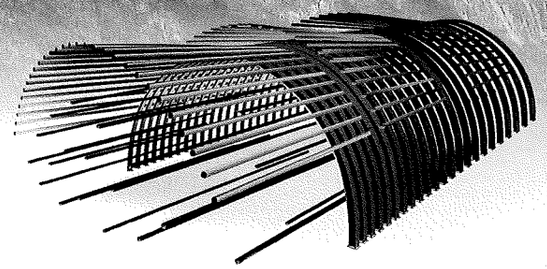
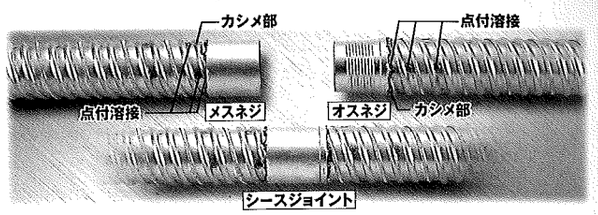
トンネルと地下　平成20年3月1日発行第39巻第3号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

ユニークな発想と高品質・自信の価格



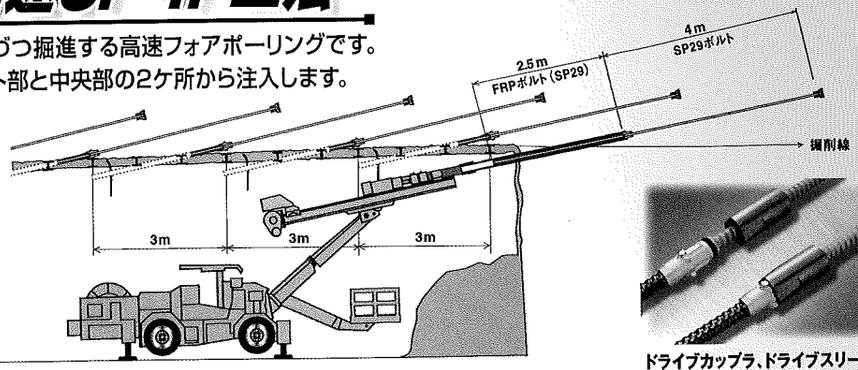
FIXチューブ工法

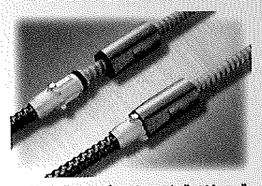
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。



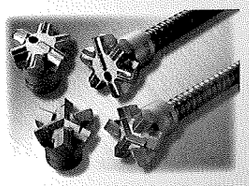
高速SP-IF工法

※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。



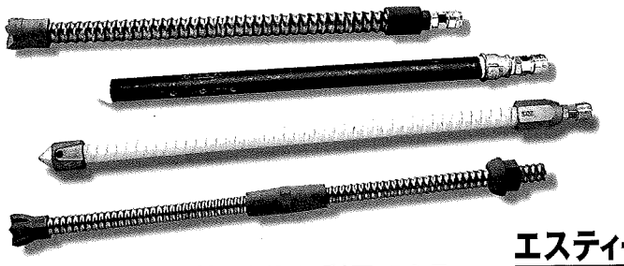


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管



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

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833　大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250　FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-3
4910066190385
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成20年3月1日発行(毎月1回1日発行)　第39巻第3号　通巻451号　ISSN 0285-631X

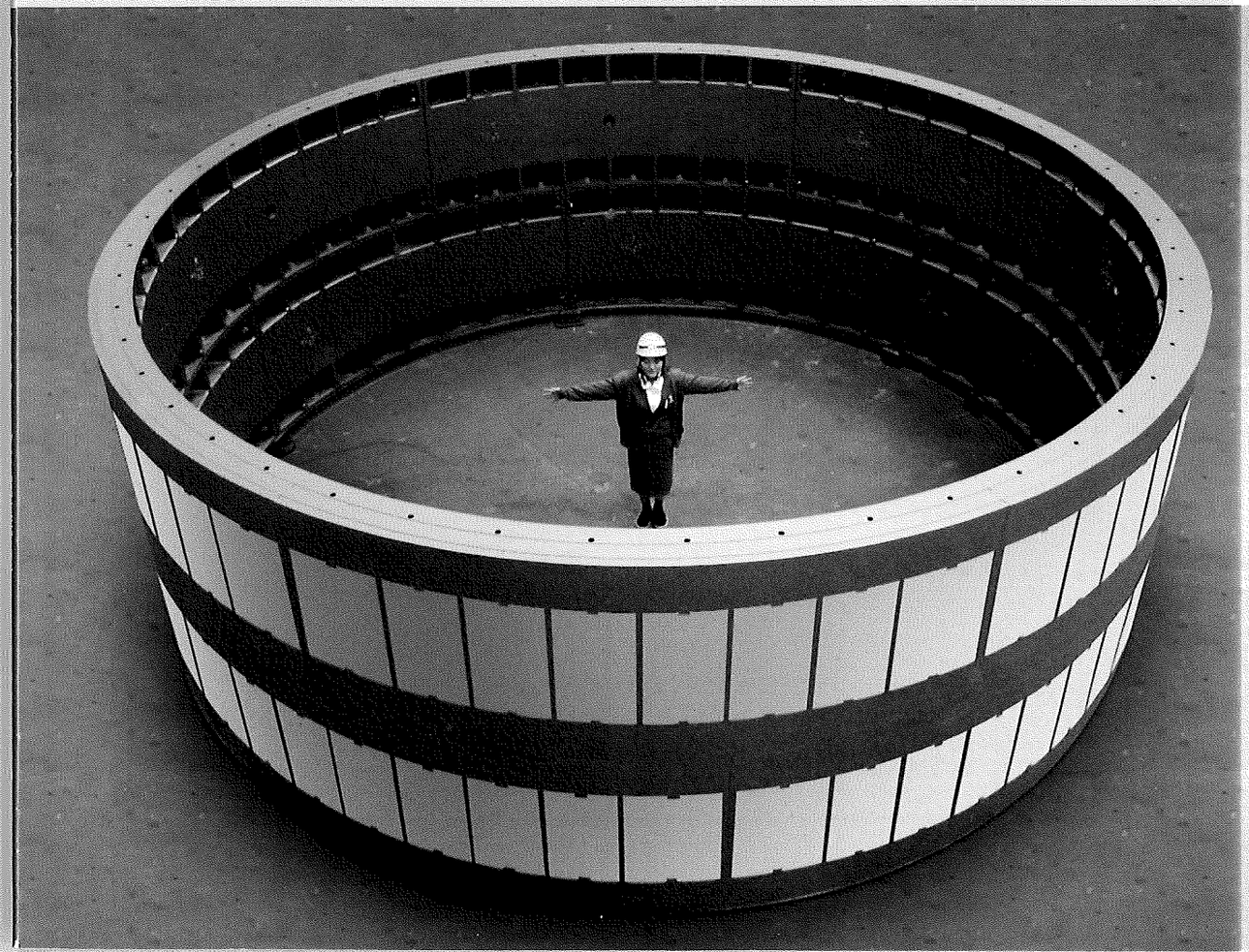
トンネルと地下 3

vol. 39
no. 3
2008

Tunnels and Underground

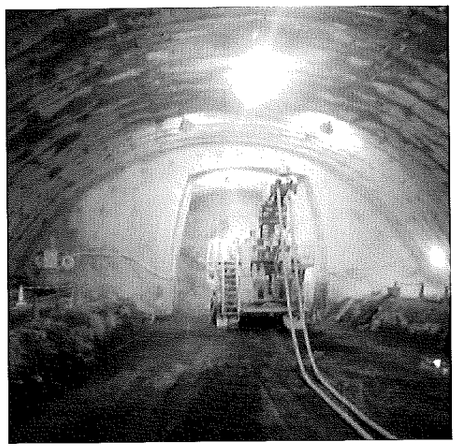
飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断
TBMで6kmの避難坑を高速施工
複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理
シールド工事における地域とのコミュニケーション
高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化

日本トンネル技術協会誌



ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



主な特長

- カッター出力は330kWで、強力な切削力を発揮し、軟岩から硬岩まで幅広い地質に対応。
- 機体寸法は、高さ3.9m×幅4.2m×長さ16.5m(ケーブルハンガーを除く)
- 定位置最大切削範囲は、高さ8.75m×幅9.5m
- 高圧水ジェット噴射で粉塵抑制とピック消費量低減。
- 接地圧が低く、軟弱地盤にも対応。

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社

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 TEL 03-5733-9444

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

FURUKAWA ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

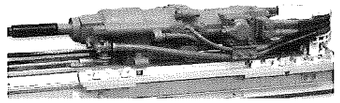
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

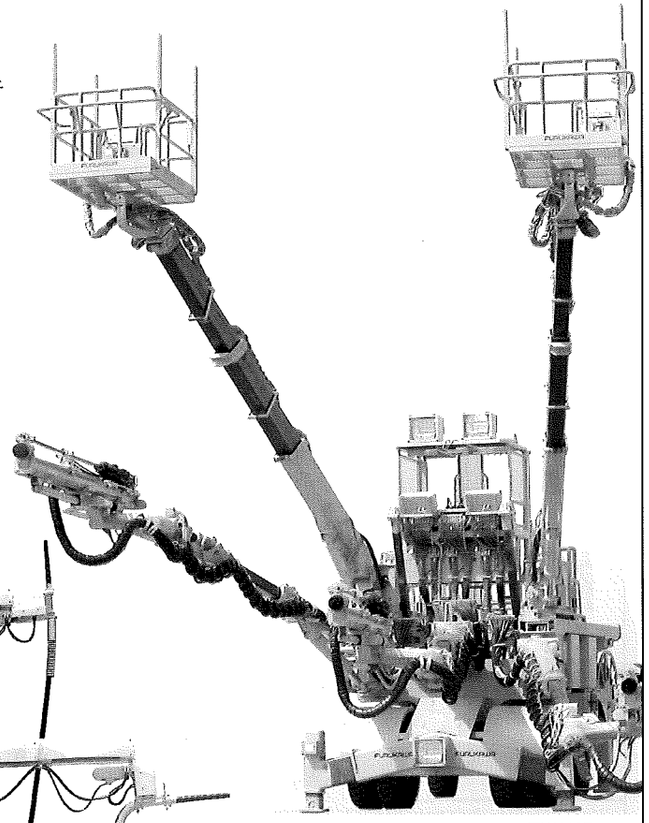
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

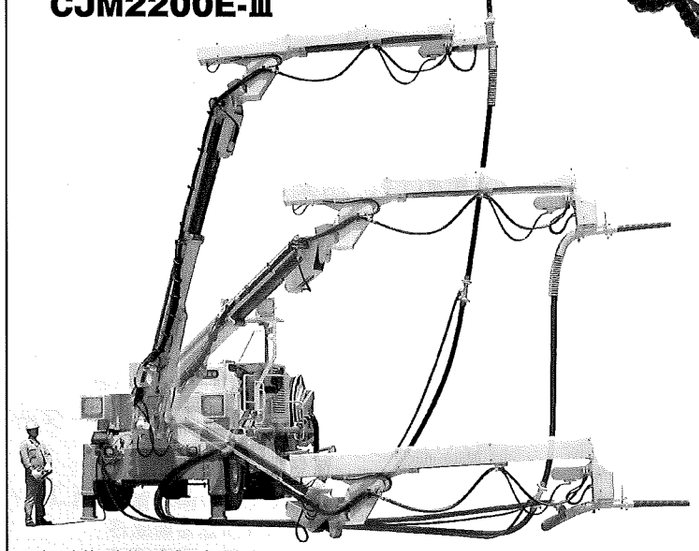
	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質量	35.5トン	43トン
全長	14,270mm	14,760mm
全幅	2,690mm	3,140mm
全高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機(コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-Ⅲ



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E−Ⅲ 主な仕様

質量	22トン
全長	15,600mm
全幅	3,000mm
全高	4,000mm
吹付け範囲	
高さ×幅	10m×13.3m

自走式キャリアに、コンクリートポンプ、急結剤供給装置、コンプレッサ、高圧水ポンプ等、吹付け作業に必要な装置を搭載したコンパクトな一体型コンクリート吹付け機です。

古河機械金属グループ

FRD FURUKAWA **古河ロックドリル株式会社** http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話: (03) 3231-6966

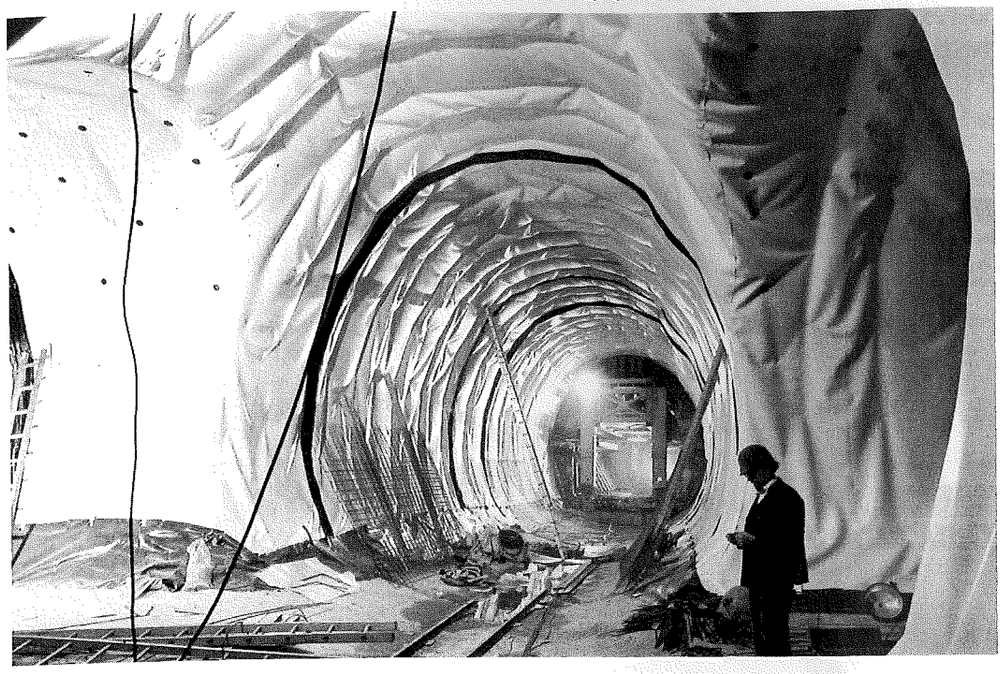
札幌支店 011-861-3261 東北支店 022-384-8991 関東支店 027-322-5953 名古屋支店 0568-77-7700

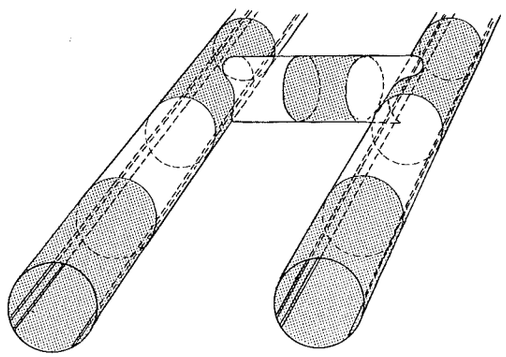
関西支店 06-6475-8221 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

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

〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番 タイム24ビル ☎(03)3570-5223 FAX(03)3570-5233
〒530-0047 大阪市北区西天満3丁目2－17 ☎(06)6363-1884 FAX(06)6313-0755
〒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

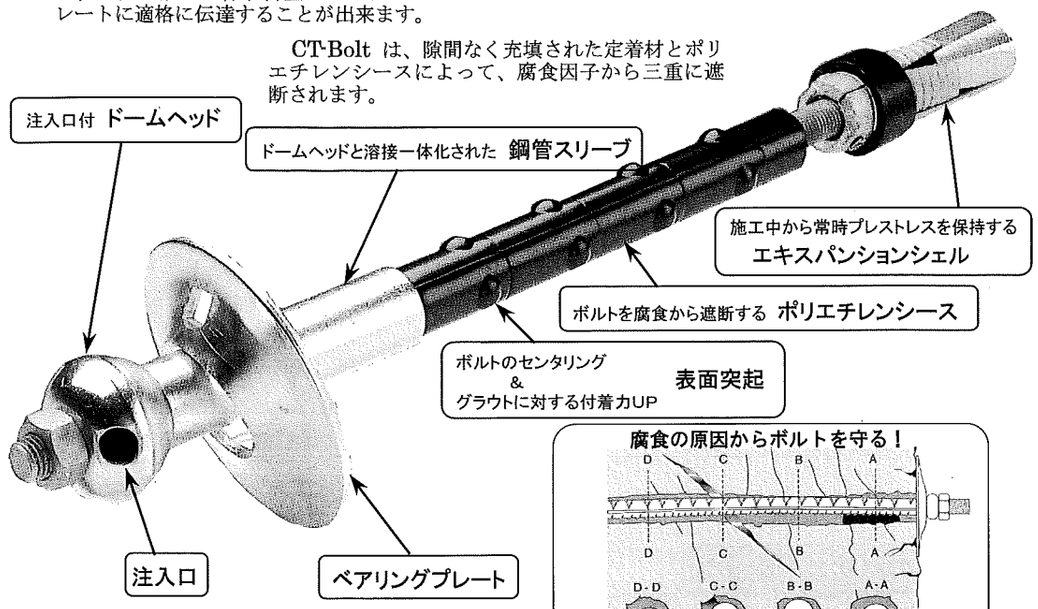
CT-Bolt

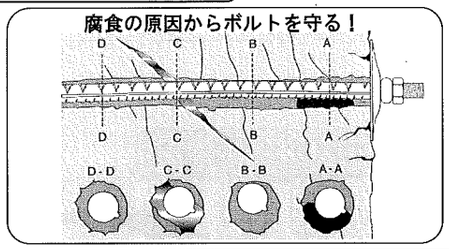
Ørsta Stål

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。

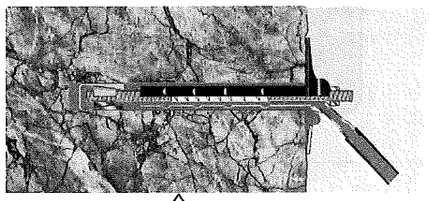
CT-Bolt は、隙間なく充填された定着材とポリエチレンシースによって、腐食因子から三重に遮断されます。





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。

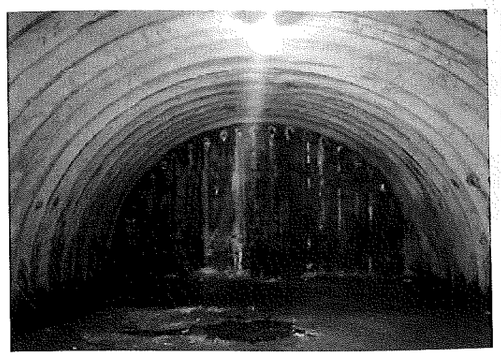
総発売元 Your Fastening Partner

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

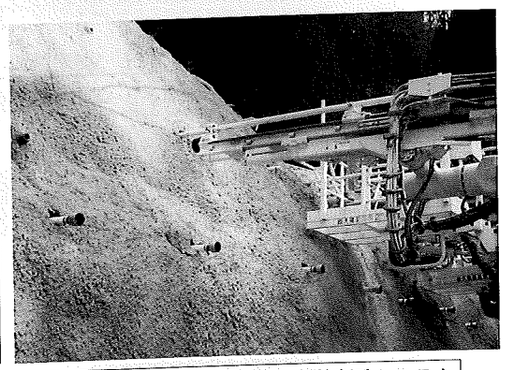
〒135-8073 東京都江東区青海2丁目45番タイム24ビル
お問い合わせ先 TEL：03-3570-5182
技術部 FAX：03-3570-5191

日本で生まれ、世界へ広がる。
NATMの補助工法

当社は「AGF工法のパイオニア」として，数多くの実績を築いてきました．
この豊富な施工実績を基にした技術対応力で，バックアップ体制をとっています．さらに，豊富なビットシステムと多様な注入システムを保有しているため，「AGF工法〜小口径二重管削孔システム」まで，地山条件や施工条件など目的に応じたご提案ができます．



（施工例）断面内からの無拡幅AGF工法



（施工例）鏡面への小口径二重管削孔システム

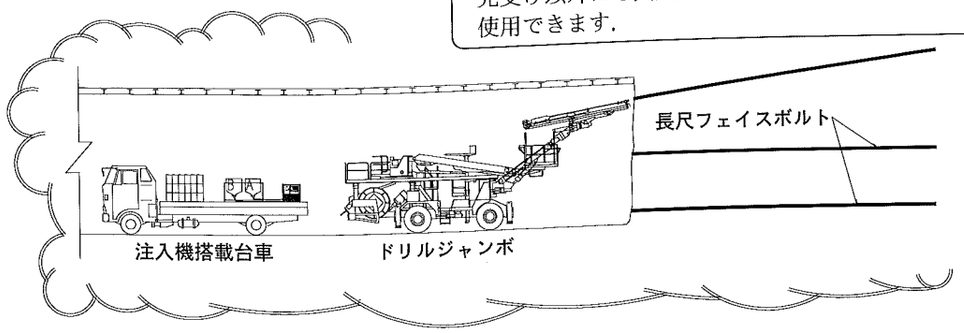
AGF工法のバリエーション

プロトタイプ
無拡幅タイプ
最小拡幅タイプ

施工性や経済性を追及して，注入式フォアポーリングとAGF工法の間を埋める工法！

小口径二重管削孔システム

鋼管径φ89.1㎜〜60.5㎜まで対応ができ，鋼管・スリット管・特殊樹脂管が選べます．
↓↓
先受け以外にも長尺鏡ボルトや水抜きパイプとして使用できます．



注入材のバリエーション

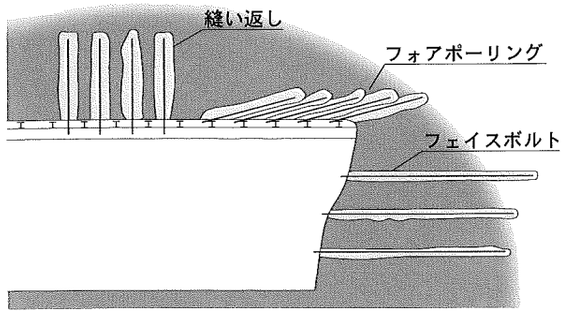
■シリカレジン注入材
- スーパーSRF(標準タイプ)
- スーパーSRF(Sタイプ)
- スーパーSRF(低粘度タイプ)

■ウレタン注入材
- ガンバンスーパーS

■無機系注入材
- シリカセーフ

（施工例）固結状況

注入ボルトのバリエーション



注入式フォアポーリングや鏡ボルト等に使用する注入ボルトとして，
- PUボルト
- KATアンカー
- GPRマルチタイプロックボルト

等があり，地山条件や使用目的に応じて選択できます．

主　要　営　業　品　目

- スーパーシート(防水シート)
- ツイストロックボルト
- 異形ロックボルト
- KAT自穿孔ロックボルト
- GRPマルチタイプロックボルト
- 各種注入材
- アルカリフリー型液体急結剤AFK—777J
- 各種AGF工法
- Small—P工法/パノラマ工法
- 注入式フォアポーリング
- 濁水処理設備
- 建設資材全般

KATECS

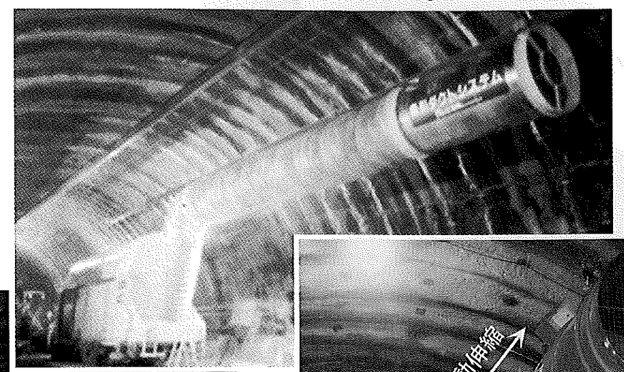
株式会社 カテックス
建設資材事業部

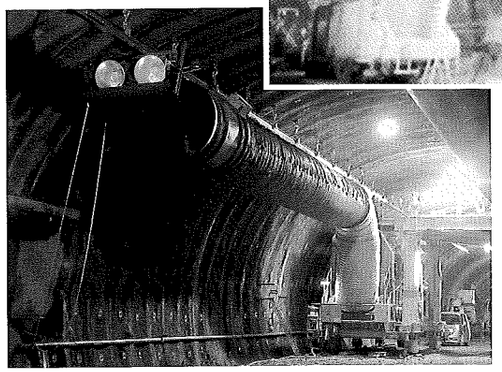
ホームページ http://www.katecs.co.jp/

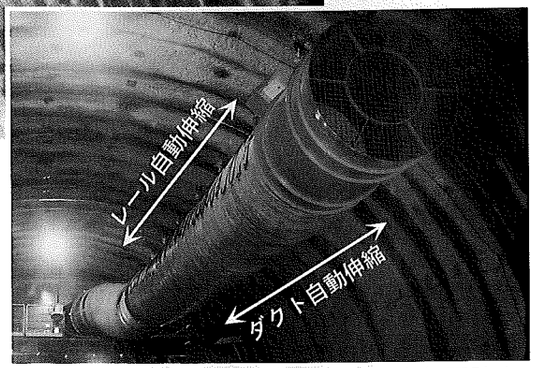
技術営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
中部営業部
TEL)052-331-8821 FAX)052-332-0164
東京支店
TEL)03-3260-8321 FAX)03-3266-1648
関西営業所
TEL)06-6578-3235 FAX)06-6578-3237
九州営業所
TEL)092-574-0856 FAX)092-574-0846
北海道地区(㈱エイチ・アール・オー)
TEL)011-821-5868 FAX)011-821-6644

吸引ダクトシステム

業界初 吸引ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕
ガイドラインをクリア　1mg/m³達成!!

