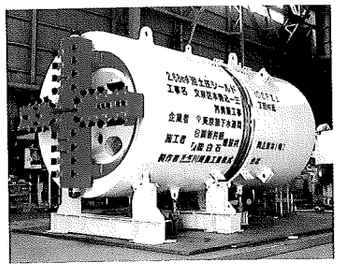
トンネルと地下　平成18年３月１日発行第37巻第３号　昭和45年11月18日第３種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

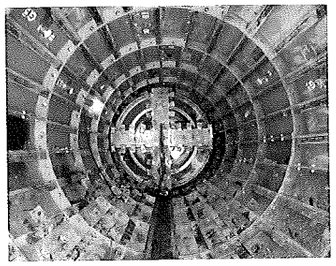
Kawasa

DSR
Draw a Shield for Recycle system
内胴引抜再利用型シールド工法


①シールドマシン全景

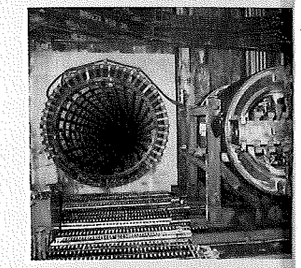
先行掘進工区
（内胴回収工区）

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。


③内胴引抜状況（到達側より）

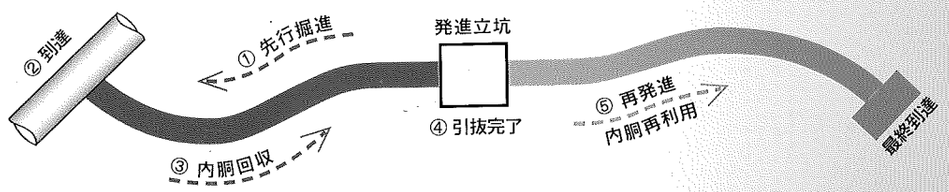
立　坑

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。

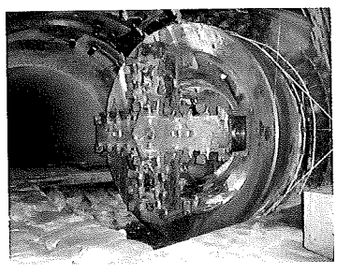

④内胴引抜・回転完了

再発進工区
（内胴再利用工区）

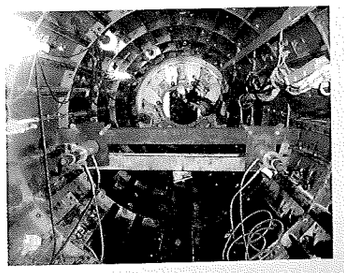
掘進可能距離は通常のシールド工
じます。最小曲線半径は10Rで



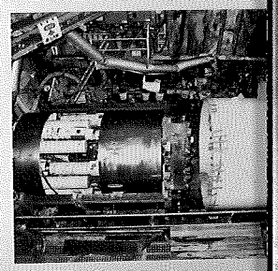
②先行掘進到達



③内胴引抜状況（発進立坑より）



⑤再発進・新規外胴取付



DSR工法研究会
株式会社新井組　株式会社鴻池組　石川島播磨重工業
株式会社白石　株式会社竹中土木　三菱重工業株式会
戸田建設株式会社　株式会社間組　川崎重工業株式会
株式会社フジタ　村本建設株式会社
web. http//www
E-mail. jimukyoku@

川崎重工
大型構造物ビジネスセンター　土木機械・機器営業部
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
491006619036
0150

昭和45年11月18日第３種郵便物認可　平成18年３月１日発行（毎月１回１日発行）　第37巻第３号　通巻427号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 3

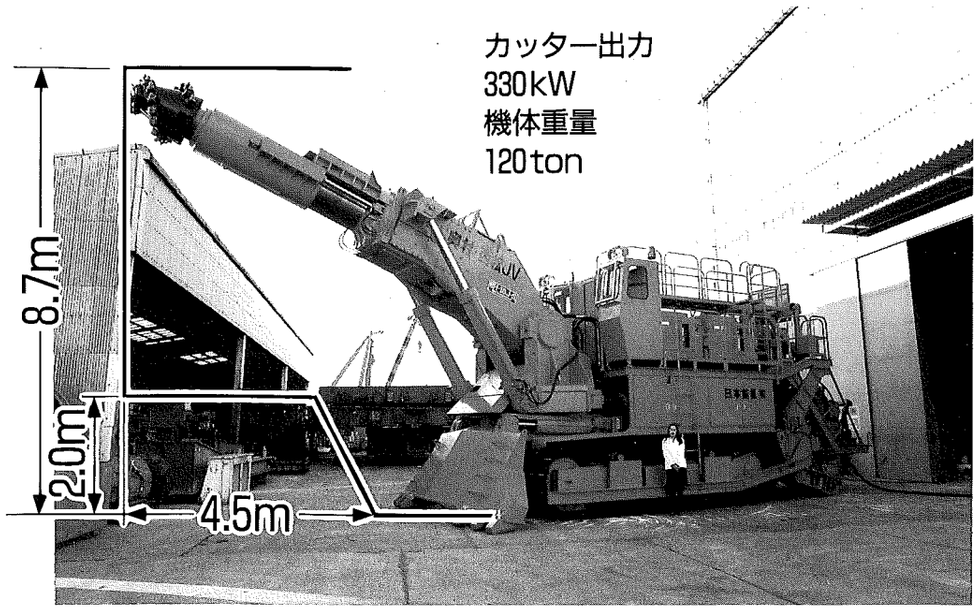
vol. 37
no. 3
2006

Tunnels and Underground

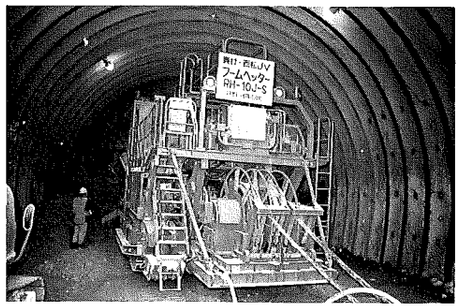
小土かぶりマサ土区間や大量湧水を克服して長大トンネルを掘る
大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服
JR神戸線高架橋下の函型トンネル下に道路を増設
潮位差８mでの湾内における沈埋トンネルの施工
小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析
内水圧が作用するセグメントの剝離現象の考察

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。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社 建設機械部
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.
http://www.kyb-ksm.co.jp
旧社名: ㊀日本鉱機株式会社

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

様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種ドリルジャンボ製品。
全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

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

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

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

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

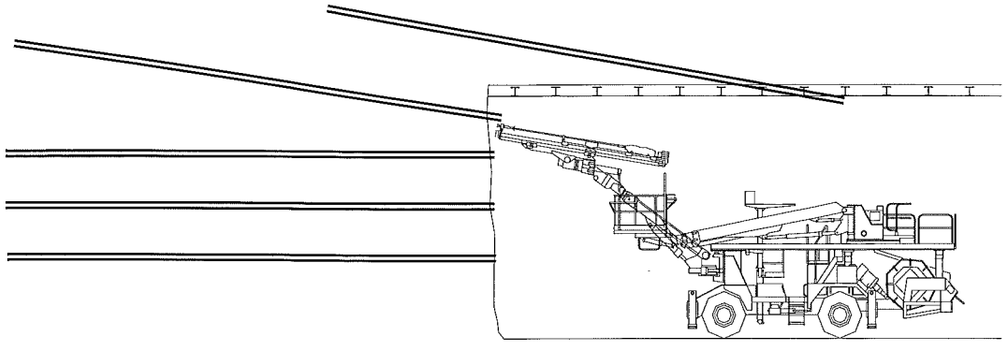
札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010
整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

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

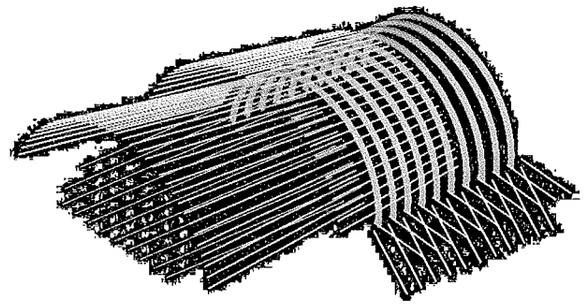
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

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

トンネル工事のコストダウンにご利用ください

高効率・低粉じん

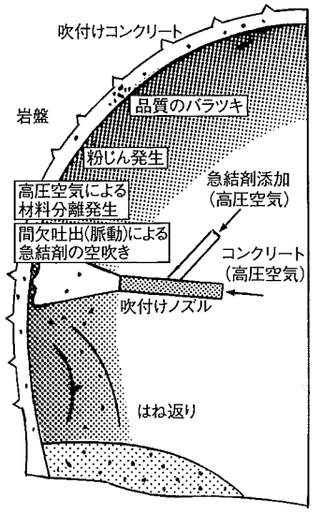
SEC吹付けコンクリート

建設技術審査証明（平成15年土木研究センター建技審証第0309号）

【性能向上のために分割練混ぜ（SEC）をしたコンクリート】

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

吹付けコンクリートの課題

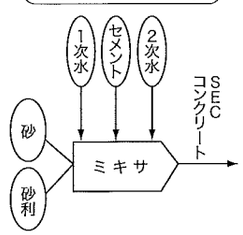


SECおよび高品質吹付け技術（シリカフューム・石灰石微粉末を活用して粘性の向上を計る）による課題の改善

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

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

SEC対応のバッチャープラント



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

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

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

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

SECコンクリート機械協会がお手伝いさせて頂きます。

SECコンクリート機械協会

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

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

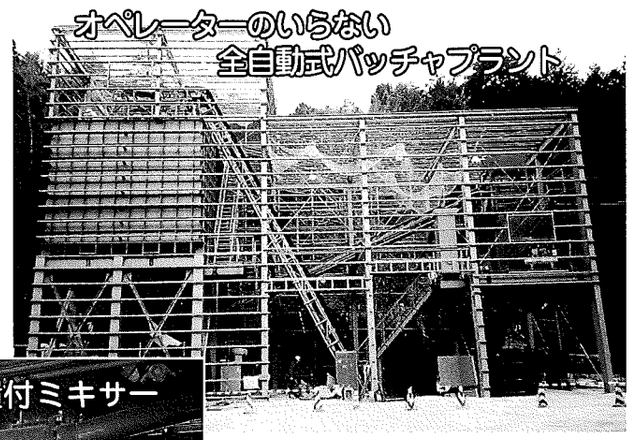
高品質・SEC・高強度対応型　吹付プラント

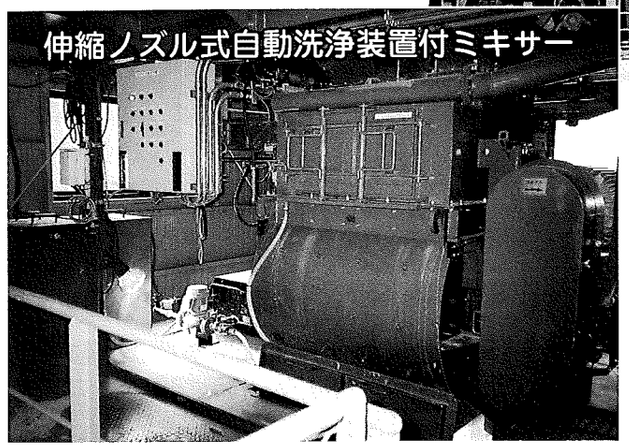
全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は名岐の自動スランプにおまかせ下さい。





■ MKS-500KBE-TME型

長工期トンネルに適し人件費の大幅削減！

■ 生コン洗浄水処理装置

ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

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

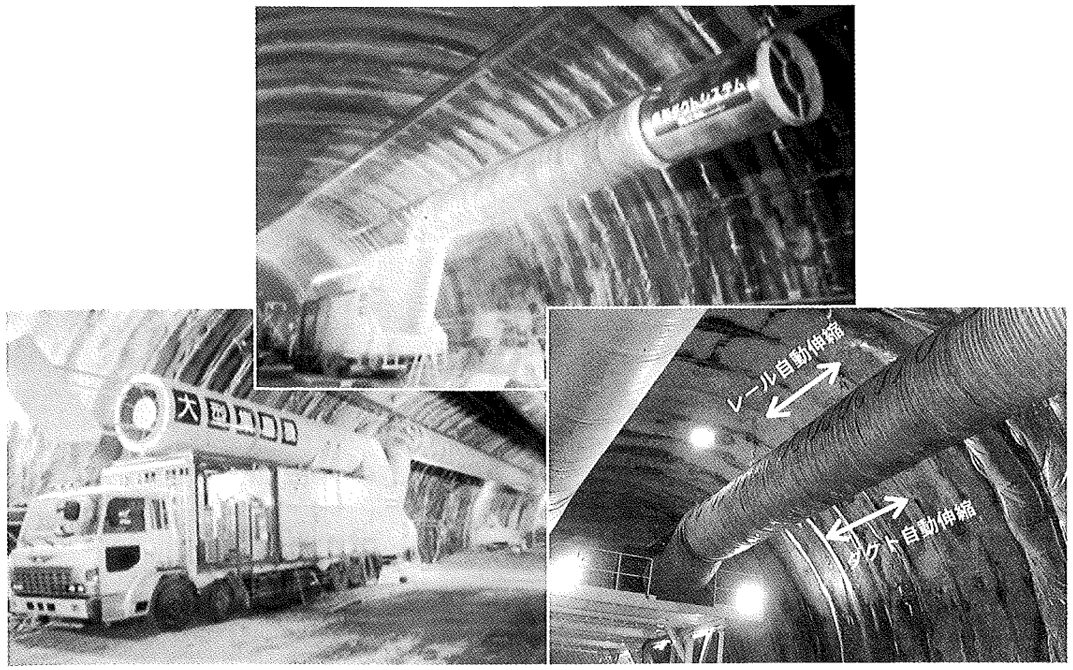
名岐機器株式会社

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

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

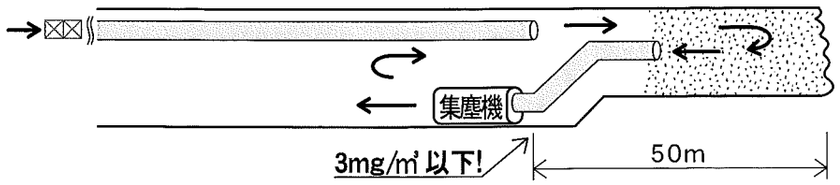
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(※)0.5mg/m³達成!!



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

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



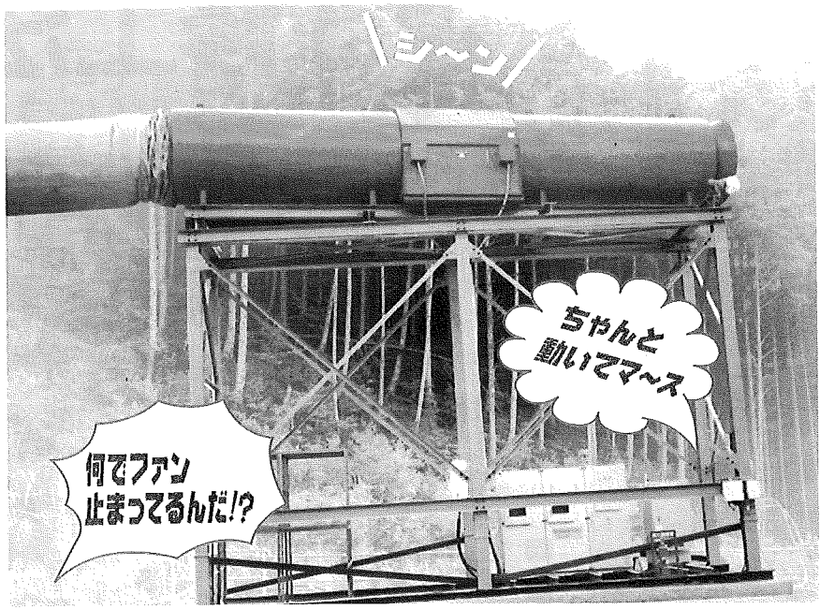
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい！ ●●サ●ア●～ これ、ファンの音なんです。

今時、静かなのは当たり前!!



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

超低騒音：標準78dB(A)、オプションサイレンサーで60dB(A) 以下も可能。
省エネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人－△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高効率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×２～200kW×２の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

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〉

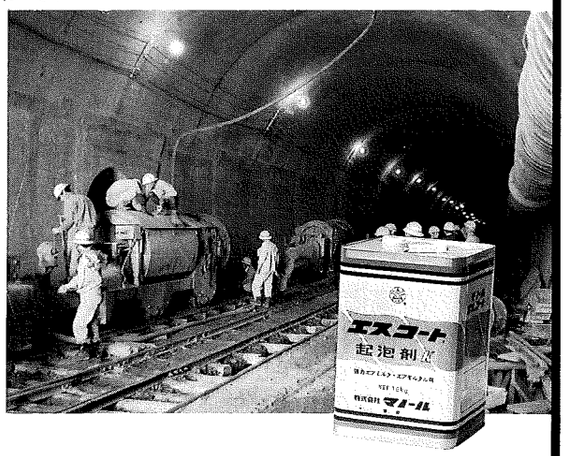
プレミックス急硬モルタルと
特殊ラテックスの
複合材で
短時間で実用強度が得られる
即日補修工法です。

- ■ 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 マイール

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

degussa.
creating essentials

3E効果の急結剤。

Ecology
Economy
Efficiency

環境対策、経済性、効率性の三拍子そろった吹付けコンクリートを実現します。

「メイコSAエコショット」は、主に一般強度（材齢28日圧縮強度=18N/mm²、単位セメント量360kg/m³～）の吹付けコンクリートを対象としたアルカリフリー液体急結剤で、成分中にアルカリ分をほとんど含みません。このため作業員に対する安全性が高く、かつ粉じんの発生量を大幅に低減することができます。そのうえ、エコショットを用いた吹付けコンクリートは、リバウンド量が少なく、長期強度の発現性に優れています。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、さらに高品質で経済的な吹付けコンクリートを効率的に施工できます。

アルカリフリー液体急結剤

メイコ®SAエコショット

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤

NT-1000シリーズ

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

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

株式会社 エヌエムビー
株式会社 ポゾリス物産

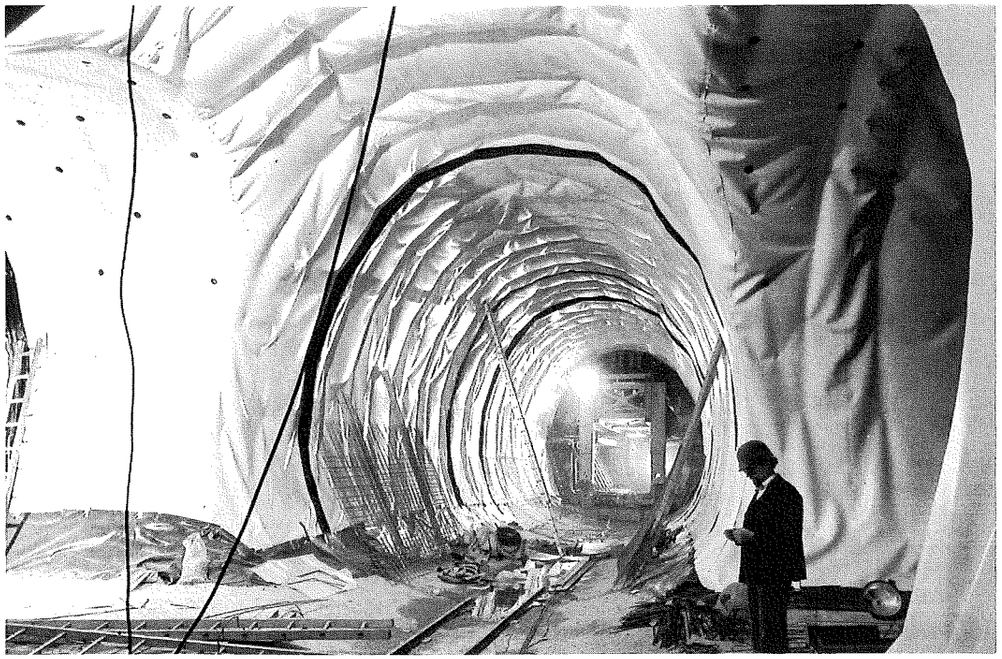
●本社／東京都港区六本木3-16-26 TEL03-3582-8814（直） FAX.03-3583-3800
●支店／東京、大阪 ●営業所／札幌、仙台、宇都宮、千葉、横浜、上越、松本、静岡、名古屋、高松、広島、福岡、鹿児島
URL／http://www.degussa-cc.jp

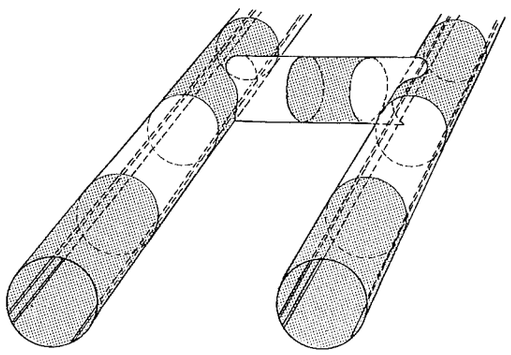
●（株）エヌエムビーは中央研究所と茅ヶ崎工場において、ISO9001およびISO14001の審査登録をしています。

トンネル用シグナルレイヤー付防水シート

CARBOBAHN
カーボバーンシート

ヨーロッパでの長年の実績、優れた防水システム





◎柔軟性，耐薬品性に優れた改良型ポリエチレン製

◎破損個所が容易に発見できるシグナルレイヤー付き

◎厚さ1.5，2.0，3.0mm，シート幅1.75～5.1mの豊富なバリエーション

◎不測の事態に対応するウォーターバリアシステム

◎電磁誘導加熱による高品質施工システム

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー 土木営業部

〒105-0014 東京都港区芝2丁目5－10 ☎(03)3798-8511 FAX(03)3798-8516
〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2－17 ☎(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755
〒460-0002 名古屋市中区丸の内3丁目14-32 ☎(052)223-1050 FAX(052)223-1059
〒065-0834 札幌市東区北34条東9－1－1 ☎(011)751-4681 FAX(011)751-4682

1本1本が大切！ だから

次世代 防食 ロックボルト

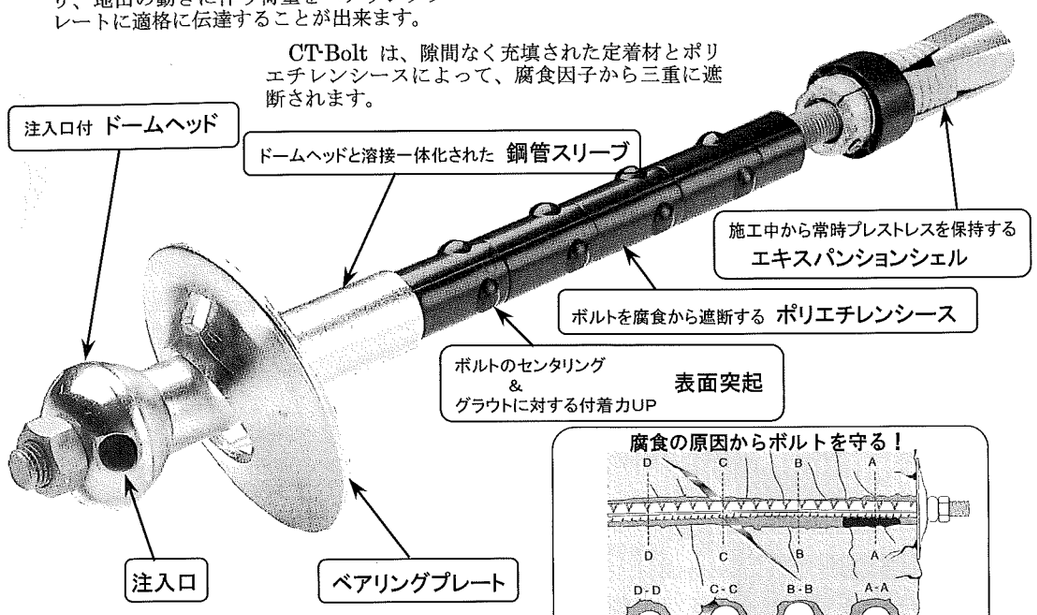
CT-Bolt

Ørsta Stål

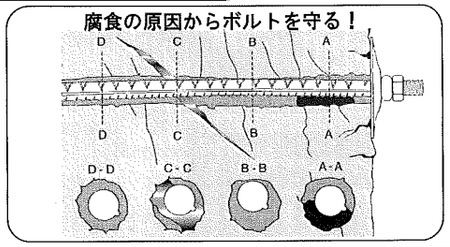
通常施工により超長期支保

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。

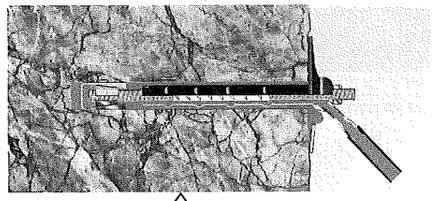


腐食の原因からボルトを守る！



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

新製品

CyberWorksシリーズ

PictureMAGIC

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

3Dカメラスキャナー

自動測量、自動撮影

遠隔リモートコントロール

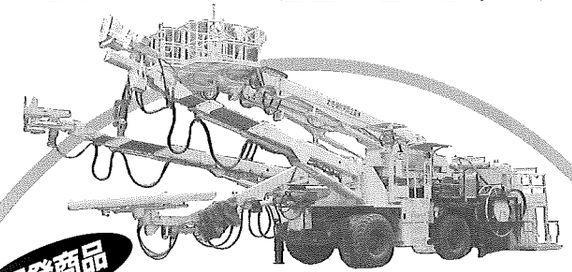
軽量ポータブル

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

http://www.enzan-k.com/　enzan

安心と信頼

SANKO RENTAL



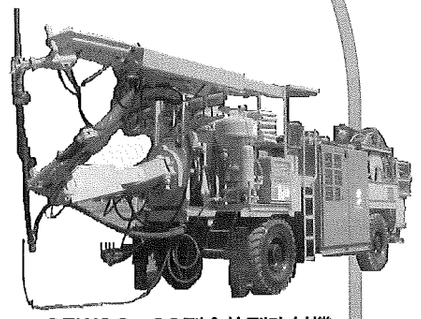
開発商品

コンプレッサー搭載型エレクター吹付システム

（ホイール式）

M26C型坑内用ダンプ

新キャタピラー三菱製



SFW1C−6S型合体型吹付機

富士物産製

〈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。
  50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 500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

TEL072-677-2101㈹　FAX072-677-2109

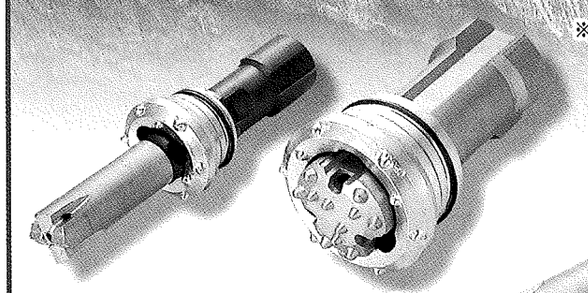
〈協賛〉

サンドビックトーヨー㈱

新キャタピラー三菱㈱

富士物産㈱

ユニークな発想と高品質・自信の価格

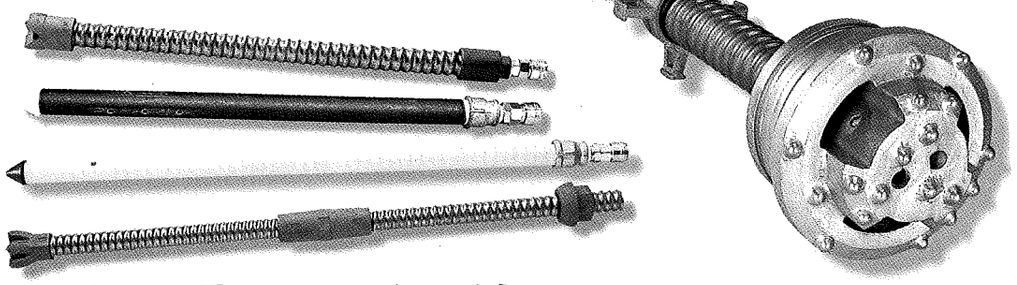


※連続突起を有する鋼製シースを地山に引込み、芯材を挿入して固化材を注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

STD BITS

（ロストリング方式）

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



FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。

自穿孔ボルト&注入管

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

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

AGF-SP 工法

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

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833　大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
E-mail : steng@kawachi.zaq.ne.jp

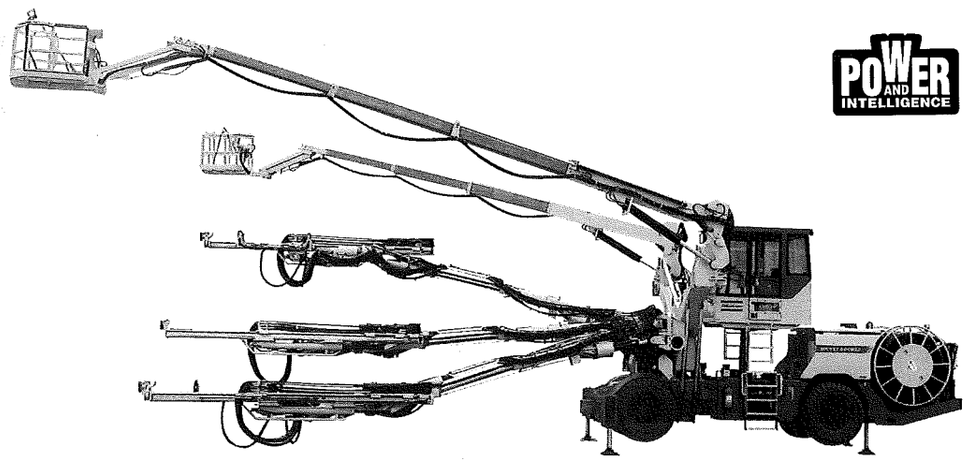
アトラスコプコ・コンピュータジャンボ

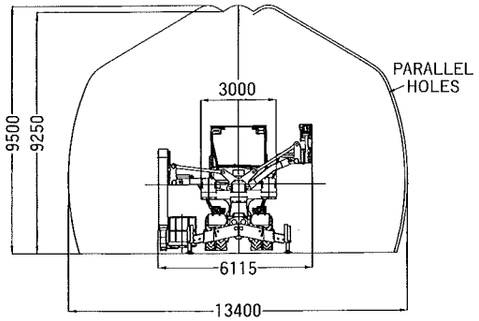
The Next Generation ロケットブーマーL3C-2B

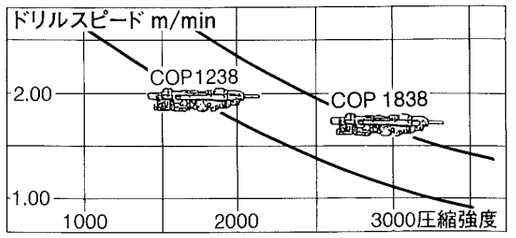
COP1838油圧ドリフター搭載

3ブーム・2バスケット

POWER AND INTELLIGENCE







DRILL
ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

本　　社　〒116-0014　東京都荒川区東日暮里6-16-8桂ビル5階
TEL（03）3806-3377番　FAX（03）3806-8461番
関西支店　〒657-0864　兵庫県神戸市灘区新在家南町5-8-4
TEL（078）802-5551番　FAX（078）802-5528番
九州支店　〒839-0841　福岡県久留米市御井旗崎1-6-14
TEL（0942）43-5315番　FAX（0942）43-5832番
焼津営業所　〒425-0072　静岡県焼津市大住638-1
TEL（054）620-7301番　FAX（054）620-7303番
兵庫工場　〒679-1332　兵庫県多可郡多可町加美区大袋川端454-3
TEL（0795）36-0461番　FAX（0795）36-0467番

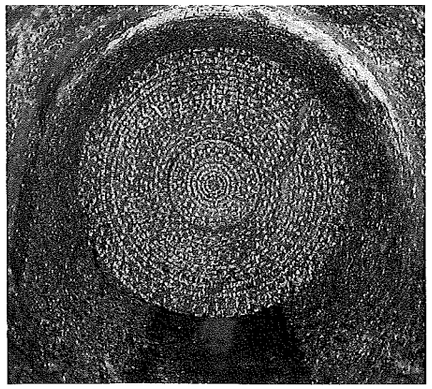
岩盤推進を創めて20年

軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法（C.M.T工法）

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

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会

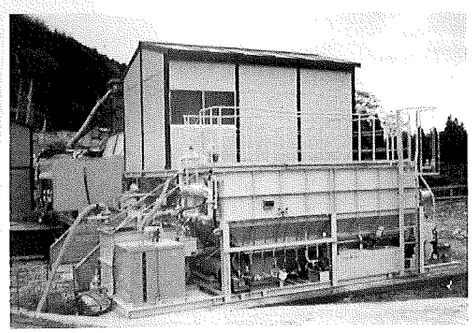
株式会社 堀研

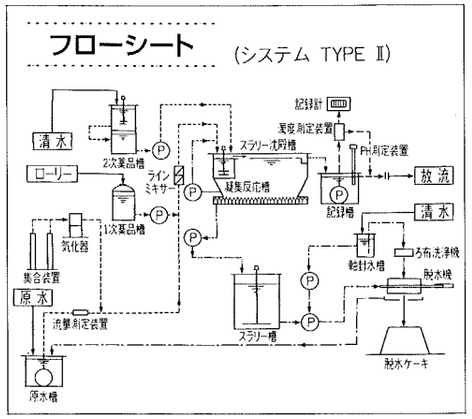
本　社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029

研究所 〒569-1044 大阪府高槻市上土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力





特　長

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

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

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

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

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

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

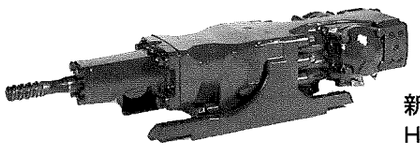
6．豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置（異状警報装置と連動）
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置（エアレーション装置等）
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動沪布洗浄装置

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

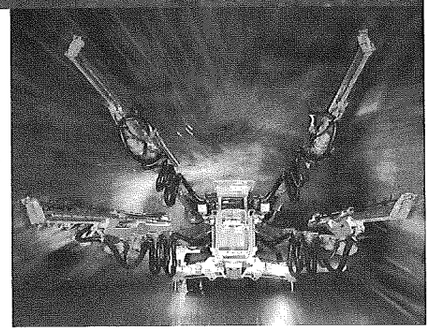
詳細資料請求、お問い合わせは

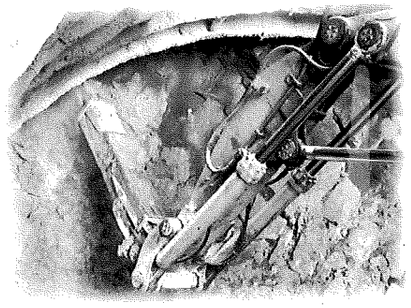
株式会社 フジテックス
本社　〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (076)452-1616(代)　FAX (076)452-1617

Waste Water Treatment System



新型高性能ドリフター
HLX5





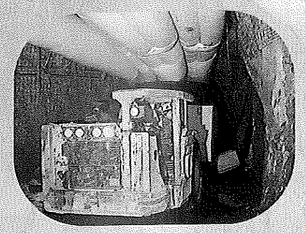
TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

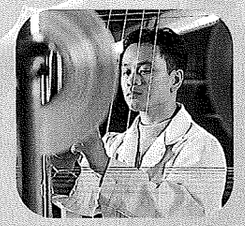
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

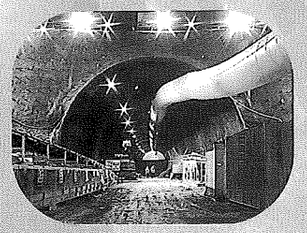
Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661
URL: http://www.SMC.sandvik.com

ABC
VENTILATION SYSTEMS

●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管





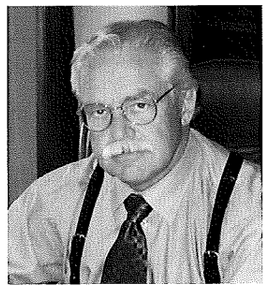


親愛なる日本の皆様

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

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

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



Darryl C. Yausie
President
ABC Ventilation Systems

総代理店　東友エンジニアリング株式会社　代表取締役社長　泉　俊憲

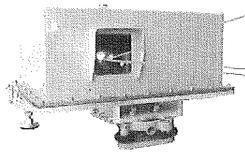
〒102-0073　東京都千代田区九段北３丁目２番地５号　東伸24九段ビル８階
TEL 03-3234-8901　FAX 03-3234-8900

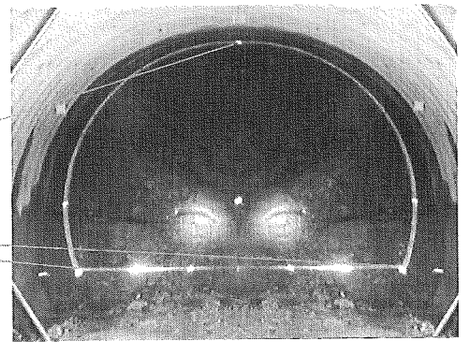
TOYU GROUP　株式会社トーユーエコサポート　TEL 03-5226-5971　FAX 03-5226-5974
（取り扱い商品：防音システム）
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL 0299-27-6211　FAX 0299-27-6233

レーザーマーキングシステム

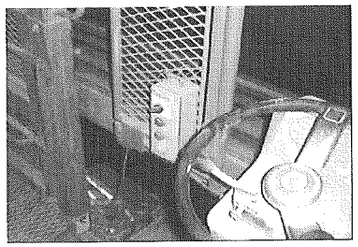
国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現



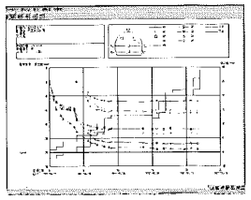


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

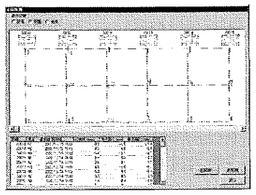


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

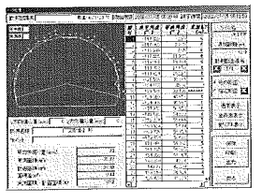
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



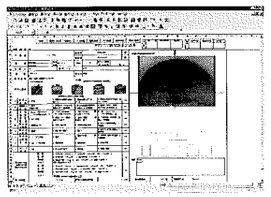
A計測データ処理



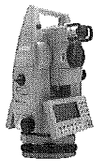
支保工立込精度、変形量

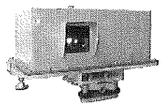


内空、巻厚検査



切羽観察、etc





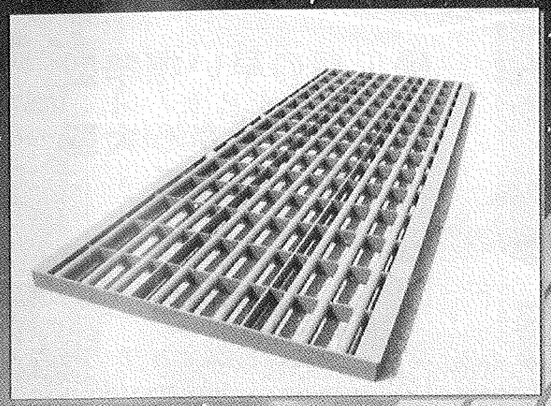
豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

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

〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

NTロードマット

意匠登録済み特許出願中

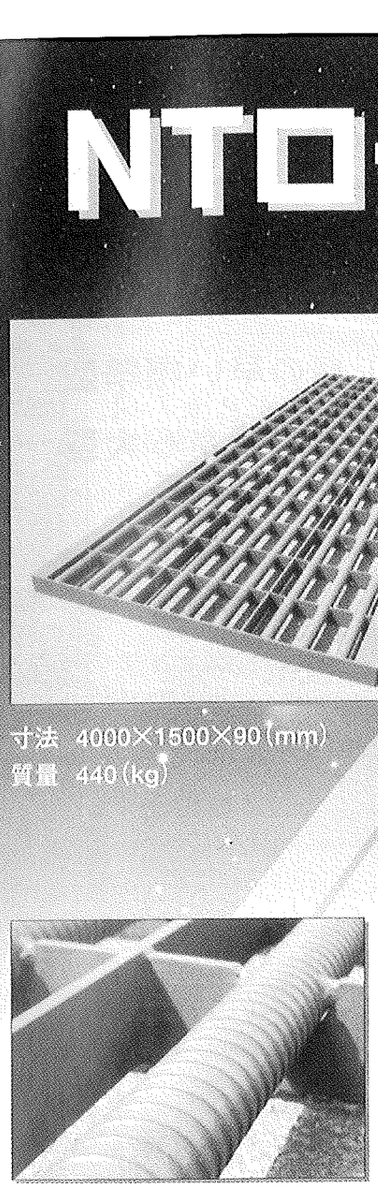


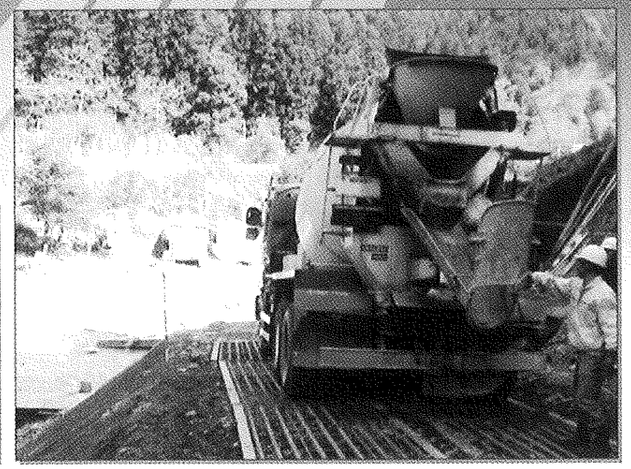
NTロードマットはパイプ表面の溝と
リブによって滑り止め効果が得られ
パイプによって沈み込みを防止し、
安定した仮設道路を作ることができます。

こんな現場に
- 雨や湧水で敷鉄板が滑りやすい
- 車のタイヤを痛めたくない
- 坂道で滑りやすい
- 軟弱地で沈み込みやすい

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㈹　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㈹　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㈹　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。

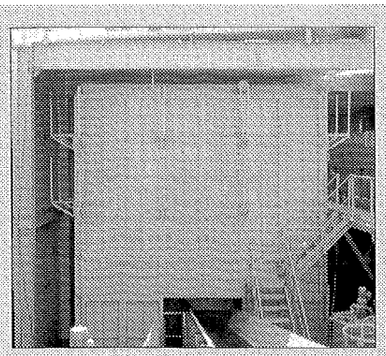
大丸の防音システム

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

fujimori

フジモリ産業株式会社

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

URL　http://www.fujimori.co.jp

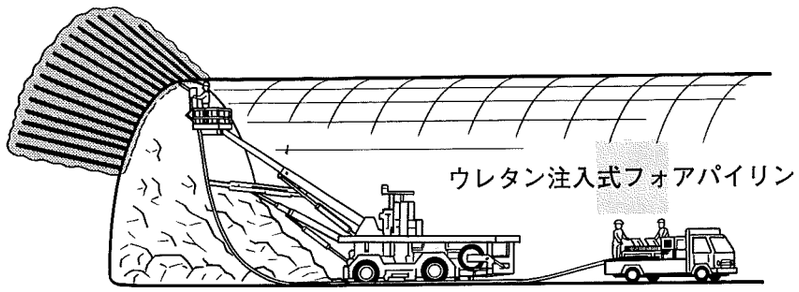
– 東京本社	TEL：03-5789-2384	FAX：03-5447-2073	担当：平山
– 大阪支店	TEL：06-6228-3864	FAX：06-6228-3886	担当：南川
– 北海道営業所	TEL：011-222-4171	FAX：011-221-1370	担当：大黒
– 東北営業所	TEL：022-263-1591	FAX：022-223-0067	担当：村田
– 九州営業所	TEL：092-262-8521	FAX：092-262-6750	担当：北村

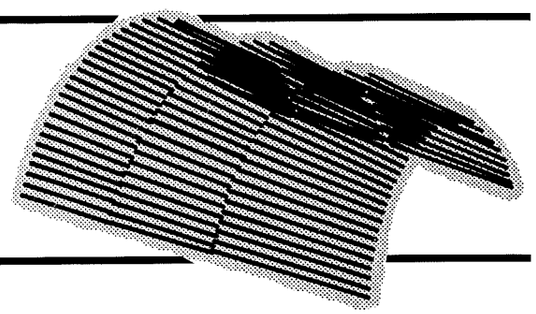
BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

