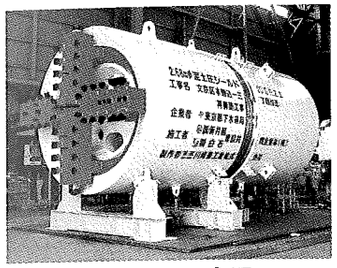
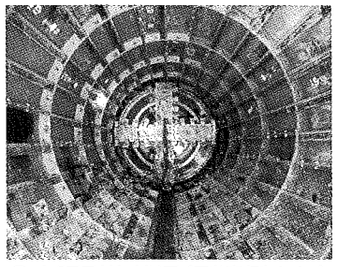
内胴引抜再利用型シールド工法

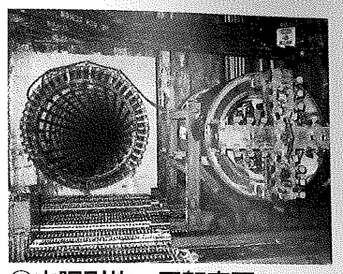
DSR(Draw a Shield for Recycle system)



①シールドマシン全景



③内胴引抜状況(到達側より)



④内胴引抜・回転完了

先行掘進工区
(内胴回収工区)

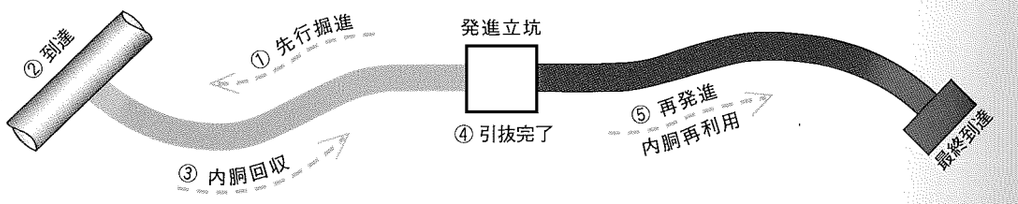
掘進可能距離は通常のシールド工法に準じます。経済性を考慮する必要がありますが、引戻可能距離に制限はありません。最小曲線半径は10Rです。

立　坑

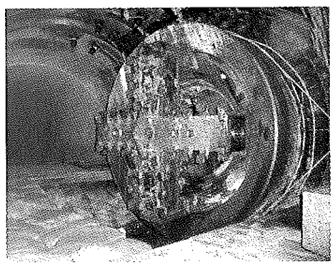
発進立坑および発進基地は、路線内で自由に選定可能です。

再発進工区
(内胴再利用工区)

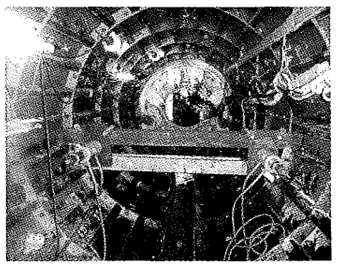
掘進可能距離は通常のシールド工法に準じます。最小曲線半径は10Rです。



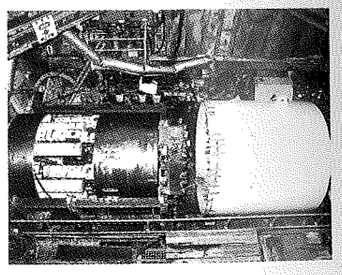
②先行掘進到達



③内胴引抜状況(発進立坑より)



⑤再発進・新規外胴取付状況



DSR工法研究会

web.　http//www.dsr.gr.jp/
E-mail. jimukyoku@dsr.gr.jp

株式会社新井組　株式会社鴻池組　石川島播磨重工業株式会社
株式会社白石　株式会社竹中土木　三菱重工業株式会社
戸田建設株式会社　株式会社間組　川崎重工業株式会社
株式会社フジタ　村本建設株式会社

川崎重工

鉄構ビジネスセンター　土木機械営業部

東京本社：東京都港区浜松町2-4-1(世界貿易センタービル)　〒105-6116　(03)3435-2387～9
関西支社：大阪市北区堂島浜2-1-29（古河大阪ビル）　〒530-0004　(06)6348-8255

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-3
4910066190354
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成17年3月1日発行(毎月1回1日発行)　第36巻第3号　通巻415号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 3

vol. 36
no. 3
2005

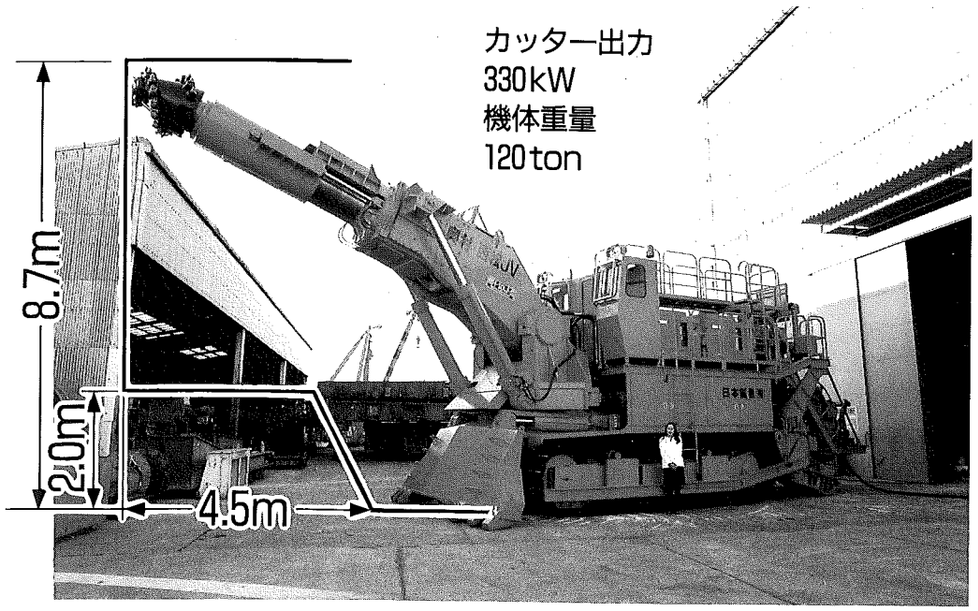
小土かぶりの未固結地山を地盤改良併用の補助工法で施工
小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破
わが国の技術を駆使したバンコク地下鉄
大深度の地中接合を凍結工法で克服
長尺先受け工の挙動に関する現場計測
シールド発進・到達工実態調査報告(3)

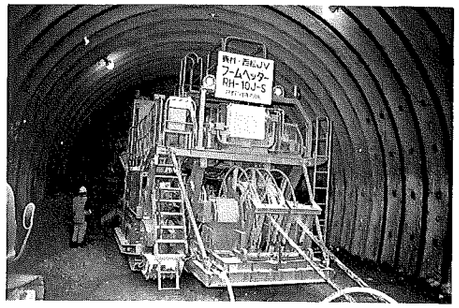
日本トンネル技術協会誌



RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッダー

カッター出力
330kW
機体重量
120ton







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。

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

本社・営業 カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル6階 TEL 03-5733-9441
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139
西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

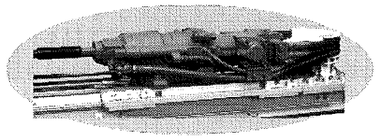
Step-up 21 創造への新たな技術

FURUKAWA

次世代型ホイール式ドリルジャンボ JTH2200R / JTH3200R

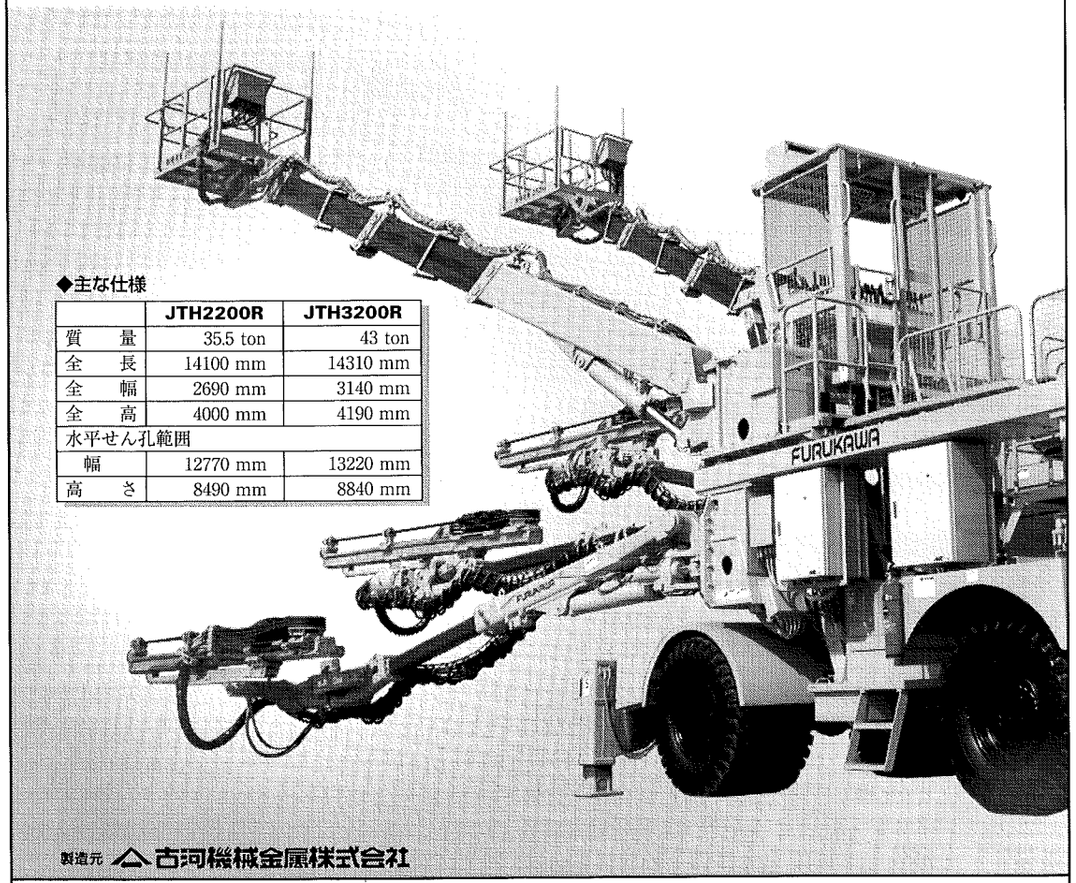
(2ブーム、2ケージ) (3ブーム、2ケージ)

新型油圧ドリフタHD210搭載



新型油圧ドリフタ***HD210***、アルミ製ガイドシェル、ブーム、チャージングケージetc.全ての動きがスピードアップ。
せん孔作業の違いがわかる次世代型ホイール式ドリルジャンボ新登場。

デュアルダンパ内蔵の新型油圧ドリフタ***HD210***搭載。
クラス最高のせん孔性能と消耗品ライフの向上を実現。



◆主な仕様

	JTH2200R	JTH3200R
質量	35.5 ton	43 ton
全長	14100 mm	14310 mm
全幅	2690 mm	3140 mm
全高	4000 mm	4190 mm
水平せん孔範囲		
幅	12770 mm	13220 mm
高さ	8490 mm	8840 mm

製造元 古河機械金属株式会社

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の製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

総販売元 **古河機械販売株式会社** ホームページ：http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/
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 ☎03-3252-2544
札幌支店 ☎011-861-3261 東北支店 ☎022-356-5771 関東支店 ☎027-322-5953 名古屋支店 ☎0568-77-7700
静岡出張所 ☎054-620-1641 関西支店 ☎06-6475-8221 広島支店 ☎082-231-5621 四国支店 ☎087-833-4833
九州支店 ☎092-948-2010
整備工場
関東 ☎0274-60-7011 名古屋 ☎0568-77-6363 関西 ☎06-6475-8461 九州 ☎092-948-2010

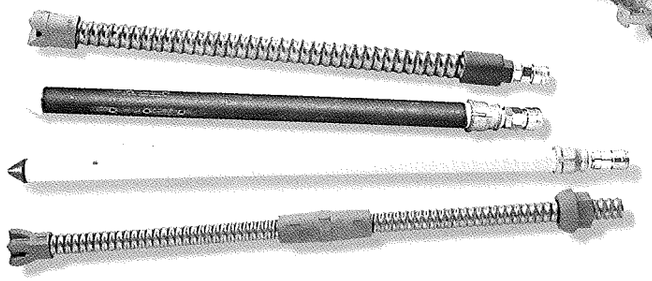
ユニークな発想と高品質・自信の価格



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



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

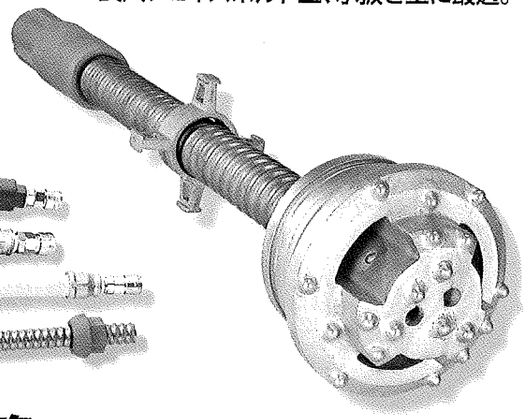
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

※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。



FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。



AGF-SP 工法

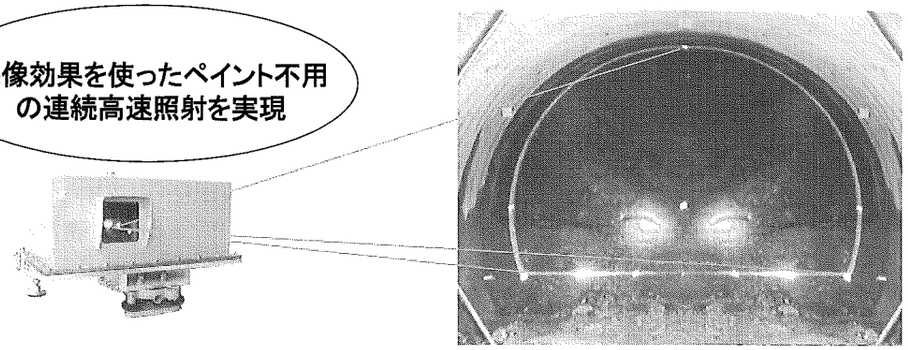
R38自穿孔ボルトで二重管打設してロッドを回収しない、高速・高剛性長尺先受け工法です。坑口などでのミニパイプルーフとして最適。

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

レーザーマーキングシステム

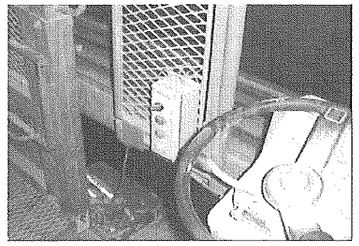
国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現



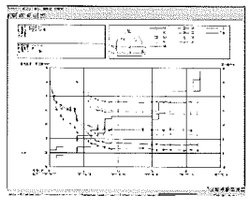


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

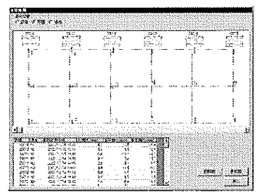


ジャンボに取付けて使用可
AC200V対応

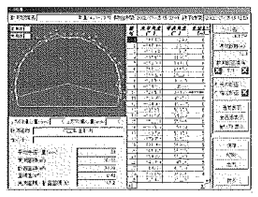
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



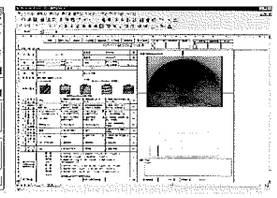
A計測データ処理



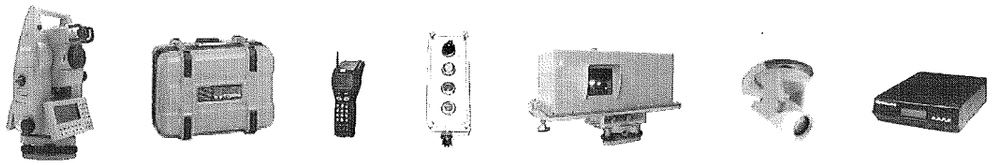
支保工立込精度、変形量



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

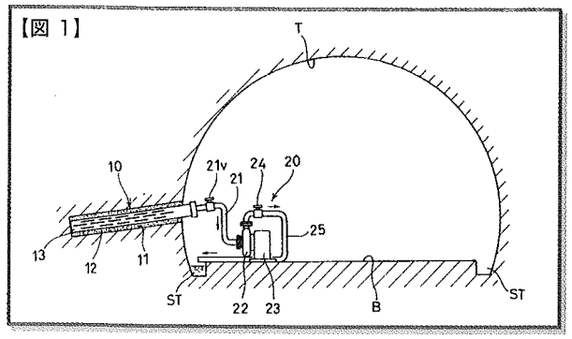


トンネル坑内 湧水濾過処理工法

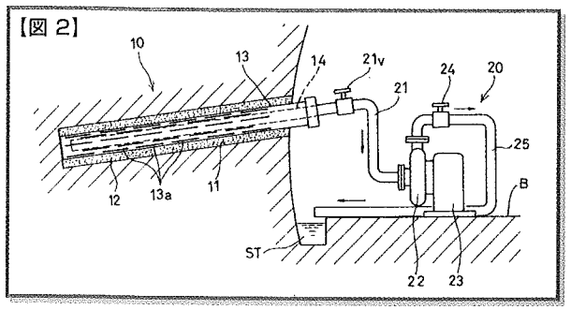
特許 第3497116号

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。

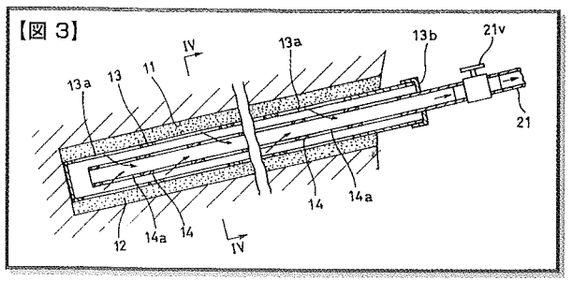
【図 1】



【図 2】

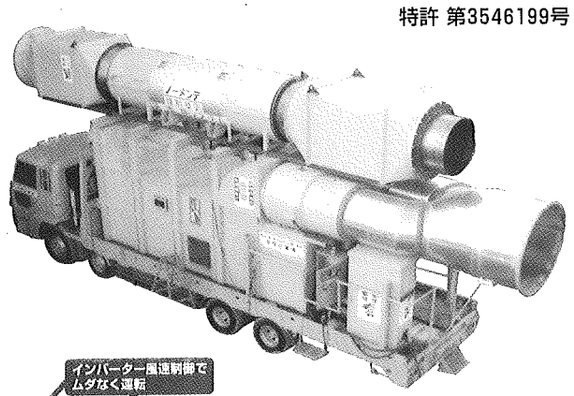


【図 3】



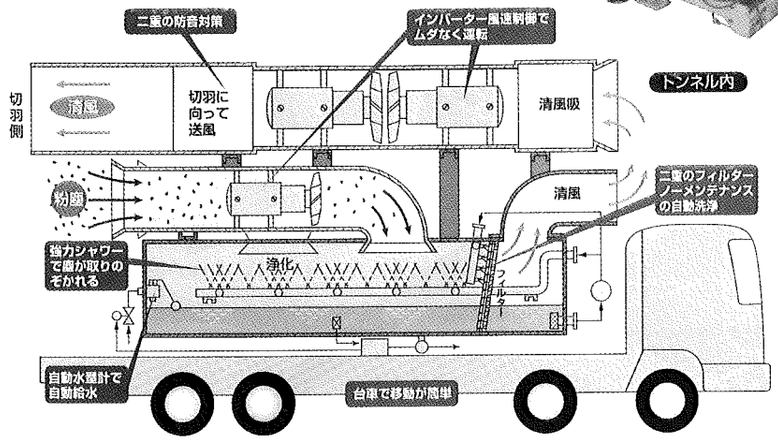
ノーメンテナンス“集塵機”強制換気システム

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 60Hz 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
散水圧力ポンプ	型式			
	吐出量	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min	1,000ℓ/min
	出力	7.5kW	11kW	11kW
	回転数	1,500rpm~1,800rpm	1,500rpm~1,800rpm	1,500rpm~1,800rpm
	装置寸法	L4,500 H2,800 W1,800	寸法は現場のニーズによる	寸法は現場のニーズによる
	能力	セメント粉塵 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カンウント	=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SA163に策あり!



吹付けコンクリートの品質向上と粉じん対策が強く求められる吹付け工事。**「メイコSA163」**は成分中にアルカリ分をほとんど含まない液状急結剤で、作業員に対する安全性が高く、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。

低アルカリ型液状急結剤
メイコ® SA163

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・施工性の改善をするシリカフューム**「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時間まで コントロールする**「デルボクリート」**

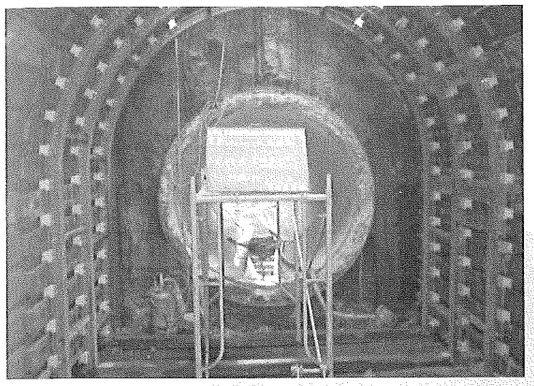
資料進呈／詳しくは、本社UGC営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。

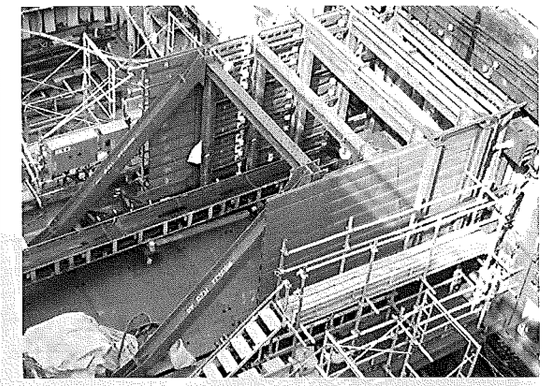
●(株)エヌエムビーは中央研究所と茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

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 TEL03-3582-8811(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.nmb-pbk.co.jp

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)

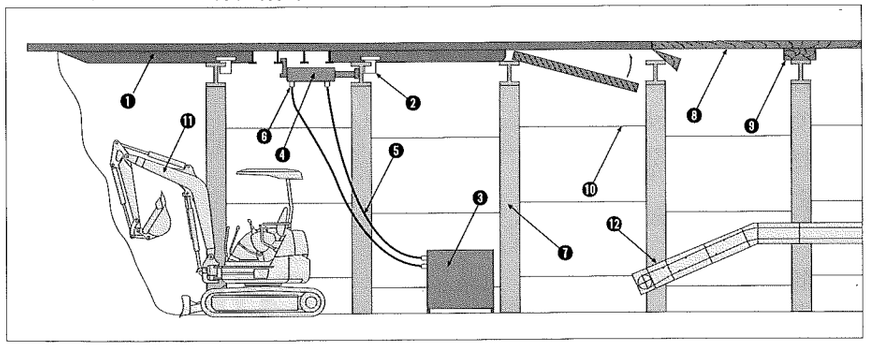
特徴

- ●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/

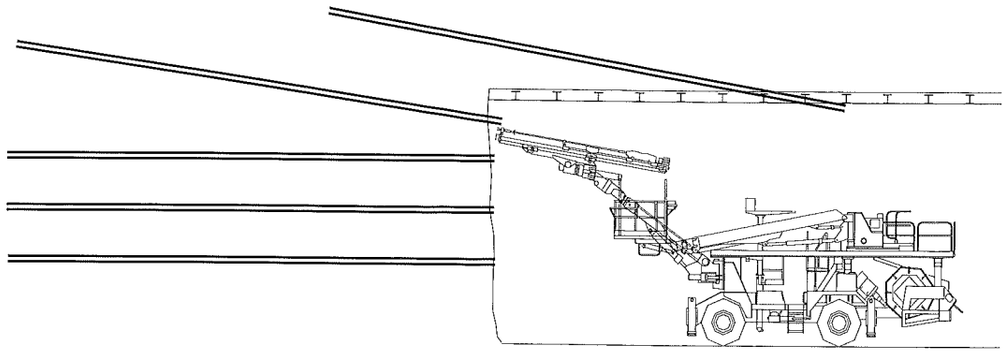
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

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

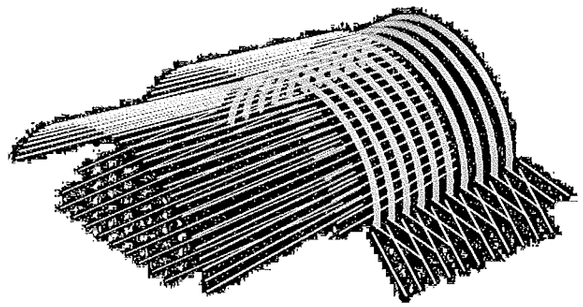
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

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

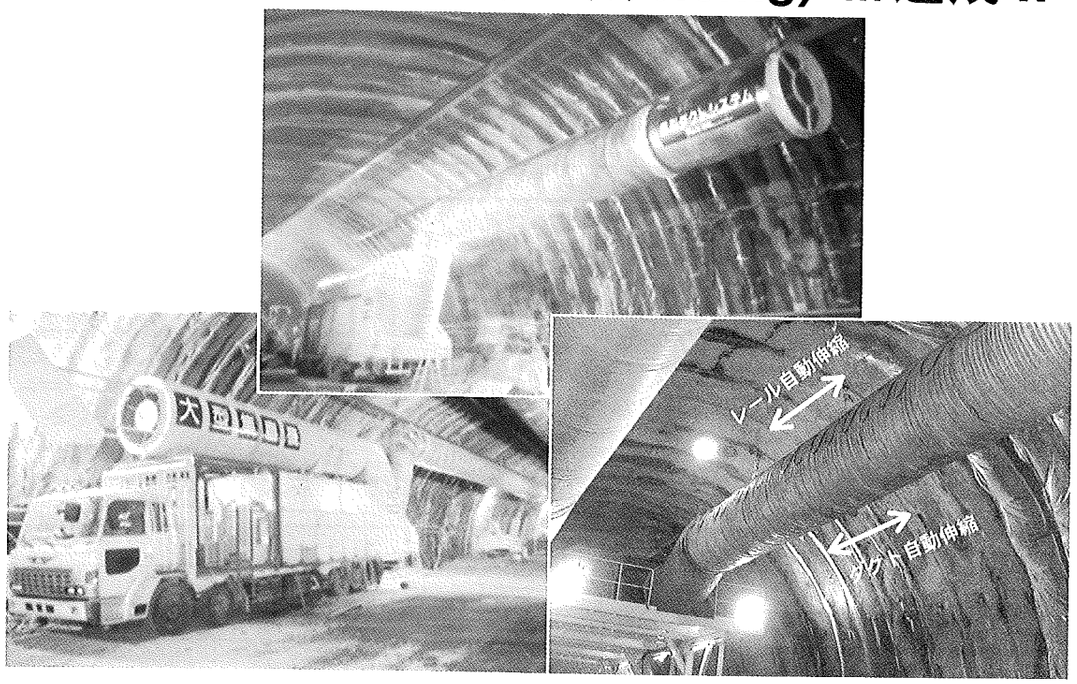
広島事務所　〒735-0022　広島県安芸郡府中町大通1-2-13
TEL 082-285-6601　FAX 082-285-6651

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

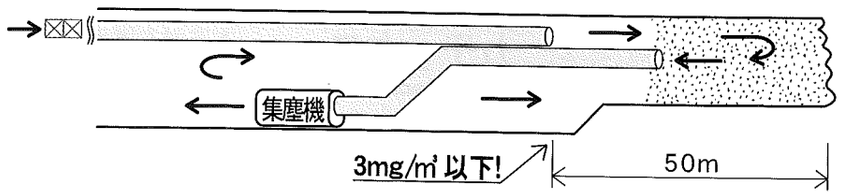
吸引ダクトシステム

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。



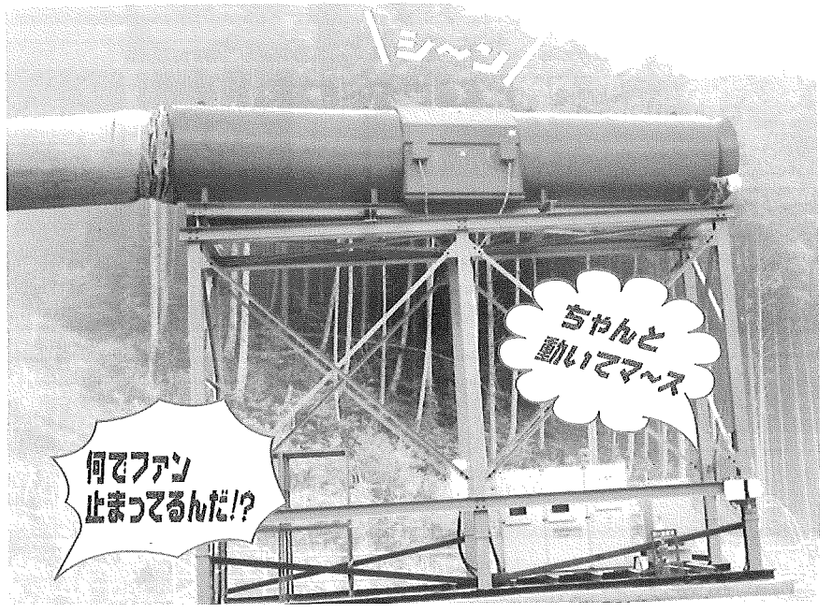
まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

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

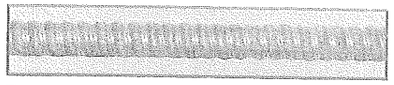
— NATMを支える —

技術と信頼！

ケー・エフ・シーの ロックボルト

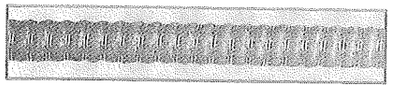
全ネジFRP ロックボルト

CG22S

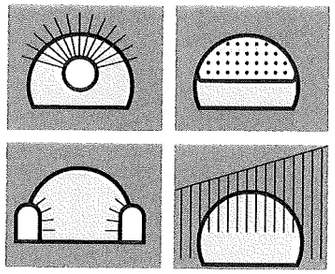


（中実タイプ）

CGR32

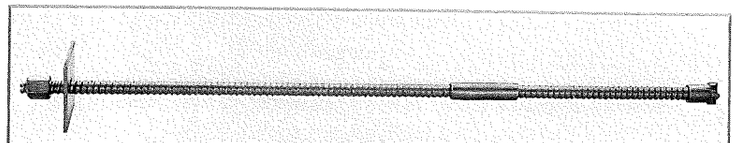


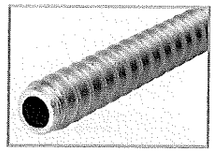
（中空タイプ）

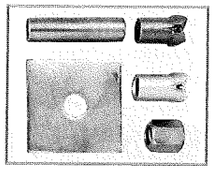


FRPボルトに全ネジ加工することによって、ナット取付け、カプラー接続が簡単にできます。

自穿孔 IBO アンカー





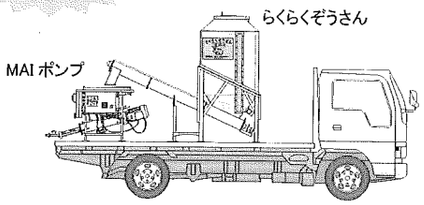


現場での取扱いが非常にし易い R32 ネジを全長にわたって転造した中空ロックボルトです。

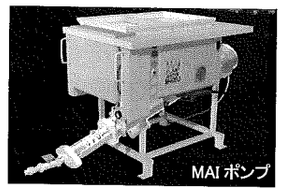
MAI ポンプ＆らくらくぞうさん（モルタル投入システム）

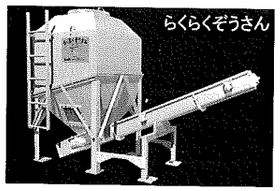
特許第 3256532 号
（らくらくぞうさん）

ECO システム!



現場ゼロエミッションに貢献します。







環境にやさしいパッケージ
「ふたたびくん」

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/

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

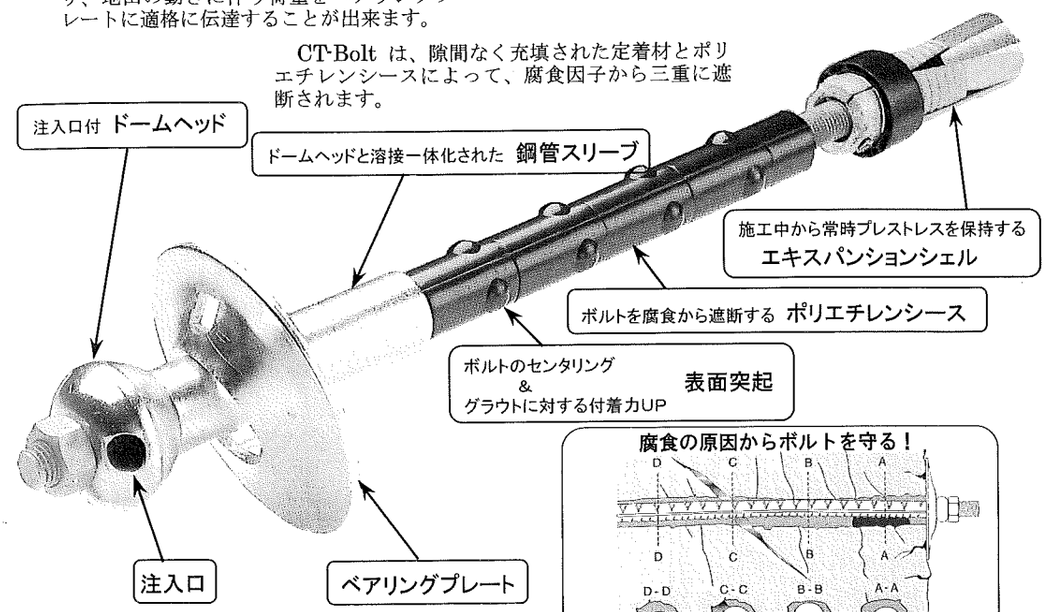
CT-Bolt

Ørsta Stål

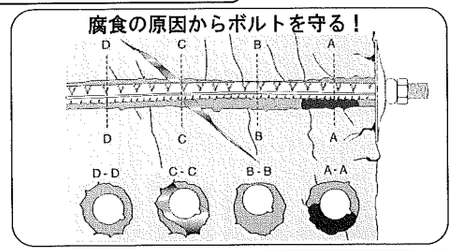
通常施工により超長期支保

CT-Bolt は、施工直後からプレストレスを導入し、特殊半球型ドームヘッドにより、地山の動きに伴う荷重をベアリングプレートに適格に伝達することが出来ます。

CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。

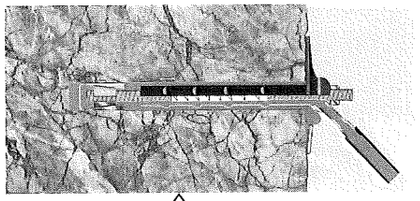


腐食の原因からボルトを守る！



CT-Bolt の定着は・・

即時に支保効果をもたらす先端定着と、時期を選んで行える全面定着グラウト充填のコンビネーションです。施工直後から施工後長期にわたって、ボルト支保効果を最大限に活用することが可能です。ポリエチレンスリーブがボルトを覆う構造により、仮に空洞や偏芯、或いは湧水によって部分的にグラウトが逸失している場合にも、腐食促進成分がボルトと接触しません。



用途：
- 山岳トンネル・海底トンネルに
- 立坑・地下空洞支保に
- 石油備蓄基地等地下施設建設に
- 斜面安定・補強土工に
- その他 腐食対策の必要な地盤に

完全充填

CT-Bolt は、広い範囲の粘度のグラウト注入が可能です。グラウトはポリエチレンスリーブ内に充填された後、先端部から孔壁とスリーブの間を充填して戻り、リターンによって全面定着が確認出来ます。

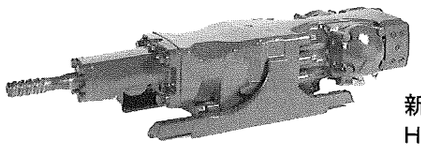
総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

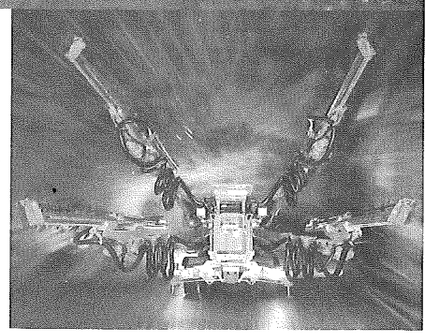
〒105-0014 東京都港区芝 2-5-10
お問い合わせ先 TEL:03-3798-8517
技術部 FAX:03-3798-8850

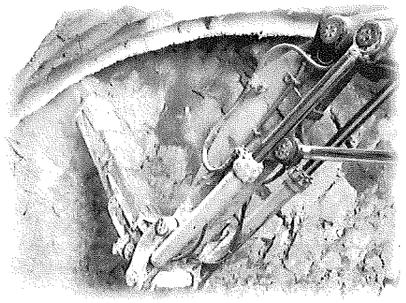


サンドビックトーヨーは、高速さく孔と
作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター
HLX5





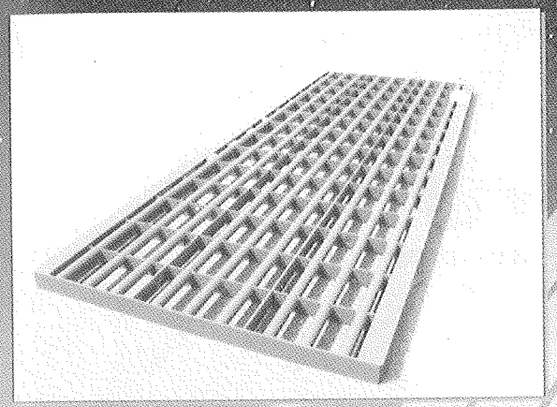
TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

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

NTロードマット

意匠登録済み特許出願中

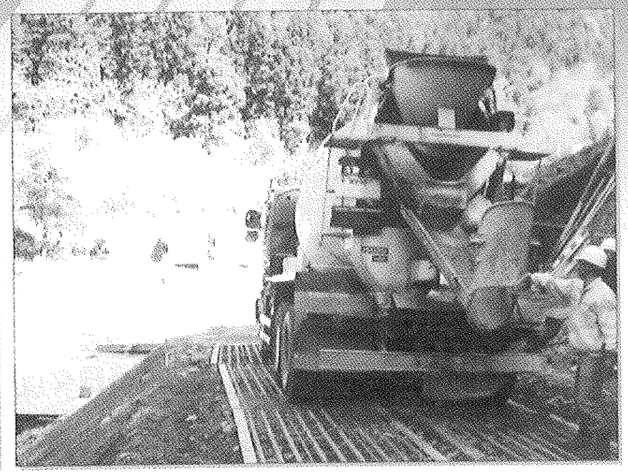


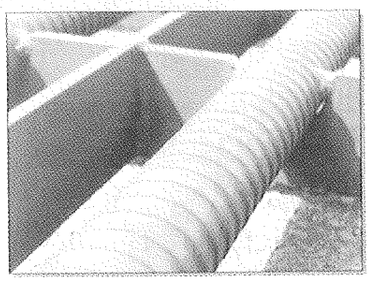
NTロードマットはパイプ表面の溝と
リブによって滑り止め効果が得られ
パイプによって沈み込みを防止し、
安定した仮設道路を作ることができます。

こんな現場に
- 雨や湧水で敷鉄板が滑りやすい
- 泥のタイヤを汚したくない
- 夜間で危ない
- 地盤が沈み込みやすい

是非、お試し下さい。

寸法 4000×1500×90(mm)
質量 440(kg)





製造販売元 △ 日東鐵工株式会社
URL http://www.nittotekko.co.jp

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)　FAX(03)5702-0165

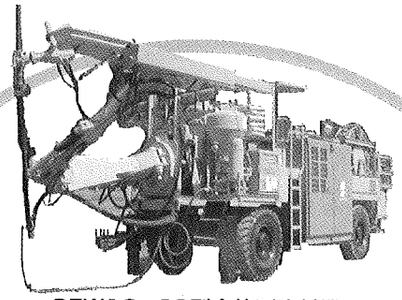
中国営業所　〒700-0824　岡山県岡山市内山下1-5-11　YAF内山下ビル
TEL(086)234-4800(代)　FAX(086)234-4400

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)　FAX(042)774-0939

注:当仕様は改良のため予告なく変更させていただくことがあります。

安心と信頼

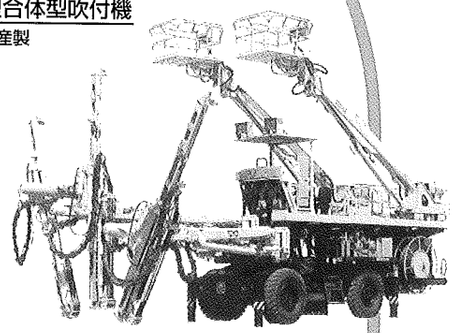
SANKO RENTAL



SFW1C−6S型合体型吹付機
富士物産製



M26型坑内用ダンプ
新キャタピラー三菱製



THMJ3900型ジャンボ
サンドビックトーヨー製

お陰様で20周年を迎えることが出来ました。

〈経験と実績、メーカーとの一体型、安心と信頼〉
を追求し、お役に立つよう日々行動しています。

- ●TotalCost削減の為にサービスマン付レンタルを積極的に展開中です!
- ●メンテナンス対応=ご希望のサービス体制をお聞かせ下さい。
  40名のメンテナンスサービス員が、迅速に対応致します。
- ●ユーザーニーズに合った提供システム=現場のご予算をお聞かせ下さい。
- ●総保有機台数 450台=ブローカーにない強み!途中入替もOK!

トンネル機械の総合レンタル

三興レンタル株式会社

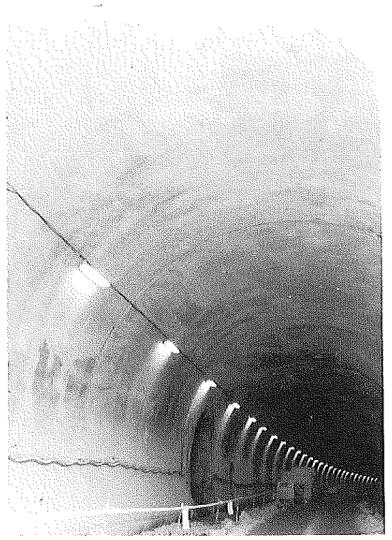
高槻事務所／〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1
TEL0726-77-2101㈹ FAX0726-77-2109

〈協賛〉
サンドビックトーヨー㈱
新キャタピラー三菱㈱
富士物産㈱

コンクリートの劣化，欠陥箇所の改修，補修……

急硬性改修モルタル

ドクターQ改修工法



〈工期短縮，即日仕上り〉

プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

- ■ 短時間で高強度，即日仕上り
- ■ 強力な接着力と収縮，ヒビ割れ防止
- ■ 防水性，防錆力に優れ，中性化防止
- ■ 既調合品で現場管理が簡単

エアモルタル裏込め注入……

エスコート

L&K 起泡剤



- ■強力な分散性と安定した流動性
- ■ノーブリージング
- ■任意の強度の選定
- ■セメント，骨材の種類が任意

◆土木資材の綜合プランナー◆

株式会社 マノール

〒142-0043 東京都品川区二葉1丁目18番8号
TEL 03 (3787) 1131 (代)

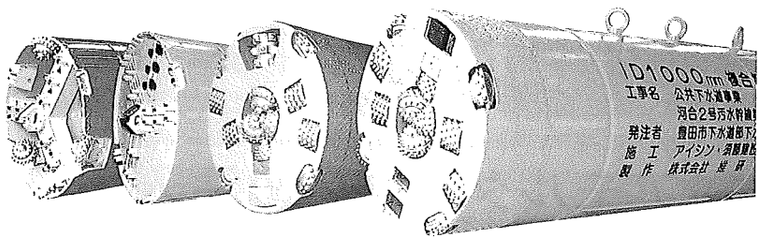
岩盤推進を創めて20年

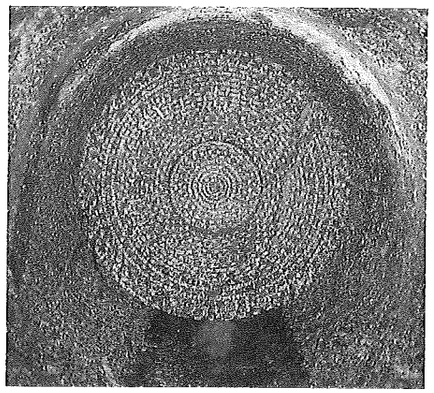
軟弱土から硬岩まで!!

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



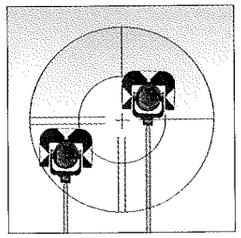


C.M.T工法協会
株式会社 椎研
本　社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029
研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

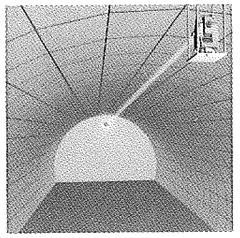




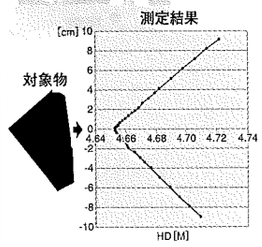
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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。



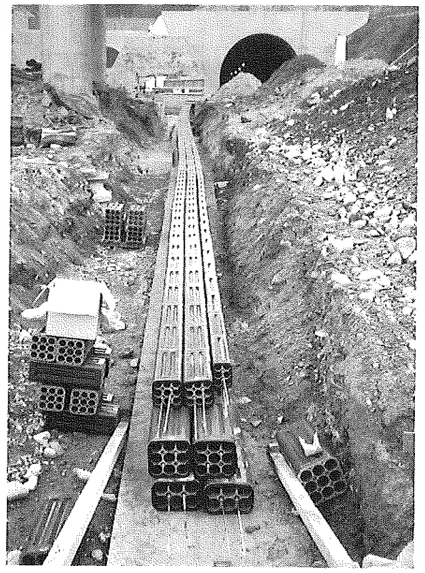
ノンプリズムの距離延長
新特許技術PinPointR300によりノンプリズム測距範囲500mまで可能。これにより、器械のターニング回数が減少。※対象物反射率90%のとき



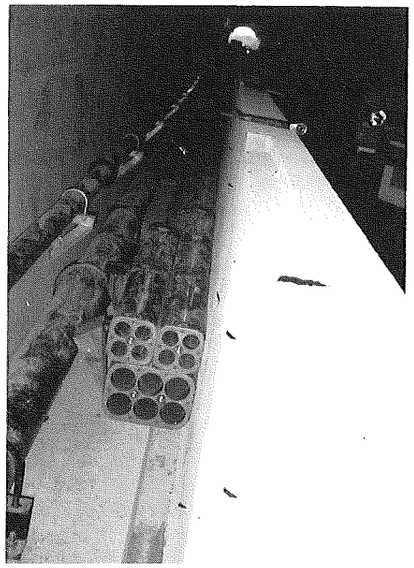
ノンプリズム精度の向上
PinPointR300ノンプリズム測定なら、測定対象物の正確なデータ取得が可能。

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

永久施設に永久管路



▲ 宇治トンネル　〔日本道路公団〕



▲ 関南トンネル〔日本道路公団〕

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管

セラダクト

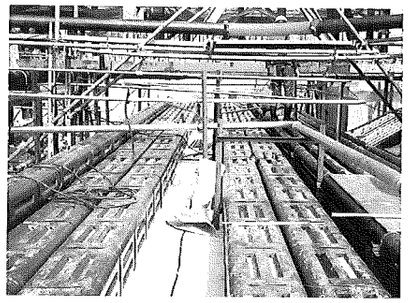
燃えない　錆びない　壊れない

地中配線管路材 (JIS C 3653)

トンネル内の狭い空間の多条数のケーブル布設に最適な管路です



▲川越火力発電所〔中部電力㈱〕



▲ 広野火力発電所〔東京電力㈱〕

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

sugie 杉江製陶株式会社

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

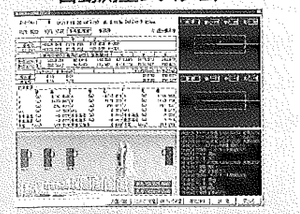
ROBOTEC SURVEY SYSTEM

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

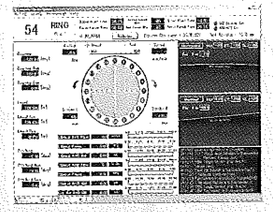
シールド工事における自動測量システムの納入実績は、国内はもとよりアジア地区でNo1となりました。数々の高速・高精度施工の新記録を打ち立て、現在も世界各国の現場で稼動しております。

自動測量システム

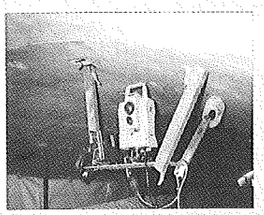


坑内は勿論離れた事務所からの遠隔測量も実現します

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

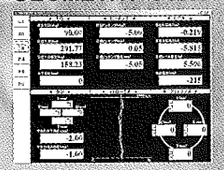
シールド工事向け掘進管理システム

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。

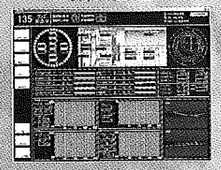
システムタイプ
- 泥土圧　泥水　TBM
- 上下水道　共同溝　地下鉄　道路　etc.
(各々専用のソフトをご用意しております)

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

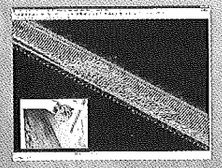
GEOMETRY GYRO



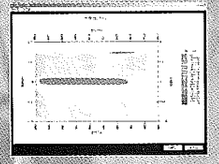
掘進管理



3D土量計測システム



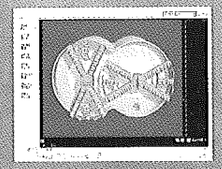
セグメント内空計測



Shiled Broad Band



CG・VR作成



Cyber WORKS

enzan Roubou

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

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

トンネル工事のコストダウンにご利用ください

高効率・低粉じん

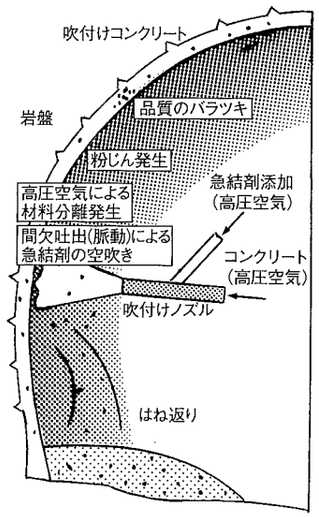
SEC吹付けコンクリート

建設技術審査証明（平成15年土木研究センター建技審証第0309号）

【性能向上のために分割練混ぜ（SEC）をしたコンクリート】

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

吹付けコンクリートの課題



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

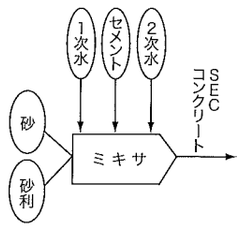
SECの造殻効果

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

高品質吹付けの効果

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

SEC対応のバッチャープラント



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

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

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

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

SECコンクリート機械協会がお手伝いさせて頂きます。

SECコンクリート機械協会

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

事務局　〒104-0031　東京都中央区京橋2丁目2-15　登亭京橋ビル　リブコンエンジニアリング㈱内
電話03（3275）8011㈹　FAX03（3275）8015　協会 http://www5.ocn.ne.jp/~ seckikai/index.htm

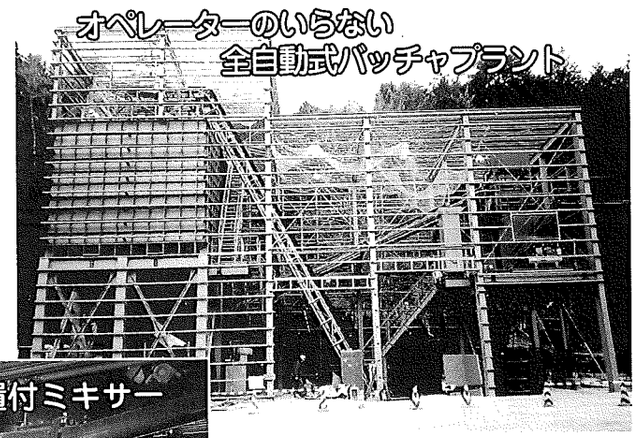
高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

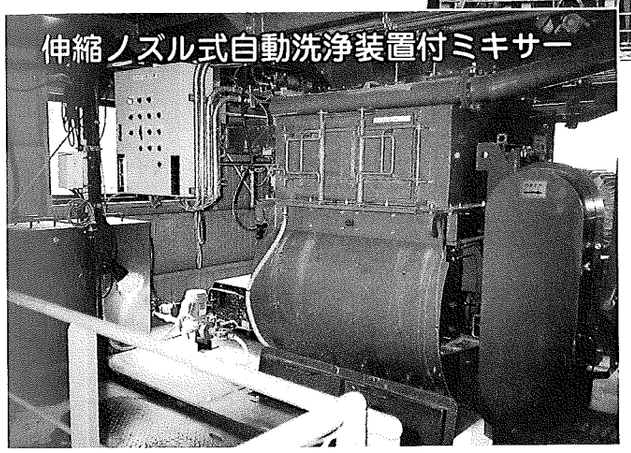
全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は名岐の自動スランプにおまかせ下さい。





■MKS-500KBE-TME型

長工期トンネルに適し人件費の大幅削減！

■生コン洗浄水処理装置

ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

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

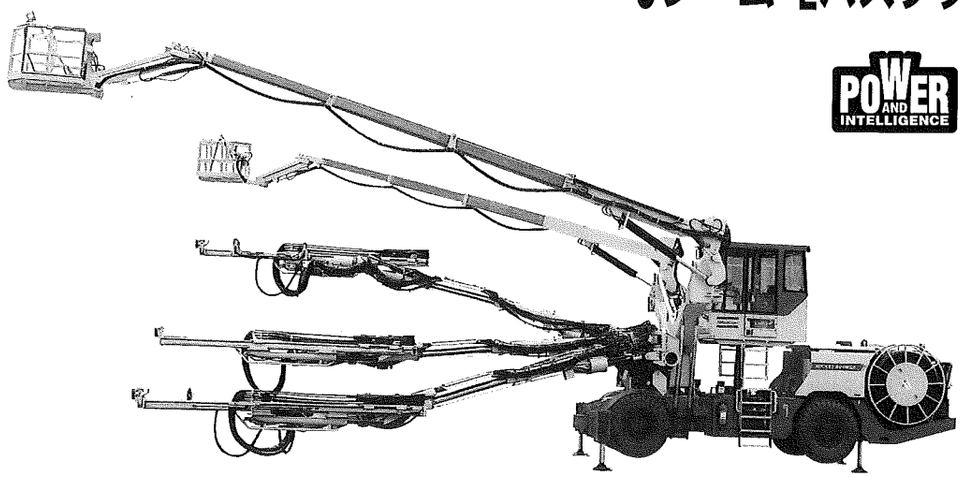
名岐機器株式会社

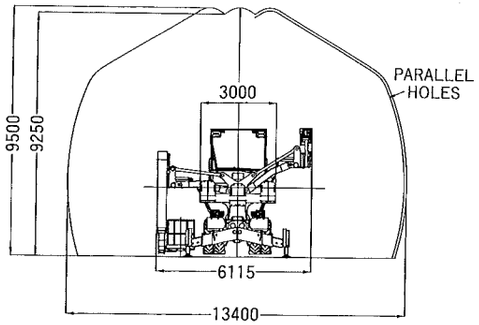
本社　岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227　TEL（0584）35-3735㈹　FAX（0584）35-3736