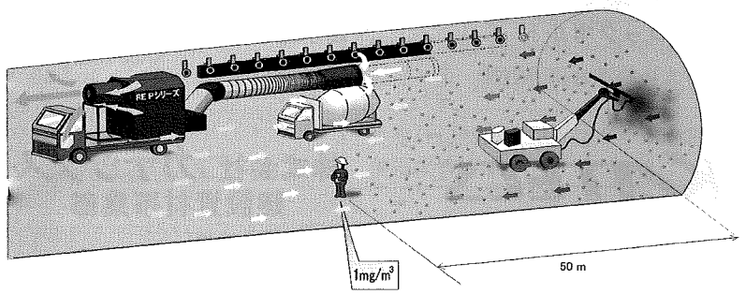






まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- 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.
- 適応径はΦ600～Φ1500，負圧－2kPa，収縮率1/5，100m以上もレンタルで対応可．移動照明を使用することで切羽作業効率，安全性が大幅にアップ．その他の口径・延長はご相談下さい.

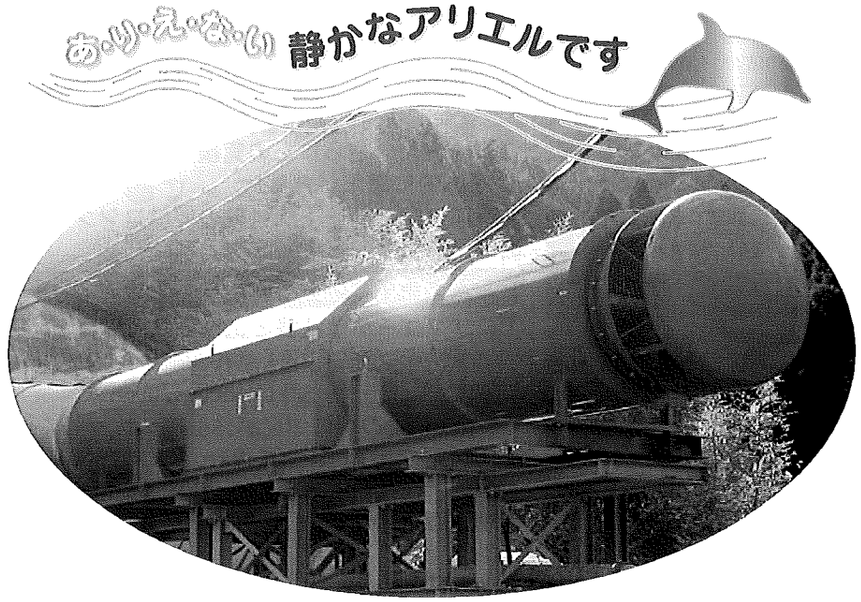


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary
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 COI聖坂ビル
TEL：03（3452）7400(代) FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680(代) FAX：0296（37）7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

今時、静かなのは当たり前!!



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

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：**エアロMAX 最小値78dB(A)、アリエル 当社比－5dB**
省　エ　ネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、Y－△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高　効　率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制　　御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
高価なフリッカ対策設備も不要。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたって経験し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 の幅広い品揃えで対応します.
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

30th Anniversary
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 COI聖坂ビル
TEL：03（3452）7400(代) FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680(代) FAX：0296（37）7681

吹付けコンクリートシステム

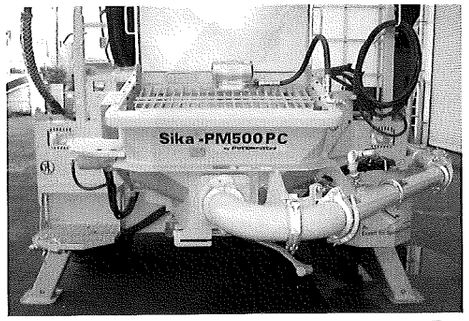
Experts on Sprayed Concrete

コンクリート吹付機

Sika®-PM500 PC

by Putzmeister

当社はこのたびコンクリートポンプ・コンクリート吹付機で世界的実績を誇るputzmeister社と契約し，今までの吹付機の発想をことごとく変え，さらにその実績と技術ノウハウの基に製造されたputzmeister・Sika®–PM500PC を国内に導入しました.

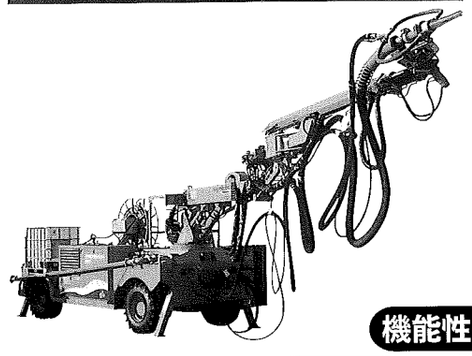


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

①シリンダーが他社機と比較して長い
　プツマイスター　　L＝1000㎜
　他　社　機　　L＝600～700㎜
②S型揺動管の切替速度が他社機と比較して速い
　プツマイスター　　0.15sec
　他　社　機　　0.20～0.30sec
③油圧回路に特許FFH(フリーフロー回路)機能を採用

この三大特長によって，吹付け時の脈動が非常に少なく，またそのことに関連して息つぎが防止され，コンクリートの付着性が著しく向上，作業時間の短縮，飛散リバンドの減少，さらに部品の消耗，油圧ホース，油圧ポンプ等々を含めコストダウンその減額を可能とします.



コンパクトで群を抜く使いやすさ！

機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

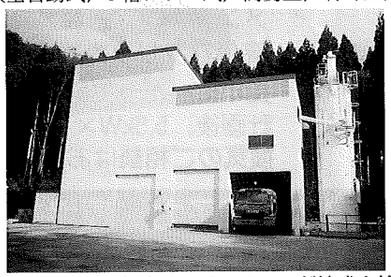
吹付けコンクリートシステム
　putzmeister・Sika®–PM500PCコンクリート吹付機
　Putzmeister S.A.
　一体型吹付機・特殊型吹付機
　設計・製作：東友エンジニアリング株式会社

VOLVOダンプトラック
（A25C–TS，A25C–TR，A20/30C–T）

Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

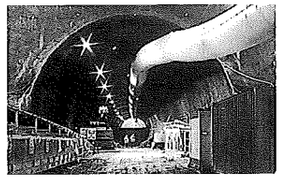
バッチャプラント
（全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型）

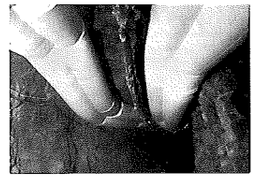


設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

トンネル換気システム

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

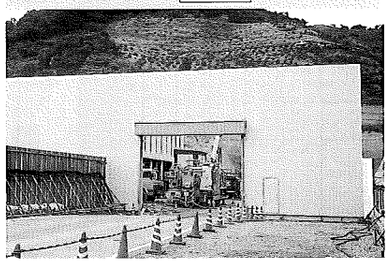
総代理店　東友エンジニアリング株式会社

騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ

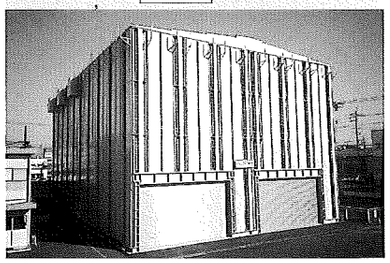
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



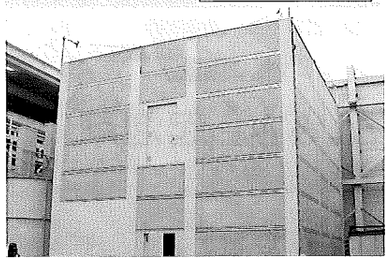
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

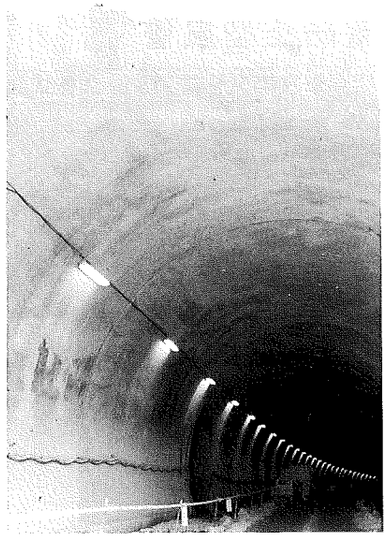
http://www.toyu.co.jp

〒102–0073　東京都千代田区九段北 3–2–5　TEL：03–3234–8901　FAX：03–3234–8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03–5226–5971　FAX：03–5226–5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299–27–6211　FAX：0299–27–6233

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)

拡大された能力。
継続的なお客さまへの
コミットメント。

www.oricaminingservices.com

オリカ・マイニング・サービス
——産業爆薬、起爆システムおよび高度な爆破ソリューションの世界的リーダー企業。

オリカは、ダイノ・ノーベルのアジア、中南米、欧州、中東およびアフリカ事業を買収しました。当社は、お客さまとの関係の維持、ならびに統合プロセス全般における滞りのない移行の実現に努めています。

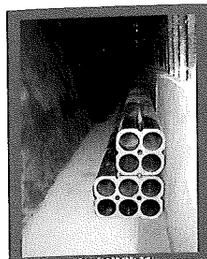
当社は、オリカとダイノ・ノーベルの最良部分を活用し、お客さまの最終利益拡大をお手伝いいたします。

皆さまには、◇さらなる技術投資、◇供給のより高い安定性に向けて、より広範囲の製品およびサービス、ならびに拡大された製造施設／サプライポイント・ネットワークへのアクセス、◇爆薬、技術サービス、ANおよび起爆システム製品の信頼できるデリバリー——をご期待いただけます。

オリカは、鉱業および建設業界、ならびに当社のお客さまへのコミットメントをお約束します。

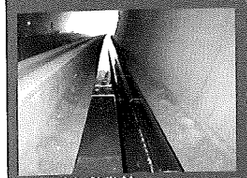
オリカジャパン株式会社
〒105-0001
東京都港区虎ノ門3丁目7-11
虎ノ門三須ビル7階
Tel: 03 5777 4681　Fax: 03 5777 4682

ORICA MINING SERVICES

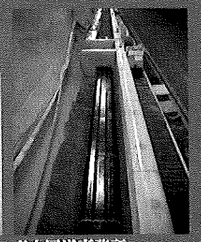


熊本県 熊本3号トンネル

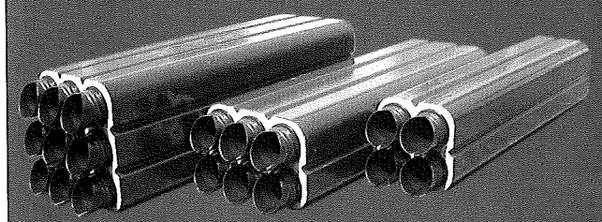
西日本高速道路株
第二名神 栗東トンネル



名四国道事務所
足助バイパス 足助トンネル



高山国道事務所
中部縦貫道 前原1号トンネル



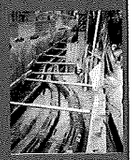
長年の多くの実績から得た豊富なノウハウという「宝物」を新しい技術に。
いらなくなった物で必要な物を作り出す。それが私たちの技術です。
トンネル、電線共同溝、空港、工場敷地内、ありとあらゆるニーズにお答え出来ます。
資源循環型リサイクル製品「セラダクトA(エース)」。

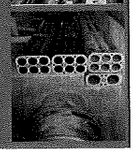
トンネル内専用として
セラダクトA(エース) ネオ neo

－特長－

標準管の長さは65cmの新規格
※従来のセラダクトAは60cm。

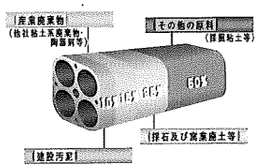
接続はカップリング方式で簡単スピーディー
※従来のセラダクトAはパッキン介在ボルト締め





石をあうにやさしい
再生材料を使用
採石および窯業原土、陶磁器屑 50%以上
セラダクトAはエコマーク認定商品です
第 04 131 014 号

セラダクトA(エース)シリーズ」は「エコマーク認定基準」に適合し、財団法人 日本環境協会から「エコマーク商品」として認定されました。



ISO 9001:2000取得

杉江製陶株式会社
sugie

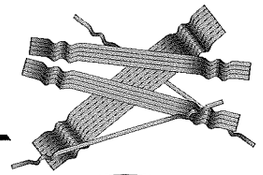
本社・工場　愛知県知多郡武豊町字上山一丁目76番地　〒470-2387
TEL(0569)35-2360(代)　FAX(0569)35-4087
東京支店　東京都渋谷区恵比寿一丁目21番8号セラ51ビル　〒150-0013
TEL(03)3442-6181　FAX(03)3442-1691
大阪支店　大阪市都島区御幸町1丁目3番1号　〒534-0012
TEL(06)6922-6991　FAX(06)6922-2498

http://www.sugie.co.jp/

BRIDGESTONE　厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

コンクリートをより強く、よりしなやかに。

タフグリップ コンクリート補強用鋼繊維



地山不良

断層破砕帯
膨張性地山
変形増大

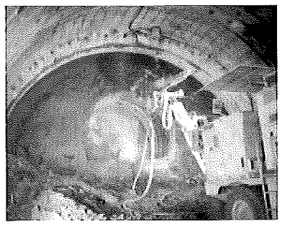
技術提案

トラブル対応

■ 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
■ 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

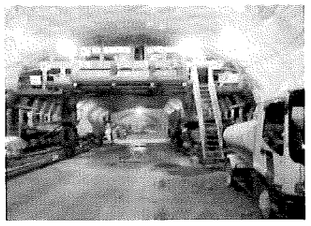
一次吹付

- 吹付のコンクリートの崩落防止(膨張性地山)
- 山はね対策
- メッシュ置換(安全対策)
- 切羽の自立補助



二次覆工

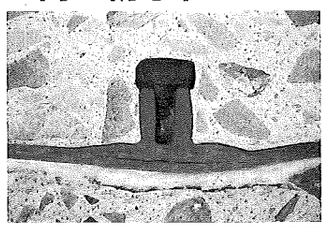
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

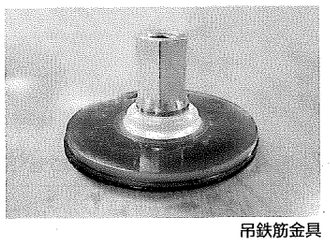
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



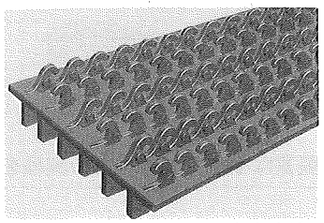
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

■ 容易な施工性



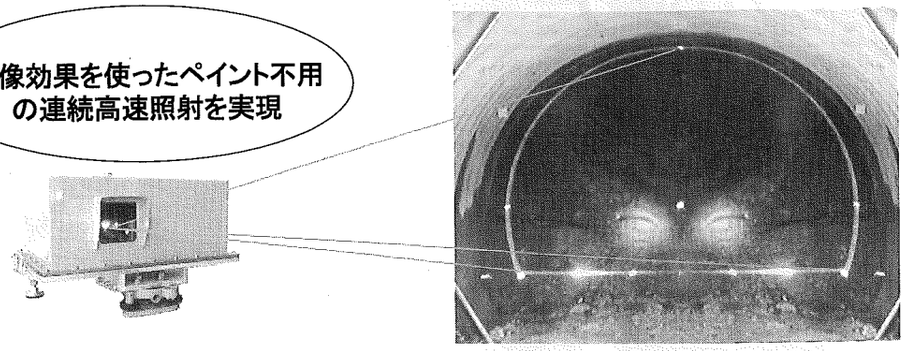
クイックバー

株式会社ブリヂストン
土木・建築資材販売促進第2部
東京都中央区八重洲1-6-6　〒103-0028
TEL.(03)5202-6872　FAX.(03)5202-6874

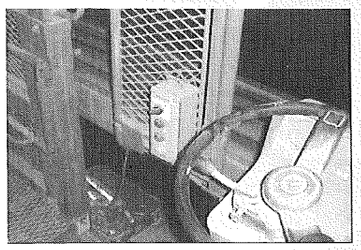
レーザーマーキングシステム

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

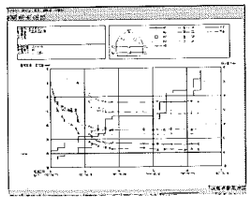


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

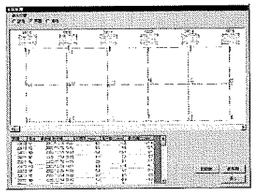


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

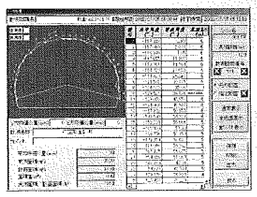
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



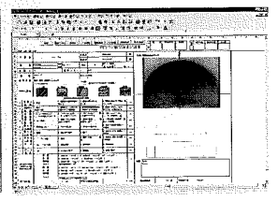
A計測データ処理



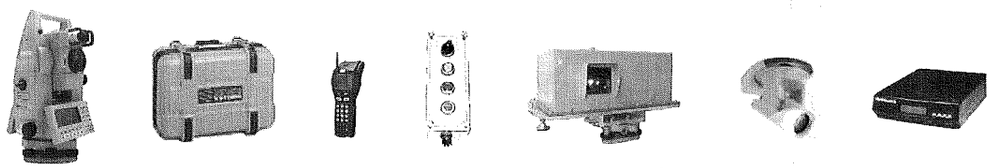
支保工立込精度、変形量



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

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤
NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、
高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。
- ●単位水量を減少し、急結性・付着性・強度発現性などの諸性状を改善する。
- ●急結剤の使用量を低減する。

アルカリフリー・低アルカリ型液体急結剤
メイコ®SAシリーズ

成分中にアルカリ分をほとんど含まない液体急結剤。
- ●作業員に対する安全性が高い。
- ●粉じんの発生が少なく、良好な吹付け作業環境が得られる。
- ●付着性に優れ、リバウンド量を低減する。
- ●アルカリ骨材反応を助長しない。

より良い吹付けコンクリートのために。

現場のニーズに専用の混和剤システムがお応えします。

二酸化ケイ素を主成分とした球状で
超微粒子のシリカフューム。
- ●ワーカビリティー、材料分離抵抗性、ポンプ圧送性などを改善する。
- ●硬化コンクリートを高強度化し、水密性を増大させる。

シリカフューム
メイコ®MS610

吹付けコンクリートの
練置きを1〜16時間
まで自由にセットコントロール。
- ●長時間の運搬や現場での練置きを可能にする。
- ●夜間のコンクリート製造作業を軽減し、吹付け工事を効率化する。

湿式吹付けコンクリート用セットコントロール剤
デルボクリート

BASFポゾリス株式会社
- ●本社／東京都港区六本木3-16-26
  混和剤営業部: TEL03-3582-8811(直) FAX.03-3583-3800
- ●支店／仙台、東京、名古屋、大阪、福岡
- ●営業所／札幌、宇都宮、千葉、横浜、上越(松本・金沢)、静岡、広島、高松、鹿児島

資料進呈／詳しくは、本社混和剤営業部または、最寄りの事業所にお問い合わせください。
URL http://www.pozzolith.basf.co.jp

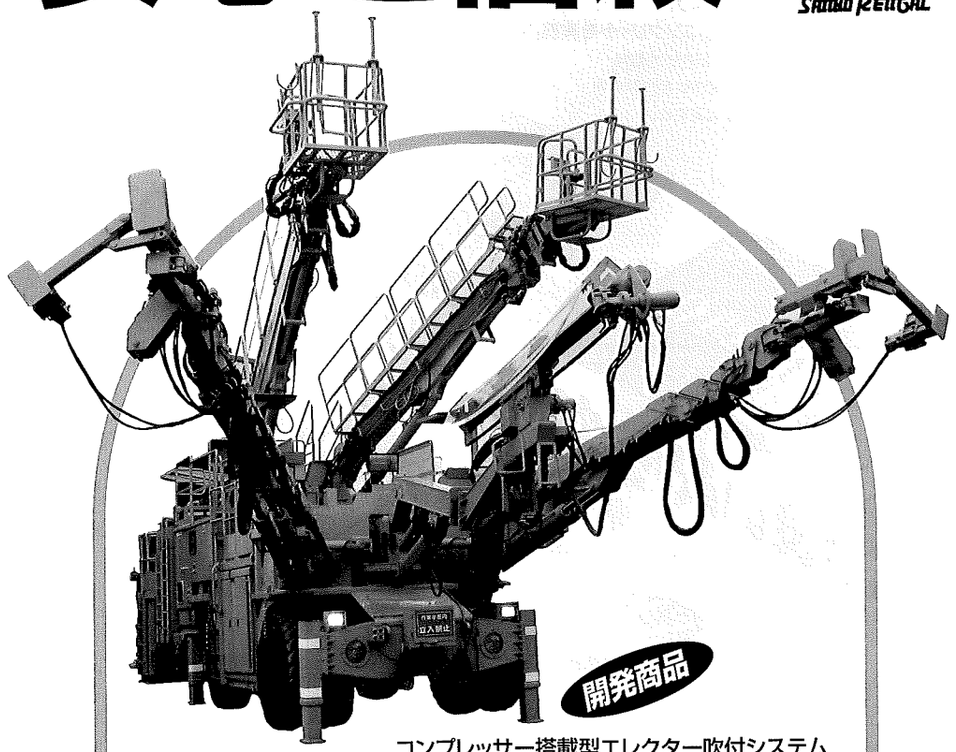
MOODY INTERNATIONAL　UKAS QUALITY MANAGEMENT 014
JSA EMS ISO 14001 登録番号 JSAE158

●BASFポゾリス㈱は開発センター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。

BASF
The Chemical Company

安心と信頼

SANWA RENTAL



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）

〈1台2役のスグレモノです!〉

■1台にて1次吹付、支保工建て込み、2次吹付可能です。
■2バスケットによる効率UPが可能です。
■最大荷重1200kgの支保工を運搬・建て込み可能です。
■コンプレッサー　90kw・37kwを搭載しています。

トンネル機械の総合レンタル

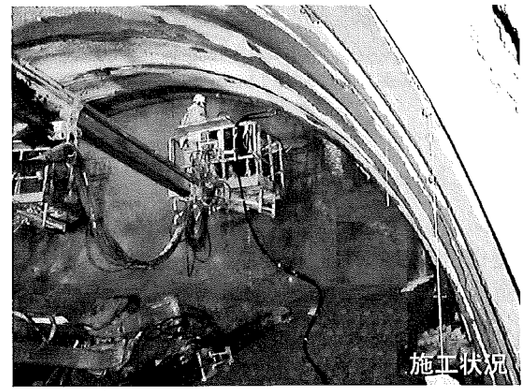
三興レンタル株式会社

高槻事務所／〒569-0836 高槻市唐崎西2-26-1
TEL072-677-2101㈹　FAX072-677-2109

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

当社が提案するAGF-OFP工法（注入式長尺先受工法）は、長尺の先受を鋼管打設と注入により構築するもので、現場で通常使用されているドリルジャンボで施工できる、汎用性の高い長尺先受工法です。鋼管・削孔資材から注入材まで、全部まとめてお任せください。



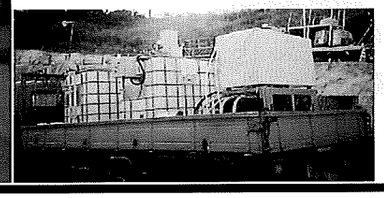
■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）

※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧下さい。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム

◎リサイクルコンテナ（左）と現場への搬入風景

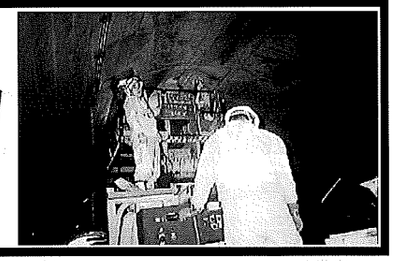


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

これからますます需要増加が見込まれるトンネル補修工事。当社では、補修工事で使用される空洞充填材も取り扱っております。

NTRフォーム12（12倍発泡）
NTRフォーム30（30倍発泡）
NTRフォーム40（40倍発泡）
※強度等詳細は当社ホームページにてご確認ください。



上記の各種注入材の他、ドリルジャンボ、集塵機をはじめ各種機械も取り扱っております。お気軽にお問い合わせください。

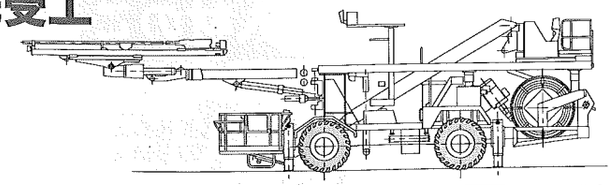
TMC　株式会社ティーエムシー　ホームページ：http://www.tmc-net.com/
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

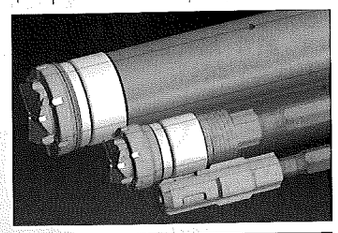
本社	〒116-0013　東京都荒川区西日暮里5-23-3　冠第二ビル5F	TEL：03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826　宮城県仙台市若林区若林2-5-5　SKビル3F	TEL：022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844　愛知県春日井市鳥居松町4-165　春日井中央ビル4F	TEL：0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903　大阪府東大阪市今米1-2-1　中辻第3ビル3F	TEL：072-966-6280
富山営業所	〒933-0806　富山県高岡市赤祖父707　古川ビル2F	TEL：0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809　福岡県久留米市東合川3-12-40　ｱｲ・ｿﾘｭｰｼｮﾝﾋﾞﾙ1F	TEL：0942-40-8151