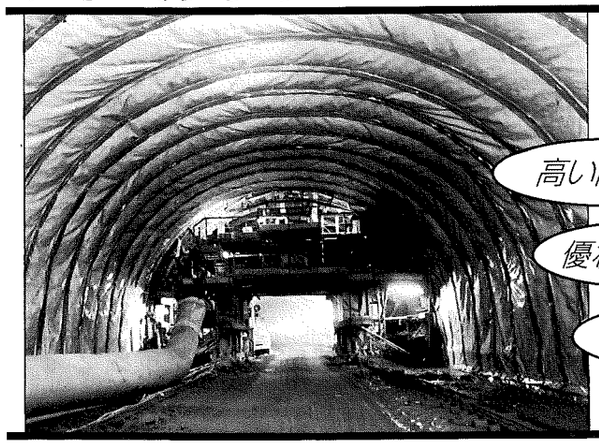
ブリヂストンのトンネル資材

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



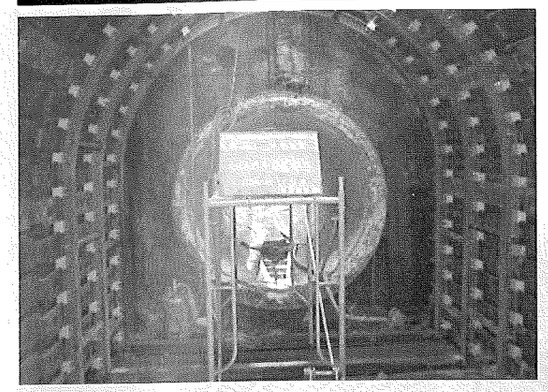


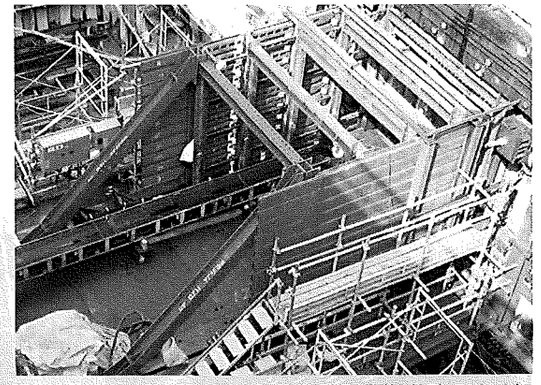
ナトミックシート
トンネル用防水シート



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

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）

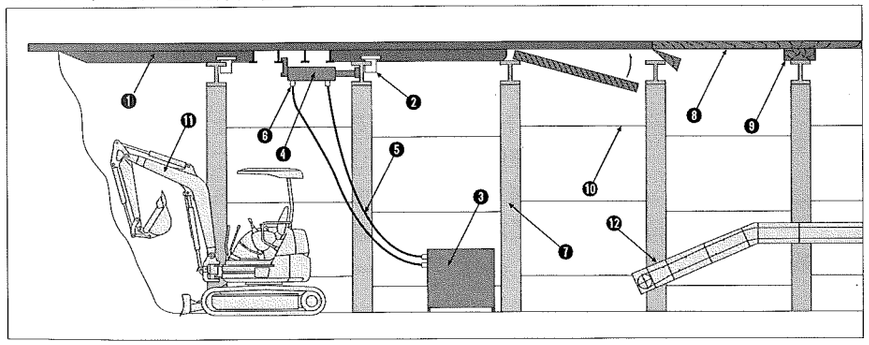
特徴

- 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



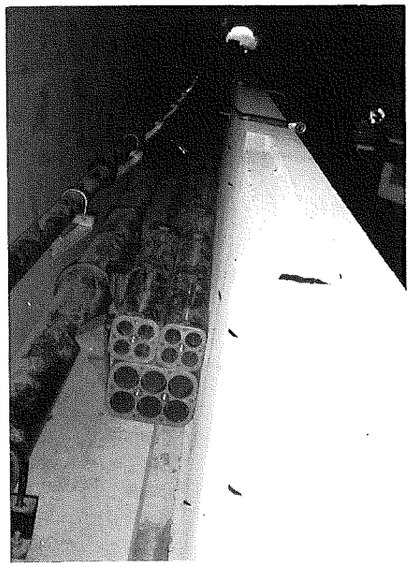
❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンバー
❿径間パイプ、
タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

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

永久施設に永久管路

▲ 宇治トンネル　〔日本道路公団〕



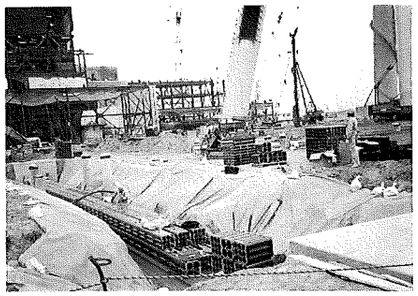
▲ 関南トンネル〔日本道路公団〕

地下ケーブルの保護に
杉江の多孔陶管
セラダクト

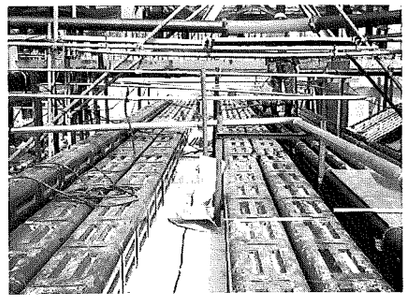
燃えない　錆びない　壊れない

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。

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

【好評発売中】

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　章

B5判　約280頁　本体価格4,660円　送料 340円

〔推薦の言葉〕　東京都技監兼下水道局長・工学博士　村田 恒雄

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

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

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

主　要　目　次

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

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

き…り…と…り…線

《ご　注　文　票》

シールドトンネルの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

好評発売中

多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B５判　141頁　　本体価格2,500円

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

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

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

〔掲載工法〕

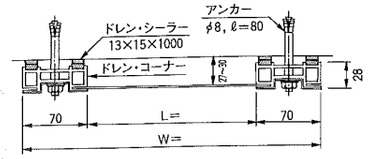
①ラチス式同時施工シールド工法，②F-NAVIシールド工法，③ハニカムセグメントを用いた同時施工法，④ロングジャッキ式同時施工シールド工法，⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法，⑥充塡式シールド急曲線工法，⑦地下茎シールド工法，⑧T-BOSS工法，⑨球体シールド工法，⑩上向きシールド工法，⑪MMST工法，⑫拡大シールド工法，⑬偏心多軸(DPLEX)シールド工法，⑭ワギング・カッタ・シールド工法，⑮自由断面シールド工法，⑯OHM工法，⑰H&Vシールド工法，⑱単円～三連型駅シールド工法，⑲MFシールド工法，⑳DOT工法，㉑MSD工法，㉒親子シールド工法，㉓拡径シールド工法，㉔DSR工法，㉕泥土加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

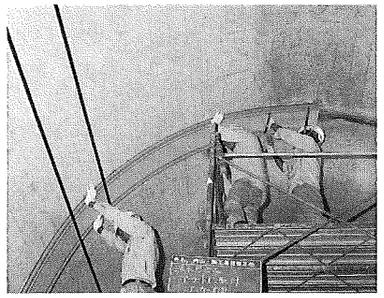
本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

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

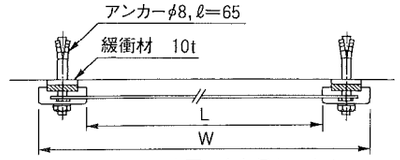
トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に
アーチ・ドレン導水樋

■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。



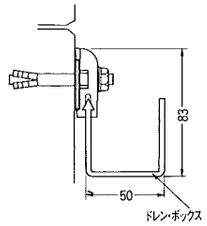


コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号

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

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

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

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

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

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

コンパクトで計量精度は抜群…

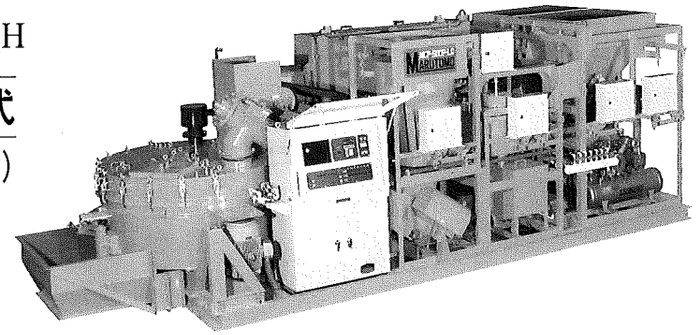
丸友の移動式 コンクリートプラント

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)

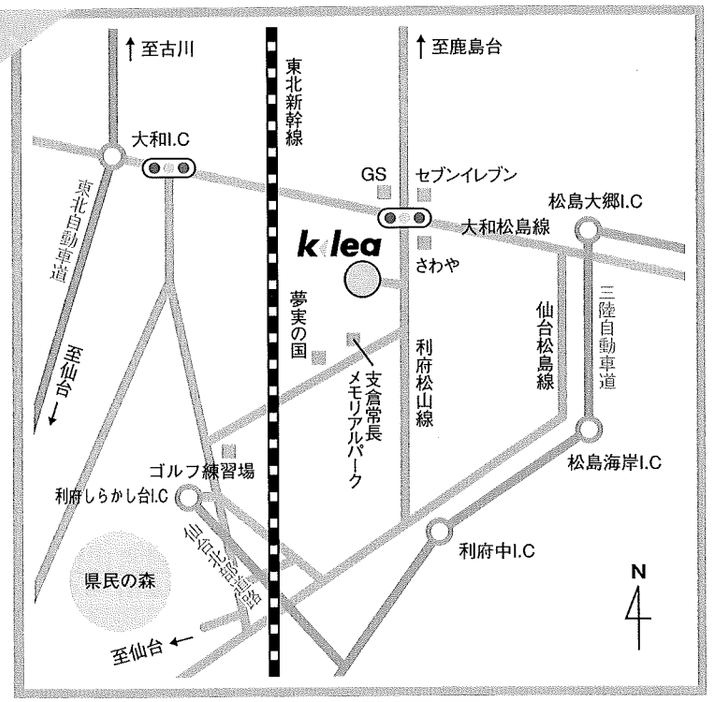
仙　台

〒981-3522
宮城県黒川郡大郷町東成田字薬師堂24-4
TEL/022(359)5331
FAX/022(359)5313

e-mail
r0klsens@tces.scm.co.jp

アクセス
車の場合／東北道大和I.Cより20分
三陸道／松島大郷I.Cより15分
三陸道／利府中I.Cより15分
仙台北部道路／利府しらかし台I.Cより10分

電車の場合
東北線／松島駅より タクシーで20分

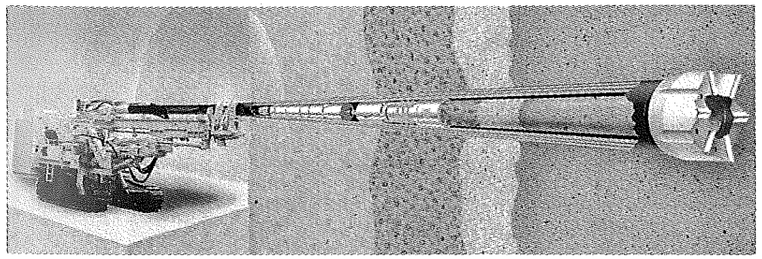


klea
株式会社 ケイ・リー
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372

URL　http://www.klea-cat.com

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/

鉄道技術の最先端を展示する業界トップイベント

Railway Technology · Interiors · Infrastructure
Public Transport · Transport IT · Services
in

InnoTrans
2006

2006年9月 19日–22日

国際鉄道技術専門見本市
ベルリン見本市会場

技術革新コンポーネント・車両・システム
レールフィールドでの展示ならびにコンベンション

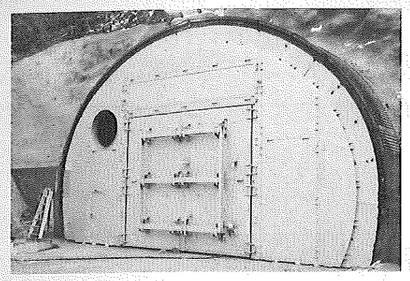
ウェブサイト: www.messe-berlin.jp

InnoTrans

メッセ・ベルリン日本代表部(担当 久保田)
Tel.: 03-5276-8730 · Fax: 03-5276-8735
E-mail: info@messe-berlin.jp

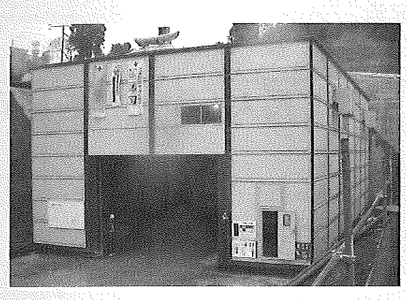
Messe Berlin

快適な作業環境を約束する騒音対策システム



●防音扉–HFS型 マークⅡ
パネル厚さ＝150㎜
●防音扉–HFS型 新・マークⅡc
（コンクリート充填タイプ）
パネル厚さ＝150㎜＋コンクリート＝100㎜

●防音ハウス－Hタイプ
（ハイデラックスタイプ）
HFD–125パネル使用 パネル厚さ＝125㎜



●防音シェルター－Dタイプ
（デラックスタイプ）
HFD–100パネル使用 パネル厚さ＝100㎜

●防音壁－Sタイプ
（スタンダードタイプ）
HFS–100パネル使用 パネル厚さ＝100㎜

【建設騒音対策協会】（旧 騒音対策研究会）

株式会社牛尾商店	〒810–0801	福岡県福岡市博多区中洲5–4–19	TEL.092–281–2131
株式会社カテックス	〒460–8331	愛知県名古屋市中区上前津1–3–3	TEL.052–331–8821
株式会社ティーエムシー	〒116–0013	東京都荒川区西日暮里5–23–3	TEL.03–3891–8211
日豊商事株式会社	〒150–0002	東京都渋谷区渋谷2–12–12	TEL.03–3409–8041
株式会社野佐和商会	〒550–0013	大阪府大阪市西区新町2–10–3	TEL.06–6532–5451
株式会社ビーエスアイ	〒060–0031	北海道札幌市中央区北一条東13–1–1	TEL.011–241–6500
古河ロックドリル株式会社	〒101–0047	東京都千代田区内神田2–15–9	TEL.03–3252–6551
松茂工販株式会社	〒135–0061	東京都江東区豊洲4–1–23	TEL.03–3536–5531
幹事 ヒューズ工業株式会社	〒132–0035	東京都江戸川区平井6–35–5	TEL.03–3617–8111

E–mail souon@fuse–ind.co.jp

ISO9001取得～防音設備の設計、製造、施工、リース
◆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 TEL.03–3617–8111 FAX.03–3617–7565
大阪営業所 〒531–0072 大阪府大阪市北区豊崎3–15–19 東洋東ビル TEL.06–6359–2611 FAX.06–6359–2288
E–mail info@fuse–ind.co.jp URL http://www.fuse–ind.co.jp

トンネルと地下　3月号目次　Vol.37, No.3, 2006 Mar.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

団塊の世代の技術者として
　野崎　春己……5

■研　　究

小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析
—東北新幹線　八戸～新青森間—
　北川　　隆・磯谷　篤実・後藤　光理・野城　一栄……45

内水圧が作用するセグメントの剝離現象の考察
—外郭放水路　第一工区・第二工区—
　高柳　淳二・山藤　　稔・佐々木一英・佐藤　元治……53

■施　　工

小土かぶりマサ土区間や大量湧水を克服して長大トンネルを掘る
—九州新幹線　玉名トンネル—
　徳永　潔計・難波　雅文・江藤　俊文・松藤　孝弥……7

大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服
—第二東名高速道路　金谷トンネル—
　岩本　英將・河合　朝仁・大志万久芳・吉田　安利……15

JR神戸線高架橋下の函型トンネル下に道路を増設
—神戸市道路公社　新神戸トンネル第Ⅱ期築造工事—
　柏原　　茂・田村　暢慶・川下　光仁・大谷　良輝……23

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

潮位差8mでの湾内における沈埋トンネルの施工
—中国嘉興火力発電所　冷却水路工事—
　林　　家祥・楊　　国祥・何　　擁軍・齋藤　尚武……37

■連 載 講 座

都市トンネル工事の計測(3)
—大深度急曲線シールド施工時荷重の計測とその評価—
　坂根　良平・吉本　正浩・杉山　仁實・佐藤　健人……61

■現場だより

「四国有数のスキーの町」井川町より
　合歓垣誠司……36

「世界遺産・熊野古道」東紀州(尾鷲市・熊野市)より
　浅野健一郎……44

■資　　料

トンネル千夜一夜(15)
　小野田　滋……34

土木情報
　編　集　部……60

トンネルジャーナル
　編　集　部……69

工法・技術・製品ニュース
　編　集　部……70

文献紹介
　編　集　部……71

トンネルワールドニュース
　JTA国際委員会国内広報ワーキング…73

海外文献速報
　JTA研究開発委員会……75

■会　　報

会　報
　日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】

大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服
—第二東名高速道路　金谷トンネル—

金谷トンネルは，上り線4,527m，下り線4,667mの第二東名高速道路で最長のトンネルである．このトンネルは東側の亀裂の発達した瀬戸川層群と西側の戸綿泥岩と呼ばれる脆弱なD級地山がトンネル全長の7割を占めている．これらの脆弱な地山に対して，瀬戸川層群ではTBM導坑を利用した事前補強工としてケーブルボルトを打設し，拡幅掘削時の支保工として利用したり，東坑口付近では沈下対策を，戸綿泥岩部では PC鋼棒による変状対策を行うなど特殊支保工を採用して克服した．写真はトンネル崩落状況である．〔**写真提供**：中日本高速道路(株)〕(本文15頁参照)

電力・通信ケーブル用多条保護管

Kanaflex
ISO9001
認証取得

カナパイプPV型

トンネル内埋設工事を省力化・効率化

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〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔委員〕

伊藤範行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長

千葉隆
清水建設株式会社土木技術本部
技術第二部部長

永島茂
東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長

長島芳雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長

端則夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱建介
株式会社アオバ取締役会長

松尾勝弥
飛島建設株式会社土木本部トンネル統括部長

宮林秀次
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

山田邦博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

山田隆昭
中日本高速道路(株)中央研究所
トンネル研究主幹

山道哲二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山四郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島田隆夫
鉄建建設株式会社社友

高橋彦治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田島利男
株式会社ロードエンジニアリング代表取締役

西松裕一
東京大学名誉教授

林博
西松建設株式会社専務取締役

松本崇義
(元)東京都理事

丸安隆和
東京理科大学教授

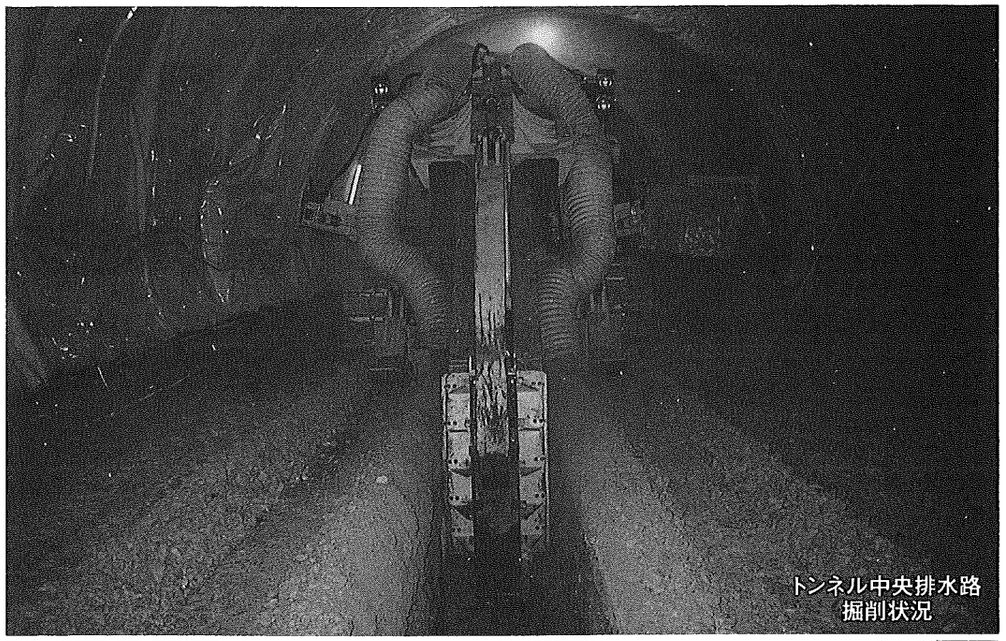
吉川新吉
東京発電株式会社常任監査役

吉村恒
吉村とんねる・らぼ

渡邉和夫
株式会社熊谷組執行役員副社長

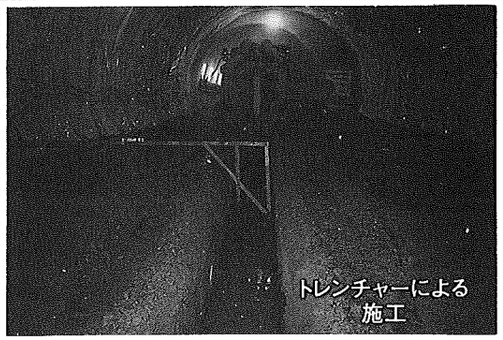
トレンチャー

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(代) 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〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田徹　東京都立大学名誉教授
定塚正行　株式会社コンテク代表取締役社長
高橋良文　東京都下水道サービス(株)技術部長
橋本定雄　中黒建設株式会社顧問
濱建介　株式会社アオバ取締役会長
水谷敏則　(財)先端建設技術センター専務理事

〔委員〕

城戸務
東京都水道局建設部工務課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部主任研究員

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤亘
東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

佐野正生
東京都交通局建設工務部計画改良課長

清水満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部
構造技術センター課長

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

西村聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

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

山田隆昭
中日本高速道路(株)中央研究所
トンネル研究主幹

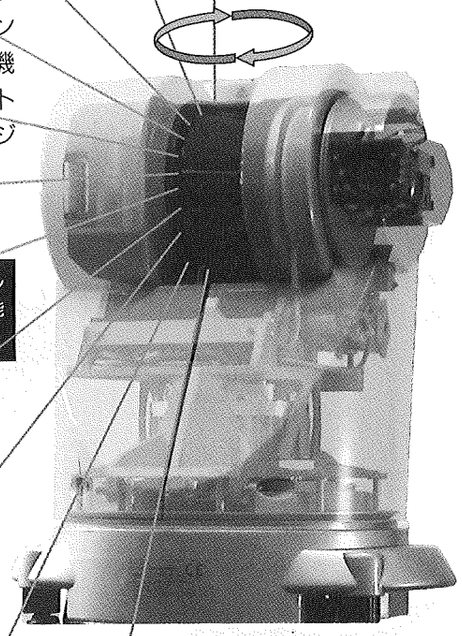
Callidus™ レーザースキャナー

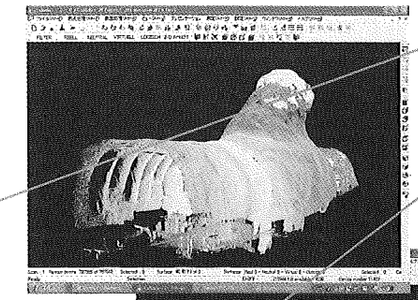
3次元トンネル断面計測機

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。

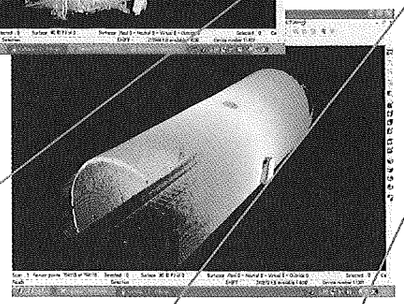
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





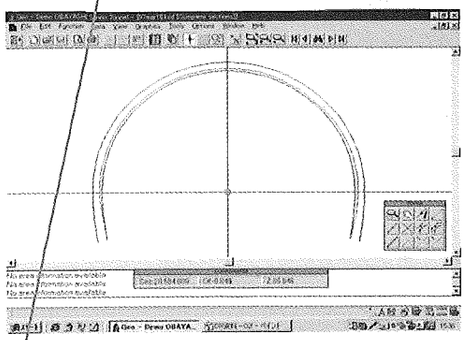
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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.37 No.3 掲載概要

掲載頁 7

小土かぶりマサ土区間や大量湧水を克服して長大トンネルを掘る
—九州新幹線 玉名トンネル—

鉄道・運輸機構 徳永 潔計

九州新幹線玉名トンネルは，博多・新八代間で2番目に長い延長6,800mのトンネルである．地質の主体は花崗岩であるが，起点方坑口付近は花崗岩が風化を受けマサ化しており，また，土かぶりも小さい状況である．終点方の工区では事前の地質調査結果において破砕帯が10か所推定され，掘削時において湧水が伴うと予測されていた．

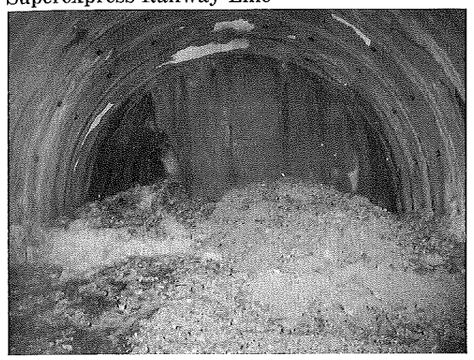
本稿では，補助工法を適用したマサ土区間の施工，小土かぶり区間の掘削方式の選定，また，切羽より6 tf/minの集中湧水が発生したことにより，切羽安定対策工などを施工し，破砕帯区間を突破したことなどについて施工報告するものである．

Excavation of Tunnel with small Cover in deposed Granite Soil − Tamana Tunnel Project of Kyushu Superexpress Railway Line

By Kiyokazu Tokunaga, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Tamana Tunnel of Kyushu Shinkansen(Superexpress Railway Line) has a length of 6,800m and the second longest tunnel between Hakata and Yatsushiro. The geology is granite mainly. At the portal of Hakata side, the ground is deposed granite soil by weathering, and the tunnel cover is small. In the section of Yatsushiro side, the geological site investigation found 10 fractured zones and big water inflow was expected.

This paper reports the construction records such as the excavation in deposed granite soil and the breakthrough of fractured zones using auxiliary methods as the measures against water inflow of 6m³ per min., and how to select the excavation method in the section having small cover.



写真は切羽出水状況

掲載頁 15

大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服
—第二東名高速道路 金谷トンネル—

中日本高速道路(株) 岩本 英将

金谷トンネルは，上り線4,527m，下り線4,667mの第二東名高速道路で最長のトンネルである．このトンネルは東側の亀裂の発達した瀬戸川層群と西側の戸綿泥岩と呼ばれる脆弱な部分といったD級地山がトンネル全長の7割を占めている．これらの脆弱な地山を克服するため，瀬戸川層群ではTBM導坑を利用した事前補強工としてケーブルボルトを打設し，拡幅掘削時の支保工として利用している．また，東坑口付近では，偏圧小土かぶり地形といった区間を種々の沈下対策を施工している．戸綿泥岩部では，脚部沈下対策および内空変位抑制のためのPC鋼棒を採用し，上半脚部の塑性化を抑制し脚部沈下・内空変位を抑制している．本稿ではこれらの施工実績について報告する．

Breakthrough of Large Section Tunnel in Collapsible Ground using Special Support−Kanaya Tunnel Project of Tomei Expressway No.2

By Hidemasa Iwamoto, Central Nippon Expressway Co., Ltd.

Kanaya Tunnel is the longest one in Tomei Expressway having the upbound line of 4,527m and the downbound line of 4,667m. 70% of the geology of this tunnel is the Class D ground comprising Setogawa Stratum-Group with many fissures in the east side and collapsible Towata mudstone. In consideration of this geology, a pilot tunnel was constructed by the TBM and cable bolts were placed. Cable bolts function as one part of support system during the enlargement excavation work. In the east portal, some measures against settlement due to eccentric ground pressure in small cover were executed. In Towata mudstone, prestressing steel rods were adopted to control the settlement of foot part of support at the invert, the plasticization of foot part at upper half section, and the convergence.

This paper introduces these works.

写真はトンネル崩落状況

掲載頁 23

JR神戸線高架橋下の函型トンネル下に道路を増設
—神戸市道路公社　新神戸トンネル第Ⅱ期築造工事—

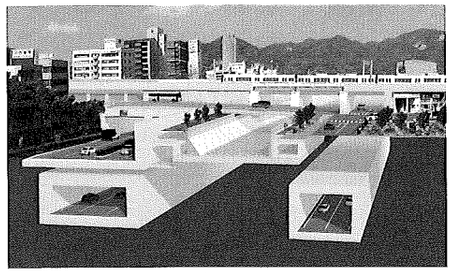
西日本旅客鉄道(株)　柏原　　茂

神戸市街地と北神地域とを結ぶ新神戸トンネルの国道２号線への延伸事業においては，東海道本線灘・三ノ宮間との交差箇所がある．ここに，北行線(49m)と南行線(38m)の２つのボックストンネル(生田川架道橋)を構築する工事のうち，北行線については，既設の鉄道ラーメン高架橋(複々線)および市道道路ボックス(６車線)の荷重を，アンダーピニング工法によって受け替えながら施工を行う．この工事は，既設道路ボックスの縦断方向(同一方向)直下に，さらに大断面のボックストンネルを構築したという点に最大の特徴がある．本稿では，アンダーピニング工法の概要を中心に，その事前に施工した地盤改良工や導坑掘削工などについても併せて述べる．

Construction of Shin-Kobe Tunnel beneath Box-shaped Road Tunnel under Kobe JR Railway Line

By Shigeru Kashiwabara, West Japan Railway Company.

The extension work of Shin-Kobe Tunnel, jointing Kobe City and Hokushin District, to National Road No.2 has a crossing with Tokaido Railway Line between Nada and San-nomiya. This extension work comprises the construction of North Bound Tunnel of 49m and South Bound Line of 38m. During the construction work of North Bound Line, the loads of existing railway line(4 lines) having a frame structure and the municipal road(6 lanes) having a box structure have to be sustained by the underpinning method. Shin-Kobe tunnel is constructed beneath the existing road tunnel in the longitudinal direction. This paper reports the underpinning work, the ground improvement work and the excavation of heading in this project.



図は生田川架道橋完成予想図(イメージ)

掲載頁 37

潮位差８mでの湾内における沈埋トンネルの施工
—中国嘉興火力発電所　冷却水路工事—

上海隧道工程股份有限公司　林　　家祥

中国では，急速な高度経済成長に伴い全土において電力不足が深刻化しており，とくに発展の著しい揚子江デルタ地区周辺の上海，浙江省および江蘇省では顕在化している．この電力不足を解消するため，嘉興火力発電所の建設を計画した．

当プロジェクトは国家重点プロジェクトに指定されており，本工事は，このうち発電タービン冷却水を海から取水するための２本のトンネルを建設するものである．２つの取水路は，取水口，海底トンネルおよび陸上トンネルの３つの構造からなっている．取水路では，中国の海底トンネルでは初適用となる沈埋工法を採用した．この沈埋トンネル工法の課題は，沈埋函の浮力が自重より小さいこと，潮位変化が８m程度と厳しい海象作業条件とトレンチ底への軟泥堆積問題であった．

本稿では，　取水路の沈埋トンネルの施工について報告する．

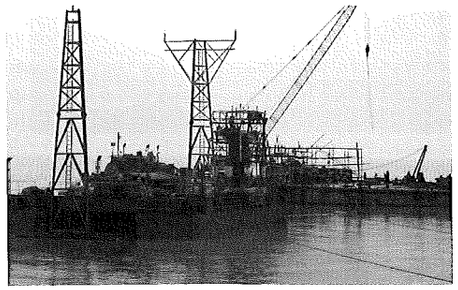
Submerged Tunnel constructed in sea having Change of Sea Level by 8 m—Diversion Tunnels for Cooling in Jianxing Thermal Power Plant

By Lin Jia Xiang, Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd.

The sharply developing economy in China makes the shortage of electric power. Especially, in Shanghai, Zhenjiang Province and Jiangsu Province, this problem is very serious and the project of construction of Jianxing Thermal Power Plant was planned as one of important national project. The construction of two diversion tunnels to collect cooling water from the sea is one part of this project. Each of these two diversion tunnels consists of each intake, each undersea tunnel and each tunnel in land. The submerged tunnel method was adopted to construct the undersea tunnels. They were the first submerged undersea tunnels in China. The subjects of construction were that;

1. The buoyancy acting to tube was smaller than the dead load of tube.
2. They were constructed in the sea having the change of sea level by 8m under the adverse weather condition.
3. The geology of seabed was very soft mud that was expected to be deposited under the tubes.

This paper reports the construction record of these tunnels.



写真は沈埋函沈設状況

掲載頁 45

小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析
—東北新幹線　八戸～新青森間—

鉄道・運輸機構　北川　　隆

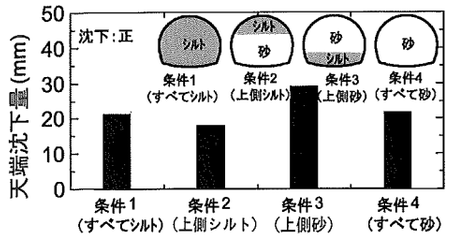
小土かぶり土砂地山における補助工法の選定に対する知見を示し，補助工法の選定指標を提案することを目標として，小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析を行った．その結果，天端沈下は，土かぶり，地質構成に依存し，小土かぶりの場合や，切羽上部に砂層，下部にシルト層の場合には沈下が大きくなること，地表面沈下量は天端沈下量，脚部沈下量とほぼ等しいこと，沈下は狭い範囲に集中して生じることがわかった．

Analysis of Ground Movement during Excavation of Shallow Tunnel for Shinkansen

By Takashi Kitagawa, Japan Railway Construction,Transport and Technology Agency

The analysis was performed to propose how to select auxiliary methods for the excavation of shallow tunnel in soft ground. This analysis clarified that settlement at tunnel crown depends on tunnel cover and geological condition, and settlement on surface is approximately equal to ones of tunnel crown and foot part and the range of serious settlement is limited. In the following cases, big settlement would be induced by tunnel excavation.

1. Tunnel cover is small.
2. Geology in upper half of tunnel face is sand and one in lower half of tunnel face is silt.



図は切羽の地層構成と天端沈下量の平均値との関係

掲載頁 53

内水圧が作用するセグメントの剝離現象の考察
—外郭放水路　第一工区・第二工区—

国土交通省　高柳　淳二

首都圏外郭放水路は，中川流域の抜本的治水対策として倉松(くらまつ)川，大落古利根(おおおとしふるとね)川などの洪水を導水し，江戸川に排水するために整備された地下河川シールドトンネルであり，平成14年６月より排水機場と第三立坑の区間の試験運用を開始し，構造物の機能および安全性の確認を行ってきた．

当シールドトンネルは一次覆工のみで構築されているが，試験運用開始後洪水流入に伴って，トンネル第一工区および第二工区のRCセグメント隅角部表面の一部にコンクリート剝離が認められた．このためセグメント実物試験，現地計測，３次元FEM解析などにもとづく検討を実施した結果，一次覆工のみで構築された内水圧の作用する大深度・大口径のシールドトンネルに特有なメカニズムが関与して剝離が発生することが判明した．

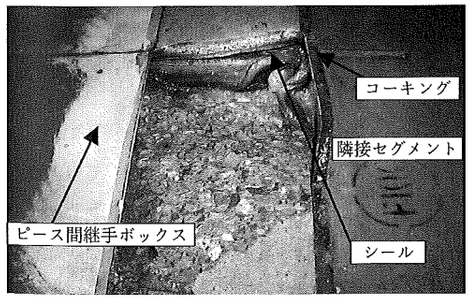
本稿は，この剝離発生のメカニズムについて検討した結果を記すものである．

Study of Exfoliation of Segmental Lining having Internal Water Pressure in Metropolitan Area Outer Discharge Channel

By Junji Takayanagi, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation

Metropolitan Area Outer Discharge Channel is a shield tunnel for the purpose of flood control of Tokyo metropolitan area and collects flooding water of kuramatsu River and Oh-otoshi-furu-Tone River, and discharges it to Edo River. The trial operation of it to check its function and safety has been executed between the pump station and the third shaft since June 2002.

This shield tunnel is a one-pass tunnel comprising segmental lining. During the trial operation, flooding water entered into the first and second sections and the internal water pressure of it made exfoliation of segments at corner parts. The full-scale model test, in-situ measurement and three dimensional FEM analysis were executed to analyze the mechanism of exfoliation of segment applied to large and deep tunnel lining. This paper studies this mechanism.



写真は第二工区剝離状況

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

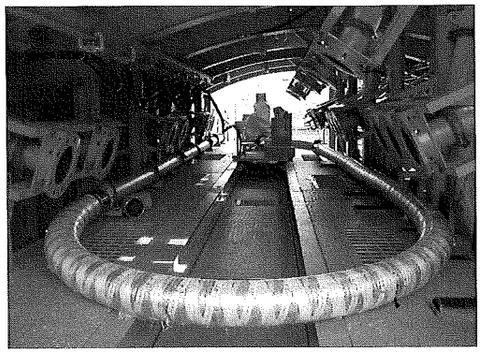
品質の向上

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。

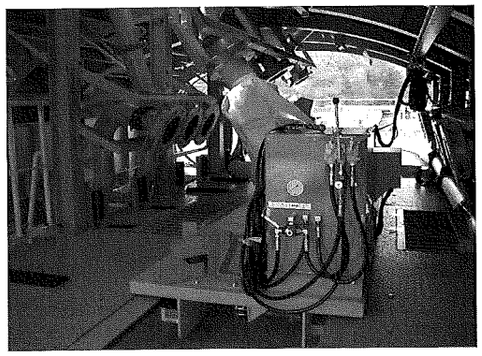
環境の改善

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。

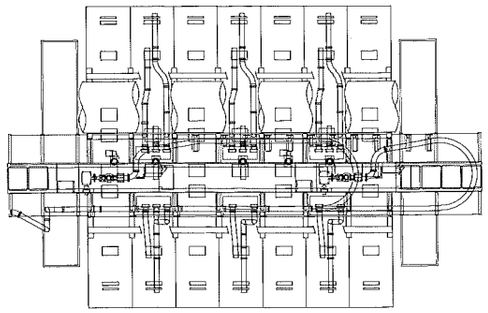
システム全景



配管挿入状態

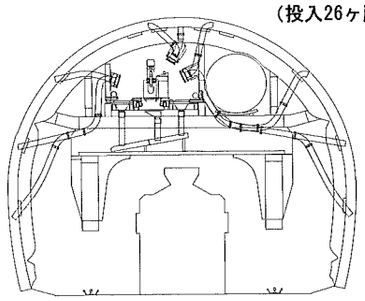


全体平面図



全体トンネル断面図

（投入26ヶ所）



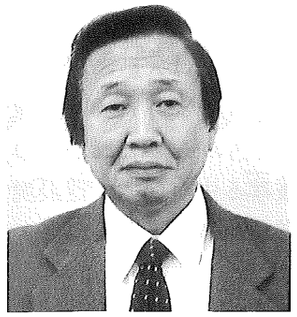
岐阜工業株式会社
GIFUKOGYOU CO.,LTD
GIFU KOGYO
本　　社　岐阜県本巣市十四条１４４番地　〒501-0464
本社工場　TEL (058)323-2000(代)　FAX (058)323-1176

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　小森　博会長）



団塊の世代の技術者として

東京都地下鉄建設(株)取締役新交通本部長(本協会理事)
野崎春巳

21世紀にはいり既に5年，戦後から60年が経過した．わが国のインフラ整備は戦後50年間で５千万人もの人口の急増を背景に，日本国民に満足のいく衣・食・住・教育を提供することを最優先事項として，住宅の供給，交通・上下水道などのインフラ整備，治山・治水に取り組んできた．

団塊の世代が社会にでた1970年代は，日本万国博覧会が開催されるなど，高度経済成長に入った時期で諸先輩の指導を受けながら，インフラ整備の最前線で力を尽くしてきた．その後，団塊の世代はこの経験を原動力として多くのビッグプロジェクトを立ち上げるなど，インフラ整備の中心的な役割を担ってきた．

1999年に本州四国連絡橋(西瀬戸自動車道)，2000年には東京湾アクアライン，地下鉄大江戸線の完成など20世紀の掉尾を飾るかのように多くのビッグプロジェクトが完成した．官民一体となった献身的な努力の結果，戦後の基幹的インフラは着実に整備されてきた．

一方，日本の人口は2005年には戦争の影響を受けた1945年を除き初めて減少に転じるなど少子化の波を受け，21世紀前半の50年間で２割以上の人口減少が統計上確実視されている．今後の都市インフラ整備を中長期的に展望した場合，事業量は高度経済成長時代と同様に拡大し続けることはなく，より質の高度化が求められること，補修・保守など維持管理関連事業や環境，社会福祉関連事業の割合が高まること，などが予想される．建設から改良・維持補修の時代へ移行するなか，必要なインフラ整備は今後とも着実に実施するとともに，これまで蓄積した社会資本をいかに守っていくかがわれわれに課せられた責務である．

また，社会・経済情勢の変化の中で官民とも組織のスリム化，少数精鋭が求められ，加えて，安全確保，環境保全，ライフサイクルコストを含む経費節減など，いろいろな点でこれまでのインフラ整備に厳しい批判の声があることも事実であり，これらの声に真摯に応えていくことが要請されている．さらに，橋梁談合問題，マンション耐震偽装問題など技術者の職業倫理も厳しく問われている．

こうした状況のなか，高度経済成長を支えてきた団塊の世代が来年には大量に定年を迎え，「2007年問題」としてクローズアップされている．団塊の世代を1947～1951年生まれの５年間でみると約1,100万人おり，日本の総人口の約９％を占める．これからの数年間に数多い団塊の世代が続々と定年退職し，大量の社員が抜ける生産現場，建設現場では，労働力不足に加え熟練した技術者が減り技術の向上・継承が難しくなるなど，われわれ技術者にとって大きな課題となっている．

これまで，地下鉄大江戸線や新交通など鉄軌道系の事業に長年携わってきたが，建設とリニュウアルや維持補修の両方の仕事を業務として経験できたことは技術者として幸せなことであった．新線の建設は，われわれの技術力の向上・継承や新技術の導入の機会を提供してくれたし，営業線の保守改良は，日常の業務を通じて熟練技術者の養成と安全意識を醸成するとともに，お客様のニーズに直接応え，サービス向上に資することができ，技術者にとって大きな喜びを与えてくれた．とくに鉄道の建設・保守・安全運行は，土木・軌道・建築・設備・電気などの多くの技術から成り立っており，日常の業務を通じそれぞれの技術の専門性を高めるとともに，「文殊の知恵」のことわざのように立場や専門が違う技術者が互いに議論し，知恵を絞りあうなど，切磋琢磨することで総合的な技術，コーディネイトする力を養ってきた．

これまでそれぞれの組織において，人材育成や技術の向上・継承に取り組んできているが，団塊の世代が卒業を間近にひかえた今，第一線で活躍している多くの技術者が技術の向上・継承について憂え，そして提言している．「団塊の世代の知識・技術や経験を伝えて」，「技術を継承して信頼回復を」，「シニア技術者を役立てよう」，など表現はさまざまであるが，団塊の世代の技術力の活用に対する期待は大きい．

従来の人材育成や技術の向上・継承プログラムに加え，NPO(非営利組織)の活用，ベテラン技術者を技術指導ための専任部署への配置，製造業では熟練技術者をマイスターに認定し若手社員の教育訓練を開始したところや，医療の分野では手術の技量向上を促すため技術認定制度を発足させるなど，さまざまな取り組みがはじまっている．

しかし，高年齢者雇用安定法にもとづき再任用，再雇用というかたちで定年を延長している自治体や民間企業において，彼らベテラン技術者の持つ知識・経験・能力・技術を十分発揮できる体制に必ずしもなっておらず，試行錯誤をしているのが実状である

ベテラン技術者や熟練技能者の不足はインフラの整備・保全や，日本のものづくりなど日本経済にとって深刻な問題である．人材を確保し，技術水準の低下をくい止めるためには団塊の世代が意識・自覚し行動することが重要であり，雇用・勤務体系の多様化なども視野にいれた官民一体の取り組みが望まれる．

施工

小土かぶりマサ土区間や大量湧水を克服して長大トンネルを掘る

—九州新幹線　玉名トンネル—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局玉名鉄道建設所所長　徳　永　潔　計
鉄道・運輸機構九州新幹線建設局玉名鉄道建設所担当副所長　難　波　雅　文
熊谷・日本国土・大旺・橋口特定建設工事共同企業体所長　江　藤　俊　文
飛鳥・佐伯・大木特定建設工事共同企業体監理技術者　松　藤　孝　弥