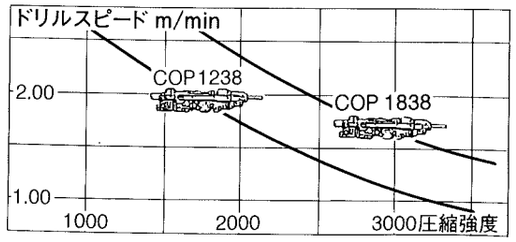
本巣工場　岐阜県本巣市神海
〒503-1235　TEL（0581）32-5066　FAX（0581）32-5565

アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

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



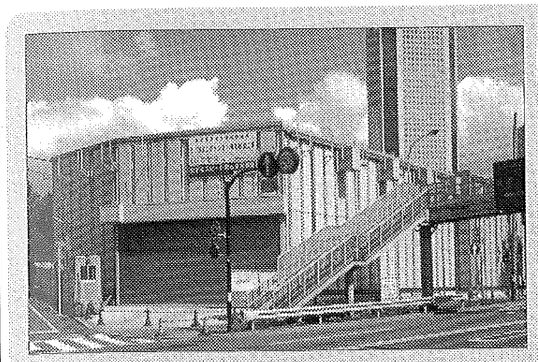




ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

本　　社　〒116-0013　東京都荒川区西日暮里2-23-11
TEL(03)3806-3377番　FAX(03)3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL(078)802-5551番　FAX(078)802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL(0942)43-5315番　FAX(0942)43-5832番
飛騨高山営業所　〒506-0021　岐阜県高山市名田町4-3 ハイム楓2-2
TEL(0577)33-8466番　FAX(0577)32-3634番
焼津営業所　〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1
TEL(054)620-7301番　FAX(054)620-7303番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡加美町大袋川端454-3
TEL(0795)36-0461番　FAX(0795)36-0467番

大丸の防音システム

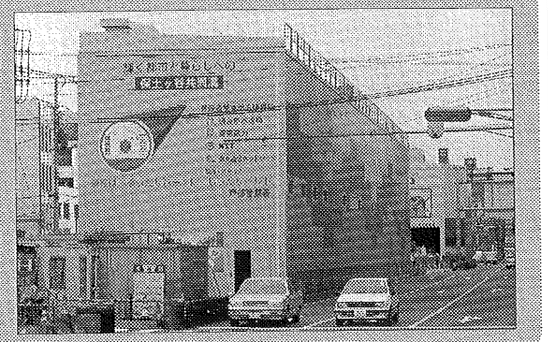


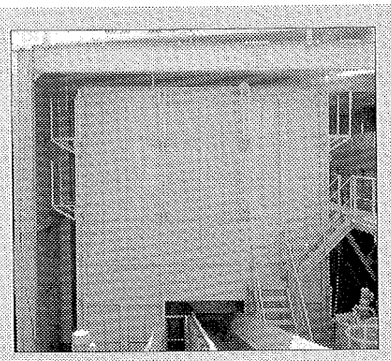
サイレントハウス(Bタイプ)

- 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

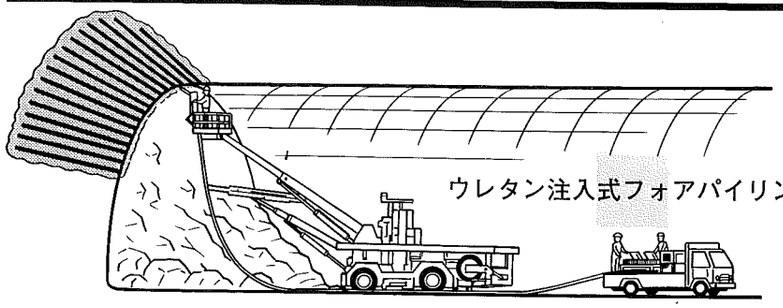
http://www.daimaru-bouon.co.jp
本　社　〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1　TOMACビル2F
TEL.03-3537-6700（代表）　FAX.03-3537-6701
営業所　〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151　FAX.06-6821-6477

BRIDGESTONE

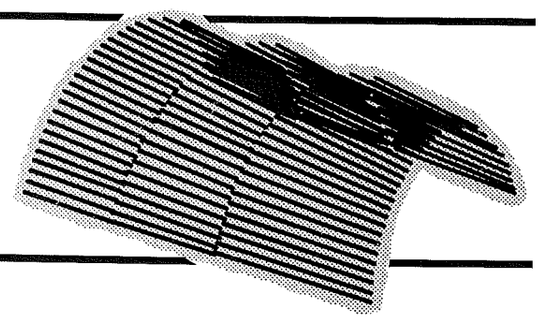
厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

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

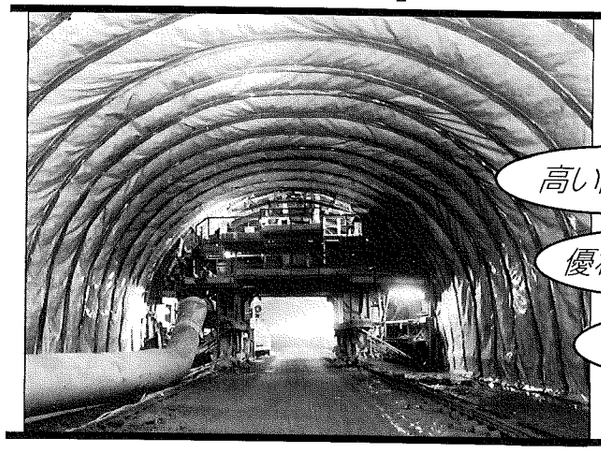


ウレタン注入式フォアパイリング



注入式長尺先受工法
（AGF工法）

ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

優れた耐久性

容易な施工性

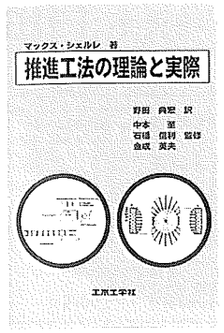
株式会社ブリヂストン　土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話　東京(03)5202-6870

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　　㊞

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

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



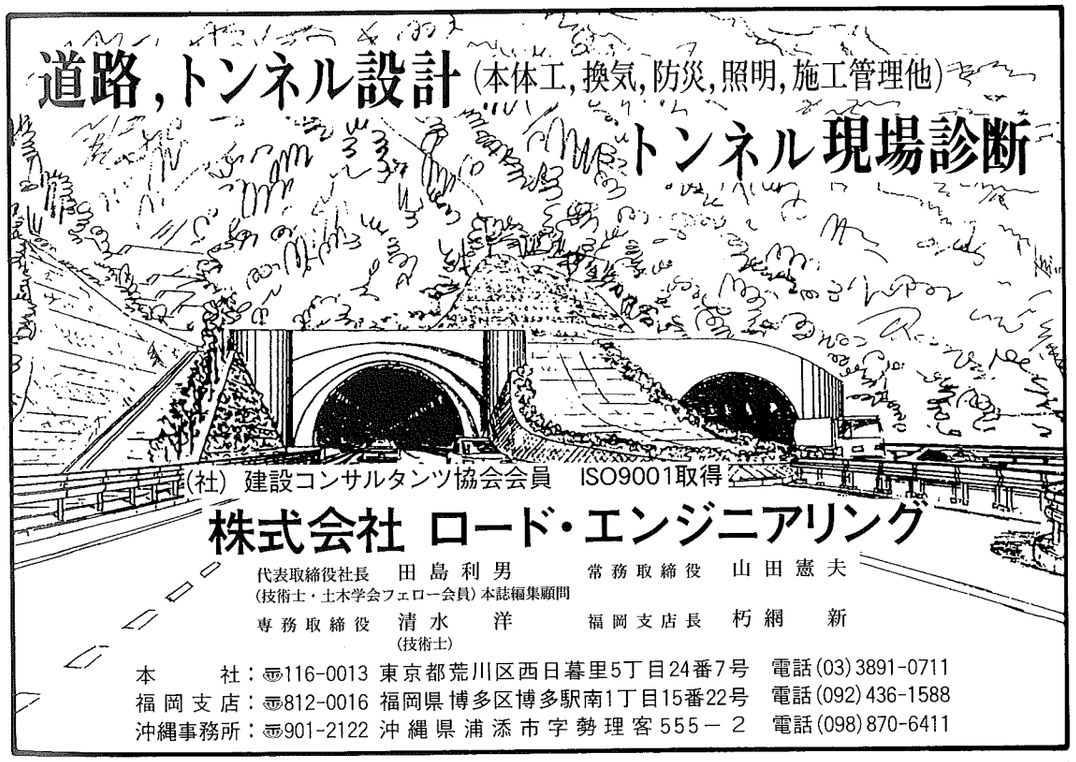
建設車両のタイヤのパンク、磨耗、破損を大幅に低減、車両の有効利用、修理に伴う人件費の削減等、工事の進捗に大いに貢献します。
- タイヤ間の間隙が無いため石を噛まない
- サイドの切断に強い
- 石および普通釘に強い
- 弾性波

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(代)　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)

道路，トンネル設計（本体工，換気，防災，照明，施工管理他）
トンネル現場診断

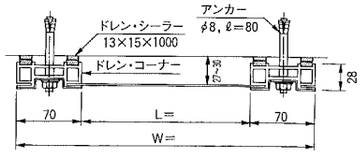


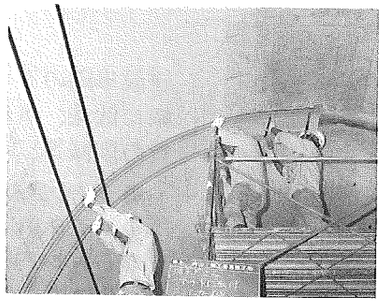
(社)建設コンサルタンツ協会会員　ISO9001取得
株式会社 ロード・エンジニアリング
代表取締役社長　田島利男　常務取締役　山田憲夫
(技術士・土木学会フェロー会員) 本誌編集顧問
専務取締役　清水　洋　福岡支店長　朽網　新
(技術士)
本　社：〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目24番7号　電話(03)3891-0711
福岡支店：〒812-0016 福岡県博多区博多駅南1丁目15番22号　電話(092)436-1588
沖縄事務所：〒901-2122 沖縄県浦添市字勢理客555－2　電話(098)870-6411

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

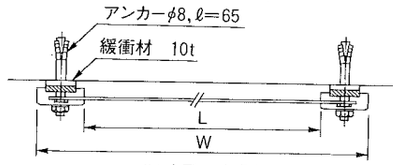
■特　徴
・漏水幅に応導水幅の選択が可能
・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
・寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

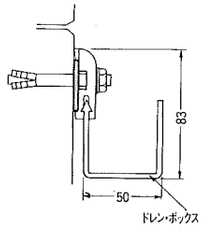
アーチ・パネル



JH 水戸　大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン

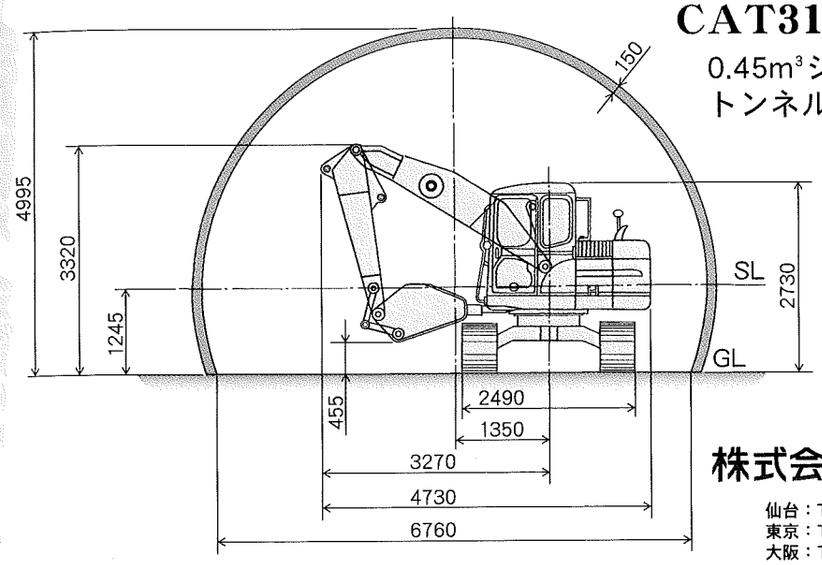


■特　徴
・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

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

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。

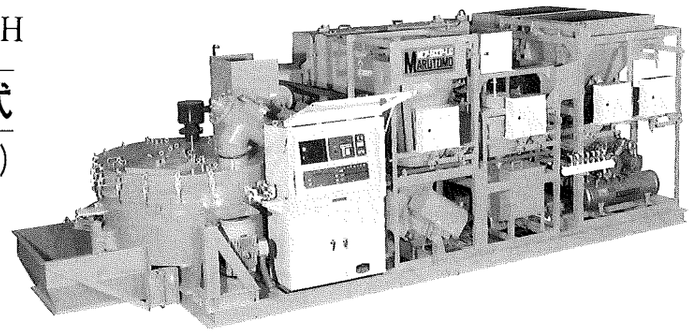
コンパクトで計量精度は抜群…

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）

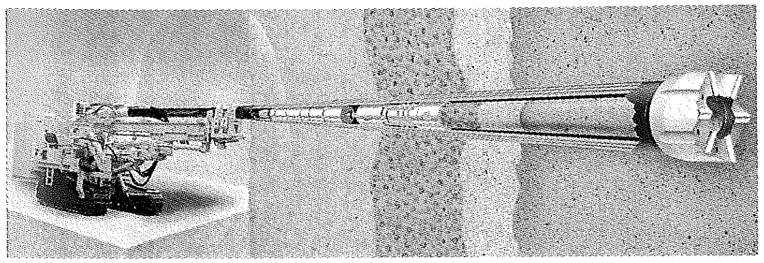


丸友機械株式會社

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)

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。

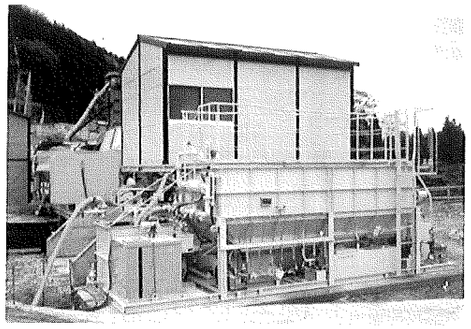
KOKEN 鉱研工業株式会社
本　社　〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
TEL (03)3366-3111(大代表)　FAX (03)3366-3341

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/

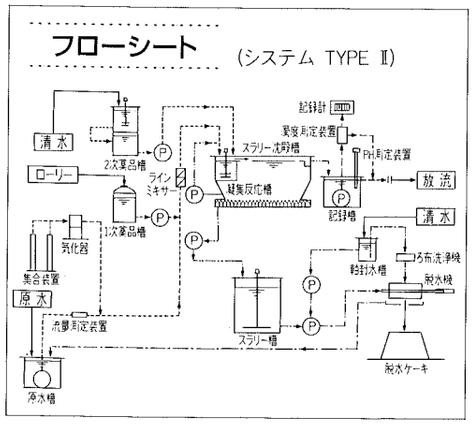
TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力

Waste Water Treatment System



フローシート (システム TYPE Ⅱ)



特　長

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

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

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

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

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

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

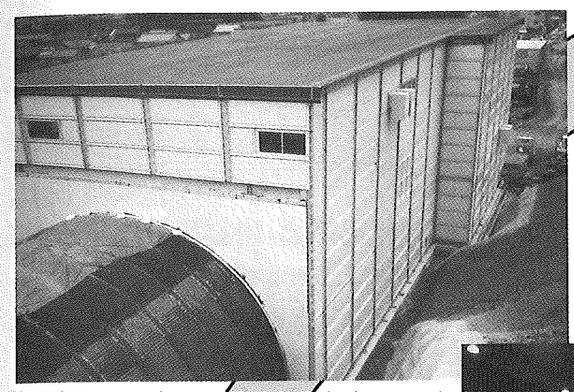
6．豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置（異状警報装置と連動）
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置（エアレーション装置等）
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動沪布洗浄装置

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

詳細資料請求、お問い合わせは

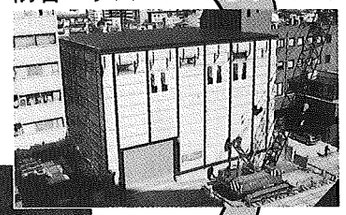
株式会社 フジテックス
本社　〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (076)452-1616㈹　FAX (076)452-1617

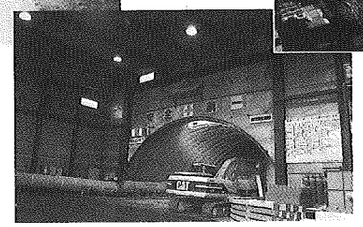
快適な環境を尊重し、理想の作業スペースをクリエイトする



防音シェルター　Dタイプ(デラックス)

防音ハウス Dタイプ(デラックス)



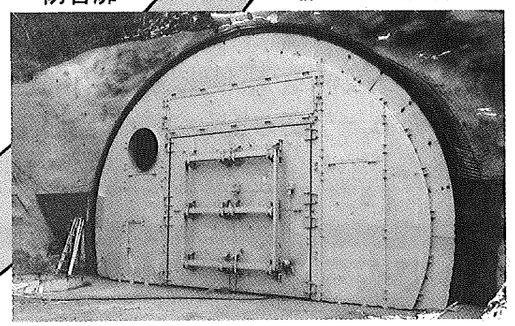


シェルター:ハウス内部



防音壁　Sタイプ(スタンダード)

防音扉　新マークⅡcタイプ



ISO9001認証取得　防音設備の設計、製造、施工、リース:MSA-QS-2351

◆計量証明事業登録 騒音レベル第913号 ◆建設業登録 とび・土工工事業(般-12 第75054号)

ヒューズ工業株式会社
FUSE INDUSTRIES CO.,LTD.

本　社　〒132-0035 東京都江戸川区平井6-35-5 HFビル　TEL03(3617)8111 FAX03(3617)7565
大阪営業所　〒531-0072 大阪市北区豊崎3-15-19 東洋東ビル　TEL06(6359)2611 FAX06(6359)2288
つくば資材センター　〒304-0824 茨城県結城群千代川村大字村岡998-1　TEL0296(30)7888 FAX0296(30)7655
URL http://www.fuse-ind.co.jp　E-mail info@fuse-ind.co.jp

トンネルと地下　3月号目次　Vol.36, No.3, 2005 Mar.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

地震とトンネルと謙虚さ
吉田　幸一……5

■研　　究

長尺先受け工の挙動に関する現場計測
笹尾　春夫……49

■報　　告

シールド発進・到達工実態調査報告(3)
ＪＴＡ都市トンネル小委員会……61

■施　　工

小土かぶりの未固結地山を地盤改良併用の補助工法で施工
―北陸新幹線　第１黒部トンネル―
矢部　司彦・土井　充・奈良　聡……7

小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破
―第二東名高速道路　引佐第二トンネル―
田山　聡・竹國　一也・神澤　幸治・平野　宏幸……15

わが国の技術を駆使したバンコク地下鉄
―チャロム・ラチャモンコン線建設工事―
大月　喜雄・山本　昭・浅上　裕司……27



CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

大深度の地中接合を凍結工法で克服
―東京都下水道　南台幹線シールド―
芝山　浩司・浅川　康・清水　伸彦・城　俊明……37

■連 載 講 座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(17)
TBM(4)－付属設備(掘進自動制御)－
「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(13)
ロングジャッキ式同時施工シールド工法，ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法
白井　伸一・日比谷　穣・永森　邦博・小倉　剛……79

■現場だより

「百万石の景観都市」金沢より
柴田　宗明……36

■資　　料

トンネル千夜一夜(３)
小野田　滋……46

土木情報
編　集　部……48

トンネルジャーナル
編　集　部……59

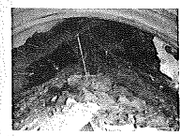
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……60

海外文献速報
JTA研究開発委員会……89

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……92

【表紙説明】　小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破
―第二東名高速道路　引佐第二トンネル―



引佐第二トンネル北坑口部は小土かぶりでの地すべり地帯のため，掘削による影響で地すべりを誘発することが懸念された．そこで，地表面，地中，トンネル坑内での動態観測を数多く実施し，掘削に伴う地すべり挙動を迅速に把握し，遅延なく適切な対策工を設計・施工できるような情報化施工を行った．写真はフェイスボルト区間の切羽崩壊状況である．〔**写真提供**：日本道路公団〕（本文15頁参照）

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



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

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〕

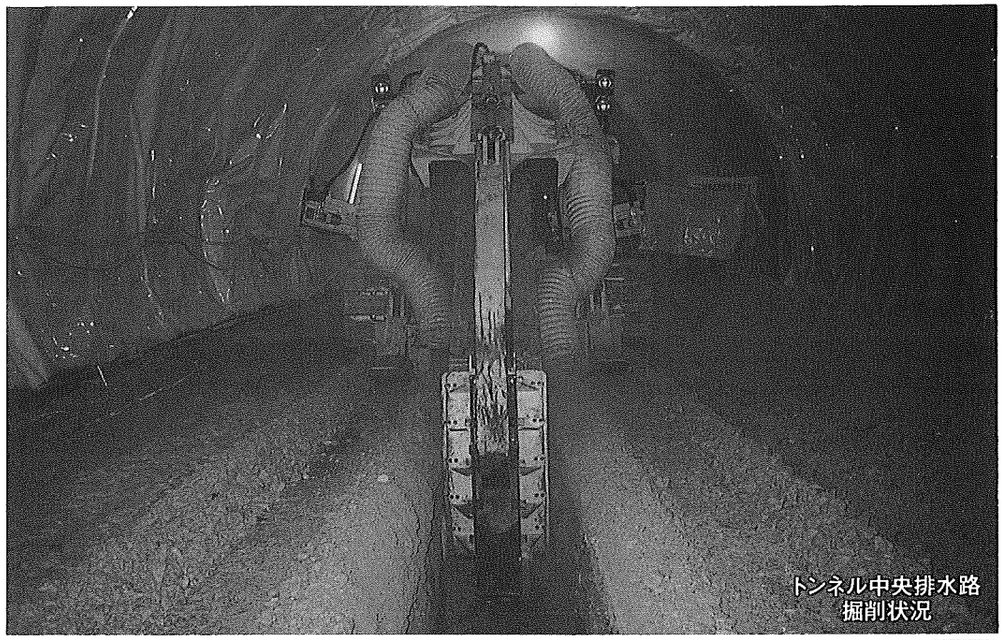
伊藤範行　鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 グループ長
猪俣正　飛島建設株式会社執行役員技師長
久多羅木吉治　東亜建設工業株式会社土木営業本部技術部長
田川弘義　株式会社竹中道路取締役社長
千葉隆　清水建設株式会社土木事業本部 技術第二部部長
永島茂　東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長
端則夫　大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
濱建介　株式会社アオバ取締役会長
三浦正彦　株式会社大林組土木技術本部技術部長
宮林秀次　独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長
山田邦博　国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
山田隆昭　日本道路公団試験研究所調査役

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

トレンチャー

硬質地盤の溝堀はトレンチャーをお試し下さい。



トンネル中央排水路
掘削状況



施工例



トレンチャーによる
施工

トレンチャーの性能・諸元

トレンチャーの種類	TRS-985	1175/D7	40/30	60/35
メーカー名	テスメック	テスメック	マステンブルグ	マステンブルグ
掘削幅(最小)cm	45	75	70	70
掘削幅(最大)cm	60	100	110	110
掘削岩の硬さ(最大)	500kg/cm²	700kg/cm²	700kg/cm²	1000kg/cm²
重量 t	36	53	50	59
長さ m	13.0	10.8	14.0	15.4
幅 m	2.5	3.2	2.95	2.98
高さ m	3.30	2.86	3.00	3.20
エンジンの出力 PS	300	402	450	600

※掘削岩の硬さは目安になります。詳細はご相談ください。

ワールド開発工業株式会社

●本社/営業部　〒381-0101 長野県長野市若穂綿内7484
☎(026)282-3671㈹ FAX(026)282-5803
http://www.wkk.co.jp/

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
橿尾恒次　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

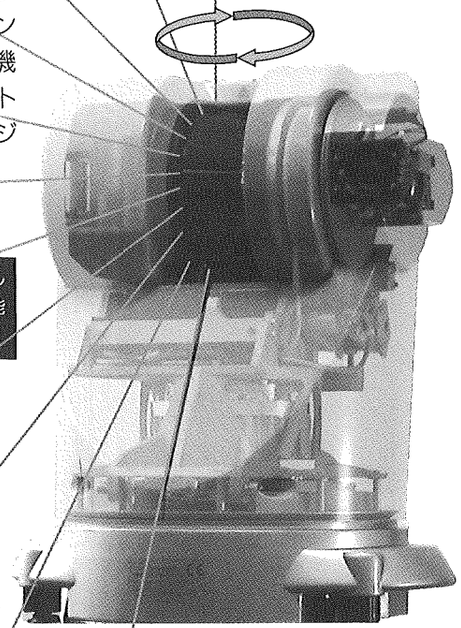
Callidus™ レーザースキャナー

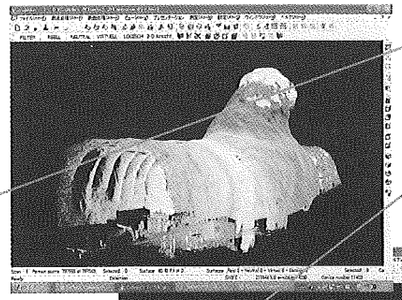
3次元トンネル断面計測機

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。

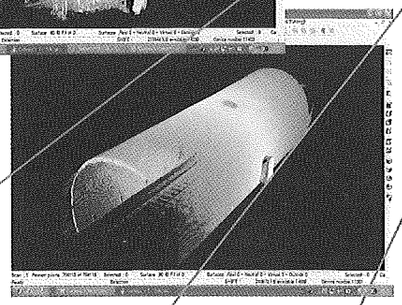
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





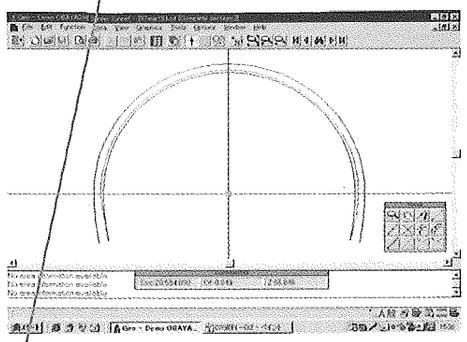
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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

トンネルと地下　VOL. 36　No. 3　掲載概要

掲載頁 7

小土かぶりの未固結地山を地盤改良併用の補助工法で施工
—北陸新幹線　第１黒部トンネル—

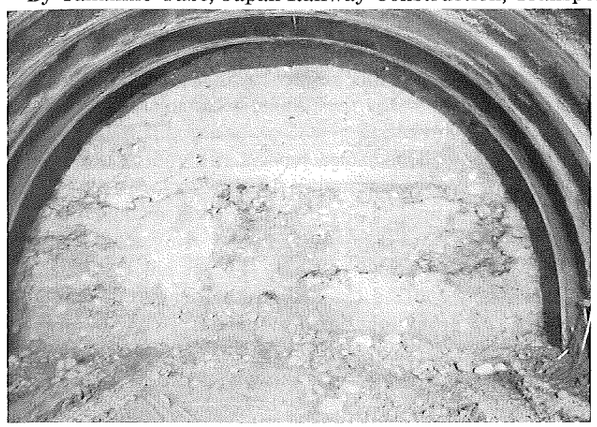
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構　矢部　司彦

北陸新幹線第１黒部トンネル(延長約920m)は，富山県黒部市内の扇状地性台地の未固結地山を小土かぶり(約２～10m)で掘削するトンネルである．トンネル周辺の地理条件，環境条件および施工条件などを考慮したうえで地山補強を目的とした補助工法を検討した結果，トンネルの中間地点の工事基地を境に，起点側では掘削補助工法を併用した山岳トンネル工法，終点側では地盤改良工を併用した山岳トンネル工法により施工することとした．

本稿では，現在施工中である終点側の施工計画，施工および計測結果を中心に報告する．

Tunnel Construction in unstable Ground using Ground Improvement Method – Hokuriku Shinkansen (Super Express Railway), Kurobe Tunnel　No.1

By Takahiko Yabe, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真は偏圧区間の切羽状況

Kurobe Tunnel No.1 of Hokuriku Shinkansen with a length of 920 m is located in Kurobe City, Toyama Prefecture and excavated in the unstable alluvium cone with a small cover of 2 to 10 m. The construction yard was made at the intermediate point of this tunnel. In consideration of the ground condition and environmental one, the forepoling method with the chemical injection as an auxiliary method was adopted between the Takasaki side portal and the intermediate point (the Section A) and the ground improvement method was done between the Toyama side portal and the intermediate point (the Section B).

This paper presents the construction program and the construction records including the measurement works in the section B.

掲載頁 15

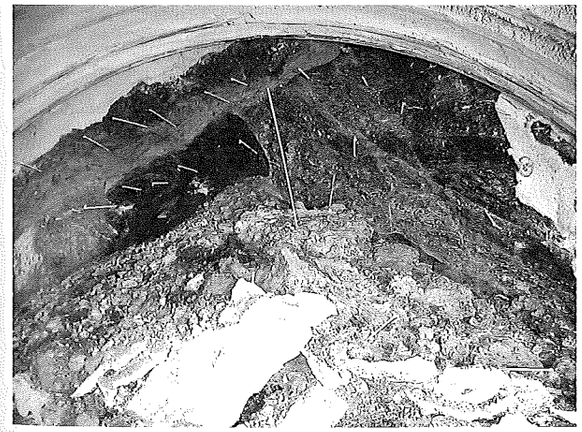
小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破
—第二東名高速道路　引佐第二トンネル—

日本道路公団　田山　聡

山岳地でトンネルを建設する場合，坑口部などの土かぶりの小さい箇所において，トンネル掘削が地すべりを誘発する場合がある．引佐第二トンネル北坑口部は小土かぶりでの地すべり地帯であり，この地すべり地帯でのトンネル施工において，トンネルの影響による地すべり挙動のメカニズムとトンネル対策工のすべり抑制効果について新たな知見を得た．本稿では，地すべりに与える影響を考慮したトンネルの設計・施工上の留意点とトンネル対策工のすべり抑制効果について述べる．

Breakthrough of Tunnel Construction in Landslide Zone with small Cover using Intelligent Construction System – Tomie Expressway No.2, Inasa Tunnel No.2

By Satoshi Tayama, Japan Highway Public Corporation



写真は切羽崩壊状況（フェイスボルト区間）

Mountainous tunnel excavation in small cover often causes landslide. The north portal of Inasa Tunnel No.2 has a small cover and is located in the landslide zone. In this tunnel project, the mechanism of landslide had to be clarified and the measures to prevent landslide at the north portal had to be done. This paper discusses the design and construction for tunnel in landslide zone.

掲載頁 27

わが国の技術を駆使したバンコク地下鉄
—チャロム・ラチャモンコン線建設工事—

東京地下鉄(株)　大月　喜雄

タイ王国で最初の地下鉄が，2004年７月にバンコク首都圏において，日本の円借款協力および技術活用により開通した．

本稿では，インフラ整備を政府が，運営は民間セクターとなった上下分離方式を含めた，地下鉄プロジェクトの概要を紹介するものである．

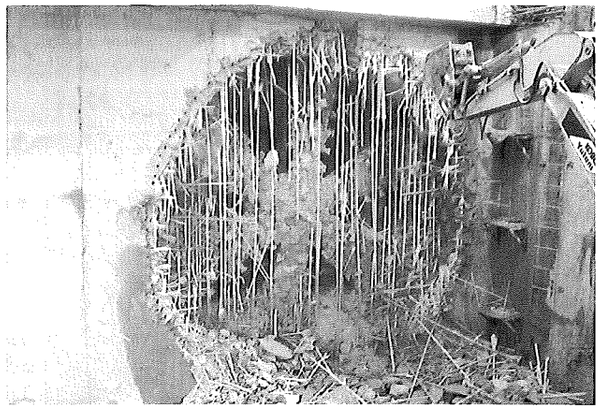
また，その地下鉄建設工事において採用した，開削工事での急速逆巻き工法や鋼製地下連続壁，駅間シールド工事での複数回にわたるシールドの解体・再組み立てや地中障害物撤去についても紹介するものである．

Subway Project in Bangkok – Construction of Chaloem Ratchamongkhon Railway Line

By Yoshio Otsuki, Tokyo Metro Co., Ltd.

The first subway in Bangkok has begun the operation since July, 2004. This project was one by the ODA from Japan and the tunnelling technology in Japan contributed to this project. In this project, the government was in charge of the construction project of this subway and the private sector is in charge of its operation.

This paper reports the underground technologies applied to this project such as the rapid inverted construction method and the diaphragm wall method using steel boxes to construct stations, and the shield tunnelling and the technologies to remove obstructs to construct bored tunnels.



写真は到達—ジャンボブレーカで連続壁こわし状況

掲載頁 37

大深度の地中接合を凍結工法で克服
—東京都下水道　南台幹線シールド—

東京都下水道局　芝山　浩司

南台幹線接続工事は，約50mの大深度下で，本関連事業の中心的な役割を担う貯留型管渠の和田弥生幹線(外径φ9,400)の管底に，枝幹線である南台幹線(シールド外径φ4,430)を地中接合するものである．地中接合は，和田弥生幹線のセグメントを4.8(横)～6.0(縦)mの楕円形に開口し接続することになり，工事中地山が開放状態になる部分があることから，凍結工法を採用し地山と地下水の漏出防止を図ることとした．

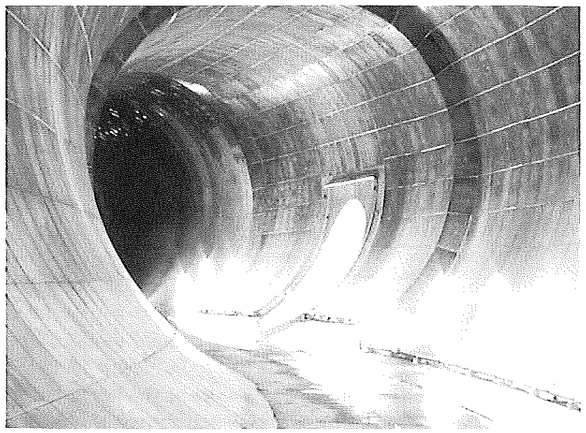
本稿では，凍結工法での地中接合において「開口セグメントの変位」と「凍土の温度管理」を中心とした留意点について，計画・設計・施工した実績について報告する．

Underground Docking Method using Freezing Method – Minamidai Sewer Project in Tokyo

By Koushi Shibayama, Tokyo Metropolitan Government

In Minamidai sewer project, Minamidai branch sewer with a diameter of 4.43 m constructed by the shield tunnelling joined the bottom of Wadayayoi sewer main with a diameter of 9.4 m having a function of storage at the depth of 50 m. The opening of joint part by the removal of segments of the sewer main is oval-shaped (its lateral diameter is 4.8 m and its vertical diameter is 6.0 m.) At the docking zone, the freezing method was adopted to stabilize ground and to prevent water inflow after removing segments. During the docking works, the measurement of opening part and the control of temperature in the ground at the joint part ware strictly done.

This paper reports the planning, design and construction of docking works.



写真は和田弥生幹線坑内から見た南台幹線との接続部

掲載頁 49

長尺先受け工の挙動に関する現場計測

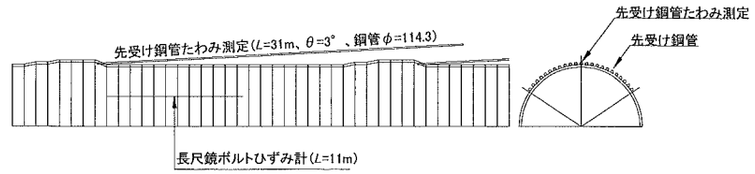
鉄建建設(株)　笹尾　春夫

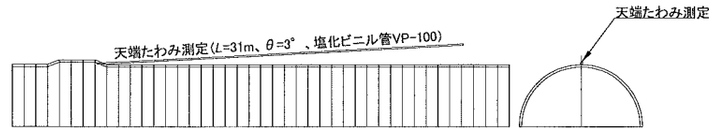
本報告では，AGFによる長尺鋼管先受け工を施工したトンネルにおいて，その支保メカニズムを確認するために行った一連の計測結果を整理したものである．計測に際し，切羽前方における先受け工と地山の挙動を総合的に把握することを目的として計測項目・計測器を選定し，計測計画を立案した．計測項目は切羽前方天端部の鉛直変位を計測するための先受け鋼管のたわみ測定，鏡前方の押し出しに伴うひずみを計測するための鏡ボルトによるひずみ測定，および天端に打設した先受け鋼管の軸力，曲げ応力を計測するための先受け鋼管軸力測定である．なお，たわみの計測は，先受け工を施工した区間と，通常の区間との２断面で行い，両者の結果を比較した．

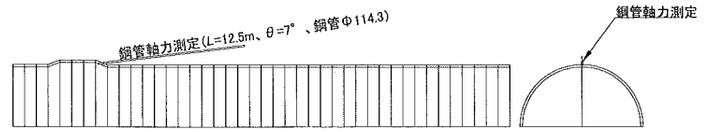
Measurement of Behavior of long Forepoling Pipe in Site

By Haruo Sasao, Tekken Corporation

This paper reports the results of analysis of measurement of tunnel constructed with the All Ground Fasten method as an auxiliary method, which is one of the forepoling methods using long steel pipes. The purpose of measurement was to clarify the support mechanism of forepoling pipes and the behavior of ground. The deflection of forepoling steel pipes to find out vertical displacement at tunnel crown of ground ahead of face, the axial force of forepoling steel pipes at tunnel crown to recognize their axial force and bending moment were measured. In the section without the forepoling, the measurement of deflection of PVC piles at tunnel crown was performed. The results of measurement of deflection of pipes in the section with forepoling pipes and the one without forepoling pipes were compared in this study.







図は計測器設置断面

高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
エレファントノズルシステム
第２東名高速道路・北陸新幹線工事で活躍中

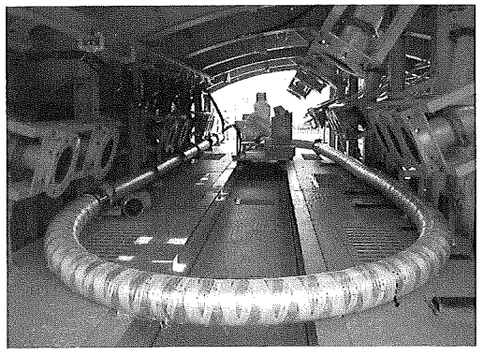
品質の向上

1. 多孔からのコンクリート投入が可能でブロック打設を実現します。
効果：コンクリート品質の低下を抑えられます。

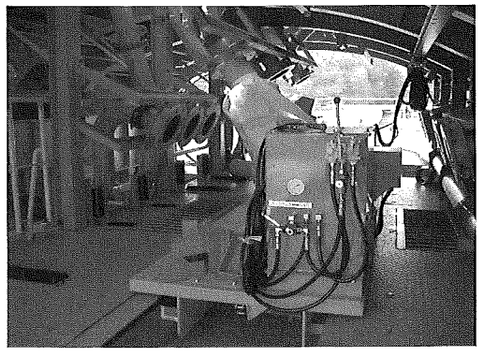
環境の改善

1. コンクリート配管を組解体する苦渋作業から解放します。
効果：迅速な配管切替えが可能で省力化が図れます。

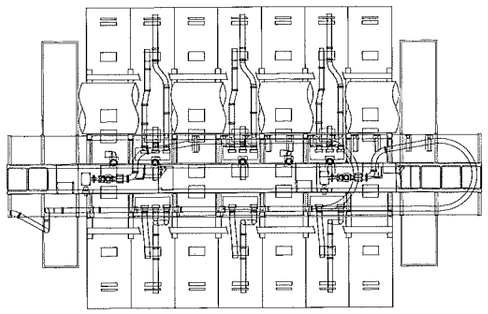
システム全景



配管挿入状態

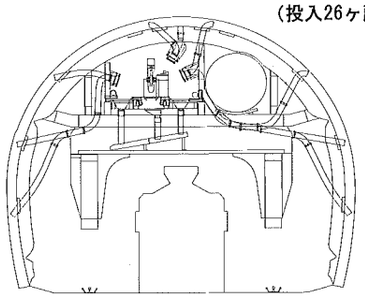


全体平面図



全体トンネル断面図

（投入26ヶ所）



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/

巻頭言
（題字　三谷　浩会長）



地震とトンネルと謙虚さ

東日本旅客鉄道(株)建設工事部長(本協会理事)
吉田幸一

昨年10月23日(土)夕方に発生した新潟県中越地震により，震源地に近い新幹線，在来線のトンネルをはじめ，高架橋，橋りょう，盛土などの構造物が大きな被害を受け，鉄道輸送が一瞬にして完全にストップ状態となってしまった．しかも，200km/hの高速で走行中の新幹線が，地震の強い衝撃により，トンネル群を抜けた高架橋上において，昭和39年の新幹線開業以来初めて脱線を経験する事態に至った．幸いにして，この脱線で誰一人としてけがなどをしていなかったことがわかり，胸をなでおろすと同時に，あとは一日も早い復旧を全力で目指すことを心に誓った．余震が続く中で被害状況の調査に手間取るなど，復旧にあたるものとして極めて厳しい環境条件下にはあったものの，新幹線，在来線とも，運転再開を何とか年末年始輸送に間に合わせることができて本当に良かったと思う．

今回の地震で，高架橋や橋りょうなどの明かり区間の構造物に関しては，10年前に起きた阪神・淡路大震災のときに鉄道の復旧の応援をした経験が大いに生かされて，どんなことにも気持ちを動揺させることなく，常に冷静に落ち着いて，損傷の状況を的確に把握し，速やかに復旧計画を立案し，実行に移していくことができたと思う．一方，トンネルについては，直下型地震の震源のすぐ近くでこれほど大きな影響を受けた経験がなく，トンネル内面の覆工コンクリートが完全に崩落している箇所があるとか，路盤コンクリートが大きく盛り上がり，軌道面がかなりの波を打っている，などの第一報を受けたときには驚くと同時に，これからいったいどのように復旧していっていいものやら，さすがに戸惑いを感じた．また，余震がまだ続いている状況の中で，安全を確認しつつ，トンネル内の被害状況をある程度の正確さをもって把握したうえで復旧工程の見通しを立てるまでには，復旧工事を進めながら判断しなければならない面もあり，若干時間を要することとなった．

とは言うものの，次第にトンネル被害の調査結果の詳しい情報が入ってくるにしたがい，

昔から「山岳トンネルは周辺地山と一緒に動くから地震には意外に強いのだ」と先輩から聞かされていたとおり，今回の地震によるトンネルの被害状況を見る限りにおいては，このことがかなりの部分において正しいように思えてきた．すなわち，トンネルが震源に極めて近い所に位置していたため，トンネル自身が地山とともに相当に荒っぽく揺すられたと思われる．その結果，大きなひび割れが生じたり，覆工コンクリートが崩落して軌道を塞いだり，また，路盤コンクリートの内部に割れ目が走って軌道面を盛り上げたりしていた．しかし，それらの現象はトンネル内の一部限定された箇所のみであって，インバートコンクリートは地山としっかり密着しており，ほかのあちこちにも細かい変状は見受けられたが，トンネル全体としては，必要な内空断面をほぼ確保した地震発生前のトンネル空間の状態を何とか維持できていたのである．このことから，トンネルを改めて掘り直さなければならないなどの大事にはならずに，損傷のあった部分に対し，吹付けコンクリート，ロックボルト，ボード版，クラック注入などにより適切な補強補修を行えば十分であることがわかった．

しかし，今回大きく損傷を受けた箇所については，地震で周辺地山やトンネルがどのような挙動を示し，トンネルにどのような力が作用した結果なのか，施工当時の状況が今回受けた損傷具合と何らかの関係はないのか，また，逆に損傷がほとんどなかった箇所については，どうして損傷を受けずに耐えられたのか，など未解明なことが非常に多く，復旧工事がひとまず片付いた現在，部外の専門家を交えた原因調査等検討会において，可能な限りの調査，分析を行い，トンネルの保守管理，工事などにおける今後の必要な対策にぜひとも反映させていきたいと考えている．

折りしも今年は，6,000人を超える犠牲者を出した阪神・淡路大震災からちょうど丸10年の節目の年にあたる．1月17日の前後には新聞，テレビなどでも，この10年間を振り返りながら，いろいろな角度から地震というものについて考えさせる話題の提供も多くあったが，いずれにしても，地震大国日本においては，今回の新潟県中越地震に終わらず，今後も一定の確率をもって大規模な地震が発生することは避けて通れないことである．われわれはこの事実に対して決して目を背けることなく，地震という自然現象を謙虚に受け止め，被害を最小限に食い止めるべく，ハード，ソフト両面から，地道に一歩一歩耐震強化対策などを継続して進めていくことが何よりも大切なのではないだろうか．

施工

小土かぶりの未固結地山を地盤改良併用の補助工法で施工

—北陸新幹線　第1黒部トンネル—

(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構北陸新幹線第二建設局調査課担当係長　矢部司彦
(独)鉄道建設・運輸施設整備支援機構北陸新幹線第二建設局朝日鉄道建設所所員　土井充
西松・フジタ・大木・東城共同企業体北幹黒部出張所工事主任　奈良聡

1 はじめに

北陸新幹線は，平成13年4月に上越市・富山市間がフル規格として工事実施計画の認可を受けており，各地で工事が着々と進捗している．

今回報告する第1黒部トンネルは，富山県黒部市内の扇状地性台地を小土かぶりで横断するトンネルである．本トンネルの位置を図-1に示す．

本トンネルのような小土かぶりトンネル(約2～10m(0.2～1D))を山岳トンネル工法で掘削する場合，トンネルのグラウンドアーチの形成が期待できないため，地山の補強を目的とした補助工法が必要とされる．

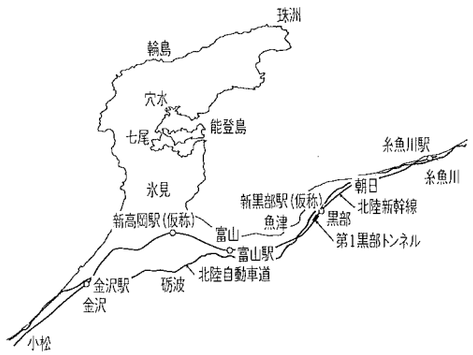


図-1　第1黒部トンネル位置図

本稿では，地盤改良工を併用した山岳トンネル工法で現在掘削中である本トンネルの終点側を主として報告する．

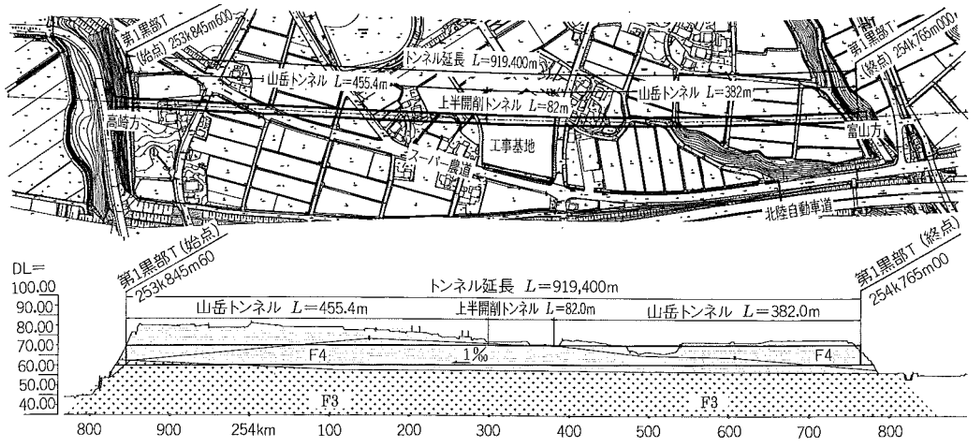
2 工事概要

2-1 工事概要

第1黒部T外他工事は，工区延長1,886.4mであり，その内訳は，高架橋，橋梁，切り取りおよび補強盛土からなる明かり区間が862m，箱形トンネルが105m，そして今回報告する第1黒部トンネルが919.4mである．本トンネルは，中間地点に工事基地を設け，工事基地付近82mを上半開削トンネル工法により，また工事基地から起点方455.4mおよび終点方382mを機械掘削によるショートベンチカット工法(上下半併進)の山岳トンネル工法(掘削断面積約80m²)により掘削する．トンネル直上は主に田畑であるが，民家，市道および広域農道(以下，スーパー農道と称す)と小土かぶりで交差する．トンネルの平面・縦断図を図-2に示す．

2-2 地形・地質概要

第1黒部トンネルは，北陸自動車道黒部I.C.南方約2kmの黒部川と布施川に挟まれた扇状地性の十二貫野台地西端部に位置する．この扇状地性



凡 例

記号	地　層	記　事
F4	低位開析扇状地堆積物	硬質な礫を主体とした砂礫層
F3	高位開析扇状地堆積物	主に大礫からなり，深部まで風化劣化している。

図-2　平面図・縦断図

台地は，標高と開析程度の違いから，高位扇状地と低位扇状地とに大別される．

トンネル掘削部の地山は，トンネル入口付近の一部に高位開析扇状地堆積物(F3層)が分布する以外は全区間にわたり低位開析扇状地堆積物(F4層)であり，断面全体に砂礫層が分布する(図-2参照)．F4層は，礫率が70～80%で，砂を主体とした細粒分を含む礫層である．混入する礫は粒径3～10cmの亜円～亜角礫で，そのほとんどは未風化で堅固である．層全体としては粒度分布が良く，細粒分も12%以上混入した透水性のやや悪い土質であり，崩壊に対する抵抗力は，地下水を含有すると小さくなる傾向にある．

地下水位は全体的に低いが，トンネル中程から終点側では常に飽和状態にある．また，透水係数は1.38×10^{-3}cm/secということから広い範囲で水位の低下を生じることが予想されるが，砂礫層の間隙比が低いという地質状況より，沈下量はあまり大きくないと予想された．

3　支保構造と構造設計

3-1　支保構造

本トンネルのような砂礫層を小土かぶりで掘削する際は，ロックボルト施工時の削孔水によって地山を乱して改良効果が半減することが懸念される．そこで，掘削後早期に施工する吹付けコンクリートで内圧効果を十分に確保するほうが効果的であると考え，パターンボルトの代替えとして鋼製支保工と吹付け厚を増す支保構造に変更した．通常の支保構造との比較を表-1に示す．

表-1　支保構造の比較

	標　準	変更後
鋼製支保工	125H	150H
吹付け厚	150mm	200mm
パターンボルト	3m×14本	なし

3-2　覆工・インバートの設計

本トンネルの標準断面図を図-3に示す．覆工とインバートの設計荷重は，土かぶりが小さくグラウンドアーチの形成が期待できないことから全土かぶり荷重を考慮し，全線で鉄筋コンクリート構造とした．

3-3　耐震検討

本トンネルは，図-4に示すように天端からS.L.の範囲が地表に露出する区間(偏圧区間)が約80m存在する．この区間の完成形状は最小土かぶり2mが確保できるように改良土で保護盛土をする計画であるが，偏圧による地震の影響を考慮して，震度法により耐震検討を行った．

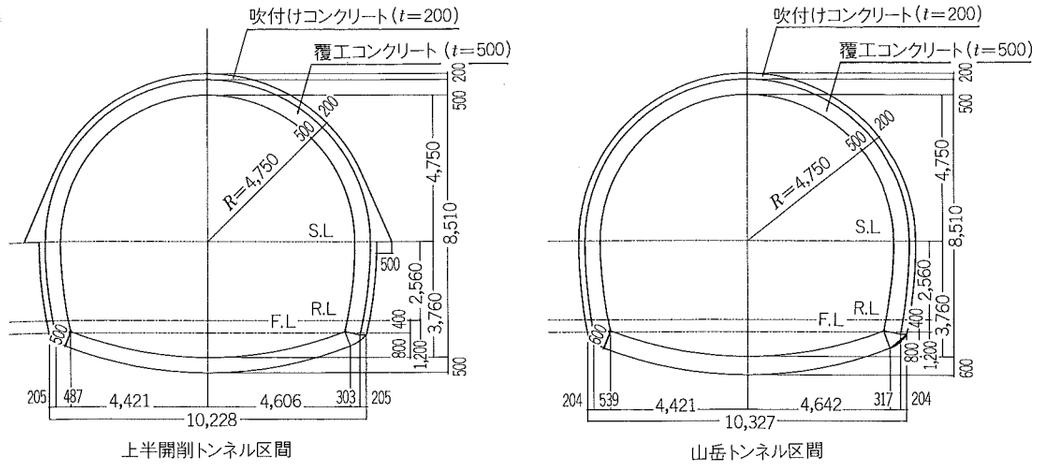


図-3　トンネル標準断面図

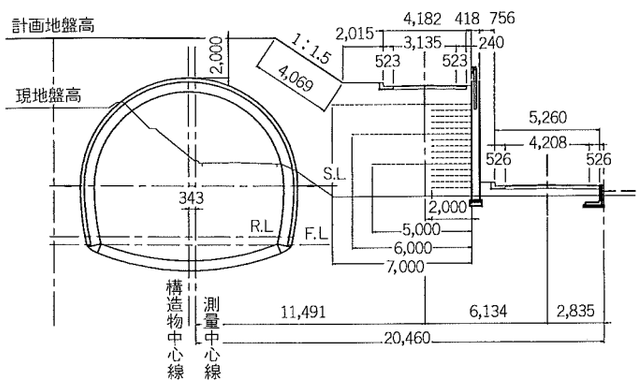


図-4　偏圧区間標準断面図

4　起点側における補助工法の選定と施工

本トンネルの工事基地より起点側は，土かぶりが約4～10m(0.4～1D)であり，切羽の自立性や天端の安定性を確保するためには，掘削時の補助工法の検討を要する区間である．また，トンネル直上には民家，老朽化した排水管やガス管などのライフラインが埋設されている市道，φ700mmの排水管が埋設されているスーパー農道が存在した．とくに，スーパー農道は最大700台/時間程度の交通量があり，黒部市，魚津市，朝日町，宇奈月町および入善町の2市3町からなる新川広域圏の交通を支える幹線であり，国道8号の渋滞回避を