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

All Graund Fastening;
Long-Distance,.Fore-Pilling Method

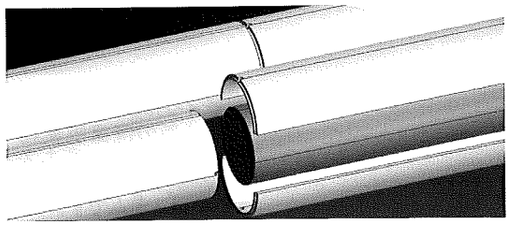


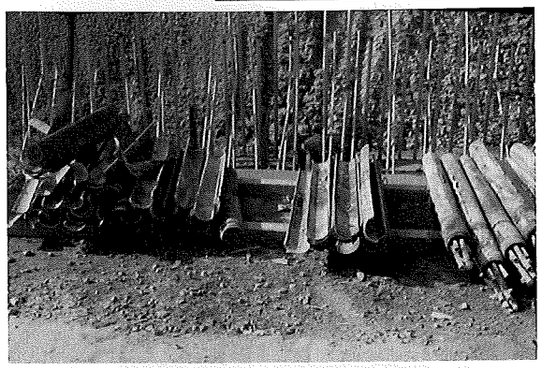


AGF-Me工法

- トンネル掘削時に露出した端末管を容易に切除可能
- 硬化注入材と鋼管を容易に分別処理して、鋼管はリサイクルへ
- 豊富なサイズ、114.3mm・101.6mm・76.3mm・60.5mm

最後端部に接続される鋼管は、縦貫通スリット管を用いることにより、掘削時に露出した鋼管を折り曲げ除去するだけで、内部の硬化した注入材と鋼管とを分離して、分別処理を簡便に行えるようにした環境対応型長尺鋼管先受工です。



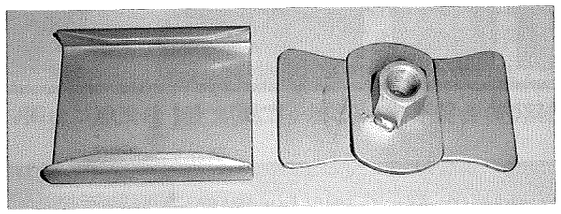


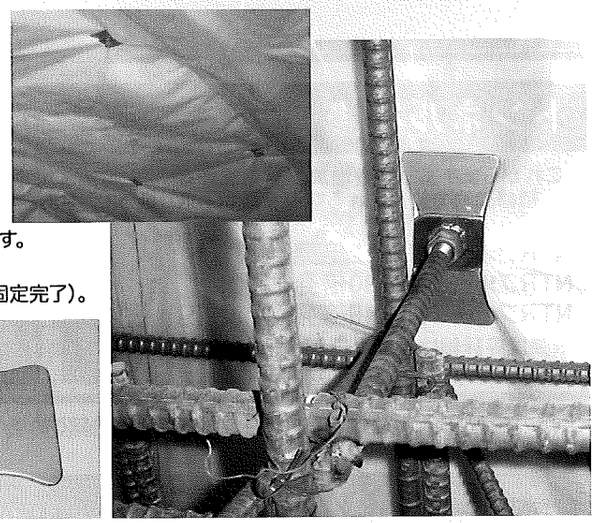
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

TKグリッパー

- 防水シートへの穴あけ不要
- 一人で容易に取り付けが可能
- 外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ
1. 支保工へ溶接したグリップに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。



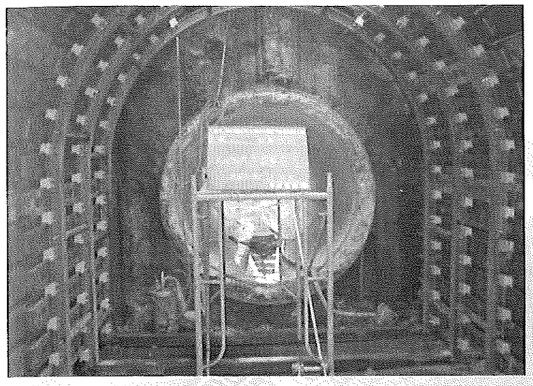


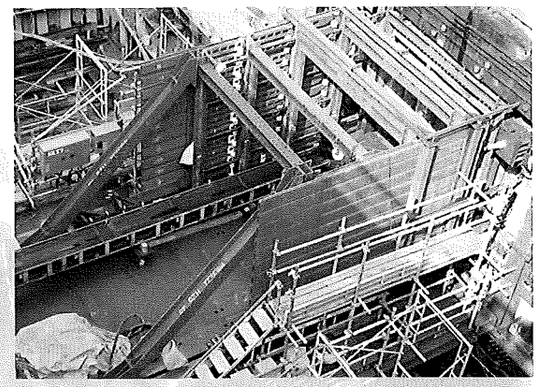
㈱東邦金属株式会社　東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒105-0003
東京都港区西新橋3丁目2番1号　共同ビル(西新橋)10F
Tel:03-5401-6211　Fax:03-5401-6218
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

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)

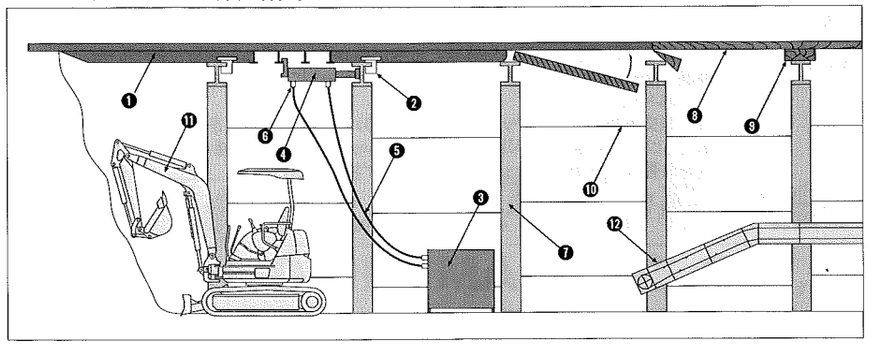
特徴

- 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。

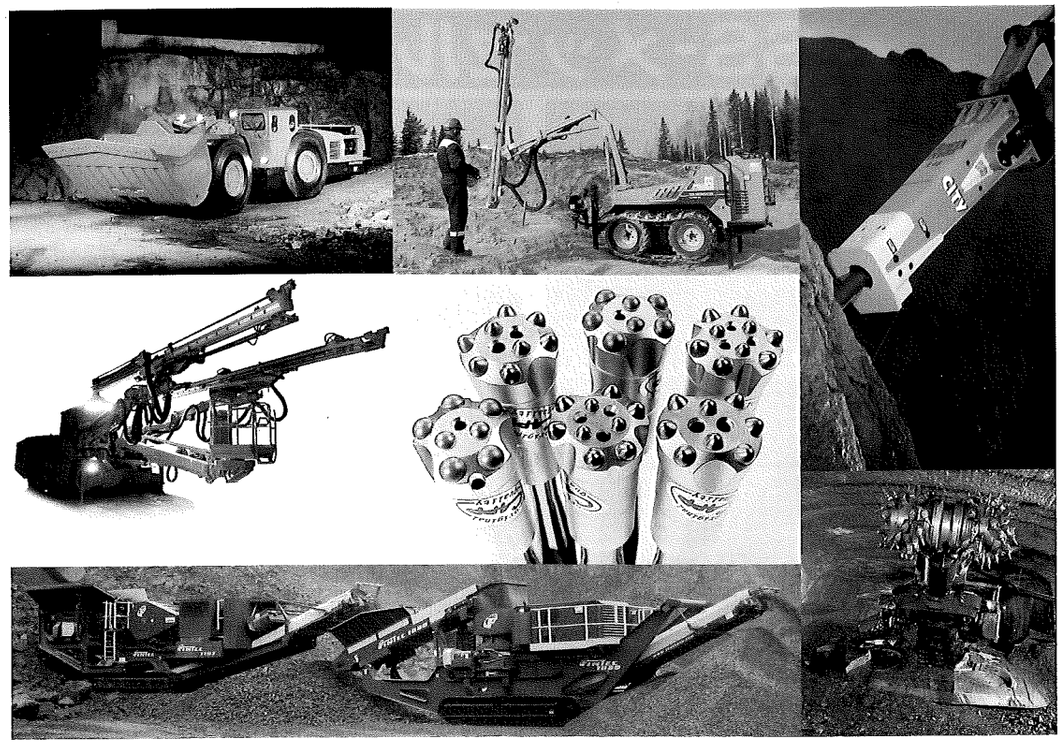
SS-メッセル工法概略図



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木製キャンパー
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/
〒102-0074　東京都千代田区九段南3丁目8番10号　TEL.(03)3263-7457(代)　FAX.(03)3262-0915

SANDVIK



Productivity
in Action

サンドビック マイニング アンド コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。
私たちの製品は、鉱山機械、建築機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。
それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。
長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。
私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客様の生産性、収益性を改善する斬新なソリューションを絶えず提案し続けます。

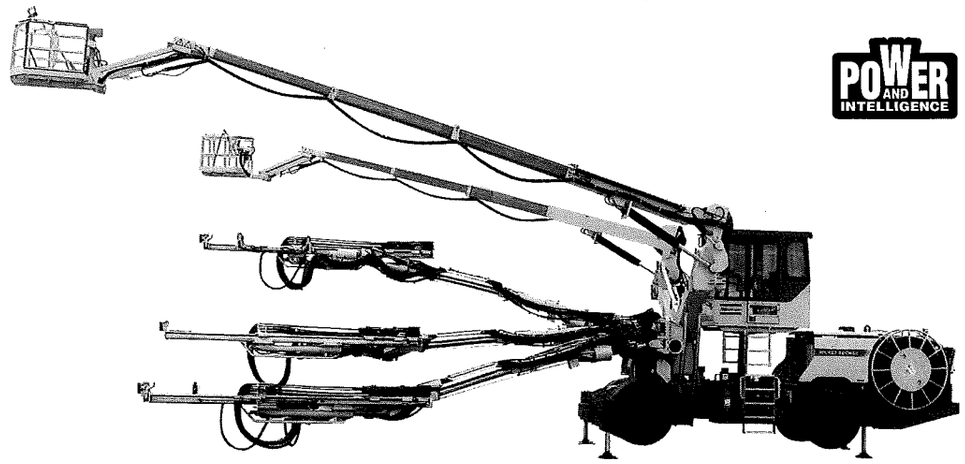
サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社

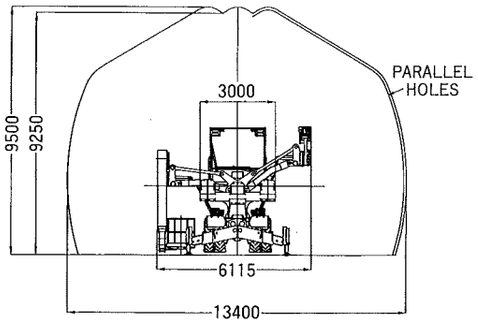
〒222-0033 神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12 共立新横浜ビル6階TEL045-478-0662/FAX045-478-0661

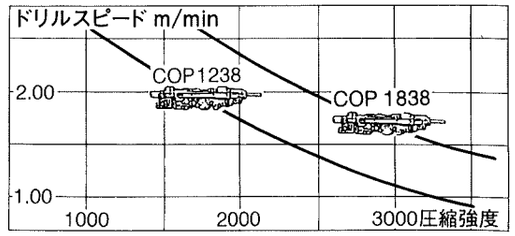
URL http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

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







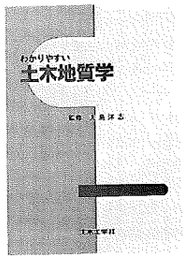
ドリルマシン株式会社
DRILL MACHINE CO.,LTD.

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

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

1.路線選定と地質条件　2.トンネル工法・掘削工法と地質条件　3.掘削方式と地質条件　4.トンネル掘削に伴う地質的現象

第Ⅲ編　地質調査法

1.地形・地質調査一般　2.既存資料調査　3.空中写真判読　4.地質路査　5.弾性波探査　6.電気探査　7.その他の物理探査法
8.ボーリング調査　9.ボーリング孔を利用して行う調査　10.室内試験　11.調査坑調査(施工・維持管理段階の調査含む)
12.水文調査・地下水調査　13.立地条件調査

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

〔その他の既刊図書〕

建設工事の保安地質学〔改訂版〕　石井康夫 著　A5判　475頁　税込6,300円　送料340円

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ 共著　大西有三 監訳

第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳

A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

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

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

続 きみの庭にも温泉が出る　石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判　217頁　税込1,260円　送料210円

きみも金鉱を発見できる　石井康夫 著　新書版　200頁　税込1,029円　送料210円

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

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

【好評発売中】

シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　章

B5判　約280頁　本体価格4,660円　送料 340円

〔推薦の言葉〕　東京都技監兼下水道局長・工学博士　村田 恒雄

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

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

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

主　要　目　次

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

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

シールドトンネルの新技術 _____ 冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

【好評発売中】

セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B5判　132頁　本体価格 2,000円　送料 290円

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

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

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

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

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

〈セグメントの新技術〉

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

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

き---り---と---り---線

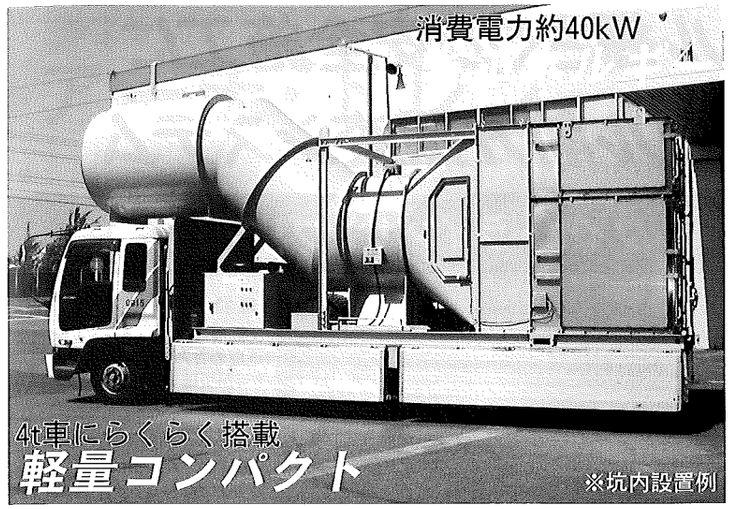
《ご 注 文 票》

セグメントの新技術 _____ 冊 申込みます．

所 在 地 〒(　　)

事業所名　　☎

部 課 名　　申込者名　　㊞



RENT

取扱レンタル商品

●フリッカー対策器
●MACレーザーシステム
●オアシス(坑内休憩室)
●発電機エコ装置
(従来より小容量の発電機で施工できる為、省エネ効果)

National電気集塵機クリンジェット(2,000m³/minタイプ)

株式会社 レ ン ト　特機営業課　担当者　工藤・篠崎

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-12-9 NIビル 8 階　TEL：03-5642-6750　FAX：03-3249-0415
URL：http://www.rent.co.jp　E-mail：kudo.yuji@rent.co.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）

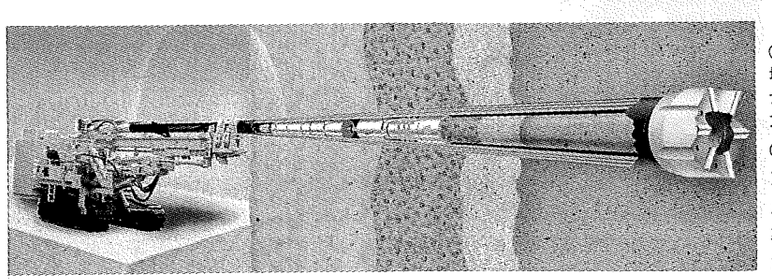
【営業品目】複層タイヤ／油圧ホース／マテリアルホース／各種中古車／触媒／線路（中古）

中濃産業株式会社
代表取締役 土 田 義 弐

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

トンネル掘さくの安全施工に
アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



■ 特 長

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

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

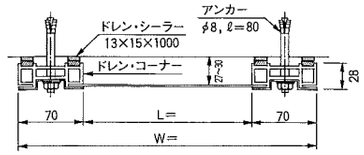
本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F
TEL (03)6907-7888(大代表) FAX (03)6907-7527

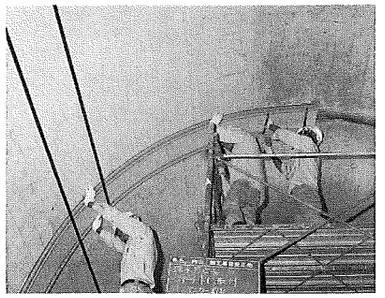
お問い合わせ先 ： 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp

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

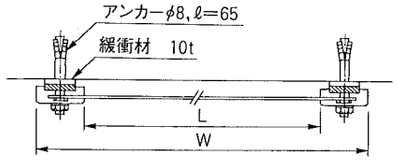
■特 徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

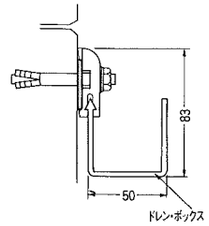
アーチ・パネル



JH 水戸 大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン

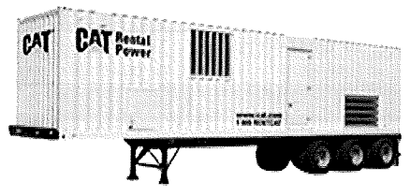


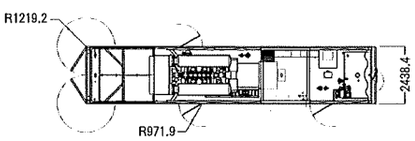
■特 徴
- スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

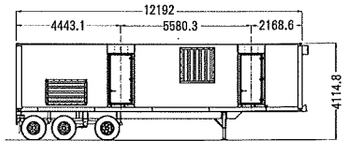
ニホン・ドレン工業株式会社

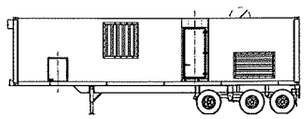
〒910-2166 福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail : info@n-doren.co.jp

大型発電機レンタル









		2000KVA	2000KVA
		50	60
周波数	Hz	50	60
出力	KVA	2,000	2,281
出力	kW	1,600	1,825
電圧	V	400	440
電流	A	2,887	2,993
燃料		軽油	軽油
容量/燃料タンク	L	4,730	4,730
燃料消費量	L/h	260	307
燃料消費量(75%負荷時)	L/h	—	—
全長	mm	13,500	13,500
全幅	mm	2,439	2,439
全高	mm	4,115	4,115
乾燥質量	kg	40,370	40,370
整備質量	kg	33,636(車台含む)	33,636(車台含む)

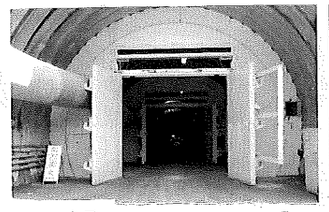
klea

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

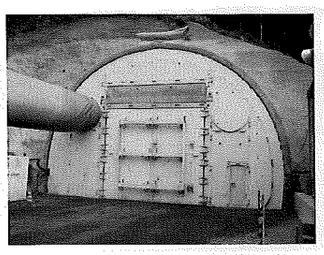
URL http://www.klea-cat.com

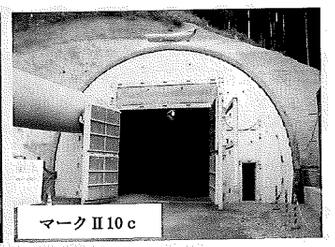
２５年の実績が最大級の安心です

～ヒューズ工業の防音扉は生産物賠償責任保険（対人）付きです～



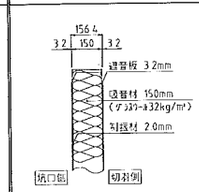
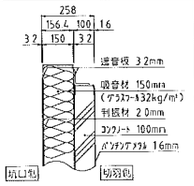
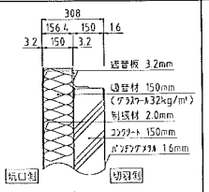
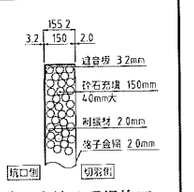
マークⅡ





マークⅡ10ｃ

ＨＦＳ型 防 音 扉（オプションで自立式、牽引式にも対応可能です）

製品名称	マークⅡ	マークⅡ10ｃ（ｺﾝｸﾘｰﾄ 100mm 充填タイプ）	マークⅡ15ｃ *New*（ｺﾝｸﾘｰﾄ 150mm 充填タイプ）	ロック式 *New*（砕石 150mm 充填タイプ）
仕　様	●パネル厚さ 150mm 遮音板　3.2mm×2 吸音材　150mm 制振材　2.0mm	●パネル厚さ 150mm 遮音板　3.2mm×2 吸音材　150mm 制振材　2.0mm ●ｺﾝｸﾘｰﾄ厚さ　100mm	●パネル厚さ 150mm 遮音板　3.2mm×2 吸音材　150mm 制振材　2.0mm ●ｺﾝｸﾘｰﾄ厚さ　150mm	●パネル厚さ 150mm 遮音板　3.2mm×1 砕　石　150mm 制振材　2.0mm 金　網　2.0mm
形　状		 ｺﾝｸﾘｰﾄ充填は現場施工	 ｺﾝｸﾘｰﾄ充填は現場施工	 砕石充填は現場施工
防音扉１基設置の場合の音響性能				
騒音レベル	19 dB(A)	19 dB(A)	21 dB(A)	19 dB(A)
低周波音圧レベル	13 dB	20 dB	23 dB	17 dB
防音扉２基設置の場合の音響性能				
騒音レベル	28 dB(A)	29 dB(A)	30 dB(A)	28 dB(A)
低周波音圧レベル	19 dB	33 dB	36 dB	26 dB

防音扉以外にも、防音ハウス・防音壁などの防音パネルを使用した製品も取り扱っております。

【建設騒音対策協会】

株式会社 牛尾商店 福岡県福岡市博多区中洲 5-4-19 〒810-0801　TEL. 092-281-2131	株式会社 カテックス 愛知県名古屋市中区上前津 1-3-3 〒460-8331　TEL. 052-331-8821	株式会社 ティーエムシー 東京都荒川区西日暮里 5-23-3 〒116-0013　TEL. 03-3891-8211
日豊 株式会社 東京都渋谷区渋谷 2-12-12 〒150-0002　TEL. 03-3409-8041	株式会社 野佐和商会 大阪府大阪市西区新町 2-10-3 〒550-0013　TEL. 06-6532-5451	株式会社 ビーエスアイ 北海道札幌市中央区北一条東 13-1-1 〒060-0031　TEL. 011-241-6500
古河ロックドリル 株式会社 東京都中央区日本橋室町 2-3-14 〒103-0022　TEL. 03-3231-6961	松茂工販 株式会社 東京都江東区豊洲 4-1-23 〒135-0061　TEL. 03-3536-5531	協会幹事：ヒューズ工業 株式会社 東京都江戸川区平井 6-35-5 〒132-0035　TEL. 03-3617-8111

お問い合わせ　　E-mail　souon@fuse-ind.co.jp

◆ISO9001 取得 ～ 防音設備の設計、製造、施工、リース

◆建設業登録　とび・土工工事業　（般－17　第 75054 号）

創立 1981 年

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

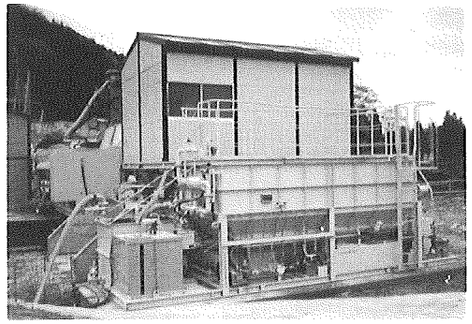
□ 大阪営業所　〒531-0072　大阪府大阪市北区豊崎 3-4-14 ショーレイビル　TEL. 06-6359-2611　FAX. 06-6359-2288

E-mail　info@fuse-ind.co.jp　　URL　http://www.fuse-ind.co.jp

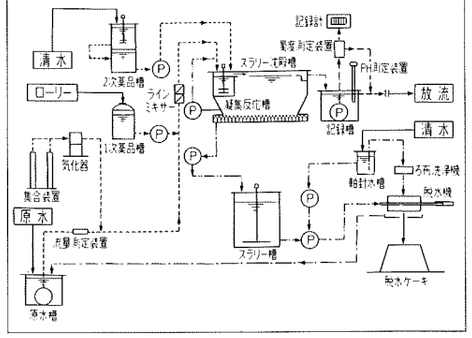
TWS型シリーズ 濁水処理装置

Waste Water Treatment System

コンパクトながら 大きな処理能力



フローシート　（システム TYPE Ⅱ）



特　長

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

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合せにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いＳＳ処理が出来る。複式汎板型の脱水機を採用していることから汎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
自動汎布洗浄装置

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

詳細資料請求、お問い合わせは

株式会社 フジテックス

本社　〒930-0821　富山市飯野 12-1

TEL (076)452-1616㈹　FAX (076)452-1617

トンネルと地下　3月号目次　Vol.39, No.3, 2008 Mar.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

日本の活力を維持するために
小野　武彦……5

■研　　究

高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化
佐野　信夫・馬場　弘二・山田　隆昭・西村　和夫……45

■施　　工

飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断
―北陸新幹線　長峯トンネル―
依田　淳一・都築　保勇・張　信一郎・明石　太郎……7

TBMで6kmの避難坑を高速施工
―日本海沿岸東北自動車道　温海トンネル避難坑―
大友　強一・芳賀　伯文・松本　茂美・水戸　聰……15

複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理
―中之島線　第6工区―
長瀧　元紀・泉谷　透・平手　知・神谷　拓生……31

