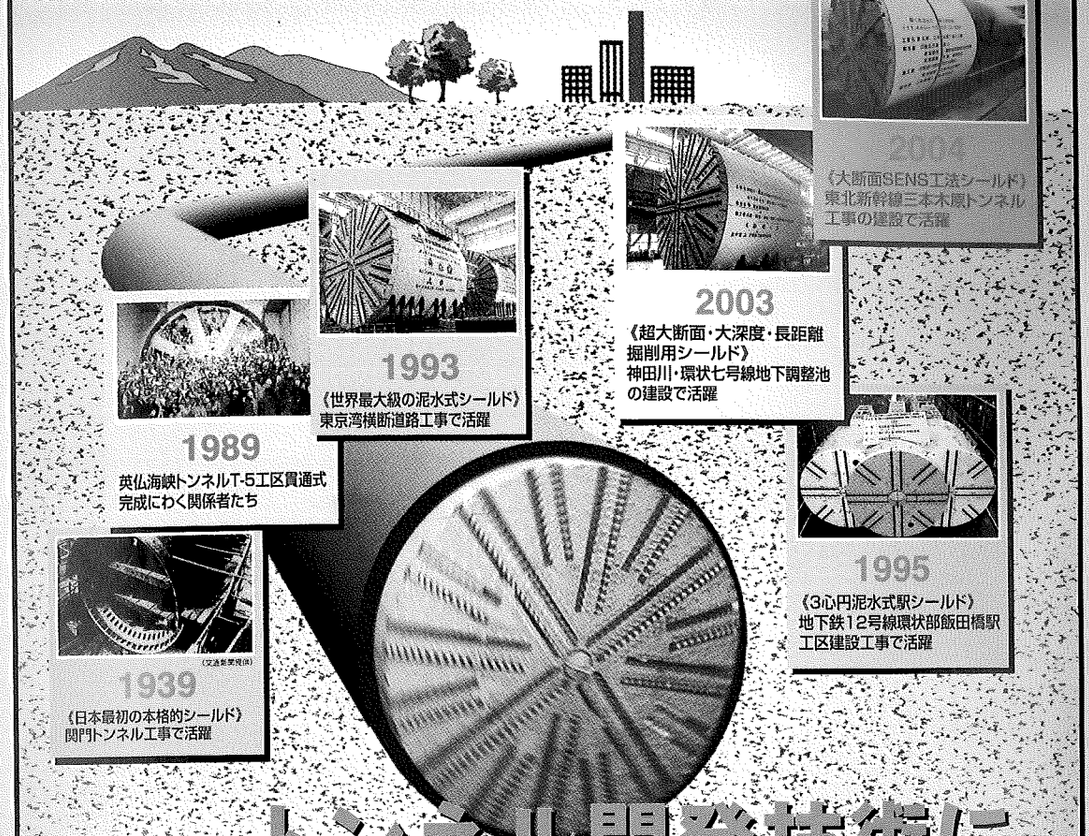
トンネルと地下　平成17年4月1日発行第36巻第4号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

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06619-4
4910066190453
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成17年4月1日発行（毎月1回1日発行）　第36巻第4号　通巻416号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 4

vol. 36
no. 4
2005

場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド
世界最大の泥土圧シールド
ライナー立坑円弧状部で初めての直接発進・到達
中之島新線建設工事の概要
世界最深沈埋トンネルプロジェクトの建設始まる
ロータリーパーカッションによる覆工背面の空洞調査

日本トンネル技術協会誌



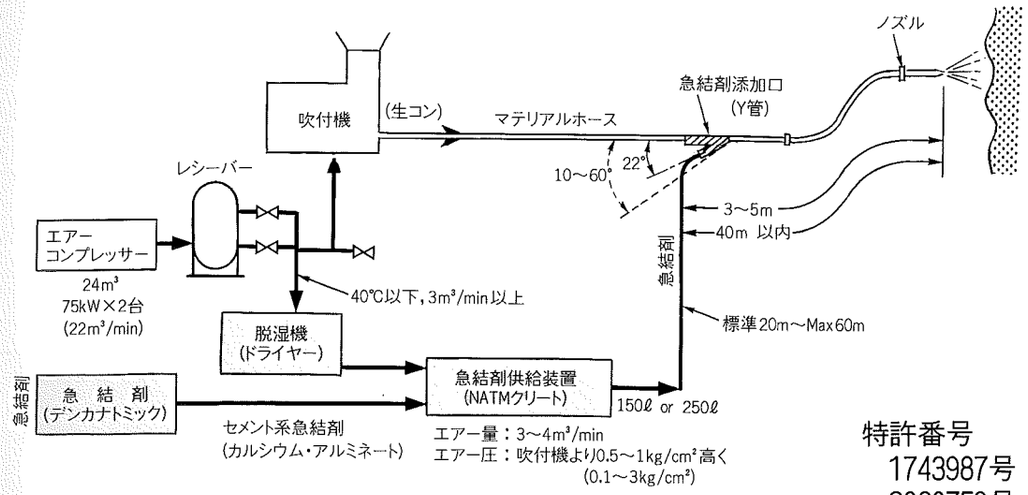
世界に誇る日本のNATMトンネル

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) 有振動	かさ比重(標準) 無振動	真比重(標準)	標準使用量(×C%)	主成分	性能および主な用途
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

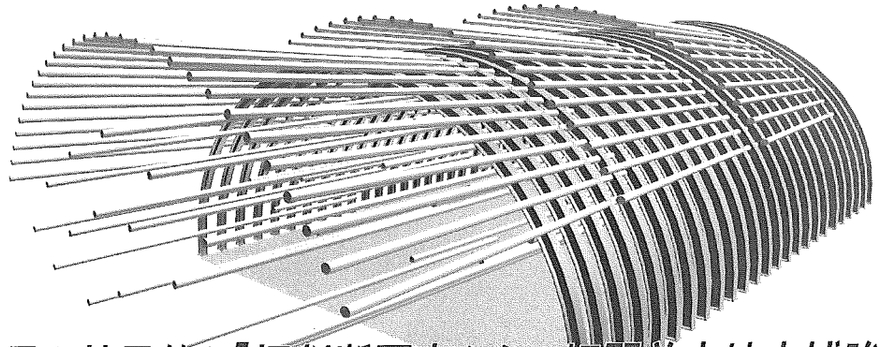
電気化学工業株式会社

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

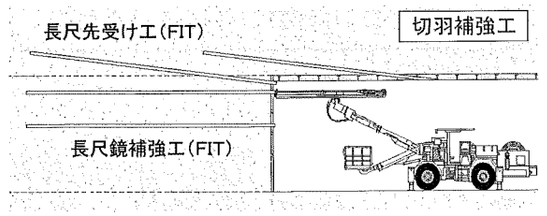
全方位 GFRP 管長尺補強システム

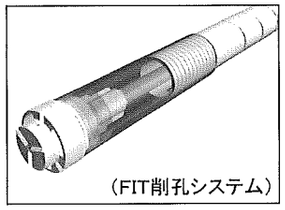
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

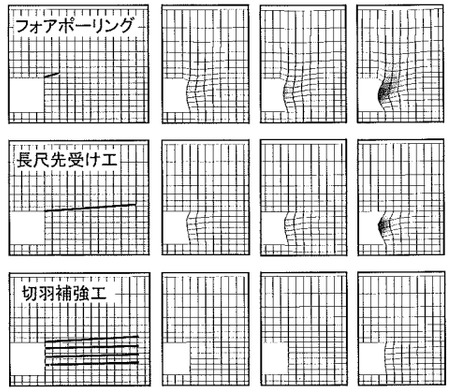
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



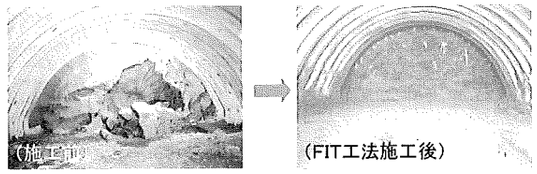
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」

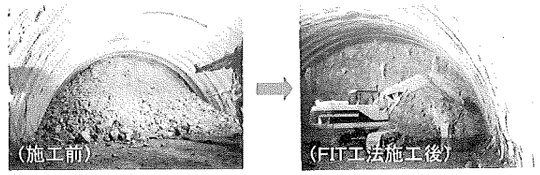






(数値解析による切羽補強効果の検証例)





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

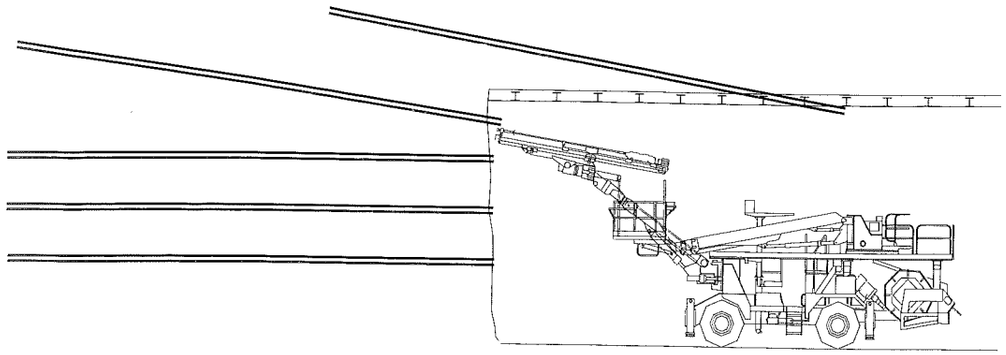
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

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

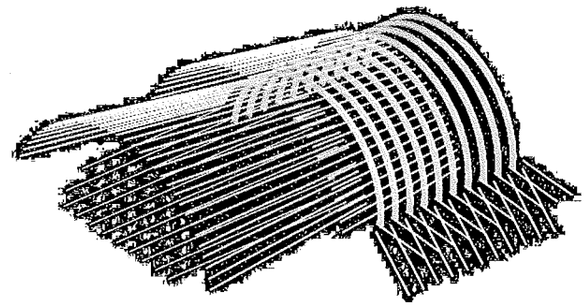
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

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

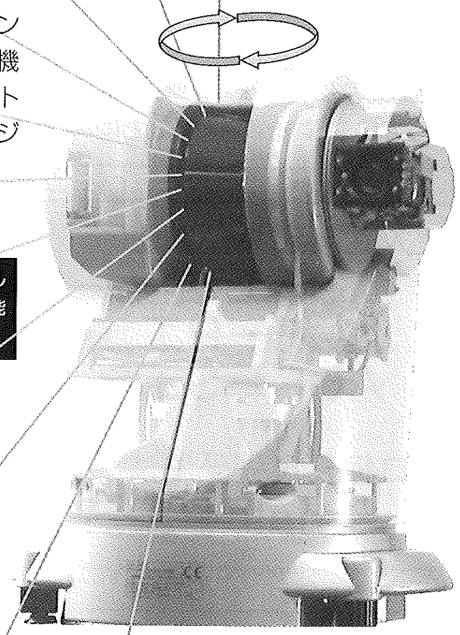
Callidus™ レーザースキャナー

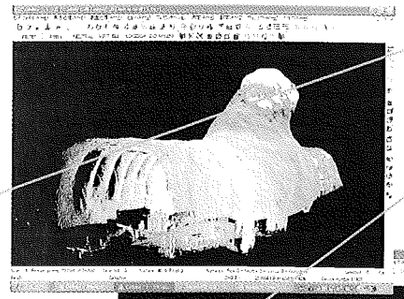
3次元トンネル断面計測機

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

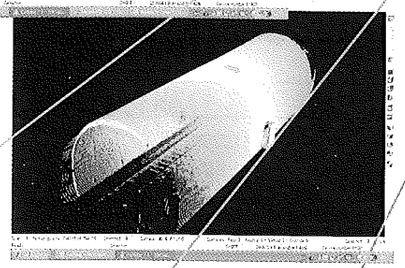
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン

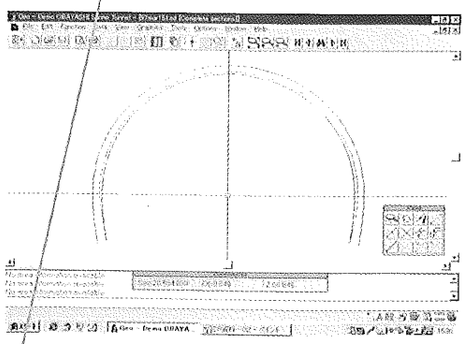




特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。



データ解析および製図「GEOWIN」

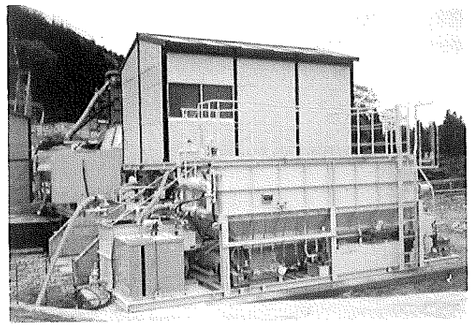
AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ（ポリゴン）で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長/観測断面の面積、観測範囲のボリューム計算などが計算・表示・出力できます。

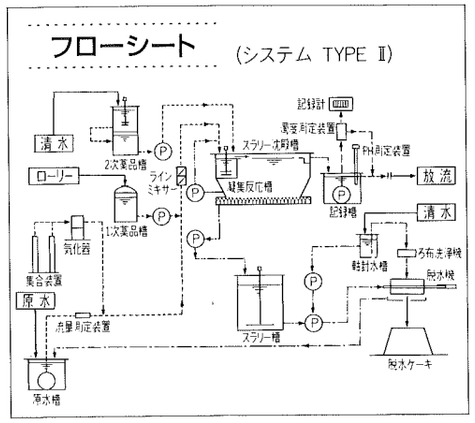
■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

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

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力





特　長

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

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

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

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

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

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

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

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

Waste Water Treatment System

詳細資料請求、お問い合わせは

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

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

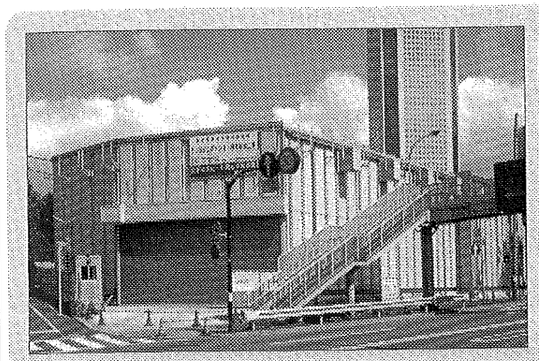
- トンネル●道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝（C.C.BOX）
- 大規模プラント

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

大丸の防音システム



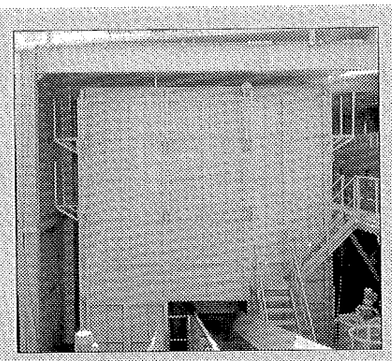
サイレントハウス(Bタイプ)

- ●工期の早い標準型
- ●音源対策から大型プラントまで

コスモス（Cタイプ）

- ●防音効果が最大
- ●環境問題の解決に





VLFシステム

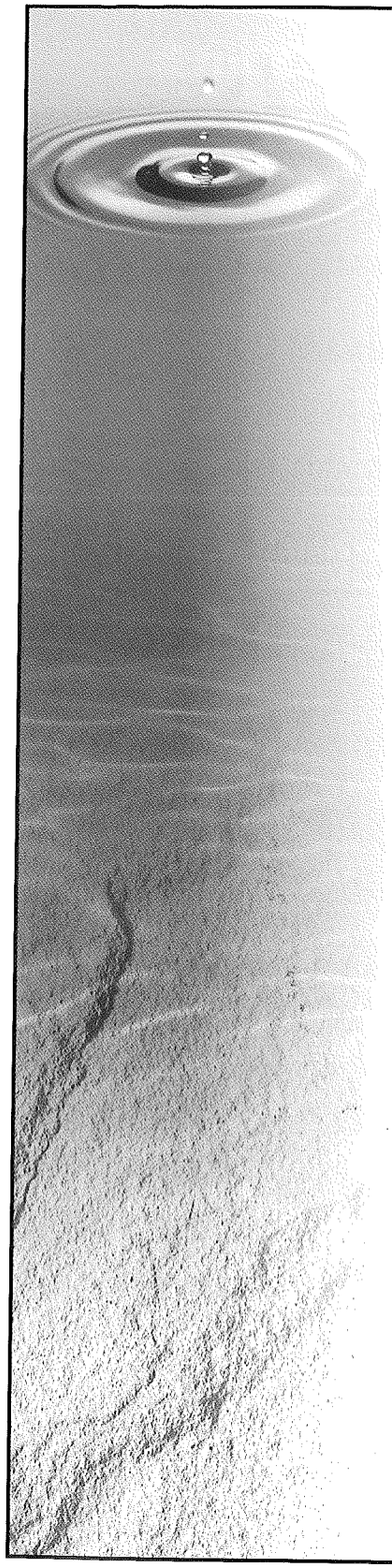
- ●超低周波音対策に
- ●16Hzで-26dB（実績）

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

DMR Daimaru

大丸防音株式会社

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

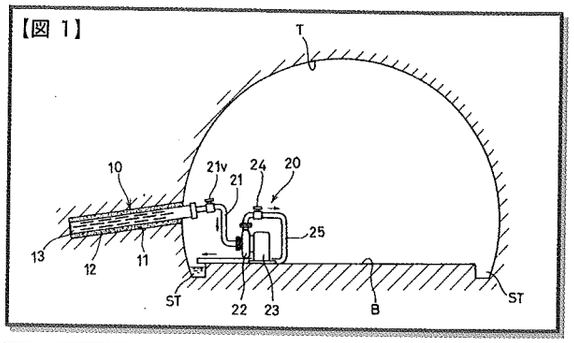


トンネル坑内 湧水濾過処理工法

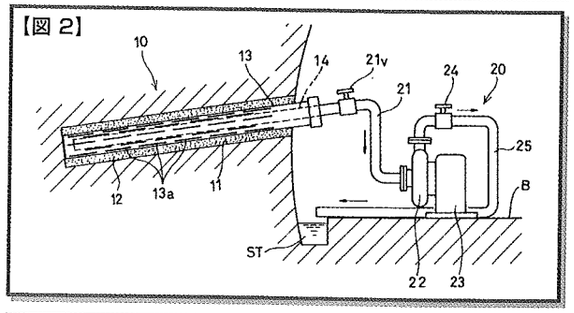
特許 第3497116号

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。

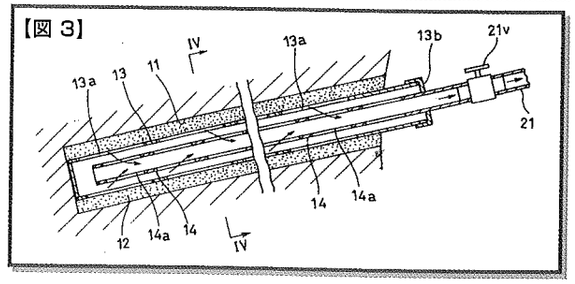
【図 1】



【図 2】

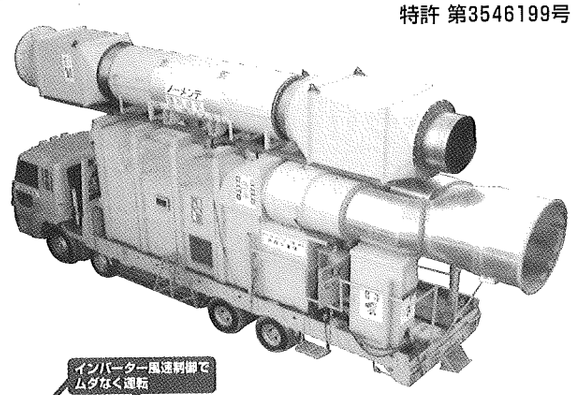


【図 3】



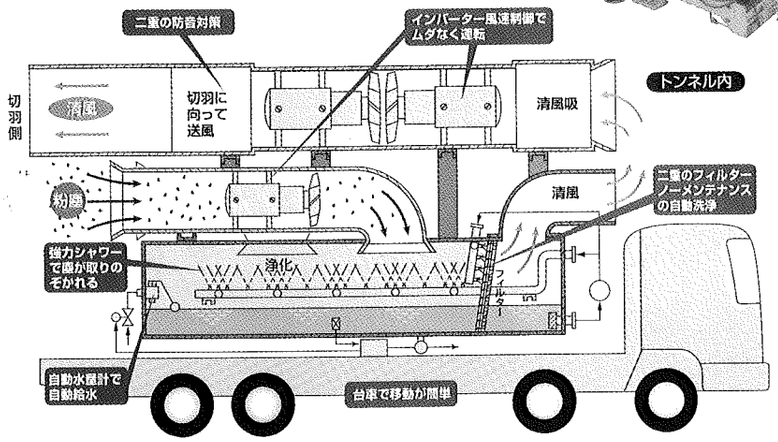
ノーメンテナンス“集塵機”強制換気システム

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180mmAq×9.8=1,764pa	1台当り全圧180mmAq×9.8=1,764pa×2台	1台当り全圧240mmAq×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500mmAq×9.8=4,900pa	全圧500mmAq×9.8=4,900pa
	回転数	—	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm	インバータ 400rpm~MAX1,800rpm
散水圧カポンプ	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	セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント~排気200カウント	セメント粉塵 60% 岩切粉塵 40% 吸気1,000カウント~排気200カウント	セメント粉塵 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	

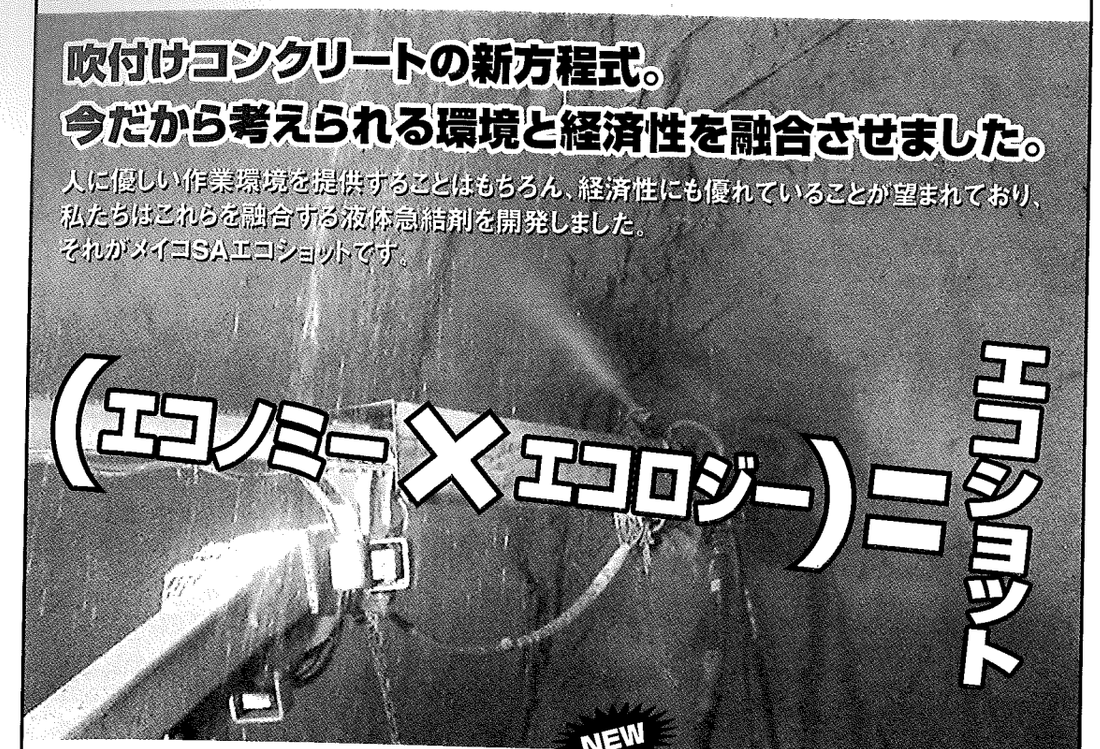
S 株式会社 阪本商会

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

degussa.

creating essentials



「メイコSAエコショット」は、従来の液体急結剤よりさらに硬化特性を向上させ、特に単位セメント量が360kg/m³の一般強度吹付けコンクリートに適した性能を有しています。そのうえ成分中にアルカリ分を含まない液体急結剤で、作業員に対する安全性が著しく高く、しかも粉じんおよびリバウンドを大幅カット。作業環境と経済性を飛躍的に改善します。また、単位水量を大幅に低減する湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤**「NT-1000シリーズ」**を併用することにより、さらに付着性や急結性、強度発現性などが優れる、品質の安定した経済的な吹付けコンクリートの施工を可能にします。

アルカリフリー液体急結剤

メイコ®SAエコショット

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤

NT-1000シリーズ

- 高強度化・施工性の改善にはシリカフューム**「メイコMS610」**
- 湿式吹付けコンクリートの練り置き時間を1～16時間できる**「デルボクリート」**

資料進呈／詳しくは、本社UGC営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。

株式会社 エヌエムビー
株式会社 ポゾリス物産

●本社／東京都港区六本木3-16-26 TEL03-3582-8814(直) FAX.03-3583-3800
●支店／東京、大阪 ●営業所／札幌、仙台、宇都宮、千葉、横浜、上越、松本、静岡、名古屋、高松、広島、福岡、鹿児島
URL／http://www.degussa-cc.jp

●(株)エヌエムビーは中央研究所と茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

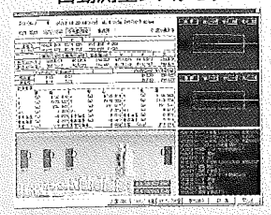
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

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

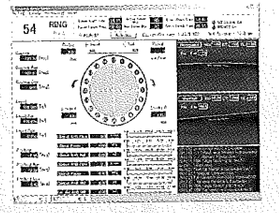
シールド工事における自動測量システムの納入実績は、国内はもとよりアジア地区でNo1となりました。数々の高速・高精度施工の新記録を打ち立て、現在も世界各国の現場で稼動しております。

自動測量システム

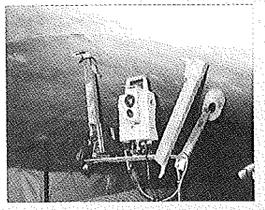


坑内は勿論離れた事務所からの遠隔測量も実現します

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

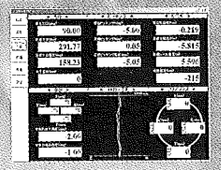
シールド工事向け掘進管理システム

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。

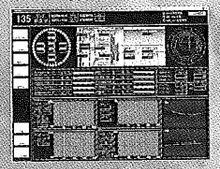
システムタイプ
- 泥土圧　泥水　TBM
- 上下水道　共同溝　地下鉄　道路　etc.
(各々専用のソフトをご用意しております)

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

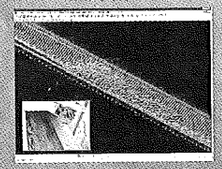
GEOMETRY GYRO



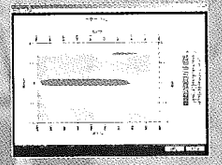
掘進管理



3D土量計測システム



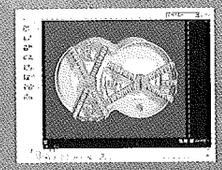
セグメント内空計測



Shiled Broad Band



CG・VR作成



enzan Koubou

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

株式会社 演算工房

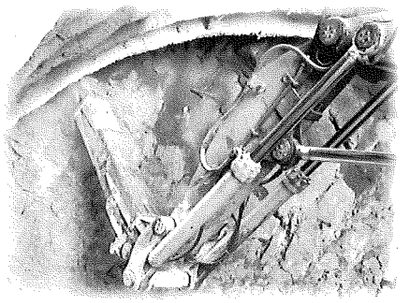
本社office：京都市中京区烏丸通押小路上る秋野々町535番地 日土地ビル4F　TEL：075-213-7200 FAX：075-213-7201
東京office：東京都千代田区神田錦町3-15-5 川崎パークビル17F　TEL：03-3518-2588 FAX：03-3518-2589

Cyber WORKS



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

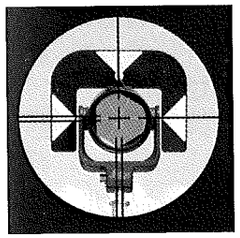
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

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

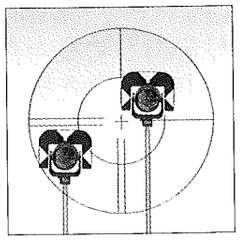
トンネル測量システム

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。

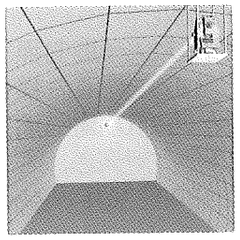




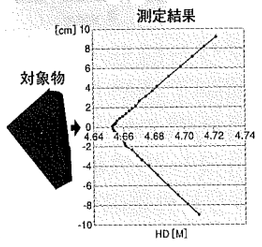
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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。

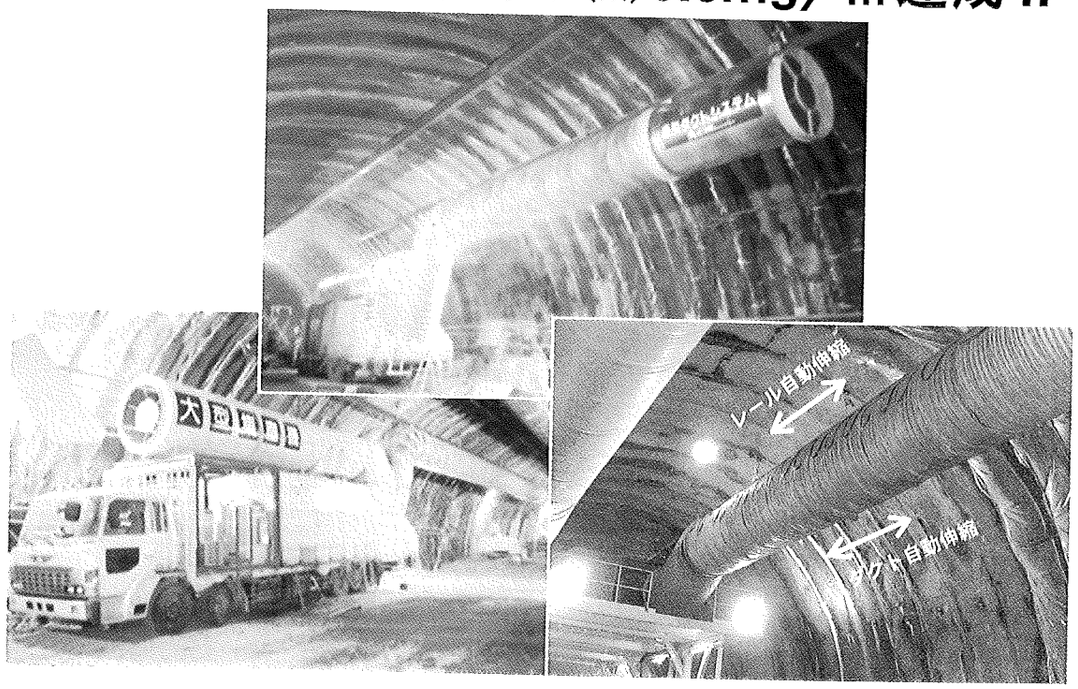
ライカ ジオシステムズ株式会社
http://www.leica-geosystems.co.jp

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

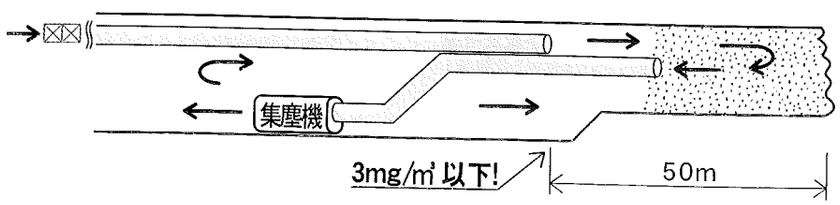
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(※) 0.5mg/m³達成 !!



(※)諸条件はお問合せください。

- 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。操作の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・ランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ダクト外径はΦ600～Φ1800、負圧−2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。

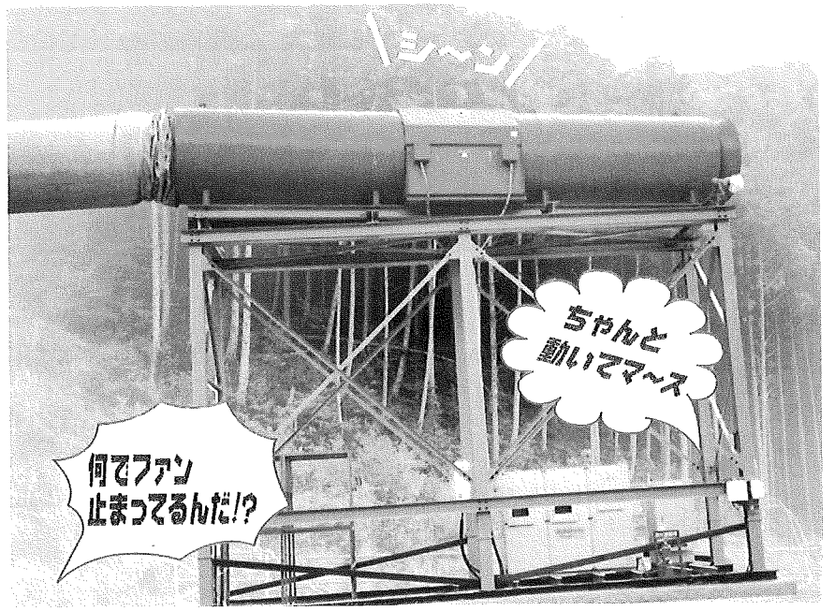


まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

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 茨城県真壁郡関城町大字花田字西山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350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、人ー△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。

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 茨城県真壁郡関城町大字花田字西山84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296 (37) 7680 (代) FAX：0296 (37) 7681

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

自削孔 NTロックボルト PAT.P

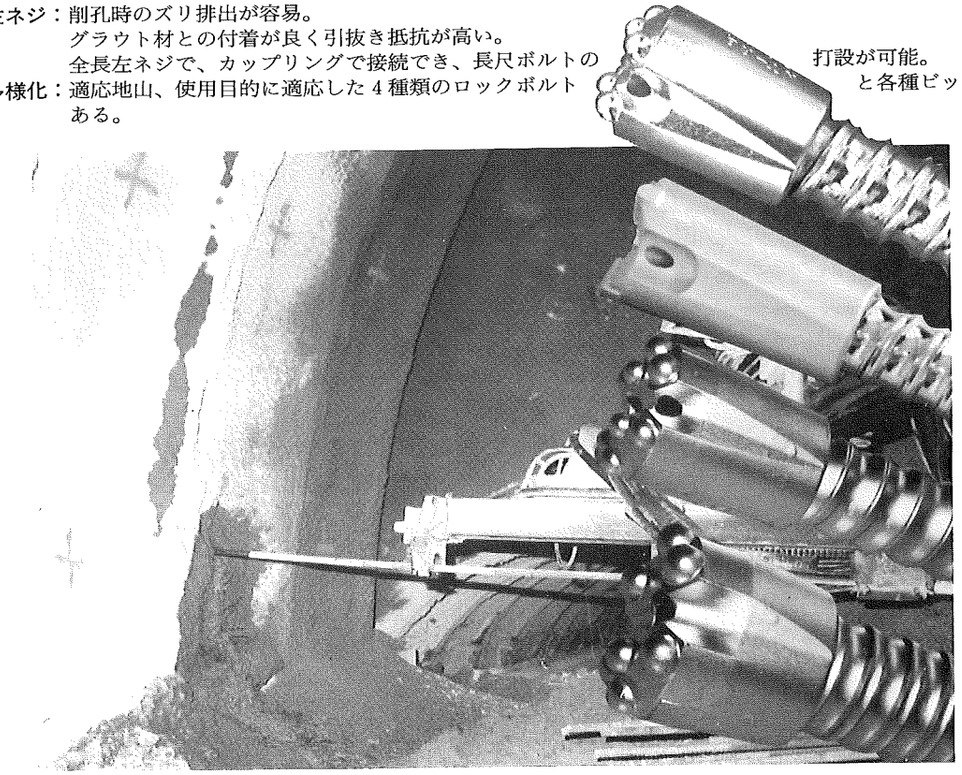
特　徴

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

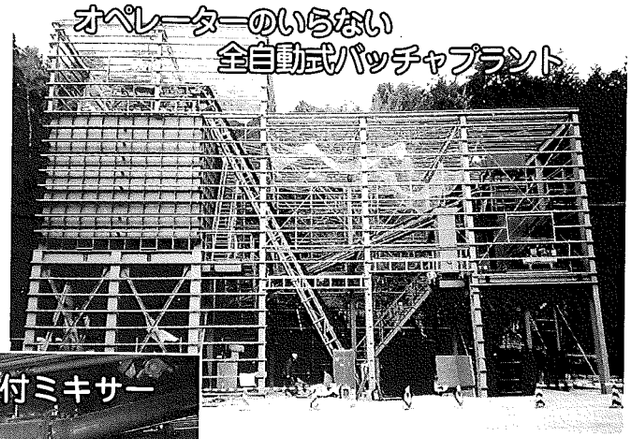
高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

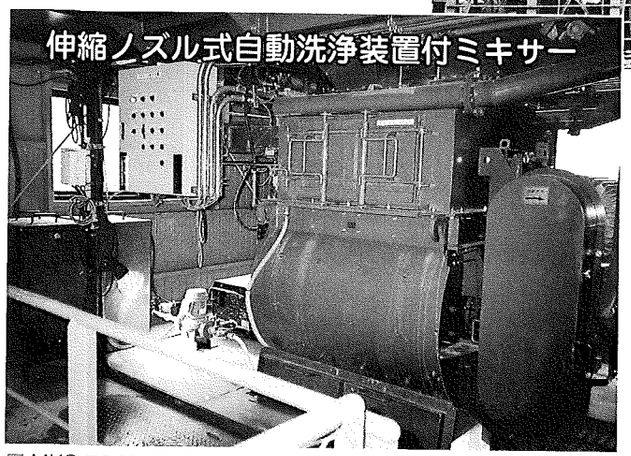
全自動式 バッチャプラント

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）

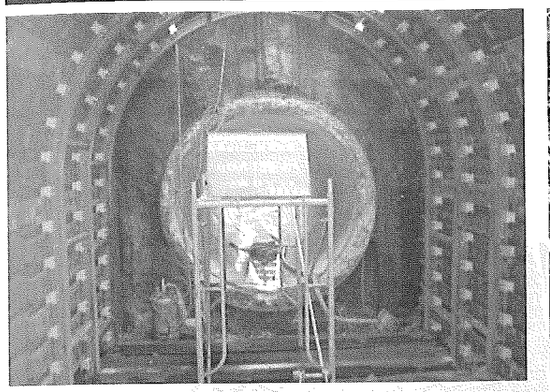
名岐機器株式会社

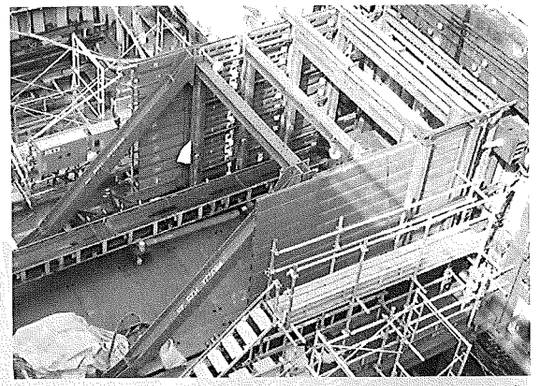
本　　社　岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227　TEL（0584）35-3735㈹
FAX（0584）35-3736

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

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績（工法指導致します）

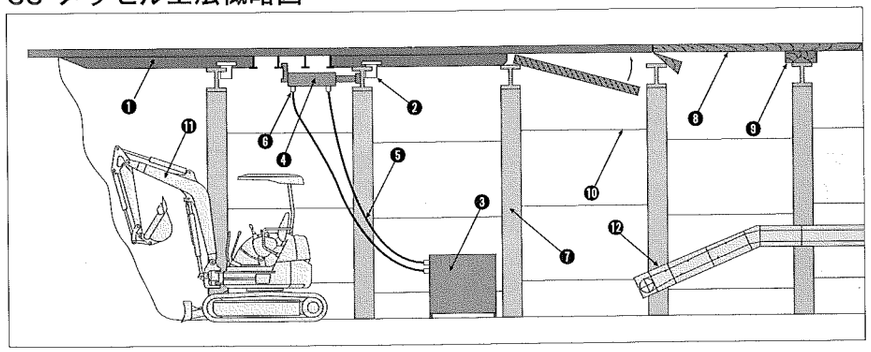
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



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

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

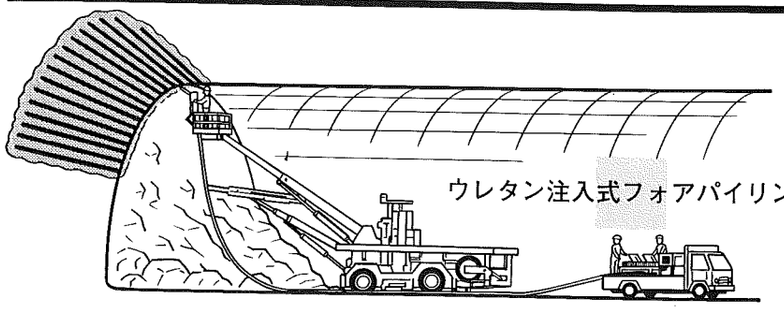
〒102-0072　東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号　TEL.(03)3263-7457(代)　FAX.(03)3262-0915

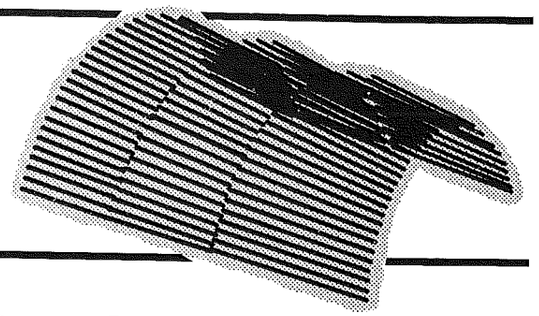
BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

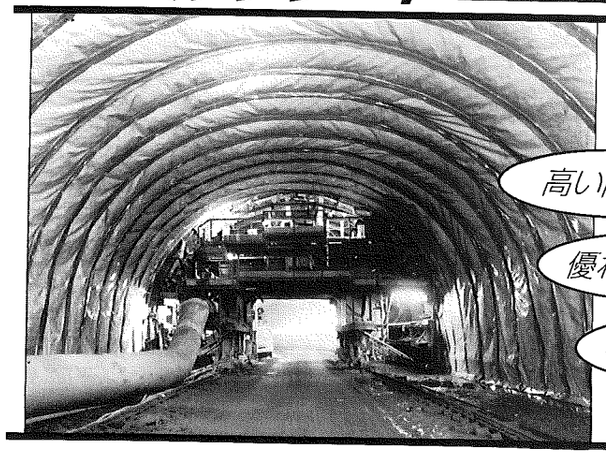
ブリヂストンのトンネル資材

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

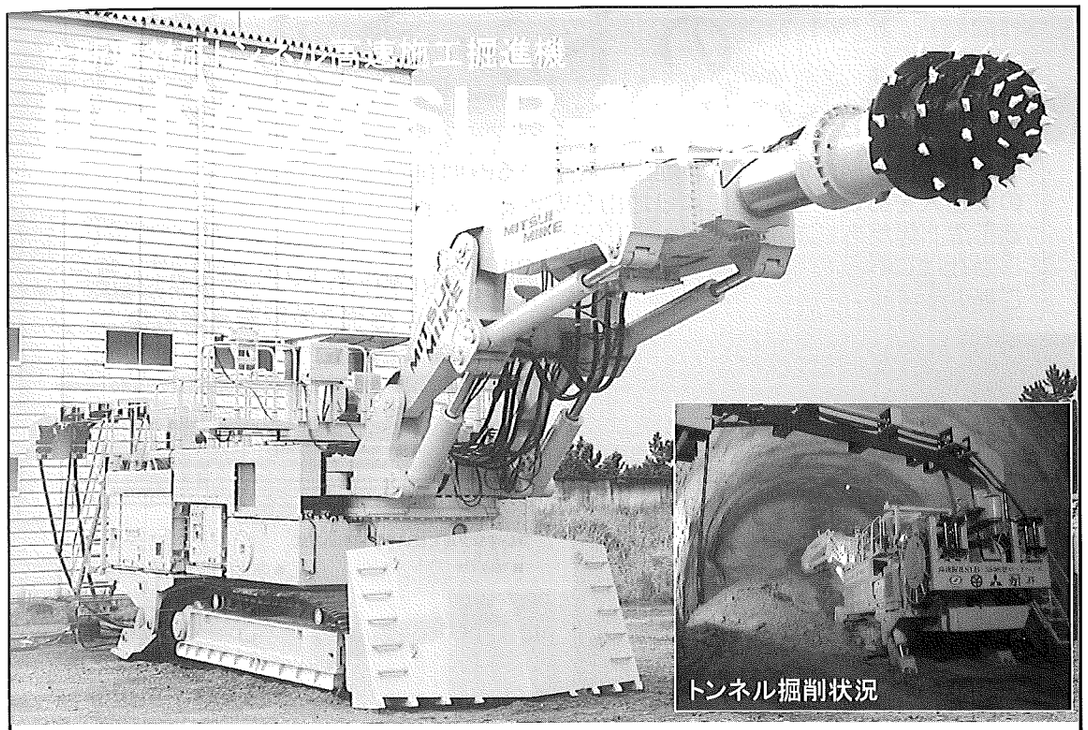




ナトミックシート
トンネル用防水シート



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



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

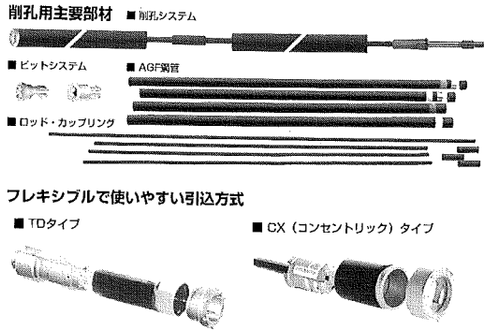
メンテナンス　ミイケ機材株式会社　本社／〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711　FAX. 03-5678-4105

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。

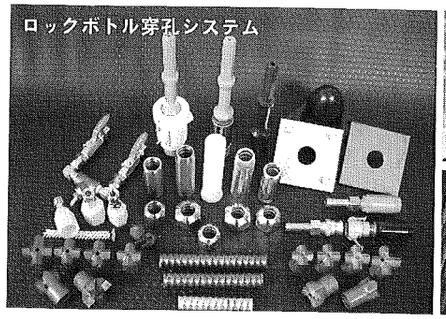


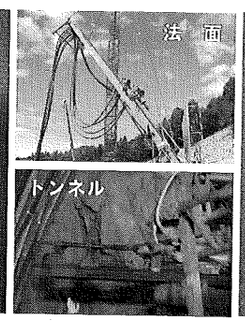


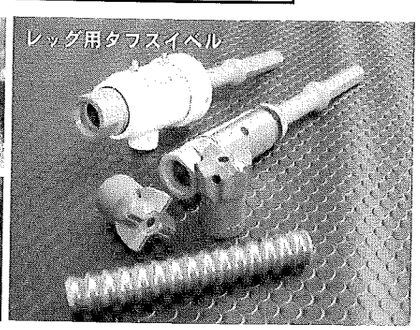
▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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)





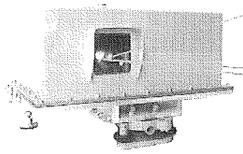


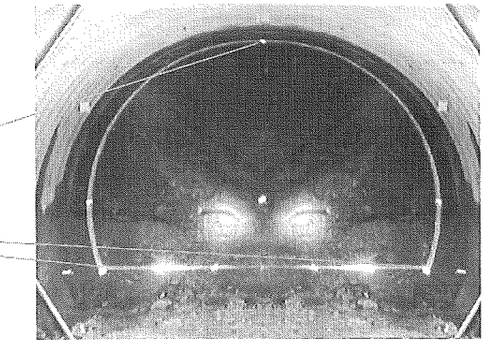
TFT Tube Forming & Technological 株式会社 **ティーエフティー**
〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号
Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

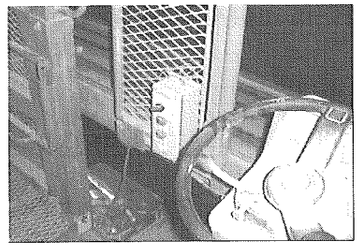
残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現





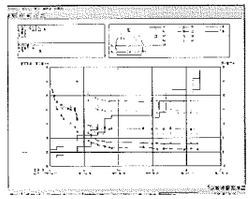
現場環境に耐え得る頑強なコントローラー



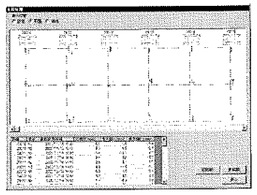


ジャンボに取付けて使用可
AC200V対応

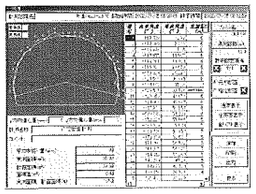
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



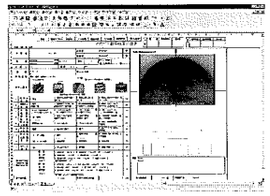
A計測データ処理



支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



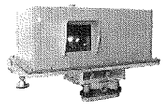
切羽観察、etc















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〕
古河機械販売株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

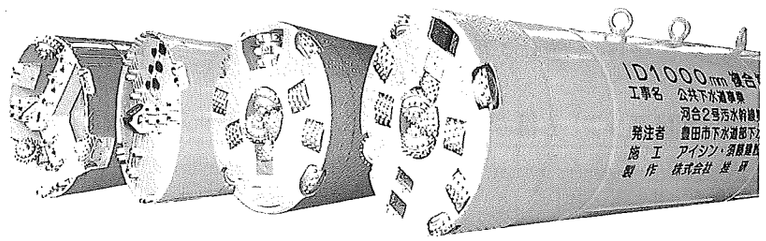
岩盤推進を創めて20年

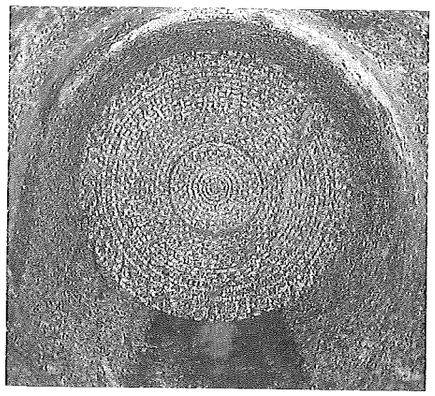
軟弱土から硬岩まで!!

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

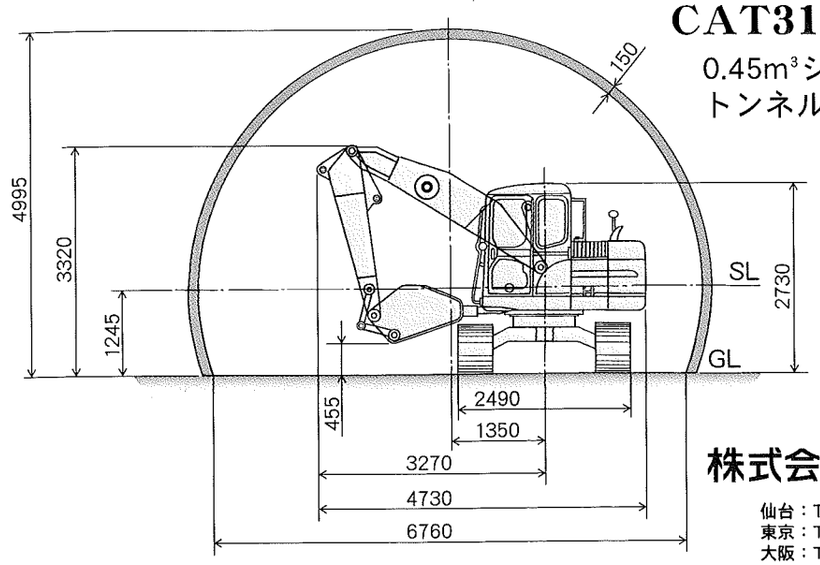




C.M.T工法協会
株式会社 堀研
本 社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029
研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

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。

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

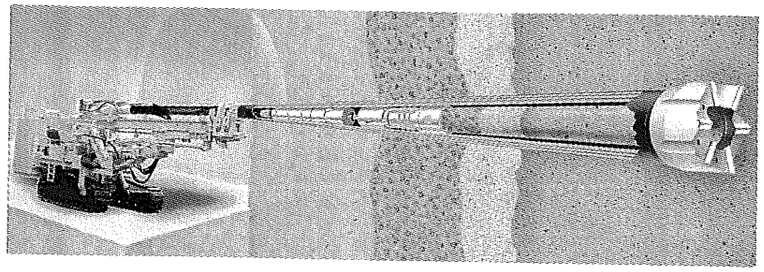
0～20（約２年） 20～30（１年６か月）
30～40（約１年） 40～50（６か月）

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

中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐
本 社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹ FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

トンネル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

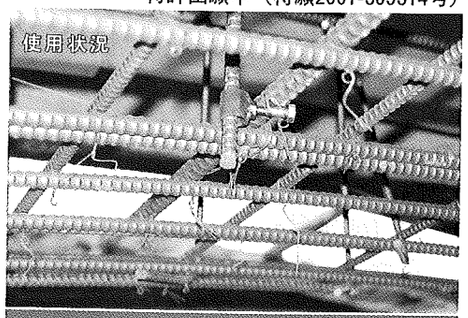
お問い合わせ先 ： エンジニアリンググループ
TEL. (03)3366-3123　FAX. (03)3366-3365
http://www.koken-boring.co.jp/

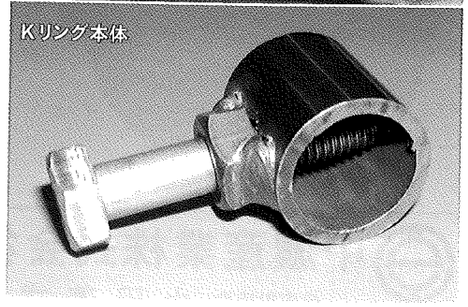
コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中（特願2001-309314号）

トンネル工事におけるインバート、アーチ鉄筋組立金物

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





ご納入実績

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

製造・販売元

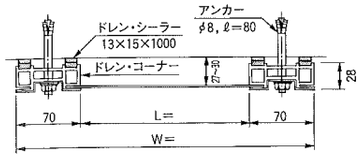
KTK ケーティーケー

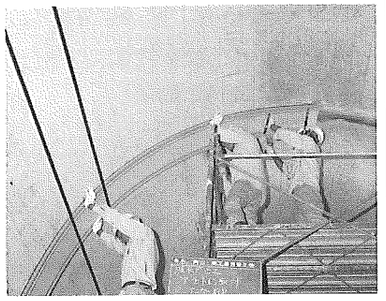
〒436-005静岡県掛川市弥生町 105 番地
Tel : 0537-24-5988 Fax:0537-24-3859
E-mail : ktk@r5.dion.ne.jp
URL : http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk

トンネル・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

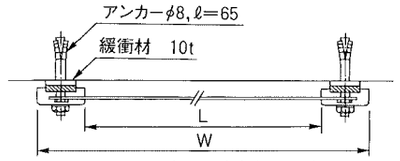
■特　徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

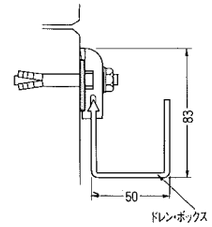
アーチ・パネル



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

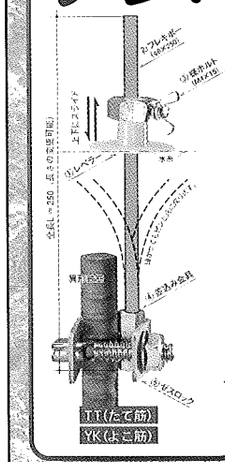
〒910-2166　福井市小路町４－12－１
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

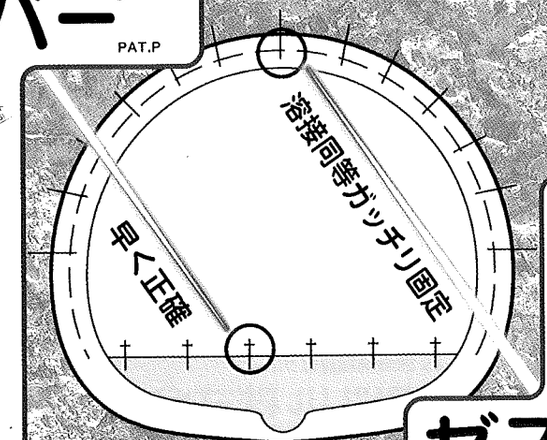
安全・作業効率・経済性を追求した“トンネル副資材”!!