図-5　起点側における補助工法選定フロー

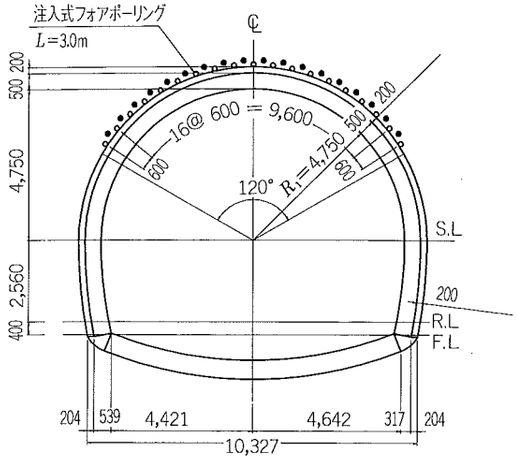


図-6 注入式フォアポーリング施工標準図

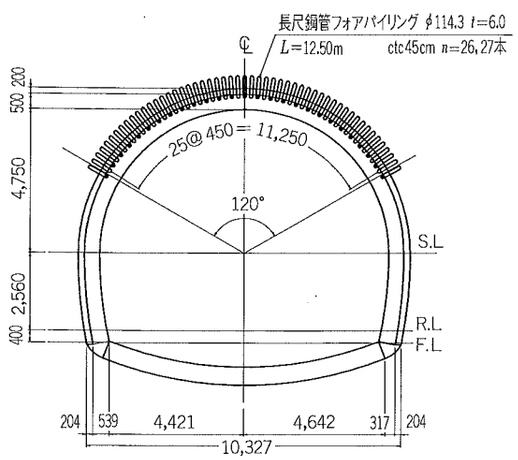


図-7 長尺鋼管フォアパイリング施工標準図

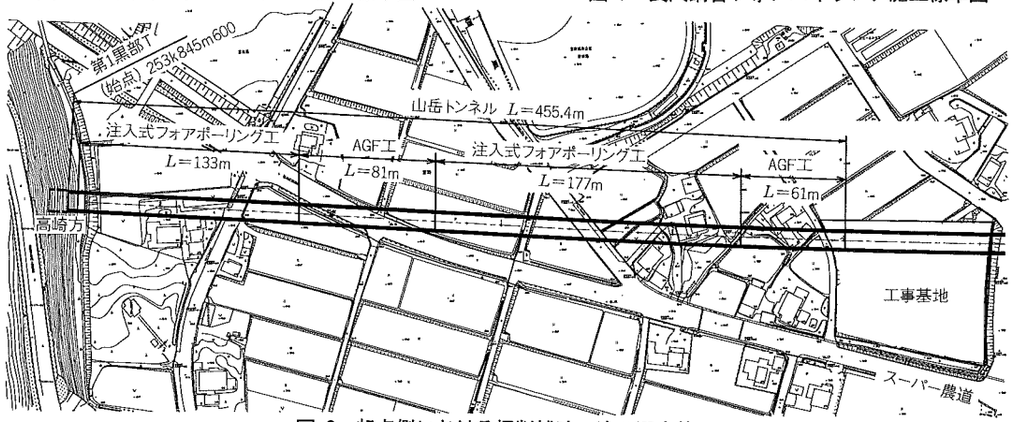


図-8 起点側における掘削補助工法の選定状況

目的とした迂回路的な役割も担っている．このような制約条件から，トンネル起点側では適切な補助工法を選定する必要があった．

そこで，図-5に示すフローに従い，各々の場所で適用する掘削補助工法を決定した．掘削補助工法としては，当該部の地山(玉石混じり砂礫主体の未固結地山)を考慮し，切羽の自立性や天端の安定性確保を目的とした注入式フォアポーリング工法および長尺鋼管フォアパイリング工法(AGF工法)の2工法を選定した．両工法の標準図を図-6, 7に示す．

起点側の施工は前述したフローに従い，事前評価に対して実際の計測値をフィードバックさせ，掘削補助工法として図-8に示す注入式フォアポーリング工法とAGF工法とを併用してトンネル掘削を行った結果，トンネル直上の民家やスーパー農道，ライフラインなどに影響を与えることなく平成16年9月23日に無事貫通した．

5 終点側における施工方法の選定と設計

5-1 施工方法の選定

本トンネルの終点側は，起点側に比べ土かぶりが小さいため，上半開削トンネル工法と補助工法を併用した山岳トンネル工法で比較検討を行った．原設計では，上半開削トンネル工法で，現地発生土を埋め戻し材として使用することとしていたが，玉石が多く混在していた起点側の地山状況を考慮して，適切ではないと判断した．そこで，過去の施工事例1)や経済性などを検討した結果，地盤

改良により人工地山を造成して，山岳トンネル工法で掘削することとした．

5-2 地盤改良工の設計

地盤改良工は，天端の安定性確保を目的に，その改良範囲を上半120°以上とし，土かぶりは2m以上確保することとした．

また，改良土の一軸圧縮強度は，以下に示す理由から図-9に示すように各区間の状況に合わせて決定した．区間①～③の標準断面を図-10に示す．

(1) 区間①

区間①は，本線両側に近接構造物が存在するため，上半120°範囲を改良することができない．そこで，トンネル天端付近は，安定対策として注入式フォアポーリング工法(地山部分)および充填式フォアポーリング工法(改良土部分)を併用して施工することとした．よって区間①の改良土の一軸圧縮強度は，地山の自立性を確保するための最低強度とされる1,000 kN/m²(砂礫層の地山程度)と設定した．

(2) 区間②

区間②は，前述した偏圧区間である．当該地盤改良工は，本線右側の付替道路下の補強盛土部を含めて偏圧に対するカウンターウェイトとしてトンネル本体構造物の設計に反映されている．このため，改良土の所要強度は2,000kN/m²に設定されている．これにより天端の安定性を十分に確保できるものと判断し，掘削補助工法を併用せずに掘削することとした．

(3) 区間③

区間③は，施工上の制約を受けることなく上半120°範囲を改良することが可能な区間である．土かぶりは2m程度であり，改良土の一軸圧縮強度が区間①程度では，掘削補助工法なしでは天端の安定性を確保することは困難であると判断した．また，区間②程度の強度を有していると掘削時にピックを必要とする程度の強度となるため，過大であると判断した．そこで，この区間の改良土の一軸圧縮強度は，掘削補助工法を併用しないことを前提とし，最低強度の1,000kN/m²に安全率1.5を見込んだ1,500kN/m²に設定した．なお，この区間の設定強度が妥当か否かは，計測結果などから検証し，今後の類似条件下での施工に反映させたいと考える．

5-3 配合計画

改良土は，トンネル掘削土や現地山にセメント固化材(粉体)を攪拌混合して造成した．セメント固化材の添加量は，事前に配合試験を行い，表-2に示す適正添加量を決定した．なお，区間①と③は現地の地山に対してセメント固化材を添加しているが，区間②は選別したトンネル掘削土に対してセメント固化材を添加しているため，添加量に大きな差が生じる結果となった．

6 地盤改良工の施工

地盤改良工は，前述した配合計画を基に全区間で完了した．改良土の撒き出しや締め固めは一層

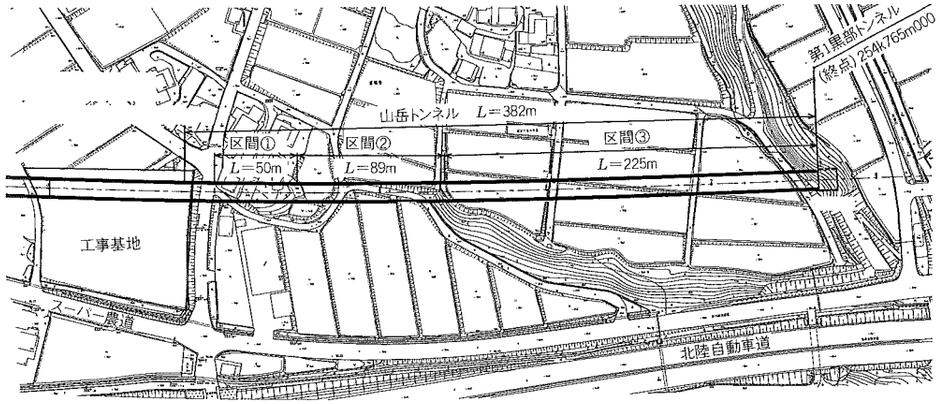


図-9 終点側における地盤改良工の選定状況

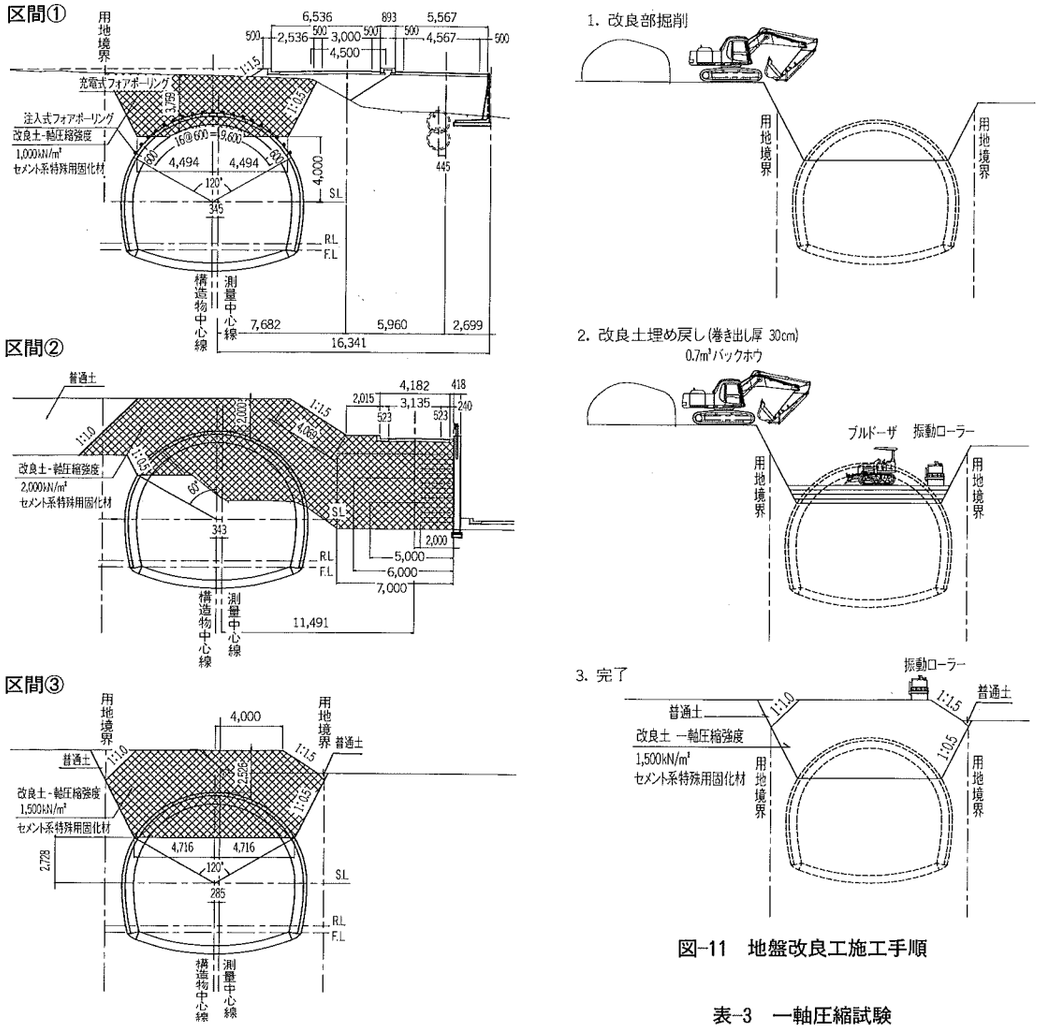


図-10　地盤改良区間標準断面図

図-11　地盤改良工施工手順

表-2　セメント固化材の適正添加量

	設計強度 (kN/m²)	目標強度 (kN/m²)	最適添加量 (kg/m³)
区間①	1,000	2,000	60
区間②	2,000	4,000	100
区間③	1,500	3,000	120

仕上がり厚30cmで管理することとし，玉石を取り除きながら施工した．施工手順を図-11に示す．

6-1　改良土の一軸圧縮試験結果

区間①～③の改良土の一軸圧縮試験結果を表-3に示す．表中の値は，線路方向に50m，深度方向に30cmごとに採取した３本の供試体の平均値と標準偏差である．実際の改良土の強度は所要強度よりも15～20%大きい結果となった．この原因は，改良土の不均一性を考慮してセメント固化材の添加量を多くしたためであると考えられる．

表-3　一軸圧縮試験

	設計強度 (kN/m²)	試験結果(kN/m²)	
		平均値	標準偏差
区間①	1,000	1,398	221.4
区間②	2,000	2,300	85.1
区間③	1,500	1,840	167.4

6-2　地盤改良区間の掘削状況

トンネル掘削は，現時点(平成16年11月末)で区間②の約70mを完了している．各区間の掘削状況は以下のとおりである．

(1)　区間①

区間①は，改良土の一軸圧縮強度を1,000kN/m²とし，対象範囲(上半120°の範囲)で改良できない区間については注入式フォアポーリング工法と充填式フォアポーリング工法により施工する計画であった．実際に現地を掘削した結果，天端付近は十分に安定性が得られていたが，計画時から懸念されていた肩付近の安定性は不十分であった．そこで，計画通りに注入式フォアポーリング工法と充填式フォアポーリング工法を併用して掘削を行った．

(2)　区間②

区間②は，偏圧の影響を考慮して，一軸圧縮強度を2,000kN/m²としているため，天端の安定性および切羽の自立性は十分に確保されていた．切羽状況を写真-1に示す．

現時点では区間②を掘削中であるが，区間①，②における施工結果と区間③における一軸圧縮試験の結果から，区間③についても天端の安定性および切羽の自立性が十分に確保され，他の補助工法を併用せずに掘削できると推察している．

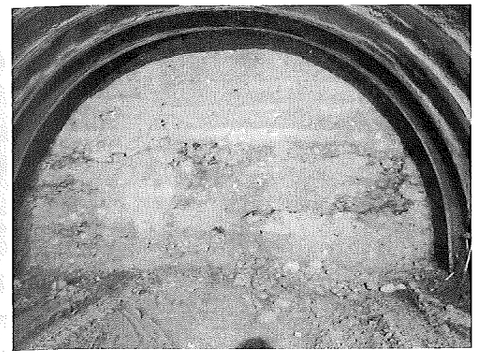


写真-1　切羽状況(区間②)

7　地盤改良区間の計測結果

区間①における地表面沈下，内空変位および天端沈下の計測結果を図-12, 13に，区間②における地表面沈下，内空変位および天端沈下の計測結果を図-14,15に示す．

(1)　区間①

図-11の地表面沈下の経時変化図より，上半切羽通過後に最大12㎜程度，下半通過後の増分はほとんどない．同一地点の天端沈下(図-13)は，下半到達前までに約４㎜発生しているが，下半到達時の増加は見られない．

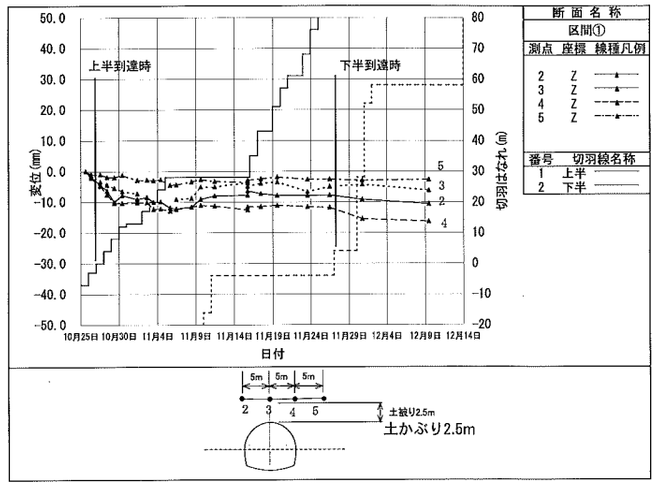


図-12　地表面沈下経時変化図(区間①)

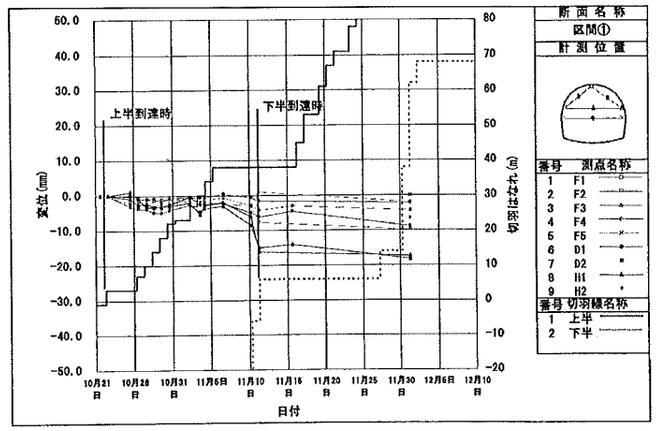


図-13　内空変位および天端沈下経時変化図(区間①)

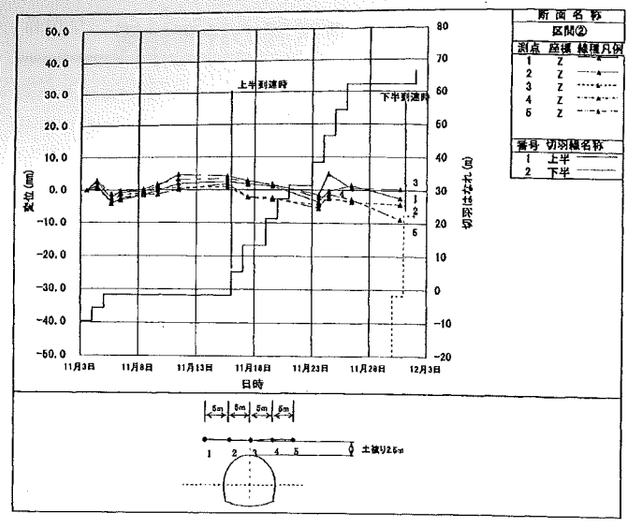


図-14　地表面沈下経時変化図(区間②)

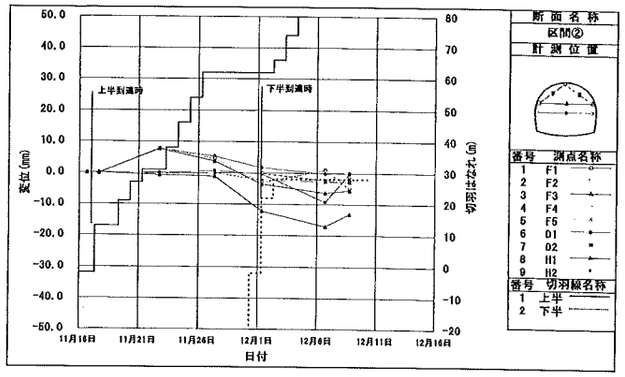


図-15　内空変位および天端沈下経時変化図(区間②)

一方，内空変位は，下半到達時に水平側線が約10㎜縮小し，累積18㎜となっている．

両図を比較すると，地表面沈下は上半掘削～下半掘削の間でほぼ一定値で推移している．それに対しF3の沈下が増えている．この沈下によって水平変位が増加しているが，地表面には影響が出ていない．

（2）　区間②

図-14より，地表面沈下は最大で4㎜発生しており，区間①の10㎜に比べて小さくなっている．これは，改良土の強度が大きい(区間①の2倍)ためにアーチアクションが作用した可能性が考えられる．一方，図-15より，この地点では上下半掘削時の側圧により側線方向の内空変位が下半掘削後に最大－12㎜程度生じたが，天端についてはほとんど変化がない．このことを考慮すると，トンネルが縦伸び変形を生じたために，地表面沈下が抑えられたと考えられる．

8　おわりに

小土かぶりトンネルでは，掘削工法や併用する補助工法によって工事費の大勢が決まる方向にある．施工箇所の条件にもよるが，今回，第1黒部トンネルの終点側で採用した地盤改良工を併用した山岳トンネル工法は経済性においても有効であり，工事費の削減に寄与できると考える．

また，前述したように，区間③においては，今回設定した改良土の強度の妥当性を検証し，機会があれば改めて報告したいと考えている．

今回の報告が，今後の小土かぶりトンネルの施工検討の一助になれば幸いである．

参考文献

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

施工

小土かぶりの大規模地すべり地帯を情報化施工で突破

—第二東名高速道路　引佐第二トンネル—

日本道路公団静岡建設局浜松工事事務所工事長　田山　聡
日本道路公団静岡建設局建設部建設第一課課長　竹國一也
清水建設・戸田建設・大日本土木共同企業体所長　神澤幸治
清水建設・戸田建設・大日本土木共同企業体技術主任　平野宏幸

1　はじめに

引佐第二トンネルは，静岡・愛知両県の県境付近に位置し，現在建設中の第二東名高速道路と供用中の東名高速道路を結ぶ引佐連絡路内の2車線トンネルで，引佐山地と呼ばれる標高200～400mの起伏の小さい山地部を通過する(**図-1**)．地質構成は，中～古生代の御荷鉾緑色岩類で，トンネルの岩質は輝緑岩を主体とし，輝緑凝灰岩，蛇紋岩，水冷破砕岩を介在する．トンネル延長は，上り線1,340m，下り線1,535m，掘削断面は約110m²であり，上り線，下り線ともに北側坑口より片押しにて補助ベンチ付き全断面工法で掘削を行っている．2004年12月末時点では，トンネルの掘削延長で先行する下り線は1,390m(所要月数41か月)，上り線は1,005m(所要月数30か月)の掘削を終えている．

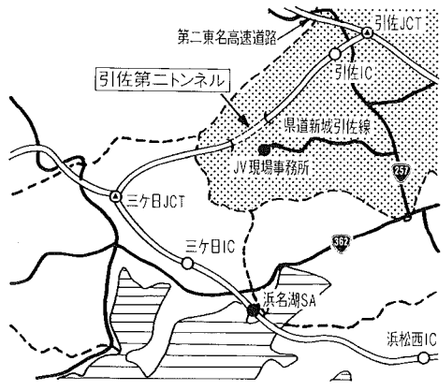


図-1　位置図

本トンネルの両坑口には大規模地すべりが存在し，北坑口部では約220mにわたって，この地すべり地帯をトンネルで施工するため，トンネル掘削による影響で地すべりを誘発することが懸念された．そこで，地表面，地中，トンネル坑内での動態観測を数多く実施し，トンネル掘削に伴う地すべり挙動を迅速に把握し，遅延なく適切な対策工を設計・施工できるような情報化施工を行った．

本稿では，北坑口部で実施した地すべり地帯でのトンネル施工時の地すべりと地表の動態観測，およびトンネル計測の計測結果を報告するとともに，トンネルの影響による地すべり挙動とトンネル対策工のすべり抑制効果について得られた知見について述べる．

2　北坑口部の地形・地質概要

北坑口部周辺では，御荷鉾緑色岩類に属する輝

緑岩，輝緑凝灰岩，水冷破砕岩を基盤岩とし，崖錐堆積物がこれらを覆っている．調査結果から複数の断層破砕帯が存在し，破砕を受けた水冷破砕岩が分布する周辺に地すべりが多く存在することが判明した．とくに，トンネル上部の斜面には大規模な３つの地すべり地形(A，B，Fブロック)が認められ，地表には段差地形や溝地形などが見られる．これらの地すべりは，孔内傾斜計や光波測量による動態観測結果から，Bブロックは活動停止中であるが，Aブロックは約10㎜/月，Fブロックは約20㎜/月の速度で工事着手前から活動していることが確認された．

3　地すべり概要と地すべり対策工

図-2に示すように，北坑口部には３つの大規模地すべりが存在する．**表-1**に各地すべりブロックの概要を示す．

当初設計では，上り線の北坑口がこれらの地すべりブロックの端部に位置し，それぞれの地すべりブロックの圧縮部を切土することにより，地すべりの安定が大きく低下することが懸念された．そこで，地すべり対策の検討を行った結果，各ブロックが隣り合わせていることを考慮して，抑止杭やアンカーを採用して切土をするより，押え盛土がもっとも経済的であることがわかった．よって，地すべり対策工に押え盛土(約28万m^3)を採用し，トンネル坑口を193m延長した．押え盛土の設計では，トンネルの影響としてすべり面の粘着力と内部摩擦角の低減，またはすべり面の切除とトンネル掘削による土塊重量の減少を考慮し，地すべり全体の安定を図った．

表-1　地すべりブロックの概要

ブロック	地すべり規模	分布地質	備　　考
Aブロック	幅100m，長さ240m 深さ14.4m(平均) すべり面角度19°	水冷破砕岩 (断層破砕帯)	・頂部に高低差10m程度の滑落崖が存在し，ブロック内には段差地形が数多く見られる． ・トンネル施工前から約10㎜/月で活動している．
Bブロック	幅130m，長さ100m 深さ13.7m(平均) すべり面角度20°	輝緑岩 水冷破砕岩	・頂部と中腹部に亀裂が認められる． ・活動停止中
Fブロック	幅60m，長さ120m 深さ10m(平均) すべり面角度30°	水冷破砕岩	・斜面崩壊に近い地すべりである． ・トンネル施工前から約20㎜/月で活動している．

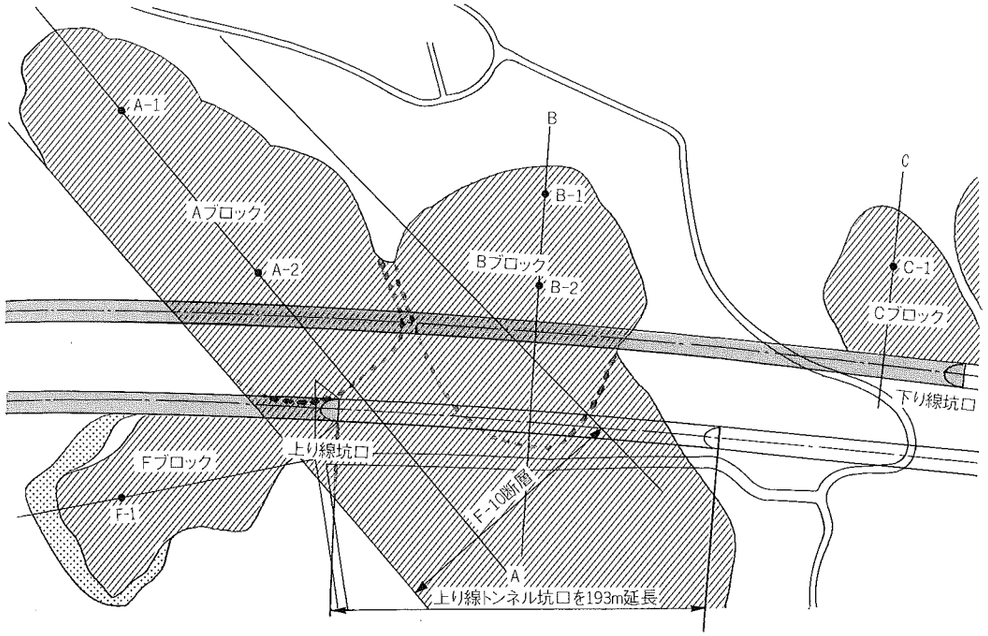


図-2　地すべりと北坑口(当初計画)の位置関係

押え盛土の施工により，活動していた地すべりA，Fブロックの挙動が収束しつつあったため，先行する下り線トンネルから掘削を開始した．

4　地すべりとトンネルの位置関係

トンネル施工により地すべりを誘発する原因は，トンネル掘削による緩み，すべり面の切除，地すべり土塊荷重の除去などが考えられ，これらは地すべりに対するトンネルの通過位置が大きく関係する[1]．

以下に，北坑口部周辺のトンネルとの位置関係について述べる．

トンネルと地すべりとの位置関係は**図-3～5**に示すように，先行する下り線はトンネルがAブロック，Bブロックの直下に位置し，上り線トンネルはBブロック圧縮部のすべり面を切除する位置にある．

さらに大規模な断層破砕帯(F-10断層)がAブロッ

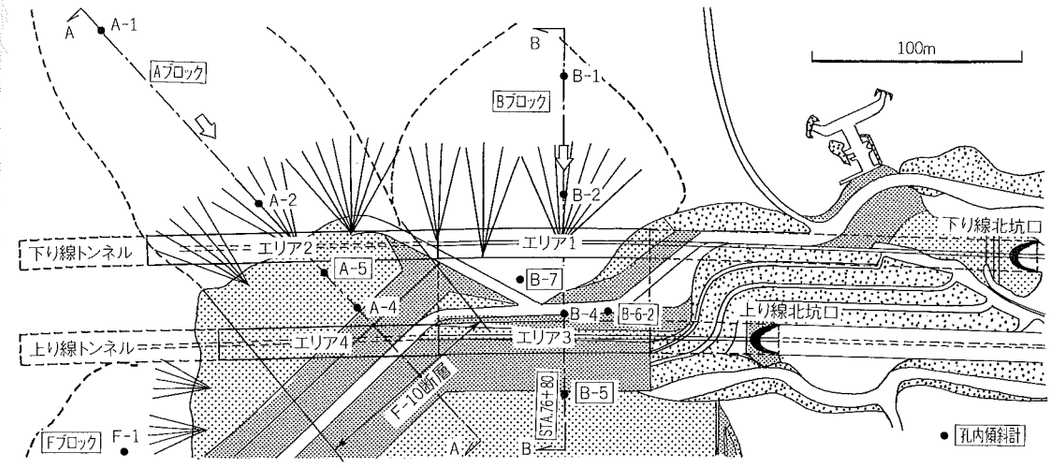


図-3　北坑口平面図

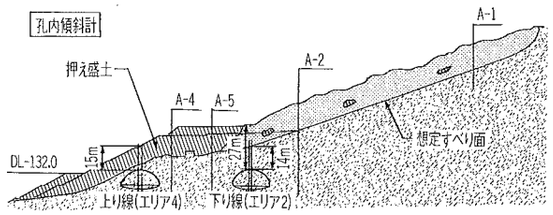


図-4　Aブロック横断図

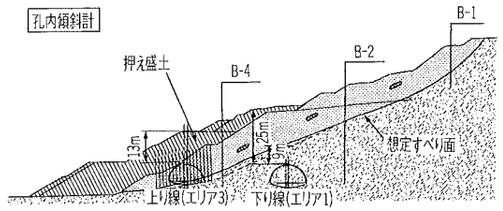


図-5　Bブロック横断図

表-2　トンネルのエリア分け

	エリア１	エリア２	エリア３	エリア４
トンネル	下り線	下り線	上り線	上り線
地すべりブロック	Bブロック	Aブロック	Bブロック	Aブロック
地すべりとの位置関係	地すべり中央部の直下	地すべり末端部の直下	地すべり末端部に位置する(トンネルが地すべり面を切除する)	トンネルの緩みが直接影響する範囲に地すべりがない
地すべり面までの距離	9m	14m	0m	—
地山の土かぶり	25m	27m	2m	4m
トンネルの地山条件	亀裂の発達したCL級岩盤(輝緑岩が主体)	粘土化著しい断層破砕帯	非常にルーズな崖錐	非常にルーズな崖錐
支保パターン	DⅠ	DⅡ	DⅢ	DⅢ
掘削工法	補助ベンチ付き全断面工法	補助ベンチ付き全断面工法	上半・下半・インバート交互施工(ベンチ長９m)	上半・下半・インバート交互施工(ベンチ長９m)

ク直下に位置し，下り線は粘土化著しい不良地山に遭遇することが予想された．なお，上り線トンネルは，Fブロックに影響を及ぼす深度に位置していない．

ここで，地すべりブロックとトンネルの位置関係を整理するために，トンネルを４つのエリアに分けて**表-2**に示す．施工順序は，エリア１→エリア２→エリア３→エリア４である．

5　下り線トンネル施工時の地すべり挙動とトンネル対策工

5-1　下り線Bブロック区間(エリア 1)

地すべりに対しては，トンネルの影響も考慮した押え盛土で計画安全率を確保しており，かつBブロックは活動停止中であったため，トンネルの影響を受けないものと判断していた．そこで，先

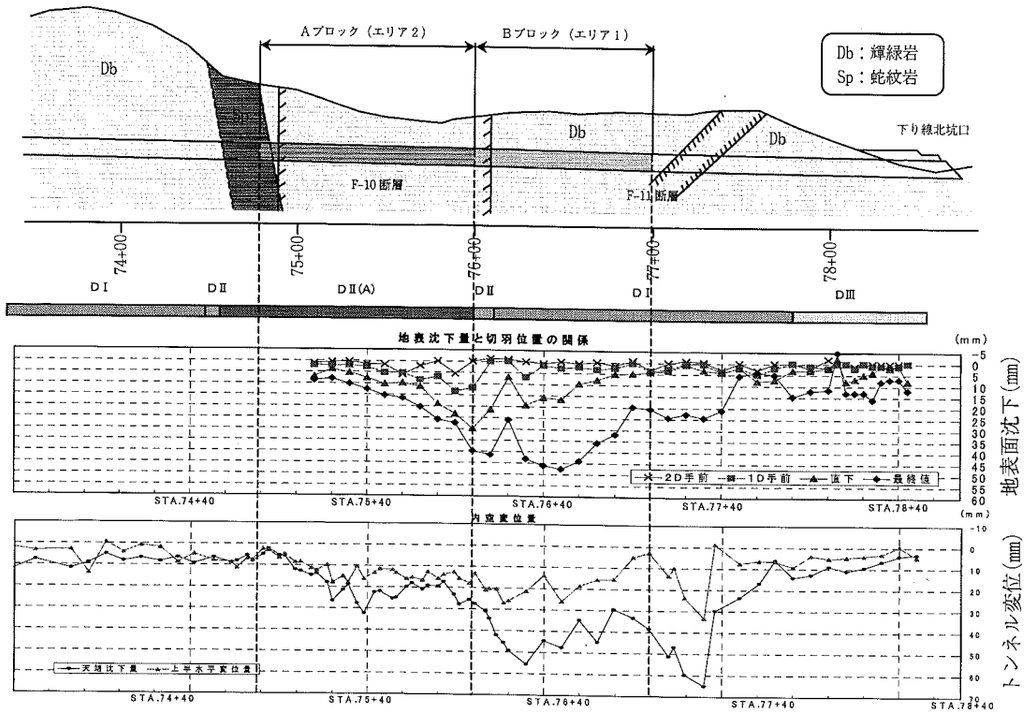


図-6　下り線トンネル施工時の地表面沈下とトンネルの変位

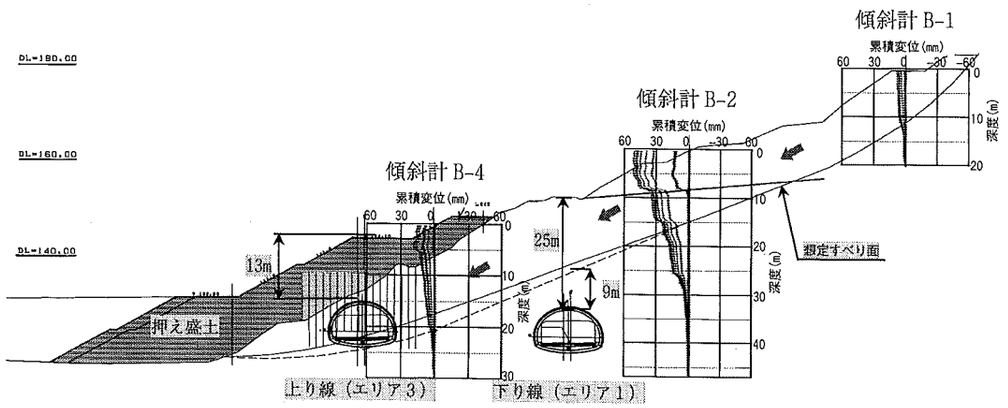


図-7　Bブロック地すべり横断図

行する下り線トンネルのBブロック区間(エリア 1)は，切羽に調査ボーリングで確認されていたCL級岩盤が現れたので，設計のＤⅠパターン(鋼アーチ支保工：H-150，吹付けコンクリート：t=200，ロックボルト：６m×24本)で施工を行った．トンネル坑内変位は，**図-6**に示すように天端沈下が30～55㎜，内空変位が10～30㎜と特筆すべき値ではなかったが，地表面沈下は30～50㎜と比較的大きな値となった．また，トンネル切羽が地すべり主測線の 2D(Dはトンネル掘削径)手前を過ぎたあたりから，活動停止中であった地すべりBブロックがほぼ想定すべり面の位置で挙動し始めた．**図-7**に示すBブロックの孔内傾斜計におけるすべり面付近の区間変位の経時変化を**図-8**に示す．図に示すように，Bブロックは，孔内傾斜計B-2で最大変位速度0.69㎜/日，累計変位量約20㎜を示し，この地すべり挙動はトンネル変位と整合がとれた．トンネル変位は，切羽がBブロック主測線から100

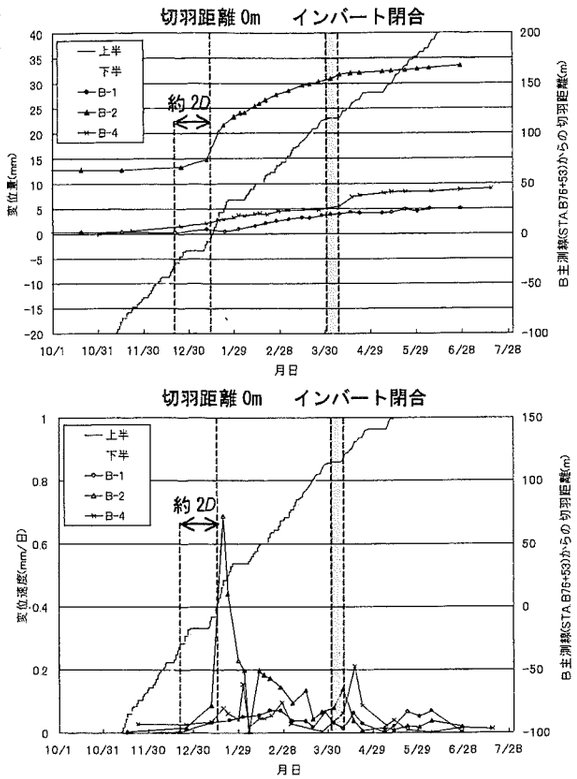


図-8　Bブロック地すべり挙動の推移

m(約 7D)離れても収束しなかったので，インバートの早期閉合を行い，インバート閉合後トンネル変位が収束することで地すべり挙動も収束した．

また，図-7の傾斜計B-2のすべり面の下方にも変位が見られ，トンネルの緩みの影響が広範囲に及んでいることがわかる．

5-2　下り線Aブロック区間(エリア 2)

Aブロックはトンネル施工前から活動していたので，Bブロックの挙動とあわせて考えると，トンネルの影響を考慮して地すべり対策工を設計していても，トンネルが地すべりに与える影響は大きいと判断された．すなわち，下り線がAブロック区間(エリア 2)を掘削する場合もBブロック区間(エリア 1)と同様の挙動を示すと考えた．とくにAブロック区間はF-10断層に位置し，粘土化著しい破砕帯が確認されていたので，支保パターンも含めたトンネルの緩み抑制対策を検討した．検討の結果，ＤⅡパターン(鋼アーチ支保工：H-200，吹付けコンクリート：t=250，ロックボルト：６m×24本)を採用して支保剛性を上げ，長尺先受け工(AGF)によりトンネルの緩みを抑制することとした．また，掘削後変位が収束しない場合はインバートによる早期閉合を実施することとした．実施工では，ＤⅡパターンとAGFの採用により地表面沈下は20㎜程度に抑制され(図-6)，**図-9, 10**に示すようにAブロックの挙動は最大変位速度0.20㎜/日，累計変位量約６㎜とBブロックの挙動の約1/3に抑制することができた．Aブロックはトンネル通過後，収束傾向を示した．

5-3　地すべり誘発のメカニズム

下り線トンネルBブロック区間(エリア 1)では，トンネルの緩みの影響も考慮した安定計算で押え盛土を設計したが，トンネル掘削時に地すべりが一時的に大きく挙動した．従来の考えでは，地すべり地外におけるトンネルの地すべりに及ぼす影響は，**図-11**に示すようにトンネル上方に 2Dの緩み範囲をとり，緩み範囲内におけるすべり面の強度定数を低下させることで評価している[2]．トンネルの

影響を強度定数の低下で評価する考えでは，一旦地すべりが発生した場合，地すべり対策を行わないと地すべりは挙動し続けることになる．しかし，図-12に示すように，Bブロックの地すべり挙動はトンネル変位と強い相関性があり，インバート施工後トンネルの沈下が収束すると地すべり挙動も沈静化している．

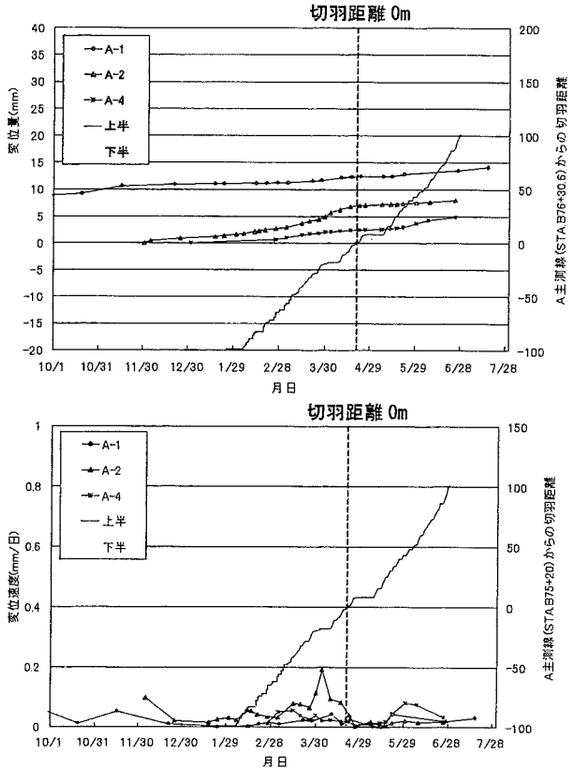


図-9　Aブロック地すべり挙動の推移

また，従来の矢板工法とは異なり，現在の山岳トンネルでは，よほどの押し出し性地山でないとトンネルの緩みが2*D*まで至らないことは，多くの坑内からの地中変位測定からも明らかである[3]．本トンネルにおいても，地表からの地中変位計測結果から，Bブロック区間(エリア1)では，トンネルの緩み領域は0.5*D*程度ですべり面にまで達していない．

よって，これらの事実を解釈するには，トンネルの掘削による「緩み」で地すべり面の強度定数(*c*，ϕ)が低下(塑性化)する考えではなく，トンネル掘削による地山の変位により，すべり面の鉛直応力が一時的に減少することが起因していると考えるほうが適切に説明できる．トンネルを掘削すると緩み領域の外側にグラウンドアーチが形成され，地山の応力状態が変化する．これをトンネル掘削による地山の応力再配分と言うが，この領域にすべり面があると，すべり面の鉛直応力が一

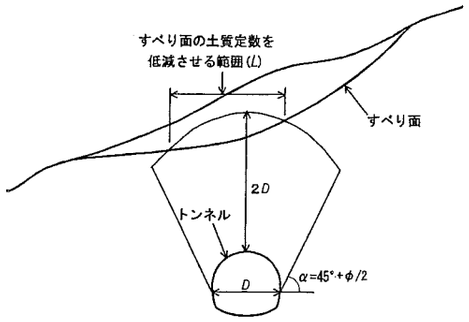


図-11　地すべりに与えるトンネルの影響

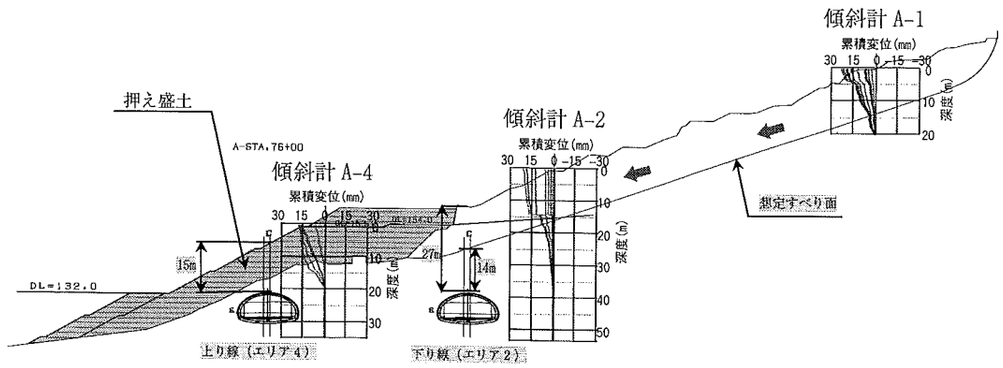


図-10　Aブロック地すべり横断図

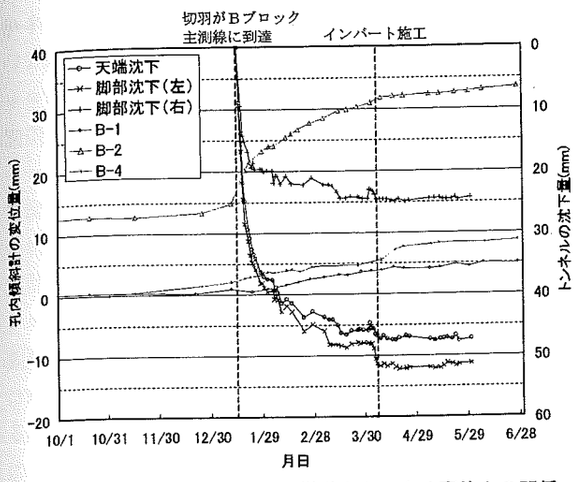


図-12　Bブロックの地すべり挙動とトンネル変位との関係

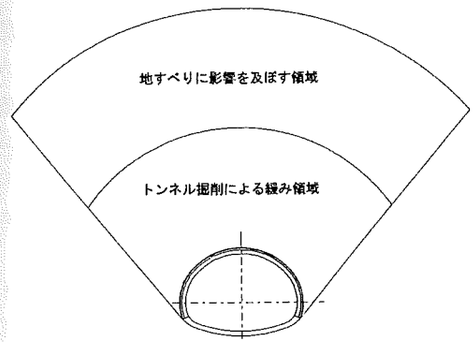


図-13　地すべりに影響を及ぼす領域

旦除荷され地すべりを誘発する．その後トンネルの変位が抑制されることで応力再配分が完了し，除荷された鉛直応力が回復して地すべりが沈静化したと考える．

ここで，緩みについて整理すると図-13に示すように，「トンネル掘削による緩み領域」は，今回の計測結果や既往の研究[4]により地山の力学特性が掘削前の特性から変化する領域であるとするならば，「地すべりに影響を及ぼす領域」はトンネル変位の影響が波及する領域と定義し，広範囲な領域となる．

6　上り線トンネル施工時の挙動とトンネル対策工

下り線トンネルが地すべり区間を通過した後，引き続き北坑口側から上り線トンネルの掘削を開始した．上り線トンネルのBブロック区間(エリア3)は，押え盛土の下に非常にルーズな崖錐が分布し，トンネルがすべり面を切除するため，トンネル掘削の影響がもっとも大きいと想定された．したがって，トンネルの緩み抑制対策として，押え盛土施工時に垂直縫い地と改良盛土を施工した．しかし，上り線トンネル施工時の地すべり挙動を予測した結果，上り線トンネルの施工により地すべりの安全率が大きく低下して，トンネル山側周辺で局所的な地すべりを誘発し，この局所すべりによる荷重がトンネルに大きな偏圧として作用することが予想された．また，局所すべりが大きく誘発すると，地すべり全体を大きく誘発させることが懸念された．

よって，局所すべりの荷重が作用した場合に，地すべり荷重を押え盛土に伝達できるように高規

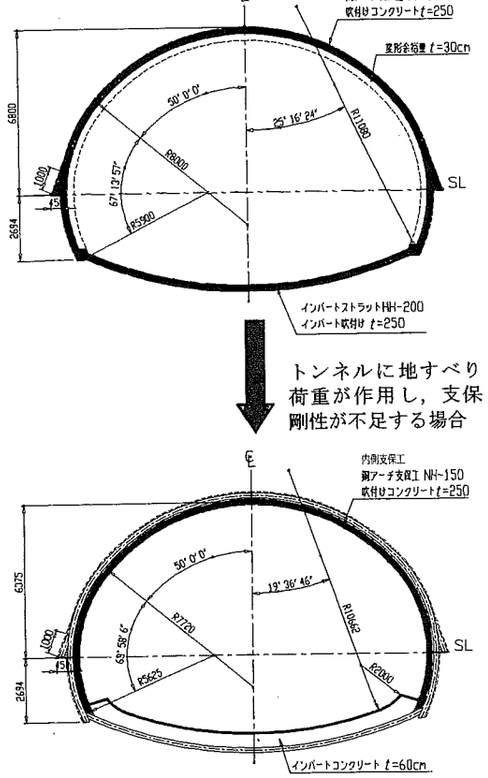


図-14　Bブロック区間の支保パターン

格鋼アーチ支保工(HH-200)とインバートストラットによる早期閉合を採用し支保の剛性アップを図った．さらに動態観測を強化し，支保剛性が不足した場合に備えて二重支保工が施工可能な施工余裕量をとった(**図-14**)．

一方，Aブロック区間(エリア4)は，トンネルが直接地すべりに影響を与える位置関係にはないが，地表面沈下により押え盛土が変形し，Aブロックに間接的に影響を与えることが懸念されたので，トンネル対策工を実施した．

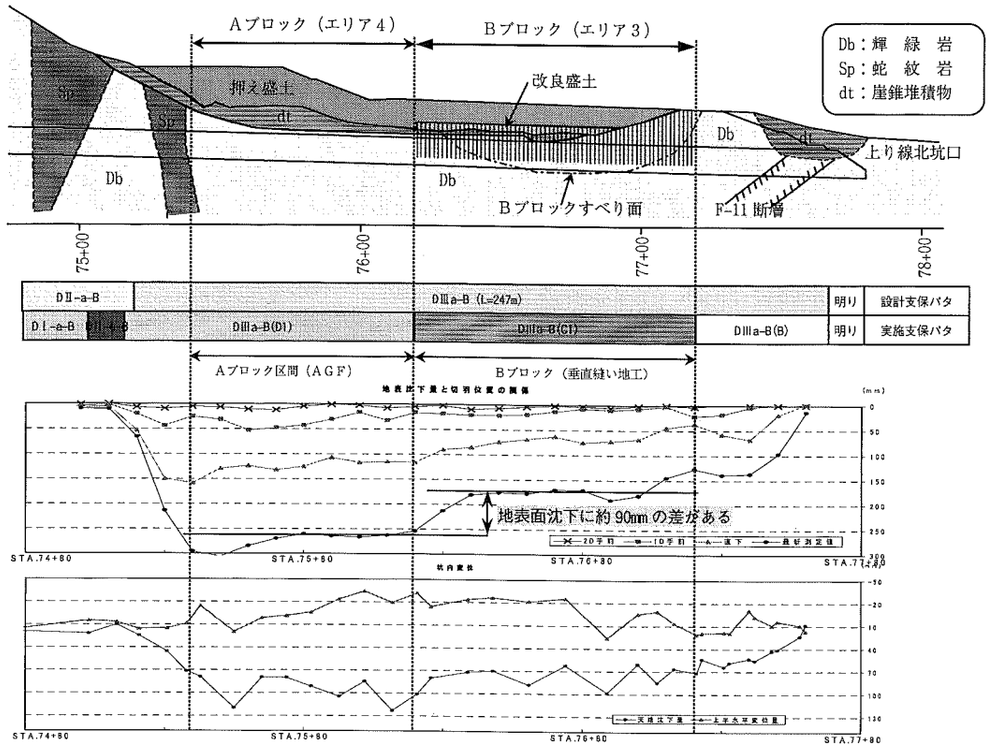


図-15　上り線トンネル施工時の地表面沈下

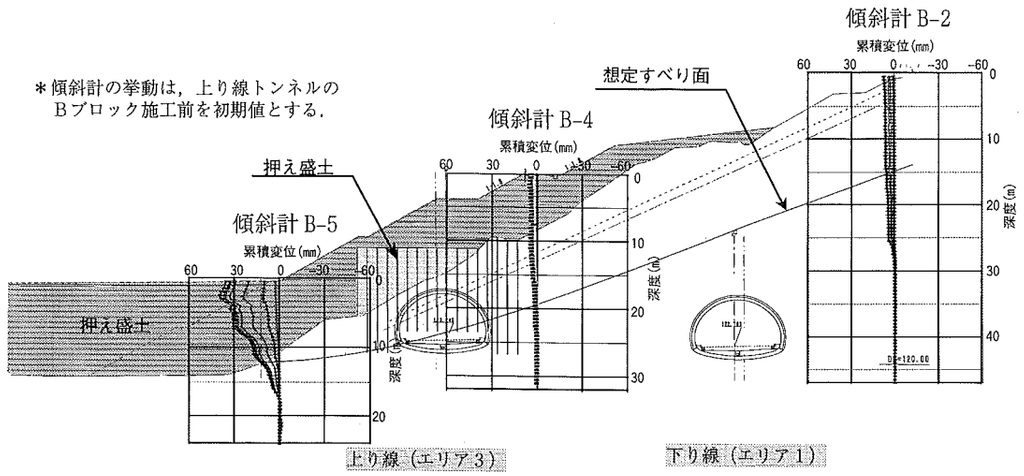


図-16　下り線トンネルBブロック施工時の地すべり挙動

6-1　上り線トンネルBブロック区間（エリア3）

上り線トンネルのBブロック区間(エリア3)の施工は，地すべりの動態観測を強化し，上・下半仮インバートを9mごとに施工して早期リング閉合を図った．上り線トンネルの地表面沈下とトンネル坑内変位の計測結果を**図-15**に示す．Bブロック区間のトンネル坑内変位は，土かぶりの小さいトンネルに共通して見られるような沈下が卓越し，変位速度が速く天端沈下80～120mm，地表面沈下は約170mm発生したが，インバートストラットによる早期閉合後は収束した．地すべり挙動は，**図-16**に示すように孔内傾斜計B-4は累計4mm程度変位したが，孔内傾斜計B-2は顕著な地すべり挙動が見られず，地すべりを大きく誘発することがなかった．また，トンネル全体がすべり方向に変位する挙動を示し，孔内傾斜計B-5にも押え盛土が谷側に変形する挙動が見られることから，インバートストラットによる早期リング閉合で地すべり荷重が押え盛土に伝達されていることが確認できた．

Bブロック区間は，地すべり荷重が作用することが予想されたので，支保部材の応力測定を実施した．鋼アーチ支保工は，トンネル左肩部でSS-400材降伏応力(245N/mm²)に達したが，高規格鋼アーチ支保工(HT-590)を採用していたため管理基準値(375N/mm²)以内で収まった．また，地すべりによる偏圧が作用して局所的な曲げモーメントの発生が懸念されたが，早期リング閉合により偏圧に抵抗できた．

上り線Bブロック区間は，地すべり圧縮部のすべり面を切除するもっとも危険な位置[1]にあったが，垂直縫い地が切羽前方の変位を抑制し，掘削後はインバートストラットによる早期閉合で地すべり荷重を押え盛土に伝達させることで，地すべりを大きく誘発させることなく無事突破できた．したがって，最終的には二重支保工の施工は行わなかった．

6-2　上り線トンネルAブロック区間（エリア4）

Aブロック区間(エリア4)は，Bブロック区間(エリア3)と同様に地山の土かぶりが小さくその上に押え盛土が施工されている．したがって，トンネルが直接地すべりに影響を与える位置関係ではなかったが，大きな地表面沈下の発生により押え盛土が変形し，Aブロックに間接的に影響を与えることが懸念されたので，地表面沈下抑制対策が必要と判断した．対策工を検討した結果，下り線Aブロック区間(エリア2)で実績のあるAGFと上り線トンネルBブロック区間(エリア3)で実績のあるインバートストラットによる早期閉合を採用した．対策工を採用した結果，トンネルの緩みによる挙動は観測されたが，地すべりは誘発することはなかった．

6-3　垂直縫い地の効果

上り線トンネルBブロック区間(エリア3)では，トンネルの緩み抑制対策として，**図-17**に示すように押え盛土の施工途中でトンネル天端上方6mの範囲に改良盛土と垂直縫い地を施工した．

垂直縫い地の設計は経験的手法で仕様を決定し，ボルト径は25mm，打設間隔は縦断・横断ともに1.5mとした．ボルトの打設範囲については，既往の研究でボルトは掘削盤の下端に定着させ，「下支え効果」を発揮させることがきわめて重要であることが明らかとなっている[5]ので，トンネル断面内はボルトをSLまで施工した．また，トンネル断面外のボルトにも下支え効果を期待し，トンネル側壁部の安定を確保するためにトンネル断面外のボルトをインバート下部まで施工した．これらの垂直縫い地の効果は，FEM解析で有効性を確認した．