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

シールド工事における地域とのコミュニケーション
―東京都下水道　墨田区菊川一，二丁目付近再構築工事―
新谷　康之・小川　仁・望月　健・早川　淳一……39

■連 載 講 座

シールド工事の施工に関するQ&A（9）
JTA都市トンネル小委員会……57

■現場だより

「西九州の観光都市」佐世保より
大久保政吉……27

「炭鉱そしてメロンの町」夕張市より
信田　俊文……30

■資　　料

トンネル千夜一夜(39)
小野田　滋……28

土木情報
編　集　部……38

トンネルジャーナル
編　集　部……69

文献紹介
編　集　部……70

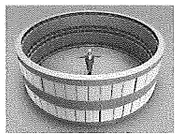
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……72

海外文献速報
JTA国際委員会……73

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……78

【表紙説明】　複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理
―中之島線　第6工区―



中之島線第6工区は，京阪天満橋駅～中之島駅(新設)に至る全長約2.9kmの地下鉄建設工事のうち，なにわ橋駅～天満橋駅間約600mを2機の泥土圧シールドで施工するものである．同工区では，シールド掘進土層が沖積層から洪積層まで複雑に変化する中を重要構造物と交差・近接する厳しい条件を克服するため，各種掘進管理を実施した．写真は，セグメント仮組み立ての状況である．

〔写真提供：中之島高速鉄道(株)〕（本文31頁参照）

Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

電線共同溝をはじめとする
電力・通信ケーブルの埋設管工事
情報化時代に伴う
光ファイバーの多条敷設
都市部での電線地中化工事を
省力化・効率化

1.独自構造（波付き管と管台一体型リブの連続構造）
- リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- 従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

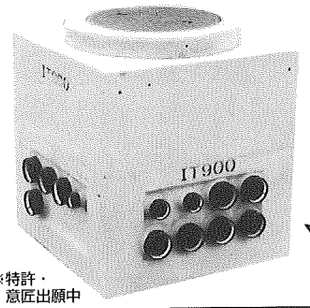
2.可とう性に優れる
- 上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

3.優れた性能
- 軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
- ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
- JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

4.摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ

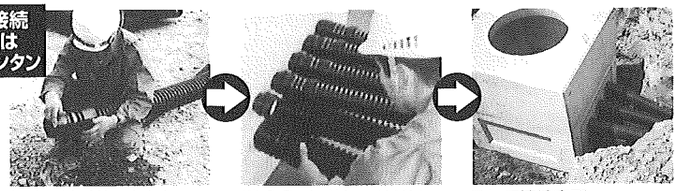
ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・意匠出願中

接続はカンタン



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

ワンタッチ継手（ベルマウス付直材）を工場で取り付けてご納品。
管路接続がスピーディー、確実に行えます。

●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

TVコマーシャル放映中　テレビ朝日系「サンデープロジェクト」（日曜　朝10:00～11:45）

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック

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)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

会誌ＷＧの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

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

〔幹　　事〕

池田豊人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

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

大石敬司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木吉治
東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長

城間博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

鈴木　明
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

千葉　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長島芳雄
株式会社竹中土木常務取締役

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

松原利之
飛島建設株式会社土木事業本部技術統括部
トンネル技術グループ部長

山道哲二
株式会社大林組東京本社生産技術本部
トンネル技術部部長

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
NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット
トンネル担当

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

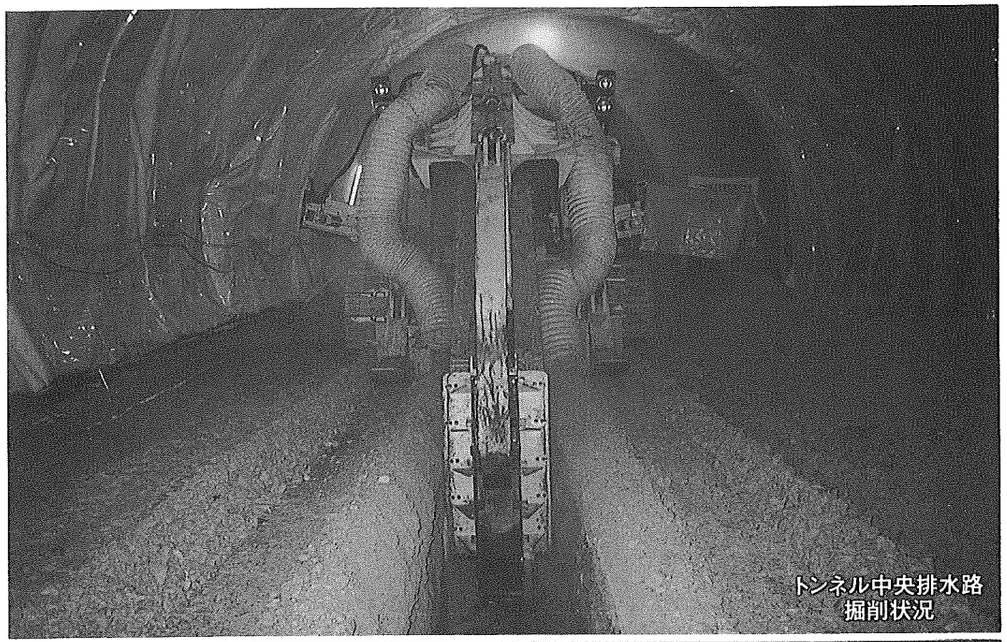
松本崇義
(元)東京都理事

丸安隆和
東京理科大学教授

山口啓二
株式会社熊谷組代表取締役副社長

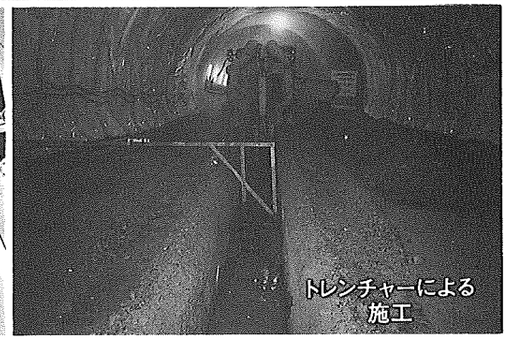
トレンチャー

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
日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋良文
東京都下水道局技術開発担当部長

橋本定雄
(元)東京都公営企業管理者下水道局長

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐山順二
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

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所
立体交差課長

城間博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

田村聡志
東京都水道局建設部工務課長

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

野邑敏行
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

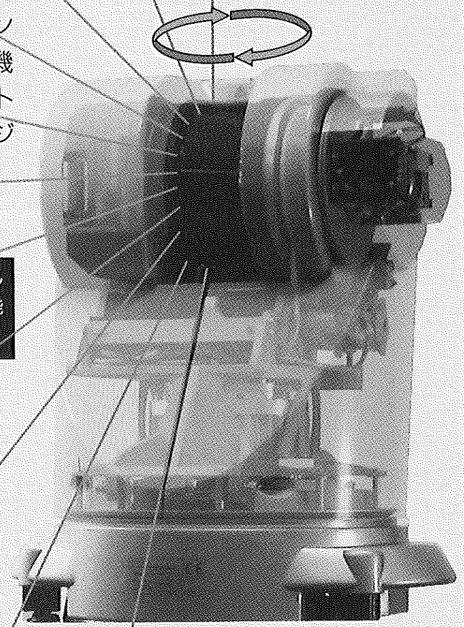
Callidus™ レーザースキャナー

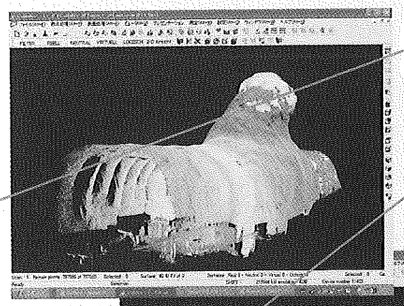
3次元トンネル断面計測機

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。

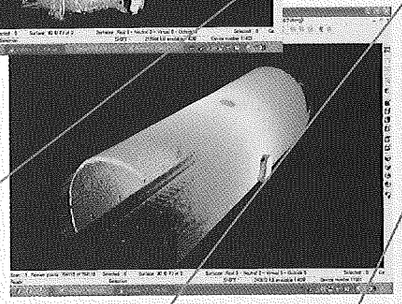
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





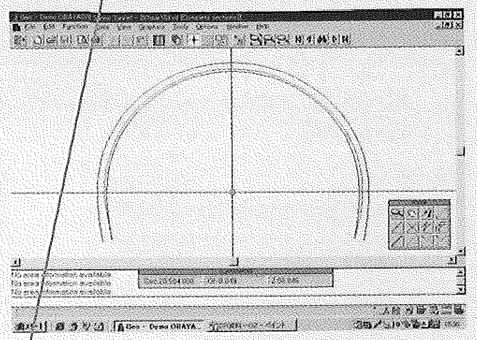
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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.39 No.3 掲載概要

掲載頁 7

飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断
—北陸新幹線 長峯トンネル—

鉄道・運輸機構 依田 淳一

北陸新幹線長峯トンネルは，新幹線飯山駅の終点方に位置する全長115mのトンネルである．土かぶりは最大で1*D*程度と小さく，トンネル上部の本線両側に存在する近接家屋への影響の抑制が課題であった．そこで，近接構造物への影響予測を目的として3次元FEM解析を実施した．

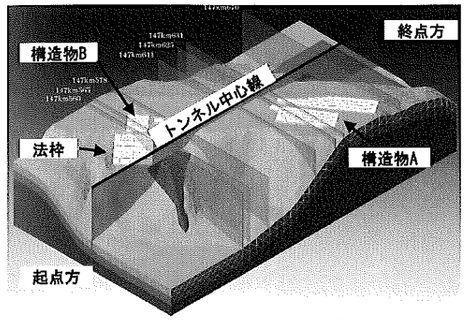
施工中の計測結果と数値解析結果を比較したところ，終点方の計測結果が弾性解析の結果とよい相関性を示しており，地山の挙動を弾性域の範囲に抑えながら施工できたと判断している．また，起点方では，終点側の施工で得た結果を反映し，適切な補助工法を採用しながら掘削を進めたことで，保安物件としてもっとも危惧された構造物への影響を最小限に抑えることができた．

Shallow Tunnel Bored under the Hill at the Skew Angle near Iiyama Station—Nagamine Tunnel, Hokuriku Shinkansen—

By Junichi Yorita, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Nagamine Tunnel on Hokuriku Shinkansen has an overall length of 115 m and is situated near Iiyama Shinkansen Station. The overburden was at a maximum of around 1*D* and it was a challenge to minimize the impact on adjacent buildings situated above the tunnel. Accordingly, a three-dimensional FEM observational study was carried out with the aim of predicting the impact on adjacent structures.

When monitoring results during construction and numerical analysis results were compared, monitoring results at stant section showed a good correlation with elasticity analysis results and it has been judged that construction had been carried while restraining the range of elasticity of ground. In addition, this results obtained at the start section were reflected in the end section, and through excavating while installing the appropriate auxiliary method, it was possible to minimize impact on structures about which we had the most misgivings as to their preservation.



図は3次元FEM解析モデル鳥瞰図

掲載頁 15

TBMで6 kmの避難坑を高速施工
—日本海沿岸東北自動車道 温海トンネル避難坑—

東日本高速道路(株) 大友 強一

日本海沿岸東北自動車道温海トンネル避難坑は，延長約6,000mの長大トンネルである．本坑施工に先行する避難坑工事は，地質確認および水抜き効果を兼ねてTBM工法を採用した．この避難坑TBM坑の掘削は，2005年8月より開始し，2007年2月に到達した．

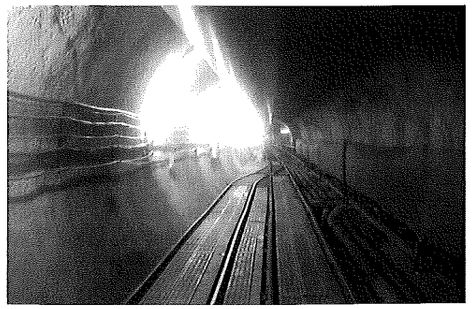
本稿では，地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な掘進を可能にするTBM施工技術，TBM施工情報を共有できる情報化施工技術および長距離TBM施工するための仮設備計画について，施工結果とともに報告する．

Rapid Excavation of 6 km Evacuation Tunnel using TBM—Evacuation Tunnel of Atsumi Tunnel Nihonkai-Engan Tohoku Expressway—

By Kyoichi Otomo, East Nippon Expressway Co. Ltd

Evacuation tunnel of Atsumi Tunnel on The Nihonkai-Engan Tohoku Expressway is a very long at approximately 6,000 m. The advanced tunnel construction work was carried by the TBM for verification of geological features and the drainage. This tunnelling began in August, 2005 and was completed in February, 2007.

This report outlines construction results as well as TBM construction techniques that enable repid excavation in favourable gound and reliable excavation in unfavourable ground, smart construction techniques that enable the sharing of information monitored by TBM and back-up facilities for long-distance TBM operation.



写真は離合箇所

掲載頁 31

複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理
—中之島線　第6工区—

中之島高速鉄道(株)　長瀧　元紀

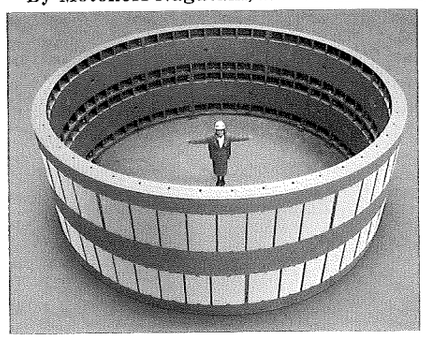
中之島線は，現在の京阪天満橋駅から中之島駅(新設)に至る全長約2.9kmの地下鉄建設工事である．今回報告する第6工区のトンネルは，なにわ橋駅～天満橋駅間約600mを2機の泥土圧シールドにより構築するものである．

重要構造物との交差・近接としては，難波橋，大阪市営地下鉄堺筋線，ばらぞの橋，阪神高速道路環状線，土佐堀川護岸，天神橋，京阪本線躯体がある．

本稿は，上町断層の影響を受け，シールド掘進土層が沖積層から洪積層まで複雑に変化するなかでの掘進管理について報告するものである．

Shield Tunneling Control in Complexly Altering Soil Layers—Nakanoshima Line Section 6—

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



写真はセグメント仮組み立て

The Nakanoshima Line is a 2.9 km (approx.) subway line currently under construction between Keihan Tenmabashi and Nakanoshima (newly constructed) Stations. This report concerns the 600 m (approx.) Section 6 Tunnel between Naniwabashi and Tenmabashi Stations which was constructed with two mud slurry shields.

Naniwa Bridge, Osaka Municipal Subway Sakaisuji Line, Barazono Bridge, Hanshin Expressway Ring Road, Tosabori River revetment, Tenjin Bridge and the structures of the Keihan Main Line adjoin or intersect the Nakanoshima line.

This report outlines driving control in circumstances where the shields bored through complex stratum from the alluvium to the diluvium due to the impact from the Uemachi fault.

掲載頁 39

シールド工事における地域とのコミュニケーション
—東京都下水道　墨田区菊川一，二丁目付近再構築工事—

東京都下水道局　新谷　康之

東京都では，老朽化した下水道管の損傷に伴う道路陥没や，頻発する都市型水害への対応などから，下水道施設の「再構築」事業を進めている．しかし，下水道普及率100%概成であるなか，密集した市街地の中で下水道の工事を進めることに対しては，地域住民の合意形成を図ることが困難なことが少なくない．本稿では，このような密集市街地における「再構築」の工事の一例として，墨田区菊川一，二丁目付近で実施しているシールド工事において，地域住民との合意形成を図るため，下水道事業への理解を得るためのPRを行い，地域住民の意見を積極的に聞いて工事の進め方に反映させたり，地域の小学校などと連携して防音建屋のイメージアップを図るなど，地域とのコミュニケーションを活発に行っている事例を紹介する．

Communication with Local Residents concerning Shield Construction Work—Sewerage Reconstruction work in Kikukawa 1, 2 Chome in Sumida City—

By Yasuyuki Shintani, Tokyo Metropolitan Government Bureau of Sewerage

'Reconstruction' work of sewerage facilities is being conducted in Tokyo Metropolitan Area as road subsidence is occurring due to damage from worn sewerage pipes and in order to cope with frequent urban flooding, etc. However, as the percentage of the population with access to sewerage is 100%, there are more than a few difficulties in building the consensus of local residents with respect to conducting sewerage works in densely built-up areas. This report, with such 'reconstruction' work in densely built-up areas as an example, presents precedents for active communication with local residents concerning the shield construction that is being performed in the vicinity of Kikukawa 1, 2 Chome in Sumida City in order to build the consensus of the local residents such as conducting PR to foster understanding of sewerage works, actively listening to the opinions of local residents and reflecting them in the process of construction and improving the image of soundproofed buildings in cooperation with local elementary schools, etc.

写真は防音建屋を東から見た図

掲載頁 45

高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化

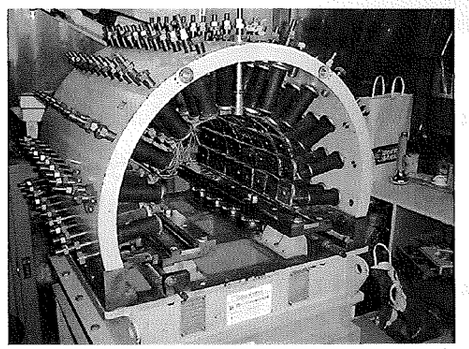
(株)高速道路総合技術研究所　佐野　信夫

本研究は，主に高速道路トンネルを対象に，点検システムの経済性と作業効率性の向上を図ることを目標としている．本稿では，これを達成するために，従来の近接目視点検に替わる点検システムとして，60km/h程度の速度で計測できる車両を活用した新点検システムの提案を行った．その中で現時点において必須となる技術者が机上で行う連続印刷画像解析の特性を調べ，技術者の能力による影響など今後の点検・調査の着目点などについて検討した．また，覆工コンクリートのひび割れ展開図をもとに，その健全度に対する定量的な評価基準を提案した．さらに，その新点検システムの費用削減効果について，高速道路トンネルを対象に試算を行い，有効性について評価を行った．

Streamlining of Inspection System for Expressway Tunnel Lining

By Nobuo Sano, Nippon Expressway Research Institute Company Limited

This research has the objective of improving the economic efficiency and labour effectiveness of the inspection system with mainly expressway tunnels as the target. In this report, in order to accomplish this, a new inspection system utilizing a vehicle that can take measurements at around 60 km/h was proposed as an inspection system to replace the existing close visual inspection. In this proposal, the features for continuously printed image analysis conducted by engineers from their desks were researched and required future inspection and research focus points such as the effects of the capability of engineers were investigated. In addition, based on a development view of cracks in concrete lining, a proposal was made for quantitative evaluation criterion with respect to the soundness. Furthermore, concerning the effectiveness of cost reduction of the new system, preliminary calculations with expressway tunnels as the target were conducted and effectiveness was evaluated.

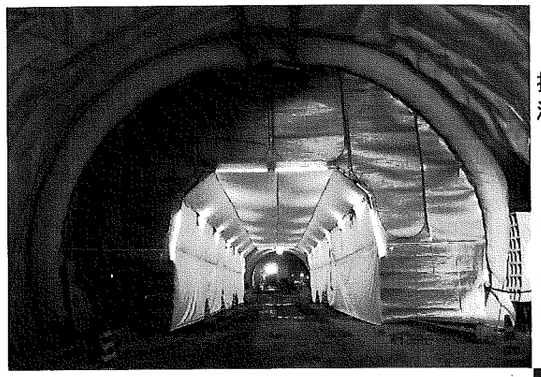


写真は覆工模型実験装置

トンネルバルーン覆工コンクリート
トータル養生工法

長期耐久性に優れた高品質な覆工コンクリート施工を実現します！

ＮＥＴＩＳ登録
（No.ＨＲ－０４０００５）



セントル温度養生バルーン

打設後から脱型までセントルをバルーンで覆い温度養生をします。

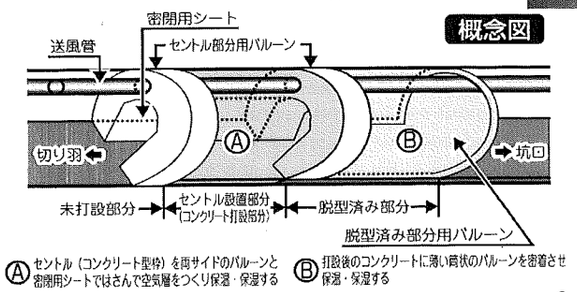
【特徴】
1．若材齢時に温度管理をすることで初期強度が向上します。
2．高品質コンクリートの確保が可能です。
（脱型時コンクリートの付着が減少します）
3．サイクルタイムの短縮が可能です。
4．洗い水が車両通行部に落ちません。

覆工養生バルーン

脱型後の覆工コンクリートを覆います。

【特徴】
1．長期材齢の強度アップ
2．覆工コンクリートの表面を湿潤状態に保ちます。
（乾燥収縮クラックの低減に貢献します）
3．断熱効果が期待できます。
（内部と表面の温度差が少ない⇒温度応力の低減）

概念図



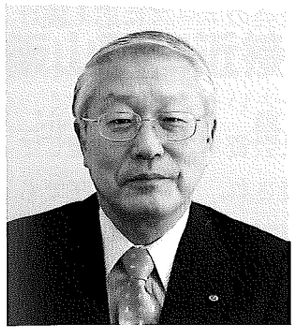
実　績	セントル温度養生	覆工養生バルーン
新幹線	５現場	２現場
高速道路	２現場	２現場
国土交通省	３現場	８現場
地方自治体	７現場	５現場
ＪＲ東日本	２現場	１現場
合　計	19現場	18現場

２００５年『日経ＢＰ技術賞　建設部門』受賞

岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO., LTD.
本社・工場　岐阜県本巣市十四条１４４番地
TEL 058(323)2000(代)　Fax 058(323)1176
東京支店　TEL 03(3262)1285(代)　Fax 03(3262)6093
仙台営業所　TEL 022(259)2239　Fax 022(259)3664
九州営業所　TEL 092(713)5265　Fax 092(714)3028
URL http://www.gifukogyo.co.jp/

TOUKOU 株式会社 東宏
本　社　北海道札幌市東区北２０条東５丁目１番７号
TEL 011(742)3331　Fax 011(742)3333
関東支店　TEL 027(352)2061　Fax 027(352)6065
道東営業所　TEL 0155(34)6311　Fax 0155(34)8494
URL http://www.k-toukou.jp/

巻頭言
（題字　小森　博会長）



日本の活力を維持するために

清水建設(株)代表取締役専務執行役員(本協会理事)
小野武彦

先般，塩野七生氏著の「ローマ人の物語」を読み終えた．古代ローマは現代社会と比べても遜色のない，豊かな社会であったことが生き生きと記述されている．さらにこのような社会を形成してきた裏には，上下水道や街道，橋，港湾などハードのインフラが重要な役目をなし，数百年にわたって機能し，ローマ社会を潤してきたことが良くわかる．ローマ人はインフラに対するメンテナンスの重要性を認識しており，絶え間ない努力を注ぎ，今でも世界に感動を与える文化を遺している．

同様にわが国の諸先輩も，日本全国それぞれの地域に密着し，社会資本ストックの歴史の中で，土木遺産にも代表されるような文化を遺している．当協会がかかわっているトンネルも，その一つである．

トンネルの歴史を振り返ってみると，250年ほど前に造られた大分県耶馬渓にある青の洞門が有名であるが，トンネル施工技術の発達は，鉄道トンネルによってもたらされたと云われている．日本最初の鉄道トンネルは1871(明治４)年に大阪～神戸間(石屋川トンネル，延長61m)において竣工し，爾来すでに135年以上が経つ．それ以降は，鉄道トンネルや電力用導水路トンネルが次々と造られ，1927年にはわが国初めての地下鉄道が浅草～上野間で営業を開始した．これらの構造物には今なお現役で稼働しているものも少なくない．

現在のトンネルを鉄道分野でみると，平成14年時点で約4,800本のトンネルがあり，その総延長は4,300kmに達している．とくに昭和40年代以降の新幹線の建設で，長大トンネルが建設されるようになると急激な伸びを示し，約20年間で２倍に増加した．また道路分野では，平成17年時点で約9,160本のトンネルがあり，その総延長は3,200kmに達している．とくに昭和38年に名神高速道路が開通して以来，高速道路の延伸は高度経済成長とともに着実に増加し，大きな伸びを示してきた．電力分野では，電力事業者が保有する水路トンネルの総延長は4,700kmに達している．

このようにトンネルは，わが国のこれまでの社会経済発展に大きく貢献してきたと同

時に，その技術力はあらゆる面で飛躍的に進歩し，また今後も社会のニーズに応え続けていくものと確信している．

よく土木構造物の寿命は50年と云われるが，51年目に機能停止ということではなく，多くの構造物は適切な維持管理のもと，50年を超えても重要な社会資本として機能している．それは，先述のローマのインフラが数百年にわたって維持され，一部は現在でも機能していることからも証明される．ただし，今後とも健全性を維持していくためには，人間ドックと同様の加齢に応じたきめ細かな対応が欠かせず，その対象となる構造物は今後急激に増加すると推定される．

「建設から維持の時代へ」といわれて久しいが，維持管理に関してはさまざまな問題を抱えている．建設投資額はピーク時の84兆円に対して52兆円程度に落ち込み，社会資本の維持管理や更新への投資には限界があろう．さらに維持管理のタイムスパンは数十年と長い単位で，多くの人を介してデータを受け継いでいく必要がある．また少子高齢化が進み熟練工や経験豊かな人の確保が困難となってきている．このような課題がある中でも，現代に生きるわれわれは持続可能な社会を維持するため，さまざまな工夫や英知を結集し，インフラのメンテナンスを継続して，次の世代へと引き継いでいく責務があろう．このような環境のもと，効率的，効果的にメンテナンスしていくためには，従来の対処療法的な管理だけではなく，予防保全的手法を取り入れた「ストックマネジメント」が求められる．「ストックマネジメント」の実行には，社会資本の老朽度の判定や改修時の費用対効果の総合的な検討，さらにはライフサイクルコストの観点からの発想も必要であろう．