1　はじめに

九州新幹線鹿児島ルートは博多駅を起点とし，熊本駅を経由して鹿児島中央駅に至る工事延長約249kmの路線である(図-1)．

すでに平成16年３月には，新八代～鹿児島中央間(約128km)が部分開業しており，残りの博多・新八代間(約121km)は，船小屋・新八代間が平成10年３月に，また博多・船小屋間についても平成13年４月に工事着手し，現在最盛期を迎えている．

本工事は，博多・新八代間でトンネル延長が２番目に長い6,800mのトンネル工事である．

本稿では，掘削時における特殊地山対策，大量湧水対策などについて報告するものである．

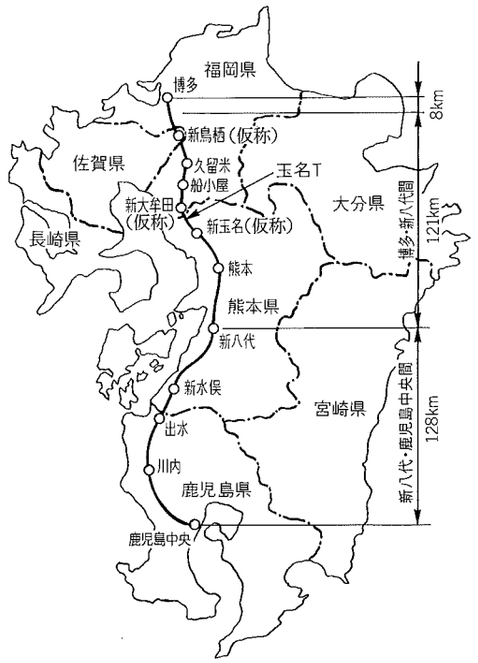


図-1　施工位置図

2　工事概要

玉名トンネルは，熊本県玉名郡南関町から熊本県玉名市に至る新幹線複線断面のトンネルであり，掘削工法は山岳NATMを採用している．

トンネルは，南北に分割して施工することとし，それぞれの工区延長は，起点方の北工区が2,525m，終点方の南工区が4,275mである．

トンネル坑口付近は，両側とも緩やかな斜面に位置し，縦断勾配は南関町および玉名市の行政境をサミットとし，起点方が10.5‰，終点方が9.5‰となっている．

表-1　玉名トンネル工事概要

工事件名	九幹鹿，玉名T(北) 他1・2・3工事	九幹鹿，玉名T(南) 他1・2工事
工事場所	熊本県玉名郡南関町	熊本県玉名市，玉名郡南関町
工期	平成10年7月28日～ 平成18年3月2日	平成12年3月23日～ 平成18年3月22日
トンネル延長	2,525m	4,275m
平面線形	直線	直線，R=6,000m
縦断勾配	上り10.5‰	下り9.5‰
掘削断面積	約80m²	
掘削工法	NATM	
掘削方式	機械，発破掘削方式	発破掘削方式

3　地形・地質概要

本トンネルは，熊本県北部の筒ヶ岳，観音岳および丸山の連峰を形成する小岱山の東側斜面を貫いている．

トンネル起点方坑口付近約700mの区間は，土かぶり20～30mの台地であり，工区境付近では最大土かぶり約260mを有する．

台地部の地表のほとんどは水田，畑地として利用されているが，民家やため池なども散在する．

地質は主に中生代白亜紀に貫入した細粒～中粒の黒雲母花崗岩からなり，アプライト，ペグマタイトといった優白色の脈を伴う．また山裾の台地部は阿蘇火山を起源とする火山灰と溶結凝灰岩が花崗岩を覆っており，沢部には段丘堆積物が見られる．この台地の基盤となる花崗岩は著しく風化を受け，厚さ20～30mにわたりマサ化し，土砂状を呈す．

トンネルは，図-2に示すように，起点方坑口より700mまではマサと溶結凝灰岩を，それ以奥は，硬質な花崗岩(中生代・白亜紀・油須原型花崗岩類)を掘削することとなった．

主体となる花崗岩の地質調査結果では，ほとんどの区間で弾性波速度が3.2～5.4km/secの値を示しており，比較的新鮮で堅固な岩質状態であると推測されていた．しかし，終点方の南工区では低速度帯(破砕帯)が10か所推定されており，掘削時においては，多少の湧水が伴うと予測されていた．

地質凡例

地質時代			地層名		記号	地質構成
新生代	第四紀	沖積世	河床堆積物層		A	砂礫・砂
			崖堆層		Dt	礫混じり粘性土・粘土
			火山灰層		V	黒ボク・火山灰質粘性土
		洪積世	阿蘇溶結凝灰岩類		wt	溶結凝灰岩・軽石質凝灰角礫岩
			段丘堆積物層		D	砂礫・土丹
	?新第三紀	洪積世～鮮新紀	金峰山溶岩類	二ノ岳・三ノ岳安山岩類	an2	両輝石安山岩主体
				二ノ岳・三ノ岳凝灰角礫岩類	tb2	凝灰角礫岩主体
				古金峰山安山岩類	an1	両輝石安山岩主体
				古金峰山凝灰角礫岩類	tb1	凝灰角礫岩主体
			筑紫溶岩類		Tℓ	安山岩質凝灰角礫岩
	古第三紀		赤崎層群		Tp	細粒砂岩，頁岩を主とし，よく固結した礫岩をはさむ
中生代	白亜紀		脈岩		Qp	石英斑岩
			花崗岩類	油須原型花崗岩類	Gr	黒雲母花崗岩・巨晶質花崗岩
				朝倉型花崗閃緑岩類	Gd	花崗閃緑岩

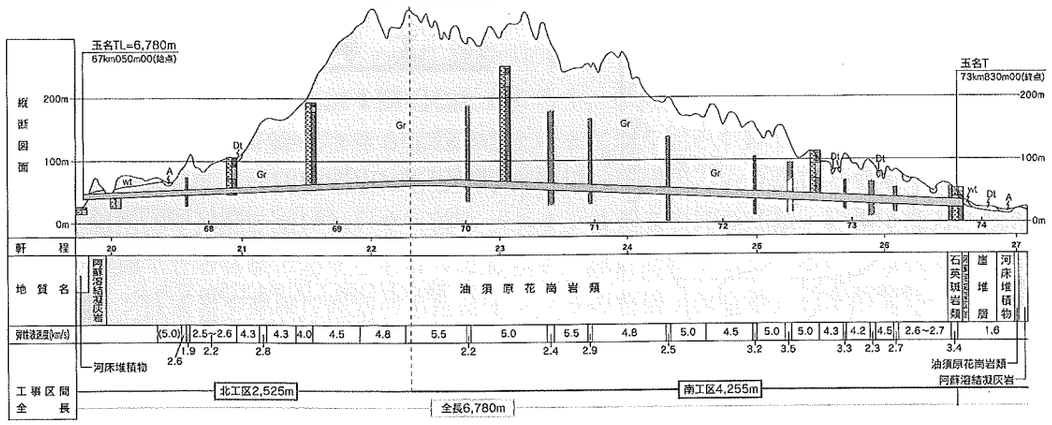


図-2　地質縦断図

表-2　支保パターンの実績

パターン名	施工延長(m)	
	当初計画	実施
I_L	0	782.5
I_N	2,007.0	2,529.3
II_N	160.0	2,757.8
III_N	1,750.0	404.0
IV_N	2,840.0	326.4
計	6,757.0	6,800.0

表-3　支保の内容

パターン名	吹付けコンクリート	鋼製支保工	ロックボルト	1サイクル長
I_L	最小厚15cm	150H 上下半	L=3m 14本	1.0m
I_N	最小厚12.5cm	125H 上下半	L=3m 14本	1.0, 1.2m
II_N	平均厚10cm	—	L=3m 10本	1.5m
III_N	平均厚10cm	—	ランダム	2.0m
IV_N	平均厚 5cm	—	ランダム	2.5m

4　施工状況

4-1　支保パターンの実績

マサ土は，NATM設計施工指針[4]の標準支保パターンにおいて，特殊地山として位置づけされており，その支保パターンはI_Lに相当する．本トンネルにおいても，指針を参考に支保パターン(I_L)を選定し実掘削を通して支保パターンの適応性を検証することとした．

花崗岩では当初，標準支保パターンはおおむねIV_Nで計画されていたが，破砕帯，湧水箇所が予想以上に多く，I_NおよびII_Nが主な実施パターンとなった．表-2に実施支保パターンの延長を，表-3に支保の内容を示す．

4-2　北工区の施工状況

北工区は，平成11年3月に南関町方より横坑掘削を開始し，同年6月に本坑交差部に到達．本坑掘削は平成11年6月に開始し，平成14年3月に所定の工区境位置に到達した．

4-2-1　マサ土区間における支保パターンの検証

マサ土区間の掘削は，支保パターン(I_L)により本坑の掘進を開始した．本坑断面を約10m掘進した時点で変状(吹付けコンクリートのせん断破壊，内空側への押し出し12cm)が発生し，縫い返しを余儀なくされた．原因としては土かぶりが小さいため(約15m)降雨によりマサ土上位の粘土層(旧表土)と砂質火山灰の境界に水が回り，支保の能力を超えた緩みが発生し，変状を誘発したものと推定される．

このため，吹付け厚を20cmとして支保の剛性を上げたほか，鋼製支保工底板プレートを30×30cmとして接地面積を大きくして脚部沈下を防止した．また，変形余裕を10cmとし，吹付けコンクリートによるインバート仮閉合を実施した．変状部を含む約36mをこの支保パターンで掘進した．

上記以外の区間は，表-3に示す支保パターン(I_L)にて掘進したが，とくに問題はなく，マサ土区間における支保として適切であったものと考えられる．しかし，湧水などにより地山条件が変われば，前述と同様に変状が発生する可能性は大きい．地山の状況を把握し，早期に適切な対策工を適用することが，マサ土を掘削するうえでとくに重要であることを再認識させられた．

また，本工事において切羽に現れたマサ土の上部は旧表土であり，粘土化して遮水層を形成しているため，その上位の砂質火山灰が帯水し，そこから絶えず水が湧出する状況であった．この湧水が地山の安定を損なう原因となり，トンネル路盤が著しく泥濘化し，施工に大きな支障をきたしたことから，掘削に際しては水抜きボーリングで水位低下を図り，地山の安定を確保した．また，泥濘化対策としては，早期にインバートを施工することが有効であるが，手順として本インバートの施工が遅れるため，吹付けコンクリートによりトンネルを閉合して地山の安定を確保したほか，良質材で埋め戻すことにより施工状態の悪化を防いだ．

4-2-2　補助工法の適用実績

補助工法は天端の安定，切羽の安定，湧水対策を目的として適宜採用した．とくに地山が未固結の砂質土(マサ土および砂質火山灰)のため，天端

の自立は困難な区間が多く，補助工法の適用は不可欠であった．**表-4**に適用した補助工法を示す．

4-2-3　花崗岩での掘削状況(機械掘削)

掘削の進行に伴い，地山はマサ土から次第に新鮮な花崗岩へと変化したため，掘削方式も機械掘削から発破掘削に変更した(変更位置は67km676m)．しかし，土かぶりが30～35m程度と比較的小さいため，発破による振動・騒音が，地表部に点在する民家に影響を及ぼすことが予想され，実際に発破によって通常の生活に支障をきたすとの苦情が寄せられた．このため，発破掘削は，115m進行した時点で断念し，その対策として**表-5**の3工法について比較検討した．

その結果，本来発破掘削の領域である岩盤掘削を大型自由断面掘削機(300kW級)による機械掘削に変更した．機械掘削は平成12年8月30日より開始し，騒音・振動をほとんど出さない状態で掘進を続けた．この間の掘削においては，トンネル直上の住民からの苦情もなく，期待どおりの成果を得ることができた．

切削に伴う地表面(民家玄関)の振動・騒音測定結果を**表-6**に示す．

その結果は期待以上の数値であり，時間の制約を受けることなく，昼夜でのトンネル掘削作業を実施することができた．

機械掘削を実施した延長は514m，平均月進は約68mを記録し，大型自由断面掘削機の施工能力の高さを確認するところとなった．地山の強度は40～86MPaであり，また亀裂の発達した地山も多かったことから，支保パターンはI_N～II_Nを採用した．

表-4　補助工法一覧表

補助工法	目的	内容	適用範囲
充填式先受け工	天端の安定確保	モルタル充填式フォアポーリング L=3m,10～30本/断面	・マサ土区間一般部 ・67km050～67km940
注入式先受け工	天端の安定確保	シリカレジン注入式フォアポーリング L=3m,10～18本/断面	・充填式で安定が保てない場合に適用 ・打設総数338本
小口径長尺鋼管先受け工(small-P工法)	天端の安定確保	φ60.5㎜鋼管 L=12.0m 注入剤は自穿孔ボルト用プレミックスモルタル	・沢部直下(土かぶり8m) ・トンネル露出区間の前後 ・打設総数139本
長尺鋼管先受け工(AGF-P工法)	天端の安定確保 地表面の沈下抑制	φ114.3㎜鋼管, L=12.5m 注入剤はセメント系薬液(超微粒子セメント)	・民家直下(土かぶり18m) ・打設総数224本
水抜きボーリング	湧水対策	φ135㎜ ロータリーパーカッション式ボーリング 30m×2本/セット実施	・AGF-P工法区間で併用 ・湧水により切羽の自立が困難な区間 ・総延長670m
インバート仮閉合	地山の安定確保 路盤の泥濘化防止	吹付けコンクリート (t=15cm)によるインバート仮閉合	・変状区間，押し出しが懸念される区間 ・湧水により路盤の泥濘化が著しく施工に支障をきたす区間

表-6　切削中(大型自由断面掘削機)の騒音・振動

騒音	平均40dB	最大48dB
振動	平均40dB	最大50dB

(地表32.5mでの測定結果)

表-5　掘削工法比較表

	制御発破工法	機械掘削工法	割岩工法
施工概要	・分割発破などで薬量を制限し，振動・騒音を抑える工法． ・斉発薬量を減らすため，電子雷管やNONELなどを使用し，起爆時間の制限を必要とする．	・発破工法の分野である中硬岩地山を低振動・低騒音で施工できる自由断面掘削機を用いて掘進する工法．	・割岩孔を削孔後，油圧くさびで割岩し，その後油圧ブレーカや自由断面掘削機で2次破砕し掘進する工法．
適用性	・振動の低減には効果があるが騒音低減は期待できない．夜間作業に制約を受ける可能性が大きい． ・薬量を抑制する必要があるため，分割発破や進行長を50cm程度に抑えるなど，工事の進捗が著しく阻害される．	・発破振動・騒音に比べ，発生源でのパワーレベルが格段に低いため，低減効果は十分期待できる． ・施工機械は地質状況を十分把握したうえ，適合機種を選定する必要がある．	・振動・騒音の低減効果は非常に大きい． ・ほかの工法に対し，進行が大きく落ちるため，工期に対する影響が非常に大きい．
評価	△	◎	×

4-2-4　発破掘削状況

北工区では，民家への振動・騒音の影響が少ない地点まで機械掘削を行い，その後発破掘削に変更して掘進を継続したが，到達点までの地山はきわめて堅固な状態で突発湧水などもなく，順調に施工が完了し，平均月進は約100m以上であった．支保パターンは，地山の亀裂などの状況別によりII_N～IV_Nを基本としたが，途中で遭遇した3か所の破砕帯については，支保パターンI_Nにより対応することとした．

発破による騒音は坑内での減衰が少ないため，北工区坑口には防音扉を設置したほか，トラックコンテナー工法(TC工法)を採用して，深夜以降の発生ずりを坑内に仮置きすることとした．これにより夜間のずり空け音やダンプトラックの騒音は皆無となり，周辺環境に及ぼす影響を低減することができた．

4-3　南工区の施工状況

南工区は，平成13年2月に玉名市方より横坑掘削を開始し，同年4月に本坑交差部に到達した．本坑は平成13年5月に掘削を開始し，平成17年10月に北工区と貫通した．

4-3-1　大量湧水発生状況

本坑の掘削において，推定されていた10か所の破砕帯のうち，福山川直下に位置する9か所目(終点方坑口より南関町方に向かって約3,100m付近)を掘削中，切羽より6 tf/minの集中湧水が発生し，坑内全体の湧水量が15tf/minとなった．これにより坑内が水路化したため，掘削を一時中断せざるを得ない状況となった．

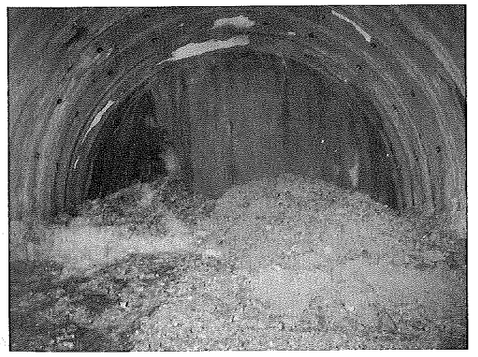


写真-1　切羽出水状況

発生箇所の切羽は，花崗岩ではあるものの切羽左側の約2/3が茶褐色に変色し，マサ土化しており大量の湧水を伴っていた．この強風化部分が湧水とともに流出して空洞化し，湧水も茶色を呈しており，切羽は自立困難な状況であった．また，切羽右側部は比較的硬質な花崗岩であったが，10cm角の細かな亀裂が入っており，ブレーカなどの軽い打撃でもろく崩れる状況であった(**写真-1**)．

4-3-2　対策工の実施

大量湧水への対策として，(1)切羽安定対策，(2)濁水処理設備の増設，(3)坑内水の清濁分離工，(4)今後の湧水区間対策などが挙げられる．以下，これらの対策工について述べる．

(1)　切羽安定対策

切羽安定対策は，切羽からの湧水の水みちを変え，切羽自体を安定させることを目的とし，φ115㎜の水抜きボーリングを切羽後方10mより計7本，総延長450mを施工するとともに(**写真-2**)，掘削1サイクルごとに切羽への集中的な探り削孔

写真-2　水抜きボーリング施工状況

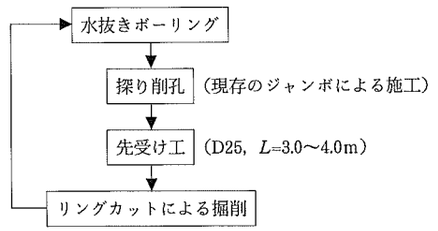


図-3　掘削フロー

を実施し，水抜きおよび地質の確認を行った．

また，先受け工については，AGF工，鋼管および鋼矢板による先受け，注入式フォアポーリング，フォアポーリングなどが考えられたが，切羽状況および湧水状況から，一般的な３～４mの鉄筋によるフォアポーリングを採用した．

掘削フローを図-3に示す．

（２）　濁水処理設備の増設

出水前の濁水処理設備能力は11tf/minであったが，この出水により全体湧水量が処理能力の約1.4倍となったため，濁水処理に障害が発生した．

全湧水量を処理するために，次項で述べる清濁分離工と並行して，濁水設備容量を６tf/min増強し，総設備容量を17tf/minとした．

（３）　清濁分離工

切羽後方10mに施工した水抜きボーリング孔からは4.8tf/minの清水が出ており，坑内に６インチ管１条と８インチ管１条を約3,500m配管し，清水を直接坑外へ送水した．

以上の対策工を実施し，多量の湧水を含んだ破砕帯区間を突破した．

4-3-3　今後の推定湧水区間への対応

南工区で推定されていた石尾川直下の10か所目（終点方坑口より南関町方に向かって約3,800m付近）の破砕帯についても，リニアメントの方向などから湧水発生区間を推定した．

福山川直下の破砕帯では，大規模なリニアメントと推定の低速度帯が一致する付近で湧水出現の実績があったことから，石尾川直下の破砕帯でも，東一西走行のリニアメントと推定低速度帯の一致する箇所付近での湧水発生を想定した．湧水発生推定区間は，地表踏査による節理の傾斜を想定し，また，既掘削区間の実績による水みちの方向より約290mとした．

この区間では，掘削に先立ち切羽左側より先方の地質調査を実施して切羽先方の状況を把握することとし，調査ボーリング１回の施工延長を90mとし，10m以上のラップをとって４本実施した．ボーリングの実施に際しては，スライムの色，削孔水の色，打撃のトルク数，削孔時間などをケーシング１本ごとに記録し，前方の地質状況の把握に努めた．

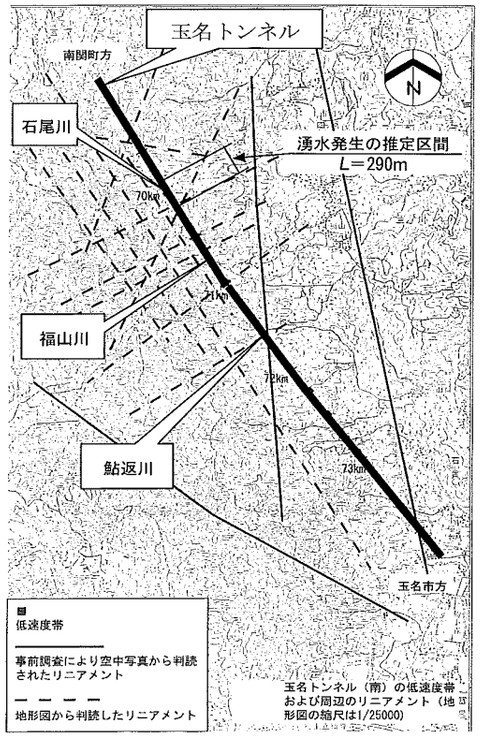


図-4　玉名トンネル周辺のリニアメント

また，ボーリング完了後の孔口からの湧水は，最大0.5tf/min程度であった．ロッド引き抜き時にある程度の湧水区間が予想できたため，本坑掘削時にはジャンボによる探り削孔の本数を増やし，切羽の安定を維持した．その結果，切羽の不安定化も見受けられず，地質的にも想定内の破砕の程度であったことから，無事，石尾川直下の破砕帯を突破することができた．

玉名トンネル周辺のリニアメントを図-4に示す．

4-4　南工区の切羽評価点と装薬量

掘削パターン選定のため，切羽の状態，風化変質状況，割れ目状態，湧水状況などの項目について観察を行い，図-5に示す切羽観察記録に整理した．各観察結果内容は１～４点で採点する形とし，その合計点を既施工分の各パターン合計点と比較し，パターン選定の目安とした．また，発破での装薬使用量も集計し，切羽評価と同様に目安とした．

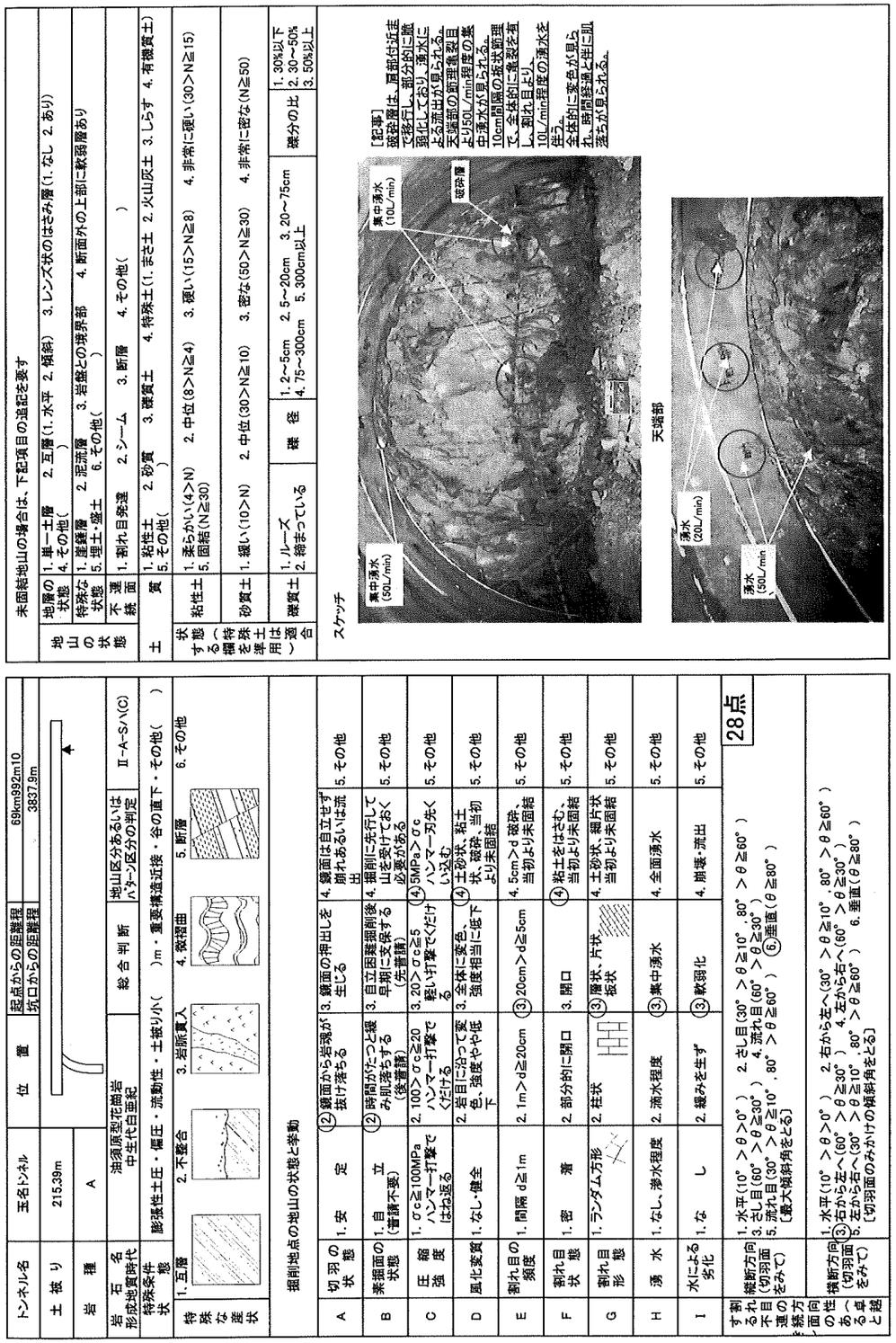


図-5　切羽観察記録

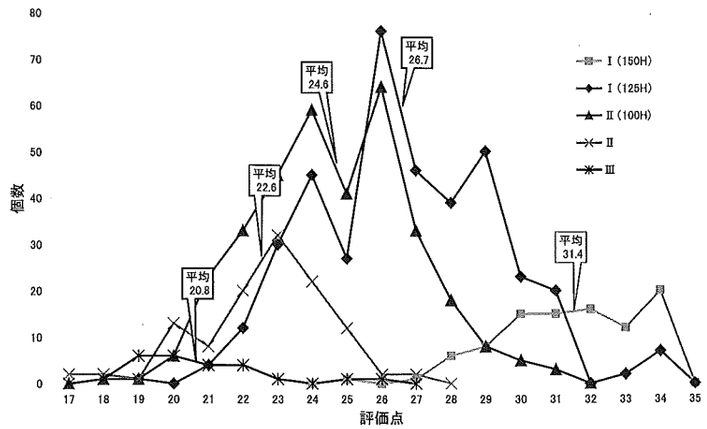


図-6　切羽評価点による度数分布

表-7　切羽評価点と装薬量

支保種別	鋼製支保工	吹付け厚	切羽評価点	装薬量 (kg/m³)
I_L	150H　上下半	最小厚　15cm	31.4	0.37
I_N	125H	最小厚12.5cm	26.7	0.67
II_N	なし	平均厚　10cm	22.6	0.85
II_N'	100H (金網ガイド鋼)	平均厚　10cm	24.6	0.78
III_N	なし	平均厚　10cm	20.8	0.93
IV_N	なし	平均厚　5 cm	−	−

各パターンの切羽評価点(平均点)および装薬量を表-7に，図-6にはパターン別の切羽評価点による度数分布グラフを示す．

火薬装薬量は，若干多いものと思われるが，これは破砕された地質であっても，岩塊自体は比較的強度が高かったことを示している．

岩区分は，目視確認，切羽評価点，写真，計測結果，装薬量などを総合的に勘案し判定した．切羽評価点は，亀裂の方向および大きさ，湧水，土砂混入状況などを考慮しており，各パターンとも整合の取れた値となっている．

5　おわりに

玉名トンネルは，北工区が平成11年３月に横坑掘削を開始して以来，約６年７か月を経た平成17年10月に全工区無事貫通の日を迎えた．

トンネル掘削時においては，小土かぶり区間の施工や毎分６tfの集中湧水があり，掘削を中止せざるを得ない時期もあったが，先受け工や水抜きボーリングなどの補助工法を採用し，無事貫通に至ったものである．

九州新幹線鹿児島ルートの全線開業に向け着々と工事が進んでいくなか，玉名トンネル工事の施工にご協力いただいた関係機関の方々，また，地権者の皆様をはじめとする地元関係各位のご協力のもと，無事に貫通を迎えることができたことを深く感謝いたします．

参考文献

1)　日本国有鉄道下関工事局・明治コンサルタント(株)：熊本北部地区地質調査その１報告書，1978.12.
2)　ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための制御発破工法の実際―発破による騒音や振動を制御する技術資料，1996.11.
3)　宇都暢生・荘子幸弘・橋詰順一・松藤孝弥：環境を考慮して機械掘削を採用―九州新幹線玉名トンネル北工区，トンネルと地下，Vol.32，No.11，pp.7-13，2001.11.
4)　鉄道・運輸機構：NATM設計施工指針，1996.8.

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析　　工博　鈴木　光著

A５判　箱入　244ページ　本体価格4,200円　(〒380円)

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

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

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

施工

大断面トンネルの脆弱地山区間を特殊支保工で克服

―第二東名高速道路　金谷トンネル―

中日本高速道路(株)横浜支社掛川工事事務所金谷工事長　岩本英将
中日本高速道路(株)横浜支社掛川工事事務所掛川工事長　河合朝仁
(株)奥村組・大日本土木(株)・太平工業(株)共同企業体所長　大志万久芳
鹿島建設(株)・(株)竹中土木・青木あすなろ建設(株)共同企業体所長　吉田安利

1　はじめに

第二東名高速道路金谷トンネルは，静岡県掛川市と島田市(旧榛原郡金谷町)との行政境に位置する標高532mの粟ヶ岳を東西に貫く上り線4,527m，下り線4,667mの第二東名高速道路で最長のトンネルである(図-1, 2)．

地質は，トンネル中央を境にして，東側の砂岩頁岩互層からなる古第三紀瀬戸川層群と西側の泥岩主体となる新第三紀倉真層群に大別され，倉真層群の中でも戸綿泥岩と呼ばれる脆弱な部分に，亀裂の発達した瀬戸川層群を加えるとD級地山がトンネル全長の７割を占めている(図-3)．

トンネル掘削断面積は，完成時には３車線となるため約190 m²の大断面となる．このため地質条件に応じてこの断面を安全かつ効率的に掘削するため

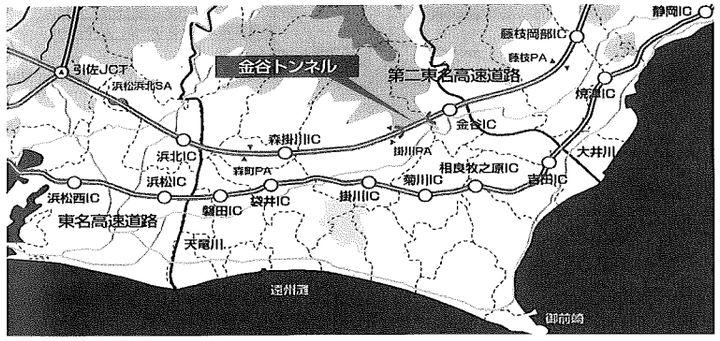


図-1　位置図(第二東名高速道路のインターチェンジ名称等はすべて仮称)

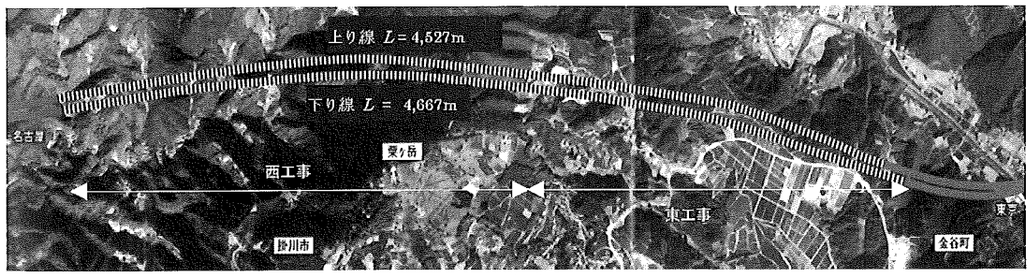


図-2　航空写真

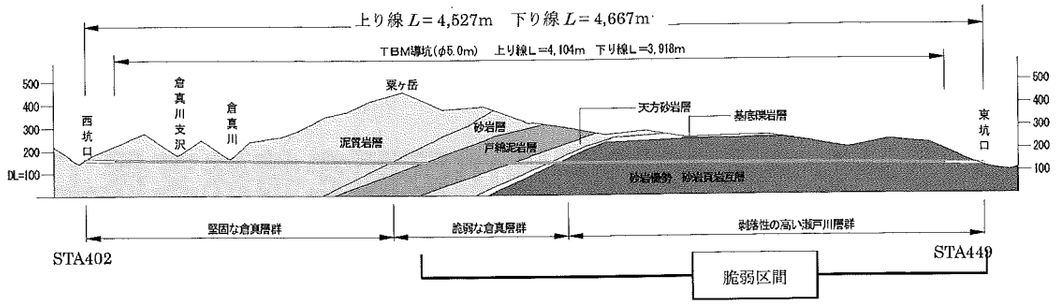


図-3　地質縦断図

TBM導坑先進拡幅掘削工法を採用している．

金谷トンネル下り線は，平成15年8月に本坑上半拡幅掘削が完了し，現在，東坑口付近の覆工約270mを残すのみとなっている．

上り線は東西両坑口から本坑拡幅掘削を進めており，平成17年11月末現在，上半貫通まで残り約1,300mとなっている．

本稿では，現在金谷トンネル東・西工事で進めている拡幅掘削時の施工状況および新工法・新技術を用いた特殊な支保パターンについて紹介するものである．

2　金谷トンネル東工事

金谷トンネル東工事(以下，「東工事」という)は，金谷トンネルの東側における上り線1,945m，下り線2,119mを掘削する工事である．

この区間の瀬戸川層群は強い褶曲作用による鏡肌を持つ頁岩と砂岩の互層であり，亀裂が発達していることから一般部では剝落の多い不良地山で，坑口部では偏圧地形条件下での施工となっている．

ここでは，東工事の施工事例として一般部でのTBM導坑を利用した事前補強工と東坑口付近の小土かぶり部における脚部沈下対策工の施工について紹介するものである．

2-1　事前補強工

2-1-1　事前補強箇所の選定

瀬戸川層群はTBM導坑施工時の情報により亀裂の発達した地質が把握できたことから，TBM導坑内からケーブルボルトによる事前補強工を行うこととした．補強箇所の選定にあたっては，導坑施工時に変状が発生した区間や，TBMデータから岩盤強度が低く天端崩落の発生が予想される区間を対象とし，上下線合計約1,040mについて選定を行った．

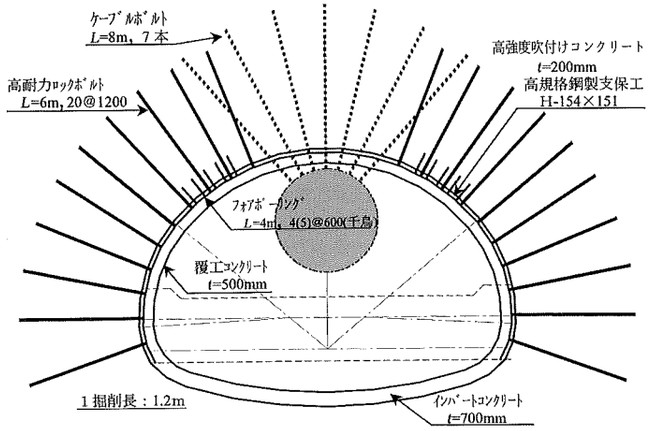


図-4　補強あり区間の支保パターン

2-1-2　事前補強区間の支保パターン

事前補強の設計にあたっては，①拡幅掘削時に6mのパターンボルトの打設範囲をカバーできること，②拡幅掘削によって切断される範囲をできるだけ短くすること，③直径5mのTBM導坑内から効率的な施工ができることなどを考慮しTBM導坑内から長さ8mのケーブルボルトを7本施工することとした(図-4)．

また，拡幅掘削により切断されたケーブルボルトにベアリングプレートを定着できる治具を開発することで(特許出願中)，吹付けコンクリートの支持が可能となったことから事前補強ボルトを先行支保として活用できないか検証することとした(写真-1～3)．

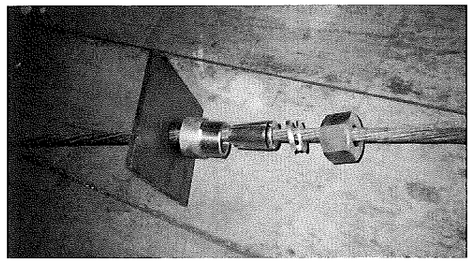


写真-1　ベアリングプレート定着治具

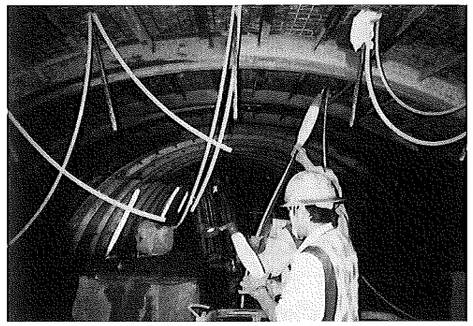


写真-2　ケーブルボルト施工状況

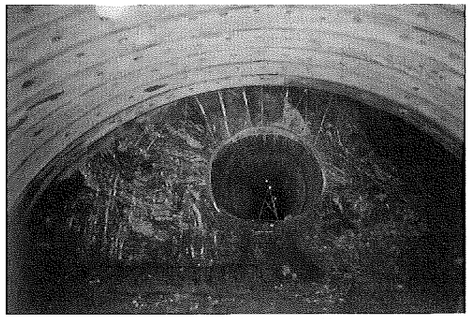


写真-3　拡幅掘削時の状況

2-1-3　検証結果

事前補強ボルトの支保効果の検証にあたっては，ケーブルボルトによる補強あり区間と補強なし区間から検証断面をおのおの3断面ずつ選定し計測を行いながら試験掘削を行った．

その結果，拡幅掘削時における，

①　天端沈下および内空変位の抑制効果

②　ゆるみ範囲の拡大の抑制効果

が確認され，またケーブルボルトの軸力も最大200kN程度でその降伏荷重以内に収まっていることから，ケーブルボルトが先行支保として効果を十分発揮できるものであると検証することができた(図-5)．これらの検証結果をもとに事前補強を行っている区間では，以降天端部のパターンボルトを削減した支保パターンによって効率的な施工を行った．

2-2　脚部沈下対策工

2-2-1　施工区間の概要

下り線東坑口部は地形的制約から斜面に平行したルートとなっており，また偏圧地形による地すべり対策工として施工された押え盛土内を通過するなど，偏圧・小土かぶりといったきわめて厳しい条件下の施工となった．

一般部の掘削はTBM導坑および拡幅掘削を坑口より約200m先の作業横坑から行ったことから，坑口部では事前の地質確認や水抜き効果，上半切羽の安定などを考慮し，中央導坑先進拡幅掘削工法を採用した(図-6(1)，(2))．

2-2-2　施工状況とトンネルの挙動

この区間は注入式のフォアポーリングおよびAGF工法で慎重に施工を進めた結果，切羽距離1Dにおける天端沈下はおおむね50㎜以内で推移していた．しかし，本線直下約10mを通過する牧之原送水管トンネルとの交差付近の掘削となったとき，切羽についてはとくに大きな変位が見られなかったにもかかわらず，切羽距離が0.5Dの時点の天端沈下が50㎜に近づくような状況となり，管理基準値を確保できない懸念が出てきたことから

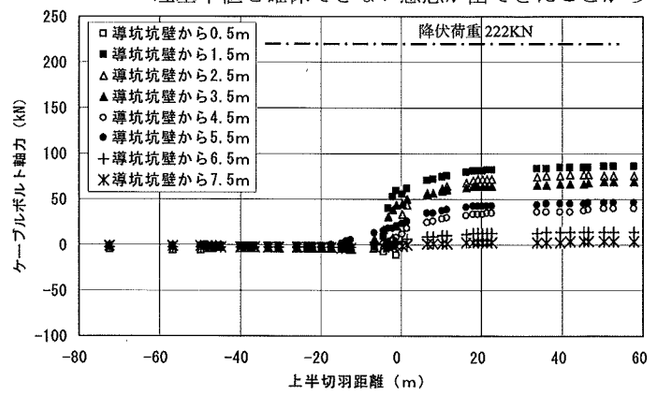
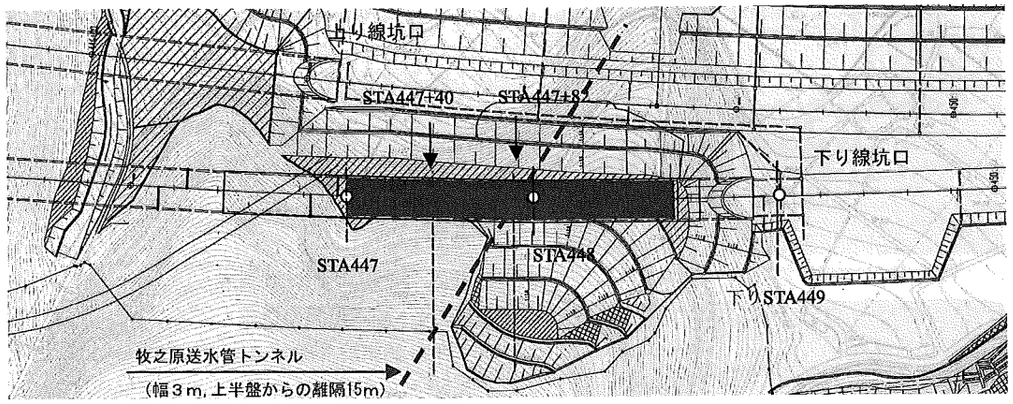
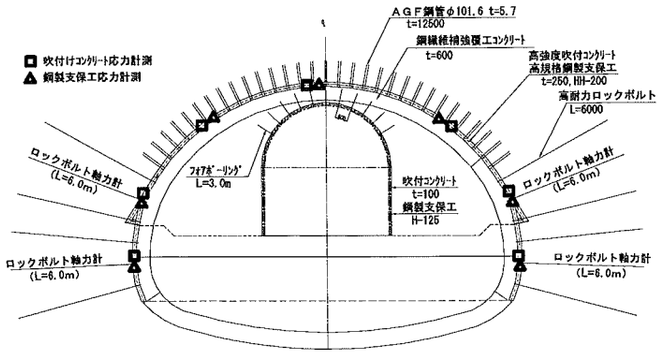


図-5　ケーブルボルトの軸力の推移(断面②：天端)



(1)平面図



(2)支保パターン例(STA447+82)

図-6 検証区間

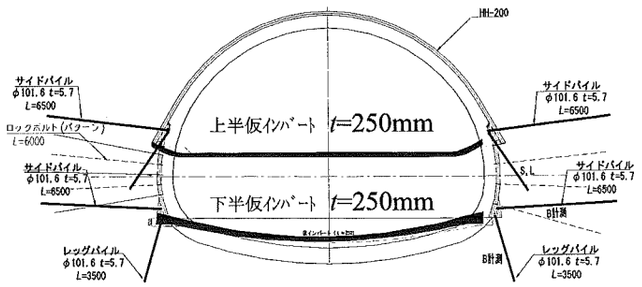


図-7 対策工施工パターン(STA447+82)

STA447+62付近で切羽を停止して既施工区間の上半脚部に脚部沈下対策工を施工した(図-7).

2-2-3 対策工

前記切羽停止後の上下半を含めた対策工手順の概要は次のとおりである.

① 送水管トンネルとの交差区間を中心に30m程度の範囲で上半左右脚部にレッグパイルおよびサイドパイルを施工.

② 掘削再開切羽においてレッグパイル・サイドパイルを施工しながらSTA447+00まで上半掘進.

③ 下半掘削に先立ち上半仮インバートの施工(送水管交差付近)をするとともに坑口から仮インバート区間の谷側を中心にレッグパイルおよびサイドパイルを施工.

