水試験の結果を示す．薬液注入前が10^{-3}cm/s以上のオーダーであったのがすべて10^{-5}cm/sオーダー以下に改良されていることがわかる．

これらは，ボーリングの位置におけるスポット的な確認方法である．注入効果を確認する方法として，これ以外に，マンシェットチューブを利用して電極を配置して，比抵抗トモグラフィを用いた確認方法[2)~5)]も試みた．本方法は，透水係数の変化など注入による止水効果を数量的にとらえることはできないが，薬液注入工事の事前・事後の比抵抗の変化率などから，薬液が注入されていない領域をマクロ的ではあるが，面的に把握できる．

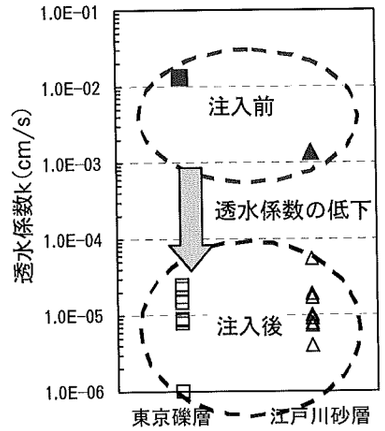


図-4　現場透水試験結果

図-5に比抵抗トモグラフィの結果を示す．図中では，注入後の比抵抗値を注入前の値で除した値を変化比と定義し，コンターを描いているため，変化比が小さいほど薬液が間隙に存在することを表している．この結果から，止水を目的とする東京礫層に対する注入工事については，大きな欠損部分もなく，良好な注入が行われたことを示している．

また，出水のリスクを低減させ，工事の安全性を向上するための補助工法として，ディープウエルによる水位低下工法を実施した．ただし，水位低下の対象となる東京礫層の透水係数が10^{-1}～10^{-2}cm/sオーダーと高いため，一井あたり，200～400ℓ/min程度の現実的な揚水量で期待できる水位低下量と，結果として生じる地盤沈下の可能性について三次元浸透流解析[6)]で事前検討した．

その結果，開削部付近では3m程度の水位低下が期待できること，1m以上水位が低下する範囲は立坑から30m程度であることが予想された．また，水位低下による圧密沈下の検討を東京粘土層

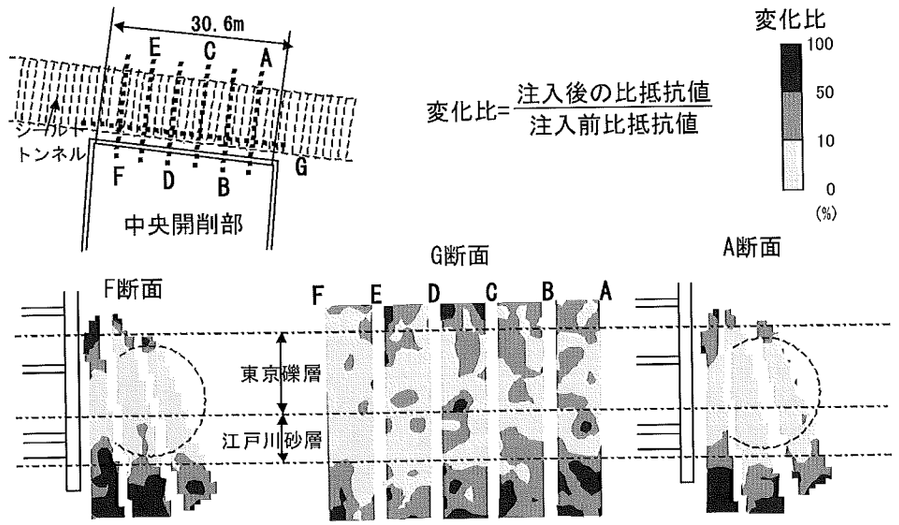


図-5　比抵抗トモグラフィによる注入範囲計測結果

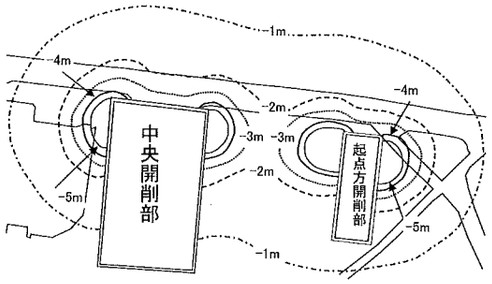


図-6　東京礫層における低下水位コンター

と関東ローム層に関して実施した．その結果，両層ともに過圧密領域に応力変化がおさまり，1.5m程度の水位変化ではほとんど沈下が生じず，数㎜以下と考えられた．

実際のディープウエル工は，より安全を期すため，中央開削部のみならず，起点方開削部でも実施した．

水位低下量はウエル位置で5m程度，開削部では3m程度であり，1m以上の水位低下範囲もそれほど大きくなく，事前解析値とほぼ同様な結果となった．**図-6**にもっとも水位が低下した時点での東京礫層における井戸水位などの実測値から推定した低下水位コンター図を示す．また，沈下も揚水期間内で4㎜以内であった．この沈下量には，揚水の影響のみではなく，地中掘削の影響も考えられるため，揚水のみによる沈下はより小さいと推測される．

4　開削時の変形検討

シールドトンネルの施工による近接構造物への影響解析などにあたっては，地盤剛性(変形係数)をN値経験式からもとめ，弾性解析手法により変形量を予測する方法が従来から広く行われている．

しかしながら，とくに洪積地盤など堅固な地盤においては，地盤剛性を実際より過小評価してしまうことが多いために，予測結果が実測値よりもはるかに大きいという例が多い．

これは，地盤の変形特性のひずみレベル依存性を考慮せずに解析してしまうことに起因している．

また，**図-7**に地中接合で生じる変形のイメージを示した．今回のような三次元問題も二次元解析に単純化して検討されることが多く，これも予測値が過大となる原因の一つと考えられる．

さらに，地中開削部の設計は梁バネモデルを用いて全土圧を加え，部材力をチェックする方法で実施されていた．このため，完成形状での部材力しか情報がない状況であった．このような状況の場合，施工管理基準値の設定には，最終的に想定される設計荷重に対する割合で簡易的に設定する場合も多いが，本工事においては部材の設置状況が複雑となるため，部材に生じる荷重がどのように変化するかを事前に想定しておくことが，安全管理上から重要と考えられた．

以上のことから，できるだけ忠実に施工過程を再現した3次元と2次元の弾性FEM解析を行うこととし，地盤の変形係数として，かなり大きなひずみレベルと考えられるN値からの経験式を用いた場合と[7]，微小ひずみにおける変形係数と考えられるPS検層の測定値から計算した変形係数を用いて，変形の上下限をとらえるアプローチと

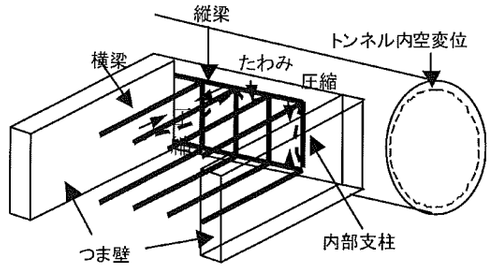


図-7　地中接合で生じる変形イメージ

表-1　地盤の物性値

土　質	層厚(m)	N値	ρ_t(gcm^3)	E(kN/m^2)		ポアソン比
ロ　ー　ム	10.7	5	1.36	3,500*2	90,000*4	0.48*4
武蔵野礫層	4.1	50	1.9	35,000*2	480,000*4	0.3
東京粘土層	17.1	10	1.87	28,000*3	370,000*4	0.48*4
東京礫層 江戸川砂層	28.1	50	1.89	140,000*3	1,470,000*4	0.3
薬液注入部*1	—	—	1.89	—	3,000,000*4	0.3

注1：N値の測定値なし　2：浅層部はE=700N (kN/m^2)
3：深層部はE=2800N (kN/m^2)　4：PS検層より決定

した．**表-1**に地盤の物性値を示す．

表からわかるように，洪積層である東京礫層において微小ひずみレベルのPS検層から求めた変形係数は，大ひずみのN値から求めた変形係数に比べ約10倍大きい．

解析ステップは以下に示すように，できるだけ施工過程を再現するものとした．ただし，二次元解析では④，⑦のつま壁の効果は表現できていない．

① 自重(初期応力)解析
② 立坑設置・掘削
③ セグメント設置・掘削(シールドトンネルの施工)
④ 上下線シールド部の内部支柱・縦梁の設置，上り線部分のつま壁設置
⑤ 上下線先行掘削部分の掘削，セグメント撤去，上下線先行掘削部分の横梁設置
⑥ 残りの上下線上部横梁設置部分の掘削，セグメント撤去，残りの上下線上部横梁の設置，埋め戻し
⑦ 下り線部分のつま壁設置
⑧ 残りの上下線掘削部分の掘削，セグメント撤去
⑨ 残りの上下線下部横梁の設置・埋め戻し

以上の状況を**図-8**に示す．

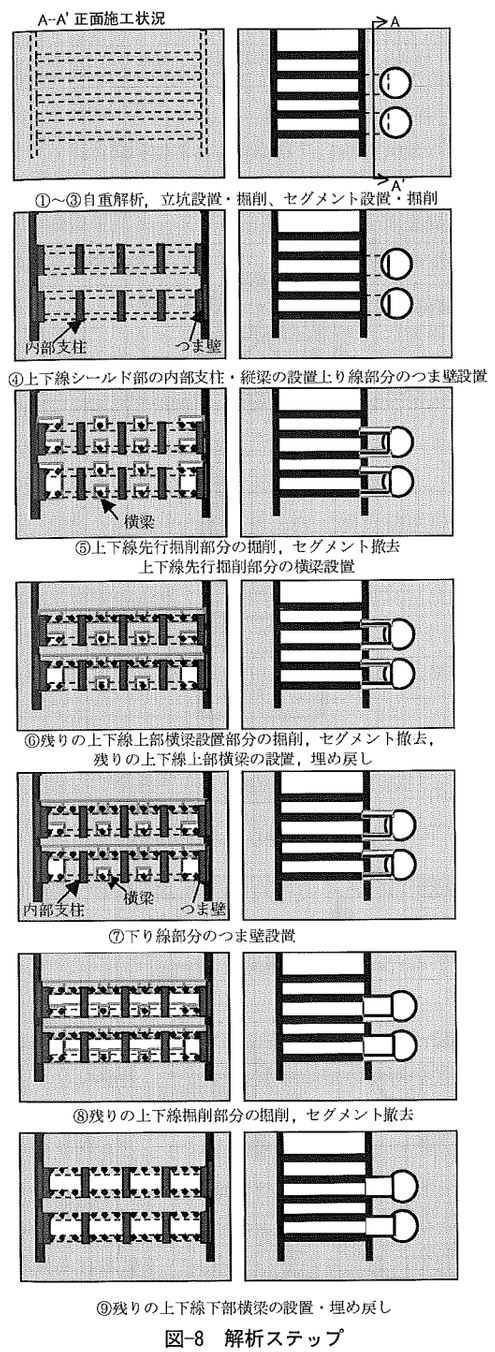


図-8　解析ステップ

この変形係数をもとに，二次元および三次元弾性FEM解析を実施したところ，地中連結工の主要部材の荷重や変形，周辺地盤の変位などは，N値による変形係数の解析結果は，PS検層による解析結果の2～3倍の値を示した．

また，各ケースの荷重の最大値をとっても，梁バネモデルによる設計荷重よりもかなり小さな値となった．

最終段階における荷重値の比較を**表-2**に示す．安全性と実務性を考慮すると，施工管理上は簡易な二次元解析値による施工管理手法はやや安全側

表-2　設計値とFEMから得られる荷重値の比較

	設計値	2D	3D
内部支柱軸力(上段)	21,000	8,800	7,000
内部支柱軸力(下段)	27,000	11,700	11,200
下床部横梁軸力(上段)	9,000	2,200	1,200
下床部横梁軸力(下段)	12,000	2,500	400

(単位：kN)

であるが，十分であると考えられる．

この解析結果を勘案して，各施工段階における施工管理値を設定し，動態観測を行いつつ慎重な施工を行うこととした．

5 動態観測計画

本工事は，とくに下段トンネルが高水圧下の東京礫層内での施工となるため，構造的には問題とならない変形でも，水みちとなり，大出水の原因となることが懸念された．このため，部材力や変形が構造的に問題とならない場合でも注意が必要と考えられ，詳細な動態観測を実施しつつ細心の注意で施工を行うものとした．

セグメント変位や内部支柱軸力は測定が比較的容易なので，多数断面を計測し，横梁軸力や外力の変化を計測する地中変位・土圧などの計測は，もっとも大きな変位が生じると予想される中央開削部の開削部中心付近とした．

図-9に動態観測機器の配置断面図を，表-3に動態観測項目とその目的を示す．この中で地盤ひずみ計は，地盤中に発生するひずみを簡易に測定するために新規開発した一種の変位計である[8]．

表-3　動態観測項目と目的

記号	計測内容	計測器	目的
●	地盤水平変位	多段式傾斜計	外力側の地中変位
◆	土圧	土圧計	外力側の土圧変化
◆	地盤ひずみ	土中ひずみ計	地盤ひずみの確認
▼	層別沈下	層別沈下計	地盤の沈下分布
▲	セグメントの変位	トータルステーション	トンネル変位
■	内部支柱の軸力	ひずみゲージ	発生軸力
■	横梁の軸力	ひずみゲージ	発生軸力

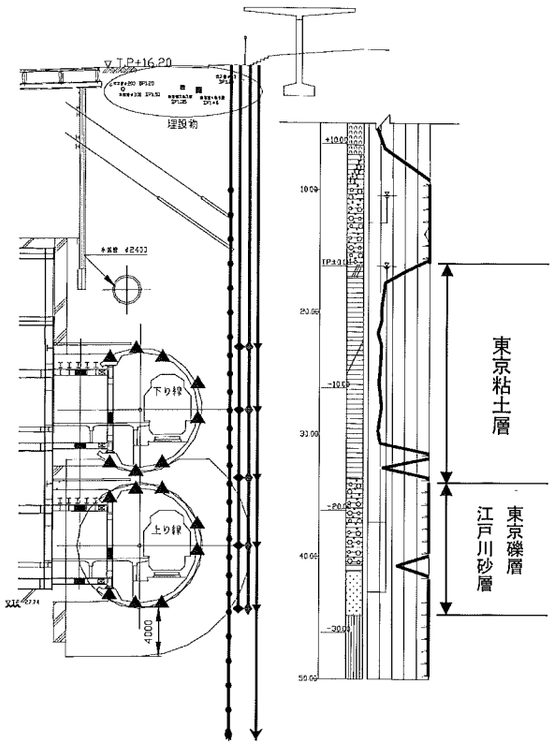


図-9　動態観測計器配置図

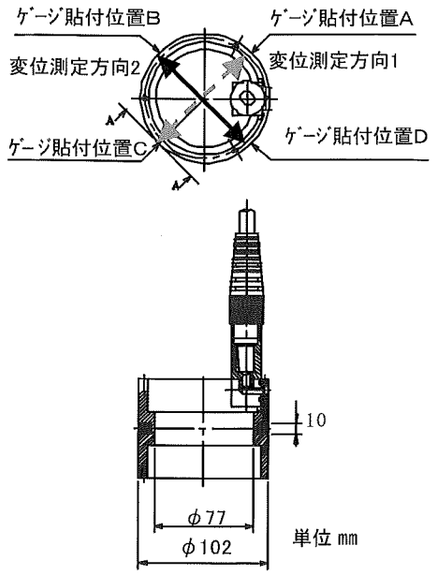


図-10　地盤ひずみ計の形状

図-10にその形状を示す．ボーリング孔内に設置するため，塩ビ製のパイプの外側にひずみゲージを貼り付けたシンプルな構造である．

地中変位計や土圧計をボーリング孔内に埋設する際に，埋め戻し材の剛性を適正に設定することが，測定精度向上のうえで重要となる．本研究では想定されるひずみレベルにおける変形係数をよく勘案し，セメントベントナイトによる埋め戻し材の配合を決定した[9]．

6 解析結果と動態観測結果の比較

前述のように，注意深い動態観測を実施しながら，安全施工が達成された．ここでは，動態観測結果と事前解析結果の比較を示す．また，二次元解析に関して事後解析として実施したHardening Soil model[10]（以下，HSモデルと略する）を用いた解析結果との比較を示す．このモデルは，Mohr-Coulombタイプの降伏関数と双曲線を用いた弾性域における非線形性，除荷，再載荷，変形係数の拘束圧依存性[11]などを考慮できるものである．

図-11に，トンネルの内部支柱軸力の解析結果と実測値の比較を示す．上下両トンネル，二次元，三次元ともに，N値からのパラメータを用いた場合には軸力を過大評価し，PS検層からのパラメータを用いた際には軸力を過小評価する結果となった．ただし，全体としては三次元解析結果の方が二次元よりも小さめの値になっている．

施工途中の段階では，傾向・値ともに三次元解析の方が動態観測結果に近かったが，とくにPS検層の結果を用いた場合はやや過小で危険側の結果となった．

一方二次元解析では，PS検層からのパラメータを用いた場合でも，途中段階では比較的安全側の傾向となり，過大評価の危険性はあるものの，適切に変形係数を設定すれば，実務上許容できる検討が可能と考えられた．

以上の結果から，地盤のひずみレベルの推定と，それに適合した変形係数の設定がFEMによる解析精度に大きく影響を与えることがわかった．

図-12に，地盤ひずみ計の計測結果を示す．もっとも浅い箇所が上段トンネルの天端付近，もっとも深い位置が下段トンネルの下端付近である．図からわかるように，最大で10^{-4}～10^{-3}オーダーの前半のひずみが測定されている．このひずみレベルは，N値から変形係数を求める経験式が想定しているひずみレベルと，PS検層のひずみレベルの中間的な値であり，このひずみレベルを考慮して変形係数を再設定すれば，より精度の高い変

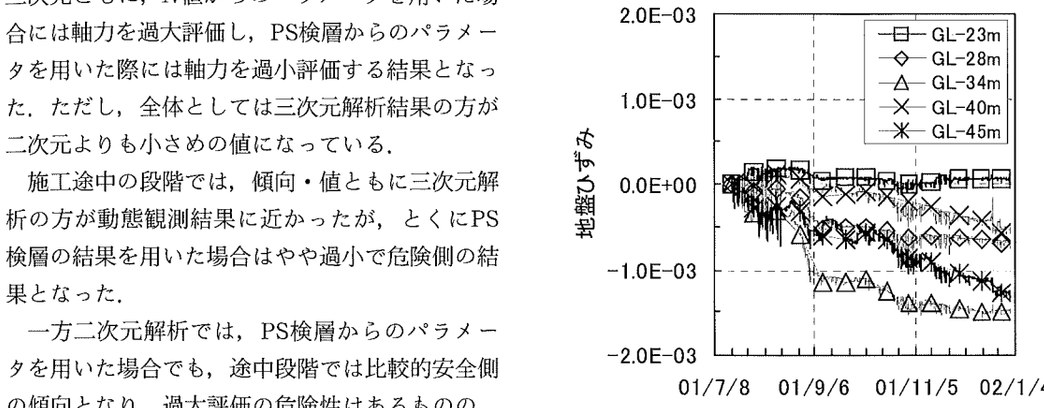


図-11　トンネル内部支柱軸力の解析結果と実測

図-12　地盤ひずみ計の実測結果

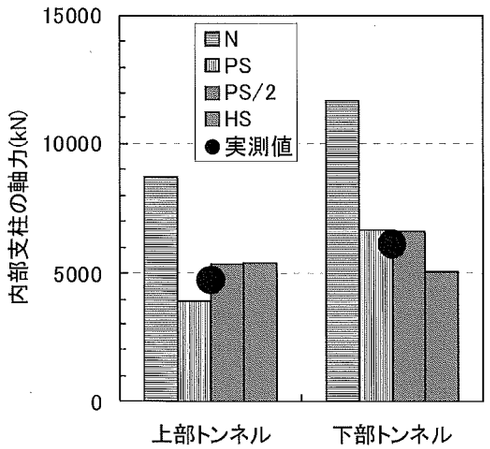


図-13　トンネル内部支柱軸力の解析結果と実測

形予測が可能となることを示唆している．そこで，事後解析として，変形係数をPS検層で得られた値の1/2とする弾性解析と，前述したHSモデルを用いた弾塑性解析を行った．

図-13に内部支柱軸力に関する解析結果を示す．この結果では，PS/2とした場合がもっとも一致度が高いことが見て取れる．

図-14には，トンネル鉛直変位に関する比較を示した．上段トンネルではPS/2の一致度がもっとも高い．下段トンネル天端位置では，危険側の解析結果となっているが，その中ではHSモデルの一致度がもっとも高い．