現在「ストックマネジメント」の推進にあたっては，関係機関のたゆみない尽力により，共有するデータベースの構築や，非破壊による点検・調査方法の開発，マニュアルの作成などの体系的な提案がなされ，現場に展開されている．しかしながら維持管理ならびに各種技術のブラッシュアップにあたっては建設の過程を熟知した技術者のノウハウが欠かせない．土木界には経験豊富な多くの専門技術者が存在している．発注者として計画に，施工者として建設に，コンサルタントとして設計に，研究者として指針・規準作りに携わった方々が多勢いる．今後，これらの方々が，さらに活躍できる仕組み作りが大切ではないだろうか．技術の伝承，ならびに意志ある専門技術者の知恵の活用が望まれる．個々の機関，企業の枠を超えた土木界共有の土木技術者データバンクの構築に関しては，土木学会を始めとして検討されている．

これらが早期に実現し，古代ローマがインフラで活力を維持したように，日本の活力が維持されることを期待したい．

施工

飯山駅に近接する丘陵地を小土かぶりで斜め横断

—北陸新幹線　長峯トンネル—

鉄道・運輸機構大阪支社工事部工事第二課課長　依田淳一
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所所長　都築保勇
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所所員　張信一郎
北幹，飯山上倉Bvフジタ・吉川特定建設工事共同企業体北幹，飯山作業所主任技術者　明石太郎

1　はじめに

北陸新幹線長峯トンネルは，新幹線飯山駅（長野県飯山市）の終点方に位置する全長115m（高崎起点147km560m～147km675m）のトンネルである（図-1）．長峯トンネルは，急崖斜面を有する高さ約30mの帯状丘陵地を斜方向に通過する線形となっており，土かぶりは最大で1D程度と小さく，トンネル上部の本線左右に保安物件として家屋が近接する（図-2）．また，起点・終点方とも坑口が急斜面に位置し（起点方は県の急傾斜地崩壊危険区域指定地），周辺斜面には表層崩落や地すべりの跡も確認できた．トンネル部の施工は，開削などの検討も行ったが，経済性および現地の状況により

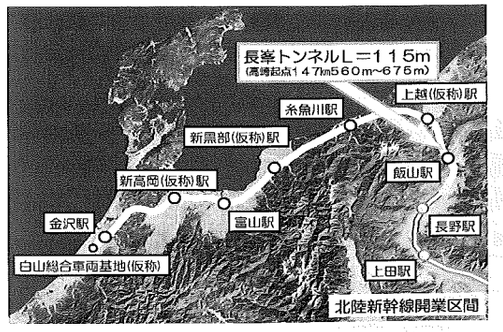


図-1　長峯トンネル位置図

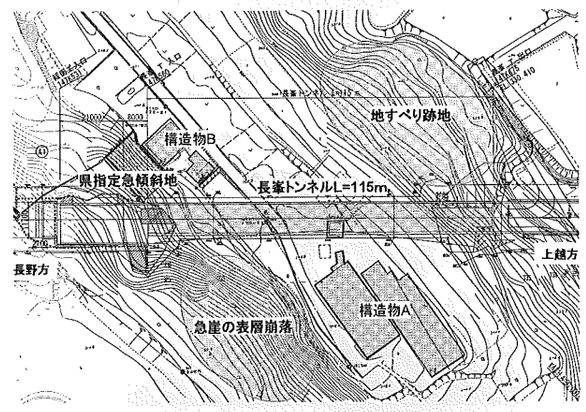


図-2　長峯トンネル平面図

NATMによる施工が妥当と判断した．

NATMによる掘削にあたり，地山の塑性化が懸念され，近接構造物への影響をできるだけ抑えることが課題となった．そこで事前に数値解析を実施し，掘削に伴う地山の挙動の把握と近接構造物への影響予測を行った．本稿では，長峯トンネル掘削前の数値解析による検討およびトンネル掘削時の状況と計測値などの施工結果について報告する．

2　地形および地質概要

トンネル周辺は，長野県北部の千曲川沿いに発達した飯山盆地である．本トンネルは，飯山盆地

を二分する大きな丘陵である長峰丘陵の南側にある標高345m程度の小丘陵部(低地との比高は約30m)に位置している．

地質は，凝灰角礫岩が主体の屋敷層(Ya層)が基盤を形成し，その上位に粘性土または砂質土である奈良沢層(Na層)が被覆している(図-3)．Ya層は，第四紀更新世の火砕岩類を主体とする層であるが，風化の度合いにより，強風化部と風化部に区分されている．強風化部は，風化部の上位に不規則に分布し，礫混じり粘性土状を呈している．風化部は強風化部より固結度が高く，所々に礫が混在している．

Na層の約60%はN値10程度の粘性土で，残りの40%がN値７程度の砂質土である．また，終点方には表層にロームが被覆しており，その層厚は粘性土より厚くなっている．なお，事前に両坑口部で実施した水平ボーリング(起点側：20m，終点側：30m)では，地山からの湧水は比較的多かった起点側(147km570m付近)でも0.23～0.45 ℓ/分程度であり，ごく少量であった．

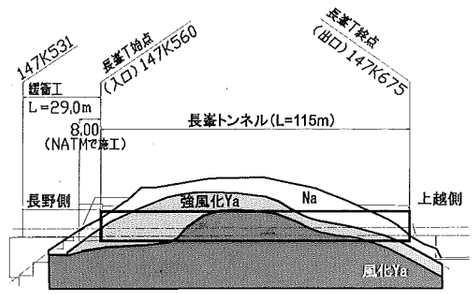


図-3　長峯トンネル地質図

3　施　工　計　画

3-1　数値解析による地山挙動の把握

3-1-1　数値解析の概要

数値解析の目的は，近接構造物への影響予測と補助工法も含めたトンネル掘削の安定性を検討し，安全かつ経済的な掘削計画を立てることである．

本稿では，以下に記述する理由から３次元FEM解析による検討を実施した．

表-1　３次元数値解析の適用にあたり考慮すべき点

A)力学上の特徴	構造力学的な性格が３次元的であり，目的とする情報が２次元的な取り扱いでは得られない，あるいは不十分である． ①切羽の形状や掘削手順を考慮する問題 ②縦断方向の補助工法を考慮する問題 ・先受け工，切羽支保，多重支保など ③３次元構造や近接構造物を考慮する問題 ・交差部，地表建造物など ④地形，地質の３次元構造を考慮する問題 ・断層部との交差，坑口部など
B) 解析条件の精度	目的とする情報の内容と精度が，利用できる解析条件の信頼性や精度と釣り合っているかという判断基準である．例えば，地質調査結果が不十分な段階での３次元解析による検討は不合理な面がある．
C) 解析作業時間，費用対効果	３次元解析に要する時間的，労力的負荷は，２次元よりも大きいため，設計・施工の実務的な場面では，目的とする結果の内容，精度とのバランスを考慮して適用が判断される．

表-2　３次元FEM解析の概要

解析種別	３次元FEM弾性解析および弾塑性解析						
解析領域	横断方向⇒影響領域を考慮し，トンネル中心左右に$3D$以上(B=100m) 縦断方向⇒保護盛土・仮設盛土などを考慮できる範囲　起点側：坑口から50m，終点側：坑口から40m 当初設計トンネル延長L=110mと合わせて計200mの範囲						
地質条件		要素タイプ	単位体積重量 γ(kN/m³)	変形係数 E(kN/m²)	ポアソン比 ν	粘着力C(kN/m²) CASE-2	内部摩擦角 ϕ(°)
	Na層	平面ひずみ	18.5	14,000	0.40	33.0	0.0
	Ya1層	平面ひずみ	18.5	14,000	0.40	33.0	0.0
	Ya2層	平面ひずみ	19.0	110,000	0.35	236.0	20.0
	※1　Ya1層：強風化Ya層，Ya2層：風化Ya層　　※2　Na層，Ya1層の層厚は一律5.0mとした．						
解析Step	トンネル逐次掘削を考慮						
解析CASE	CASE１：弾性解析，CASE２：弾塑性解析						
評価指標	変形量・せん断ひずみ・局所安全率など						

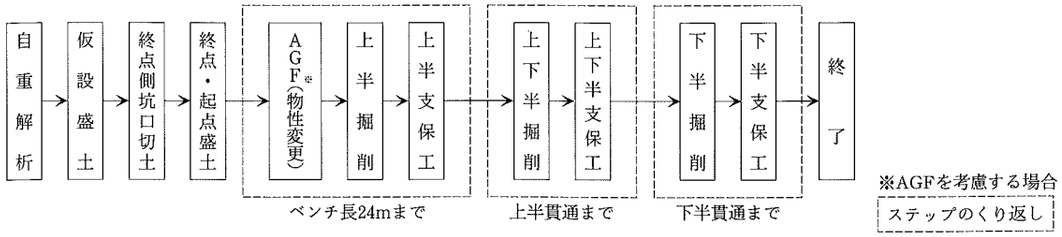


図-4　FEM解析ステップ

３次元解析は特定の問題に対して適用されるのが一般的であり，その適用の妥当性や必要性を考慮する必要がある．考慮すべき点を表-1に示す．本トンネルは，地上部に構造物が近接していること(表-1A)③)，掘削延長が短いうえに，小土かぶりかつ両坑口の地形的な特徴から地形の３次元構造を考慮する必要があること(表-1A)④)，地山の塑性を抑制する縦断方向の補助工法を検討すること(表-1A)②)から３次元により地山とトンネル全体をモデル化し，FEM弾性解析および弾塑性解析を実施することとした．本検討では，弾塑性モデルにモールクーロンの完全弾塑性(バイリニア型)を適用することとした．掘削方法は，終点方からのショートベンチカット工法とした．解析概要を表-2，解析ステップフローを図-4に示す．

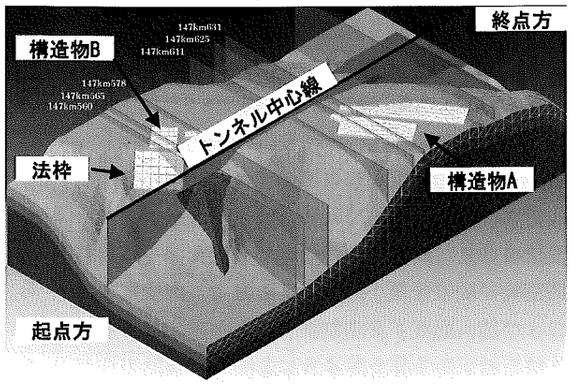


図-5　３次元FEM解析モデル鳥瞰図

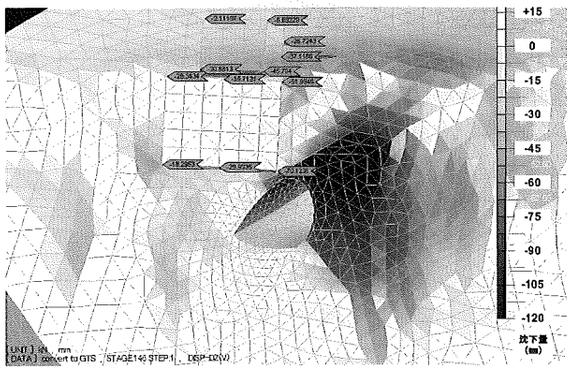


図-6　起点方坑口部の３次元解析結果

図-5に３次元FEM解析のモデル図を示す．図のように３次元でモデル化することで，急傾斜地を斜めに通過することなどを反映し，全線にわたっての解析が可能となる．図-6に３次元FEM解析結果の一例を示す．図は，起点側坑口部における沈下量予測の弾塑性解析結果である．３次元でモデル化したことにより，トンネル掘削による地山の変形領域の分布を視覚的に捉えることができる．

3-1-2　解析結果

図-7に解析によるトンネル中心線の天端沈下量予測を示す．トンネル中間部の沈下量は弾性解析と弾塑性解析の沈下量予測がほぼ同じであるのに対して，両坑口部は弾性解析の沈下量予測に対し，弾塑性解析の沈下量予測

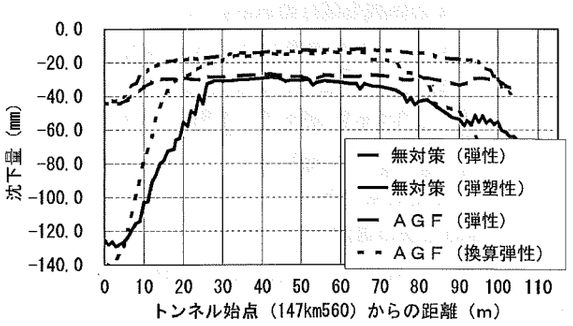


図-7　トンネル中心線における天端沈下量予測

が1.5～3倍に大きくなった．これは，両坑口部においては小土かぶりのためグラウンドアーチが形成されにくく，トンネル本体に全上載荷重が作用してしまうこと，地山が風化しており，トンネル掘削に伴う応力解放で脆弱化しやすいことや斜面との関係で地山に緩みが生じやすいことを表していると考えられた．Na層の岩相の不連続性と地山物性のばらつきによっては，さらに大きな沈下量が発現するおそれがあると考えられた．

3-2　補助工法の検討

3-2-1　補助工法を考慮した解析

一般に土かぶりが小さく未固結地山が主体となる場合，地山強度が小さくわずかな変位が地山の緩みにつながりやすいため，補助工法により先行変位を抑えながら，剛性の高い一次支保を採用し，掘削時の変位を最小限にすることで，内空変位量および地表面沈下を抑制することが重要である．

解析結果から本トンネルにおいても補助工法が必要であると考え，長尺鋼管フォアパイリング(AGF)工法を採用した場合の検討を行った．

一般に，3次元FEMによる弾塑性解析では，地山，支保部材，補助工法部材などの非線形性を同時に考慮することは実務的に難しい．そこで，今回は地山の塑性化を簡易的に表現するために，地山(Na層と強風化Ya層)の変形係数をパラメータとした2次元FEMによる弾性解析と弾塑性解析を実施し，地山が塑性化した際の等価剛性を求めて3次元解析により補助工法の効果を検証することとした．すなわち，2次元FEMの弾性解析による沈下量が弾塑性解析の沈下量とほぼ同じとなる地山の変形係数を試行錯誤的に求め，その変形係数を用いてAGFを考慮した3次元弾性解析を実施し，その結果を地山が塑性化した際の解析値(図-7中のAGF(換算弾性))に相当すると考えた．その結果，AGFの施工により天端沈下量を最大で50%程度低減できることを確認した．

3-2-2　補助工法の選定

解析結果から両坑口の斜面区間は地山が塑性化すると変形が大きくなるが，補助工法などで地山を弾性変形内に収めることができれば，近接構造物の変位を抑制できると想定された．また，両坑口部では，トンネル天端部分に地山強度の小さいNa層や強風化Ya層が連続的に分布していることから，AGFの打設を行うこととした(**図-8**)．

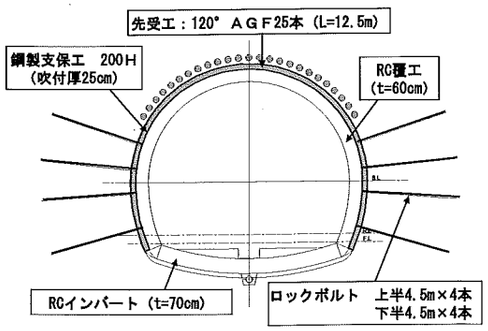


図-8　AGF打設区間の支保パターン

トンネル中間部は，解析結果の沈下量が比較的小さいこと，また弾塑性解析結果と弾性解析結果がほぼ同じ値であることから，地山が塑性化する可能性が低いと判断し，掘削中の計測の結果を見ながら，掘削パターンおよび補助工法を検討することとした．

3-3　管理基準値の設定

保安物件となる構造物の沈下，傾斜角については日本建築学会編「建築基礎構造物設計指針2001年改定版」に準拠し，個別に管理基準を設けた．

トンネル上部の地表面沈下の管理基準値の設定については，解析による方法のほかにも，限界ひずみによる方法や，過去の施工例を参考にする方法などがあるが，本トンネルが極小土かぶりで両坑口が地すべり地帯にあることなどの特殊性を考慮し，3次元FEM解析による方法を採用することとした．

数値解析の結果から，地山の挙動を弾性域の範囲に抑えて掘削すれば，近接構造物付近の地表面沈下量を抑制できることがわかった．そこで，掘削に伴う地表面沈下の管理基準値(管理レベルⅢ)は，地山等級，支保のランクおよび現場の施工管理における妥当性を考慮し，補助工法を計画していないトンネル中間部では無対策の3次元弾塑性解析の結果を用いることとした．AGFを採用する両坑口部については，AGFを考慮した換算弾性解析の結果を管理基準値とした．なお，管理基準値の1/3，2/3をそれぞれ注意値(管理レベルⅠ)，警戒値(管理レベルⅡ)とした．**表-3**に本トンネルの掘削時における各計測項目の管理基準値の一覧を示す．

表-3　長峯トンネル掘削時の管理基準値一覧

	計測項目	管理値 レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
地表面沈下測定	起点側 (147k570(560-597))	27	54	81
	中間部 (147k625(597-633))	10	19	29
	終点側 (147k650(633-675))	15	31	46
トンネル天端沈下測定	起点側 (147k570(560-597))	26	52	78
	中間部 (147k625(597-633))	11	22	33
	終点側 (147k650(633-675))	17	33	50
地中側方変位測定 両坑口斜面	変位(mm)	1 mm/10日	5～50mm/5日	
構造物A 構造：RC造3階建 基礎：コンクリート 経過年数：36年	構造物沈下計(mm)	12	24	36
	構造物傾斜計(rad)	0.5×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.5×10^{-3}
構造物B 構造：木造2階建 基礎：コンクリート 経過年数：36年	構造物沈下計(mm)	12	25	38
	構造物傾斜計(rad)	1.0×10^{-3}	2.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
土留め擁壁 構造：RC造	構造物沈下計(mm)	17	35	52
	構造物傾斜計(rad)	0.5×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.5×10^{-3}
法枠 構造：RC造	変位(mm)	5～50mm/5日	10mm/日	100mm/日

表-4　計測項目とその目的

計測項目	計測目的
地表面沈下測定	切羽進行に伴う地表面縦横断方向の沈下を把握し，トンネル掘削に伴う地山のゆるみ範囲を推定する．また，沈下の発生状況より，変位特性を把握する．
内空変位計測	トンネル天端の安定性，一次支保の設計の妥当性を判断する．
構造物沈下測定	構造物の沈下量を測定し，変状の有無を監視する．
構造物傾斜測定	構造物の傾斜を測定し，変状の有無を監視する．
地中側方変位測定	地山内の変動量を測定し，地山内部の挙動を監視する．

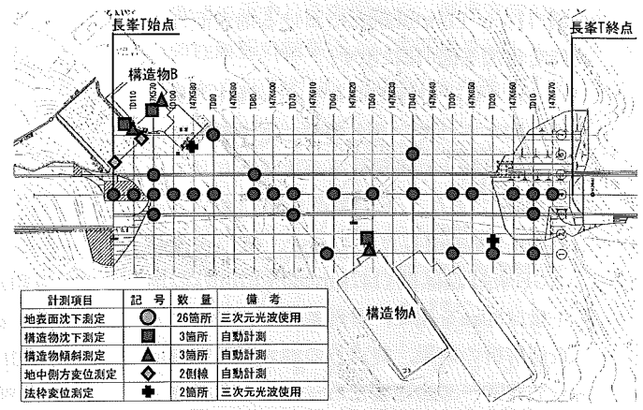
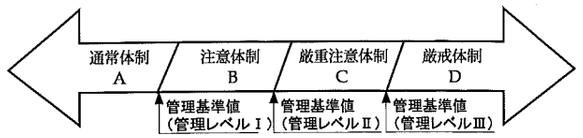


図-9　長峯トンネル計測位置図

計測工の目的は，第三者に対する災害を未然に防止し，安全を確認しながら施工することである．トンネル周辺地山の挙動を把握するために，内空変位計測に加え，地表面沈下計測と地中側方変位計測を実施した．また，周辺構造物の挙動を把握し，トンネル掘削による影響の有無を判断するために，対象となる構造物の沈下および傾斜を計測した．**表-4**に計測項目とその目的を，**図-9**に計測位置を示す．地表面沈下量の計測頻度は，トンネル標準示方書[山岳工法編]・同解説(平成8年版：土木学会)の内空変位および天端沈下量の計測頻度に準拠し，構造物沈下・傾斜測定および地中側方変位計の計測頻度は，自動計測であることから1回/時とした．先述した管理基



A：通常体制　・・・定時計測
B：注意体制　・・・計測体制の強化，軽微な対策工の実施
C：厳重注意体制　・・・施工の停止，変状要因・傾向の解析，トンネル補強の検討
D：厳戒体制　・・・施工の即時停止，緊急対策の実施

図-10　長峯トンネル掘削時の管理体制

準値に対しては，図-10に示すような管理体制のもと，施工管理を行うこととした．

4　施　　工

4-1　保護盛土の施工

本坑の掘削を前に，両坑口においては坑口部のトンネル掘削の施工性を考慮し，土かぶりが２ｍの保護盛土を行った．盛土材は，セメント系固化材を添加した改良土（ソイルセメント）を用いることとした．トンネル掘削の観点から，掘削が容易かつ，切羽の自立性が確保される強度は経験的に一軸圧縮強度で１～1.5N/㎟程度必要である．そこで通常のNATMで掘削できる地山相当に保護盛土の強度を確保することとし，保護盛土の設計強度は一軸圧縮強度で１N/㎟とした．

4-2　本坑の掘削

4-2-1　終点方（147km633～675m）の掘削

本トンネルは平成18年12月22日から終点方より掘削を開始した．当初の計画どおり，終点方坑口付近（147km660m）の切羽よりAGFを打設した．147km650mにおける天端・脚部沈下量の経時変化図を図-11に，147km660mにおける地表面沈下量の経時変化図を図-12に示す．

図-11から，AGFの施工により，天端沈下量は20㎜程度で抑えられているものの，下半掘削時に沈下が生じ，天端より脚部沈下が大きくなっているのがわかる．また，下半掘削が坑口から26m（147km649m）まで達したところで，坑口保護盛土部のAGF未打設区間（147km660～670m）の地表面沈下量は30㎜を超え，管理基準レベルⅡに達した．数値解析の結果，終点方の地表面沈下量は弾性解析では20～30㎜程度であったことも考慮し，これ以上の沈下を抑制するために，インバート吹付けにより早期閉合を行った．これにより，この区間の地表面の最終沈下量を35㎜程度に抑えることができた（図-12）．

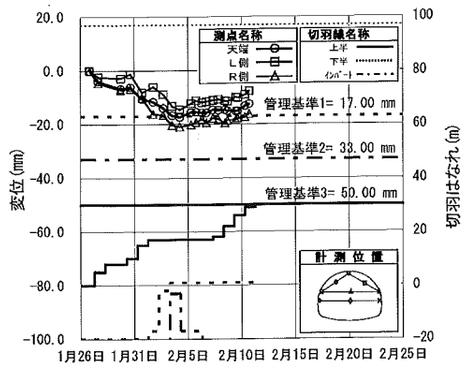


図-11　天端・脚部沈下量の経時変化（147km650m）

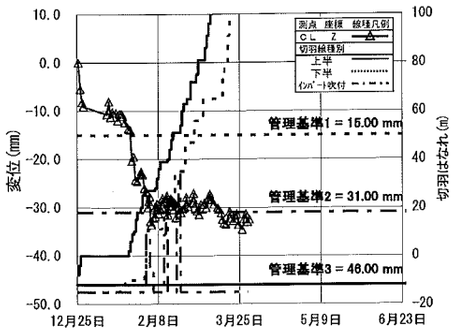


図-12　地表面沈下量の経時変化（147km660m）

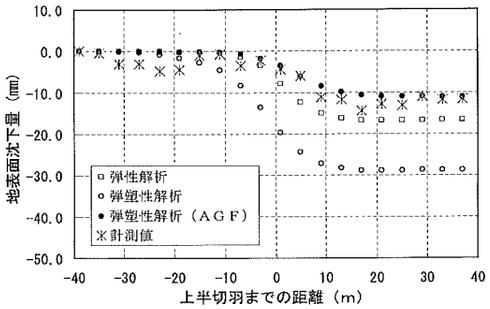


図-13　地表面沈下量の解析結果および計測結果の経距図（147km625m）

4-2-2　中間部（147km597～633m）の掘削

当初計画では，Na層の堆積構造はほぼ水平と想定され147km633mの切羽では，風化Ya層が切羽全面に現れてくる予定であり，補助工法は計画していなかった．しかし，実際の147km633mの切羽では，天端部分に砂および砂礫から形成されるNa層が確認された．このことから，トンネルセンターで147km608m程度までは，天端＋２ｍにNa層が緩い傾斜で分布していることが考えられた．Na層はシルト分の多い砂および砂礫からなり，固結度が低く肌落ちおよび小崩落が懸念された．ここでは，地山からの湧水がほとんどなかったことから，対策工としてシリカレジン注入による短尺先受け工を採用し，構造物Aの近接断面を通過し，切羽が安定した147km609mまで施工した．

構造物Aの近接断面である147km625mの地表面沈下量の解析結果および計測結果の経距図を図-13に示す．この図から，地表面沈下量の計測結果が，弾性解析の結果と補助工法としてAGFを考慮した換算弾性解析結果の間にあることがわかる．最終沈下量も10～15㎜程度であり，地山の変形を弾性域の範囲に抑えながら，比較的安定した掘削を行うことができたと言える．