コンクリート床版の天端出し表示具

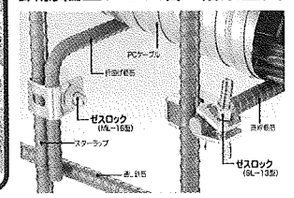
テンバー®

PAT.P





鉄筋組立クロス部‘結束金具’



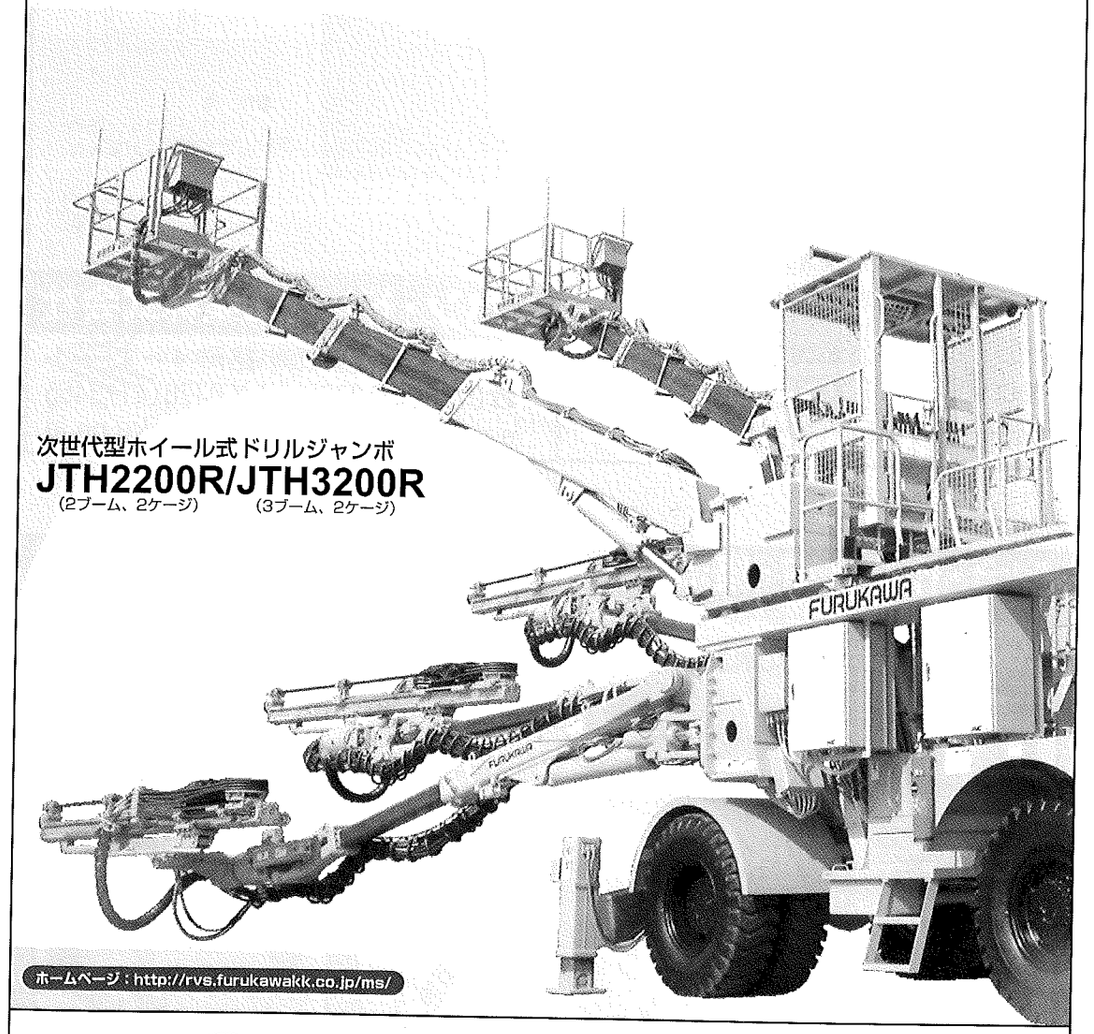
ゼスロック®

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/

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)

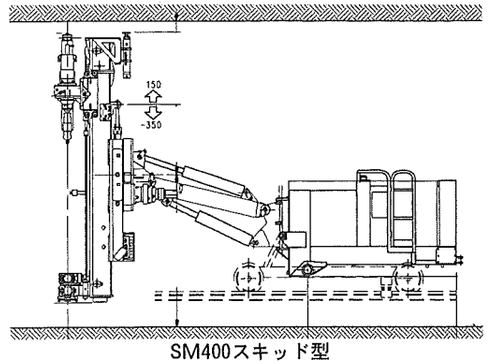
本　　社　〒101-0047　東京都千代田区内神田2丁目15番9号　古河千代田ビル　特機営業部　TEL：03-3252-2544

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

トンネルの削孔機械・輸入資材

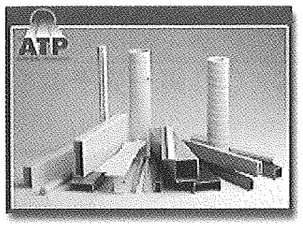
● 油圧削孔機 SM シリーズ
狭いトンネル内での施工にショートマストで対応します。

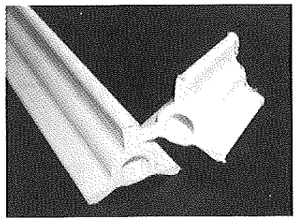

SM103

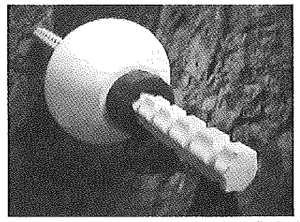


SM400スキッド型

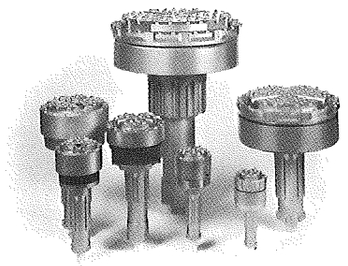
● グラスファイバーチューブ & ボルト
トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。

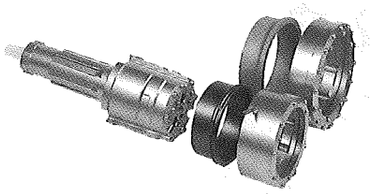



STAR 500S


WIBOLT STAR

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





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

トンネルと地下　4月号目次　Vol.36, No.4, 2005 Apr.

■巻　頭　言

「防　災」と「減　災」
赤井　憲彦……5

■研　　究

ロータリーパーカッションによる覆工背面の空洞調査
大嶋　健二・伊藤　哲男・本多　眞・西村　晋一……57

■計　　画

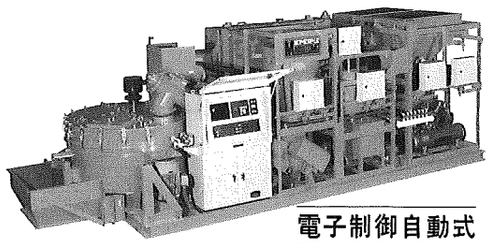
中之島新線建設工事の概要
長瀧　元紀・泉谷　透……41

世界最深沈埋トンネルプロジェクトの建設始まる
―ボスポラス海峡横断鉄道プロジェクトの概要―
栄枝　秀樹・Niyazi ZALGI……49

■施　　工

場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド
―東北新幹線　三本木原トンネル―
佐々木幹夫・佐原　圭介・井浦　智実・川嶋　潤二……7

世界最大の泥土圧シールド
―首都高速中央環状新宿線　中落合シールド―
土橋　浩・櫻井　裕一・中山　正夫・染谷　明……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)　5　3　8　1　代
東京営業所　東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024　ミツバビル　電話〈03〉(3861)9461代
恵那工場　岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121　電話　〈0573〉(28)　2　0　8　0　代

ライナー立坑円弧状部で初めての直接発進・到達
―東京都下水道　落合川雨水幹線シールド―
伊東　三夫・三上　豊・滝沢　究……31

■連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(18)
TBM(5)－付属設備(前方地山探査と補助工法設備)－
「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……69

多様化するシールド掘進技術(最終回)
充填式シールド急曲線工法，連載を終えるにあたって
磯　陽夫・滝本　邦彦……81

■現場だより

「歴史と産業のクロスポイント」鳥栖より
星野　孝則……16

■資　　料

トンネル千夜一夜(4)
小野田　滋……28

土木情報
編　集　部……30

トンネルジャーナル
編　集　部……40

文献紹介
編　集　部……68

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……80

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　…90

海外文献速報
JTA研究開発委員会……91

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……94

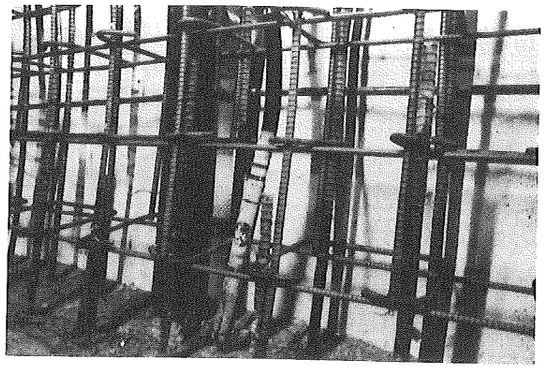
【表紙説明】

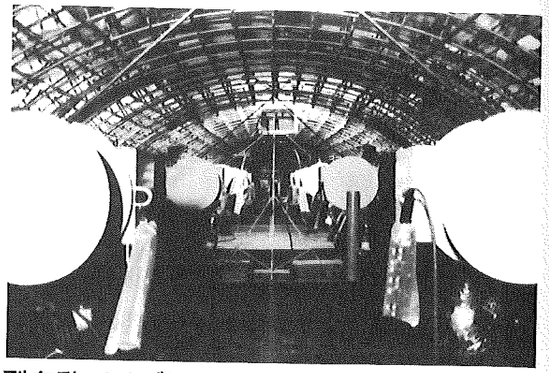
ライナー立坑円弧状部で初めての直接発進・到達
―東京都下水道　落合川雨水幹線シールド―



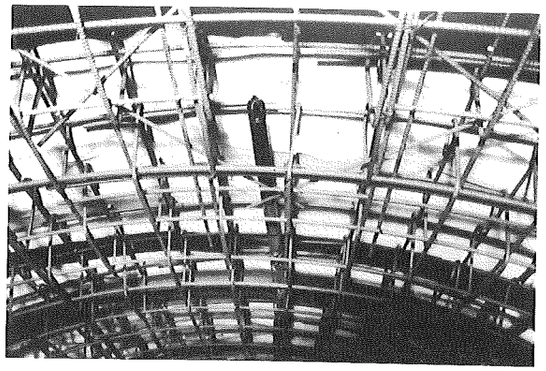
落合川雨水幹線シールド工事では，ライナープレート立坑においてライナープレートに代えてシールドで切削可能な部材を設置し，発進・到達を行う直接発進・到達工法を，また従来と同等のシールド設備で施工可能で継手構造を簡略化しながらリング継手面の円弧状凹凸の噛み合わせにより，高い構造安定性を有し，覆工内面が完全に平滑であるという特徴がある内面平滑型4分割セグメントの新技術の採用により，コスト縮減に取り組んだ．写真は組み立て後の坑内の状況である．〔**写真提供**：東京都〕(本文31頁参照)

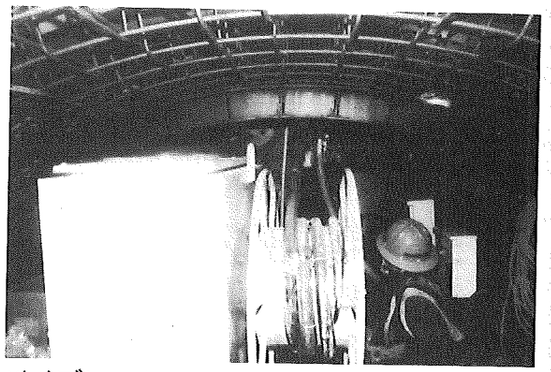
コンクリート打設の新技術



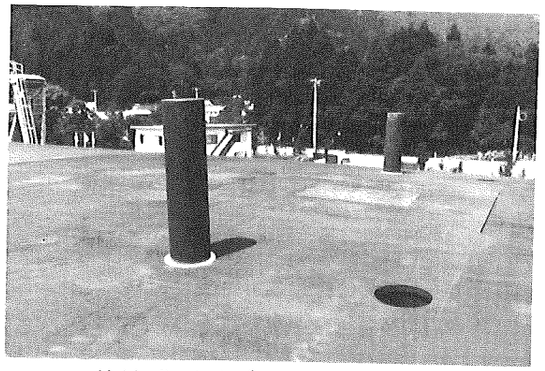


コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレータシステム
（バイブレータに内臓されたセンサーがコンクリートを感知し自動的に巻き取る）

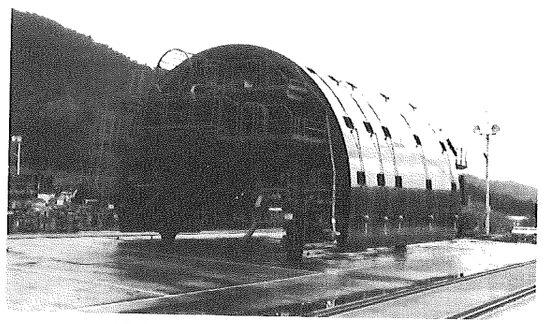




トンネル天場部の引抜式バイブレータシステム
（トンネルの天場縦断を締固める）



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〕

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

〔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

田川弘義
株式会社竹中道路取締役社長

千葉隆
清水建設株式会社土木事業本部
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

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

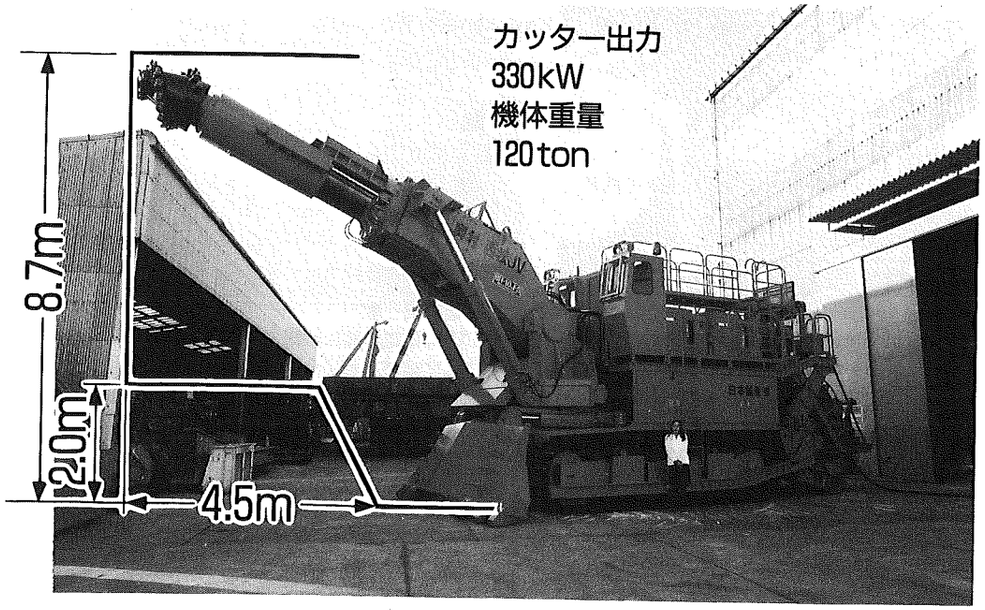
丸安隆和
東京理科大学教授

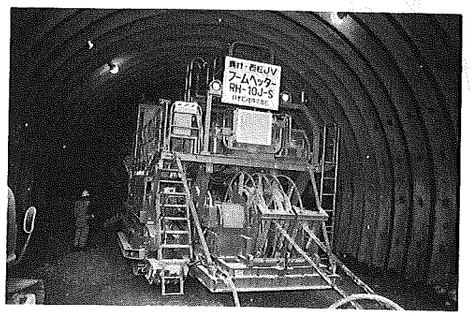
宮川房夫
株式会社熊谷組専務執行役員

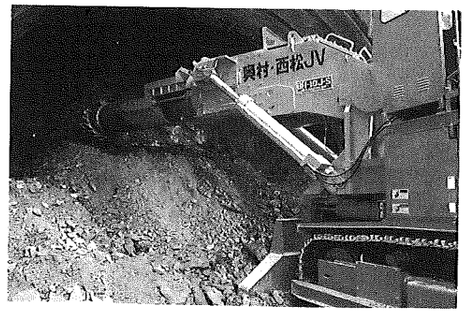
吉川新吉
東京発電株式会社常任監査役

吉村恒
吉村とんねる・らぼ

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〕

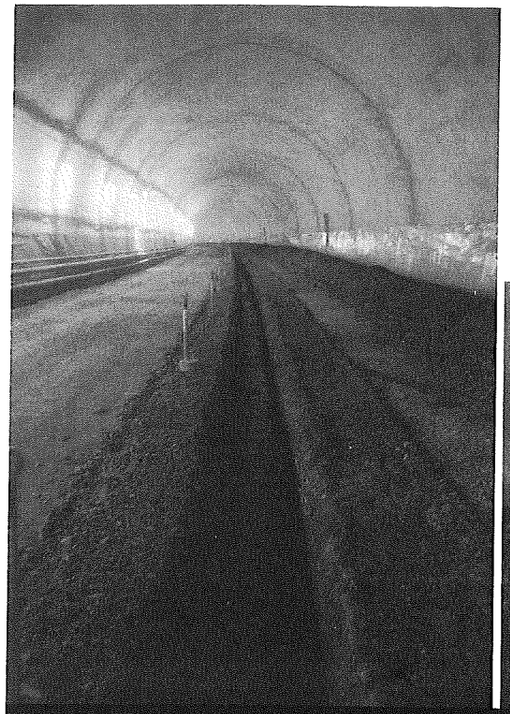
伊藤良行　株式会社復建エンジニヤリング 第一技術部部長
大島洋志　国際航業株式会社 上席フェロー技術センター長
今田徹　東京都立大学名誉教授
定塚正行　株式会社コンテク代表取締役社長
鈴木章　日本下水道事業団理事
濱建介　株式会社アオバ取締役会長
水谷敏則　（財）先端建設技術センター 専務理事

〔委員〕

大月喜雄　東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長
櫃尾恒次　東京都交通局建設工務部保線課長
木谷日出男　財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員
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
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
清治均　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
高橋良文　東京都下水道局計画調整部事業調整課長
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

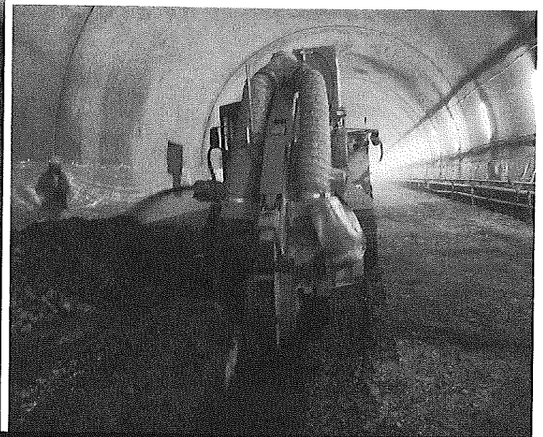
TRENCOR inc.



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

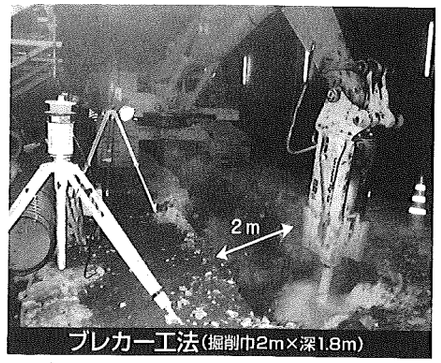
トンネル	排水溝寸法（矩形）		進行と掘削時間	
	巾（m）	深（m）	m／時	時／日
新幹線	0.8	1.8	10～25	2～4
高速道路	0.6	0.9	20～50	4～5



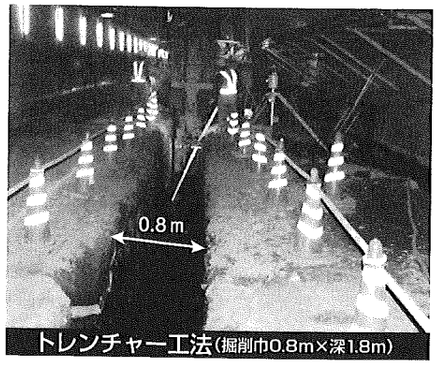
トレンチャーによる中央排水溝掘削

	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.4 掲載概要

掲載頁 7 場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド
—東北新幹線 三本木原トンネル—

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構 佐々木幹夫

東北新幹線三本木原トンネルでは，小土かぶり含水未固結地山において，補助工法を併用したNATMによる掘削を行っていたが，切羽の進行が止まるほどの崩落がたびたび発生した．そこで，安全性・経済性・施工性を考慮し，シールドを用いた新しい施工システムを採用し，残り約3,000mの区間の掘削を行うことを計画した． この新施工システムは，「切羽保持」，「掘削」にシールド工法を，「早期閉合」に場所打ちライニング工法(いわゆるECL工法)を，最終的な「覆工」の構築思想にNATMを取り入れたものであり，シールドを用いた場所打ち支保システム「SENS」と名付けた．その主な特徴は，場所打ちライニングコンクリートを，NATMにおける吹付けコンクリートなどと同様に一次支保材として位置づけ，地山の変位収束後に荷重を受け持たない化粧巻きとして二次覆工を構築し，トンネルを完成させるという点であり，この一連のシステムを実施工により検証し，合理的な施工システムとして確立することを目指している．本稿では，シールドを用いた場所打ち支保システムの概要と初期段階の施工結果について述べる．

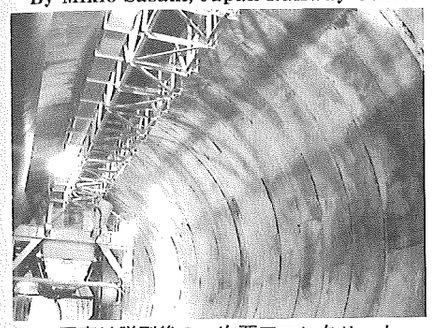
Extruded Concrete Lining Method applied to Mountainous Tunnelling – Sambongihara Tunnel Project of Tohoku Sinkansen(Superexpress Railway)

By Mikio Sasaki, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Sambongihara Tunnel of Tohoku Sinkansen having a small cover is located in unstable ground with high water pressure. This tunnel was excavated with the NATM and had some troubles such as collapses at face. To settle these troubles, the extruded concrete lining method(the ECL method) using a TBM is applied to the last 3000m of this tunnel. In this section, the initial lining is performed with the cast-in-place concrete using the extruded concrete method which sustains the ground pressure, and the secondary one as a non-structural member is done after the completion of convergence.

The function of extruded concrete lining corresponds to the one of the shotcrete lining of NATM. This system is named the SEMS in this project.

This paper explains the concept of the SENS and reports the performance early stage of this project.



写真は脱型後の一次覆工コンクリート

掲載頁 17 世界最大の泥土圧シールド
—首都高速中央環状新宿線 中落合シールド—

首都高速道路公団 土橋 浩

本稿は，現在建設中の首都高速中央環状新宿線のトンネル工事の中で，世界最大径を有する泥土圧シールド工事の概要，施工経過について報告するものである．

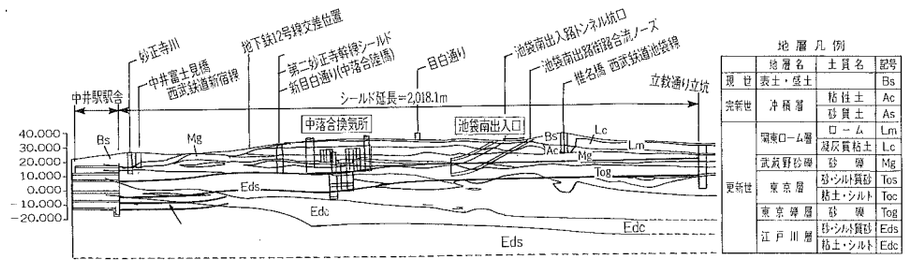
大断面泥土圧シールド工事にあたり，切羽の安定対策，安定のために重要な課題である塑性流動化対策，切羽土圧管理，排土管理などについて，現在実施している管理について述べる．この中で，とくに今回チャンバ内の土砂の状態を可視化して評価する技術の開発を進めており，塑性流動性の新たな評価に資することが期待される．

また，NOMST壁の切削および長距離掘進対策，シールド掘進と道路床版の同時施工による工期短縮対策などについても併せて述べる．

World's Largest EPB Shield applied to Metropolitan Circular Line

By Hiroshi Dobashi, Metropolitan Expressway Public Corporation

The world's largest EPB shield is adopted in the Shinjuku Line of Metropolitan Circular Expressway. This paper reports the outline of this project including the construction records such as how to stabilize the face, how to manage the earth pressure in chamber and control the plasticity of excavated materials and their mucking system, and the development of visual system in the chamber. This paper also presents the tunnelling technologies such as the novel material shield cuttable tunnel wall(NOMST)system, the long distance shield drive and the coincident construction of shield drive and the deck slab inside tunnel.



図は土質縦断図

掲載頁 31

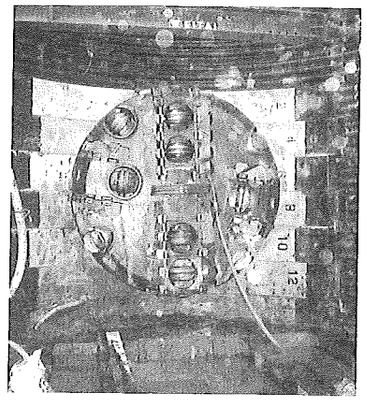
ライナー立坑円弧状部で初めての直接発進・到達
—東京都下水道　落合川雨水幹線シールド—

東京都下水道局　伊東　三夫

落合川雨水幹線シールド工事において，ライナープレート立坑での直接発進・到達工法と内面平滑型４分割セグメントの新技術の採用により，コスト縮減に取り組んだ．

第一はライナープレート立坑において，立坑の発進・到達部にライナープレートに代えてシールドで切削可能な部材を設置し，発進・到達を行う直接発進・到達工法の採用である．第二の内面平滑型４分割RCセグメントの採用は，従来と同等のシールド設備で施工可能な最小の分割単位のものである．このセグメントは，継手構造を簡略化しながらリング継手面の円弧状凹凸の噛み合わせにより，高い構造安定性を有する．また，覆工内面が完全に平滑であるという特徴がある．

施工の結果は良好であり，今後，コスト縮減・工期短縮に有効な技術として活用されることを期待する．



写真はシールド到達状況

Shield Tunnelling Project using Circular Steel Liner Plate Shafts and four-piece segmental Lining-Ochiai-River Storm-Water Sewer Main Project

By Mitsuo Ito, Tokyo Metropolitan Government

This paper introduces new tunnelling technologies adopted in Ochiai -River storm-water sewer main project by the shield method such as the shield starting and arrival method using the circular steel liner plate and the four-piece segmental lining, aiming at the cost saving.

The shield-cuttable material was used at the parts of shield start and arrival in the shafts. The convex and concave joint was adopted in the segmental ring having smooth inner face. At the current stage, these technologies contribute to the success of this project.

掲載頁 41

中之島新線建設工事の概要

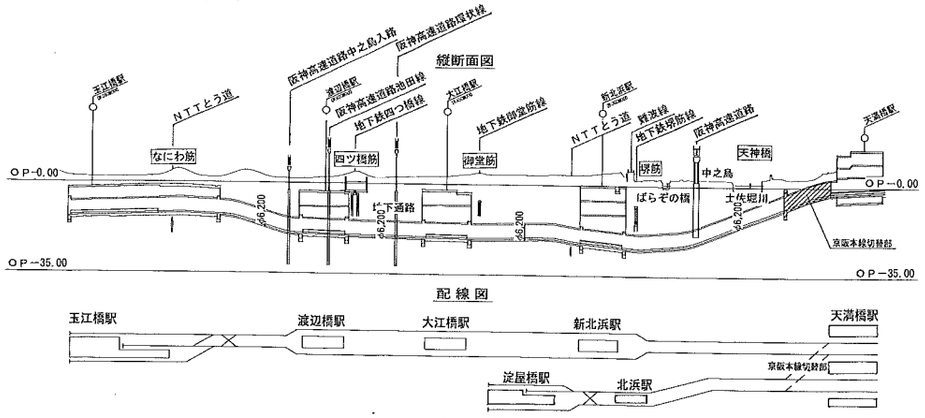
中之島高速鉄道(株)　長瀧　元紀

中之島新線は大阪の都心部中之島に建設される約2.9kmの地下新線で，京阪本線と接続し，完成後は京阪電車が乗り入れる．地下鉄３路線との交差のため比較的深く，ビルと河川に挟まれた道路内，河川横過などの条件下での施工となる．新設駅は４駅で2～4層の開削トンネル，駅間部は単線並列シールドトンネルである．地下水位が高く砂礫層や軟弱粘土層が混在する地盤のため，事前に４種の土留め工法の適用性を検証する調査工事を実施し，開削部の施工方法を決定した．京阪接続部では，新線工事に先立ち既存地下線の切替工事を行う．平成15年から土木工事に着手し20年度完成を目指す．本稿では路線計画および工事全般の概要を報告する．

Nakanoshima New Subway Line Construction Project

By Motonori Nagataki, Nakanoshima Rapid Railway Co., Ltd.

Nakanoshima New Subway Line having the length of 2.9 km and deep cover is located at the center of Osaka City and will join Keihan Line. This new line will pass under three existing subway lines and a river, and have four stations to be constructed by the cut and cover method and double-tube-shingle-tracks by the shield method. The geology in this section is water-bearing gravel and soft clay. Keihan Line will be relocated at the joint part to this new line. The construction of this new line began in 2003 and will complete in 2008. This paper presents the outline of this project.



図は路線概要図

掲載頁 49

世界最深沈埋トンネルプロジェクトの建設始まる
—ボスポラス海峡横断鉄道プロジェクトの概要—

(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル　栄枝　秀樹

世界最深の沈埋トンネルとして世界の注目を集めるトルコのボスポラス海峡横断沈埋プロジェクトの施工が，2004年8月27日に着工した．函底の深さは，海面下約60mに達し，海峡の複雑な流れと速い水流の中での沈設となる．また，サイトの約20km南方には，近い将来，大地震を引き起こすと予想されている活断層が走る．

日本の政府開発援助のもと，イスタンブール大都市圏通勤鉄道システムの向上を図る本プロジェクトは，海峡を挟んで，アジア，ヨーロッパを結ぶ延長13.6kmの複線鉄道からなる．2010年３月の開業を目指しており，東方に向け欧州東端シルケジ駅で終着していた本家オリエント急行の観光列車も，直接海峡を潜ることが可能になる．

Bosporus Rail Link Project – World's Deepest Immersed Tunnel Project

By Hideki Sakaeda, Pacific Consultants International Co., Ltd

Bosporus Rail Link Tunnel will be the world's deepest immersed tunnel. The construction of this tunnel began on August 27, 2008. The followings feature this project.

1) The railway system of this project including the tunnel crossing Bosporus Strait has a double track and the length of 13.6 km.

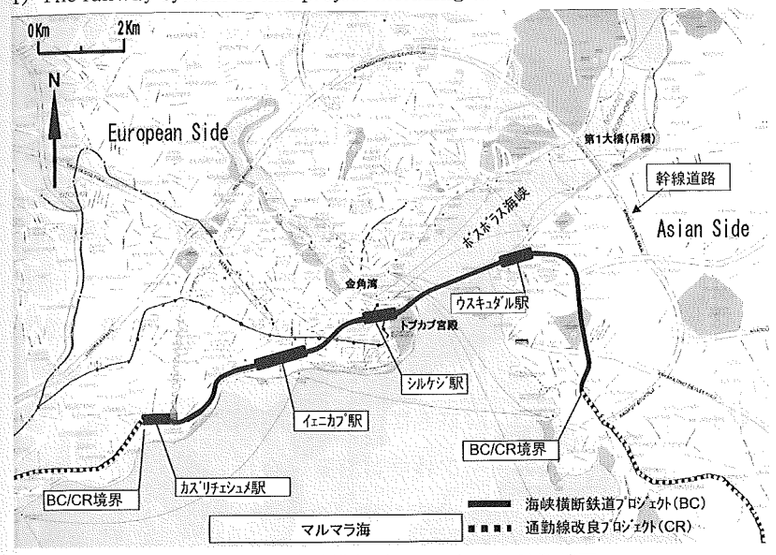
2) The depth between the surface of sea-water and the bottom of tunnel is up to 60 m.

3) The tide of Bosporus Strait is very fast.

4) This railway system improves the commuting condition in Istanbul.

5) The fault that would cause big earthquake is near this area.

This project is done with the ODA from Japan. After the completion of this railway system scheduled on March 2010, the Oriental Express, whose terminal station is now Sirkeci will cross Bosporus Strait.



図は海峡横断プロジェクト(BC)路線図

掲載頁 57

ロータリーパーカッションによる覆工背面の空洞調査

日本道路公団　大嶋　健二

覆工背面空洞の注入工事に先だって行う空洞調査は，覆工コンクリートをコアドリルで削孔し，その孔に計測棒を挿入して計測する方法が一般的であるが，削孔に時間を要し規制日数が多くなることから工期および工費面で課題が残されている．本稿は，前記課題を解決することを目的として開発した新しい調査法(PVMシステム)での実証試験および評価手法について述べるものである．



写真は調査状況

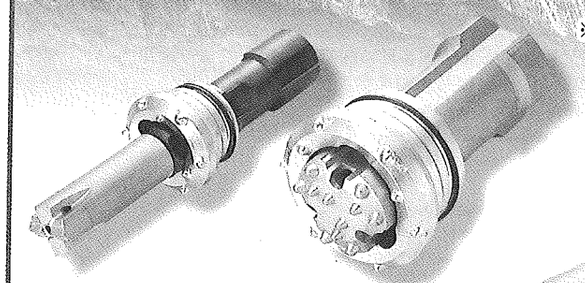
本システムは，覆工コンクリートを高速削孔しながら，削孔中に得られる機械データから覆工コンクリートや覆工コンクリート背面の状況を高精度で把握することが可能であり，従来の方法に比較し調査に要する時間が短縮されることから，今後の新たな調査法として位置づけられると考える．

Inspection of Voids between Lining and Ground using Rotary Percussion System

By Kenji Oshima, Japan Highway Corporation

Conventionally, the core-drilling method has been used to investigate voids between tunnel lining and ground. This method needs long time and much cost relatively. The newly developed PVM system using rotary percussion has settled these problems. This system having the function of rapid drilling gives us the precise condition of lining and status of voids between lining and ground with short time relatively. This paper presents this system.

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。



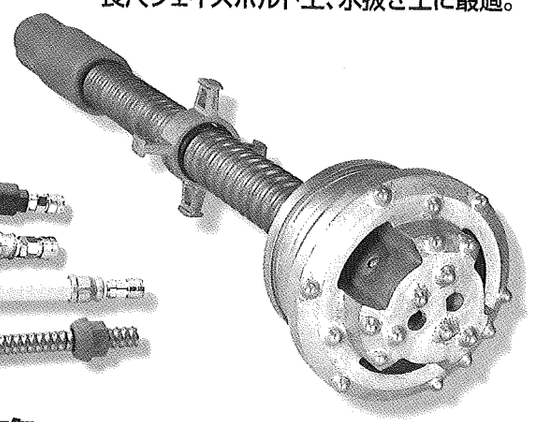
STD BITS

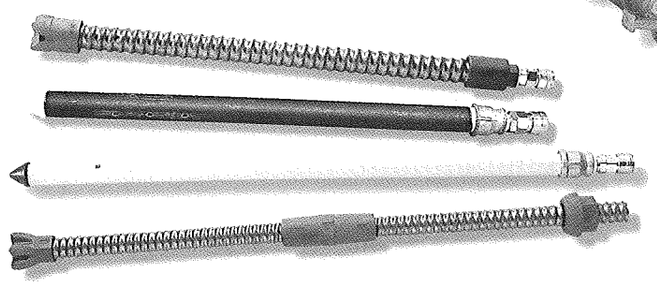
（ロストリング方式）

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

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

※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。

AGF-SP 工法

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。

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）



「防災」と「減災」

東洋建設(株)代表取締役社長(本協会評議員)
赤井憲彦

阪神・淡路大震災から10年という節目にあたる2005年１月，被災地神戸において第２回国連防災世界会議が開催され，今後10年間の防災戦略を示した「兵庫宣言」と，今後の行動指針をまとめた「兵庫行動枠組」が採択されました．会議では，昨年末に多くの人々の命と暮らしを奪ったインドネシア・スマトラ島沖の巨大地震に焦点が集まり，万が一を想定した準備の「防災」と，起きてしまったときの被害を軽くする「減災」という，歩むべき二つのアプローチが繰り返し強調されました．

「自然災害は，なくすことができない．『災害』は自然外力と人間社会とのかかわりを示す一表現であり，社会の変化につれて，災害の原因・様相・規模に変化が生じる」．このことをすべての根底に置いて，常に安全，安心な都市づくりのため英知を結集した取り組みが必要であることを痛感しました．

さて，東京を含む南関東地域でＭ７級の地震が発生する確率は今後30年以内だと70%，東南海地震では58%，南海地震では47%と言われています．東京都市圏だけでわが国の人口の４分の１を抱えている実情を考慮すると，首都圏の防災対策は待ったなしの状況といえます．阪神・淡路大震災の教訓が，十分に生かされてきたのかを検証するとともに，合理的に，かつ一定期間内に防災力をどのように高めることができるのか，国，地域，企業，住民などあらゆる主体において，自助・共助・公助の組み合わせを含め，具体的な対応と行動力が問われていると考えます．

一方では，人口減少と高齢化に直面するわが国の社会資本整備のあり方が変革を求められています．自然環境への負荷を抑制した持続可能な社会の構築のためにインフラの整備の効果・効率を重視し，大幅に財政支出を抑制するというものです．しなしながら，社会資本の多くは近い将来，更新なり大規模な改修が必要で，相当の財政支出は避けられないことも予想されるため，社会の防災力を高めようとしても，そこには限界があることを認めざるを得

ません．

そこで，劣化や災害などの潜在リスクを適切に評価して顕在化させ，防災投資水準と許容するリスクに関する社会的合意形成を図るための，具体的な行動が求められています．

「安全と水はただではない」．安全にはコストがかかるという認識と，災害予防対策，災害応急対策，災害復旧対策を含め，ソフトとハードが一体となった災害に強い国土づくりの必要性を痛感します．被害想定は，将来を悪く予想して悲観するための材料ではなく，被害を最小限に食い止めるために必要な基礎資料であり，そのためには構造物の耐震性を向上させない限り，抜本的に人的被害を減らすことは不可能であることなどを正確に把握し，災害情報の配信・共有化に努力する必要があります．

新潟県中越地震では，耐震設計された構造物に壊滅的な被害が発生しなかったことも事実であり，しっかりとした普段の保守点検が，そのまま耐震対策につながることが示されました．また，広域的な幹線道路ネットワークが，断絶した国道等に対するセーフティネット機能を果たし，いざというときを念頭に置いたネットワーク機能を確保することの重要性を印象づけ，交通施設やライフラインの整備は採算性の視点だけでなく，非常時にいかに国民の生命と暮らしを守るかという視点が不可欠なことをあらためて認識させました．

災害に強く安心して暮らせる国土建設のため，土木技術者には，ややもすると専門的になりかねない防災情報を，受け手側の地域住民の立場に立ってわかりやすく説明する努力が必要です．また，安全，安心な街づくりの担い手として，耐震補強の効果・達成状況を的確に説明できるシナリオと，より安価な耐震補強工法や免震技術の開発などが求められています．さらに，震災を風化させることなく，災害データを蓄積・提供し，次代を担う技術者が見て触れて考える仕組みづくりも検討する必要があると思います．私たちトンネル技術者としては，大深度法の制定を念頭に置き，地下空間を都市における一時的な避難空間として検討し，ソフト・ハード一体となった対策により，「減災」は可能なのだということを具体的に提示する必要があるといえます．地下深くに建設された構造物は耐震性に優れており，損傷・支障の恐れが少ないことから，災害発生時における防災活動拠点，防災倉庫，緊急物資輸送等への利用を含めた地下ネットワークの構築が，都市の防災ポテンシャルを増大させることをくりかえし提言し，地域社会と災害への備えや心構えを共有することが，私たちの果たすべき責務と考えます．

施工

場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド

—東北新幹線　三本木原トンネル—

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構盛岡支社工事第三課長　佐々木　幹　夫
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構盛岡支社七戸鉄道建設所所長　佐　原　圭　介
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構盛岡支社七戸鉄道建設所主任　井　浦　智　実
熊谷・東洋・大本・井上東北幹，三本木原トンネル他特定建設工事共同企業体三本木原トンネル作業所所長　川　嶋　潤　二

1　はじめに

三本木原トンネルは，現在建設中の東北新幹線(八戸・新青森間)に位置し，三本木原台地の下を貫く延長4,280mの新幹線複線断面トンネルである(図-1)．

掘削対象は，砂層，火山灰質シルト，粘性土層が主体の含水未固結地山である．平成13年8月から，青森方坑口より，地下水位低下工法や注入式の先受け工を用いたNATMによる掘削を開始したが，切羽進行が止まるほどの崩落がたびたび発生した(写真-1)．そこで，安全性・経済性・施工管理上の問題から，シールド工法を用いた新施工システムの採用を決定し，東京方坑口より掘削を行うこととした．

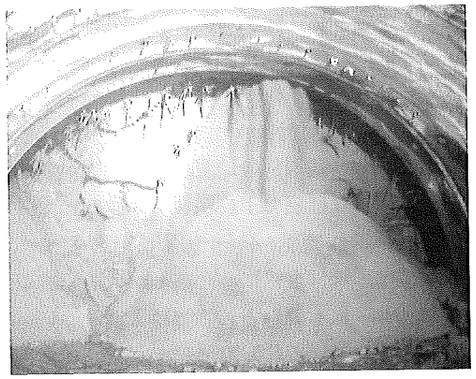


写真-1　切羽崩落状況

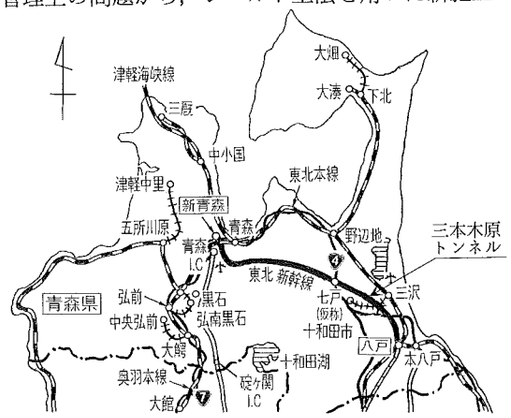


図-1　位置平面図

本稿では，含水未固結地山において採用した新施工システム「SENS（センス）」の概要と初期段階の施工結果について述べる．

2　新施工システム採用の経緯

当該区間の地形は，標高60m程度の比較的平坦な洪積台地と，河川などによって形成された沖積低地およびその支流によって開析された沖積谷で構成されている．地質は，新第三紀鮮新世から第四紀更新世初期にかけて堆積した野辺地層を基盤とし，これを覆う各段丘構成層が分布し，最上位に十和田・八甲田山の火山砕屑物が広く分布して

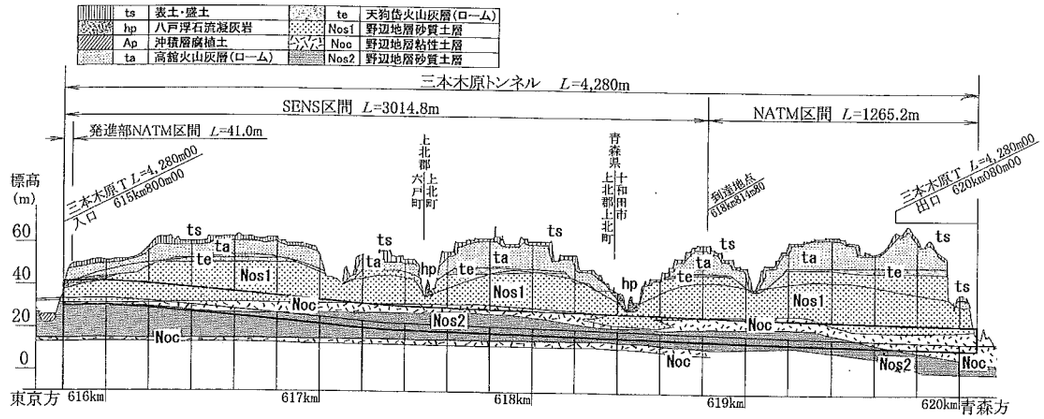


図-2　地質縦断面図

表-1　代表的な土質試験結果

	乾燥密度 ρd(g/cm³)	間隙比 e	細粒分含有率 Fc(%)	均等係数 Uc	透水係数 k(cm/s)
Nos1	1.463	0.864	4.6	3.73	5.33×10^{-4}
Noc	1.480	0.917	21.5	37.97	—
Nos2	1.632	0.679	11.6	6.87	4.61×10^{-4}

いる．トンネル通過部の地質は野辺地層が主体であり，未固結な砂層および粘性土の互層となっている．土かぶりは2～45m，平均23m程度である．地下水位は，ほぼ全線にわたりトンネル天端以上であり，もっとも高いところでは天端から17m程度上方となっている(**図-2**)．三本木原トンネルでは当初，青森方坑口よりNATMによる掘削を行っていた．NATM区間では，**表-1**に示すようにトンネル天端付近に均等係数がおおむね5以下で透水性の高い上部砂層Nos 1が，その下部には粘性土層Nocが，最下部に下部砂層Nos 2が分布している状況であった．地下水位低下工法や注入式の先受け工を用いて掘削を行っていたが，砂層と粘性土層が複雑な互層を呈していたため，地下水位低下工法の効果が十分に発揮されず，また，主な対象となるNos 1層は非常に流動化を生じやすい地質であり，切羽が著しく不安定な条件下での掘削を余儀なくされた．そのような中，平成14年には切羽進行が止まるほどの大きな崩落が発生した．このため，掘削工事の安全性，注入式の先受け工の採用による経済性および施工性，掘削の低進行などが問題となった．

そこで，NATMによる掘削を約1,265mで終了し，シールド工法を用いた新しい施工システムを採用し，東京方坑口より残り約3,000mの掘削を行うことを計画した．

3　新施工システム「SENS」

本工事では，前述のように切羽保持が非常に困難であるため，安全性を考慮しシールド工法を用いて掘削することを考えた．しかし，シールド工法は「切羽保持」，「掘削」，「覆工」の一連の施工システムが確立された工法ではあるが，NATMと比較し「覆工」における工事費が割高となる．そのため，覆工方式として場所打ちライニング工法を採用することとした．しかしながら，過去に施工実績のある代表的な場所打ちライニング工法であるECL工法には次のような問題点がある．

- ECL工法を採用した施工実績が少ないため，施工管理方法，覆工設計手法ともに十分に確立された工法とは言い難い．
- 過去のECL工法の施工実績では，トンネル掘削やコンクリート打設系統のトラブルに起因した配管の閉塞や，コンクリートの切羽への廻り込みなどのトラブルが発生した事例がある．
- ECL工法で施工した場所打ちコンクリートライニングを完成形の構造体として採用したことにより，ひび割れや漏水などの品質管理上の問題が発生し，その対策に労力を要した事例がある．

そこで，これらの問題に対処するため，本工事では場所打ちコンクリートライニングを，山岳トンネルにおける吹付けコンクリートなどと同様に，一次支保材としての機能を有するものと位置付けた．すなわち，掘削された空洞を安定させるための支保材としての機能を有するが，ある程度の地下水の流入やひび割れを許容する排水性トンネルと考え，場所打ちコンクリートの変形が収束したことを確認したうえで，作用荷重を受け持たない化粧巻きとして二次覆工を構築してトンネルを完成させる．このように，シールドにより「切羽保持」と「掘削」を行い，場所打ちコンクリートライニングを一次支保材として利用し，地山の変位収束後に荷重を受け持たない化粧巻きとして二次覆工コンクリートを打設することで「覆工」を構築する場所打ち支保システムを採用することとし，この新しい施工システムを以下のとおり「SENS（センス）」と名付けた．

○名称「SENS」(以下の各頭文字)
- Shield Tunnelling Method
- Extruded Concrete Lining (ECL)
- New Austrian Tunnelling Method (NATM)
- System

○和称
- シールドを用いた場所打ち支保システム

○英称
- Casting Support Tunnelling System using TBM

4　トンネル断面の設定

三本木原トンネルにおいてSENSを採用するにあたり，新たにトンネル断面の設定を行った．トンネル断面は一般的なNATMトンネルの馬蹄形断面とは異なり，円形断面としている(**図-3**)．また，トンネル線形は以下に示すとおりである．

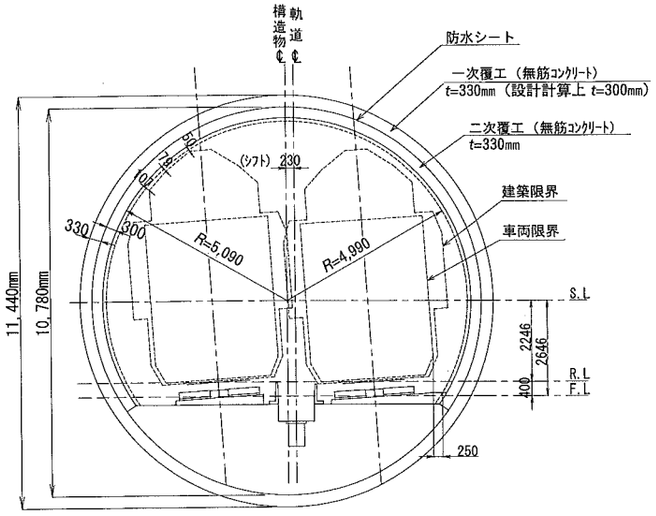


図-3　曲線部断面図(R=8,000m)

- 平面線形：直線および曲線(R=8,000m)
- 縦断線形：+3‰，−9‰，−3‰

4-1　内空断面

内空断面は，建築限界外余裕50mm以上の確保と，大断面シールドの施工実績をもとに，施工余裕量100mmの確保を考慮し決定した．

4-2　一次覆工コンクリート

一次覆工コンクリートについては，併進工法設計施工指針(案)都市トンネル編(日本鉄道建設公団，平成4年4月)にもとづき，土水圧，地盤反力などの荷重を考慮した設計計算を行った．また，内型枠と場所打ちコンクリートの付着力によりシールド推進反力を得ることから，内型枠の装備数や施工サイクルなどを考慮し，コンクリート強度についても検討を行った．その結果，一次覆工コンクリートについて，以下のとおり決定した．

- 無筋コンクリート：厚さ t=300mm
- 設計基準強度：σ_{28}=30N/mm²
  (脱型強度 σ_1=15N/mm²)

4-3　二次覆工コンクリート

二次覆工コンクリートについては，荷重を受け持たない化粧巻きという位置付けであることから

設計計算は行わず，NATM設計施工指針(日本鉄道建設公団，平成８年２月)に準拠し，一般的な新幹線複線断面トンネルと同様に以下のとおりとした．

- 無筋コンクリート：厚さt＝300㎜
- 設計基準強度：σ_{28}＝18N/㎜^{2}

5　施工システムの概要

過去のECL工法の施工事例をもとに，シールド，コンクリート打設システムなどの施工設備について十分に検討を重ねた．

5-1　施工システムの概要

本工事では掘削対象地質が透水性の高い未固結な砂層と粘性土層が主体であることから，掘削方式として密閉型の泥土圧シールドを採用した(**写真-2，図-4**)．

テール部分では掘進に伴い一次覆工コンクリートを加圧しながら打設し，妻型枠で圧力を保持することにより土水圧に対抗する(**図-5**)．一次覆工コンクリートの打設はシールドの後方台車上に設けた６台のコンクリートポンプを用いて行い，それぞれの打設配管を２方向切替弁によって12か所の系統に振り分け，各打設口から打設を行う．コンクリート圧力を保持しながら，空隙を生じさせないよう掘進と同時にバランスを調整しながら加圧，充塡する．