以上の検討結果から，次の結論が得られた．

① 弾性解析においては，その変形係数の設定方法によって大きく結果が異なる．

② 弾性解析において想定される発生ひずみレベルを勘案してPS検層で得られた値の1/2に変形係数を設定した場合が比較的実測値と良い対応が得られる．

③ 今回のように，洪積層内の掘削工事で，大きなひずみが生じないと予測されるような状況では，非線形弾塑性モデルを用いた場合の解析精度は必ずしも向上しない．

以上の結果と，HSモデルのような非線形構成モデルが，弾性計算に比べて入力パラメータの設定が難しく，計算コストも増大することを考慮し，**図-15**に示すような弾性解析を用いた精度向上の

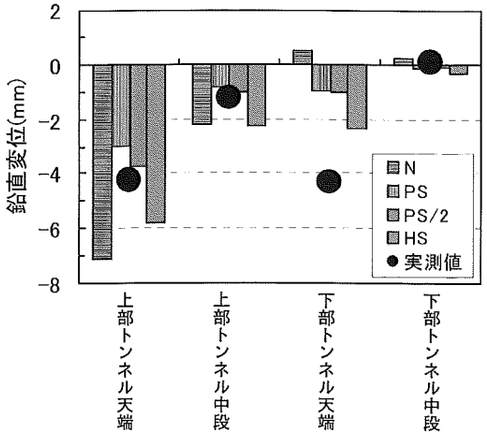


図-14　トンネル鉛直変位の解析結果と実測

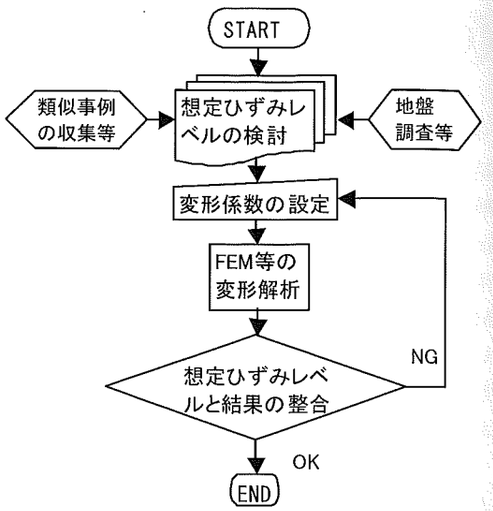


図-15　ひずみレベルを考慮した実務的な変形予測のアプローチ

アプローチを提案した．

もちろん，この方法は，軟弱地盤のように，ひずみレベルが大きいとか，広範囲に塑性域が発生することが想定される場合には適用に注意が必要と考えられる．

7 まとめ

高被圧水を有する東京礫層において，シールドトンネルのセグメントを一部除去し，地中掘削により，立坑と接合して駅部を構築する．

止水工は薬液注入により実施したが，出水のリスクを避けるために以下のような施工と管理を実施した．

（1） 注入は立坑からの一次注入，トンネル，立坑からの二次注入，止水効果を確認しつつ行う補足注入の三段階で行う．

（2） 施工・品質管理は従来のチャートによるもの，現場透水試験に加え，比抵抗トモグラフィを用いた面的な把握など複数の方法で実施する．

（3） リスク低減のためにディープウエルも実施するが，十分な効果，影響の検討を行う．

さらに，掘削工事による過大な変形による水みちの発生や既設構造物への影響を避けるために，開削による地中接合工の複雑な施工過程の挙動把

握を目的として三次元と二次元の弾性FEMを実施した．その際，地盤の変形係数は，一般的に良く行われるN値からの経験式を用いる方法(ひずみレベル大)と，ほぼ最大値と考えられるPS検層から得られる値を用いる方法(ひずみレベル微小)を用い，範囲を把握するものとした．その結果から施工管理基準を設定し，動態観測を実施しながら慎重な施工を実施した．その結果安全施工が達成され，以下のことがわかった．

（1） 変位，軸力などは想定された範囲内であったが，変形係数の設定が，解析結果に大きな影響を与えることがわかった．

（2） 新しく開発した地盤ひずみ形による測定値は，10^{-4}～10^{-3}程度のオーダーであった．

（3） 弾性解析において，想定される発生ひずみレベルを勘案してPS検層で得られた値の1/2に変形係数を設定した場合が比較的実測値と良い対応が得られる．

（4） 今回のように，洪積層内の掘削工事で，大きなひずみが生じないと予測されるような状況では，非線形弾塑性モデルを用いた場合の解析精度は必ずしも向上しない．

解析全体としての挙動の傾向や変形・軸力などの絶対値は三次元の方が比較的よく表現されているが，やや危険側となる傾向があり，実務的な見地からは，二次元解析で適正な変形係数とすることが，簡便でかつ適度に安全側の結果が得られる．

以上の結果を勘案し，従来実務で広範囲に行われてきた線形弾性FEMによる変形解析手法に関して，想定されるひずみレベル，解析結果として得られるひずみレベルから，変形係数の設定手法を見直して変形解析の予測精度を向上する方法を提案した．

これらの知見が，今後の洪積層地盤における構造物本体の設計や地盤改良工・近接防護工などの計画・設計・施工や地下空間利用の実務における

より合理的，経済的な設計に貢献できれば幸いと考えます．

最後に，三次元解析には，田中忠次・東京大学教授の開発したGEODYNを用いた．ここに謝意を表するものである．

参考文献

1) 高橋浩一・松本伸・大河内保彦・龍岡文夫：りんかい大井町駅建設工事における東京礫層の止水対策，土木学会論文集，No.777/VI-65, pp.53-58, 2004.
2) 小峯秀雄・後藤和生：現場試験による比抵抗トモグラフィを利用した薬液注入の改良範囲評価方法の実証，土木学会論文集，No.603/III-44, pp.129-138, 1998.
3) 駒延勝広・高橋浩一・松本伸・大河内保彦：臨海大井町駅新設に伴う薬液注入工事施工報告(注入効果の評価)，土木学会第58回年次学術講演会，第VI部門，pp.163-164，2003.
4) 平本弘・村田修・大河内保彦・駒延勝広：動的注入工法現場実験 －比抵抗トモグラフィによる改良範囲の検出(その1)－，第34回地盤工学研究発表会，pp.1233-1234，1999.
5) 上出定幸・村田修・大河内保彦・駒延勝広・東瀬康孝：動的注入工法現場実験―比抵抗トモグラフィによる改良範囲の検出(その2)―，第34回地盤工学研究発表会，pp.1235-1236，1999.
6) 西垣真・中尾真司・河野伊一郎： 前処理付き共役勾配(SSOR-PCG)法を用いた飽和・不飽和多孔質媒体中の三次元浸透解析法，土木学会論文集，No.448/III-19, pp.101-110, 1992.
7) 地盤工学ハンドブック：地盤工学会, pp.73-76, 1999.
8) 高橋浩一・松本伸・大河内保彦：臨海大井町駅工事における動態観測(地盤ひずみ計の開発)，第58回土木学会年次学術講演会，第VI部門，pp.165-166, 2003.
9) 松本伸・高橋浩一・大河内保彦：臨海大井町駅工事における動態観測(微小ひずみ領域での埋戻し材の検討)，第58回土木学会年次学術講演会，第VI部門，pp167-168, 2003.
10) Material model manual: Plaxis version 8, Delft, 2002
11) Duncan, J. M., Chang, C. Y.:Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soil, ASCE J. of the Soil Mech. And Found. Div. Vol.96, pp.1629-1653, 1970.

トンネル ジャーナル

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

発進立坑に着手

関東地方整備局横浜国道事務所が計画している「横浜湘南道路」建設事業が，05年度新たな段階を迎える．

同道路は，高速横浜環状南線と接続する栄IC・JCTがある横浜市栄区田谷町を起点に一般国道1号新湘南バイパスの結節点となる藤沢市城南一丁目を終点とする延長約7.5kmで首都圏中央連絡自動車道(圏央道)の一部を形成する．

計画では，路線全体の約7割以上がトンネル構造．うち，約2.7kmがNATM，約2.7kmをシールドの予定．

施工計画では，現道に立坑を構築し，現道を切り回す予定だったが，藤沢市の管理する用地の一部に変更ができ現道を切り回さずに発進立坑工事を施工できるようになりコスト縮減にも大きく寄与できた．総事業費約2,000億円．

分岐シールド初発進

三井住友建設は，シールドトンネル内から非開削で分岐・接合トンネルを施工できる「JUC工法」を適用した東京都の下水道トンネル工事で初めて坑内から分岐シールドを発進させた．

同工法を採用したのは，東京都下水道局発注の「杉並区堀ノ内1，2丁目付近枝線工事」と「同その2工事」．

同工法を使うと，非開削で分岐・接合の施工を行うことができるため，新たな発進・到達立坑の構築が不要となる．路上占用や基地用地の確保，地表部の開削などの必要がなくなり，一次覆工後のセグメント補強や解体なども省略できる．立坑を構築して施工する場合と比べて工費を約20%縮減できる．

片坂バイパスに着手

四国地方整備局中村河川国道事務所は，一般国道56号の片坂バイパスに着手する．

高知県西南地域唯一の幹線道路である一般国道56号の線形不良区間を解消し，将来は8の字高速道路の一部となる都市計画道路「窪川佐賀線(延長17.3km)」の一部区間として整備されるもので，区間内のほとんどが山岳部となることから，トンネル総延長が約8.4km(9本)と全体の50%近くを占める．平成20年の供用開始を目指す．

東京都が先行着手

東京都は，首都高速道路中央環状品川線の早期完成を目指し本年度より用地所得に着手するとともに，現況測量などの調査関連業務を発注する．品川線は，湾岸線と現在建設中の新宿線に接続するもので，完成すれば中央環状線の整備が完了し，慢性化している環状線の交通渋滞の解消が期待される．

道路4公団民営化により，品川線の事業主体が確定できない状況にあることから本年度，26億円の予算を使って用地所得と関連調査業務に先行着手する．

引佐第一トンネル貫通

日本道路公団が建設を進めている第二東名高速道路引佐第一トンネルが開通した．

同トンネルは，静岡県引佐町東黒田～伊平を結ぶ延長約1,500m．掘削は，φ5.0mのTBM導坑先進拡幅工法を採用．覆工には，耐久性を高めるため繊維入りコンクリートを用いているほか，坑門工には竹割構造を採用し，周辺環境との調和を図っている．

前方地山性状を予測

三井住友建設は，ドリルジャンボに搭載した油圧削岩機による削孔時の油圧データを活用し，切羽前方と周辺地山性状を推定する「削孔検層システム」を開発．日本道路公団発注の東九州自動車道津久見トンネルで本格的に導入し，実用性と信頼性を実証した．

同システムは，ドリルジャンボに搭載したデータ蓄積解析装置を使って油圧削岩機の打撃圧，回転圧，フィード圧，フィード長を記録したうえで，坑内に設置した無線LANを通じて現場事務所のデータサーバーに転送する仕組み．

新規2路線着工へ

北海道新幹線の新青森～新函館間と北陸新幹線富山～金沢間が近く着工．

4月27日に国土交通省が工事実施計画を認可したことを受け，鉄道・運輸機構と関係自治体らは5～6月に起工式を開き工事に着手する．

北海道新幹線は，新青森駅を出発し奥津軽(仮称)駅，青函トンネル，木古内駅を経て，新函館(仮称)駅に至る約148km．このうち，奥津軽駅～木古内駅間は津軽海峡線との共用区間で，残りが新設区間．新設区間には，渡島当別トンネル(8.1km)を筆頭に，新茂辺地トンネル(3.2km)，蓬田トンネル(2.0km)など17か所のトンネルが建設される．

総事業費約2,880億円．

北陸新幹線の新規着工区間は，富山駅～石動間と金沢～白山総合車両基地(仮称)間で，新倶利伽羅トンネル(6.6km)，明神トンネル(2.9km)など12.4kmのトンネルが建設される．

総事業費は約4,160億円．

解説

トンネル工事のリスク

—Zimmerbergベーストンネルにおける検討と手順—

チューリッヒ工科大学名誉教授 K. K o v a r i
チューリッヒ工科大学工学士 M. B o s s h a r d
訳：ジオ ホロン パートナーズ 近 藤 達 敏

訳者まえがき

本稿は，2003年9月発行のTUNNEL誌(STUVA, Koeln)に掲載されたKovari博士およびBosshard氏のスイス・Zimmerbergベーストンネルの建設に適用された安全性計画をもとにしたリスク管理の基本的な考え方に関する論文の紹介である．

Kovari博士は私が紹介するまでもなく高名なトンネル工学の権威である．2002年末にチューリッヒ工科大学を退官された後，本論文中で述べている安全性計画の手法が彼の開発した現場計測器機とともにイタリア・トリノ市地下鉄あるいはドイツ・ミュンヘン地下鉄の建設工事に適用され成功を収めている．

本論では，次の4つの主題を取り上げている．①リスクや不確実性などの用語の概念を明確にして共通の文脈理解を図ること，②リスクを発生する損害額とその生起確率の積としてグラフ上にわかりやすく表現すること(図-1)，③トンネルのルート全体にわたって考えられるすべての不安と安心要素を書き出し，それらをバイアスなしに評価すること(図-2)，④工事に参画するすべての者に安全性計画の全容を開示して理解を求めることが参加者に対して共通の目標とゴールを明らかにすることとなり，リスクの回避に大きく貢献する，と考えることである．

ここで述べた第4の問題はトンネル工事のみならず企業経営やその他組織行動においても経営上のきわめて重要な鍵となることは良く知られているところである．また，③は予め想定された危険範囲の外側のところに予想もしない危険要素が潜んでいるということを意味するきわめて重要な考え方である．

このようなことから，本論は単なるトンネル工事の実績要約という範疇を遙かに越えて，確率的に予知することのできない非可逆的なトンネル工事のリスクを実態にもとづいて管理する手法へ大きく進展させたものとして，日本のトンネル関係者の方々にも広く知ってもらいたいとの思いからKovari博士などの了解を得て翻訳を行ったものである．翻訳にあたっては重要な文脈についてKovari博士の意図するところを詳細に質疑したうえで原文にこだわらず読者の理解が得られるように加筆することとした．訳文中に理解しがたい点があれば訳者の文責であり，ご容赦をお願いしたい．

最後に，本論文中に挿入される図面の原図ファイルの作成やアレンジなどに関してBasler & Hofmann社・スイスのMartin Bosshard氏および秘書のIris Otterさんには多大なご協力をいただいた，ここに深く深謝の意を表する．

なお，誌面の都合もあり，謝辞や参考文献はすべて省略するなど原文の意を損なわない範囲で圧縮した．興味を感じられた読者には原典を参照されることをお勧め致します．

1 はじめに

近年，トンネル工事は，工事中に高度の安全性が要求されるとともに，技術問題の種類が増加して一層複雑になってきている．そのため，リスクの検討と対策などに関する方法論的手順の確立がますます重要となり，リスク管理，安全システム，安全計画などがかつてないほどの勢いで地下工事に適用されるようになってきている．

本論は問題追求の発端となることを目指す．「リスクと安全性」に関係する用語とその概念を明確にすることがもっとも重要であり，最初に，それらの基本的な意味を明らかにして一般的な形で相互の関係を示す．次に，「安全性計画」のもつ概念について，都市トンネルを対象に詳細に論じる．最後に，Zimmerbergベーストンネルのある工区を事例として，安全性計画の概念を理論的に考察することの妥当性を述べる．

2 用語の基本的概念

「リスクと安全」分野における最大の成果は，それ自身の固有な概念構造に関係する．

重要な技術用語がしばしば異なった意味で用いられたり，類似の意味を持ついくつかの単語が同じ概念を持っていることがあるが，これはそれらの単語が社会的あるいは政治的な意味合いも含め広範囲に用いることから生じるものであり，用語本来の意味を常にチェックする必要がある．

以下には，もっとも重要な基本的概念を取り上げてそれらの相互関係について文脈上の基準で並べて論じることとする．ほとんどの用語は明瞭な出典があるのでその概念をしっかりと展望することと全体的に問題の核心に直接迫ることが可能となった．

2-1 損 害

否定的に評価された出来事あるいは経過の結果をいう．概していえば，何か価値を喪失して，いらだちを覚えるほどの事柄となる．損害は，①人または財産の損害，②支払い費用の増大，③工期の延長，④悪評判がたつ，などに区分される．損害額は個々のケースについてはっきりしているが，通常は詳細な調査結果をまって初めて決まり，まずリスクが発生したことを受け入れることが重要である．

2-2 不確実性

①統計的な変動，②統計で表現できない変動および，③無知の3つの様式で表される．このように不確実性という用語は非常に広い範囲を包含しており，日常会話でも，異なった意味合いをもつ事柄をリスクという言葉でしばしば使っている．例えば，確実と不確実，安全と不安全，確定と不確定，疑いと疑いを持たない，可能と不可能，確からしいと不確からしい，不審と不審でないなどがある．

2-3 確 率

仮定上の正確さ，あるいは実用的な意味での確実さをいい，不確実性と表裏の関係にある．本来の数学的意味でいうと，確率は偶然の事象が生起する可能性を数量的に推定したものである．与えられた条件のなかで，ある事象が生起するかあるいはしないかは偶然である．ある条件下である事象が生起するはずであるとして，この事象が他の事象に対して従属的でなく独立して生起するという場合，これらの事象は同一の確率$W=1/n$を有するという．任意の事象の確率は0と1の間にある．

2-4 リスク

損害がその状況や過程によって生み出す結果の確率をいう．厳密にいえば，リスクRは損害の額Aと生起確率Wの積として定義され，$R=A\times W$と表現される．

したがって，リスクは損害と不確実性という2つの要素からなっているのである．もし何かの事象あるいはその過程に関係する技術現象がある場合それを「技術的リスク」と呼ぶ．これらは企業が被るようないわゆるビジネスリスクとは異なる．「リスクが大きいほど，儲けのチャンスも大きい」という言い方はあるが，人命の安全性を含む技術リスクについては，幸運とか喜ばしい機会のような意味にリスクという言葉を用いるのは不適当である．

2-5 危 険

損害の脅威あるいは損害が生じる過程の状況をいう．明らかに「危険」は「リスク」と関連しあった言葉である．「リスクの危険」，「リスクの脅威」とか「潜在的リスク」などの表現は冗長であり，避けるべき表現である．リスクという言葉そのものに既に損失が起きる可能性を含んでおり，「損失のリスク」という表現も矛盾している．危険とリスクの主な違いは，後者においてのみ数学的な定義が存在することである．

2-6 事 故

特定の状況や対象物に具体的に関連する危険をいう．

2-7 事故対策シナリオ

潜在的な危機状態または構造物にとって次に掲げる「望ましくない事象」の発生の可能性のある事象に対する対策シナリオをいう．

2-8 望ましくない事象

有害な結果や損害に結びつくような事象をいう．この用語は「リスク」または「損害」という言葉を含んでいるが，一義的には物事の経過を意味するものであり，その事象発生の確率あるいはその結果として起こる損害については言及していない．この表現は「リスク」という用語ほどには強いマイナス印象を意味するものでない．

2-9 リスク解析

事象の生起頻度とそれによる変化量に着目した望ましくない事象を特徴づけるための系統的な手順．「事故解析」という言葉の入った別の定義に従うと，リスクの検証および特徴付けを系統的に行う，という意味になる．解析方法はその適用領域によって異なる．

2-10 リスク管理

要求される安全性の目標達成に必要な対策と方法の適用をいう．この用語はしばしばリスク解析，リスクコントロール，安全システムなどと同じ意味に用いられる．

2-11 リスクのタイプ

具体的な評価基準にもとづいたリスクの特性をいう．

2-12 残存リスク

明確な評価基準に従って許容され，かつ受け入れることのできるリスクをいう．記述的な意味では，計画された安全策の施工後に残存しているリスクと理解される．それは許容，誤った予想の可能性および予見できないリスクの可能性などを意味している．定義に従ったリスクを「最小化する」という行動は完全に実行不可能なことであり，リスクの最小化は無意味である．数学的な意味では，リスクはどれも最小化というものがなく，従って結果的にはリスクを成功裏に最小化するということはそのリスクの事柄そのものを完全に消してしまわなければならないことを意味している．

2-13 リスクコントロール

許容されるリスクのレベルまでリスクを軽減すること，あるいはリスクの克服をいう．

上記の技術用語はすべての損失および損害の可能性にその意味を集中している．しかし，逆に「損失や損害を被らないように」という表現法もある．この2つの用い方の間の関係は明瞭に分かれている．多くの場合，リスクと安全性からなる対照的な概念の間には明瞭な二面性すら見ることができる．