④ 坑口から送水トンネル交差地点までの区間の下半掘削の切羽においてレッグパイル・サイドパイル・鋼製支保脚部へのプレロードシェルの施工(特殊縫製の耐圧袋を支保工と地山の間に設置し無収縮モルタルを圧入したもの).

2-2-4 対策工の効果

上半での沈下状況をみると対策工施工後は沈下が抑制されている様子が伺える(図-8).

また,下半で施工したレッグパイル・サイドパイルの応力測定結果から,先端支持・周面摩擦力による変位の抑制効果に加えて,トンネルの変位方向によっては曲げ剛性による変位の抑制効果が期待できるといえる(図-9～11).

3 金谷トンネル西工事

金谷トンネル西工事(以下,「西工事」という)は金谷トンネルの西側における上り線2,582m,

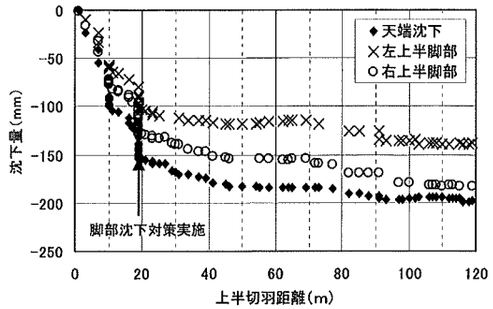


図-8 天端沈下と脚部沈下の推移(STA447+82)

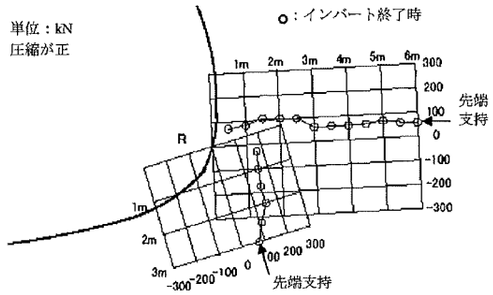


図-9 鋼管パイル軸力(STA447+82)

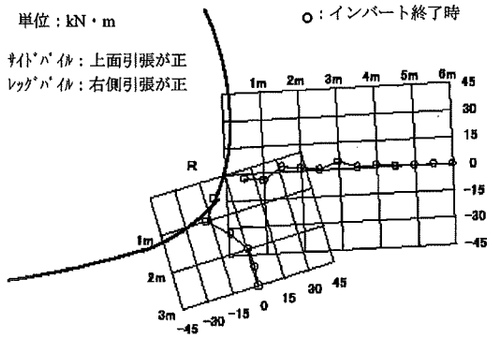


図-10 鋼管パイル曲げモーメント(STA447+82)

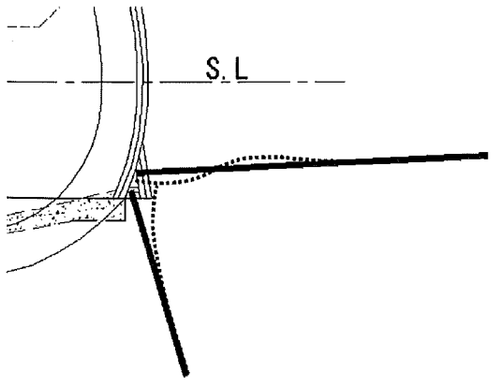


図-11 鋼管パイル変形モード想定図

下り線2,548mを掘削する工事である.西側の倉真層群は松葉塁層,戸綿泥岩層,天方砂岩層に大別される.松葉塁層は新第三紀泥岩としては比較的硬質な泥質岩層と,硬質ではあるが亀裂の多い砂岩層から構成されている.

一方,戸綿泥岩層や天方砂岩層は松葉塁層に比べて脆弱で,とくに戸綿泥岩層は地山強度が著しく劣ることや,スレーキングしやすい特徴を有している.戸綿泥岩層から天方砂岩層にかけての区間は,上下線TBM掘削実績では導坑内変状,天端崩落などが発生している.とくに戸綿泥岩層の区間は土かぶりが約250mと大きく,岩の性状から掘削後に地山変形が生じやすい脆弱地山区間となっている.

3-1 脆弱地山区間(下り線)での施工概要

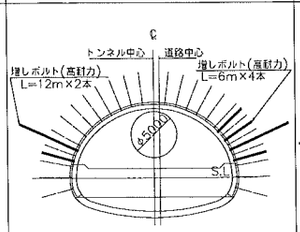
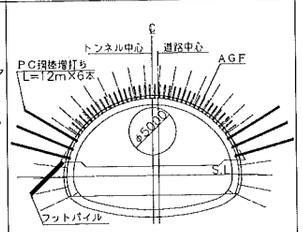
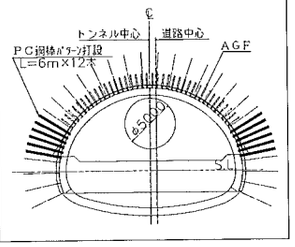
先行して拡幅掘削を実施した下り線で,TBM施工時の機械データや内空変位の増大などから本区間は相対的に地山の性状が悪いことがわかっていた.本坑拡幅前にTBM導坑からの地質調査やFEM解析を用いた支保検討を実施した.しかし予想以上に地山の性状が悪く,変位増大に伴う吹付けコンクリートクラックやロックボルト座金の変形など支保変状が生じたため,追加対策工やパターン変更を実施した.図-12にDⅠ,DⅠ(S),DⅡ各区間の代表的な支保パターンと追加対策工を示し,以下に,それぞれの地山区分における支保構造や,変状対策,変位状況などについて述べる(写真-4～7).

3-1-1 DⅠ区間

STA418+60～419+25の区間は地山強度比が2.0～4.0程度の値を推移していることからDⅠ標準支保パターンを適用した.上半掘削において内空変位が最大約80㎜に達し,脚部ロックボルトのプレートの変状や,天端部吹付けコンクリートのクラックなどの変状が発生した.上半脚部へロックボルト増し打ちという補強対策を実施した.

3-1-2 DⅠ(S)区間

STA419+25～420+00の区間は地山強度比が2.0以下となる範囲が多く,DⅠ区間より地山性状が悪くなることから,支保工,吹付けコンクリー

実施パターン		DⅠ	DⅠ(S)	DⅡ
支保パターン(上半)	鋼アーチ支保工	HH-154@1.2m	HH-200@1.0m	HH-200@1.0m
	吹付けコンクリート	t=200㎜	t=250㎜	t=300㎜
	ロックボルト	19本(290kN)	20本(290kN)	14本(290kN) PC鋼棒12本(748kN)
	その他	−	AGF　ϕ114.3，L=12.5m@500㎜	AGF　ϕ114.3，L=12.5m@500㎜
追加対策工		増ボルト(290kN)L= 6.0m×4本	PC鋼棒(748kN) L=12.0m×3本	−
		増ボルト(170kN)L=12.0m×2本	フットパイル　L=3.77m	−
代表パターン図				

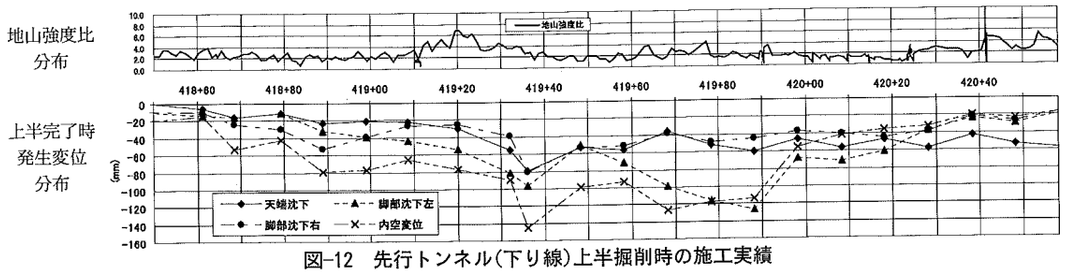


図-12　先行トンネル(下り線)上半掘削時の施工実績

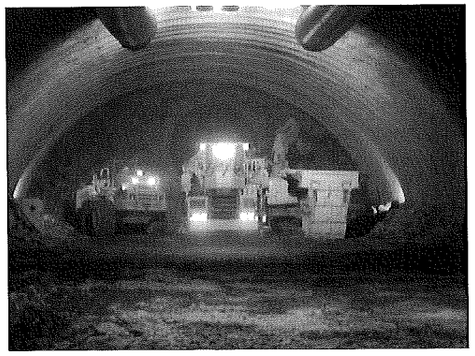


写真-4　倉真層群脆弱地山区間掘削状況

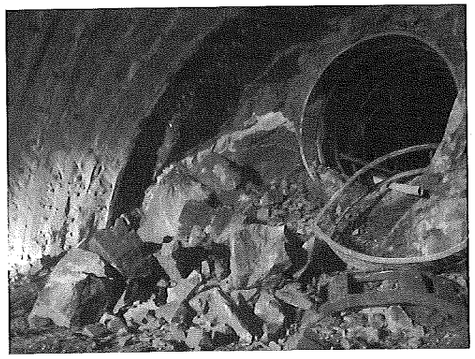


写真-5　トンネル崩落状況

トをランクアップし，さらに天端崩落防止を目的としたAGFを採用した設計とした．しかし，上半掘削時発生変位量は最大120㎜程度に達し支保変状が生じた．対策として通常の高耐力ボルトによる増しボルトなどを打設したが十分な効果が得られなかった．次にB計測結果からロックボルト耐力が不足していることが確認できたため，より耐力の高いPC鋼棒12m(748kN)を増し打ちした．その結果，変位速度が急激に減少し，顕著な変位抑制効果が発揮された(図-13参照)．

3-1-3　DⅡ区間

STA420＋00～420＋80の区間は地山強度比が2.0以下を推移しており，もっとも地山性状が悪い区間である．前区間での対策を参考に，PC鋼棒6mをパターンボルトとして打設する支保パターンを採用した．その結果発生変位量は図-13に示すとおり急激に減少し，上半掘削時に60㎜程度に抑えることができた．

3-2　PC鋼棒の効果

3-2-1　打設位置と発生変位量

図-13にDⅠ(S)，DⅡ区間におけるPC鋼棒による変状対策の施工位置と変位量の関係を示す．これより，切羽直近での打設ほど，その内空変位抑制効果が高いことがわかる．また，脚部沈下についても変状対策施工前後の変位勾配変化が内空変位と同様の傾向を示していることから，PC鋼棒による地山拘束を行うことにより，上半脚部地山の塑性化を防ぎ，脚部沈下の防止にも寄与していると考えられる(**写真-8**)．

3-2-2　地中変位量

地中変位の経距変化図を**図-14**に示すが，DⅡ区間においては各深度の変位量が経時的に同じ比率で増加しているのに対して，DⅠ(S)区間では

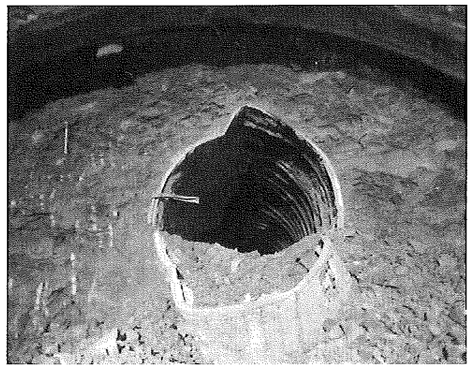


写真-6　TBM導坑変形状況

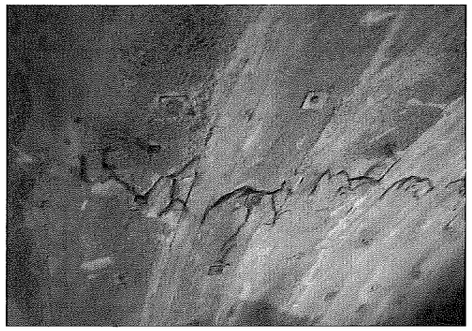


写真-7　吹付けコンクリートのクラック

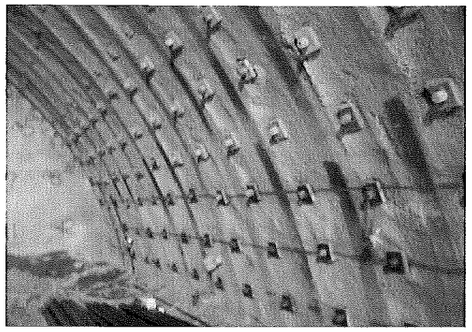
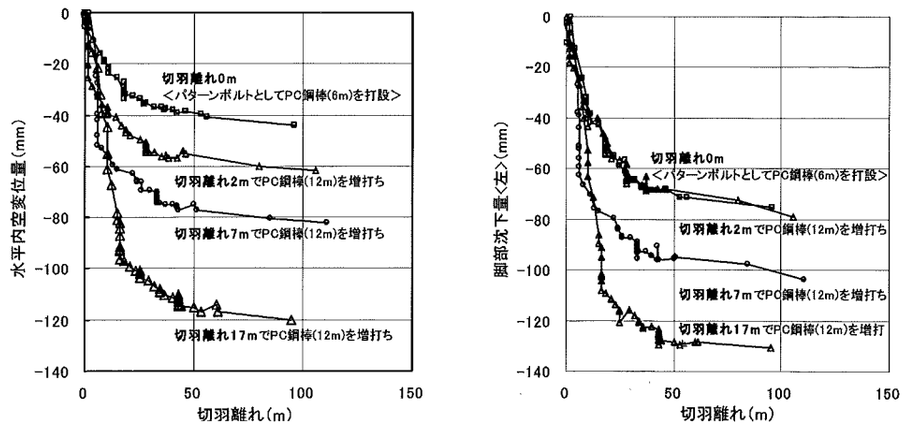
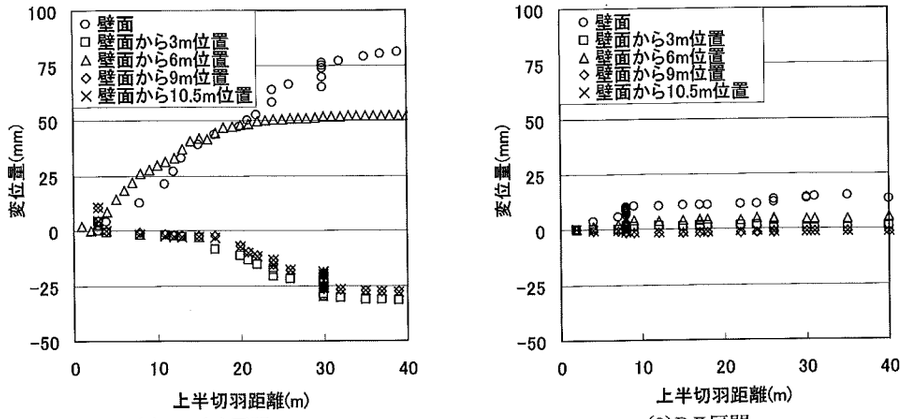


写真-8　PC鋼棒打設状況



(1)内空変形　　(2)脚部沈下

図-13　PC鋼棒打設位置別の内空変形および脚部沈下



(1)DⅠ(S)区間　　(2)DⅡ区間

図-14　地中変位経距変化図

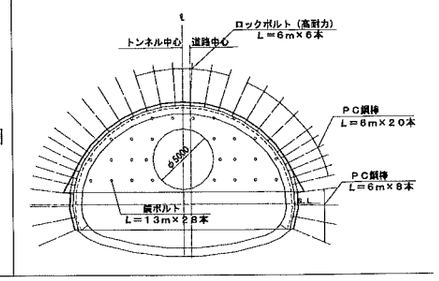
実施パターン		DⅡ(1)
支保パターン	鋼アーチ支保工	HH-200@1.0m（ウィングリブ付き）
	吹付けコンクリート	t=300㎜
	ロックボルト	28本(PC鋼棒)，6本(290kN)
	その他	鏡ボルト　L=13.0m，28本
代表パターン図		

図-15　上り線脆弱地山における支保パターン

それにバラツキが見られる．これはDⅡ区間の周辺地山が弾性挙動範囲内にあるのに対して，DⅠ(S)区間については塑性挙動を示しているものと判断できる．つまりDⅡ区間についてはPC鋼棒をパターンボルトとして打設することにより，周辺地山の塑性化を最小限に抑えている結果であると考えられる．

3-3　上り線トンネル支保パターンの設定

本トンネルの上り線には下り線と同様の戸綿泥岩層区間があり，TBM掘削時においても地山強度比が2前後と脆弱な区間である．後発である上り線掘削では，下り線の計測結果，切羽観察結果などのデータと上り線TBM内から行った地質に関する調査結果をもとに下り線変状対策で用いたPC鋼棒をパターンに取り入れ支保パターンを設定し，現在脆弱地山での掘削を進めている．

図-15に上り線脆弱地山における代表的な支保パターンを示す．

4　おわりに

現在，東工事も西工事も上り線の拡幅掘削を進めている．全般的に下り線よりも上り線の方が地山状況が悪くなっている．

東工事は，天端崩落や脚部沈下が発生するなか，PC鋼棒の採用や鋼製支保工のサイズ見直しなどにより変位を抑制しつつ慎重に掘削を進めている．

西工事は，設計支保パターンにて施工を進めているが，ロックボルト破断や吹付けコンクリートのクラックが発生し，一部増し打ちや増し吹きを行いながら慎重に施工を進めている．

事前補強による緩み拡大の抑制，PC鋼棒を用いた塑性化防止による脚部沈下対策など，さまざまな取り組みをしているが，地質性状に合わせた適切な対策工法の使い分けを行い，安全でコスト縮減につながるトンネル掘削を進めていきたい．

施工

JR神戸線高架橋下の函型トンネル下に道路を増設

—神戸市道路公社　新神戸トンネル第Ⅱ期築造工事—

西日本旅客鉄道(株)大阪建設工事事務所神戸工事所助役　柏原　茂
西日本旅客鉄道(株)大阪建設工事事務所神戸工事所施設管理係　田村暢慶
ジェイアール西日本コンサルタンツ(株)土木設計部主幹技師　川下光仁
大鉄工業(株)生田川作業所所長　大谷良輝

1　はじめに

新神戸トンネル有料道路は，昭和51年の供用開始以来，神戸の市街地と北部地域(以下，北神地域と呼ぶ)とを結ぶ幹線道路として，その役割を果たしてきた．しかし，北神地域の発展が進むにつれて交通量は増加の一途をたどり，山陽新幹線新神戸駅の南側に位置するトンネル出入口付近においては，朝夕ラッシュ時の渋滞が慢性化していた．

そこで，有料道路を管理運営する神戸市道路公社は，国道2号線や阪神高速道路神戸線などの主要幹線道路へ接続して渋滞の緩和を図るとともに，神戸空港(平成18年2月開港)と北神地域のアクセス機能の強化を図ることを目的として，新神戸トンネルを国道2号線まで延伸する決定を下した(図-1)．

本稿は，その新神戸トンネル延伸部と東海道本線(JR神戸線)灘・三ノ宮間との交差箇所に，北行線と南行線の2つのボックストンネル(生田川架道橋)を構築する工事のうち，北行線のアンダーピニングによる施工について述べるものである．

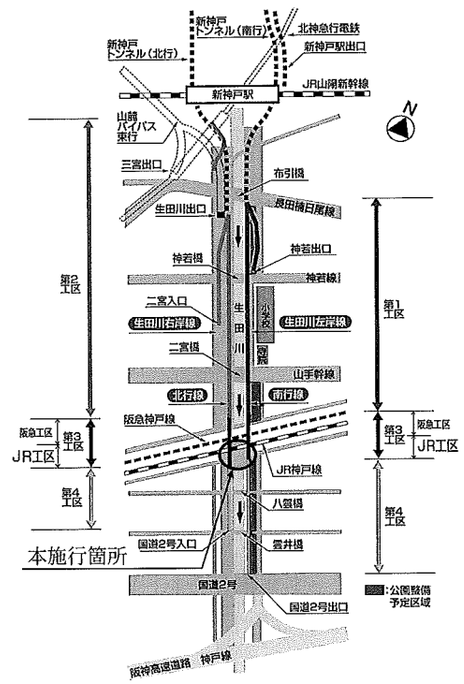


図-1　位置図

2　工事概要

2-1　トンネル概要

生田川架道橋は，生田川の右岸(西側)に位置する北行線49mと左岸(東側)に位置する南行線38m

のRCボックス構造のトンネルである(**表-1**).

直上の東海道本線の高架橋は，下りが昭和６年，上りが昭和12年と２回に分けて建設された複々線鉄道ラーメン高架橋である．また，北行線直下には昭和59年にアンダーピニング工法で構築された６車線の市道用のボックストンネル(生田川西架道橋)があり，今回の施工では，その直下同一方向に新たなボックストンネルを構築することになる(**図-2**).

表-1　工事概要

工事件名	生田川架道橋新設工事
工事場所	兵庫県神戸市中央区
事業主体	神戸市道路公社
発注者	西日本旅客鉄道(株)
施工者	大鉄工業(株)
工期	平成12年４月４日～平成18年８月10日
施工内容(北行線)	新神戸トンネルⅡ期　全長　1 km そのうち，第３工区(JR工区)　49m 内空寸法　高さ 5.7m×幅 16.1m 上床板・下床板高　2.5m，壁厚　2.3m
掘削工法	開削工法

2-2　地質概要

六甲山地の南麓にあたる神戸市街地は，地形的に見ると，山地側から山麓扇状地，海岸平野，埋立地に分けることができる[1]．これらの地形的な境界は，地質的な境界とも一致している．すなわち，山麓扇状地は，急峻な六甲山地より流れ出す河川によって運搬された土砂が堆積した地域であり，一般に粗粒の河成堆積物からなる．また，海岸平野は，山麓扇状地と旧海岸線(明治時代の海岸線)との間の狭い沖積低地で，地表面には主として砂質土が分布している．このうち当工区は，海岸平野に位置し，図-2のボーリング柱状図に示すように，表層から８mの深さまでは，300㎜程度の花崗岩質の礫が混じる沖積礫質土層(Ag)である．そしてその下に，わずかながら粘性土層(Tc)が存在するが，ほとんどがN値50を超える玉石混じり砂礫の段丘層(Tg1，Tg2)となっている．

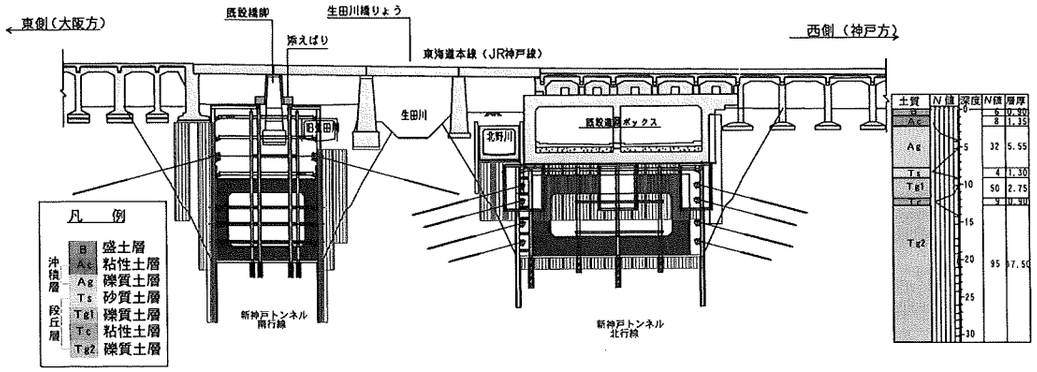


図-2　断面図

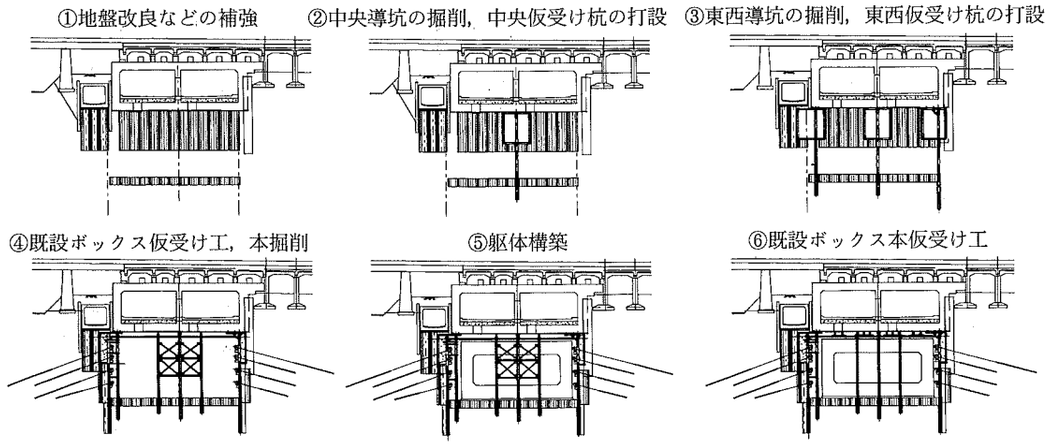


図-3　施工順序

2-3　施工順序

北行線の施工順序としては，立坑部を構築後，以下のような順序で行った(**図-3**).

① 地盤改良などの補強
② 中央導坑の掘削，中央仮受け杭の打設
③ 東西導坑の掘削，東西仮受け杭の打設
④ 既設ボックス仮受け工，本掘削
⑤ 躯体構築
⑥ 既設ボックス本受け工

3　導坑掘削

既設ボックスの下にトンネルを構築するには，仮受け杭を打設する空間を確保するために，既設ボックス直下に導坑を掘削する必要がある．本施工においては，その導坑を構築するのに先立ち，地盤改良および掘削方法について，各種検討を行ってきた．ここでは，それらについて紹介する．

3-1　地盤改良

東海道本線灘・三ノ宮間の列車本数は１日あたり約700本あり，東西交通の大動脈として重要な役割を担っている．また，当工区北行線の施工箇所には，隣接して河川構造物および阪急電鉄の高架橋が存在する．そのため，掘削工事に伴う周辺地盤に対する変状については細心の注意を払い，慎重に施工することが重要であった．

そこでまず，導坑掘削を行うにあたり，既設構造物への影響を最小限に抑えるため，強固な地盤に改良することとした．この地盤改良は，当初，立坑部施工後に水平方向への薬液注入を実施する計画であった．しかし，①薬液注入により高架橋が隆起することが考えられる点，②北行線施工箇所には生田川西架道橋をアンダーピニングにより施工した際の仮受け杭(深礎杭)が存在するため，その深礎杭に阻害され未改良となる部分が多くできる点などが問題となった．そこで当初計画を見直し，鉛直方向に硬化材を高圧噴射する改良工法による施工を，道路占用許可を得たうえで既設ボックス内から行うこととした．

高圧噴射工法の選定にあたっては，造成径が大きく(ϕ2,000㎜)，施工本数が少ないことから，既設ボックス下床板の損傷を最少に抑えられ，かつ工期がもっとも短くなるRJP工法を採用した(**表-2**).

なお，改良強度は，東西・中央導坑掘削完了後においても直上構造物を支持し，導坑の安定を図るために，目標強度を3,000kN/m²とした．

3-2　影響解析

施工にあたり，本工事による既設構造物への影響を事前に把握し，対策工の必要性を確認するため，地盤改良を考慮した既設ボックスの鉛直変位

表-2　地盤改良工法の比較

	JSG工法	CJG工法	RJP工法
方式	二重管工法	三重管工法	三重管工法
設計強度	1～3 MN/m²	1～3 MN/m²	1～3 MN/m²
硬化材の噴射圧	20MPa	2～5MPa	40MPa
改良径(㎜)	ϕ1,000	ϕ1,600	ϕ2,000
施工本数	816本	330本	204本
工期	1,608日	403日	286日
評価	×	△	○

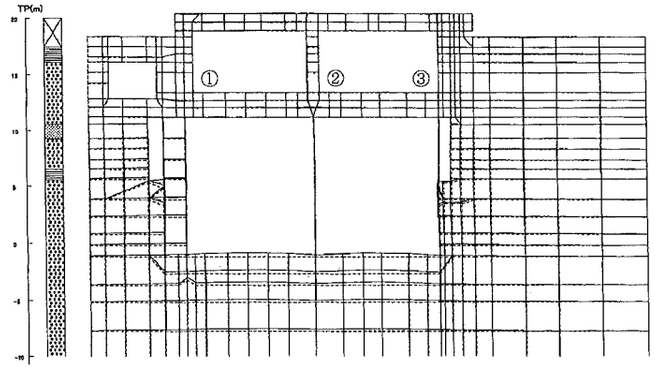


図-4　解析モデル

表-3　解析結果(鉛直変位)

	① 東 側	② 中 央	③ 西 側
中央導坑完了時	−1.4㎜	−2.4㎜	−1.3㎜
東西導坑完了時	−3.6㎜	−2.6㎜	−1.5㎜
掘 削 完 了 時	−0.4㎜	−0.5㎜	+0.4㎜

＋：隆起　－：沈下

表-4　既設ボックスの管理値(相対変位)

	1次管理値	2次管理値	管理限界値	方向
鉄道高架橋	3 ㎜	4 ㎜	6 ㎜	横断
道路ボックス	3 ㎜	4 ㎜	6 ㎜	横断
	2 ㎜	3 ㎜	4 ㎜	縦断

横断方向：鉄道高架橋は柱間，道路ボックスは壁間の相対変位
縦断方向：6ｍごとの相対変位

量をFEM解析により算出した(**図-4**)．各施工段階における解析結果は，**表-3**に示すとおりである．

ここで，③の沈下量が少ないのは既設ボックス西側にある深礎杭の存在を解析時に考慮した結果であると考えられる．なお，導坑掘削時は最大3.6㎜沈下するが，掘削完了時の変位は，リバウンドに伴い，全面にわたって隆起する結果となった．

3-3　計測管理値

本工事では，既設構造物の挙動をリアルタイムに把握するための計測管理を実施した．その計測管理値の決定においては，既設ボックスの縦横断および既設高架橋に強制変位を与えたフレーム解析を実施し，部材が降伏モーメントに達する変位を求めた．

結果，FEM解析による予測値が，部材の安全性から定まる管理値を下回っていたので，**表-4**の値を計測時の管理値として，地盤改良を実施することとした．

3-4　地盤改良の施工

RJP工法は，上部ノズルから噴出される高圧水および空気により地盤基礎を破壊し，破壊された土粒子と硬化材とを混合攪拌して，大口径にて造成する工法である．施工完了後，硬化材が硬化するまでの間は，一時的に上載荷重を支持しない状態となるため，RJPの打設順序としては，近接して連続的に施工することを避けて，既設ボックス

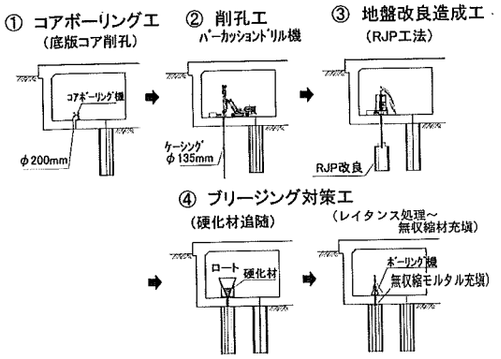


図-5　地盤改良施工フロー

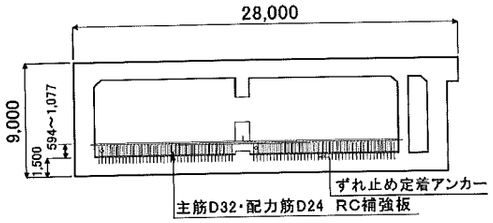


図-6　既設ボックス補強断面図

への影響を極力小さくすることを心掛けた．

高圧噴射改良の問題点としては，施工完了後8～10時間かけて硬化するまでの間に発生したブリージングにより，既設ボックス下部に空洞が生じ，沈下が発生する恐れがあった．そこで，ロート状の硬化材追随機を製作して(対策1)，造成完了後に造成孔に設置し，硬化材を投入して，ブリージングによる空洞量を減少させ(対策2)，硬化後，再度ボーリングマシンで口元を削孔して，基礎と改良土接面をジェットで洗浄し，劣化した部分を除去した後，無収縮モルタルにより隙間充填を実施した(**図-5**)．

なお，改良後にボーリングにより資料を採取して，強度確認を行ったところ，改良体の円形端部においても十分な改良がなされていた．具体的には，目標強度3,000kN/m²に対して，強度確認試験の結果は3,900～5,000kN/m²であった．

RJP工法の施工では，既設ボックス下床板の一部の鉄筋を切断し，さらに仮受け時は，東西および中央の壁直下を支点とした構造となるため，下床板の補強が必要であった．そこで，下床板と一体梁とした増しコンクリートを施工し，補強を行った(**図-6**)．

3-5　導坑支保工の構造形式

今回のような導坑掘削を行う場合，一般的にはメッセル工法による施工が考えられる．しかしながら，大きな転石や玉石，既設ボックス建設時の深礎杭などの支障物があるため，メッセル工法の採用は困難な状況であった．そこで，導坑を構築する方法として，地山を掘削後，速やかに導坑支保工を組み立てることとした．なお，この導坑構築方法においては，既設ボックスおよび鉄道高架橋に影響を与えるような大きな変位の発生を抑制することが課題であった．

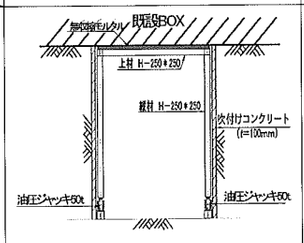
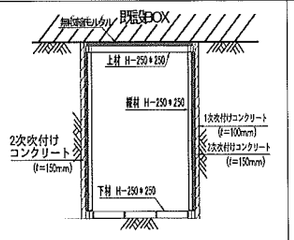
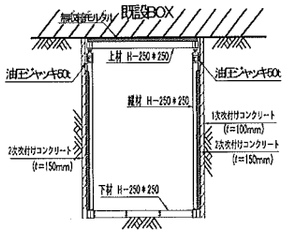
RJP工法による強固な地盤改良効果を組み入れた解析を実施した結果，既設ボックスおよび鉄道高架橋の荷重は，未掘削部分の改良済み地盤のみで支持可能であり，既設ボックスの内壁直下に計3本(東・中央・西)の導坑を掘削するのであれば，素掘りにて導坑を掘削したとしても，既設構造物の耐力的には，問題ないことが判明した．しかし，予期せぬ地山の変状を回避するとともに，既設構造物の変位発生を最小限に抑える必要がある一方で，転石背面など一部未改良部分からの肌落ちが懸念された．以上の課題を解決すべく，導坑支保工構造と施工手順について検討を行った(**表-5**)．

(A)案は，プレロードジャッキにより調整して構造物の変位を抑制させる構造形式である．一方，(B)案は，地盤改良・鋼製支保工・吹付けコンクリート・ストラットを合わせて支保機能を一体化させる構造であり，(A)案に比べると水平方向の変状に対して強固な構造である．ここで，既設ボックス直下を縦断方向に掘削していくので，当該ボックスの縦断方向の許容変位量を求めると，掘削方向3ｍ間隔に対し2㎜という厳しい値になった．この許容変位量を考慮し，(A)案および(B)案双方の利点を生かした構造を検討した結果，(C)案の構造，すなわち，プレロードジャッキを支保工柱部の上端に設置してジャッキでなじみを取り，既設ボックスを受けた後に2次吹付けコンクリートを施工し，支保機能を一体化させる構造を採用した．

3-6　導坑掘削

仮受け杭の打設を既設ボックスの壁の真下3か所で行うには，3本の導坑を掘削する必要があるが，既設構造物への影響が最小になると考えられた中央導坑を最初に掘削し，データを蓄積したうえで両端の導坑掘削の施工計画にフィードバック

表-5　導坑支保工

	(A) 案	(B) 案	(C) 案
断面図			
地山の変状に対する事前措置	・吹付けコンクリート打設(地山と支保工は分離) ・門型の鋼製支保工設置	・吹付けコンクリート打設 ・門型の鋼製支保工設置(閉合)	・吹付けコンクリート打設 ・門型の鋼製支保工設置(閉合)
構造物の鉛直変位発生時の対策	ジャッキ調整	不　可	ジャッキ調整
地山の変状発生時の対策	吹付けコンクリートの増し厚	ロックボルトの打設	ロックボルトの打設
その他	支保工は地山の変状抑制に寄与せず	支保工と地山が一体化するため変状抑制に支保工が寄与	支保工と地山が一体化するため変状抑制に支保工が寄与
評価	×	△	○

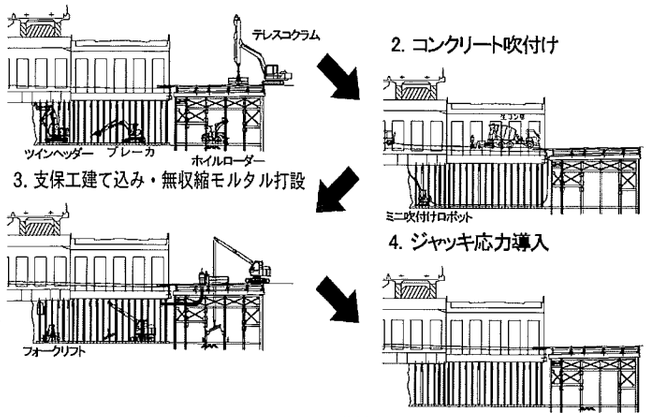


図-7　導坑掘削

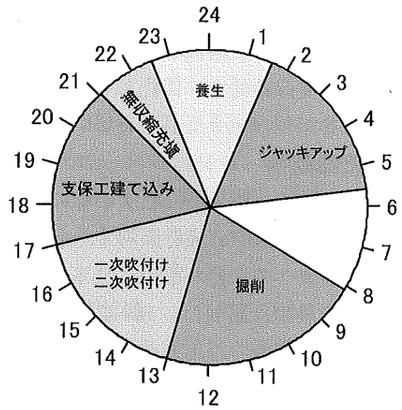


図-8　導坑施工サイクル

することとした．

掘削は，ツインヘッダーとブレーカの併用とし，土砂運搬は，ホイルローダで立坑部まで運搬してテレスコクラムにより坑外へ搬出した．吹付けは，ミニ吹付けロボットを使用し，支保工組み立ては，フォークリフトを選択した(図-7)．

なお，既設構造物への影響を最小限に抑えながら掘削面の防護と上部荷重の支保を行うために，掘削後は速やかに１次吹付けを行い，続けて支保工の建て込みを実施することとした．さらに，２次吹付けは，下部地盤と支保工とのなじみがとれた時点で施工することとした．

なお，本施工のサイクルタイムを考えるうえでは，

①　施工中は既設構造物の影響を監視

②　市街地であるため夜間の騒音・振動発生を抑制

③　列車本数が少ない夜間にジャッキ調整を実施

などの条件を満足する必要がある．これらを考慮して検討を行った結果，昼間は掘削などといった騒音・振動の発生する作業を行い，夜間はジャッキ調整を実施する，24時間を１サイクルとする工程を組むことによって，１m/日の掘削進度を可能とし，それに併せて支保工およびジャッキを設置するという施工方法を採用した(図-8)．

4　アンダーピニング

4-1　仮受け杭の施工

仮受け杭の施工にあたっては，鉄道交差部では12本×３列(東・中央・西)，道路交差部では７本×３列(東・中央・西)の仮受け杭を打設することとした．

なお，当初の計画では，中央の仮受け杭は２列(12本×２列)としていた．具体的には，中央２列の仮受け杭が，既設ボックスの下床板を直接支える設計であった．しかしながら，当該下床版が現有するせん断耐力では，仮受け杭からの鉛直力に耐えられないことが判明したことから，隅角部に支点反力を集中させるべく杭径を大きくし，既設ボックス中央柱の直下に１列のみ配置する計画に変更した．この変更に伴い，中央柱の補強を図る目的で，柱を壁構造にするため，柱間にコンクリートを打設した(表-6)．

仮受け杭は，導坑内部で打設するため，施工機

表-6　仮受け杭諸元(鉄道部)

	仮受け杭
施工方法	TBH
杭径	φ660
杭長(根入れ長)	L＝15m(4 m)
鋼材	H－458×417
本数	東側，中央，西側　各12本
ジャッキ容量	3,500～6,000kN/個

械に制約を受け，さらに玉石混じりの礫質土の掘削が可能な施工法が求められた．当初，エアハンマによる破砕方式にリバースサーキュレーション排出方式を取り入れた掘削工法(MACH工法)を選定していた．しかし，空港アクセス機能を果たすため生田川架道橋の早期供用開始が求められたことから，工期短縮を図るため，当初は昼間施工のみとしていたものを変更し，昼夜間施工による仮受け杭の打設を行うこととした．ここで，MACH工法は振動が大きく，夜間にこれを実施すると周辺地域住民に対する影響が多大となることが予測されたため，昼間に小径のロータリーパーカッションにより玉石を破砕した後，昼夜間にTBH工法による掘削を行うこととした．TBH工法は，杭１本あたりの施工速度ではMACH工法に劣るが，昼夜間施工が可能となったことにより，施工期間は２か月から1.5か月に短縮された(表-7)．

表-7　仮受け杭工法比較表

		当初	変更
工法		MACH工法(低空頭型)	TBH工法
土質適用性	粘土	○	◎
	砂	◎	◎
	礫(φ2～75mm)	◎	◎
	玉石(φ75～200mm)	◎	○→◎※
施工性		低空頭での施工が可能 騒音・振動大	低空頭での施工が可能 低騒音・低振動
施工速度(m/台・日)		4.5	5.2 〔昼夜間施工〕
施工期間(月)		2.0	1.5
記事		騒音・振動大のため昼夜間施工に対しては不適	ロータリーパーカッションによる破砕で玉石に対応

※補助工法の併用により施工可能

仮受け杭は，供用している道路および鉄道構造物を支持するものであり，施工にあたっては十分な品質管理および品質確認を行う必要がある．杭施工時の品質管理としては，杭の周面摩擦力に影響を与える安定液の配合(ベントナイト濃度の調整・ポリマー系安定液による増粘)や先端支持力を確保するための安定液の管理(砂分測定)，スライム処理方法などについて管理基準を定めて，施工した(表-8)．

4-2　仮受け工

掘削完了後，仮受け杭として約15mの鋼材(H-458×417)を建て込み，杭頭部にサポートジャッキを設置して仮受け工を実施した．各ジャッキに載荷される荷重は，既設ボックスが非対称であり，また上り２線と下り２線の高架橋重量が異なることから，フレーム解析により各ジャッキに発生す

表-8　仮受け杭の品質管理項目

検討項目	計画	品質管理基準
安定液の配合	ベントナイト濃度を2.5%に抑え，カルボキシメチルセルロース(CMC)主体のポリマー系安定液とする． 安定液配合 (m³あたり) 使用材料：ベントナイト 25 / CMC 4 / 分散材 2 / 逸泥防止剤 5 / 脱水減水材 0.3 配合(kg) ・セメント中和剤としてソーダ灰を添加 ・砂分・土粒子の機械的排除方法として遠心分離機を使用	比重：1.03～1.28 粘性：35秒以上 pH：7.0～11.0
安定液の管理	・比重・粘性・pHの測定 ・砂分測定により，芯材H鋼建て込み時の砂分の沈下や鋼材への付着防止を図る． ・スライム処理後砂分測定値が1%以上の場合は，安定液を良質液に置換する．	砂分測定 杭打設中　５%未満 スライム処理後　１%未満
スライム処理	芯材H鋼建て込み後においてスライムの沈殿が認められた場合は，モルタル注入管を挿入しコンプレッサにてエアブローして，スライム処理を行う(処理時間40分以上)．	―
孔壁確認	超音波測定器による測定	孔壁の形状・鉛直性，崩壊箇所・玉石突出の有無の確認．

る反力を算出し，実荷重に合致した容量のジャッキを選定した．

次に，仮受け杭の設計支持力の確認のため，先行して構築した中央導坑にて，仮受け杭の載荷試験を行った．この載荷試験において，杭に設置した軸力計から算出される2点間の軸力差と距離から周面摩擦力度を求めた．設計においては，周面摩擦力度を200kN/m²で想定していたが，試験施工では平均150kN/m²であった．また，先端支持力に関しては，設計では3,320kN/本を想定していたが，試験施工では3,000kN/本であった．このように，支持力については，設計で想定していた値より結果的に小さくなったことから，支持力の見直しを行い，東西の仮受け杭の設計根入れ長を4mに変更することとした．

掘削が進むにつれて，これまで周面摩擦力を分担していた土中の杭の表面積が減少することにより，仮受け杭先端の支持する割合が大きくなる．その際，先端になじみがある場合，沈下が生じることが考えられた．そこで，掘削時の安定を図るため，事前に変位を与え，仮受け杭にプレロードを実施することとした．プレロード荷重の設定においては，仮受け杭に発生する想定荷重の120%とした．施工は，列車に対する影響を考慮し，夜間に行った．プレロードは，初日に2本の杭について載荷試験を行ったうえで，杭の支持力を確認し，残りの杭については，2日目，3日目に分けて実施した．