内型枠は16リング装備しており，１リングの延長は1.2mである．最後尾の内型枠は掘進中に脱型され，先頭位置まで搬送される．１リング分の掘進が完了すると，掘進を一時停止し内型枠の組み立てを行い，その後再び１リング分の掘進，一次覆工コンクリート打設を行う．推進反力は内型枠と硬化した一次覆工コンクリートとの付着力によって確保する．想定進行は最高9.6m（８リング）/日，平均月進120m程度を想定している．

また，シールドの後方では，一般的なNATMによる施工と同様に，インバートコンクリート打設，ダンプトラックによる掘削ずり搬出，シート施工，二次覆工の構築を連続して行う(**図-6**)．

5-2　シールドの仕様詳細

シールドの主な仕様を**表-2**に示す．シールド設備のうち，本工事においてとくに検討を重ねた項目について，その詳細を以下に述べる．

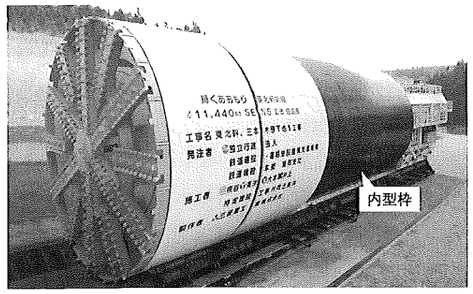


写真-2　シールド組み立て完了状況

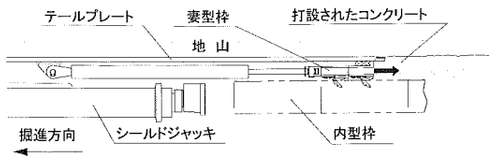


図-5　コンクリート打設部詳細図

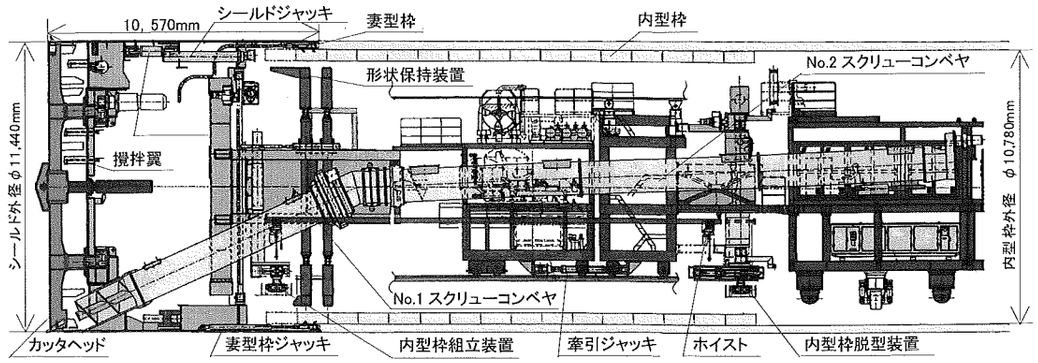


図-4　シールド一般図

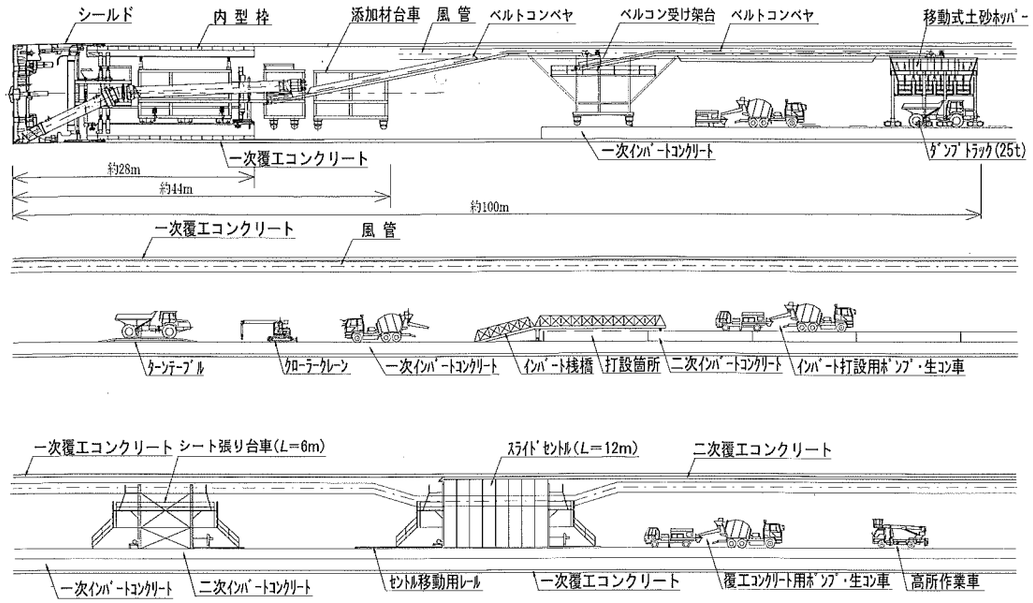


図-6　坑内施工概要図

表-2　シールドの主な仕様

項　目	仕　様
シールド形式	泥土圧シールド，外径：11,440㎜
装備推力	90,000kN（3,000kN×30本）
中折装置	V型フラット後胴押し形式
カッタトルク	常用：22,755kN･m（α＝15.2） 最大：27,306kN･m（α＝18.2）
カッタヘッド形式	スポークタイプ(メイン６本，補助６本)
カッタビット	メインビット，特殊先行ビット フィッシュテール コピーカッタ×３基(２基は予備) レスキュービット×３基(予備)
No.1スクリューコンベヤ	内　径：1,200㎜，L＝11.28m 排土能力：最大370m^3/h
No.2スクリューコンベヤ	内　径：1,200㎜，L＝12.48m 排土能力：最大370m^3/h
土圧計	チャンバ隔壁部７か所
	妻型枠部４か所
妻型枠	内　径：10,780㎜，外　径：11,320㎜ 外周シール：２層構造ゴムシール３段 内周シール：ステンレス板＋ブラシシール２段 コンクリート打設口：３インチ×12か所 妻型枠ジャッキ：320kN×18本
内型枠	装備数：16リング，外径：10,780㎜

5-2-1　カッタビットおよび装備カッタトルク

本工事では，掘進延長が約3,000mと長距離であるため，ビットの摩耗対策について検討を行った．その結果，チップ材として一般的に採用される実績が多いJIS E５種では許容摩耗量を超える結果となったため，本工事では約1.9倍の耐摩耗性を持つJIS E３種を採用することとし，ビット交換は行わない計画とした．しかしながら，最外周のビットは内周のビットと比較し，相対的に摺動距離が長く，カッタトルクの上昇などにより掘進速度が低下した場合，欠損などが発生する可能性もあることから，不測の事態に備えレスキュービットシステムを採用した．

レスキュービットは，通常は格納された状態になっているが，最外周のビットに欠損などが生じた場合に，掘削外径を確保するために作動させるシステムである．

また，装備カッタトルクについては，常用22,755kN･m（α＝15.2），最大27,306kN･m（α＝18.2）である．トルク係数αは泥土圧シールドの場合α＝８～23が標準的であり，この範囲に収まっている．

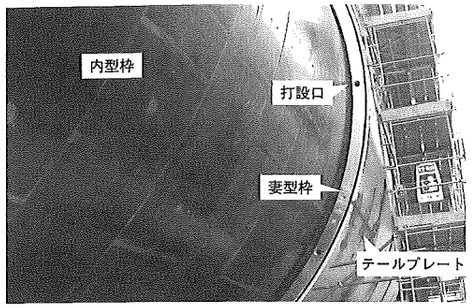
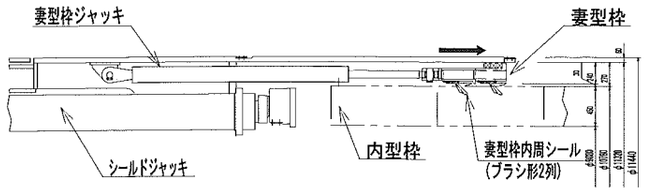


写真-3　妻型枠と打設口

○妻型枠ジャッキが伸びた状態(コンクリート圧力：低)



○妻型枠ジャッキが縮んだ状態(コンクリート圧力：高)

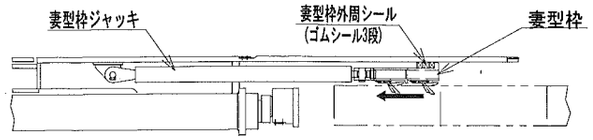


図-7　妻型枠詳細図

5-2-2　妻型枠

妻型枠は一次覆工コンクリートの打設機能，コンクリート加圧力の保持・調整機能を有する設備である．妻型枠本体はシールドテール軸に対して常に鉛直であり，コンクリートの圧力を保持・調節するために，テールプレート内面と内型枠外面に常に接して摺動する構造となっている(**写真-3**)．コンクリートは妻型枠に設けられた12か所の３インチ径の打設口から打設する．妻型枠は18本のジャッキによって制御され，コンクリート圧力が設定よりも高くなると妻型枠ジャッキが縮み，妻型枠は切羽側に移動し定圧に保つ．その逆にコンクリート圧力が不足するとジャッキが伸びて，圧力を保持するよう妻型枠がテール側に移動する(**図-7**)．18本のジャッキは３本ずつのブロックを構成しており，それぞれがアキュムレーターによって制御されているため，すべてのジャッキのストロークが常に一定となり，妻型枠の鉛直性が確保される．また，妻型枠のコンクリート側の面には土圧計が４か所設置されており，テール部のコンクリートの充填状況を確認する目安となる．

5-2-3　内型枠

一次覆工コンクリートが硬化するまでの間，内型枠には土水圧やコンクリート圧力，施工時荷重などが作用するため，十分な強度を有するのはもち論のこと，脱型，搬送，組み立てを約3,000mにわたってくり返し行っていくため，十分な耐久性も要求される．そのため，剛性の高い鋼製の内型枠を採用した．内型枠１リングは10分割のピースで構成されている(K型，B型各５ピース)．内型枠の装備リング数については，想定日進量と，シールド推進に必要な付着力の発現時期を考慮して16リングと定めた．

また，内型枠の脱型前に天端のコンクリートの充填状況を確認するため，各リングの天端にFRP製の検査窓を設け，脱型前にそこから超音波探査により，不良箇所の有無，巻き厚の確認を行うこととしている．

5-3　コンクリート打設設備

一次覆工コンクリートは，坑外プラントで製造した後，ミキサー車によってトンネル坑内に運搬する．供給ポンプにより，６インチ径の配管を通してシールド後方台車上に設けられたレミキサーまで圧送し，そこから６台のコンクリートポンプを用い，それぞれの打設系統を二方向切替弁によって振り分け，３インチ径の配管を通して最終的に妻型枠の12か所の打設口から加圧しながら打設する(**図-8**)．

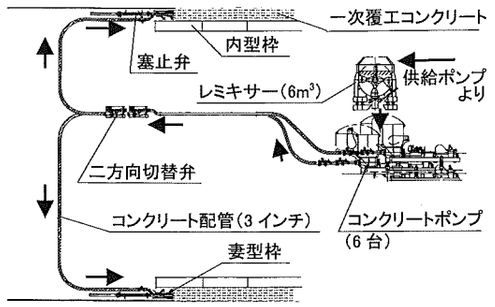


図-8　コンクリート打設系統

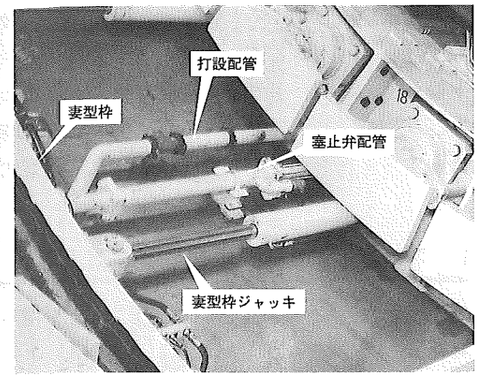


写真-4　打設部の構造

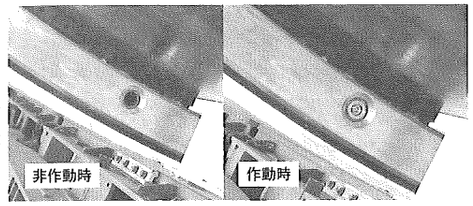


写真-5　塞止弁作動状況

る(**図-8**)．コンクリートの充填圧力は，妻型枠の土圧計のみではなく，12か所の打設口付近に設置している配管圧力計によっても確認することが可能である．

また，清掃のための定期的な掘進停止時や，不測のトラブル発生時には，妻型枠の打設口を即座に塞ぐ必要がある．そのため，油圧ジャッキ式の塞止弁構造を設け，コンクリートが流動性を保った状態で打設口を塞ぎ，打設口付近の配管内を清掃できる構造とした(**写真-4，5**)．

5-4　一次覆工コンクリートの品質

場所打ちコンクリートによって一次覆工コンクリートを構築するため，その品質が本施工システムの生命線であるといえる．そのため，以下に示す性能が要求される．

- 圧送および充填が確実に行えること(高流動性)
- 練り上がりから打設まで最長約４時間，フレッシュ性状を保持すること(フレッシュ性状保持)
- 地下水位条件下での打設でも目標強度と品質を満足する耐水性を保有すること(耐水性)
- 材齢24時間で15N/mm²以上の強度を確保(早強性)
- ポンプ圧送および充填時の材料分離を抑制すること(材料分離抵抗性)

上記の要求品質を満足するコンクリートについて，事前室内実験，現地試験を通して検討を重ねた．

従来の水中コンクリートで使用する耐水性材料(増粘剤)は硬化遅延を起こすため，要求性能の耐水性と早強性を同時に兼ね備えることが困難であった．その点を改善するため，耐水性を持たせる材料としてアルキルアリルスルフォン酸系の高性能特殊増粘剤を使用することとした．この増粘剤はA剤とB剤の２剤からなり，A剤が水中でマイナス，B剤がプラスの電荷を帯び，この２種類の界面活性剤が静電気的に配列して，疑似ポリマーを形成する．この疑似ポリマーは従来の増粘剤とは異なるメカニズムで機能し硬化遅延を起こさないため，耐水性と早強性を高いレベルで兼ね備えることが可能となる．特殊増粘剤および，硬化遅延を目的とする高性能AE減水剤の適正な混入率，コンクリートの性状，品質などを確認するために，前述の基本条件をもとに各試験を行い，基本配合設計を**表-3**のように決定した．また，主な試験項目の結果を以下に述べる．

5-4-1　スランプフロー試験

練り上がり後4時間を経過しても，スランプフローの低下は見られず，十分なフレッシュ性状を

表-3　基本配合設計

水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位量(kg/m³)				増粘剤A (W×%)	増粘剤B (W×%)	高性能 AE減水剤 (C×%)
		W	C	S	G			
35	38	190	543	597	948	4.0	4.0	3.2

表-4　スランプフロー試験結果

経過時間	スランプフロー
0 時間	610mm×610mm
1 時間	620mm×620mm
2 時間	630mm×630mm
3 時間	610mm×610mm
4 時間	610mm×610mm

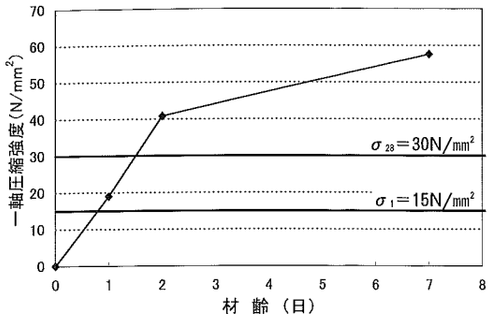


図-9 一軸圧縮強度試験結果

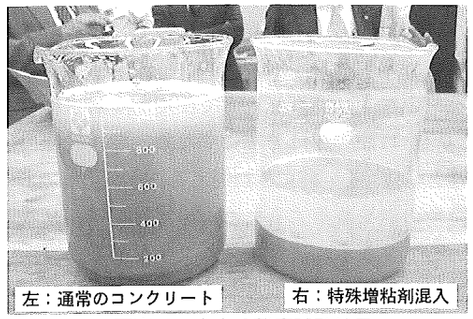


写真-6 水中分離度試験結果

保持していることが確認された(表-4).

5-4-2 一軸圧縮強度試験

材齢1日の設計基準強度15N/mm²を満足する早強性が確保されており，最終的には非常に高い強度が発現していることが確認された(図-9).

5-4-3 水中分離度試験

土木学会の水中不分離性コンクリート設計施工指針(案)にもとづき，水中分離度試験を行った．これは，蒸留水中にフレッシュコンクリートを自由落下させ，上澄み水のpHを測定する試験である．通常のコンクリートと特殊増粘剤を混入したコンクリートでは，水の濁り具合に明確な差が見られる(写真-6)．pHを測定した結果，特殊増粘剤を混入したコンクリートは水中不分離性の基準であるpH≦12を満足していた．これは，特殊増粘剤の作用によってセメント分が水中に溶出しにくい状態になっているためであると考えられる．

これら室内実験および現地での試験練りを通して，特殊増粘剤を混入したコンクリートが要求品質を満足することを確認した．しかしながら，施工状況や季節ごとの気温変動などの影響を大きく受けることが予想されるため，施工段階で随時最適な配合を選定することとしている．また，セメント量が多いため，温度応力や乾燥収縮などによるひび割れの発生も懸念されることから，施工時には一次覆工コンクリートの状況を入念に観察することとしている．

6 初期段階の施工結果について

本工事では，シールド発進時の推進反力を得るために，予め坑口から40m程度はNATMにより施工を行い，その坑内にシールドを引き込んでから発進する方式を採用した．シールドの製作運搬，現地組み立ては平成16年5月までに完了し，その後シールド発進準備工の後に，7月中旬よりSENSによる施工を開始した．平成16年12月末時点で約350mの掘進が完了した状況である．ここでは，初期段階の施工結果の概要について述べる．

6-1 コンクリート打設に関するトラブル

施工初期段階ではコンクリート打設に関する大きな不具合は発生していない．しかしながら，コンクリート打設をくり返すことにより，残コンクリートの硬化が生じる状況があり，打設ポンプおよび塞止弁の一時的な作動不良が発生した．これらについては施工途中で設備改善を行い，残コンクリートの影響を受けにくい構造とした．また，連続12リング程度の掘進ごとに，定期的にシールドを停止し洗浄を行うことで，配管やポンプの閉塞は生じておらず，円滑な施工を行うことができている．

6-2 脱型後の一次覆工コンクリートの状況

シールド掘進時は，掘削の際に理論上生じる空隙に対して確実に100%以上のコンクリートを充填し，コンクリート圧力が上がっていることを確認することを基本として打設管理を行っている．脱型前の超音波探査では空洞などの不良箇所の発生はなく，脱型後の巻き厚測定でも300mm以上が確保されており，良好な打設が行われていると考えられる．

施工上必然的に生じる打継ぎ目からは漏水が発生している．また，左右スプリングラインの上下

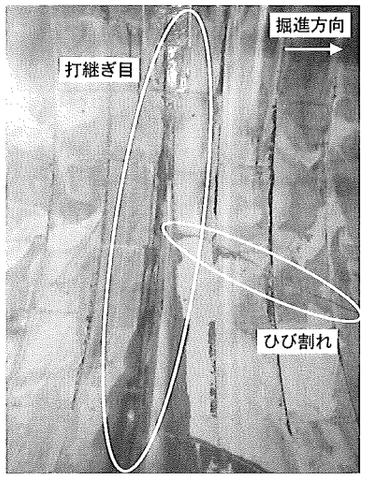


写真-7 打継ぎ目およびひび割れの状況

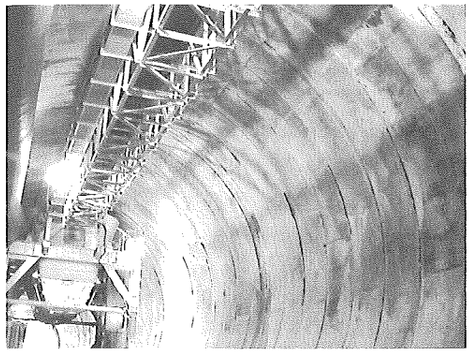


写真-8 脱型後の一次覆工コンクリート

と天端付近を中心に，トンネル軸方向のひび割れ発生が見られる(写真-7)．ひび割れは掘削進行方向に対してやや下向きの傾向が顕著である．ただし，砂を引き込むような多量の漏水の発生はなく，ひび割れ幅も0.3mm程度以下のものが多く，定期的な観察でもひび割れの進展は認められていない．脱型後の坑内の内空変位計測の結果では，最大でも3mmの変位しか発生しておらず，トンネル構造的に問題となるひび割れではないと考えられ，おおむね良好な施工状況である(写真-8)．ひび割れ要因については，配合セメント量が多いことによる高い水和熱の発生に起因する温度ひび割れによるものが主体であると考えられる．ひび割れ発生方向については，トンネル横断方向のクラックは定期的に生じる打継ぎ目によって吸収されているため，軸方向の発生が顕著であると考えられる．しかしながら，前述の特徴的なクラックの発生要因については，施工時荷重などとも関連させ，今後も継続的に分析を行うこととしている．

本工事では，一次覆工コンクリートについては，一次支保材として位置付けており，最終的には二次覆工コンクリートを施工するため，構造的に問題とならない程度の多少の漏水，ひび割れは許容するという考えであるが，より高品質な場所打ちライニングを構築するため，施工管理および品質管理方法の確立を目指している．

7 おわりに

本工事では，小土かぶり含水未固結地山において安全性，経済性，施工性を追求し，シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)を採用した．このシステムを実施工により検証し，合理的な施工システムとして確立することが本工事の最大の目的である．また，今後の施工区間では場所打ちライニングの内部応力，地盤変位などの詳細計測を予定しており，その結果についても随時報告したいと考える．

今後とも貴重な施工データの収集を行い，東北新幹線トンネル施工技術委員会(足立紀尚委員長)におけるさらなる検討を通して，安全かつ円滑に施工を進めていきたい．

本工事の成果により，NATMの適用限界に近いと考えられる小土かぶり含水未固結地山においても，SENSを適用した合理的な施工の可能性が広がるものと期待する次第である．

現場だより
平成17(2005)年

「歴史と産業のクロスポイント」鳥栖より

星　野　孝　則

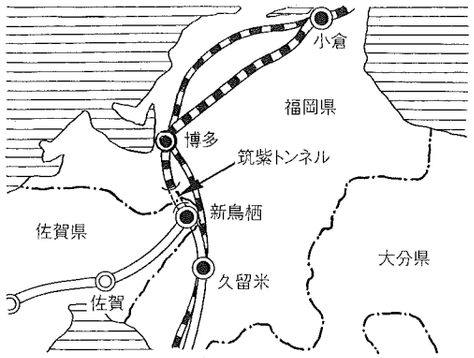
鳥栖市は佐賀県の東端に位置し，北は脊振山地を隔て福岡平野が広がり，南は筑後川をはさんで久留米市に隣接している．近年では，サッカーリーグJ2に所属する「サガン鳥栖」のホームタウンとしても有名である．

交通網は市の中心を九州縦貫・横断自動車道が走り，東洋一のクローバー型JCで交差し，九州の主要都市を短時間で結んでいる．鉄道も鹿児島本線，長崎本線の分岐点であり，九州における交通の「クロスポイント」として，他市にはない圧倒的な交通利便を確保している．こうした交通の利便性から工業製品などの出荷額が県内一を誇り，内陸工業都市として数多くの企業，工場群が進出している．

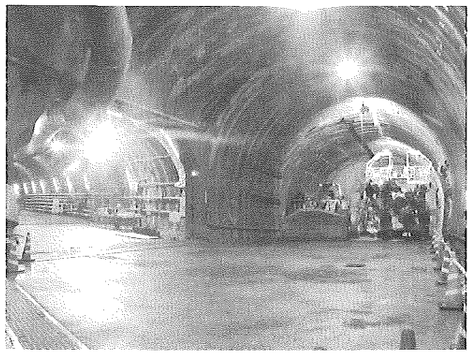
歴史的には，鳥栖市の西北部に東肥前を中心に勢力を振るった筑紫氏の城下町「勝尾城下町遺跡」が残っており，九州制覇を目指す薩摩の島津氏との合戦や落城説の話は，よく知られている．

また付近には，学問の神・至誠の神で有名な菅原道真公を祭った「大宰府天満宮」，5万本のツツジが咲き乱れる基山町の「大興寺」，古代2100年前の弥生人の響きが聞こえる「吉野ケ里歴史公園」など，日本太古のロマンと文化を持つ名所があり，歴史と産業が融合した地域の中心である．

九州新幹線鹿児島ルートは，国土の背骨を形成する高速交通体系の一環として位置づけられ，九州の社会・経済・文化の活発な交流に大きな役割を果たすことが



位　置　図


筑紫トンネル河内工区交差部

期待されている．

平成16年春，新八代～鹿児島中央間が開業し，従来の博多～西鹿児島間の所要時間は3時間40分から最速2時間10分に短縮された．さらに今後，博多～新八代間の完成に伴う全線開業により，所要時間は1時間20分程度に短縮される見込みである．

当工事である筑紫トンネルは，福岡・佐賀県を南北に貫く全長約12kmのトンネル工事であり，完成すると九州最長のトンネルになる．当JVが担当する河内工区は，トンネルを4工区に分割した佐賀県側の工区であり，福岡・佐賀県の県境を起点とした3,065mの山岳トンネル工事である．また，当工区は，筑紫トンネルの中間工区となっていることから，本坑へのアクセスのため，作業坑(延長738m)を－8.5%勾配で取り付け施工している．

筑紫トンネルの地質は，主に中生代の花崗岩で形成され，時代の異なる3種(早良型・深江型・糸島型)が混在する．現在，本坑掘削進行長は約1,200mであるが，地質調査などの結果から，今後もいくつかの断層帯が予想されており，これからも慎重に工事を進めていく予定である．九州新幹線の早期全線開業を目指し，今後も発注者，関係諸官庁のご指導と地元関係者のご理解を賜りながら，無事故，無災害で工事を完了するよう邁進していく所存である．

(前田・大日本・松尾・中野　九幹鹿，筑紫T(河内)特定建設工事共同企業体副所長)

施工

世界最大の泥土圧シールド

—首都高速中央環状新宿線　中落合シールド—

首都高速道路公団東京建設局設計第一課長　土　橋　　浩
首都高速道路公団東京建設局池袋工事事務所工事第三課長　櫻　井　裕　一
大林・大豊・東急特定建設工事共同企業体所長　中　山　正　夫
奥村・錢高・大本特定建設工事共同企業体所長　染　谷　　明

1　はじめに

首都高速中央環状線(以下，中央環状線)は，都心から半径約8kmに位置する総延長約47kmの環状道路である．総延長の6割弱にあたる東側および北側の約26kmは，現在供用中である．残る約20kmのうち，西側部分の中央環状新宿線(以下，新宿線)は，現在急ピッチで建設が進められている．また，南側部分の中央環状品川線は，昨年11月に都市計画決定され，事業化に向けた手続きが進められているところである．中央環状線の

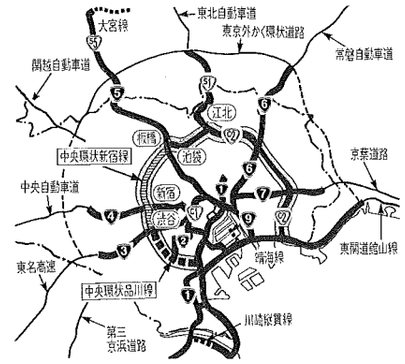


図-1　首都高速道路ネットワーク

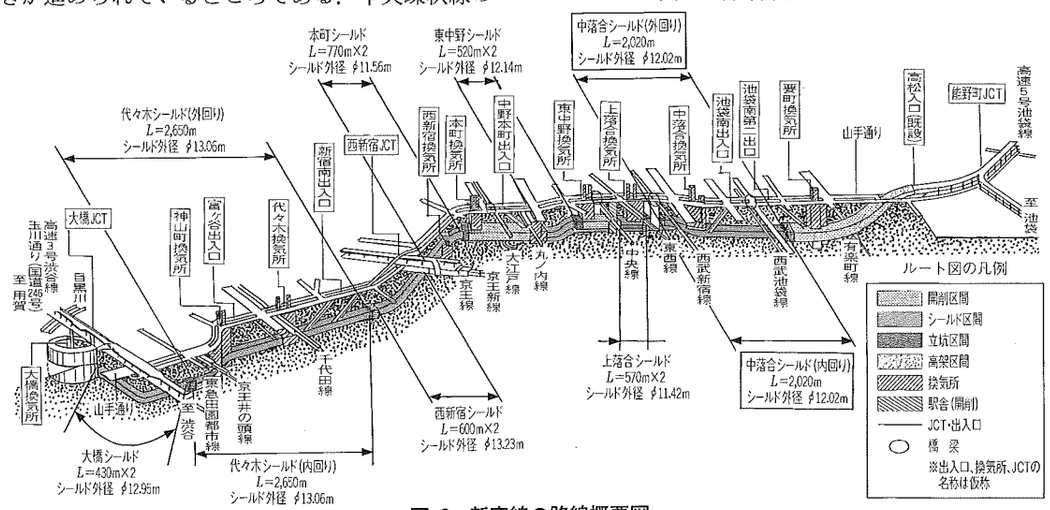


図-2　新宿線の路線概要図

整備により，都心に集中する「通過交通」が迂回・分散され，バランスのとれた道路ネットワークの利用が可能となり，渋滞が大幅に緩和されるものと考えている．さらに，交通渋滞の緩和により首都機能の維持・増進に資するほか，社会経済効果および環境改善効果も期待されていることから，その早期完成が望まれている．

新宿線は，東京都目黒区青葉台から板橋区熊野町に至る延長11kmの路線で，環状第６号線の拡幅事業と併せて建設が進められている．本路線は，沿道の土地利用状況や良好な都市環境の保全および都市空間を有効活用する観点からトンネル構造で計画され，その約７割の区間にシールド工法を採用している．シールド区間は７か所あるが，いずれもφ11～13mの大断面のシールド工事である．**図-1**に首都高速道路ネットワークを，**図-2**に新宿線の路線概要図を示す．

本稿では，新宿線のうち中落合シールド工区の特徴とそれを踏まえた対策について述べる．

2　中落合シールドの概要

2-1　工事概要

中落合シールドトンネルは，豊島区千早一丁目の立教通り南に位置する立坑を発進して新宿区上落合二丁目の地下鉄大江戸線中井駅舎に到達する施工延長約2,020mの併設トンネルであり，泥土圧シールドでは世界最大径となる外径φ12.02mのシールドにより，外回り・内回りをそれぞれ１機のシールドにて施工する．

本シールドは，都市部の主要幹線道路である環状第６号線の地下を縦断し，鉄道や橋梁基礎などの重要構造物に離隔１*D*以下で近接する．また，途中，出入口や換気所といった施工中の開削工事直下を通過する．

一般に，φ10mを超えるような大断面シールドでは，切羽安定保持の信頼性，排土効率の優位性から泥水式シールド工法が採用されることが多く，新宿線のシールド７区間９工区のうち，７工区に泥水式シールド工法が採用されている．しかし，本工区においては，以下の理由により泥土圧シールド工法を採用した．

① シールドの発進基地は，使用可能な用地面積が小さく，泥水式シールドでは作業基地用地が不足．

② 発進部の土かぶりが9.2m，河川横断部の土かぶりが7.3mと小さく，泥水式シールドでは，小土かぶり部における泥水の漏泥が懸念．

工事概要を**表-1**に示す．

表-1　工事概要

		(外回りシールド)	(内回りシールド)
工事名		SJ51工区～SJ53工区(外回り)トンネル工事	SJ51工区～SJ53工区(内回り)トンネル工事
工事場所		東京都豊島区千早１丁目～新宿区上落合２丁目	
施工者		大林・大豊・東急特定建設工事共同企業体	奥村・錢高・大本特定建設工事共同企業体
施工延長		2,020m	
シールド	外径	12,020mm	
	工法	泥土圧シールド	
セグメント外径		11,800mm	
RCセグメント	幅/桁高	1,500mm/450mm	
	種類	ワンパスセグメント２	ハニカムセグメント
鋼殻セグメント	幅/桁高	1,500mm/399，400，431，432mm	
ダクタイルセグメント	幅/桁高	1,200mm/400mm	
床版	構造	プレキャストPC構造	プレキャストRC構造
	幅	1,500mm	
	長さ/厚さ	8,150mm/230mm	7,170mm/290mm
	施工方法	シールド掘進と同時施工	

2-2　地質概要

土質縦断図を**図-3**に示す．トンネル掘削部の土質は，発進立坑から約350mまでの区間は，*N*値12～50以上の武蔵野礫層(以下，Mg層)と*N*値50以上の非常に堅固な東京礫層(以下，Tog層)，さらに，シルトを主体に部分的に細砂を挟む東京層粘性土層(以下，Toc層)との互層地盤である．Mg層およびTog層は，いずれも粒径φ100mm程度(想定最大礫径φ300mm)の礫が存在し，含水量も多く，透水係数は10^{-3}オーダーと中位を示す．また，約1,000mまでの区間は，Tog層が主体で，トンネル下部には，*N*値11～50以上の固結した江戸川層粘性土層(以下，Edc層)が出現する．以降，

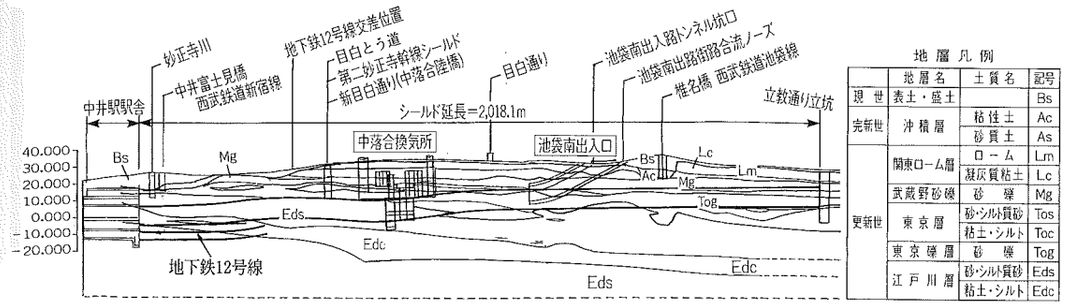


図-3　土質縦断図

到達立坑までは，細砂が主体の*N*値12～50以上の中位～非常に密な江戸川層砂質土層(以下，Eds層)とEdc層の互層である．

2-3　本工事の特徴

本工事の主な特徴は以下のとおりである．

① φ12mを超える大断面の泥土圧シールド

② NOMST壁を切削して発進し，砂・礫地盤を長距離掘進

③ シールド掘進と道路床版の同時施工

④ 多種のセグメントを使用

上記について，外回りおよび内回りシールドでは，それぞれ対策を実施している．本工区では同一の施工条件のもと，それぞれの対策・計画により施工を行っているため，その効果を比較検討することができ，今後，同様な工事において参考となる施工事例であると思われる．本稿では，上記の特徴に対する対策について，外回りシールドおよび内回りシールドの比較を含めて述べる．

3　大断面泥土圧シールド対策

3-1　シールドの仕様

当工事で使用する大断面泥土圧シールドの仕様を**表-2**に示す．

外回りおよび内回り両シールドの装備推力や装備トルクといった基本仕様はおおむね同様となっている．カッタフェイスの形状は礫を破砕せずに取り込むことを基本方針としてスポークタイプを採用し開口率約60%を確保している．さらに，スクリューコンベヤは，いずれも軸付きタイプとして，１次・２次スクリューコンベヤを設けている．

表-2　シールド仕様

項目	詳細項目	(外回りシールド)	(内回りシールド)
シールド本体	外径	φ12,020mm	
	機長	11,200mm	11,625mm
	テールシール	ワイヤブラシ耐圧型×3段	
推進装置	シールドジャッキ	3,500kN×2,450st×36本	3,500kN×2,850st×40本
	総推力	126,000kN	140,000kN
カッタ装置	スポーク本数	主スポーク６本＋補助スポーク６本	
	開口率	約59%	約61%
	支持方式	中間支持方式	
	装備トルク	定格(100%) 28,846kN-m 最大(120%) 34,615kN-m	定格(100%) 29,174kN-m 最大(150%) 43,762kN-m
	カッタ回転数	0.456rpm	0.400rpm
	余掘り装置	コピーカッタ３基	コピーカッタ４基
攪拌装置	中央部	アジテータ：φ4,200mm 回転トルク：1,094/1,641kN-m 回転数：2.0/1.33rpm	アジテータ：φ1,000mm×4基 回転トルク：34.3×４基＝137.2kN-m 回転数：6.0rpm
	外周部	攪拌翼12本 固定翼４本	攪拌翼12本 固定翼２本
注入裏込め	注入方法	同時注入	同時注入
	注入箇所	セグメントグラウトホール	シールド本体
排土装置	形式	１次，２次軸付きスクリューコンベヤ：φ1,200mm	一次，二次軸付きスクリューコンベヤ：φ1,100mm
	排土能力	約350m³/h	約378m³/h
	排土可能礫径	φ420mm	φ415mm

3-2　切羽の安定対策

大断面泥土圧シールドでは，切羽の安定を保持するために，①掘削土の塑性流動化，②切羽圧管理，③掘削土量管理，が重要な課題である．

3-2-1　塑性流動化対策

泥土圧シールドにおいて切羽を安定させて掘進を行うためには，チャンバ内の掘削土砂を塑性流動状態に保つことが重要である．掘削土砂の塑性

流動性が損なわれると，チャンバ内土圧バランスの不均衡化やスクリューコンベヤからの土砂の噴発などにより，切羽の安定が困難となり，地表面などへ大きな影響を及ぼす恐れがある．とくに大断面泥土圧シールドは，チャンバ内で掘削土と添加材が適切に混合・攪拌され，塑性流動化が図れるかが課題であった．

そこで今回，課題解決のため，外回りおよび内回りそれぞれに以下のような対策を実施している．

（1）　掘削添加材

外回りシールドでは，掘削添加材に気泡を採用している．気泡には対象地山に応じて，粘性土～砂質地盤用（Aタイプ）とAタイプに粘性を付与した砂質～砂礫地盤用（Bタイプ）の2種類がある．本工事では大断面であることや掘削土層が全断面礫層になる箇所があることから，従来のBタイプで切羽の安定が困難になった場合を想定して，新たにゲル化気泡の採用を検討し礫層掘進時に備えることとした．ゲル化気泡は，間隙の大きい礫層を対象地山としたもので，高粘性で破泡しにくいゲル状の気泡である．

内回りシールドでは，今回施工の通過断面に出現する土質（砂礫土，砂質土，粘性土）のうち，特に砂礫層で切羽の安定を保持するには，塑性流動性の確保，難透水性（地下水の流入防止），噴発防止が要求され，掘削土砂に適度な粘性を持たせることがもっとも必要と考えて添加材を選定している．また，小土かぶり施工，制約された作業基地の中で添加材設備を設置する必要性，立坑掘削時に採取した土砂による事前の添加材試験の結果などを考慮して高分子系の添加材（水溶性ポリマー）を採用した．

（2）　攪拌性能

掘削土を塑性流動化させるためには，添加材と掘削土が混合攪拌されることが重要である．

両シールドとも，添加材と掘削土砂を攪拌するために，カッタスポーク，アジテータスポークの背面に攪拌翼を，バルクヘッド側に固定翼をそれぞれ配置している．掘削土砂が攪拌されにくいと考えられる中央部については，外回りシールドでは，可変式の大型の高速回転アジテータ（羽根径φ4,200㎜，回転トルク：1,094/1,641kN-m，回転数：2.0/1.33rpm）を1基装備し，内回りシールドでは，高速回転アジテータ（羽根径φ1,000㎜，回転トルク34.3kN-m，回転数：6 rpm）を4基装備している．

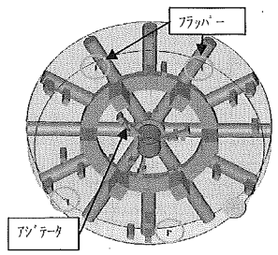
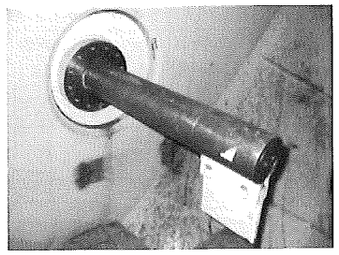


図-4　モデル図


写真-1　フラッパー

（3）　その他の対策

外回りシールドでは，「チャンバ内可視化技術」を今回開発・導入した．本技術は，シールドのチャンバ内をモデル化（**図-4**参照）して土砂流動シミュレーションを行い，チャンバ内の土砂の塑性流動状態を評価するものである．そして，シミュレーション精度の検証を行うために，電動回転式の計測装置「フラッパー」（**写真-1**参照）をバルクヘッド外周部に装備して回転時のトルク変動を計測し，計測値とシミュレーション結果を比較・検証する．本技術を用いることにより，さまざまな条件下におけるチャンバ内の土砂の状態を可視化して評価することが可能となる．現在，掘進土質が変化する代表的な断面ごとに，シミュレーションを行い，チャンバ内の土砂の状態を評価している．なお，本技術の詳細については，参考文献1）を参照していただきたい．また，シミュレーション結果などは別の機会に報告したい．

内回りシールドでは，切羽チャンバ内の掘削土砂の塑性流動化状態把握の指標として，立坑掘削時のシールド通過断面土砂を採取しての各種試験（加圧脱水試験，ブリージング試験，攪拌抵抗試験など）を行った結果から，カッタトルク，アジテータートルク，スクリュートルク，切羽土圧の変動幅，に相関関係があると判断し，それぞれに管理範囲を定め，添加材の注入率，濃度の選定を行うとともに，管理範囲を超えた場合には警報，およびインターロックを作動させ，常に適正な状況で掘進できるシステムとした．詳細については，別の機会に報告したい．

3-2-2　切羽土圧管理

大断面シールドにおけるチャンバ内の土圧分布は，シールド上部と下部で差が大きくなることが想定される．その土圧分布を把握し，適切な土圧管理を行うため，両シールドではチャンバ内に土圧計を多数（外回り：9個，内回り：10個）設置した．

管理土圧は，両シールドとも「静止土圧（静止土圧係数K_0=0.5）＋地下水圧＋予備圧（0.04 MPa）」と設定した．

土圧は，一般に主働土圧から受働土圧の弾性範囲内で設定されるが，今回は掘削地盤が硬質な土層であるため主働土圧側での管理が可能と考え，主働土圧よりもやや高い静止土圧（K_0=0.5）とした．予備圧は，大断面のため上下の土圧差が大きくなることを考慮し，通常より高めの0.04MPaとした．管理土圧は，従来の中口径シールドと同様にシールド中央部に作用する土水圧を対象として設定するが，今回大断面であるためシールド上部についても管理土圧を設定した．

図-5にチャンバ内の土圧分布実績を示す．チャンバ内の土圧分布は，線形を示していない．こうした状況を考慮して，シールド上部の土圧が管理土圧を下回らないよう留意して掘進を行っている．

3-2-3　効率的な掘削土砂の搬出と排土管理

大断面泥土圧シールドでは，大量の掘削土砂を効率良く地上に設けた土砂ストックヤードまで高速で搬出する必要がある．

一般に，土砂搬出の方法としてずり鋼車，ポンプ圧送や泥水輸送などが考えられるが，設備の設置スペース，坑内資材搬送のサイクルタイムなどの面からポンプ圧送が有力となる．しかし，大断面（φ10m以上）の場合，既存の最大能力の圧送ポンプを2系統設置したとしても掘進速度は20㎜/min程度となってしまう．また，礫地盤での管内閉塞などを考慮すると延伸ベルトコンベヤによる土砂搬出がもっとも効率的であることから坑内の土砂搬出には延伸ベルトコンベヤを採用した．また，掘削土砂の垂直搬送には垂直ベルトコンベヤを採用した．

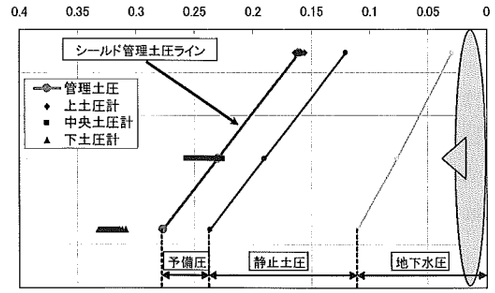


図-5　管理土圧分布図

両シールドにおける掘削土砂の搬出フローを**図-6, 7**に示す．

外回りシールドの特徴は次のとおりである．

①　二次スクリューコンベヤから延伸ベルトコンベヤへの土砂の定量供給と万が一のトラブル時のバッファーとしての役割を目的としたミキシングホッパーを設置．

②　垂直ベルトコンベヤは，掘削土砂を平ベルトに桟付きベルトを被せて密閉する構造で，含水土の搬送にも対応可能．

③　土砂ピット（800m³）にストックされた土砂は，レール走行式の電動バックホウ（1.1m³×2台）によってロードセル付きのサブホッパー（7 m³×3基）に投入・計量後に排出．

内回りシールドの特徴は次のとおりである．

①　多種の土質に適応可能なバケットタイプの垂直ベルトコンベヤの採用

②　土砂ピット（900m³）にストックされた土砂は，油圧グラブ式（3 m³）クレーンで計量器付き土砂ホッパー（8m³×2基）に投入・計量後に排出．

表-3にベルトコンベヤの仕様を示す．

排土量の計測は，延伸ベルトコンベヤの採用により土砂が連続して排出されることから，連続的かつリアルタイムに行う必要がある．ベルトコン

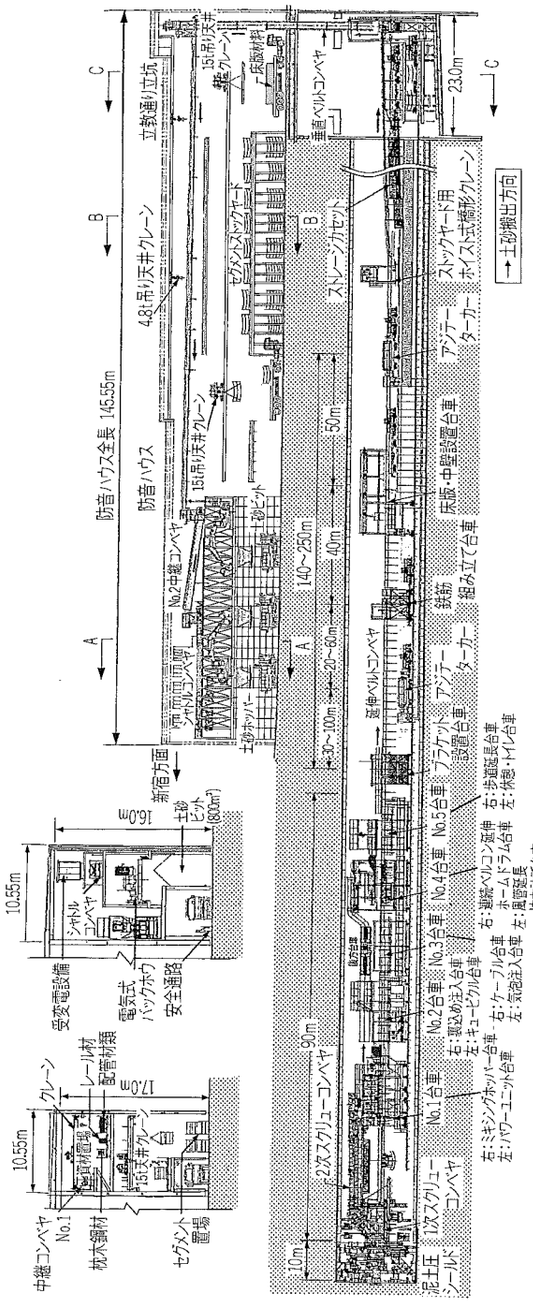


図-6　土砂搬出設備(外回りシールド)

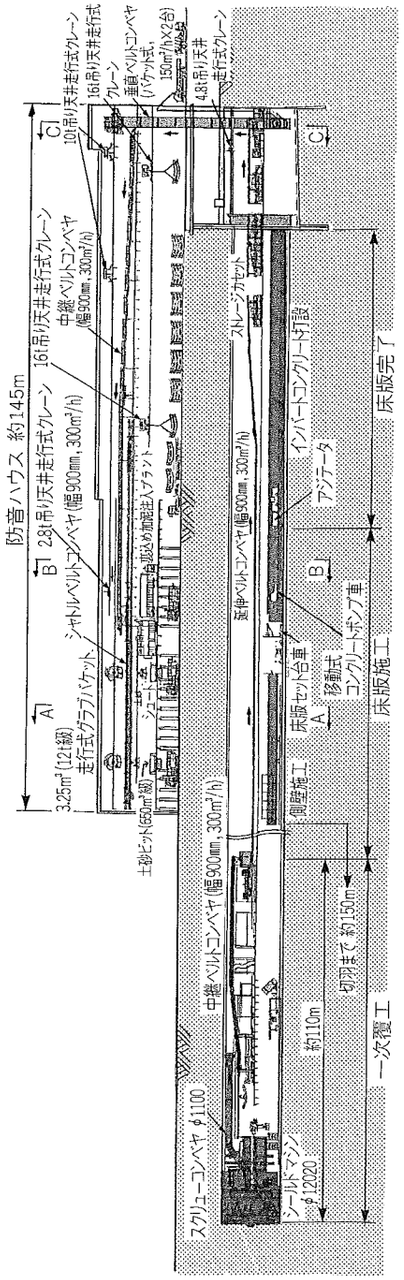


図-7　土砂搬出設備(内回りシールド)

表-3　ベルトコンベヤ仕様

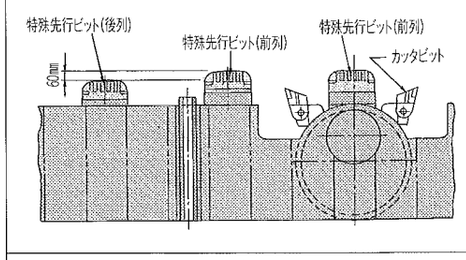
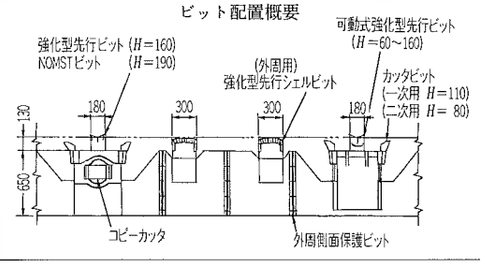
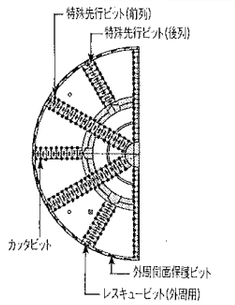
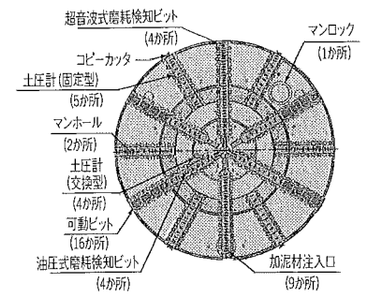
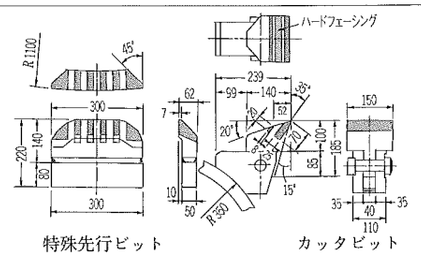
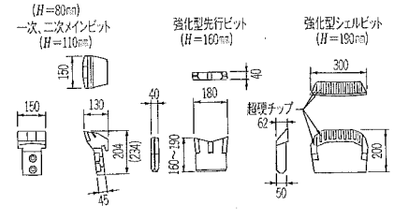
種類	項　目	(外回りシールド)	(内回りシールド)
延伸ベルトコンベヤ	搬送能力	560t/hr	540t/hr
	ベルト幅	800mm	900mm
	構　造	坑口部に200m連続搬出可能な水平ストレージカセットを設置し，ロードセル付きのウィンチでベルトテンションを制御しながら掘進と同期させてベルトの撒き出しを行う.	坑口部に150m連続搬出可能な水平ストレージカセットを設置し，ロードセル付きの油圧ジャッキでベルトテンションを制御しながら掘進と同期させて，つづら折れ構造によりベルトの撒き出しを行う.
垂直ベルトコンベヤ	揚　程	33.27m	33.65m
	搬送能力	420t/hr	270t/hr×2基
	ベルト幅	1,200mm	バケット幅1,000mm@120個
	構　造	平ベルト上の搬送物に桟付ベルトを被せる密閉構造	駆動チェーンで連結したバケットで土砂をすくい上げ，連続搬送する構造

ベヤを用いた場合の排土量の計測には，重量式，超音波式，レーザー光式といった方法があるが，いずれも精度に課題があったことから土量管理に寄与している例が少ないのが現状である．そのため，本工事では以下のような対策を行っている．

① レーザースキャナとベルトスケールを同一地点に設置し，土砂の体積と重量の両方を計測.