4-2-3　起点方（147km560～597m）の掘削

起点方の保護盛土と地山の境界部（147km570m付近）は，保安物件となる構造物Bが近接しており，沈下量予測も弾性解析で30㎜，弾塑性解析で100㎜を超える値であった．このため，起点方では，当初147km597mよりAGFを３シフト計画していた．しかし，147km597mの切羽は風化Ya層が全面に現れ，比較的安定していたことから，補助工法の施工は，切羽の地質状況が悪化した時点で判断することとした．147km588m付近から，再び強風化Ya層およびNa層が切羽面に出現し，地質の変化が顕著に見られた．この付近から，Na層が厚く堆積していることが想定され，解析結果からも地山が塑性化すると沈下量が増大する懸念があった．また，終点方の計測結果から，下半掘削時に脚部沈下が生じ，AGFのみでは地表面沈下を十分に抑制できないことが考えられた．そこで，ここではAGFの施工とともに，注入式サイドボルトにより上半部分から脚部を改良することで沈下の進行を防ぐこととした．

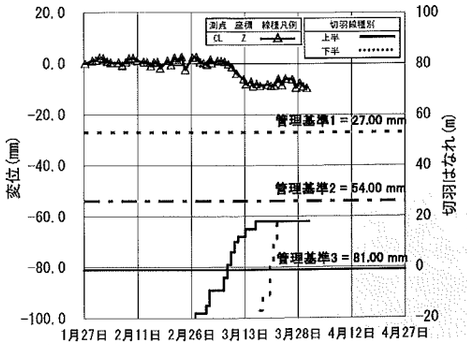


図-14　地表面沈下量の経時変化（147km570m）

147km570mにおける地表面沈下量の経時変化図を図-14に示す．この図より，上半掘削により沈下が生じているが，下半掘削による沈下はほとんどなかったことがわかる．その結果，掘削完了後の地表面沈下量は最大で10㎜程度であり，管理基準レベルⅠの範囲内で施工することができた．

4-2-4　構造物の沈下量および傾斜角の計測結果

近接構造物の沈下量および傾斜角の計測結果は，沈下量は構造物A，Bともに0.1㎜程度であり，傾斜角も$0.2\times1{,}000^{-3}$rad程度と管理基準値レベルⅠの$0.5\times1{,}000^{-3}$rad以下であった．この値は，数値解析結果より小さい値である．このことから，構造物の位置においては，想定どおり地山をほとんど塑性化させずに，構造物に影響を与えることなく掘削できたと言える．

4-2-5　数値解析結果と計測値の比較

掘削完了後（平成19年３月30日）のトンネル中心線における地表面沈下量を図-15に，各区間での掘削パターンおよびトンネル直上の地表面沈下量を表-5に示す．この図から，終点方では計測結果が弾性解析の結果とよい相関性を示していることがわかる．これは，AGFなどの補助工法の施工

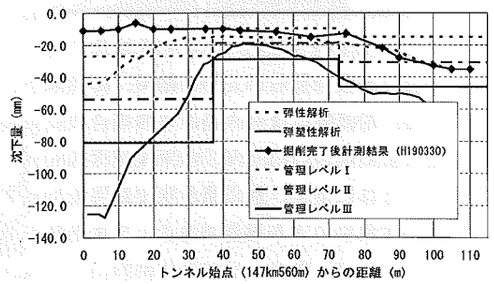


図-15　トンネル中心線における地表面沈下量

表-5 各区間での掘削パターンおよびトンネル直上の地表面沈下量

掘削パターン	支保パターン	起点方（147km560～597m）	中間部（147km597～633m）	終点方（147km633～675m）
	鋼製支保工	200H		
	吹付けコンクリート	t=25cm		
	下半インバート吹付け			20cm（ストラットなし）
	先受け工	AGF	注入式短尺フォアパイリング（PUIF）	AGF
	鏡止め，側壁改良	注入式サイドボルト		FRP鏡ボルト
地表面沈下量		147km570m 12mm	147km625m 15mm	147km665m 36mm

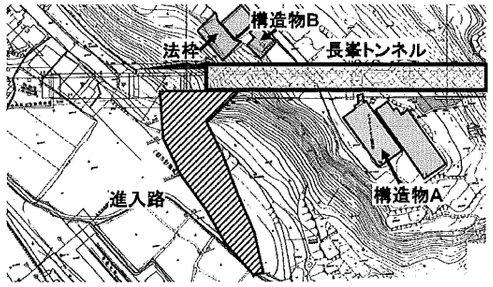


図-16 起点方進入路平面図

により，地山の挙動を弾性域の範囲に抑えながら施工できたためと考えられる．一方，起点方では，計測結果が弾性解析の値と比較して小さな値となっている．これは，起点方保護盛土施工時に造成した進入路(図-16)が押さえ盛土的な役割を果たしたことにより，トンネル掘削による影響範囲を小さくできたことや，注入式サイドボルトを採用したことで，脚部地耐力の向上に効果があったと考えられる．

起点方保護盛土施工時に造成した進入路の効果については，起点方坑口部147km560mの断面で2次元FEM解析を実施し，進入路がある場合とない場合の比較を行った．その結果，弾性解析においては，鉛直変位は進入路ありの場合の結果が，進入路なしの場合の約98%，水平変位は約80%であった．これにより，進入路が水平変位を抑制する効果が大きいことが確認できた．2次元解析では横断面内の2成分(鉛直方向・水平方向)しか評価することができないが，実際には縦断方向への変形もあり，それに対しても進入路が変位を抑制する効果があるものと考えられ，これらの複合効果により，掘削時の変形量が進入路を考慮していない3次元モデルの解析結果より小さくなったものと考えられる．

5 おわりに

本トンネルは，急斜面を持つ丘陵地を抜けるため，小土かぶり，自立性の悪い地質などトンネルとして施工するには難工事が予想された．また，近接する構造物が存在し，構造物への影響を抑制することが課題であった．しかし，事前の数値解析による沈下量予測をもとに施工計画を立て，計測および施工管理を徹底したことで，近接構造物に影響を与えることなく無事掘削を完了した．また，事前の検討および切羽の状況から掘削パターンを判断しながら掘削した結果，補助工法も必要最小限のものとし，経済的な施工ができたと考えている．

参考文献

1) 張信一郎・依田淳一・都築保勇・明石太郎・池内正明：帯状丘陵地における極小土被りの山岳工法トンネルの挙動分析，トンネル工学報告集，Vol.17，pp.135-140，2007.11.

施工

TBMで6kmの避難坑を高速施工

—日本海沿岸東北自動車道　温海トンネル避難坑—

東日本高速道路(株)東北支社鶴岡工事事務所温海工事長　大友強一
東日本高速道路(株)東北支社鶴岡工事事務所技師　芳賀伯文
清水建設(株)・錢高組(株)特定建設建設工事共同企業体所長　松本茂美
清水建設(株)・錢高組(株)特定建設建設工事共同企業体工事主任　水戸聰

1 はじめに

温海トンネルは，日本海沿岸東北自動車道の温海IC(仮称)～鶴岡JCT(仮称)間に位置し，延長約6,000mの長いトンネルである(図-1)．本坑施工に先行する避難坑工事は，地質確認と水抜きを兼ねてφ4.5mTBM工法を採用した．この避難坑工事のTBMは，2005年8月に掘削を開始し初期掘進を経て，2007年2月に到達坑に至り掘削を完了した．工事はその後，路盤を施工し2007年10月に竣工した．

本稿では，地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な掘進を可能にしたTBM施工技術と長距離TBM施工のための仮設備計画について，施工結果とともに報告する．

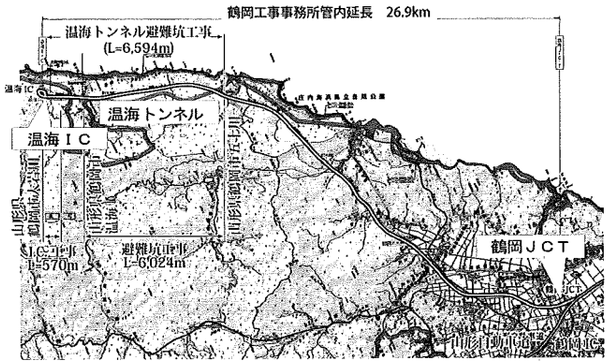


図-1' 温海トンネル位置図

2 工事概要

温海トンネル避難坑工事は，トンネル延長6,023.6m(うちTBM掘削延長5,927.6m)，明かり工事延長570mであり，2004年12月に着手した．TBMは，2005年7月に南側坑口ヤードで組み立て，延長74mのTBM発進坑内に引き込み定置し，2005年8月23～31日にかけてTBM初期掘進を行った．その後，坑外仮設備を設置し，2005年10月4日北側に向けてTBM掘進を開始し，16か月後に到達した．TBM掘削ずり運搬は，坑内外ともに，ベルトコンベヤ方式(坑外固定ベルトコンベヤ延長約1.7km)を採用し，温海IC(仮称)盛土場まで運搬した．

3 地形・地質概要

温海トンネルの位置する周辺地形は，標高100～400m程度の丘陵性山地が海岸まで迫り，海岸沿いの一部は幅100～200m以下の平坦面が形成されている．山地は，北東—南西に延びる脊梁状の尾根となり，河谷の浸食により急峻となった山岳地形である．

山地構成岩体は，新第三紀中新世の堆積岩と貫入岩体である硬質な粗粒玄武岩(温

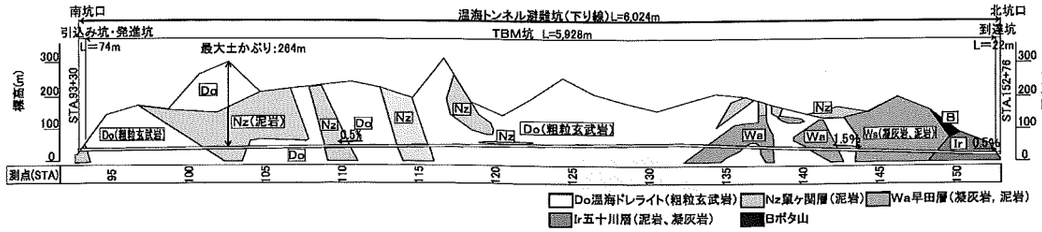


図-2　地質縦断図

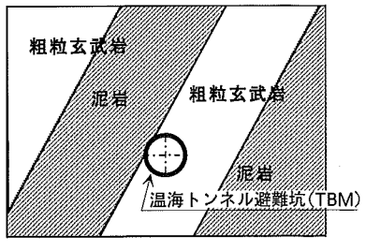


図-3　地質断面と避難坑(TBM)トンネルの模式図

海ドレライト)が分布する(図-2)．粗粒玄武岩は，地層の弱線に沿って貫入しているため，地層の層理面にほぼ並行して分布する．

新第三紀中新世の堆積岩は，下位より五十川層(泥岩・凝灰岩互層)，早田層(泥岩・火山礫凝灰岩・凝灰質砂岩)，鼠ヶ関層(泥岩)となっている．粗粒玄武岩は早田層，鼠ヶ関層に貫入し，境界部は割目が発達している．五十川層上部にはボタ山が分布するがトンネル施工基面には達していない．

温海トンネルは，これらの地層の走向方向にほぼ平行してルートを取っているので，以下のような傾向がある．

① トンネルの長い区間にわたって一つの地層が現れる．

② トンネルに平行して地質境界面があるので，地質境界の位置が少しずれると，トンネルに現れる地質が大幅に変わる(図-3)．

4　TBM機械仕様と仮設備計画

4-1　TBM仕様

TBMは，トンネルの74%が硬岩地質と想定されていたことから，オープンタイプTBMとし，掘削径は，避難坑に必要な内空断面からφ4.5mと計画した．また，TBMには計画掘進速度(計画平均月進385m/月)を確保するため地質不良部で

表-1　TBM主要諸元

①TBM型式	オープンタイプ
②掘削外径	φ4.5m
③本体重量，機長	1,921kN，13.845m
④カッタ	
・カッタ径	17インチ
・カッタ数	32個(センタ8，インナ24)
⑤カッタ駆動装置	
・電動機出力	150 kW×6
・トルク	2,254～748kN-m
・回転数	0.8～9.6rpm
・駆動方式	インバータ駆動方式
⑥スラスト装置	
・総推力	8,036kN
・スラストジャッキ	4,018kN×2
・伸長速度	max 12cm/min
・ストローク	1,500mm
⑦メイングリッパ装置	
・総押し付け力	16,268kN
・シュー張出量	左右各190mm(+190mm，−310mm)
・接地圧	max 3.1N/mm²
○集塵機	乾式，300m³/min 1台
○ずり搬送方式	連続ベルコン方式(ベルト幅610)
○軌条	単線(22kg/mレール，RG=762mm)
○測量設備	自動追尾型トータルステーション
○前方探査	削岩機(アトラスコプコ，COP1238)

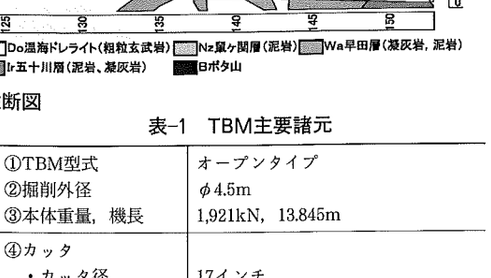


写真-1　φ4.5mTBM全景

の注入式長尺鋼管フォアパイリングと注入式フォアポーリングの補助工法の施工や早期支保工，掘進精度の確保などを可能とする設備を装備した．TBMの主要諸元と全景を，表-1と写真-1に示す．

4-2　TBM掘進管理システム

TBMの高速施工性を活かすために，TBM機械データをリアルタイムに処理し，現場事務所およびTBM運転席に監視モニターを設置して，地山性状の早期把握と支保パターンの早期判定，機械トラブルの早期把握に努めた．TBM機械データは，インターネットをとおして，事業工程を管理する発注者やTBM掘進を技術的に支援する技術部門の関係者が閲覧できるようにした．前方探査データ，坑壁写真データもTBM運転席から現場事務所を経由してインターネットにて関係者へ送信可能とした．また，現場ホームページを作成し，工事内容，現場トピックス，ブログを一般者が閲覧できるようにした(図-4)．

4-3　仮設備計画

TBM掘削により発生したずりの運搬は，以下の理由から，ベルトコンベヤにて切羽から温海IC(仮称)盛土場に直送する計画とした．坑外固定ベルトコンベヤは，7機で総延長1.7kmである．

① 坑口発進基地は約650m²(27m×24m)と狭いため，ずり仮置場の確保ができない．

② 周辺環境には，公道，住宅地，学校があるため，積荷落下防止，埃飛散防止，騒音抑制が必要である．

坑内連続ベルトコンベヤシステムは，坑口位置から3,000m地点にブースタードライブを設置した．メインドライブとブースタードライブの主要諸元およびブースタードライブの設置断面図を表-2，図-5に示す．

温海トンネル避難坑の縦断勾配は，発進側より3,900mまでは上り勾配0.5%，以奥の2,100mは下り勾配1.5%の突っ込みであるので，切羽集中湧水と恒常湧水を合わせて200m³/hrの湧水量を予測し，トンネル進行300mごとに釜場を設ける排水設備を計画した．

坑内軌条設備では，22kg/mレールの単線であるが，2,000mごとに離合箇所(写真-2)を設けて掘進距離が長くなることによる資材供給の遅れを

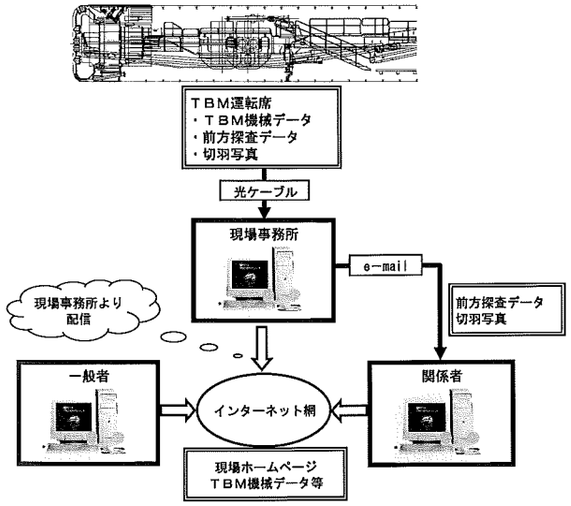


図-4　TBM通信システム

表-2　連続ベルトコンベヤ主要諸元

	メインドライブ	ブースタードライブ
動　力	186kW	186kW
駆動方式	インバータ駆動方式	インバータ駆動方式
ベルト幅	610mm	
ベルト速度	150m/min	
搬送能力	230t/h	

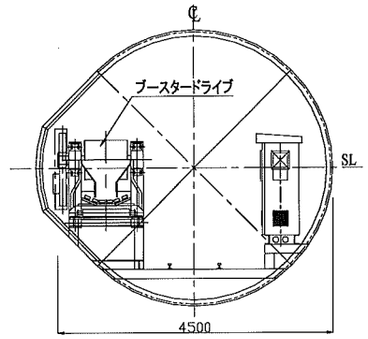


図-5　ブースタードライブ設置断面

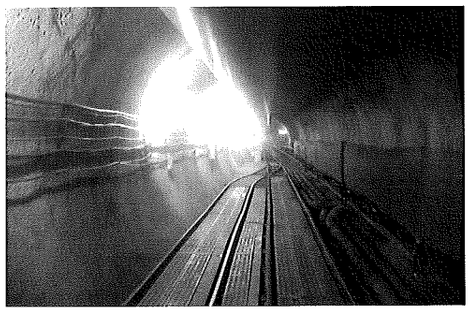


写真-2　離合箇所

なくし掘進速度を確保する．

5　支保システム

TBM坑の支保構造は，これまでのTBM避難坑の施工実績や第二東名・名神のTBM導坑の実績を参考に，薄肉ファイバー入りモルタル吹付けと鋼リング支保工の組み合わせによる標準支保パターン(**表-3**)を基本として，自立性の低い崩壊性地山では，ルーフサポート背面の無支保区間の崩落域が深部に進展しないよう注入式長尺鋼管フォアパイリング，注入式フォアポーリングの補助工法を併用した．また，押し出し性地山では，吹付け厚を増して厚肉構造とし，浸水崩壊性の地山では，インバート部にファイバー入りモルタル吹付けを施し全周吹付けとした(**表-4**)．インバート吹付けは，切羽位置から9～12m後方のリアサポートと後続台車間にて行った．

当初設計ではファイバー入りモルタル吹付けの急結剤は，強アルカリ性の液体急結剤を使用することになっていたが，強アルカリ性の液体急結剤は，火傷，皮膚炎などの取り扱い上の安全性に課題があったため，安全性の高い酸性の液体急結剤に変更した．しかし，従来の酸性液体急結剤を使用したファイバー入りモルタル吹付けでは，初期強度発現性が遅い，湧水箇所での付着性が悪いなどの課題があった．この対応として，モルタル自体に急硬性をもたせ，一般的な強アルカリ性のものと同等の急結性，付着性を有する吹付け材料を使用した．

表-3　標準支保パターン(TBM坑)

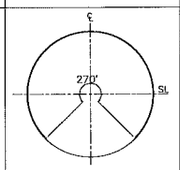
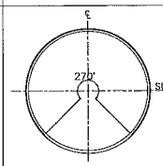
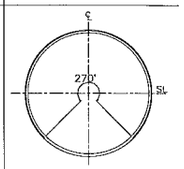
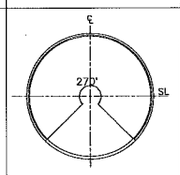
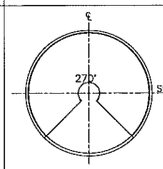
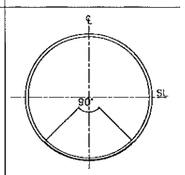
地山等級	CⅠ-T	CⅡ-T	DⅠ-T
1掘進長	1.5m	1.5m	1.0m
支保構造概要			
	ファイバー入りモルタル吹付け270°，t=20㎜	ファイバー入りモルタル吹付け270°，t=20㎜ 鋼リング支保工(@1.5)H-100	ファイバー入りモルタル吹付け270°，t=30㎜ 鋼リング支保工(@1.0)H-100

表-4　特殊支保パターン(TBM坑)

地山等級	DⅠ-T (A)	DⅠ-T (B)	DⅠ-○i
1掘進長	1.0m	1.0m	1.0m
支保構造概要			
	ファイバー入りモルタル吹付け270°，t=60㎜ 鋼リング支保工(@1.0)H-100	ファイバー入りモルタル吹付け270°，t=80㎜ 鋼リング支保工(@1.0)H-100 【アーチ部270°】 内梁φ42.7×2.3 タイロッドφ16	【地山等級DⅠの支保パターンに追加】 インバート部90° ファイバー入りモルタル吹付け，t=30㎜
適用性	①地山強度比が2以下 ②ルーフサポートが高圧保持でジャッキストローク維持可能	①地山強度比が2以下 ②ルーフサポートが高圧保持でジャッキストローク縮小	地山等級DⅠの支保パターンで岩石が浸水崩壊性を有する場合に適用

6　TBM坑掘削計画

6-1　施工方針

TBMの確実な施工と高速掘進性の確保や長距離掘進のための施工方針は，以下のとおりである．

① 切羽鏡が自立する地山では，第二東名高速道路富士川トンネル(下り線)φ5.0mTBM導坑の地山等級判定基準を参考にした地山等級判定基準にもとづいて，地山性状に応じた支保パターンを選定する．先抜けを伴うルーズな切羽では，注入式長尺鋼管フォアパイリング，注入式フォアポーリングの補助工法を併用し，崩落域が深部に進展しないよう岩盤固結によるトンネル周辺地山の自立を確保する．

② 地質不良部の特定に，TBM機械データを活用し，これの有効性を確認する．

表-5　地山等級判定基準(TBM坑)

崩落度				断面区分					
規模	崩落岩塊	深さ(m)	範囲(度)	CⅠ-T	CⅡ-T	DⅠ-T	DⅠ-T (A)	DⅠ-T (B)	DⅠ-○i
肌落程度	単体	0～0.1	部分的	○					
小規模	単体	0.1～0.3	部分的		○				
中規模	複数	0.3～	90～120			○			
押し出し性(地山強度比が2以下)									
ルーフサポートが高圧保持状態でジャッキストローク維持							○		
ルーフサポートが高圧保持状態でジャッキストローク縮小								○	
浸水崩壊性あり									○
地質性状				比較的に堅硬であり割れ目間隔が大きく，割れ目が密着している．	比較的に堅硬であるが割れ目が細かく入っていて，小塊状を呈しており，その間隙には薄い粘性土をはさんでいるが，固結度は比較的に高く，切羽は自立する．	全体的に強い風化・変質作用などを受けており，切羽の自立性は悪いが，補助工法なしで掘削可能である．	一軸圧縮強度は5N/㎟程度で押し出し性を有する．	一軸圧縮強度は5N/㎟程度で強い押し出し性を有する．	岩石は浸水崩壊性または浸水により大幅な強度低下を示す．

③ TBM機械能力の上限に近い状態でのオペレーションを基本とし，稼働率を向上させる．地質不良部では，地山性状と力学特性に応じた低回転速度・低スラスト推力のオペレーションとし，切羽鏡の自立を確保する．

④ 前方探査は，水抜きを兼ねた先進ボーリングによる方法を採用し，補助工法の注入式長尺鋼管フォアパイリングの削孔を兼ねた削岩機をTBM本体に装備する．

⑤ 掘進延長が6,000mと長いため，月1回の定期点検，3,000m地点通過時には中間整備を行い，TBM機械トラブルを未然に防ぎ稼働率を向上させる．

⑥ 坑外ベルトコンベヤは，乗り継ぎ箇所が7か所と多いため，昼夜とも点検員を配置し，乗り継ぎ部閉塞などのトラブルを防ぎ稼働率を向上させる．

6-2　地山等級判定方法

TBM工法は，切羽鏡やその周辺の掘削面がTBM本体に覆われているため，この位置での地山等級判定は難しい．掘削面はメイングリッパを盛り替え，TBMが前進すると，ルーフサポートおよびサイドサポート後端から徐々に現れる．そのため，支保工の施工は切羽後方となり掘削から支保設置まで時間を要する．このことから，掘削面の自立性や地山性状がトンネルの力学的安定に大きく影響するので，これらを主要パラメータとして地山等級判定基準(**表-5**)を定めた．掘削面の観察は，支保を施工する位置で行い，目視で地山等級を判定し，適切な支保パターンを選択，施工する．切羽補強工などの補助工法の判定は，TBM機械データの活用とともに，支保を施工する位置での掘削面天端の自立性の目視観察，TBMベルトコンベヤのモニターカメラによる掘削ずりの取り込み量の監視から切羽鏡の安定性を判断する．

6-3　TBM機械データによる地山性状把握

オープンタイプTBMの支保施工位置は，前述のように切羽より掘削径の約1倍の約5m後方となるため，掘削面の観察に先がけて，あらかじめ地山等級などがTBM機械データなどで予測できれば，適時に，適切な支保パターンが選べるようになる．

地山強度の予測方法として，TBM機械データ

の一部を用いて，1m進行ごとに，掘削エネルギーE_t[1]として(1)式で数値化し，地山等級との対応で適用性を確認した．

$$E_t = \{1{,}000 \times F + 2\pi \times (N \times 1{,}000 \times 1{,}000 \times T)/V\}/A \quad (1)$$

ここで，E_tは単位体積の地山を掘削するのに要するエネルギー値(N/㎜³/㎜)を表し，TBM機械データからのFはスラスト推力(kN)，Vは掘進速度(㎜/min)，Nはカッタヘッド回転速度(rpm)，Tはカッタヘッドトルク(kN・m)，Aは掘削断面積(㎟)を表す．