載荷方法は，全杭を60%まで載荷した後に，一部の杭を先行して120%まで載荷し，最終的に全数において120%載荷を実施した．

仮受け時の応力導入に際しては，受替え荷重を100%として，20%ごとに5段階に分けて載荷した．各載荷段階においては，所定の荷重を保持し，仮受け杭の相対変位の進行量が，15分間で3/100mm以下に収まっていることを確認したうえで，次の載荷段階に移行するというステップを踏んだ(図-9)．

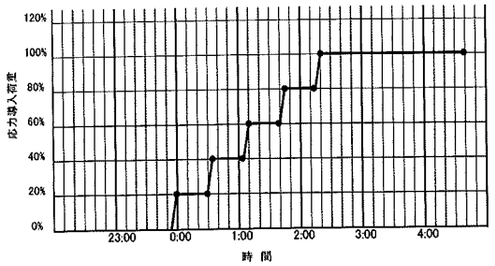


図-9　ステップ図(仮受け工)

4-3　水平拘束材

仮受け杭の打設後は，切梁やアンカーによる土留めを行うと同時に，水平拘束材やブレス材を設置しながら本掘削を実施してきた．当初設計では，地震時水平力を各仮受け杭などへ分担させるための平面・縦断面ブレス材を設置し，また最上段には，水平拘束材と切梁の機能を兼用した水平材を仮設することとなっていた．本施工では，既設の高架橋とボックスとを仮受けするため，地震時水平力(水平震度0.2)に対する仮受け支保工の総重量が約180tfに及び，個々の部材も大きな重量を有していた．しかし，狭隘な箇所で使用可能な重機の性能を考えると，設置に費やす期間が長くなるうえに，すべての水平拘束材の設置を終えない限り本掘削を始められない点などをも考慮すると，兼用の回避と部材の簡素化を進めることが必須であった(図-10)．

そこで，水平材から切梁機能を分離する方法を検討した．具体的には，東西導坑支保工の一部を存置して既設ボックスの底面と接合し，これに切

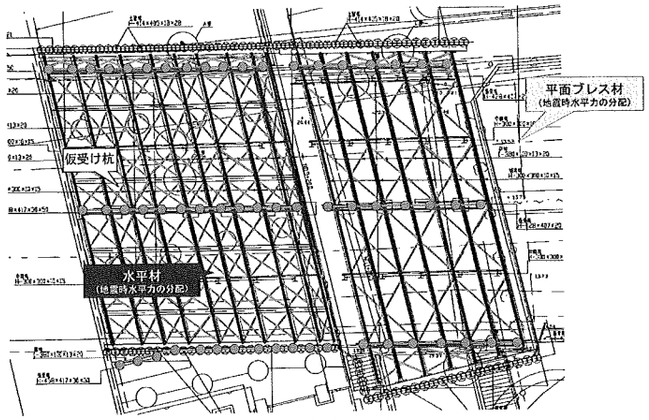


図-10　水平拘束材(当初)

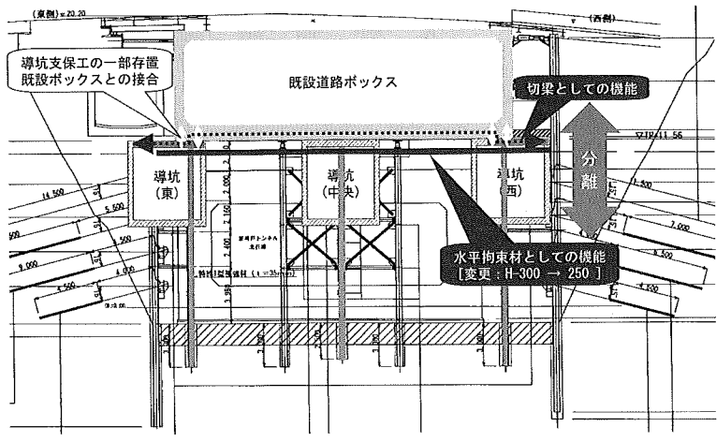


図-11　水平材の機能分離

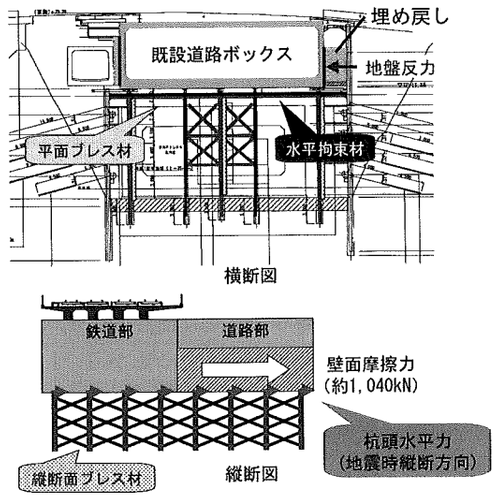


図-12　水平力の低減方法

表-9　仮設材の重量比較

	当初(tf)	変更(tf)
最上段(水平拘束材,平面ブレス材)	113	40
中段(中上)	—	14
中段(中下)	—	14
縦断面ブレス材(東・中央・西)	65	40
計	178	108

梁としての機能を持たせることにより，水平拘束材が負担していた土圧を低減させた(図-11)．

また，先行して既設ボックス背面をコンクリートにより埋め戻すことで作用する壁面摩擦力により，仮受け杭頭に作用するボックス縦断方向の水平力低減を図った(図-12)．

結果として，仮設材の鋼材重量が178tfから108tfに縮減され(表-9)，簡素化が図られたことにより，施工性が大幅に向上した．

4-4　本受け工

仮受けした既設構造物の下部でボックストンネルを新設した後に，既設ボックスの底面に油圧ジャッキを設置して本受けを実施した．北行線鉄道部は，既設ボックス上に鉄道ラーメン高架橋が載っている構造である．この鉄道高架橋は不静定構造であり，沈下などによる許容変位量が小さいことから，油圧ジャッキ(500kN×120台)を配置した．

なお，油圧ジャッキは，新設した生田川架道橋の上床板に荷重が均一に載荷されるよう配置した(図-13)．

新設ボックストンネルの上に配置した油圧ジャッキは，本来ならば3列の仮受け杭の荷重をすべて受け替えるだけの能力を有していなければならない．しかし，仮に東西および中央仮受け杭の荷重をすべて新設ボックストンネルに本受けするとなると，半永久的にすべての上載構造物を支持しなければならなくなる．そこで，これを回避するために，本施工において油圧ジャッキには，中央仮受け杭が分担していた荷重のみを受け替えることとした．これは，東西仮受け杭が，新設ボックストンネルの外側に配置されていることを鑑み，上部荷重を可能な限り直接地盤に支持させる方が良いと考えたことによるものである．これに伴い，油圧ジャッキ容量の低減および個数の削減が可能となった．

なお，東西仮受け杭のジャッキについては機械式として固定し，存置することとした．

本受けに際しては，仮受け杭に応力をいったん120%まで導入し，その後20%ずつ応力除荷を行った．なお，ステップ移行時には，15分間の計測監視を行い，変位が表れていないことを確認した後

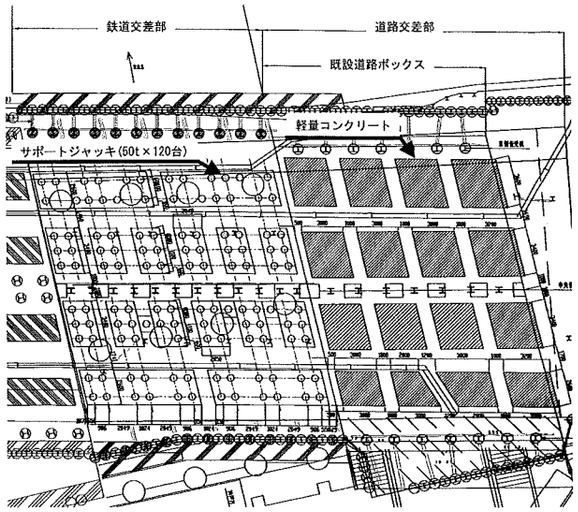


図-13　本受け時のジャッキ配置

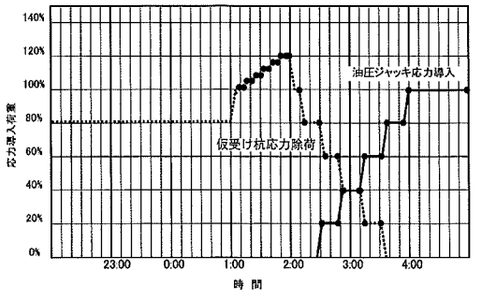


図-14　ステップ図(本受け工)

に，次の応力除荷ステップに進む方法を採った．また，除荷に併せて本受け用の油圧ジャッキには20%ずつ応力を導入していき，5ステップをもって本受け工を完了した(図-14)．

本受け後は，軽量コンクリートを既設ボックスの下床板の底面下部20cmの高さまで打設し，最後に残った隙間は，無収縮モルタルにて充填した．

5　計　測　結　果

地盤改良時の既設ボックスへの影響としては，ボックス下部全面(改良率80%)の地盤改良終了後に最大4㎜の沈下が発生したが相対変位では1次管理値内であった．

また，掘削時にはさらに2～3㎜の沈下が見られ，その後躯体構築までの間にリバウンドが2㎜程度見られたが，躯体を構築するにつれて再び沈下が始まり，本受け時点では最大9㎜の沈下量となった．しかしながら，柱間および壁間の相対変位量は，1次管理値以下であったことから，既設構造物に対して大きな変状はなかったと言える．

次に，本受け時において，中央仮受け杭は，新設ボックストンネルの上床板と一体化していることから，油圧ジャッキで受け替えるにあたり，支持していた仮受け杭を切断すれば，当該上床板に最大1.6㎜のたわみが発生することが事前の検討にて明らかとなった．本受け工実施前における既設ボックス横断方向の鉛直変位の分布を見ると，一部の柱間相対変位が約2㎜に達しており，本受け後は上床板のたわみが加わることから，1次管理値の3㎜を超える可能性があった．そのため，本受け前に仮受け杭のジャッキにより，既設ボックスを約2㎜上げ越しすることとした．

結果として本受完了後の新設ボックストンネルの上床板のたわみは，1㎜程度に収まったため，最終的に1次管理値を超えるような変状は発生しなかった．なお，躯体構築は平成17年11月に完了した(図-15)．

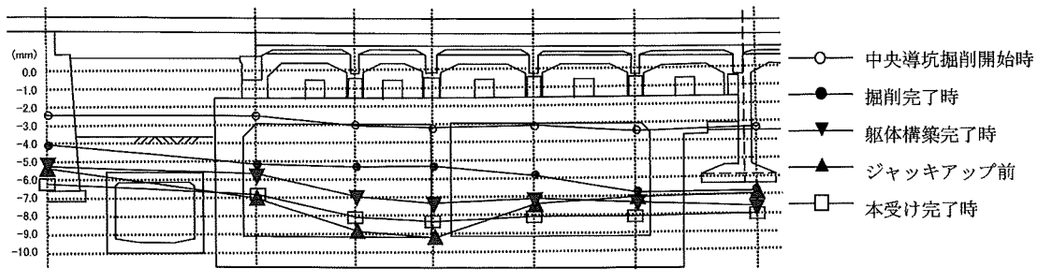


図-15　計測結果

6　お　わ　り　に

本工事は，東海道本線鉄道ラーメン高架橋(複々線)および既設道路ボックスの荷重を，アンダーピニング工法によって受け替えつつ，新たなボックストンネルを構築する工事であり，既設道路ボックスの縦断方向(同一方向)直下に，さらに大断面のボックストンネルを構築した点に特徴がある．本稿では，アンダーピニング工法の概要を中心に，その事前に施工した地盤改良工や導坑掘削工などについても併せて述べてきた．

なお，神戸空港へのアクセス道路として速やかに供用が可能となるよう，早期竣功を求める要請が，工事着手後に事業主体より発せられた．そのため，工期の短縮を行うことが必須となり，それを目的とした工法および仮設構造の変更検討を重ね重ね実施してきた．結果，当初工程と比べて1年以上の短縮を図ることができた．その間，継続的に計測監視を行い，構造物の変位を逐次確認しながら，安全に施工を進めてきた．

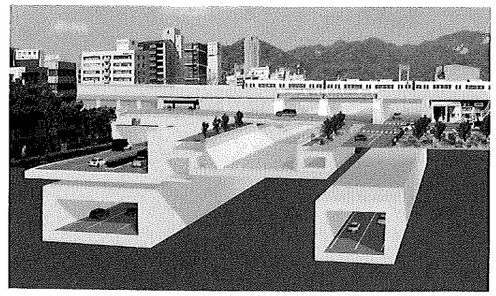


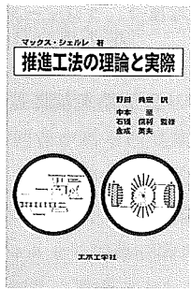
図-16　生田川架道橋完成予想図(イメージ)

こうして約6年に及ぶ施工を経て，南行線は，開港までの供用開始を実現させ，無事開通を迎え，また，北行線についても，平成17年度内供用開始の見通しが立っているところである(図-16)．

最後に，誌面を借りて，関係各位のご指導・ご協力に対して，深く感謝の意を表する．

参　考　文　献

1) 神戸市・(財)建設工学研究所：阪神・淡路大震災と神戸の地盤・活断層，(財)建設工学研究所，33p. 1998.



推進工法の理論と実際

B5判　437頁　価格8,925円　送料450円

マックス・シェルレ　著

野田典宏 訳　　中本　至・石橋信利・金成英夫 監修

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

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)

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

パリのアンダーグラウンド(2)
—パリ下水道博物館を訪ねる—

(財)鉄道総合技術研究所
小野田　滋

■「レ・ミゼラブル」の下水道トンネル

ヴィクトル・ユーゴーの小説「レ・ミゼラブル」にパリの下水道トンネルが登場することは前回でも触れたが，ユーゴーはこの下水道によほど関心があったらしく，第5部のストーリーを一時中断し，「第2編・怪物の腸」と題して，パリの下水道の歴史や現状などについて延々と蘊蓄(うんちく)を傾けている．そして，ジャン・ヴァルジャンは，1832年の民衆蜂起で被弾したマリユスをかつぎ，下水道トンネルの暗闇を逃げ延びるのである．その描写は実に具体的で，作者自身がほんとうに歩いたのではないかと思うほど真に迫っている(実際は，友人のブリュヌゾー—その名は「レ・ミゼラブル」にも登場する当時の下水道監察官—が知識を与えたとされる)．ちなみに，交通評論家の岡並木は，「舗装と下水道の文化」(論創社・1985)の中で当時の記録や現地調査にもとづき，ジャン・ヴァルジャンがレ・アール地区から下水道に潜り，大環状下水道を迂回してパレ・ド・トーキョー(シャイヨー宮の北東)付近でセーヌ川右岸に脱出したことを明らかにしている．

■オースマンのパリ大改造とベルグラン

パリの下水道の歴史は，14世紀にさかのぼることができる．1350年のペストの流行を契機として，それまで路上にたれ流し状態であった下水を地下化することとなり，パリ長官のユーグ・オーブリにより1370年に最初のアーチ断面による下水道トンネルがモンマルトルに完成した．しかし，本格的に普及するのは，19世紀に行われたオースマンのパリ大改造を待たなければならなかった．

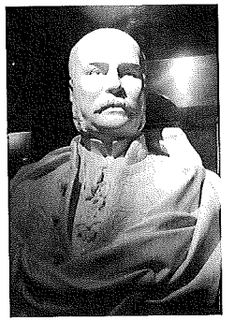


写真-1　ウジェーヌ・ベルグラン(1810～1878)

1852年にナポレオン3世が皇帝に即位し，いわゆる第二帝政期の18年間が始まるが，ナポレオン3世はパリを管轄するセーヌ県知事にジョルジュ・オースマン男爵を抜擢し，パリを帝都としてふさわしい都市に再生させることを計画した．俗にオースマン化と呼ばれるパリの大改造は，エコール・ポリテクニーク(理工大学)出身の技師ジャン・シャルル・アルファンとウジェーヌ・ベルグランが腹心として仕え，その手腕を発揮した．アルファンは，街路と公園を担当し，第二帝政が倒れ，第三共和政となった後もオースマンの思想を継承して，直線道路とモニュメントで構成されるバロック風の都市景観を造りあげた．

一方，ベルグランが担当したのは，パリの下水道であった．パリの下水道は，ユーゴーが描いた1832年当時はわずか44kmであったが，1870年までに500kmを超え，1894年には964kmに達した．清掃作業のために人が歩くことができる大空間を確保した下水道トンネルは，ロンドンなどにはない画期的なもので，パリはたちまちにして世界最先端の近代都市へと生まれ変わるのである．また，ベルグランは，下水を近郊の農場へと導き，肥料として利用することを検討し，これは彼の没後に実現した(写真-1)．

■「怪物の腸」に潜る

パリの下水道は，エッフェル塔近くのアルマ橋左岸にあるパリ下水道博物館で見学することができる(RATP 9号線アルマ・マルソー駅下車)．ただし，地図を頼りにパリ下水道博物館を訪ねても，想像するような博物館の建物はどこにもなく，公園の片隅にちっぽけな切符売り場が建っているだけである(写真-2)．それもそのはずで，パリ下水道博物館は，文字どおり下水道のトンネルそのものが博物館になっているのである．狭い螺旋階段を降りると，そこには実物の下水道が現れ，下水道特有の澱んだ空気が見学者たちを歓迎してくれる．この博物館では，下水道の臭いも展示品のひとつを構成しているのである．

参観者がある程度集まると，学芸員による下水道トンネルツアーが始まる．パリとは言え，有名な観光スポットではないので，ほとんどがフランス人であるが，先生に引率された子供たちが熱心に耳を傾けている姿は見ていてほほえましい．トンネル内は，いくつかのギャラリーに分かれており，それぞれ“ブリュヌゾー・ギャルリー”，“ベルグラン・ギャルリー”など，下水道にゆかりのあった人々の名前が付けられている(写真-3)．参観者は，実際に足下を流れる下水や，トンネル内の清掃に使われるクリーニングボール，パリの下水道発達史のパネルなどを見学し，最後に下水道グッズを売っているミュージアムショップへと導かれるが，ここではパリの地下世界を紹介した絵本が売られていた(写真-4)．

冬はそれほどでもないが，夏場の下水道博物館の臭いは相当なもので，鼻をハンカチで押さえながら見学する人の姿もちらほら見られた．高級レストランの予約を入れた方は，その日を外して見学した方がよいかもしれない．

写真-3　現役の下水道トンネルを利用した展示室

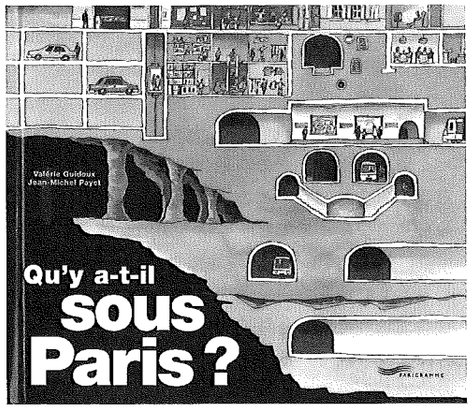


写真-4　絵本「パリの下には何がある？」

写真-2　パリ下水道博物館の入口

現場だより
平成18(2006)年

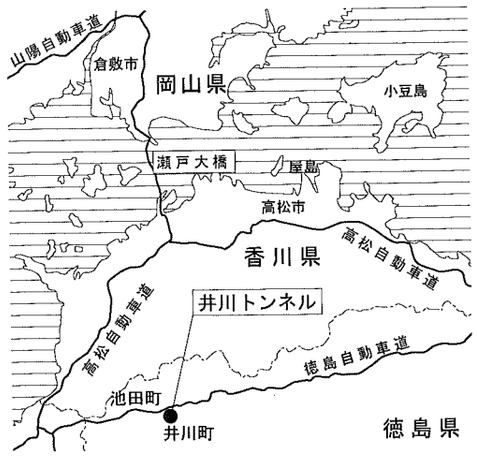
「四国有数のスキーの町」井川町より

合歓垣　誠　司

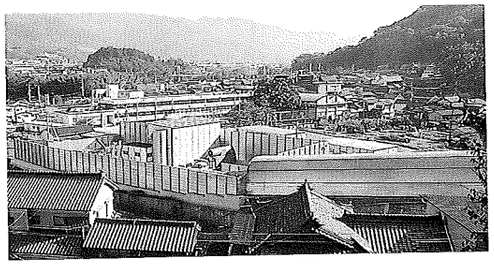
徳島県三好郡井川町は，徳島市から吉野川を70kmほど遡った四国山地の北麓，四国のほぼ中央部に位置する．吉野川や井ノ内谷川，腕山や多美山に代表される豊かな自然に恵まれた地域である．標高は80～1,200mと高低差が大きく，古くから山腹を開墾してきた歴史があり，山腹斜面を覆うように石垣を段々と積み上げた昔ながらの棚田が広がる「下影の棚田」は，「日本の棚田百選」に認定されている．

源平の戦いで義経が海上に落とした弓をやっと拾い上げたという「弓流し」や那須与一が「扇の的」を射たというエピソードで有名な屋島の合戦は，井川町北方に位置する阿讃山脈の向こう香川県屋島でくり広げられた．このときの平家の落人が山を越えてこの地に至り，持福寺(現在井川町地福寺)に逗留，合戦で戦死した武士の霊を弔い，負傷者を治療した．このときに残していったといわれる大小二流の平家の赤旗が地福寺に保存されている．壇ノ浦の合戦で戦死した平教盛の位牌もこの地福寺に奉られていることから，平家とこの地とのつながりを深く感じさせる．

さて，一般県道大利辻線は，徳島県三好郡池田町大利地内を起点とし，井川町辻地内を終点とする延長30.028kmの県道で，吉野川水系井ノ内谷川に沿って山峡部を走り池田町と井川町を結んでいる．この路線



位　置　図


学校や住宅に囲まれた仮設ヤード

の奥側には四国有数のスキー場として多くの人が訪れる井川スキー場腕山があり，四国４県の高速道路が全面開通したことを受けて多くの人がスキー場へアクセスすることから，現道幅員の狭い域内での交通渋滞や交通安全性の低下が生じている．これらの交通問題の解消，生活環境の改善および観光地へのアクセス向上を目的に井川地内に延長1.1kmのバイパスが計画され，もっとも渋滞が激しい住居地を迂回する形で新設されるのがこの延長535mの井川トンネルである．

地質は，第四紀洪積世の中位段丘礫層，古期扇状地性堆積物層，古生代の塩基性片岩および泥質片岩となっている．写真に示すように，仮設ヤード周辺に幼稚園，小学校，民家が近接し，また土かぶり16m程度のトンネル上部には民家が点在している施工条件の中，とくに振動・騒音対策に重点をおいての掘削作業となった．設備面では，防音扉，防音シェルターおよび防音壁を，仮設建物の配置を含めてもっとも有効に機能するように設置するとともに，施工面では機械掘削や制御発破の振動・騒音測定を施工にフィードバックしながら掘削を行った．

また，周辺住民の方々にはトンネルの早期完成に向けて工事に対して多大なるご理解とご協力をいただけたことに対し，非常に感謝する次第である．

今後工事は掘削を終え，覆工そして舗装工事へと移行する．バイパスの開通を熱望するみなさまの大きな期待にこたえるべく，最後まで無事故で，古の匂い薫るこの地へ高品質なトンネルを提供できるよう完成へむけ今後とも邁進する所存である．

(佐藤工業・島谷建設・山全共同企業体工事課長)

施工

潮位差８mでの湾内における沈埋トンネルの施工

—中国嘉興火力発電所　冷却水路工事—

上海隧道工程股份有限公司総工程師補　林　　家　祥
上海隧道工程股份有限公司総工程師　楊　　国　祥
上海隧道工程股份有限公司主任技師　何　　擁　軍
(元)香港建設有限公司技術顧問　齋　藤　尚　武

1　はじめに

中国では，急速な高度経済成長に伴い全土において電力不足が深刻化しており，とくに発展の著しい揚子江デルタ地区周辺の上海，浙江省および江蘇省では顕在化している．この電力不足を解消するため，浙江省では嘉興火力発電所の建設を計画した．

嘉興火力発電所は，杭州湾北岸に位置し，上海市から約90km，杭州市から約122kmの距離にある(図-1)．当プロジェクトは浙江省電力開発会社など電力関連会社６社の共同出資によるもので，規模は60万kW(発電定格出力)×４基(総発電力240万kW)である．石炭を燃料とする火力発電所としては中国では最大級で，国家重点プロジェクトに指定された．

本工事は，発電タービン冷却水を海から取水するための２本のトンネルを建設するもので，上海隧道工程社が設計・施工を請負い，平成14年８月に開始し，平成16年３月に完成した．

本稿では，取水路の沈埋トンネル部分の施工について報告する．

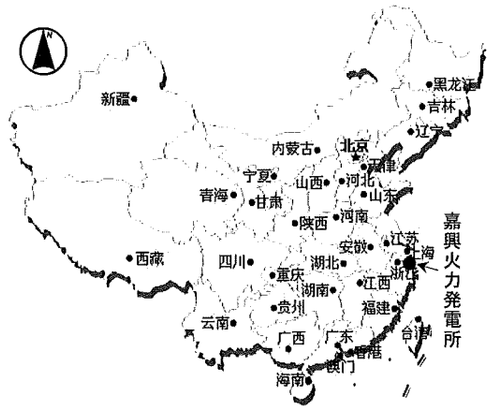


図-1　案内図

2　工事概要

2-1　施工概要

２つの取水路は，取水口，海底トンネルおよび陸上トンネルの３つの構造からなっている．取水口は，この海域の潮位差が８mを超えることと，海水温度の関係で深層取水とすることから海岸線から143.5m沖に設置された．海底トンネルは，掘削地盤が凝灰岩であることから，TBM工法や海上からのパイプ布設工法など比較検討を行い，中国の海底トンネルでは初適用となる沈埋工法を採用した．

なお，陸上トンネルは，通常の開削工法を採用した．

この沈埋トンネル工法の課題は，沈埋函の浮力が自重より小さいこと，潮位変化が８m程度と厳しい海象作業条件とトレンチ底への軟泥堆積問題であった．

2-2　構造概要

沈埋トンネルの平面線形は直線で，縦断勾配は５％である．各々の取水路は６函ずつ計12函からなる(図-2)．沈埋函継手は，ゴムガスケットを用いた剛性継手構造を採用し，最終継手は，陸上開削端部と最終沈埋函の間とした．取水口ケーソンは，直径25m×高さ16.6mの円筒形，沈埋函は幅8.1m×高さ4.4mの矩形断面で，いずれも鉄筋コンクリート構造である(図-3, 4)．

2-3　現場条件

最高満潮位：＋4.70m

最低干潮位：－3.54m

最大潮流：2.45m/秒

2-4　地質条件

海底地盤は，表層より軟質シルト，貝混じりシルト，風化凝灰岩および凝灰岩層よりなっている．沈埋トンネルと取水口ケーソンの支持層となる凝灰岩層は，その一軸圧縮強度が80N/mm²であったため，トレンチの掘削には水中発破工法を使用した．

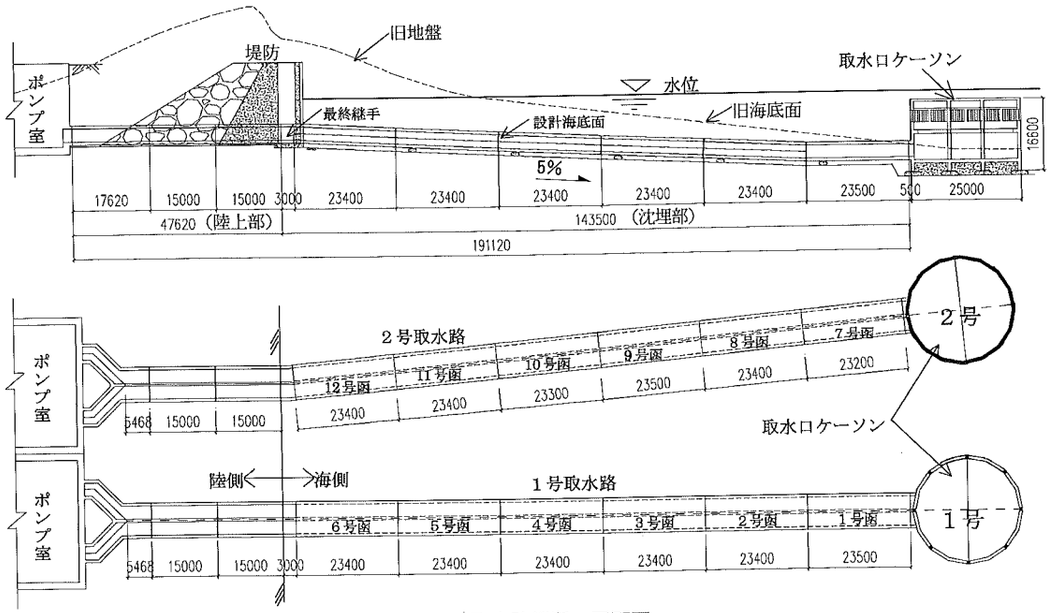


図-2　取水路縦断・平面図

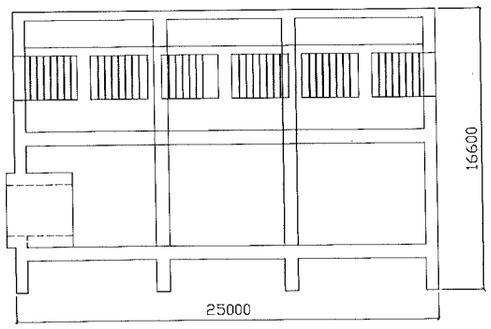


図-3　取水口ケーソン断面図

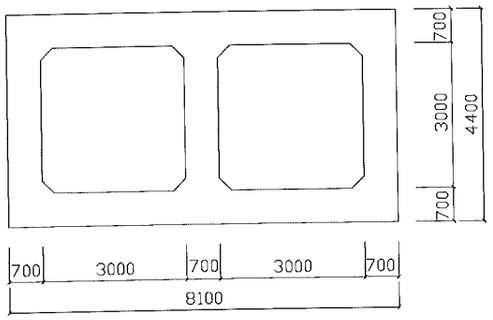


図-4　沈埋函断面図

3　取水口ケーソンと沈埋函体の製作

取水口ケーソンと沈埋函の製作ヤードを，沈設地点南側の浅瀬を締め切り，その後背部の岩山を掘削して建設した．製作ヤードの平面図を図-5に示す．沈埋函の躯体コンクリートの打設は，底版と側壁部と壁部および上床版の二分割とし，縦断方向のブロック割りは行わなかった．取水口は，底版と上床版も含めて４分割とした．

3-1　コンクリートの配合

取水トンネルは海底下に設置され，埋め戻された後，その内部は常に海水を流すことから，躯体コンクリートの維持補修は，非常に困難である．したがって，構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすひび割れの少ない施工品質管理を目標とした．

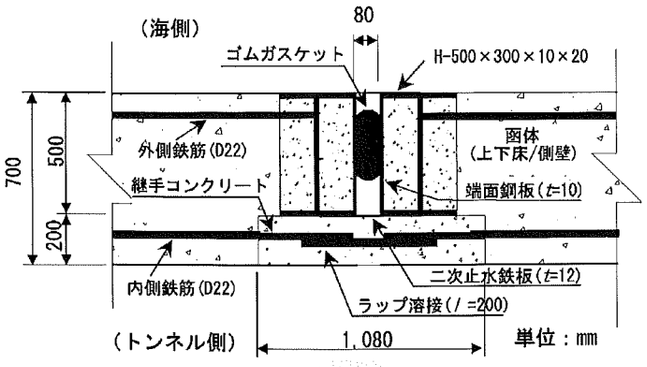


図-6　剛性継手構造

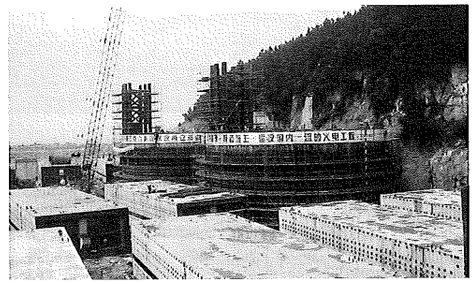


写真-1　沈埋函・取水口ケーソン製作

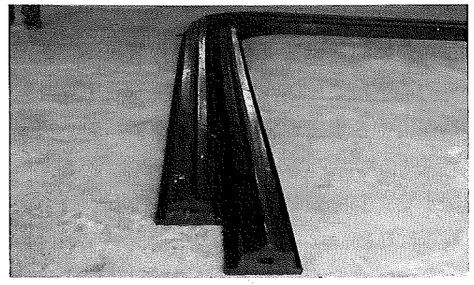


写真-2　ゴムガスケット

具体的には，コンクリートのセメント使用量の20％をフライアッシュで置換し，コンクリートの温度上昇を抑えたこと(表-1)と，沈埋函の側壁と上床版コンクリートを一体打ちとして，水平打ち継ぎ目を削減したことであった．

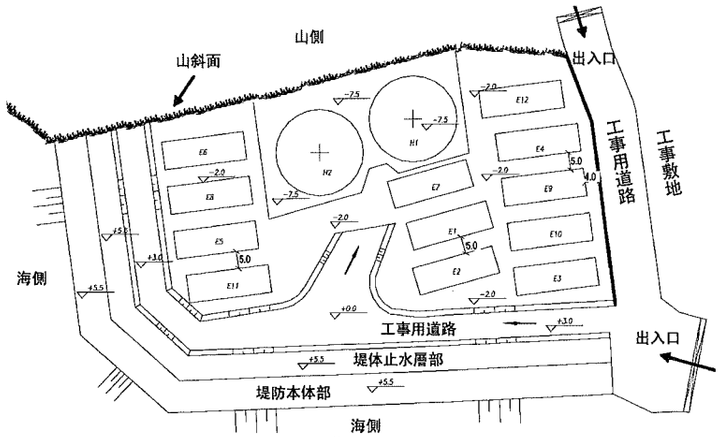


図-5　製作ヤード平面図

3-2　継手構造

沈埋函相互および沈埋函と取

表-1　コンクリートの配合

配合強度 (MPa)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (mm)	水結合材比W/(C+F) (%)	単位量 (kg)				
				水 W	セメント C	フライアッシュ F	粗骨材	細骨材
30	25	12～16	0.49	195	330	69	1,056	736

水口ケーソンに接合する継手構造は，地質条件，経済性および施工性などを考慮して鋼材にガスケットを封入した剛性継手を採用した(図-6)．ゴムガスケットの主な役割は沈設時の止水であり，接合終了後には，函体の長手方向に配置した鉄筋を溶接連結し，コンクリートを打設して剛性継手とした．また，ゴムガスケットは，設計で要求される圧縮性能と止水性能を満足するものを開発した．

3-3　函体密封試験

ヤード内で製作した函体と取水口ケーソンの防水対策は，構造物外周面に防水塗装を施すこととした．これらの構造物の漏水の有無をチェックするため，事前に構造物を48時間以上水浸させ，構造物内の気圧を0.3N/㎟まで下げて，沈設後に函体に作用する水圧と同じ条件で密封試験を行った．密封試験の結果，12函体のうち2函体のバルクヘッドスキンプレートの溶接部においてわずかの漏水がみられたものの，函体本体の漏水はみられなかった．この漏水箇所には再溶接を行い，同様の試験により再度函体の密封性を確認した．

4　トレンチの掘削

トンネル地点のトレンチの浚渫は，トレンチ削孔用作業台(SEP)上から岩盤に削孔し水中発破で岩盤を破砕し，グラブ浚渫船により掘削した．トレンチ内への軟泥の流入が早くその量も多いので，最終仕上げ浚渫は沈埋函の沈設直前に実施した．

作業はSEPを，この一連の作業に使用した．図-7に施工順序を，図-8にその施工概要図を示す．

バッチャ船上で混練された袋詰め用コンクリートは，ジャッキアップしたSEPへポンプ圧送され，開口部から正確な位置に固定したフレームを通し袋内に注入される．

取水口ケーソンには，縦3m×横4mのものを4か所に，沈埋函には1m×8.5mのものを，トンネルの横断方向に1か所据え付けた．

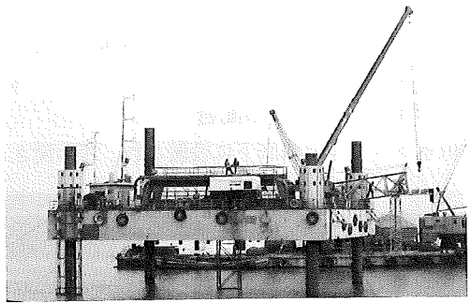


写真-3　トレンチ削孔用作業台(SEP)

図-7　仮支承台の施工順序

5　仮支承台

当初は砕石スクリード基礎を予定していたためトンネルの仮支承は不要であったが，短い工期と軟泥問題に対応するためにトレンチ仕上げ浚渫後に沈埋函を沈設するように変更したため，仮支承が必要となった．

この構造は，取水口と沈埋トンネルの基盤が岩盤であることと，水中発破によって掘削されたトレンチ底の凹凸が大きいことなどを考慮して，水中袋詰めコンクリート方式とした．

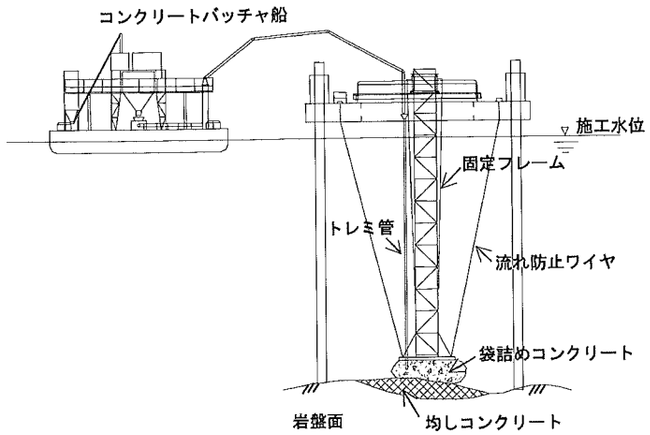


図-8　仮支承台施工概要図

6　取水口ケーソンおよび沈埋函の沈設

2基の取水口ケーソンと12基の沈埋函の製作と艤装作業の終了後に製作ヤード内に注水して，構造物の引き出し口を浚渫した．

取水口ケーソンと沈埋函はともに，負の浮力がありヤード内注水後もヤードに着底したままである．取水口は，総重量4,697tfに対し満潮時でも負の浮力は約4,000kNで，沈埋函では1,051tfに対し2,730kNであった．

6-1　取水口ケーソンの沈設

製作ヤードから取水口ケーソンの設置場所までの移動は，それを吊り上げている1,000tf吊りフローティング・クレーンの側舷に，据え付けた作業台船上のウインチを使用して実施した(図-9)．

取水口ケーソンは，各種の埋設物の非対称配置や仮のアクセスシャフトの据え付けなどで重心と浮心との平面位置にずれがあることと，水バラストのある程度の遊動は避けられないことからケーソンの安定性を考慮し，フローティング・クレーンの吊り索は12本とした．

沈埋函は，このケーソンに接続して陸側に延びて行くため，その据え付け精度によってトンネル

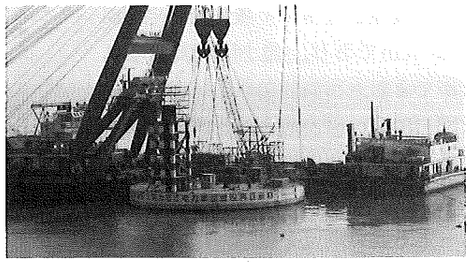


写真-4　取水口ケーソン移動・沈設状況

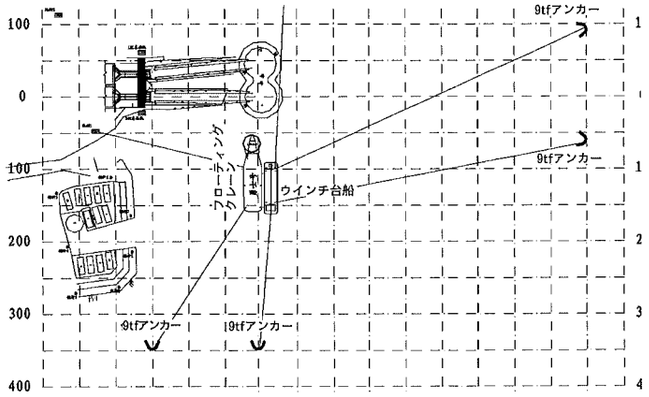


図-9　取水口ケーソン移動図

項　目	2003年12月26日				2003年12月27日		
	6	12	18	24	6	12	18
1. 移動							
フローティング・クレーン配置	■	■	■	■			
ケーソン吊り上げ				■	■		
移動(ドック→沈設地点)					■	■	
2. 沈設							
準備					■	■	
第一次沈降(乾舷ゼロまで)						■	■
第二次沈降(着底より10cmまで)							■
第三次沈降(着底まで)							■
追加水荷重注入							■
3. 潮位	400 200 0 -200 -400 潮位(cm)　6 12 18 24 6 12 18 時刻(時)						

図-10　取水口ケーソン移動・沈設作業実施工程表

の軸線が決定される．そのため，ケーソンの据え付け作業は，その平面位置とともに端面の向きに細心の注意を払いながら実施した．その後，接続していった沈埋トンネルの陸側端の平面誤差は３cmであり，最小限に抑えることができた．

図-10にケーソン吊り上げ開始より沈設完了までの実施工程表を示す．取水ケーソンの移動は午後３時半ごろのもっとも高い潮位を狙い，浮力を最大限に利用した．沈設位置までの移動時間はほぼ３時間であった．流れの小さい満潮位から潮が引き始めのころを狙って取水ケーソンの沈設を開始し，完全着底までの所要時間は約12時間を要した．

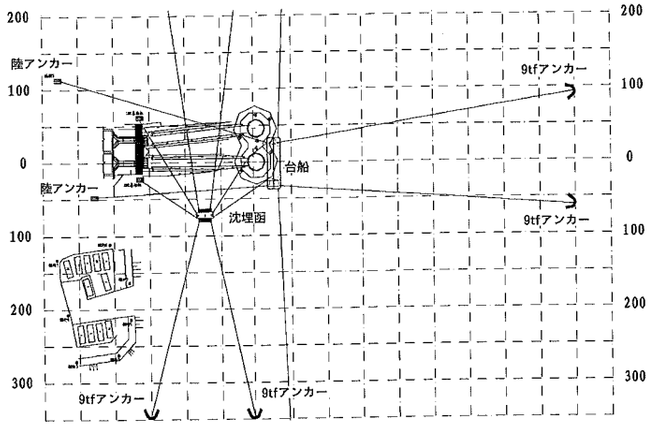


図-11　沈埋函移動図

6-2　沈埋函の沈設

この沈埋函は，道路や鉄道用のものと異なり負の浮力を持っており，吊り上げないと移動できないことにある．一方，いったん沈設が終わればすぐに浮き上がりに対し安全が確保できるという利点もある．

したがって，沈埋函の吊り上げから沈設場所への移動は，プレーシング・バージによって施工することとした．沈埋函の負の浮力が2,730kNであるので，この作業船の吊り能力を3,330kNとし製作した．プレーシング・バージは，２つの台船(長さ18m×幅4.5m×高さ５m)間に２本のガーダーを渡す双胴船型とした(写真-5)．

沈埋函の沈設場所までの移動は，ケーソンの場合と同様に曳船は使用せずプレーシング・バージと，ウインチ搭載台船にて行った．所定の位置に

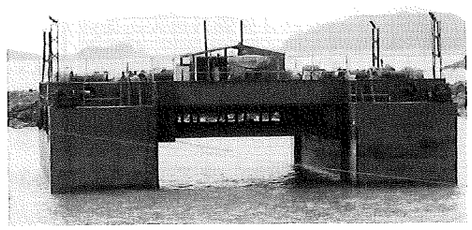


写真-5　沈埋函沈設用プレーシング・バージ

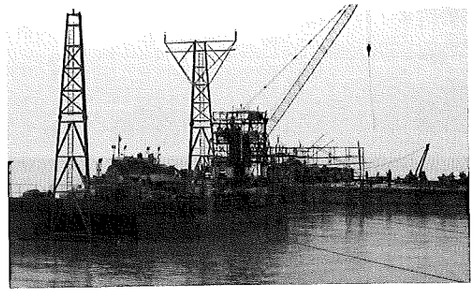


写真-6　沈埋函沈設状況

移動させると同時に，沈埋函の沈設作業に着手した．沈埋函の既設函への引き寄せ(一次止水)は，陸上に据え付けたウインチからのワイヤーロープを沈埋函に掛けて実施した．

沈埋函の移動と沈設に要した時間は約24時間であった．

図-11に沈埋函移動操作状況を，写真-6に沈設函の沈設状況を示す．

最終継手は，陸上側の最終函と陸上トンネル間とした．

7　函底充填基礎および埋め戻しの施工

本工事では，当初のスクリード砕石敷き均し基礎を，沈埋函の沈設後にその下部とトレンチ底間に砂利を吹き込む方法に変更した．函底下全面に砂利を均質に吹き込むことは困難なので，断面の中央部にセメントモルタルを注入した．

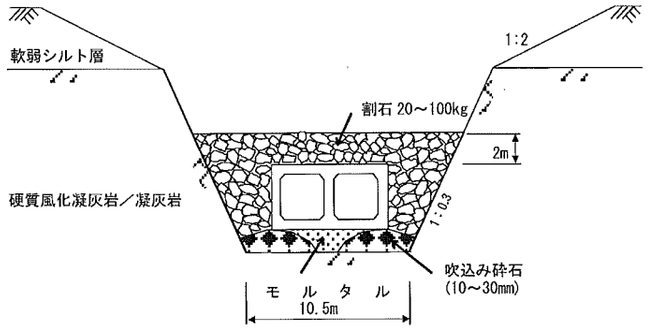


図-12　函底基礎および埋め戻し断面図

トンネル周辺の埋め戻しは，モルタル基礎の養生を待ち，トンネルに偏圧がかからないよう慎重に施工した．頂部は，躯体の保護のため２mの厚さとした．

図-12に，埋め戻し断面を示す．

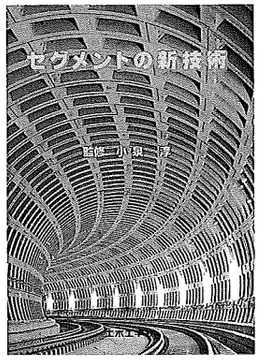
8　おわりに

厳しい施工条件にもかかわらず，本工事を当初の予定どおりに完成させることができた．本工事は，中国初の海底沈埋トンネルであったが，今後は，水路トンネルのみならず，道路および鉄道トンネルなども，沈埋工法によって建設されることが期待できる．

本報告が，今後同様の沈埋トンネルの設計・施工の一助になれば幸いである．

参考文献

1) 上海隧道工程股份有限公司：杭州湾海底瑛管隧道施工関鍵技術研究専題報告，2004.10.
2) 肖・韓・何：水下模袋混凝土技術在嘉興電廠二期工程中的応用，2004.
3) 齋藤：沈埋トンネル基礎の施工技術，2003年上海国際トンネルシンポジウム，2003.11.
4) 清宮・園田・高橋：沈埋トンネルの設計と施工，技報堂出版，2002.4.