2-14 安全性

保護されること，特定のリスクが全くない，または許容される範囲を超えたリスクが存在しないことをいう．したがって，この用語の概念には危険性が含まれている．

2-15 安全性の概念

一連のシステムのリスクを許容範囲に限定する目的で行う行動や用心などの総体をいい，「リスク管理」と強く関連している．

2-16 システム

互いに独立して連結または協働する物事あるいは部分のグループをいう

2-17 安全システム

許容し得るリスクを有するシステムの状態をいい，「リスク管理」という用語と同じ意味で用いられている．

損失，損害，危惧，災害，災害対策シナリオなどの第1類の用語は，リスク解析やリスク管理の中で使われる．保護，安全性，安全性の概念，安全計画，信頼性などの第2類の用語は情報伝達と強い関連がある．恐れ，心配，疑いといった第1類の感じは，保護されている感じ，危惧を感じないなどを伴う第2類の感じとは明らかに異なる．

例えば，「ダムの大惨事」と「ダムの安全性」という表現を例にすれば，前者は心配/疑い，後者は沈静化/確認など全く違った感じを抱かせることとなる．安全性が増すということはリスクが軽減することを意味する．交渉の相手に安全性が増すという立場，あるいはリスクを軽減するという立場のどちらで接するかはそのときの状況により判断する．

3 リスク評価

リスク管理では，「リスク」は入口とみなし，問題の性質によって，質的あるいは量的に評価する．評価は，評価方法いかんに関わらず，①損害額の評価，②損害事象の発生確率，③両方の組み合わせによる影響の3段階で行う．

その組み合わせは，2つの要因の積で表される．特別な場合，事象の発生確率は損害確率とあわせて統計的に，公式$R=A\times W$によって定量化が行われる．リスクの中でトンネルのようなもっとも技術的なケースにおいては，事故などの発生は確率的に推定するとしても，統計学的な変動性基準で特定化することはできない．しばしば，損害額の見積もりが困難となることから，リスク評価は質的な評価に止まるのが普通である．Rに関する個々の要素としてAとWの影響を図-1に示す．相対的損害A/A_{max}を想定すると，この2つの要素は0と1の間の値となる．定義によると，Rの値は図-1の面に垂直に立てられる高さでその量が描かれるが，2つの座標の原点上ではRの値はゼロとなる．直線O～Gは対称軸を表し，座標の原点Oから点Gへ向かってリスクが最大値に増大する方向を示している．

点P (P, P')で表されるリスクが減少するとき

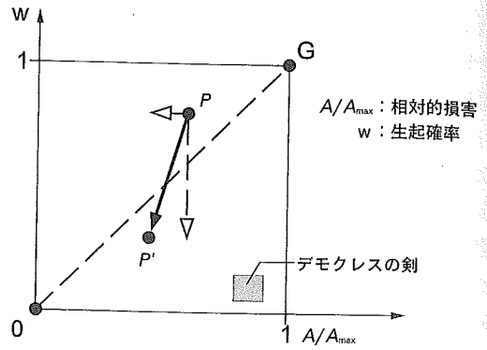


図-1　リスクを構成する二要素

は，それに対応するA/A_{max}とWの始まりの点の値が小さくなることによって達成される．何らかの方法によって，この2つの動きをコントロールし損害の大きさに歯止めをかけたり，あるいは事故発生の確率を下げたりすることとなる．

特別なリスクのケースとして，極端に小さい発生確率で非常に大きい損害額となるものがある．このタイプのリスクは「デモクレスの剣」と呼ばれる(図-1)．しかし，これは発生確率に関してさほど厳密に考えられているわけではなく，実際のところ，このようなタイプのリスクを一律に扱うことはできない．あるものは許容されるべきリスクとして考慮し，また，さらに検討を進め，始めからリスクを排除するための有効な対策を検討することとなる．

結局，リスクには多くのタイプがあり，損害額や事故発生の確率だけでなく，推定の確からしさとか損害の可逆性(例えば，人災など)，重大な遅延(事故と損害発生の間の時間)，さらにリスクのなかには住民問題(住民との係争)も評価のうちに入れておかねばならない．

リスクの確かな存在や技術的知識を得るために，「説明会」が必要となる．説明会は住民が損害に遭遇しないようにという要請からも必要である．もし，リスクが技術的知識で正しく推定され，法的基準にもとづいてリスクを許容する(例えば，説明会で)と決定したのであれば損害が発生しても，このプロジェクトの責任者は過誤を犯したことにはならない．

4 都市トンネルにおける安全性計画

「安全性計画」という用語は数年前にトンネル工事に導入されたが，「リスク解析およびリスク管理のための1つのツール」という認識はあるものの，未だそれが何を意味するか一般に認知されたとはいえない．広義に捉え，事実，仮定，科学知識，施工仕様などを図で表現すると，その取り扱う範囲が見えてくる(図-2)．リスクと安全を願って，発注者，コンサルティング技術者，地質技術者，施工業者，当局，専門家などに対して明確な要約を提供するようにした．このような安全性計画は他に実施例がある．

安全性計画は次の3つの目的を有する．

(1)　好ましくない事象発生の可能性に関する方法論的認識：ここでの実績はとくに重要な役割をもち，リスクが何からなるかを決定するとともに，災害シナリオへの対策を準備することである．これらの背景には，その言葉が示すように，事象の図形的表現および好ましくない結果をもたらすメカニズムなどがある．このような作業の利点は，リスクとして認知されたものだけを排除あるいは低減の対象と考えるのではないことである．

(2)　好ましくない事象のリスク評価(3章参照)

(3)　全体システムで要求される安全性を保持する対策の仕様(許容可能レベルのリスクに限る)：予期せぬ地質的・水理地質的に好ましくない事象がしばしば発生し，本当のリスクになるため，事前地質調査を十分に行い，施工業者は地質技術者の提言に従う必要がある．

(2)および(3)を実施する際は，技術的な知識が重要であるが，理想的で論理的な安全計画の構造は　概念→解析→評価→意志決定　というような流れで形作ることができる．

概して，このような手順はアイデアを図式にくり返し書き加えていくことで可能となる．

4-1 構　造

第1ステップは，境界画定の意味でトンネル縦断の中でリスク解析の距離程をTm_xおよびTm_yなどで定義する(図-2)ことにある．このシステムは全工区あるいはその一部に対して，例えばビル，橋梁基礎または重要な交通路などを通過する部分を境界として画定する．すべての検討は特定の時期，つまり計画時点，施工，地質調査の実施などの時点に対して適用する．明らかに，安全性計画は調査の進展にあわせて常に更新すべきである．なぜなら，時間と距離に依存しているからである．都市トンネルでは地形(丘や谷，川など)，地質，地下水状況，トンネルルートあるいは掘削に近接する地域にかかる既往構造物，調査ボーリング，施工方法(とくに掘削支保)などに関する問題を考慮する必要がある．

都市トンネルにおける好ましくない事象の1つは地表にまで達する崩壊(陥没)であり，もう1つは許容できない沈下とそれによる結果である．

好ましくない事象の引き金となるすべての可能性を検討する必要がある．地表陥没の場合，引き金は，切羽の崩壊が一般的であるが，他に支保の破壊，地下水制御の不十分，予期せぬ悪地質の出現や施工上の過誤などがありうる．

対策としては，好ましくない事象が発生する前にリスクを許容範囲にまで低減するためのリストが必要で，特殊なリスクは低減できるばかりでなく取り除くことさえ可能となる．

「リスク管理」の通常の定義は，観察の方法論的実施，とくに現場計測(モニタリング)を意味する．これらはリスクを低減するための方策であり，安全性計画に含まれている理由でもある．モニタ

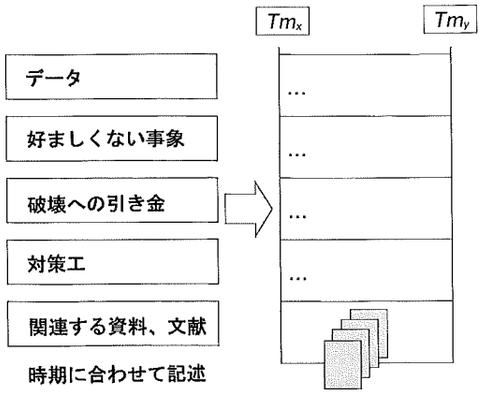


図-2　Zimmerbergベーストンネルにおける安全性計画

リングは，①被害の大きさを制御する，②リスク発生の可能性を制御する，③その両方の制御，を目的とする．このような観察および計測は好ましくない事象が進行しているかどうか(もう既に時間が足りないのかどうか)といったリスク制御の手段として有効である．非常事態における対策の目安や基準(警戒値)は観察や計測をもとに定められるが，例えば，変形問題でいうと事前に警告をだすことのできない(脆性破壊)構造要素では変形計測は破壊リスクの制御には役に立たないことに注意すべきである．

安全性計画の資料(図-2)には数種類が考えられるが，これらの図から付加的な情報が得られ，何かを実施する理由，実施の指示などが得られる．安全問題の複雑さはしばしば目に見える表現では表すことができず，詳細な記述が必要である．このような図は安全性計画が必要な現場に掲示されるべきである．

4-2　施　工

安全性計画は常に特定のプロジェクトに関係して標準的な施工方法や施工規則に従ったものであり，結局，安全とリスクの重要性をどれだけ認識しているかによって安全とリスクの範囲が決まる，ということである．結果として，プロジェクトごとに修正を行い，適切な対策法を決めることとなる．

適切な対策を達成するには，工事に直接関係ない専門家にも参加してもらうことを勧める．彼らは工期やプロジェクトの経済的展望の視野とは異なった視点をもっており，専門家によるリスク解析結果にとらわれない意見をだすことができる．彼らは同じ会社に属しているか，あるいは外部の専門家である．顧問団を結成し，安全問題などに関与させようとすると，工事担当者などが構築する安全性計画に関して批判的になり，かつそれらの仮定の根拠が本当に正しいのかなどといった具合に，正直に疑問を呈してくれる．このように正直に疑問を呈して議論を進めることによって，物事の安全性を高めることが可能となる．というのは，「一般には参加チームの人々は上から提示された物事は常に正しいと考えるものであり，疑問や隠された問題点などに気がつかないものである．そのため，提示された事柄が正しいかどうかの疑問を抱かなくなる」ということがあるからである．

5　Zimmerbergベーストンネル

Zimmerbergベーストンネルの軟弱地盤区間の掘削で遭遇した問題におけるリスク管理研究に関係する問題について紹介するのみとする．

当該区間780m間はLochergut坑門と堆積層(泥

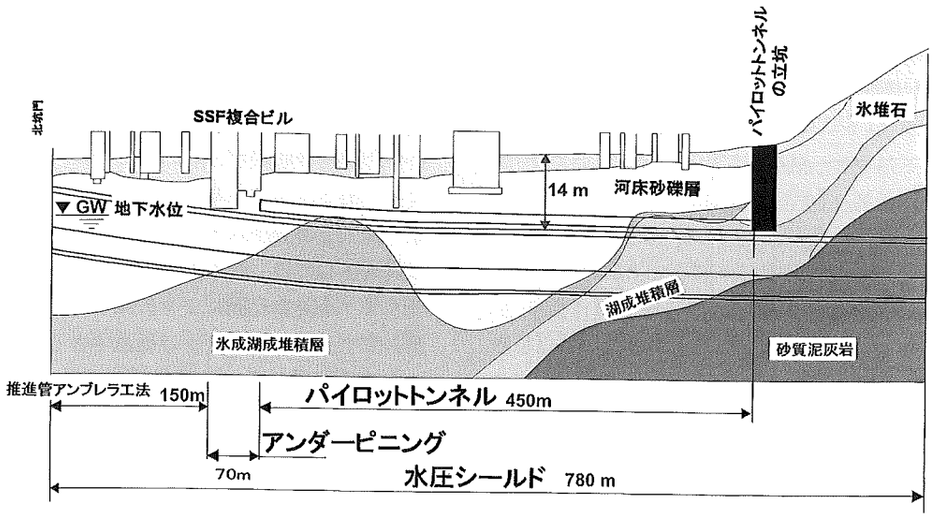


図-3　Zimmerbergベーストンネル軟弱地盤部分の地質縦断面図

岩および砂岩)の間に位置する氷堆石，河床砂礫層と湖成堆積層などの軟弱地盤からなる(図-3)．河床砂礫層には塊状あるいは7 m³もの巨礫が含まれていた．この礫層は高透水係数(k>10^{-3}m/s)を有する一方，湖成堆積層は難透水層であった．氷堆石区間では地下水位がトンネル頂部にありLochergut坑門に向かってトンネル天端－4 mにまで徐々に水位が低下していた．トンネル全体を通じて，既往建築物の下を通過し，高層(SSFビル)の場合，直接トンネルに接し，その最下階の地下駐車場を取り壊す必要があった．

このように，このトンネルプロジェクトには当初から地表にまで破壊が及ぶような非常に高いリスクがあった．このほか，

① 大断面掘削(ϕ＝12.3m)
② トンネルの直径に比して小さい土かぶり(6～15m)
③ 既往ビルディングの基礎に接近している(3～6 m)
④ 地下水中でのトンネル掘削
⑤ 悪い地盤条件
⑥ 既往の掘削現場からのプレストレスアンカーなどの異物に近接したトンネル工事

地表陥没があっても，そこが地表に建物などがない場合，損害は作業域に限られ工期もある程度の遅延ですむので，損害コストも容易に推定することが可能である．しかし，開発された都市地域でこのような陥没が発生すると，その事故が目の前に見えることから住民あるいは道路交通者の恐怖は極端にひどい結果(民衆動員効果)を招くこととなる．結果として，破壊に関する原因のいかんに関わらず，プロジェクトそのものを中止せざるを得なくなっている．幸いにも，Zimmerbergベーストンネルの発注者はプロジェクトの初期段階からリスク管理について大きい関心を持って臨み，各種の異なった掘進工法の比較を行った結果，最終的にスラリーなしのシールド(水圧シールド)を選択することとなった．

当該区間の直上にビル街のある都市部では，多くの実績のある試験施工も実施できず，多くの要因について十分な情報を得られないなかで，地表陥没の発生を避けるための手段が必要であった．それにはTBMが岩盤部から当該軟弱地盤部へ入る箇所で，①掘削開始当初には道路の重要性が低いこと，②比較的に大きい土かぶり(15m)であること，③氷堆石の単位体積重量が大きいこと，といった好条件が必要であった．

図-4に水圧シールドの支保機構を示す．掘削土を排除している間，切羽は常にスラリーによって支保されている．連続的に形成されているフィルターケーキによって，スラリーは地盤に浸透しない．このことを一般には「皮膜が形成されている」という．スラリーの圧力はエアクッション圧によって制御される．安定解析によると，TBM操作と時間要素(とくに，TBM停止時)に関係する圧力変動($p+\Delta p$)の値に注意する必要がある．

TBMの掘進作業中は，スラリーはチェンバに完全に充填されており，外側の水圧はスラリーによって抑えられている．粘着力が小さい土の場合，切羽の安定を保つために，エアクッション圧を付加することが必要となる．チェンバで人が作業するときのように，スラリーが部分的にあるいは完全に低下するような状況では全く異なったものとなる．このような場合，天端におけるエアクッション圧は当然高くなる．

スラリーがほんの少しでも減少すると切羽の崩壊を招く．掘削作業あるいはチェンバ内での作業の間，皮膜効果が失われたり，スラリーが地盤中に浸透して支保作用を失うと平衡関係がなくなる．このような事態は，予期せぬ高透水係数の土に遭遇したり，スラリー濃度が不適合となるときに起こる．パイプや下水道などの予期せぬ異物に遭遇

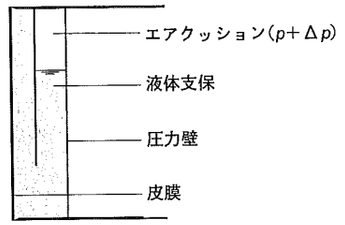


図-4　水圧シールドの支保機構

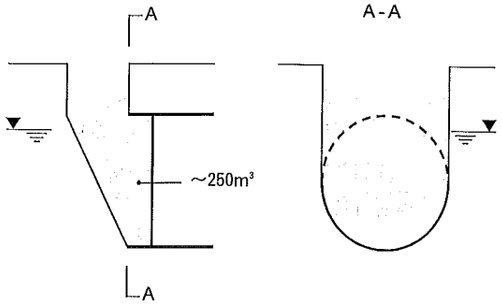


図-5 切羽崩壊により作業チェンバが崩壊土砂で充満し，地盤崩壊が進行している状況

すると，スラリーが大量に流出する．

水圧シールドの使用時に生じる地表陥没について推定するとき，チェンバに流れ込む材料の量(土とスラリーの混合)を閉じたロックゲートで与えられる作業空間の容積以内に限定することが必要である．Zimmerbergベーストンネルの場合には，この容積はほぼ250m³であった(図-5)．もしも，作業切羽の崩壊が生じると，スラリーは比重が軽いので崩壊した土を通って上方へ移動する．

5-1 対策工法

河床砂礫層の場合，きわめて高い透水係数の部分が存在するため，スラリー支保の信頼性に疑問があった．そのため，Lochergut坑門からSSFビルまでの140m区間に長尺パイプによるアンブレラ工法を採用した．さらに，Kollerwiese立坑から延長470mに及ぶ補助トンネルを本トンネルと平行して掘削した(図-6)．この補助トンネルは本トンネルの上部にグラウト工を連続的に施工することを主目的とする．場所によっては，グラウト工の範囲を拡大して「基地」を作ることによって，カッタヘッドの維持補修を実施することが可能となった．本トンネルのカッタヘッドの維持補修に，補助トンネルを用いることは補助トンネル施工の第2の目的であった．

5-2 グラウト工

グラウト工の主たる目的は，切羽の崩壊による空洞の拡大を防ぎ地表陥没を招かないようにすることにある．そのため，グラウト範囲の形状と寸法(図-7)を検討し，グラウト液の種類や土の単位体積に対するグラウト液の容積などを決定し，さらにボーリング孔のグリッド間隔とボーリング孔内での個々のグラウトの深度間隔などを決定した．

5-3 スラリー支保

チューリッヒ地区の高透水性の河床砂礫層に施工された別種の水圧シールドプロジェクトで混合スラリーが成功したことから，これと同じものを用いることとした．この混合スラリーは粘性の高いもので，1 m³に対して，ベントナイト40kg/m³，砂100kg/m³，ポリマー0.5kg/m³およびVermex 20kg/m³を混合した．Vermexは膨張バーミキュライトの商品名で，アルミニウム・鉄・マグネシウム・珪酸からなり，雲母鉱物のグループに属している．Vermexの有する高間隙率によって，その単位体積重量は8～9 kN/m³でしかない．ポリマー材と砂に混合したVermexにより河床砂礫層で地表付近の大空隙を充填することができた．この混合スラリーのせん断強度(粘性)は工学的経験にもとづいて決められた．室内実験(支保圧力試験)では，標準実験土を用いた特殊な懸濁スラリーが暴発する最大の空気圧を知ることができた．しかしながら，このようなスラリーは実際作業(運搬，弁別)では非常に不便であるので，最終的には例外的な状況にのみ用いた．このため，通常のグラウト効果に期待する必要があった．

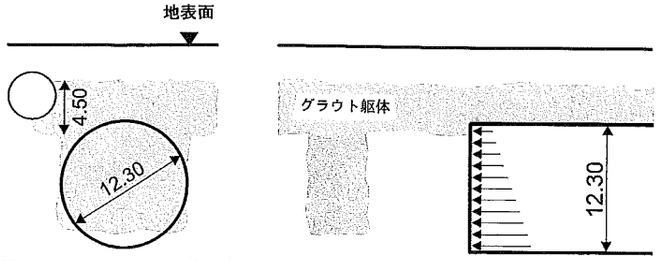


図-6 特殊スラリー混合と連続的なグラウト躯体を行うことにより地表面陥没を防ぐ

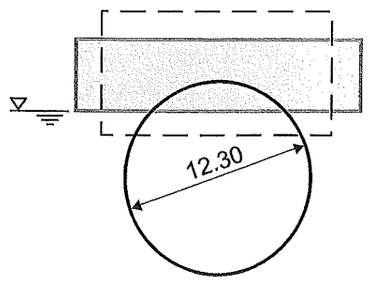


図-7 グラウト躯体の形状と寸法

基本的な検討は，一方では切羽の崩壊を防ぐために設定され，他方では高透水係数の土に対応するスラリー懸濁液を設定したが，なお地表陥没を引き起こすようなリスクがいくらか残っていた．グラウト部分の局部的な破壊やスラリーの支保力を失う確率は常に小さくコントロールされ，これら2つの危険要素はほとんど生じないものと判断された．図-8には，これらの問題に対する一連の考え方を示している．