以下に計測結果を分析し，垂直縫い地の効果について述べる．

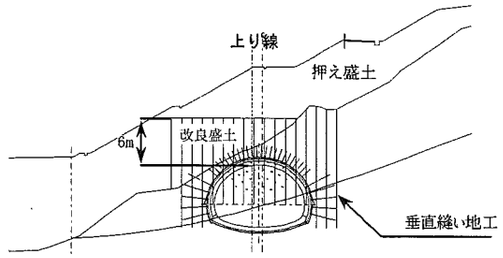


図-17　垂直縫い地ボルトの施工範囲

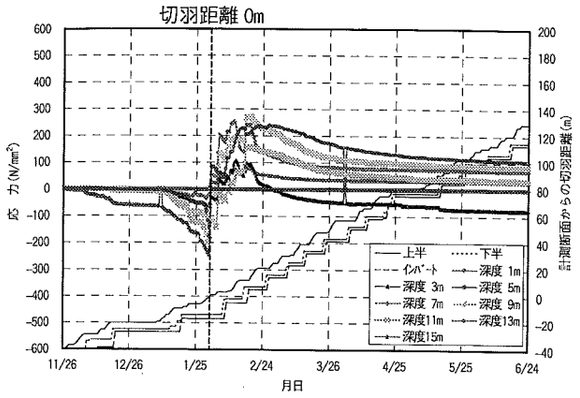


図-18　垂直縫い地ボルトの応力経時変化(C-41)

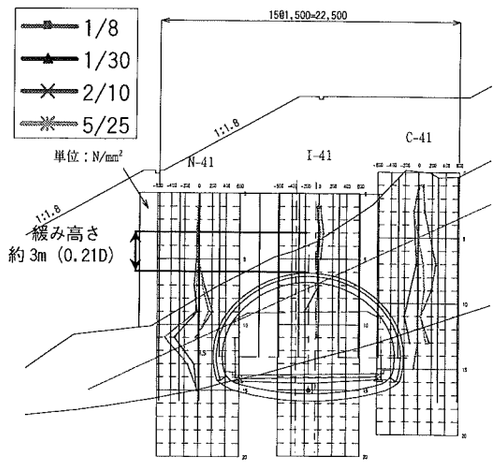


図-19　垂直縫い地ボルトの応力分布

6-3-1　緩み抑制効果

垂直縫い地の効果を確認するために，ボルトの応力測定を実施した．計測結果を図-18に示す．計測結果から，既往の報告[6]にあるとおり，ボルトに切羽が近づくに従い圧縮応力が作用し，切羽通過直後から引張りに転じている．また，トンネル側壁部の安定を図るために，トンネル断面外のボルトをインバート下部まで伸ばしていたが，図-19に示すように側壁部で大きな圧縮応力が発生しており，垂直縫い地の下支え効果が発揮されていることが確認できる．

既往の報告[3]では，切羽通過直後の垂直縫い地ボルトの軸力の分布は図-20のようにモデル化で

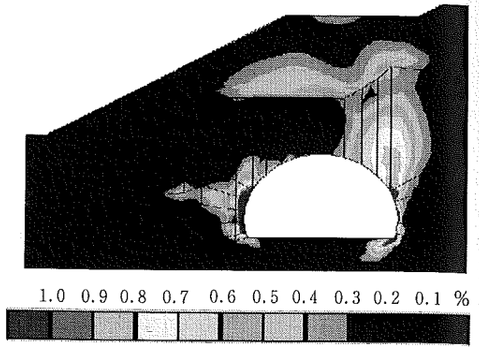


図-20　垂直縫い地ボルトの軸力分布と付着力の関係

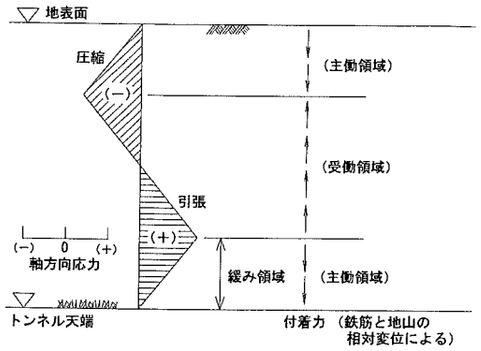


図-21　FEM解析で想定した地山のひずみ分布

きるとしている．これに従えば，垂直縫い地施工区間の緩み範囲は，図-19に示すようにトンネル天端で 3m(0.21D)程度であり，過去に報告されている垂直縫い地採用時の緩み範囲(0.3D程度)と同程度である．

また，ひずみゲージによるボルト応力測定結果から得られるボルトの軸力分布は，設計時に実施したFEM解析の地山のひずみ分布(図-21)とよく一致しており，設計時に期待した効果が十分発揮されていることが検証された．

6-3-2　先行変位抑制効果および地表面沈下抑制効果

ここで，垂直縫い地の先行変位抑制効果に着目し，地形・地質および施工法がほぼ同条件の垂直縫い地を施工したBブロック区間(エリア 3)とAGFを施工したAブロック区間(エリア 4)における地表面沈下計測結果を分析した．図-22に地表面沈下と切羽距離の関係を示す．図に示すように，

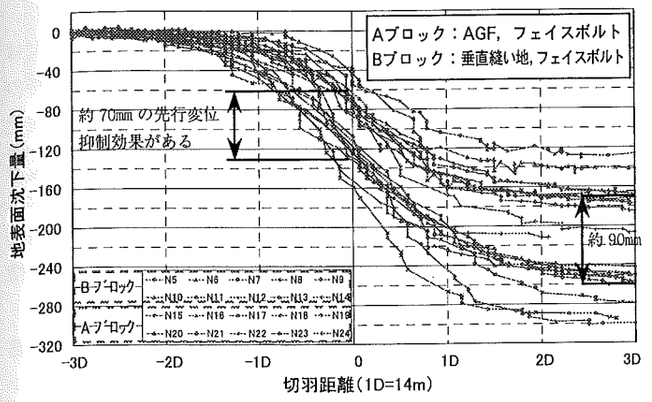


図-22　A,Bブロックの地表面沈下比較

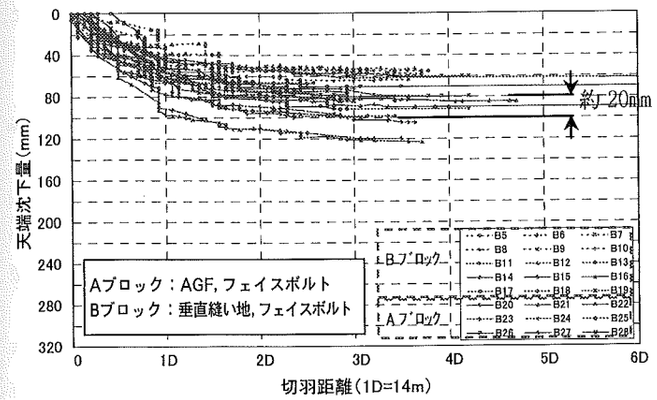


図-23　A，Bブロックのトンネル天端沈下比較

垂直縫い地区間の地表面沈下の方がAGF区間より約90㎜小さく，切羽距離 0 mまでの先行変位で約70㎜の差となって現れている．また，図-23に同区間のトンネルの天端沈下を示すが，両区間の差は約20㎜と小さく，地表面沈下の差のほとんどが，先行変位で発生していることを裏付けている．先行変位率に直すと垂直縫い地区間は約35%であるのに対して，AGF区間では約50%となり，垂直縫い地の先行変位抑制効果が大きいことが確認された．

6-3-3　切羽崩壊防止効果

垂直縫い地区間の手前では切羽が自立せず，フェイスボルトを採用していたにもかかわらず，大規模な切羽崩壊(奥行き方向 3 ～ 4 m)が多発した(写真-1)．垂直縫い地区間に入っても切羽の自立性は悪く，掘削中は写真-2に示すように切羽崩壊



写真-1　切羽崩壊状況(フェイスボルト区間)

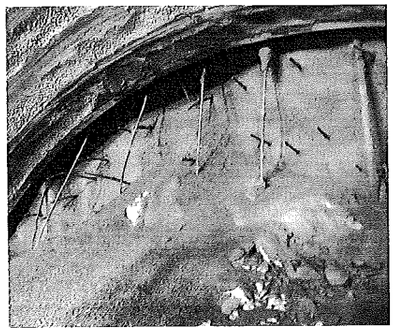


写真-2　切羽崩壊状況(垂直縫い地ボルト区間)

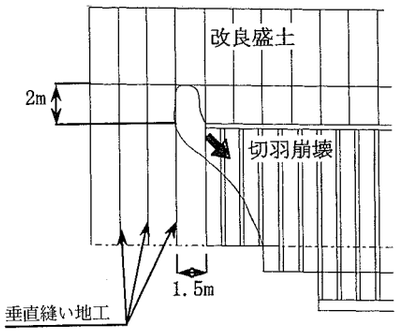


図-24　切羽崩壊状況の概略図

が数回発生した．切羽崩壊は，切羽側の垂直縫い地が掘削により解放された瞬間に発生したが，図-24に示すように崩壊は次の垂直縫い地以奥には波及せず，切羽前方が大きく崩壊することはなかった．このことから，垂直縫い地が切羽の押し出しを抑制していることがわかる．しかし，切羽進行長が 1 mであるのに対し，切羽崩壊は切羽以奥の 1.5mに及ぶため，切羽崩壊後の支保施工時の安全性に問題があった．したがって，垂直縫い地の

トンネル縦断方向の打設間隔は，トンネル進行長と同じにすることで切羽の安定が確保できると考える．

7 おわりに

引佐第二トンネル北坑口部のトンネル施工において，地すべり，地表の動態観測およびトンネル計測結果を報告した．その際に，トンネルの影響による地すべり挙動とその地すべりに与える影響を考慮したトンネルの設計・施工およびトンネル対策工のすべり抑制効果について，以下の知見が得られた．

- トンネルが地すべり地外にある場合，トンネルの影響を考慮した地すべり対策工を行っても，トンネル掘削により地すべりが誘発する場合がある．これは，トンネル掘削による周辺地山の応力再配分によりるものと考えられるが，トンネルの変位を抑制することで地すべり挙動も沈静化する．
- 切羽が自立しないような不良地山では，AGFより対象区間を事前補強できる垂直縫い地の方が先行変位抑制効果は大きい．
- 地すべり対策工として押え盛土を施工し，かつトンネルが地すべり地内にあり，圧縮部のすべり面を切除する場合，トンネル掘削後は速やかにリング閉合し，地すべり荷重を押え盛土に伝達することが有効である．
- 垂直縫い地をトンネル断面外に打設する場合は，インバート下部まで伸ばすことで，垂直縫い地の下支え効果が有効に作用する．

以上のように，地すべり地帯のトンネル施工はきわめて困難であり，綿密な事前予測と施工時の動態観測，その結果をフィードバックした情報化施工が重要である．今回，北坑口部においてトンネル掘削による地すべりの挙動，トンネル対策工のすべり抑制効果を整理できたことで，現在南坑口部の地すべり地帯のトンネル施工に反映させ情報化施工でトンネル掘進中である．

最後に，本工事の実施にあたり，第二東名高速道路静岡建設局管内のり面防災対策検討会(座長：奥園誠之・九州産業大学工学部教授)の方々をはじめ関係各位に貴重な助言とご指導をいただいた．ここに記して感謝の意を表します．

参考文献

1) 坂垣　治：トンネル坑口周辺の地すべり対策(1)，トンネルと地下，Vol.12，No.10，pp.37-43, 1981.
2) 日本道路公団：設計要領第一集，pp.参3-27-参3-28，(財)道路厚生会，1999.
3) (財)高速道路技術センター：トンネル掘削を誘因とする地すべり対策に関する基本検討，pp.8-68, 1996.
4) 桜井春輔：トンネル掘削に伴う緩み領域の研究，トンネルと地下，Vol.14，No.1，pp.35-41, 1983.
5) 奥田　庸・石渡徳久・阿部敏夫：垂直縫地ボルトの地表面沈下抑制効果とボルトの軸力挙動に関する実験結果並びに適用例，土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集，第5巻, pp.9-16, 1995.
6) 中田雅博・三谷浩二・城間博道・西村和夫・進士正人：現場計測による垂直縫地ボルトの補強効果に関する基礎的研究，土木学会トンネル工学研究発表会論文・報告集，第6巻, pp.163-168, 1996.

『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)

施工

わが国の技術を駆使したバンコク地下鉄

—チャロム・ラチャモンコン線建設工事—

東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所所長　大月喜雄
(株)大林組海外土木事業部海外土木第一部専任役　山本昭
東急建設(株)建設ソリューション事業部新事業領域推進部課長　浅上裕司

1 はじめに

ASEAN諸国の中で盟主を自認しているタイ王国は，1990年代に目覚しい経済発展を果たし，その好景気を背景に首都バンコクにおいて都市鉄道整備を推進してきた．

この都市鉄道整備の中の一つのプロジェクトであった同国で最初の地下鉄が，バンコク首都圏において，円借款経済協力，本邦地下鉄建設技術の活用により，昨年(2004年)7月に開通した(図-1，写真-1～3)．

本稿では，上下分離手法にて実施された地下鉄プロジェクトの概要と特徴的な建設工事の一部について紹介する．

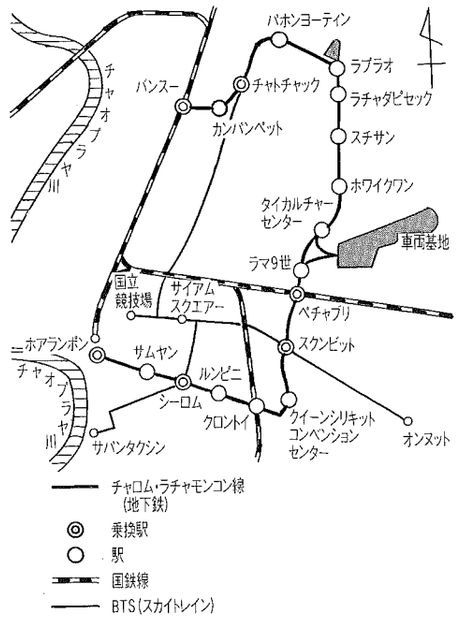


図-1　地下鉄路線図

2 都市鉄道整備の背景と概況

2-1 都市鉄道整備の背景

タイ王国の中心であるバンコク首都圏は，長期



写真-1　地下鉄車両



写真-2　地下鉄ホーム



写真-3　地下鉄改札口

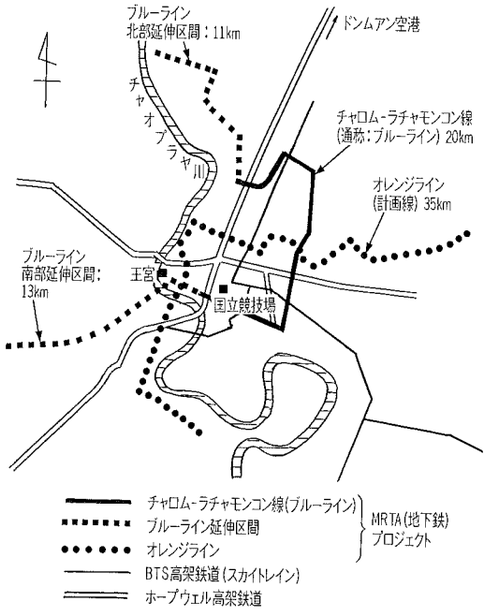


図-2　バンコクにおけるマスタープラン

にわたる工業化・商業化の進展による経済成長を保ち，地方からの激しい人口流入の結果，人口および経済の一極集中を引き起こした．

人口集中の面からみると，1998年の同国総人口が約60.8百万人であるのに対し，バンコク首都圏人口は約11.4百万人といわれ，実に同国人口の18.7%を占めていた．

そして，この首都圏への急激な人口集中は，交通需要を増大させ，世界最悪と酷評される交通渋滞問題，自動車排気ガスなどの環境問題をも発生させることになった．

このことから，タイ政府は，1996年にバンコク首都圏における5路線268.8kmの大量交通機関の整備計画であるマスタープラン(**図-2**)を作成した．なお，2003年にマスタープランは，拡大変更されている．

2-2　都市鉄道整備の概況

このマスタープランは，大きく3事業体によるプロジェクトの推進であり，高架鉄道プロジェクト，鉄道・道路併用プロジェクト，そして地下鉄プロジェクトであった．

高架鉄道プロジェクトは，通称スカイトレインと称され，バンコク市内の主要幹線道路上空を利用した高架鉄道であり，完全民活プロジェクトとして，民間企業のBTS社が自らインフラを建設し運営(30年間)している．この鉄道は，1999年12月に2路線23.5kmが開通しており，今日ではかなり旅客需要が増加してきている．

鉄道・道路併用プロジェクトは，通称ホープウェルプロジェクトと称され，既存タイ国鉄用地上空を利用した高架鉄道および高速道路併用プロジェクトであった．これも完全民活方式にて実施されていたが，民間企業ホープウェル社による資金調達難などの理由で頓挫したプロジェクトである．この建設途中である構造物は撤去されることとなっており，代わって新マスタープランに従った高架鉄道プロジェクトが推進されつつある．

そして，地下鉄プロジェクトであるが，タイ王国の政府系法人であるMRTA(Mass Rapid Transit Authority of Thailand)が遂行した同国で最初の地下鉄であり，第一期区間として18の地下駅を有したホアランポン～バンスー間20kmが，上下分離方式にて実施された．本プロジェクトは，1996年に工事着手され，昨年(2004年)7月3日に開通したものである．

3　地下鉄プロジェクトの概要

3-1　プロジェクトの特徴

(1)　上下分離方式

本プロジェクトの最大の特徴は，上下分離方式の採用である．

この上下分離方式とは，地下鉄のインフラ整備はタイ政府(MRTAが代行)が，地下鉄運営に係わる車両を含めた電気機械設備および25年間の運営は民間企業が実施するものである．

なお，この民間企業の実施する事業は，BOT(Build Operation Transfer)方式と称されている．

(2)　インフラ工事の資金調達

インフラ整備費(用地費およびコンサルタント費を除く)の資金調達は，日本政府を通じた国際協力銀行(JBIC：Japan Bank for International Cooperation)による環境特別円借款に依存した．

ちなみに，1996年の本プロジェクト開始時点では，インフラ整備費の6割に円借款(金利2.75%，30年償還)，残り4割はタイ政府による資金調達(具体的にはMRTA債券発行)であった．しかし，タイ王国が直面した通貨危機の影響により，同政府による資金調達が困難になったことで，同政府は日本政府に4割分の資金調達をも円借款の供与を要請したことで，インフラ整備費の100%を円借款に依存することになった．さらには，京都世界環境会議を契機に，バンコク地下鉄プロジェクトが環境に資する案件として認められたことで，借款条件の緩和となった環境特別円借款(金利0.75%，40年償還)が適用となった．

このように，本プロジェクトは，日本政府による経済協力により遂行された．

(3)　デザイン＆ビルドの工事請負契約

インフラ整備の工事請負契約は，デザイン＆ビルト手法にて公開入札にて実施された．その入札形式は，発注者の要求事項をもとに，入札参加JVが提案図書と入札価格を提出し，最初に技術審査を実施して数社に絞り込み，最後に入札価格を公表して契約締結にまで至った．

3-2　プロジェクトの概要

本プロジェクトの計画概要は，**表-1**のとおりである．また，インフラ工事および事業権の請負契約は，**表-2**のとおりである．

表-1　プロジェクト概要

区　　間	ホアランポン～バンスー
路線名称	チャロム-ラチャモンコン線(通称ブルーライン)
路線延長	約20km
駅　　数	18駅(全地下駅)
建設工法	駅部は開削工法，駅間トンネルは単線シールド工法
車両基地	路線中間点のホワイクワン地区に24万m²
請負契約	契約－1　南工区建設工事請負契約
	契約－2　北工区建設工事請負契約
	契約－3　車両基地建設工事請負契約
	契約－4　軌道敷設工事請負契約
	契約－5　エレベータ・エスカレータ設置請負契約
	契約－6　事業権契約
	その他　各種コンサルタント請負契約
建設期間	1996年～2004年
開　　業	2004年7月3日
事業方式	上下分離方式(インフラ整備は政府，電気機械設備および運営は民間セクター)
事　業　費	約1,160億バーツ(約3,480億円，1バーツ＝3円換算)
運　　賃	2005年1月現在：初乗り10バーツ，4駅以上15バーツ 2005年7月以降(予定)：初乗り14バーツ，1駅ごとに2バーツ，最大36バーツ
需要予測	開業時32万人/日，開業8年後48万人/日
運行システム	普通電車列車方式
軌道間隔	1.435m
集電方式	DC750V，第3軌条方式
車両編成	6両(開業時3両)
運転間隔	最小運転間隔2分ヘッド
運転保安	自動列車運行システム，列車集中制御システム
その他	ホームドア採用

表-2　インフラ工事および事業権の請負契約

契約No.	契約名称・契約日	請負者・契約内容
1	南工区建設工事 1996年11月	BCKT【ビルフィンガーバーガー(独)，チョウカンチャン(タイ)，熊谷組，東急建設】地下鉄本線20kmの内南半分10kmの建設工事ほか
2	北工区建設工事 1997年7月	ION【イタルタイ(タイ)，大林組，西松建設】 地下鉄本線20kmの内北半分10kmの建設工事ほか
3	車両基地建設工事 1998年12月	SNMC【鹿島，間，前田建設，三井物産，サイアムシンテック(タイ)，TSBトレーディング(タイ)】 路線中間点に約24万m²の人工地盤車両基地建設工事ほか
4	軌道敷設工事 1999年11月	CKSL【チョウカンチャン(タイ)，SNCラバリン(カナダ)】 本線20kmならびに車両基地のレールおよび第3軌条敷設工事
5	エレベータ＆エスカレータ設置工事　1998年11月	MMW【三菱商事，三菱電機，ワラチャック(タイ)】 全18地下駅のエレベータ＆エスカレータ製作設置工事
6	事業権 2000年8月	BMCL【チョウカンチャン(タイ)，アジアセキュリティートレーディング(タイ)】，サプライヤー：シーメンス(独) 電気機械設備等(車両，信号，通信，自動改札機，券売機，ホームドア，車庫内工場建物および設備等)の調達および設置，25年間の運営およびメンテナンスほか

4　地　質　概　要

バンコクの地質は，一般に広範囲にわたり一様で，地表から約15mまではN値０～１の暗灰色の軟弱粘土，その下層に５～10mの厚さで硬質粘土が横たわっている．さらに，その下部に比較的密な第一砂層，続いて堆積砂層が存在している．砂層内には場所により硬質粘土層が介在する．地下水位は，地表面下１mほどの深さに存在するが，砂層からの長年にわたる地下水の汲み上げの影響により粘土層内で水頭が減少している．

図-3に，ラプラオ駅開削工事の地質断面と駅構造図を示す．

5　開削工事の特徴

開削工法にて実施した全18地下駅の建設工事の中で，特徴的な工法について以下に紹介する．

5-1　急速逆巻き工法

（１）　工法選定の経緯

バンコクの地下鉄建設工事は，駅部は開削工法にて，駅間トンネルは単線シールド工法にて施工された．契約工程を考慮すると，１機のシールドが最大５区間の駅間トンネルを掘進することになるので，各駅におけるシールドの到達・通過・再発進を駅開削工事の掘削完了後とし，この条件下で急速施工と仮設工事低減を両立させる計画とした．

駅構築の土留めとしては，単独壁方式の本体利用によるRC地下連続壁を採用し，掘削方式は逆巻き工法とした．

従来の逆巻き工法は，掘削と床版構築と交互に行いながら掘り下がるもので，床版には必要に応じて開口部を設け，掘削土の搬出や材料の投入に供するものである．しかし，これでは床版構築に時間を要することや，掘削土搬出・材料投入に施

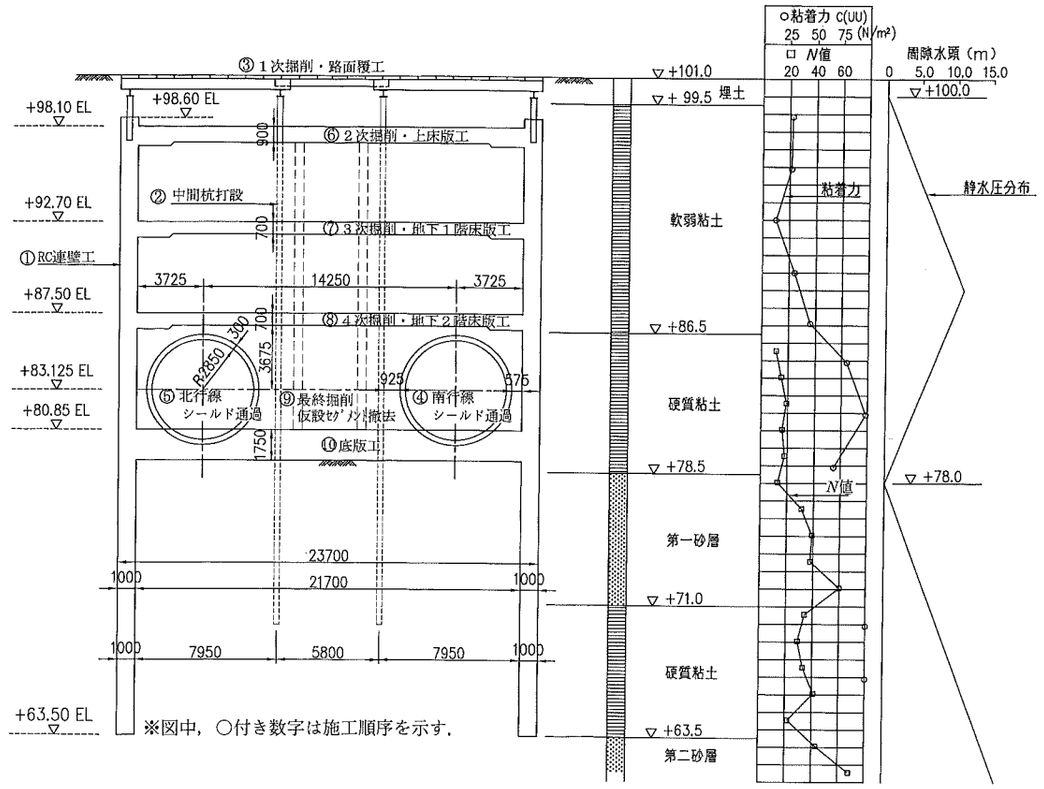


図-3　ラプラオ駅地質・構造図

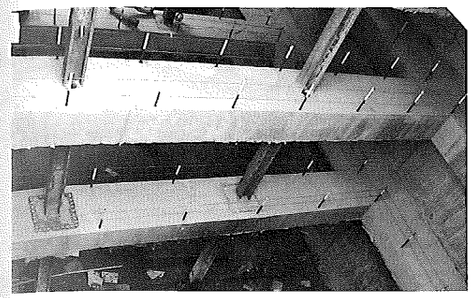


写真-4　逆巻きスラブ

工上の制約が生じ，急速施工を行いがたい．

したがって，梁・スラブで構成される本体床版の梁だけを先行施工し，土留めの腹起し・切梁として仮設利用するものとした(**写真-4**)．

（２）　施工概要

標準的には，幅2.5m，高さ1.0mの腹起しを地下連続壁内側全周に，標準間隔(中間杭間隔)11.4mで幅2.2～2.9m，高さ1.0mの切梁をRC構造にて築造した．このため，仮設のみに使用する腹起し・切梁用の鋼材は，ごく一部の特殊部を除き使用していない．

下床版とその直上の中床版までの鉛直間隔は約７mであるが，この間においても仮設の腹起し・切梁は不要となるよう地下連続壁を設計した．

従来の逆巻き工法と異なり，上下作業を行える大きな空間が何箇所も確保でき，施工の柔軟性が増して作業性が向上し，急速施工が可能となった．これにより，ほとんどの駅でシールドの到達までに下床版を構築することができた．なお，シールド通過部の下床版には通過を可能にするよう深さ1.0mのリセスを設けている．

スラブと連続壁の接続については，上床版と下床版のみモーメント継手とし連続壁にカプラーを配置し，中床版はピン継手とし折り曲げ鉄筋を埋め込んだ．

上床版および下床版は現場打ちRC構造を採用したが，中床版はプレキャスト中空版を先行施工したRC切梁に設置し，厚さ10cmのRC構造仕上げとした．プレキャスト中空版は，その荷重条件に応じて異なる種類を用いた．ただし，エスカレータ設置部や換気シャフトなどの特殊部では，場所打ちコンクリートで仕上げている．

地中連続壁，梁，スラブ，柱ともに鉄筋はSD50(f_y=490N/㎟)，コンクリート呼び強度40N/㎟として，部材寸法の低減を図ることでコスト縮減も可能となった．

一方，掘削時に必要となる中間杭を本設の柱と兼用することとし，仮設のみで使用する中間杭は用いていない．すなわち，場所打ち杭にH形鋼を挿入することで，仮設時の柱としては鋼材のみで対応し，本設時の柱はRCを巻き立てて施工した．このH形鋼材の諸元は，場所によって異なるが283～738kgf/mという極厚鋼材である．この中間杭鋼材と切梁兼用のスラブとはジベルで接合した．

5-2　鋼製地下連続壁の採用

（１）　工法選定の経緯

路線の南地区の商業集積地に位置するシーロム駅は，当初は道路中央にある高架道路を避けて，南側一般道とホテル駐車場の直下に建設される予定であった．しかし，同ホテルとの用地交渉が決裂したことで，この高架道路の直下に建設することとなった．

この開削工事および高架道路橋のアンダーピニング工事の土留め壁の選定にあたり，RC地下連続壁と鋼製地下連続壁を対比検討した．この結果，鉄筋かごの加工ヤードが不要となること，壁厚がRC地下連続壁では1.8m，鋼製地下連続壁では1.2mとなること，壁厚1.2mであれば既存のバケット式掘削機が使用できることなどで，鋼製地下連続壁を採用することとした．

（２）　施工概要

シーロム駅建設工事ならびに鋼製地下連続壁工事の概要を**表-3**に，構造断面図を**図-4**に示す．

図-5にNS-Box(GH-Rタイプ)の配置および溝掘削のためのエレメント割り付けを示す．エレメントの割り付けにあたっては，溝壁安定の検討結果から溝掘削開放長を6.0m以内とし，標準的には5本のNS-Boxで1エレメントとした．

施工順序は，溝掘削，ストップエンド設置・撤去，スライム処理，超音波溝壁測定，NS-Box建て込み，コンクリート充填となる．

掘削対象地盤は，超軟弱粘土を含む粘性土層を主体とする比較的均一な地盤であり，溝掘削には懸垂式バケット掘削機(**写真-5**)を使用した．

コンクリートは，NS-Boxの背面に回り込むように流動化剤と水中不分離性混和剤を混入し，トレミー管を用いて打設した．NS-Boxのウェブ部に直径36cmの開口を85cm間隔で設けることにより，1本のトレミー管で最大3個の隔室に打設した．コンクリート供試体の圧縮強度試験結果は，材齢28日で58.3N/㎟であった．

表-3　シーロム駅建設工事概要

開削寸法	延長154m，幅28m，深さ32.5m
土かぶり	4.95m
鋼製地下連続壁	掘削幅1.2m，掘削深さ46.15m，壁面積17,020m²
鋼製連続壁部材	GH900㎜，L=5～16m (SM490)
鋼材重量	7,390tf (NS-Box)
充塡コンクリート	高流動コンクリート20,424m³
中間杭(本体利用)	矩形場所打ち杭2.8m×1.2m，深さ61m

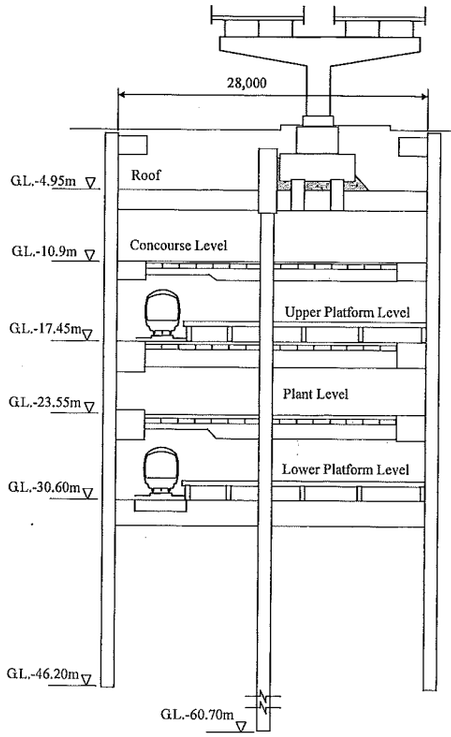


図-4　シーロム駅構造断面図

本工事では，2種類のエレメント間継手処理方法を使い分けた．一般部では，止水板入りのせん断継手とした．これは，すでに海外ではRC連壁に一般に用いられているストップエンド(**図-6**)を利用するものである．このストップエンドは，**図-7**のように止水板(PVC)を取り付けた状態で掘削の終了した先行エレメント端部に設置し，コンクリートを打設する．ストップエンドは，後行エレメントの掘削機用ガイドとして利用され，掘削が終了すると横方向に取り外され，先行エレメントのコンクリートに設置された止水板はそのまま残される．

一方，空頭制限のある場所では，ストップエンドの設置・撤去により施工効率が落ちるため，使い捨てロッキングプレート(**図-8**)を採用した．

これは，先行エレメント端部の鋼製連壁部材のフランジ端部に薄鋼板(6㎜)を点付け溶接し，端部鋼製連壁部材のウェブとロッキングプレートとの隙間に砕石を投入し，コンクリートを打設するものである．このロッキングプレートは，後行エレメントの掘削時に土砂と同時にバケット式掘削機により撤去することができる．

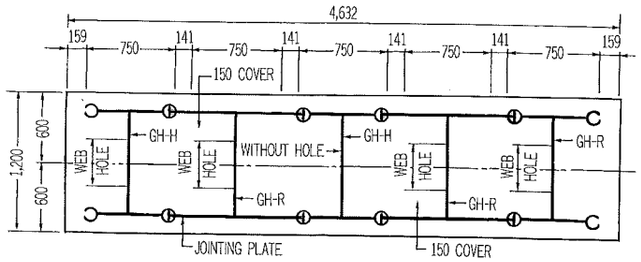


図-5　NS－Box標準配置図(2パイト)

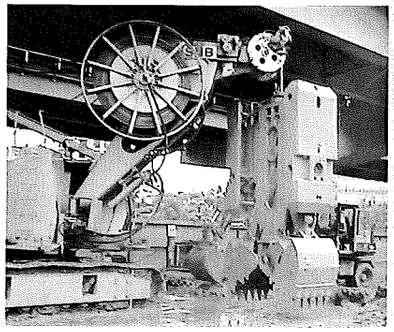


写真-5　懸垂式バケット掘削機

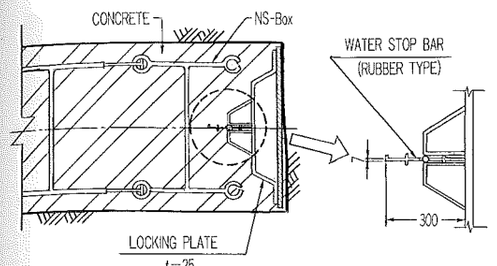


図-6　ストップエンドによるエレメント間継手処理概要図

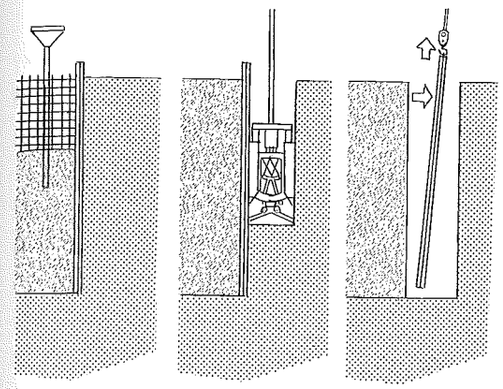


図-7　ストップエンドによるエレメント間継手処理順序図

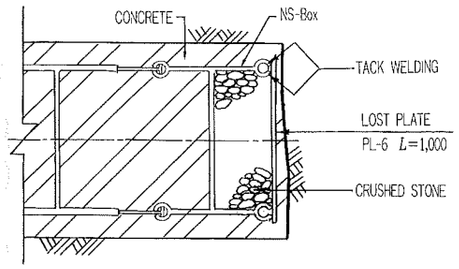


図-8　使い捨てロッキングプレートによるエレメント間継手処理概要図

以上のように，エレメント間継手の施工を簡略化することで，施工速度が格段に向上し，1週間で4～6エレメントを施工した．

6　シールド工事の特徴

本路線延長約20kmのうち，南工区では9駅と8区間の駅間シールドトンネルを，北工区では9駅と9区間の駅間シールドトンネルを施工した．なお，駅間単線シールドトンネルは，すべて泥土圧式シールド工法にて施工した．

南工区では，本線駅間トンネルが16本ある中を4機のシールドにて，北工区では，同じく18本ある中を4機のシールドにて掘進している．なお，長距離掘進したマシンは，5区間(延長4.6km)を掘進している．以下にわが国の地下鉄工事ではあまり見られない，複数回にわたるシールドの解体・再組み立ての工事について紹介する．

6-1　複数回のシールド解体・再組み立て

6-1-1　複数回となった経緯と設計条件

北工区施工区間のうちラチャダピセック駅～終点のバンスー駅までの駅間トンネル延長4.6kmは，当初2機のシールド並列でラチャダピセック駅終端立坑から掘進開始し，下床版構築の完成した次のラプラオ駅始端立坑に到達し，同駅の軌道階においてシールドを引き摺り，再度同駅の終端立坑から再発進するというように，全5区間を掘進する予定であった．

しかし，駅開削工事に必要とする工事中一時使用地としての民有地確保に時間を要し，一部の駅開削工事が遅延したこと，シールドトンネル通過部に道路橋基礎杭が支障し，このアンダーピニング工事に時間を要したなどの理由により，シールドの掘進順序の変更(**図-9**)が余儀なくされ，シールドの解体・再組み立て・再発進が3回となった．

この結果，シールドの設計にあたり，初期発進から最終到達までの期間を27か月以内とすること，1回につき75日以内の段取り替えとすること，シールド本掘進スピードを300m/月を確保できる設備計画とすること，駅開削土留めのRC地下連続壁，橋台および橋脚の支障杭は，シールドにて切削することなどを考慮した．

6-1-2　施工概要

シールドの設計にあたり，解体および再組み立てを短期間に行うため，分割可能な構造とした(**図-10**)．マシンは，大きく前胴・中胴・後胴・後部スクリューコンベヤ・後方デッキに5分割できるボルトアップ構造とし，500tクローラクレー

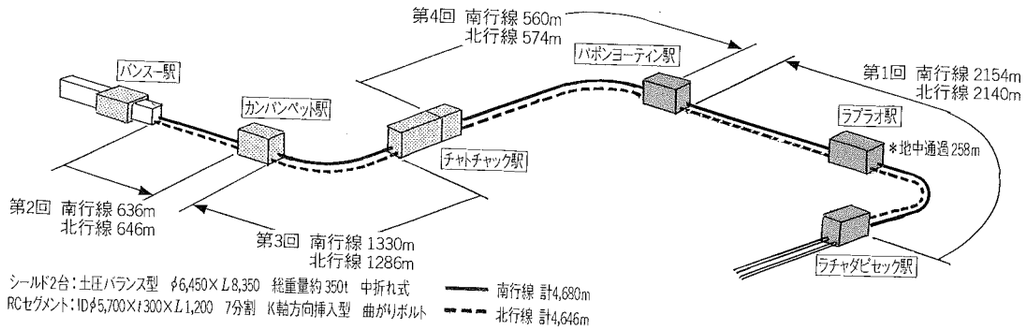


図-9　施工区間概念図

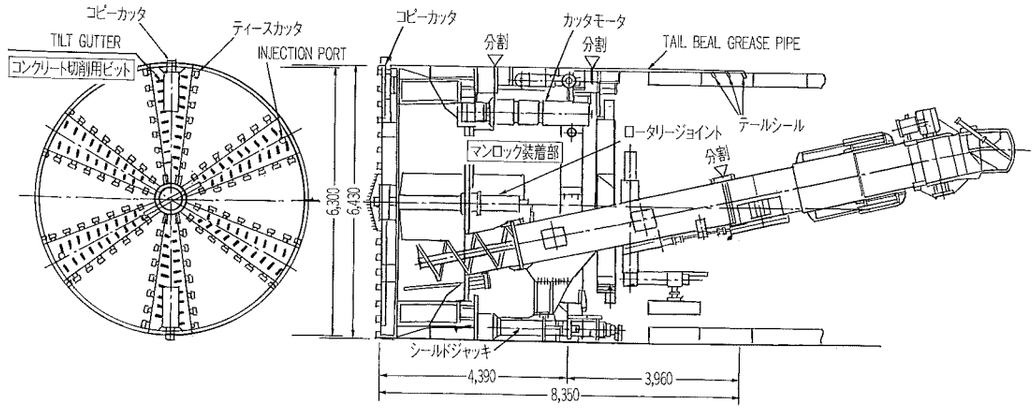


図-10　シールド構造図

ンと転置相番の160tクレーンを使用して組み立て・解体を行った(**写真-6**)．ちなみに，最大重量は前胴部の120tであった．

発進および到達部の立坑では，マシン受け台の底面全体を鉄板で敷き詰めて固定することにより，その上で油圧ジャッキを数台使用してマシンを自由に回転・横移動させた．

カッタビット全222個のうち，コンクリート切削用ビットを117個配置した．カッタビットの点検・交換は，シールド解体・再組み立て時に行うほか，第1回掘進で2回，第3回掘進では1回，切削通過する地下連続壁直前で，地中にて行った．

なお，連続壁のマシン通過部は鉄筋(SD490)の代わりにグラスファイバーを使用し，到達側の連壁は0.7m³級の油圧ブレーカを使用して，マシンを貫通させた(**写真-7**)．

隔壁は，切羽での障害物撤去が容易に施工可能で，緊急時の圧気用マンロックを着脱可能な構造

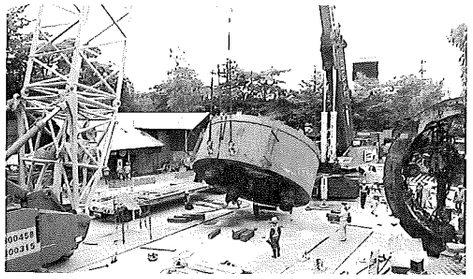


写真-6　発進部―前胴の起こし

とした．隔壁のマンロック装着部にボルトで閉鎖できる直径90cmのヒンジ付き扉を取り付け，隔壁と後方デッキとの間にサイドホッパーのガイドレールを利用して鋼製足場を設置したことにより，支障物撤去やビット交換などのチャンバ内作業における人の出入り，資機材の搬出入を円滑に行うことができた．

延長約2.1kmと最長区間である第1回掘進時に，カッタビット全数の約90%を交換するほどの激し

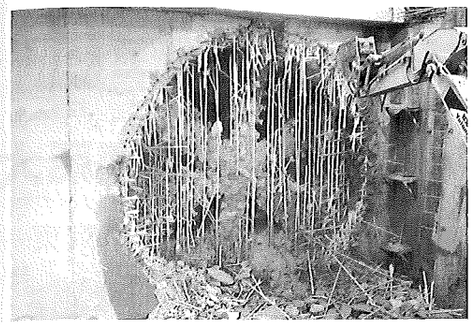


写真-7　到達―ジャンボブレーカで連続壁こわし

い摩耗と，外周部の摩擦によるスポーク内への土砂の浸入が発生したので，第2回掘進前に上記部位の全面的な補修を行った．

掘削土砂のトンネル内からの搬出は，ポンプ圧送方式とし，最長圧送距離約2,500m区間では，計5台の土砂ポンプにて行った．しかし，最深部(GL－27m)の中間立坑付近において，全断面砂層で断面比率約30%のJSG改良部では，JSG切削粉の沈降によりP2ポンプ以降で度々圧送管が閉塞したため，5m³簡易ずり鋼車方式に変更した．

6-2　地中障害物撤去

ラチャダピセック～バンスー間においてシールドの通過に支障となる地中障害物は，下記のとおりであった．

- 第1回掘進時(南北行線)
  道路橋基礎杭(350㎜角PC杭各6本×2列)
- 第1回掘進時(南北行線)
  道路跨線橋基礎杭(φ800㎜RC杭各3本)
- 第3回掘進時(南行線)
  道路跨線橋基礎杭(650㎜角中空PC杭5本および350㎜角PC杭10本)
- 第3回掘進時(北行線)
  道路跨線橋基礎杭(350㎜角PC杭3本)

いずれの杭もアンダーピニングを行った後に，マシン切羽前面での人力，マシンでの切削による撤去となった．

上記のうち，φ800㎜RC場所打ち杭は，主筋DB25×16本，スターラップRB9×10cm間隔(SD390)という配筋である．これをマシンにて切削すると，鉄筋が細かく切れずにスポークに巻きつくこと，ビットの損傷も甚大になることで，掘進不能となる恐れが予想されたため，切羽前面に出て人力で撤去することとした．

当然切羽上部の軟弱粘土層はJSGにより地盤改良していたが，切羽ほぼ全面の硬質粘土層は，当該深度でN値約20であり，駅開削工事において4m程度は自立するために，地盤改良は施さなかった．しかし，放置すれば切羽粘土塊の剥離・落下の恐れがあるので，チャンバ内土砂排出後直ちに撤去対象の杭以外のスポーク間に土留めを設置した．

その他の残置杭は，PC鋼線がφ7㎜の高張力鋼(引張強度1715N/㎟，プレストレッシング70～75%)で，マシンで切削してもカッタに絡まないと判断したことなどで，マシンにて切削撤去した．

掘進時の状況は，通常の掘進速度25㎜/分でカッタートルク120tfmに対して，カッタトルク120～200tfmと大きな変動が見られ，破断したPC鋼線とコンクリート片を中継ポンプのホッパーで回収するのに，度々掘進を中断した．

なお，ラマ9世～クイーンシリキットコンベンションセンター間においてシールド通過に支障となる350㎜RC角杭の地中障害物は，φ800㎜のケージングを既設杭のまわりにジェット併用で打設し，ケーシング先端に仕込んだワイヤを杭に絡め，シールド到達前に予め引き抜き撤去した．

7　おわりに

バンコクの地下鉄建設は，まだ第一期区間のチャロム・ラチャモンコン線20kmが開通したのみであり，今後同線の北および南への延伸のみならず，オレンジ線の新設が予定されている．

今回の第一期建設区間において，そのインフラ工事では，上述以外にも多くの本邦の地下鉄建設技術の活用および応用がなされており，次の機会にでも紹介したいと思っている．

今後も厳しい国際競争入札の中ではあるが，わが国の建設技術がさらに活用され，バンコクにおいて複数の地下鉄網が構築されることを願ってやまない．

現場だより
平成17(2005)年

「百万石の景観都市」金沢より

柴田宗明

石川県は北陸地方の中心に位置し，富山，岐阜および福井の各県に接し，南は加賀地方，北は能登地方で日本海に突き出た半島となっている．

石川県の中央部の加賀に位置する金沢市は，江戸時代，加賀百万石の城下町として栄え，江戸，大阪，京都に次いで人口の多い町であった．長年大きな災害を受けていないことから，歴史や伝統文化が数多く受け継がれており，美しい自然環境も維持された景観都市として「世界都市　金沢」の形成を目指している．

加賀百万石の文化を映す歴史的文化遺産の代表は，兼六園で水戸偕楽園，岡山後楽園と並ぶ日本三名園のひとつである．兼六園は代表的な大名庭園として，加賀の歴代藩主により，長い歳月をかけて形づくられてきた．作庭は，一貫した神仙思想を基本にした大きな池を大海に見立て，神仙人が住む島を配することで，長寿と永劫の繁栄を庭園に投影していたようである．

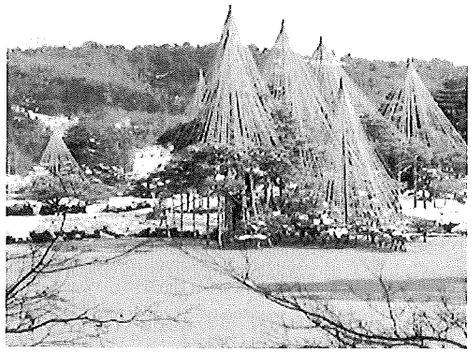
また，年の瀬を迎えるころ「雪吊り」が兼六園のみならず，随所の庭木にも観られるようになり，冬の訪れを感じるとともに，この縄の芸術は，北陸を代表する風物詩となっている．さらに驚かされるのは，この雪吊りが，街路樹にまで施されていることである．必要性もあるのだろうが，文化継承を大切にしている「景観都市金沢」ならではと感じる．

金沢市の東にあたる御所町では，平成17年度末の開通を目指し，金沢東部環状道路の施工が進められている．

御所という地名には何か歴史を感じ，調べてみると南北朝時代に遡る．藤原氏摂家の大納言二条師基の屋敷があったと伝えられ，御所の地名がついたようである．鎌倉幕府の滅亡から室町幕府が誕生する60年間の南北朝時代は，日本史の中でもっとも社会が混乱した時期であり，全国支配を巡る権力闘争のなか，朝廷側の師基がこの地に館を構えたのかもしれない．そして御所トンネルの山頂には，師基の子息の墓と伝えられる八塚古墳群が現存する．また京都とのつながりも深く，御所車の職人さんが集まっていたとの話もあった．

この環状道路の開通は，渋滞緩和や広域ネットワークの形成に寄与するため，御所町をはじめとする周辺地域住民の皆様の期待も高く，無事故で高品質なトンネルを提供したいと思っている．

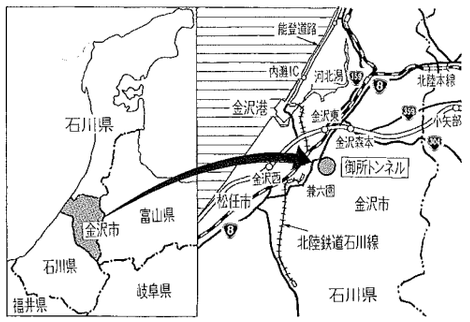
(東洋建設(株)御所トンネル作業所所長)



冬の風物詩　兼六園の雪吊り



御所トンネル　坑口上空より



位　置　図

施工

大深度の地中接合を凍結工法で克服

—東京都下水道　南台幹線シールド—

東京都下水道局中部建設事務所工事第二課長　芝山浩司
東京都下水道局中部建設事務所工事第二課工事第二係主任　浅川康
大成・錢高・前田建設共同企業体所長　清水伸彦
大成・錢高・前田建設共同企業体南台幹線接続工事現場代理人　城俊明

1　はじめに

東京都杉並区堀ノ内付近から中野区本町付近までの神田川および善福寺川の流域は，昭和40年代より急激に都市化が進み，昭和50年代後半になると豪雨時にはいわゆる「都市型水害」と言われる浸水被害が発生するようになった．

そこで，東京都下水道局では平成３年度からこの地域の浸水被害の軽減を目的として，和田弥生幹線関連事業(**図-1**)を計画し，現在鋭意施工中である．

南台幹線接続工事は，約50mの大深度下で，本関連事業の中心的な役割を担う貯留型管渠の和田弥生幹線(外径φ9,400㎜)の管底に，枝幹線である南台幹線(シールド外径φ4,430㎜)を接続する工事で，凍結工法を用いて和田弥生幹線のセグメントを4.8(横)～6.0(縦)mの楕円形に開口し，接続管を築造するものである．

本稿では，大深度での凍結工法による地中接続工を安全に施工するための計画・設計と施工の実

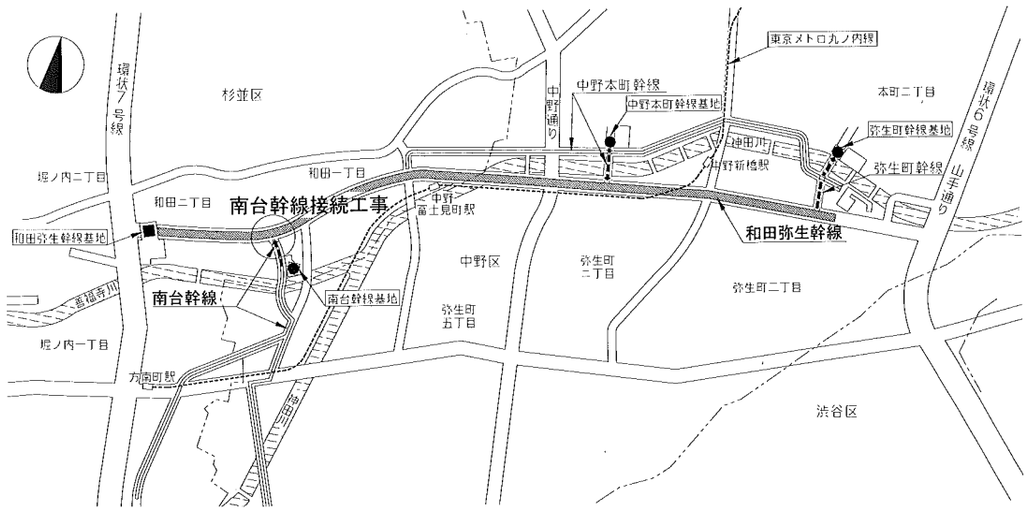


図-1　和田弥生幹線関連事業

績について報告する．

2　概　　要

2-1　工事概要

工事名：南台幹線接続工事
場　所：東京都杉並区和田二丁目
工　期：平成14年６月３日～平成16年２月12日
内　容：円形管築造工
　　仕上がり内径　φ3,500㎜
　　管渠築造延長　5.85m
　　凍結工　凍土量480m³(凍結完了時)

2-2　土質概要

図-2に当該地の土質柱状図を示す．

当該地の地盤は，和田弥生幹線クラウンから南台幹線スプリングライン深度にN値50以上の洪積粘性土，南台幹線スプリングラインから下部にN値50以上の洪積砂質土が分布している．洪積粘土層では394,000kN/m²という非常に大きな変形係数を有する．

3　大深度地中接続の計画・設計

3-1　大深度地中接続の留意点

大深度地下における接続工事の実績は少なく，高圧の被圧水を受けているため一度「水みち」ができると大規模な出水につながる危険性をはらんでいる．そのため，安全性を高める目的で，以下のような点に留意し，当工事の計画・設計を行った．

3-1-1　セグメント変位

作用している土水圧は約0.6MPaときわめて大きい．また，凍土造成範囲上半部の20μ以下の微粒子を多く含んだ硬質粘性土を凍結するため，土水圧の約２～５倍の凍結膨張圧が両幹線に偏荷重として作用する．

このような土水圧や凍結膨張圧により発生していた断面力が和田弥生幹線セグメントの開口に伴い解放され，開口部周辺のセグメントがトンネル半径方向に変位し，セグメント間の変位やセグメントと凍土の境界面離隔が発生することで，リング継手部やセグメント背面に水みちが形成される懸念がある．よって，セグメント開口時の変位に留意した「開口補強構造」，「凍土範囲」，「掘削・セグメント切断法」および「計測管理」が課題となった．

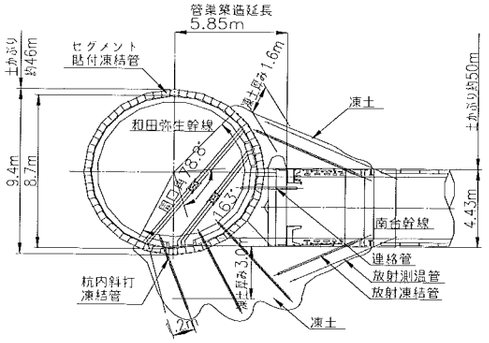
3-1-2　凍結温度管理

地盤凍結工法の要である地中温度管理を確実に行うため，適切な測温管(測温素子)の配置はもちろんのこと，水みちの形成が懸念される「セグメント背面と凍土との境界面」と冷却不足になりがちな「セグメント継手部」の温度管理に留意する必要があった．