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

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

現場だより
平成18(2006)年

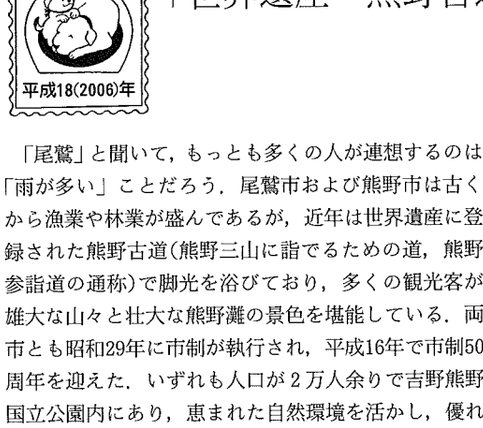
「世界遺産・熊野古道」東紀州(尾鷲市・熊野市)より

浅　野　健一郎

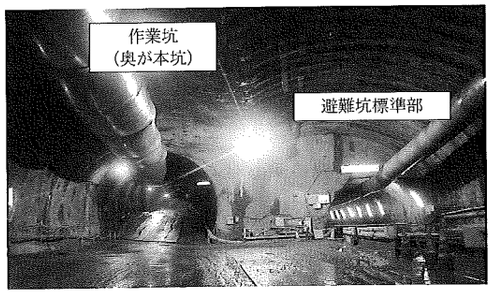
「尾鷲」と聞いて，もっとも多くの人が連想するのは，「雨が多い」ことだろう．尾鷲市および熊野市は古くから漁業や林業が盛んであるが，近年は世界遺産に登録された熊野古道(熊野三山に詣でるための道，熊野参詣道の通称)で脚光を浴びており，多くの観光客が雄大な山々と壮大な熊野灘の景色を堪能している．両市とも昭和29年に市制が執行され，平成16年で市制50周年を迎えた．いずれも人口が2万人余りで吉野熊野国立公園内にあり，恵まれた自然環境を活かし，優れた歴史的文化遺産を合わせ持った東紀州の中心的な街として，今後の発展が期待されている．

この地域は，紀伊半島の東南部に位置し，年間の降雨量が約4,000㎜余りと非常に多いことが特徴である．2004年は台風の来襲が続き5,000㎜を超えたが，2005年は2,000㎜台に留まり，工事現場を預かる者としては，喜ばしいことであった．

紀伊半島の主要幹線道路としては，一般国道42号(浜松市～和歌山市)があり，この地域の重要な道路として位置づけられているが，熊野市から尾鷲市の間は地形が急峻なことから，海岸沿いを並行する国道311号とともにほとんどの区間が雨量規制区間となっており，異常気象時や災害時の安全性や交通の確保においての隘路区間といえ，古くから代替道路の整備が求められてきた．これらの解決策として計画された「熊野尾鷲道路」は，両市を結び，現在紀伊半島南部で整備が進められている高速交通ネットワークの一環である近畿自動車道紀勢線の一部としての機能を果たす，国道42号のバイパスとなる自動車専用道路である．



位　置　図



避難坑拡幅部分からの坑内の状況

「熊野尾鷲道路(全長18.6km)」のうち，先行着工した尾鷲南I.C.(仮称)～三木里I.C.(仮称)間(約5.0km)は，その大部分を占める第5トンネル(仮称，L＝3,992m)の尾鷲方を平成16年3月に，また熊野方を平成17年3月に着工し，暫定2車線の本坑と，4車線化時には拡幅して上り線となる避難坑を同時に施工中で，平成19年度末の供用開始を目指している．トンネル掘削は，NATMによる発破工法で行われている．このうち尾鷲方(南浦工区)2,410m区間の施工については，避難坑の坑口部を拡幅掘削し，作業坑を介して本坑の施工を行っている．平成17年12月末現在，避難坑が約1,400m，本坑が約1,350mの掘削が完了し，本坑の二次覆工の施工も進んでいる．

地質は大部分を硬質の花崗斑岩が占め，土かぶりは最大で600m近くあり，比較的安定した地山である．南浦工区工事の特徴は，総合評価落札方式としてトンネルずり(建設発生土)を吹付けおよび覆工コンクリートの骨材などに有効利用する技術提案を行っており，自然環境の保持，省資源対策，リサイクルの推進に寄与していることが挙げられる．

当地域の期待を担い，地元の理解を得ながら，発注者である国土交通省の指導のもと，平成19年2月の完成を目指し鋭意施工中である．

(大成・間特定建設工事共同企業体所長)

研　究

小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析

—東北新幹線　八戸～新青森間—

鉄道・運輸機構九州新幹線建設局長((前)新幹線部長)　北　川　　隆
鉄道・運輸機構設計技術部設計技術第二課担当係長　磯　谷　篤　実
鉄道・運輸機構東北新幹線建設局技術管理課課員　後　藤　光　理
鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究室副主任研究員　野　城　一　栄

1 はじめに

経済性や補助工法の技術開発に伴い，最近では小土かぶり土砂地山トンネルにも山岳工法が採用される事例が増加している．山岳工法は，経済性のほか，工事中の公害防止の面でもシールド工法や開削工法よりも優れた点を持つ工法であるといえるが，切羽を開放して掘削するため，地山の剛性が小さい小土かぶり未固結地山では以下のような課題がある．

① 切羽が不安定になりやすい
② 変形(とくに沈下)が大きくなりやすい

これらの課題に対しては補助工法により対策がなされているが，補助工法は，施工段階において現場単位で地山に応じて検討されることが多く，設計段階において統一的な基準にもとづき計画されることは少ない．すなわち，補助工法の設計は，試行錯誤的，経験的になされることが多いのが現状である．

本稿では，小土かぶり土砂地山における補助工法の選定に対する基礎的な知見を示し，さらに，将来的には補助工法の選定指標を提案することを目標として実施した小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析結果についてまとめたものである．

2 地質状況とトンネルの設計

2-1 トンネルの概要

現在建設中の東北新幹線(八戸～新青森間)のうち，青森県東部の八戸～七戸間には，小土かぶりの土砂地山を貫くトンネルが12本存在するが，そのうちの多くはNATMにより施工されている．この中で，延長の長い，五戸[1]，六戸[2]，三本木原[3),4)]，牛鍵[5),6)]の4トンネル(全長8.2km)を研究の対象とすることとした．

この区間の地形は第四紀更新世に形成された台地および段丘群である．土かぶりは5～45mで，とくに六戸トンネル，牛鍵トンネルで小さく，10～20m程度となっている．

地質は，新第三紀鮮新世から第四紀更新世にかけて堆積した細粒分含有率が低く均等粒径の未固結砂層を主体とし，シルト層や凝灰岩層などを挟在する．また，表層には八甲田山由来の火山灰層が堆積している．

この区間の地質平面図を**図-1**に，研究の対象としたトンネルの概要を**表-1**に示す．なお，地質縦

図-1　地質平面図

表-1　トンネルの概要

トンネル名	延　長 (m)	平均土かぶり (m)	地　質	主な補助工法
五戸	1,090	22	第四紀更新世の砂層・シルト層を主体	フットパイル
六戸	3,810	13		ディープウエル(DW)
三本木原*	1,265	23		DW，長尺鋼管先受け
牛鍵	2,070	8		地盤改良，DW，鋼管鋼矢板先受け，サイドパイル

＊三本木原トンネルについてはNATMで施工される区間のみ

断図については，3章にて後述する．

2-2　地質の状況

表-2に代表的な地山の物性値を示す．これは，ボーリング調査や切羽でサンプリングされた試料について実施した室内試験の結果をまとめたものである．なお，ボーリング試料については主にトンネルの位置する深度の試料を用いてまとめている．ここで，地質はトンネルによって少しずつ異なり，必ずしも同じ地層が出現しているわけではないが，地山の挙動に関する考察を容易にするために，便宜的に表層・ローム，シルト層，砂層の3つに分類することとした．

砂層については，細粒分含有率が低く粒径のそろった未固結の砂層を主体としており，地山の流動化が生じやすい地山となっている．細粒分含有率F_c，均等係数U_cの分布を図-2に示すが，F_cは5～20%程度，U_cはおおむね3～10程度に多く分布しており，一般に流砂を起こしやすい[7]といわれているF_c<10%かつU_c<5の領域にも多くの試

表-2　代表的な地山の物性値

	表層・ローム	シルト層	砂　層
N　値	0～10	10～50	24～50
湿潤密度 γ_t(g/cm³)	1.37～1.65	1.53～1.63	1.74～2.00
土粒子の密度 ρ_s(g/cm³)	2.59～2.74	2.56～2.66	2.63～2.83
含水比 w(%)	49.7～113.5	45.9～75.8	18.8～39.8
間隙比 e	1.55～3.15	1.45～2.01	0.69～1.12
細粒分含有率 F_C(%)	64.4～92.3	60.3～92.9	6.8～23.9
相対密度D_r(%)	——	——	92～135
均等係数 U_C	——	——	0.7～1.1
一軸圧縮強度(kPa)	32～279	202～422	——
内部摩擦角(°)	——	——	30～40
粘着力(kPa)	32～73	300	0～80

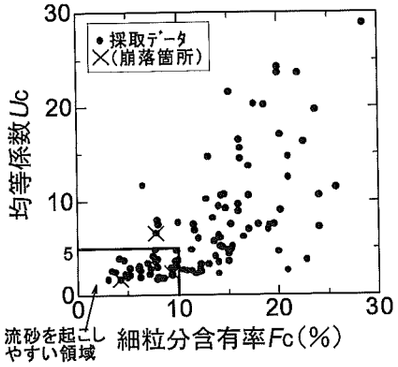


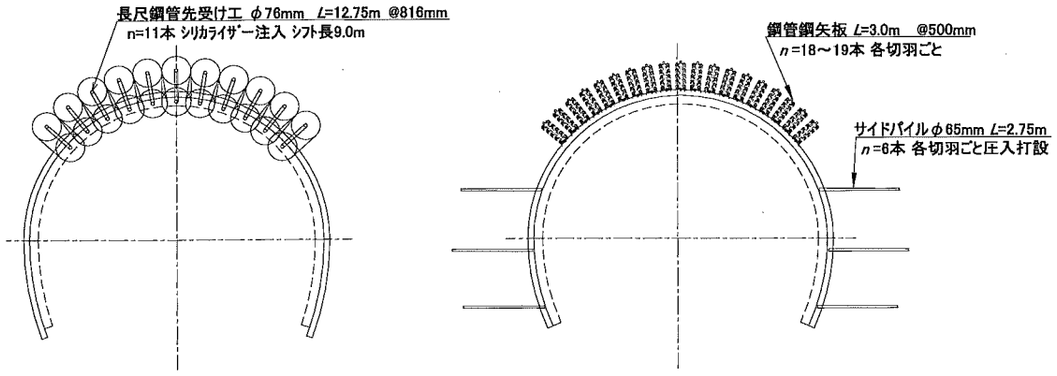
図-2　均等係数，細粒分含有率の分布

料が入っている．後述するが，いくつかのトンネルでは，掘削中に崩落を生じており，崩落箇所の試料もこの領域に近い条件であったことが確認できる．なお，相対密度はおおむね80%以上であり，文献8)によれば，地山等級I_{LS}～I_Nに分類される．

シルト層については，一軸圧縮強度は300kPa程度と小さく，また，N値も10～50と幅広く分布するが，全体的に過圧密となっており，これが単独で切羽を構成する場合にはトンネルの安定に大きな問題を与えることはない地質である．

2-3　設　計

図-3に代表的な断面を示す．断面は標準的な新幹線複線断面であり，全区間インバートが施工さ



(1)三本木原トンネル：注入式長尺鋼管先受け工区間　　(2)牛鍵トンネル：鋼管鋼矢板先受け工区間

図-3　代表的な断面

れている．鋼製支保工はH-125～H-150，吹付けコンクリートは厚さ15～20cm，ロックボルトは8～12本/断面と砂質土地山における一般的な諸元となっている．また，文献8)における地山等級I_{LS}～I_Nの場合の一般的な諸元ともなっている．

補助工法のうち先受け工については，天端や切羽が比較的安定している区間はフォアポーリングなどの簡易な先受けのみを併用して掘削しているが，天端が不安定な区間(三本木原トンネルや牛鍵トンネルの一部区間など)においては，注入式鋼管長尺先受け工や鋼管鋼矢板先受け工を併用して掘削を行っている．そのほか，沈下が大きい箇所においては鋼管によるサイドパイルやフットパイルも併用している．

なお，トンネルによっては地下水位が高く，ディープウエルやウエルポイントの地下水位低下工法を併用して掘削している区間がある．

3　各トンネルの概要

ここでは，各トンネルについて，地形，地質と内空変位(水平内空，天端沈下)の関係について整理する．なお，図中の横軸は東京起点のキロ程を示しており，右方向が終点(新青森)方となる．また，これ以降とくに断りのない限り，内空変位についてはインバート掘削後の最終の収束値である．

3-1　五戸トンネル[1]

五戸トンネル(図-4)は，沢部を除けば土かぶりは30m程度と比較的大きく，トンネルが位置する

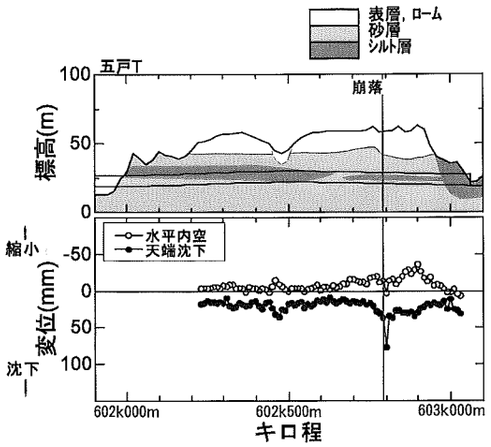


図-4　トンネル内空変位(五戸トンネル)

深度にはシルト層が分布している．詳細に見ると，起点方ではシルト層が「カバーロック」として上半に出現する一方で，終点方では切羽内にシルト層が挟み層として出現し，湧水による泥ねい化，沈下量の増加が生じた．キロ程602k791mにて切羽崩落が生じており，この付近で沈下，変形がとくに大きくなっていることがわかる．

3-2　六戸トンネル[2]

六戸トンネル(図-5)は，一部ピート層が分布している区間を除き，ほぼ全線にわたって，全断面が比較的固結した砂層に収まる状況にある．ただし，土かぶりは沢部を除けば10～20mと小さくなっている．内空変位は一般にほかのトンネルと比べて小さいといえるが，ピート層が出現した区間では大きな沈下を生じている．

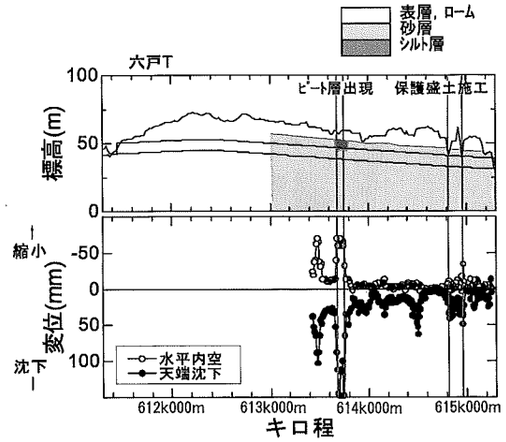


図-5 トンネル内空変位(六戸トンネル)

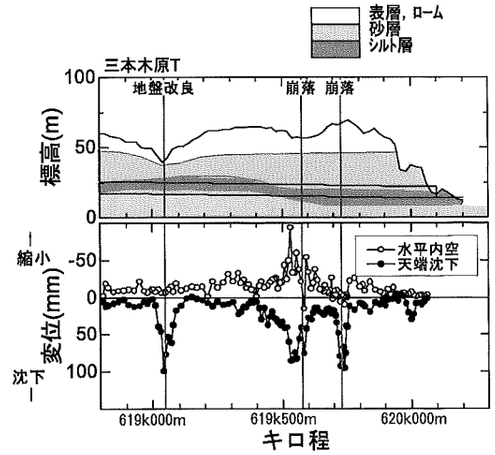


図-6 トンネル内空変位(三本木原トンネル)

3-3 三本木原トンネル[3),4)]

三本木原トンネル(図-6)は618k800mより終点方をNATMで施工した．土かぶりは沢部を除けば40m程度とこれらのトンネルの中ではもっとも大きい．切羽あるいはその近傍の地層構成は619k500mを境に大きく変化し，起点方ではシルト層が「カバーロック」となっているが，終点方ではシルト層と砂層との位置関係が逆転している．起点方については，619k050m付近の沢部に腐植土が厚く堆積し，トンネル上部の地盤改良にもかかわらず沈下が大きくなったが，これを除けば，おおむね安定して掘削ができている．また，内空変位も小さい．一方，終点方については，ラミナ層が上半～天端付近に分布し，かつ，上下の層に比

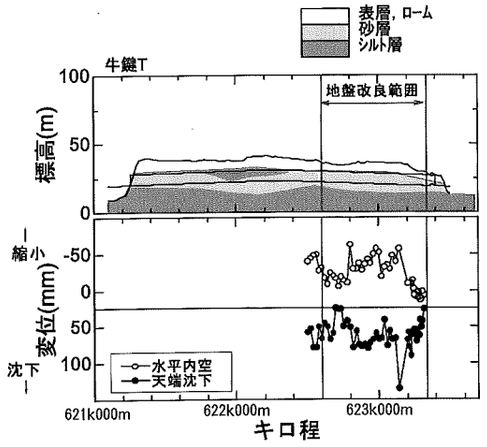


図-7 トンネル内空変位(牛鍵トンネル)

べて硬質な凝灰岩層が分布し，地下水位を十分に下げきれず切羽からの湧水が多かったことも相まってほぼ全線にわたって切羽が不安定となり，長尺鋼管先受け工(注入型AGF)を使用して施工した．崩落も2回発生し，内空変位も大きくなっていることがわかる．

3-4 牛鍵トンネル[5),6)]

牛鍵トンネル(図-7)は土かぶりがおおむね10m程度以下とこれらのトンネルの中ではもっとも小さい．トンネルが位置する深度にはおもに砂層が分布するが，622k000m付近ではシルト層が上半部に出現している．砂層についてはこれらのトンネルの中で堆積年代がもっとも新しく，固結度も低い．このため，622k600m付近から終点方はトンネル上部を一旦開削し，改良を行った後にNATMで掘削する工法を採用した．

土かぶりがもっとも小さく固結度ももっとも低いという条件であるため，水平内空，天端沈下の平均値についてはこれらのトンネルの中でもっとも大きくなっている．

4 計 測 結 果

これらのトンネルにおいては，内空変位や地表沈下，地中変位などについて計測が数多く実施されている．ここでは，計測結果のうち沈下を示す指標である，天端沈下，地表面沈下，地中変位に着目してデータの分析を行った．

4-1 天端沈下

4-1-1 切羽地質と天端沈下との関係

まず，天端沈下に着目して考察を行った．2章でも述べたように，切羽地質と切羽の安定性には関連があると考えられる．切羽地質の特性値として，均等係数U_c，細粒分含有率F_cをとり，これらが天端沈下に与える影響について調べることにした．

図-8に均等係数，細粒分含有率と天端沈下量との関係を示す．これより，U_cについては弱いながらも天端沈下量と負の相関があり，U_cが小さくなると天端沈下量が大きくなる傾向が見られた．一方，F_cについては，天端沈下量とほとんど相関がないことがわかった．ただし，天端崩落箇所については，U_c，F_cともに小さく，また天端沈下も大きいことは確認できる．切羽地質については，切羽の不安定化を通して沈下量の増大に関連するとは考えられるが，天端沈下量そのものについては，切羽地質と天端沈下にはそれほど強い相関は見られなかった．

なお，今回の調査範囲においては，U_cとF_cとに有意な相関関係はなかった．

4-1-2 土かぶりと天端沈下との関係

図-9に土かぶりと天端沈下量との関係を示す．文献8)によれば，土かぶり比が小さくなるに従って天端沈下が大きくなるとされ，六戸，三本木原トンネルの一部区間を除けば，今回の対象トンネルにおいても同様の傾向が見られた．ただし，図からもわかるように，トンネルによって土かぶりに偏りがあり，トンネルごとの個別の特性が強く

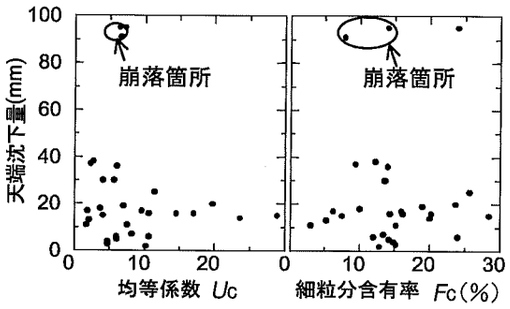


図-8 均等係数，細粒分含有率と天端沈下量との関係

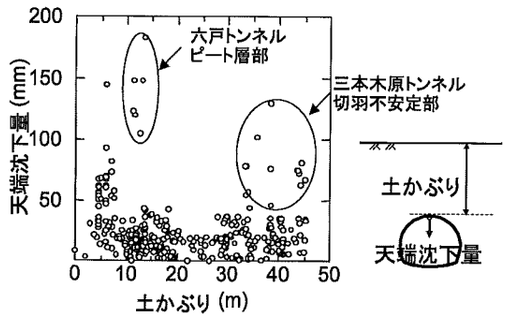


図-9 土かぶりと天端沈下量との関係

表れてしまっている可能性があることには留意する必要がある．

4-1-3 切羽の地層構成と天端沈下との関係

図-4～7に示した各トンネルの概要から，トンネルの沈下は切羽地質，土かぶりなどの地形条件以外に切羽あるいはその近傍の地層構成にも密接に関連していることが予想される．ここでは，簡単のため切羽の地質を砂層，シルト層に分け，両者の位置関係により地層構成を条件1～4の4タイプに分類し，地層構成とトンネルの沈下・変形の関係を調べることとした．なお，この際，地盤改良を行った区間やピート層が出現した区間については，特殊条件区間と考え除外している．

図-10に，切羽の地層構成と天端沈下量の平均値との関係を示す．図より，天端沈下のもっとも大きいのは条件3，上部に砂層，下部にシルト層の組み合わせで，それ以外の条件1，2，4についてはそれよりも小さくなっている．これは，条件3についてはシルト層の影響で地下水位低下工法の効果が小さくなり，切羽に帯水しやすく，脚部の泥ねい化，天端の不安定化が生じやすくなるた

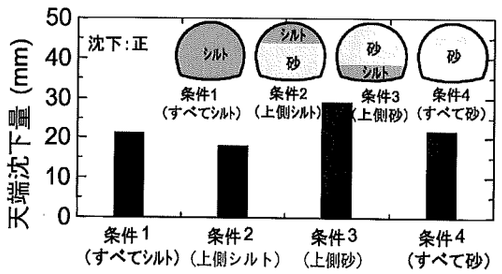


図-10 切羽の地層構成と天端沈下量の平均値との関係

めと考えられる．条件2，4については，条件3と比較し地下水の処理が容易であるために沈下が小さくなっていると考えられる．また，条件1については，切羽がシルト層で覆われ，もともと湧水が少ない条件であるためと考えられる．ただし，条件1については，いわゆる土丹のような過圧密状態のシルト層である場合は問題は少ないが，ピート層のような圧密・圧縮性のシルト層である場合は沈下の問題が生じた．

4-1-4　数量化Ⅰ類による分析

以上のように収集したデータについて，数量化Ⅰ類による分析を実施した．数量化Ⅰ類は多変量解析手法の一つで，目的変数が数量データ，説明変数がカテゴリーデータの場合の現象の解明，予測手法である．**図-11**左に説明変数のカテゴライズを示す．説明変数を天端沈下量にとり，カテゴライズされたU_c，F_c，土かぶりH，地層構成を説明変数として，数量化Ⅰ類により天端沈下量に関するカテゴリースコアを求めた結果が図-11右である．ここで，予想される天端沈下量は，均等係数U_c，細粒分含有率F_c，土かぶりH，地層構成に対する各カテゴリースコアの和と平均天端沈下量との和として式(1)のごとく表され，カテゴリースコアが大きいほど天端沈下を起こしやすい説明変数であることになる．

予想される天端沈下量
＝Σ(カテゴリースコア)
　＋天端沈下量の平均値　　(1)

要因	番号	分類
均等係数 U_c	1	$0 < U_c \leqq 10$
	2	$10 < U_c \leqq 20$
	3	$20 < U_c$
細粒分含有率 F_c	1	$0 < F_c \leqq 5$
	2	$5 < F_c \leqq 10$
	3	$10 < F_c$
土かぶり H	1	$0 < H \leqq 10$m
	2	$10 < H \leqq 20$m
	3	20m$ < H$
地層構成	1	全面シルト
	2	上層シルト
	3	上層砂
	4	全面砂

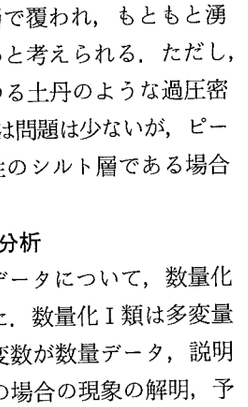


図-11　数量化Ⅰ類による分析結果

サンプル数が少ないので今後データの蓄積により精度を上げていく必要があるが，これより，天端沈下に有意な影響を与えるのは土かぶりHと地層構成で，土かぶりについては小さいほど天端沈下量が大きく，また，地層構成については，条件3の上部に砂層，下部にシルト層の組み合わせで天端沈下が増加することが確認できた．

4-2　地表面沈下

次に地表面沈下に着目して考察を行った．

4-2-1　沈下挙動

図-12にトンネル坑内の内空変位計測により得られた天端沈下量と，トンネル直上部地表面の沈下計測から得られた地表面沈下量との関係を示す．天端沈下量には切羽が到達する前の沈下分や，掘削開始～計測開始までの沈下分が含まれないため，天端沈下量は地表面沈下量より小さくなる傾向にあるが，両者はほぼ同様の値を示している．

図-13に脚部沈下量と天端沈下量との関係を示す．図より，脚部沈下量と天端沈下量はほぼ等し

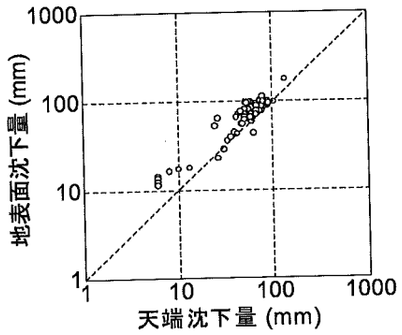


図-12　天端沈下量と地表面沈下量との関係

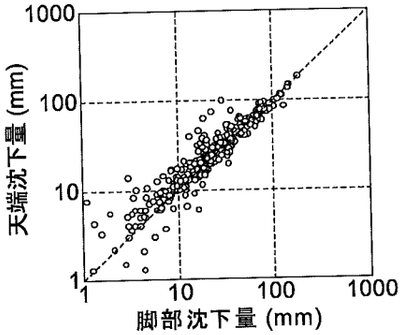


図-13　脚部沈下量と天端沈下量との関係

いことがわかる．図-12, 13より，当該区間のトンネルにおいては，「地表面沈下量」≒「天端沈下量」≒「脚部沈下量」という「とも下がり現象」が生じ，グラウンドアーチが形成されにくい状況にあることが確認された．

4-2-2　土かぶりの影響

図-14に土かぶり比(土かぶりH/トンネルの直径D)と地表面沈下量との関係を示す．一般に，土かぶりがある程度以上あればトンネル掘削によって地山内にグラウンドアーチが形成されるので，地表面沈下は小さくなるとされている．六戸トンネルの一部区間では，ピート層が出現したため土かぶり比が1.5程度あるにもかかわらず沈下が大きくなっているが，これを除けば，既存のデータと同様，土かぶり比が小さい場合は地表面沈下量

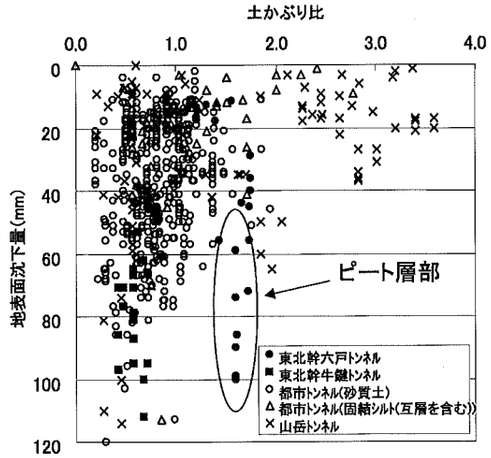


図-14　土かぶり比と地表面沈下量との関係(文献8)に加筆)

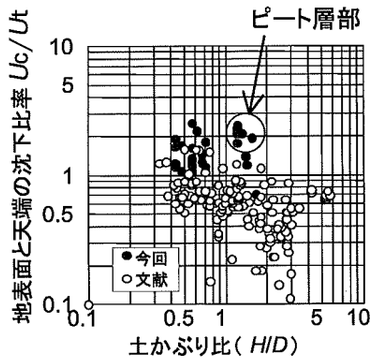


図-15　土かぶり比と沈下比率の関係(文献9)に加筆)

が大きくなる傾向が見て取れる．

図-15に土かぶり比と沈下比率(地表面沈下量U_g/天端沈下量U_t)との関係を示すが，沈下比率は1程度ないし1以下となっているデータが多く，地表と天端が一緒に沈下し，グラウンドアーチが形成されにくい状態にあることが確認できる．なお，当該区間は土かぶりが小さい区間が多く，既存のデータと比べてもとも下がりの傾向が顕著であることがわかる．

4-2-3　地表面沈下曲線

図-16, 17に，横断方向の地表面沈下計測の結果を示す．なお，縦軸については，沈下量Sを断面の最大沈下量S_{max}により除して正規化し，沈下比として示す．沈下はトンネル近傍の比較的狭いエリアに集中して生じていることがわかる．また，土かぶり0.5～1Dの図-16ではより狭いエリアに沈下が限定されていることがわかる．図中には島田[10]の提案式(2)による予測沈下量を実線で示すが，おおむね$\alpha=2$で近似できる．なお，提案式では，シルト質の砂質土で$\alpha=2$～6，粘土で$\alpha=$

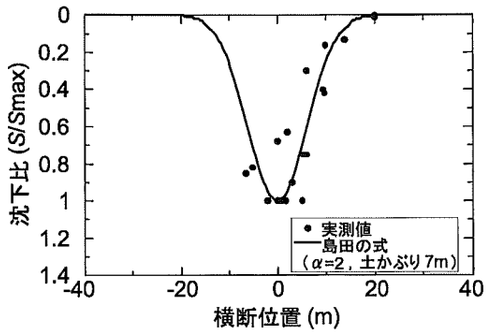


図-16　地表面沈下曲線(土かぶり0.5～1D)

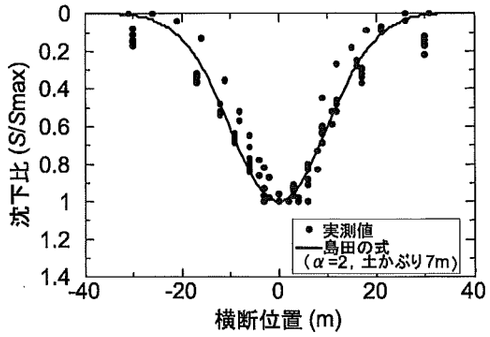


図-17　地表面沈下曲線(土かぶり1～2D)

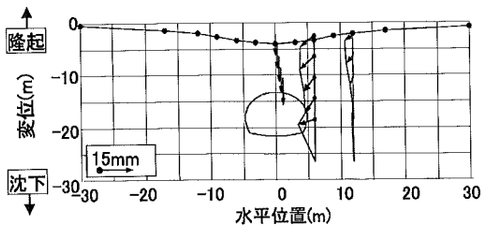


図-18　地盤の沈下状況(下半切羽通過30m後)

0～4とされており，今回の実測値はシルト質の砂質土のうちでも比較的粘土に近い分布形状であった．これは，当該区間においては，トンネルが位置する深度には砂質土が主に分布するが，トンネル上方にはローム層が比較的厚く分布する地質条件であることも影響しているものと考えられる．

$$S=S_0\ e^{-\alpha X}$$
$$X=(x/z)^2 \qquad (2)$$

ここに，

S ：地表面沈下量(m)

S_0：トンネル中心直上における地表面沈下量(m)

x ：トンネル中心よりの水平距離(m)

z ：トンネル中心における土かぶり(m)

α ：地質によって決まる定数

4-3　地中変位

図-18に，六戸トンネルで実施された地中変位計測の結果について示す．図中の変形は300倍に誇張して示してある．直上部の沈下量は深度によって大きな違いはなく，とも下がりを生じていることがわかる．また，センターから12m離れた測線では6m離れた測線と比べ沈下量が急激に少なくなり，側方の影響範囲は広くないことがわかる．

5　ま　と　め

本稿では，小土かぶり土砂地山における補助工法の選定に関する基礎的な知見を示すことを目標として，小土かぶり土砂地山トンネルの掘削時挙動の分析を，天端沈下量，地表面沈下量を対象として行った．今回の調査範囲における分析結果を以下にまとめる．

1)　天端沈下は，土かぶり，地質構成に依存し，小土かぶりの場合や，切羽上部に砂層，下部にシルト層の条件の場合には沈下が大きくなる．

2)　地表面沈下量は，天端沈下量，脚部沈下量とほぼ等しい．地表面沈下の抑制に際しては，天端沈下や脚部沈下を抑制することが重要となる．

3)　トンネルの掘削に伴う沈下は狭い範囲に集中して生じる．これは，グラウンドアーチが十分に形成されず，とも下がりが生じているためと考えられる．

小土かぶり土砂地山トンネルを都市部で施工する場合など，地表面沈下など，地表に与える影響を極力抑えることが要求される場合は，上記事項に十分留意した設計，施工が必要になると考えられる．

今後は，補助工法についても同様の分析を行い，将来的には補助工法の選定指標について提案していきたいと考えている．

参　考　文　献

1) 北川隆・梅木信夫・菊地稔・鈴木登：種々の切羽安定対策工で未固結地山を掘削，トンネルと地下，Vol.35，No.11，pp.7-14，2004.11.

2) 田辺宏・長谷川雅彦・梅木信夫・平野逸雄：地下水位低下工法による土砂地山トンネルの施工，トンネルと地下，Vol.35，No.6，pp.7-14，2004.6.

3) 蓼沼慶正ほか：含水未固結地山トンネルにおける切羽安定方策，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.207-212，2003.11.

4) 小西真治ほか：地下水位を考慮した切羽安定評価法，トンネル工学論文集，Vol.14，pp.1-7，2004.11.

5) 蓼沼慶正ほか：地山改良工を併用した小土かぶりトンネルの施工，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.201-206，2003.11.

6) 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，pp.7-14，2004.4.

7) トンネル標準示方書〔山岳工法編〕，土木学会，1996.7.

8) 鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル，鉄道総合技術研究所，2002.3.

9) 桜井春輔，足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，1988.12.

10) 島田隆夫：土かぶりの浅い鉄道山岳トンネルにおける地表沈下の形状および発生機構に関する研究，鉄道技術研究報告，1981.2.