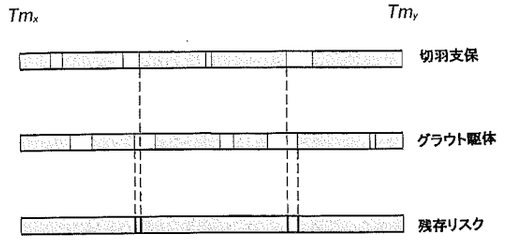


図-8 切羽支持とグラウト躯体の2つでもなお地表陥没の残存リスクが考えられる箇所

切羽に異なった地層が上下で出現するような場合には，グラウト躯体の破壊が発生しやすい(図-9)．通常，河床砂礫層は湖成堆積層の上位に堆積している．その結果，切羽の支保効果に関しては，好ましいこととなった．もしも，両地層が上下反対に堆積しているとしたら，土かぶりが小さいので，地表でのクラックや隆起の発生が生じることから，グラウトによるカバーは効果の少ないものとなったであろう．

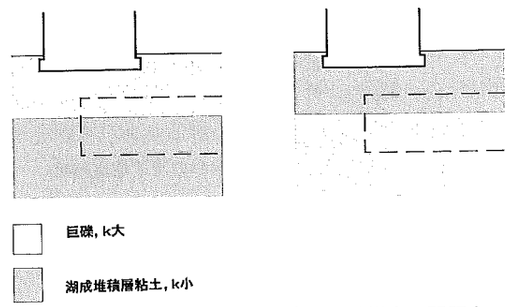


図-9 相異なる地層が切羽に出現する場合の問題点

ここで，地表に達する破壊へのリスク管理の問題に立ち返ることとする．図-10において，個々のリスクを低減するためのステップを模式的に示した．スタートはE_0にあり，切羽の崩壊を表している．この破壊は地表陥没への引き金となることから，両方の事象は同じ発生確率を有すると見なされる．地表陥没にいたる破壊は著しい損害をもたらすことから，図中のT_0で表される．改良した混合スラリーを選択するとどうなるか？それは切羽の破壊確率を低減し，点E_0から垂直に点E_1へ移動する．そこで，点T_0も同様に下へ移動して点T_1へ移る．グラウト工を連続して施工すると，地表陥没を生じさせる切羽での破壊確率は低減し，点T_2(デモクレスの剣)に至る．許容されるリスクの実現には，道路を閉鎖し，いくつかのビルにはトンネルがその下方を通過するまで待避してもらうこととなる．これに対応する点T_3に，残存リスクを読みとることができる．

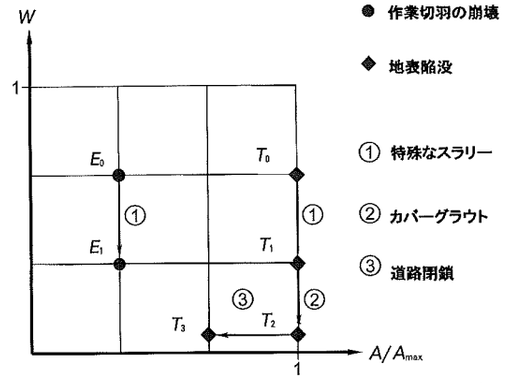


図-10 地表陥没のリスクを許容範囲に低減するための考え方

ここで説明したことはZimmerbergベーストンネルで遭遇した問題の概略を述べたに過ぎない．そのうちの1つに，グラウト工を連続的に行うことで，切羽の破壊リスクの低減がある程度可能となったことがある．他方では，大規模なモニタリングプログラム(リスク制御)によって地表陥没にいたる破壊発生の全容を早期に知ることで損害の軽減に貢献した．

6 施 工 実 績

地層が岩盤から湖成堆積層に移る漸移帯では，

Herrenknecht TBMにより水だけを使用して切羽支保を行い掘削した．この場合，チェンバの容積の半分ほどが圧縮空気で充満していた．天端の上2mのところに湖成堆積層があり，そこから完全なスラリー工法を採用した．水面下の壁面の粘性効果とスラリーと掘削ずりを吸い上げるパイプが閉塞することが，岩盤部から湖成堆積層に移るときに生じた問題であった．そのため掘削チェンバを2～3リングごとに水で洗浄することとした．河床砂礫層に対しては粘性の高い混合液を使用し，そのために特別の分離プラントを設置した．TBMの進行速度は液の分離に依存し，6時間の掘進に対して12時間の分離作業を必要とした．

そのため，粘性スラリー，とくにバーミキュライト(蛭石)を含む粘性スラリーを余り使わないこととし，チェンバフィルタープレスの方法の代わりに遠心分離器による分離に切り替えた．湖成堆積層の中の巨礫に遭遇すると，ディスクで破砕できないために，TBMは進行を止めなければならなかった．実際のところ，この問題は巨礫そのものというよりはむしろ巨礫と巨礫の間を埋める基質が少なく空隙が多かったことによるものであった．そこで，パイロットトンネルからの安定化グラウト工を行うことが決定された．湖成堆積層の残り50m区間に関しては，グラウトボーリングのグリッド間隔を1.5mとし，この工法は5週間継続した．結果として，巨礫の基質に土が充満しているときはカッティングディスクによる巨礫の切削は問題なく行われた．TBMが停止している間に切羽前方のグラウトカバーを完全に作ることができてブリッジ機能を果たした．

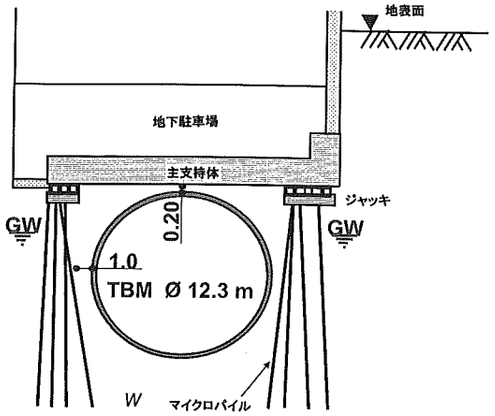


図-11 SSFビル群の地下駐車場にトンネルを掘削するためのアンダーピニング

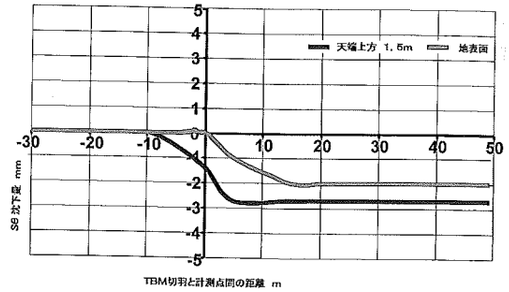


図-12 地表とトンネル天端での沈下観測結果

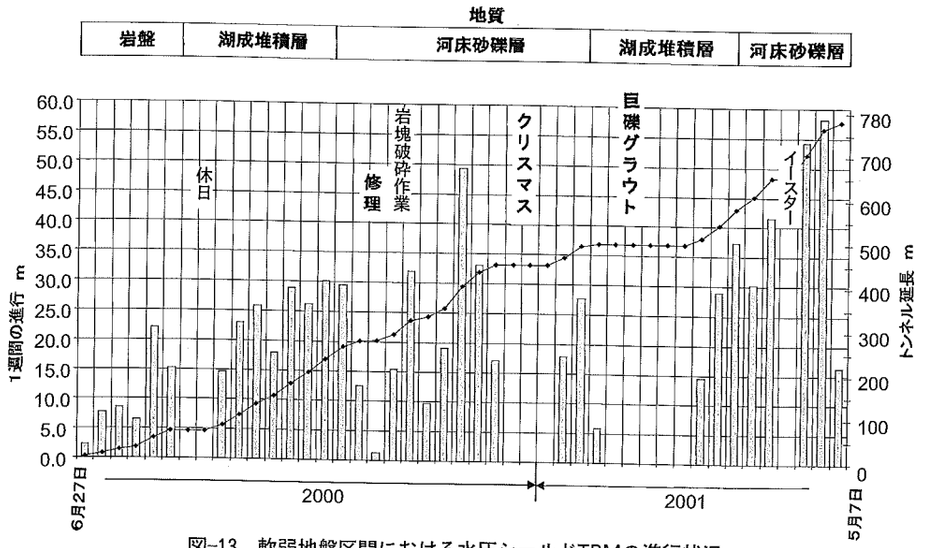


図-13 軟弱地盤区間における水圧シールドTBMの進行状況

SSFビル(図-11)の下も河床砂礫層であった．ビルのアンダーピニングと並行して施工したグラウト工のお陰で，通常のスラリーで十分であった．特別に配慮を行ったのは，支保圧は最大0.2bar(天端での測定結果)が限界であったことで，このことはビルと支保構造はグラウト圧による浮き上がり荷重を受けていなかったことを意味している．

地表面沈下およびSSFビルへの影響は観測結果によると，1～2㎜(図-12)で，これらはトンネル天端上方に連続的なグラウト工を行ったことと，TBM掘進が順調に進んだことによるものである．

図-13は未固結地層におけるTBMの進行速度を示したもので，岩盤と湖成堆積層の箇所では1週間に7～30mの進行であったが，河床砂礫層でのジャッキ推進管アンブレラ工法を採用した箇所では1週間に60mの進行となった．当初計画におけるグラウト基地での不稼働期間，当初計画にない岩塊破砕による修理作業および巨礫などによる不稼働作業期間を同図にみることができる．

TBM掘進は2001年5月7日に成功裏に終了した．

7 結　　論

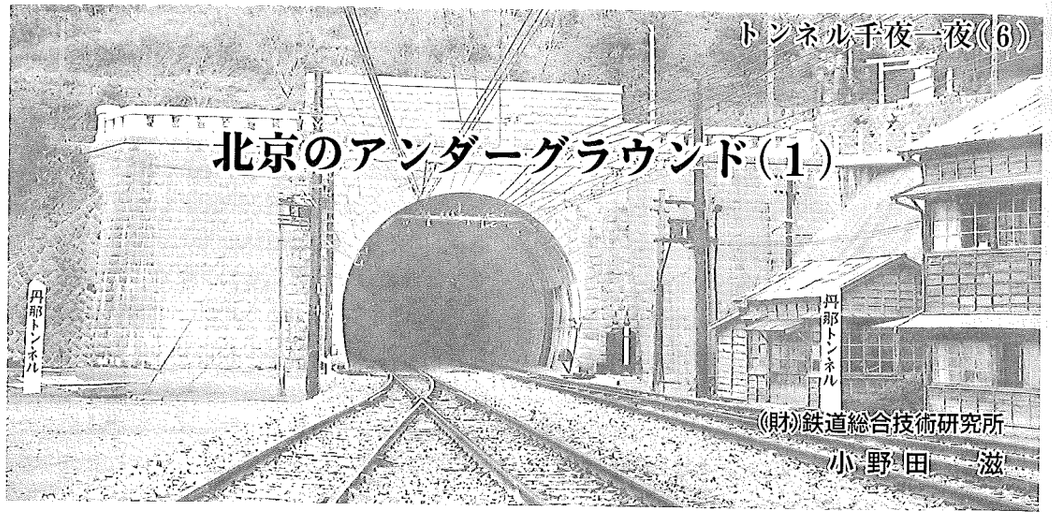
「リスクと安全」は技術全体を包括する主題であり，この10年間で発展し，それ自体独立したテーマとなってきている．その概念的構造および方法論を用いて，リスクを合理的に回避できるようになってきている．トンネル工事，とくに都市トンネルの工事では，この問題の基本的な原理がより所となり得るであろう．例えば，安全計画を採用することによって工事を成功に導くことができることが証明された．地盤条件，既往建物の基礎形式，既往のアンカーや埋設物などの異物，トンネル掘進技術の知識経験などへの認識や視覚化ばかりでなく施工手順の定式化と情報の共有化を行うことで，チーム間の透明性を高め，さらに異なった分野からなる専門家達が協働するようになるのである．Zimmerbergベーストンネルの軟弱地盤区間での施工実績において，都市トンネルの安全性計画の有効性が証明された．

『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)



■北京の九壇

明，清の時代から続く中国の首都・北京には，歴代の皇帝が自然の神を祀るために設けた９か所の祭壇がある．社稷壇(土地の神と五穀)，祈穀壇(穀物)，天壇(天)，地壇(大地)，月壇(月およびすべての星々)，日壇(太陽)，先農壇(農業と医薬)，太歳壇(正月)，先蚕壇(養蚕) の九壇がそれで，中でも故宮を中心に，東西南北に配置された日壇(東)，月壇(西)，天壇(南)，地壇(北)は，日壇が春分，月壇が秋分，天壇が冬至，地壇が夏至を祭祀日としており，方角や季節とも関わりが深い存在である(**図-1**)．このうち，天壇(そのシンボルである円形の祈穀壇を含む)は，世界遺産に指定されており，北京有数の観光地としてガイドブックには必ず登場するが，そのほかはあまり知られておらず，今では都市内のごくありふれた公園として，市民の憩いの場となっている．そのひとつの月壇公園の地下に，非常時に備えた地下壕が存在するのである．

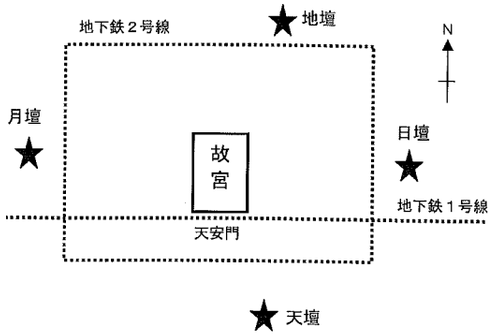


図-1　天壇，地壇，日壇，月壇の配置

■北京の地下壕に潜入する

「地下壕に潜入」と言っても，厳しい警備の目をかいくぐって侵入したわけではなく，当局の特別な配慮によって見学してきたわけでもない．誰にとがめられることもなく，白昼堂々，ひとりで訪ねてきたのである．

実は，この月壇公園の地下壕は，現在，天外天市場と称するショッピングセンターとして利用されており，エスカレータで地下(おそらく深さ十数m程度？)へ導かれると，そこには女性向けのアパレルやアクセサリー関係のショップが所狭ましとひしめきあっているのである．そのにぎわいぶりはさながら北京の竹下通りといった雰囲気で，当然のことながら売り場は若い女性客ばかりなので「ちょっと場違いな所にきてしまったかな」というのが第一印象である．

しかし，日本トンネル技術協会の会員が，こんなことで怯んでいてはならない．冷静に観察すると，この空間が，地下壕独特の構造で造られていることに気がつく．地下壕の形態は，いわゆる平行肋骨式と呼ばれる平面形態で構成されているよ

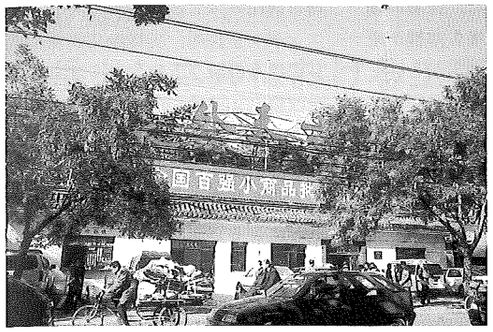


写真-1　天外天市場の入口



写真-2　天外天市場の内部

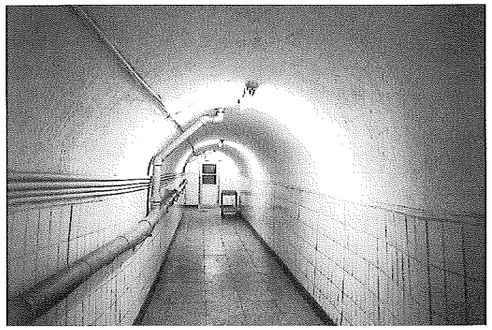


写真-3　奥の部屋へ通じる通路

うで，縦横数本の馬蹄形トンネルを碁盤目のように配置している．

商店は，この狭い空間の壁面に張り付くようにして配置されており，ひとつの店の幅もせいぜい数m程度の小規模な個人商店ばかりである(**写真-1, 2**)．また，商業スペース以外にもいくつかの狭い通路が伸びており，その奥にも部屋がある(**写真-3**)．

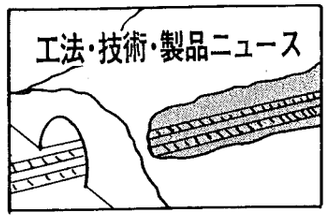
■天外天市場の成立

天外天市場は，もともと「月壇公園人防工程」(「人防」は「人民防空」，「工程」は「工事」の意)として1976年に着工，1978年に完成したもので，地下射撃場，指揮所，防空壕の約4,000m²から構成されている．施工法は開削工法で，アーチの高さは2.5～３m，７か所に出入口があり，通風器，配電室，ポンプ室，トイレなどが備えられた．その後，北京市西城区人民防空弁公室により，400万元(約6,000万円)を投じて一般向けの商業施設に整備されることとなり，1990年10月１日にオープンした．当初は服飾，家具，雑貨店などが200店舗ほど軒を連ねていたが，経営は奮わなかったため，中国全土や諸外国から商品を集めたところ急速に売り上げを伸ばし，500店舗に増加した．

さらに1994～1996年にかけて物資庫に相当する部分の二期工事が行われ，4,000万元(約６億円)をかけて4,338m²を拡張した．拡張部分は，幅５mのアーチが縦７m間隔の柱によって５径間連続し，長さは117m，高さ３mというもので，出入口は３か所(うち２か所は戦時に封印)，旧防空壕との間に３か所の連絡口が設けられた．また，エスカレータ２基，エレベータ１基，空調装置が設置されたほか，煙感知器，消火栓，スプリンクラーなどの防火設備も強化された．天外天市場の1991～1999年の間の売上高は28.5億元(約430億円)にのぼり，北京における「大型現代化地下商場之一」と称されるまでになった．

天外天市場の入口には，江沢民による「平戦結合，為民造福」(平和と戦争(のインフラ)を結合し，人民のための幸福を創造する)の言葉が掲げられ，この市場の性格をよく表している．実は，北京市内にはこの趣旨にそって「地下商城」(地下商店街)や「地下旅館」，「地下餐庁」(地下レストラン)，「地下医療所」などに利用されている地下壕が多数存在し，独特の地下空間を形成しているのである．

(つづく)



耐火セグメント実用化にめど

清水建設は，熱で溶融・消失するポリアセタール製の合成樹脂を混入し，火災時のコンクリート爆裂を抑制する「シールドトンネル用耐火セグメント」の実用化にめどをつけた．

実証実験で，優れた耐火性能と実用性を確認．あわせて火災を受けた後の補修方法も確立した．同セグメントを活用することで，耐火パネル被覆による一般的な耐火対策に比べ，大幅なコスト削減と工期短縮が可能．

共同溝にシャークビット工法

五洋建設はJFEエンジニアリングと共同開発したカッタビット交換技術「シャークビット工法」を中国地方整備局発注の岡山西２工区第４工事に初適用する．

同工法は新しいビットを内部から１個ずつ内周中心部からカッタスポークに押し込み，摩擦した外周部のビットを地山側に押し出す．交換時間は１個あたり約20分．そのため立坑築造や地盤改良が不要になりコスト低減や工期短縮につながる．

測量作業を効率化

ライカジオシステムズは，GPS受信機とトータルステーションを完全合体させた測量システム「スマートステーション」発売した．

同製品は，GPS受信機と距離と角度を測定するトータルステーションを一つのシステムとして画面表示や操作，ソフトウエアなどを共通化した「X－Function」のコンセプトを推し進めた新しい測量システム．観測条件に左右されずに，任意の場所に機器を設置し，機械点座標が求められるうえ，国家基準点からのトラバース作業も不要となる．同社によると，機器を設置し，機械点座標が求めるまでの時間が，従来比で50～80%削減できる．

全地質で長距離対応

飛島建設は，三菱重工業と共同開発したシールド・ローラーカッタ交換システム「トレール工法」の作動確認試験を公開した．

同工法は，カッタ中央部に設けた交換室にローラーカッタを引き込み，シールド内から安全に交換できる仕組み．従来方式では，砂礫径が300㎜以下に限られていたが，最大径600㎜の砂礫地盤にも対応でき地質に応じて異種ビットの交換が容易にできる．また，ローラーカッタの交換も人力による場合，半月～１か月かかっていたのが，同システムでは１週間程度に短縮可能．

中型電動ブレーカ

日本ヒルティは，クラス最高のハツリ能力と長時間の作業における疲労軽減のための反動半減システム（AVR）を搭載した電動ハツリ機TE 706-AVRを発売した．

特長として，①クラス最高の1,200Wのパワフルモータを搭載し，１回あたりの打撃力も10Jまで向上，②AVR機能により反動を50%カット，③ブラシレスモータ採用により耐久性大幅に向上，④左右対称バランス設計のため，いかなる作業方向への施工性も快適に行える．

22tアーティキュレートダンプをモデルチェンジ

新キャタピラ三菱は，３軸６輪タイプのトンネル作業用アーティキュレートダンプトラックM26Cを発売した．

今回のモデルチェンジは，国土交通省排出ガス２次規制をクリアしたエンジンを採用，黒煙浄化装置により黒煙も低減．トランスミッションを改良し加速性が向上し，電子制御によりシフト時のショックやタイムラグを削減し優れた走行性能を実現．ベッセル強度をアップし大塊の積み込みによるベッセル前面の変形を防止．作業への信頼性と耐久性が向上．