② 土砂をベルトコンベヤに定量

表-4　ビットのNOMST壁切削・長距離掘進対策

	(外回りシールド)	(内回りシールド)
ビット配置図		
		
ビット断面図		ビット詳細 
特　徴	・特殊先行ビットの段差配置 ・レスキュービット(油圧機構による格納型伸縮カッタビット)の採用：3か所 ・ビット摩耗検知装置の装備	・メインビット(一次，二次)の段差配置 ・強化型先行ビットによるメインビット負荷低減 ・可動式強化型先行ビット(油圧機構による格納型伸縮カッタビット)の採用：16か所 ・ビット摩耗検知装置の装備
ビット交換	なし	なし

供給した方が高い計測精度を得られるため，外回りシールドでは二次スクリューコンベヤと延伸ベルトコンベヤの間にミキシングホッパーを設置し，内回りシールドでは二次スクリューコンベヤと延伸ベルトコンベヤの間に配置した中継ベルトコンベヤ上に，攪拌装置と均し装置を設置．

③　統計的管理手法により排土量を管理．

4　NOMST壁の切削・長距離掘進対策

本工区は，発進立坑土留め壁部のNOMST壁，掘削地盤前半に出現する礫径φ50～300程度のMg層・Tog層，開削工区の柱列式地中連続壁などの切削があり，さらに約2,000mの長距離を掘進することから，カッタビットの形状，耐久性が重要な検討課題であった．

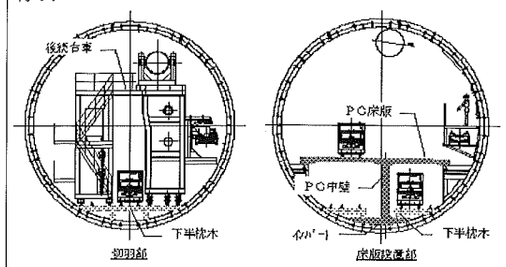
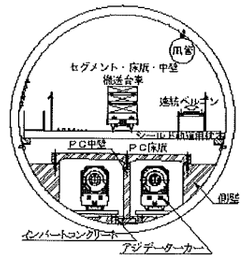
両シールドとも約2,000mをビット交換なしで掘進する対策をとっている．**表-4**に両シールドの対策方法を示す．

外回りシールドでは，先行ビットに大型の特殊先行ビットを採用し，それらを段差配置した．さらに摩耗検知ビット(超音波式4セット)を装備し，摩耗量の推移を把握できるようにした．もっとも摩耗が予想される最外周部については，掘削外径を確保するために，レスキュービット(油圧機構による格納型伸縮カッタビット)を3か所に配置した．

内回りシールドでは，NOMST壁切削，長距離掘削を考慮し，メインビットに高低差を設けて配置した．ビットは，メインビット，強化型先行ビット，NOMSTビットを基本とし，もっとも摩耗が懸念される最外周リング部は，幅広の強化型シェルビットを設け耐力向上を図った．

ビットの摩耗量把握には，強化型先行ビット用(高さ160㎜)，1次メインビット用(高さ110㎜)に対し，超音波式，油圧式の摩耗検知ビットを各2か所(合計8か所)装備し，常にビット摩耗量を把握できるよう配慮した．

表-5　シールド掘進と道路床版の同時施工における方策

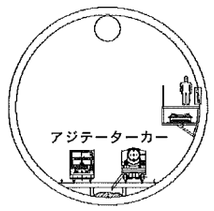
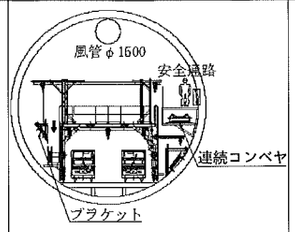
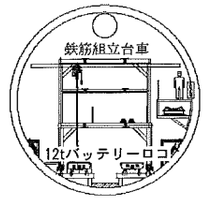
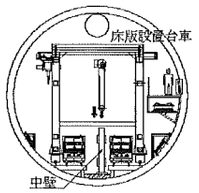
	(外回りシールド)	(内回りシールド)
基本方針	シールド工事と床版工事が互いの進捗に影響を及ぼさないよう，シールド資材運搬と床版・中壁運搬を完全に上下半を別ルートとする．ただし，シールド資材運搬と床版設置作業は競合して行う．	施工の安全性を最優先させることが進捗面でも有利と考え，シールド資材運搬と床版設置作業を完全に上下に分離する．ただし，シールド資材運搬と床版・中壁運搬は競合して行う．
		
	上半ルート：床版上に直接軌条を敷設し，床版資材を運搬 下半ルート：インバート部分に枕木を設置し，シールド資材を運搬	上半ルート：床版上方に枕木を設置し，シールド資材および床版，中壁を運搬 下半ルート：インバート部分に枕木を設置し，床版資材および生コンを運搬
同時施工を円滑に行うための方策	①鋼製ブラケットにより床版を先行仮受け 床版の施工能率の向上を図るため，予め鋼製ブラケットをセグメントに設置し，側壁コンクリート打設前に床版を先行仮受けした． ②床版施工空間の確保 床版上に直接レールを敷設することにより，上半の作業空間を確保し，床版設置，コンクリート打設などの施工性の向上を図った． ③下半運搬ルートを確保した作業台車計画 鋼製ブラケットや側壁鉄筋など床版下部分の施工時に，下半の軌条ルートに支障をきたさないよう門形の作業台車を設置した． ④坑内床版上に資材ストックヤードを整備 床版上の作業空間を有効に活用し，床版上に門形クレーンを設置して資材ストックヤードを確保した．	①側壁コンクリートの高速施工 シールド掘進に遅れないよう側壁移動型枠は18mとし両側同時打設方式とした． ②特殊台車による中壁，床版設置 中壁，床版を上半ルートによって切羽まで運搬し，切羽にて下半ルートへ下ろす．その後，それぞれ専用の台車を用いて切羽から設置場所へ運搬し，設置する方式とした．シールド掘進のサイクルタイムの中に組み込むことで掘進リング数と同数の床版を設置可能とした． ③坑内枕木上に材料置場設置 地上ヤードのみでは不足する材料置場を，シールド軌道用枕木上に設置した．

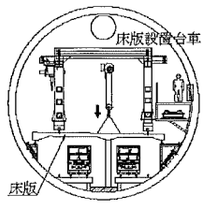
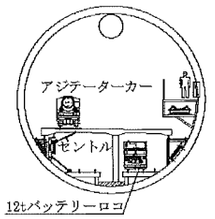
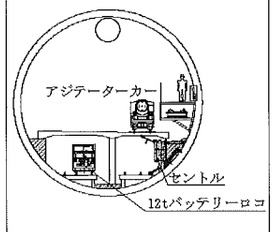
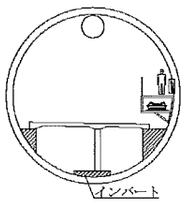
5　シールド掘進と道路床版の同時施工

新宿線では，トンネル内の換気方法として横流換気方式を採用しており，シールドトンネル部で

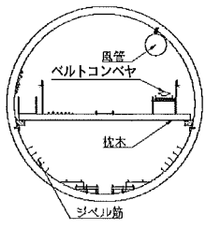
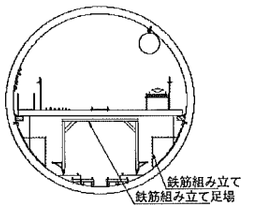
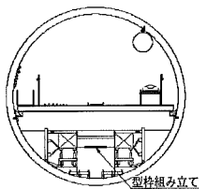
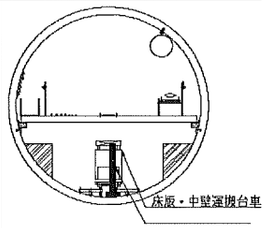
表-6　床版施工手順図

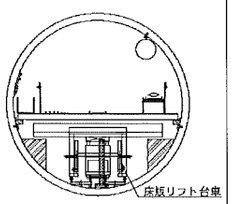
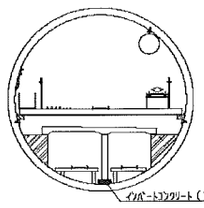
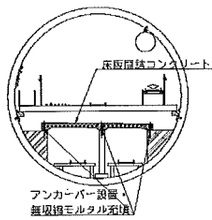
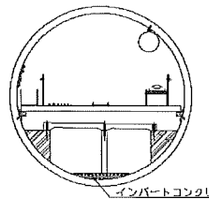
(外回りシールド)

Step1	Step2	Step3	Step4
			
一次インバートコンクリート打設	床版受けブラケット設置	側壁鉄筋組み立て	プレキャスト中壁設置

Step5	Step6		Step7
			
プレキャスト床版設置	側壁コンクリート打設(追越側) 床版継手部コンクリート打設	側壁コンクリート打設(走行側)	枕木撤去 二次インバートコンクリート打設

(内回りシールド)

Step1	Step2	Step3	Step4
			
ジベル筋取り付け	側壁鉄筋組み立て	側壁型枠組み立て 側壁コンクリート打設	プレキャスト中壁設置

Step5	Step6	Step7	Step8
			
プレキャスト床版設置	インバートコンクリート(1回目)打設	支承部無収縮モルタル注入 接合部膨張コンクリート打設	インバートコンクリート打設完了

は道路床版下の空間を換気断面として利用する．そのため，床版の構造は，2径間(床版下2室)構造とし，下半空間を中壁により排気側と送気側に区分している．また，工事全体の工期短縮を図るため，シールド工事と床版工事の同時施工を行っている．

シールドと床版の同時施工を円滑に行うためには，坑内の限られた空間を有効に利用し，双方の進捗に極力影響を与えないような施工方法とすることが重要である．両シールドにおける，方策と施工手順を**表-5, 6**に示す．

6　セグメント

中落合シールドでは，3種類のセグメントを以下のように使い分けて使用している．

- 出入口の拡幅部および開口部などのセグメントを切り開く箇所(**図-8**参照)では鋼殻セグメント(以下，ST)を使用．
- 小土かぶりなどの偏荷重が作用しRCセグメントでは構造的に厳しい箇所においてはダクタイルセグメント(以下，DC)を使用．
- その他の箇所においては，RCセグメント(以下，RC)を使用

本シールドでは二次覆工を省略しているため，RCで露出する金物およびSTやDCの本体は防食塗装を施し，またいずれのセグメントに対しても耐火対策を行う．

本工区では，両シールドともRCセグメントに自社で開発した内面平滑型セグメントを使用している．

外回りシールドで採用している「ワンパスセグメント2」は，セグメントピース間をH型金物(先付け水平コッター)で締結し，リング間をプッシュグリップで締結するセグメントである(**図-9**参照)．以下にその特徴を示す．

- 地盤条件(地盤反力)に応じて最適な継手剛性が設定でき，継手鋼材を図心位置に配置できるため正負曲げに対し同じ継手剛性が得られる．
- リング間，セグメント間ともセグメントをトンネル軸方向にスライドさせることで継手の締結が完了し，組み立て時間が短縮できる．
- 継手金物がセグメント本体内に内蔵されているため，従来のボルト継手のように断面欠損がない．また，ボルトボックス閉塞を行わなくとも内面平滑トンネルを構築することができる．
- セグメント組み立て時のボルト締結作業がないため，セグメント組み立ての自動化に適している．

内回りシールドで採用している「ハニカムセグメント」は全ピース同一の六角形状で，1リング8ピースに分割している．1ピースは2本の斜辺継手ボルトで締結する構造で，斜辺継手面およびリング間継手面には組み立て精度向上を目的とするプラグ・ソケットが配置している(**図-10**参照)．以下にその特徴を示す．

- 全ピース同一形状のため，組み立ての自動化や省力化に適しており，製作性がよい．
- 斜辺継手部のくさび効果により，高い継手剛性およびリング剛性を有する．
- 斜辺継手ボルトは，リング継手面から挿入されるため，内面に金物が露出せず平滑である．
- コーナーがすべて120°であるため，トンネル縦断方向ひずみを柔軟に吸収でき耐震性に優れる．

両シールドとも，セグメントの粗位置決めまでを自動で行う半自動エレクターを採用している．

路内換気所部断面図

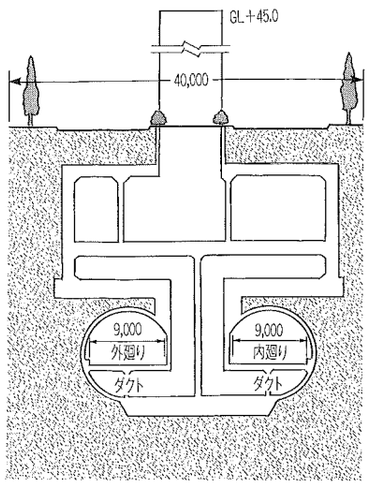


図-8　STセグメント切り開き箇所例

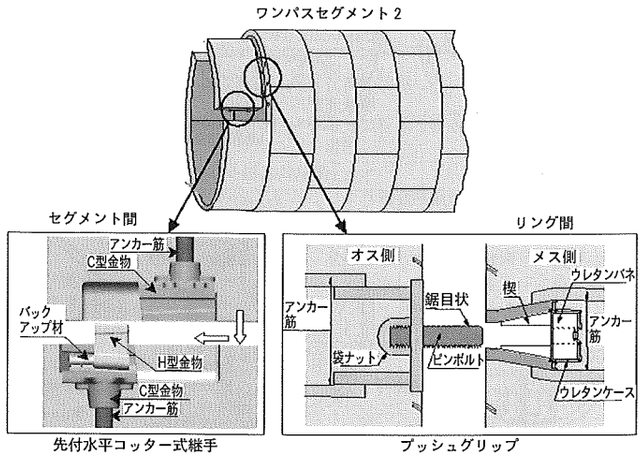


図-9　ワンパスセグメント2

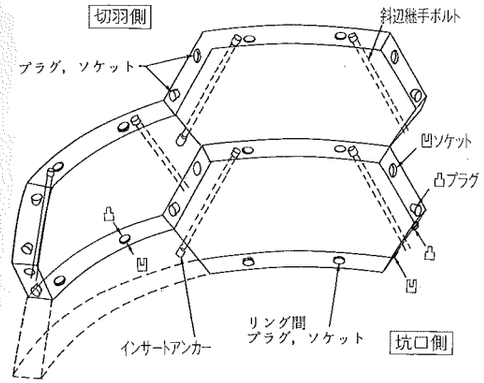


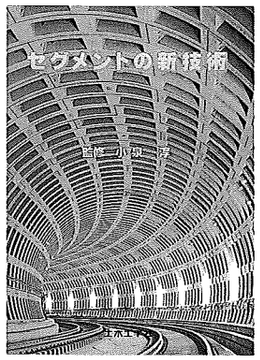
図-10　ハニカムセグメントの構造

7　おわりに

平成16年12月現在，外回りシールドは約1,100m，内回りシールドは約1,000mを順調に掘進し，床版との同時施工も進めている．残り約1,000mについては，掘進土層の主体が砂質土に替わり，近接構造物も多くなることから，引き続き，入念な掘進管理を行っていく所存である．今後のシールド掘進管理状況や床版との同時施工，近接施工などの詳細については別の機会に報告したい．

参考文献

1) 伊澤・土橋・馬上・中山：大断面泥土圧シールドにおけるチャンバー内可視化技術，土木学会第59回年次学術講演会，2004.9.
2) 土橋・櫻井・中山・伊澤：世界最大の泥土圧シールド機，建設機械，2004.8.



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　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



■かかってきた電話

数年前のある日，JR西日本の旧知の方から突然「石屋川トンネルのことでちょっと教えてもらいたいのですが……」と問い合わせの電話があった．石屋川トンネルというのは，神戸市内にあった延長61m足らずの東海道本線のトンネルで，大正時代に撤去されてすでに現存しないが，日本最初の鉄道トンネルとして知る人ぞ知る存在となっている．内容は「石屋川トンネルは後に複線化されたが，上り線と下り線のどちらが初代のトンネルだったのか？」というもので，ずいぶん細かい話を聞いてくるものだと思いつつ，「たぶん，古い写真などから推定して下り線側でしょう．」と返事をしておいた．電話を切ってから何で今さらそんなことを調べているのか聞いておけばよかったと思ったが，この件は忘れかけたままになっていた．

その後，昨年6月に関西へ出かけた折，ふとこの電話を思い出し，半日ほど予定が空いたこともあって，石屋川トンネルの跡地をこの目で確かめてみることにした．最寄りの六甲道駅で下車して，線路伝いに歩くこと約15分．果たしてそこには，「日本で最初の鉄道トンネル・旧石屋川隧道跡」と書かれた立派な碑が建ち，「建立 西日本旅客鉄道株式会社　平成十五年三月吉日」の年号が記されていた．と同時に，数年前にかかってきた電話の疑問が氷解したのである．

■日本最初の鉄道トンネル

碑の紹介をする前に，石屋川トンネルの歴史を少し振り返ってみよう．

石屋川トンネルは，日本で最初の鉄道トンネルとして，1870(明治3)年閏10月24日に着工し，1871(明治4)年7月に竣工した．この付近は，六甲山系のふもとに発達した天井川が流れていたため，鉄道はその下をくぐらなければならず，ほかに芦屋川トンネル(延長113m)，住吉川トンネル(延長50m)の合計3本のトンネルが建設された．施工法は，川の流れをいったん木樋で受け替えてトンネルを構築し，再び埋め戻すという一種の開削工法で行われ，イギリス人技師の指導の下に工事が進められた．3本のうち，最初に完成したのが石屋川トンネルで，続いて他のトンネルも完成して，1874(明治7)年に大阪～神戸間の鉄道が開業したのである．

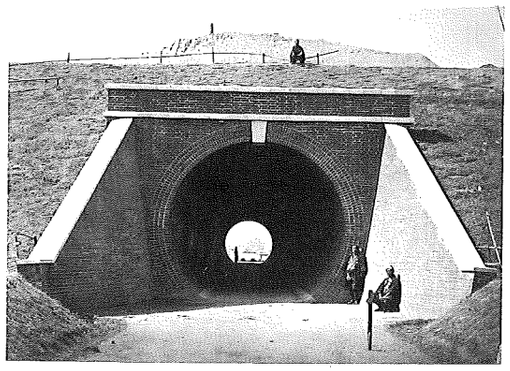


写真-1　完成間近い石屋川トンネル(筆者所蔵)

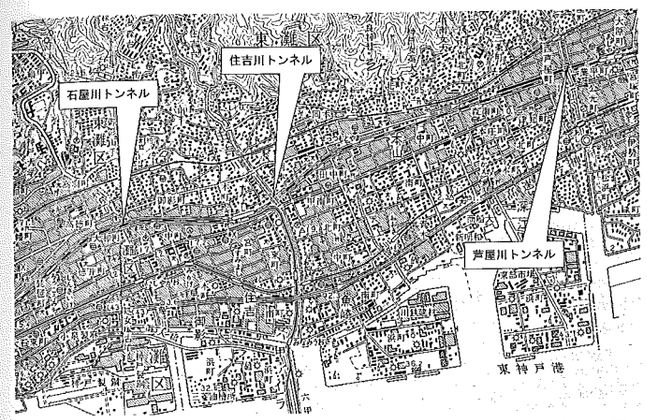


図-1　住吉川トンネル，芦屋川トンネル，石屋川トンネルの場所(国土地理院1/5万地形図「大阪西北部」平成4年修測＋「神戸」平成3年修測を使用)

石屋川トンネルはその後，1894(明治27)年に複線化工事を行って隣にもう1本のトンネルを掘り，双設トンネルとなった．そして約半世紀にわたって使用された後，1919(大正8)年の複々線化工事で跨線水路橋に改築され，永遠にその姿を消した．さらに，1972(昭和47)年には高架化工事が行われたため跨線水路橋も撤去され，東海道本線は石屋川の上を橋梁で跨いで今日に至っている．

■石屋川トンネルの碑

現地の碑をよく見ると，現在の線路中心から微妙にずれた位置に建立されており，そこに何らかの意図が感じられる．後日仄聞したところでは，古い地図や用地図などを頼りにして，おそらくここであろうということで決めたらしい．私の電話もその調査の一環としてかかってきたようだが，はたしてどの程度の役に立ったのかは定かではない．

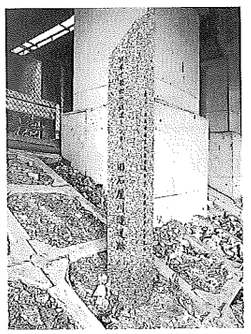


写真-2　石屋川トンネルの碑



写真-3　石屋川トンネルの案内板

鉄道用地自体は，複線化，複々線化，高架化などで幅が変化しているが，せいぜい左右十数メートルの範囲内であろうし，構造物の規模から考えてもほぼ誤差の範囲に収まっていると解釈してさしつかえないだろう．もはやトンネルの遺構や昔の用地杭でも発掘されない限り確かめる術もないので，これで良しとしなければならない．

それにしても，この碑だけではよほどの歴史好きか鉄道ファンでもない限り故事来歴がわからないのではないかと案じたが，直上にある石屋川公園に登ったところ，石屋川トンネルの歴史や意義を記した立派な案内板が設置されていて安心した．案内板には，竣工当時の写真や，跨線水路橋への改築時の写真もあり，予備知識のない方でも，ここが日本の土木技術史上，意義深い場所であることが理解できるようになっている．

ともあれ，西洋流の土木技術に基づくトンネル工事はこの石屋川トンネルが起源であり，ここを出発点として日本のトンネル技術が世界的レベルにまで発展したことを思うと，万感胸に迫るものがある．おそらく当時の外国人技師はおろか，日本人でさえもこれほど短期間に世界へ追いつこうとは想像していなかったであろう．

石屋川トンネルが完成した同じ年，ヨーロッパアルプスでは延長13,657mのモンスニ(フレジュス)トンネルが開通しており，彼我の技術力の差は歴然としていた．このわが国のトンネル技術史上記念すべき地に記念碑が建ったことは意義深いことであり，関係された各位の御努力に心から敬意を表したい．

土木情報 No.382 今月の主な入札結果

（1月28日～2月18日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
沖縄事務局	那覇港道空港側立坑下部	大成・西松・大豊JV	2,030
札幌開建	国道231号厚田村大島内2号T	伊藤・岩田・山田JV	2,598
東北地整	通岡T	五洋建設	1,950
関東地整	切久保洞門その5	早野組	361.8
〃	大月第1T	アイサワ工業	1,077
中部地整	302号緑地共同溝殿山立坑	名工建設	420
〃	〃　坊主山立坑	矢作建設工業	430
〃	富士海岸蒲原東樋門	株木建設	530
北陸地整	倉見T	木原・坂川JV	740
近畿地整	奥瀞道新田戸T	清水建設	3,400
〃	敦賀BP鳩原T	三井住友建設	1,590
〃	8号赤萩防災新河野T	木原・坂川JV	845
中国地整	東広島・呉道路下三永T	前田建設	1,060
〃	松永道路松本T	鉄建	710
四国地整	坂本第2T	戸田・アイサワJV	2,410
〃	正木T	淺沼組	581
九州地整	熊本3号新佐敷T新設2期	大成・みらいJV	3,480
道公・中国	鳥取道西粟倉T	鉄建・梅林JV	1,700
宮城県	分波T	西松・金子JV	890
都・水道局	大塚2～小石川5地先間配水本管ほか	冨士工	328
〃	神田佐久間町河岸～岩本町3地先間配水本管	JFE工建	180
〃	八王子市南大沢1～2地先間配水本管	黒須・新開JV	380
〃	あきる野市伊奈1565～山田533間配水本管	内田建設	221.87
都・下水道局	新大橋1～常盤1付近再構築	新日本・布施JV	275
〃	西ケ原2,3付近再構築	大明建設	399.9
〃	馬込西2号幹線その3立坑	森本組	239.5
〃	南大井3,4付近雨水調整池2	アイサワ工業	515
〃	谷川雨水幹線15	大本組	649
〃	江東区大島1,5付近再構築	大林・大本JV	389
〃	赤羽2，赤羽南1付近再構築	多賀・金寿JV	284.7
三重県	国道163号長野峠BP新長野T	大林・清水・日本土JV	3,640
兵庫県	国道429号とりがたわT	大成・三井住友・矢作・宮本JV	3,100
〃	国道178号道改船越T余部工区	鹿島・大本・金下・但南JV	5,930
〃	主地方道宮津養父線浅間T	五洋・福井JV	830
和歌山県	国道370号毛原宮T	淺川・中井JV	633
〃	那智勝浦古座川線小川T	小池・小森JV	670
香川県	県道土庄神縣線洞門下部工	大本・成和JV	122
徳島県	旧吉野川幹線管渠松茂東	前田・島谷・亀井JV	1,216
福岡県	若宮宮田直方幹線管渠13工区	松尾・宮田JV	212
熊本県	国道387号西里T	杉本・森JV	514
仙台市	鎌ケ淵3号雨水幹線1	徳倉建設	122
〃	梅田川第1雨水幹線7	鴻池・奥田JV	900
名古屋市	堀川右岸雨水幹線	大林・戸田・東急JV	2,290
京都市	朱雀2号分流幹線その1	吉村・京阪JV	360
北九州市	初音町川代主要幹線2管渠	大林・西松・白石・森・松村JV	2,880

施工

ライナー立坑円弧状部で初めての直接発進・到達

—東京都下水道　落合川雨水幹線シールド—

東京都下水道局流域下水道本部技術部長　伊東三夫
東京都下水道局流域下水道本部技術部工事課長　三上豊
間・奥村・淺沼建設共同企業体工事主任　滝沢究

1　はじめに

東京都下水道局(以下，当局)では，昨今の社会情勢や行政需要に応じてコスト縮減，工期短縮，環境負荷の低減などに積極的に取り組み，これまでに多くの成果を挙げている．これらの取り組みの一環として，このたび流域下水道整備事業におけるシールド工事で，2つの新技術を採用したので，その概要を紹介するとともに，施工結果について報告する．

取り組みの一つは，ライナープレート立坑においてシールドの発進・到達部にライナープレートに代えてシールドで切削可能な部材を設置し，直接発進・到達を実施したことである．

二つ目の取り組みは，二次覆工省略型セグメントとして覆工内面が完全平滑な4分割RCセグメントを使用し，一次覆工を実施したことである．

2　事業の概要

2-1　事業概要

落合川雨水幹線は，荒川の支流である落合川最上部の流域約225haの雨水を収容し，落合川に放流する分流式の流域下水道雨水幹線である．流域内の東京都東久留米市前沢や小平市小平地区では近年の都市化の進展により雨水流出量が増大したため，1時間あたり十数㎜を超える降雨で浸水被害が発生しており，早期の整備が求められている．

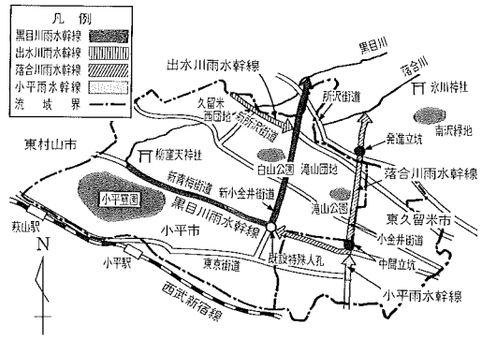


図-1　落合川雨水幹線概要図

しかし，放流先である落合川などでは河川の整備が進まず，当面，現状以上に河道能力が得られない状態では，河川への放流を前提とした雨水幹線整備を行うことが難しくなっていた．

そのため，早期浸水解消を図るために計画手法を見直し，落合川雨水幹線と隣接する既設黒目川雨水幹線とを接続し，放流先を確保するとともに，河川整備されるまでは一部管渠を貯留管として活用することとし，落合川雨水幹線の事業を実施している(図-1参照)．

2-2　工事概要

落合川雨水幹線工事は，仕上がり内径2,400㎜，線路延長2,360mの円形管を泥水式シールド工法により施工するものである．

シールドは東久留米市八幡町の発進立坑から主

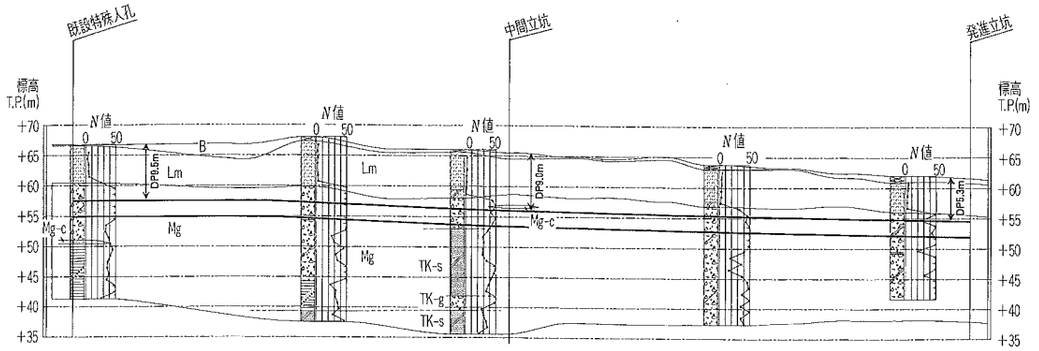


図-2　土質縦断図

要都道15号線(小金井街道)を南下し，約1.2km地点で中間立坑に一旦到達する．シールドの点検整備とビット交換を行った後に再発進し，主要都道5号線(新青梅街道)を小平市大沼町の既設人孔まで掘進する．

管渠の平面線形は全線の約9割が直線および曲率半径100～500mの緩曲線(9か所)であり，曲率半径50m，30m，23mの急曲線を各1か所含む．縦断線形は0～2.5‰であり，発進立坑位置を最下流側とする上り勾配の施工となる．

2-3　土質概要

管渠の土かぶりは5.3～9.8mであり，通過土質は全線にわたり武蔵野礫層である．当該土質はおおむね礫率60%以上，礫径はφ80～φ100㎜程度を主体とし，最大礫径はφ300㎜と推定される．

また，地山の透水係数は10^{-2}cm/secオーダー，地下水圧は最大40kPaである(図-2)．

3　立坑円弧状部でのシールド直接発進・到達工法

3-1　工法採用の経緯

当局では，民間の技術開発を積極的に活用することにより建設コストの縮減を図るため，契約後，施工方法などの変更に関する提案を受け入れるVE制度を平成12年度より試行し，平成15年度まで7件の工事で採用してきた．

本工事では，中間立坑でのシールドの発進・到達防護工として，高圧噴射攪拌工法と薬液注入工法を計画していた．しかし，交通量の多い路上

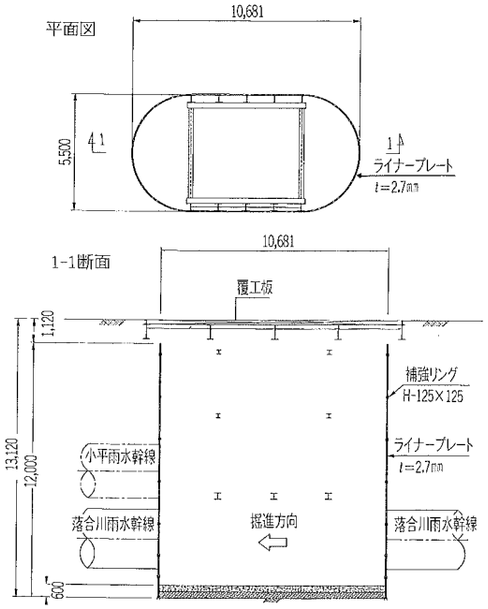


図-3　中間立坑仮設図

作業の影響など，以下の効果が見込まれることから施工者の提案を採用し，直接発進・到達工法を契約後VEとして実施した．

① 高圧噴射攪拌工が省略され，地盤改良工の施工規模を縮小できるため工期が約2週間短縮される．
② 5%程度の工事費縮減の効果がある．
③ 路上作業を極力減らすことで，路面交通への影響が少ない．
④ 地山開放がないので，出水や地山崩壊に対する安全性が高い．

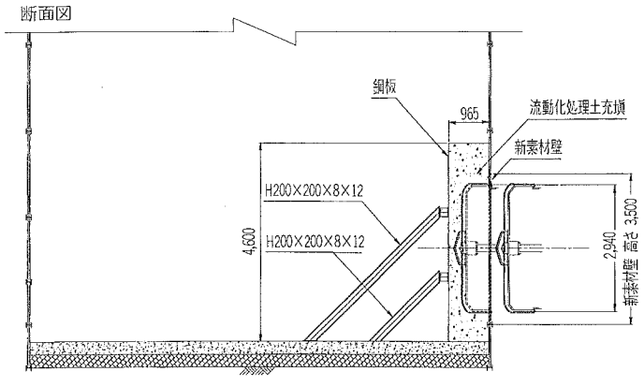
シールド直接発進・到達工法は，これまでに柱列式立坑や地下連続壁などで多くの実績を有するが，円弧状に曲げ加工した部材の製作実績がなく，ライナープレート立坑への適用はわが国初めての採用である．

3-2　発進・到達工法の概要

(1)　立坑形状と土留め部材配置

中間立坑の形状は，長さ10.68m×幅5.50m×深度12.52mの小判型であり，土留め壁は鋼製ライナープレート24リングで構成される(図-3)．

シールドの発進・到達する部分には，ライナープレートの代わりにガラス長繊維補強発泡ウレタン樹脂製の部材(以下，新素材部材と称す)を配置する．新素材部材の設置範囲は，シールド外径に加えて立坑の施工精度およびシールドの蛇行余裕を考慮した範囲とした．なお，到達側についてはシールド到達



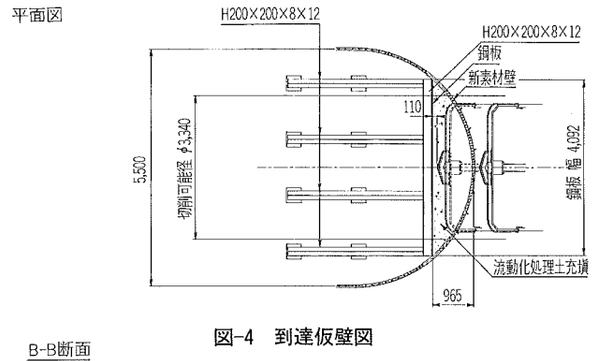


図-4　到達仮壁図

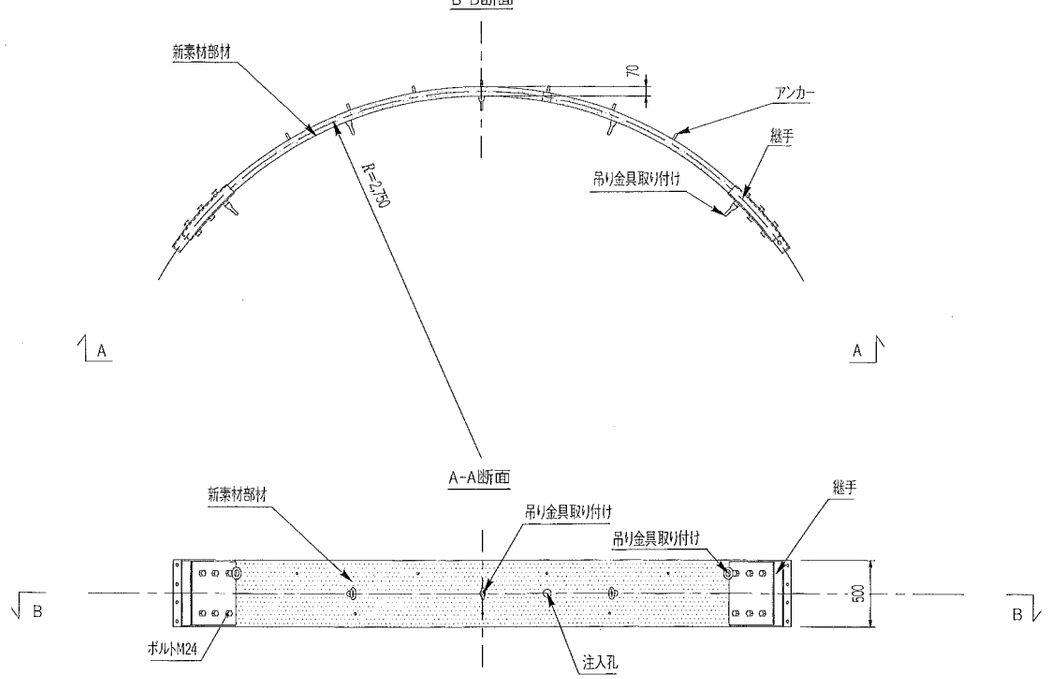


図-5　新素材部材詳細図

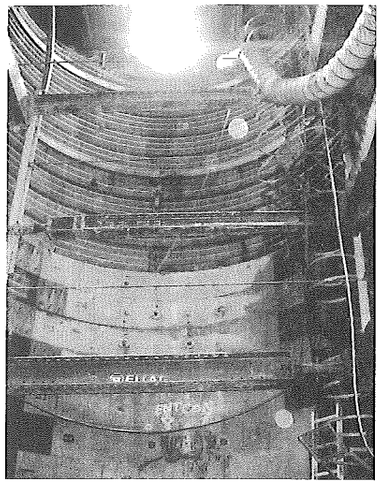


写真-1　新素材部材設置状況(発進側)

時の切羽圧力保持と新素材部材の座屈防止を目的として仮壁を設置した(**図-4**).

(2)　新素材部材の概要

新素材部材の幅をライナープレートと同様の500㎜とし，部材の左右両端に継手金物を設けてライナープレートとボルト結合して組み立てる．**図-5**に新素材部材，**写真-1**に新素材部材設置状況を示す．新素材部材の厚さは土水圧の作用に対して十分な曲げ強度を確保するよう設計し，設置深度により厚さ60㎜および70㎜とした．

3-3　切削性試験

(1)　試験概要

新素材部材を円弧状に加工して使用するのは初めてであり，約4分の1スケールの部材を用いて切削性を確認した．試験では地盤を模擬した1,000×1,000×270㎜の貧配合モルタル中に円弧状の部材を埋め込み，φ600㎜のカッタで切削する．**図-6**に試験概要図を示す．

なお，部材と地盤の一体化を図るため，新素材によるアンカーを設置した．また，シールド到達時と発進時の相違を確認するため，部材の凸面側および凹面側から切削する2ケースについて試験した．

(2)　試験結果

切削状況において，到達を模擬した凸面切削では試験体の中央部から徐々に切削されるので，切

最大押圧荷重	827kN
最大押圧速度	12.9cm/mim
回転トルク	128kN・m
最高回転数	3rpm
最大ストローク長	200㎜

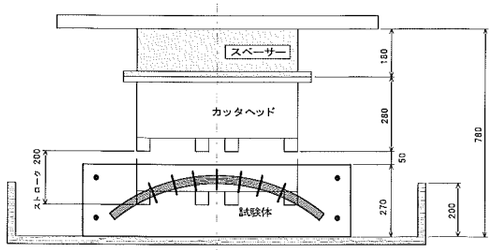


図-6　試験概要図

削屑は100㎜以下の繊維状となった．これに対して，発進を模擬した凹面切削では最大長さ150㎜程度，厚さ5㎜程度の板状切削片が発生した．

凹面切削では部材の外周側から切削が進み部材厚さが5㎜程度まで切削された時点で模擬地盤と剥離して大割れしたものと推定された．

実施工において切削片の大割れを防止するには，新素材部材と地山(裏込め材)の一体化が重要であると考えられたため，この結果から発進側には棒状アンカー(φ20×100㎜)の配置を到達側の2倍に増し，ピッチ250㎜で打設することとした．

3-4　施工結果

シールドは面板のスリット幅は150㎜で，礫対応のためディスクカッタを10組み装備している(**写真-2**)．排泥管は機内～クラッシャ間が10B，クラッシャより後方は6Bである．また，新素材部材切削のための先行ビット増設などの配慮はとくに必要ないと判断した．

(1)　到達時の状況

掘進速度3～5㎜/minで推進し，切削開始から掘進量300㎜付近でクラッシャ内の閉塞が発生した．点検したところ，30cm長の部材切削片によるものであった．その後は配管などの閉塞もなくスムーズに切削を完了した．切削屑はほとんどが10cm長以下の小さな切削片として排出された．カッタトルク，推力ともに地山掘削時と比較して大きな上昇は見られなかった．**写真-3**に到達状況を示す．

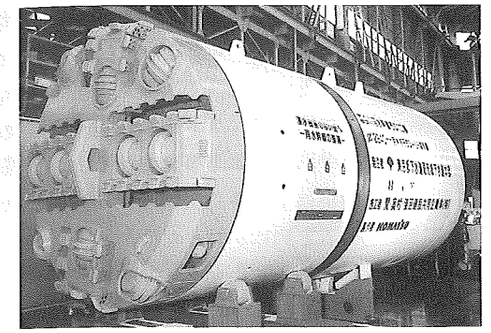


写真-2　シールド

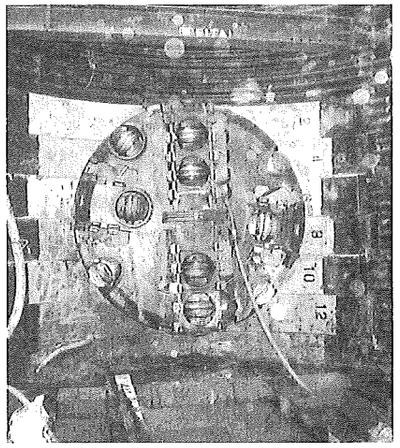


写真-3　シールド到達状況

(2)　発進時の状況

到達時と同様に掘進速度5㎜/min以下で推進した．カッタトルクおよび推力のデータを**図-7**に示す．

トルクと推力は，ビットと新素材部材の接触面積が増加するにつれて上昇したが，カッタトルクの瞬間最大値は208kN・mであり，装備トルクの40%程度であり，新素材の切削を約4時間で完了することができた．

新素材部材の切削範囲の100㎜程度手前まで掘進したところで，トルクと推力のデータに安定した傾向が見られる．この時点で切削されずに残っている部材周囲の縁が切れ，拘束を失ったものと考えられる．

なお，このときに大割れしたと推定される30cm程度の切削片により，以後の掘進においてクラッシャ内での閉塞が2度発生した．

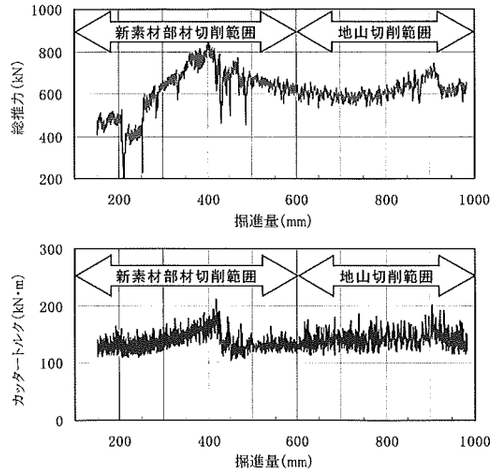


図-7　カッタトルク，推力の変化(発進時)

3-5　今後の課題

今回の施工によりライナープレート立坑におけるシールド直接発進・到達工法の有効性が確認できた．今後は新素材部材の切削時の大割れ防止のための，部材上下方向の接合方法について検討する必要があると考える．

4　内面平滑型4分割RCセグメント

4-1　セグメントの選定

当局では，平成9年よりコスト縮減の取り組みの一環として，二次覆工省略型下水道管渠の検討を行ってきた．その結果，分流式雨水管や暫定貯留管などにおいては二次覆工省略型を基本とすることとし，平成12年に「二次覆工省略設計指針」を定めてきた．

本工事では，この指針にもとづき，工期の短縮を図り，浸水被害の早期解消を実現させる，二次覆工省略型セグメントの選定を行った．

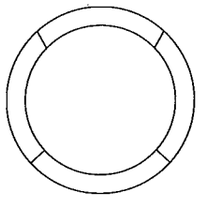
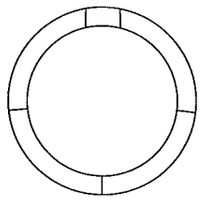
下水道用二次覆工省略型RCセグメントは，一般には**表-1**に示すように3タイプのものがあるが，今回工事ではほぞタイプ，長ボルトタイプを組み合わせた特徴を有するセグメントを選定した．

このセグメントは，ほぞタイプの継手かみ合わせ構造により，構造用継手金物が省略できる利点があり，また組立ボルトとして長ボルトを使用することによりボルトボックスをなくすることがで

表-1　下水道用二次覆工省略型RCセグメントの比較

継手種別	ほぞタイプ	長ボルトタイプ	くさび締結タイプ
概　要	・セグメント継手：コンクリート突き合わせ． ・リング継手：凹凸ほぞのかみ合わせ構造． ・千鳥組みによる添接効果を有効に利用する．	・継手を長ボルトで締結するタイプ． ・セグメント平面形状に特徴を有するものがある．	・セグメント継手：くさび状締結部材． ・リング継手：軸方向挿入型ピンを用いるものが多い．
開発の目的	・二次覆工省略 ・製造コスト低減	・自動化，省力化 ・高速施工 ・二次覆工省略	・自動化，省力化 ・二次覆工省略
構造上の特徴	・組立ボルト本数が少ないため組み立て時間の短縮が可能． ・金物が省略でき経済的に優れる． ・一般に小さなボルトボックスを有する．	・継手金具の簡易化により一般に経済性に優れる． ・特殊形状によりセグメント組み立てと掘進の同時施工に適したタイプのものがある．	・高いセグメント継手の剛性が得られ，添接効果による本体の負担を低減できる． ・ボルト締結が不要なため組み立ての自動化・高速化に適している．
防食性	・防食対象が組立ボルトだけで，防食性に優れている．	・鋼製構造部材が露出しないため，防食性に優れている．	・鋼製構造部材が露出しないか露出部が小さく，防食性に優れている．
平滑性	・ボルトボックスの数および体積が少なく，ほぼ平滑である．	・一般に内面に継手による欠損がないため完全に平滑である．	・くさび状継手による欠損は小さく，ほぼ平滑である．

表-2　4分割RCセグメントと従来型RCセグメント(5分割)との比較

項　目	4分割RCセグメント	従来型RCセグメント(5分割)
概略図		
構造的安定性	・従来型(5分割)と比較してセグメントリングの剛性が高く継手変位が小さい． ・上記によりセグメント継手構造の簡略化が可能である．	・標準的な分割であり構造安定性は高いが，一般に4分割と比較すると継手変位は大きくなる． ・通常はセグメント継手に構造ボルトなどの締結部材が必要となる．
施工性	・セグメントピースが大型になり，取り扱いに慎重さを要するが，組み立て工数の低減で従来型より日進5％程度の向上が期待できる． ・K型の軸方向挿入代が大きくなる(シールド機長が長くなる)．	・ボルト本数が多い場合，組み立て時間がかかる．
経済性	・分割数の減少，セグメント継手構造の簡略化による経済性向上が期待できる．	・評価の基準となる．

きるので，下水道機能としては大切な内面平滑が可能となる特徴を有している．また，二次覆工省略による工期短縮とコスト縮減にもっとも優位であり，本工事における工期短縮効果は全線を二次覆工する場合と比べると約12か月となる．

また通常，セグメントの分割は内径2,400㎜クラスでは5分割のものが用いられるが，表-2に示すように分割を4分割とすることで，

① セグメントリング剛性および構造安定性の向上
② 継手構造の簡略化および分割数減少による経済性向上
③ 組み立て工数の低減による施工性向上

が期待でき，従来型より約5％程度日進量を向上することが可能となり，効率化が図れるものである[1]．

本工事では，これらの特徴を生かし，わが国で初めて本格的な工事として，採用したものである．

4-2　内面平滑型4分割RCセグメントの概要

一次覆工のうち急曲線などを除く2,208m区間について，内面平滑型4分割RCセグメントを使用した．セグメントの形状は外径φ2,800㎜，厚さ200㎜，幅1,000㎜の4分割構造である(図-8参照)．

(1)　セグメントの分割・継手配置

4分割は，特殊な搬送設備や組み立て装置を用いず，シールド，後方設備に大幅な改造や空間的制約なしで施工可能な最小分割数と考えられる．シールド坑内における作業性を検討した結果，A型の分割角度を96度とし，残りの3ピースの分割角度を88度とした．

このようにセグメントの分割をほぼ

4等分割にすることにより，セグメント継手が曲げモーメントの反曲点($M=0$)付近に配置される(図-9)．

これにより，セグメント継手に強度を期待せず，隣接するセグメント本体への負担も低減することが可能となった．

(2)　リング継手

リング継手面全周に配置した円弧状凹凸(緩衝キー)のかみ合わせにより，千鳥組みの添接効果で発生するせん断力を伝達する(図-10)．また，組み立て用の貫通ボルトを締結する．

(3)　セグメント継手

4分割の効果的な継手配置により継手構造の簡略化を図り，コンクリートヒンジ的に挙動するコンクリート面の突き合わせ構造とする．なお，組み立て時の安定性確保を目的としてフック状の組立金物を設置する(写真-4)．

(4)　二次覆工省略に関する特徴

二次覆工省略に対する内面平滑型4分割RCセグメントの特徴は以下のとおりである．

① 継手構造を簡略化し構造用継手金物が不要なため，継手金物の防食対策が不要となる．

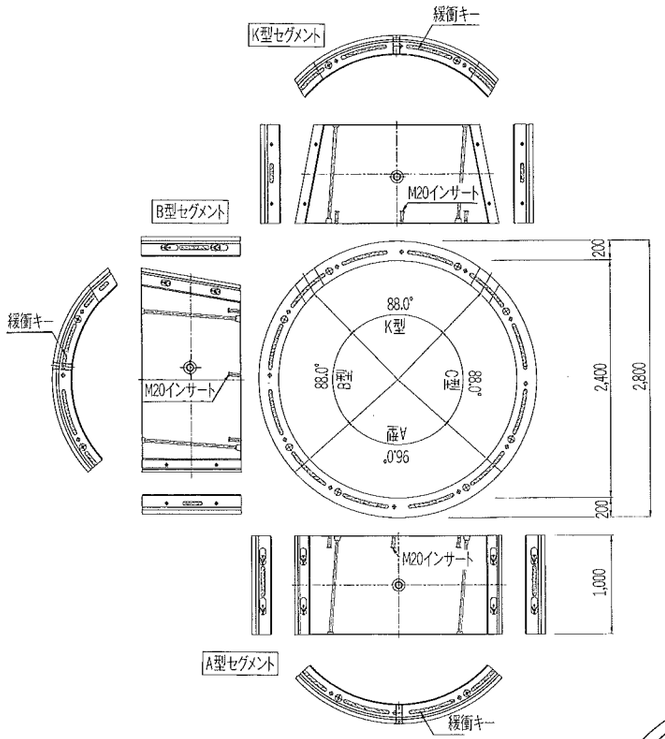


図-8　セグメント構造図

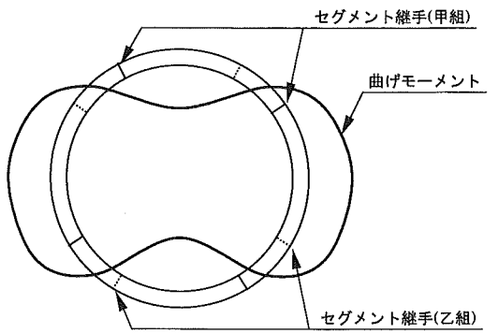


図-9　セグメント分割と曲げモーメント分布

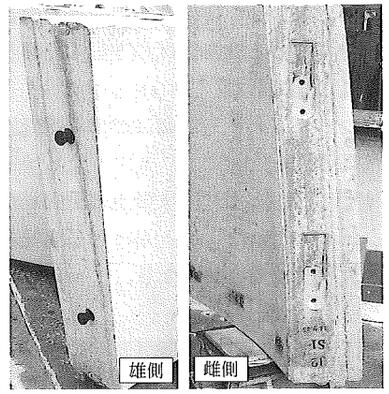


写真-4　フック状組立金物

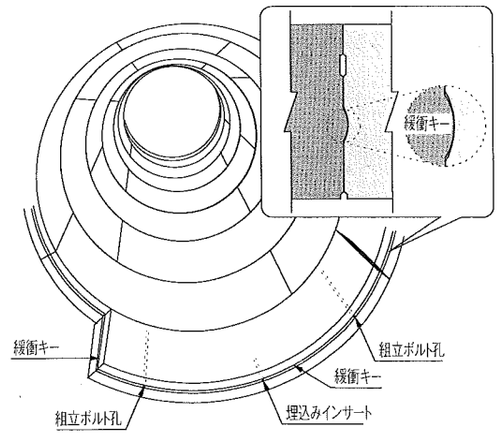


図-10　継手構造概要図

② ボルトボックスが存在しないため内面の平滑性と通水性の機能が確保できる．

③ 4分割の高いリング剛性により継手変位が抑制され，二次的に継手止水機能の向上が図れる．

④ リング継手の円弧状凹凸(緩衝キー)が荷重伝達における応力集中を緩和しクラックの発生を抑制するため，本体止水機能の向上が図れる．

(5) 設計手法

セグメントの設計においては，セグメント継手の配置および千鳥組みによるリング継手の添接効果を適切に表現できる「はり－ばねモデル計算法」を採用している．

設計モデルでは，セグメント継手を完全弾性ヒンジとし，リング継手を緩衝キーのせん断剛性から決定されるせん断ばねとして評価した．

4-3 施工設備

シールドと後方設備は従来の機械設備を基本とするが，4分割によりセグメントピースが大型化するので，とくに以下の点に配慮した設備とした．

- 坑内でセグメントピースを回転させる空間を確保するための配管，ケーブル，ホース類の配置(図-11)
- Kピースの挿入長が長くなることによるシールドジャッキストロークの増長(ストローク：1,650㎜)
- 1ピースあたりの重量が大きくなることによるエレクタ能力の向上(エレクタの大型化)

4-4 施工結果

シールドは平成14年12月に発進，平成15年9月に中間立坑を通過し，平成16年3月に既設人孔に到達した．今回の施工で，4分割RCセグメントの品質および施工性について，以下に述べるように満足な結果が得られた．

(1) 覆工品質

セグメントの真円度(内空変位量)の測定をトンネル延長5mピッチ(363か所)で実施した．図-12にセグメント内空変位の度数分布を示す．内空変位量の平均値は左右1.2㎜，上下2.1㎜(セグメント外径の1/2,300～1/1,300)と非常に小さな値となっている．また，セグメントのクラックや継手部の漏水も見られず，止水性についても良好であった．4分割としたことによるリング剛性の向上，緩衝

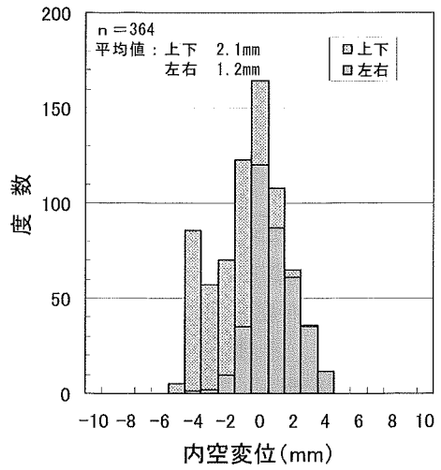


図-12 真円度の度数分布

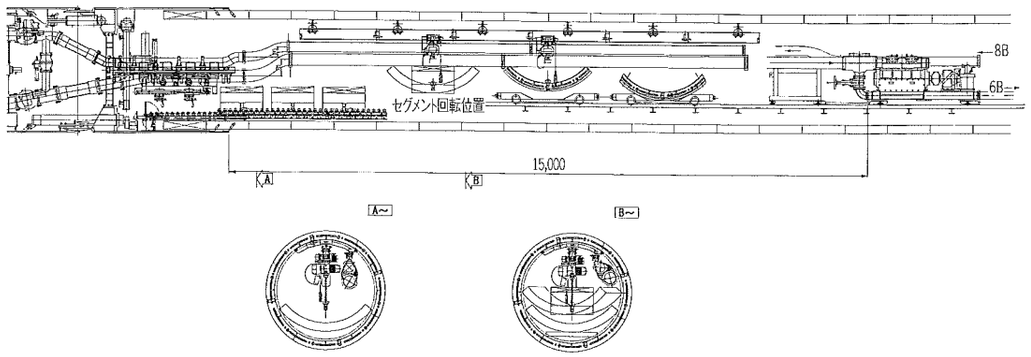


図-11 切羽付近設備図



写真-5 坑内全景

キーによる継手周りの応力緩和に伴うクラックの減少など，本セグメントの優れた構造安定性を確認できたといえる．

(2) 組み立て施工性

セグメント組み立てに関しては，エレクタの大型化による視認性の悪化に伴う位置決めの困難さ，切羽側から締結する貫通ボルトによる作業効率の低下など，組み立て作業への悪影響を懸念していた．実際には，4ピースのため組み立て工数の減少による時間短縮効果が大きく，同工事における鋼製セグメント組み立て時と比較して約10%の組み立て時間短縮となった．組み立て時間は，1リングあたり最速で18分，平均で25分程度である(写真-5)．