研　究

内水圧が作用するセグメントの剝離現象の考察

—外郭放水路　第一工区・第二工区—

国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所長　高　柳　淳　二
国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所放水路課長　山　藤　　稔
(財)先端建設技術センター研究第二部長　佐々木　一　英
(財)先端建設技術センター研究第二部主任研究員　佐　藤　元　治

1　は　じ　め　に

首都圏外郭放水路は，中川流域の抜本的治水対策として倉松川，大落古利根川などの洪水を導水し，江戸川に排水するために整備された地下河川シールドトンネル(図-1)であり，平成14年6月より江戸川側の排水機場と第三立坑の区間の試験運用を開始し，構造物の機能および安全性の確認を行ってきた．

首都圏外郭放水路のシールドトンネルは，当初二次覆工を有する設計であったが，新技術の継手構造の検討などにより，一次覆工のみによる構造を採用した．試験運用開始後洪水流入に伴って，トンネル第一工区および第二工区のRCセグメント隅角部表面の一部にコンクリート剝離が認められた．このためセグメント実物試験，現地計測，3次元FEM解析などにもとづく検討を実施した結果，一次覆工のみで構築された内水圧の作用する大深度・大口径のシールドトンネルに特有なメカニズムが関与して剝離が発生することが判明した．

本稿は，この剝離発生のメカニズムについて検討した結果を記すものである．

2　セグメントの概要

本シールドトンネルは，地下50mの大深度にトンネル内径10.6mの大口径でかつ一次覆工のみで構築され，供用開始後はくり返し500kPaを越える内水圧が作用する．

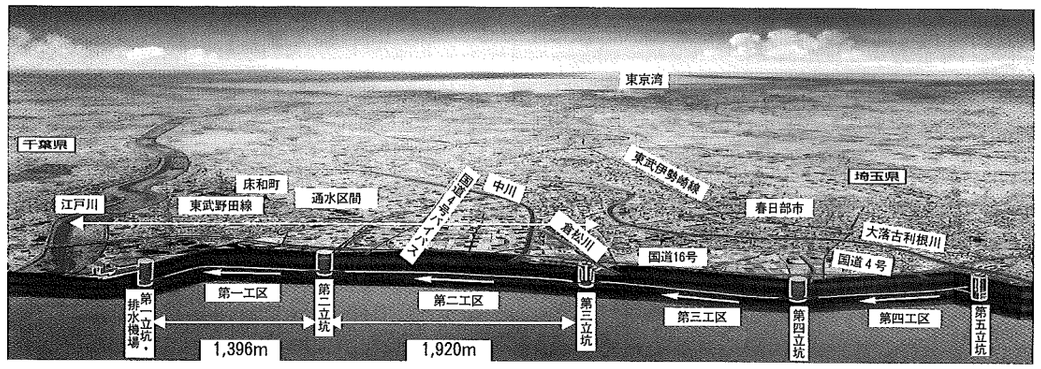


図-1　首都圏外郭放水路の全体イメージ図

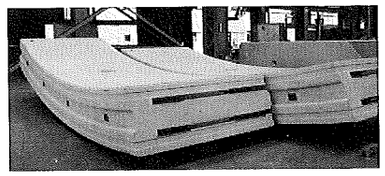
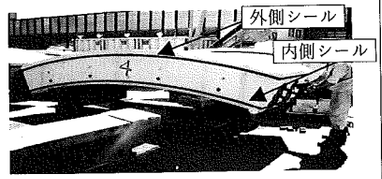
第 一 工 区	第 二 工 区
RCセグメント：幅×厚さ＝1.2m×0.6m， 重量 7 tf/ピース	RCセグメント：幅×厚さ＝1.2m×0.65m， 重量 8 tf/ピース
水平コッター（ピース間：トンネル円周方向）	高剛性継手（ピース間：トンネル円周方向）
プッシュグリップ＋ほぞ（リング間：トンネル軸方向）	ピン・ボルト併用（リング間：トンネル軸方向）
	

図-2　RCセグメントの概要

表-1　シールの仕様

種　類	水膨張性タイプ
体　積	設計寸法において，目開き 0 ㎜の状態で形成されるシール溝体積の85～100%
圧縮率	目開き 0 ㎜の状態で40%以下
形　状	標準寸法　幅35㎜×厚さ 7 ㎜ 表面には，凸状の突起は設けない
体　積 変化率	「標準浸漬試験」の結果，23℃の安定時で100～200 %
質　量 変化率	「標準浸漬試験」および「劣化促進試験」の結果 5 %以下
耐　圧 性　能	「耐圧試験」の結果，以下の条件で漏水のないこと ・目開き 3 ㎜以下で水圧 1 N/㎟を即時 ・目開き 5 ㎜以下で水圧0.7N/㎟を60日以内

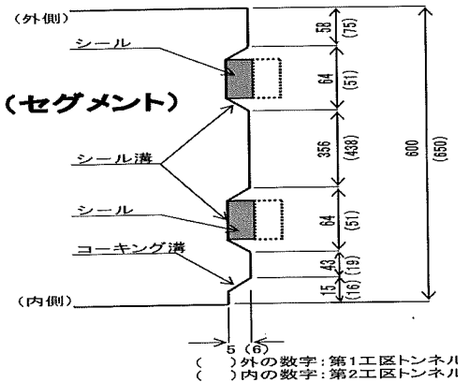


図-3　シール溝の位置・形状（イメージ図）

このような条件に対して図-2, 3, 表-1に示すRCセグメント，シール（止水目的の水膨張性ゴム）などを採用し，1リング9分割施工で第一工区・第二工区の一次覆工は構築された．

3　セグメント剥離の発生状況

平成14年6月より排水機場と第三立坑の間の試験運用を開始し，以後平成16年度末までに合計17回の洪水流入があった．その結果セグメント隅角部などに，第一工区において139か所（平成14年102か所，平成15年19か所，平成16年18か所），第二工区において6,947か所（平成14年3,263か所，平成15年2,945か所，平成16年739か所）の剥離が発生した．剥離の約90%は，セグメントピース間継手（トンネル円周方向）部に発生しており，約10%がセグメントリング間継手（トンネル軸方向）部に発生している．剥離箇所はいずれもシール溝の位置から表面のコンクリートが剥がれ落ちている．なお，トンネル内への漏水は認められない．

以下に発生した剥離の形状について示す（写真-1～3）．

写真-1は，第一工区に認められる剥離である．第一工区では，発進直後の50リング以内のKセグメント（keyセグメント）を中心に，一部のAセグメント（標準セグメント）・Bセグメント（K・Aの接続セグメント）にこのような剥離が発生している．

写真-2は，第二工区で認められる剥離の典型的なものである．剥離部コーナーにはシールの溜りが認められ，シールにはシール溝から外にはみ出そうとして付いたと思われる筋状の痕跡がある．第二工区では同様の剥離が，工区全体かつセグメントリング全周に差異なく分布・発生している．

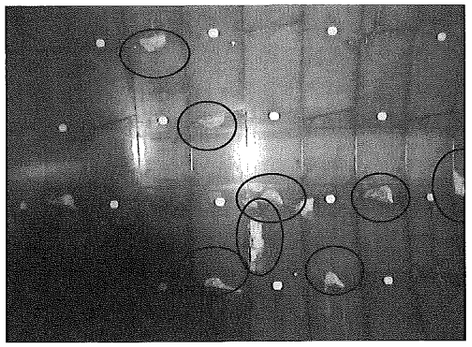


写真-1　第一工区剥離状況（丸印が剥離）

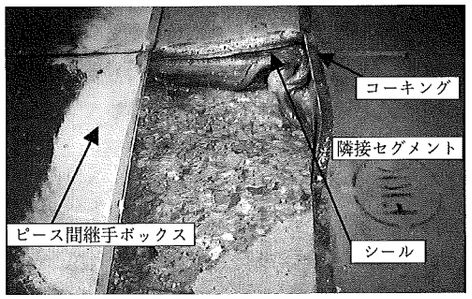


写真-2　第二工区剥離状況

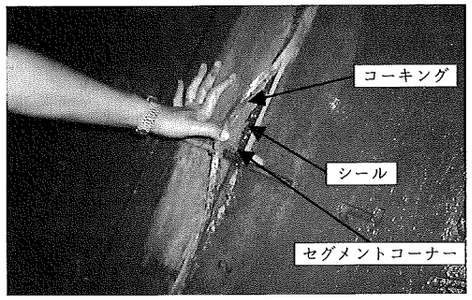


写真-3　第二工区シールはみ出し状況

写真-3は，同じく第二工区で認められるシールのはみ出し現象である．このようにシールがセグメント表面まではみ出した箇所においては，写真-2のような剥離は認められない．

4　剥離メカニズムの仮定と検証

4-1　剥離メカニズムの仮定

すべての剥離がシール溝に端を発していることおよび剥離部のシールにシール溝から外にはみ出そうとして付いたと思われる筋状の痕跡が認められることなどから，シール溝内の圧力上昇が剥離の直接的な原因であると考え，当初はシールの吸水膨張圧のみにより剥離が発生すると仮定した．

しかし，シールの最大膨張圧試験（図-4）とセグメント実物による剥離発生シール溝内圧力試験（写真-4）を行ったところ，シールの最大膨張圧は，10～14MPa程度であり，一方，剥離が実際に発生するシール溝内圧力は，第一工区内側・外側シール溝では54～68MPa，第二工区内側シール溝では39～48MPa，外側シール溝では70～86MPaと，いずれもシールの最大膨張圧より遥かに大きく，シールの吸水膨張圧のみでは剥離は発生し得ないことが判明した．

また，剥離の約90%はセグメントピース間継手部に発生しており，剥離の主要因は円周方向に特有の挙動である可能性が高い．

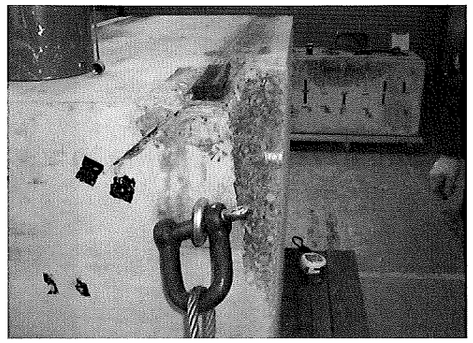


写真-4　剥離発生シール溝内圧力試験状況

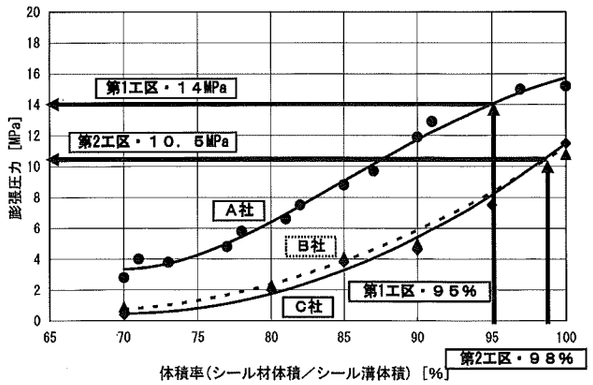


図-4　シール最大膨張圧（促進）試験結果

そこで，以下のとおり剥離メカニズムを仮定し直した．

（1）　セグメント円周方向圧縮力の変化

外郭放水路トンネルは，これまでの計測結果から作用土圧強度は，約500kPaの外水圧強度に対し1/10程度であり，また通常洪水運転時の坑内水位と外水位がほぼ等しいことから，洪水の流入と洪水終了後の坑内残水の排水に伴ってセグメント円周方向圧縮力が以下のように変化する．

- 空水時：主として外水圧により約3,600kN（1リングあたり）の円周方向圧縮力が作用している．
- 洪水流入時：坑内水位と外水位がバランスしているため，円周方向圧縮力はほぼゼロとなる．
- 坑内残水の排水後：再び主として外水圧により約3,600kNの円周方向圧縮力が作用する．

（2）　セグメントピース間継手の目開き量変化

一方，洪水の流入と坑内残水の排水に伴うセグメント円周方向圧縮力の変化とシール材の吸水膨張によりセグメントピース間継手の目開き量が以下のように変化する可能性がある．

- 空水時(初期)：継手面は，接触している．
- 洪水流入時：円周方向圧縮力がほぼゼロの状態でシール材の吸水膨張圧が作用することにより継手に微細な目開きが発生する．
- 坑内残水の排水後：洪水流入時に発生した目開きは，坑内残水の排水後もシールが親水性のゴムであるため残留する．

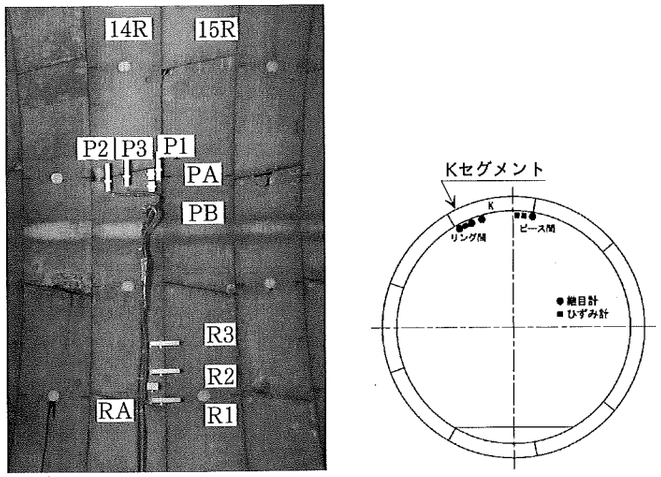
各種試験によれば湿潤状態のシールはおおむね非圧縮性であり，かつシール溝により変形が拘束されているため，坑内残水排水後は約3,600kNの円周方向圧縮力をシール溝部のみで伝達することとなる．これによりシール溝には剥離発生レベルの圧力上昇が生じるものと考えた．

この仮定を検証するため，現地計測による洪水流入時のセグメントピース間継手の目開き挙動の確認に加え，施工時から完成後供用に至る各段階の荷重履歴などを考慮した3次元FEM解析を行った．

4-2　洪水に伴うセグメント継手面の挙動計測

洪水流入と坑内残水の排水に伴うセグメントピース間継手の目開き挙動確認のため，第一工区に2断面(①：14・15リング，②：20・21リング)，第二工区に2断面(①：15・16・17リング，②：23・24リング)を選定し，継目計およびひずみ計による連続自動計測を実施した(**図-5**)．また，同位置でのセグメントリング間継手の挙動について併せて計測した．

計測断面内の計器設置位置は，第一工区ではKセグメント継手部とし，第二工区では剥離はセグメントリング全周に差異なく発生しているが，目開き量の変化はトンネル天端付近の正曲げ領域でより顕著に計測できると考え，AセグメントとBセグメント継手部とした．



継目計	ピース間目開き	P1	コーナー部
		P2	ピース間継手部（2工区については，ボルトボックス直近）
		P3	ピース間継手間
	リング間目開き	R1	コーナー部
		R2	リング間継手部（2工区については，ボルトボックス直近）
		R3	リング間継手間
ひずみ計	トンネル円周方向	PA	継手面から100㎜程度
		PB	継手面から300㎜程度
	トンネル軸方向	RA	継手面から200㎜程度

図-5　計測器設置概要(第一工区①14・15リングの例)

計測の結果，以下の事項が確認された．

- セグメントピース間継手の計測では洪水流入時に目開きが発生し，坑内残水排水時に目が閉じることが確認された．洪水の流入と排水による目開き量の変化は，0.1～0.3㎜の範囲にあり，坑内の水位に敏感に連動する．計測断面周辺の空水時の現地目視調査によれば，セグメントピース間継手には0.1～0.3㎜の目開きの存在が確認され，洪水流入がくり返される中で目開きが一部残留していることが判明した．
- セグメントリング間継手の計測では洪水の流入時に0.2～0.4㎜目が閉じ，坑内残水排水時に目が開くことが確認され，坑内水位に敏感に連動する．計測断面周辺の空水時の現地目視調査によれば，立坑近傍の数十リングに0.2～0.4㎜の目開きが存在しており，施工時・反力壁解体などにより発生した可能性が高い．また，目開き量の変化は，坑口リングの立坑側の鉛直面に作用する水圧の影響と考えられる．

4-3　シール溝内圧力解析

セグメントピース間継手の目開き挙動と施工時から完成後の供用に至る各段階の荷重履歴を考慮し，3次元FEM解析(**図-6**)によりシール溝内の圧力などを計算し，剥離発生の可能性について検討した．解析は4つの荷重ステップ(図-6に併せて示す)で行い，解析モデルは，セグメント1ピースについてシール溝，継手部も考慮して作成した．

解析の結果，シール溝内の最大圧力は第一工区，第二工区ともステップ4(坑内残水の排水直後)で発生している．内側シール溝に着目して最大計算圧力と剥離発生シール溝内圧力試験の試験値を比較すると，**表-2**に示すとおり第一工区では計算値は試験値の60%程度であり，第二工区では計算値は試験値の90%を超える．

4-4　剥離メカニズムの推定

これまでに判明した事項を整理すると，

- 剥離の直接的な原因は，シール溝内圧力の上昇であると考えられる．
- 約90%の剥離は，セグメントピース間継手部に発生しており，円周方向の荷重・挙動が主要因と考えられる．
- 洪水の流入・坑内残水の排水に伴って円周方向圧縮力が約3,600kN(1リングあたり)→ほ

荷重ステップ
①ステップ1(施工時)：
　外水圧(軸圧縮力)＋シール弾性反発力(封入圧)＋残留ジャッキ推力
②ステップ2(完成時)：
　ステップ1荷重＋継手締結力
③ステップ3(洪水流入時)：
　ステップ2荷重＋内水圧(軸引張り力)＋シール膨張圧
④ステップ4(坑内残水排水直後)：
　ステップ3荷重－内水圧(軸引張り力)

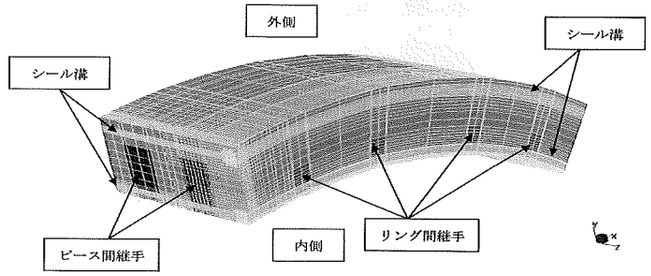


図-6　解析要素図

表-2　FEM解析による計算値と剥離発生シール溝内圧力試験の試験値

工区	荷重ステップ	内側シール溝			外側シール溝		
		計算値	試験値	計算値/試験値	計算値	試験値	計算値/試験値
第1工区トンネル	ステップ4	31.0MPa	54.0MPa	57%	15.7MPa	54.0MPa	29%
第2工区トンネル	ステップ4	35.5MPa	39.0MPa	91%	32.0MPa	70.0MPa	46%

ぼゼロ→約3,600kNと変化する．

- シールの最大膨張圧は10～14MPaである．
- セグメント剥離が実際に発生するシール溝内圧力は，シールの最大膨張圧の３倍以上である．
- セグメントピース間継手は，洪水流入時に目開きが発生し，坑内残水排水時に目が閉じる．
- 空水時の円周方向圧縮力が作用した状態でも目開きが存在し，目開きが一部残留している．
- ３次元FEM解析の結果，排水直後の内側シール溝内圧力は剥離発生圧力に対し接近する（第一工区：60%程度，第二工区：90%超）．

以上の事項から剥離発生の主要因は，洪水の流入時にセグメントピース間継手が目開きし，これによって坑内残水の排水直後にシールのみによって3,600kNのセグメント円周方向圧縮力を伝達する状態が引き起こされ，シールの反力によるシール溝内圧力の上昇が剥離を発生させたものと推定される．

このメカニズムのイメージを図-7に示す．

なお，外側シール溝については３次元FEM解析の結果，排水直後のシール溝内圧力は剥離発生圧力に対して，第一工区・第二工区とも50%以下であり，加えてトンネル外周面に土圧，水圧が剥

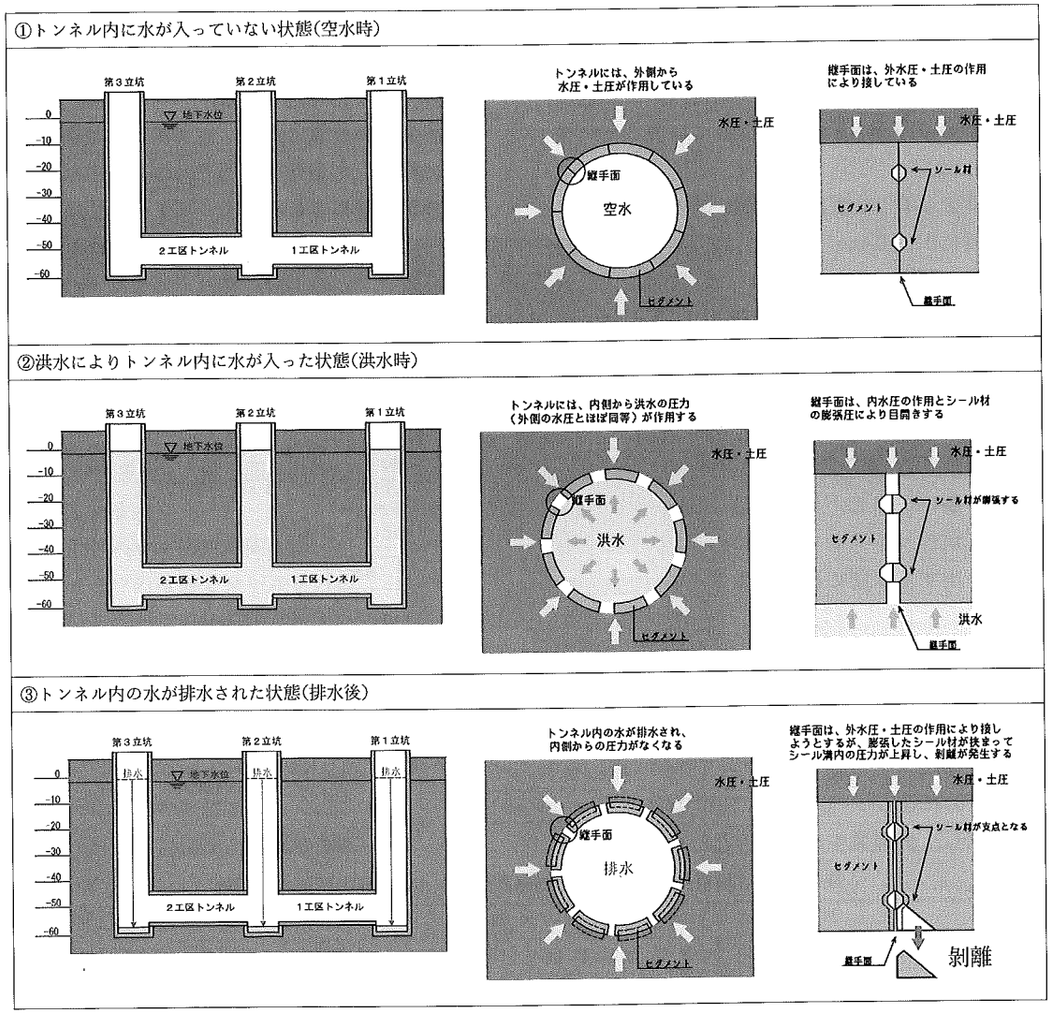


図-7　主要剥離メカニズムのイメージ

離拘束力として作用するため，剥離しにくい状況にあり，トンネル内への漏水は認められないことからも剥離は発生していないものと考えられる．

主要剥離メカニズムは上述のとおりであると推定されるが，このほかにも施工時に剥離助長要因が存在すると考えられる．施工時にはシール封入によりシール溝内圧力が発生することおよびセグメントの組み立て過程には相応の誤差を伴うため，継手面の応力が不均一となり部分的にシール溝内圧力が上昇し，剥離を助長する可能性がある．

また，セグメント隅角部ではコーナーシールを使用することから充填率がやや高くならざるを得ず，シール溝内圧力が上昇しやすく，他の部位に比べて剥離が発生しやすい状態が生じると考えられる．

5　ま　と　め

剥離発生の主要因は，一次覆工のみで構築された内水圧の作用するシールドトンネルに特有な円周圧縮力の変化と内水圧とシールの吸水膨張によるセグメントピース間継手の目開き量の変化によってもたらされるシール溝内圧力の上昇であり，新しい知見である．今回の剥離はこれに加え，セグメントの組み立て誤差，シールの弾性反発力・膨張圧の要因が複合的に作用し，発生したものと考える．

今後，次の技術的課題に対し，研究・検討が必要であると考えられる．

（１）　シール材の膨張圧

- 必要耐水圧性能とシールの最大膨張圧の設定
- シール溝に対する適切なシールの体積率の設定
- 施工精度の実態を踏まえた止水要求性能の設定

（２）　シール溝の設計

- シール材の荷重反力を低減するためのシール溝形状(可能な限り幅広で浅く)の採用検討
- シール溝の位置を可能な限りセグメント厚さ方向中心に設置し剥離抵抗を確保
- 剥離抵抗が不十分な場合，鉄筋を追加配置するなどしてシール溝を補強
- シール溝の強度確認試験を実施するなどして剥離抵抗について確認
- 剥離現象防止のためのシール溝設計手法の確立

（３）　ボルトボックスと本体の一体化

- ボルトボックスを有するセグメントは，ボルトボックスを本体と同等以上の強度の材質で表面まで充填・一体化し，圧力の高まりやすいセグメント隅角部付近シール溝圧力の分散

（４）　施工技術

- 施工時の剥離助長要因の影響を軽減するため，さらなる施工精度向上を目指した技術研究・開発

6　お　わ　り　に

首都圏外郭放水路は，地下50mにトンネル内径10.6mで一次覆工のみで施工された地下河川シールドトンネルであり，このような構造物が大きな水圧変動の下で実際に運用された初めての事例である．今回得られた知見と，併せて判明した技術的課題に対する一層の研究・検討がシールドトンネル技術向上に多少とも寄与し，社会的な要請に応えていくことになれば幸いである．

最後に，剥離メカニズムの解明にあたりご指導・ご助言を賜りました首都圏外郭放水路覆工構造検討委員会(委員長：今田徹・東京都立大学名誉教授)の委員各位に心より感謝申し上げます．

土木情報 No.393 今月の主な入札結果

（12月23日～1月25日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東地整	東日本橋～両国共同溝	森本組	600
近畿地整	石槫峠道路石槫T	大林・飛島JV	7,060
東日本高速	東北中央自動車道沖根山T	徳倉建設・同和工営JV	2,150
首都高速	SJ22工区(2-1)富ヶ谷出入口T(その2)	大成・鹿島・鉄建JV	2,670
都市再生・埼玉	越谷レイクタウン地区東埼玉道路関連排水	鹿島・ユニオンJV	175
〃	岩槻南部新和西地区平成17年度公下	丸新建設	105
〃	菖蒲北部地区平成17年度調整池	奥村組	123
〃	高坂駅東口第二地区平成17年度公下	タカハタ・NIPPO JV	180
埼玉県	荒川左岸南部流域下水道鴨川第一準幹線1工区2号	和光・木本JV	184
〃	利根川右岸流域下水道児玉幹線管渠築造1工区1号	金子組・関口組JV	378.5
〃	〃 2号	大豊・真下JV	329
〃	〃 3号	平岩建設・小林組JV	260
〃	〃 4号	真下・内藤JV	336
〃	〃 5号	古郡建設・秩父土建JV	356
〃	〃 2工区4号	小川工業・武蔵建設JV	319
〃	〃 5号	サイレキ建設工業・こぐれ建設JV	296.4
〃	〃 3工区1号	西武・山口組JV	296
〃	〃 2号	田部井建設・新井組JV	318
都・財務局	神田川・環状7号線地下調節池(第二期)妙正寺暫定取水施設(その1)	戸田建設	342.5
都・水道局	八王子市丹木町一丁目地先から同市中野上町五丁目地先間送水管用T	大林・五洋JV	2,140
〃	世田谷区桜三丁目地先から同区弦巻五丁目地先間外1箇所配水本管布設	東海興業・高橋組興業JV	371
都・下水道局	台東区三ノ輪一丁目，下谷二丁目付近再構築	五洋・安藤・名工JV	2,120
〃	足立区千住瀧田町，千住仲居町付近再構築	大豊・ピーエス三菱JV	1,650
〃	豊島区高田三丁目，文京区目白台一丁目付近再構築	西松・大本・株木JV	1,350
〃	世田谷区松原五，六丁目付近枝線	三井住友・森本JV	1,067
〃	台東区池之端一，二丁目付近再構築	清水建設	770
〃	港区虎ノ門三，四丁目付近再構築その2	片倉建設	200.63
〃	錦糸町幹線再構築	竹中土木	351
京都府	宇治浄水場導水施設更新新事業導水管T	古瀬・玉井・南郷JV	948
滋賀県	琵琶湖流域下水道東北部彦根第二幹線高宮工区管渠	大成・三東JV	1,027
兵庫県	太寺幹線管更生	青木あすなろ	115.1
島根県	一般国道488号長沢1号T	鴻池組・大畑建設・原工務店JV	2,150
鹿児島県	道路改良(勝浦T)	戸田・山下(善)建設・泰江組JV	3,060
江戸川区	葛西駅地下自転車駐車場(東口)整備(その2)	戸田・伊勢崎・市組JV	915
〃	〃 (西口) 〃	大成・池田・小黒JV	931
横浜市	中部処理区大和地区下水道整備(その7)	加藤組	137
〃	都筑処理区長津田地区下水道整備	土志田建設	359
〃	西部処理区南瀬谷地区下水道整備	長野工務店	127.68
川崎市	渋川1-6号雨水管	戸田・西武・織戸JV	1,025.8
〃	登戸雨水幹線その12	藤木・浅野JV	185
京都市	西堀川5号・6号分流幹線(その1)公下	飛島・ハンシン・公成JV	955
〃	〃 7号分流幹線(その1)公下	錢高・吉村JV	675
大阪市	東横堀川～桜川幹線下水道管渠築造(その13)	清川組	253.5
〃	大阪駅北地区下水管渠移設	奥栄・有輝JV	209
〃	難波～新川幹線下水管渠	南海辰村建設	205
広島市	宇品地区下水道築造17の1号	大豊・西武・伏光組JV	1,410
〃	荒川左岸南部流域下水道鴨川第一準幹線1工区3号	荒木・斉藤建工JV	122
倉敷市	生坂二日市線(2工区)道路改良	鉄建・大森工務店・ハラダJV	1,237

連載講座

都市トンネル工事の計測(3)

—大深度急曲線シールド施工時荷重の計測とその評価—

東京都下水道局建設部設計調整課長 坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課 吉本正浩
日本工営(株)首都圏事業部総合技術センター長 杉山仁實
日本工営(株)総合技術センター地盤技術室 佐藤健人

① はじめに

東京都下水道局では，昭和37年に初めてシールド工法を採用して以来，これまでに1,300件を超すシールド工事を行っている．これらの工事の施工条件の変遷をみると，採用初期の土かぶりは20m程度であったが，現在では60mを超すものもある．そして，大深度で曲率半径20m前後のような急曲線施工が行われることも少なくない．こうした過酷な施工条件下では，いままで想定していなかった施工時の荷重に留意する必要がある．しかしながら，このような施工条件下での荷重計測事例はきわめて少ないのが現状である．

一方，「トンネル標準示方書シールド工法編・同解説」[1]では，施工時の荷重として，ジャッキ推力や裏込め注入圧などに留意すると記述されている．

しかし，これまでの筆者らの検討により，大深度かつ急曲線施工では，とくに，今までは評価しなかったテールグリス圧やマシンの姿勢制御に伴う偏心荷重などについても留意すべきであると考えられる[2),3)]．

今回の講座では，東京都下水道局のシールド工事での計測事例を用いて，大深度急曲線シールド工事の施工時荷重の計測計画および結果の考察の一例を紹介する．

② 工事概要

計測対象となったY幹線の工事概要図を図-1に，工事概要とシールド諸元を表-1に示す．本幹線は，雨水貯留システムの構築を目的に到達部の雨水貯留幹線と貯留水排水ポンプ施設とを結ぶ連絡管路である．シールド工事は，土かぶり約54m，延長190mを泥水式シールド工法で施工した．掘削対象となる地盤は，N値50以上の砂礫層であり，曲線半径20mの急曲線施工が2か所あった．そして，施工時荷重の計測は発進後2つ目の急曲線部(R＝20m)で実施した．

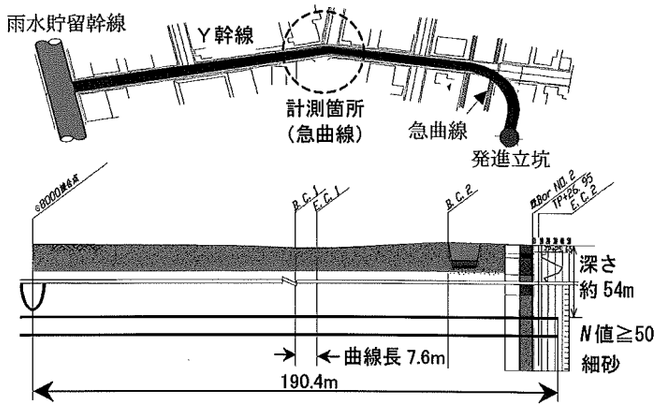


図-1 工事概要図

表-1　工事概要およびシールド諸元

工事概要	トンネル延長	190.4m
	平面線形	R20m×2か所 (CL=31.452m，7.615m)
	仕上がり内径	φ3,000㎜
	代表土質	細砂
	N値	50
	土かぶり	約54m
	地下水位	GL−1.33m
	その他	縦横連続シールド
シールド	機長	6,440㎜
	外径	φ3,940㎜
	機種	泥水式
	中折れ方式	後胴押し
	真円保持装置	なし

表-2　計測区間におけるセグメント諸元

セグメント	種類	鋼製セグメント	
	分割数	7分割	
	外径	直線：φ3,800㎜	曲線：φ3,750㎜
	幅	直線：1.0m	曲線：0.3m
	桁高	175㎜	

表-2に計測区間におけるセグメント諸元を示す．計測区間の鋼製セグメントは，曲線部と直線部でセグメント幅および外径が異なった縮径タイプである．

③ 計測計画の立案

急曲線施工では，直線部から曲線部への線形の変化に伴うさまざまな施工時荷重がセグメントに作用すると考えられる．計測計画の立案時点での分析イメージを**図-2**に示す．

第一に，トンネル軸方向に作用するジャッキ推力の影響を把握する必要がある．ジャッキ推力の影響は，掘進に伴うマシンの姿勢制御の状態によって異なると考えられるため，トンネル軸方向の複数断面で確認する必要がある．第二に，トンネル横断方向に作用する荷重の影響を把握する必要がある．各断面ではマシンの通過に伴って，テールグリス圧，土水圧および裏込め注入圧などが，トンネル横断方向に順次作用すると考えられる．とくに大深度では，浅深度と比較して，テールグリス圧や裏込め注入圧が卓越すると考えられる．第三に，今回の工事では縮径タイプのセグメントを用いているためこの影響を把握する必要がある．したがって，これらに留意して，計測計画を立案した．

3-1　計測項目

今回計測対象とする施工時荷重を**表-3**に示す．ここで示したトンネル軸方向および横断方向に作用する施工時荷重の大きさは，トンネル部材(セグメント，ボルトなど)に作用する曲げモーメントおよび軸力を計測することにより，把握することを基本とした．

また，これらの荷重の大小はテールクリアランスやセグメントの変形に影響を受けると考えられるためこれらの値も計測した．さらに，さまざまな施工状態の複雑な相互作用も把握できるように

表-3　計測対象項目整理結果表

トンネル軸方向	トンネル横断方向	その他
ジャッキ推力	テールグリス圧 裏込め注入圧	テールクリアランス セグメント変形

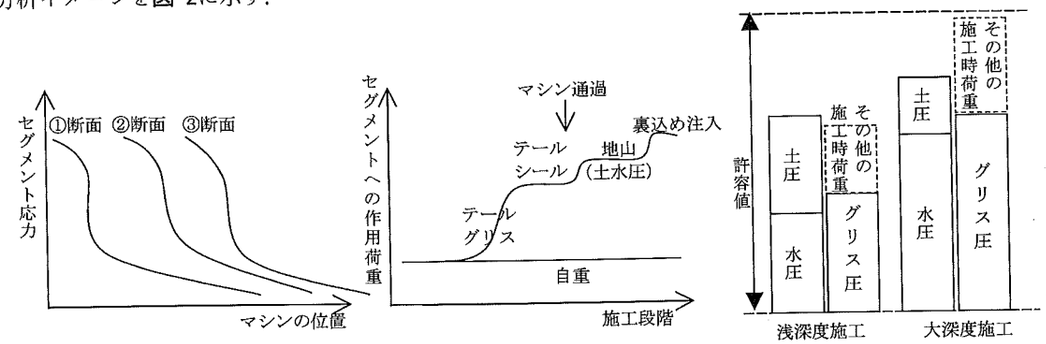


図-2　計測計画立案時における分析イメージ

表-4　施工管理データ

1	リング番号	23	推進圧力
2	掘進ストローク	24	総推力
3	日時	25	カッタ圧力
4	切羽水圧	26	カッタ回転方向
5	送泥圧力	27	中折れ角
6	送泥流量	28	ピッチング計
7	排泥流量	29	ローリング計
8	送泥密度	30	No.1 ジャッキ
9	排泥密度	31	No.2 ジャッキ
10	送泥流量積算	32	No.3 ジャッキ
11	排泥流量積算	33	No.4 ジャッキ
12	逸水流量積算	34	No.5 ジャッキ
13	送泥乾砂量積算	35	No.6 ジャッキ
14	排泥乾砂量積算	36	No.7 ジャッキ
15	掘削乾砂量積算	37	No.8 ジャッキ
16	掘削量積算	38	No.9 ジャッキ
17	掘削偏差流量	39	No.10 ジャッキ
18	掘進速度	40	No.11 ジャッキ
19	ジャッキスピード	41	No.12 ジャッキ
20	右ストローク	42	No.13 ジャッキ
21	左ストローク	43	No.14 ジャッキ
22	コピーストローク		

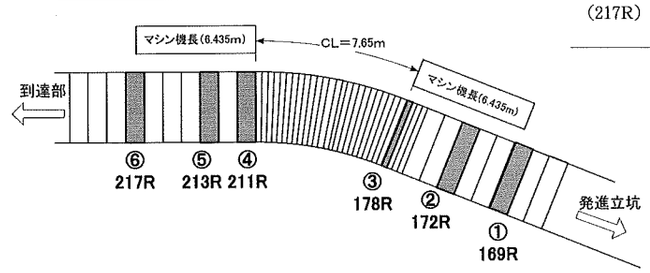


図-3　計測リング

表-5　計測リング選定時の考え方

計測断面	マシン先端位置	セグメント位置	上段：施工状態 下段：配置目的
① (169R)	曲線 始点部	直線内	曲線施工のためのマシン方向制御
			急曲線緩和のための曲線始点部前での鋼製セグメント採用位置設定
② (172R)	曲線内	直線内	曲線施工のためのマシン方向制御
			急曲線緩和のための曲線始点部前での鋼製セグメント採用位置設定
③ (178R)	曲線内	曲線始点部	曲線施工
			曲線施工時の荷重把握(ジャッキ推力，せりなど)
④ (211R)	直線内	曲線終点部	直線施工のためのマシン方向制御
			曲線終点部施工時荷重把握(同上)
⑤ (213R)	直線内	直線内	直線施工のためのマシン方向制御
			急曲線緩和のための曲線終点部後での鋼製セグメント採用位置設定
⑥ (217R)	直線内	直線内	直線施工
			直線施工時荷重把握(ジャッキ推力など)

表-6　各計測セグメントにおける計測器数

断面	主ひずみゲージ	桁	縦リブひずみゲージ	セグメント継ぎボルト(ボルト軸力計)	リング継ぎボルト	間隙水圧計	圧力計	温度計
①	38		28	28	4	1	3	1
②	38		28	28	—	—	—	1
③	38		28	14	—	—	—	1
④	38		28	28	4	—	—	1
⑤	38		28	28	—	—	—	1
⑥	38		28	28	—	—	—	1
計	228		168	154	8	1	3	6

表-4に示す施工管理データも逐次計測して把握することとした．

3-2　計測器配置と種類

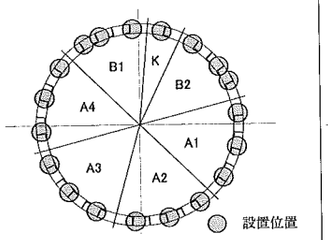
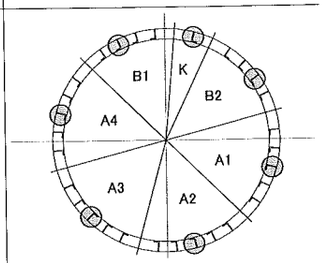
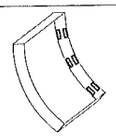
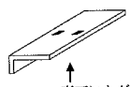
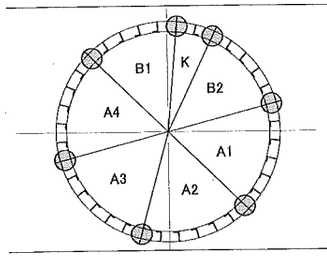
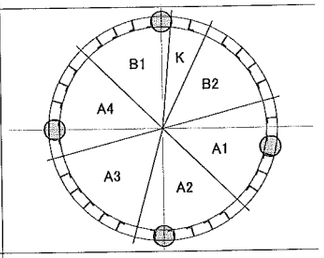
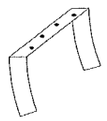
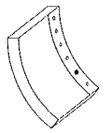
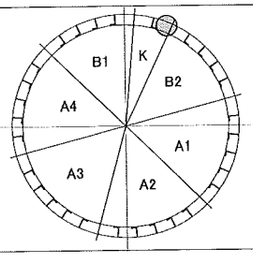
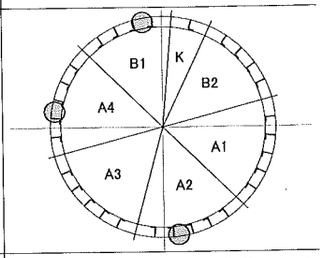
3-2-1　計測断面

計測断面は，**図-3**に示すようにトンネル軸方向に①〜⑥の6か所とした．計測位置の選定は，曲線始点付近から終点付近における施工時荷重の比較を行うため，**表-5**に示す考えにもとづいた．

3-2-2　自動計測位置と種類

各計測断面における計測器数は**表-6**に示すとおりとし，代表的な①断面の計測器の配置図を**表-7**に示す．施工時の荷重をトンネル軸方向とトンネル横断方向に分けて計測するため，計測器の配置は，それぞれについて効果的となるようにした．以下にその考え方を示す．

表-7　計測器配置の例(①断面)

<table>
<tr><td>主桁ひずみ</td><td>縦リブひずみ</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>  </td><td> 
</td></tr>
<tr><td>・土水圧(全応力)など，長期的な主荷重の推定
・施工時荷重の大きさ，分布の把握</td><td>・土水圧(全応力)など，長期的な主荷重の推定
・ジャッキ推力に対する設計検証
・せり挙動の検討</td></tr>
<tr><td>セグメント継手</td><td>リング継手</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>・土水圧(全応力)など，長期的な主荷重の推定
・施工時荷重の大きさ，分布の把握
・継手板挙動の検討</td><td>・トンネル軸方向安定性検討</td></tr>
<tr><td>間隙水圧計</td><td>圧力計</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>・水圧の把握</td><td>・土水圧(全応力)など，長期的な主荷重の推定
・施工時荷重の大きさ，分布の把握</td></tr>
</table>

(1)　主桁(ひずみゲージ)

組み立て直後～テール通過～地山条件下に至る過程に発生する横断方向の断面力の変化を把握することを主目的とする．各計測断面における曲げモーメントおよび軸力の分布がわかるように，ひずみゲージを各断面のリングの主桁の片面に3か所，桁高方向に2段設置した．

(2)　縦リブ(ひずみゲージ)

ジャッキ推力は，施工管理データとしても記録されるが，実際にセグメントに作用する荷重を計測するため，各計測断面の縦リブをひずみ計測の対象とした．また，縦リブの高さ方向のひずみ分布を把握することにより，テールシール接触の影響による曲げ変形を確認することもできると考えた．したがって，ひずみゲージを各セグメントピース中央の縦リブの高さ方向に2段，裏表2面に設置した．

(3)　セグメント継手ボルト(ボルト軸力計)

継手板に発生する横断方向のモーメントや目開き量を算定するために，ボルト軸力計を計測リングの全セグメント継手ボルトに設置した．なお，③断面では30cm幅のセグメントを用いたため，ボルト本数はピース間で2本となった．

(4)　リング継手ボルト(ボルト軸力計)

トンネル軸方向の荷重伝達状態の把握および安定性確認を目的に計測リングの上下左右4か所のリング継手ボルトにボルト軸力計を設置した．

(5)　間隙水圧計

セグメントに作用する水圧を把握するために，グラウトホールを利用して間隙水圧計を①断面(1か所)に設置した．

(6)　圧力計

テールグリス圧や裏込め注入圧などによる外荷重の影響は，ひずみゲージにより把握できるが[3]，直接的に液圧分の値を確認するために，圧力計を①断面のみに3か所設置した．

(7)　温度計

各計測値を温度補正するため，温度計を各計測断面に1か所設置した．

3-2-3　手動計測位置と種類

表-3に示したテールクリアランスやセグメントの変形量は，手動計測により行うこととして測定項目や測定箇所を決定した．手動計測項目および測定箇所を**表-8**に示す．

(1)　テールクリアランス，内空変位

テールクリアランスの測定箇所は，計測箇所や推力上昇時に45度振り8か所，それ以外の箇所では上下左右4か所とした．また，内空変位は上下と左右の2方向とした．

表-8　手動計測項目と計測位置

測定箇所＼範囲	自動計測器設置箇所および推力上昇時		左記以外の箇所	
	測定箇所	測定頻度	測定箇所	測定頻度
テールクリアランス	上下左右8か所	・掘進前後	上下左右4か所	・掘進前後
内空変位	上下左右2方向	・テール内 ・テール外 ・計測箇所前後1Ringごと ・その他は5Ringごと ・推力上昇時はその都度	上下左右2方向	・テール内 ・テール外 ・5Ringごと
セグメント間継手目開き	目開き発生箇所	・テール内 ・テール外 ・計測箇所前後1Ringごと ・その他はその都度	目開き発生箇所	・テール内 ・テール外
セグメント間継手目違い	目違い発生箇所	・テール内 ・テール外 ・計測箇所前後1Ringごと ・その他はその都度	目違い発生箇所	・テール内 ・テール外
リング間継手目開き	目開き発生箇所	・テール内 ・テール外 ・計測箇所前後1Ringごと ・その他はその都度	目開き発生箇所	・テール内 ・テール外
リング間継手目違い	目違い発生箇所	・テール内 ・テール外 ・計測箇所前後1Ringごと ・その他はその都度	目違い発生箇所	・テール内 ・テール外

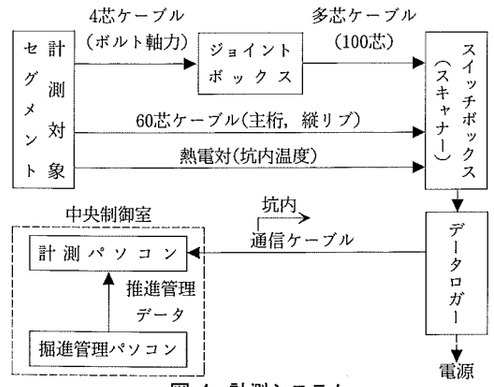


図-4　計測システム

表-9　使用計測器一覧

品名	数量	備考
データロガー	1台	最初の計測断面からの離れ約30m
スイッチボックス	11台	〃
ジョイントボックス	6台	計測断面との離れ約2m
多芯ケーブル	6本	0.3㎟　100芯
多芯ケーブル	42本	0.3㎟　60芯

(2)　目開き，目違い(セグメント継手間，リング継手間)

目開きや目違いについては，発生時期と発生箇所を明確にするために設定した項目であり，**表-8**に示した測定頻度で目視により確認し，発生状況に応じて測定するようにした．

3-2-4　計測システムおよび頻度

(1)　計測システム

各断面での計測は，**図-4**に示すように，スイッチボックス(スキャナー)，データロガーおよびパーソナルコンピュータからなるシステムにより自動で行った．一方，掘進管理データは，ひずみゲージなどの計測データと読み込み時間を同調させ，同時に取り込むように設定した．なお，計測断面のセグメント組み立て時の結線作業の時間短縮を図るために，計測断面

の近傍にジョイントボックスを事前に配置しておき，各種センサとの結合は防水タイプのコネクタにてジョイントボックス内で実施した．使用計測器の一覧を**表-9**に示す．

（2）　主桁・縦リブひずみゲージ，ボルト軸力計

主桁，縦リブおよびボルト軸力計に用いたひずみゲージの初期値は，セグメント製作工場にて，実際の計測で坑内に設置する全スイッチボックス(スキャナ11台)，データロガー，ケーブルを連結したシステムを再現して計測を実施し，一定時間をおいて3回測定し，その平均値とした．なお，現場搬入時や組み立て時にも段階的に初期値の取得を行い，異常の有無を確認している．

また，計測期間は計測対象セグメントリング組み立て直後より工事完了時までとし，計測頻度は④リング組み立てまでは1分ピッチ，それ以降は3分ピッチとした．

（3）　間隙水圧計，圧力計

間隙水圧計の初期値については，計測器の取り付けが裏込め注入後となるため，坑内で計測器を取り付けた直後，水圧が作用する前の計測値を初期値とした．

圧力計の初期値については，ひずみゲージと同様，工場時，現場搬入時，組み立て完了時に取得した．また，測定期間および頻度については，ひずみゲージと同様とした．

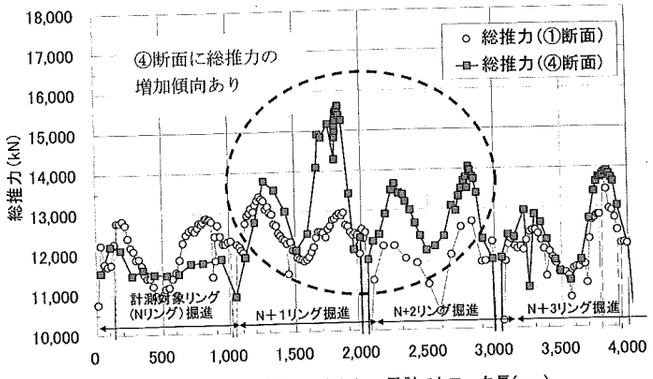


図-5　曲線前後における総推力変化

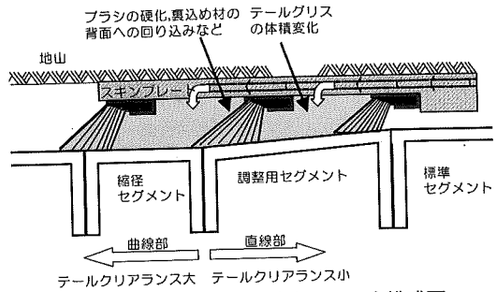


図-6　曲線出口部におけるテール内模式図

④ 計測結果と考察

今回の事例は，施工時荷重を詳細に把握する目的で，多くの項目を計測したが，ここでは施工時荷重としてジャッキ推力，テールグリス圧，裏込め注入圧，施工状態の確認としてテールエンドクリアランスについてデータ整理例を示し考察を加える．