地山押し出し性の判断では，TBMルーフサポート高圧保持状態でのルーフサポートジャッキストロークの変動を確認する方法とした．

7　全体工程と掘進状況

7-1　工程と掘削進行

2005年8月23日より南坑口側から北坑口に向けて，TBM初期掘進を開始，2005年10月4日よりTBM本掘進を開始，2007年2月21日に到達坑に達した(**図-6**)．貫通精度は，鉛直方向7㎜，水平方向−31㎜の偏差である．

最大日進は46.5m，任意最大月進661.5m，本掘進開始時から到達までの平均月進は352mである．当初計画では，地山等級BおよびCは全体の約74%，DIを26%と想定していたが実積では地山等級B，Cが約42%となり，DIの区間延長は32%

表-6　区間延長と月進行(TBM坑)

延長と進行 / 断面区分	当初計画	実績		
	区間延長(m)	区間延長(m)	掘削進行(m/月)
B-T	1,283.6		
CI-T	2,225.0	1,473.0	679
CII-T	895.0	1,041.0	437
DI-T	1,570.0	1,639.0	297
DI-T-i		1,535.6	386
DI-T(A)		29.0	297
DI-T(A)-i		181.0	209
DI-T(B)-i		29.0	170
延長計	5,927.6	5,927.6	
平均月進行	385.0		352

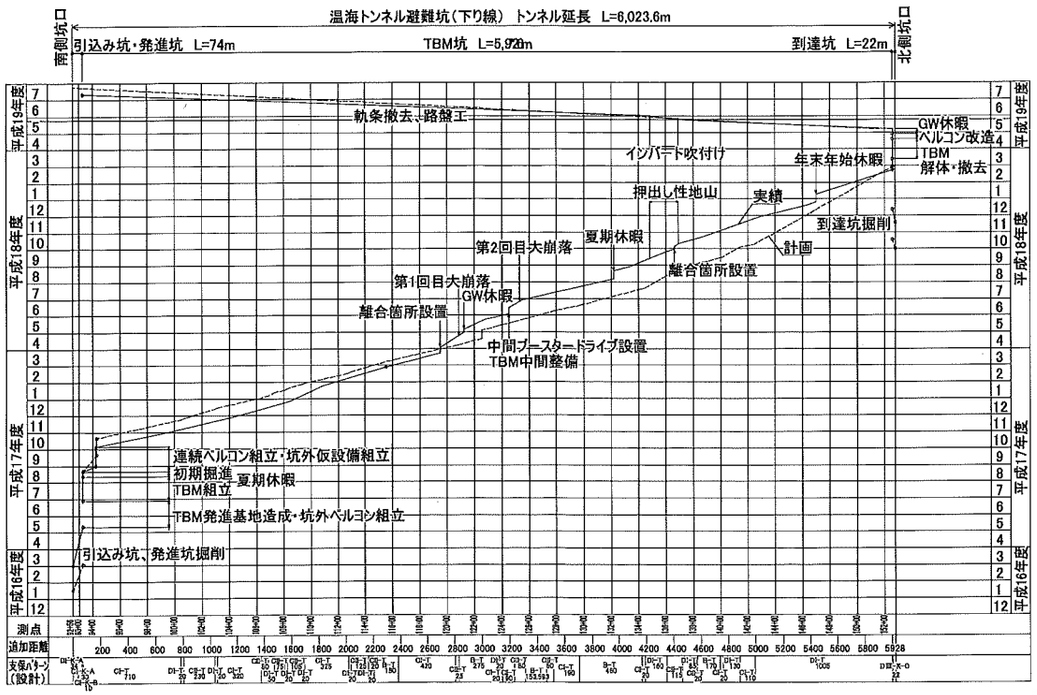


図-6　計画・実績工程(TBM坑)

表-7　稼働状況

項目	割合(%)
掘進作業	86
ベルコン加硫	5
ブースター拡幅掘削	1
ブースター設置	1
離合箇所設置	3
地山トラブル	1.5
機械トラブル	2
気象によるトラブル	0.5
計	100

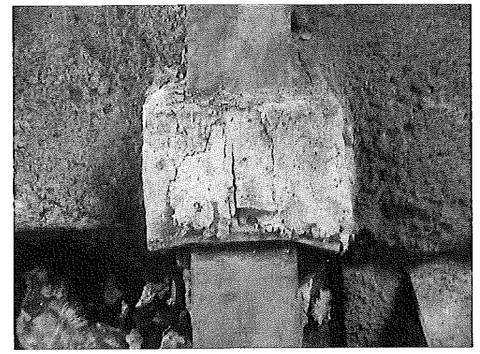


写真-4　支保工拡張部変状(新第三紀泥岩)

写真-3　崩落状況(粗粒玄武岩)

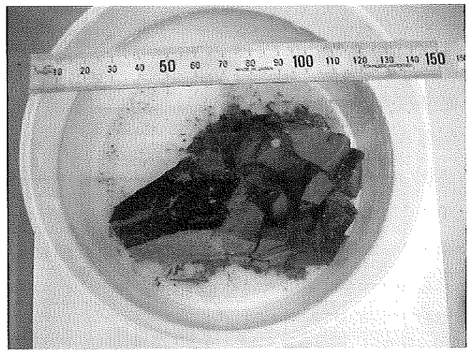


写真-5　新第三紀凝灰岩浸水崩壊状況(30分後)

ほど増えて58%となり，計画掘削期間15.4か月と計画平均月進385mを確保できなかった(**表-6**)．

全作業日あたりの稼働率は86%と高く，機械トラブル，吹雪・着雪などによる坑外ベルトコンベヤ停止トラブル，粘性土によるスリット閉塞などのトラブルは全体の4%にすぎない(**表-7**)．

7-2　掘進状況

7-2-1　粗粒玄武岩(温海ドレライト)

新鮮部は，シュミットハンマーによる推定一軸圧縮強度が50〜80N/㎟と高く，割目も密着し，大部分はモルタル吹付けのみによるCI-Tの高速掘進が可能であった．泥岩との境界付近は，亀裂が発達し坑壁の自立度は低く，湧水を伴うことにより崩落が連続して発生した(**写真-3**)．大崩落箇所は，注入式長尺鋼管フォアパイリングまたは注入式フォアポーリングの補助工法を併用した．

7-2-2　新第三紀中新世鼠ヶ関層

泥岩で推定一軸圧縮強度が15〜25N/㎟程度で層理が発達(層理間隔2〜3cm)する．坑壁は比較的自立性を有しモルタル吹付けと鋼リング支保工によるCII-T，DI-Tの掘削が可能であった．STA.111+50付近はスレーキングが激しく，延長17mにわたり鋼リング支保工拡張部は変状(**写真-4**)し，この対策としてインバート部にモルタル吹付けを施し，全周吹付け構造とした．

7-2-3　新第三紀中新世早田層

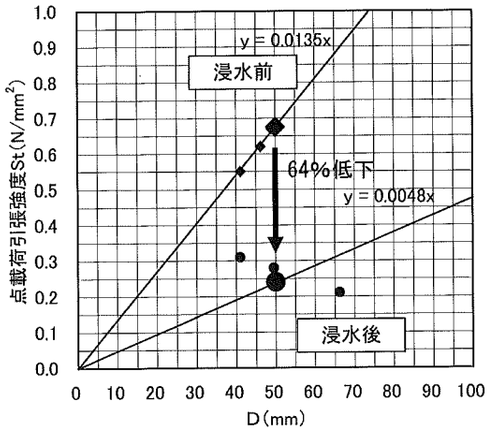
STA.134+30からSTA.148+10までの1,380m間は，一部粗粒玄武岩が貫入するが早田層(泥岩，凝灰岩，凝灰角礫岩)が分布する．岩石は浸水崩壊性があるため(**写真-5**)，全周モルタル吹付けと鋼リング支保工によるDI-T-iの掘削を主とした．STA.134+80からSTA.136+90までの210m間は，押し出し性地山であり，TBM掘進時のルーフサポートが高圧保持状態で下降するので，DI-T-iのアーチ部(270°)の吹付けを厚肉構造としたDI-T(A)-i，DI-T(B)-iの掘削とした．地山をはつ

らないと鋼リング支保工を建て込むことができない区間が約50mあった．この区間の岩石は，モンモリロナイトを51%と多量に含んだ粘土質のものが一部存在するが，全体的にはクロライトが多い岩石で，推定一軸圧縮強度が5 N/㎟前後で土かぶり厚は約140～150mであることから，地山強度比は2以下である．

7-2-4　新第三紀中新世五十川層

STA.148＋10以降，泥岩，凝灰岩の五十川層が分布する．

岩石は浸水崩壊性または浸水により岩石強度が低下する(**図-7**)ため全周モルタル吹付けと鋼リング支保工によるＤＩ-T-iの掘削とした．推定一軸圧縮強度が10～15N/㎟程度で坑壁は比較的自立性がある．



浸水前	St(50) (N/㎟)	qu (N/㎟)
	0.675	16.875
浸水後	St(50) (N/㎟)	qu (N/㎟)
	0.240	6.000

図-7　浸水による岩石強度低下

7-3　補強工と対策工

7-3-1　中口径長尺鋼管フォアパイリング

TBM工法は，掘削面の自立を基本とする．切羽が自立しにくい地質不良部では，TBMカッタヘッドが達したときに切羽天端部の先抜けや切羽崩壊が発生するので，これを防止するため事前にTBM搭載の削岩機で前方を探査し，削岩機データとスライムから地質不良部を特定し，注入式長尺鋼管フォアパイリング(中口径)を実施した．中口径長尺鋼管フォアパイリングの諸元と概略図を**表-8**と**図-8**に示す．

7-3-2　注入式フォアポーリング

オープンタイプTBMの支保施工位置は，切羽より掘削径の約1倍の約5 m後方となるため，崩落性地山の場合，切羽は自立するものの支保施工までの間に地山の緩みは深部進展し，TBM進行とともに崩落域が拡大する．この補強工として，TBMルーフ後端より注入式フォアポーリング(L＝3 m)を実施し地山改良および崩落拡大を防いだ(**図-9**)．天端部は削岩機にて穿孔し，側壁部はレッグドリルによる自穿孔ボルトを打設し(**写真-6**)，岩盤固結剤を注入した．

表-8　中口径長尺鋼管フォアパイリング諸元

打設範囲		deg.	アーチ部(90)
打設角度		deg.	8
打設本数		本/シフト	5
鋼管仕様	鋼管長	m	12.420
	規格，材質	—	φ60.5，t=6㎜，STK400
ビット仕様		—	φ72，ロストビット方式
注入	注入材	—	岩盤固結材(シリカレジン4倍発泡)

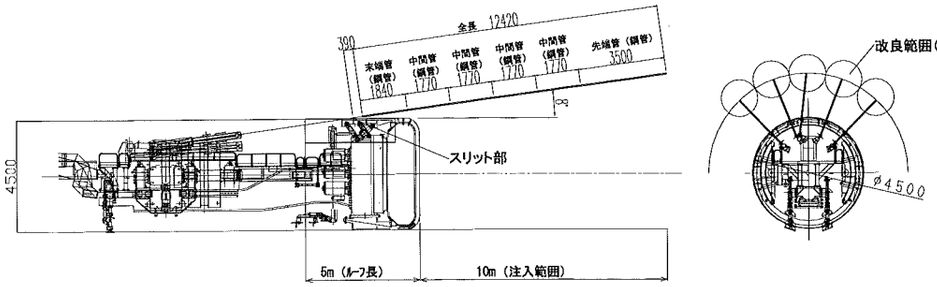


図-8　中口径長尺鋼管フォアパイリング概略図

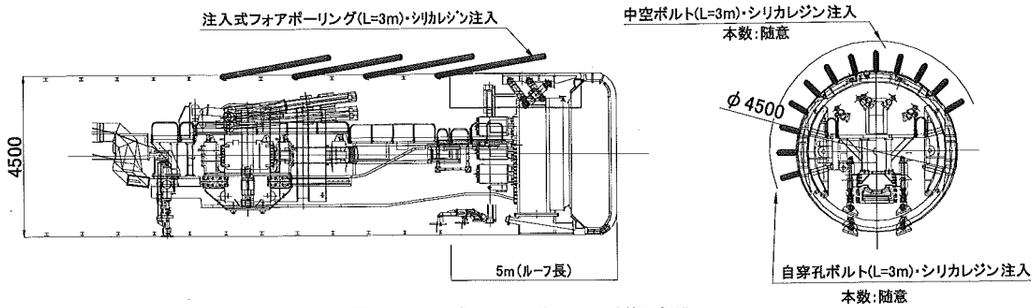


図-9　注入式フォアポーリング概略図

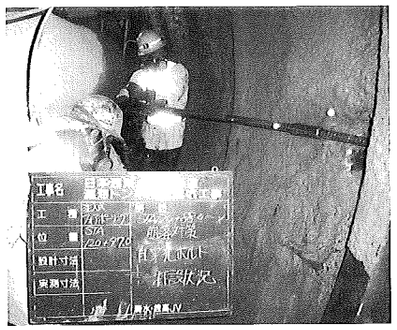


写真-6　側壁部自穿孔ボルト打設状況

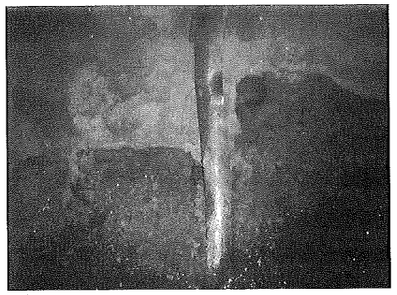


写真-7　インバート部支保工座屈状況

表-9　作用土圧推定

部位	インバート部		アーチ部(270°)	
支保部材	鋼リング支保工 (H-100，SS400)	吹付け (厚さ3 cm)	鋼リング支保工 (H-100，SS400)	吹付け (厚さ6 cm)
変状内容	座屈	はがれ，うき		
強度(N/㎟)	400	25	400	25
圧縮耐力(kN)	880		880	1,500
許容作用土圧 (kN/㎡)	400		400	676
ゆるみ高さ(m)	約20			約30

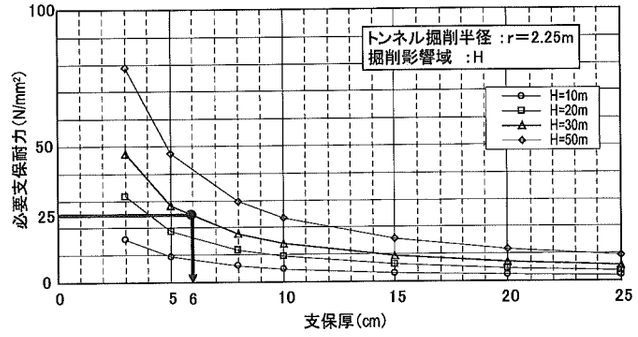


図-10　円形薄肉理論解による必要支保耐力と支保厚の関係

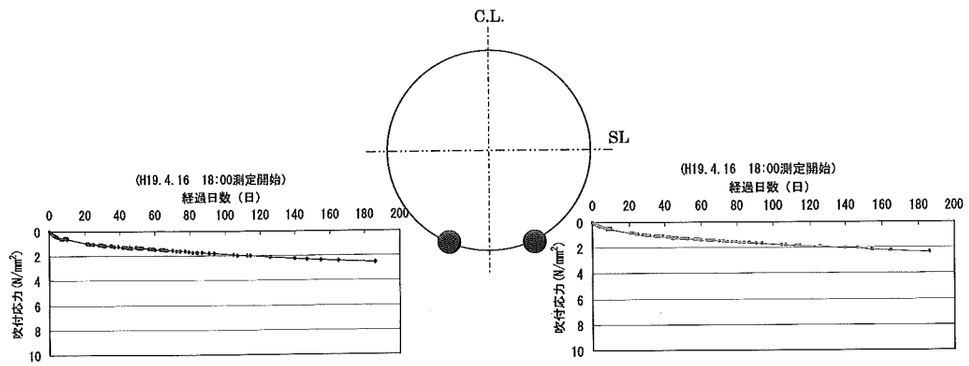


図-11　吹付け応力(軸力)経時変化(STA.135＋52)

7-3-3　インバート吹付け

早田層押し出し性地山区間(ＤＩ-T(A)-i，ＤＩ-T(B)-i)では，インバート部吹付け(厚さ３cm)が変状，支保工(H-100×100×6×8)が変状座屈した(**写真-7**)．これは周辺地山の強度不足に起因するものであり，薄肉支保構造体への高い土圧作用と掘削による影響域が広範囲に及ぶことが推察される(**表-9**)．したがって，厚肉支保構造系のアーチ部(270°)は健全であることと**図-10**の円形薄肉理論解から計算された必要支保耐力から，支保構造体の高耐力化が必要であることが判明し，吹付け厚６cm以上とするインバート吹付けを実施した．また，支保の健全性を確認するために，インバートに吹付け応力計を設置し計測を実施した．吹付け応力計測結果を**図-11**に示す．インバート吹付け応力は，長期間にわたり微量に増加し，インバート施工約４か月後に徐々に収束傾向を示す．このことから，押し出し性と時間依存性を示す特殊地山であり，掘削影響が広域に及ぶことが確認された．

8　機械データと考察

延長5,928mのTBM坑掘削により，5,928個の機械データを取得した．機械能力に関する地山等級別純掘進速度を**図-12**，カッタ回転速度と純掘進速度の関係を**図-13**に示す．また，支保パターン別掘削エネルギー値を**図-14**に示し，TBM坑壁でのシュミットハンマー試験，針貫入試験，ポイントロード試験による推定一軸圧縮強度(q_u：N/㎟)とこの位置での掘削エネルギーに対する比(E_t/q_u)を**図-15**に示す．

これらの図から，以下のことがいえる．

（１）　TBMオペレーション

オープンタイプTBMの純掘進速度の平均値は，地山等級ＣⅠ，ＣⅡで3.3～3.4m/hr，ＤⅠで2.9m/hr，ＤⅠ(インバートあり)で3.2m/hr，ＤⅠ(粘土質)で2.7m/hrである．カッタ１回転あたりの純掘進長の平均は，地山等級ＣⅠ，ＣⅡで0.6cm/回転，ＤⅠで0.7cm/回転，ＤⅠ(インバートあり)で0.9cm/回転，ＤⅠ(粘土質)で0.8cm/回転である．

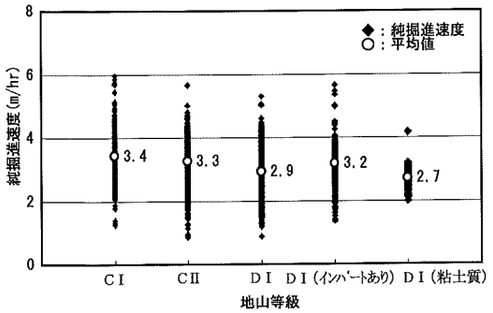


図-12　地山等級別純掘進速度

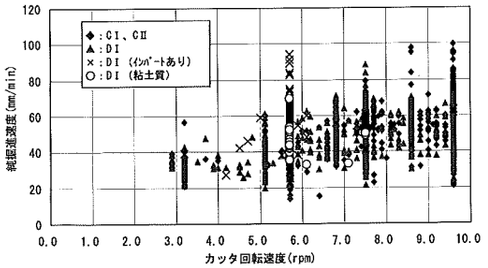


図-13　カッタ回転速度と純掘進速度

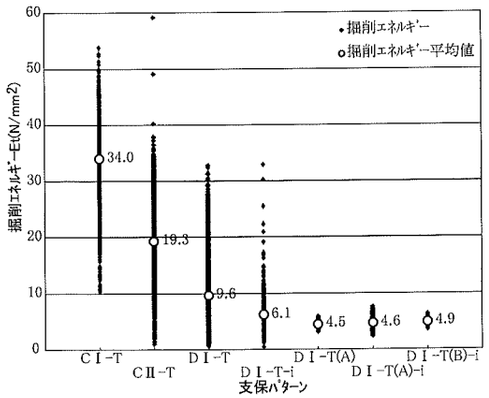


図-14　支保パターン別掘削エネルギー値

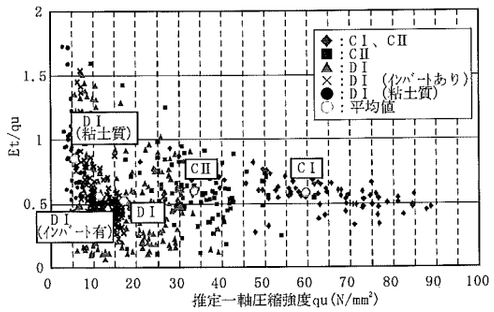


図-15　q_uとE_t/q_u

硬岩地山で純掘進長が短いのは，カッタリングに靭性が低いダイス鋼を使用しており，硬軟変化の激しい地山では欠けるなどの現象が生じることがあるのでカッタ押し付け力を抑えたためである．ＤⅠ(インバートあり)およびＤⅠ(粘土質)で純掘進長が長いのは，粘土化した切削ずりがチャンバに付着しスリットを閉塞するので，圧砕による岩盤掘削を実施したためである．

（２）　地山等級と岩盤性状

掘削エネルギー値は，岩盤材料の硬軟特性を表しており，地山等級との対応で明らかな相関がみられる．地山等級ＣⅠの掘削エネルギーの平均値は34.4N/㎟，地山等級ＣⅡの掘削エネルギーの平均値は19.3N/㎟と高く，ばらつきも大きい．坑壁自立性が低かった地山等級ＤⅠでは，掘削エネルギーの平均値は9.6N/㎟と低い．インバートを施工した地山等級ＤⅠでは，掘削エネルギーの平均値は6.1N/㎟とさらに低くなり，粘土質では５N/㎟弱となる．掘削面自立が困難な地山の判定の目安としては掘削エネルギー値が10N/㎟以下となる．粘土質の５N/㎟弱は他工事の新第三紀堆積岩断層粘土[1)]の値と同等のレベルにあり，押し出し性地山の目安となる．

（３）　力学パラメータ推定

一軸圧縮強度q_u＞5N/㎟では，E_t＝0.53～0.61q_uとなる．q_u≦5N/㎟では，E_t＝0.85q_uとなり，掘削エネルギー値と一軸圧縮強度の高い相関が示された．早田層などの粘土質を含む押し出し性地山と粗粒玄武岩などの亀裂の発達した崩壊性地山の区分の目安としては，q_u≦5N/㎟かつE_t≒q_uでは押し出し性地山，q_u＞5N/㎟かつE_t≒0.5q_uでは崩壊性地山となる．

9　路　盤　工

温海トンネル避難坑工事は，路盤工(インバート埋め戻し)を含んでいる．延長が6,000mと長いため，坑内軌条撤去，インバート清掃，埋め戻しの作業をバッテリー機関車とずり鋼車などにて行うと非効率となるため，各作業を同時進行させるために路盤材の搬入とインバートヘドロ搬出を坑

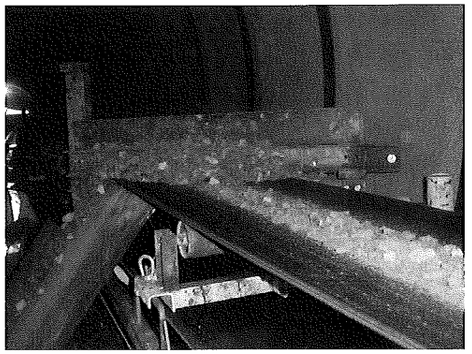


写真-8　埋め戻し用ベルトコンベヤ堰

内ベルトコンベヤにて行った．各作業の概要を，以下に示す．

①　軌条撤去は門型架台(0.25t電動ホイスト付き)にて行い，バッテリー機関車および平台車にて坑外へ搬出する．

②　インバート清掃はミニバックホウにて行い，ヘドロなどはベルトコンベヤに載せて坑外へ搬出する．

③　埋め戻しはホイールローダーとミニバックホウにて行い，路盤材は到達側よりベルトコンベヤに投入運搬し，施工箇所の堰(取り外し可能)にて落とす(**写真-8**)．

上記の施工方法により，昼夜施工で軌条撤去150m/日，路盤工160m/日の進行が確保でき，高速施工が可能となった．

10　ま　と　め

長距離のTBM施工のための仮設備を計画し，地質良好部での高速掘進と地質不良部での確実な施工を可能にする施工方針を立て，それにもとづいて施工した．

その結果，

①　インターネットを利用した情報化施工により，発注者や施工者の各管理者がTBM施工状況などの情報を共有し，遅延なく地山判定を行うことができた．

②　TBM坑延長の約58%は地山等級ＤⅠで，かつインバート吹付け区間延長が約29%あるが，平均月進352m，鉛直偏差７㎜，水平偏

差－31㎜で貫通した．

③ 掘削エネルギー値は，10N/㎟を境に掘削面が自立する判定の目安となり，掘削エネルギー値(E_t)と一軸圧縮強度(q_u)の比(E_t/q_u)が，$E_t/q_u \fallingdotseq 0.5$では崩壊性地山，$E_t/q_u \fallingdotseq 1$では押し出し性地山の目安となる．

④ オープンタイプTBMの純掘進速度の平均値は，地山等級Cで約3.3～3.4m/hr，Dで約2.7～3.2m/hrである．

⑤ TBMの月１回の定期点検，3,000m掘削時の中間整備，坑外ベルトコンベヤ点検員を昼夜配置したことによりトラブルを低減でき，稼働率を86%に高めることができた．

⑥ カッタリング材質(ダイス鋼)に合わせたTBMオペレーションによりカッタ交換個数は30個(カッタライフ0.0003個/m³)に低減できた．

⑦ 坑内ベルトコンベヤを使用することにより長いトンネルの埋め戻しの高速施工を可能にした．

などが得られ，ここで適用したオープンタイプTBM施工技術の完成度は高く，高精度・高速掘進と地質不良部での確実な施工が可能であることを実証した．

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

参 考 文 献

1) 小林隆幸・佐藤淳・楠本太：TBMで大規模断層破砕帯に導坑を貫く，第二東名高速道路　富士川トンネル(下り線)，トンネルと地下，Vol.33，No.8，2002.8.