また，凍土掘削面やセグメント継手部は冷却不足になりやすいため，冷却養生を行い，坑内温度に対する管理を徹底することを計画の方針とした．

3-1-3　フェイルセーフの対策

大深度地下における接続工事の実績は少なく，当工事の開口は4.8～6.0mの楕円形と大きいため，過去の工事からでは想定しきれないトラブルが起こることが懸念された．



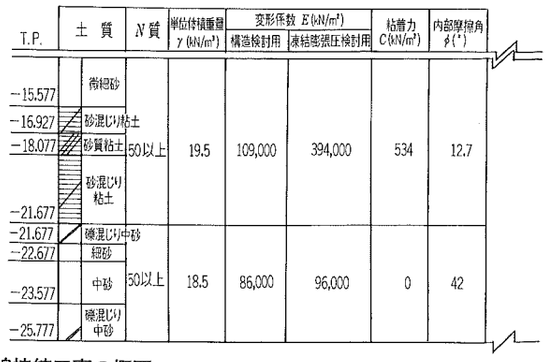


図-2　南台幹線接続工事の概要

また，一度，坑内出水や土砂流出が発生した場合，対策は困難をきわめることが予測されたため，フェイルセーフとして南台幹線接続坑内にバルクヘッドの設置を計画した．

バルクヘッドを設置した状態で和田弥生幹線側のセグメント切断前に南台幹線側から掘削および接続部分の管渠を構築した．こうすることにより，凍結掘削時やセグメント切断時に万一出水が発生した場合でも限定的な注水や止水注入で対処できるようにした．

3-2　凍結工の設計

(1)　必要凍土厚

必要凍土厚は，図-4に示すように支間長と全土かぶりによる鉛直土水圧により凍土厚みを算定した．安全率は，開放地山に対する設計実績である$Fs=2$とした．

(2)　凍着範囲

安全性を高めるため，凍着範囲の実績2.5mに0.5m(凍着管１ボックス分)を加え，開口上方および下方の凍着範囲3.0mと設定した．

また，切断されるセグメントピースに大きな変位が起こっても切断されるセグメント継手間からの漏水を防ぐため，開口端のセグメントの継手はすべて凍着範囲に収まっているかについても確認した．

さらに，開口時までのセグメントの変位を算出し，この凍着範囲に対してセグメントと凍土が肌離れするか否かを検討した．

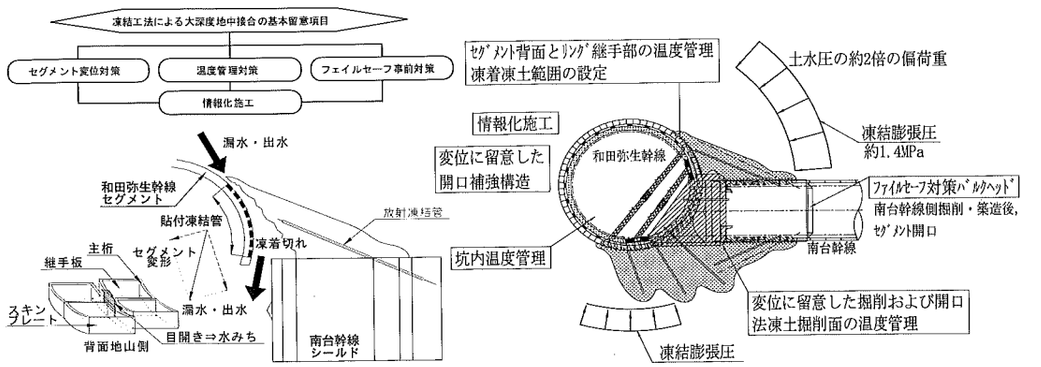
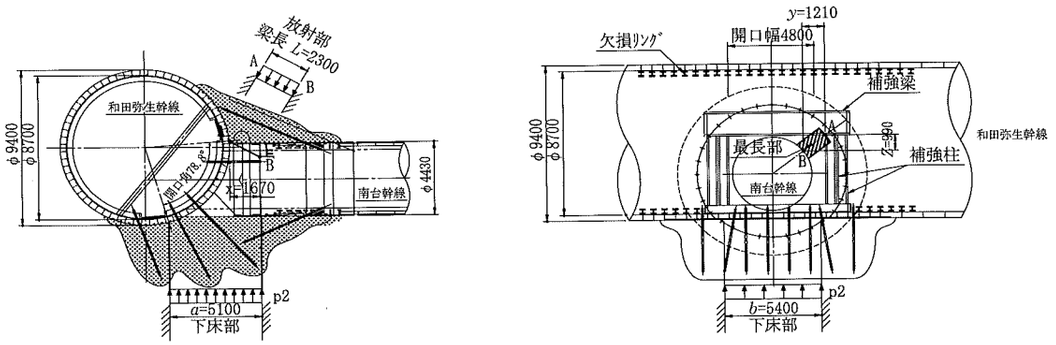


図-3　凍結工法による大深度地中接合の留意項目



放射部：上床部凍土厚み$t=1.6$m
　　南台幹線シールドチャンバトンネル内側～当幹線開口
　　補強梁端部を支間($L=2.3\text{m}=\sqrt{x^2+y^2+z^2}$)とする両端固定梁
下床部：下床部凍土厚み$t=3.0$m
　　南台幹線シールド隔壁～当幹線開口補強梁端部を１辺$a=5.1$m，当幹線開口補強梁端部をもう１辺($b=5.4$m)とする周辺固定矩形板

図-4　必要凍土厚みの検討

解析は開口中心断面とし，**図-5**に示すようにセグメントと欠損リングをそれぞれ2重のリングモデルとした．補強梁を除く部材(セグメント/欠損リング/支保工/補強柱)は奥行き方向単位長さあたりの梁要素とし，トンネル軸方向に平行な部材である補強梁は欠損リングと補強柱の端部を連結するばね要素とした．

解析では，**図-6**に示すように凍着部のセグメント半径方向変位は支保工補強の効果により小さく，開口端で内側に向くがおおむね外側に向いている結果が得られ，凍着部の肌離れの可能性は低く，凍着範囲3.0mでセグメント開口時の変位による止水性の低下は小さいことが確認できた．

(3)　温度計測と管理計画

施工時の漏水管理として，適切な測温管配置による地中温度管理(放射測温管6本/下方斜打測温管8本)に加え，セグメントスキンプレート面45点と主桁・継手板67点の温度を測定する計画とした．また，作業環境の監視を目的としてトンネル内温度の計測も行った．

測温位置周囲や測温位置の間の温度傾向がパソコン画面で各断面ごとに即時に確認できるように

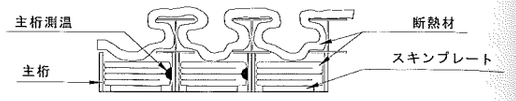


図-7　セグメント主桁温度計測と断熱方法

表-1　温度計測管理値

計測対象	計測温度	使用機器	計測管理値		
			一次	二次	三次
凍土	凍土内	白金抵抗体	凍土完成完了時温度℃	$(\theta-1)$℃	θ℃
			+0.5℃/日	+1.0℃/日	+1.5℃/日
凍着面	スキンプレート凍着	白金抵抗体	−7℃	−6℃	−5℃
	主桁・継手版凍着	熱伝対または白金抵抗体	−7℃	−6℃	−5℃
	シールド外殻凍着	白金抵抗体	−7℃	−6℃	−5℃

注) θ：造成凍土厚みから求まる必要平均温度(℃)

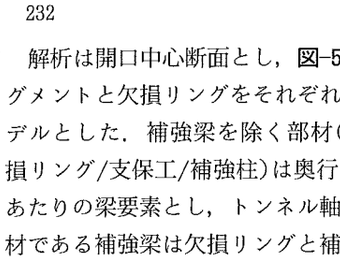


図-5　部材変位算出モデル

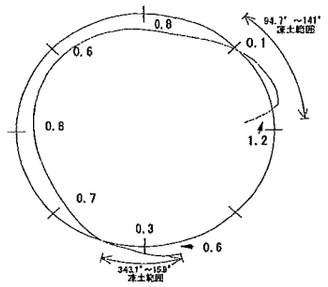


図-6　セグメント変位検討結果

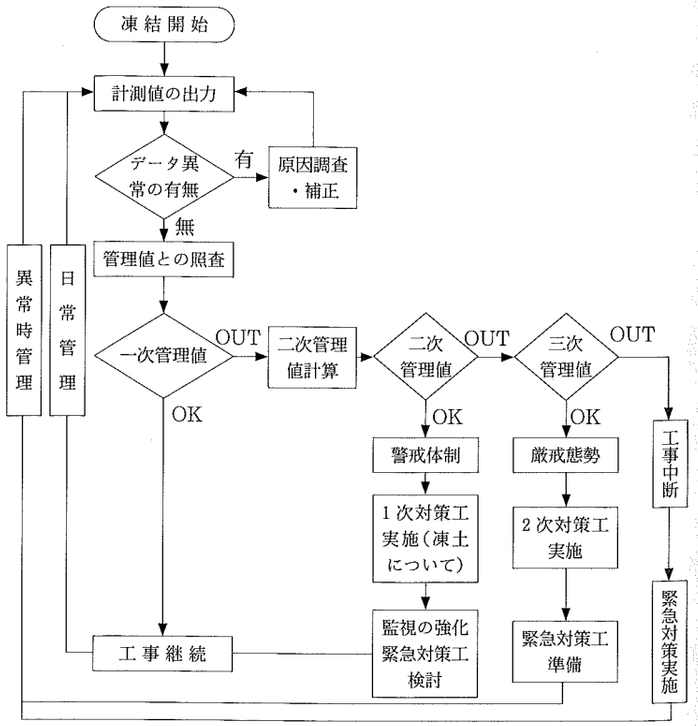


図-8　計測管理フロ

し，**表-1**のような一次，二次および三次管理値を設けて，2時間ごとの計測に対して管理値との照合を行うことで管理を行った(**図-8**)．

3-3　和田弥生幹線セグメントの補強工の設計

3-3-1　補強構造形式

(1)　補強材(梁＋柱＋リング＋支保工)

セグメント開口に伴う補強構造は，「補強梁＋補強柱＋補強リング」を用いた鋼製骨組み構造とした．

また，凍結膨張圧の影響と開口時のセグメントの変位を抑制することを目的として，補強梁と補強リングを支える「支保工」を設けた．

支保工は設置時の遊びをなくすために「油圧ジャッキ」を備え，あわせて軸力の制御が可能なようにした．

(2)　セグメントと補強材の密着

補強材に荷重が伝達するように，セグメントと補強材の間には「鉄板設置」，または「超高強度(70N/mm²)無収縮モルタル注入」することにより，セグメントと補強材の密着性を高める構造とした．

3-3-2　補強材の設計

補強材の設計は，「仮設設計マニュアル(案)[シールド管渠内枝管接続補強構造編] 1994年7月　東京都下水道局」(以下「仮設設計マニュアル」と称す)に準拠した．

また，高荷重・高水圧という条件下での接続工から「仮設設計マニュアル」の準拠に加え，以下のような検討項目の追加や安全性を高めた設計を行った．

表-2　補強材の構成と役割

部材	概要	役割
欠損補強リング	開口領域のセグメント内側に設置する孤状の梁材	セグメントに代わり開口解放力や凍結膨張圧を負担する．
補強リング	開口範囲の両側領域のセグメント内側に設置する輪状の梁材	同上
補強梁	開口領域にトンネル軸方向に平行に設置する梁材	欠損補強リングの軸力を受ける．
補強柱	開口部の両端に設置する柱材	補強梁を支える．
支保工	トンネル内部に設置する梁材	凍結膨張圧に抵抗し，セグメント開口解放力による応力や変位を抑制する．
鉄板および注入材	セグメントと補強(欠損)リングの間の隙間を埋める部材	セグメントの開口解放力を(欠損)リングに伝達する．

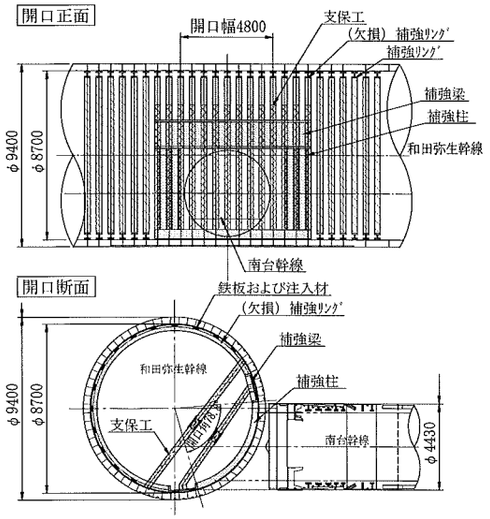


図-9　セグメント補強構造

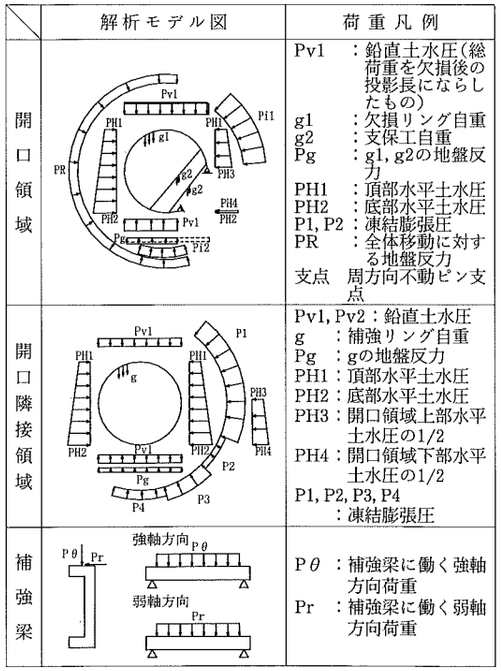


図-10　補強材の設計モデル

表-3　設計(推定)凍結膨張圧

	土質	凍結膨張率 膨張率%	方向性係数	構築方向膨張率%	変形係数 kN/m²	ポアソン比	凍結膨張圧 MPa
和田弥生	砂混粘土	3.8	2/3	2.5	394,000	0.35	1.41
	砂質土	2.0	1/2	1.0	96,000	0.35	0.26
南台	砂混粘土	3.8	2/3	2.5	394,000	0.35	2.94
	砂質土	2.0	2/3	1.3	96,000	0.35	0.37

① 土水圧は補強(欠損)リングが負担するものとし，セグメントがなくても土水圧に抵抗できる強度とし，セグメントと同等以上の剛性を確保した．

② 補強梁は強軸方向以外に弱軸方向の曲げを考慮し，二軸の曲げに耐え得る強度とした(図-10)．

③ 補強柱は軸力だけでなく，補強梁の反力による曲げモーメントを考慮して照査した．

④ 一般に砂質土では膨張圧が発生しないと言われているが，近年の大深度における施工実績では砂質土でも多少の細粒分を含んでおり，硬質な地盤の場合には凍結膨張圧が発生しているため，設計に考慮することとした．よって，凍結対象地盤の上層部の砂混じり粘土の凍結膨張圧に加え，下層部の砂質土の凍結膨張圧を加味した(表-3)．

4　大深度地中接続の施工

図-11に施工手順図を示す．

以下に施工中の留意事項とその対策について報告する．

4-1　凍土造成工

当初計画では，下層部の砂質土部(59日間)を先行し，完了月日を合わせて上層部の粘性土部(凍結完了24日間)の凍結を行う予定であった．しかし，この場合，凍結膨張圧の差による変則的なひずみが懸念された．

そこで，両土質で同時着工し，先に完了する粘性土部をいったん停止し，砂質土部の凍結完了を待って全面運転再開とした．

4-2　セグメントと補強材の現状および予測解析

凍結運転30日と59日時点でのセグメントと補強材の現状解析とその後の予測解析を行った．

解析は開口中心断面とし，計画・設計時のセグメントと補強材および変位算出モデルと同様の2重のリングモデルとした(図-5参照)．

凍結運転30日と59日時点での実測値と解析値はモードを含め温度の影響などを考慮すればおおむね一致し，その後の予測としてセグメント開口時や支保工撤去時を解析予測し，その予測応力度と許容値の比較により安全性を確認することにした．

凍結運転30日と59日時点の予測解析において，セグメント開口時の欠損リングに許容値の1.25倍程度の応力が発生するという結果が得られたため，欠損リングの内側にH-150×150の補強をセグメント開口前に追加した．

4-3　凍土膨張圧軽減工

凍結膨張圧対策としては，膨張圧を軽減する方法と必要以上に凍土範囲が広がるのを制御する方法が考えられる．

そこで，次の対策案を検討した．

対策①：膨張圧軽減を目的とした地山抜き取り

対策②：間欠運転による凍土量の調整

対策③：凍土外周への温水循環による凍土厚の調整

検討の結果，対策①と対策②のみでは膨張圧の調整は困難であり，対策②を行った場合には測温結果が不安定になり，温度管理が困難となることから，対策①を先行施工しながら，ブライン温度は一定(−28〜−31℃)にして対策③を併行施工する方法を採用した．

4-4　南台幹線シールド解体・接続部掘削・覆工

南台幹線シールド解体は上部と下部に分けて施工し，鋼殻部の温度管理を行いながらガスにより切断し，凍土掘削はブレーカによる人力掘削にて行った．

接続部のコンクリート打設では，凍土の保温とコンクリートの凍害対策を両立させるため，次の対策を講じた．

- 掘削凍土面保温のためスタイルフォームを凍土面に貼付けた(写真-1)．
- 止水鉄板の裏込め材に防凍材を添加した．

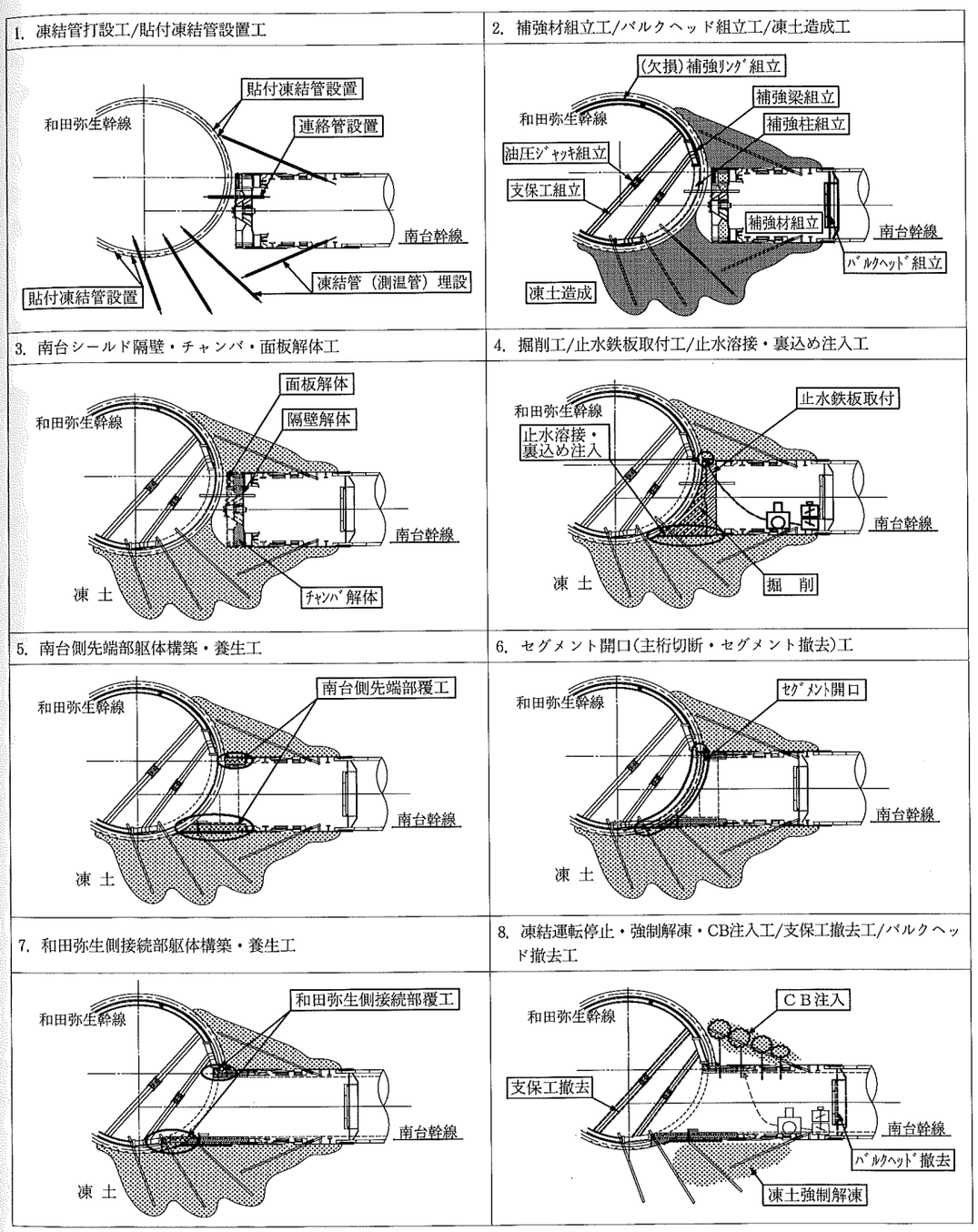


図-11　施工手順図



写真-1　掘削凍土面保温のためスタイルフォーム

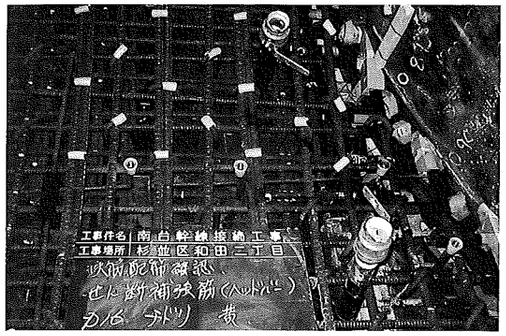


写真-2　プレート定着式せん断補強鉄筋(Head-bar)

・電熱線と測温素子を覆工背面の鉄板に貼付けた後，鉄筋や型枠を組み立てた．
・高流動自己充填型コンクリート(1週強度30N/mm²)を打設し，所定の強度発現まで電熱線により＋5℃以上の養生を継続(10日間)した．

図-11に示すように，接続部覆工はセグメント開口前後の2回に分けて打設するため，鉄筋に「打継用機械式継手」を用いて構築した．また，高荷重を受ける断面変化部の過密配筋対策として，「プレート定着式せん断補強鉄筋(Head-bar)」(**写真-2**)や「機械式鉄筋定着」などを採用した．

4-5　和田弥生幹線の鋼製セグメント開口工

開口解放力および凍結膨張圧を受ける和田弥生幹線のセグメント開口工では，次のような問題点に対して対策を講じた．

(1)　問題点

①　接続時の作業(火気)による坑内温度の上昇による凍土とセグメントの凍着切れに伴う漏水(凍土融解)

②　急激な切断や撤去に伴う急な変位・変形の発生

(2)　対　策

①　凍土の温度管理の徹底

②　セグメントおよび補強材の計測

③　急激なセグメント変形を防止するため，予め主桁にスリット(主桁内側に長さL≒30cm，幅t≒10㎜)を中心部から外側へいれた(**写真-3**)．

④　セグメント切断・撤去は，中央部から開口円を徐々に大きくするよう切り広げた(**図-12**および**表-4**)．それぞれ施工後に所定の経過時間を置き監視した．

⑤　緊急止水対策として，セグメント上部のスキンプレート部に止水用注入孔を3か所設置し，現地に水反応型発泡剤を常置した．

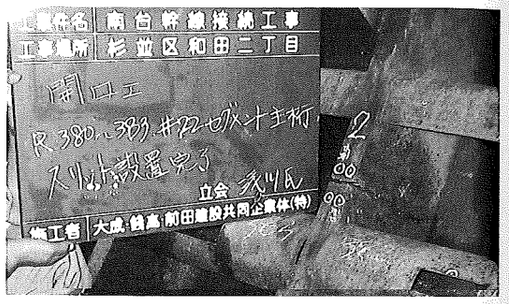


写真-3　セグメント主桁スリット

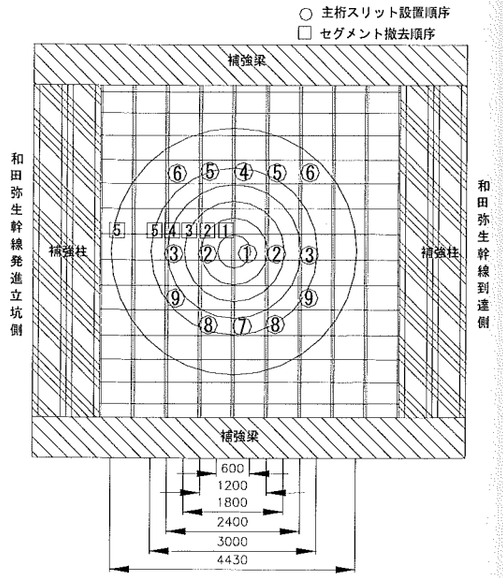


図-12　セグメント切断

表-4　セグメント切断の経過

作　業	切断方法	切断位置	切断後の監視時間	切断形状
主桁スリット設置	酸素切断	①	24時間	長さ L≒300㎜ 厚み t≒10㎜
		②	5時間	
		③	24時間	
		④	2時間	
		⑤	2時間	
		⑥	24時間	
		⑦	2時間	
		⑧	2時間	
		⑨	2時間	
セグメント切断		1	2時間	φ600
		2	1時間	φ1,800
		3	2時間	φ2,400
		4	3時間	φ3,500
		5	4時間	φ3,000/4,430

(3)　トラブル

セグメント切断中に直近上部のセグメントの温度が－5℃(三次管理値)となり，直ちに作業をいったん中止し経過を観察したが，30分後に切断時の余熱により－2℃まで上昇したため作業を全面中止した．

切断箇所付近を詳細に調査した結果，切断直近のセンサが，反応したものであった．そこで，切断作業を続行するにあたり，当該部分のみでなく付近のセンサにも注目し，総合的に管理することとした．さらに，坑内の送風換気については，切断上部に吸気ファンを追加して，熱気を施工範囲外に排出した．その結果，センサ付近の切断時には－2℃を示したが，それ以外のセンサは－5℃を示し，変位も認められず切断作業は順調に推移した．

4-6　凍土強制解凍および沈下防止対策

最終的な凍結運転期間は，凍土造成期間59日間，維持運転期間120日間となり，トータルで179日間となった．また，最終地中温度より計算すると凍土量は680m³と想定され，これを自然解凍させると長期にわたって沈下が生じる可能性があったため，強制的に解凍した．

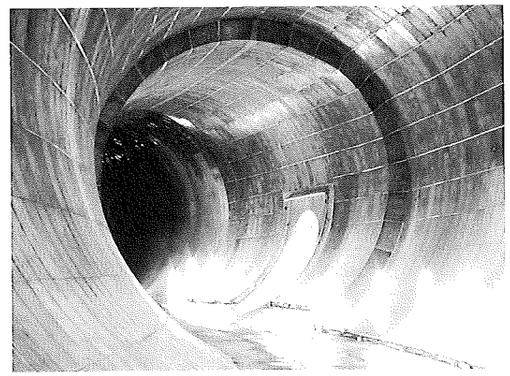


写真-4　和田弥生幹線坑内から見た南台幹線との接続部

解凍作業は，凍結管内に80℃(通常は60℃)の温水を循環させることにより行った．併行して新たに注入管を打設して，沈下防止注入を60日間行った．

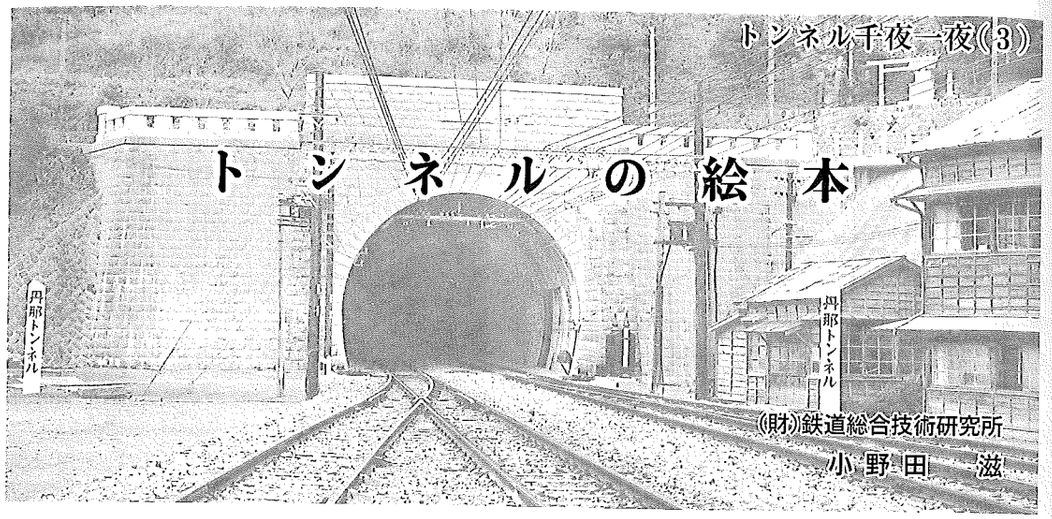
ひび割れなどを監視し，経過に注目したが，異常は認められなかった．

5　おわりに

凍結工法による大深度地下における接続工事の実績は少なく，技術的に未解決な部分も多くある．高圧の被圧水を受けているため一度「水道(みずみち)」ができると大規模な出水につながる危険性をはらんでいる．当工事の施工に先立ち，「安全に・確実に」の指標を掲げ中部建設事務所内に「南台幹線接続工事施工管理委員会」を設置し，発注者，請負者，学識経験者および専門工事業者により，一回/月の頻度で工事の節目ごとに委員会を開催した．

委員会では施工方法や計測結果について詳細な検討を行い，その結果に基づき施工されていることを確認し，初期の目的をすべて完遂し無事故で完了することができた．

当工事を「安全に・確実に」完了することができ，南台幹線接続工事施工管理委員会の皆様をはじめとして多大なるご指導とご支援を頂いた関係各位に，心から感謝する次第である．



皆さんは，書店にある絵本のコーナーに足を踏み入れたことがあるだろうか．小さいお子さんをお持ちの方ならともかく，いい歳をした大人がひとりで何の目的もなく立ち寄るコーナーではないし，立ち寄ったところで自分の役に立つ本があるとは思えない．かく言う筆者も，初めのうちはそう思い込んでいたが，今から15年ほど前に訪れたイギリスのある書店でたまたまトンネルの絵本を見つけてからは，その考えを改めた．解説はもちろん，絵が大きく描かれているので，下手な専門書よりもはるかにわかりやすいのである．もちろん，そこに書かれていることは，専門家ならごくあたりまえの知識ばかりなのだが，専門的な内容を一般向け“しかも子供向け”に解説することほど難しいことはない．今回は，これまでに見つけたトンネルに関する絵本を，いくつか紹介してみたい．

■Kate Petty, Terry Cash「Tunnels」A&C Blach（1990・英）

筆者がはじめて出会ったトンネルの絵本は，その名もずばり「Tunnels」というタイトルで，実際のトンネル工事の写真やイラストをふんだんに使ってトンネルの施工法を解説している．とくに面白いのは，簡単な工作や模型によってトンネルの構造やトンネルの掘り方を解説している点で，「君だけの鉱山模型を作ってみよう」，「開削トンネルを作ってみよう」，「土のサンプルを採取してみよう」，「シールドトンネルを作ってみよう」，「君だけのベルトコンベヤを作ってみよう」，「水底トンネルを作ってみよう」など，厚紙やストローなど身近な材料を使ってトンネルの構造や原理を学べる工夫がなされている．その中には「発破装置を作ってみよう」といういささか物騒なものまであるが，これは発破装置に似せたスイッチを押すと豆電球が点灯するという他愛のないものなのでご安心を．

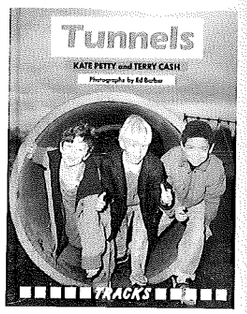


図-1　Kate Petty, Terry Cash「Tunnels」(1990)

■Ryan Ann Hunter「DIG A TUNNEL」Holiday House（1999・米）

こちらは「トンネルを掘る」と題したアメリカの絵本で，シンプルなイラストによってさまざまなトンネルを紹介している．最初に登場するのはモグラとプレーリードッグの巣で，続いてアリの巣，兵士が城内に忍び込むためのトンネル，刑務所から脱出するためのトンネル，鉱山のトンネルが紹介されている．さらに実在のトンネルとしてチェサピーク湾トンネル，ユーロトンネル，モンブラン道路トンネルなども登場するほか，地質によるトンネル断面の違いなどにも言及している．

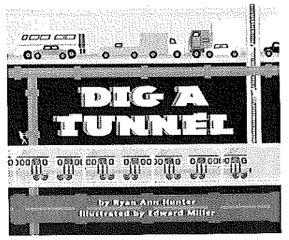


図-2　Ryan Ann Hunter「DIG A TUNNEL」(1999)

■Chris Oxlade「Tunnels」Heinemann Library（2001・米）

実物の写真を主体として構成されたトンネルの絵本で，トンネルとは何かに始まって，トンネルの歴史，トンネルの種類，断面と構造，トンネルの材料，トンネルの設計などが解説されている．また，コラム欄では，トンネルの世界記録，トンネルの始まりなどのほか，先に紹介したイギリスの「Tunnels」と同様，簡単な工作による実験なども載っている．このほか，巻末には50語程度のトンネル用語集が収められるなど，やや専門的な内容となっている．

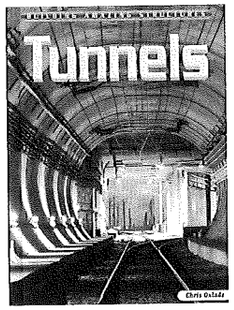


図-3　Chris Oxlade「Tunnels」(2001)

■加古里子「地下鉄のできるまで」福音館書店(1987・日)

加古里子(かこさとし)は，応用化学を専門とする工学博士であるが，教育文化活動に造詣が深く，童話や紙芝居，人形劇などの創作をはじめ，自然科学や工学を題材としたいくつかの絵本を著している．土木関係でも，「水とたたかった戦国の武将たち」，「近代土木の夜明け」，「海をわたり夢をかなえた土木技術者たち」といった作品があるが，そうした中のひとつに地下鉄の建設工事を扱った「地下鉄のできるまで」がある．ここでは，地下鉄でよく使われる開削工法とシールド工法が紹介されており，地中という見えない世界を立体的に描いてわかりやすく解説している．2003(平成15)年までに14刷を重ねているので，根強い人気があるようだ．

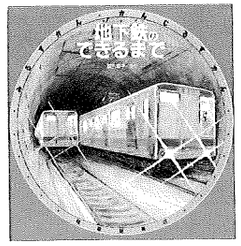


図-4　加古里子「地下鉄のできるまで」(1987)

■「トンネルの話－トンネルはどうやってつくられるのかな－」日本道路公団福岡建設局(1993・日)

これは絵本ではなく，1993(平成５)年に日本道路公団福岡建設局が作成した子供向けのパンフレットで，トンネルの歴史から種類，施工の手順，工事の設備などをイラストと写真を交えながらわかりやすく解説している．当時，福岡建設局では日本の長大道路トンネルの第７位にランクされる加久藤トンネル(延長6,213m)を施工中で，そのPRの一環として作成されたものと思われるが，パンフレットで終わらせるにはもったいないほど内容が充実している．

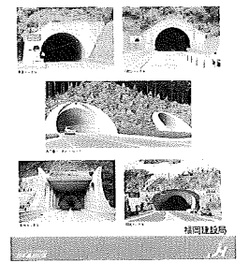


図-5　日本道路公団福岡建設局編「トンネルの話」(1993)

＊　　＊　　＊

少子化が進む今日にあって，将来を担う人材をいかに確保するかは，業界全体が取り組むべき重要な課題のひとつである．こうした絵本を通じて，ひとりでも多くの子供たちがトンネルに興味を覚えてくれることを期待するとともに，これからも子供向けの良書が出版されることを望みたい．

土木情報 No.381 今月の主な入札結果

（12月15日～1月27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	伊江地下ダム試験工	大林組	590
網走開建	国道333号新佐呂間T	鹿島・地崎・宮坂JV	8,850
室蘭開建	国道230号虻田町青葉Tその2	鹿島・三井住友・北興JV	440
北陸地整	関川村公下荒川横断受託工	福田組JV	320
鉄運・盛岡	東北幹，六戸T他2	大成・不動・淺沼・ユニオンJV	3,260
緑資・近畿北陸	16南丹園日1農用1号T	五洋建設	457.89
道公・東北	日本海東北道小波渡T	五洋・熊谷JV	4,020
道公・東京	北関東道蓬田T西	清水・みらいJV	5,640
道公・中部	近畿道(紀勢線)紀勢大宮T	ハザマ・アイサワJV	3,220
道公・中国	尾道道木ノ庄T	大林・錢高JV	2,700
秋田県	臨空道生鼻崎線生鼻崎第2T	菅与・加藤・寒風JV	1,610
茨城県	水戸幹線管渠7工区	清水・勝村・田口JV	916
群馬県	国道145号道改松谷第1T	熊谷・佐田・井上・南波JV	1,790
〃	〃　松谷第2T	大成・池原・池下・千島JV	1,910
都・財務局	下水道管布設(16豊-14)	新舘建設	235.49
都・水道局	東久留米市下里4～柳窪1配水本管	篠宮土建	288
〃	神田佐久間町2～東上野2既設管内配管	クボタ	359
〃	豊住給水所耐震補強・送水管，配水管	西松建設	345
〃	松庵1～久我山5地先間配水管	アイサワ・松島JV	389.8
〃	あきるの市舘谷216～三内18地先間配水管	谷藤組	229.67
〃	井草3～鷺宮1地先間トンネル・立坑・配水本管	鹿島・奥村JV	2,275
〃	八王子市加住町1～舟木2地先間配水本管	東洋建設	433
都・下水道局	白金台1，神宮前2付近管渠改良	大日本土木	101
〃	上馬4，5付近枝線その3	竹中土・伊東組JV	837
〃	八丁堀1，2付近再構築	クボタ・吉田JV	485
〃	板橋3，加賀1付近再構築	日興，拓洋JV	338.3
〃	沼部幹線吐口管渠改良	株木建設	255
〃	多摩川上流・八王子再生センター連絡管2	鹿島	205
三重県	中勢沿岸流下河芸幹線3	五洋・河芸JV	808
〃	〃　安濃幹線	村本・日本土JV	800
滋賀県	東北部彦根第2幹線東沼波工区管渠	青木あすなろ・平和奥田JV	1,193
〃	南中部日野第2幹線西横関工区管渠	大豊・大山JV	700
大阪府	寝屋川流下茨田(ニ)増補幹線1	ショベル工業	290
〃	大阪空港内雨水貯留施設管路	清水・錢高・東洋・鉄建・佐伯JV	6,060
〃	寝屋川流下中央(1)増補幹線(第2工区)	大林・熊谷・青木あす・福田・大鉄JV	5,730
〃	〃　飛行場南増補幹線(第3工区)	奥村・西松・東急・淺沼・奥村土JV	7,828
〃	〃　〃　北増補幹線(第2工区)	鹿島・大豊・国土開・若築・りんかいJV	6,070
島根県	国道432号菅原広瀬BP菅原T	中筋・豊洋JV	928
広島県	国道183号道改川西T	鴻治組	849
高知県	ふるさと農道緊急整備土居ノ谷T	四国開発・香長・清水JV	764
大分県	県道庄内久住線道改	重松・北谷JV	912
〃	農免四浦久保泊T	佐伯・姫野JV	1,128
宮崎県	国道327号第6-2-1-1号岩屋戸T	大和・山本・矢野JV	1,015
仙台市	地下鉄東西線・下水移設(西公園)	クボタ建設	221

（68頁につづく）

研　究

長尺先受け工の挙動に関する現場計測

鉄建建設(株)エンジニアリング本部土木技術部課長　笹　尾　春　夫

1 はじめに

AGFによる長尺鋼管先受け工を施工したトンネルにおいてその支保メカニズムを確認するために一連の計測を行った．計測に際し，切羽前方における先受け工と地山の挙動を総合的に把握することを目的として計測項目・計測器を選定し，計測計画を立案した．

計測項目は切羽前方天端部の鉛直変位を計測するための先受け鋼管のたわみ測定，鏡前方の押し出しに伴うひずみを計測するための鏡ボルトによるひずみ測定，および天端に打設した先受け鋼管の軸力，曲げ応力を計測するための先受け鋼管軸力測定である．なお，たわみの計測は，先受け工を施工した区間と，通常の区間との2断面で行い，両者の結果を比較した．

2 計測計画

2-1 地質状況

計測を実施したトンネルは新幹線断面の山岳トンネルである．計測断面付近の地質は第四紀の砂，砂礫，シルト，凝灰角礫岩の未固結堆積層であり，一部のシルト層・凝灰角礫岩はやや固結度が良好となる．地山の弾性波速度は約2.0km/s，透水係数は1.49×10^{-3}～5.24×10^{-4}cm/sである．**表-1**に計測位置とほぼ同様な地質状況の区間で行った地山試料試験の結果を示す．

表-1　地山試料試験結果

試料 No.	1	2	3
目視による土質分類	泥　岩	泥質砂岩	風化凝灰岩
土粒子の密度(g/cm³)	2.493	2.655	2.743
均等係数	12.03	8.76	12.52
60 % 粒径(mm)	0.0397	0.0447	0.2166
10 % 粒径(mm)	0.0033	0.0051	0.0173
湿潤密度(g/cm³)	1.771	1.787	－
乾燥密度(g/cm³)	1.284	1.306	－
含水比(%)	37.9	36.8	25.8
一軸圧縮強度(N/mm²)	1.77	2.22	－
静弾性係数(N/mm²)	3.39×102	7.91×102	－

2-2 支保パターン

図-1，表-2にAGF区間の支保パターンを示す．地山は固結度の低い土砂地山であり，通常支保のみでは切羽が不安定となるため，補助工法を必要とした．種々の安定対策工の比較検討を行った結果，地質に対する適応性，施工性および工程への影響度を考慮し，長尺のAGF工法を採用した．AGF施工区間は土かぶりが約80mであり，そのため，AGFが通常多く採用される小土かぶり区間やトンネル上部の脆弱層に対する天端の沈下対策工ではなく，地質不良区間における切羽安定対策工として施工したものである．

今回施工したAGF鋼管は長さ31mの長尺のものを用い，ラップ長4m，打設角3度で1断面あたり23本打設した．なお，打設角度については，通常用いる12.5m長のAGFの場合の約7度と比較し，鋼管終端部のトンネルからの離れが同程度(約1.5m)となるように設定したものである(**図-2, 3**)．

2-3 計測の概要

計測項目は，以下の3種類である．計測項目一

覧を表-3，図-4に示す．

（1） 先受け鋼管たわみ測定

AGF鋼管内に水平傾斜計を3m間隔で設置し，傾斜角の変化を測定する．また，傾斜角の変化と測定区間長より鋼管のたわみ(鉛直方向変位)を測定する．AGFの有無での比較を行うため，AGFを打設しない通常の施工区間でAGF鋼管と同一の位置における地山のたわみ(鉛直変位)の測定を行った．

（2） 鏡ボルトひずみ測定

グラスファイバーボルトにひずみ測定器を取り付けた計器を切羽鏡面中央部に打設し，切羽到達以前の地山のひずみ測定を行った．

（3） 先受け鋼管軸力測定

AGF鋼管内にひずみ測定用パイプを設置し，

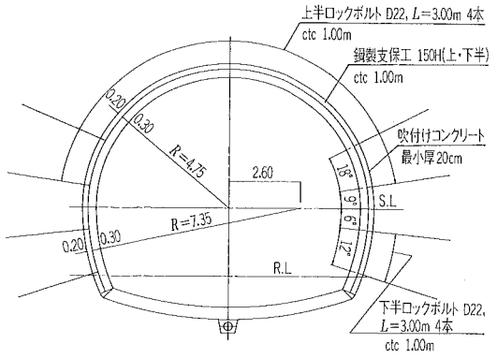


図-1　計測実施位置の支保パターン(AGF区間)

表-2　支保一覧

支保部材	規　格	備　考
鋼製支保工	H-150	ctc.1.0m
吹付けコンクリート	t=20cm	
ロックボルト	D22，L=3m	上半4本，下半4本
AGF鋼管	ϕ114.3mm，L=31m	1断面23本

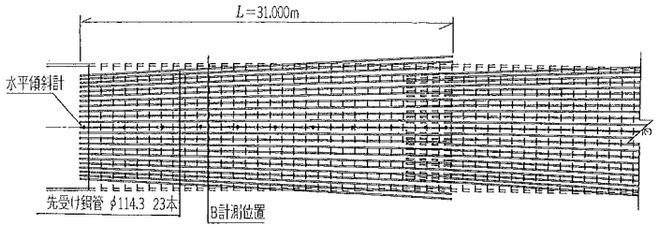


図-2　計器設置位置平面図(AGF区間)

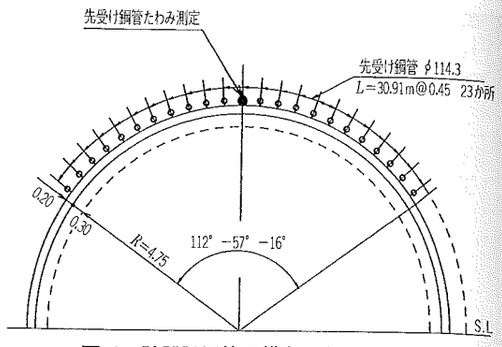


図-3　計器設置位置横断図(AGF区間)

表-3　計測項目一覧

計測項目	使用機器	備　考
先受け鋼管たわみ	水平傾斜計	L=31m，@3m×11測点
地山たわみ	水平傾斜計	L=31m，@3m×11測点
鏡ボルトひずみ	ボルトひずみ計	L=11m，@2m×6測点
先受け鋼管軸力	鋼管軸力計	L=12.5m，@1.5m×6測点

鋼管の曲げ，軸力の測定を行った．

2-3-1　先受け鋼管のたわみ測定

トンネル軸を含む鉛直断面内のAGF鋼管の挙動を計測するため，天端位置に打設したAGF鋼管内に水平傾斜計を3m間隔で11点設置し，それぞれの測点位置での角度の変化を測定した．その角度の変化に測定区間長を乗じることにより鋼管のたわみ(鉛直方向変位)を算出する．

測定に際し，AGF鋼管を通常の方法で打設し，その鋼管内に傾斜計をセットした計測用のパイプを挿入する．その後，鋼管と測定用のパイプの間隙に通常の方法で注入を行った後，掘削を再開し，切羽の進行に伴う変位を計測した．計測は自動計測システムを用いて15分間隔でデータを記録した．なお，施工上の制約から鋼管打設の時点で鋼管口元から1m(支保工1基分)までの区間は計器設置以前にすでに掘削を終わっている．

また，AGFを打設しない通常のパターン支保のみで施工した区間において，AGF区間での計測と比較するため，天端部に水平傾斜計を設置して計測を行った．AGF鋼管がないため，

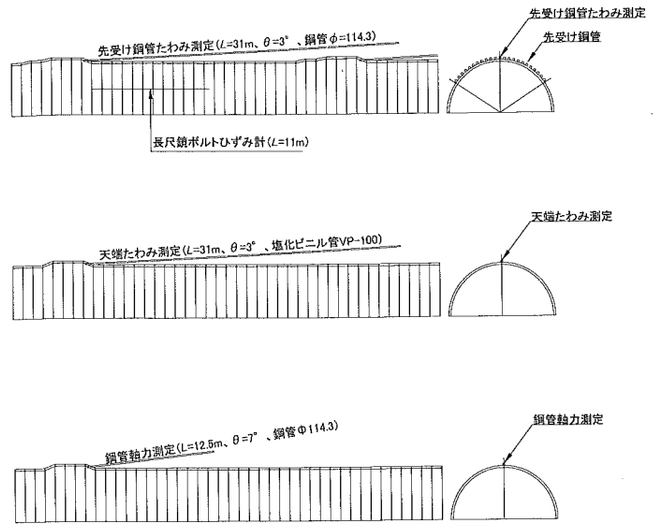


図-4　計測器設置断面

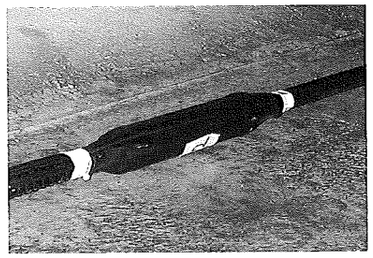


写真-1　ひずみ測定部

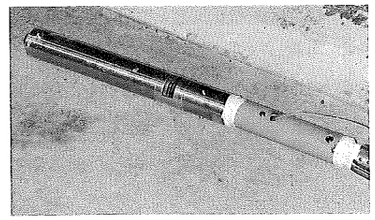


写真-2　データロガー

天端部中央部のAGF鋼管と同一の位置に同一の外径を持つ塩ビパイプを打設し，そのパイプ中に水平傾斜計を3m間隔で11点設置した．パイプの打設位置，トンネル軸に対する鉛直角，傾斜計の測点間隔・設置深度はAGF区間での計測と同じである．なお，塩ビパイプはAGFの打設ビットにより地山中に牽引，挿入し，固定注入などはいっさい行っていない．

2-3-2　鏡ボルトによるひずみ測定

トンネル掘削時の切羽周辺地山挙動のうち，切羽前方トンネル掘削断面内地山の変位の状態を確認することは，先受け工を設計するうえで重要なデータとなる．今回，長尺AGFを施工した区間で，切羽の進行と切羽前方掘削断面内に発生する地山の変位の関係を確認することを目的として，切羽面よりトンネル前方に向けてひずみ測定用の鏡ボルトを打設し，切羽前方地山のトンネル軸方向ひずみの測定を行った．ひずみ計を打設した断面はAGF鋼管水平傾斜計と同一断面である．

計測に使用したのは長さ12mのグラスファイバーボルトで，ひずみの測点は6点で，通常のファイバーボルトに特殊なひずみ測定装置(ひずみゲージ貼付)と埋設型データロガーを取り付けたものである(写真-1, 2)．この計器はトンネルの切羽掘削面に設置するため，配線を外部に取り出して計測を継続することが困難である．そこで，ボルト最深部に電気式の自動記録計を取り付け，切羽がその位置まで進行した時点でデータを回収する方式を採用した．測定は計器埋設直前にタイマーをセットし，15分に1回，ひずみデータを記録した．

2-3-3　先受け鋼管の軸力測定

従来，AGF鋼管に関する計測としては，AGF鋼管内に水平傾斜計を1～3m程度の間隔で設置し，回転角の変化と計測点間距離より鋼管のたわみを計測する方法と，鋼管内にパイプひずみ計を挿入し，曲げ応力を測定する方法が多く採用されている．これらの計測は鋼管のたわみと曲げ応力を測定することを主な目的としており，鋼管に発生する軸力について定量的な計測評価を行った例は少ない．今回，AGF鋼管に発生する軸力に着目して支保効果を評価することを目的として，曲げ応力だけでなく，軸力についても正確に計測できる計器を設置し，計測を行った．

使用した計測器は，アルミ製のパイプひずみ計を，地山に打設したAGF鋼管の中心線上に正確に位置決めして挿入し(写真-3)，その後，モルタルを注入し固定したものである．計測に先立って，AGF鋼管の軸ひずみが正確にパイプひずみ計に伝達することを確認するために，あらかじめ実験室において試験を行った．その結果，パイプひず

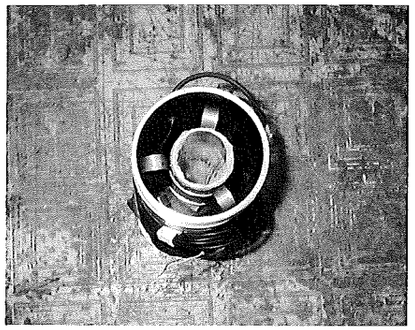


写真-3　AGF鋼管とパイプひずみ計の切断面

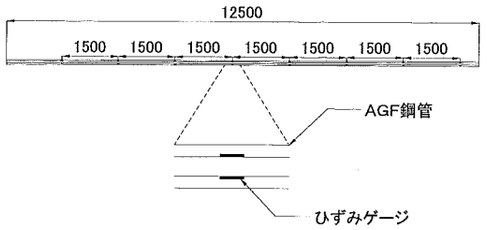


図-5　AGF鋼管軸力計

み計に伝達されるひずみは良好な直線性を示しており，この手法でAGF鋼管のひずみを計測することは十分可能であると判断した．

なお，今回の計測は地山とAGF鋼管の相互作用を確認するため，トンネル天端中央に計測用のAGF鋼管L＝12.5mを1本のみ通常の方法で打設した．AGF鋼管内に挿入したひずみ測定用のアルミパイプには，計測点を1.5mの等間隔で8か所，パイプの上下にひずみゲージを貼付し，1番目のゲージがAGF鋼管の口元より1.5mの位置になるよう挿入，固定した(図-5)．

3　計　測　結　果

3-1　先受け鋼管のたわみ測定

3-1-1　傾斜計の回転角

図-6は切羽の進行に伴うすべての測点の角度の変化を一つのグラフにまとめたものである．グラフの横軸は切羽の位置を，縦軸は角度の変化を示す．角度は，切羽に向かって鋼管の先端が浮き上がる(手前が沈み込む)方向の回転を正の方向としている．

各測点の角度の変化は，切羽が接近すると測点の手前が沈み込み前方が持ち上がる方向の回転角の変化が見られ，切羽が通過後回転角の変化の方向が逆転し，しだいに元に戻った．この傾向は全測点共通であった．

傾斜角の変化と切羽位置との関係は，深度9.5m以深の測点ではおおむね切羽が約10mまで近づいた時点で角度に変化が現れ，切羽が通過後，約10m遠ざかった時点でほぼ角度が元に戻っている．また，切羽位置が－5～＋5mの範囲で角度の変化がとくに大きくなっている．なお，深度0.5m，3.5mおよび6.5mの測点位置の地山は，傾斜計設置以前にその手前の区間の掘削による影響をすでに受けていると考えられる．

ほとんどの測点で，切羽がその測点を通過する時点で角度の変化が最大になっており，11測点中8測点(深度0.5m，21.5m，24.5m以外の測点)で切羽が通過する直前(－0.5mの位置)で最大値を示している．深度0.5mの測点は，計器設置時にすでに切羽が測点を通過しており，また，21.5mと24.5mの測点では回転角の変化の明瞭なピークが確認できなかった．傾斜角度の変化のピーク値は深度12.5mでもっとも大きく約0.30度，最小は深度27.5mで約0.13度であった．これらは，それぞれ約0.53%と0.23%の傾斜に相当する．

AGFなどの先受け工の支保機能として，掘削時に切羽部で地山が無支保状態になるのを防ぎ，三次元応力状態を維持して切羽天端部の地山を安

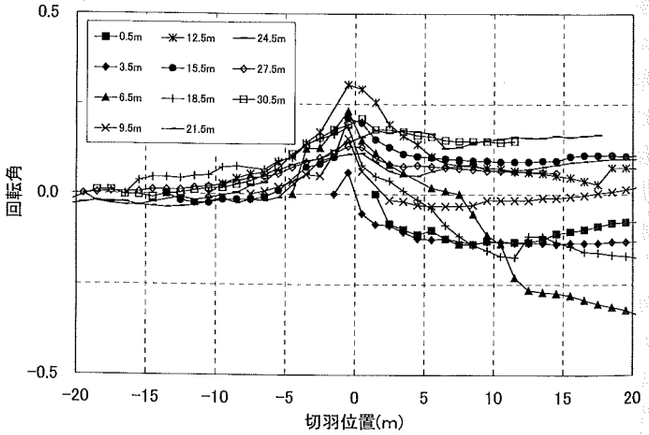


図-6　傾斜計の回転角と切羽位置の関係(全測点)

定な状態に保つ効果が考えられる．計測による鋼管のたわみ角度の変化が切羽通過時に最大になっていることより，当然のことではあるが切羽付近で先受け工の安定効果が最大に発揮されているものと考えられる．また，掘削による地山への影響範囲は切羽前後の－10mから＋10m程度であり，－5mから＋5mの範囲でとくに大きな影響を受けることがわかる．この影響範囲の大きさは長尺鋼管先受け工を設計する際の鋼管長と最小先受け残長(ラップ長)の設定の重要な検討要素となると考えられる．