ワイドフォーマットスキャナ

Contexは，A0サイズに対応したモノクロ専用モデルのワイドフォーマットスキャナ「HAWK-EYE Mx36」の販売を開始した．

同シリーズの特徴を継承し，更にはネットワーク，インターネット環境におけるデバイスの共有化を可能にした．市場で求められるIT化推進に貢献することが可能なデジタルツーツとして広く活用できる．

楕円形複合シールド工法

佐藤工業は，地下鉄などの渡り線区間から一般線路への断面変更部に対して円形断面を組み合わせた楕円形複合シールドを用いて施工することにより，施工深度を浅くできる経済的な構築技術として「マルチ・コムスシリーズⅡ」を開発した．

同工法は，経済的なトンネル断面を提供でき，地中でシールドを発進させられるため，立坑を新たに構築する必要がなく，矩形シールドと比べ全体で約２割以上の工事費の低減が可能．また，交通量の多い幹線道路上の占用作業帯の範囲を少なくすることができ，施工中の交通障害や騒音・振動といった周辺環境を大幅に改善できる．

連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(20)

補助工法(１)—切羽安定対策—

「山岳トンネルにおける工事用機械の選定」連載講座小委員会

1. 概　　要

山岳トンネルにおいて，補助工法は安全で経済的な施工を行うために大変重要な位置づけにある．また，近年技術開発も進み多様な補助工法が開発されている．

ここでは，補助工法のうち切羽安定対策の施工機械の選定について述べる．

2. 工 法 概 要

補助工法は，その目的に応じて切羽安定対策，湧水対策，地表面沈下対策，近接構造物対策に分類される（**表-1**参照）．補助工法の採用にあたっては，安全性・効果・経済性を総合的に判断し，現場に適した工法を採用する．

本章では，表-1のうち，「先受け工」，「鏡面脚部の補強」における各工法と施工機械について概説する．

2-1　先受け工

2-1-1　フォアポーリング

フォアポーリングは，掘削に先立ちアーチ天端部分に５m程度以下の長さのボルトなどを打設することにより，天端の見かけのせん断強度の増大，前方地山の緩み防止などを期待する工法である．対象地山の状態によって，セメントミルクやモルタルを充填する方法やセメントミルクやウレタン系注入材を注入する方法がある．

フォアポーリングの打設は，ロックボルト打設と同様に油圧削岩機を用いる．小断面トンネルの場合にはレッグドリルを用いることもある．

表-1　補助工法の分類表[1)]

工法		目的						対象地山			摘要
		施工の安全性確保				周辺環境の保全					
		切羽安定対策			湧水対策	地表面沈下対策	近接構造物対策	硬岩	軟岩	土砂	
		天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定							
先受け工	フォアポーリング（非充填・充填式・注入式）	◎	○				○	○	◎	◎	
	パイプルーフ	○	○			◎	○		○	○	*
	水平ジェットグラウト（噴射攪拌）	○	○			○	○			○	*
	長尺鋼管フォアパイリング（充填式，注入式）	○	○			○	○		○	○	*
	プレライニング	○	○			○	○		○	○	*
鏡面脚部の補強	鏡吹付けコンクリート		◎					○	◎	◎	
	鏡止めボルト		◎					○	○	○	
	仮インバート			○		○			○	○	
	脚部補強ボルト〔パイル〕			○		○			○	○	〔*〕
湧水対策・地山補強	水抜き杭	○	○		◎			○	○	○	*
	水抜きボーリング	○	○		◎			◎	◎	◎	*
	ディープウェル	○	○		○					○	*
	ウェルポイント	○	○		○					○	*
	注入	○	○	○	◎	○	◎	○	○	○	*
	垂直縫い地	○	○			○		○	○	○	*
	遮断壁				○	○	◎			○	*

注）◎：比較的よく用いられる工法，○：場合によって用いられる工法，＊：通常のトンネル施工機械設備・材料で対処が困難な対策または，施工サイクルへの影響の大きい対策

※囲みは，今回説明する項目

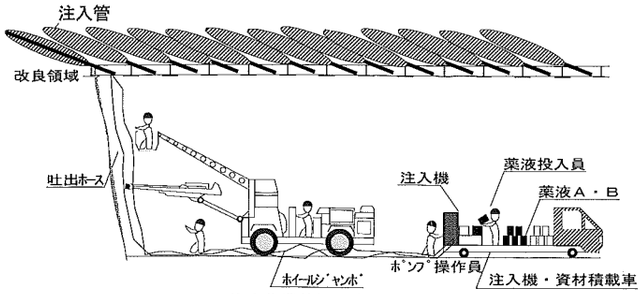


図-1　注入作業状況図(ウレタン系注入材)

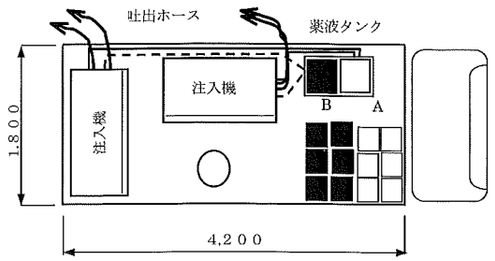


図-2　2tトラックに配置した例

モルタル充填には，ロックボルト用のモルタル注入機を使用する．注入機は2tトラックに上載させて坑内移動を行う．ウレタン系注入材を注入する場合も2tトラックの台車に注入ユニットを掲載して移動を行う(**図-1, 2**参照)．

2-1-2　パイプルーフ工法

パイプルーフ工法は，トンネル外周に沿って水平ボーリングを行いながら鋼管パイプを打設した後，セメントミルクなどによりパイプ内外を充填する工法である．本工法は，パイプの剛性により周辺地山を補強することによって切羽の安定を確保し，地表面沈下を抑制するものである．

パイプルーフ工法は，「オーガー方式」と「泥水・泥土圧方式」に分類することができる．対象となる土質によるが，打設する鋼管の延長が長距離になると泥水・泥土圧方式を採用することが多い．

打設する鋼管径によって，使用する機械の能力・仮設備規模が異なり，使用機械の選定は鋼管径によるところが大きい．一例として**表-2**にTHパイプルーフ工法における使用機械と適用管径・挿入長の一覧を示す．また，パイプルーフ工法においては，足場や反力受けを設置しなければならず，坑口前にある程度の敷地面積が必要となる．

表-2　THパイプルーフ工法の使用機械と適用管径・挿入長

使用機械	推進方式	適用管径(mm)	挿入長(m)	上段：機体寸法(L×W×H) 中段：機体重量 下段：所用動力
TH-100	オーガ	200～400	30～40	2,215×970×1,730mm 2,450kg 油圧ユニット30kW
	オーガ(セクション付き)			
	ダウンザホール			
TH-200	オーガ	350～1,000	50～100	5,735×2,024×1,700mm 8,050kg 推進機15kW 油圧ユニット15kW
	オーガ(セクション付き)	350～600	50～70	
	ダウンザホール	350～600	50～100	
TH-300	オーガ	350～1,000	50～100	6,095×2,150×1,730mm 15,800kg 推進機15kW 油圧ユニット30kW
	オーガ(セクション付き)	350～1,000	50～100	
	ダウンザホール	350～600	50～100	

表-3　アンブレラ工法の分類[2]

区分	形態	工法	先受け長さ	施工機械・特徴など
鋼管系	噴射改良体	トレヴィジェット工法	10～40m	専用機
		MJS-P工法	50～80m	専用機，坑口からのみ
	注入改良体	AGF工法	10～15m	油圧ジャンボ
		トレヴィチューブ工法	10～15m	専用機
		ロディンチューブ	10～15m	〃
	単体	パイプルーフ工法	20m以上	ボーリング機
非鋼管系	噴射改良体	MJS工法	50～80m	専用機，坑口からのみ
		RJFP工法	10～15m	〃

水平ジェットグラウト工法では，専用機械により10～15mの深度まで穿孔し，ロッドを所定の速度で回転させて引き抜きながらロッド先端から硬化剤を超高圧ポンプで高圧噴射し，均一な円柱状の改良体を造成する．この改良体をトンネル外周に沿って必要本数造成することによって切羽前方にアーチシェル状の改良範囲を形成し，地山の緩みを抑えて地表面沈下を抑制することができる．

表-3のアンブレラ工法の分類によると，噴射改良体を形成する水平ジェットグラウト工法には鋼管系と非鋼管系がある．鋼管系は，改良体内に鋼管を設置することによって，改良体の縦断方向の剛性をさらに高める工法である．

(1)　MJS工法

MJS(Metro Jet System)工法で使用する機械は，地質，削孔深度，削孔方向(鉛直，斜め，水平)によって選定する．MJS専用マシンを所定の位置に据え付けるためには，足場が必要であり，マシンの移動はクレーンによって行う．MJS専用マシンの仕様を**表-4**に，MJS専用マシンを**写真-1**に示す．

表-4　MJS使用機械[3]

	専用マシン1	専用マシン2	専用マシン3	専用マシン4
	MJS-H300	IS-40(MJS)		SHV-65
削孔方向	水平	鉛直	水平	水平・鉛直
スピンドル内径(mm)	175～145	145		145
マシン本体寸法(mm)(L×W×H)	7,700×1980×1,400	2,350×1,850×2,400	2,960×1,100×1160	3,520×2,020×1,400
マシン本体重量(kg)	9,300	3,100	1,500	3,600
油圧ユニット重量(kg)	1,550	—		1,100
モータ出力(kW)	67	30		49

(参考文献3)に一部加筆・修正)

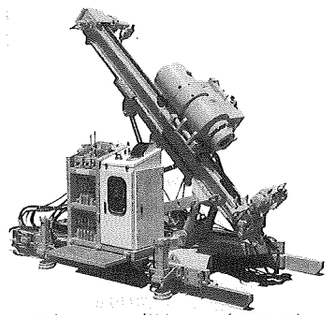


写真-1　MJS専用マシン(SHV-65)

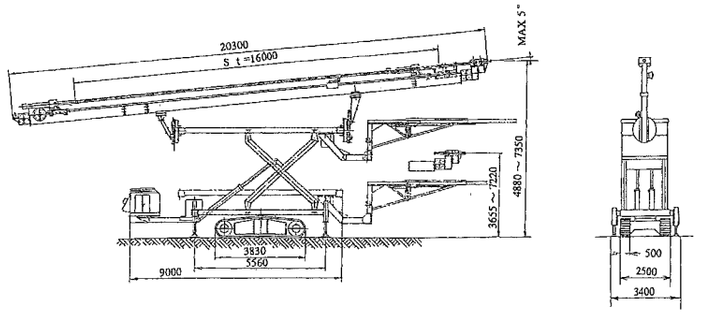


図-3　SR-510概要図[4]

表-5　RJFP工法専用機械の仕様[4]

型式		SR-510	SR-12
主要寸法			
全装重量		38t	12t
全長(マスト長)		20,300mm	13,030mm
全幅(作業時)		3,400mm	2,050mm
全幅(輸送時)		2,500mm	2,050mm
作業範囲			
マスト傾斜時の施工角度	7°		3,410～4,130mm
	5°	4,880～7,350mm	
	0°	3,655～7,220mm	1,785～2,085mm
動力			
ディーゼルエンジン		90/2,000HP/rpm	
電動モーター		75/1,450kW/rpm	30/1,450kW/rpm
走行性能			
登坂角度		17%	15%
平均接地圧		1.26kgf/cm²	0.8kgf/cm²
トラックシュー幅		500mm	400mm
セントライザー			
型式		油圧シリンダー式 φ60～140mm	油圧シリンダー式 φ60～140mm
最大ネジ切トルク		3,000kgf-m	3,000kgf-m
最大フィードストローク		16,000mm	10,350mm
トップハンマー			(ロータリー式)
回転数		0～80rpm 28～118rpm	350rpm
回転トルク		350～700kgf-m	668kgf-m
打撃力		37～50kgf-m	

(2)　RJFP工法

RJFP(ロディンジェットファアパイル)工法で使用される機械の仕様一覧を**表-5**に示す．一般的にはSR-510を使用することが多く，2車線道路トンネル断面においては，2台並列に配置して適用できる．また，導坑あるいは水路などの小断面トンネルにおいては，比較的小さなSR-12を適用する．専用機械の種別によって打設範囲が異なることから，トンネルの断面の大きさによって専用機械を選定することとなる．なお，RJFP工法で使用される機械は，ロディンチューブ工法でも使用される．

図-3にSR-510の概要図を示す．

(3)　トレヴィジェット工法

トレヴィジェット工法で使用する専用機械には，一般的な2車線道路トンネル断面に適したSM-505DT-SR，3車線などの大断面への適応が可能なSM-605DT，および立坑内など施工ヤードが限られた場合，または大断面においては2台を配置して適用できる比較的小さなSM-505T-SRJがある(**表-6**参照)．適用可能な打設範囲は専用機械によって限られていることから，対応するトンネル断面の大きさによって，機械の選定を行う．**図-4**にSM505DT-SRの概要図を示す．

2-1-4　長尺鋼管フォアパイリング工法

長尺鋼管フォアパイリング工法において，施工機械の観点から区分すると，汎用の油圧削岩機を使用するAGF(All Ground Fasten)工法と専用の削孔機械を使用するトレヴィチューブ工法，ロディンチューブ工法が

表-6　トレヴィジェット工法専用機械の仕様[5]

型　　式	SM-505DT-SR	SM-605DT	SM-505T-SRJ
主要寸法			
全装備重量	67t	118t	32t
全長(ガイドセル長さ)	18,040mm	20,100mm	12,325mm
全幅(作業時)	5,000mm	5,200mm	2,500～4,800mm
全幅(輸送時)	2,500mm	2,900mm	2,500mm
作業範囲			
ドリルガイドブーム(5°傾斜時)	R4,700～6,400mm	R5,000～7,000mm	R4,500～6,000mm
ドリルガイドブーム(0°傾斜時)	R4,200～5,200mm	R3,600～6,600mm	R4,200～5,200mm
回転軸位置	G.Lより1,000～2,000	G.Lより1,000～3,500	G.Lより1,000～2,500
動　　力			
ディーゼルエンジン	100.6 PS×2/2,100rpm	212 PS/1,500rpm(走行時)	169 PS/2,100rpm
電動モータ		92kW×2(50Hz)	
走行性能			
登坂角度	12%	30%	16%
平均接地圧	1.13kgf/cm²	1.67kgf/cm²	0.78kgf/cm²
トラックシュー幅	700mm	800mm	400mm
セントラライザー			
型　　式	油圧シリンダー調整ネジキット付き　φ55～200mm		
ネジ切りトルク	1,200kgf-m		
最大フィード力	7,140kgf-m		
フィードストローク	13,400mm	15,646mm	7,740mm
ドリフター			
アウターロータリー			
回　　転　　数	0～58rpm		
回転トルク(最大)	1,120kgf-m		
インナーロータリー			
回　　転　　数	0～53rpm		
回転トルク(最大)	765kgf-m		
トップハンマー			
打撃エネルギー	18.4～51.0kgf-m		
打　　撃　　数	1,700～3,100bpm		
備　　考	・2ブーム方式 ・削孔打設造成 ・走行時はエンジン駆動	・2ブーム方式 ・削孔打設造成時は電機駆動(400V) ・走行時はエンジン駆動	・1ブーム方式 ・削孔打設造成 ・走行時はエンジン駆動

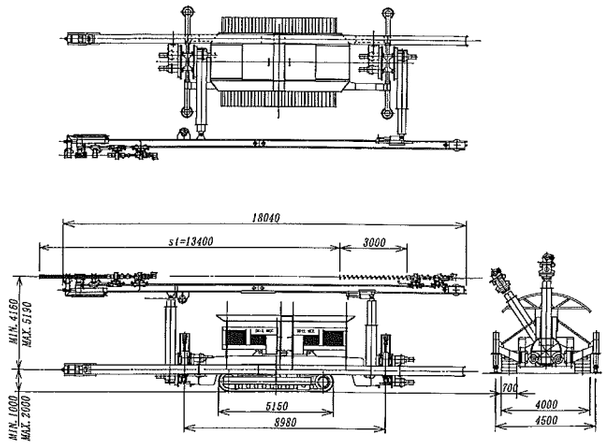


図-4　SM505 DT-SR[5]

ある(表-3参照)．使用する機械の違いに着目した両工法の特徴を以下に記す．

(1)　AGF工法の特徴

- 削孔作業において，特殊な機械，設備などが不要である．
- 油圧削岩機で施工できることから，特別な運転工を必要としない．
- 現場の状況によって，サイドパイルやレッグパイル(脚部補強工)および水抜きボーリングにも転用できる．
- トンネルの断面を拡幅しない工夫や削孔システムなどの多様な技術開発が進められており，さまざまな現場条件に併せて対応できる．

(2)　専用機械を使用する工法の特徴

- 削孔打設方式はダウンザホールハンマー方式，トップハンマー方式，ダブルロータリー方式があり，地質に応じて選定する．
- 継ぎ手のないL=12～15mの1本ものの鋼管を使用するため，鋼管継ぎ手部の強度損失が少なく，接続に伴う準備作業の省力化が図れる．
- 専用の削孔機を使用することから，大口径の鋼管(最大140mm)を打設することが可能で，剛性の高いアーチを形成することができる．

なお，トレヴィチューブ工法に用いられる専用機械は，前項のトレヴィジェット工法と同じものであるため，説明は割愛する．

2-1-5　プレライニング工法

プレライニング工法は，トンネル掘削に先立って切羽前方のトンネル外周にスリットコンクリートを構築し，先受けを行うものである．国内実績を有している工法として，New PLS(Pre-Lining Support)工法とPASS(Pre-Arch Shell Support method)工法がある．

New PLS工法はチェーンカッタを装備した専用機械によって切羽を切削し，同時にコンクリートを充填してスリットコンクリートを構築する工法である．国内で3例ほど実績があり，各々のトンネル断面に応じて，専用機械を製作している．

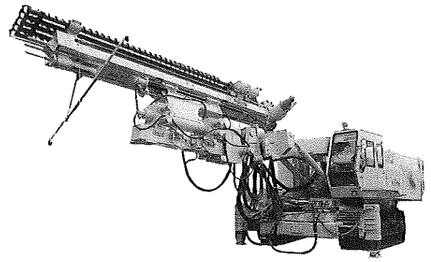


写真-2　PASS造成機

図-5に横浜横須賀道路一般国道16号線吉井トンネルで用いたNew PLS機の構造図[6]を示す．

PASS工法は5連オーガー(写真-2)を搭載したPASS造成機によりスリット状の削孔を行い，中央オーガーよりモルタルを圧入し，スリットコンクリートを形成する工法である．New PLS機と比較して，PASS造成機は断面形状の制約が少なく転用が可能である．

2-2　鏡面脚部の補強

表-1における「鏡面脚部の補強」のうち，鏡吹付けコンクリート，鏡止めボルト，仮インバートはトンネルの汎用機械で施工するためここでは説明を割愛する．

脚部補強工法は，支保工脚部に薬液注入やボルト(パイル)を打設することによって地盤補強を図る工法である．既存の脚部補強の対策を大まかに分類すると図-6のようになる．RJP工法は，RJFP工法を脚部に適用した工法であり，先述した先受け工法の機械を転用して脚部補強工法とする工法も多く見られる．

ここでは脚部補強工法のうち，マイクロパイル工法と

(参考文献8)に一部加筆・修正)

図-6　脚部補強工法の分類[8]

図-5　New PLS機構造図[5]

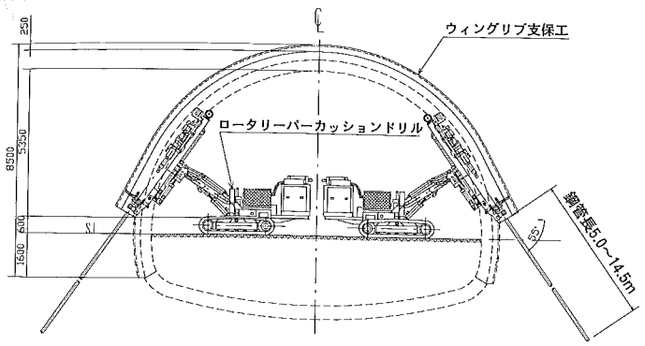


図-7　マイクロパイル工法の施工状況

BAF工法を紹介する．

2-2-1　マイクロパイル工法

専用機械によってφ114.3～139.8㎜の鋼管を打設し，セメントミルクあるいはモルタルを限定加圧方式で注入することにより，φ100～300㎜の杭を造成し，摩擦杭として支持力を発揮させる工法である．鋼管打設機械の施工状況を図-7に示す．

2-2-2　BAF工法

曲がりオーガー削孔を行い，切羽前方の脚部にセメント系固化材による改良体(φ500㎜)を造成する工法である．使用機械，施工例については5章にて詳細を述べるものとする．