4-5 今後の課題

本セグメントはセグメント継手がコンクリート面の突き合わせ構造であるため，ボルト継手のように組み立て時の初期締結力が導入できない．このため，高水圧下の施工ではセグメント組み立て後，シールドテール部を抜けて土水圧により軸力が導入されるまでの間の止水性確保が課題であると考えられる．

また，今回はセグメント組み立て時の安定性確保のため，貫通ボルトによるリング間の締結を行ったが，切羽側からの締結作業のため作業性が悪かった．貫通ボルトに代わるワンタッチ式ピン継手などの適用について検討が必要である．

5 おわりに

落合川雨水幹線工事は，現在，接続人孔の設置を進めているところである．また，落合川雨水幹線の中間立坑を発進立坑として小平雨水幹線(仕上がり内径2,200㎜)を施工中であり，本報告で紹介した二次覆工省略型のRCセグメントおよび発進・到達工法を採用している．

今後も経済性，品質，施工性に優れた技術を積極的に活用し，下水道管渠構築技術の更なる発展に貢献したいと考えている．

参考文献

1) 片岡希誉司・滝沢究・伊勢亀悦男・兼子厚司：二次覆工省略型4分割RCセグメントの開発，土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告書，第9巻，1999.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

1. 原稿は当社所定の投稿規定により執筆して頂きます．投稿規定は，弊社ホームページ(http:www.tunnel.ne.jp)に掲載されています．
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送りします．
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)

トンネル ジャーナル

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

福岡地下鉄七隈線開業

96年に着工した福岡市営地下鉄３号線(七隈線)が２月３日開業した．同市西南部と都心部を結ぶ３号線は，西区橋本から中央区天神に至る16.7kmの路線で営業延長は12km．

同地域は，全市民の４割の約50万人が住み，慢性的な交通渋滞の緩和策として開業が待望されていた．

同線の土木工事は19工区に分割し，状況に応じて，開削，シールド，山岳トンネル(NATM)の３工法で進められた．02年９月にトンネル部が貫通．軟弱地層や地上部における交通切り替え，都市部の地下埋設物対策など，厳しい条件下での施工となった．

上田トンネル起工

関東地方整備局長野国道事務所が建設を進める上田坂城バイパスの上田トンネル工事が２月５日起工した．上田坂城バイパスではトンネル２か所の建設が予定され，今回の工事はその初弾．

同バイパスは，長野県上田市上塩尻～坂城町小網の延長4.9kmの路線．上田トンネルは，すでに開通している起点側の2.2km区間の西側に位置し，延長320m，内空断面積81～88m²．完成は06年度を予定している．

梅田貨物線２km地下化

大阪市は，大阪駅北地区(北区)の開発促進に向け，来年度から区域内の西側を通るJR東海道線支線(JR貨物線)の地下化検討調査に着手する．

地下化想定区間は，阪急京都線・宝塚線・神戸線と交差する北側(中津付近)から開発区域の骨格道路として計画している南北線に沿って南下し，福島区福島６丁目の踏み切り付近までを開削工法で地下化した後，地上の既設線に接続させる，２km強を想定している．途中，JR大阪駅西側に特急を停車させる新駅の設置も計画している．

二条西工区シールド発進

京都市交通局が07年度の開通を目指して建設中の地下鉄東西線天神川延伸工事のうち，二条西工区のシールドが２月８日，発進した．

同工区は，二条駅から西大路駅までの863m．二条駅西側に深さ17.4mの発進立坑を構築，西行き線と東行き線の泥土圧シールドの据付けを完了，西行き線を先行発進させた．セグメント外径は5.7m．延長は838m．06年８月の完成を目指す．

八甲田トンネル全区間の貫通

鉄道建設・運輸施設整備支援機構鉄道建設本部盛岡支社が建設を進めている東北新幹線八甲田トンネルの全区間が98年10月の工事開始から６年６か月ぶりの２月27日に貫通した．

同トンネルは，延長26.455kmの複線トンネルで陸上では世界最長となる．工事中は，突発的な湧水や貫入岩などによる亀裂帯にも遭遇したが，水抜きボーリングの実施や大深度ディープウェルなどを採用，先進ボーリングなどによる地山性状の事前確認により，無事貫通した．

遺跡保存へトンネル

日本道路公団北海道支社は，２月16日，北海道縦貫自動車動の森IC～落部IC間のうち，渡島支庁管内森町の高速道路建設予定地内にある鷲ノ木５遺跡について，トンネル工法による現状保存することで北海道，森町と合意した．今後，国の史跡指定を受けた後，工事に着手する．

トンネル工事区域は，遺跡本体の保存区域約45mを含む約85m．

回転坑に到達

首都高速道路公団が06年度の完成を目指し工事を進めている「中央環状新宿線」のうち，新宿区西新宿３丁目と渋谷区本町３丁目を結ぶ「SJ33工区・SJ34工区(１)トンネル工事」で，シールドが渋谷区本町の回転坑に到達した．シールドは，直径９cmの鉄球を60個敷き詰めたユニットを24個連結したボールスライダーと呼ばれる装置に載せられ，約10時間をかけて180度方向転換．西新宿３丁目にある立坑に向かって再び掘り進む．

圏央道川口トンネル貫通

関東地方整備局相武国道事務所が建設を進めている首都圏中央連絡自動車道(圏央道)の川口トンネルが２月24日貫通した．

同トンネルは，圏央道東京区間のほぼ中央部に位置し，３月に供用したあきる野ICの南側に隣接．八王子市川口町からあきる野市牛沼まで，延長は上り線1,952m，下り線1,957m．

今回の貫通により，圏央道あきる野IC～八王子JCT間に計画されているトンネル４か所はすべて貫通した．

地震対策提言案を議論

国土交通省の「下水道地震対策技術検討委員会」(田中和博委員長)は２月25日，第３回会合を開き，下水道(管路)施設の地震対策に関する提言案について議論した．

提言には，昨年10月の新潟県中越地震による下水道施設の被害状況を踏まえ，地震対策の基本的な考え方，地震対策の促進策，初動・支援体制などを盛り込む．このうち地震対策の促進策では国と地方の役割分担や，促進計画の作成，総合支援事業などについて詳述する．

計画

中之島新線建設工事の概要

中之島高速鉄道(株)計画部計画課長　長瀧元紀
京阪電気鉄道(株)中之島新線建設室課長(計画設計担当)　泉谷透

1 はじめに

中之島新線整備事業は，大阪の都心部である中之島地区の再開発進展に伴い発生する交通需要への対応と，東西方向の交通軸整備によるネットワークの充実のため，中之島西部の玉江橋付近から京阪本線天満橋駅に至る2.9kmの間に地下新線を建設するものである(図-1)．

施設の建設と保有は中之島高速鉄道(株)が行い，完成後は京阪電気鉄道(株)が列車を乗り入れ，運行を担当する．工事は平成15年度に本格着工し平成20年度の完成を目指している．

本稿では，中之島新線計画および工事の概要について述べる．

2 計画概要

2-1 事業概要

事業の概要を下記に示す．

- 整備区間：起点　(仮称)玉江橋駅〔大阪市北区中之島５丁目〕
  終点　京阪本線天満橋駅〔大阪市中央区天満橋京町〕
- 建設延長：約2.9km（全線地下式）
- 新駅設置：４駅(玉江橋駅，渡辺橋駅，大江橋駅，新北浜駅(駅名はすべて仮称))
- 既設線との接続：天満橋駅で京阪電鉄京阪本線に接続
- 事業主体：鉄道施設建設・保有：中之島高速鉄道(株)
  列車運行：京阪電気鉄道(株)

2-2 路線計画

整備ルートや駅位置については，再開発が進められている中之島西部地区や公共施設へのアクセス性，効果的な交通ネットワークの構成，工事の施工性や用地買収などを考慮し，現在の計画が採用された．新線の路線概要図を図-2に示す．

平面的には，玉江橋駅部～新北浜駅部間で中之島北岸の東西道路敷(中之島通り)および公園，河川敷などの公共用地を通っており，途中に曲線半

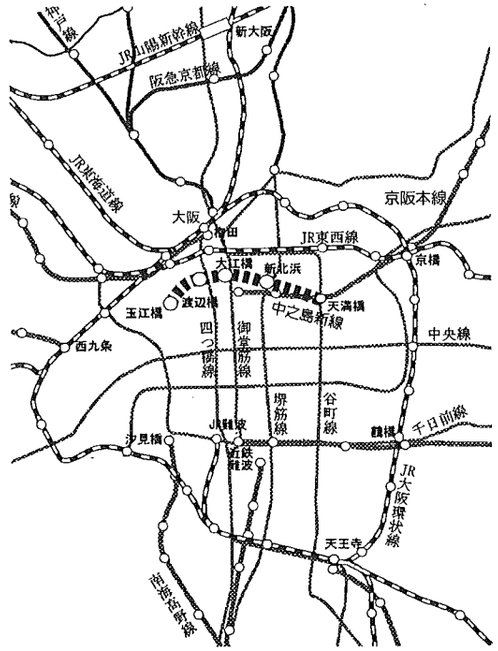


図-1　中之島新線 路線位置図

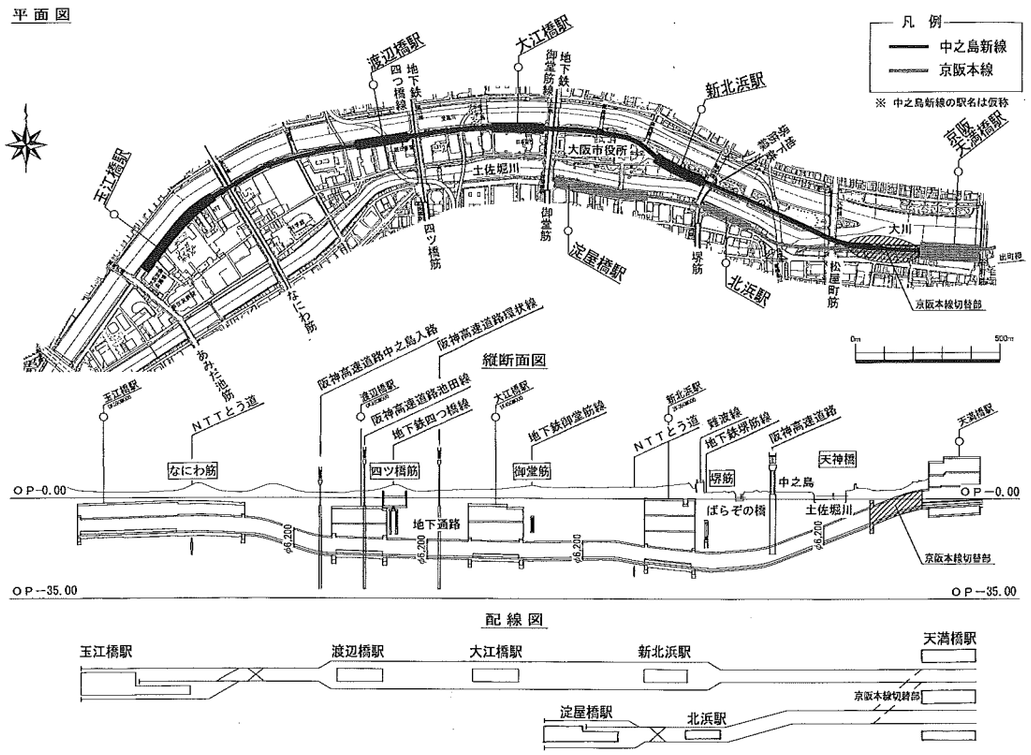


図-2　路線概要図

径160mのやや急な曲線部を含んでいる．

新北浜駅～京阪本線天満橋駅間では，中之島東端付近の中之島公園内から島外へ向けて土佐堀川河床下を斜めに横過し，対岸の河川敷へと至っている．

縦断的には，既存の大阪市交通局地下鉄(以下，「地下鉄」という)3路線(四つ橋線，御堂筋線，堺筋線)の下部を通過するため，玉江橋駅以外は比較的深い駅となっており，最深部である新北浜駅ではGL－30mの掘削深さとなっている．

また，土佐堀川横過部付近で河床からの離れを確保するため，同区間で40‰の最急勾配となっている．

2-3　京阪本線との接続(京阪本線切替部)

新線に列車が乗り入れる京阪本線とは天満橋駅で接続する．この駅は京都方面への複々線区間の始端であり，現在は行き止まりとなっている2本の線路に淀屋橋行き線路を切り替え，その後に新線との接続を行う．この部分は地下での営業線切替工事となる．図-3に切替順序図，図-4に平面・断面図を示す．

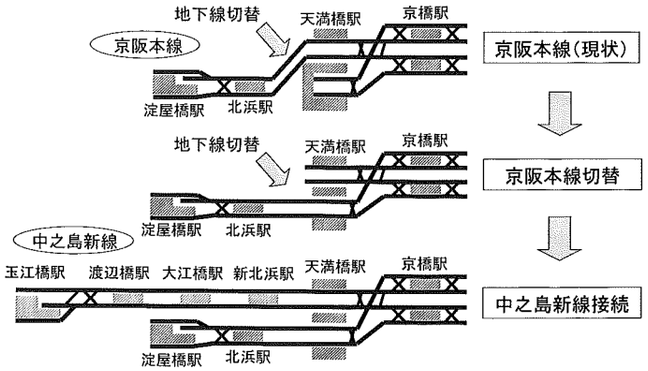


図-3　京阪本線 切替順序図

なお，京阪本線終端の淀屋橋駅は，すぐ西側に地下鉄御堂筋線の構造物がほぼ同じレベルにあるため，そのまま西へ線路を延伸することができないことから，現計画を採用した．

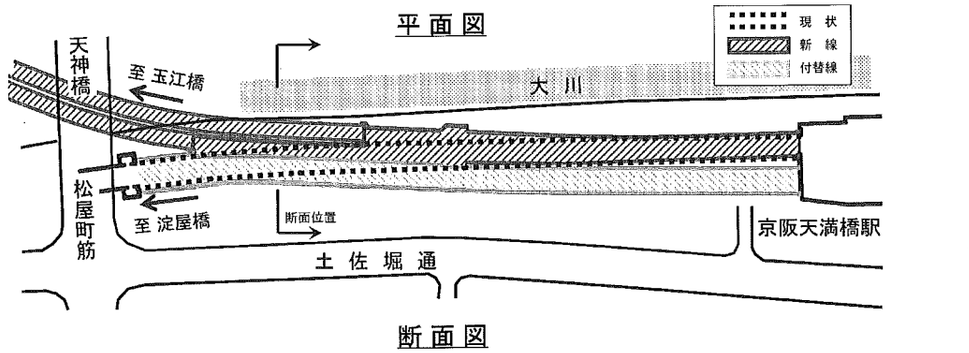


図-4　京阪本線切替部 平面・断面図

2-4　施設・構造物の概要

各施設の概要を以下に示す．

・駅　部
　構造形式：鉄筋コンクリートボックスラーメン(地下2～4層式)
　ホーム延長：160m(8連対応)
　施工方法：開削工法
・駅間部
　構造形式：RCまたはダクタイルセグメント(内空径φ6,200mm)
　施工方法：泥土圧式シールド工法
　(単線並列)
・京阪本線切替部
　構造形式：鉄筋コンクリートボックスラーメン(地下1層式)
　施工方法：開削工法
　既設京阪本線躯体アンダーピニング

3　工　事　概　要

3-1　地盤概要

中之島は大阪平野の中央部を南北に延びる上町台地北端の天満橋付近からは西ないし北西に位置している(図-5)．

工事区間のうち西側の玉江橋駅～新北浜駅間では，軟弱な沖積粘土層が厚く堆積し，かつその下には非常に透水性の高い天満礫層があり，水平で連続性を持った地層が続いている．一方，東側の新北浜駅～天満橋駅間では上町台地の西側を平行に南北に延びる上町断層が横断し，地盤構造が大きく撓曲し，複雑な地層を構成している．

地盤概要(図-6)は以下のとおりである．

3-1-1　玉江橋駅部～新北浜駅部

全区間にわたってGL－40m付近に海成粘土層(Ma12層)が5～10mの層厚で存在している．その上には洪積礫質土層(第一天満層：Tg1層)，沖

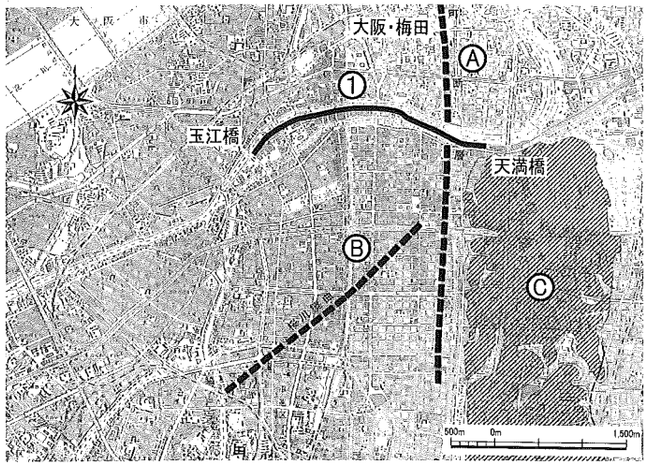


図-5　断層構造等 位置図
（A：上町断層，B：桜川撓曲，C：上町台地，①：中之島新線　基図は都市圏活断層図（国土地理院；1996）[1]を引用）

積砂礫層（Asg層），沖積粘土層（Ac層），軟弱な海成粘土層（Ma13層）と続く地盤構成となっている．

玉江橋駅から渡辺橋駅にかけてはMa13層が比較的厚く（13～15m），ほぼ同様の地盤構成が続くが，東へ進むにしたがってMa13層の層厚は小さくなり，新北浜駅付近では消滅している．渡辺橋駅付近での地盤構成を**表-1**に示す．

3-1-2　新北浜駅～天満橋駅間部

この区間では上町断層が通過しており，付近は断層による撓曲構造の一部と考えられる地盤構成を呈している．

新北浜駅付近から東へ進むにつれて，

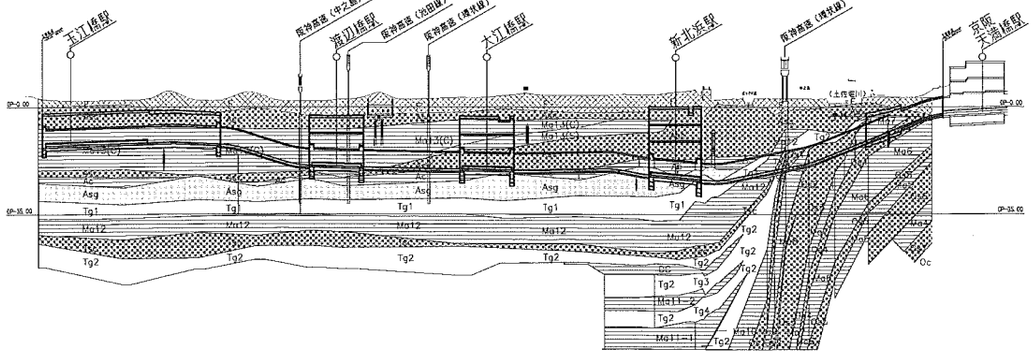


図-6　地盤概要図

表-1　地盤構成（渡辺橋駅付近）

地層名		記号	層厚 (m)	分布下限深度 (GL－m)	N 値	透水係数 (cm/s)	水位水頭 (GL－m)	礫径 (mm)
埋土層		F	5.60	5.60	7～34	―	4.90	―
沖積層	砂質土優勢層	Asc	4.90	10.50	3～23	8.62×10^{-4}	2.40	―
	Ma13層	Ma13 (c)	13.30	23.80	2～5	―	―	―
	砂質土優勢層	Asc	1.30	25.10	7	―	―	―
	粘性土層	Ac	1.15	26.25	8	―	―	―
	砂・礫互層	Asg	6.65	32.90	15～28	―	―	2～20
上部洪積層	第1礫質土層	Tg1	5.35	38.25	60以上	6.23×10^{-2}	3.75	2～30
	Ma12		4.90	43.15	7	―	―	―
	砂・泥互層	Tsc	4.95	48.10	9～21	―	―	―
	第2礫質土層	Tg2	(7.19)	(55.29)	60以上	1.96×10^{-4}	3.84	2～30

（ ）：掘削最終深度および同深度までに確認された層厚を示す

中之島西部では深層にあったMa12層や，さらに深層のMa10層が中之島東部の阪神高速道路環状線橋脚付近で大きく持ち上げられる形となっている．天満橋付近ではMa12層やMa10層の分布はなく，西側では200m以深の位置（古い時代）にあるMa 7 層，Ma 6 層が地表面近くで確認されている．このため，断層の東側が上盤であると考えられる．断層の西側（下盤）で実施した深さ300mのボーリング調査データによると，断層の両側となる2か所の調査地点（離隔600m）での層標高差はMa 7 層で256m，Ma6 層で272mであった．

また，付近の各地層は北側へ傾斜しており，これは上町台地が北へ向かって下がっていることによるものと思われる．

3-2　施工計画

3-2-1　駅部：開削工法

工事区間は河川に近接しており全般的に地下水位が高く，また掘削底より下方にあるAsg層，Tg 1 層の水頭は非常に高い．したがって，掘削に際しての地下水への対応が，開削区間での最大の課題であった．

玉江橋駅から大江橋駅の開削部では，床付け深さは約GL－16～－25mで，いずれの駅部においても層厚約15mの軟弱な沖積粘土層であるMa13層あるいはAc層が堆積しており，その下層には透水性が高く硬質のAsg層，Tg 1 層が堆積している．工事区間はおおむね河川沿いの道路下であるため，北側は河川護岸，南側は重要な構造物・建物に近接しており，これら既設構造物への影響を防ぐために，Asg層，Tg 1 層の被圧水を確実に遮水し，盤ぶくれやボイリングを防止するべくGL－40m付近のMa12層まで土留め壁を築造することとした（**図-7**）．

新北浜駅については掘削深さがGL－30mであり，構造的には55m，さらに盤ぶくれに対する安全を確保するためにはGL－75m付近の粘土層（Ma11-1層）まで遮水土留め壁を築造する必要がある．よって地中連続壁工法を採用した．

掘削にあたっては，地盤改良による先行地中梁や，支保工へのプレロード導入などにより，周辺地盤への影響を極力抑える方針である．

なお，これら本格的な土留め工事に着手する前に，原位置における土留め工法の比較検証調査を実施した．調査工事の概要については次節で述べる．

3-2-2　駅間部：シールド工法

駅間のシールドトンネルは，玉江橋，渡辺橋，大江橋の各駅からまず東向きにシールドを発進させて単線トンネルを掘進し，隣駅でUターンしてもう1本の単線トンネルを掘進する計画である．

なお，新北浜駅～京阪本線切替部間については，天満橋側で土かぶりが小さいこと，また，施工延長，工程を検討した結果，東向きに2機のシールドを発進させる計画としている．

セグメントには地盤・土圧条件などに応じてRCセグメントあるいはダクタイルセグメントを

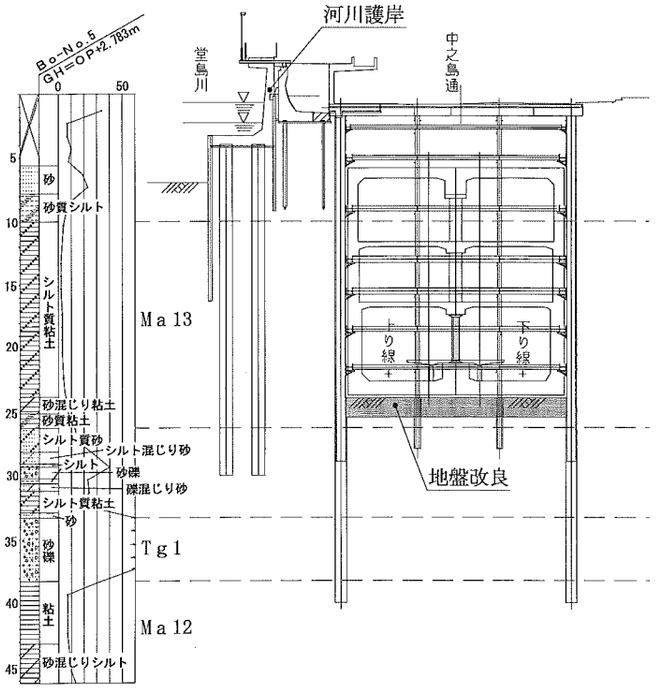


図-7　施工断面図（渡辺橋駅）

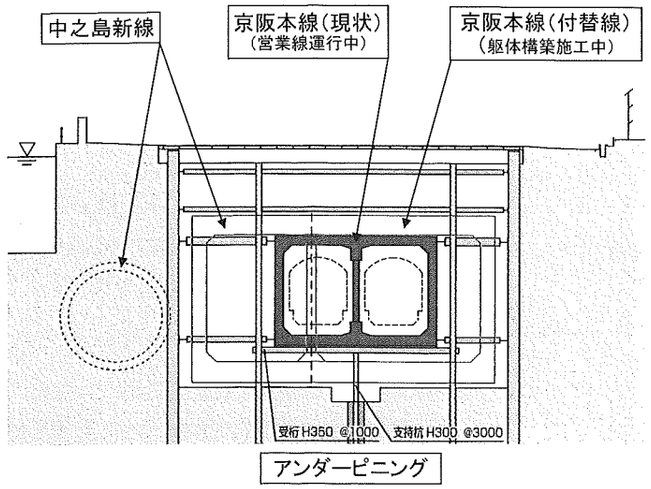


図-8　施工断面図(京阪本線切り替え部)

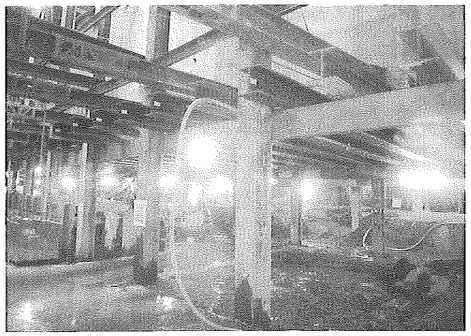


写真-1　アンダーピニングによる仮受け状況
(写真上部に明るく見えるのが京阪本線トンネル躯体の側壁である.)

使用する.

3-2-3　京阪本線切替部：開削工法

この部分では，既設の京阪本線の地下躯体を掘り出して切り替え工事を行うため開削工法で施工し，既設躯体をアンダーピニングして列車の運行を確保しながら工事を進めている．**図-8**に施工断面図を示す．**写真-1**はアンダーピニングによる躯体の仮受け状況である.

3-3　土留め工法の検討(開削工事影響調査)

玉江橋駅から大江橋駅の開削工事における最終的な土留め工法の選定に先立って，開削工事範囲の一部において4種類の土留め工法の比較検証を行うための調査工事を実施した.

この調査は，施工地盤に対しての土留め工法の遮水性能や施工性などを，原位置で実際に掘削まで行うことにより確認し，当該地盤における各土留め工法の適用性を経済性なども含め総合的に評価することを目的とした.

また，この結果から得られる基礎データを，新北浜駅の開削工事を含む仮設設計や施工管理に反映させることとした.

3-3-1　調査工事施工概要

調査工事では，駅部掘削範囲内にて1辺が約12mの四角形状の掘削部を設け，4辺に異なる土留め工法による土留め壁を構築し，掘削に伴う土留め変形や揚水に伴う土留め内外の水位を計測し，土留め壁の剛性および遮水性の評価を行った.

4つの土留め工法としては，①SC連壁，②SMW，③UD-HOMET (SMW 改良型)，④ONS-8工法を用いた.

このうち，UD-HOMET はSMWの改良型であり，錐を駆動させるモータが先端に近いため動力伝達ロスが少なく低騒音で，削孔時のリアルタイム計測が可能であることにより，削孔精度がより向上できる工法である(**写真-2**).

図-9に調査工事の平面図を，**図-10**に掘削断面図を示す.

3-3-2　調査結果概要

遮水性能については，掘削坑内での目視確認を行ったがいずれの工法でも漏水はなく，掘削底面以下の土留め内における揚水試験結果や，土留め壁体より採取したコアによる透水試験結果からも4工法とも問題はなかった.

また，土留め壁の変位についてはSC連壁の変位がもっとも小さいが，いずれの土留め壁でも実変位は設計数値を下回っていた.

以上の結果と削孔精度，当該現場条件における施工スペースや経済性などを含めて考慮すると，玉江橋駅～大江橋駅の土留め工法としてはSMWおよびUD-HOMET (SMW 改良型)が適切であると判断した．この検討結果をもとに，現在施工

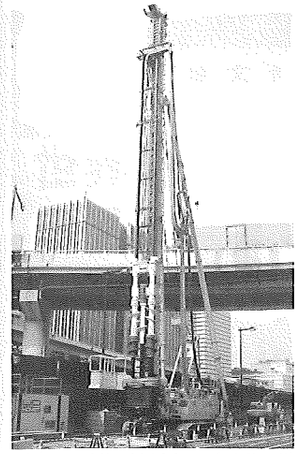


写真-2　UD-HOMET (SMW 改良型)
(地上が錐の先端で白色部分が駆動部削孔にしたがって上部の固定軸部分を継ぎ足していく)

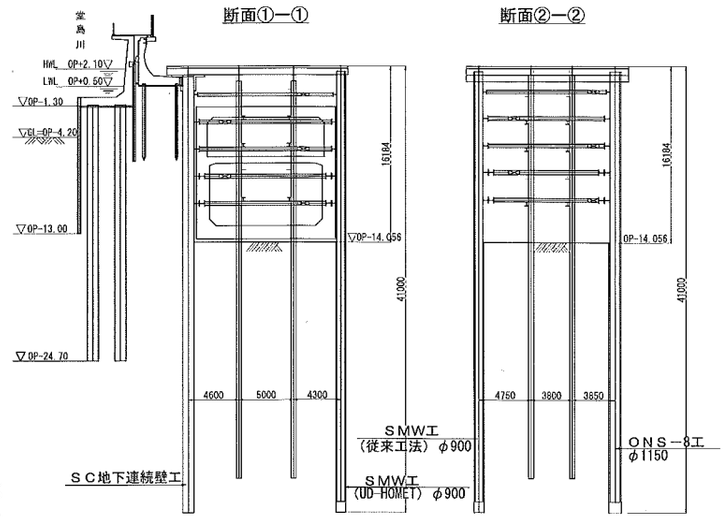


図-10　調査工事 断面図

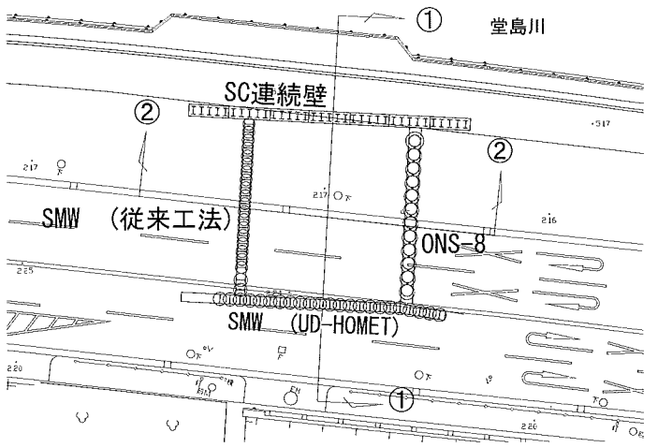


図-9　調査工事 平面図

を進めている.

3-4　工事進捗状況

整備区間を7つの工区に分け，平成15年5月より土木工事に本格着工している．工事発注は建設事業主体である中之島高速鉄道(株)が行い，施工管理を京阪電気鉄道(株)に委託している.

道路上での開削工事となる各駅部においては，昨年上期に，工事に支障となる既設構造物の撤去などの準備工事をほぼ終え，土留め壁・中間杭を施工中であり，今年本格的に掘削工事へと入っていく予定である.

また，京阪本線切替部では掘削工事，既設京阪本線躯体のアンダーピニングを終え，京阪本線の切替躯体を施工中である．今後は平成18年春ごろに予定している京阪本線の切り替えに向け，今年後半，軌道・電気工事に入る予定である．なお，当該工区は営業中の鉄道路線に関わる工事であるため，工事発注，施工管理を含め京阪電気鉄道(株)へ委託している.

4　おわりに

現在，工事は順調に進んでおり，これも関係各位，地元のご理解とご協力の賜と感謝している．今後，開削部の掘削やシールド掘進に向けて施工管理計画の検討を十分に行い，事故のないよう工事を進めていく所存である．本稿は工事全般についてその概要を記述したが，特徴的な工事については別途報告できればと考えている.

本事業は都心部の水辺，公園など貴重な公共空間を占用しての工事であり，現場周辺の街やそこに活動する人々も含めた，大きな意味での“環境”にやさしく，なるべく負荷をかけないような工事ができれば，と考えている．このため，工事のイメージアップ戦略として「人と工事現場を遮るの

ではなく融合させる」という方針の下に，「見る・見られる」工事スタイルを目指しているところである．

その一環として，一般の方々を対象に工事説明のビデオ上映やパネルなどの展示を行っているインフォメーションセンターを開設しているので，機会があればご覧いただきたい．

参 考 文 献

1）国土地理院：1:25,000都市圏活断層図，大阪東北部，大阪西北部，大阪東南部，大阪西南部，1996.9.

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　本体価格4,660円　〒340円

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

〔目　次〕 **第一章　概説**　1．シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○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

計 画

世界最深沈埋トンネルプロジェクトの建設始まる

—ボスポラス海峡横断鉄道プロジェクトの概要—

(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル軌道交通部プロジェクト部長　栄 枝 秀 樹
トルコ共和国運輸通信省鉄道・港湾・空港建設総局総裁　Niyazi　ZALGI

1 はじめに

アジアとヨーロッパの接点にあるトルコ・イスタンブールの市街地は，ボスポラス海峡を挟んでアジア，ヨーロッパ２大陸に跨る．1860年代の構想からおよそ140年，ボスポラス海峡下を横断する鉄道トンネルが2004年８月27日に着工した．

本プロジェクトは，1980年代からの度重なる計画を通して世界の耳目を集めてきた．沈埋トンネルで計画されたトンネル函底の水深は，約60mと過去の同様トンネルの記録を大幅に塗り替える．また，エーゲ海の真北に位置するマルマラ海と黒海の間を結ぶボスポラス海峡は，風光明媚もさることながらその水流の速いことでも知られており，５ノットを超えることもある．

ボスポラス海峡横断地下鉄整備計画と呼ばれるこのプロジェクトは，総延長76kmに及び，イスタンブール大都市圏通勤鉄道システムの向上を図るものである．同事業計画は，海峡を横断するボスポラス海峡横断鉄道プロジェクト(BC)と，その両端からそれぞれ東西に延び，既存国鉄線を近代的な通勤線に改良する通勤線改良プロジェクト(CR)の２つからなる．両プロジェクトのコンサルタントサービスとBC工事に対しては，わが国の国際協力銀行を通じて，円借款による資金が供与される．残りのCRの工事契約に対しては，ヨーロッパ投資銀行(EIB)を中心とする融資が見込まれている．

プロジェクト請負業者との工事契約は，ターンキーベースを基調とした契約になっている．発注者側からは，Definitive Drawingとして基本路線図，建築限界などが与えられ，さらにこれに要求条項が加えられている．この要求条項は，細かいノウハウを規定するものではなく，最低要求を規定してその中で業者が設計・施工するという機能要求に近い．

本稿では，全体事業計画のうち，先行する海峡横断鉄道プロジェクト(BC)の発注者による計画とその背景，契約形態の概要を紹介する．

2 プロジェクトの経緯，目的

2-1 経　緯

イスタンブールの地は，古くはローマ帝国時代のビザンチウム，東ローマ帝国時代にはコンスタンチノープル，1453年のオスマントルコによる占領からは，イスタンブールと呼ばれてきた．とくに，オスマントルコ帝国の支配になってからは，正に地理的にも文化的にもアジアとヨーロッパの接点となってきた．

トルコ側の資料によると，1860年には既にトンネルによる海峡横断鉄道の構想があった．当時の図面によると，海底からある深さまで柱を立ち上げ，その上に円形断面トンネルを載せる水中浮遊形式である．1970年代には，ボスポラス海峡横断

鉄道建設構想が再燃．そして，その思いは断続的ではあるが，1980年代からの欧米を中心としたコンサルによる本格的なFeasibility Study と概略設計の実施につながる．その間には，当事業をBOT(Build Operation & Transfer)方式で実施する計画も検討されたが，財務分析結果と当時の法的制約などから計画は頓挫した．

このため，トルコ政府は，1998年にはプロジェクトの実施のための資金供与を日本政府に要請し，SAPROF（案件形成促進調査）による更なる補完調査が実施された．その結果，1999年には，総事業のうちボスポラス海峡とその両サイドのトンネル部分(Contract BC)への円借款による資金供与が決定された．2001年末にはプロジェクトを計画，実施するためのコンサルが決定されたが，そのコンサルグループ(AVRASYA CONSULT JV)は，PCIをリーダーとし，トルコのユクセル，オリエンタルコンサルタンツ，JARTS（海外鉄道技術協力協会)のJVからなり，そのサブコンサルとしてPBI（米国)も参加している．2002年３月からコンサルによる入札図書の作成作業を開始，2003年６月に入札招聘，2004年５月には，請負業者(大成，熊谷，ガマ，ヌロルのJV)との設計施工契約(約定工期56か月)が締結され，同年８月27日に工事着工となった．

2-2　目的，意義

トルコ第一の都市イスタンブールは，工業，貿易，教育，文化など，国勢を担う中心として発展してきた．

近年来の都市への人口集中化傾向により，1996年の調査では935万人，トルコ全体に対する人口比率は14.6%である．2004年には1,100万人を超えている．国内全自動車数の30%がここに集中し，国内全体経済生産量の20%を賄う．ヨーロッパ側は主に商業地区となっており，昼間は多くの就業者を吸収する．一方，アジア側は住宅地が多く，マルマラ海の沿岸を走る鉄道に沿って東へ拡張しつつある．このため，海峡を越える通勤者の数は年々増加している．

２本の既存道路用吊り橋によって，陸路による横断を可能にしているが，慢性的な交通混雑は解消されていない．フェリーは，総海峡横断トリップの40%を賄うが，便数にも限りがあって，時間的にも信頼できる交通手段としては問題が多い．大量輸送手段としての交通システムとしては，ヨーロッパ側では地下鉄(Metro)建設が進行中で，段階的に開通されている．また，軽便鉄道(LRT)ネットの拡充も同様に行われているが，海峡を横断する鉄道はない．

このように，イスタンブール大都市圏の輸送システムは，長年にわたって経済，文化の継続的発展に大きな障害となってきた．また，交通事故，大気汚染，過度の騒音は，都市の健全性と富に対する重大な脅威となっている．アジアとヨーロッパを直接結ぶこの鉄道システム計画は，貨物を含む輸送量の飛躍的増加，輸送時間の大幅な短縮はもとより，高速道路への依存を低減させ，非公共車両の利用を抑制することによって，大気汚染を大きく軽減させる．また，狭い市街地内での路上駐車，駐車場の拡大に歯止めをかける．さらには，歴史建造物密集区域への車両乗り入れ機会の低減によって，保護施設への悪影響緩和にも効果がある．

3　海峡横断鉄道プロジェクト(BC)

3-1　概　要(図-1参照)

海峡横断鉄道トンネル(BC)は，延長13.6kmからなる．当プロジェクト両側に延長される通勤線改良工事(CR)では，既存国鉄線の都市間鉄道線の改良も含まれており，通勤ラッシュ時間帯外では都市間鉄道が，夜間には貨物列車がBC部分を通過する．

プロジェクト(BC)は，海峡横断トンネル(沈埋トンネル)，アプローチトンネル，４駅および隣接プロジェクト(CR)端部に接続する擦り付け部分，BC区間内の軌道工事，機電設備(CRとBCを全システムとして統括管理するトータルE&Mシステムを除く)からなる．

海峡横断鉄道トンネル部(BC)の事業内容内訳を**表-1**に示す．

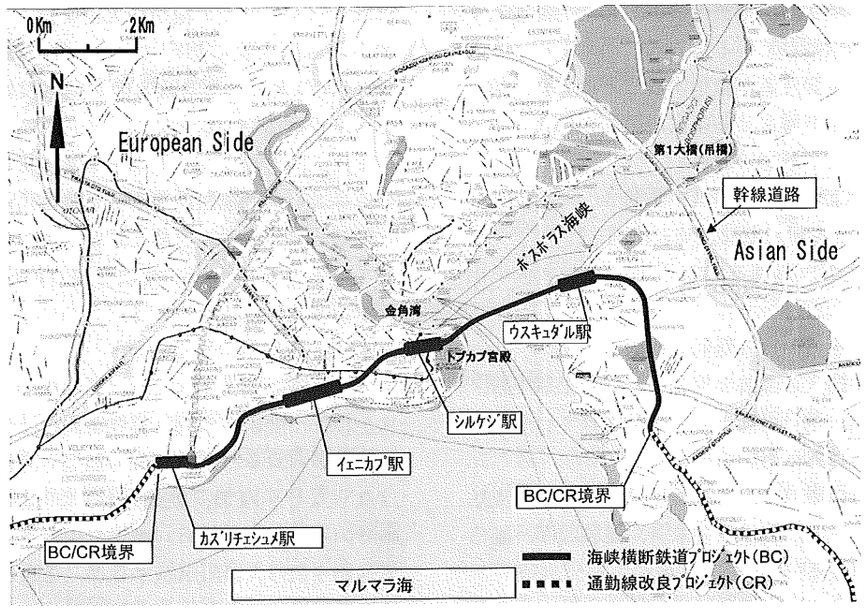


図-1　海峡横断プロジェクト(BC)路線図

表-1　プロジェクト(BC)(土木，建築，機電)の概要

プロジェクト総延長	13.6km (2軌道)
沈埋トンネル	1.4km
山岳(TBM主体)トンネル(1トンネル駅含む)	9.8km
カットアンドカバー(2開削駅含む)	1.3km
地上およびオープンカット部(1地上駅含む)	1.1km
開削トンネル駅	2
トンネル駅	1
地上駅	1
換気，消火，給排水，下水，照明設備，エスカレーターなど	
沈埋函底最深部	55m (海面下)
プラットフォーム長	225m
プラットフォームタイプ	島式
ピーク時間あたり輸送収容乗客数/方向	
既存国鉄通勤線	10,000人
改良後	75,000人
設計速度	120km/h
最大サービススピード	100km/h
予想平均スピード	45km/h
運転間隔	120～600秒

3-2　プロジェクト(BC)請負業者，顧客間設計施工契約

本契約では工事主体が沈埋トンネルであり，施工上の専門性が高い．また，函体製作など，選別される施工方法が設計を支配する．このように，独自の施工法が設計に組み入れられることの優位性を考慮して，業者による設計施工とした．また，契約は，FIDIC(国際コンサルティング・エンジニア連盟)発行のEPC/Turnkey Project用一般条項(一般呼称；シルバーブック)に，業者のリスクを軽減させる重要な修正を加え採用した．

その主な理由は，工費，工期を事前にできるだけ確定させる点にある．最近では，入札応札者による工事獲得に重みを置きすぎた低入札価格とその後の過剰なクレームによるプロジェクトへのダメージを回避したいという発注者(本プロジェクトの発注者を含む)が多い．このため，リスク分担を入札前に明確に定義することによって，それを入札価格に反映(業者によるリスクの先取りを容認)させることにより，非生産的なクレーム処理と不必要な追加コストを最小化することが期待できる．

本契約では，より有効に対処できる側がそのリスクを負担することを原則としている．このため，Force Majeureなどの発注者リスクは発注者が負

担する．各種保険，地震保険は，強制的に加入することが要求されている．これに加え，以下のようなリスクも発注者が負担することにより，請負業者の負担を低減させる条文が追加されている．

- 当局による承認の遅れ．
- 当局による海上工事の中断命令
- 3ノットを超える沈設時の流速
- 海上工事における22.5t以上のボルダーの出現．
- 海上工事における難船，残骸の出現．
- 30日を超える遺跡発掘調査に絡む工事中断．
- その他，予見可能として記載されている物理的条件以外の事象の発生．

本契約書の構成は，一般条項，特記事項，支払いスケジュール，発注者要求書，定義図面，価格分析表からなる．

発注者要求書；業者が設計し施工するにあたっての，機能要求および要求最低条件を発注者側の要求として設定する．

定義図面；発注者からの要求の一部として，アライメントや必要建築限界などを定義する．

また，発注者要求書のFactual Dataとして，過去の地質データ，本プロジェクトのために実施された地質データ，地質試験結果，地震波データが応札業者に渡された．これとは別に，本プロジェクトの単なる契約外参考情報として，文献，統計情報，発注者側(コンサル)で作成した各構造物の概略設計図面も与えられている．

3-3 運行期間中の安全面の配慮

建設中の安全管理規定要求のほかに，運行期間中の安全確保のために，さまざまな設計上の要求が課せられている．軌道構造物に関しては，とくに米国のNational Fire Protection Association(NFPA)に準じることが求められる．この中では，換気方法，緊急時の避難，照明などに関する厳格な要求が示されている．トンネル内には，貨物車両も通過し，その積荷の火災を想定し，通常の地下鉄車両火災の想定スケールを大きく上回る100MWの火災にも対処できる換気設備に加え，トンネル構造物の耐火性が求められる．

また，本プロジェクトのトンネルでは，土かぶりの小さい海峡横断部からの予見不可能な異常出水に対して，最悪の事態を想定しておくことが必要である．このため，海峡を挟むFlood Gateの設置が義務付けられている．

3-4 建築限界(図-2参照)

トンネル断面サイズには，通勤用地下鉄車両のほかに都市間鉄道車両，貨物車両のサイズを，更には，ヨーロッパ規格車両の通過も考慮しなければならない．なお，軌道幅は1,435㎜の標準軌である．トンネル内には，軌道に沿って避難用歩行者通路を設け，NFPA基準に準じて定められる間隔で隣接トンネルへの避難路も確保される．歩行者通路の最小幅は1.4mとし，車椅子使用にも対処されている．

以上のような条件より，トンネル断面幅は，通常の地下鉄断面に比べ2割程度大きくなっている．

3-5 沈埋トンネル(図-3参照)

沈埋トンネルは，シリケジ～ウスキュダル駅間

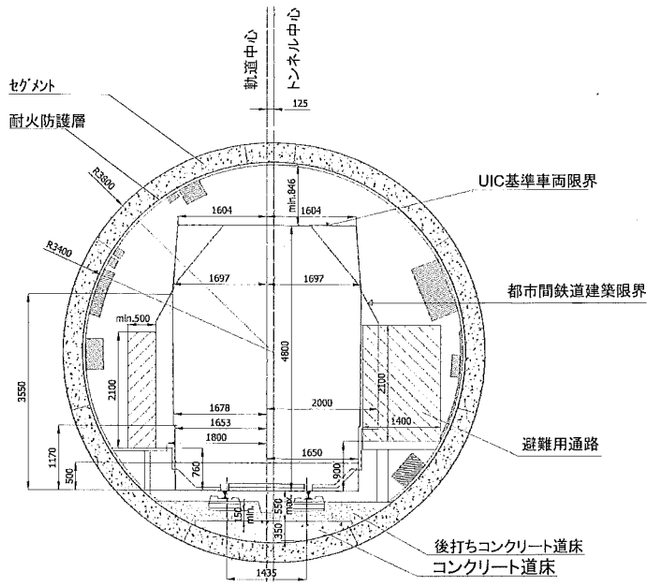


図-2 TBMトンネル予想標準断面図(直線部分)

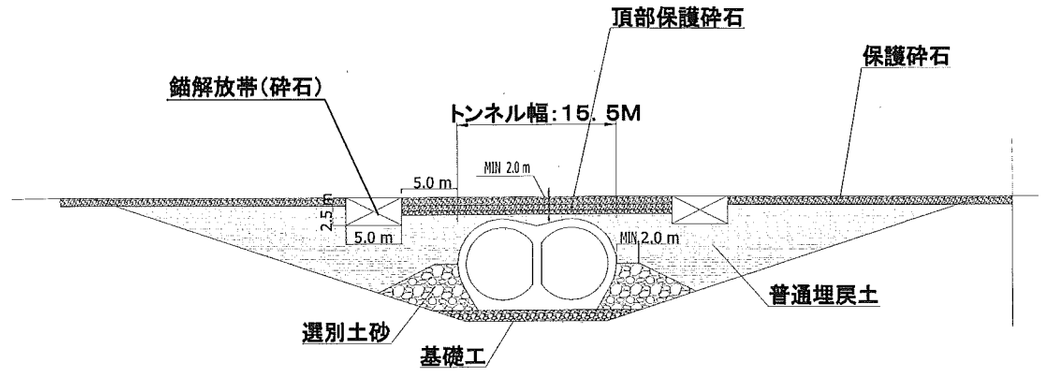


図-3 沈埋トンネル予想標準断面図(発注者案)

約3.1kmの間にあるボスポラス海峡横断部約2kmのうち，中央部約1.4kmに計画されている．トンネル埋め戻し後の海底面は，長期的な海峡環境の安定を視野に入れ，現状復旧される．トンネル土かぶりは，防護ロックで埋め戻す場合には最小厚2m，土砂による場合には4mが必要である．これには，往来船舶からの投錨，船舶自体の沈没に備えた防護，また，軍事面からの要求も含まれる．

3-6 駅間走行トンネル

本プロジェクトの路線は，東ローマ，オスマントルコ時代を通じて1500年もの間首都として機能した世界的な古都で，世界文化遺産に満ち溢れた旧市街(Historical Peninsula)を，アジア側でも長い歴史を持つウスキュダルの旧い街並みの下を通過する．

欧州側のイェニカプ駅以西には粘土層が出現し，シールド工法の選択が妥当である．それ以外のルートでも，強度に大きなばらつきはあるものの，全体的に中硬岩に分類され，割れ目も多い砂岩，泥岩，その互層が大半を占め，切羽の自立性が良くない地山も予想されている．過去のメトロ建設施工例では，建設費用が安く，施工機械の汎用性が高いNATMによる掘削が採用されてきた．

しかしながら，

- ルートは，歴史的建造物の保護がもっとも厳しいエリアを通過し，掘削中の地下水位低下，地盤の沈下は許されない．
- 施工速度の遅いNATMの工程を縮めるには多くの切羽が必要だが，市街地内にそのような場所の確保が不可能．
- 過去の大きな落盤事故も含め，NATMにより，地上の構造物に悪影響を与えてきた事例が多い．
- 沈埋トンネルとの接合部は，アジア側で海面下40m，欧州側で60mの深さとなり，掘削中の不慮の出水は許されず，また万が一の場合でも水圧を押さえ込める事前の対策が取れるような完璧性が求められる．

などの点を考慮しなければならない．このため，走行トンネルの主な部分は，線形による理由や施工性に特別な支障があるなどの場合を除いては，天井崩落を防止する覆い(シールド)を備えたTBMによる掘削が求められる．また，海峡下や海からの浸水の恐れがある部分では，とくに，密閉式のシールドによる掘削が求められている．

3-7 駅

本BCプロジェクトでは，2つの開削トンネル駅，1つのトンネル駅と地上駅の計4駅が建設される．

(1) ウスキュダル駅

アジア側旧都ウスキュダルのフェリーターミナル前の既存道路下に建設される．すぐ近くには，フェリーとの連絡バスターミナルもある．近い将来には，イスタンブール市による軽便鉄道計画の西端ターミナルも隣接される予定で，ウスキュダ

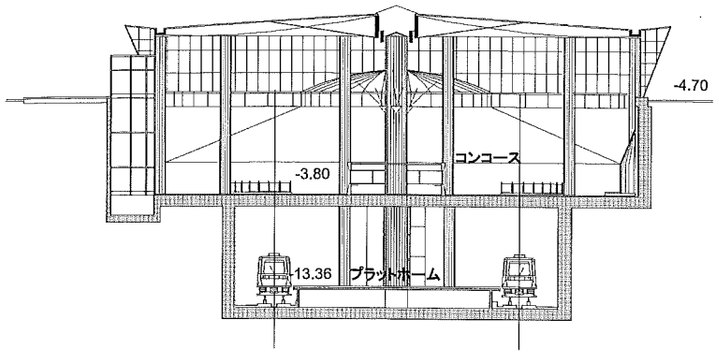


図-4 イェニカプ駅予想断面図

ル駅は重要な連絡駅となる．駅は，レールレベルが地下25mとなり，開削工法による建設が予定されている．

（2） シルケジ駅

欧州側旧市街のシルケジ駅周辺は，多くの歴史建造物が立ち並び，市街地の景観保護が要求されている．また，レールレベルが海水面下約40mと深いこと，地上への影響を極力少なくすることから，当駅にはトンネル方式が採用される．2つのプラットフォームトンネルの中間にはコンコース用トンネルが必要となる．当駅部分では，十分な土かぶり(岩)が確保できるため，NATMで掘削される．

（3） イェニカプ駅(通勤線と国鉄用2つの施設を含む)

イェニカプ駅には，通勤線用の新駅施設に直列して国鉄用の新駅施設も含まれ，欧州側の大規模な連絡駅となる．欧州側ではメトロの建設が継続され順次開通しているが，当駅予定地すぐ北の隣接地では，既にこのメトロ地下駅の施工準備が始まっている．空港から延びる軽便鉄道(LRT)も近い将来，当駅まで延長される．

すなわち，当駅の国鉄駅施設には都市間鉄道が直接乗り込み，直列隣の通勤線用の新駅やメトロ，軽便鉄道システムと接合する連絡駅になる．これらの通勤線用および国鉄専用の2つの新駅とも，掘削深さ20数mの開削トンネルとなる(図-4参照)．開削トンネルの一部は，歴史建造物として登録された民家数軒の撤去を必要とし，近隣にそのレプリカを再建築することで対処する．

（4） カズリチェシュメ駅

当駅は，ビザンチン帝国時代に築かれたコンスタンチノープル防御城壁の外側近くに建設される．当駅予定地前は，広大な野原となっているが，イスタンブール市はここに商業コンドミニアムの計画を立てており，モノレールの計画や，すぐ南の海岸には，フェリーの発着駅とバスターミナルが用意される予定である．この付近では，軌道は地上を走り，標準タイプの地上駅が用意される．

4 沈埋トンネル部の技術的課題

本プロジェクト完成には，沈埋トンネル部の速い潮流，大水深での施工という自然環境を克服しなければならない．また，トンネル位置は，近い将来，大型の地震が発生すると予想されているマルマラ海の地震断層にも近い．このため，設計・施工においては，いくつかの技術的なハードルをクリアーすることが要求される．

4-1 止水性の確保

沈埋トンネル沈設のための掘削最大深度は約60mに達し，世界最深の沈埋トンネル工事となる(過去には，米国BARTトンネルの施工時水深42mの記録がある)．

本プロジェクトは，業者による設計・施工であり，発注者側(コンサル)が参考に示した双眼鏡型ではなく，矩形の鉄筋コンクリート函体が採用される見込みである．高水圧のため，わずかな幅のクラックでも被害が順次増大していく可能性がある．このため，コンクリートは，断面貫通ひび割れはもち論，表面ひび割れの発生も防止する十分な対策が必要とされている．