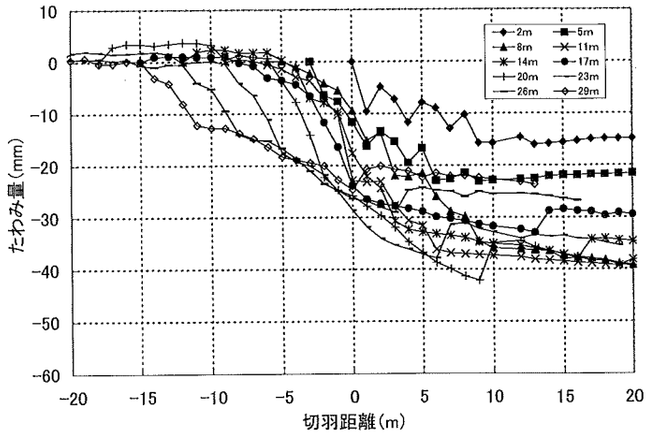


図-7　たわみ量と切羽距離の関係(全測点)

3-1-2　先受け鋼管のたわみ量

計算上の鋼管のたわみ量は，傾斜計で計測された角度の変化量に傾斜計の測定区間長2m(No.1，No.11)または3m(No.2～No.10)を乗じた値である．鋼管の端部を不動点として区間ごとのたわみ量を積分して鋼管全体のたわみ量とした．

測定区間長をL，傾斜計の回転角の変化をθiとすると，ある区間のたわみ量diは$L \cdot \theta i$で求めることができる．ある測点のたわみ量は鋼管の口元，あるいは最深部を固定点として各区間のたわみ量を積分することにより求めることができる．傾斜計の測定値(回転角)と切羽距離との関係より，切羽が10m以上離れると掘削の影響による回転角の変化がほとんど見られなくなる．そのため，計測開始から切羽が鋼管口元から鋼管のほぼ中央にあたる15mに達するまでは鋼管先端部を不動点とし，それ以降は鋼管口元を不動点として計算した．

図-7にすべての位置での鋼管のたわみ量と切羽距離の関係を示す．ここに示したのは計算上の位置で，隣接する2点の傾斜計の中間点である．図に示したそれぞれの点の最終たわみ量は20～40㎜であった．前述した回転角のピークが切羽通過時であることより，たわみの増分も切羽通過時に最大になっている．また，掘削による影響範囲はほぼ－10mから＋10mの範囲である．2mと5mの位置でのたわみ量が小さいのは計器設置以前にすでに掘削の影響を受けているためである．

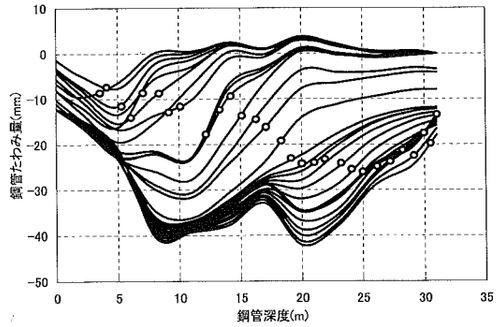


図-8　鋼管のたわみ量の分布(一括)

図-8はたわみ量の分布図(たわみの形状)を一つのグラフにまとめて示したものである．この図のそれぞれの曲線は上半1掘進(1.0m)に対応しており，その時点での曲げを受けた鋼管の形状を模式的に示しているものであり，掘削開始から切羽が鋼管の最深部を通過するまでの分布を示した．図中の「○」印はそれぞれの分布曲線における上半切羽位置を示している．つまり，ある分布曲線においては「○」印の位置まで掘削が進行していることになる．したがって，ある測点深度(鋼管口元から切羽までの距離)でのたわみ量をみると，「○」印の位置までは上半切羽到達以前の先行変位量であり，「○」印より下の部分は，上半掘削後のたわみ量である．

この図において，鋼管口元から10m付近までは鋼管設置以前にすでに掘削による応力解放の影響

を受けていると考えられ，また，20m付近以深では掘削による応力解放が終了していないと考えられる区間である．そのため，鋼管中央部の約10mの区間におけるたわみ量が上半掘削による応力解放の影響をほぼすべて受けた場合のものであると考えられる．

3-2　地山のたわみ測定

AGFの有無による比較を行うため，AGFを打設しない区間で行った地山のたわみ(鉛直方向変位)の計測結果を示す．

3-2-1　傾斜計の回転角

図-9に傾斜計の回転角と切羽位置の関係を示す．横軸に切羽の位置を，縦軸に角度の変化を示す．なお，深度15.5mの測点については計測器の不調のため割愛している．角度は，切羽に向かって鋼管の先端が浮き上がる(手前が沈み込む)方向の回転を正の方向としている．

各測点の角度の変化は，切羽が接近すると測点の手前が沈み込み前方が持ち上がる方向の回転角の変化が見られ，切羽が通過後回転角の変化の方向が逆転し，次第に元に戻った．この傾向は全測点共通であり，AGF打設区間での計測結果と同様な傾向を示した．傾斜角の変化と切羽位置との関係は，すべての測点で，切羽が約10mまで近づいた時点で角度に変化が現れ，切羽が通過後，約10mと離れた時点でほぼ角度が元に戻っている．また，切羽位置が－5～＋5mの範囲で角度の変化がとくに大きくなっている．

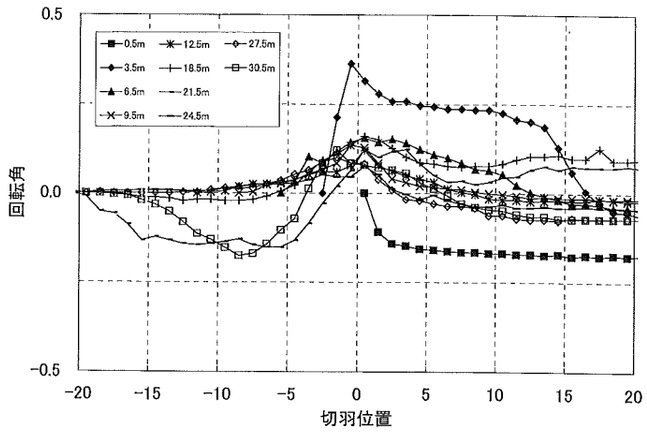


図-9　AGFを打設しない区間の傾斜計回転角と切羽位置の関係(全測点)

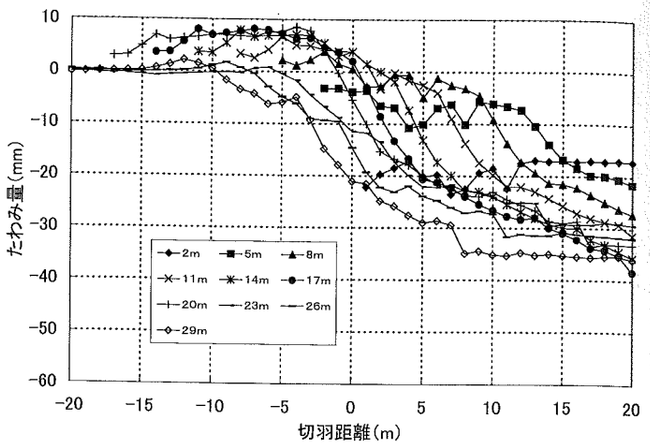


図-10　AGFを打設しない区間の地山のたわみ量と切羽位置の関係(全測点)

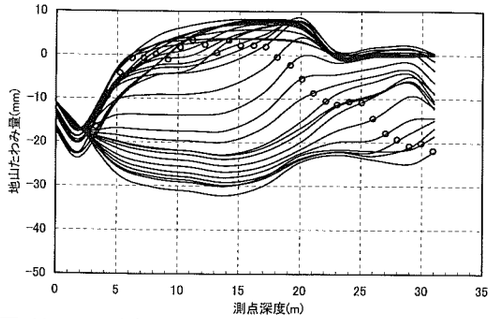


図-11　AGFを打設しない区間の地山のたわみ量の分布(一括)

3-2-2　地山のたわみ(鉛直方向変位)

図-10にすべての位置での鋼管のたわみ量と切羽距離の関係を示す．ここに示したのは計算上の位置で，隣接する2点の傾斜計の中間点である．

図-11はたわみ量の分布(たわみの形状)を一つのグラフにまとめて示したものである．この図のそれぞれの曲線は上半1掘進(1.0m)に対応しており，その時点での曲げを受けた計測器(塩ビ管に挿入した傾斜計)の形状を模式的に示しているものであり，掘削開始から切羽が鋼管の最深部を通過するまでの分布を示した．表示方法については図-8と同様である．

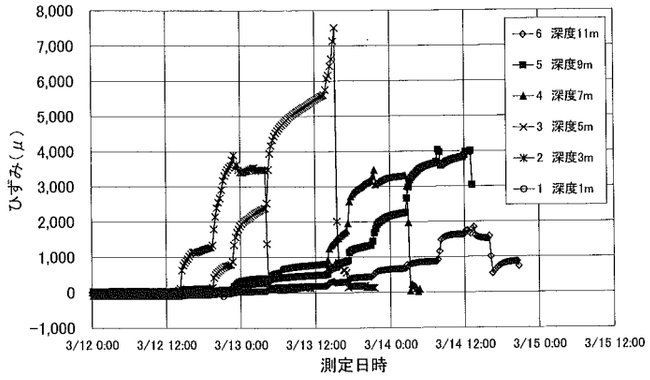


図-12　鏡ボルトのひずみの経時変化

3-3　鏡ボルトひずみ測定

ひずみ測定用鏡ボルトは，計器設置後約2日で計器埋設部分の掘削を終わり，計器先端部の記録計を回収した．掘削は機械掘削方式であり，支保工1基分(L＝1.0m)を掘削するために約1時間を要した．この地山の切削による影響が，各測点のひずみの段階的な増加で確認できた．

図-12に鏡ボルトひずみ計によるひずみの経時変化を示す．計測は15分に1回，全測点のひずみを記録している．この図は計器設置後，各測点の累積ひずみと時間との関係を示したものである．図において，各深度の測定データの軸力が急激に増加している部分が機械掘削工法で切羽面を切削している間の測定データである．通常，支保工1基分(L＝1.0m)の掘削に約1時間を要している．

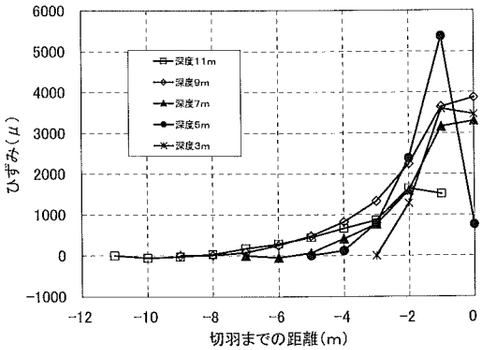


図-13　鏡ボルトのひずみと切羽距離の関係

図-13に各測点のひずみと切羽までの距離の関係を示す．計器埋設後，掘削開始直前のひずみを初期値としたものである．切羽が6～7mまで近づいた時点でひずみの増加が認められた．

図-14に掘削1mごとのボルト内のひずみ分布を示す．

3-4　先受け鋼管軸力

3-4-1　鋼管の軸応力

図-15に各掘削段階での鋼管の軸応力分布を示す．この図は計器を設置し，掘削を開始した後の切羽進行1mごとの軸力分布を切羽の位置を基準にしてひとつにまとめたものである．距離がプラスの測点はその時点で切羽前方の地山内にあることになる．この図に示すように，鋼管打設後，掘削開始直後に鋼管最深部に引張応力が発生している．掘削の進行に伴い引張応力は増加するが，切羽前方5m付近から引張応力が減少し始め，切羽から2～3mの位置で圧縮に変化している．この圧縮応力は切羽通過

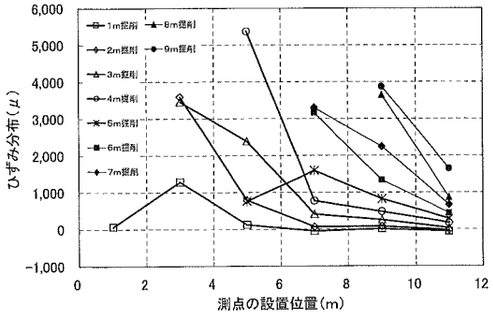


図-14　鏡ボルトのひずみ分布(各掘削段階)

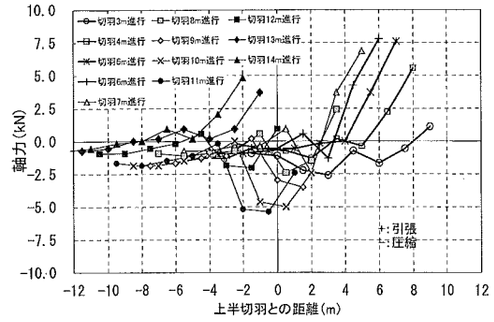


図-15　AGF鋼管の軸力分布

直前から再度引張応力側へ変化しはじめ，切羽通過直後に再度大きな引張応力を示している．その後，切羽の進行に伴う軸応力の変化は見られない．

まとめると，この図より，①切羽前方おおむね2m以深ではAGF鋼管に引張りの軸力が発生している，②2mより浅い部分ではAGF鋼管の軸力が圧縮になり，切羽後方2m程度までこの傾向が続く，③切羽が2mより遠ざかると軸力が徐々に減少する，④切羽がAGF鋼管の先端を通過した時点で鋼管先端部の軸力が圧縮から引張りへ変化する，ことがわかる．

3-4-2　鋼管の曲げ応力

図-16に掘削の進行に伴う各掘削段階での鋼管の累積曲げ応力の分布を示す．この図は計器を設置し，掘削を開始した後の切羽進行1mごとの累積曲げ応力分布を切羽の位置を基準にしてひとつにまとめたものである．距離がプラスの測点はその時点で切羽前方の地山内にあることになる．この図で正の符号の曲げ応力は鋼管が上方へ凸の状態になる方向で曲げモーメントが作用している場合を示している．いずれの掘削段階においてもおおむね切羽前方約2mの位置でプラス方向の曲げ応力のピークを示し，また，切羽から切羽通過後2m程度の位置でマイナス方向の曲げ応力のピークを示している．

図-17に切羽を1m掘進したことによりAGF鋼管に新たに発生する曲げ応力の増分値の分布をまとめたものを示す．横軸は各測点からその時点の切羽までの距離を示す．距離がプラスの測点はその時点で切羽前方の地山内にあることになる．この図からわかるように，掘削直後に一時的に無支保状態になる切羽位置で曲げ応力のマイナス側(内空側へ凸)の増分が最大となっている．

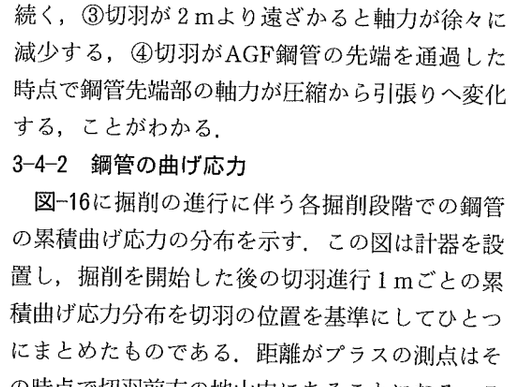


図-16　AGF鋼管の曲げ応力分布

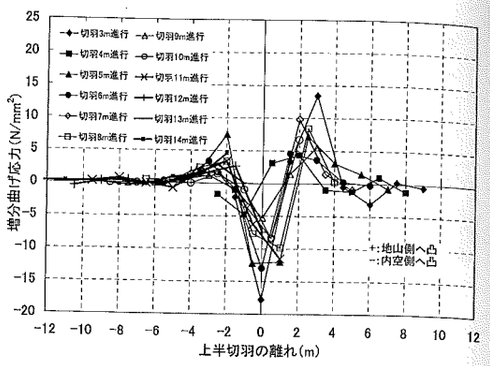


図-17　AGF鋼管の曲げ応力の増分値の分布

4　ま　と　め

長尺鋼管先受け工に関わる一連の計測を行うことにより切羽前方における先受け工と地山の挙動が明らかになった．

図-18に水平傾斜計によるたわみ測定における傾斜計の回転角と切羽位置の関係を示す．この図は3m間隔で設置した11測点の計測値を平均したものである．AGFの有無に関わらず切羽が10m付近まで接近すると回転角に変化が見られ，切羽位置でピークを示す．その後，回転角は徐々に元に戻るが，10mを越えても完全に収束せず，変化が継続する傾向を示す．また，切羽前後の約5m間で回転角の変化がとくに大きくなっている．

回転角の最大値はAGF鋼管を打設した場合の方が約40%程度大きくなっている．全般的な地質状況はAGFを打設しない区間の方が良好であることと，鋼管を打設することにより周辺地山より剛性が高い鋼管部に応力が集中したことなどの原因が考えられる．

図-19は天端位置でのたわみ量(鉛直方向変位)のAGFの有無による比較であり，全測点の平均値を示す．この値は回転角の変化に測点間隔長を乗じて積分したものである．変位量はAGFの有無に関わらずほぼ同一であった．このことについて，AGFを打設した区間では打設しない区間と比較して切羽の自立性が悪い地質であったが，AGFの施工により切羽付近の地山が健全な状態に保たれて弾性的な挙動を示したため両者の変位量に差が見られなかったことが一つの原因として考えられる．

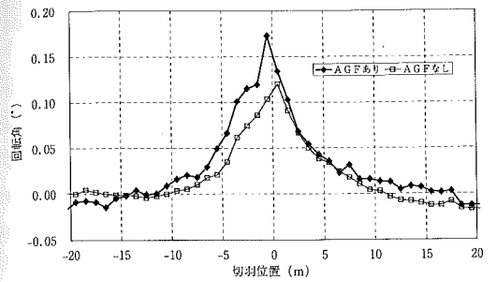


図-18　AGF鋼管と地山の回転角の平均値

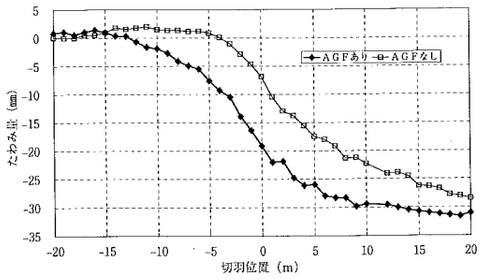


図-19　先受け鋼管，地山のたわみ量の平均値

図-20は鏡ボルトのひずみ量と切羽位置との関係を示す．各位置での全測点の平均ひずみ量である．切羽が8m程度まで接近するとひずみが発生しはじめ，4m程度まで接近するとひずみは急激に増加している．

図-21は鋼管の軸力分布を全測点で平均したもので，全体の分布傾向が読み取れる．切羽前方では引張軸力が発生しているが，これはロックボルトと同様，地山の押し出しに抵抗しているためであると考えられる．しかしながら，端部(頭部)が壁面の自由面にあるロックボルトと異なり，先受け鋼管は切羽通過後もトンネル壁面により軸方向変位の拘束を受けている．そのため，切羽が接近すると切羽後方地山の拘束力により鋼管が地山内へ押し込まれる形になり，軸力は引張から圧縮へ反転する．圧縮軸力は切羽前方約2mの位置で最大値を示し，切羽通過後徐々に減少する傾向を示す．これらのことから，AGF鋼管の軸力による支保機能は，まず，引張り軸力により切羽面の押し出しを抑制する効果が考えられる．また，圧縮軸力が，地山がもっとも不安定になると考えられる切羽付近で大きくなっていることより，この圧縮軸力が地山の安定性に何らかの影響を与えているものと想定される．

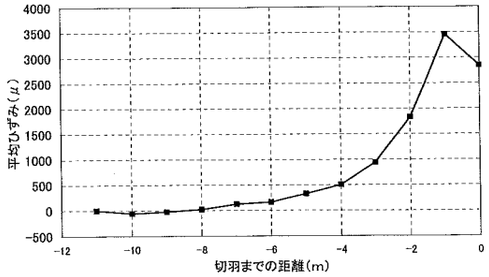


図-20　鏡ボルトのひずみ量の平均値

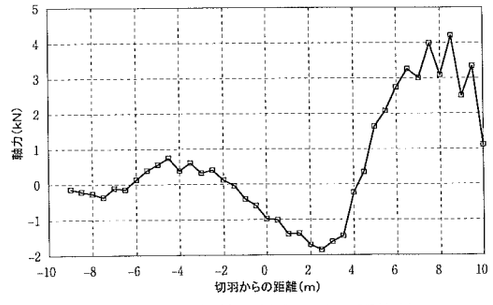


図-21　AGF鋼管の軸力分布の平均値

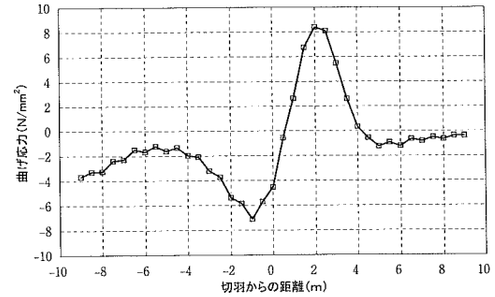


図-22　AGF鋼管の曲げ応力分布の平均値

図-22は鋼管の曲げ応力の分布を全測点で平均したものである．負の値は，鋼管上部から内空側へ凸になるような力を受けている状態を示している．鋼管の曲げ応力度は切羽前方2m付近で正の最大値を示しており，切羽の通過とともに符号が

反転し，切羽通過後１m付近で負の最大値を示す．また，掘削による影響を受ける範囲は切羽前後の±4 m程度の区間である．

最後に，今回の計測を行った箇所は土かぶりが80m以上あり，また，地質に関してはトンネル周辺地山の局部的な地層構造は複雑に変化するものの，全体的にトンネル掘削に影響を与える物性値のトンネル軸方向および横断方向での急激な変化はないと考えられる区間であった．そのため，地質不良区間ではあるが小土かぶり区間のようにトンネル上方の地山荷重が緩み荷重として直接AGFに作用するような状態ではなかったと想定される．したがって，今回の計測結果はこのような比較的均質な地質条件下のものであり，小土かぶり区間などでは異なる結果が得られる可能性があることを付記しておく．

わかりやすい **トンネルの力学**

B５判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

トンネル ジャーナル

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

地底現場応援団計画

地下30m以上の深さで働く技術者を励まそうと，「東京ジオサイトプロジェクト３『地底現場応援団計画』」と称した関東地方整備局東京国道事務所らによるイベントが12月17，18の両日，東京・港区の日比谷共同溝虎ノ門立坑で開催された．

この催しは，現場の最前線で働く技術者とコミュニケーションを図ることで，都市インフラの造り方，役割を多くの人に知ってもらうのが狙い．両日で600人が来場．現場の所々に配置された作業員（学芸委員）の説明に熱心に耳を傾け，シールドトンネルの現場を堪能していた．

デリー地下鉄（インド）開業

熊谷組JVらがインド・デリーで建設を進めていたデリー地下鉄が，12月20日に開業した．工期短縮により，開業時期が７か月早まった．ルートはデリーの中心部をほぼ南北に縦断する全長11kmの地下鉄で，市街地北部のデリー大学からオールドデリーを経て，ニューデリーの政府庁舎を結ぶ．

熊谷組JVが設計・施工を担当した工区は北側の４駅，約4.5kmの区間．

地下鉄火災対策で新基準

国土交通省は，地下鉄の火災に対する安全性を高めるため，火災対策基準を改正し，各地方運輸局長などに通知した．

03年２月に韓国の地下鉄で起きた放火による火災の被害を踏まえて基準を見直したもので，ガソリンを使った放火（大火源火災）を想定した排煙設備の設置や，避難経路に売店の設置を禁止するなどの安全性向上策を新たに盛り込んだ．

日本橋の景観再生

東京・中央区と「日本橋・東京駅前地区懇談会」は，日本橋川の上空を覆っている首都高速道路の移設へ向け，地元として望む計画案づくりに乗り出す．

国土交通省が設置した「日本橋みちと景観を考える懇談会」（座長：中村英夫・武蔵工大学長）によるまちづくりアイデアコンペで，首都高速道路を日本橋川の沿岸街区に移設する案が最優秀賞に選ばれたことから，この案を含めて協議し，国交省や東京都，首都高速道路公団に参加を呼びかけ，具体案をまとめていく方針．

竹原トンネル貫通

九州地方整備局福岡国道事務所が大分・福岡県境で整備を進めてきた国道424号竹原峠道路の竹原トンネルが１月15日に貫通した．

竹原峠は，大分・福岡県境の標高740mに位置し，幅員狭小，急勾配で平面線形も悪く，異常気象や冬季の凍結時に通行規制がかけられるといった交通の難所．掘削は大分側（768m），福岡側（654m）から両押しで進められた．05年度中の供用開始予定．

秋田中央道路着工

地下自動車専用道路として秋田駅の東西を結ぶ秋田中央道路で，１月17日シールド工事の安全祈願式が行われた．

シールド工事は，JR秋田駅東側の立坑を発進し，駅舎下を掘進，千秋公園お堀地下の開削函渠に到達後，再発進して竿灯大通りに至る延長1,530m．全体に土かぶりが小さく，カーブや勾配が多いのが特徴．発進立坑では縦断勾配４％の下がり勾配で掘進を開始する．シールドは，外径12.4mで高水圧カッタシールを採用．また，中折れ機構を装備し，最小半径R280mの急曲線施工に挑む．

仙台市地下鉄東西線準備工スタート

仙台市地下鉄東西線の2015年開業に向けた準備工事「地下鉄東西線に係わる下水道管移設工事（西公園駅舎区間１）」が１月27日着工した．

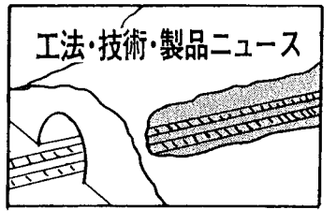
地下鉄東西線は，03年９月に鉄道事業許可を得て，各種手続きを進めてきた．市は９月ごろをめどに本格着工に必要な環境影響評価書，工事施行認可，都市計画決定の３つを完了させる考え．今回着工した工事は，西公園駅建設予定地を通る下水道管を移設するもの．

中国地整初のTBM採用

中国地方整備局は，国道２号三原バイパス区間で最長となる第５トンネル（1,160m）の建設を進めているが，残る217mがJR山陽新幹線・備後トンネルの15m上部を通過することから，同局と施工者が協議した結果，低振動工法であるTBMを同局として初の採用を決め，１月27日発進した．今後は，TBMで掘削後，割岩工法により10m程度まで拡幅，06年春ごろの完成を目指していく．

商品開発改良委を設置

日本トンネル専門工事協会（高山昇会長）は，トンネル施工の生産性向上や品質確保，安全対策の強化策の一環として，資機材・サービス材納入企業（賛助会員）との連携を強化するため，「商品開発改良委員会」を設置し，活動を本格化させる．賛助会員を単なる協会の親睦組織と位置付けず，常設委員会のもとで協会活動に参画させることで，正会員の施工技術の向上などにつなげていく．



山岳トンネルを効率割岩

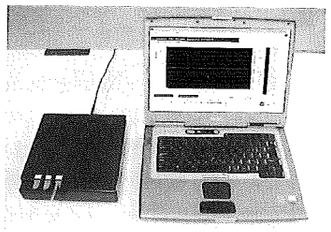
戸田建設と西松建設は，山岳トンネルを効率的に掘削できる割岩技術「EG-Slitter」を共同開発し，実用化した．

同工法は，ドリルジャンボに単一孔連続方式の専用アタッチメントを装備．これを使って岩盤に自由面を縦横に形成するとともに，破砕を行うための割岩孔を穿孔する．低騒音・低振動が求められる施工条件のトンネル掘削に適している．

光ファイバー計測システム

飛島建設は，トンネルの長期的な変状計測に，インセンシス社(英国)の光ファイバー計測システムを導入する．

従来とまったく異なる方式(TDM方式「時間分割多重方式」)を使用しているため，①計測点数が大幅に増加，②機械的可動部分がなく，長寿命で安定性に優れる，③維持・管理費が経済的，などの特徴が挙げられる．



地盤調査システム対象拡大

ライト工業は，地盤調査システム「エンパソル」に新機能を追加し，調査対象地盤の範囲を拡大した．

削孔と同時の安定したデータ取得と，削孔中の岩盤状況をグラフで確認可能な特長を生かし，今後は，情報化施工のツールとして硬岩部の事前調査や施工中の探査ボーリングに活用する．注入工法と併用し，注入孔周辺の地山状況とグラウト状況の解析，岩盤概況とグラウト概況の解析にも使用する．

P&PCセグメント追随性確認

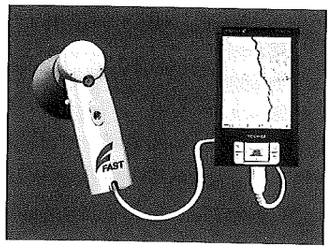
鹿島，東亜建設工業，日本国土開発，三井住友建設，ジオスター，住建コンクリート工業の6社は，P&PCセグメント工法の縦断方向耐震性能に関する共同研究を実施し，耐震性能のほか軟弱地盤などの条件下での同工法の優位性も確認，同工法が地盤変形への追随性に優れていることを確認した．

先端技術センターから取得していた技術審査証明内容を一部変更し，このほど更新した．

携帯型ひび割れ幅測定器

ファースト(TEL046-272-8695)は，画像処理ソフトで，ひび割れを測定する「CRACK VIEWER」を新発売した．

同製品は，画像を見ながら測定するためバラツキがなく，安定した測定が可能．コンパクトで手軽に持ち運びができ，画像記録機能を搭載しているため，画像の保存，データの維持管理ができる．



低騒音で打撃診断

熊谷組は，コンクリート構造物の劣化の有無を簡易な打撃装置で判定できる診断システム「TLIS(トリス)」を開発した．

同システムは，コンクリート表面を専用装置で打撃して発生させた音を，事前に収録していた健全な箇所の打撃音と比較することで，構造物の健全性を定量的に判定する．剝離厚さ10cm以下，コンクリート表面から10cm以下の範囲にある空洞やジャンカの存在可能性を判定できる．

ロックボルト完全無人打設

清水建設は，ロックボルトを完全無人化で行う施工法を確立した．

ロックボルト用の穴の削孔，モルタルの充填，ロックボルトの挿入という一連の作業を，1台の重機を遠隔操作するだけで行えるようにした．完全無人化に伴い，トンネルの切羽近傍での作業が不要となり，安全性が飛躍的に向上する．施工中の大断面トンネル現場で実証実験を行い，施工性能の有効性を確認した．

任意の場所で何度も交換

佐藤工業に事務局を置くカッタ引き込み式工法研究会は，シールドのカッタヘッド部を引き込み，カッタビットを交換する「C.I.S工法」を開発した．

同工法は，シールドのスキンプレートを複胴式とし，内筒と外筒をスライドできる構造にし，ビット交換時は内筒とともにカッタを引き込む．そのため，地盤改良や立坑が不要．カッタビットの損耗状況や土質の変化に応じ，任意の場所ですべてのカッタビットを交換でき，土質条件の想定を超えた変化による緊急的なビット交換にも速やかに対応．

訂　正

1月号掲載の【年始広告欄】に誤りがありましたので下記のように訂正させていただき，関係者にお詫び申し上げます．

○五洋建設(株)　取締役社長名

誤	正
鉄村和次郎	鉄村和二郎

報　告

シールド発進・到達工実態調査報告(3)

ＪＴＡ都市トンネル小委員会

7 到達工法の課題と評価

本章では，シールド到達工法について分析を行い，それらの課題について述べる．

7-1　到達工法

到達工法は，到達前または到達後に仮壁を撤去する方法(以下，仮壁撤去工法)と，シールドで直接仮壁を撤去する方法(以下，仮壁切削工法)に分けられる．

(1)　シールド外径と到達工法

シールド外径寸法(D)別に到達工法を比較した結果を図-53に示す．小口径においては到達後に仮壁を撤去する工法が8割程度であるが，大口径となるとそれが半数以下となっている．大口径では仮壁撤去に日数を要することと，撤去後の空推進にリスクが大きいことなどより，事前に仮壁を撤去するケースが多いように思われる．

(2)　地下水圧と到達工法

シールド到達部の地下水圧(P_w)別に到達工法を比較した結果を図-54に示す．全体的には仮壁

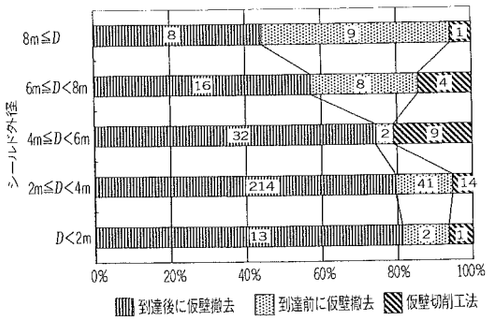


図-53　シールド外径と到達工法

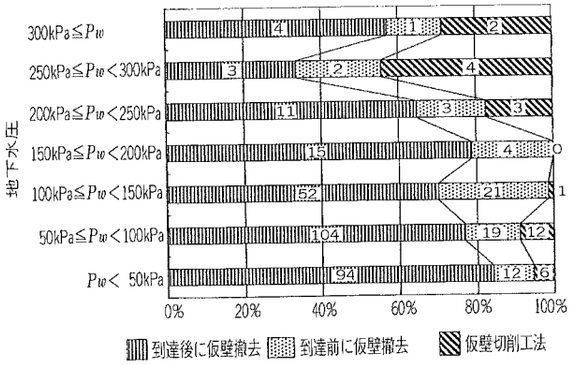


図-54　地下水圧と到達工法

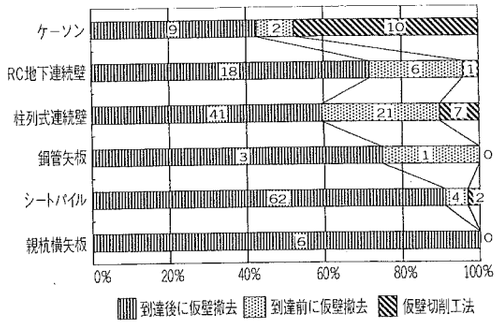


図-55　土留め種類と到達工法

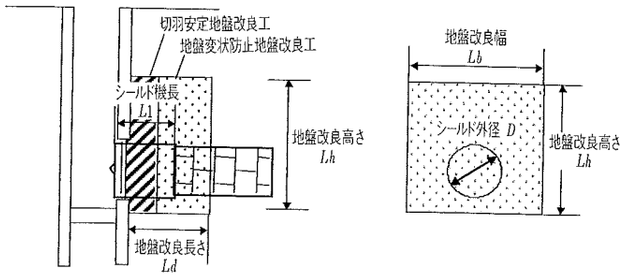


図-56　地盤改良範囲

撤去工法が約7割を占めるが，地下水圧が高くなると仮壁切削工法が増えている．

（3）　土留め種類と到達工法

シールド到達部の土留め種類別に到達工法を比較した結果を図-55に示す．親杭横矢板やシートパイルではほとんどが到達後に仮壁撤去を行っているが，鋼管矢板，柱列式連続壁，RC地下連続壁では到達前に仮壁撤去する工法が2割～3割を占めている．ケーソンにおいては，仮壁切削工法が半数近くを占めている．

7-2　地盤改良工の範囲区分

地盤改良工の範囲を図-56に示す．本調査では，鏡撤去時の地山崩壊防止を目的とした改良を切羽安定地盤改良工と定義し，到達および引き出し作業時の地盤変状防止を目的とした改良を地盤変状防止地盤改良工と定義した．

7-3　仮壁撤去工法の課題と評価

7-3-1　地盤改良工の目的と種類

（1）　地盤改良工の目的と種類

仮壁撤去工法における地盤改良工を比較した結果を図-57に示す．

仮壁撤去工法においては，切羽安定地盤改良工が9割程度採用されており，その半数以上が噴射攪拌杭となっている．その中でも到達前仮壁撤去工法の方が噴射攪拌杭の比率が高くなっている．

また，地盤変状防止地盤改良工の採用は6割程度となっており，　薬液注入が占める比率が高くなっている．

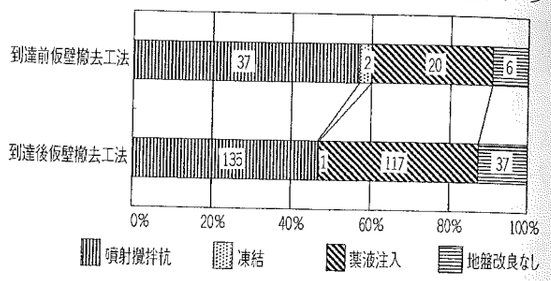
（2）　土質と地盤改良工の種類

シールド到達部の代表的な土質別に，到達鏡切り時の切羽の安定を目的とした地盤改良工の種類を比較した結果を図-58に示す．粘性土や砂質土などの土質では噴射攪拌杭の採用割合が6～7割と高くなっている(ただし，発進部の地盤改良工に比べ噴射攪拌杭の比率は低くなっている)．

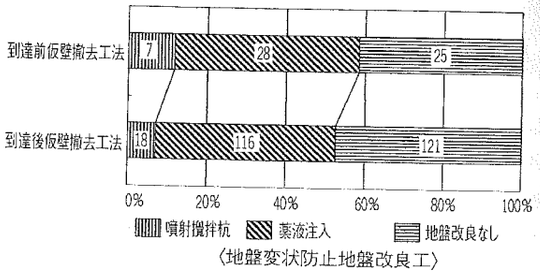
7-3-2　地盤改良寸法

到達部における地盤改良寸法について，地盤改良幅(L_b)および高さ(L_h)とシールド外径(D)の関係を図-59，60に示す．また，地盤改良長さ(L_d)とシールド機長(L_1)との関係を図-61に示す．

地盤改良幅および高さともに，　シールド外径より2～4m大きくしているものが多い．また，地盤改良工の種類は，噴射攪拌杭と薬液注入が多



〈切羽安定地盤改良工〉



〈地盤変状防止地盤改良工〉

図-57　地盤改良の目的と種類

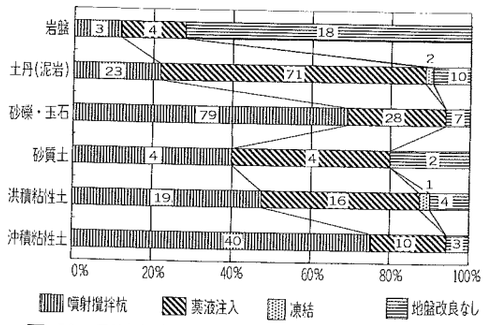


図-58　到達部断面の代表的な地盤改良工の種類

く採用されている．

地盤改良長さについて，シールド機長以上としているものが全体の約67%を占めている．そのうち，地盤改良長さをシールド機長より0～3m大きくしているものが多い．

なお，　地盤改良幅と高さは切羽安定地盤改良工の寸法とし，　地盤改良長さは切羽安定と地盤変状防止の地盤改良長さの和とした．

7-3-3　仮壁撤去工法における課題

仮壁撤去工法を使用した場合の各項目に対する問題の有無の比率を図-62に示す．施工面において“問題あり”の比率の高い項目は坑口の止水性，地盤改良工の止水性であり，シールド到達では止水性が問題となることがわかる．一方，施工面以外では工費面での比率が高い．

また，有効回答件数309件(全回答件数345件)において安全面，工程面，工費面を除く施工面の7項目において“問題あり”と回答した個数比率を図-63に示す．73%が全7項目に対して“問題なし”と回答している．

一方，全7項目に対して“問題あり”と回答した件数が2%であった．

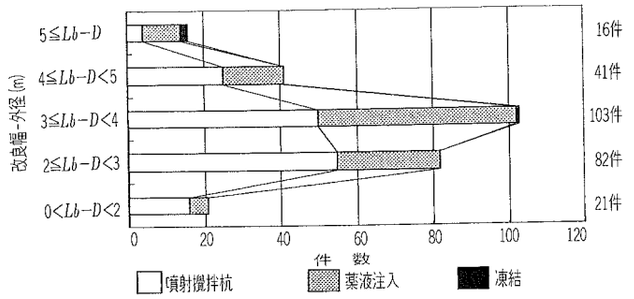


図-59　地盤改良工幅

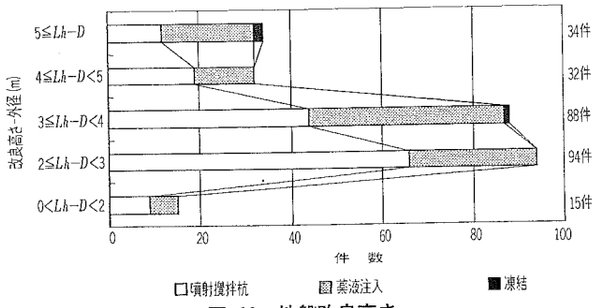


図-60　地盤改良高さ

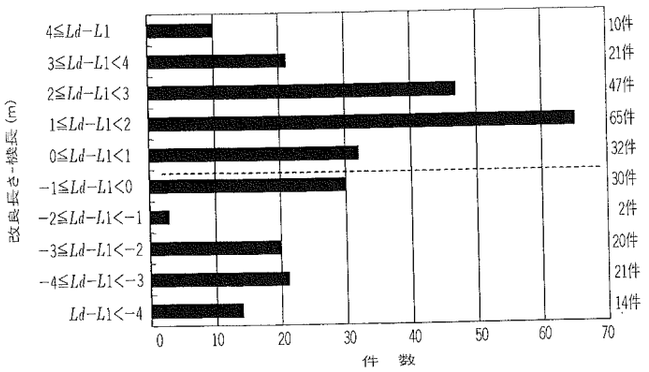


図-61　地盤改良長さ

7-3-4　仮壁撤去工法の総合評価

（1）　工法の満足度

仮壁撤去工法における満足度を図-64に示す．86%が満足している．

（2）　工法の改善点

仮壁撤去工法の改善点に関するコメントの内訳を図-65に示す．止水性(23%)，地盤改良工(20%)，仮壁・隔壁(14%)の改善項目が上位を占めている．

各改善項目におけるコメントをみると，“止水性”については，一般的にシールド発進と比較して地盤改良長さが少ないことや，到達坑口パッキンの設置比率が低く，かつ確実に止水性を確保できる構造が確立されていないことなどが指摘されている．

“仮壁・隔壁”については，到達用隔壁の設置比率は低く，隔壁の採用を望む意見があった．一方，隔壁設置・撤去に工期面，工費面で問題ありとの意見もあった．

（3）　地盤改良工の満足度

到達部仮壁撤去工法において採用した地盤改良工における満足度を図-66に示す．82%が満足，18%が改善点が多いという結果であった．

（4）　地盤改良工の改善点

到達部地盤改良工の改善点に関するコメントの内訳を図-67に示す．工法

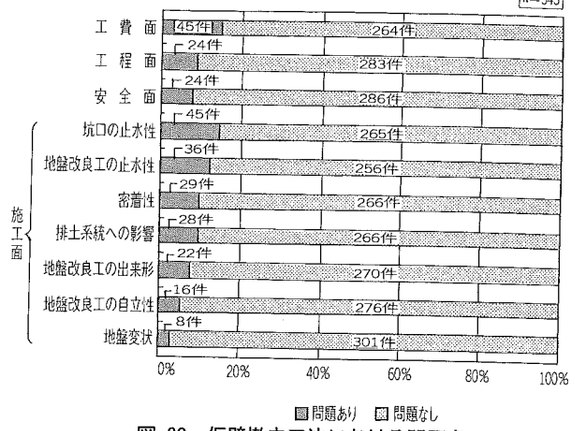


図-62　仮壁撤去工法における問題点

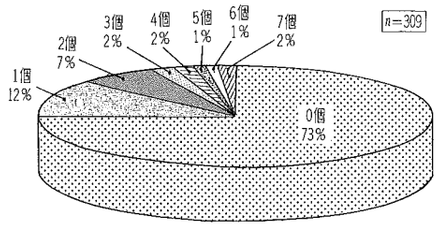


図-63　“問題あり”の個数比率

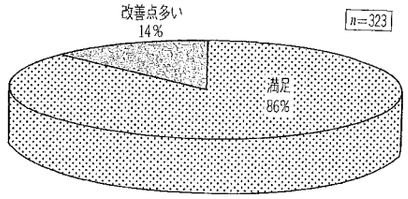


図-64　仮壁撤去工法における満足度

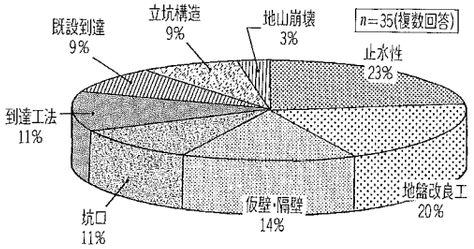


図-65　仮壁撤去工法の改善点に関するコメント

選定(30%)，施工範囲(23%)で高い比率となっている．

各改善項目におけるコメントをみると，“工法選定”については，地下水や土質条件により適切な工法選定を望む意見が多い．また，立坑形状，到達設備(到達坑口パッキンなど)，その他の施工条件も工法選定の要因になることが指摘されている．

“施工範囲(地盤改良範囲)”については，土質条件や施工条件などにもよるがシールド機長以上の改良が必要であるとの意見が全11件中6件を占めている．また，その他の改善点として設計面や工程面におけるコメントがあった．さらに，到達部の地盤改良工が他社施工(立坑施工会社)で改良効果の確認ができず補足注入を実施した施工事例もあった．

7-4　仮壁切削工法の課題と評価

7-4-1　地盤改良工の目的と種類

仮壁切削工法における地盤改良工法を比較

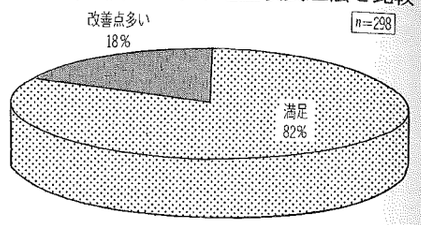


図-66　到達部地盤改良工における満足度

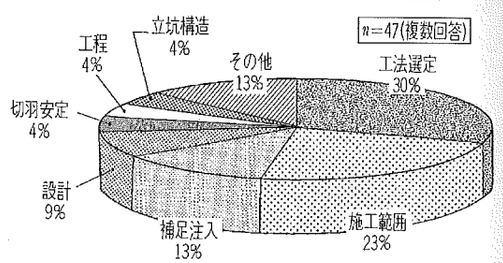


図-67　地盤改良工の改善点に関するコメント

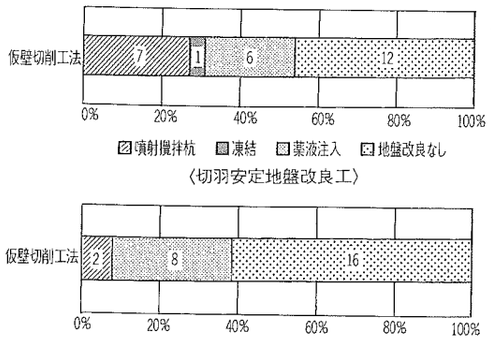


図-68　地盤改良工の目的と種類

した結果を図-68に示す．仮壁切削工法においても，切羽安定地盤改良工が半数以上採用されており，噴射攪拌杭がその半数程度を占める．また，地盤変状防止地盤改良工も4割程度採用されている．

7-4-2　地盤改良寸法

地盤改良工の目的は，発進部と同様に背面地盤補強や止水性確保であり，地盤改良寸法に関してほおおむね発進部と同じような寸法が採用されている．

7-4-3　仮壁切削工法における課題

仮壁切削工法を使用した場合の各項目に対する問題の有無の比率を図-69に示す．施工面において“問題あり”の比率の高い項目は排土系統への影響，騒音・振動，止水性である．また，施工面以外では工費面で高い比率である．全回答件数が29件と少ないが，仮壁撤去工法と比較して概して“問題あり”の比率が高くなっていることがわかる．

また，有効回答件数26件(全回答件数29件)にお

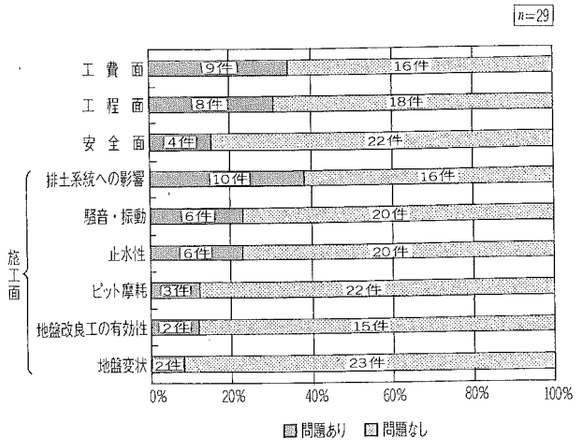


図-69　仮壁切削工法における問題点

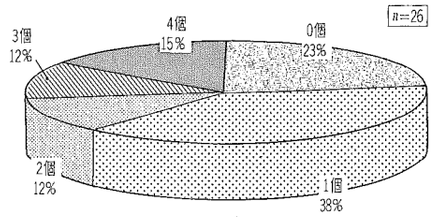


図-70　“問題あり”の個数比率

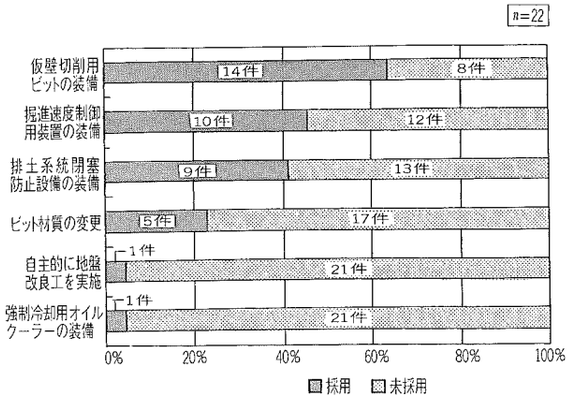


図-71　仮壁切削工法における対策項目

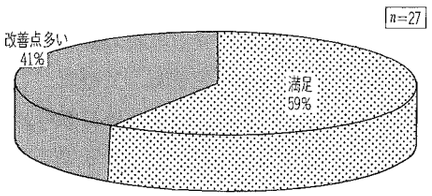


図-72　仮壁切削工法における満足度

いて安全面，工程面，工費面を除く施工面の6項目において“問題あり”と回答した個数比率を図-70に示す．全6項目に対して“問題なし”と回答しているのが23%であり，仮壁撤去工法の73%と比べ低い比率となっている．一方，1個以上“問題あり”と回答したのは77%であり，高い割合で何らかの問題が発生していることがわかる．

7-4-4　仮壁切削工法における対策項目

回答件数(22件)における対策項目の採用比率を図-71に示す．60%以上が仮壁切削用ビットの装備を行っており，以下，掘進速度制御用装置の装備，排土系統閉塞防止設備の装備の順で採用比率が高くなっている．

7-4-5　仮壁切削工法の総合評価

(1)　工法の満足度

仮壁切削工法における満足度を図-72に示す．59%が満足しているという結果であり，仮壁撤去工法の86%と比べて低い満足度に留まっている．

(2)　工法の改善点

仮壁切削工法の改善点に関するコメントの内訳

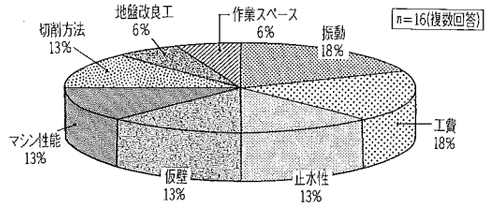


図-73　仮壁切削工法の改善点に関するコメント

を図-73に示す．全体件数は少ないものの各項目について平均的に改善点が指摘されており，問題点・課題が広範多岐にわたっていることがわかる．

仮壁切削工法は仮壁撤去工法と比べ比較的新しい工法であり，さまざまな項目において改善の必要性があることがわかる．コメントとしてシールド到達にあたり“専用ビットの機内取り付け”を行った施工事例もあり，施工面，工費面，工程面に対する配慮が必要であるとの意見もあった．

7-5　工法変更および設計で考慮を望む項目

7-5-1　工法変更

（1）　到達工法の変更

到達工法の変更に関して，条件面および施工面の変更理由を組み合わせた関係を図-74に示す．

条件面の変更理由として，「条件面での理由ではない」がもっとも多く，それ以外では，「地盤」，「地下水圧」，「工期」を理由にあげている．施工面の理由としては，「安全性の向上」が多い．また，条件面の理由「地盤」と「地下水」，施工面の理由「安全性の向上」の組み合わせの回答が多く見られた．

（2）　到達部地盤改良工の変更

到達部地盤改良工の変更に関して，条件面および施工面の変更理由を組み合わせた関係を図-75に示す．条件面の理由として「条件面での理由ではない」がもっとも多く，それ以外では，「地盤」，「地下水圧」が多い．施工面の理由としては，「安全性の向上」が多い．また，条件面の理由「地盤」，「地下水」と施工面の理由「安全性の向上」との組み合わせの回答が多く見られた．

7-5-2　設計で考慮を望む項目

シールド到達工において設計で考慮を望む項目に関しては，有効回答件数402件(全回答件数520

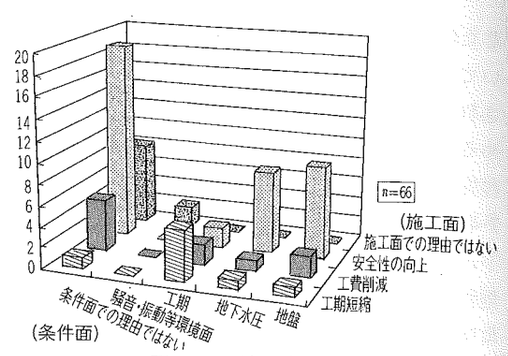


図-74　到達工法の変更

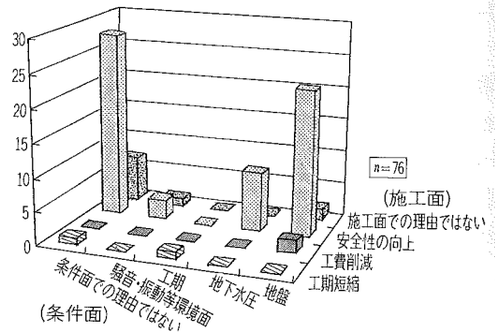


図-75　到達部地盤改良工の変更

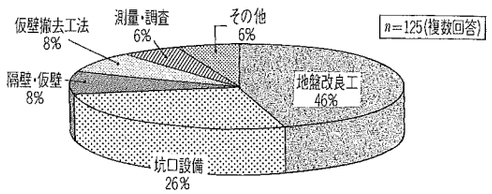


図-76　設計で考慮を望む項目に関するコメント

件)のうち，32%にあたる130件で“設計で考慮を望む項目があり”という回答結果であった．また，コメント数は125件であった．内訳を図-76に示す．地盤改良工が46%，坑口設備が26%と比率が高い．

（1）　地盤改良工

全57件のうち，地盤改良長さに関するものが37%(21件)を占め，以下，薬液注入，工法選定に関するものが23%(13件)，噴射攪拌杭に関するものが17%(10件)である．

地盤改良長さについては，“シールド機長以上”の改良範囲を望む意見が多い．また，薬液注入工法については，注入率の見直しや土留め壁背面への補足注入などが挙げられている．また，工法選

定に関しては設計への地盤改良工の計上に関する意見が多く，“粘性土であっても，坑口前面は全面改良として欲しい”といったコメントがあった．

（2）　坑口設備

到達坑口パッキンの設置を望む意見が多く，そのなかには設計には未計上であったが設置した施工事例もあった．土質条件などにもよるが，安全で確実な到達のために到達坑口パッキンの設置を考慮する必要がある．

（3）　その他

隔壁・仮壁の設置，仮壁撤去工法でワイヤーソーやコアボーリングなどを併用した工法の採用および仮壁切削時のサイクルタイムなどを設計に計上してもらいたいとのコメントがあった．

8　アンケート調査結果のまとめ

シールド発進・到達工は，シールド工事の中では比較的トラブルが発生しやすい工種であり，アンケート調査結果からもその実態，および設計に対する要望・施工計画の反省点などを把握できた．アンケート調査から見出された発進・到達工における施工計画上の留意点を表-2に示す．