3.　機械の選定ポイント

補助工法は現場の諸条件によって求められる対策・目的が異なり，工法選定は安全性・施工性・経済性を総合的に判断して行うこととなる．

要求事項に対して，同じ効果が期待できる対策工を絞り込んだ時点で，現場条件・施工条件などによって機械を選定することとなる．以下に機械選定に関与する事項と影響を与えると考えられる事項を示す．

- 機械の大きさ：現場への搬入計画，切羽での施工性など
- 機械の能力(削孔・注入速度，移動速度など)：作業順序および工程
- 機械の精度(鋼管打設精度)：鋼管配置および設計
- 施工時の振動・騒音：環境対策(防音壁，夜間作業など)
- 産廃処理の有無：環境対策(濁水処理など)，産廃処理費の増加

よって，これらの条件を考慮して総合的な判断を行い，使用機械の選定を行うこととなる．

(文責：盛重知也・西松建設(株))

4.　長尺鋼管フォアパイリングの施工事例：トレヴィチューブ工法
(国道289号　9号トンネル工事)

4-1　工事概要

国道289号は，新潟市を起点に中越後と福島県の南会津を経ていわき市に至る全長339.9kmの本州を横断する基幹道路である．このうち，新潟，福島県境に位置する八十里越えの地形は急峻を極め，加えて日本有数の豪雪地帯のため整備が遅れ，19.6kmは交通不能区間のままとなっている．

このうち，国土交通省発注の9号トンネルは，県境部にまたがる3,173mの本事業中最長のトンネルである．本工事はその1工事として，工事延長L＝277m(トンネル本体工250m)を施工するものである．表-7にトンネル概要を示す．

4-2　地質概要

トンネルルート付近には，新第三紀中新世中期の酸性火山砕屑岩類(グリーンタフ)を主体とする津川層および貫入岩(流紋岩および安山岩岩脈)が広く分布している．

表-7　トンネル概要

工事名	289号9号トンネル工事(その1工事)
発注者	国土交通省北陸地方整備局
工事場所	新潟県南蒲原郡下田村大字塩野淵地先
工期	平成12年7月11日～平成15年12月20日 工事休止期間12月21日～翌年4月30日 (全工期予定：平成22年12月頃まで)
延長	トンネル全長L＝3,173mのうち250m
掘削断面積	59～74m²
掘削工法	補助ベンチ付き全断面掘削(B～CⅡ) 上半先進ベンチカット工法(DⅠ～DⅢ)
掘削方式	発破掘削(タイヤ方式)

表-8　坑口部補助工法比較表

	パイプルーフ工法	トレヴィチューブ工法	AGF工法
シフト数	30.7m×1シフト	30.7m×1シフト	6.0m×5シフト， 6.5m×1シフト
鋼管仕様	φ318.5㎜ t＝10.3㎜，L＝30.7m n＝26本	φ139.8㎜ t＝11.1㎜，L＝30.7m n＝30本	φ114.3㎜ t＝6.0㎜，L＝12.5m n＝38.5本
特徴	・専用機械による施工 ・施工精度1/500程度 ・モルタルによる充填 ・足場や反力受けを必要とし，仮設備の規模が大きい	・専用機械による施工 ・施工精度1/100程度 ・早強セメント注入による地山改良効果が期待できる	・汎用機械による施工 ・施工精度1/100以下 ・早強セメント注入による地山改良効果が期待できる
現場での適用性	・仮設備の設置が困難 ・工期がもっとも長い	・経済性がよい ・足場などを必要とせず，坑口ヤードに仮設備の配置が可能となる	・鋼管の剛性が小さく，ダブルラップでの施工となるため，シフト数が増加し，経済性が低下する

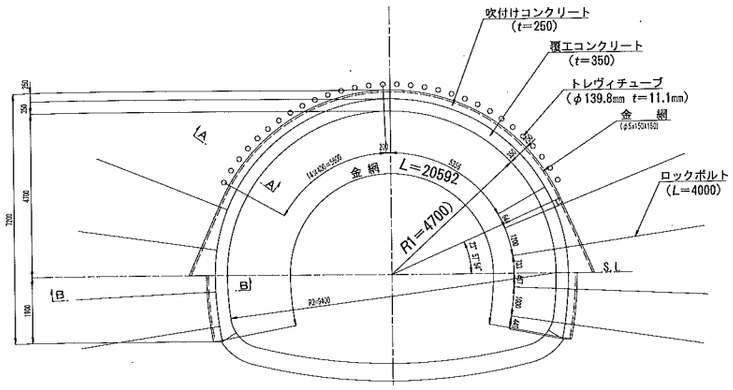


図-8　標準断面図

表-9　使用機械一覧

	名称	形式・仕様	動力	台数
削孔	削孔機	SM-505-SRJ	169PS	1
	クローラクレーン	4.9t吊り	74PS	1
	削孔ポンプ	MG-15	11.2kW	1
	インバーター	削孔ポンプ用	15.0kW	1
	サンドポンプ	3インチ	5.5kW	2
	水槽	3 m³		1
	コンプレッサー	1.3MPa, 21m³/min		1
	鋼管セット架台			2
	鋼管セットレール			2
注入	グラウトポンプ	MG-10	7.8kW	2
	グラウトミキサ	並列2槽式600 ℓ	15.0kW	1
	アジテータミキサ	1,000 ℓ		1
	インバーター	グラウトポンプ用	11.0kW	2
	インバーター	グラウトミキサ用	4.0kW	2
	電磁流量計	FR-120-2FC		2
	高所作業車	12.0m		1
共通	高圧洗浄器			1
	電気溶接機	250A		1

起点側坑口部は，大部分が崖錐堆積物で覆われている．この崖錐堆積物は，N値＝7～30程度であり，茶褐色～黄褐色で1～4cm程度の亜角礫を混入しているが，礫はハンマー打撃で粉々に砕くことができる．

4-3　トンネル坑口の問題点

坑口部は緩い崖錐層に覆われており，トンネル掘削に伴い，切羽の崩壊および天端崩落に伴う斜面の崩落が懸念され，補助工法として坑口対策工が必要であった．

また，本トンネルは，既設トンネル(未開通)を抜けて橋梁を渡った箇所に坑口が存在しており，坑口前の施工ヤードが狭く対策工の選定に制約を受ける現場条件であった．

4-4　補助工法選定の経緯

坑口部の安定対策として，パイプルーフ工法，トレヴィチューブ工法，AGF工法の3案の比較検討を行った(表-8参照)．

検討の結果，パイプルーフ工法は仮設規模が大きくなり施工性が劣ることと，工期が長くなることから採用不可とした．AGF工法(φ114.4㎜の鋼管)では所定の荷重に対する剛性を確保するために，多数の鋼管が必要とするため，経済性に劣ることとなった．したがって，安全性，工期，経済性を総合的に勘案してトレヴィチューブ工法を採用した．

4-5　施工実績

坑口部の標準断面図を図-8に，使用機械の一覧を表-9に示す．主要機械の配置は，削孔時，注入時において異なり，既設トンネルおよび，既設橋梁を利用して図-9，

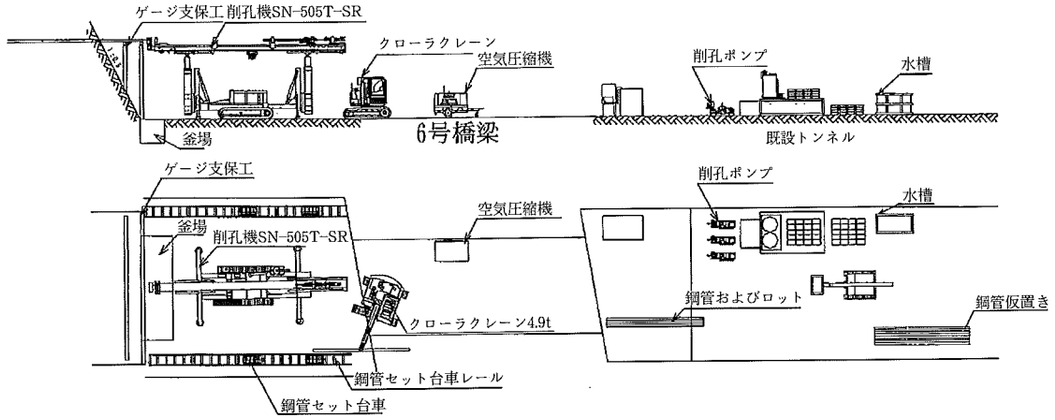


図-9　機械配置(削孔時)

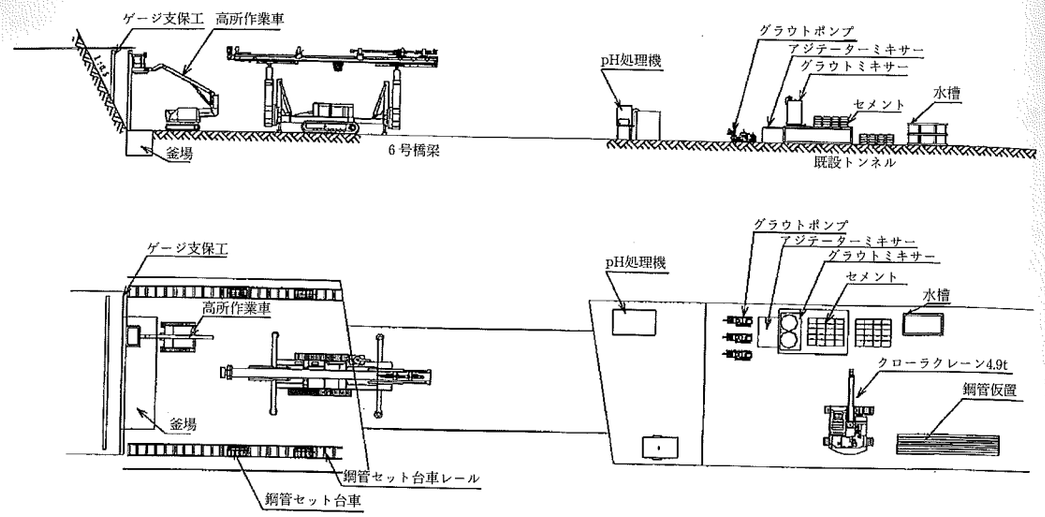


図-10　機械配置(注入時)

10に示すような配置にて施工を行った．作業用足場は，高所作業車を使用することにより，狭い坑口ヤードでの施工性を確保した．

作業は比較的順調に進み，大きなトラブルに見舞われることもなかった．準備工としてヤードの整備，削孔機械の組み立てに5日を要した．昼夜の2交代体制によって，約10日間で30本(L=30.7m)の削孔・注入作業を完了した．解体および後片付けに3日を要し，工事全体で約3週間の工期であった．

トレヴィチューブによる長尺鋼管の先受けにより，トンネル掘削時においても，切羽の自立，斜面の安定を確保でき，安全な作業にて坑口部の施工を終えた．

(文責：盛重知也・西松建設(株))

参　考　文　献

1) 土木学会：トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説，1996.7.
2) ジェオフロンテ研究会：MJS-P工法技術資料・施工実績集，2003.12.
3) 全方位高圧噴射工法協会：Metro Jet System　技術・積算資料，2002.2.
4) ジェオフロンテ研究会：ロディン工法・ロディンチューブ工法編積算資料，2000.11.
5) ジェオフロンテ研究会：トレヴィ工法・トレヴィジェット工法編積算資料，1998.11.
6) 遠藤元一・青山昌二・及川淳・篠崎秀敏：盛土造成地を改良New PLS機で施工-横浜横須賀道路 吉井トンネル，トンネルと地下，Vol.33，No.5，2002.5.
7) 依田淳一・芳賀康司・山本昇・岡村光政：PASSによる小土かぶり・未固結地山への挑戦-北陸新幹線　高丘トンネル南工区，トンネルと地下，Vol.35，No.7，2004.7.
8) 注入式長尺先受け工法入門連載講座小委員会：連載講座　注入式長尺先受け工法入門(最終回)　脚部補強工-脚部補強の必要性と今後の課題，トンネルと地下，Vol.26，No.9，1995.9

5. 脚部補強施工事例：曲りオーガー大口径脚部補強杭工法(BAF工法)

(田名部川広域基幹河川改修工事)

5-1　工事概要

田名部川広域基幹河川改修工事は，青森県むつ市内で計画されている治水目的の水路トンネルを建設するものであり，トンネル全長675mのうち，NATM区間480mを施工する．トンネル概要を**表-10**に，標準断面図を**図-11**に示す．

5-2　当工事の地質概要

当トンネルは全線が土かぶり0.15～1.8D(D：トンネル幅8.8m)の小土かぶり区間で構成されており，とくに坑口部から250m区間は土かぶり4～8m程度と非常に薄く(以下，低位部)，この範囲に住宅が密集している．後半部は台地を形成しており，土かぶりは平均して1.5D程度となっている(以下，高位部)．地質は全線，洪積世の堆積物である段丘堆積物の砂質土，シルト質土，その表層を覆うローム層からなっている．段丘堆積物は恐山の噴出物である軽石などを多量に混入し，凝灰質であることが特徴となっている．地質縦断図を**図-12**に示す．

表-10　トンネル概要

工　事　名	田名部川広域基幹河川改修工事
発　注　者	青森県むつ県土整備事務所
工事場所	青森県むつ市大字金谷地内
工　　期	平成14年12月17日～平成18年3月20日
延　　長	(全長)675m(NATM区間延長)480m
掘削断面積	56.1～60.2m²
掘削工法	NATM上半先進工法・機械掘削
ずり出し方式	タイヤ方式

5-3　BAF工法選定の経緯

5-3-1　当工事の特徴および課題

当トンネルは都市NATMであり，とくにトンネル直上に住宅が密集しているため，地盤沈下の影響を最小限にとどめることが課題となっていた．設定されている地表面沈下量および傾斜角の許容値を**表-11**に示す．

当工事においては地表面沈下対策および切羽安定対策として，注入式長尺先受け工(AGF)およびフォアポーリングが採用されていた．しかし，FEM解析の結果，先受け工のみでは，沈下量・傾斜角とも許容値を上回る結果となった．これは，先受け工によるトンネル天端位置における沈下抑制効果は発揮されているものの，上半支保工建て込み後に，支保工脚部反力が過大に作用することから脚部沈下を生じ，トンネル構造全体が共下がりすることに起因している．低位部については，最大21mm，高位部においては最大63mmにも及ぶ支保工脚部沈下が生じる結果となった．このため，許容値を満足する脚部補強工として，**表-12**に示す仕様を二次元非線形FEM解析により設定した．

表-11　沈下量，傾斜角の許容値

項　目	許　容　値	基　準　等
沈下量	20mm	建築基礎構造設計指針(日本建築学会)
傾斜角	1.0×10^{-3}rad	小規模建築物設計の手引き(日本建築学会)

表-12　脚部補強工仕様

細　目	仕　様	そ の 他
改良径	500mm	—
改良長	2.0m～3.5m	—
変形係数	7.0×105kN/m²	支保工建て込み時

図-11　標準断面図

図-12　地質縦断図

5-3-2　脚部補強工の比較検討

上記の脚部補強工の仕様を確保できる工法として，「フットパイル」，「ジェットグラウト工法」，「BAF工法(**図-13**参照)」を検討した．「フットパイル」は支保工建て込み後の施工となるため，フットパイル施工前に沈下が発生し，必要な効果が期待できないこと，および要求されている改良径・改良長を施工した場合，工費が大きくなることなどから不適である．「ジェットグラウト工法」と「BAF工法」は，ともに要求品質を確保できるが，工期および工費で有利な「BAF工法」が採用されることとなった．脚部補強工比較表を**表-13**に示す．

表-14～16に，脚部補強工を施工しない場合と，「BAF工法」により脚部補強を実施した場合の二次元非線形FEM解析結果における脚部沈下量，地表面沈下量および傾斜角の検討比較を示す．

5-3-3　施工方法

BAF工法はトンネル切羽位置で曲り削孔機を用いて前方支保工脚部位置を地盤改良するものである．本工法の特徴は次のとおりである．

①　曲り削孔を用いることにより切羽

前方の事前脚部補強が可能.

② オーガー掘削なので地山を乱さずに施工が可能.

③ φ500㎜の大口径セメント系固化杭を最大深さ3.5mまで施工が可能.

④ 掘削サイクルの一部として一般的なトンネル作業員で施工が可能.

⑤ 従来工法と比較しコストを20%削減.

施工フローを図-14に示す．掘削はオーガー方式で，鋼管をケーシング(φ520㎜)として拡孔ビットとオーガーロッドの回転により削孔し，鋼管は押込みシリンダーにより圧入する．スライムはオーガーロッド軸内から送られるエアーを補助として鋼管とオーガーの間を通って排土される．次に，注入は中詰め注入方式により行う．この方式は削孔完了後，曲がり鋼管とオーガーロッドを同時に引き上げながら置換注入を行う方式である．これにより，孔壁が自立しないような脆弱な地山においても確実に改良体に置換えが可能となる．ただし，削孔地山が自立するような場合には曲がり鋼管とオーガーをすべて引き抜き，注入ホースを杭底まで挿入し注入を行う．図-15に脚部補強杭築造状況を示す．

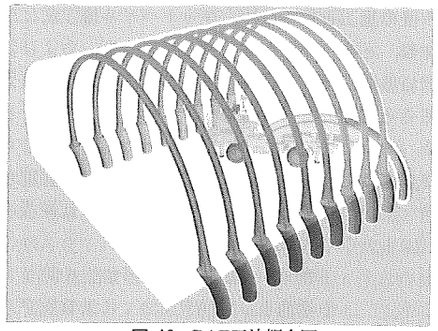


図-13　BAF工法概念図

注入材は1回の使用量が2.0m³程度と多いため，作業効率の向上をねらって，ベース材となるA材(特殊セメントミルク)を吹付けプラントにて混練り可能な仕様とし，これをトラックミキサ車で切羽に運搬して注入台車でB材(急硬材，セッター)を添加する配合とした．図-16に注入材現場生成フローを示す．

表-14　脚部沈下量比較表

位置		補強工なし	BAF採用
低位部	No.19+40	8㎜	1㎜以下
	No.20+30	21㎜	7㎜
	No.23+30	20㎜	1㎜
高位部	No.25	63㎜	13㎜
	No.28	32㎜	12㎜

表-15　地表面沈下量比較表

位置		補強工なし	BAF採用	許容値
低位部	No.19+40	13㎜	5㎜	20㎜以下
	No.20+30	23㎜	8㎜	
	No.23+30	24㎜	7㎜	
高位部	No.25	51㎜	17㎜	
	No.28	39㎜	13㎜	

表-16　地表面傾斜角比較表

位置		補強工なし	BAF採用	許容値
低位部	No.19+40	1/529	1/1066	1/1000 rad以下
	No.20+30	1/427	1/1276	
	No.23+30	1/562	1/1667	
高位部	No.25	1/353	1/1116	
	No.28	1/236	1/1000	

表-13　脚部補強工比較表

工法	BAF工法(セメント系固化材充填)	ジェットグラウト工法(短尺先行地山改良)	フットパイル
工法概要	曲りオーガー削孔により切羽前方の脚部にてφ520㎜の大口径セメント系固化杭を造成する工法．切羽において専用機を用いて施工する．	超高圧(400kgf/cm²)のセメントミルクで地山を切削しφ400～1000程度の改良体を造成する工法．切羽において斜め前方に改良体を造成する．	ドリルジャンボを使用して，脚部にAGF鋼管を打設し，セメントミルクなどで改良注入する．
経済性	1.0	1.2（排土処理費を含む）	1.5
工程工期	0.48方/トンネルm （1セット，昼夜施工）	0.63方/トンネルm （1セット，昼夜施工）	0.62方/トンネルm （1セット，昼夜施工）
品質	・オーガー掘削なので地山を乱さずに施工することができる．(◎) ・切羽前方地山を改良できるので先行変位の抑制効果が期待できる．(◎) ・曲線杭なので斜め杭に比べて脚部荷重がスムーズに伝達される．(○)	・噴射圧力とノズル径および造成速度を適切に選定することにより任意の改良径で地山改良ができる．(○) ・地山の状態によって改良径がばらつきやすい．(△) ・切羽前方地山を改良できるが，改良体が斜め方向に向いているので，脚部荷重を十分伝達できない．(△) ・削孔時に地山を乱す可能性がある．(×) ・造成に伴い排泥が発生する．(×)	・既存のジャンボで施工可能である．(○) ・削孔径が80～130㎜程度と小さいため1本あたりの支持力は小さい．(△) ・切羽後方での脚部補強となるため，沈下抑制効果は低い．(△) ・削孔時に地山を乱す可能性がある．(×) ・トンネル掘削に伴う先行沈下の抑制効果が小さい．(×)
出来形	削孔径：φ520㎜　削孔長3.5m 充填材：超早強セメント系固化材 削孔本数：2本/トンネルm	削孔径：φ600㎜　造成長：5.0m 造成本数：2本/トンネルm 注入材：早強セメントミルク 削孔本数：2本/トンネルm	削孔径：φ122㎜　削孔長3.5m 鋼管仕様：φ114.3㎜，t=6.0㎜ 充填材：特殊速硬性セメント 削孔本数：8本/トンネルm， 注入率：15%
地質条件	砂質土　N<20～30 粘性土　N<10～20	砂質土　N<20～30 粘性土　N<10～20	軟岩まで可能
評価	◎	○	△