また，二重の対処として，コンクリートの表面には，防水鉄板ないしは防水膜を施すことが義務付けられており，防水鉄板が使用される場合には，電気防食を導入することが要求されている．

4-2 耐 震

イスタンブールは，マルマラ海を東西に走る北アナトリア断層ゾーンの北，約20kmに位置する．1999年8月には，同じ断層ゾーンのマルマラ海東端から内陸部のトルコ北西部にかけてイズミット地震(マグニチュード7.4)が，11月にはボル地震(7.3)が発生し甚大な被害を被った．

地元の地震研究者のスタディーによると，30年以内に北アナトリア断層で大地震が起る可能性は65%といわれている．このため，地元地震研究者の詳細な過去のデータ，歴史，履歴，イズミット・ボル地震のスタディーが行われた．その結果，当該断層で，最低モーメントマグニチュードMw=7.5の地震が，設計寿命(100年)以内に起ることを想定して設計することが要求されている．また，発注者要求の一部として，この規模に相当する地震波形が用意され，この使用を業者に義務付けている．業者は最低条件として与えられるこれらのデータにもとづいて構造物の地震に対する詳細検討を行わなければならない．

4-3 液状化対策

海峡の東側には，緩い砂層と柔らかい粘土の互層が存在し，液状化の発生が懸念されている．

さらに，地質調査，土質の性状試験を詳細に実施し，液状化の範囲を特定したうえで，対策を講じなければならない．また，浚渫後の沈埋函の埋め戻し土砂は，水圧の上昇を緩和し，過大な浮力を生じさせないような粒度，材質の使用が義務付けられている．

4-4 速い潮流

海峡の潮流は興味深い動きをする．黒海は，そこに流れ込む大河(ドナウ，ドニエプル，ドンなど)と周辺地域からの雨水が大量に流れ込む．このため，海峡のおおむね上半分は，黒海からマルマラ海に向けて比較的速いスピードで流れている．一方，大量の真水のため，黒海は，塩分濃度が半分程に希釈された汽水となっている．このため，海峡下半分は，マルマラ海からの浸透圧によって，逆に黒海に向かってゆったりと流れている．

安全な沈設作業の観点からは，潮流は遅ければ遅いほど望ましい．このため，発注者側としては，沈設作業を最悪でも3ノット以下の状況で行うよう求めている．この条件を受けて，プロジェクト開始直後から1年にわたって，施工場所近くの海底から表面までの潮流，そのときの気象状況観測などが請負業者に義務付けられている．この観測結果から，気象条件と潮流の相関関係を導き出し，3ノット以下の時期を予想し，このタイミングを見計らって沈設計画を立てることが要求される．また，工事期間中も継続的に最新データを取り続け，蓄積，補正を行い，この結果をリアルタイムで流速予測に組み込んでいく必要がある．

沈設にあたっては，海峡表面に近い部分の流れが速いため，先ず流れに平行に函をある深さまで沈め，その後トンネルアライメント方向に回転させる方法が取られる予定である．

4-5 海上交通の混雑

海峡横断フェリー，漁船，その他船舶に加え，黒海沿岸諸国に出入りする船舶で海峡は常時混雑している．このため海上工事は，安全に航路を確保しながらの作業となる．

4-6 魚の回遊

ボスポラス海峡は，エーゲ海，マルマラ海，黒海間を回遊する魚の通り道となっている．その回遊の主な時期は，春の3か月，秋の3か月に集中する．これら海洋生態系に悪影響を与えないような水中施工が求められ，とくに海底面の浚渫工事では，制約を受ける可能性がある．

4-7 騒音・振動対策

海峡両端付近の海底面には両岸からの岩盤が迫り出してきている．この部分を重錘や，グラブで破砕できる可能性が高いが，水中発破を用いる場合には，騒音・振動に対する厳しい制限を受けることになる．

4-8 水質汚染対策

海峡西側半分の金角湾とボスポラス海峡が合流する部分では，重金属を含有する汚染土の存在が認められる．これら汚染土の浚渫においては，土砂が掘削機械からこぼれ落ちないような密閉式バ

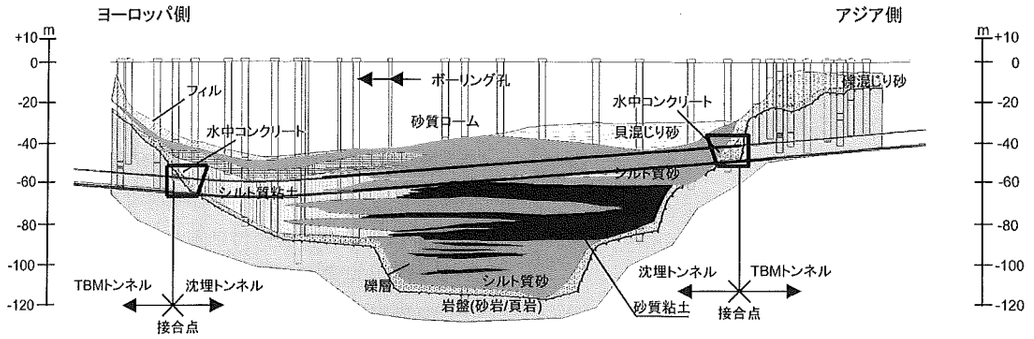


図-5　沈埋トンネル部地質概要

ケットの使用が義務付けられる．

さらに，汚染土の排土では，その捨て土が物理的に密封され，将来，その汚染が広がらないような処理が要求される．

4-9　沈埋/陸側トンネル接合(図-5参照)

本プロジェクト現場の海峡部分の両側では，トンネル深さに岩盤が出現する．沈埋トンネルと陸側からのトンネルとの接合部は，この海底面の岩盤層先端部と海底土砂地盤との境界近くに設けられる．1つの施工例として，

① 接合部となる岩盤先端部を溝型に水中掘削．
② 最初の沈設函先端部分をこの溝に突っ込んだ形で沈設，この部分を水中コンクリートで埋め戻して，函の先端をコンクリートで巻き固める．
③ 次函からは，この最初の函に反力を取りながら順次水圧接合を行う．
④ 陸側トンネルとの接合は，アジア側，欧州側の両端沈設函を巻き込んで打設された水中コンクリートの中を，TBMが陸側から掘り進む．そして，函体端の拡幅されたソケットの中にTBM本体を貫入させて完成させる．

5　おわりに

本プロジェクトには，用意周到な計画と高度な設計・施工技術，創意工夫が要求される．また，世界的にも大きな注目が集まっており，今世紀前半を代表するプロジェクトの一つといっても過言ではあるまい．

これは，同時に，日本のコンサルタント，請負業者双方にとっても，そのマネジメント力，技術力を発揮して，世界におけるわが国建設業界の国際化，地位向上を図る機会でもある．国内関係各方面からの暖かいご支援，ご鞭撻を賜れれば幸いである．

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では，研究論文（実験，技術開発など）を募集いたします．大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい．とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので，平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します．なお，応募方法の詳細につきましては22頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

問い合わせ先　株式会社 土木工学社 編集部
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂　電話（03）3267-2888（代）

研　究

ロータリーパーカッションによる覆工背面の空洞調査

日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室　大嶋健二
日本道路公団試験研究所道路研究部トンネル研究室主任　伊藤哲男
清水建設(株)土木事業本部技術開発部課長　本多眞
清水建設(株)技術研究所社会基盤技術センター応用工学グループ　西村晋一

1　はじめに

日本道路公団の管理する高速道路のトンネルは，平成16年4月現在，上下線で1,400チューブを超えている．一方で，経年とともに覆工コンクリートの変状が生じているトンネルも増えつつある．こうしたトンネルの適切な補修を計画するうえで，覆工コンクリートの背面状況を調査し把握することは必要不可欠である．

吹付けコンクリートによる支保工が使われる以前の矢板工法によるトンネルでは，鋼製支保工や矢板が支障になって覆工コンクリートと背面地山との間に空洞が残ることが多く，とくにアーチ天端部では多くの空洞が生じる場合がある(図-1)．覆工コンクリートの耐荷力を高め，変状に対する抵抗性の向上を図るには，覆工コンクリート背面に空洞のあるトンネルを対象に空洞を注入材などで充填することが最善であり，そのためには覆工コンクリート背面の空洞量・空洞分布を効率的に把握する必要がある．また，アセットマネジメントの観点からも，重要な社会資本であるトンネルを補修する優先度を覆工コンクリート背面の空洞の状態から判定することが必要となってくる．

一般に，既設トンネルの覆工コンクリート背面空洞調査には電磁波などの物理探査手法が用いられることがあるが，覆工コンクリートが厚い場合

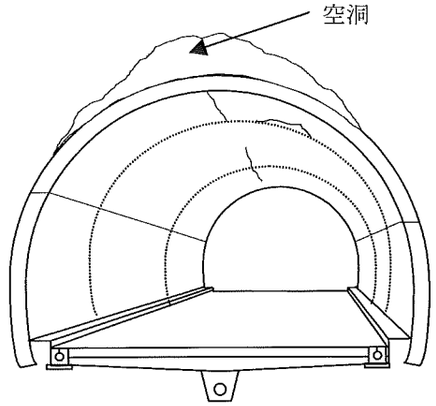


図-1　トンネルの覆工背面空洞

や背面に崩落土砂が堆積している場合などでは，十分な調査精度が得られにくい．また，空洞注入を前提とする空洞量の把握を目的とした調査は，覆工コンクリートをコアドリルで削孔し，計測棒を挿入して計測する方法としている[1]．しかし，1か所あたりの削孔に時間を要し，規制日数が多くなることから工期や工費面で課題を残している．このような背景から，覆工コンクリートを高速削孔しながら，覆工コンクリート厚や覆工コンクリート背面の状況を高速かつ高精度で調査できる「既設トンネル覆工コンクリート背面空洞調査システム(PVM)」の開発を行った．PVMとはPercussive-drilled Void Measuringの略で，ロータリーパーカッションによる打撃と回転の併用による削孔方

式を意味している．

本稿では，PVMシステムの概要，空洞検知の原理，基礎的な削孔実験および2件の調査工事の実績についてその結果を報告するとともに，今後のシステム運用について述べるものである．また，将来の精度向上に向けて検討を進めている「人工知能を用いた空洞判定法」について述べるものである．

2 回転打撃式削孔による覆工コンクリート背面の空洞調査手法

2-1 システムの概要

現在，覆工コンクリート背面の空洞調査手法として標準となっているコアドリルによる調査法は，削孔後に人の作業により背面空洞を測定している．そこで，今回の開発では削孔と同時に空洞高さを検知できるシステムを目指すことにした．ここで着目したのが，地盤調査技術であるサウンディングに見られるような削孔時の機械的なデータの変化である．すなわち，覆工コンクリートおよび背面を削孔するときの回転抵抗，削孔速度，打撃数などの機械データが，覆工コンクリート，矢板，背面空洞，背面地山のそれぞれに応じて変動する特性を把握することにより背面状況を知るものである．

削孔方式については，岩盤削孔に用いる掘削技術に着目し，先端にビットを設けた「のみ」に回転と打撃を同時に加えて削孔するロータリーパーカッションドリルの技術を採用した(**図-2**)．これにより，調査孔を高速で削孔することができる．ここで注意を要したのは，削孔方式が打撃回転式であることから，削孔中の振動が覆工コンクリートに与える影響を最小限にするための工夫である．このため，ロッドが折れずにかつ高速で削孔できるまで小径化することが苦労した点であるが，実験を重ねて最終的に**写真-1**に示す世界最小径33㎜のボタンビットを開発した．さらに，万全を期して，可能な限り打撃圧(2MPa)を抑えることで覆工コンクリートに与える影響を最小限としている．

本システムによる調査手法は，覆工コンクリートおよび地山を高速で削孔するときの各種機械データを一定のルールに従って判読することで，覆工コンクリート背面の地山の状況や空洞を精度よく判定するものである．機械データは，削孔速度，打撃圧，回転圧，フィード圧，打撃数，エアフラッシング圧，削孔長の7項目で，削孔中に0.2秒間隔で計測する．各種センサでリアルタイムに計測された機械データは自動的に記録装置に送信され，記録される．**図-3**にデータ計測のシステム図を示す．

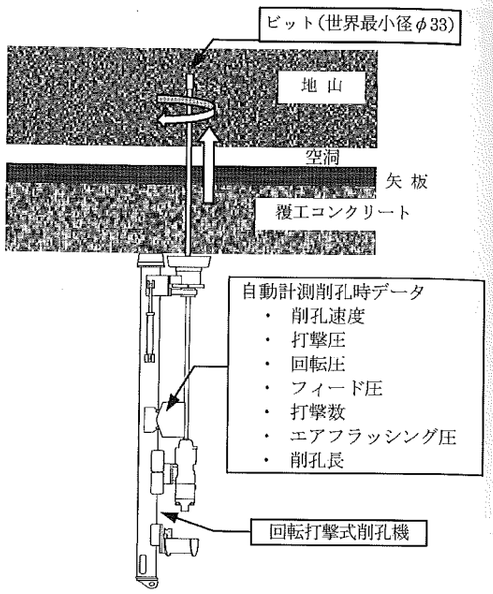


図-2 PVMシステム調査手法概要図

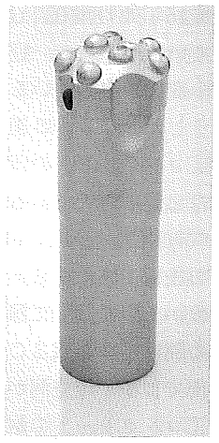


写真-1 φ33㎜調査ビット

2-2 覆工コンクリート背面の判定原理

覆工コンクリート背面の空洞量や地山の状況を把握するためには，削孔時の機械データを一定のルールのもとに判読することになる．そこで，どの機械データに着目すべきか，また，どのような判定のルールが適当なのかを実験で見出すために

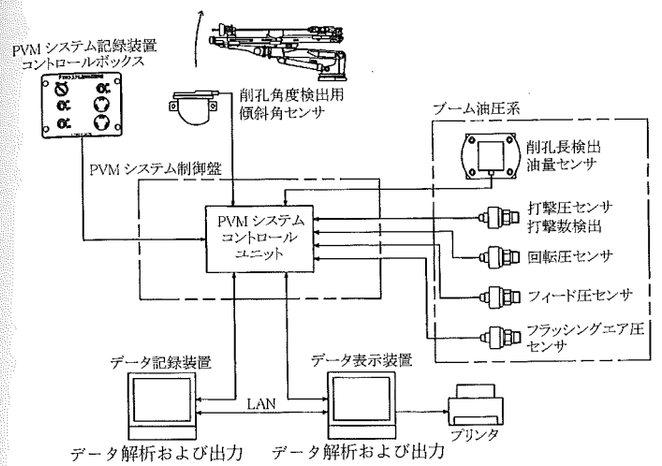


図-3 システム図

以下の基礎実験および実証実験を行った．

2-2-1 基礎実験

覆工コンクリートの背面空洞や矢板などを検知・判別するメカニズムを知るために，基礎実験として，コンクリートブロック，矢板，花崗岩の各材料と隙間を組み合わせたモデル供試体を作成し削孔実験を行った(**図-4**)．各部材を削孔するときの削孔速度，回転圧などの機械データを記録・分析し，材料の違いによる削孔特性の変化および空洞通過時の特性の把握を試みた．

図-5は削孔速度および回転圧に着目した計測データの一例である．削孔速度はコンクリート，矢板，花崗岩の削孔時は値が小さく，空洞部では明確に大きい値を示している．また，削孔速度が急激に増加を始め，同時に回転圧が急減するポイントを空洞の始点，その逆(削孔速度が急減，回転圧が急増)のポイントを空洞の終点と判定する．図中および**表-1**に実寸法と判読値を示すが，判読値は供試体の実寸法とよく一致している．この結果から，空洞部は削孔速度を把握することで精度よく判読できることがわかった．

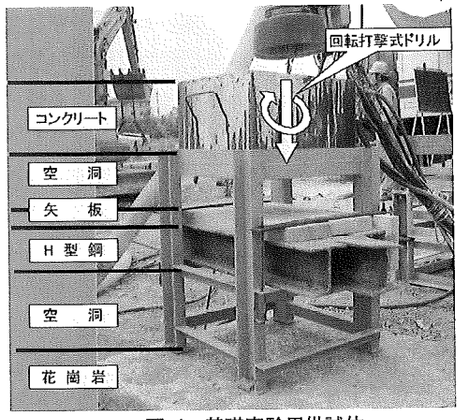
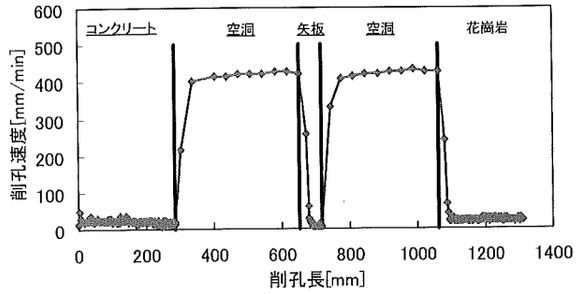


図-4 基礎実験用供試体

2-2-2 実証実験

実際の覆工コンクリートを使った実証実験を行った(**写真-2**)．Hトンネル



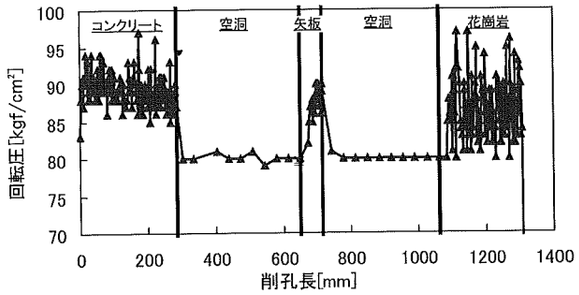


図-5 計測データの一例

表-1 実測値と判読値の比較

材料	材料の厚さ(㎜)			コンクリート上面から各材料までの深さ(㎜)		
	実測値	判読値	差	実測値	判読値	差
コンクリート	300	283	−17	—	—	—
空洞	350	357	7	300	283	−17
矢板	50	66	16	650	640	−10
空洞	350	347	−3	700	706	6
花崗岩	—	—	—	1,050	1,053	3

およびMトンネルの２トンネルで，Hトンネルでは天端部と肩部の計19か所，Mトンネルでは天端部の4か所を調査削孔し，本システムによる覆工コンクリートおよび背面の調査結果と孔内を検尺した実測値とを比較して調査精度の検証を行った．

図-6はHトンネルにおける調査削孔データの一例である．この例では背面に空洞はなく，覆工コンクリートに地山が接している．削孔時の機械データのうち削孔速度と回転圧の２項目が背面の物性の変化に敏感に反応していることがわかる．このデータでは，覆工コンクリート表面から800㎜までがコンクリート，以降1,600㎜までの削孔速度の増加と回転圧の急激な低下が発生するときの削孔長が地山と判読できる．この判読は孔内の検尺およびボアホールカメラによる目視確認の結果とよく一致していた．

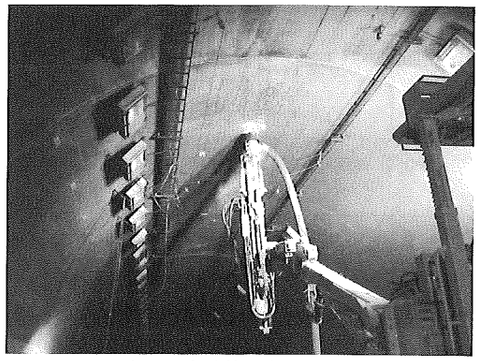


写真-2　実験状況(Hトンネル)

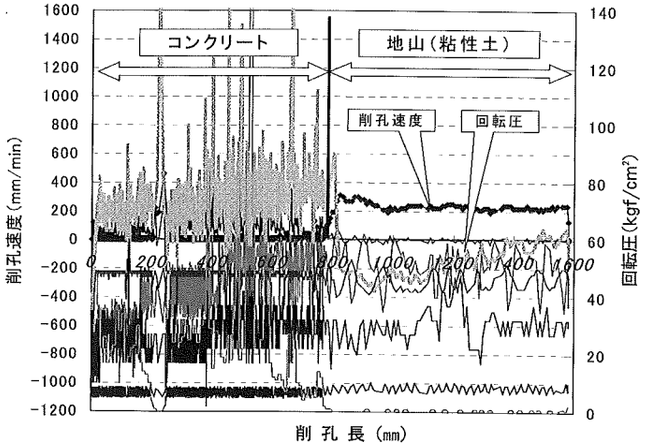


図-6　削孔データの例(Hトンネル)

これより，空洞部に限らず，背面の状況は削孔速度および回転圧の変化を把握することで精度よく判読できることが判明した．

なお，削孔時間は１か所(削孔長1,600㎜)あたりに換算すると約７分であったことより，従来の調査法に比べ大幅に短縮が図れている．

2-3　調査工事実績

2-3-1　調査工事概要

本システムは，札樽自動車道の若竹トンネル(上下線：851m)と朝里トンネル(上下線：1,535m)における調査工事(平成15年９月)，ならびに常磐自動車道の助川トンネル(上り：1,811m)における調査工事(平成15年12月)の計３トンネルで採用した．

各トンネルにおいては，覆工コンクリート背面への注入工事の基礎データの収集を目的として，全線にわたり10m間隔で天端と両肩部の空洞調査を実施した．

空洞が認められた場合，将来的にこの空洞に対して充填注入が必要となるが，直径65㎜の注入孔を通常５m間隔であらたに設けているのが現状である．本調査工事で空洞が認められた場合には，10m間隔で調査した直径33㎜の孔を有効利用して，直径65㎜にその場で直ちに拡径することとした．**写真-3**は，本システムを用いて拡径削孔を行うためのビットである．さらに，削孔後に注入用のパイプ取り付けを行った．

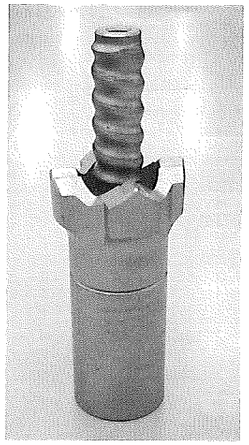
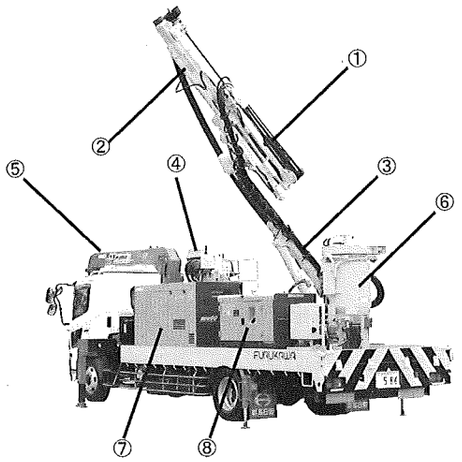
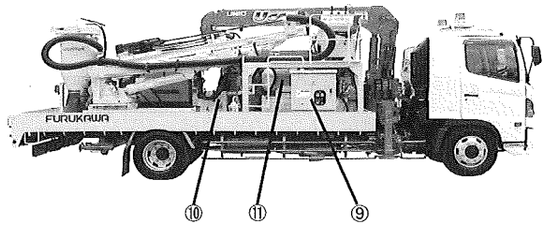


写真-3　φ65㎜調査ビット





番号	名　称	番号	名　称
①	打撃回転削孔機	⑦	発電機
②	ガイドシェル	⑧	コンプレッサ
③	ブーム	⑨	制御板
④	削孔操作ボックス	⑩	空冷オイルクーラ
⑤	クレーン	⑪	油圧パック
⑥	ダストコレクタ		

写真-4　システム概要図

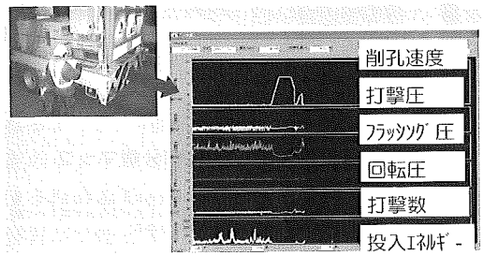


図-7　削孔データのパソコン表示例

2-3-2　調査専用機

調査工事において使用した調査専用機の概要を**写真-4**に示す．調査専用機は，ベースとなる８トントラックに削孔装置，電動油圧パック，油圧制御ユニット，電気制御盤，集塵装置，そして記録・解析用コンピュータユニットを搭載している．削孔装置を乗架するブームには角度センサを内蔵し，削孔角度が自動記録されるようにした．なお，削孔装置のロッド先端にあるビットによる削孔に伴い「クリコ」や埃が発生するが，これを削孔中の穴から除去するために，ビットの先端からエアジェットを高圧で噴出させている．さらに，穴の口元にゴム製のキャップを設け，集塵装置で吸い取って処理することとしている．

３件の現場においては，１か所ごとにその場で空洞を検知する必要があったため，削孔中の各機械データの値をグラフ化して表示する管理用ソフトを開発した．記録・解析用コンピュータは，これらのデータを記録すると同時にグラフ化して表示するためのものである．画面の表示例を**図-7**に示す．



写真-5　調査状況

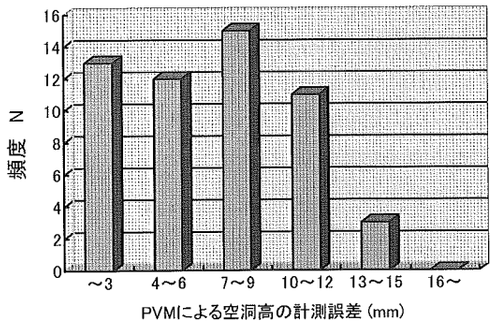


図-8　PVMによる空洞計測値の誤差(助川トンネル)

2-3-3　調査結果

写真-5に調査状況を示す．１か所あたりの調査時間は移動時間を合わせても約15分と，コアドリ

ルによる従来方法に比べて迅速に調査できることが確認された．

また，助川トンネル調査工事における空洞高さをカメラで正確に測定し，この実測値とPVMによる計測値との差を整理したものを図-8に示す．この結果，PVMによる空洞高の計測値は実測値に対し，平均で6.6㎜，最大でも15㎜の誤差という精度で判定できることを実証した．

3 自己組織化マップ(SOM)による調査データの判定法

これまでに実施した調査における空洞有無の判定は，先に述べたとおり，削孔速度と回転圧のデータをもとに専門のスタッフによりなされていた．しかし，削孔により得られる機械データには，ほかに打撃圧，フィード圧，フラッシング圧，打撃数と計6種類にわたっており，調査の迅速化・高精度化を図るうえでは，これらのデータから総合的に自動判読するシステムの開発が期待されている．

そこで，これまでに得られたデータをもとに，人工知能技術の一つである自己組織化マップ(Self-Organizing Map：以下SOMと呼ぶ)[2]を用いた判定の可能性を検討しており，ここではその概要，適用結果について述べる．

3-1 SOMによる調査データの判定法

SOMは，ニューラルネットワークモデルの一種で，「多次元のデータに潜む有用な知識を可視化するための手法」[3]として注目されている．すなわち多次元の入力データからその類似度に応じて分類する能力を備え，これを他から何の仮定も与えられずにデータ自身から行うことのできる手法である．図-9は，SOMによる学習の概念図を示したものである．SOMは二次元平面上に規則的に配置されたユニットによって構成され，各ユニットは扱うデータの次元数と同じベクトルを有している．学習前の初期状態は，図-9 a)のように各ユニットのベクトルはランダムな方向を向いているが，データが1つ示されると，そのベクトルにもっとも近いベクトルを探し，その近傍のユニットに対して入力ベクトルの方向に少し動かす(図-9 b)，c)参照)．この操作を更新あるいは学習と呼び，すべてのデータに対して何度もくり返し実施することで，各ユニットの持つベクトルの値が入力データの特徴を表現するようになる．そして最終的に図-9 d)に示すような，類似した特徴を持つデータは互いに近い位置に配置された分類マップが得られ，マップ上ではデータ間の類似性がユニット間の距離として表される．また新たな入力データをマップ上に投影することで，そのデータの特徴を分類することも可能である．

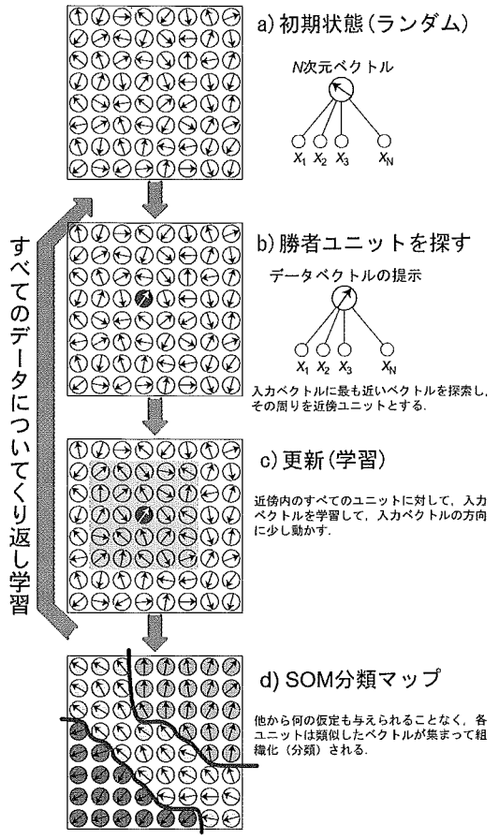


図-9　SOMの学習概念図

PVMシステムにおける削孔時の機械データから，削孔対象の分類および予測を行うためにSOM分類マップを利用する．SOM学習のための具体的なデータ入力の方法は，削孔対象を一定間隔に判定することを目的として，図-10に示すように10㎜の削孔区間ごとに1つのレコードとして扱い，まずは0.2秒間隔に採取されたデータを線形補間して1㎜間隔のデータに変換する．そしてSOMへの入力は，データの次元数が常に一定となるように，当該深度の前後5㎜間のデータを一定のルールで入力データとする．前後5㎜のデータを含めることで，データの変化傾向も考慮した学習が可能となる．

3-2 基礎実験および実証実験データへの適用結果

基礎実験および実証実験で得られたデータに対して，上記のSOMによる判定を適用した．

ファイバースコープなどの観察により削孔対象の種類が判明している25か所，全削孔長30.49mのデータについて，6種類の機械データに「10㎜削孔するのに要した時間」を加えて7種類とし，当該深度の前後5㎜間を1㎜ごと，すなわち1レコードあたり7×11＝77次元のデータとして，10㎜間隔の全3,049レコードをSOMに入力・学習した．基礎実験，実証実験での削孔対象は，大まかに① 覆工コンクリート(記号CN)，② 空洞(OP)，③ 緩い地山(S1)，④ 固い地山(S2)，⑤ 土砂(SO)の5種類に分類され，各入力レコードにラベル付けをした．マップサイズを20×16（計320点)の六角格子，学習回数を900,000回として学習した結果，得られた分類マップが図-11である．図中の格子点(ユニット)は1つのベクトルを有しており，このベクトルにもっとも一致したレコードの削孔対象記号が記入されている．全ユニット数は320でレコード数は3,049なので，1つのユニットは複数のレコードにより選択されていることもある．

SOMの性質上，類似したデータは近くに集まるので，理想的なマップが作成できれば，削孔対象記号ごとの集まりとしてマップ上に分類される．また各ユニット間の距離と各ユニットに属するレコードのばらつきを色の濃淡で表しており，距離やばらつきの大きいところは濃い色で示されている．図-11を見ると5種類の削孔対象はおおむねまとまって分類されており，太線で記号の境界を示した．右側に覆工コンクリート(CN)が分布し，これにもっとも遠い左下に空洞(OP)が分布している．すなわち覆工コンクリートと空洞ではデータの性質が大きく異なっていることを示している．左下の空洞分布域に接して左上には緩い地山(S1)が分布し，これと濃い色の谷を挟んで右側には固い地山(S2)が分布している．すなわち緩い地山と固い地山のデータ間には明確に分離できる境界が存在することがわかる．また，土砂(SO)の分布している範

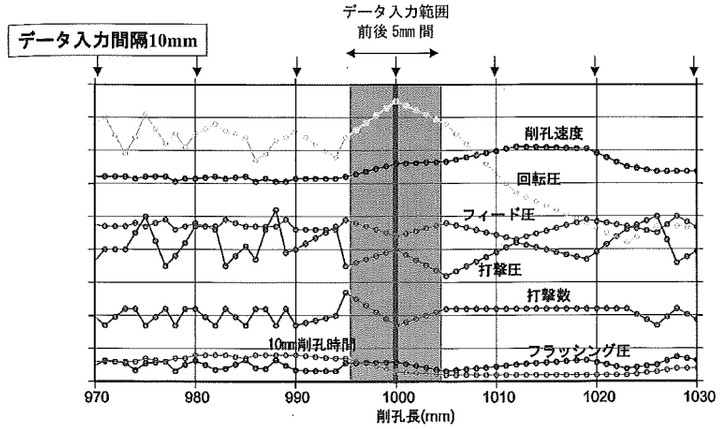


図-10　SOMへのデータ入力

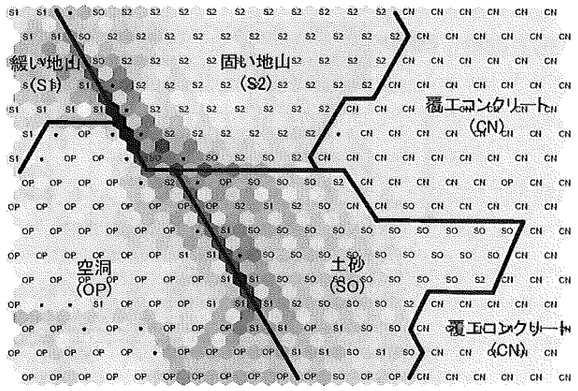


図-11　学習結果のSOM分類マップ例

囲(マップ中央下部)は色が濃いことから，データのばらつきが大きいことがわかる．なお，この土砂(SO)は，基礎実験を実施した地点の地面を削孔したデータであり，砂礫などを含んでおりデータにばらつきが生じているものと考えられる．

次に，この分類マップを用いて，マップ作成に用いなかったデータの判定を行った結果を示す．データの判定は10㎜削孔区間ごとのデータをマップ上に投影(もっとも近いベクトルを有するユニットを選出)して，そのユニットの記号を判定結果とした．記号の付いていない(・印)ユニットに割り振られた場合，これまでとは異質のデータということで，判定結果を「不明」とした．

図-12は約300㎜厚のコンクリートと地面(土砂)の間に約800㎜の空間を設けて削孔を実施した基礎実験のデータを対象としたもので，横軸を削孔長として入力した機械データをプロットし，上部には実際の削孔対象を色別で示したグラフである．SOMによる判定結果をグラフ上部に同じく色別で示した．これを見るときわめて精度良く覆工コンクリート，空洞，土砂を判別できているのがわかる．

図-13はトンネルにおける実証実験データを対象としたもので，実際の削孔対象は1,000㎜厚の

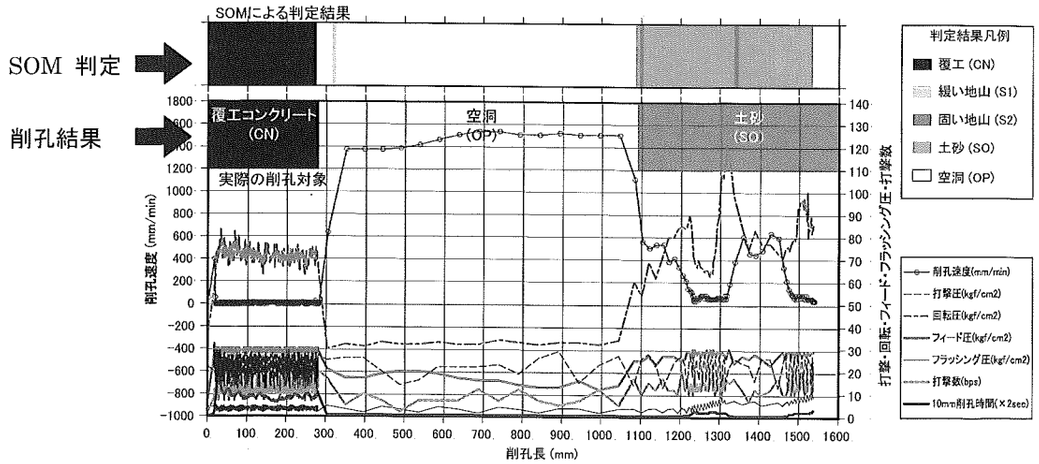


図-12　基礎実験データの判定例

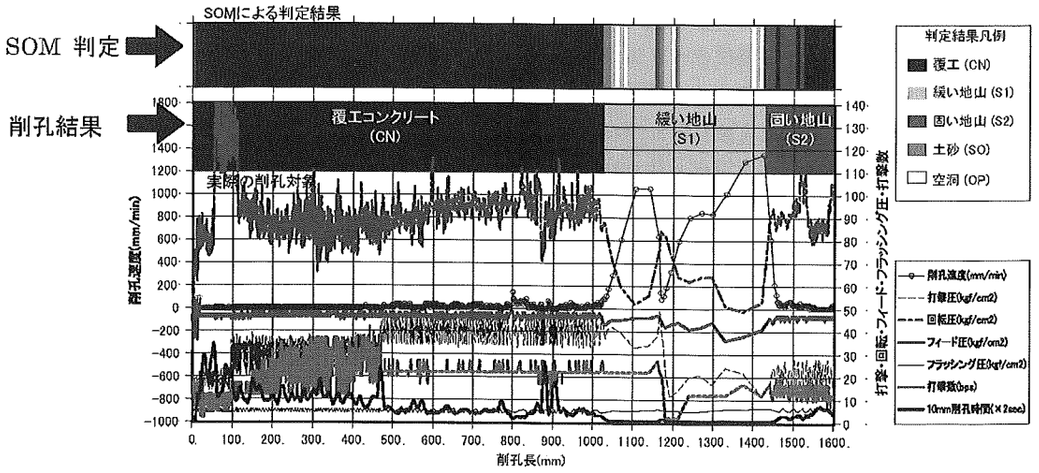


図-13　実証試験データの判定例

覆工コンクリートの背面にきわめて緩い地山が約400㎜厚あり，その奥に泥岩地山が存在することがわかっている．SOMによる判定結果はグラフ上部に示すように，覆工コンクリートは誤差なく判定できており，緩い地山の範囲もおおむね判定できている．1,430㎜深度以降の泥岩地山は，一部覆工コンクリートと判定されており，コンクリートに近い物性を有しているものと考えられる．

3-3　助川トンネル調査工事データへの適用

結果

次に，助川トンネルの調査工事における400か所以上のデータについてもSOMの適用検討を行った．実際の調査工事では専門のスタッフが，削孔速度と回転圧の変化をもとに空洞の有無を判定している．また1割程度の孔については，削孔後にファイバースコープにより削孔対象と空洞を目視確認している．

ここでは削孔実績が確定している44か所(総削孔長39.09m)のデータを用いてSOMの学習を行い，他のデータに対して判定を実施して，専門スタッフによる判定と比較検討を行った．学習には当該深度と前後5㎜地点の7種類のデータ，すなわち1レコードあたり7×3＝21次元のデータとして，10㎜ごとの全3,909レコードを入力データとした．なお調査工事では，削孔対象を大きく覆工コンクリート，地山，空洞の3種類に判別しているため，SOMマップの分類も3種類とした．

学習したSOMマップをもとに，空洞が検知された252か所(総削孔長232.8m)のデータの判定を実施した．**表-2**はSOMによる判定と専門スタッフによる判定を比較して集計したものである．専門スタッフによる覆工コンクリート，空洞，地山の判定をそれぞれ表の列とし，SOMによるそれぞれの判定を行にしてマトリクス表示しており，表の対角部分(太線内)が同じ判定の割合を示している．覆工コンクリートと空洞はそれぞれ98.5%，93.7%，地山の判定率は63.7%であった．地山の判定率が低いのは削孔データのばらつきが大きいことと，学習に用いたデータが少ないことが影響していると考える．

表-2　判定結果の集計表

		専門スタッフによる判定		
		覆工(C)【136.7m】	空洞(O)【76.5m】	地山(G)【19.6m】
SOM判定	1)覆工判定	98.5	1.7	10.0
	2)空洞判定	0.5	93.7	26.3
	3)地山判定	1.0	4.6	63.7

表-3　学習データ量の判定への影響

学習に用いたデータ数		評価スコア
孔数(孔)	総削孔長(m)	
44	39.09	222.7
30	27.53	223.4
25	24.28	220.7
20	20.00	214.5
15	15.20	204.0
10	10.78	209.5

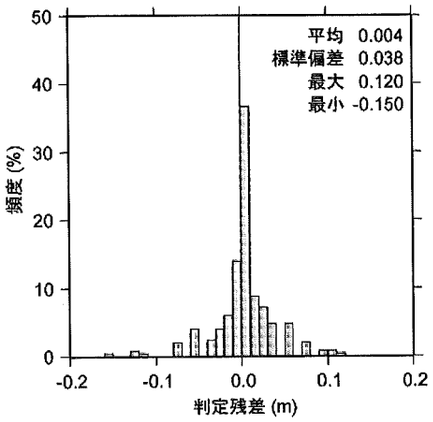


図-14　空洞の判定残差分布

次に，学習に用いるデータ量が判定精度に与える影響を調べた．そこで判定精度を評価する基準として，先の表の同じ判定の割合，すなわち表中太線内の領域をプラスポイント，空洞の判定が異なった割合である表中濃い色の領域をマイナスポイントとして評価スコアとする．**表-3**は，学習に用いるデータをランダムに減らして評価スコアを求めたものである．この表から，学習するデータ数が減るとスコアは下がる傾向にあるが，20～25孔(削孔長20～25m)程度のデータを学習すれば十分な判定精度が得られることがわかった．

次に，空洞規模(長さ)の判定について，専門ス

タッフによる判定との残差をヒストグラムにしたものが，**図-14**である．残差は平均的にはほぼ0で，標準偏差3.8cmと実用的なレベルでの推定が可能であることが示された．

4 今後の適用方法(運用)

本システムは，覆工コンクリート背面の空洞を調査することを目的とした技術であるが，覆工コンクリートを削孔する手法であるため，その孔を将来の注入用に利用することも可能である．その場合，調査孔の直径33㎜に対し，注入管用の直径は通常65㎜であるため，調査孔を直径65㎜に拡径削孔を行うことになる．また，あらかじめ覆工コンクリート背面の空洞が既知の場合，あるいは天端部の調査の結果，天端部に空洞が判明し，空洞の有無に係らず拡径することが決まっている場合には，**写真-6**に示す親子ビットを使用して一度に直径65㎜を削孔することができる．

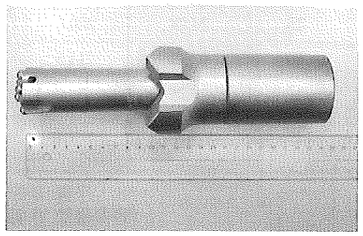


写真-6　親子ビット

PVMシステムではこうした利用方法にも適応できる機能を有しているため，調査のみを行う場合や調査後直ちに注入用の拡径を行う場合など様々な運用方法がある．

したがって，トンネルの調査種別，調査規模(トンネル本数や削孔箇所数)や調査期間などの条件を考慮して適用の判断を行うこととなるが，現時点においては**表-4**に示す3ケースについて運用が可能であると考えられる．

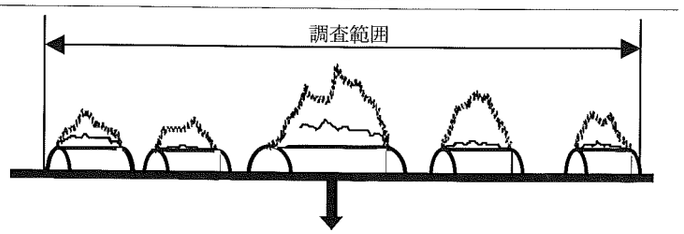
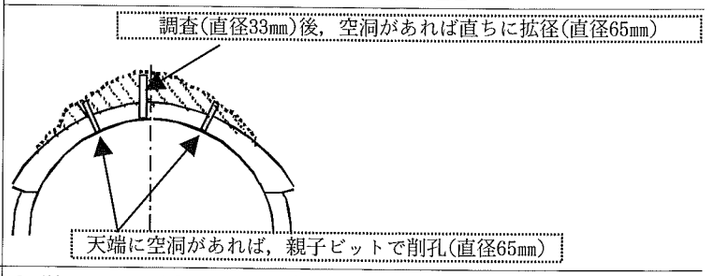
5 おわりに

今回の基礎実験および実工事により，空洞や地山の判定に有用な機械データとしては，削孔速度・回転圧を把握することが重要であることがわかった．しかし，判定にはヒューマンエラーの可能性もあることから，今後はコンピュータによる自動判定システムの開発，あるいは3章で述べた人工知能による予測手法の開発に力をいれる所存である．また，本システムでは覆工コンクリートの劣化状況も検知できることから，将来は覆工コンクリート全体の健全度評価への適用も視野に考えていきたい．

社会資本ストックを効率的に維持し，ライフサイクルを延命することが急務である中，今回紹介した覆工コンクリート背面空洞調査システムは，今後のアセットマネジメントの見地からも有効な調査技術として，社会的に貢献するところが大きいと考える．

最後に，今回の実証実験や調査工事に際して，ご協力を頂いた関係各位に対しまして感謝の意を表します．

表-4　PVMシステムの運用方法

1	注入優先度の高いトンネルの選定など 【PVMを「調査専用機」として適用】	複数のトンネルで優先候補トンネルを選定あるいは1本のトンネルで優先箇所の選定 ○複数あるいは1本のトンネルの天端のみ調査(直径33㎜) 
2	特定のトンネル(空洞未知)を調査し注入 【PVMを「調査，削孔兼用機」として適用】	○天端のみ調査(直径33㎜)後，　空洞があれば直ちに拡径(直径65㎜) ○天端に空洞があれば，　両肩部は親子ビットで削孔(直径65㎜) 
3	過去の空洞調査から空洞の存在が判明しており，注入を前提とする場合 【PVMを「削孔機」として適用】	○天端と両肩部を親子ビットで調査削孔(直径65㎜) ○天端の調査孔がφ33㎜の場合は拡径(直径65㎜)

参考文献

1) 日本道路公団：矢板工法トンネルの背面空洞注入工設計・施工指針，2002.10.
2) T.コホネン著，徳高・岸田・藤村訳：自己組織化マップ，シュプリンガー・フェアラーク東京，1996.
3) 徳高・岸田・藤村：自己組織化マップの応用，海文堂，1999.

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

文献紹介

調　査・計　画

松浦將行：東京区部における計画的，効率的な下水道管渠の再構築，土木學會誌，Vol.89，No.8，2004.8.

伊藤吾市・増田繁：繁華街における浸水対策事例，川崎駅前地下街(アゼリア)の浸水解消に向けた取組み，土木技術，Vol.59，No.9，2004.9.

大月喜雄：13号線池袋～渋谷間建設工事と街づくりへの貢献，土木學會誌，Vol.89，No.10，2004.10.

設　計・理　論

栗田守朗・田中博一：ECL工法の一次覆工を対象とした高流動鋼繊維補強コンクリートのフレッシュ性状に関する基礎的研究，土木学会論文集，No.767，V-64，2004.8.

鈴木俊夫：シールド掘進機，建設機械，475，Vol.40，No.9，2004.9.

島田哲治・高見沢計夫：ラッピング工法(トンネル外周被覆工法)の開発，建設機械，475，Vol.40，No.9，2004.9.

南谷達也：FIT工法，GFRPを用いた長尺先受工法，土木技術，Vol.59，No.9，2004.9.

酒井照夫・宮野前俊一・黒木繁盛・森田浩二・櫻井孝臣・梨本裕：めがねトンネルにおけるセンターピラーの補強設計，土木学会論文集，No.770，VI-64，2004.9.

吉塚守・三谷浩二・田中一・吉武勇・中川浩二：大断面トンネルの支保パターン選定のための現場実験，土木学会論文集，No.770，VI-64，2004.9.

伊東憲：浅深度・大深度における泥土圧式シールド工法への適用，ツインスクリュシールド工法の開発と実用化，建設機械，477，Vol.40，No.11，2004.11.

施　　工

川崎勝秀・新堀敏彦：ターミナル駅直下における大規模地下駅建設の施工技術，みなとみらい線・東急東横線横浜地下駅建設工事，土木技術，Vol.59，No.9，2004.9.

川北眞嗣：飛騨トンネルの地質とトンネル施工，基礎工，Vol.32，No.10，2004.10.

野入純一郎・稲積明夫・井上昭夫：海底道路トンネルアプローチ部の地中連続壁による仮設土留め壁の施工，土木技術，Vol.59，No.10，2004.10.

田中啓之：シールド発進・到達防護工の基本的な考え方と最近の工事事例，土木技術，Vol.59，No.10，2004.10.

吉川正昭・西原滋・濱手慎也・辻雅規：鍾乳洞が出現したトンネルの補強と保存，橋を架けて鍾乳洞の保存，土木技術，Vol.59，No.11，2004.11.

菅原宏：「ハートSPR工法」の開発と施工事例，下水道管きょ更生工法，土木施工，Vol.45，No.11，2004.11.

新井敏男・秋山典仁・田中隆行・森田篤・福永隆之：小土かぶりめがねトンネルの施工，戸吹トンネル整備工事，土木施工，Vol.45，No.11，2004.11.

瀬戸明・下間充・小森田哲也：狭い用地での施工事例，高速埼玉東西連絡道，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

栗田繁・川田成彦・兼近洋・木田平八・宮崎正宏：単独壁による本体利用地中連続壁の施工，首都高速中央環状新宿線・神山町換気所，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

櫻井裕一・大西亮・増田浩二：低空頭掘削機を適用した路下泥土モルタル壁の施工，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

大川尚哉・持木智司・青木亨：逸液地盤での大深度地中連続壁立坑の施工，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

甲斐荘正晴：近接施工の事例，北網島支線下水道整備工事：住宅近接，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

吉村正・森信雄・田中賢一：交通量が多い幹線道路における泥水固化壁の施工，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

吉田弘明・落河和洋・清崎弘二：空頭制限下における鋼製地中連続壁工法の施工，福岡202号外環状共同溝立坑工事高架下施工，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

川田成彦・和田新・宇佐美誠治・上野裕司・上代真之輔：根入れが確保できない地中連続壁の施工，基礎工，Vol.32，No.11，2004.11.

維　持・管　理

小西康人：地すべりによる鉄道トンネルの変状と対策，JR石勝線第4紅葉山トンネル，基礎工，Vol.32，No.9，2004.9.

本田毅：サイホンおよびトンネルにおける内面調査(香川用水幹線水路空水調査について，農村振興，第658号，2004.10.