4-1　ジャッキ総推力の変化に関する考察

図-5に曲線進入前(①断面)と曲線通過直後(④)断面における総推力の変化図の比較を示す．これより，④断面の総推力は，計測リングの次リング掘進途中から2,000～3,000kN程度増加していることがわかる．これは，**図-6**に示すように縮径セグメントと標準径セグメントとの外径調整部をマシンのテール部が通過するときであり，④断面で確認された推力の増加は，テールクリアランスが減少する際のグリスの体積変化や，縮径部で膨張したテールブラシに裏込め材が固着したことによる影響と考えられる．

4-2　姿勢制御による影響

急曲線のマシンの姿勢制御による軸方向への影響は，縦リブと継手板の軸方向ひずみから算出される軸方向モーメントより考察できる(**図-7**参照)．この検討結果を**図-8**に示す．急曲線施工の姿勢制御の開始は，コピーカッタの使用を開始する地点(コピー量は最大60㎜程度)とした．一方，曲線施工の姿勢制御の終了は，曲線出口部からマシン1機長通過した地点(計測断面⑥の位置)とした．

図-8より，直線施工区間のモーメントは最大で

±2,000kN・m程度以下で推移していることがわかる．これを上回る範囲にマシンの姿勢制御の影響があると考えると，BC点手前の約5mおよびEC点通過後の約3.5mが影響範囲となる．今回のマシンの機長は6.42mなので，急曲線施工の軸方向の影響範囲はマシンの約1機長程度と考えて，スチールセグメントなどの割り付けを検討する必要があると考えられる．

4-3　テールグリス圧，裏込め注入圧

①断面におけるグリス注入前から裏込め注入後までの圧力計の経時変化を**図-9**に示す．テールグリス注入時には底部の圧力計が遅れて反応しており，約0.3N/㎟程度の偏圧が生じている．また，裏込め注入時にも約0.1N/㎟前後の偏圧が生じていることがわかる．

大深度かつ急曲線といった施工条件の場合には，通常よりも高いグリス圧や裏込め注入圧が必要となる．今回の計測より，これらが偏圧としてセグメントに作用することがわかった．今回の計測値程度の値では，セグメントリングに対する影響は小さいと考えられるが，さらに大きな偏りが生じる可能性もあるので，注意する必要があると考えられる．

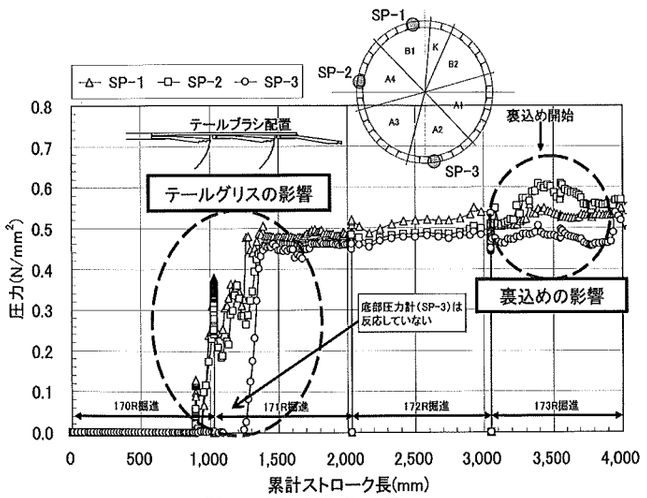


図-9　圧力計計測結果

図-7　水平方向モーメント算定模式図

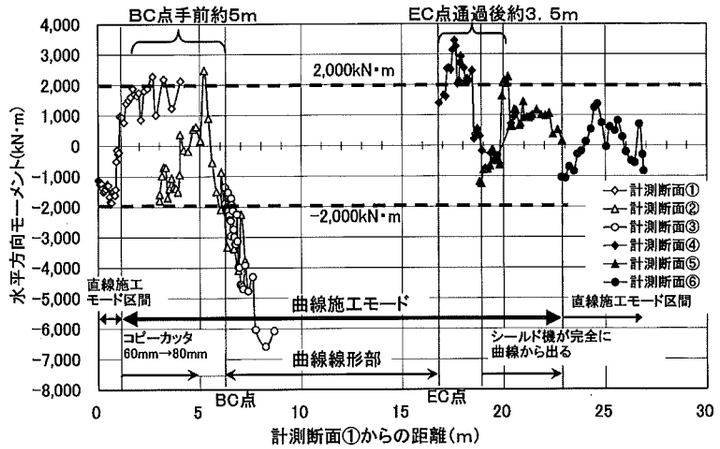


図-8　水平方向モーメント算出結果

4-4　テールエンドクリアランス

掘進完了時におけるテールクリアランス測定結果を用いて，テールエンドにおける左右のクリアランスを次式で計算した(**図-10**参照)．

ここに，

$$\delta = \delta_1 - (R - r)\cdot(1 - \cos\theta)$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{l}{R - r}\right)$$

δ：テールエンドクリアランス

δ_1：テールクリアランス

R：曲線半径

r：セグメント半径

l：テールエンドまでの長さ

算定結果を**図-11**に示す．この工事の設計テールクリアランスは一般部25㎜，縮径部50㎜であり，管理基準値は±20㎜以内

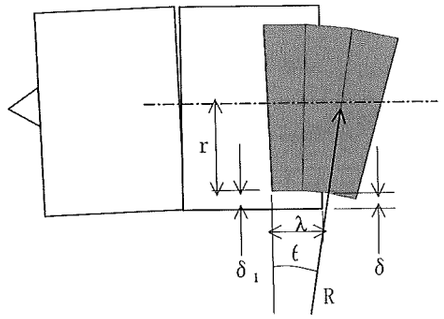


図-10 テールエンドクリアランスの考え方

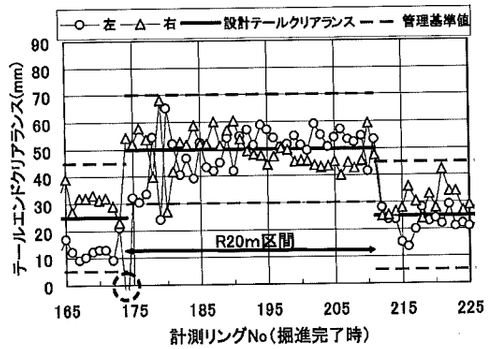


図-11 テールエンドクリアランス算出結果

であった．マシンが急曲線部に入った174リング計測結果(175リング掘進完了時)では管理基準値を超えており，それから求めたテールエンドクリアランスは図-11に示すように，マイナスの値となった．つまり，173リングではせりが発生した可能性があると推測される．

⑤ おわりに

今回の事例は，大深度急曲線シールド工事の施工時の荷重状態を把握する目的で行ったものである．今回の計測からは，この施工条件における縮径セグメントを用いる場合の留意点およびマシン姿勢制御の影響範囲などがわかった．これらの考察の詳細や今回紹介することができなかったその他の計測データの活用事例は，文献3)に詳述されているためご参照いただきたい．

今回の計測では，工事優先の作業である一方で，詳細な分析を加えるために多くの計器を設置する必要があった．そのため，計測計画を立案する際には，施工および安全へ配慮するため，初期値の取得時期やゲージ配置などについても細心の注意を払った．

また，計測データを処理する際には，膨大なデータの処理方法が課題であった．この課題に対しては，データ全体の傾向を経時的に把握するための一次処理を行い，着目すべき点を定めて二次処理，三次処理と段階的に整理することで対処した．処理するデータの中にはひずみの塑性化などによる急激なデータ変化も確認されたが，このような変化要因を把握するためには，施工状況を含めた発生事象の確認を詳細に行い，それらとデータを逐次対比することが重要となる．施工後の作業ではこれらの確認が困難になる場合が多いため，施工時荷重の変化を正確に把握するには，あらかじめ，技術者が常駐するなどの対策を講じる必要がある．

これらの留意事項は，一般的で共通するものでもあるため，今後の参考となれば幸いである．

参考文献

1) (社)土木学会：トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説(平成8年版)，1996.7.
2) 中村益美・松浦將行・沢里能雄：大深度シールドトンネルの施工時荷重とその対策，トンネルと地下，Vol.34，No.1，pp.35-41，2003.1.
3) 中村益美・足立一郎・大迫健一・松浦將行：大深度急曲線シールド工事における施工時荷重の実態と分析，下水道協会誌，pp.127-139，2004.1.

トンネル ジャーナル

最終報告で周辺への影響なし

東急大井町線等々力駅(東京都世田谷区)の地下化工事で，東京急行電鉄が設置した「等々力駅地下化工事技術委員会(高村弘毅委員長)」は，近くを流れる等々力渓谷など周辺環境への影響はないとする最終報告を東急電鉄と区に提出した．

同報告は，地下化工事の土留め壁で分断される帯水層に通水施設を設置して流路を確保する「地下水流動保全工」が有効であるとしている．

同駅の地下化は，騒音の低減や踏切の解消などが目的．島式ホームで上下線とも急行待避線を新設するとともに，駅前後線路は675mを地下化し，うち150mは掘割構造で計画している．

秋にも2次覆工着手

関東地方整備局江戸川河川事務所は，「首都圏外郭放水路」トンネルの剥離とその対応策を発表した．

セグメントの継手部に埋め込んである止水用の水膨張ゴムに想定を超える圧力が生じ，セグメントの一部が剥離したと推定．部分的な剥離に伴うトンネル機能，安全性などに問題はないが，セグメントの鉄筋の腐食を防止するとともにセグメント表面に厚さ30cmのコンクリートで2次覆工を行う(53p.参照)．

横浜環状鉄道中山～日吉間最後のシールド発進

横浜市交通局発注の横浜環状鉄道中山～日吉間(高速鉄道4号線)の「恩田川工区土木工事」(横浜市緑区)で最後のシールド発進となる直径約9.4mのシールドが発進した．

高速鉄道4号線は，JR横浜線中山駅と東急東横線日吉駅を結ぶ延長約13.1kmの路線．同工区は，このうち横浜市緑区中山町から同区青砥町に至る延長835mの区間に複線断面のトンネルを1本築造するもの．鉄道空白地域に新設され，港北ニュータウンなどの横浜市北部の交通利便性の改善につながるとして，早期開通が望まれている．

シールド工法に高い関心

国土交通省とベトナム建設省はハノイ(ベトナム)で「日越建設産業会議」を開催した．会議には両国の建設業所管官庁，建設会社，関連団体などから約120名が出席．

ベトナム国内では都市施設としての地下構造物がほとんどないうえ，大都市は軟弱地盤上にある．急激な経済成長によって都市の交通渋滞が激しさを増し，その解消と衛生施設の整備が急務であることから都市土木技術に優れた日本の協力を期待しており，共同溝やシールド技術の導入に積極的だという．

防音ハウス用パネルが映画館外壁に採用

昨年12月17日に東京・上野の東京国立博物館敷地内に映画館が開館した．「一角座」と命名された映画館の外壁には，防音効果の高いシールド工事用防音ハウスのパネル(大丸防音(株)製)が採用された．

「一角座」は建築面積300m²で客席数は150席．こけら落としの上映作品は，花村萬月の「ゲルマニウムの夜」で6か月以上のロングランが予定されている．

大震度地下使用協議会開催

国土交通省関東地方整備局らによる，第5回首都圏大深度地下使用協議会がさいたま新都心合同庁舎で行われた．

同省担当者から，大深度地下使用法第1号となる「神戸市大容量送水管整備事業」などの説明が行われた．

会議では，大深度と浅深度のコスト比較についての中間報告があり，条件によって異なるが，仮想した条件の下ではそれほど変わらないとの見解を示した．

シールド準備掘進始まる

阪神高速道路が建設を進めている京都高速道路新十条通のシールドトンネル区間で，工事に必要な後続設備を設置するための準備掘進が始まった．

新十条通は，京都市山科区西野山桜ノ馬場町から伏見区深草西川原町までの東山連峰を横断する延長約2.8kmの路線．このうち，トンネル区間は約2.5kmで，すでに稲荷山工区1.5kmの山岳トンネルの掘削は完了している．残る伏見工区約1kmは，阪神高速道路初のシールド工法が採用され，内径10.1mのシールドが稲荷山工区終点部でUターンして上下線を掘削する予定．

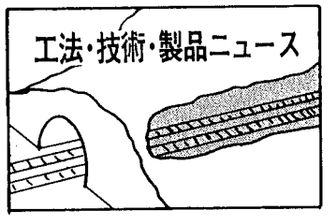
馬木トンネル貫通

広島高速道路公社が工事を進めてきた広島高速1号線(安芸府中道路)の馬木トンネルが貫通した．

同路線は，山陽自動車道広島東ICと広島市都心部を連結する全長約6.5kmの都市高速道路．すでに馬木IC～間所間4.2kmが供用しており，馬木トンネルを含む広島東IC～馬木間約2.3kmの工事を進め，2006年の全線供用を図る．トンネル延長は，上り線909m，下り線1,026m．

女性の坑内労働解禁

厚生労働省が通常国会に提出した，労働基準法と男女雇用均等法の改正案で，妊産婦などを除き女性の坑内労働を解禁するとしている．



シールド直接発進到達工法

錢高組は，シールド直接発進到達工法の新工法として，連続壁やライナープレート立坑に適用可能なSEW工法と，φ２m以下の小口径シールド・推進機として構築される鋼矢板立坑用のD-SLIM工法を開発したことにより，ほぼすべての立坑への適用が可能となった．また，シールドトンネルの分岐合流も可能な新素材FFU(ガラス長繊維補強発泡ウレタン)セグメントの開発も完了し，一連の技術が整ったことからシールド直接到達工法の技術を集約したCDを製作した．

ハーフPCa版を道路トンネルに初適用

飛島建設は，トラス鉄筋を配置したハーフプレキャスト(PCa)版を用いた床版構築技術「BARD床版工法」を首都高速中央環状新宿線の本町シールドに初適用した．

同工法は，プレストレスを導入するとともに上面の場所打ちコンクリートとの一体性を高めるためにカイザートラス筋を配置したハーフPCa版を使用．床版架設後にコンクリートを打設し，トラス筋やループ型継手などを介して一体化させる．すでに10件程度の施工実績があるが，道路トンネルでの適用は初めて．

分岐・合流部で補助工法を少なく接続

奥村組，日立造船，新日本製鉄の3社は共同で，道路トンネルの新しい分岐・合流部の接続工法を開発した．同工法は，地中で連続的に断面を拡幅，縮幅できるCV拡幅工法の特徴を活用．分岐・合流部以外のランプトンネル施工区間では，建築限界を無駄なく掘進でき，接続区間では本線トンネルを直接切削した後に内部を構築することで，道路幅員を最小限にできるうえ，補助工法の範囲を極力抑えることができる．

高流動エコセグメントの導入

佐藤工業と日本コンクリート工業は，横浜市発注の「北部処理区新羽末広幹線北綱島支線下水道整備工事」で横浜市環境創造局と共同開発を進めてきた高流動エコセグメントを初めて導入した．

同セグメントは，混和材に下水汚泥焼却灰を有効利用したシールドトンネル用セグメントで性能試験の結果，従来品となんら遜色のない強度，施工性，耐久性のあることが確認済み．

自走式シュレッダ

日立建機は，廃プラから廃タイヤ，家屋廃材まで幅広く現場で細断・破砕処理するZR900TS自走式シュレッダを発売した．

同機は，HR900SMのフルモデルチェンジ機で，対磨耗性に優れたモノカッタの採用によるランニングコスト低減，走行以外の地上操作を可能とした操作性の向上，破砕対象物に合わせてカッタの回転速度を３段階に調整できるほか，安全や環境にも配慮している．

除雪機械展示会に出展

川崎重工は，新潟県上越市で開催された「ゆきみらい2006 in 上越」における除雪機械展示会に，関係会社の日本除雪機製作所と共同で出展した．

展示会には，「ロータリ除雪ドーザ50ZV(８t級)」，「ロータリ除雪車KBR102型」，「小型凍結防止剤散布車MV81型(ロータリ除雪装置付)」，「定置式凍結防止剤散布装置」を出展した．

コンベヤベルトをリニューアル

横浜ゴムは，コンベヤベルト「ユニコン」の性能をレベルアップした．

従来品に比べ伸びが小さく，噛み込みにも強いためメンテナンスの手間を軽減できる．

新「ユニコン」は低張力の「ユニコンE」，中張力域の「ユニコンFX」に加え，大塊や高比重の運搬物用に耐衝撃性を強化した「ロックユニコンプロテックス」の３種類．

重機ナビゲーション用GPS受信機

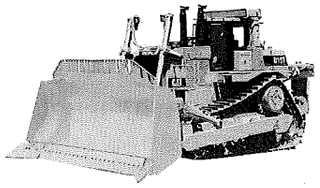
ライカジオシステムズは，重機用ナビゲーションGPS MNS1200を発売した．

同受信機は，重機に取り付けることを前提として，ショックマウントを内蔵した小さい堅牢なハウジングに，高機能・高性能GPSポジショニング・テクノロジを搭載．衝撃や振動への耐久性や厳しい気象条件，塩や塵を含んだ大気中でも使用可能．

新世代環境対応型エンジン搭載大型ブルドーザ

新キャタピラ三菱は，新世代の環境対応エンジン「ACERT」を搭載した大型ブルドーザCAT D10Tを発売した．

同機は，従来機種D10Rのフルモデルチェンジ機で，燃料効率の大幅なアップと有害な排出ガスの低減を実現し，国土交通省の第２次排出ガス基準値と米国環境保護局の排出ガス第３次規制をクリアしている．



文献紹介

設　計・理　論

江口正勝・岩瀧清治・吉本靖俊・樋口晃・今井久・藤田司：精密機械基礎に近接した開削工事における盤ぶくれ対策，土と基礎，Vol.53，No.10，2005.10.

高橋真一・杉江茂彦：都市部トンネル建設時の周辺地盤変形挙動に関する遠心模型実験と数値解析，土と基礎，Vol.53，No.10，2005.10.

建山和由：トンネル掘削技術の歴史と未来，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

小島芳之：山岳工法の変遷，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

小西真治：シールド工法の変遷，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

永田尚人・岩波基：合理的な空間利用の鍵となる大深度地下利用構想，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

田中一：第二東名高速道路のトンネル技術，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

林稔・高屋英永・白坂紀彦・名村均：新たな情報化施工システムに向けて，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.

神尾正博・浅野裕輔・杉山雅彦：部分拡幅シールド工法（VASARAシールド工法），工法概要と実施工事現場への初適用実績，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

阿曽利光：ES-J工法(分岐合流部非開削築造拡幅工法)の開発，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

足立英明・高見澤計夫：クレセント工法の開発，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

福居雅也・花岡泰治・三宅正人：突起型拡幅シールド工法(FV拡幅工法)，拡幅シールド機のテールシールパッキンの止水性能確認実験，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

浜口幸一：SR-J工法(超大断面道路分岐合流部非開削築造技術)の開発，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

藤本明生・小林暁・配野均：ウィングプラス工法(Wing Pre-Lining Arch Support)，シールド掘進しながら分岐合流部に先受けアーチ，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

西田与志雄・竹中計行・高田優：シールド機を直接切削可能なセグメント，地中での分岐・接合を可能とする「FFUセグメント」の開発，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

小坂琢郎・永森邦博・中川雅由・白井俊輔：D-Shapeシールド工法，道路トンネル分岐・合流部(ランプ)の合理的施工技術，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

白井俊輔・神尾正博・渡部昭一・藤谷俊実・伊藤康裕・中村征史・秋山浩志・山本善久：太径曲線パイプルーフ工法による非開削大断面地下空間構築工法，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

村本利行・片岡進・早川淳一・小野崇：楕円形複合シールド工法マルチ・コムスシールドⅡ，地下鉄渡り線区間，道路トンネル分合流構築，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

武田厚：地上占用を必要としないシールドトンネルの分岐合流部構築技術，地中ディバージェンス工法とジャンクションビーム工法，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

請川誠・浅野均・下坂賢二：さくさくSCOOP工法の開発，非開削地中拡大工法の新たな主役，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

松田一也：Do-Jet工法，鋼材等の地中障害物を切断可能な工法，建設機械，Vol.41，No.11，2005.11.

原修一・服部泰輝：カッタービットの機械的交換による工期短縮とコスト縮減，シャークビット工法，土木施工，Vol.46，No.11.

岸梅博：到達立坑を必要としない再利用が可能なシールド掘進機の開発，建設機械，Vol.42，No.1，2006.1.

大嶋健二・伊藤哲男・西村晋一：新しい空洞調査手法の開発，既設トンネル覆工背面空洞調査システム(PVM)，建設の施工企画，No.669，2005.11.

神尾正博・浅野裕輔・杉山雅彦：部分拡幅シールド工法（VASARAシールド工法）の開発，非開削による大規模地下空間構築技術，建設の施工企画，No.670，2005.12.

施　　工

清水満・鈴木尊：地下水の上昇に対する地下駅の対策工事，土と基礎，Vol.53，No.10，2005.10.

清水満：鉄道トンネルの復旧，基礎工，Vol.33，No.10，2005.10.

山田文孝：削孔検層システムの開発と現場適用，山岳トンネルの新しい地山評価手法，建設機械，Vol.41，No.10，2005.10.

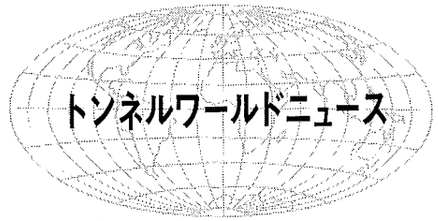
鈴木成信・星野孝則：高被圧水下での高品質なトンネル構築，水圧式ダウンザホールハンマーを用いた長尺ボーリング高品質トンネル覆工システム，建設機械，Vol.41，No.10，2005.10.

浜野善治・宮崎俊英・熊谷幸博：膨張性地山での坑口部の対策工法，ふるさと農道整備工事　七海トンネル工事，土木技術，Vol.60，No.10，2005.10.

芋岡利昭・高崎修・冨塚広吉：トンネル工事における石灰岩を使用した乾式吹付けコンクリートの施工，東広島・呉道路　揚山トンネル工事，土木技術，Vol.60，No.10，2005.10.
亀ヶ谷勲・猪瀬研一・北本正弘・村上初央：都市部におけるφ11.42m双設泥水式シールドの施工，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
中村信・深沢正三・森直樹：NATM新支保パターンによるトンネル掘削，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
沼沢憲二郎・景山良：東京地下鉄13号線シールド工事，各種新技術の採用とコスト縮減，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
吉田明：ボスポラス海峡を横断する地下鉄の建設，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
伊藤昭一郎・和田賢・五代恒憲：フロンテジャッキング工法による大断面線路化構造物の施工，JR東海中央本線，内津川橋りょう改良工事，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
辻雅行・川上和孝・角野叔昭：交差点部直下のパイプルーフ施工，地下鉄13号線新宿七丁目駅(仮称)，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
端則夫・青山博文・田中重明：悠久の国・インドの山を掘る，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
生森敏・今村大介：地質調査とボーリング技術の最新事情，ロータリーパーカッションドリルマシンを使用したトンネルの先進調査ボーリング，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
石戸谷淳：安全で快適なトンネルをめざして，首都高速中央環状新宿線での取り組み，土木施工，Vol.46，No.10，2005.10.
柴田勝実：インド　プルリア揚水式発電所工事，海外地下工事における機械化，建設の施工企画，No.668，2005.10.
一瀬邦生・木戸義和：シンガポール　長距離下水道建設工事，長距離シールド掘削と防食シート採用の2次覆工，建設の施工企画，No.668，2005.10.
徳富恭彦・赤澤正彦・長谷川利晴：八甲田トンネル鉱化変質岩に対する環境保全対策，土木技術，Vol.60，No.11，2005.11.
遠山豊伸：谷柏アンダーパスの施工，快適な生活を支えるみちづくり，土木技術，Vol.60，No.11，2005.11.
佐々木幹夫：東北新幹線八甲田トンネルの施工，世界一長い陸上複線トンネル，建設の施工企画，No.669，2005.11.
川北眞嗣・青山昌二：直径12.84mの大断面TBMの設計と施工，東海北陸自動車道飛騨トンネル，建設の施工企画，No.669，2005.11.
稲田正毅・松本壮太郎：めがねトンネル中央導坑からの本坑支保工の構築，先行アーチ支保による地山補強工法(PSS-Arch工法)，建設の施工企画，No.669，2005.11.
長野祐司・丸山信一郎：遠心力トンネル吹付け工法と現場展開，吹付け作業の低粉じん化を目指して，建設の施工企画，No.669，2005.11.
大断面分割シールド工法による(仮称)外苑東通り地下通路整備工事，都市再生における地下立体交差「ハーモニカ工法」，建設の施工企画，No.669，2005.11.
佐藤修一：地盤改良を必要としないシールド発進・到達工法，立坑用スライドゲート，建設の施工企画，No.669，2005.11.
三木慶造・横溝文行・阪本公明：「URUP」によるアンダーパス試験施工の実績報告，建設機械，Vol.41，No.12，2005.12.
丸田新市：SFT工法，建設機械，Vol.41，No.12，2005.12.
依田淳一・古川深夫：計測管理により供用中の道路トンネル直下を突破，北陸新幹線高丘トンネル北工区(山岳NATMトンネル)，建設機械，Vol.41，No.12，2005.12.
山中龍治・本田正明：泥水式回収型掘進機「やどかり君」の開発と施工，建設機械，Vol.42，No.1，2006.1.
池田信哉：都市内での浅層大断面非開削トンネル，MMST工法，建設の施工企画，No.670，2005.12.
平井幸雄・高橋浩史・金井孝行：省スペース型垂直土砂搬送装置，鉄道建設工事への適用，建設の施工企画，No.670，2005.12.

維　持・管　理

朝倉俊弘：トンネルの地震被害と復旧の考え方，基礎工，Vol.33，No.10，2005.10.
川﨑和來・中安真也・榎園正義・佐藤充弘：トンネル換気設備の電力量削減および点検・分解整備に係わる効率化，建設の施工企画，No.669，2005.11.



（社）日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

水圧に挑むHerrenknecht掘削機

Skanska-Vinci JVは，スウェーデンのHallandsas山脈を貫く複雑な地質の鉄道トンネルをHerrenknecht社製のMixshield TBMで，今月から掘削を開始する予定である．

工事は1992年に開始され，2社の請負会社(1社はSkanska)が挑んだが，地盤注入の際に広範囲な地下水汚染を引き起こしたため，当プロジェクトはスウェーデンにおいて非常に関心の高いものとなっていた．これまでは亀裂の多い片麻岩と粘土層が主体の地山に対してTBMと発破工法が採用されてきた．地下水がとくに問題であり，直径10.53mのHerrenknecht社製のTBMが掘削時に13barまでの水圧下で施工できるよう設計された．

発注者であるBanverketの工事統括監理者のSymon Taylorは2×5kmのトンネルの残りの未掘削部分の大半はTBMを開放モードで施工する予定であると語った．密閉モードは軟らかい不安定な地山やとくに高圧地下水流に対する場合に用いられる．TBMは開放モードから密閉モードへの完全変換には2日要すると言われたが，1時間以内に「密閉完了」が可能であった．

開放モードではTBMは支圧力なしに硬岩破砕機として機能する．開放モードの設備の一部である掘削チャンバを移動するずりホッパを通った後，掘削ずりはベルトコンベヤにより運搬される．密閉モードではホッパとコンベヤは後退し，チャンバは閉じTBMは泥水シールドとして動く．掘削ずりは岩破砕機を通過した後，地表へと圧送される．

16人の作業部隊によりTBMは運転され，良好な地山では24時間で12m進捗する．機械の進行に従い，内径9.04m，厚さ54cmの鉄筋コンクリートセグメントが設置される．

Taylorはスウェーデン環境裁判所によって課せられたプロジェクトの環境条件がどのようにTBMの仕様書に記載されたかを語った．許容される水位低下は地表に繁茂，生息する植物や動物，小川に影響を与えない程度であり，減水は月平均，100ℓ/minを越えてはならない．このことは，TBMは工事中の湧水を管理するよう地盤を事前に処理できなくてはならず，加えて，極端な条件の場合には，機械を閉鎖できる能力を有することを意味する．

もし，TBMが密閉モードで停止し，70本のカッタのいずれかを圧力下で交換しなければならない場合には，特殊な潜水夫によって混合ガス潜水作業が行われなければならないとTaylorは語った．ダイバーを待機場所からTBMへ運ぶ輸送シャトルを含め，高圧酸素を使用した作業のための設備がTBMに装備されている．

バックアップの後方には脱水システムの中の沈殿物を最小にするため，浮遊物質の大部分を除去するための遠心分離機を含む小型の水処理設備がある．開放モードの間は，地上の泥水プラントは工事用と地下水用の水処理設備として用いられ，処理された水は8kmのパイプラインで海に排出される．密閉モードの際は，プラントはシールドの泥水処理設備へと戻る．

（T&T，'05.9　担当：光木香・鉄道・運輸機構）

トロント市は湖底水を利用した冷却システムを拡張

トロント市は，湖底水を利用した冷却システムの配管をウェリントンストリートから北へ市内のクイーンズパークエリアまで延長工事中である．

この湖底水を利用した冷却システムは市当局と施設の共同運営をしているEnwave社が建設している．このシステムは，オンタリオ湖底の冷水を取り出しパイプラインネットワークによって市中

心街のビル冷房に利用するものである．また，この施設は市の湖岸にほど近いメトロトロントコンヴェンションセンターやドミニオンセンターへも供給される．

最近の報道によれば，オンタリオ州政府とシステム管理会社の間で，同システムをほかの政府機関の建物の空調に配給することに合意したとされている．その結果，2,000万カナダドルのパイプライン延長工事が非開削工法により，この５月から開始された．

この環境に優しい冷却システムは，従来普通に使用されているものに比べて90％も電力を節減できると試算されている．４℃の冷水を取り込みクローズループ方式により熱交換され，市の用水施設に送られるのである．

（T&TC　'05.9　担当：篠原慶二・前田建設工業（株））

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

B５判 285頁　本体価格4,660円　〒340円

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

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

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

海外文献速報

（社）日本トンネル技術協会
研究開発委員会

建設プロジェクトに伴う社会的費用の定量化：現状と今後の展望/Quantification of social costs associated with construction projects: state-of-the-art review

By Andrew Gilchrist・Erez N. Allouche: Tunnelling and Underground Space Technology, Vol.20, No.1, January, 2005, pp.89–104

都市部において，建設工事は周辺環境に大きな影響を与える．社会的費用は，“建設工事の契約当事者が発生させる直接的および間接的費用以外の費用”として定義される．近年北米においても，社会的費用の重要性およびその低減に対する諸官庁の意識が向上してきており，社会的費用を新しい発想で評価することが必要とされている．

図-1に建設工事により発生する有害な影響と社会的費用の指標のブレイクダウンを示す．これらは，「交通」，「経済活動」，「汚染」および「生態環境/社会性/健康」の４つのカテゴリーに分類して示すことができる，

ここで，社会的費用の指標は，“建設地の周辺環境に及ぼす有害な影響により発生し，貨幣価値で定量化される測定可能な費用”として定義される．これらを定量化して評価するために，有害な影響因子，例えば，長期間の道路通行止め・切り回し，地下埋設物の切断，騒音・粉塵・振動，大気・水質汚染，商業施設に対する物理的ダメージなどが考慮される．

一方，建設プロジェクトの全体費用は，建設費用と社会的費用の合算として定義される．建設費用は材料費，労務費，機械費などの直接費用および管理費，経費などの間接費用であり，社会的費用は**図-1**に示すような有害な影響因子により発生する費用となる．これを評価する手法には，大きく分けて“直接的評価手法”と“間接的評価手法”

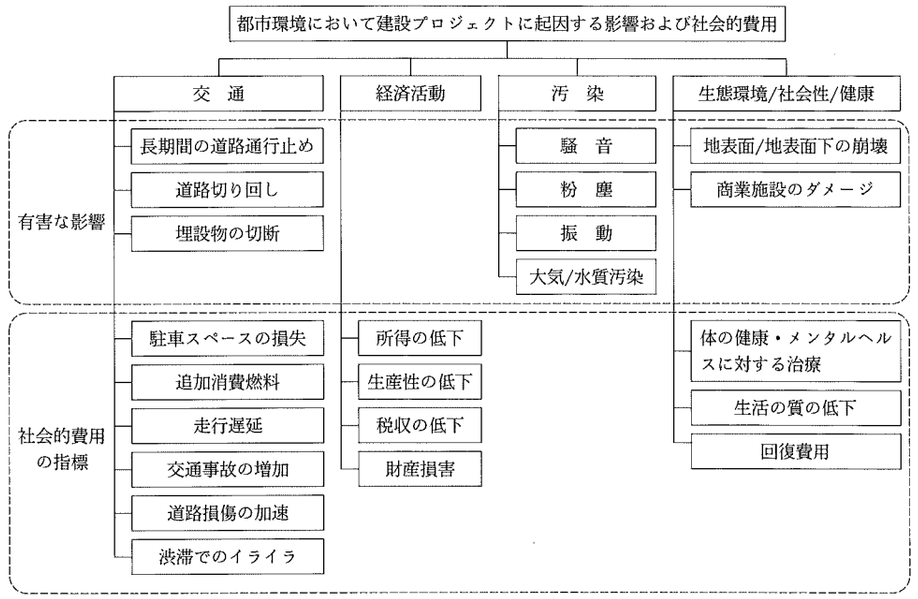


図-1　建設工事により発生する有害な影響および社会費用の指標

の2つがあり，おのおの以下のような手法がある．

（1） 直接的評価手法

① 生産性の損失(LOP:Loss of productivity)

② 人的資本(Human capital)

③ 代替費用(Replacement cost)

④ 車線通行止め費用(Lane closure cost)

（2） 間接的評価手法

① ヘドニック法(Hedonic pricing)

② 利用者遅延費用(User delay costs)

③ 仮想評価法(Contingent valuation technique)

次に，北米では19世紀半ばより競争入札制度が取り入れられてきた．この制度は，最低の入札価格がベストの選択であるという自由経済社会の流儀にもとづいているが，この制度の下では施主と利用者間の訴訟問題が増加し，投資収益率を最大化することはできなくなってきた．また，技術の改善や戦略的研究をもとにした長期的投資を妨げるという欠点もある．都市部の建設プロジェクトによる経済損失は，建設費用の数倍に及ぶこともあり，工期短縮および環境にやさしい建設技術の適用が契約締結の重要な要素となってきている．このような背景の中，工期，品質，安全，地域性および請負者の実績などを，入札を決定する要因として考慮する以下のようなさまざまな入札審査手法が近年用いられている．

① 平均入札法(Average-bid method)

② A+B入札法(A+B-bid method)

③ 車線レンタル法(Lane rental method)

④ マルチパラメータ法(Multi-parameter method)

⑤ 費用対効果分析(Cost effectiveness analysis)

⑥ マルチ評価システム(Multi-rating evaluation system)

本論文では，上記のうち，“費用対効果分析”と“マルチ評価システム”を，建設プロジェクトの入札審査に社会的費用を組み込むための新しい手法として紹介している．また，使用する入札審査手法に関わらず，社会的費用の指標を評価する場合，上述のような審査手法を組み合わせて用い，同時にそれらの差も考慮して総合的に評価する必要があると結論づけている．

（文責：亀廼井寿明・酒井邦登/東急建設(株)）

コラルムの垂直シールド立坑/Koralm's vertical shield driven shaft

By G. Harer・ほか：Tunnels & Tunnelling International, February, 2005, Vol.37 No.2, pp21-23

オーストリア南部に建設予定である全長130kmの鉄道路線には，オーストリア最長となるKoralmトンネル(延長約32.8kmの双設トンネル，最大土かぶり約1,200m)が計画されている．

トンネル工事に先立ち，地質調査の一環として，直径10m，深さ121.5mのPaierdorf立坑が掘削された．本立坑の底部からトンネル路線に沿って調査用トンネルを掘削し，土質，地下水脈の状況やTBM使用の可否を調査する．

立坑の地質は，地表より30mまでは玉石を多く含む砂礫層，それ以深は第三紀中新世の砂岩，シルト岩である．立坑工事は垂直シールド工法により施工され，工程は掘削，シールドの掘進，ライニング取り付け，背面グラウトを1サイクルとし，施工速度は1～2 m/日である．

高さ4.5mのシールドは，下部2.75mがスラストジャッキ12本を備えたダブルシェル，上方1.75mがシングルシェルのテールシールドである．スラストジャッキは4グループで稼働し，推力は常時

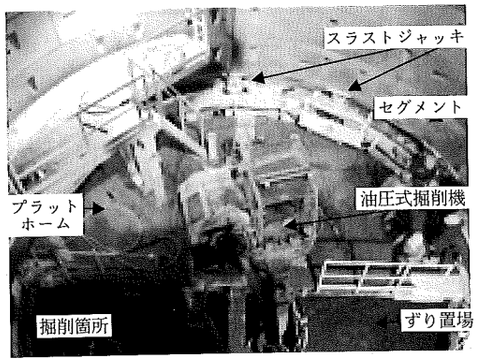


写真-1 立坑掘削状況

900kN(合計10,800kN)，最大2,000kN(合計24,000kN)である．

掘削は，半円状のプラットフォームに装備された油圧式掘削機にて行い，全周の1/4を掘削，残り1/4をずり置場に充て，掘削が終了するとプラットフォームは90度回転して次の掘削に移る．1層500㎜の掘削でプラットフォームは下降する．

ライニングは，厚さ300㎜，幅1,000㎜の7分割されたセグメントを使用している．

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

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

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	1,983名	1,983名
団体会員	343名	343名
個人会員	1,640名	1,640名
名誉会員	1名	1名
計	1,984名	1,984名

2. 委員会の開催状況（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：1/8(小暮誠幹事長ほか6名)ずり出し方式調査を検討

◎施工技術委員会

TBM工法小委員会：1/20(山田隆昭委員長ほか21名)成果品の広報方策を検討

都市トンネル小委員会幹事会：1/13(服部公一幹事長ほか8名)項目を選定

◎研究開発委員会

トンネル技術白書小委員会幹事会：1/11(岩田充功幹事長ほか21名)原稿を検討

◎東北新幹線トンネル技術委員会検討小委員会：1/20(田村武小委員長ほか25名)解析結果を検討

◎開削トンネル設計方法特別検討会：1/26(木村亮委員長ほか19名)土留め側圧を検討

◎効率的掘削工法特別委員会：1/24(西村和夫委員長ほか19名)原稿を検討

◎耐震設計検討特別委員会幹事会：1/27(蒋宇静幹事長ほか10名)原稿を検討

計　8回開催　137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：1/27(土谷幸彦幹事長ほか9名)決算，予算概要を検討

◎国際委員会

国内広報WG：1/13(光木香幹事長ほか7名)海外文献を査読

◎事業委員会：1/30(桑原彌介委員長ほか14名)催し物事業計画

◎会誌委員会：1/10(大島洋志委員長ほか15名)2月号の会誌と3か月計画を検討

計　4回開催　49名出席

合計　12回開催　186名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催等
国際会議と展示会 21世紀におけるトンネルと非開削技術	2006. 3. 7～9	セランゴール(マレーシア)	The Institution of Engineers, Malaysia Tunnel and Underground Space Technical Division, IEM マレーシア工学会 トンネルおよび地下空間部会 http://www.iem.org.my/
第32回ITA総会およびコングレス 「地下空間の安全」	2006. 4. 22～27	ソウル(韓国)	Korean Tunnelling Association International Tunnelling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会 http://www.ita2006.com
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006. 9. 12～16	ウィスラー(カナダ)	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局 http://www.engconfintl.org/6ad.html
イノトランス2006 「国際鉄道技術専門見本市」	2006. 9. 19～22	ベルリン(ドイツ)	Team InnoTrans イノトランス事務局 http://www.innotrans.com 問い合わせ先：メッセ・ベルリン日本代表部(在日ドイツ商工会議所) TEL：03-5276-8730　info@messe-berlin.jp www.messe-berlin.jp(日)
第4回アジア岩盤力学シンポジウム 「都市部における地下空間利用」	2006. 11. 8～10	シンガポール(シンガポール)	International Society for Rock Mechanics (ISRM)and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore(TUCSS) 国際岩盤力学協会 シンガポール地下建設協会 http://www.arms2006.org/
第1回国際シンポジウム 「都市部における地下空間の利用」	2006. 11. 6～7	シャルムエルシェイク(エジプト)	Egyptian Tunnelling Society エジプトトンネル学会 http://www.egyts.com/
第33回ITA総会およびコングレス 「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5～10	プラハ(チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org

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

4. 平成17年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
イスタンブール国際トンネル会議技術調査	2005. 5. 7～18	26	トルコ，スイス，フランス
神戸市地下鉄現場研修会	2005. 7. 8	20	兵庫県
京都市地下鉄現場研修会	2005. 7. 22	25	京都府
大強度陽子加速器施設現場研修会	2005. 8. 24	19	茨城県
北陸新幹線現場研修会	2005. 9. 15, 16	15	新潟県
北海道地区道路トンネル現場研修会	2005. 10. 6, 7	27	北海道
九州新幹線現場研修会	2005. 11. 17, 18	18	佐賀県
HEP＆JES工法現場研修会	2005. 11. 30	18	栃木県
首都圏トンネル現場研修会	2006. 1. 20	18	東京都
山陰地区道路トンネル現場研修会	2006. 2. 2, 3	13	京都府，兵庫県
近畿地区トンネル現場研修会	2006. 2. 23	20	大阪府
(発表会)			
①第56回(山岳)「特殊環境下におけるトンネル工事」	2005. 12. 12	132	東京都
②第57回(都市)「都市トンネルにおけるリニューアルと補強工事」	2005. 12. 13	132	東京都
③2006トンネル技術の特別講演と技術発表会	2006. 2. 24	300	北海道
(討論会)			
第3回モグラ研究会「設計変更」	2005. 5. 26	15	東京都
第4回モグラ研究会「近隣対策」	2005. 7. 15	13	東京都
第5回モグラ研究会「技術の伝承」	2005. 10. 4	11	東京都
(講演，講習会)			
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2005. 6. 23, 24	32	富山県
第7回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2005. 10. 26, 27	36	東京都
トンネル技術特別講演会	2006. 2. 16	300	東京都

4月号予告[4月1日発売予定]

●臨海部シールドトンネルの塩害調査とボルト腐食試験
●東北新幹線　六戸・三本木原・牛鍵トンネル
●第二東名高速道路　浜松トンネル
●横浜高速鉄道4号線　駒林工区・日吉駅工区
●九州電力　小丸川発電所
【連載講座】
●都市トンネル工事の計測(4)
●各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(1)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆景観を損ねているとして，東京の名所「日本橋」を覆い隠しているかのように作られた首都高速道路の移設問題が浮上している．日本橋は，東海道の起点として江戸の象徴でもあったことは周知のとおりである．64年の東京五輪開催を控えて整備されてから40年がたち，小泉首相の発言がもとで「日本橋 みちと景観を考える懇談会」が発足し，都が五輪招致を目指す2016年をめどに，移設をしたいとしている．懇談会案では，半地下にして周辺を再整備する案が有力視されているが，お金のかかることなので実現のタイミングは不透明である．一方，東京都の石原知事は，「つまらないお金をかけるより，日本橋をどこか近くの川に移したらいい」と語っており，実現に向けての大きなハードルがいくつもあるようだ．
◆久しぶりに訪れた場所で，「昔は，ここから富士山が良く見えたのに……」そんな会話を耳にした人も多いのでは．都市化が進むとビルやマンションが建設され，眺望の良さを売り物にしている物件も多く販売される．そのために先住している人が眺望を楽しめなくなってもお構いなし．ひどい場合は，眺望の良さで購入したマンションの前に，別の高層マンションができたために何にも見えなくなったという話もある．また，田んぼの真ん中に一軒だけマンションがあるのもどうかと思える．自治体の中には，このような問題に対し，高さ制限を厳しくするなどの対策を講じている．
◆名所・旧跡の保存は，そのもの自体だけでなく周辺への規制が重要である．仕事に追われ景観のことについてあまり意識していなっかたが，ここにきて真剣に議論されるようになってきた．高度成長期が過ぎ，現代社会が，ほっと一息つけるような癒しの空間を求めている現われなのだろうか．

(K.Y)

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

トンネルと地下
第37巻 第3号〔通巻427号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成18年2月20日　印刷
平成18年3月1日　発行

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

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．
■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

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

本誌広告のお申し込み方法

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

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

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