シールド発進・到達時のトラブルとしては，仮壁撤去工法の場合，地盤改良工に起因することが多く，出水，切羽崩壊および地盤変状などが主な現象である．また仮壁切削工法では，仮壁や改良体の大割れによる排土系の閉塞が多く発生しており，この原因としても地盤改良工の不採用や改良強度の不均一性が影響している場合が多い．

調査結果から，今後の設計・施工計画において配慮が望まれる点は以下のとおりである．

① 崩壊性の高い土質において仮壁撤去工法を採用する場合は，高圧噴射杭など安全性の高い地盤改良工法を採用する(ただし，玉石混じり礫層・硬質粘性土などでは改良体の出来形に課題があるため，薬液注入工を併用するなど適切な対策が必要である)．

② 透水性の大きな土質における発進では，シールドが地山に貫入し，裏込め注入が施工できるまでの間の止水性を確保するため，地盤改

表-2　シールド発進・到達工における施工計画上の主な留意点

工法	現象	原因	施工計画上の主な留意点
仮壁撤去工法	・出水 ・切羽崩壊 ・地盤変状	地盤改良工の不具合(出来形・強度)	・土質条件に応じた地盤改良工法の選定と出来形の確認 ・不具合時の補足注入実施
		地盤改良工法の選定ミス	
		地盤改良工の範囲不足	
		【発進】エントランスパッキンの選定ミス，取り付け施工不良 【到達】到達坑口の止水設備の不採用	【発進】土質条件，シールド径，シールド仕様を考慮したエントランスパッキンの種類，段数の選定と確実な施工 【到達】到達坑口パッキンまたは隔壁の設置
		山留め壁の変位	・土盤改良工施工時の計測管理の徹底
	・排土系統閉塞	地盤改良体の大割れ	・土質条件に応じた地盤改良工法の選定 ・排土系統閉塞防止設備の装備
仮壁切削工法	・出水 ・切羽崩壊 ・地盤変状	地盤改良工の不具合(出来形，強度)	・土質条件，シールド径に応じた地盤改良工法の選定と出来形の確認
		地盤改良工法の選定ミス	
		地盤改良工の範囲不足	
		エントランスパッキンの選定ミス，取り付け施工不良	・土質条件，シールド径，シールド仕様を考慮したエントランスパッキンの種類，段数の選定と確実な施工
	・排土系統閉塞	【発進】仮壁または地盤改良体の大割れ 【到達】ビット数不足，ビットの摩耗による仮壁，地盤改良体の大割れ	【発進】仮壁背面の地盤強度を考慮した地盤改良工の選定および実施 【到達】適切なビット仕様配置計画および土質条件に応じた地盤改良工の選定
	・騒音，振動発生	掘進速度大	・掘削速度制御用装置の装備
		ビット数不足	・適切なビット仕様配置計画

良工の長さを「機長＋α」とする．

③ 仮壁切削工法において背面地盤反力が期待できない場合は，仮壁の大割れ防止を目的とした地盤改良工を実施する．

④ 大深度や大断面など止水性確保や切羽安定に課題がある場合は，発進部ではエントランスパッキンの段数増加，到達部では隔壁などを用いた確実な到達方法を採用する．

9 おわりに

今回のアンケート調査はおおむね選択式を採用したため，具体的なトラブル事例に関する記述は少なかったが，これまでの事故例を省みても，発進・到達での小さなトラブルが大事故につながっている例が多い．例えば，アンケート結果でも数多く回答のあった排土系統のトラブルなどは，必ずしも地盤変状などへ発展しないケースが多々あるため，現場内だけの問題として処理され，軽視されがちである．しかし，事故を未然に防ぐためには，このような小さなトラブルこそ見過ごさない姿勢が大切である．今回の調査結果が，各企業者の設計仕様や施工者の施工計画に反映されることを願いたい．

最後に本アンケート調査に対して貴重な施工実績データ・意見をご提供していただいた工事関係者の方々に厚くお礼申し上げる次第である．

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
(48頁からのつづき)			
横浜市	西谷２・３号配水池連絡管	大成建設	307
〃	下倉田第２幹線下水道	鹿島・りんかい日産JV	1,250
〃	下永谷雨水支線	前田・保土ヶ谷JV	665.2
〃	白土谷雨水支線	新井・不動・JV	595
〃	都岡幹線送水管更新ほか	大成建設	150
〃	新羽末広幹線(太尾・駒岡区間)第１工区その２	大成・三井住友・保土ヶ谷JV	3,460
名古屋市	丸新第２雨水幹線	鉄建・大日本・鈴中JV	580
〃	篠原雨水幹線	飛島・五洋・国土開JV	1,950
〃	鳴尾第２雨水幹線	奥村・徳倉・エクシオJV	1,400
〃	汐田雨水連絡幹線	竹中土・大豊・淺沼JV	1,300
〃	長喜町雨水幹線	西松・大本・大有JV	510
京都市	公下有栖川中央第２雨水その１	淺沼・仁木JV	483
〃	公下唐崎２号分流その１	村本・協栄JV	468
〃	桂２号幹線(雨水)その１	東洋・久本・岡野JV	1,035
〃	公下今宮幹線その１	奥村・大日本・古瀬JV	1,520
〃	一ノ井1号雨水幹線その１	国土開・森・吉川JV	1,010
〃	西堀川８号・９号分流幹線その１	公下西松・不動・吉村JV	945
〃	東１条分流幹線その１公下	長村組	235.5
〃	吉田１号分流幹線さの１公下	山崎組	270
大阪市	桜宮取水場配水場化	真柄建設	458
東大阪市	公下第５工区管渠	清水建設	4,020
神戸市	神楽御屋敷線街路・西代通雨水幹線移設１	大末建設	363
和歌山市	公下新堀雨水幹線	不動建設	216
〃	野崎都市下水路流入渠その２	松村・第五JV	210
福岡市	比恵８号幹線	青木あすなろ・羽野JV	1,058

連載講座

山岳トンネルにおける工事用機械の選定(17)

TBM(4)—付属設備(掘進自動制御)—

「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

TBMの基本機能は，後方の支保を除けば掘進が主体で，岩の破砕—ずり積み込み—ずり搬出作業が主となる．これらの主機能は，TBM本体に常設されているが，実際の施工では，これらをサポートする付属設備とが，一体となって実現する．付属設備には通常の掘進に不可欠な設備，例えば，ずり搬出，支保構築，換気・集塵・排水，動力供給等の設備と，地山変状・悪化に代表される突発的トラブル，それらのトラブル予知，防止のためのボーリング，地山探査，補助工法施工設備がある．またTBMには全機械化掘進という機構的特徴があり，その長所として，従来の山岳工法にある人間臭さの作業(人間が直接地山にふれて掘削を行う)から脱却して，掘進作業すべてが機械操作により，連続的な作業体系を確立している．この一体連続型の機械操作は，掘進中時々変化する地山の状況を，リアルタイムでの情報収集とチェックを必要とし，かつその結果のフィードバックにより，成果の確認と向上が行われる．この連続的なフィードバック操作は，人間ではあまり得意な分野ではない．逆に，近年他分野で発展を続けるロボットをはじめとする自動，高度化機械は，まさにこの機能そのものといえる．あらゆる必要な情報をセンシングして，これらを即コンピュータでフィードバック解析して，状況判断と具体的な操作内容を指示して，かつ制御までをすべてリアルタイムで行うことができる．全機械化では，このような連続的な操作が究極の形態である．このことは，全機械化の機能を有するTBMでは，まさにその将来性を物語っている．その主たる機能の掘進制御には，①掘削機構を地山にあわせていかに効率よく掘るかという“掘削制御”，②いかに正しい方向と位置に掘り進んでいくようにするかという“方向制御”とがある．掘削制御に関しては，いまだオペレータによる操作が主流となっているが，方向制御の方は，自動化が進んでいる．とくにそのもととなる測量データのうち，位置に関するデータは，明かりのようなGPSが使用できないため，レーザ光の自動追尾型トータルステーションによる，位置姿勢認識と，ジャイロによる姿勢認識手段により得ている．これらのデータをリアルタイムでセンシングおよび解析処理して，現位置と姿勢(機械方向)の精度を高める工夫がなされている．さらにこれらの測量データをもとに，掘進のジャッキコントロールまでの自動化も現実化している．しかし，実質的には，測量段階までの自動化が進んでいる．本稿では，これらを実例で紹介し，TBMの今後の可能性を示唆する．そして次回には，補助工法関連設備と実施例を紹介する．なお，従来の後続設備に代表される一般の付属設備に関しては，トンネルと地下，Vol.27，No.2(1996年２月号)の連載講座：トンネルボーリングマシン入門(5)[TBMの付属設備]を参照されたい．

(文責：岡田　喬・(株)熊谷組)

2. ＴＢＭ施工事例
(吾妻線岩島・長野原間付替八ッ場T新設工事)

2-1 工事概要

国土交通省は，昭和24年に策定された利根川改訂改修計画の一環として，関東首都圏における利根川流域の洪水調整と水資源開発を目的としたダム群の建設を計画実施してきた．その一つに八ッ場ダム建設があり，これによりJR吾妻線は川原湯温泉駅を含む約６kmの区間が水没することになった．そこで国土交通省によるJR吾妻線の機能補償として，岩島駅から長野原草津口駅間の約10.4kmの路線付替え工事に着手することになった．

工 事 名：吾妻線岩島・長野原間付替八ッ場T新設工事
発 注 者：東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所
施 工 者：清水・西松・間共同企業体
工事場所：群馬県吾妻郡吾妻町・長野原町
工　　期：平成11年11月30日～平成18年１月18日
トンネル延長：4,120m(TBM掘削)
掘削外径：φ6,820㎜
掘削方式：TBMによる全断面機械掘削

2-2　TBM掘削機

本工事で使用するTBM(掘削外径φ6,820㎜)の外観を写真-1に示す.

地山は全般に固結度も高く掘削時に坑壁からの抜け落ちや緩みの増大などの可能性が小さく良好な地山と考えられることから，TBMはオープンタイプを採用した.

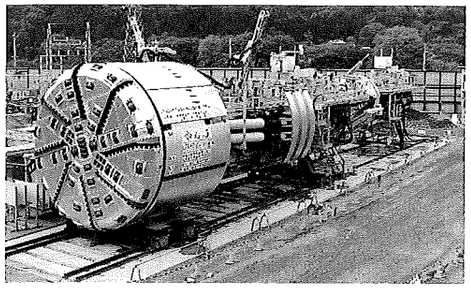


写真-1　TBM外観

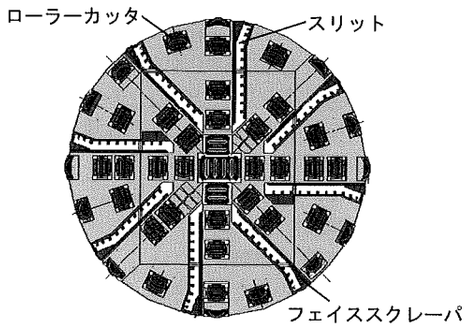


図-1　カッタフェイス

表-1　TBM仕様

形　式		オープン型
掘削径		φ6.82m
全　長		約92.8m
重　量		約5,500kN
総出力		約2,300kW
カ　ッ　タ		
	取り付け方式	内側取り付け方式
	カ　ッ　タ　径	17インチ
	取り付け個数	48個
カッタ駆動装置		
	電動機	315kW×6台
	トルク	3,071/6,142kN・m
	回転数	0～6rpm
推進装置		
	総　推　力	12,142kN
	ストローク	1,800㎜
	伸長速度	MAX100㎜/min
メイングリッパ		
	グリッパ力	35,280kN
	張り出し量	250㎜
	接　地　圧	3.46MPa

しかし，オープン型のTBMの場合，切羽近傍での支保が可能で地山の緩みを最小限に抑えることができる反面，肌落ちや小崩落に対する防護がなく，危険を伴う．そこで，必要最小限の長さのルーフサポートを装備することで，駆動装置などの主要機器の保護と崩落に対する作業の安全が図れ，かつオープン型のメリットである切羽近傍での地山補強を可能とした.

カッタヘッドはカッタ間隔を小さくしカッタを密に配置できるようドーム形状とし，最外周のゲージカッタは交換頻度を低減するため，カッタの同一軌跡上に2個のカッタを配置する「2パス」とした.

カッタは17インチシングルカッタをインナーに38個，センター部8個とゲージカッタ2個を配置にした.

2-3　TBMの方向制御

2-3-1　TBMの方向修正

(1)　各構成機器の役割

TBMの方向修正に必要な各装置の名称を図-2に示す.

1)　メインビーム

カッタヘッドに直結して推力を与えるシャフトであるとともに方向制御のレバーとして作用する.

2)　メイングリッパ

メインブームの方向を位置決めする(上下，左右)ことで掘削方向を決めるためのアンカーとする.

メイングリッパを固定したうえで，

- 左右方向：メイングリッパジャッキストローク差により，メインビームを移動させる.
- 上下方向：トルクジャッキストローク差によりメインビームを移動する.

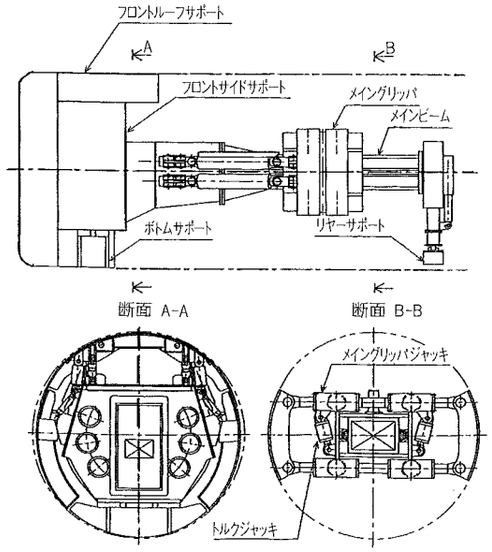


図-2　方向制御に必要な各装置

3)　フロントサイドサポート

メインビーム移動により，方向位置決めしたあと，一定力で坑壁に押しつける.

大きな接触面積を持ち地山を崩壊させることなく，掘進方向のガイドおよび振動抑制を行う.

カーブを曲がる時はメインビームの位置制御の他にフロントサイドポートを左右の一定方向のみ押すことで，方向制御を補助することができる.

4)　フロントルーフサポート

フロントサイドサポートと同様に垂直方向のガイドおよび振動抑制を行う.

5)　ボトムサポート

計画線から大きくずれた場合のピッチング制御と沈下防止の目的でレベル調整を行う.

6)　リヤサポート

メイングリッパの盛替え時，メインビームを指示するとともに掘進開始前のメイングリッパレベル調整を行う.

7)　トルクジャッキ

ピッチング，ローリング修正のときに使う.

(2)　方向修正の要領

1)　上下の方向制御

上下の方向制御は，メインビームとグリッパ部を連結しているトルクジャッキを左右同時に伸縮することにより行う．その状況を図-3に示す.

2)　左右の方向制御

左右の方向制御は，メイングリッパを坑壁に押しあてて固定した状態で，メイングリッパジャッキを低圧で作動させることにより，メインビームを左右に移動させることで行う．その状況を図-4に示す.

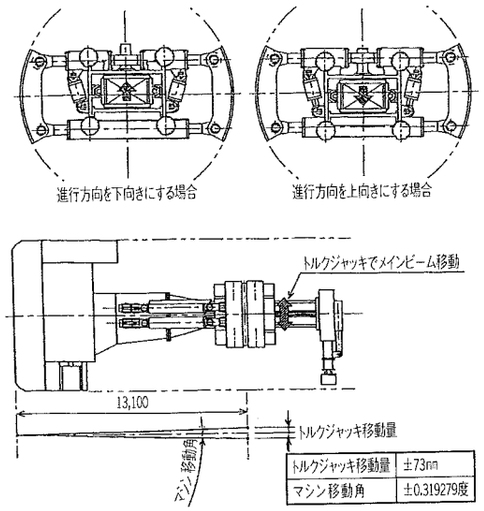


図-3　上下の方向制御

3)　斜めの方向制御

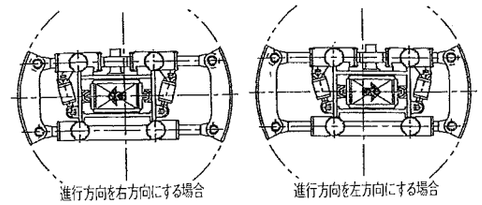
斜めの方向制御は上下の方向制御と左右の方向制御を組み合わせて行う．その状況を図-5に示す.

そのとき，グリッパジャッキの油圧の流れを示した概念図を図-6に示す.

坑壁の保持は高圧で行い，左右のストローク差は低圧の回路で行う.

4)　ローリングの修正

ローリングの修正には，メインビームとグリッパ部を連結しているトルクジャッキの左右にストローク差を持たせることにより，メインビームを回転させることで行う(図-7)．さらに方向制御をサポートするTBM機構上の改善を行った.



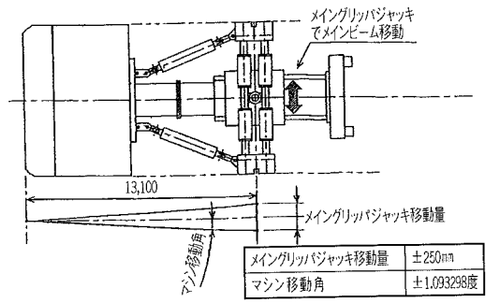


図-4　左右の方向制御

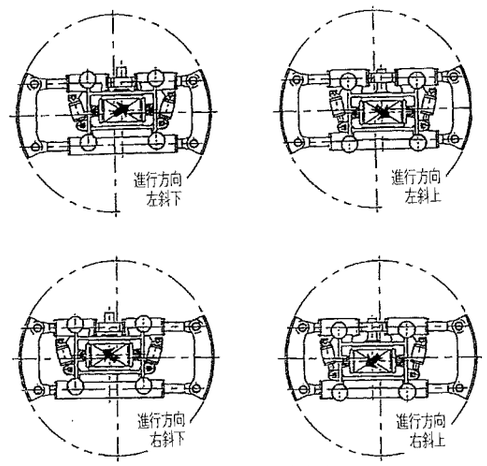


図-5　斜めの方向制御

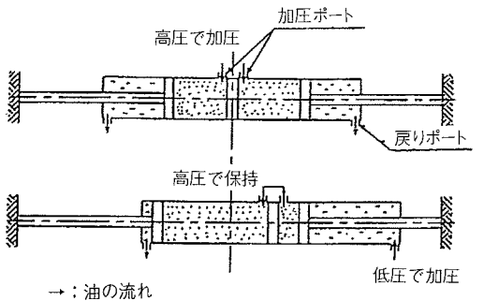


図-6　グリッパジャッキ作動概念図

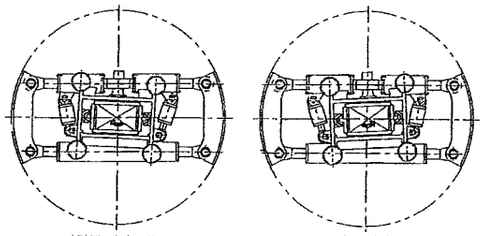


図-7　ローリングの修正

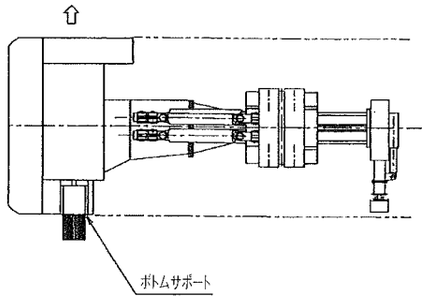


図-8　ボトムサポート，フロントルーフサポート

5)　ボトムサポート，フロントルーフサポートの採用

上下方向の方向修正方法は基本的にトルクジャッキによるメインビームの上下移動により行うが，全胴部全体質量を指示するボトムサポートを装備し，マシンが下向傾向にある場合ボトムサポートを使用して上向きへ方向修正を補助する．また，反対にマシンが上向傾向にある場合はフロントルーフサポートを坑壁に押しつけ下向きへの方向修正を補助する(図-8)．

6)　フロントサイドサポート

フロントサイドサポートにウェッジ機構を採用した．左右の方向修正方法は，基本的にメイングリッパジャッキによるメインビームの左右移動により行うが，大きな接触面積で地山を崩落させることなく，一定力で坑壁へ押しつけることができるフロントサイドサポートを装備し，マシンの左右方向の方向修正するのを補助する(図-9)．

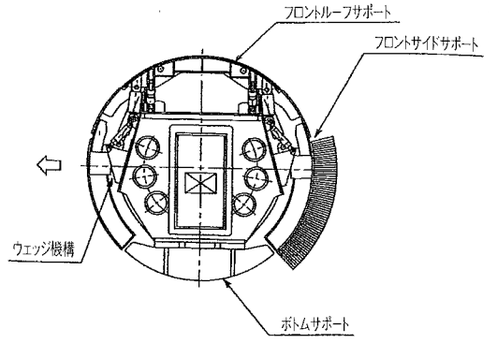


図-9　フロントサイドサポート

表-2　各サポートのストローク

	拡張	縮小
フロントルーフサポート	80mm	80mm
フロントサイドサポート	80mm	80mm
ボトムサポート	60mm	

各サポートのストロークを表-2に示す．

高速掘進を特徴の一つとするTBM掘削では，合理的で高効率な管理のもとで，よりタイムリーで精度の高い測量管理にもとづく掘進精度が要求される．

2-4　掘削精度管理

TBM掘進時の掘削精度を確保するためには，TBMを常に制御し，計画された線形を保つようにしなければならない．

また，客観的な地山評価を行うためにも図-10のシステムを導入し掘削管理を行うこととする．

これらの掘削管理を行うために自動測量システムを導入した．

この自動測量システムは，①ジャイロコンパス方式，②レーザービーム装置，③自動測量方式のなかから，比較選定した(表-3)．

今回，採用したシステムの概要図を図-11に示す．

掘削中のTBM本体の位置を自動的に計測し，現場事務所の掘削管理システムPCに以下の情報を提供する．

TBM位置座標(先端，中心，後部の各X，Y，Z座標)
計画路線からの偏差量(先端，中心，後部の水平，垂直位置誤差)

(計算根拠)

・平面座標
　自動追尾トータルステーションにより，TBM本体に取り付けたプリズム位置を計測する．

・鉛直座標
　自動追尾トータルステーションにより，プリズムの垂直座標(仰角による)を計測する．

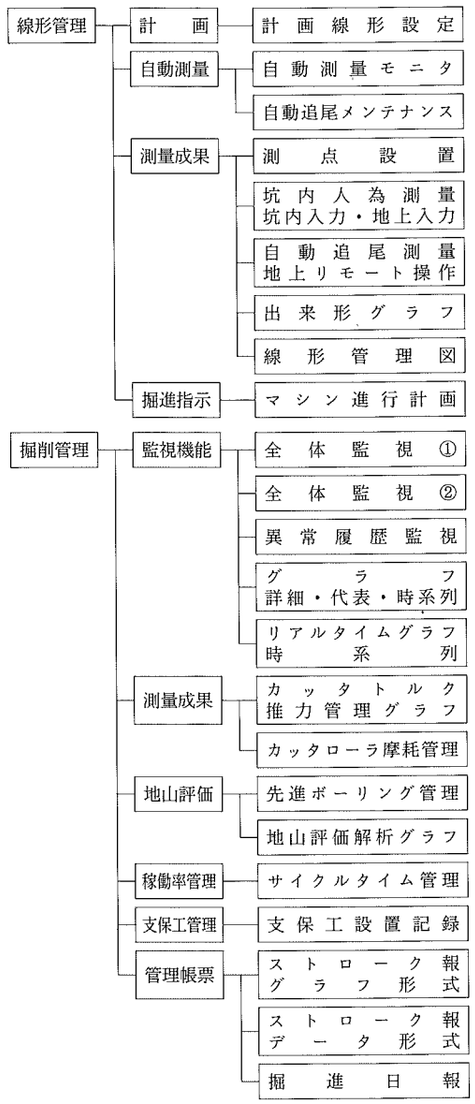


図-10　掘進精度管理

・補正

TBM本体に取り付けられたピッチング計，ローリング計により測量結果を補正し，TBMの真の位置を算出する．

また，掘削中の現在TBM本体位置より1ストローク

表-3　掘進管理システム比較表

項目	ジャイロコンパス方式	レーザービーム方式	自動測量方式
主な使用機械	・ジャイロコンパス ・水レベル計	・レーザーセオドライト ・受光板	・トータルステーション ・視準プリズム
長所	・ジャイロコンパスにより常にマシンの方向を把握できる． ・盛替え作業などが軽微である．	・掘削の軌跡に関係なく，TBMの位置，方向が把握できる． ・レーザーを目視で確認できる．	・掘削の軌跡に関係なく，TBMの位置，方向が把握できる． ・掘削中もマシンの位置および向きを座標として管理できる．
短所	・TBMの位置は掘削の軌跡の誤差が累計される． ・ジャイロコンパスの振動対策が必要． ・グリッパのズレは考慮されない． ・TBMの位置は掘削方向が違う場合の誤差が大きい．	・システム上の制約が多く，誤差の拡大が懸念される． ・精度を確保するためには高価なシステムとなる． ・坑内でレーザーの到達距離，受光板の感度が問題となる． ・レーザーセオドライトの盛替え作業が必要．	・視準プリズムが動かない管理が必要 ・トータルステーションの盛替え作業が必要
精度確保	×	△	○
省力化	○	△	○
経済性	○	△	○
総合	×	△	◎

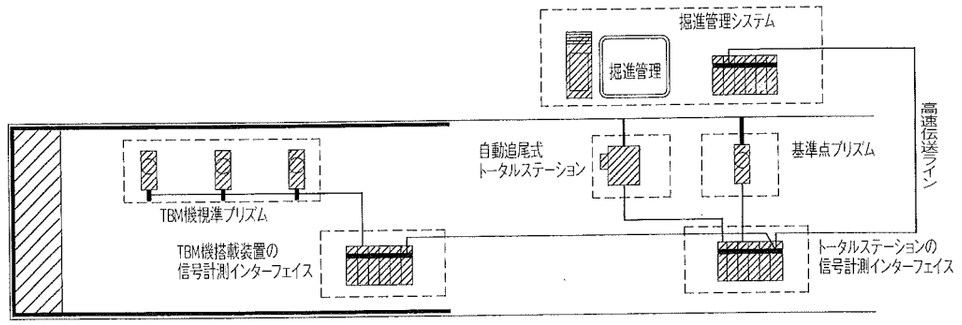


図-11　自動システム概要図

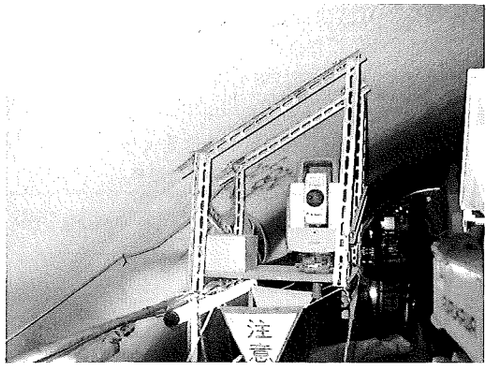


写真-2　トータルステーション設置状況

押し切りでの目標値を演算し，オペレータ運転席のディスプレーに以下の情報を提供する．

(目標値)

- １ストローク終了時点での目標方位角度
- 掘削中の目標方位角度と現在方位角度との偏差
- １ストローク終了時点での目標レベル
- 掘削中の目標レベルと現在レベルとの偏差

本工事はTBM掘削ということから急速施工も重要であるが，全断面鉄道トンネルの施工ということで掘削精度が非常に重要になる．そのため，測量に使用する視準プリズムは赤外線の通るスペースを当初計画段階より確保し，赤外線が作業中さえぎられて視準プリズムが捕らえられなくなるということを防いだ．視準プリズムはマシンに３個設置し，そのうちの２個を測量することでマシンの位置を測量した．

TBM掘削の測量管理には自動追尾型のトータルステーションを使用し，マシンのピッチング，ローリング，ヨーイング，水平偏差，垂直偏差をリアルタイムに測量しTBM運転席で掘削機の位置が把握できようにし，掘進精度の確保に役立てた．同時に片番１回の手測量も同時に行い測量確認を行った．トータルステーションの設置状況を写真-2に示す．

2-5　おわりに

本トンネルの掘削計画での蛇行許容量は水平，垂直ともに±70㎜とし，20㎜を超えた時点で方向修正のジャッキ操作を行うこととし，多種の情報をもとに正確な掘削を行うことができている．

今回はTBMの方向・姿勢制御と自動測量システムについて述べたが，これらの掘削管理は地山観察と施工データの収集，地山性状から掘進までにいたるまでのTBMの機械データを集積し，適正な機械性能を発揮させ施工している．

（文責：小野啓二・清水建設(株)）

参　考　文　献

1) TBMハンドブック．
2) 藤井 攻・茅野 浩一・和田 利彦・小野 啓二：TBM掘削による全断面鉄道トンネルの施工とその機械設備　第10回　建設ロボットシンポジウム．

3.　TBM施工事例：自動方向制御ステム（津久井導水路新設工事）

3-1　工事概要

当工事は相模川水系宮ケ瀬ダムから放流された水をダム下流700m地点から延長約５km，内径4.6m(掘削径5.4m)，1000分の１勾配で道志川へ自然流下させる水路トンネルをTBMで施工したものである．以下に工事概要を示す．

工 事 名：津久井導水路新設工事
工事場所：神奈川県愛甲郡愛川町
工　　期：平成５年２月～平成８年３月
発 注 者：旧建設省関東地方建設局宮ケ瀬ダム工事事務所
施 工 者：熊谷・五洋・大日本JV
トンネル延長：5,159.9m(TBM区間：4,690m)
勾　　配：1/1,000(下り)
平面線形：曲線１か所(R＝300m)
地　　質：火山礫凝灰岩，凝灰角礫岩，砂岩，礫岩，頁岩

TBMは高速掘進という期待のほかに，作業の安全性，合理性が評価されているが，その一方で掘削作業は振動・粉塵・湧水を伴う狭小な作業空間での苦渋作業であること，高度な線形管理を行ううえでTBMの運転操作はオペレータの熟練度に依存しており，その熟練オペレータの養成には多大の時間を要することなどが大きな問題点としてあげられている．ここでは，上記工事にわが国で初めて採用したラチス式スラストジャッキ方式の全地質型TBMの自動方向制御システム(以下，本システムという)の開発概要と，同工事でのシステム適用結果について述べたものである．

本システムは，TBMに取り付けたセンサ類の出力から現在の位置および姿勢を把握し，TBMの挙動解析を経て構築した自動方向制御アルゴリズムに従い最適な制御量を決定し，スラストジャッキを自動で運転操作するものである．

3-2　ラチス式スラストジャッキTBMの概要

写真-3にTBM本体，図-12にTBM本体構造，表-4にTBM諸元を示す．

本システムを適用したTBM(TG540コマツ製)は，前胴部と後胴部からなり，前胴部には，カッタ，フロントサイドジャッキ，後胴部には，メイングリッパ，シールドジャッキなどが設置され，前胴部と後胴部の間にはスラストジャッキが配置されている．また本機は，不良地山掘削対応としてシールド構造となっている．フロントサイドジャッキは，後胴部を引き込む際や掘削中に前胴部の姿勢保持のために補助的に使用し，メイングリッパは，トンネル壁面に後胴部を固定して前胴部の推進反力を受ける．シールドジャッキは，掘削直後に設置されるインバートセグメントから反力をとって軟弱層でのグリッパの反力不足を補助する．

図-13に示すように本機のスラストジャッキは，機体外殻に沿ってハの字状に傾斜配置した"ラチス式配置"を採用しており，TBMの推進機能，方向制御機能，および掘削中のカッタの回転によって生じるトルク反力を受ける機能を合せ持っている．ラチス方式スライドジャッキは以下に示す特徴を持ち，方向制御に対しても有利に働く要素であると考えられる．

① ラチス方式は，油圧剛性が高く前胴部と後胴部間の機械的なガタが少ない．また，各ジャッキ圧から，TBMに作用する荷重の大きさ・方向の推定が可能となる．
② メイングリッパ支持力の範囲内で前胴部を支持でき，ストローク制御により全方位への方向制御が可能である．
③ 前胴部からのトルク反力は，特別な設備なしでジャッキ能力まで受けることができ，スラストジャッキがローリング防止機能を持ち前胴部姿勢を安定な状態に保つ．
④ ジャッキを機体外殻に沿って配置しているため従来のメインビーム方式に比較して機内空間を広く確保できる．

図-14に，本TBMの掘進動作フローを示す．

表-4　TBM諸元

掘削径	φ5,400㎜
機長	9,300㎜
重量	本体240t，後方台車110t
総出力	約1,400kW
ディスクカッタ	φ17インチ(432㎜)×37個
カッタ回転数，トルク	6.3rpm，139tm
スラストジャッキ	155tf×1,600st×６組(12本)
グリッパ	左右各1,000tf（張出量各200㎜）
フロントサイドジャッキ	100tf×135st×４本
シールドジャッキ	150tf×1,150st×２本



写真-3　TBM本体

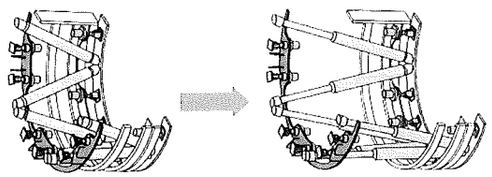


図-13　ラチス式スラストジャッキ

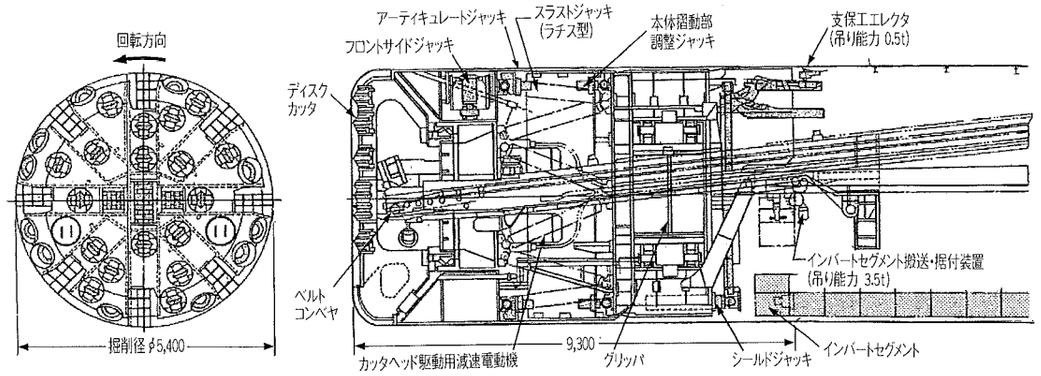


図-12　TBM本体構造

TG540の掘進動作は，

① 後胴部固定

② 掘削(ステアリング操作・全押し操作)

③ 前胴部固定(フロントサイドジャッキ張り出し)

④ 盛替え(後胴部引き込み)

をくり返して行う．

掘進中のスラストジャッキの運転操作は"ステアリング操作"と"全押し操作"という2種の操作モードからなり，これを適宜切り替える．すなわち，"ステアリング操作"では12本のスラストジャッキを個別に伸ばし前胴部の方向修正を行い，方向制御を行う場合はTBMを向けたい方向の反対側にある複数のジャッキに別の回路から一時的に給油してストローク差をつける．"全押し操作"では全ジャッキを同時に伸ばすことで掘進を行う．すなわちスラストジャッキには独立した給油システムとなっており，すべてのジャッキが同じ速度で伸びるため推力とトルク反力を同時に与えながら掘進する．後胴部に対して前胴部に所定の角度をつけた後に，独立ポンプから再び全ジャッキに等量の油を送り，前胴の角度を維持したままで，しかも全ジャッキに推力をかけて掘進できる．

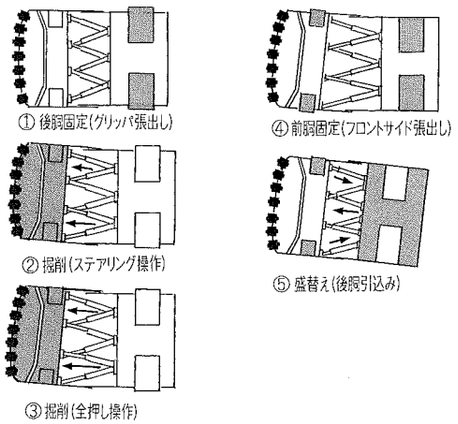


図-14　掘進動作

3-3　自動方向制御システム

本システムは，機体に設置した各センサ類からの出力をリアルタイムに自動方向制御用コンピュータに取り込み，現在のTBMの位置・姿勢を求め(自動計測システム)，TBMがトンネル計画線に沿って掘進すべく，掘削目標線の設定およびスラストジャッキの制御量を算出し，その値をシーケンサに送信してスラストジャッキを自動で操作する(方向制御システム)．

(1)　システムの構成

システム構成の概要を図-15に示す．

本システムの構成機器は，切羽後方のレーザ発信器，前胴部のレーザ受光ターゲット，ジャイロコンパス，レベル計，傾斜計，後胴部の傾斜計，前胴部と後胴部の間にあるスラストジャッキの伸び量を計測するストローク計などがある．また，これらの機器以外に各ジャッキにはストローク計，圧力計などを設置しており，それぞれから得られるデータは，自動方向制御アルゴリズムの構築のための解析および，掘進中の後胴部のすべり検出など，TBMの異常時の監視に利用される．

(2)　制御方法

本システムでの制御方法は，事前のマニュアル操作で操作特性とTBM挙動の特徴をデータでつかんで以下のような方向制御を行うこととした．

① TBMが現在位置から進むべき目標線を定めて，掘進中は目標線上に前胴部が位置するように制御する．

② 図-16に示すように，目標線に幅(目標線範囲)を設けて，前胴部の位置がこの範囲を超えたらステアリング操作を行い，前胴部の位置を目標線上に修正する．

③ 目標線方向に対する前胴部の姿勢に制限範囲を設定し，その範囲内で方向制御を行う．

写真-4に掘進管理モニタを示す．

また，実際の自動方向制御システムのフローを図-17に示し，以下，本フローの主要部について説明する．

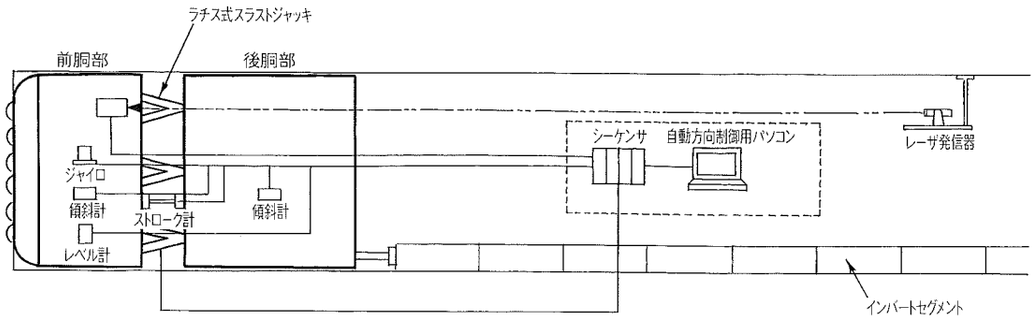


図-15　システムの構成

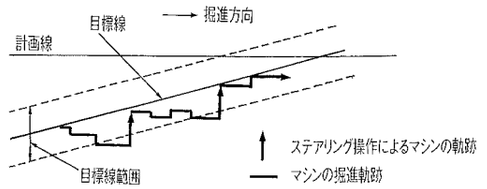


図-16　方向制御の考え方

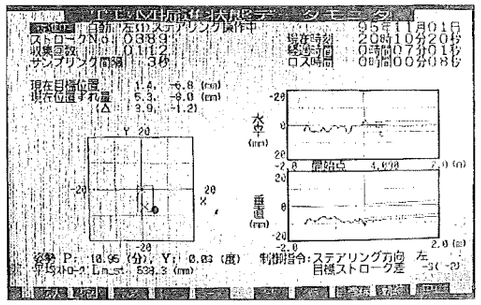


写真-4　掘進管理モニタ

1)　エラーチェック

自動方向制御中にTBMの進行状況をチェックして，継続操作に問題があると判断した場合，『エラー』としてモニタ画面上に表示するとともに操作盤から警報で，オペレータに認識させる．

2)　目標線および目標位置ずれ量算出

目標線は，1ストロークの掘進開始時に設定し，1ストローク開始時の目標位置・最終的な目標位置および目標すりつけ距離により算出する(図-18参照)．目標線の算出を，1ストロークごとに行うことでTBMの位置が目標位置に近づくとともに，目標線はトンネル計画線の方向に徐々に近づいて行く．また，前述したように後胴部の姿勢は前胴部の姿勢に倣うため全押し操作時の掘進方向も同様にトンネル計画線方向に近づくため，徐々にステアリング操作頻度も減少していく．

3)　制御量の算出

前胴部の位置が目標線範囲を超えた場合に制御量を算出する．すなわち，水平・垂直方向の目標位置ずれ量と制御優先方向への連続操作回数からステアリング操作方法を決定する．制御優先方向は方向制御を行う際にとくに重要視する方向であり，水平・垂直のどちらかの方向となる．例えば，優先方向を垂直方向として，水平方向の目標位置ずれ量が垂直方向より大きいとした場合，優先方向である垂直方向をステアリング操作方向とするが，垂直方向を直前に連続して3回以上操作しているならば水平方向のステアリング操作を行うなどの制御を行う．ここで出力される制御量はステアリング自動操作によって達成されるべき水平あるいは垂直方向のストローク差となる．その制御量は，基本的にあらかじめ統計処理にて求めた『ステアリング操作よって生じた「ストローク差」と「位置修正量」の関係」と，『目標位置ずれ量』から求める．さらに，現在の前胴部の姿勢も考慮して実際に出力される制御量(ストローク差)を決定している．

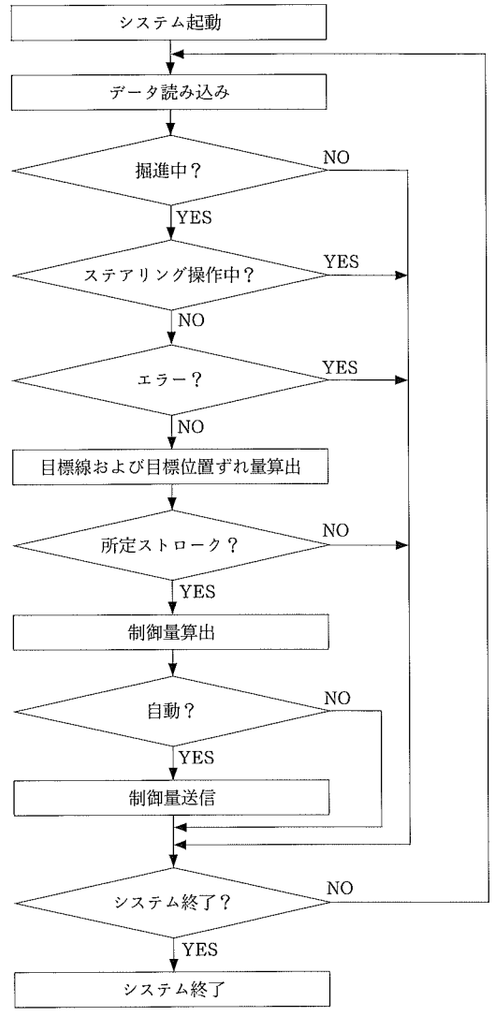


図-17　方向制御フロー

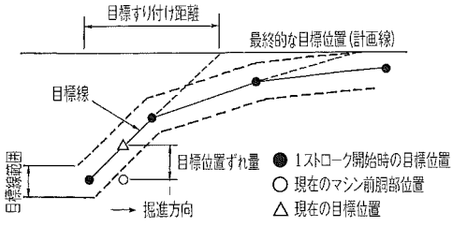


図-18　目標線および目標位置ずれ量

表-5 位置・姿勢制御結果

	位置制御精度	姿勢制御精度
垂 直	−10〜15mm	−15〜15分
水 平	−15〜15mm	−0.3〜0.2度

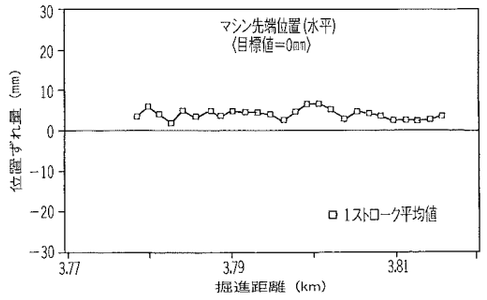


図-19 位置制御結果

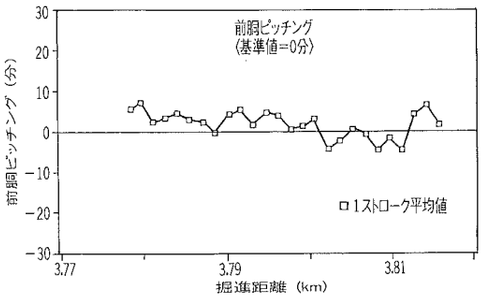


図-20 姿勢制御

3-4 適用結果

本システムを適用した結果，表-5，図-19，20に示すように制御精度として位置・姿勢ともに良好な結果が得られた．

また，TBMの総運転時間に対する自動運転時間は約80%であった．この背景として，TBMの挙動解析を入念に実施しそれをソフト面に反映させることができたこと，システムの導入に際しても坑内での振動対策，粉塵対策など，システムの稼働環境の調整を十分に施したことが大きなポイントとなったと考えられる．

本システムによる自動運転状況とオペレータによる手動運転状況の比較については，方向制御のためのステアリング操作を行うと掘進速度は下がるため不必要なステアリング操作を行うと全体の掘削時間が長くなってしまう．ステアリング操作頻度に関して，自動の方が若干多い傾向があったが，総掘削時間に関しては同等の結果が得られた．これは，自動の方がステアリング操作を細かく短時間で行っているためでありステアリング操作延べ時間としては同等であったことによる．

3-5 まとめ

本システムはラチス式スラストジャッキによる6自由度でかつ大出力の方向制御が可能な大型のパラレルリンクのTBMとして，その自動化機能をうまく活かした例である．多自由度の自動化アームはその精度の維持が難しいが，パラレルリンク機構の特徴とTBMの特性を組み合わせて活かしている．しかし現場導入にあたっては，過酷な現場環境に耐えうるシステム・設備が不可欠であるが，本システムは，かなりそれに沿ったものとなった．長期にわたる試行期間(1年，L=3,000m)があり，種々の対策を講じ，多くの掘進データを得て，解析できたことによる成果は大きい．

参 考 文 献

1) 植松澄夫・高見沢滋・ほか：TBM自動方向制御システムの開発―宮ケ瀬ダム津久井導水路工事―，建設の機械化，(社)日本建設機械化協会，96.4.
2) 石山政夫・高見沢滋：TBM自動方向制御システムの開発・実用化―津久井導水路新設工事―，(株)熊谷施工技術報告「槌音」NO.5，97.4.

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析　　工博　鈴木　光著

A 5判　箱入　244ページ　本体価格4,200円　(〒380円)

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

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

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

連載講座

多様化するシールド掘進技術(13)

ロングジャッキ式同時施工シールド工法，ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法

白井伸一*　日比谷穣**
永森邦博***　小倉剛****

ロングジャッキ式同時施工シールド工法

1. 工 法 概 要

ロングジャッキ式同時施工シールド工法(以下，本工法)は，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急速施工工法である．

2. 開 発 の 経 緯

本工法は，平成元年より国土交通省関東地方整備局の委託を受けて(財)先端建設技術センターで検討・開発されてきた「長距離・急速施工シールド技術」に始まる．「長距離・急速施工シールド技術」とは，立坑間掘削距離を延ばし，立坑数減少によるトータルコスト削減を目指し，掘削とセグメント組立を同時に行い長距離シールドトンネルの高速化施工を実現させる技術であるとともに後方設備の省力化，自動化，ならびに安全管理にも配慮した高度なトータルシステム(図-1)として構成されている．このときの性能目標は，連続掘進延長5km，施工速度20m/日であった．適用工事は，霞ケ浦導水事業石岡トンネル(その1)工事(シールド径：φ5,810mm，シールド全長：10,195mm，掘進延長：2.4km)で平成10年3月から10月にかけて同時施工対応型シールド(図-2)で本掘進を施工した．施工結果は，平均日進量20mを確保し，22日稼働で最大月進量469mを記録して大幅な工期短縮に貢献した．また，本工法は，「セグメント組立同時掘進対応型急速施工シールド工法の開発・実用化」

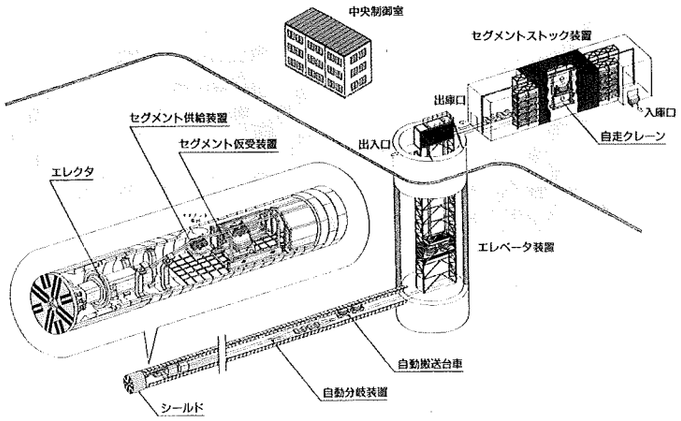


図-1 急速施工シールドシステム全体図

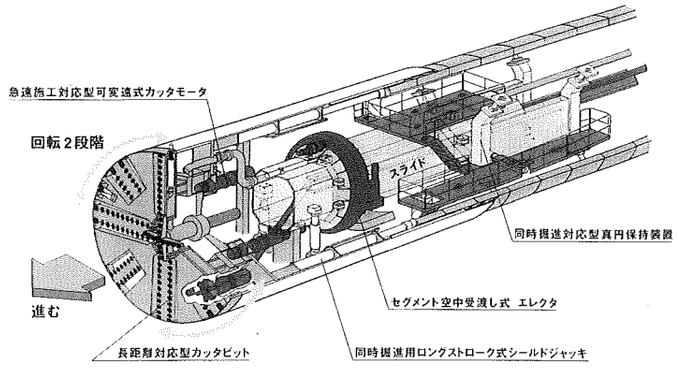


図-2 石岡トンネル用同時施工シールド(φ5.81m泥水式シールド)

＊東京電力(株)東扇島火力発電所導管総括技術管理グループマネージャー
＊＊大成・清水・間共同企業体東電東京湾シールド作業所所長
＊＊＊鹿島建設(株)機械部技術3グループ部長
＊＊＊＊鹿島建設(株)機械部技術3グループ課長代理

で平成10年度土木学会技術開発賞を受賞している．

3. 工 法 の 特 徴

3-1 シールドの特徴

3-1-1 ロングジャッキ式による同時施工法

同時施工法とは，掘進とセグメント組立を同時に実施するもので施工サイクルの短縮を目指したものである．

機構的には，掘進しながらセグメントを組むため，シールドのテール部は単胴で2リング分組み立てられるスペースを有している．ここで，技術的に課題となるのが，以下の2点である．

① 同時掘進対応型シールド自動姿勢制御

② 同時掘進対応型エレクタ

3-1-2 同時掘進対応型シールド自動姿勢制御

セグメントを組み立てる位置のシールドジャッキを抜きながら掘進するため，このとき発生するアンバランスモーメントをブロックに分けたシールドジャッキの圧力制御によりキャンセルし，シールドの姿勢を安定させようというものである．

図-3に示すように，シールドジャッキの圧力ブロックを「負荷圧ジャッキ」，「左制御圧ジャッキ」，「右制御圧ジャッキ」の3ブロックに分けて，各圧力をリアルタイムに制御し，シールドの姿勢を安定させる．この3ブロック制御機能により，シールドに作用するモーメント制御範囲を拡大することが可能となり，より広範囲での姿勢制御を行うことができる．

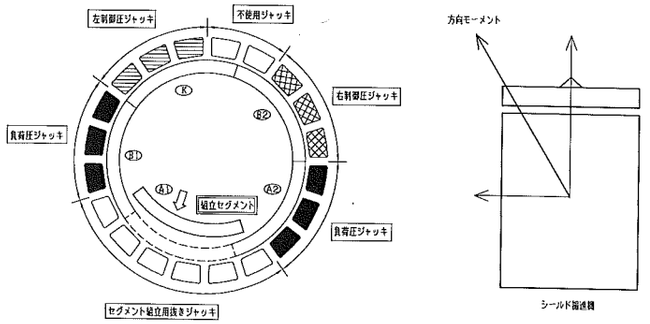
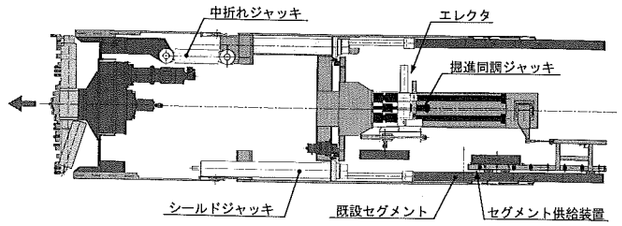
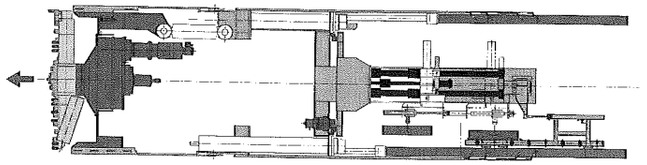


図-3 モーメント制御図

①シールド掘進機が掘進を開始．
シールドジャッキをセグメントに押しあてて掘進する．



②掘進とセグメント組立の同時作業中
セグメント供給装置にてエレクタへセグメントを供給する．
エレクタを掘進速度と同調させて，セグメント組立位置を固定する．



③1リング分の掘進終了し，エレクタを盛替える．

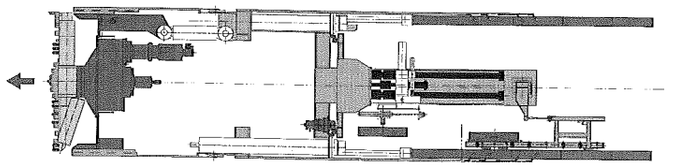


図-4 施工手順

中口径シールドでは同時施工時に組立位置のシールドジャッキで抜く本数の割合が小さいため，与えられるモーメントに余裕があり，姿勢を真直ぐするだけでなく計画線に沿った方向に位置計測のデータから方向修正モーメントをさらに与え，自動方向制御まで可能である．

また，小口径シールドでは装備可能なジャッキ本数が制限されることから，同時施工時に組立位置のシールドジャッキを抜く本数の割合が大きくなる．このため，前述した3ブロックの圧力制御を使用した場合でも，線形を確保するのに必要な上下・左右方向へのモーメントを作用させる余裕がないため，シールドの方向制御は中折れ角度の操作により行う．

3-1-3 同時掘進対応型エレクタ

本工法では，テール内で既設セグメントに対してシールドが前方に移動しながら新設セグメントを組み立てるためエレクタに工夫が必要となる．

石岡トンネルでは，エレクタはセグメント側に8本の保持装置で支持した．これにより前進するシールドとは分離して既設セグメント側に固定してセグメントを組み立てた．施工結果では，前述の自動姿勢制御によりシールドの挙動はほとんどなく，安定した姿勢を保つことができ，セグメント組立も安全に実施できた．

3-2 施工手順

エレクタがシールド本体側に支持されているシステムでの施工手順(図-4)を以下に示す．

このエレクタは，前述のセグメント側に支持された機構ではなく，本体側に支持されたものである。

(1) シールドが掘進開始と同時に，セグメント組立を開始する．

(2) セグメント供給装置にてエレクタにセグメントを供給する．エレクタは掘進速度と同調させて既設セグメントの切羽側で位置を保持させ，セグメントを組み立てる．

(3) 1リング分掘進終了し，エレクタを切羽側に盛りかえる．

4. 工 法 の 適 用

4-1 シールド形式

密閉型(泥水式・土圧式)シールドに適用する．なお，急速施工を実施する場合は，資材供給や掘削土砂排出を含む全体システムとして十分検討し，切羽での待ち時間が生じないサイクルタイムを検討する必要がある．