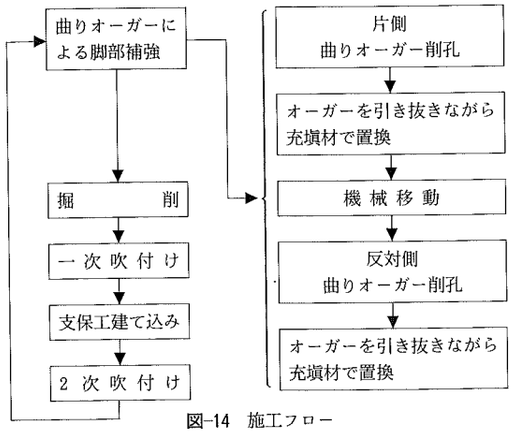


図-14　施工フロー

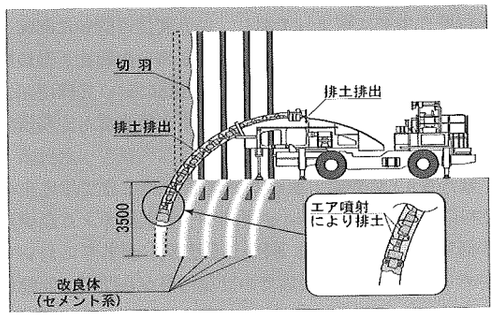


図-15　脚部補強杭築造状況

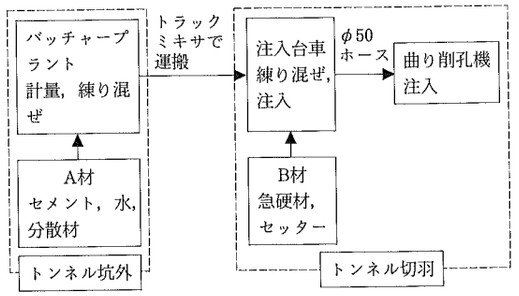
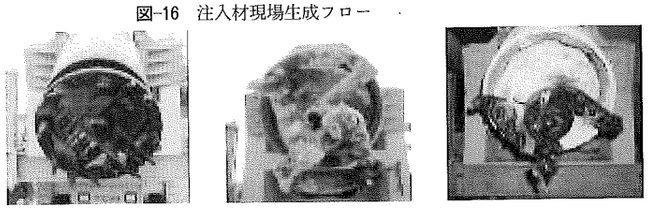


図-16　注入材現場生成フロー



試作機　⇨　改造(1回目)　⇨　改造(2回目)

写真-3　削孔ビット改良状況

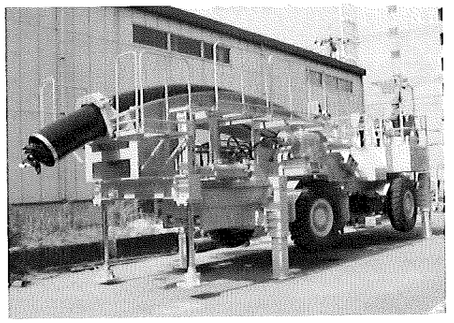


写真-4　機械全景

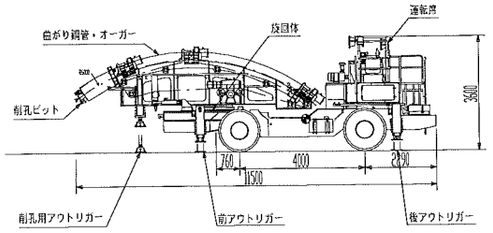


図-17　機械詳細図

表-17　BAF工法施工機械仕様

削孔装置		給進装置	
削孔径	φ500㎜	給進ストローク	5.9m
削孔曲率	6.0m	給進スピード	3.0m/min
削孔方式	オーガー削孔	給進力	5tf
削孔トルク	12.7kN・m	引き抜き力	13tf
削孔回転数	0～19.5rpm		
走行装置			
機体寸法	W=3m　L=11.5m　H=3.6m		
機体質量	22.7t		

5-3-4　施工機械の仕様

BAF工法施工機械は，試作機製作時に試験施工を行った．この時問題となったのは，所定の削孔位置および角度にオーガー先端をセットするためには，何度も車両を移動する必要があり，これに時間を要した点と，削孔時に粘性土の排土効率が悪く，削孔時間が15分/m程度と時間がかかった点である．そのため，台車(タイヤ方式)を4輪操舵とし，曲りオーガー本体を旋回体により左右に45度回転することができるよう改良した．これによりオーガーセット時間を大幅に短縮するとともに，幅員の狭い断面にも適切な角度で改良体を築造可能となった．また，削孔ビットの排土機能，ビット配置を写真-3のように改良し，削孔時間の短縮を図った．写真-4に機械全景，図-17に機械詳細図，表-17に機械仕様，図-18に施工機械配置図，写真-5に施工状況を示す．

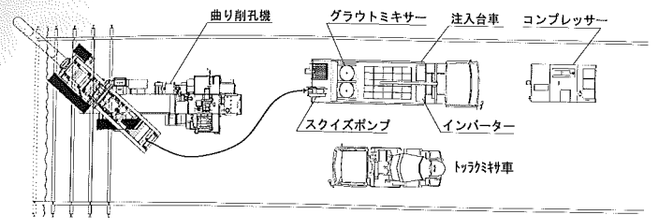


図-18　施工機械配置図

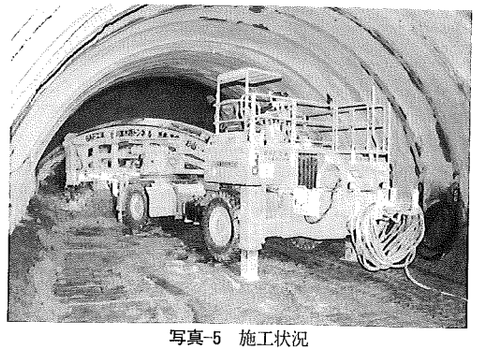


写真-5　施工状況

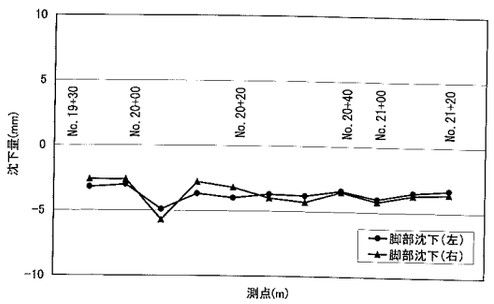


図-19　脚部最大沈下量(上半完了時)

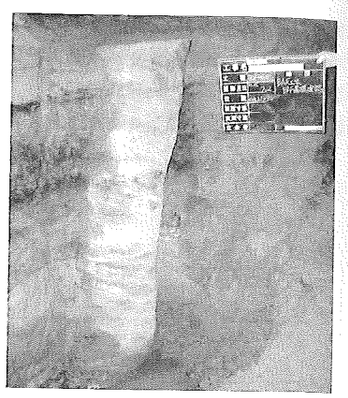


写真-6　改良体出来形

5-4　実　績

現場におけるA計測の結果，脚部沈下量は下半掘削完了段階において7㎜程度と設計値と同等の値を示しており，その効果が確認できた．とくに，下半掘削時に内空変位が10㎜以上増加しているにも拘わらず脚部沈下は3㎜程度の増加に留まっており，鉛直変位の抑制に非常に有効であると言える．上半掘削完了時の脚部沈下量の分布図を**図-19**に示すが，施工完了区間においてほぼ同様の結果が得られている．地表面沈下についても，現状では許容値以下に収まっている．

都市NATMで採用される脚部補強工として，従来の「フットパイル」，「ジェットグラウト工法」より高い沈下抑制効果が期待できるBAF工法を，本工事において初めて採用したが，現場での計測結果から沈下抑制効果が期待どおり発揮できていることを確認できた．**写真-6**に改良体出来形を示す．

(文責：近藤啓二・鹿島建設(株))

「読者の声(仮タイトル)」投稿募集のご案内

新設コーナー：読者の声(仮タイトル)の投稿を募集します．読者の方の意見や提言，または，有意義な情報など何でも結構ですのでご投稿ください．ただし，宣伝色の強い内容や他人を中傷するような内容は掲載をお断りすることもございますので予めご了承ください．原稿は文字のみとし，ボリュームは1,000字以内程度，タイトルは20字以内でお願いいたします．掲載にあたり，所属団体名と氏名も掲載いたします．原稿には，連絡先(住所，氏名，所属名，電話，E-mailなど)明記のうえ，電子媒体(FD，CD，MO，いずれも可)と一緒に投稿してください．原稿は(株)土木工学社編集部までお送りください．

原稿送付先：〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
(株)土木工学社　編集部

文献紹介

調　査・計　画

加藤正人・鈴木義三：東部丘陵線(リニモ)の概要，土木技術，Vol.60，No.1，2005.1.

浅野光行：JAPICにおける資源循環都市構想，基礎工，Vol.33，No.1，2005.1.

設　計・理　論

笠博義・中島浩・川井洋二：放電衝撃破砕工法のトンネル施工への適用，建設機械，479，Vol. 41，No.1，2005.1.

河越勝：水圧対抗式「エコシールド工法」，環境負荷低減を目指した新しいシールド工法の開発，建設機械，479，Vol. 41，No.1，2005.1.

足立英明・高見澤計夫：ZIP工法の開発，大深度地下合理化施工技術，建設機械，479，Vol. 41，No.1，2005.1.

阿曽利光：Seg-Jet工法(シールドトンネル部分拡幅工法の開発)，建設機械，479，Vol. 41，No.1，2005.1.

細川佳史・魚本健人：水和を考慮したモデルによる急結剤特性の定量評価と吹付けコンクリートの性能照査，土木学会論文集，No.781，V-66，2005.2.

馬野浩二・永森邦博・中川雅由：道路トンネルにおけるシールド技術体系と最新技術，建設の施工企画，No.660，2005.2.

園村俊一・中根隆：1台で軟弱地盤から岩盤まで対応する万能型シールドマシンの開発，実験機による拡縮面板荷重実験およびFEM計算結果の検証，建設の施工企画，No.660，2005.2.

林稔・白坂紀彦・名村均：山岳トンネルにおける情報化施工技術の現状と今後の展望，土木施工，Vol.46，No. 3，2005.3.

柏柳正之・伊藤文雄・星野貴史・清水則：ケーブルボルトによる地下空洞の先行補強に関する現場実験とその評価，土木学会論文集，No.784，VI-66，2005.3.

榎本秀明・稲川敏春・横山秀史：トンネル覆工コンクリートを対象とした打音検査装置の最適仕様の検討，土木学会論文集，No.784，VI-66，2005.3.

坂口拓史・永森邦博・小倉剛：アンダーパス急速施工の開発，KSUP工法，建設機械，481，Vol.41，No.3，2005.3.

福居雅也・稲場啓能：シールドトンネル相互の斜め接合工法を開発，既設管に地中で斜め接合可能な「分割フード式シールド接合工法」，建設機械，481，Vol. 41，No.3，2005.3.

施　工

脇山一郎：可燃性ガス噴出の可能性がある地盤でのシールドトンネルの安全対策，建設の施工企画，No.661，2005.3.

笹井幸男・鈴木健司：脆弱な地質における上信越道・太郎山トンネル工事，基礎工，Vol.33，No.3，2005.3.

眞弓英大・古川幸則：無導坑式めがねトンネルの設計施工，東海環状自動車道五ヶ丘トンネル工事，土木學會誌Vol.90，No.3，2005.3.

神田大・小林寛明・藤田一昭：大断面泥土圧シールドの掘進管理，つくばエクスプレス南流山トンネル(東工区)，土木技術，Vol.60，No.3，2005.3.

政岡一樹・安部真一・増田亨：河川デルタにおける長距離シールド，広島市江波地区の浸水対策事業，土木技術，Vol.60，No.3，2005.3.

宮添政志・池田英明：低土かぶり近接施工の双設トンネル設計・施工，今里第一トンネル，土木施工，Vol.46，No.3，2005.3.

岩本英將・河合朝仁：TBM導坑先進拡幅掘削工法を用い第二東名最長トンネルの施工，金谷トンネル，土木施工，Vol.46，No.3，2005.3.

小野塚大輔・萩原智寿・本田豊：曲がりオーガー大口径脚部補強杭工法(BAF工法)，山岳トンネルにおける新しい高剛性脚部補強杭工法，建設機械，481，Vol. 41，No.3，2005.3.

維　持・管　理

石橋忠良：鉄道構造物における耐震設計，耐震補強，土木施工，Vol.46，No.1，2005.1.

米島賢二・高橋聡・荻野竹敏：東京地下鉄における耐震対策，土木施工，Vol.46，No.1，2005.1.

そ　の　他

田村孝浩・富田道久・加藤徹・富樫千之：元禄潜穴と品井沼干拓にみる「水土の知」の源流とその未来，農業土木学会誌，Vol.73，No.1，2005.1.



（社）日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

台湾の雪山トンネルの貫通

トラブルに満ちたトンネル建設であった台湾の雪山(Hsuehshan，またの名を坪林(Pinglin))トンネル(延長12.9km)が，困難な地盤条件によって多くの犠牲者とTBMの損失を出しながら，13年の歳月をかけて9月16日に掘削が完了した．このトンネルは高速道路トンネルとしては世界で5番目に長く，台北と台湾で2番目に大きい都市である宜蘭の所要時間を現在の2時間半からわずか30分に短縮するものである．

このトンネルは31kmの台北－宜蘭高速道路の中でもっとも難工事が予想された部分であり，台北市内の南港区(Nankang)を起点として雪山山脈の南東を通り，台北盆地(Taipei Basin)と蘭陽平野(Lanyang Plain)を結んで，宜蘭市内の頭城(Toucheng)を終点としている．雪山トンネルは2本の本坑(西行き，東行き)と先進導坑からなっている．地盤条件の悪い箇所に遭遇したため，これら3本のトンネルの完成にはかなりの時間を要した．トンネルの掘削期間は先進導坑が1991年7月～2003年10月，西行き本坑が1993年7月～2004年4月，東行き本坑が1993年7月～2004年9月であった．

雪山トンネルの西坑口が，台北市の水資源保護区域内に位置しており，当初3つのトンネルは水質への影響を少なくするため，TBMのみを使って東坑口から西へ向けて掘削をする計画であった．しかしながら，予想していなかった亀裂の多い岩と大量の地下水を含む困難な地盤により，トンネル掘削は著しく遅れることになった．

工事を推し進めるために，3本のトンネルのNo.2垂直換気立坑と西行き本坑のNo.2インターチェンジに追加の切羽が設置された．これらの対策工法が功を奏し，トンネル掘削の進捗は格段に速くなった．トンネルのルート上には6つの主要な断層，多数の破砕帯，そして高被圧の地下水がいたるところに存在した．そのため地下水流出を伴う重大な地盤崩落がトンネル建設中に頻繁に発生した．先進導坑の掘削では，TBMの区間で13回の掘削停止と発破工法の区間で8回の崩落が発生した．東行き本坑の掘削では，28回の崩落が発生した．一方，西行き本坑の掘削では，毎秒750ℓの大量の地下水流出を伴う大崩落によりボーリングマシンが致命的な損傷を受け，TBMは使用不能となり，西行き本坑では通常の発破工法が1999年9月から施工された．13年間にわたる雪山トンネル工事で，不幸にも11人が命を落とした．

現在，3本のトンネルはすべて貫通し，3か所の換気立坑のうち2か所の掘削が完了している．しかしながら雪山トンネルの開業までには，4,888mのインバート，9,625mの二次覆工，25,859mの舗装(東行き，西行き)，そして機械，電気，交通管制，消防の関連設備の設置など，まだ多数の作業が残っている．

現在の雪山トンネルの建設作業は，作業のスピードアップを図るため，700人の作業員が24時間3交代制で並行作業を行っている．高速道路公社(National Expressway Engineering Co.)は，この新しい高速道路の開通を2005年に予定している．
(T&T　'04.10　担当：山崎貴之・鉄道・運輸機構)

General Electric社によるハドソン川の環境修復

米国のGeneral Electric社(以下，GE社)は，New York州のダムサイトのPCB(ポリ塩化ビフェニール)汚染の環境修復計画の一部として，Upper Hudson Riverの地下に2本のトンネルを建設する革新的なプロジェクトの準備を進めている．

3,000万USドルに及ぶこの計画は，最先端の技術を駆使したもので，Upper Hudson Riverに棲む魚に含まれるPCBレベルを減らすための全体プロジェクトの成功を左右するものとされている．2本のトンネルは，過去にコンデンサーを製造していたHudson Fallsプラント付近の河床から浸出してくると考えられているPCBを1日あたり数オンス程度，回収するように設計されている．GE社は，この計画を岩盤掘削技術が環境修復プロジェクトに初めて適用されるものと位置付けている．

直径3～3.6mのこのトンネルは，Hudson Falls村の近くの地下58m(Baker's Fallsの河床の下，約18m)の岩盤中に建設される．総延長564mに及ぶ2本のトンネルは，Upper Hudson Riverの真下で交差して大きな十字を描くように配置される．周辺の地質は，一軸圧縮強度69MPa程度の頁岩である．トンネル掘削機械や施工業者の選定は，まだ終わっていない．

十字形に配置されるトンネルからはBaker's Fallsの河床をカバーするように，PCB回収孔が配置される．PCBを効率的に回収するためには，37本の鉛直孔と15本の水平孔が必要になると見積もられている．トンネル内に配置される設備で回収されたPCBは，地上にあるGE社のHudson Falls処理プラントに送られ最終処分される．

New York州の環境保全局(Department of Environmental Conservation)は，2004年の春にGE社の計画を承認し，現在GE社は，最終設計や環境保全局の許認可に向けた作業を進めている．GE社のプロジェクト・マネージャーであるEd Lapointは，「設計・許認可を2005年までに終了させ，2006年の着工を予定している」と話す．
(T&TI　'04.11　担当：伊藤 彰・(株)間組)

ベルギーで最長鉄道トンネルの貫通

10月20日水曜日に，ベルギーで最長鉄道トンネルとなる延長5.94kmのSoumagneトンネルの最終工区が貫通を迎えた．

祝典は請負人であるベルギーのVinci社とEiffage TP社を主とする4つの請負会社により開催される．

その計画は2001年3月にベルギー国鉄(SNCB)が発注し，2001年5月から着手され，ベルギー国鉄の関連会社であるTUC Rail社が技術管理を行っている．

トンネルは断面積100m²の複線トンネルであり，Liegeとドイツ間を結ぶ5,940mの掘削となり，両坑口部は開削工法で施工されている．

開削区間はLiege側が177mで，ドイツ側が413mになる．

トンネルの最大土かぶりは130mである．

東部から西部へWestphalian片岩が3,300m存在し，そしてMagnee断層が50m横切り，Visean石灰岩が650m続く，最後の1,900m区間はNamurian石灰岩である．

その計画は203百万USドル(約220億円)の予算であり，ベルギー鉄道東部幹線へ最高速度200km/hの走行を可能とする．

トンネルは計画工程を早めるために，各坑口から4切羽同時にトンネル中央部の地下30m，直径30mの立坑へ向けて発破掘削された．

各切羽は24時間3交替で作業され，1切羽あたり平均掘進20m/週の進捗であった．

2007年に供用するために，土木工事は2005年秋までに完了する計画である．
(T&T　'05.11　担当：下田 哲史・日本道路公団)

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
研究開発委員会

Arrowhead湖（アメリカ）の上水道トンネル/Drinking Water Supply Tunnel at Lake Arrowhead, USA.