連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(18)

TBM(5)—付属設備(前方地山探査と補助工法設備)—

「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. はじめに

前号に引き続いて，TBMの補助工法設備について，記述を行う．補助工法設備の主な機能は，地山変状・悪化・湧水に代表されるトラブルを予知，防止のためのボーリング，注入，地山探査(ボーリング)などがこれに該当する．これらの前方地山探査や補助工法設備は，地山の変化に敏感に反応し，その程度に応じて掘進ダメージに大きく影響を与えるTBMにおいて，しかもその地山の変化が激しいわが国にあっては，不可欠な設備といえる．いずれの場合も，方策そのものは通常の山岳トンネルで採用されている手段を踏襲することになり，基本手段はボーリングとなる．しかし，TBMの施工環境では

- 適所に施工しにくく，かつ効果が出にくい：TBM本体の存在が手当ての大きな障害となる．とくに切羽に対して全面を覆うカッタヘッドが，大きな妨げとなる．したがって切羽前方への補助工法施工範囲は，先進ボーリングや改良のための小規模なボーリングによる切羽への直接施工を除いては，原則的にTBM後方から，TBMの周辺地山に限定される．
- 機械装置が常設および設置しにくい：設置空間が狭隘(とくに小口径)
- 能力的に十分な機械装置が使えない：設置する空間が狭隘，搬出入の問題(とくに小口径)

から，通常の山岳トンネル施工時のような完璧な手当ておよび効果(山岳トンネルの地山性状の基本条件—切羽の自立)を十分に期待できない場合が多い．この場合，その不十分さの程度にもよるがTBMの機構的特徴を併用して不良地山を乗り切った事例もあり，これがまさにTBMの補助工法の形といえる．これには，TBMの機構上の長・短所をうまく使い分けることが必要で，それは，対応する地山の条件によっても千差万別であるが，その条件とうまく合体させたときに効果を生んでいる．TBMでは，とくに不良地山の事前予知とそのような地山への遭遇のタイミングと，対応のタイミングがその後の対応手段と成果に大きく影響する．そのためには，いかに事前に前方の地山情報を正確に把握できるかが重要な鍵となる．したがって，本項では，前方地山探査と補助工法についてそれらの設備と施工について実例で紹介する．

(文責：岡田　喬・(株)熊谷組)

2. TBM補助工法施工事例：大断面TBM(滝里発電所導水路トンネル工事)

2-1 工事概要

滝里発電所は，北海道開発局が建設した滝里ダムに併設する最大出力57,000kWの一般水力発電所である．

本導水路トンネルは，ダム取水口から発電所へ最大使用水量150m³/secを送水するためのもので，延長2,802m

表-1 トンネル概要

工事名	滝里発電所新設工事土木本工事 第二工区工事
発注者	北海道電力(株)
工事場所	北海道芦別市滝里町～野花南町
工期	1995年10月～1998年12月
延長	2,802m(うちＴＢＭ施工延長2,650m)
掘削断面積	54.1m²(掘削径8.3m)
掘削方式・工法	ＴＢＭ・全断面工法
ずり出し方法	バッテリーロコ(12t)＋ ずり鋼車(6 m³×５台)

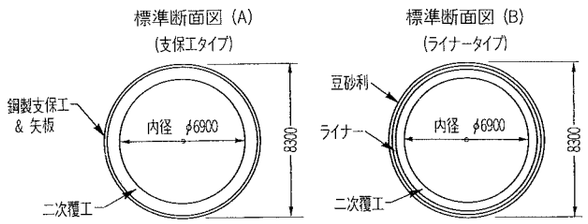


図-1 標準断面図

である．このうち，取水口側から2,650m区間において，施工当時日本最大となる掘削径8.3mの大断面TBMで掘削を行った．

トンネル概要を**表-1**に，標準断面図を**図-1**に示す．

2-2　地質概要

本トンネルの地質は，取水口側から約2,270m間が砂岩頁岩の互層を主とし，礫岩，凝灰岩を挟在した中世代白亜紀の蝦夷累層群(弾性波速度3.0～4.5km/s程度，岩盤等級CL～CH)，幅約40mの断層破砕帯を挟んで発電所側が，砂岩および泥岩で構成され一部に石灰岩を挟在した新生代新第三紀オチヌンベ層(弾性波速度2.0～3.5km/s程度，岩盤等級CL～CM級で一部D級)となっている．

オチヌンベ層は，一軸圧縮強度が砂岩で10～20MPa程度，泥岩で0.8～20MPa程度と低く，亀裂が発達しており，切羽および天端の崩落が懸念された．また，この区間では湧水，可燃性ガスの突出も予想された．

図-2に地質縦断図を示す．

2-3　補助工法用機械の選定

2-3-1　油圧削岩機

大断面トンネルでは，地質状況の影響を大きく受けることから，切羽前方探査が重要となるため，カッタヘッド直後に先進ボーリング用の油圧削岩機を常備した．油圧削岩機を用いた先進ボーリングでは，穿孔時のスライムやのみ下がり，湧水量，可燃性ガスおよびトルクなどの機械データを取得した．

また，この油圧削岩機を用いて，不良地山での切羽自立化を図るため，フォアパイリングを施工できるよう，カッタヘッド天端部120°の範囲にシールドを貫通するサヤ管を80cmピッチで12か所配置した．

架台上に搭載された削岩機は，アーチ状のラックレールに沿って120°の範囲で旋回できる構造とした．

表-2に油圧削岩機の仕様，**図-3**に削岩機搭載図，**図-4**に削岩機正面図をそれぞれ示す．

2-3-2　シールドジャッキおよびエレクタ

断層破砕帯や低強度の泥岩などグリッパ反力が得られない不良地山，あるいは地山の崩落が著しい場合に，トンネルライナーをシールドテール内で設置し，これから

表-2　油圧削岩機仕様

ガイドセル	全　長	3,600㎜
	有効削孔長	2,000㎜
削岩機	型　式	COP1238
	重　量	151kg

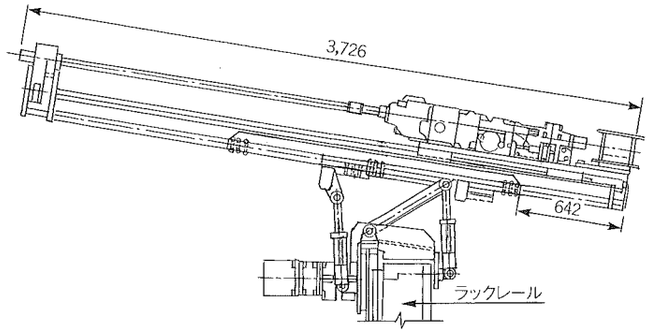


図-3　削岩機搭載図

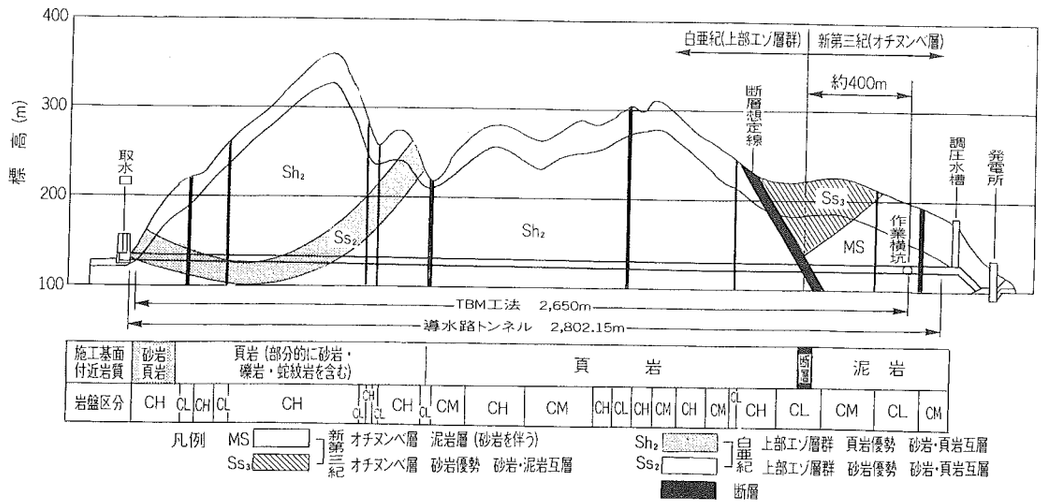


図-2　地質縦断図

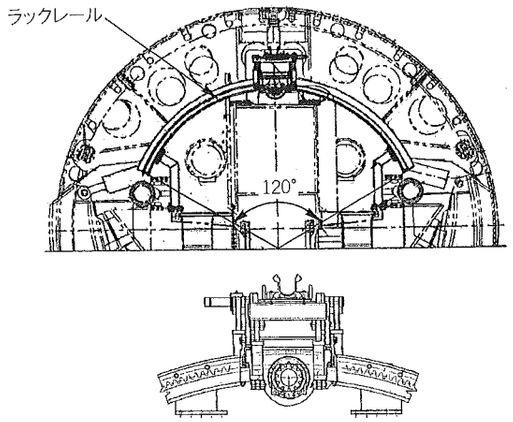


図-4　削岩機正面図

表-3　シールドジャッキおよびエレクタの仕様

項　目		仕　様
シールドジャッキ	推　力	150 t /本
	本　数	15本
	シリンダ径	254㎜
	ロット径	196㎜
	ストローク	1,400㎜
エレクタ	吊り上げ重量	4 t

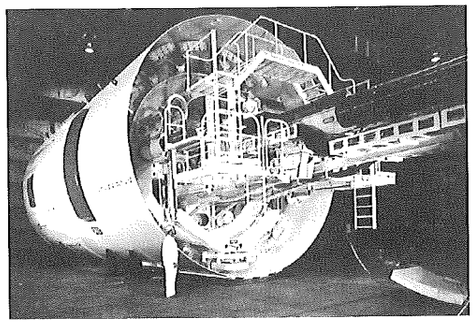


写真-1　ＴＢＭ後部

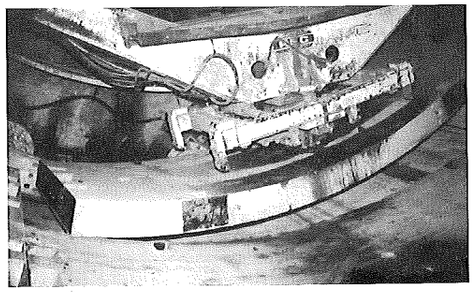


写真-2　エレクタによるライナー組み立て状況

反力をとって掘進するためのシールドジャッキおよびライナー組み立て用のエレクタ装置を備えた．

本来，シールドジャッキおよびエレクタは，補助工法を施工するための機械設備ではないが，TBMにおける地山不良区間におけるトラブル対策として重要な役割を果たす装置であることから，ここに記述するものである．

表-3にシールドジャッキおよびエレクタの仕様，**写真-1**にTBM後部を，**写真-2**にエレクタを用いたライナーの組み立て状況をそれぞれ示す．なお，TBM本体，後続台車設備は当連載講座(15)の大断面TBM施工事例に示す．

2-4　補助工法の施工実績

2-4-1　切羽前方探査

新第三紀オチヌンベ層の区間では，全区間においてTSPおよび先進ボーリング(さぐりボーリング)を実施した．先進ボーリングは，TBM内に装備された油圧削岩機を用いて穿孔し，1回あたりのボーリング長を30～50mとした．白亜紀区間においては，TSPにより実施区間を設定したうえで，先進ボーリングを行い，実施総延長は1,000mに及んだ．

2-4-2　フォアパイリングおよび地盤改良

TBMが作業横坑から本坑に進入し，9m掘削した位置で，カッタトルクが上昇し掘削不能に陥った．切羽観察およびさぐりボーリングを実施した結果，3～4m程度の切羽先掘り，局所的な脆弱層，切羽前方天端部分の空洞が所々に確認された．そこで，TBM内の油圧削岩機を利用して，上半120°にフォアパイリングを打設し，そこから地盤改良を目的にウレタン注入を実施した．

さらに，TBM直上の地表部から約65mのボーリングを3本行い，LW注入を実施し，切羽前方上部とTBM前胴上部の地盤改良を行い，22日間の掘削停止期間を経て，再掘進に成功した．

また，本坑掘削400m地点の新第三紀と白亜紀の境界に想定された断層は，TSPおよび先進ボーリングの結果，本坑383～415m地点の区間であると推定され，この区間においては，フォアパイリングおよびウレタン注入を実施し突破した．

図-5に施工実績概要図を示す．

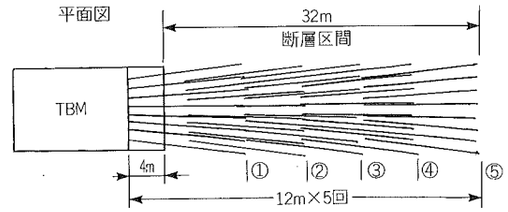


図-5　断層部施工実績概要

1シフトあたりの数量は，以下のとおりとした．

① 削孔長：L＝12.0m×８本

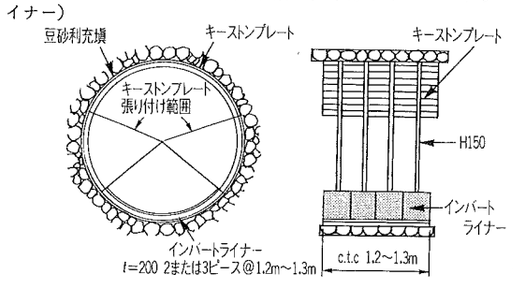
② 掘進長：L＝6.0m(ハイブリットライナー1.2m×5リング)

③ シフト数：５シフト

2-4-3　シールドジャッキによる掘進

事前の地質調査結果をもとに，当初設定された支保パターンでは，Eパターンのみがハイブリットライナー(鋼製鉄板でできた厚さ20cmの外郭の内部にコンクリートを現場で打設したセグメント形のライナー)を組み立

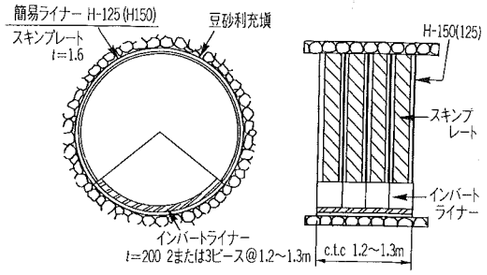
(上部：キーストン傘型張り付け支保工，下部：インバートライナー)



(a)　支保パターンD

(上部：簡易ライナー，下部：インバートライナー)

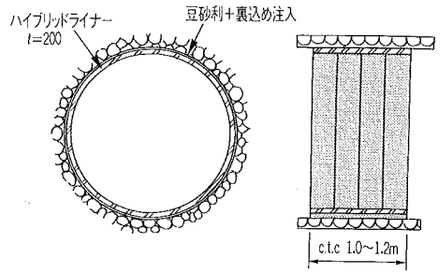
簡易ライナー：H125を主桁とし，これにスキンプレートを張ったライナー



(b)　支保パターンE

(ハイブリッドライナー)

ハイブリッドライナー：鋼製枠の中に現場でコンクリートを中詰めしたもの



(C)　支保パターンF

図-6　実施支保パターンD～F

表-4　ライナー組み立て区間実績

支保パターン	施工延長
D	1,500m
E	約700m
F	約370m
計	約2,570m

て後方から反力をとる構造となっていたが，全体の約９割を占める支保パターンでは，鋼製支保工と矢板による支保を基本とし，後方から反力をとれない構造であった．

今回のようなダブルシールドタイプの大断面TBMでは，機長が長く後胴の摩擦抵抗が大きくなる傾向があり，TBMのリトラクト(後胴引き寄せ)に関するトラブルが頻繁に発生したため，その対策としてインバートライナーを使用する支保パターンへの変更を行った．

また実際の施工では，亀裂の多い岩盤であるため，TBM通過後岩盤の崩落が激しく，TBM後方での鋼製支保工などの施工が安全上困難であり，TBM内で支保工やライナーを組み立てる支保パターンへの変更を行った．

変更により実施した支保パターンのうち，ライナーを組み立てる支保パターンD～Fを**図-6**に示す．支保パターンは，切羽前方探査の結果にもとづいて設定した．

結果として，ライナー組み立て区間が，当初の321mから約2,570mに変更となり，シールドジャッキを用いた掘進により，リトラクトトラブルなどを未然に防ぐことができた．

ライナー組み立て区間の施工実績を**表-4**に示す．

(文責：北川義人・大成建設(株))

3.　TBM補助工法施工事例：小断面TBM (沼隈幹線(６工区－１)管渠工事)

3-1　工事概要

当工事は，広島県芦田川流域下水道事業の一環として建設される，沼隈町から福山市まで全長14.2kmの沼隈幹線下水道のうち，沼隈半島を横断する約3.4kmを掘削外径φ2.32mのダブルシールド型TBMで施工したものである．

トンネルには大小８か所の断層破砕帯が存在し，このうちとくに規模が大きいと推定されていた３か所を含む約200mの不良地山区間において，小断面TBMでは初めて150kg級削孔機を後続台車に搭載し，補助工法を併用しながらTBMで掘進した．

トンネル概要を**表-5**に，標準断面図を**図-7**に示す．

3-2　地質概要

トンネルレベルでの地山を構成するのは，中生代ジュラ紀～白亜紀の岩盤で，流紋岩，石英安山岩，砂岩・頁

岩，花崗岩の４つに大きく分けられる．

また，Ｆ１～Ｆ８の８か所の断層破砕帯が存在し，このうちＦ３およびＦ４・Ｆ５断層はとくに規模が大きく，高水位の地下水を伴う崩壊性の高い破砕帯であるとされていた．

Ｆ３断層は石英安山岩の破砕帯で，幅50m以上の破砕帯であると推定され，粘土鉱物中には膨張性のあるスメクタイトが認められるため，岩盤の粘土化が著しい場合には切羽の押し出しも懸念された．

Ｆ４・Ｆ５断層は石英安山岩と砂岩・頁岩の境界部にあたり，トンネル付近では近接しているほか，半花崗岩の岩脈なども貫入して複雑な地層をなしており，ひと続きの幅150m程度の破砕帯として出現する可能性もあった．事前のボーリング結果から地下水位が非常に高く，コア状況もDクラスでRQD＝０％と，非常に脆弱な地山であった．

図-8に地質縦断図，**写真-3**にＦ５断層のボーリングコア状況を示す．

表-5　トンネル概要

工事名	沼隈幹線(６工区－1)管渠工事	
発注者	広島県福山地域事務所	
工事場所	広島県沼隈郡沼隈町大字能登原～福山市鞆町大字後地	
工期	平成12年９月30日～平成16年３月25日	
延長	全長：3,409.2m TBM掘進延長：3,352.8m	
掘削断面積	TBM：4.2m²(φ2.320m)	
仕上がり径	φ1.350m(二次覆工は別途工事)	
掘削工法	TBM	
ずり出し方式	坑内：レール方式	立坑部：空気カプセル輸送方式

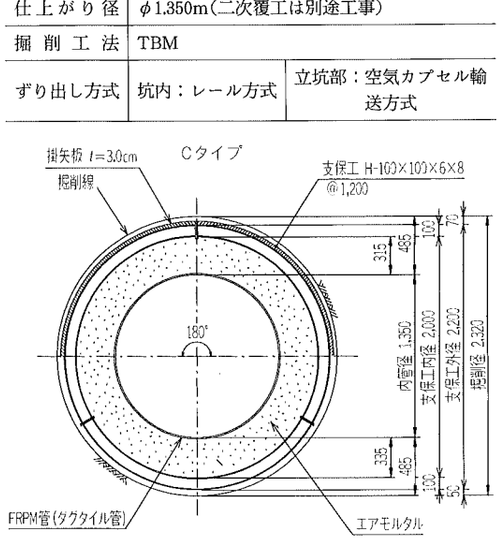


図-7　標準断面図



写真-3　Ｆ５断層ボーリングコア状況

凡例
Dt　崖錐堆積物
Po　ヒン岩・長石斑岩など(岩脈)
Gr　花崗岩
Ry　流紋岩
Da　石英安山岩
Ta　流紋岩・砂岩・泥岩(田島層)
Sh　頁岩優勢層
Ss　砂岩優勢層

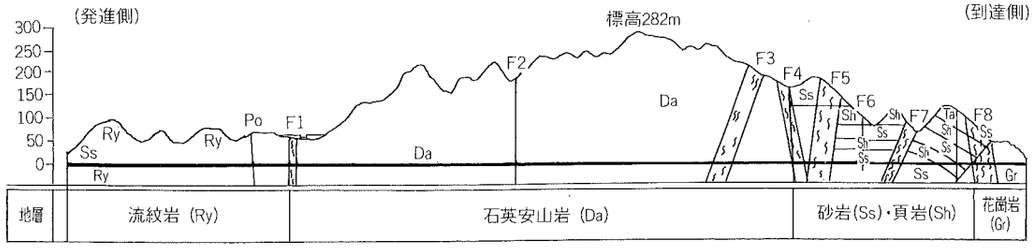


図-8　地質縦断図

法を併用しながらTBM掘進で不良地山区間を突破する計画に変更した．

3-3-2　補助工法用削孔機

① 補助工法として削孔検層，水抜きボーリング，鋼管先受け，地盤改良を適宜掘削サイクルに取り込んで実施するために，削孔機は通常No.1後続台車に格納しておき，削孔時には走行台車でNo.1台車の最前方へ移動して，ブームを旋回する構造とした．

② TBMテール部に5か所の削孔用ガイドホールを設け，切羽前方への削孔はこれを通じて行った．このガイドホールを設置したことによって，セグメント組み立て後の前方削孔が可能になるとともに，削孔の差し角が小さくなりトンネル断面に接近することによって，補助工法がより効果的になった．

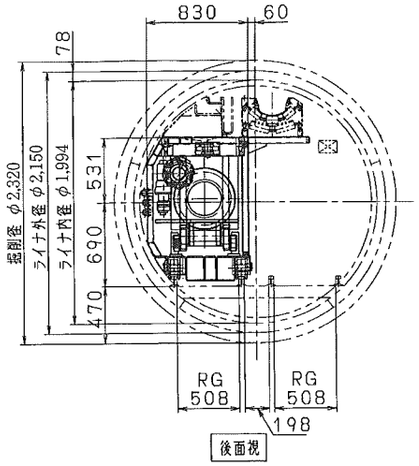
③ 地盤改良における削孔は，二重管削孔(削孔長12.9m)とし，外管(鋼管φ76.3㎜)を残置して注入管として利用するとともに先受けの機能も持たせた．

表-6に削孔機の仕様，**図-9**に削孔機の搭載図，**写真-4**に後続台車に搭載した削孔機，**写真-5**にガイドホールの状況を示す．

なお，TBM本体，後続台車設備は本講座(15)の小断面TBM施工事例に示す．

表-6　削孔機仕様

総重量		3,100kg
全長		6,970㎜
全幅		680㎜
全高		830㎜
ブーム	重量	900kg
	全長	3,500㎜
ガイドセル	重量	200kg
	全長	3,600㎜
	有効削孔長	2,000㎜
削岩機	型式	COP1238
	重量	151kg
油圧・水・エア		TBMから供給
走行台車	重量	1,849kg
	走行方式	油圧チェーン駆動



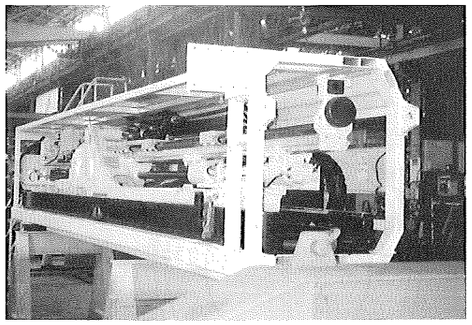


写真-4　後続台車に搭載した削孔機

進行方向

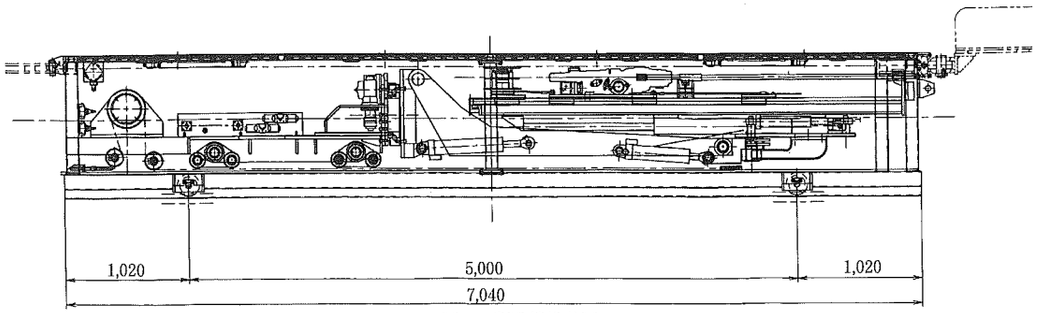


図-9　削孔機搭載図

3-4　補助工法の施工実績

3-4-1　切羽前方探査

断層破砕帯予測位置の50m程度手前において短時間で探査が可能な反射トモグラフィを実施した．これによって不良地山区間をおおむね把握し，さらに20m手前で削孔検層を実施して地山状況を精度良く把握して補助工法の適用を検討した．

3-4-2　水抜きボーリング

帯水層では，削孔検層ボーリングを水抜き孔として利用した．

また，大量の湧水が確認された場合には，さらに水抜きボーリング(φ64)を追加して，積極的に切羽水位の低下を図った．

写真-6に水抜きボーリング施工状況を示す

3-4-3　地盤改良

地盤改良は，鋼管による先受けと注入による補強を目的として，TBMテール部に設けた5か所のガイドホールを通じて地山状況に応じて3本または5本を施工した．

改良範囲は注入1本あたりφ2.5m×L4mと想定し，連続施工する場合には，常に切羽前方に改良されたバルクヘッドが形成されるように，1サイクルあたりの削孔長，改良範囲，掘進長を次のとおり決定した．

① 削孔長：L12.9m×3本または5本
② 改良範囲：φ2.5m×L4.0m×3本または5本
③ 掘進長：L3.75m(鋼製セグメント0.75m×5リング)

図-10に地盤改良施工要領図，**図-11**に地盤改良範囲図を示す．また，F3断層付近での施工実績概要図を**図-12**に示す．

(文責：伊藤範行・鹿島建設(株))

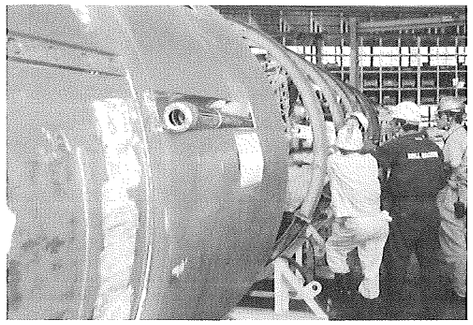


写真-5　ガイドホール

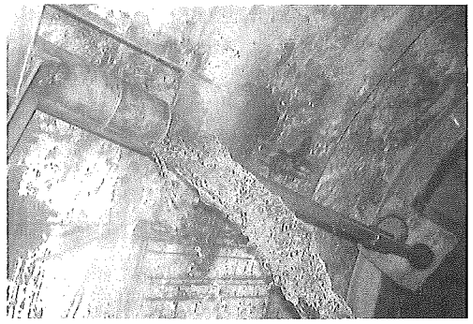


写真-6　水抜きボーリング施工状況

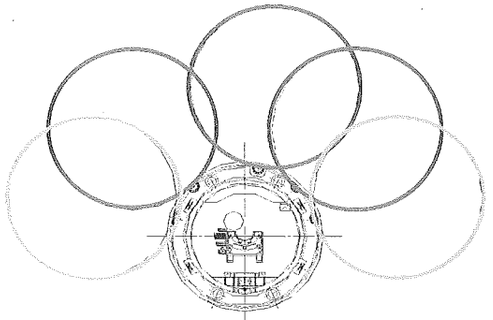


図-11　地盤改良範囲図

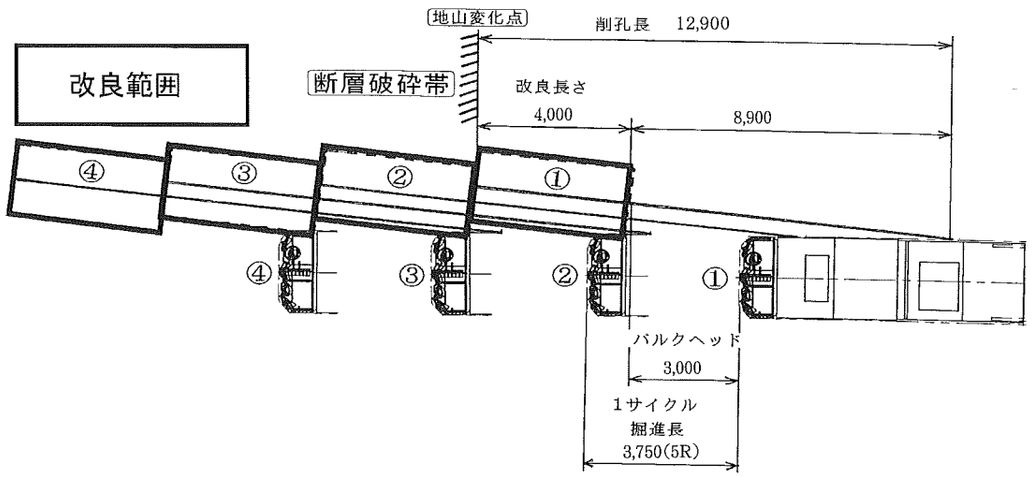


図-10　地盤改良施工要領図

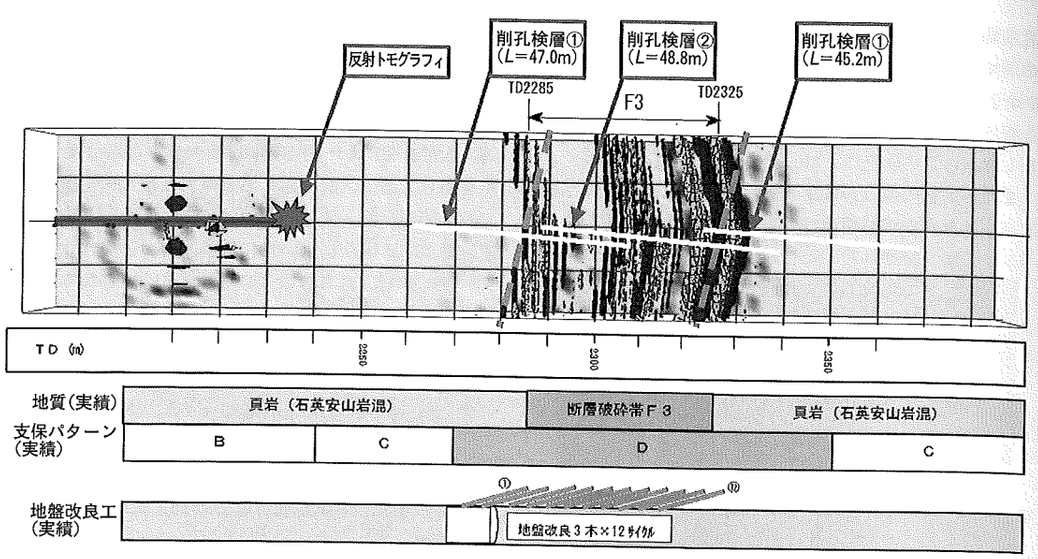


図-12　F-3 断層付近施工概要図

4.　TBM施工事例：補助工法と補強工
（第二東名高速道路　富士川トンネル西工事）

ダブルシールドタイプTBMは，機長は長く，全周がシールドされているので，補助工法や補強工の方法は，オープンタイプTBMの場合と大きく異なる．ここでは，第二東名高速道路富士川トンネル西工事で採用したダブルシールドタイプφ3.50mTBMとφ5.0mTBMでの補助工法と補強工について，施工事例にもとづいて記述する[1),2)]．

（1）　先進ボーリング

TBM工法の特徴である高速掘進を活かすには，純掘進速度とともに稼働率を向上させる必要がある．とくに断層破砕帯などでのTBM掘削では，切羽前方地質の力学的性質が事前に把握できていれば，これに起因するTBMトラブルは予測できるので，適切な補助工法や切羽対策工などが選択できるようになる．

先行掘削したφ3.50mTBM坑の掘削では，トンネル中央付近に，大規模な断層破砕帯の入山断層が地表踏査と地表からの斜めボーリングで確認されていたので，φ3.50mTBMが入山断層に接近した時点で，TBM坑内から水抜きを兼ねた先進ボーリング調査を実施した．

このφ3.50mTBM坑で使用したボーリング機械・機材は**表-7**に示し，先進ボーリング要領は**表-8, 9**に示す．1回あたりのボーリング延長は100m以上とし，作業効率とコア採取率などを考慮し，ノンコアでの高速削孔と急速コアサンプリングが可能な全油圧式パーカッションドリル(**写真-7**)を採用した．

表-7　使用機械・機材

ボーリング機械		全油圧式ロータリーパーカッションドリル アロードリル(RPD-100SF)	
データ収録装置		BDR-3SF	
ポ　ン　プ		MG-15hFV	
ツールス	ビット	φ133×137㎜	二重管部
		φ89×101㎜	単管部
	ドリルロッド	φ133×1.0m	22本(二重管)
		φ89×1.5m	36本(単管)
		φ89×1.0m	60本(単管)
	コアサンプラー	ワイヤーライン方式	

表-8　先進ボーリング要領

削孔位置	孔口部	深部
孔口からの深度(m)	0～10	10～100
孔径(㎜)	φ137	φ101
ツールス	二重管(φ133)	単管(φ89)

孔口位置は，TBM後胴直後のSL付近とし，ボーリング削孔角度は5度とした(**図-13**)．TBM背面地山中は，削孔水の影響などを考慮し，二重管削孔とし，その以奥は，単管削孔を基本とし，必要に応じて部分コアサンプリングを実施した．削孔時には，打撃エネルギーなどのボーリング機械データを4 cm間隔で取得し，破壊エネルギー*Ep*として指標化した．

この*Ep*とトルク，送水圧力の深度軸での変化およびスライムや部分コアの観察結果にもとづいて，地山等級を推定した(**図-14**)．また，φ3.50mTBM坑での先進ボーリング調査は，計22回実施した．これにより，岩淵火山岩層では，最大3 m³/minの大量切羽湧水を確認できた(**写真-8**)．

表-9　標準作業工程

作　業　日	1-d	1-n	2-d	2-n	3-d	3-n	備　考
(1)準　備　工							ボーリングマシン定置
(2)孔口部削孔							二重管(0～10m)
(3)深　部　削　孔							単管(10～100m)
(4)あと片づけ							

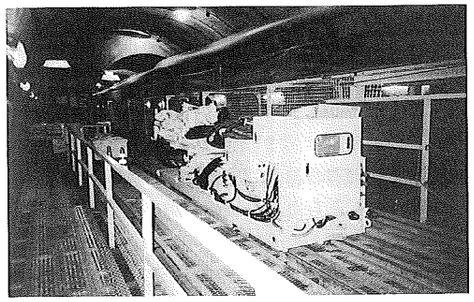


写真-7　平台車搭載ボーリングマシン全景

（2）　注入式フォアポーリング類

TBM工法は，切羽の自立を基本条件としているので，カッタヘッド部は開放タイプを採用している．このため，固結度が低く，切羽が自立しにくい地質不良部などでは，その周辺地山は不安定となり，切羽天端部の先抜けや切羽崩壊が発生する．

この対応として，切羽前方地山改良工の岩盤固結材による注入式フォアポーリングや注入式長尺フォアパイリングなどの補助工法が一般に採用されている．φ5.0mダブルシールドタイプTBMは，機長が約11mと長いので，入山断層帯の全延長91m間は，注入式フォアポーリングを1ストローク進行ごとに実施した．

この注入式フォアポーリングの施工は，**写真-9**に示すように，カッタヘッドチャンバ入口部に空圧式ドリフタ(TY-90)を装着し，削孔長3.0mで1ストロークあたり3～4孔を天端部に削孔し，注入用樹脂ボルト挿入後に，削孔1 mあたり約10kgのシリカレジンを注入した(**写真-10**)．これに要した作業時間は，準備工，あと片づけを含めて約2時間であった．

これ以奥の火山岩層の地質不良部では，チャンバ内での切羽自立度の目視観察により，注入式フォアポーリングの必要性を判定し，切羽天端がルーズになると補助工法を採用した．しかしながら，打設位置が制限されるチャンバ内での注入式フォアポーリングによる地山改良方法では，不安定で未固結状凝灰質火山岩層などの切羽天端の安定は確保できず，切羽は崩壊し，TBMの前進は不

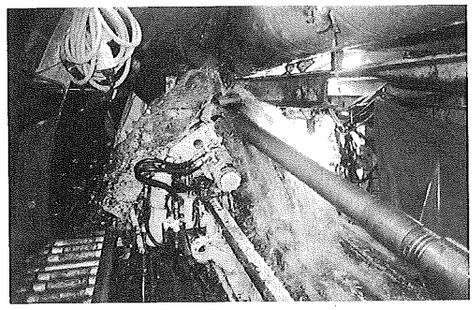


写真-8　水抜きボーリング施工状況

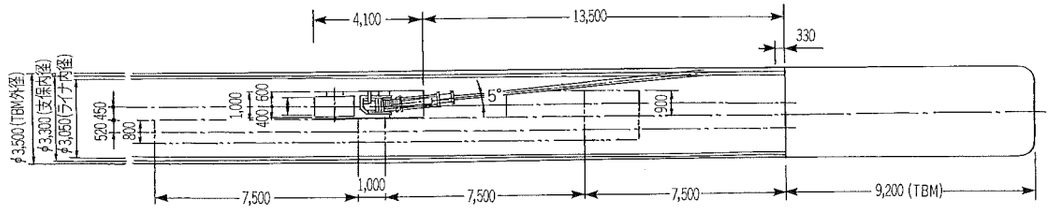


図-13　ボーリング機械のTBM坑内配置

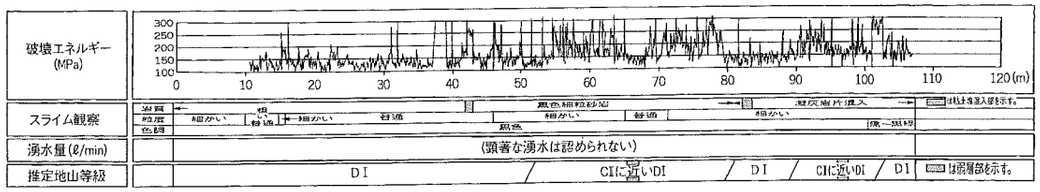


図-14　先進ボーリング調査結果

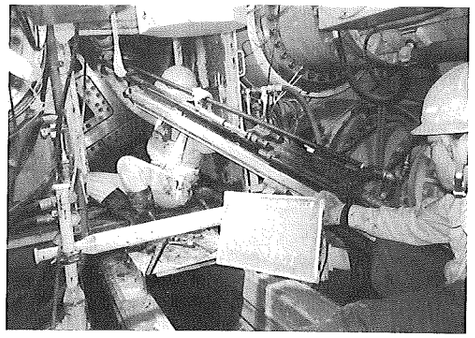


写真-9　カッタヘッドチャンバ入口部の空圧式ドリフタ配置

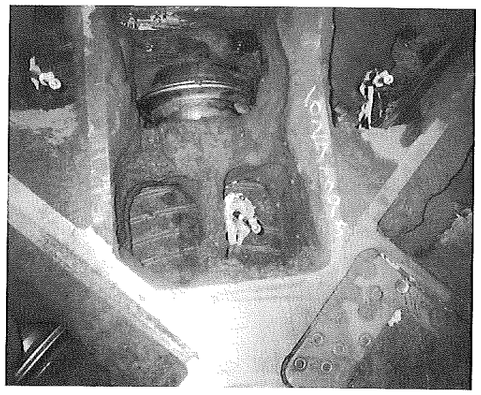


写真-10　注入式フォアポーリング打設状況

能になった．このため，TBMカッタヘッド前面部崩壊箇所への発泡ウレタン注入による空隙充填工を実施し，切羽自立度を高めてから，TBM掘進を再開した．

一方，切羽位置で部分崩落し，TBM進行に伴う応力再配分によりこれが深部に拡大し，本坑拡幅掘削までの間にさらに進展することが予想される空隙や空洞部は，TBM通過直後に，発泡ウレタンによる空洞充填工を実施した．

以上に，φ5.0mTBM導坑掘削で用いた補助工法と補強工について概略を述べたが，その実施内容は，**表-10**に示すとおりである．

（3）　オーバーカット

ダブルシールドタイプTBMでは，カッタヘッドの掘削軌跡を円筒構造の前・中胴と後胴が通過して行くので，ピッチング量とともにゲージカッタ摩耗量の管理が重要である．先行掘削したφ3.50mTBMは，入山断層帯で，変位速度の速い押し出し性地山に遭遇し，二度にわたり地山拘束を受け，人力切拡げ掘削を余儀なくされた[1]．これらのことから，φ5.0mTBM導坑掘削時は，半径60㎜のオーバーカット量を考慮し，1日あたり1機長分の掘進を確保することにした．

ここでは，φ5.0mTBMで採用したダブルシールドタイプTBM固有技術であるオーバーカットの掘削径拡大方法について述べる．

掘削径の拡大方法は，**表-11**と**図-15**に示すように，入

表-10　補助工法と補強工

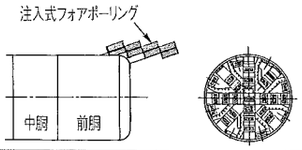
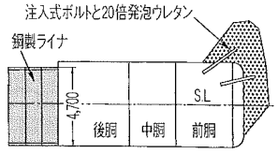
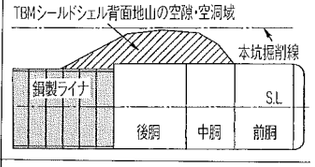
工法種別	補助工法（注入式フォアポーリング）	補強工（切羽前方空隙充填工）	補強工（鋼製ライナ背面空隙充填工）
適用地質	崩壊性地山	第四紀岩淵火山岩（凝灰質火山岩，火山角礫岩）	
切羽状況	固結度の低い崩壊性地山では，切羽は不安定となり，天端部は抜け落ちる．	切羽鏡と天端部が先抜け，崩壊し，岩片・岩塊や土砂はTBMカッタヘッド前面に堆積し，天端部に空隙，空洞が生じている．	TBM進行に伴う応力再配分により，切羽位置で生じた空隙や空洞が，本坑拡幅掘削位置まで拡大する．
工法概要	シリカレンジを注入材とする注入式フォアポーリング（L＝3.0m）を，1ストロークあたり3～4本，切羽鏡から切羽前方天端部に向けて打設する．	カッタヘッド前面の空隙部に向けて，注入式ボルトを打設し，この箇所に20倍発泡ウレタンを充填する．	鋼製ライナや簡易ライナ背面の空洞部に向けて，注入式ボルトを打設し，この箇所に20倍発泡ウレタンを充填する．
概要図			
実施延長	91m（入山断層破砕帯） 183m（第四紀岩淵火山岩）	5か所	5か所
施工位置	TBMカッタヘッドチャンバ内より空圧式ドリフタで削孔し，注入する．	TBM機内前胴部とTBMカッタヘッドチャンバ内より，空圧式ドリフタで削孔し，注入する．	TBM本体後胴通過直後に，TBM後胴と後続台車間の位置で，空圧式ドリフタで削孔し，注入する．
今後の課題	TBMカッタヘッドチャンバ内からの注入式フォアポーリングが短時間に施工できるよう機械システムの改良が必要である．	切羽天端部の安定化は，補助工法による方が合理的であるので，これの選定基準作りと施工サイクルの中で，早く確実にできる機械システムの改良が必要である．	

表-11　掘削径の拡大要領

ステップ	内　容	拡径量
1	I-1，I-2のカッタシャフトにスペーサを取り付ける．Gカッタリングの15インチ1/2を17インチに交換する．	18㎜
2	OC 2に17インチカッタリングを取り付ける．	21㎜
3	OC 1に17インチカッタリングを取り付ける．	21㎜

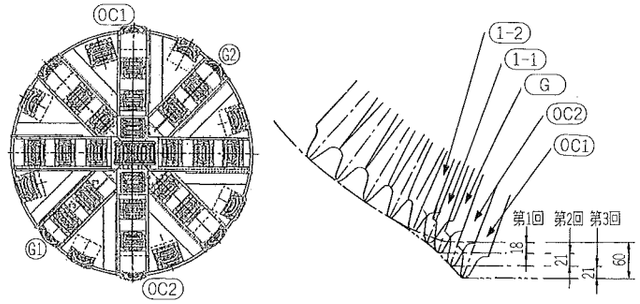


図-15　ディスクカッタ配置と掘削径拡大方法

山断層帯に入る約20m手前から，TBMを掘進しながら掘削半径を順次拡大し，3段階を経て，60㎜拡大した．また，ここでのゲージカッタ摩耗量管理値は5㎜とし，カッタリングは，入山断層帯に入る直前に，新品に取り替えた．

（文責：楠本　太・清水建設(株)）

参考文献

1）森田達夫・高橋幸三・千葉　隆：大規模破砕帯をTBMで突破，トンネルと地下，Vol.30，No.8，1999.8.
2）小林隆幸・佐藤　淳・楠本　太：TBMで大規模破砕帯に導坑を貫く，トンネルと地下，Vol.33，No.8，2002.

【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　価格 2,650円　〒340円

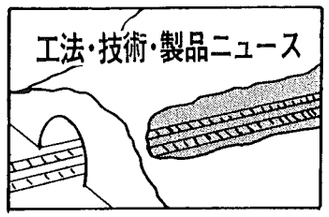


本書は，平成11年3月号より17回にわたって「トンネルと地下」に連載した「トンネル技術者のための応用地質学入門」をベースに，加筆および整理してまとめてものである．本書では，最新のトンネル技術，地質学，ならびに，地質調査法などを挙げ，学生から実務者まで広範に満足させる内容となっている．

〔主要目次〕

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

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



非開削で単独立体交差

植村技研工業は，鉄道や道路の下部空間に非開削で効率よくアンダーパスが施工できる立体交差工法「SFT工法」を開発した．

既存構造物の横に構築した発進立坑から，RC造の矩形構造物(函体)を水平方向へ押し出すことにより，立体交差を施工する．地盤改良などの補助工法が少なく，切羽での掘削作業も伴わないため，従来工法と比べて工期短縮やコスト削減を実現．

神鋼建材工業，ベカルト社と提携

神鋼建材工業は，世界最大の独立系スチールワイヤー製造会社であるベルギーのベカルト社と，コンクリート補強用鋼繊維(スチールファイバー)事業で提携した．

同社がベカルト社製のスチールファイバーの国内での独占販売権を取得し，「シンコーファイバー・ドラミックス」の製品名で販売する．

回収型シールド

奥村組は，奥村機械製作と共同で開発した簡易解体が可能な泥水式掘進機「やどかり君」を実現場で適用し，効果を確認した．

同機は，外殻，中殻，内殻の三重の鋼殻構造で，内部の機械，装置を容易に解体でき，到達後のシールド解体時では，作業環境や作業効率が向上，ガス切断器を用いた危険作業の大幅削減，工期短縮を実現する．

リアルタイムに状況把握

大林組は，ドイツから輸入した技術を応用し，TBMやシールドに取り付けたローラーカッタの掘進中の状況をリアルタイムに把握するシステムの国内販売に乗り出す．

ローラーカッタに取り付けたセンサを使って，負荷荷重や磨耗量・回転状況などを検知・記憶し，最適な掘進に役立てる．ローラーカッタの使用が必要となる硬質地盤を効率的に掘進する．

地下水流を3次元計測

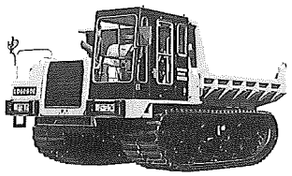
飛島建設は，地下水の流向・流速を3次元的に計測できる「光学式地下水流動モニタリングシステム」を開発，実用化した．

CCDカメラとプリズムを組み合わせた専用装置をボーリング孔などに挿入し，地下水中を移動する微小な固体粒子(トレーサ)の3次元位置を測定．複雑な地下水流動を原位置で高精度に把握できる．

クローラキャリア

新キャタピラー三菱は，クローラキャリアのモデルチェンジ機種LD700E(最大積載量6.5t)とLD1000E(同10t)を新発売した

同機は，2次排出ガス規制をクリアしたエンジンを搭載，丸ハンドルからT型レバーに変更し，スムーズな操作性を実現．エンジンオーバーラン・傾斜警報装置を装備



軟弱変質帯に対応

五洋建設は，山岳トンネル工事の補助工法として，軟弱変質帯に対応した長尺鏡ボルト工法を実現場に適用し，このほどその効果を実証した．

インバートストラットで掘削断面を早期閉合するとともに，切羽鏡面から前方地山に長尺ボルトを打ち込み，地山の変位を抑えた．地山変位を切羽前方から掘削部にかけて連続制御する工法の本格適用は国内初．

コンクリートひび割れ補修

岩清水産業は，高圧のノズルを使ってコンクリートの微細なひび割れを補修する「HPグラウト工法」を開発し，国土交通省の登録を受けた．

従来の補修は，低圧で注入材を注入する方式のため，1.25㎜以下の亀裂は難しかったが，同工法は，新開発したノズルで高圧注入，0.05㎜程度の細密な亀裂にも対応できる．また，ノズルの圧力計で補修箇所の状況に合わせて，圧力を変えながら工事ができる．(TEL：019-697-6733)

覆工劣化の診断・評価・対策提案

西松建設と戸田建設は，トンネル覆工の定期点検に加え，劣化調査時の診断・評価とそれにもとづく対策工事の提案を迅速に行うことができる「トンネル覆工診断・評価ツール」を共同開発した．

両社は同システムを活用し，コンクリートの剥落・落下が問題となる道路トンネルを中心としたコンクリート構造物の調査・診断業務や補償・補強などリニューアル業務の受注拡大を目指す．

NEW TULIP工法研究会発足

鉄建，鹿島，大成建設が開発した特許工法「NEW TULIP工法」の普及に向けて，ゼネコンなど39社が参加する工法研究会が発足した．

非開削で地下空間を構築する同工法の実案件での適用を目指し，標準的な設計・仕様・技術・積算などの調査研究を行う．

地下トンネル分岐・合流や地下駅舎など都市周辺部での有効な工法として提案していく．

連載講座

多様化するシールド掘進技術(最終回)

充填式シールド急曲線工法，連載を終えるにあたって

磯　　陽夫*　滝本邦彦**

充填式シールド急曲線工法

1. 工法概要

1-1　工法の概要

充填式シールド急曲線工法(以下，本工法)は，急曲線区間でシールド掘進による余掘り部および推進に伴い発生するテールボイドに，適度なせん断強度を有する充填材をシールドに設けた注入孔およびセグメント注入孔から同時注入し，空隙の安定を保ち地山の緩みや沈下を防止する工法である．また，袋付きセグメントによりセグメントの地山への密着を早期に行い，シールド推進反力を地山へ伝達するとともに，裏込め材のシールド周辺への回り込みを防ぎ，確実な線形の確保が可能となる．

1-2　施工手順

本工法の施工手順は以下のとおりである(図-1参照)．

1-2-1　余掘り部およびテールボイド部への充填材の注入

余掘り部への充填材の注入はシールド側部に装備した注入孔から行い，テールボイド部への充填材の注入はセグメント注入孔から行う．

1-2-2　袋付きセグメントへの裏込め材の注入

袋付きセグメントがテールを抜けた時点で，注入袋へ凝固時間の短い裏込め材を注入する．

1-2-3　袋付きセグメント間の充填材を裏込め材に置換

標準タイプセグメント(曲線用)背面へ裏込め材を注入すると同時に，充填材をセグメント注入孔から坑内に排出する．

2. 開発の経緯

シールド工法による下水道管渠，電力トンネルなどは，敷設する道路線形の関係で複数の急曲線を有することが

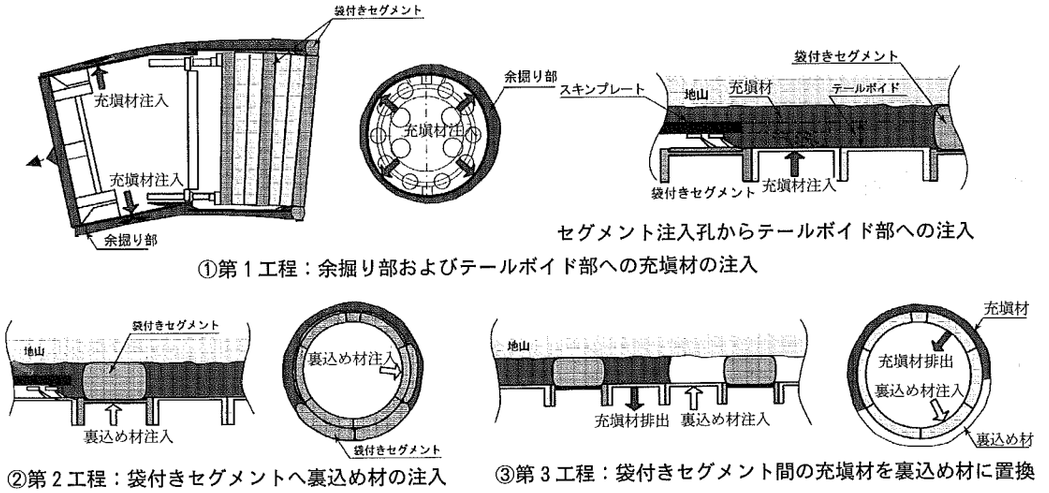


図-1　充填式シールド急曲線工法

＊西松建設(株)技術研究所土木技術研究課シールドグループ課長　　＊＊鹿島建設(株)土木管理本部土木工務部次長

多い．急曲線区間では，シールド回転空間を確保するため，トンネル断面より大きく掘削することが必要となり，掘進時の余掘りによる地山の緩み防止を目的としてシールド掘削断面の周囲の地盤補強を目的に薬液注入工が地上部から行われている．しかし，近年では，補助工法の施工に伴う作業帯設置による交通障害や作業時の振動・騒音などの懸念により，周辺住民の理解を得ることが困難となっており，住民対策・周辺環境の確保が課題である．

一方，従来地上作業が行えない場合に採用されているシールド内からの薬液注入の場合には，注入作業中にはシールドを停止させなければならず，掘進工程に大きな影響を与えることが課題であった．

そこで，従来の工法の課題を解決するため，坑内作業のみで掘進の低下をもたらさない「充填式シールド急曲線工法」を開発した．

3. 工法の特徴

3-1 工法の特徴

本工法の特徴は次のとおりである．

（1） 路上作業が不要

急曲線施工における地山の緩み防止工として路上作業が不要となり，これまで課題となっていた路上作業に伴う周辺環境への悪影響がない．

（2） 掘進への影響がない

余掘り防止のための充填材注入は，掘進と同時注入で行うため，日進量に影響がない．

（3） セグメントの変位が小さい

袋付きセグメントにより，セグメントが地山に密着するため，ジャッキ推力によるセグメント軸方向の変位が抑制される．

（4） コスト縮減

本工法は，従来の薬液注入工法に比べ20～30%のコスト縮減効果が期待できる．

3-2 充填材

本工法における充填材に必要な機能は，以下のとおりである．

① 砂礫層での礫の肌落ち(落下)を抑止し，地山の緩みを防止すること

② シールドの推進に支障とならないこと

上記の機能を発揮するためには比重，流動性だけでなく自立性が必要である．材料選定では，球体沈降試験として礫に見たてた球体(アルミナボール，比重3.6，径50㎜)の自重による沈降量(H)と充填材せん断強さ(粘着力c)の関係から(図-2, 3)，球体径の1/2程度(20～30㎜)の沈降となる粘着力0.3～0.6kN/m²程度を有するものを選定した．所要の性状を有する充填材(主材・助材混合タイプ)となる材料の配合例を表-1に，特性値を表-2に示す．

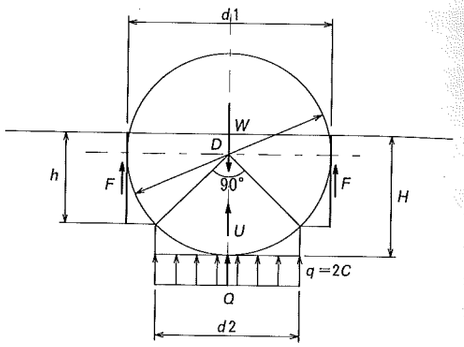


図-2 球体沈降図

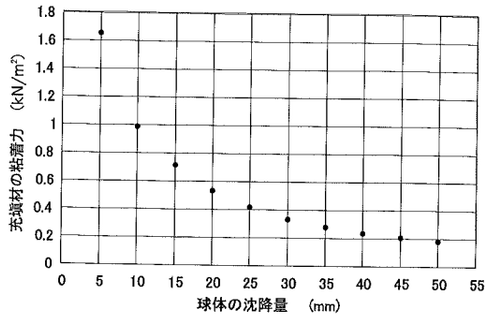


図-3 球体沈降量と充填材粘着力の関係

表-1 充填材の配合(m³あたり)

	主材		助材	充填材比重
	吸水性粘土鉱物	水	有機合成ポリマー増粘材	
配合量(kg)	313	863	1.7	1.18
比重	2.36	1.0	0.9～1.05	

表-2 充填材の特性値

特性	特性値	
流動性	スランプ値	15～20cm
自立性	せん断強さ	0.3～0.6kN/m²

3-3 緩み防止効果

本工法を初めて採用した「港区虎ノ門三丁目，愛宕二丁目付近再構築工事」は，仕上がり内径φ2,800㎜の管渠を外径φ3,690㎜の泥土圧シールドで構築するものである．主な対象地盤は，洪積世の東京第2粘土層(N値20～30)，東京礫層，江戸川層の互層(N値50以上)であった．

緩み防止効果確認のため，急曲線6か所(曲線半径R＝15m：2か所，R＝25m：4か所)のうち第4曲線(曲線半径25m)で多段式地中変位計によりシールド通過前後の鉛直変位を計測した(図-4)．その結果，最大隆起量1.37㎜，最大沈下量0.57㎜と地中変位は小さく，また路面沈下量も小さかった．他の曲線部における路面沈下量も同等であり，地盤の緩みが防止されていることが確認された．

3-4 施工設備

充填材注入設備には，主材作液プラント(ミキサー，アジテータ)，主材と助材の混合ミキサー，注入ポンプなどが必要である．主材・助材の搬送方法は，曲線部の立坑からの位置，曲線箇所数，充填量などの施工条件を考慮して計画する必要がある．

注入設備のうち混合ミキサー，充填材注入ポンプを坑内に配置し，主材を地上プラントからポンプ圧送する場合の設備配置の例を図-5に示す．坑内混合ミキサーの設置状況を写真-1に示す．