4-2 シールド外径

セグメント分割数によっても変わるが，同時施工対応姿勢制御を実施するため，シールド外径の最小は約φ3.5mである．なお，最大径の制限はとくにない．

4-3 土 質

泥水式および土圧式シールド工法に適用可能な土質は，ほぼ適用可能である．

4-4 セグメント

セグメントの材質や形状についてはとくに制限はないが，高速掘進を考慮するとボルトレスセグメントが有利である．また，セグメント組立時に抜くシールドジャッキ本数を均等にすることでモーメント制御を効率的にするために，同時施工対応姿勢制御を実施するには，分割は等分割が望ましい．

5. 最 新 の 施 工 例

最新の施工例を以下に述べる．

5-1 工事概要

工　事　名：東西連係ガス導管新設工事(東扇島)のうち土木工事(第二工区)

工事場所：川崎市川崎区扇島(発進立坑)

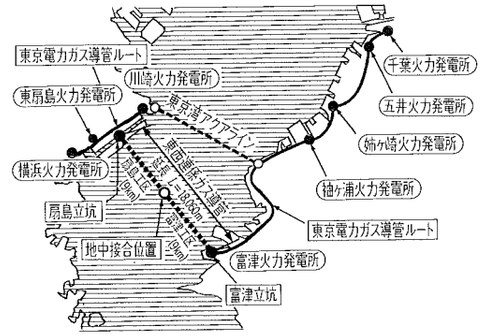


図-5 東西連系ルート図

発　注　者：東京電力(株)
施　工　者：大成・清水・間共同企業体
工　　期：平成15年4月1日～平成18年4月28日
工　　法：泥水式シールド工法
トンネル延長：9,030m
シールド外径：φ3,590㎜
セグメント：RCセグメント
　外径　φ3,440㎜
　内径　φ3,000㎜
　幅　1,200㎜
　ピース間継ぎ手：コーンコネクター
　リング間継ぎ手：クイックジョイント
土かぶり：最大43m(海底下63.9m)
縦断勾配：3.0%
平面線形：直線(全線)

本工事は，東京電力(株)が東京湾内に位置する火力発電所へのLNG（液化天然ガス）供給を弾力的に行うために，京浜側と京葉側のLNG基地を連結する全長20km(東京湾横断部18km)のLNG専用パイプラインを建設するものである(図-5)．

トンネルは，京浜側と京葉側に発進立坑を築造した後，各々9kmのシールドトンネルを掘削し，東京湾中央部で機械式地中接合を行う．

当工区は，京浜側(扇島工区)の9,030m区間のシールドトンネル工事である．

施工延長9,030mを平均月進542mで施工する必要があるため，急速施工が可能な本工法を採用した．

5-2 シールド概要

5-2-1 シールドの主要スペックを表-1に，シールドの概要図を図-6に，シールドを写真-1に示す．

また，セグメントは同時掘進時の抜きジャッキ本数を均等にするために等5分割としている．また，セグメント幅は1,200㎜とし，トンネル坑内の離合部で運搬可能な最大寸法としている．セグメント組立図を図-7に示す．

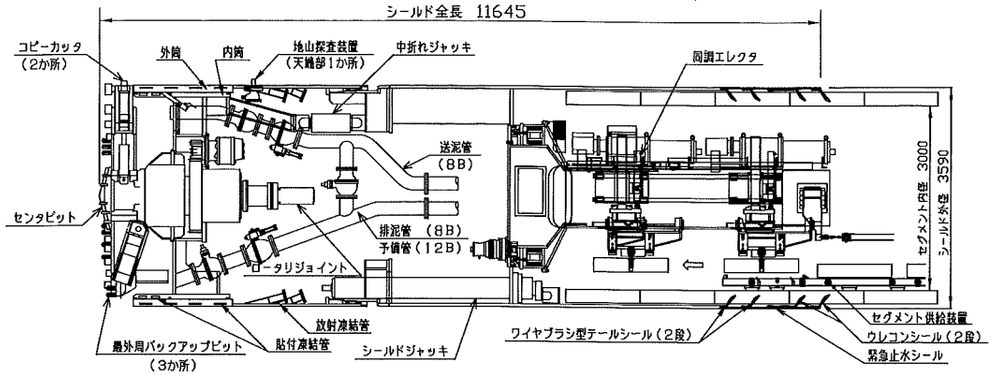


図-6　シールド全体図

表-1　シールド主要スペック

シールド型式	泥水式シールド
シールド外径	φ3,590㎜
シールド全長	11,645㎜
総推力（単位面積あたり）	33,600kN（3,319kN/㎡）
シールドジャッキ	1,680kN×2,550㎜×20本
シールドジャッキ伸張速度	80㎜/min
カッタトルク	805kN-m（α=17.3）
カッタ回転数	1～3r.p.m（可変速）

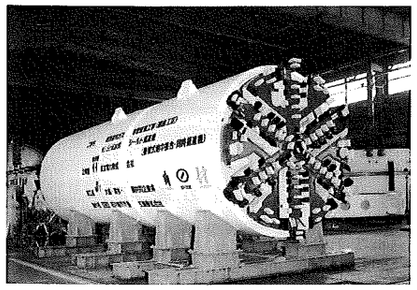


写真-1　シールド全景

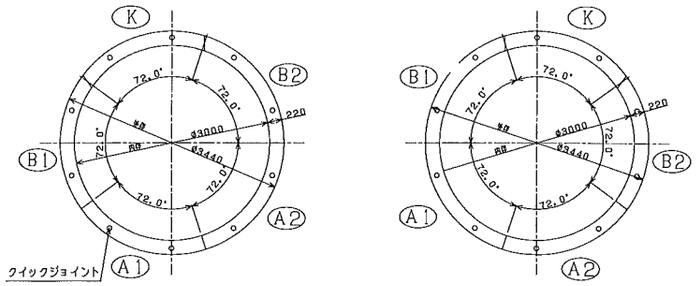


図-7　セグメント組立図

シールドジャッキは同時掘進時の所要推力を10,000kNとし姿勢制御を考慮し能力および本数を選定した．ストロークはセグメント2リング分を押し切れる長さとした．

5-2-2　セグメント組立設備

セグメント搬送は急速施工（想定最大搬送リング数：33リング/日）を考慮し，後方台車部のセグメントキャッチャー（図-8(1)部）で1リング分ストック可能とし，組み立てるセグメントをエレクタに供給する時間の短縮とスペースを考慮し，下部供給方式とし供給装置（図-8 (3)部）上に1リング分のセグメントをストック可能とした．後方台車部と供給装置間はホイスト（図-8 (2)部）を使用した．

供給装置上のセグメントは切羽側先端でエレクタにて把持可能とした．

本機ではエレクタはシールド本体より支持し，セグメント組立は手動式を採用した．

エレクタで把持したセグメントと既設セグメントの位置関係を保つために，本エレクタには把持部を含めた吊りビームが掘進に同調する機構（エレクタが単独で坑口側に移動する際，既設セグメントとエレクタの相対位置は変化しない）を設けた．

5-3　施工結果

同時施工は平成16年4月15日～6月26日の期間で，3章で述べた姿勢制御トライアル区間を含み実施した．その期間の同時施工での最高出来高は1日あたり29リング（34.8m）であった．このとき施工体制は3交代（24時間）で，掘進速度は50㎜/minで行った．

セグメント組立状況を写真-2に記載する。

図-9に，同等の掘進速度で施工した場合の同時施工と随時施工1リングあたりの施工サイクルを示す．

随時施工と比較して同時施工のサイクルは16分の短縮

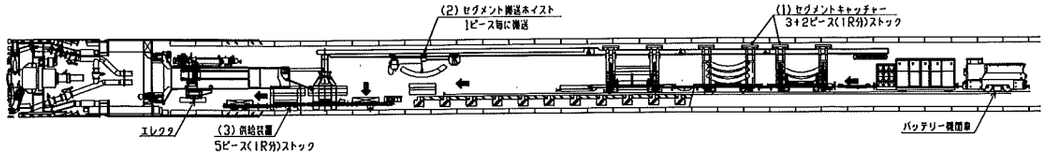


図-8　セグメント搬送図

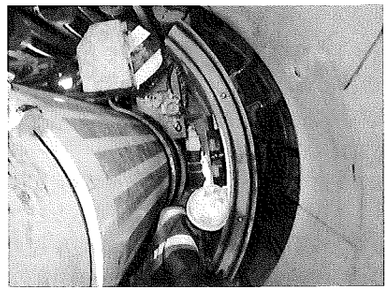


写真-2　セグメント組立状況

	作業内容	10	20	30	40		合計時間
同時掘削	掘進			24			28分
	組み立て	A1 12					
		A2 16					
		B1 20					
		B2 24					
		K 28					
随時掘進	掘進			24			44分
	組み立て					44	

図-9　施工サイクル比較図（実施例）

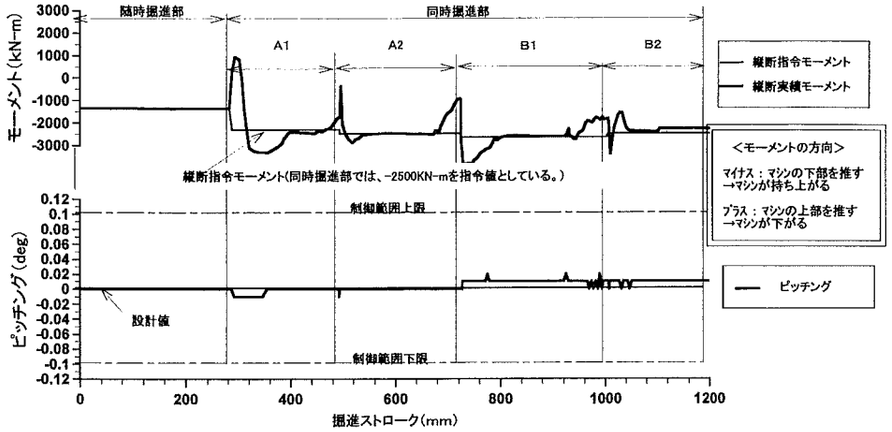


図-10　縦断方向モーメント実施例

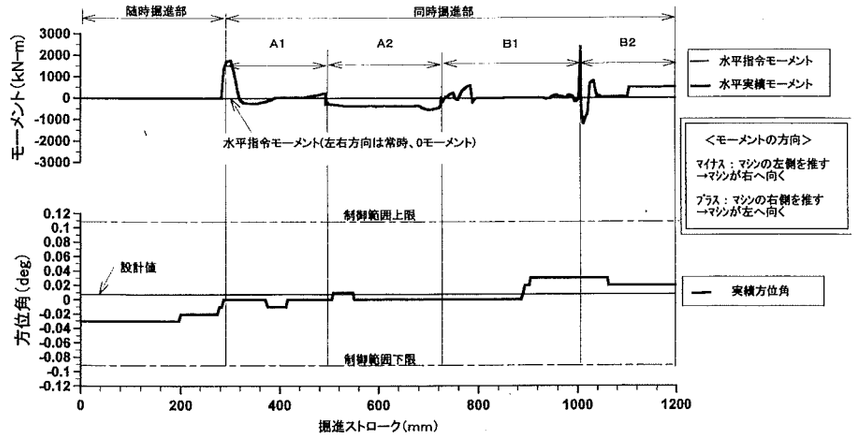


図-11　水平方向モーメント実施例

となった．同時施工で，Kセグメントの組み立てを掘進終了後に開始しているのは，Kセグメントを軸挿入する際の組み立て精度に配慮したためである．

図-10，11に同時掘進時任意のリングにおける，指令モーメントと実績モーメントおよびシールドの挙動実績をまとめた．

同時掘進時，縦断方向に上向きの指令モーメントを約2,500kN･mを設定しているのは，シールドの自重によってピッチングが下がろうとするモーメント値をシールド重心位置よりあらかじめ計算し，対抗するモーメントをマシンに作用させたためである．

セグメントピース間前後で実績モーメントが振れているのは，組み終わったピースのジャッキの押し付け力と，次に組み立てるピースのジャッキを引き抜くことで発生する圧力誤差であるが，短時間で指令値付近に収束しており，ピッチング値に対しても大きな影響を与えていない．

シールドの挙動を示すシールドピッチングは，施工指示値に対し，−0.01〜＋0.02degとなる．

水平方向は，指令値0に対し，縦断方向と同様にピース更新の前後にて実績モーメントが振れているが，やはり短時間で収束し，方位角への影響は少ない．

シールドの挙動を示す方位角は，施工指示に対し，−0.03〜＋0.03degとなる．この誤差は，10mの掘進で変位量5㎜程度の角度となり，通常シールドトンネルの線形管理では安定した数値といえる．

6. おわりに

掘進工事は平成16年11月29日現在，約4,700mを終了し，計画工程どおりに進捗している．

今後も関係各位の御協力を頂き急速施工を維持して，シールド工事としては未知の領域となる9,000mの超長距離を無事到達できるよう努力していく所存である．

（文責：白井伸一/東京電力(株)・日比谷　穣/大成・清水・間共同企業体）

参考文献

1) 森北佳昭：霞ケ浦導水第一導水路の施工，土木施工，第36巻第10号，pp.65-70，1995.9.
2) 斉藤孝志：日進20mを超える急速施工シールド　石岡トンネル(その1)工事，土木施工，40巻，第2号，pp.17-24，1999.2.
3) 大塚寿次：同時掘進システム採用のシールド急速施工，平成11年度建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.174-177，1999.10.
4) 白井伸一・冨所達哉・野口和博：東京湾横断長距離海底シールドトンネルに高速施工で挑む　東西連係ガス導管新設工事の計画概要，トンネルと地下，Vol.34，No.11，pp.39-47，2003.11.
5) 佐藤東洋司・金森研二・斉藤仁・神崎正：シールドトンネルにおける掘進組立同時施工の実用化，第10回建設ロボットシンポジウム論文集，pp.415-420，2004.9.

ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法

1. 工法概要

ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法(以下，本工法)は，掘削作業とセグメント組立作業とを同時に行う工法であり，シールド工事の大幅な工期短縮とそれに伴うコスト削減に貢献するものである．

本工法で使用するシールドは，内部に内胴と二種類の専用ジャッキ(ダブルジャッキ)を装備することで，掘削作業と組立作業を同時に行うことが可能となる．ダブルジャッキ式同時掘進シールドの概念図を**図-1**に示す．

2. 開発の経緯

近年，コスト削減の社会的要請からシールド工事では，立坑の数を減少することができる長距離施工や高速施工などによる工期短縮が望まれている．　高速施工の手法としては，シールドの掘進速度の向上とセグメント組立時間の短縮による高速施工法と，掘削作業とセグメント組立作業を同時に行う同時掘進工法とがある．　高速施工法は，シールドの速度性能向上と単位時間あたりの掘削量の増大に対応するための設備の増強が必要となり，シールド製作費，附帯設備費ともにコストが増加する傾向がある．

一方，同時掘進工法は，特殊な機構を有するためにシールドのコストアップは余儀なくされるが，土質によっては，付帯設備が通常のシールド工法と同等の規模で済み，コストの増大幅を圧縮できる場合がある．

本工法は，このようなニーズに応えるべく開発を進め，平成14年に実機を製作し，工場での各種機能確認試験を実施した後，平成15年に現場にて実証施工を行った．

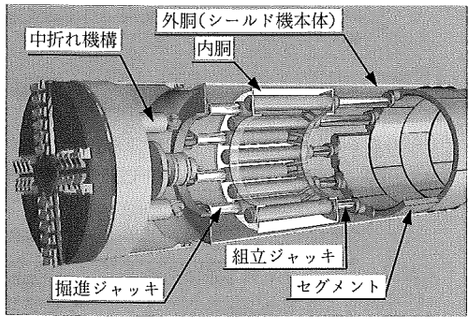


図-1　シールド概念図

3. 工法の特徴

3-1　シールドの特徴

本工法のシールドは，シールド本体(外胴)の内部に前後へスライド可能な筒状の内胴を装備している．

また，内胴から前方に伸びる掘進専用のジャッキと後方に伸びるセグメント組立専用のジャッキを装備しており，これらは同一円周上に交互に配置されている．この2種類の専用ジャッキにより掘削作業と組立作業を同時に行うことができる．

3-1-1　二重構造方式

シールドは外胴と内胴との二重構造であり，主要構造が，シールド本体内部にあるため，複雑な止水構造がなく，一般のシールドと同様に内胴部の環境を良好に保つことができる．

また，不具合発生時においても内胴部を構成する部品交換が行え，長距離施工に関しても高い信頼性を発揮することが可能である．

3-1-2　二種類の専用ジャッキを装備

本工法は，二種類の専用ジャッキを装備しているため，掘削作業とセグメント組立作業を同時に行うことにより高速施工が可能となる．

しかし，本工法は掘進反力が組立ジャッキに伝達されるため，一般的なシールドよりもセグメント組立の際のジャッキ反力は大きくなる．そのため，組立ジャッキの伸縮操作に伴い発生する偏芯モーメントを抑制して，シールドの姿勢を安定させることが，本工法を実現するうえでもっとも重要な技術的課題となる．

この課題に対し，内胴部を偏芯モーメントに対抗させる構造となっている．

また，組立ジャッキには，必要に応じた反力が自然に発生し，各ジャッキ内部には緩やかな「圧力勾配」が自動的に発生する．この圧力勾配により，余分な負荷をセグメントにかける心配がなくなり，セグメントに「やさしい」機構となっている．

掘削は，掘進ジャッキの全数を使用するので，ジャッキに供給する油圧は，全く同じ圧力で供給され，掘進ジャッキには偏芯モーメントが発生しない．

以上のことから，シールドの直進安定性が優れているため，シールドの姿勢制御は，方向修正機能として中折れを装備させることで可能となっている．

3-1-3　作業エリアが分離独立

本工法は，内胴前方の掘進ジャッキ装備部を掘進エリア，内胴後方の組立ジャッキ装備部を組立エリアとに分離独立している．

掘削中，組立ジャッキはシールド推力をセグメントに伝達しているだけで，掘削のための伸縮動作は行わない．

そのため，内胴はセグメントに対して静止しており，内胴部に支持されているエレクタを使用するため，セグメント組立作業は，一般のシールドとほぼ同様の感覚で作業ができ，高い安全性が確保できる．

また，セグメント組立は，組立ジャッキの複雑な動作パターン選択を自動化したことと，多様な内胴の盛替えパターンを網羅することで掘削時間とセグメント組立時間の変化に，柔軟に対応している．

3-2　施工手順

本工法の施工手順は，掘削時間とセグメント組立時間の組み合わせおよび内胴の盛替え時期により多様に変化する．ここでは，掘削作業とセグメント組立作業が，同時に終了する場合の基本的な施工手順概要図を**図-2**に示す．

3-2-1　初期状態

掘進ジャッキを縮め，組立ジャッキを伸ばすことで内胴をスライド範囲前端に位置させる．

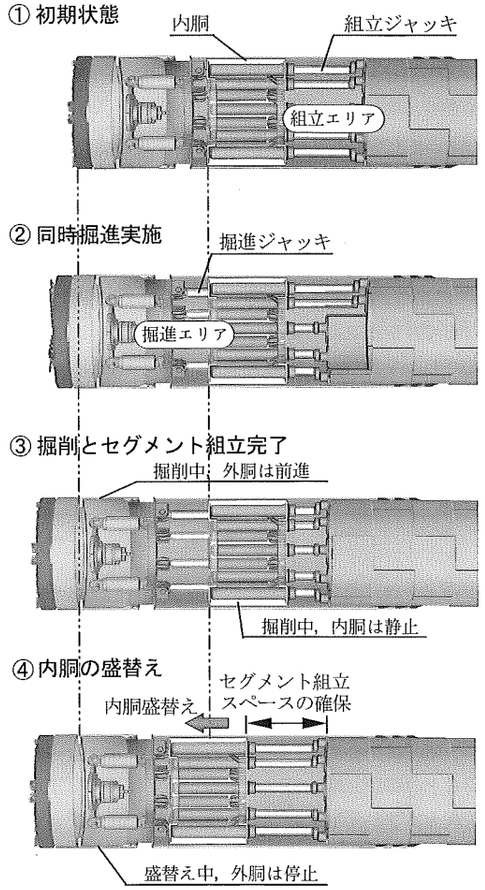


図-2　施工手順概要図

3-2-2　同時掘進の実施(掘削とセグメント組立)

掘削は，掘進ジャッキを全数使用しシールドを前に押し出し，カッタディスクを回転させ地山を切削して前進する．

セグメント組立は，組立パターンが自動選択化された組立ジャッキを伸縮させ，内胴に支持されたエレクタを使用して行う．

3-2-3　掘削とセグメント組立の完了

1リングの掘削作業とセグメント組立作業が完了する．

3-2-4　内胴盛替え

次リングセグメントの組立スペースを確保するため，掘進ジャッキを縮め，組立ジャッキを伸ばし内胴を前に盛替える．

このとき，切羽圧力低下やシールドのバッキングを防止するため，掘進ジャッキと組立ジャッキの伸縮は同期している

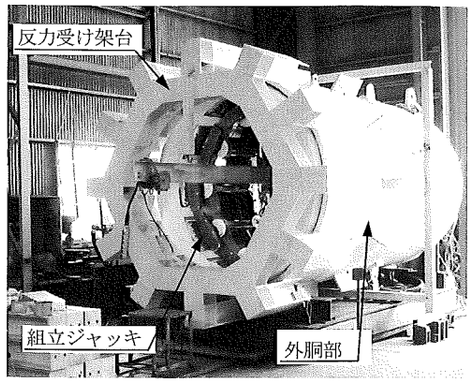


写真-1　工場試験状況図

4. 工法の適用

4-1　シールド形式

本工法は，密閉型シールドに適用可能であり，シールド外径は今回実証施工したφ2,486㎜の小口径だけではなく，中口径や大口径にも適用可能である．

4-2　施工条件

シールド価格は，一般シールド価格と比較した場合，内胴や掘進ジャッキなど特殊な機構を有するためにコストアップは余儀なくされる．しかし，本工法を実施することでリングあたりの施工時間短縮により，掘進工が短縮され工事費削減に貢献することができる．

本工法は直線区間でもっとも能力を発揮する．また，曲線施工をする場合，一般シールドと同様に中折れ機構を使用し，組立ジャッキによる掘削をすることで対応が可能となる．

5. 最新の施工例

本工法は，現場施工での信頼性をより向上させるため，工場にて次に示す各試験を行い，不具合部については改良を加え，不具合の解消を確認後，現場での実証施工を実施した．

5-1　工場試験

工場試験の目的は，内胴部の構造，セグメントへの負荷などの確認と検証のため実施した．**写真-1**に工場試験状況を示す．工場試験機の概略は，**図-3**に示すとおりであり，実証施工に使用するシールドの一部を用いた．

5-1-1　組立ジャッキ反力試験

内胴へ掘進推力を負荷させた状態にて，組立ジャッキ

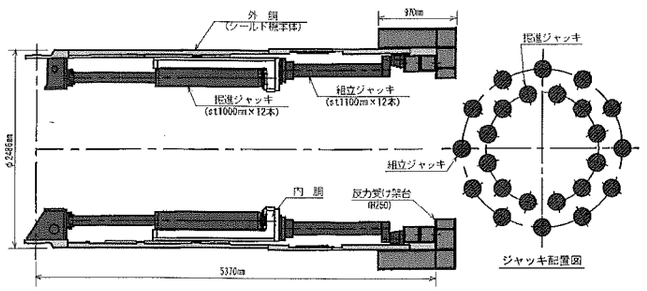


図-3　工場試験機概要図

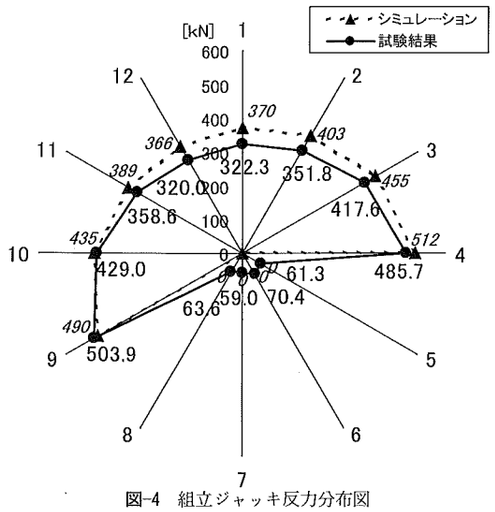


図-4　組立ジャッキ反力分布図

の伸縮作業を実施することで，想定されるセグメントへの負荷の計測を行い，事前解析結果と比較検証した．また，同時に外胴と内胴の状態も確認した．

組立ジャッキNo.5～8を縮めた際の各組立ジャッキ反力の計測結果と分布状況を**図-4**に示す．試験結果は，すべてのセグメントピース組立状態においても事前のシミュレーションとほぼ同様の結果となった．反力分布図に示

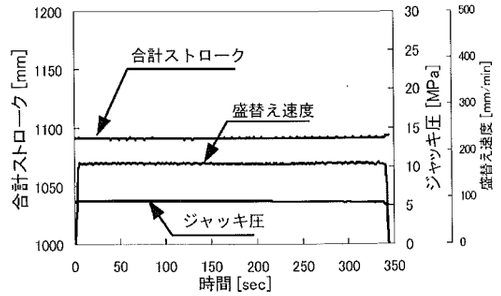


図-5　内胴盛替え試験結果

すとおり，本工法の特徴である緩やかな圧力勾配が発生し，本工法の特性を確認することができた．

5-1-2　内胴盛替え試験

切羽圧力または掘進推力を保持した状態で，シールドをバックさせることなく内胴を前方に盛替えるためには，掘進ジャッキと組立ジャッキを同期させる必要がある．

内胴盛替え試験では，切羽保持相当の推力を与えた状態で，掘進ジャッキストロークと組立ジャッキストロークの合計が一定になるよう制御可能か，確認を行った．

試験結果を**図-5**に示す．ジャッキ反力を保持し両ストロークの合計が，一定に保たれた状態で所定速度(低速モード：175㎜/min)にて内胴の盛替えが可能であることを確認した．

5-2　実証施工

本工法の実証は，下記の工事にて施工延長1,220m中の直線部約200mの区間にて行った．

工 事 名：多摩丘陵幹線第1工区
工事場所：八王子市鑓水2丁目～町田市小山町
発 注 者：東京都水道局
施 工 者：鹿島・東急建設共同企業体
工　　期：2002年6月14日～
　　2004年8月11日

工事内容：
シールド外径　φ2.486m
施 工 延 長　1,220m
セグメント外径　φ2.356m
セグメント幅・桁高
　　1.0m・100㎜
最小曲線半径　R＝100m
土 か ぶ り　10～26m

5-2-1　実証施工内容

現場では，本工法を実施する前に工場試験結果をもとに，再度，同時掘進機構の確認を行い，下記に示す本工法の施工性および安全性について実証した．

① 同時掘進実施時のシールドの方向性
② シールドの姿勢制御手法の確立
③ シールドバッキング量の把握

5-2-2　シールドの同時掘進機構の確認

同時掘進機構が正常に作動することを確認した後，セグメント組立パターンに合わせ，掘削作業中に組立ジャッキの伸縮を実施し，工場での試験結果と類似する圧力勾配を示すことを確認した．

5-2-3　シールドの方向性と姿勢制御

掘削開始から内胴の盛替え完了の間で，計測した掘進データを**図-6**の同時掘進施工管理図に示す．

掘削は，掘進速度を約40㎜/minで行い，掘削開始から11分後にセグメント組立を実施した．セグメント組立に伴う組立ジャッキの伸縮作業を行っても，シールドの方向性を示す方位，ピッチングの値に変化がなく，直進性が極めて良好なことを確認した．

また，連続的に本工法を実施した区間のシールド姿勢変化管理図を**図-7**に示す．シールドの姿勢の制御については，本工法を実施してもシールドの姿勢変化がほとんどないため，シールドに装備している上下左右の中折れ機構を使用することで制御可能であった．また，トンネル線形も施工管理基準値以内で確保できることも確認できた．

5-2-4　シールドバッキング量の把握

シールドのバッキングは，当初，セグメント組立時の組立ジャッキの伸縮や内胴盛替え時の掘進ジャッキと組立ジャッキとの同時伸縮などにより発生すると懸念されていた．しかし，今回の実証で掘削開始から内胴の盛替え完了までの1サイクルでは，バッキングがほとんど発生していないことを確認した．

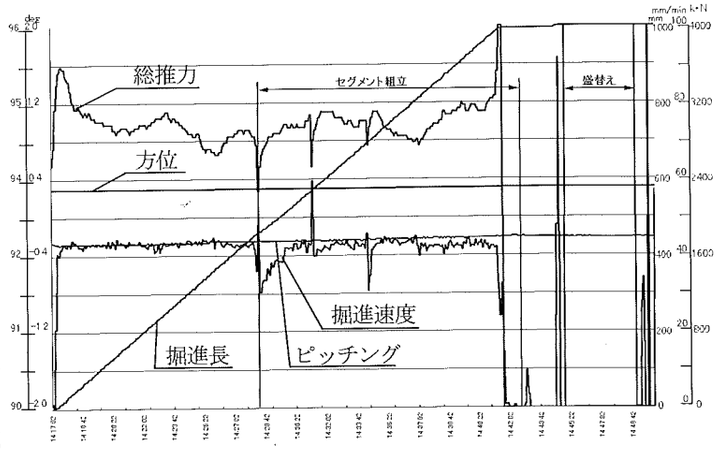


図-6　同時掘進施工管理図

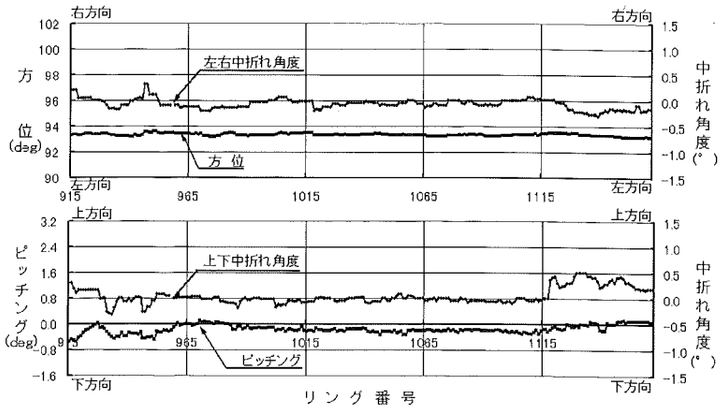


図-7　シールド姿勢変化管理図

6. おわりに

ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法は，工場試験と現場での実証施工したことにより，高い信頼性を持つシールドであることを確認することができた．

本工法は，社会のニーズである長距離施工や高速施工に向けてシールド工事全般(上・下水道，共同溝，道路，鉄道など)に広く適した工法として更なる適用が期待される．

(文責：永森邦　博・小倉　剛/鹿島建設(株))

参考文献

1) 永森邦博・ほか：ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，電力土木，No.311，pp93-95，2004.5.

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

海外文献速報

(社) 日本トンネル技術協会 研究開発委員会

ユトリベルクトンネル—チューリッヒの西部バイパスの鍵/The Uetliberg tunnnel-key to zurich's western bypass

WORLD TUNNELING, Vol.16. No.9 November 2003

ユトリベルク・トンネルは，ドイツからスイスへの交通のバイパストンネルで，チューリッヒの西部に位置する全長4.4kmのトンネルである．延長の75%はMolasseの地層である．地層の変化に応じて，CD工法とTBEを用いた．

TBE(Tunnel bore extender)の掘削方法は，直径5mのTBMのパイロットトンネルを掘削後，横径14.40m，縦径14.20mに拡径する工法である．従来のTBMに比べてTBEの利点はわずかに扁平になったトンネル断面を掘削できることである．今回使用しているTBEの形式は500/1400H型であり，設備長180m，重量は1,000tである．カッタヘッド部は6本スポークを有しており，カッタ回転数 8～10回転で20cm掘進する．装備推力は15,000kNである．カッタが回転するとスポークに配置してあるローラーカッタはトンネル軸方向に対して螺旋状に内側から外側に移動する．

TBMの進行実績は，3交代制で，1日あたり26.6m，最大日進42.6mであった．

一方，TBEの掘進は425m進んだところで，進行実績は2交替(1班9時間勤務)で最大日進12mであった．

(文責：守山 亨・佐藤工業(株))

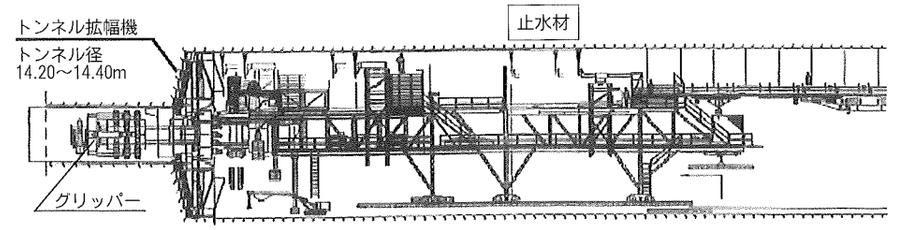


図-1　TBE概要図

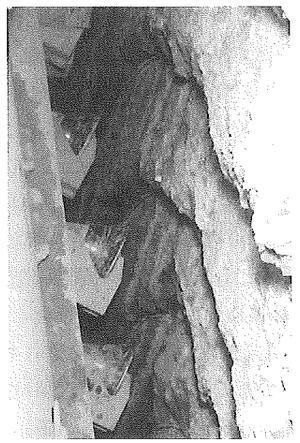


写真-1　TBE掘削面

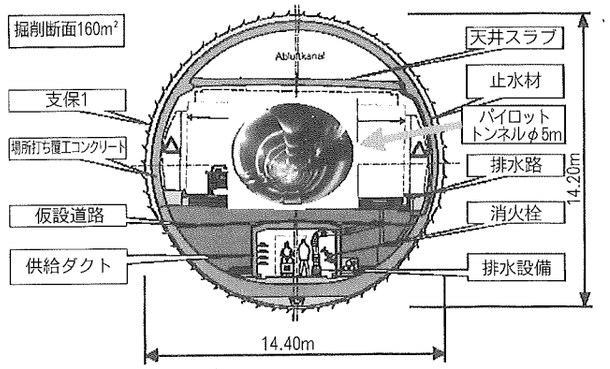


図-2　TBE標準断面

A-86 火災対策への道のり/A86-The path to fire safety

By Bill Welburn(contracts manager for Grants Projets)T & TI, NOVEMBER 2003 ; pp.42-45

2002年3月5日　フランスのパリ近郊にある建設中のA86道路トンネルで火災が発生した．本トンネルは外径10.4mでマルチモードタイプTBM(土圧/泥水/圧気モード)にて施工されていた．本プロジェクトは設計・計画時点で施工中に対する安全管理対策として火災対策も事前に講じられていた．その効果もあり，火災発生7時間後には19名のトンネル作業員は全員救出された(22：30火災発生～翌5：30全員救出)．事前対策として換気設備をトンネル上下に設置した．図-3のトンネル断面に示される車道床版はプレキャストコンクリート製で下側の床版はトンネル掘削進行を追いかける形態で順次設置して行く施工としている．同時に下側床版とインバートで囲まれた空間に下側換気設備を設置して行く工程となっている(上側換気も同様に設置進行)．施工時の火災発生パターンを検討し，その換気対策についても図-4に示すように設定していた．①TBM内で発生した火災，②TBMと車道床版の間で発生した火災，③車道床版上で発生した火災，④車道床版下で発生した火災の4パターンである．他の事前対策として自動調整型ウォーターカーテン，火災検知器

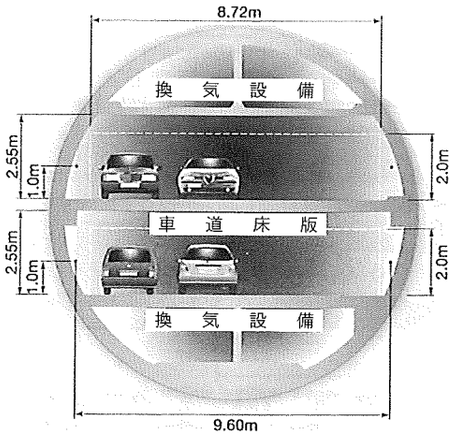


図-3　トンネル断面

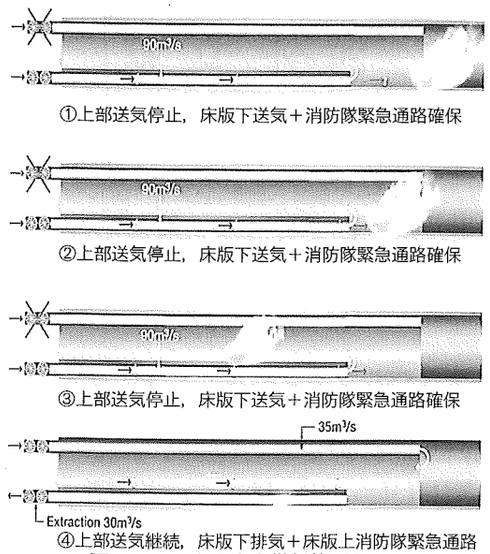


図-4　トンネル内火災対策パターン

をTBMに装備，粉式消火器を材料台車に装備，TBMおよび車道床版に救命呼吸具を配置，TBMに避難用マンロックを装備，週1回の火災安全設備の点検，定期的な防火訓練，避難経路の周知徹底，防災危機管理グループの設立などを考慮していた．

2002年3月5日　22：30に発生した火災は材料台車が最初に検知した．場所は坑内の車道床版の終端部付近である(坑口から1,400m地点，TBM後方台車最後尾から坑口側へ400m地点)．図-4火災パターン②の状況であり，台車の牽引機関車からの出火が原因である．即座に運転手が粉式消火器で対処したが火は燃え拡がり，燃料タンク，TBMのベルトコンベヤまで達して食い止めることが不可能となった．換気設備の稼働により燃えたコンベヤからの有害ガスが坑内に充満した．坑内で従事していた作業員19名は400m離れたTBM側へ退去して待避用マンロックへ避難した．消防隊が到着してスタンバイしたが坑内からの無線送信機，電話などの連絡系統が火災損傷を受けたため，作業員の居所が把握不能であった．

換気設備も坑内照明も損傷しており消火隊は手探りで坑内を移動せざるを得ない状況である．高機能換気除煙装置と救命呼吸器具を調達して，救助活動を行った結果，2：30マンロックにいた作業員を発見した．坑内途中に指揮所と緊急医療所を設営し，救助した作業員の応急手当てを行った．その後，5：30には全員が坑外に救出された．消火・救命活動に係わったのは消防，警察，防災管理機関も含め延べ270名余りであり，31名の消防士と23名の作業員が病院に運ばれ手当てを受けている．

事故後，有識者を交えたJV，消防関係者で本火災に対する調査・対策検討を実施した．

坑内作業員はTBM内のマンロックに退避したことやウォーターカーテン作動によって大事に至らなかったものの，換気ダクトの損傷や坑内連絡系統の損傷により救助活動が難航した．これらを踏まえ，対策本部では作業員の消防訓練を消火活動はもとより防煙対策を中心に充実化すること，および以下の火災設備機能強化を提案している．

- 耐火電話線の坑内緊結措置と無線送信機とバッテリーの増設
- 補助換気設備の検討
- ウォーターカーテン設置位置を後方台車の最後方に移動
- ポータブル消火器と救命呼吸器具の増設(目的は消防本隊が到着する前に緊急対処が円滑に行えるように)
- 車道床版下に手動タイプ粉式消火器を設置

(文責：山口 英・五洋建設(株))

トンネル中央部の耐火用金属天井版と排煙ダクト/Steel for fireproof intermediate Ceilings and Smoke Removal Ducts

Tunnel 5/2003, August, 2003, pp.16-23

近年の道路トンネル火災の大惨事は安全設備向上の必要性を如実に物語っている．ドライバーの安全は排煙設備と同時に警報システムに依存している．一般的には，トンネルの排煙ダクトはトンネル上部を仕切るようにしてコンクリートで構築されている．トンネルの排煙ダクトと供用部を仕切る天井版がコンクリート製の場合，排煙側(天井版の上側)に流れる排煙の温度がコンクリートの断熱性のために低くなる．逆に火災側のコンクリート温度が非常に高くなる．コンクリートの厚さが20cm以上で火災による高温側が1,200℃であるのに対して反対側の排煙側では240℃であり，煙の温度は200℃になる．大きな火災はコンクリートライニングだけでなく，その背面の防水層にもダメージを与える．地下水位下のトンネルでは防水層を守ることが非常に重要である．

そのため，コンクリートにかわって四方を鋼製品で製作したダクトを用いることが可能と考えられる．このようなクローズした換気ダクトで換気することで，熱をその中から外部放出し天井版を火災の熱から守る．トンネル内では耐腐食性の鋼を用いたものは長年使われてきたが道路トンネルの環境下においては，高い耐腐食性と同時に火災の高温に耐えられる鋼であれば防火性の天井版と排煙ダクトに使うことができる．例えば，高耐腐食性の高品質鋼であるSteel-1.4529は850℃の温度下で短期引張り強度Rm＝215MPa，0.2%耐力$Rp0.2$＝105MPaを発現する．鋼製の排煙ダクトを一定長さのモジュールにして取り付けていく方法で設置すると，火災時に被害を受けても，被害を受けた部分だけ取り替えることで火災後の交通開放がすみやかにできる．

また，天井版は低コストと高い耐熱性を兼ね備えた材料であることが求められる．そして，火災時のトンネル内の高温のなかで人命救助をするためにまず着目することは，排煙設備の能力である．消防士の安全を確保するためには，トンネル本体とトンネル内設備が高温に耐えられることが絶対条件になる．また，人命救助とはべつにしても火災の被害を最小限に食い止めることが重要である．高い耐腐食性能と火災の熱に耐えられる鋼製の換気ダクトを用いることで，これらのニーズを満足することが可能である．

(文責：山田和男・(株)竹中土木)

社団法人 日本トンネル技術協会

会報

1. 会員の現状

	12月25日現在	1月25日現在
正会員	2,075名	2,075名
団体会員	349名	349名
個人会員	1,726名	1,726名
名誉会員	1名	1名
計	2,076名	2,076名

2. 委員会の開催状況(1月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

山岳トンネル小委員会幹事会：1/19（峰田勲幹事長ほか9名)調査報告書を検討

◎施工技術委員会

TBM工法小委員会幹事会：1/28（高津壮太幹事長ほか16名)原稿を検討

都市トンネル小委員会幹事会：1/17（松岡正宏幹事長ほか7名)活動方針を検討

新技術幹事会打合せ会：1/31（木村宏幹事長ほか4名)成果物取り扱い方針を検討

◎研究開発委員会

トンネル技術白書小委員会B2グループ打合せ会：1/14（木梨秀雄主査ほか6名)原稿を検討

同　B1グループ打合せ会：1/17（松尾勉幹事長ほか7名)作業方針を検討

同　Aグループ打合せ会：1/18（小野田滋主査ほか6名)原稿を検討

同　打合せ会：1/25（岩田充功幹事長ほか9名)委員会対策

◎大深度地下都市部山岳工法特別委員会：1/28（今田徹委員長ほか10名)建築物基礎との隔離距離などを検討

同　打合せ会：1/24（今田徹委員長ほか4名)委員会対策

◎支保構造合理化特別検討会：1/18（西村和夫委員長ほか17名)原稿を検討

◎特殊トンネル特別委員会：1/24（今田徹委員長ほか21名)耐震解析結果を検討

◎長期耐久性向上特別検討会：1/27（中川浩一委員長ほか21名)原稿を検討

同　改築WG：1/21（畔高伸一主査ほか6名)原稿を検討

同　保全WG：1/13（高橋正志主査ほか12名)原稿を検討

計　15回開催　170名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

企画運営幹事会：1/24（土屋幸彦幹事長ほか11名)決算ならびに予算案を検討

◎国際委員会

国内広報WG：1/14（小島健一幹事長ほか8名)海外文献の査読

◎事業委員会：1/26（桑原彌介委員長ほか16名)催物事業計画

◎会誌委員会：1/6（橋本定雄委員長ほか14名)2月号の会誌と3か月計画を検討

計　4回開催　53名出席

合計　19回開催　223名出席

3. 平成16年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
シンガポール国際トンネル会議技術調査	2004. 5.22～31	27	シンガポール，ベトナム台湾
第二東名トンネル現場研修会	2004. 4.16	24	静岡県
名古屋地区トンネル現場研修会	2004. 6. 4	28	愛知県
横浜市下水道現場研修会	2004. 6.10	27	神奈川県
仙台市下水道現場研修会	2004. 7. 9	17	宮城県
北陸地区道路トンネル現場研修会	2004. 8. 5, 6	25	石川県，岐阜県
北陸新幹線現場研修会	2004. 8.31	21	長野県
横浜市地下鉄現場研修会	2004. 9. 9	25	神奈川県
JR吾妻線トンネル現場研修会	2004. 9.14	18	群馬県
大谷川山腹崩壊対策現場研修会	2004. 9.17	17	栃木県
首都高速環状新宿線現場研修会	2004.10.19	22	東京都
東北新幹線現場研修会	2004.10.21, 22	18	青森県
大阪市地下鉄現場研修会	2004.10.25	24	大阪府
(発表会)			
①第54回(山岳)「山岳トンネルの難工事克服事例」	2004.11.18	116	東京都
②第55回(都市)「都市トンネルの環境対策事例」	2004.11.19	94	東京都
(講演，講習会)			
第7回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2004. 5.27, 28	27	東京都
第6回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2004.10.28, 29	33	東京都
トンネル技術特別講演会	2005. 2. 9	117	東京都

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

イスタンブール国際トンネル会議および技術調査団への参加募集について

このたび，第31回国際トンネル協会(ITA)の通常総会に併せてトルコ道路協会主催の「地下空間利用：過去の分析と未来への教訓」と題する国際コングレスが，本年５月８日から５日間，イスタンブールにおいて開催されます．この会議にはわが国からも34編の論文発表が予定され，ITA加盟国でありますわが国のトンネル関係者にとりましては誠に重要な国際技術交流の場であります．

この国際会議の参加に併せて別紙日程により，現場視察を含めた技術調査団を派遣することとなりました．視察する場所は，トルコではボスポラス海峡横断鉄道トンネル，スイスではレッチベルグ鉄道トンネルとスイス唯一の地下鉄工事現場，フランスでは高速道路トンネルの現場であります．

トンネル技術関係者にとりまして誠に有益かつ有意義な機会と存じますので，ぜひ多数ご参加頂けますようご案内申しあげます．

―記―

日　　程：平成17年５月７日から18日の12日間（詳細別紙）

参 加 費 用：会員750,000円　＊航空ビジネスクラス追加分550,000円
（航空運賃，現地交通費，宿泊(一人部屋)・食事代，会議登録料等含む）

申し込み方法：申し込み書に記載のうえ，平成17年３月末日までに事務局宛てFAXまたは郵送願います．
TEL：03-3553-6174，　FAX：03-3553-6145
〒104-0041 東京都中央区新富2-14-7 新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会　担当：山之内

※全行程参加の申し込み者が25名に満たない場合は参加費用の変更あるいは同旅行を中止する場合があります．

社団法人日本トンネル技術協会

国際トンネル会議技術調査参加申し込み書

ふりがな 参加者氏名：　　生年月日（西暦）：　　年　月　日
会 社 名：
所属役職：
会社住所：〒 TEL：　　FAX：　　E-mail：
自宅住所：〒 TEL：
その他通信： 航空ビジネス：希望の場合のみ○印して下さい．

日　　程　　表

	月日(曜)	都市，滞在地名	現地時刻	交通機関	内　　容
01	5/7(土)	東　京(成田)　発 パ　リ経由 イスタンブール着	12：05 23：15	AF-275 AF-2390 専用バス	（イスタンブール泊）
02	5/8(日)	イスタンブール滞在	終　日	専用バス	（イスタンブール泊）
03	5/9(月)	イスタンブール滞在	終　日	専用バス	国際会議出席 ウェルカムレセプション （イスタンブール泊）
04	5/10(火)	イスタンブール滞在	終　日	専用バス	国際会議出席 ボスポラス海峡横断鉄道トンネル視察 （イスタンブール泊）
05	5/11(水)	イスタンブール滞在	終　日 夜	専用バス	国際会議出席 Gala Dinner （イスタンブール泊）
06	5/12(木)	イスタンブール発 ジュネーブ　着	14：05 16：15	TK-1777 専用バス	（ジュネーブ泊）
07	5/13(金)	ジュネーブ　滞在	終　日	専用バス	Lotshberg Tunnel視察 （ジュネーブ泊）
08	5/14(土)	ジュネーブ　滞在	午　前 午　後	列車 専用バス	New Metro in Lausanne Tunnel 視察 （ジュネーブ泊）
09	5/15(日)	ジュネーブ　発 パ　リ　着	10：00 13：34	TGV-9264 専用バス	（パリ泊）
10	5/16(月)	パ　リ　滞在	終　日	専用バス	ユーロトンネル・インフォメーションセンター （パリ泊）
11	5/17(火)	パ　リ　発	終　日 23：25	専用バス AF-278	The A86 West Tunnel視察 （機内泊）
12	5/18(水)	東京(成田)　着	18：00		解　散

4月号予告[4月1日発売予定]

- ●ハイウェイトンネルの調査技術
- ●東北新幹線　三本木原トンネル
- ●首都高速中央環状新宿線　中落合シールド工事
- ●中之島新線建設工事の概要
- ●東京都下水道　落合川雨水幹線シールド工事
- ●ボスポラス海峡横断鉄道プロジェクトの概要

【連載講座】

- ●山岳トンネルにおける工事用機械の選定(18)
- ●多様化するシールド掘進技術(最終回)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

■いつの世でも地球上では，農産物の豊作の地もあり，凶作の地もある．凶作の地では飢きんとなり，国連を中心とした援助が行われるが，多くの人々とくに子供たちが死に直面する．そんなときに話題になるのが「食料自給率」である．食料自給率はカロリーにもとづいて計算される．日本の自給率は40%で，国民一人に対して1日に供される熱量(2,600キロカロリー)に占める国産(1,049キロカロリー)の割合である．ちなみにフランスの自給率は130%，アメリカ119%，イギリス74%といわれる．40年前の日本の自給率は73%で,現在の40%という自給率は肉や油類を多く食べることによる食生活の変化である．大量生産の安価な輸入農産物に対抗して食料自給率を上げるには，日本型食生活のごはんを主食とすることであり，消費者が求める安心で質の高い農産物作りがかかせない．多少コストがかかってもそれを上回る味や安全面でカバーすれば評価される．日本の農政は大規模化，供給力の拡大を続けてきたが，消費者と農業に携わる者が手をつなぐ，規模より質の農業経営が考えられる．そのひとつとして健康や美容の効果に注目される農産物の輸出が盛んになってきている．

■国産農産物の輸送になくてはならないトンネルがある．青函トンネルである．旅客列車よりも貨物列車の本数が多く走り抜け，人の往来よりも北海道の農水産物を全国に送り届ける物流の大動脈である．北海道新幹線の新規着工(新青森～新函館)が決まり，レールをもう1本引き，在来線と一緒に走るなどこのトンネルが再び話題になりはじめている．

■国産農産物が人気になっているところがある．郵便事業の創業から19年後の1890年に開業した帝国ホテルの2階にあるバーである．夜になると甘いピーナッツ(千葉産)とピリッと辛い柿の種(新潟産)が世界中からやってくるビジネスマンや旅行者に世界中の酒といっしょに供され，一晩に約200名ほどの人が柿ピーのあの音と味と香りを楽しんでいる．

(K.O)

★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3号〔通巻415号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成17年2月20日　印刷
平成17年3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

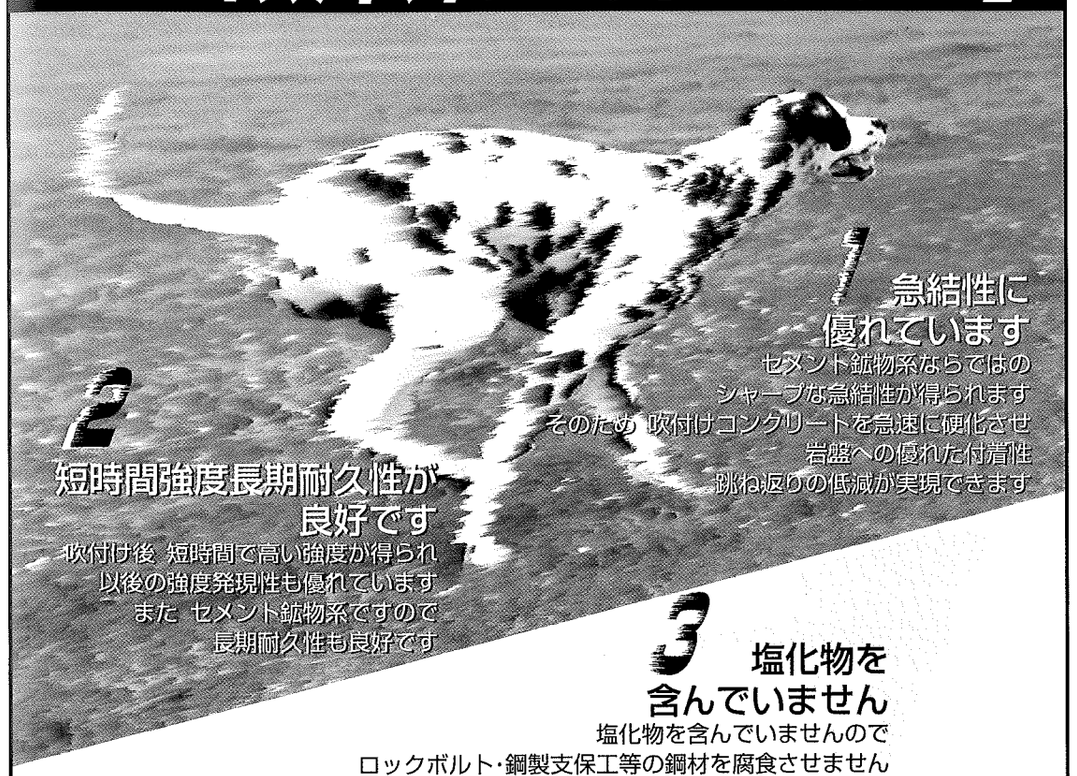
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

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．

吹付けコンクリート用急結剤
「太平洋ショットマスター」



1 急結性に優れています
セメント鉱物系ならではの
シャープな急結性が得られます
そのため 吹付けコンクリートを急速に硬化させ
岩盤への優れた付着性
跳ね返りの低減が実現できます

2 短時間強度長期耐久性が良好です
吹付け後 短時間で高い強度が得られ
以後の強度発現性も優れています
また セメント鉱物系ですので
長期耐久性も良好です

3 塩化物を含んでいません
塩化物を含んでいませんので
ロックボルト・鋼製支保工等の鋼材を腐食させません

優れた付着性!!
「太平洋ショットマスター」は、太平洋セメント株式会社が特殊セメントやセメント用各種混和剤の開発技術をもとに、鋭意研究開発したセメント鉱物系を主成分とした吹付けコンクリート用急結剤です。セメント鉱物ならではの急結性を有し、吹付けコンクリートの岩盤への優れた付着性・跳ね返りの低減が実現できます。

太平洋マテリアル株式会社

●営業本部 土木資材営業部　〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル7F　TEL.03-3278-5319
○北海道支店／TEL.011-221-5855　○東北支店／TEL.022-221-4511　○東京支店／TEL.03-3278-5331
○北 陸 支 店／TEL.076-234-1670　○中部支店／TEL.052-452-7141　○関西支店／TEL.06-6228-6660
○中 国 支 店／TEL.082-261-7191　○四国支店／TEL.087-833-5758　○九州支店／TEL.092-781-5331