By W. Burger, A. Diener: Tunnel 2/2004 (March), pp.12–24

アメリカ合衆国のArrowheadトンネルは，カリフォルニア州南部の内陸部への上水供給プロジェクト（総延長71km）の主要部分を占めている．トンネルは掘削径5.82mで，延長6.4kmの西トンネルと延長9.7kmの東トンネルからなる．地質は片麻岩などの変成岩と花崗岩などの結晶質岩からなるが，活断層であるサン・アンドレアス断層を始め数本の大きな断層を横切る．土かぶりは最低5mから最大640mで，高圧かつ多量の湧水の発生が予想された．

トンネルの掘削には，2台の直径5.82mのTBM（Herrenknecht社製）が使用された．本トンネルの特殊な条件に対応するTBMに要求された条件を以下に記す．

- シングルシールドタイプの硬岩対応TBM 2台（新規製作）．
- 水密構造シールドセグメント（内径4.877m）の使用
- グラウトなどの地盤改良設備の装備
- TBMの耐水圧10barにおける水密性（停止時）
- 可動式カッタヘッド
- 最大湧水量31ℓ/秒において掘削可能な排水能力

図-1に，TBMの概念図を示す．本TBMは，高地下水圧下においてはカッタヘッド内の水圧を解放するオープンモードで掘削する．多量の湧水が発生し，排水能力（31ℓ/秒）を越える場合には，図-2に示すパターンで削孔し，グラウチングにより湧水量を低減する対策をとる．図-1に示すように，カッタヘッド直後に装備した前方削孔機2台により，カッタヘッドを通した削孔を行う．また，後方削孔機とエレクタに必要に応じて取り付

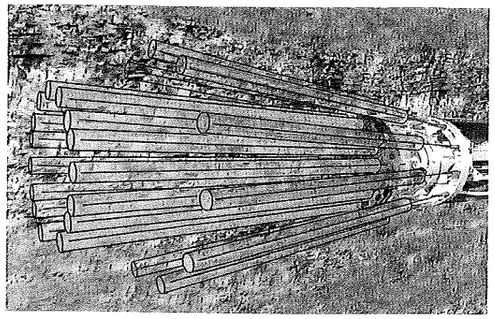


図-2　前方地山に対する削孔パターン

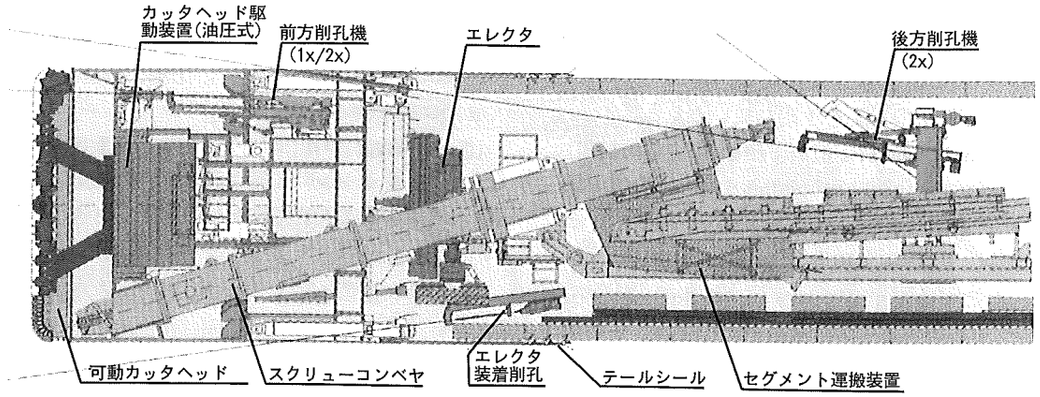


図-1　TBM縦面概要図

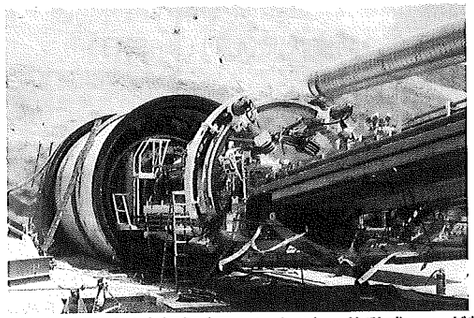


写真-1　TBM後方概観（西トンネル）―移動式リング架台に装備された後方削孔機が見える

ける削孔機で，シールドスキンプレートを通して外周のグラウチングを行う．これにより，高地下水圧下での掘削が可能になる．一方，本TBMは，地下水圧が10barまでは密閉モードで掘削することができる．これは，シールドセグメントの裏込め注入を確実に行うために重要な機能である．

カッタヘッドには，17インチのローラーカッタ39個を装備し，これらは，カッタヘッド後方から交換できる機構を持つ．カッタヘッドは前後にスライドおよび傾斜可能で，30㎜まで拡幅掘削することができる．カッタヘッドは油圧式で駆動される．

ボルト接続式のシールドセグメントの組み立てには，真空把持式エレクタを米国で初めて使用した．シールドセグメントは鉄筋コンクリート製で，22barまでの耐水圧性（試験水圧43bar）として設計された．シールガスケットには，ヨーロッパで実績のある“Weser Tunnelタイプ”を使用した．

2003年の8月に東トンネルのTBMの組み立てが完了し，10月半に西トンネルのTBMの組み立てが完了した．掘削は，地山が良好な東トンネルから始められた．これは，作業員の訓練と学習期間の短縮の点で有効であった．2004年1月時点で，東トンネルは約1,000mまで掘進され，最大掘進速度は28.5m/日である（19リング×1.5m幅）．西トンネルは，約40m掘進したところで断層に遭遇し，ブロック状の岩塊の崩落により切羽が自立しなくなった．しかし，前述の装備により2003年のクリスマス休暇中にグラウト注入を完了し，休暇明けから掘削を再開することができた．ところが，12月26日，大雨により坑口部に大規模な斜面崩壊が洪水の流入を伴って発生し，多くの犠牲者を出した．掘削の再開は4月の予定である．

（文責：青木智幸・大成建設（株））

モンテカルロ鉄道トンネルの補修工事/Tunnel ferroviaire de Monte-Carlo renforcement d'une zone degrade

By Gilles Doublot（フランス国鉄）：TUNNELS ET OUVRAGEES SOUTERRAINS MAI/JUIN 2004

Marseilles（マルセーユ）・Vintimiglia間に位置する延長3,092mのモンテカルロ鉄道トンネル（複線トンネル）は，40年前に山岳トンネル工法にて施工されたが，損傷が著しく補修工事が行われた．本稿はその補修工事について報告している．すなわち，同トンネルにては50m²以上にわたり覆工が剥離しており，そのため，最大で50m³/hの漏水も生じていた．また，覆工の変位は最大で約30㎜に達していた．

そこで，覆工コンクリートをコアリングし，強度試験を行った結果，側壁部で圧縮強度7.3MPa，弾性係数421MPaにまで劣化した区間も発見された．そのため，H-360鋼製支保工を80cmピッチでアーチおよびインバートの全内周に設置し，これをコンクリートで巻き立てるという補強工事が実施された．

損傷の原因としては，地震，表面仕上げの不備，施工中の注入領域の地山の劣化，インバート下部の地山の膨張が推測されている．

（文責：高野佳博・(株)千代田コンサルタント）

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	3月25日現在	4月25日現在
正会員	2,054名	2,054名
団体会員	359名	359名
個人会員	1,695名	1,695名
名誉会員	1名	1名
計	2,055名	2,055名

2. 第175回理事会，第59回評議員会

日　時：平成17年4月27日(水)　12時～13時

場　所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」

出席者：理事24名，監事1名，顧問1名，評議員25名

議　題：

①役員，評議員の交替を承認

1. 理　事

旧	新	所属役職
北原孝教	小林　覚	(株)竹中土木代表取締役副社長
高階實雄	山田俊郎	五洋建設(株)執行役員副社長

2. 監　事

旧	新	所属役職
藤木育雄	入江健二	東京地下鉄(株)設計部長

3. 評議員

旧	新	所属役職
入江健二	西村高明	東京地下鉄(株)調査設計担当部長

②23名の入会と22名の退会を承認

③第31回通常総会議案(案)を承認

3. 委員会の開催状況(4月1日～30日)

①調査研究関係委員会

◎施工技術委員会

TBM工法小委員会打合せ会：4/22(西岡和則主査ほか7名)原稿作成方針を検討

◎研究開発委員会：4/19(大久保誠介委員長ほか17名)海外文献を査読

◎トンネル技術白書小委員会：4/25(朝倉俊弘委員長ほか25名)作業状況を報告

同　打合せ会：4/8(岩田充功幹事長ほか7名)編集方針を検討

◎環境調査特別委員会：4/22(久野悟郎委員長ほか17名)計測データを検討

計　5回開催　78名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：4/21(日月俊昭委員長ほか11名)理事会議題を検討

企画運営幹事会：4/4(土谷幸彦幹事長ほか11名)予算内容を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会：4/19(鈴木篤幹事長ほか9名)COB対策

対外広報WG：4/15(光木香幹事長ほか10名)テーマ選定を検討

国内広報WG：4/21(光木香幹事長ほか6名)海外文献の査読

ITA総括WG：4/27(小野紘一顧問ほか8名)ITA総会対策

◎会誌委員会：4/6(橋本定雄委員長ほか13名)5月号の会誌と3か月計画を検討

計　7回開催　75名出席

合計　12回開催　153名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等	備考
第5回 国際シンポジウム 軟弱地盤における地下建設の土質工学の現況	2005. 6. 15～17	アムステルダム(オランダ)	TC28 Symposium 国際地盤工学会第28回技術委員会	http://www.tc28-amsterdam.org
国際シンポジウム —世界最大のトンネル市場— 中国	2005. 9. 7～9	上海(中国)	Tunnel and Underground Works Branch, China Civil Engineering Society, Intex Shanghai Co. Ltd. 中国土木学会トンネルおよび地下建設分科会	http://www.tunnel-china.com
国際会議 「長大トンネルのデザイン，建設，管理・雪山トンネル開通記念」	2005. 11. 7～10	台北(台湾)	Chinese Taipei Tunnelling Association 台湾トンネル技術協会	http://www.longtunnel2005.taneeb.gov.tw
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 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.org Call for papers

＊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．社団法人日本トンネル技術協会 TEL：03-3553-6174

「トンネルの維持管理」講習会開催のご案内

主　催：(社)土木学会

後　援：(社)日本トンネル技術協会

日　時：平成17年7月27日(水)(会場：東京　土木学会講堂)
平成17年8月26日(金)(会場：札幌　北大学術交流会館)
平成17年9月20日(火)(会場：大阪　建設交流館)

申し込み・問い合わせ先：
(社)土木学会　トンネル工学委員会(事務局担当：川島)
TEL：03-3355-3559

その他：トンネル工学委員会HP：http://www.jsce.or.jp/committee/tun/

第8回トンネル技術ステップアップ研修会
「山岳部門」開催のご案内

各社におかれましても，社員に対して独自の技術研修を実施しておられるかと思いますが，今回対象技術者のさらなるステップアップに資するとともに，若い技術者同士の交流の機会を提供するものであります．

研修はトンネル経験5年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象とし，本研修会のために書き下ろされた教材にもとづき，執筆者が直接講義するものであります．また現場研修会も併せて開催いたしますので奮ってご参加下さいますようご案内申し上げます．

なお，同研修会は(社)土木学会の継続教育であるCPDプログラムに認定されています．

— 記 —

開　催　日：平成17年6月23日(木)，24日(金)

研修内容：

第1日目(6/23)　飛騨トンネル現場研修会

工事件名	東海北陸自動車道　飛騨トンネル
発注者	日本道路公団中部支社
施工者	本坑：大成・西松・佐藤共同企業体，避難坑：飛島・鉄建共同企業体
トンネル延長	10,750m
概要	本坑，避難坑ともにTBM(本坑＝φ12.84m，避難坑＝φ4.5m)で掘削． 車道の下は換気坑として有効利用．本坑は世界最大級であるTBMによる2車線断面のトンネル施工．完成すれば国内第2位となる長大道路トンネル．不良地山の連続と大量の高圧湧水による難工事となったが，現在は地山状況も良好となり，本坑TBM，避難坑TBMともに順調に掘進中．

行　程：13：00　北陸本線「金沢」駅改札前集合，バスにて移動，車中にて概況説明

参　考：①大阪10：12～金沢12：56雷鳥15号，②名古屋9：57～金沢12：45しらさぎ5号
③東京8：36～米原10：50ひかり305号，米原10：58～金沢12：45しらさぎ5号
④東京7：48～越後湯沢9：05とき307号，越後湯沢9：13～金沢11：53はくたか4号

14：30　工事事務所着，ヘルメット・長靴貸与，飛騨トンネル現場見学
17：00　質疑応答，ヘルメット・長靴返却
17：30　事務所出発
19：00　宿舎着，懇親・宿泊

第2日目(6/24)　研修会

8：30　開会の挨拶
日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉桑原　彌介
8：40　総説　京都大学大学院工学研究科資源工学専攻教授　朝倉　俊弘
9：00　設計
首都大学東京都市環境学部都市環境学科都市基盤環境コース教授　西村　和夫
9：50　調査　(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部主任研究員　木谷日出男
10：40　覆工・インバート
飛島建設(株)土木本部土木技術部技術第一担当課長　川端　康夫
11：30　膨圧・崩落対策　(株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部副部長　垣内　幸雄
12：20　昼食
13：00　補助工法
前田建設工業(株)土木本部土木技術部設計技術グループ課長　櫻井　孝臣
13：50　TBM　大成・西松・佐藤共同企業体飛騨トンネル工事技術部長　領家　邦泰
14：40　新技術の動向　日本道路公団技術部道路技術課課長代理　大窪　克己
15：00　質疑応答　15：30　修了証書授与，16：20　金沢駅前解散

参　考：①金沢16：44～大阪19：32　サンダーバード40号　②金沢16：28～米原18：20　しらさぎ14号，米原18：28～名古屋　18：57～東京　20：43　ひかり322号

定　　員：30名

参　加　費：会員65,000円，一般70,000円(バス，宿泊・懇親，食事，教材代含)

申し込み方法：この案内文書添付の申込用紙に記載のうえ，FAXをもってお申し込み下さい(複数の場合は申し込み書複写願います)．電話での申し込みは受け付けませんのでご了承願います．

〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会　ステップアップ研修会係
TEL：03-3553-6174　FAX：03-3553-6145

支払方法：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氏名記入のうえ，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：①参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理出席は差し支えありません．
②6/23の現場見学では，ヘルメット，長靴は貸与していただきますが，作業着は各自持参．
③参加者の変更通知は，開催日1週間前までに願います(修了証書発行)．

＊テキストを事前に送付いたしますので，住所などは必ず記載願います．

第8回トンネル技術ステップアップ研修会参加申し込み書

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

7月号予告[7月1日発売予定]

●秋田県　秋田中央道路シールド
●北陸新幹線　飯山トンネル
●山中湖忍野富士吉田線　忍野トンネル
●京都市高速鉄道東西線　二条～天神川間
●牛島再開発第1期工事　牛島町超高圧洞道
【連載講座】
●山岳トンネルにおける工事用機械の選定(21)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆JR福知山線の脱線事故では，多くの方が死傷いたしました．心よりお見舞い申し上げます．事故原因については，いくつかの要素があるようだが，ダイヤの遅れを取り戻すためのスピードの超過が原因の一つと言われている．通勤・通学時に電車が遅れると駅ホームは人で溢れ，車内が混雑し，さらには遅刻の原因になってしまう．人によっては，駅員にイライラの矛先を向けたり，ほんの些細のことでけんかになったりする．これらは，鉄道交通が規則正しく時間どおりに運営され絶大な信用があるためである．社会では，電車の遅れだけでなく，すべてにおいて「遅れることは信用をなくすこと」と思われている．信用は，企業にとっては生命線であり，人間関係においてももっとも重要なことである．今回の場合，信用を守ろうとしたため，かえって信用をなくしてしまった．時間と信用の関係は切っても切れないものだが，時間に余裕をもって行動すれば，心にもゆとりができ，多少の遅れは大目に見られるのではないだろうか．外国人から見ると「みんななんで急いでいるのか」と思われるように，われわれは時間の無駄を極力嫌う性格なのかもしれない．外国では，多少の電車の遅れは当たり前らしい．
◆花粉症の季節が終わったかと思ったら，今度は，いやな梅雨入りの季節です．時間に余裕をもって行動すれば暑さと湿気でイライラしがちな季節も無事に乗り切れるでしょう．

(K. Y)

★購読の申し込み，または，送付先変更などの問い合わせは(株)土木工学社までご連絡ください．
★(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36巻 第6号〔通巻418号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成17年5月20日　印刷
平成17年6月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　三谷　浩
〒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

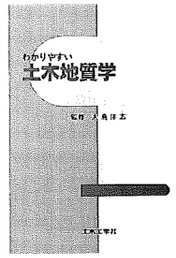
本誌広告のお申し込み方法

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．

土木工学社の地質学書

〔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　税込2,625円　〒340円

主要目次
序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質
第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水
第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件
1.路線選定と地質条件　2.トンネル工法・掘削工法と地質条件　3.掘削方式と地質条件　4.トンネル掘削に伴う地質的現象
第Ⅲ編　地質調査法
1.地形・地質調査一般　2.既存資料調査　3.空中写真判読　4.地質路査　5.弾性波探査　6.電気探査　7.その他の物理探査法
8.ボーリング調査　9.ボーリング孔を利用して行う調査　10.室内試験　11.調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12.水文調査・地下水調査　13.立地条件調査
第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

〔その他の既刊図書〕
建設工事の保安地質学〔改訂版〕　石井康夫 著　A5判　475頁　税込6,300円　送料340円
建設工事の地質診断と処方　石井康夫・矢嶋壯吉 共著　A5判　324頁　税込4,515円　送料340円
地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著　大西有三 監訳
第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円
岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判　444頁　税込10,290円　送料450円
ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判　360頁　税込5,097円　送料340円
岩盤の計測と解析　鈴木光 著　A5判　244頁　税込4,410円　送料340円
地質工学概論　菊地宏吉 著　B5判　276頁　税込4,994円　送料340円
続 きみの庭にも温泉が出る　石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判　217頁　税込1,260円　送料210円
きみも金鉱を発見できる　石井康夫 著　新書版　200頁　税込1,029円　送料210円

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

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

【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　　㊞

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　税込 2,100円　送料 290円

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

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

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

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

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

〈セグメントの新技術〉

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

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

き…り…と…り…線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術 ＿＿＿＿＿＿ 冊　申込みます．

所在地 〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

TAIKU



CL301E型
カッタローダ

強力な掘削
最大掘削高さ6.6m

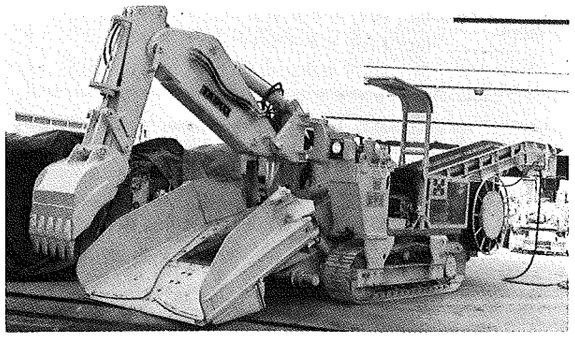
特長

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

新発売

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!

Kawasaki

KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



コンパクト
■クラス最小の車体寸法
・全長7,940 mm
■クラス最小の回転半径
・5,850 mm
(後輪軸リフトアップ時)

大出力
■クラス最大級のエンジン出力
・212 kW/2,300 min⁻¹

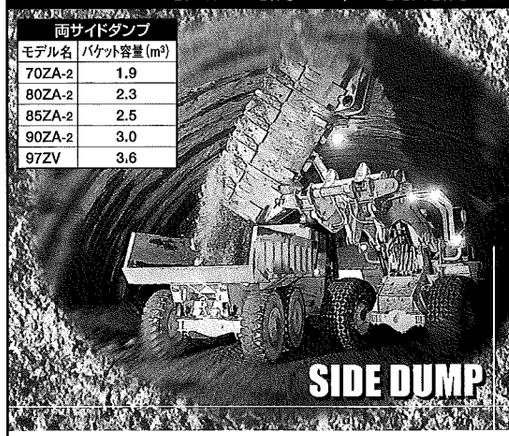
クリーン
■万全の環境対応
・第2次排ガス基準クリア
・セラミック製黒煙浄化装置(オプション)

安全
■安全性
・4段階調整式リターダ
・後方カメラ&モニター

ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
70ZA-2	1.9
80ZA-2	2.3
85ZA-2	2.5
90ZA-2	3.0
97ZV	3.6

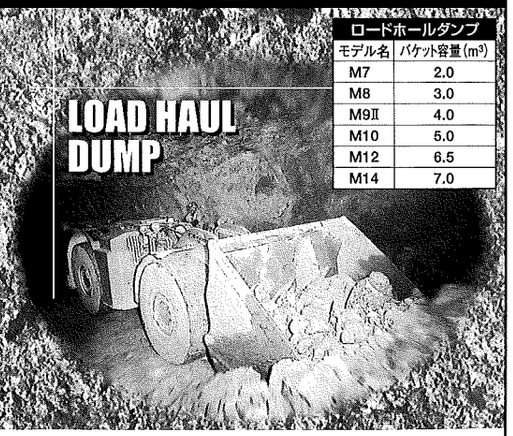


SIDE DUMP

LOAD HAUL DUMP

ロードホールダンプ

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



ONE FOCUS
Complete Solution
Kawasakiは一人一人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/