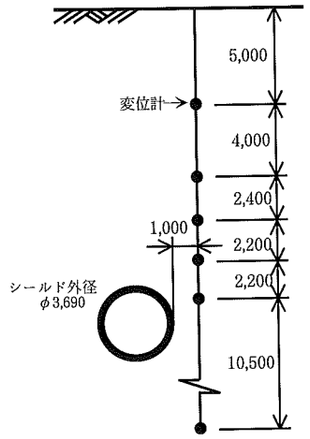


図-4 地中変位計測断面

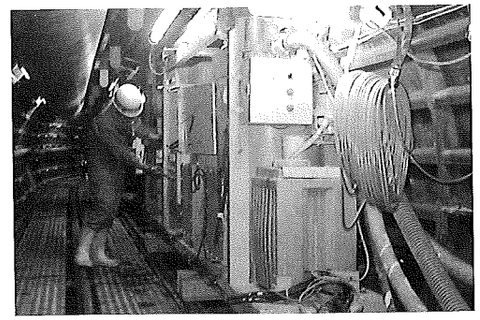


写真-1 坑内プラント設置状況

4. 工法の適用

4-1 土質条件

本工法は，シールド推力に対する地盤反力(受働土圧)は確保できるが，余掘り部の自立性が乏しい土質を対象とする．N値による目安として，砂質土はN≧30，粘性土はN≧8である．ただし，流砂現象が生じる恐れのある地山では充填材を充填する前に崩壊すると考えられる．これまでの実績では，砂質土ではN値8～24の地盤に，粘性土では砂質土(N＝50以上)との互層(掘削下半部)であるがN＝4～10に適用されている．

4-2 充填材の注入量・注入圧

（1） 注入量

シールド前胴部からの充填材の計画注入量は，加圧による地山への圧入，切羽への回り込みなどを考慮し，計画余掘り量の130%とし，セグメントからの計画注入量はテールボイド量の100%とする．

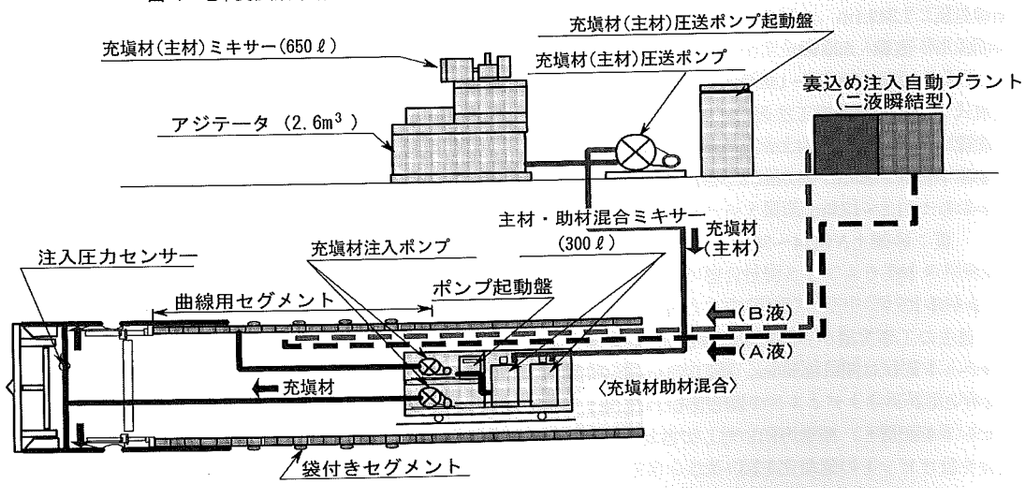


図-5 施工設備配置例

（2） 注入圧

充填材の注入圧はシールド切羽管理圧力を基本として設定する．注入圧の設定にあたっては，セグメントの構造，土圧・水圧，泥水圧，充填材の特性などを考慮のうえ，十分な充填ができる圧力を設定する必要がある．

4-3 袋付きセグメント

袋付きセグメントは，鋼製セグメント背面に注入袋を装着・収納したものである．セグメント注入孔から注入袋に凝結時間の短い裏込め入材を充填し，注入袋を膨張させ地山に密着させることで，セグメントの早期固定を確実とするとともに，充填材と置換する裏込め材が切羽に回り込むのを防止する．

袋付きセグメントの設置間隔は，地盤変状の影響や施工時荷重に対するセグメントの安全性を検討し，掘進量を考慮して決定する必要がある．

4-4 工法の適用実績

本工法の施工実績は，平成16年4月現在で16件であり，曲線半径R＝10～50mで総曲線箇所数は58か所である．

5. 最新の施工例

5-1 工事概要

工 事 名：中仙台線新設工事のうち土木工事（1工区）
施工場所：仙台市太白区郡山～八本松
発 注 者：東北電力
施 工 者：西松・大成・三井・株木・奥田・阿部共同企業体
工　　期：平成13年12月～平成17年3月
シールド形式：泥土圧（気泡）シールド工法
シールド外径：φ2,840㎜
セグメント外径：φ2,700㎜（一般）
路線延長：1,349.1m
平面線形：直線　823.0m
　　曲線（R＝15～1,000m）　526.1m
充填式シールド急曲線工法適用区間（**図-6**）
　曲線半径R＝15m，24.2m（1か所）
　曲線半径R＝30m，78.6m（3か所）
土かぶり：11.2～13.6m
土　　質：砂礫土N値14～50以上（礫径20～50㎜が主体）

5-2 シールド

（1） 過去の工事実績から想定最大礫径450㎜を想定し，カッタヘッド形状は開口幅300㎜，開口率34%のセミドームタイプとし，カッタディスクに強化型先行ビット，ローラービットを配置し，掘進方向に対して各ビットに20㎜の段差を設けビットの延命化を図った．

（2） 曲線半径R＝15m施工対応として，所要中折れ角

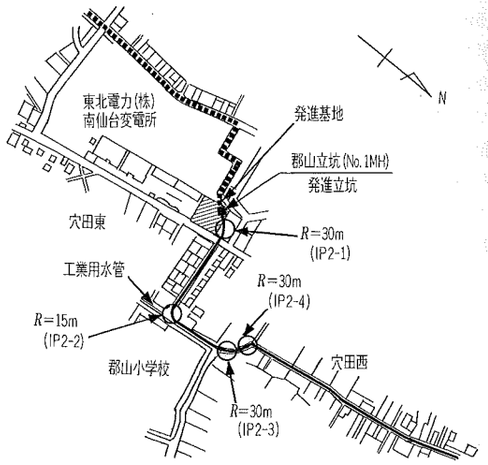


図-6 急曲線区間路線平面図

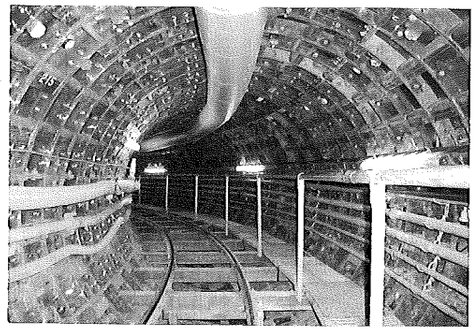


写真-2 急曲線R＝15m一次覆工状況

度10度における所要余掘り量が69㎜であることから，余掘り装置として，コピーカッタ（最大ストローク140㎜）1基を装備した．

（3） 最大11度までシールドを曲げることが可能な中折れ装置を装備した．

（4） 充填材注入孔は，前胴部に4か所設けた．

5-3 セグメント

（1） 標準のセグメントは外径2,700㎜，幅1,000㎜であるが，曲線半径R＝15m，30m区間ではセグメント幅を300㎜とし，さらに，R＝15m区間では外径を2,650㎜と50㎜小さくした．

袋付きセグメントの配置は，R＝15m，30m区間とも，3リング置きとした．

5-4 充填材

坑内スペースおよび最終充填材注入位置までの立坑からの距離などを考慮して，充填材は，主材と助材それぞれを作業基地からポンプ圧送して注入直前に混合するタイプを採用した．この充填材の要求品質は，事前試験により以下とした．

① ゲルタイム 5～20秒で調整可能
② せん断力：ポケットベーン試験による管理値0.4～1.5 kN/m²
③ 礫の肌落ち抵抗性：球体沈降試験による管理値1.0～2.0cm

5-5 掘進結果

平成14年9月中旬から同年12月初旬にかけて急曲線区間を施工したが，他区間と同様に路面変状やセグメントの変形もなかった（**写真-2**）．

5-6 コスト縮減効果

本工法の採用による薬液注入などの補助工法の合理化により，約30%のコスト縮減を図った．

6. おわりに

充填式シールド急曲線工法は，急曲線施工において路上作業から開放され周辺環境に悪影響を与えないこと，日進量の低下がないこと，線形の確保が行えることが特徴であり，さらに，コスト縮減も期待できる．

シールド工法による下水道再構築工事や雨水管，貯留管の整備や共同溝整備などを進めるうえで，市街地の狭隘な交差点での急曲線施工が増加することが予想されることから，本工法の適用が期待される．

（文責：磯　陽夫・西松建設（株））

参考文献

1）（財）下水道新技術推進機構，充填式シールド急曲線工法技術マニュアル，2000.3.
2）田鎖・相原・石田：巨礫に挑む気泡シールド，東北電力　中仙台線新設工事，トンネルと地下，Vol.34，No.8，pp.39-45.

連載を終えるにあたって

1. まとめ

昨年3月号から始まったこの連載には29工法が掲載された．それらを総括したものを**表-1**に示す．分類は他の事例を参考に考えたものである．これら以外にもシールド掘進技術に属する工法は多数あると考えられる．例えば，「地中接合」には，CID工法やDKT工法のように他に実績を挙げている工法もある．また，掘削断面形状に関する他工法や分岐・合体技術もほかにいくつか存在している．

さらに，表に示した分類以外のもので掘進技術に関連するものとして，高速施工，長距離施工には欠かせないカッタビット交換技術や，テールシールの耐久性高度化技術などがある．とくに前者は多くの工法が開発され，従来困難と言われていた土圧式シールド用ビットや岩盤シールド用ローラービットでの，チャンバに出ずに行う交換も行われるようになり，5～6 kmを超す掘進事例が現れるようになった昨今の超長距離工事や多種多様な地山に挑むシールド工事の大きな武器となっている．

2. 今後の動き

現在開発が行われている主なものに，非開削での地中切り拡げ・分岐・合流技術と，小土かぶりの発進・掘進技術がある．前者は長距離の道路や鉄道トンネル向けに必要な技術であり，後者は交差点や踏切での地中立体交差建設に必要なものである．

何れにせよ，都市再生や環境を考えたインフラの整備が今後のニーズであり，これに応えられるような工法の開発が要求されている．

3. 水車の動きと「開発」模様

昨年の3月「多様化するシールド掘進技術」の連載講座をはじめるのにあたり，「水車の動きと開発」の例をとる興味ある話で始まった．

水車は適量な水を得ていきよいよく廻り，水中と空中を程よいバランスを保ってエネルギーを得るものである．すなわち，土木技術の中でシールド分野の活躍は目覚ましいものがあり，開発のアイデアは机上の検討，現場の工夫，全く別の技術の展開とさまざまであり実践を踏まえて技術の発展へつながり，また，常に現場での適用のみで改良がなければ，これまた技術の発展は止まるものである．

時代のニーズに合った新しい技術を生み出すことが求められ，シールド技術の多様化になったわけである．

1950年代は社会基盤整備，1970年代は高度経済成長，1990年代は安定成長期と推移し，シールド工法も開放型から密閉型へさらに密閉型全盛期と入り多様化（長距離，高速化，大深度化，大断面，都市部施工，最適断面化，ほか）に展開した．

今回，最新シールド技術としてシールド工法技術協会の14工法のうちの掘進に関する12工法と関連する17工法の計29工法は「シールド掘進」のコントロールポイントとなるものである．

今後，各工法が複合技術としてより多くの相乗効果を上げ，水車で言う水中（現場）と空中（開発）の程よいバランスを保って行く必要がある．

地球に水がある限り，水車は廻りつづけるものであるし，われわれは水を絶やすことなく自然環境の保全を考えた，自然にやさしい方策を考えて技術（掘進）を推進することが求められるのでないだろうか．

まだまだ水車は健全に廻りつづける．

表-1　シールド掘進技術関連工法一覧(分類)

分類 大分類	分類 小分類	工法名	工法の概要	開発の経緯	工法の特徴と適用性	施工例	掲載月号
急速施工	同時施工	ラチス式同時施工シールド工法	前胴，後胴に分かれた複胴式で自在に伸縮できるようにテレスコピック，ラティスジャッキ機構を有するマシンにより，掘進＋組み立てを同時に行う	従来の通常施工と同等の施工性や覆工品質を確保したうえで，別々に行っていたシールド掘進とセグメント組み立てを同時に行う急速施工を実現する	・複胴式による前胴/後胴の伸縮方式 ・テレスコピックによる摺動装置と止水装置 ・ラティスジャッキによる掘進とコントロール ・泥土/泥水可能 ・φ2.8m以上必要 ・機長長さは通常	・2事例 ・φ2.9m×延長1,100m(1994) ・φ4.7m×延長2,500m	2004 7月号
		F-NAVI シールド工法	本体部と前胴部に分かれたマシンが半球状の球座面で接続され，前胴部が上下左右全方向に動くことで掘進ジャッキに関係なく制御可能，かつ同時掘進可能	1990初頭にトレーラーの運転方法を理想に開発開始 ・1991に実験機製作 ・1997に実施工実施	・方向制御にシールドジャッキ選択不要 ・迅速高精度の姿勢制御可能 ・中小口径の同時施工も可能 ・泥土/泥水可能 ・マシン割高なため1.5km以上長さが望ましい	・3事例 ・φ3.2m×1,300m(1997) ・φ3.6m×1,930m ・φ2.5m×990m(最大月進506m)	2004 7月号
		ハニカムセグメントを用いた同時施工法	6角形状のRCセグメントを蜂の巣状に組みあげジャッキを制御することで，掘進と組み立てを同時に行うことができる	1988より開始したハニカムセグメントの開発の中で同時掘進に関しても開発	・組み立て後すぐにジャッキの載荷が可能 ・継ぎ手面のプラグソケットガイド機能で組み立て精度良好 ・掘進同調機構による位置精度向上 ・自動締結装置によるボルト締結速度向上	・2事例 ・φ4.6m×延長1,380m(1998) ・φ3.9m×延長1,075m	2004 7月号
		ロングジャッキ式同時施工シールド工法	テール内で2リング分のセグメントを組み立てるスペースを有し，掘進サイクルと並行して1リング分のセグメントを同時に組み立てる	1989先端センターの「長距離急速施工技術」開発が嚆矢 ・石岡トンネル(その1)に適用，最大月進469m	・同時掘進対応型シールド自動姿勢制御でアンバランスモーメントを制御する ・同時掘進対応型エレクタで掘進中でも所定の位置にセットできる	・2事例 ・導水路(φ5.8m,延長2.4km)(1998) ・ガス導管φ3.6m×延長9km(うち2か月強分)	2005 3月号
		ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法	シールド本体の内側に内胴と2種類の専用(掘進と組み立て)ジャッキ(ダブルジャッキ)を備え，掘削と組み立てを同時に行う	同時掘進はマシン費用は上がるが，付帯設備の方は通常並みでコスト増を圧縮できる場合がある．2002から実機製作，試験を開始	・内胴はマシン内部にあるため止水などの不安要因がなく交換も容易 ・偏心力には内胴で対抗させる形 ・作業エリアが前後に分かれており組み立ては普通シールドと変わらない	・2事例 ・配水φ2.5m×1,220m(うち200m) ・ガス導管φ3.6m	2005 3月号
掘削線形	急曲線	充填式シールド急曲線工法	急曲線部の余掘り部分に適度な強度の充填材を掘進並行で注入して空隙の安定を図る．袋付きセグメントで推進反力を地山へ伝達，裏込めの廻り込みを防ぐ	急曲線部の地盤改良が行えないことやその場合の機内からの注入が不都合な場合があり，構内作業のみで通過できる工法要請があった	・路上作業不要 ・掘進への影響がない．セグメント変位が小さい ・コスト縮減 ・好適地盤N値：30以上(砂質土)，8以上(粘性土)	・16事例 ・曲線半径R＝10～50m，総曲線箇所58か所	2005 4月号
掘削線形	直角施工	地下茎シールド工法	シールドは前，中，後の3胴で構成され，分岐部は中胴に内蔵され直角に発進する．本線は分岐点からは前胴だけで掘進する	シールドでトンネルT字構造を構築するには地盤改良や開口部補強などの課題があり，工期，工費，安全性の良化要求があった	・分岐位置自由選択，分岐部地盤改良不要 ・分岐部と本線は同時施工可能 ・泥土/泥水可能 ・外径比60～70%	・1事例 ・電力洞道(本線φ7.2m＋分岐φ4.2m)	2004 11月号
		T-BOSS工法	シールドに格納された切削ビット付き鋼製リングをカッタヘッドの回転トルクを使って，既設管を直接切削貫入し，新設トンネルをT字型に機械接合する	大深度での既設管への接合は地上制約も多く立坑不要の管渠同士の地中接合要求があった．開発は1994から始まった	・S方式(切削リング単筒)とW方式(切削リングが2重で止水性確保)があり，後者は既設管供用中に使う ・地盤改良を大幅に低減できる	・3事例 ・本管φ7.8m＋接合φ3.3m(2001) ・本管φ7.8m＋接合φ3.3m ・本管φ4.3m＋接合φ2.9m	2004 11月号
		球体シールド工法	シールドまたはカッタ装置を球体に内蔵して方向転換を自在に行う．タテヨコシールドは地上から立坑を掘進し任意の深度から横トンネルを掘進	自在に方向転換する技術として球体利用工法を1989に考案．1992にヨコヨコシールド実施工．タテヨコシールドは1993に実施工化	・タテシールドは泥土，ヨコシールドは泥土/泥水双方可能 ・最小径はヨコで覆工外径φ2.35m，タテはヨコの1.5倍 ・最大径はタテでφ10m ・深度は70m級可能	・7事例 ・タテφ5.82m×深さ約38m(1993) ・タテ最大径φ7.92m×深さ約40m	2004 12月号
	急勾配	上向きシールド工法	トンネル内から上向きにシールド掘進して立坑を構築．カッタは外周保持方式，チャンバは漏斗状，排土は切羽圧の変動に応じて作動するピンチバルブ方式を採用	中間立坑構築場所は地上の制約があることが多く，大深度では地下へ掘り下げるのでは止水が困難なことが多い．そこで逆に上向きに掘ることを考えた	・地山自重を支える施工で泥土圧方式 ・管理土圧，加泥材はとくに選択，管理が重要 ・発進部覆工は切削可能で補強可能なものが必要 ・本管適用径はφ2～4m，上向き最大径は本管内空の60% ・深度は70m可能	・1工事(3本立坑) ・タテシールドφ2.3m×深さ20m,33m,33m(2001)	2004 12月号
大断面掘削および断面形状多様化	外周掘削	MMST工法	トンネル外殻部を複数の小断面シールドで先行掘削し，それらを相互に接続してトンネル外殻部躯体を構築した後，内部土砂を掘削して大断面トンネルを築造する	首都高川崎縦貫線の大断面部を非開削で構築する必要があり通常の方法では不可能であるため，1995から開発開始．1996から換気トンネル試験工事で実証	・単体トンネルは小断面矩形トンネル ・大断面の円形トンネルより土かぶりの小さい区間でも可能 ・トンネル断面形状を変化可能 ・内部土砂は一般残土で環境負荷低減 ・泥土/泥水双方可能	・2事例 ・換気所(1996) ・道路トンネル高さ24m×幅28m延長540m	2005 2月号
	拡幅	拡大シールド工法	先行施工の一次トンネルから拡大シールドを発進させて軸方向にリング状に掘進する．拡大シールド発進の空間は円周シールドで施工	トンネル中間に非開削で拡大部ニーズが増え1982から実験開始 ・1984本施工採用	・目的に応じた拡大部の任意延長可能 ・拡大後も円形で構造上安定 ・円周シールド＋円周セグメントで切り拡げ安全 ・既往例は開放型だが泥水も可能	・複数事例 ・電力洞道(1984) ・共同溝(1986) ・下水(1989) ・下水φ6m，拡大φ8.7m×11.2m	2004 9月号
	非円形掘削	偏心多軸(DPLEX)シールド工法	複数駆動軸にカッタを偏心装着し，同一方向に回転させるとカッタは平行リンク運動を行い，ほぼ相似形の断面を掘削可能	・1987から基本検討開始 ・1990に矩形実験機掘進実験 ・1992に円弧状矩形セグメント実験 ・1994に本施工採用	・任意断面掘削が可能 ・カッタトルクが小さい ・ビットの摩耗が少ない ・全断面機内注入が可能 ・親子シールドの外径比50～60%可能 ・泥土方式	・10事例 ・弧状矩形4.2×3.8m(1994) ・矩形2.8×2.2m ・機内注入φ3.48m ・親子φ3.93m,φ2.14m ・地下鉄複線φ9.6m ・雨水幹線φ7.67m ・地下鉄単線φ7.15m	2004 4月号

大断面掘削および断面形状多様化	非円形掘削	ワギング・カッタ・シールド工法	・油圧ジャッキによるカッタ揺動とカッタスポークの伸縮機構併用で非円形掘削可能 ・揺動ジャッキ駆動による駆体小型化	・1997非開削で小土かぶりの地中人道ニーズに対応 ・1998コンパクト円形化 ・2000超急曲線 ・2001地下鉄複線断面	・様々な掘削断面形状に対応（とくに矩形） ・シールド機小型化可能 ・揺動機構とオーバカッタの組み合わせ ・φ3m，1,000m級で5％コストダウン ・泥土主流だが泥水も可能	・6事例 ・矩形4.9×7.8m（1997） ・S字12Rφ3.9m ・矩形4.3×4.9m ・S字8Rφ5.2m ・地下鉄複線矩形6.9×10.2m ・ラックピニオンφ2.6m	2004 4月号
		自由断面シールド工法	主カッタで円形断面の切削と同時に主カッタの周辺を断面形状に倣い遊星カッタを自転させつつ公転させて切削することで，非円形掘削	合理的なライフライン用洞道断面のニーズがあり，1989から東京都を中心に検討開始	・使用目的にあった自由な断面を掘削可能 ・泥土圧が基本 ・最小断面は覆工横外径2m，最大は5m	・1事例 ・外径3.2×4.7m，延長565m（1992）	2005 2月号
		OHM工法	3本スポークカッタを回転しつつ，装置全体を所定量だけ偏心してカッタ回転方向と逆に3倍の速度で回転させると角形形状の掘削可能	ニーズに応じた自由な断面を回転運動だけで掘削するアイデアから回転軸偏心機構を考案	・カッタの軌跡はルーロの三角形理論に従う ・偏心量を変えることで各種断面に変更することが可能 ・カッタの回転制御でローリング修正が容易に可能	・2事例 ・地下鉄連絡通路4.3×3.8m（1998） ・地下横断歩道4.3×3.8m	2005 2月号
	重複円形掘削	H＆Vシールド工法	・複数の単円シールド組み合わせで縦連，横連の様々な断面可能 ・複円断面から単円へ分岐も可能 ・特殊中折れ機構で姿勢制御	1989実証実験（φ2.1mの二連型H&Vシールドで横二連，縦二連，スパイラル，分岐を確認）	・個々のシールドは独立マシン ・クロスアーティキュレート機構でローリング制御 ・超接近，分岐，スパイラル可能 ・泥土/泥水可能	・3事例 ・下水縦二連から内径2.4mと2.2mの単円へ分岐 ・地下鉄の4心円シールで駅構築 ・上水横二連φ2.1m×2	2004 5月号
		単円～3連駅シールド工法	駅部両端立坑で単円シールドに側部マシンを着脱して，路線～駅部を1台のシールドで掘進	駅非開削工事のコストダウン，安全性向上，シールドの合理的利用目的	・シールド有効利用によるコストダウン ・仮設基地減少による環境負荷低減 ・鉄道/道路に適する	・1事例 ・単円φ10m，駅部15.8×10m（1994）	2004 5月号
		MFシールド工法	複数の円形シールドのカッタヘッドを前後にずらし一部を重ね合わせたマシンを使って複円形トンネルを構築する	単円のみでは合理的なトンネル配置に制約がでてきたことに対して，2連や3連の複円形を採用することで解決できると考えられた	・円を基本にして掘削，構造上安定 ・2連/3連を縦横に組み合わせられるのでルート計画が自由 ・泥土/泥水どちらでも可能 ・左右非対称のウイングセグメントで千鳥効果	・3事例 ・鉄道複線φ7.4m×幅12.2m（1986） ・地下鉄駅部横3連 ・地下鉄駅部横3連φ8.8m×幅17.4m	2004 8月号
		DOT工法	カッタがスポーク状である泥土方式マシンで複数のカッタを歯車状に同一平面に組み合わせて複円形トンネルを構築する	1987から基本検討開始各種実証実験により掘進安定性，セグメントの組み立て性能を確認1989に実施工	・カッタが同一平面にあるので制御バランスがよい ・泥土方式のみ ・大小のカモメセグメントを上下で組み合わせることで千鳥効果	・国内13事例＋上海4事例 ・新交通システムφ6.1m×2連（1989） ・共同溝φ9.3m×幅15.9m ・地下鉄φ6.5m×幅11.1m	2004 8月号
分岐・合流	地中接合	MSD工法	2台のシールドを機械的に正面接合させる工法の1つ．押し出し側は円筒貫入リングを，受け入れ側は受圧ゴムリングで保持	凍結などの防護工を用いる従来の地中接合では，地上，地下の条件に影響されることがあり，何処でも可能な方法は欲されていた	・接合地点自由選択 ・安全確実な方法 ・周辺への影響がない ・泥土/泥水可能 ・最小径約2.5m以上 ・巨礫，岩盤非対象	・14事例 ・下水で最初施工（1992） ・最大径：共同溝φ8.1m＋φ8.1m	2004 11月号

分岐・合流	分離・合体	親子シールド工法	親シールド内に子シールドを内蔵し掘進途中で子シールドを分離発進させて断面直径の異なる2種類のトンネルを構築する	下水は下流ほど断面は拡大し，鉄道では駅部は拡大が必要．これを1台のシールドで実現させたい．	・泥土/泥水両方に可能 ・気中分離（中間立坑必要）は親子の共有部品の有効利用が合理化 ・地中分離は機械関連が負担増	・14事例 ・大断面（親φ14.2m＋子9.7m） ・長距離（親φ7.2m×1,740m，子φ5m×960m）	2004 9月号
		拡径シールド工法	小さい断面トンネルが中間立坑到達後円筒状の親機に挿入して大きな断面のマシンに拡径して再発進する．挿入型なので両者の予め精度確保が重要	断面の異なるトンネルを構築するニーズにさらに異径同士の地中接合する必要があるプロジェクトに対応させるために開発	・子を親機に挿入させることから高精度確保のための特殊検査実施 ・異径地中接合用に伸縮スポーク採用	・1事例 ・子機φ7.2m＋親機φ10.3m，地中接合相手φ7.2m	2004 9月号
		DSR工法	スキンプレート[外胴]の内側に駆動部などを一体化した[内胴]を組み合わせたシールドで，到達立坑なしで内胴部分の再利用可能	到達地点まで掘進後，再利用のためマシン主要部を引き出したいが，到達立坑設置が困難なケースに対応	・シールド再利用に到達立坑必要ない ・発進位置自由度大 ・異径掘削機に対応可能 ・現場での再利用容易	・1事例φ2.7m×（117m＋571m）（2000）	2005 1月号
掘進手法	地山安定	泥土加圧シールド工法	・掘削土に加泥材を加え塑性流動性と不透水性を持たせて泥土により切羽保持を行う	先に開発が始まった泥水シールドの難点である崩壊性砂礫地盤対応として1975から開発開始	・広範囲な土質（砂礫，岩盤含む）に対応可能 ・沈下量抑制可能 ・立坑用地，プラント最小限 ・大断面対応（φ12m級） ・大深度対応 ・小土かぶり適する	・1,000事例以上 ・φ2.44mが1号機（1976） ・大断面φ12.0m×2,018m ・大深度φ2.1m土かぶり57m ・小土かぶりφ2.7mかぶり1m ・最大礫径1,500㎜マシンφ2.1m ・土丹/岩盤用としてローラビット使用可能 ・河川横断	2004 6月号
		ケミカル・プラグ・シールド工法	泥土圧式で用いる加泥材とともに主剤（CPM）をチャンバ内に混合し，助剤（CPS）をスクリュコンベヤ後半部で注入して土砂プラグを形成しながら土砂排出を行う	土質の適用範囲が広い，掘進速度速い，巨礫に対応するという泥土圧式をさらに高水圧での使用を考えたもの	・チャンバ内添加後即座に土砂が非流動性となるコーティング付き主剤と，スクリュコンベヤ以降ではそのコーティングを解除する助剤の効果的な組み合わせ	・複数事例 ・代表例φ5.4m×1,550m最大礫径150㎜	2004 6月号
		気泡シールド工法	チャンバに特殊起泡材を注入しながら掘進する．気泡が掘削土の流動性と止水性を向上させ，チャンバ内での掘削付着防止となる	土圧シールドは地山によってはチャンバ内での固着や噴発があるため，加泥材混入がある（泥土圧）泥土圧は排土処理費用や設備で費用増となる．	・特殊起泡材は掘削土の流動性向上，付着防止，止水性向上，切羽の安定を引き出す ・特殊消泡材は気泡を短時間に消泡して元の地山土に近い状態へ戻す	・409事例（総延長419km） ・大断面代表例：道路φ12.0m×延長2,018m，調整池φ11.5m×延長1,680m ・長距離代表例：ガス導管φ2.6m×延長4,130m	2004 10月号
その他	覆工	コンパクトシールド工法	・4分割3ヒンジ構造インバート付き二次覆工一体型セグメント ・後方設備内包型3分割シールド ・ガイドローラ付きタイヤ式無操縦搬送システム	小口径の下水管路整備の合理化，環境負荷低減を目的に内径2mに絞り，シールド，型枠の転用前提で開発	・セグメントは4ピース構成で3か所のヒンジと1か所の剛継手で1リング形成，リング間はピン継手 ・マシンなど設備は3現場転用前提での積算	・3事例 ・台東区三筋二丁目 ・江東区大島4丁目（仕上がりφ2m×延長1,390m）ほか	2004 10月号
	撤去	既設シールド撤去工法	既設トンネルより一回り大きなドーナツ状のカッタドラムでセグメントを抱き込み外周部を掘進，覆工撤去して空洞に充填材を注入して撤去シールド内で既設覆工を解体する	新しい大断面道路トンネルのルートに既設シールドがあり，開削やルート変更では対応できないことに対応するため	・施工手順は掘削→後方充填→覆工解体と従来と逆 ・マシンの牽引反力は既設セグメントにグリッパで，既設覆工と外側シールド間には2重の加圧式シールドが装備 ・泥水工法で掘進し，地山はおおむね汎用対応可能	・1事例 ・既設覆工φ3.2m，撤去シールドφ4.5m，延長985m（2001）	2005 1月号

トンネルワールドニュース

（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

インドのダム工事現場で再度の災害

モンスーン期の降雨が，インド・ヒマラヤ山麓で再度の水路トンネルでの災害を引き起こした．今回の場合は，デリーの北東部約300km に位置する Dehra Dun 付近の論争となっている Tehri ダム建設現場での事故であり，8月2日に多量の降雨による地すべりで立坑壁が崩壊し，坑内の作業員が犠牲となったものである．

現場からの報告によれば，崩壊した坑壁が，坑内下方の2か所の足場の上，坑底およびコンクリート打設中の T3 余水路トンネル内の作業員の上に落下したものである．死傷者の大部分は T3 内の作業員であった．公式な発表では，死者29名，重傷12名である．

ヒマラヤ山麓の雨期での大規模な土木工事には，極端な危険が伴うようである．ほぼ1年前の Rohtang トンネルの事故では，地すべりで作業基地が埋まり，約50名の外国人労働者が死亡しており，今回の事故の1週間後には，Kullu 付近の Parvati 水力発電プロジェクトの現場で，地すべりで出口を塞がれ洪水で充満されたトンネルの中に20人の作業員が閉じ込められたが，幸いにも全員が無事に救出された．

Tehri ダムの建設は，最初からさまざまな論争の的となっていた．同ダムは，規模および建設地の高度では世界最大級であり，有数な地震帯である Central Himalayan Seismic Zone 中に建設されている．

建設反対派は，地震の発生によりダムが崩壊し，下流の集落が押し流されることを危惧している．Tehri ダムが位置する Bhagirathi 川はガンジス川の主要な源流でもあるため，デリー自体も安全ではない，との声もある．

環境保護団体International Rivers Network によれば，堤体高さ260mの本ダムはマグニチュード7.2まで耐える設計となっているが，この地域においては，マグニチュード8.5以上の規模の地震が発生する可能性もあると予測する専門家もいる．

今回の恐ろしい事故からもわかるように，本地域一帯は悪天候に誘発される地すべりが発生しやすく，大規模な地すべりが貯水池内に滑落しダムの越流が起これば，下流地域に甚大な被害を与えると言われている．

（T&T　'04.9　担当：小島健一・(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構）

「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

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
研究開発委員会

確率論的な媒質理論を用いたトンネル施工による地表面変位のモデル化/Modeling of tunneling-induced ground surface movements using stochastic medium theory

By J.S. Yang,B.C.Liu, M.C.Wang: Tunneling and Underground Space Technology Vol.19, No.2, March 2004, pp.113-123

1. はじめに

トンネル工事では，周辺の構造物や環境に影響を及ぼす地表面沈下が発生する．沈下による有害な影響を少なくするためにきわめて重要なことは地表面沈下を予測することであり，過去にも多くの研究が行われている．これらの研究成果から，地表面沈下に対して信頼性の高い予測を行うためには，精度の高い入力パラメータの設定はもとより，信頼性の高い解析モデルを構築することが必要である．しかしながら，地盤の複雑さ，施工方法の多様化により，弾性理論，塑性理論，粘弾性理論などを用いた既存の手法では精度の高い沈下予測は困難である．本論では，トンネル工事により誘発される地表面沈下をより高い精度でモデル化するために，従来とは異なるアプローチによる確率論的な媒質理論を用いた予測手法を開発した．

2. トンネル工事による地盤変位

図-1に沈下予測式を誘導するためのトンネルと沈下の概念図を示す．トンネル横断面は，トンネル高さが $2B$,トンネル幅が $2A$ であり，地表面からトンネル中心までの深さを H と仮定している．

地表面沈下は，掘削断面周辺におけるコンバージェンスの性質とその範囲に依存する．ここで，

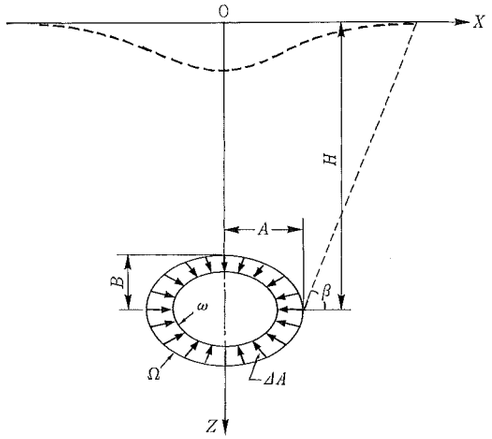


図-1　円形/非円形断面を有するトンネルの概念図

トンネル掘削後，横断面は領域Ωから領域ωに向かい，半径方向に一様に変形すると仮定する．領域Ωからωまでの変形により誘発される地盤沈下は，領域Ωによる沈下差と領域ωによる沈下差より決定される．本研究では，領域Ωから領域ωまでの半径方向のコンバージェンスを ΔA(㎜)，沈下の影響角を β(°)として，地表面沈下と地盤変位を解析するためのコンピュータプログラム“tunnel”を開発した．

3. 地表面沈下曲線のモデル化

本手法では，与えられたサイズおよび深さにおけるトンネル工事による地表面沈下は，影響角 β とコンバージェンス ΔA のキーパラメータが既知であれば決定できる．ここで，β は上載荷重とトンネル深度に大きく依存する．一方，ΔA は施工の巧拙を含む施工方法，地山の初期応力状態および周辺地盤の応力ひずみ挙動により変化する．ここで，予測不可能な地質構成と地盤物性にトンネル施工手順が絡む複雑な場合には，両キーパラメータを同定することは困難となる．しかしながら，あらかじめ地表面沈下曲線が得られていれば，逆解析を通してこの2つのパラメータの同定が可能となる．

4. 逆解析

本研究では，Powellの最適化手法を用いて，地表面沈下および水平変位の予測値と実測値の差が最小となるように逆解析を行い，2つのキーパ

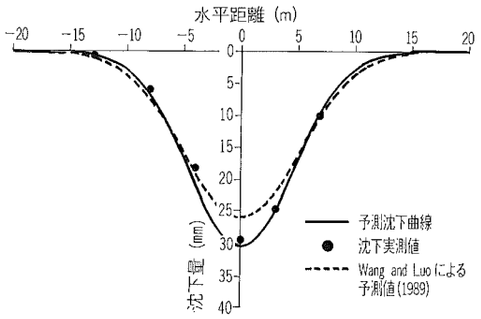


図-2 北京地下鉄における沈下実測値と予測値

ラメータを同定した．逆解析は過去の文献より18のトンネルを選定し，実測された地表面沈下データに対して，コンピュータプログラム“tunnel”を用いて行った．以下，例として北京地下鉄のトンネル工事における逆解析結果を示す．

・北京地下鉄Fuxinmen工区例

高さ6.4m，幅8.0mの地下鉄トンネルがNATMにより施工された．地表面よりトンネル中心までの深さは11mで，主として沖積のシルト質砂層と礫層を掘削する工事であった．本工事で得られた計測データに加えて，WangとLuoにより，回帰分析法を用いた地表面沈下予測解析が過去に行われている．コンピュータプログラム“tunnel”を用いた逆解析結果より，$\beta=51°$と$\Delta A=15.6$㎜の値が得られた．図-2に地表面沈下の実測値と二本の予測曲線(本研究における予測とWangとLuoによる予測)を示した．これによると，本研究での予測値は実測値に対して非常に良く合致する結果となった．

5. まとめ

本研究で開発した解析手法を用いることにより，円形トンネルおよび非円形トンネルに対して幅広い土質やトンネルの条件下でも高い精度でトンネル掘削により誘発される地表面沈下の予測をすることが可能となった．なお，18のトンネルに対する逆解析結果によると，各トンネルにおける幅広い条件の違いに応じて，コンパージェンスΔAおよび影響角βの二つのパラメータは，それぞれ4.2〜209.0と31〜56°の範囲に分布することが示された．なお，βについては，深くて小さい円形トンネルでは比較的大きな角度となり，また非円形断面トンネルでは，円形断面トンネルより大きい角度となる傾向があることが確認された．一方，地盤条件，施工方法がβに与える影響の傾向はほとんどなかった．今後，入力パラメータと地盤，施工条件の相関関係を明らかにすることが必要であり，幅広い条件下での沈下曲線データベースの蓄積，逆解析が必要である．

(文責：酒井邦登・亀廼井寿明/東急建設(株))

実施コード(規定)の意味/Implications of The Code of Practice

By Arnold Dix : Tunnels & Tunnelling International February 2004 Vol.36 No.2, pp.25–26

トンネル施工弁護士，土木工学教授Arnold Dixが，新しく規定した“英国リスク管理の統合実施コード(the Joint Code of Practice for Risk Management of Tunnel Works in the UK)”について，国際地下施工産業に与える意味を検討する．

英国トンネル工事リスク管理統合実施コード(2003年9月)は，世界の保険産業の巨大企業，すなわち，世界再保険会社による地下建設リスク管理の始まりを意味する．

再保険会社は，世界の主要な地下建設プロジェクトにおける，保険請求対象の損失および損害に関する払い戻しに最終的な責任を持つ．これら再保険会社は，ヒースロ空港の崩落など，地下建設事故に伴って大きな損害を被った．その結果，大プロジェクトの保険は，加入が困難なほどきわめて高額になり，再保険会社の多くは，現在，本ビジネスに消極的である．

地下建設で発生する災害は，復旧のために，プロジェクト全体のコストよりもより大きな経費がかかる場合も多い．再保険会社にとっては，保険会社が付保してきたプロジェクトのリスクを確認・管理するため，世界でもっとも優れた手法を使用することは，今後これら再保険会社の利益につながることである．つまり，英国トンネル協会と再保険会社が，共同で規定を策定する作業を行うことによって，再保険会社の懸念は幾分緩和されることになると考えられる．

この規定は，地下建設に伴うリスク評価・管理のため，以下に示す内容が定められている．

リスク評価および管理

- リスク評価を通して関連するリスクを同定する．
- リスクの定量化を図る．
- リスクを除去するための予防的な対策を決定．
- リスク管理の方法を決定する．
- リスクを，契約における様々な当事者に振り分ける．

リスク登録

規定では，リスク登録が求められている．リスク登録とは，リスクの所有者を明確に定め，いかにリスクを抑え，緩和し，管理するかを明快かつ簡潔に記述した書類である．

顧客の専門性の不可欠性

計画・設計・調達・施工の各段階，プロジェクトの進捗調査において，プロジェクトに関連する管理能力を，技術および契約の両面にわたって備えていなければならない．

プロジェクトの開発段階

プロジェクト開発段階に関する規定には，「顧客は，次のことを実施するにあたって十分な時間および予算を備えることは，不可欠な要件である．」とある．

- 施工調達段階に進む前にプロジェクトの技術的な有効性を調査し，検証すること．
- 採用する契約の形式に相応した設計を準備すること．

このことは，プロジェクト開発段階において，期限があまりにも厳しく，十分な資金が不足する場合は，保険は撤退し，ひいては，プロジェクトが停止となる場合がある．

現場および地盤調査

地盤調査に関する規定は，請負会社が応札段階に想定した条件と異なった場合，遭遇した地盤条件の校正が基本となる．

設計者間の情報交換

顧客は，設計段階で整備したすべての情報を，次の段階の設計者が必ず利用できるようにしなければならない．

設計プロセス

設計プロセスの基本目的は，“堅牢な設計”を達成することにあると規定されている．“堅牢な設計”とは，当然存在し得るかつ予想し得る原因によって発生するリスクであって，トンネル建造物，もしくは，第3者に被損もしくは損傷が及ぶものは，トンネル建造物の施工設計寿命期間中においては，“ほとんど生じない状態”が確保できている設計である．

変更管理

設計または工事方法の変更で，本プロジェクトもしくは第3者に重大なリスクが及ぶと評価されているものについては，直ちに，加入保険業者に報告しなければならない．

(文責：畑生浩司・鉄建建設)

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析　工博 鈴木 光著

A5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

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

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

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

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	1月25日現在	2月25日現在
正会員	2,075名	2,054名
団体会員	349名	359名
個人会員	1,726名	1,695名
名誉会員	1名	1名
計	2,076名	2,055名

2. 第174回理事会

日　時：平成17年2月24日(木)　12：00～13：00
場　所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」
出席者：理事30名，監事2名　計32名
議　題：①44名の入会と65名の退会を昇任
②第31回通常総会議案および進行計画を承認
③第31回通常総会議案要綱を承認

3. 委員会の開催状況(2月1日～28日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会
山岳トンネル小委員会幹事会：2/16（峰田勲幹事長ほか11名)調査報告書を検討
◎施工技術委員会：2/4（田中健二委員長ほか16名)活動報告と事業計画を検討
山岳工法小委員会：2/4（飯田廣臣委員長ほか22名)活動報告と事業計画を検討
ITA長大トンネル対応分科会：2/25（田村栄二郎主査ほか3名)ITAワークショップ報告
支保幹事会編集分科会：2/10（蛭子清二幹事ほか13名)編集方針を検討
TBM工法小委員会幹事会：2/24（佐溝時彦幹事ほか4名)原稿を検討
都市トンネル小委員会幹事会：2/16（北川滋樹幹事ほか7名)作業計画を検討
◎研究開発委員会：2/23（大久保誠介委員長ほか14名)海外文献を査読
トンネル技術白書小委員会：2/4（朝倉俊弘委員長ほか28名)作業中間報告
同　Aグループ打合せ会：2/15（小野田滋主査ほか8名)編集方針を検討
同　B1，B2グループ合同打合せ会：2/25（木梨秀雄幹事ほか9名)作成方針を検討
◎保守管理委員会：2/2（吉田幸一委員長ほか11名)検査手法原稿を検討
◎支保構造合理化特別検討会：2/22（西村和夫委員長ほか17名)原稿を検討
◎都市トンネル施工特別委員会幹事会：2/16（蒋宇静幹事長ほか13名)原稿を検討
◎長期耐久性向上特別検討会保全WG：2/17（高橋正志主査ほか11名)原稿を検討
同　改築WG：2/21（畔高伸一主査ほか8名)原稿を検討
◎東北新幹線トンネル施工技術委員会：2/3（足立紀尚委員長ほか55名)施工法を検討
◎筑紫トンネル特別委員会：2/22，23（樗木武委員長ほか36名)現地を視察
◎川崎縦貫高速鉄道線コスト縮減検討委員会幹事会：2/9（末富裕二幹事ほか17名)まとめ他を検討
◎新埋戻し材対策特別委員会：2/18（赤木寛一委員長ほか23名)配合試験結果を検討
◎13号線交差部特別委員会：2/18（小山幸則委員長ほか14名)現地を視察
計　21回開催　362名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：2/3（日月俊昭委員長ほか11名)決算ならびに予算を検討
同　同：2/24（日月俊昭委員長ほか9名)理事会議題を検討
企画運営幹事会打合せ会：2/18（土屋幸彦幹事長ほか7名)決算ならびに予算案を検討
◎国際委員会
企画調整幹事会：2/1（鈴木篤幹事長ほか7名)COB交流会議テーマを検討
国内広報WG：2/24（小島健一幹事長ほか6名)海外文献の査読
◎会誌委員会：2/3（橋本定雄委員長ほか13名)3月号の会誌と3か月計画を検討
◎事業委員会：1/26（桑原彌介委員長ほか16名)催物事業計画
計　6回開催　59名出席
合計　27回開催　421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12回オーストラリアトンネル会議「よりよき都市に向けてのトンネル技術」	2005. 4.17～20	ブリスベーン(オーストラリア)	12th Australian Tunneling Conference 第12回オーストラリアトンネル会議事務局	http://www.tunneling2005.com
第31回 ITA総会およびコングレス「地下空間利用：過去の分析と未来への教訓」	**2005. 5. 7～12**	**イスタンブール(トルコ)**	**TRA Turkish Road Association トルコ道路協会 国際トンネル協会**	http://www.ytmk.org.tr
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

第31回通常総会開催のお知らせ

日　時：平成17年5月20日(金)16：00～
場　所：東京商工会議所
議　題：総　会(7F「国際会議場」)
第1号議案　平成16年度事業報告について
第2号議案　平成16年度収支決算について
第3号議案　平成17年度事業計画について
第4号議案　平成17年度収支予算について
第5号議案　役員の選任について(任期満了に伴う改選)
理事会　5役互選
その他：設立30周年記念講演(7F「国際会議場」)　17：00
設立30周年記念祝賀会(8F「スカイルーム」)　18：00

5月号予告[5月1日発売予定]

●押し出し性地山を克服するための戦略メニューの提案
●新潟県中越地震における鉄道トンネルの被害
●箕面有料道路　山岳トンネル築造工事(南工区)
●都営新宿線　一之江駅自転車駐車場連絡通路等土木工事
●JTA-COB第7回技術交流会議報告
【連載講座】
●山岳トンネルにおける工事用機械の選定(19)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

■いやな花粉の季節がやってきた．しかも今年は例年以上の量だとか．寒い冬が終わって，心ウキウキの春なのに，花粉症で憂鬱な日々を送っている人が多い．今や国民病である．花粉症の経験がないのでほっとしている人も突然発症するというから油断は禁物である．いろいろな対策グッズがテレビのCMや電車広告で目につく．花粉症の経済効果は何千億円にもなるという．不況知らずの業界である．しかし，花粉症にかかると仕事の能率が落ち，労働意欲も減退するわけで，日本の経済に与える損失も甚大である．
■最近，住んでいる街並み景観がすっきりして広々としたなぁと思っていたら，電信柱がなくなっていた．電線の地中化が進められている．でもその率は，03年で東京23区が5.2%，大阪は2.2%だという．一方，ロンドン，パリ，ボンでは100%．ベルリンは99.2%，ニューヨークは72.1%と高く，世界の主要都市と比べ日本は電信柱がまだまだ乱立している．国交省は景観改善という理由に加え，「地中化すれば耐震性も増す」と強調する．新計画では市街地の幹線道路の無電柱化率を5年で9%から17%へ引き上げ，歴史的景観地区などの整備にも本格着手するという．
■かつて電柱，電線は電気が供給されている証で，いわば近代化のシンボルだった．ところが現在，景観を阻害するばかりでなく，交通や歩行を妨げると悪者扱いされている．電信柱は，犬がおしっこをしたり，尾行中の刑事や探偵が身を隠したりする場所といった役目もあるのだが．

(T.H)

★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4号〔通巻416号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成17年3月20日　印刷
平成17年4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．

マックス・シェルレ　著
推進工法の理論と実際
野田典宏 訳　中本　至・石橋信利・金城英夫 監修
B5判　437頁　税込 8,925円　送料450円



本書はドイツ人工学博士マックス・シェルレの著「Scherle Rohrvorieb」の翻訳本である．挿図を多く用い推進工法の理論をわかりやすく解説している．研究・開発，計画・設計，あるいは，施工に携わる多くの実務者に最適．

〈主 要 目 次〉
第1章　推進工法の技術
第2章　推進工法の機械・器具
第3章　推進管に作用する荷重とその計算方法
第4章　推進工法の計画，設計および施工
第5章　管布設の欠陥と損傷

推薦のことば

推進工法によって，下水道をはじめ多くの管渠が布設されている．下水道については1960年にはわが国の普及率は15%に過ぎなかったが，今日では60%近くになっている．当初，年間1500kmしか施工実績がなかったが，近年の施工延長は年間15000kmになっている．下水管渠の施工方法の選定にあたって，施工条件や建設環境，地下埋設物や地盤条件などの関係から，開削工法より推進工法などの特殊工法が選定されることが多くなり，その中でもとくに推進工法の適用は多くなった．ところが，わが国では推進工法に関する実務書は多いが理論面を記述したものはあまり見当たらず，推進工法の一層の発展のためにも理論書が求められていた．

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

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

中本　至・石橋信利・金成英夫

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，下記の申込書に部数・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

《書 籍 申 込 書》
推進工法の理論と実際　　冊 申し込みます

住所(〒　　－　　)

事業所名

TEL

部課名　　申込者　　㊞

【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　　㊞

現在から未来への地球環境を見つめる土木専門図書

トンネル工学

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
B5判　285頁　税込4,893円（〒340円）

セグメントの新技術
監修　小泉　淳
B5判　132頁　税込2,100円（〒290円）

推進工法の理論と実際
野田典宏 訳　中本至・石橋信利・金城英夫 監修
B5判　437頁　税込8,925円（〒450円）

山岳トンネルの新技術
ジェオフロンテ研究会編
B5判　500頁　税込15,301円（〒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6,116円（〒340円）

わかりやすいトンネル技術入門
＜都市トンネル編＞
橋本定雄・松本崇義・松本正敏　共著
A5判　204頁　税込2,940円（〒290円）

トンネル工事の衛生と環境保全
臼谷三郎・橋本康孝・友田　孝　共著
A5判　211頁　税込3,360円（〒340円）

岩盤工学・地質工学

地下水の科学Ⅰ～Ⅲ（全3巻）
P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著
地下水の科学研究会　大西有三　監訳
第Ⅰ巻　地下水の物理と化学
B5判　235頁　税込4,281円（〒340円）
第Ⅱ巻　地下水環境学
B5判　252頁　税込4,485円（〒340円）
第Ⅲ巻　地下水と地質
B5判　197頁　税込3,873円（〒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　共著
B5判　444頁　税込10,290円（〒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（〒340円）

岩盤の計測と解析
鈴木　光　著
A5判　244頁　税込4,410円（〒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（〒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（〒340円）

わかりやすい土木地質学入門
池田和彦・大島洋志　共著
A5判　224頁　税込1,995円（〒290円）

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）

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

土木一般・その他

海洋資源開発
稲田善紀　著
A5判　247頁　税込3,570円（〒340円）

ジオテキスタイル設計マニュアル
T.A.Jaliburton・D.Lawmaker・V.C.McGuffer共著
田中　茂・山岡一三・廣田泰久　共著
A5判　405頁　税込8,400円（〒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　220頁　税込1,260円（〒210円）

きみも金鉱を発見できる
石井康夫　著
新書判　200頁　税込1,029円（〒210円）

※FAXでのお申込みは03-3267-2807

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

TAIKU

CL301E型
カッタローダ



強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

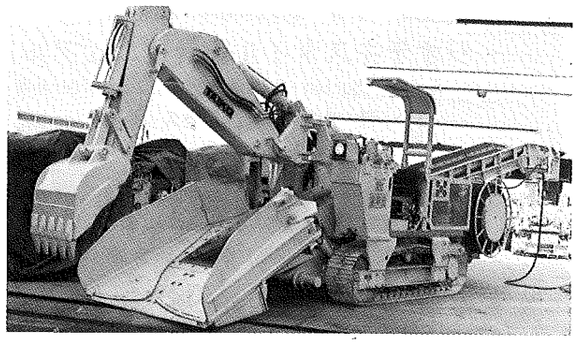
特長

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



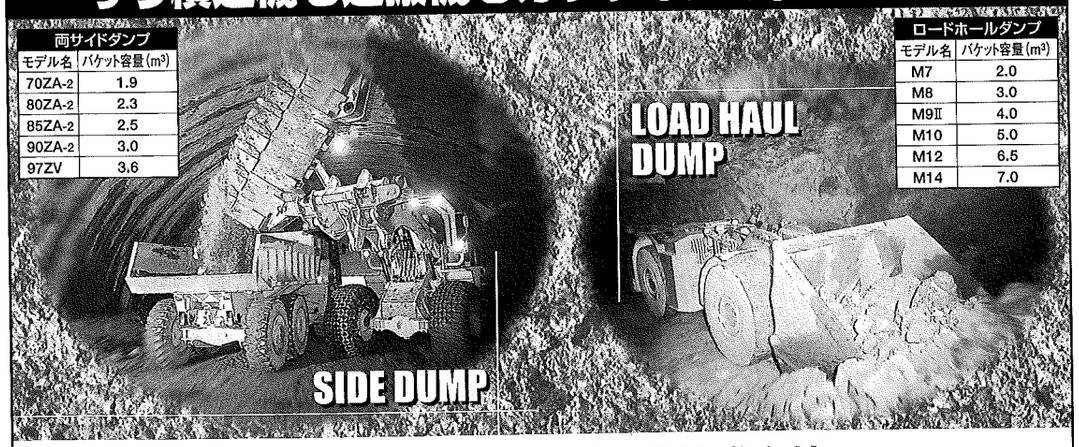
コンパクト
■クラス最小の車体寸法
・全長7,940 mm
■クラス最小の回転半径
・5,850 mm
（後輪軸リフトアップ時）

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

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/