2) 奥隅豊栄・大矢隆二・木村厚之・楠本太：TBM導坑先進により大断面トンネルを経済的に施工，第二名神高速道路　甲南トンネル(下り線)，トンネルと地下，Vol.37，No.11，2006.11.

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地 下 水 の 科 学　各B5判 全３巻

地下水の科学研究会　　大西　有三　監訳

第Ⅰ巻	地下水の物理と化学	価格4,281円	〒340円
第Ⅱ巻	地下水環境学	価格4,485円	〒340円
第Ⅲ巻	地下水と地質	価格3,873円	〒340円

本書は様々な環境問題を地下水理学の立場から本格的に取り扱うため，水の物理学・化学的性質，地球の状況，水資源としての地下水の状況，地下水の水理学的特性とその調査方法など多岐にわたっており，地質学者，水理地質の実務者，地球化学者ならびに流体力学に関心のある地球物理学者，または，地質学を学ぶ学生など広範に満足させる内容となっている．

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20(2008)年

「西九州の観光都市」佐世保より

大久保　政　吉

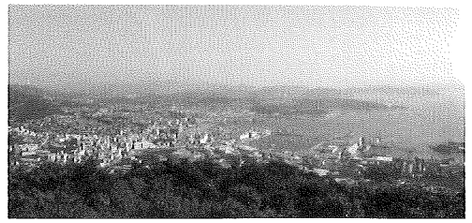
佐世保市は九州の北西部，長崎県北部に位置し，人口約25万を擁する県下第二の都市である．市の中心部は烏帽子岳(568m)，将冠岳(445m)を主峰とする二つの山系が海岸線まで迫っているため，平地が少なく坂の多い町並みが特徴となっている．

佐世保市のある北松浦半島の海岸線は，半島や岬が複雑に入り組んだリアス式海岸をなしており，佐世保港外から北へ25kmにわたる海域に連なる大小208個の島々は，「九十九島(くじゅうくしま)」と呼ばれ，西海国立公園に指定されている．青い海と緑のコントラストが織り成す風景は，季節ごとに違った表情を見せ，多くの観光客を魅了している．

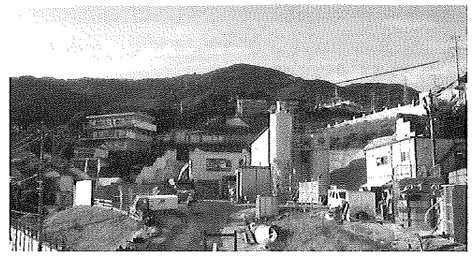
最近では，同業の鈴木建設の釣りバカこと，はまちゃん御一行のロケ地となったことも記憶に新しいところである．佐世保市は，このように海の幸にもめぐまれ食べ物のおいしいところである．カキのシーズンには，それをもとめての観光客でにぎわうほどで，われわれもときどきご相伴にあずかっている．また，市内には米軍第７艦隊や自衛隊の基地もあることから佐世保バーガーなども全国的に有名で，人気店では毎日行列をつくる盛況さである．

このほかにも弓張岳，烏帽子岳など佐世保には景勝地が多く，これに周辺の西海橋やハウステンボスを加え観光都市としての色彩を強めている．

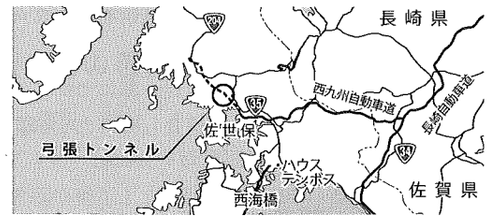
弓張岳は，佐世保市中心部の西側に聳え，南から弓張岳(364m)，但馬岳(361m)，将冠岳(445m)と連なっている．その山頂付近にある展望台は，佐世保の大自然と市街地が一望でき，西側には遥か五島灘と九十九島の島々，南側には深い入り江の佐世保港，そして東側には美しい市街地の街並みと三方のパノラマを見渡すことができ，その山頂周辺部は，九十九島同様，西海国立公園に指定されている風光明媚な地であり，佐世保を代表する山の一つである．



弓張岳から



坑口前景



位　置　図

その弓張岳直下を貫くトンネルが現在施工中の弓張トンネルである．弓張トンネル新設工事は，高規格幹線道路の一環として計画された西九州自動車道の一区間に，全長2,600mのトンネルを新設する工事である．このうち当社は，佐世保の市街地側にあたる終点側工区(L＝1,100m)の施工を担当する．平成19年６月中旬から始まったトンネル掘削は，設計の機械掘削区間(L＝330m)の掘削を完了し，現在は発破掘削で約400m地点を掘削中である．坑口周辺に民家が密集しているため，仮設備にさまざまな防音対策を施し，地域住民の多大なるご理解のもと工事は順調に進んでいる．

今後，トンネル掘削に加え覆工コンクリートの施工も始まり現場は最盛期を迎えるが，発注者および関係各位のご指導のもと，このトンネルの完成が地域の発展に寄与することを願い，無事故・無災害での貫通，竣功に向けて職員，協力業者一丸となって努力していく所存である．

((株)大林組弓張トンネル２期工事事務所所長)

佐藤周一郎をめぐって(1)
—鉱山学科出身のトンネル技術者—

(財)鉄道総合技術研究所
小野田　滋

■鉱山学科を卒業して

関東大震災の発生した1923(大正12)年という年は，鉄道トンネルの分野にとって，大きな転換期を迎える年であった．この年の５月，鉄道省は東京帝国大学理学部地質学科から渡邊貫(とおる)，廣田孝一，佐伯謙吉の３名の理学士を一挙に採用したほか，同校工学部鉱山学科から佐藤周一郎を採用したのである．学際化が進み，専門分野も細分化した今日では，地質学科，鉱山学科，資源工学科など，土木以外の学科を卒業してトンネル技術者となるケースはそれほど珍しくなくなったが，この当時は土木工学科以外から土木工事を担う技術者を採用するということは，大英断であった(厳密には，1918(大正７)年に地質学科出身の福富忠男が鉄道院に採用されたが，５年後に北海道帝国大学に転出した)．

写真-1　清水トンネル導坑貫通点における佐藤周一郎技師(右端)—中央は河原工事課長，左端は善如寺秀太郎技師(土樽方工事主任)

1923(大正12)年と言えば，難工事となった丹那トンネルに加え，わが国最長の清水トンネルが着工しており，日本のトンネル技術はさらに次のステージへ向けて大きく歩みを進めつつあった．しかしその一方で，これまでの経験だけでこれらのトンネルを完成させることは至難と考えられ，土木技術だけではなく，地質や鉱山など周辺分野の専門知識を必要としたのである．

このうち，地質学科出身の３名は，地質調査技術の普及やその工学的解釈に取り組み，今日の地盤工学や応用地質学の基礎作りに大きく貢献した．これに対して，鉱山学科出身だった佐藤周一郎は，鉱山技術をベースとして，トンネルの施工技術の発展に寄与し，その生涯の間に３冊のトンネル工学に関する専門書を著した．しかし，日華事変の勃発とともに大陸へ渡り，戦後は海外の鉄道技術協力に携わったため，トンネル技術者としての活躍は20年に満たなかった．

今回と次回にわたり，佐藤周一郎について，そのエピソードを交えながら紹介してみたい(**写真-1**)．

■佐藤周一郎のプロフィール

佐藤周一郎は鳥取県東伯郡倉吉町(現・倉吉市)の出身で，1899(明治32)年２月13日に生まれ，第六高等学校を経て1923(大正12)年３月に東京帝国大学工学部鉱山学科(現・システム創成学科の一部)を卒業して鉄道省に採用された．本省の建設局工事課に配属された佐藤は，断層破砕帯の施工で苦労していた丹那トンネルの工事に対して，松島炭坑や常磐炭坑で実績のあったセメント注入を現地調査し，これを適用することに成功した．

1927(昭和２)年には東京建設事務所に転出し，第十工区主任(現在の工事区長に相当)として清水トンネル土合口の工事に携わり，硬岩を掘削するための機械化施工の適用に貢献した．1931(昭和６)年には山口建設事務所に移り，岩徳線・欽明路トンネルの工事主任としてこれを完成させて1935(昭和10)年には建設局工事課に戻り，関門トンネルの工事を担当した．

1936(昭和11)年より約２年弱にわたって在外研究員として欧米に派遣され，主としてシールドトンネルの実情を調査したが，1939(昭和14)年に満洲国に派遣され，さらに北支派遣となって華北交通に移籍した．大陸では，建設部工事課長として石徳線(石家庄—徳州)や同塘線(大同—塘沽)などの建設に携わった後，徐州鉄路局長となって終戦を迎えたが，しばらく北京に抑留されて業務引き継ぎや残留邦人の保護にあたり，1948(昭和23)年12月末にようやく帰国した．

戦後は，森組技術顧問となったほか，大陸での実績を請われて国際技術協力開発会社を経て1965(昭和40)年に設立された海外鉄道技術協力協会常務理事として活躍した．また，青函トンネル技術調査委員会の発足時から委員を務め，晩年は矢作建設工業顧問となったが，1987(昭和62)年12月１日，88歳で永眠した．

■３冊の著書

佐藤周一郎は，その生涯で，『隧道工学(上)(下)』(アルス・1939)，『鉄道隧道』(鉄道工学会・1941)，『隧道の施工』(白亜書房・1954)といった著書を世に出したが，トンネル工学に関する専門書そのものが乏しかった当時にあって，３冊は異例であった(**写真-2**)．これらの著書は，土木学会が1980(昭和55)年に選定した「近代土木文化遺産としての名著100選」には取り上げられていないが，長い現場経験に裏付けられた施工技術に関する記述は秀逸で，施工順序や施工上のコツなど，ひとつひとつ具体例を挙げながら懇切丁寧に解説しており，木製支保工時代のトンネル工事の様子を知るうえで貴重な資料となっている．

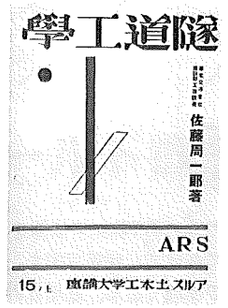


写真-2　佐藤周一郎『隧道工学』(アルス・1939)

一方，当時，渡邊貫などによって導入されつつあった土圧論の考え方や，ルート選定など，理論面，計画面の記述は少なく，結果的に土木学会での評価も低くなってしまったものと思われる．『隧道工学』の序文によれば，執筆の依頼があった際に，ほかにも適当な人物がいるとして，いったん固辞したようだが，いろいろな事情で引き受けることになったとしている．そして，鉄道トンネルの建設に携わってその複雑多義にわたることを痛感し，これを書き上げることは自分にとって「将来への精進の門出である」として筆を執ったとした．

佐藤は後年，「自分は鉄道省に於いては異邦人である鉱山の卒業であって……」と入省当時を述懐し，なじまないのではないかと不安を感じていたようだが，その後，本流である「土木」から何のこだわりもなく迎えられ，「自分がそんなふうに考えたことを自から恥しく思った」と記している．鉱山学科出身として鉄道のトンネル工事を客観的に眺めることができたからこそ，現場にとって役立つ知識は何かということを，冷静に判断できたのかもしれない．

現場だより
平成20(2008)年

「炭鉱そしてメロンの町」夕張市より

信田俊文

札幌市より東へ約70kmに位置する夕張市．明治時代から昭和にかけて，炭鉱で栄え，全国に名高い「夕張メロン」の産地である．近年は財政破綻による再建計画が実行され，マスコミに多く報道されているところである．人口は，現在1万2千人，市としては小さなものとなりつつある．

夕張炭鉱の歴史は明治時代にさかのぼる．米人地質学者率いる探検隊が夕張川上流に炭層があると推定，その後明治21年に探検隊随行員が大炭層の露頭を発見した．間もなく採炭が開始され，夕張の石炭の歴史が始まった．途中数回の大規模ガス爆発が発生し，殉職者も出たが，大正3年に発生したガス爆発においては，一度に423名の殉職者を出す惨事となった．記憶に新しい平成2年三菱南大夕張炭鉱の閉山を最後に，多数の炭鉱夫そして殉職者に支えられながら発展を続けてきた夕張石炭の歴史が幕を閉じた．トンネル工事においても，炭層に起因すると思われるメタンガスが発生している．湧出量は微量であるが，常時坑内風速を維持することで対策工としている．

現場付近には過去に炭鉱で働いていた人が多数居住している．現場近くで歩いていると，地元の人々が話しかけてくる．「トンネル掘削」について非常に関心が高く，「この山は悪い」，「ガスが出る」，「ここにはいつごろ掘った坑道がある」など，多数の助言をいただける．

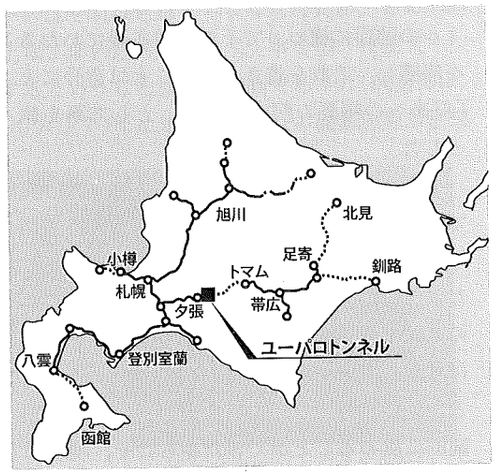
ユウバリコザクラ

地元の方々に対して，工事への理解を得ることはさることながら，日々住民の方々と触れあい，安全に作業を進め，高品質なトンネルを完成させたい．

ユーパロトンネル工事は，道央圏と道東圏を結ぶ北海道横断自動車道において，現在建設中の夕張IC～十勝清水IC間81km(トマムIC～十勝清水IC間については平成19年10月21日開通)のうち，夕張市を通過する3.5kmをトンネル・橋梁・切盛土工にて施工するものである．当工事区間(夕張IC～占冠IC(仮称))が平成23年度に開通することにより，道央圏と道東圏が結ばれ，夕張IC～十勝清水IC間において，距離で30km，時間にして50分短縮され，さらに標高は国道日勝峠と比較して約400m低い位置を通行できるようになる．

花の名山として全国に知られている夕張岳の固有種であるユウバリコザクラの咲くころのトンネル貫通を目指す．

(北海道横断自動車道ユーパロトンネル工事戸田・東亜・日本国土共同企業体所長)



位置図

施工

複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理

—中之島線　第6工区—

中之島高速鉄道(株)計画課長　長瀧元紀
京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部計画工事統括課長　泉谷透
鉄道・運輸機構東京支社工事第二部工事第四課　平手知
西松・大豊・森本・オリエンタル白石共同企業体工事課長　神谷拓生

1　はじめに

中之島線(中之島駅～天満橋駅間L＝2.9km)は，第3セクターである中之島高速鉄道(株)が施設を建設・保有し，京阪電気鉄道(株)が運行する路線である(事業スキーム：償還型上下分離方式)．平成15年3月より工事に着手し，平成20年秋の開業を目指して地下鉄道建設工事を鋭意進めている．図-1に路線全体図を示す．

中之島線建設の目的は，中之島西部地区の再開発に伴い増加する輸送需要に対応することと，大阪の一大都市拠点である中之島と，観光・文化都市である京都を結ぶなど，広域交通ネットワークの充実である．

本稿は，中之島線建設工事のうち，なにわ橋駅～天満橋駅間約600mを泥土圧シールド工法で施工した第6工区において，上町断層の影響を受け，シールド掘進土層が沖積層から洪積層まで複雑かつ急激に変化する中での掘進管理について報告する．

2　工事概要

2-1　工事概要と周辺の状況

今回報告する第6工区は，西行き線L＝535.9m(先行トンネル)および東行き線L＝607.0m(後行トンネル)の単線並列トンネル(セグメント外径ϕ6.8m，最小離隔1.2m)である．当工区は，工程と到達部施工の制約により，シールド2機で施工し

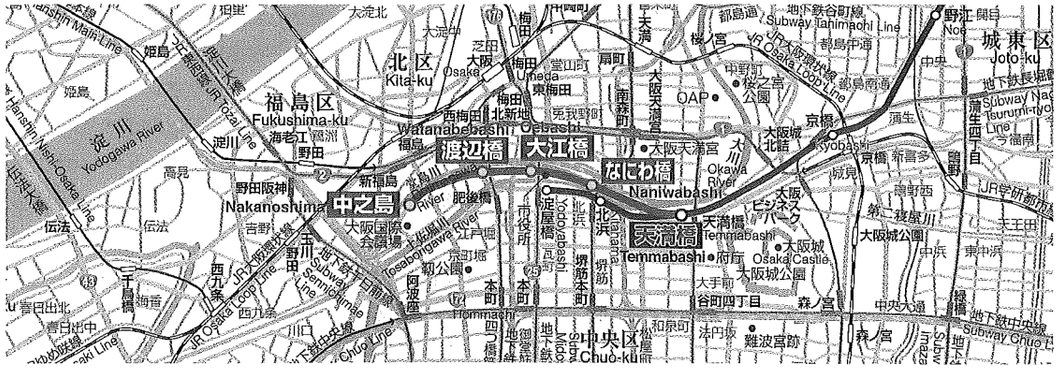


図-1　路線全体図

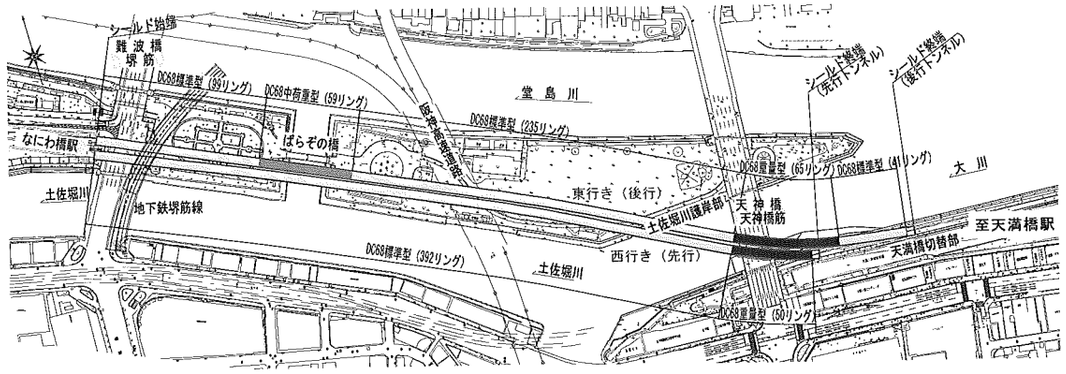


図-2　6工区平面図

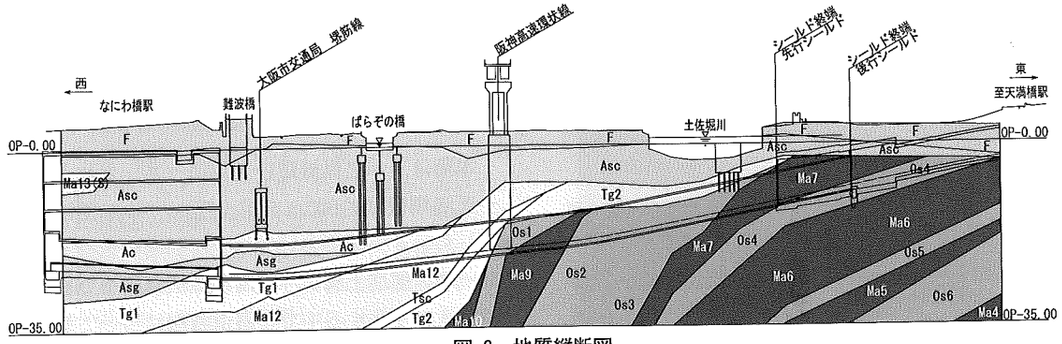


図-3　地質縦断図

た．西行き線は，平成19年3月中旬に発進し7月初旬に到達，東行き線は，平成19年4月初旬に発進し7月末に到達した．また土かぶりは約4～24m，曲線半径は250～1,200m，縦断線形は－10～40‰であった．

発進直後に難波橋，大阪市営地下鉄堺筋線と交差し，その後，ばらぞの橋橋台に近接，阪神高速道路環状線橋脚に近接，土佐堀川護岸に近接・交差，天神橋橋台に近接した．さらに終点の天満橋駅方では，シールドが現在営業中の京阪本線躯体に近接するものであった．

図-2に平面図を示す．

2-2　地質概要

当工区は，大阪市の中央を南北に連なる上町台地の西側に位置し，上町台地を形成した上町断層と派生断層である桜川撓曲※1に隣接しているため，複雑な地層分布となっている．そのため，シールド工事にあたっては，シールド掘進部における上町断層の地層構成を正確に把握するために，3か所で深層ボーリング（300m：1本，100m：2本）を実施し，オールコアサンプリングした試料をもとに詳細な地質分析を行い，地層の同定を行った．図-3に調査結果を踏まえた地質縦断図を示す．

これより，当工区のシールド掘進部においては断層の影響により上部大阪層群のMa9層以深の海成粘土が大きく西にたわんでおり，シールド掘進土層が複雑に変化する状況にあることが確認された．

シールド発進直後における主な掘進土層は，上半がAc層，下半がAsg層であり，これらの土層が比較的水平に堆積しているが，シールドの進捗に伴いこれらの土層が消滅し，Tg1層およびMa12層が東上がりに分布する．

なにわ橋駅から約200m東方では，上町断層の影響により地層が傾斜しており，シールド掘進土層はMa12，Tsc，Tg2，Os1，Ma9，Os2，Os3

※1　撓曲：地中の断層がずれたことにより断層の上にある地層がたわむ現象．

表-1　地盤構成表

地質年代			地層名		地質記号	記事
第四紀	完新世		沖積層	砂質土優勢層	Asc	主に砂質土層と礫質土層の互層からなり，部分的に粘性土層を介在．N値は5前後～40程度．
				粘性土層	Ac	炭化物を混じえた不均質な淡水性粘性土層．N値は5前後．
				砂・礫互層	Asg	砂質土層と不均質な粘性土層の互層からなる沖積基底層．N値は10前後～60以上．
	更新世	後期～中期	上部洪積層	第1礫質土層	Tg1	礫質土層が主体で砂質土層を介在．N値は50前後～60以上．
				Ma12層	Ma12	おおむね均質な海成粘土層．N値は5前後～10前後．
				砂・泥互層	Tsc	非海成粘性土層と砂質土層の互層．N値は5前後～40程度．
				第2礫質土層	Tg2	砂質土層と粘性土層の互層．N値は25前後～60以上．
			大阪層群	第1砂質土層	Os1	礫分を含む砂質土層で，部分的に礫分が卓越．N値はおおむね60以上．
				Ma9層	Ma9	おおむね均質な粘土層．N値は10～15前後．
				第2砂質土層	Os2	粘性土分・礫分を含む砂質土層で，部分的に礫分が卓越．N値はおおむね60以上．
				第3砂質土層	Os3	粘性土分・礫分を含む砂質土層で，部分的に粘土分が卓越．N値は40前後～60以上．
				Ma7層	Ma7	おおむね均質な粘土層．N値は10～15未満．
				第4砂質土層	Os4	粘性土分・礫分を含む砂質土層主体．N値は50前後～60以上．

層と変化する．いずれの地層も東上がりの形状を示し，大阪層群であるOs1，Ma9層はとくに急傾斜している．

また，河川横断部から終点天満橋駅にかけてのシールド掘進土層は，Os2，Os3，Tg2，Ma7，Os4層の順に徐々に変化していく状況にある．

表-1に地盤構成表を示す．

3　シールド施工

3-1　シールド概要

当工区では複雑に掘進土層が変化することから，さまざまな土質に対応することが求められる．そのため，以下の点に留意してシールド（写真-1）の設計を行った．

① チャンバ内の塑性流動性を把握するため，上・中・下段の左右計6個の土圧計を設置した．また，各段の一方を交換可能型とした．

② Tg2層において，ボーリング結果よりφ300㎜程度の玉石の出現を想定し，スクリューコンベヤの先端部をリボン式として，玉石の取り込みを可能とした．

③ スクリューコンベヤに取り込まれた玉石の撤去および河川横断時のシールド内への地下水噴発防止のため，スクリューコンベヤ先端にバルクヘッドゲート（写真-2）を設置した．

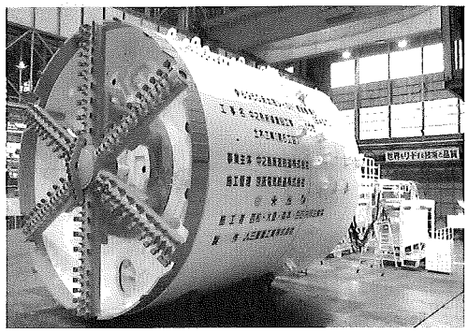


写真-1　シールド

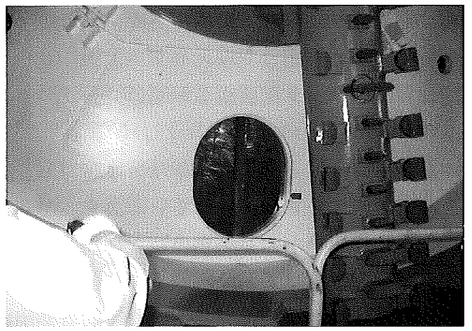


写真-2　バルクヘッドゲート（閉鎖時）

④ Os層を掘進するため，通常よりもα値の大きいカッタを装備した（常用：α＝18.9，最大：α＝22.7）．

⑤ 粘性土層の付着・固着対策のため，固定攪拌翼に加泥材注入孔（写真-3）を設置した．

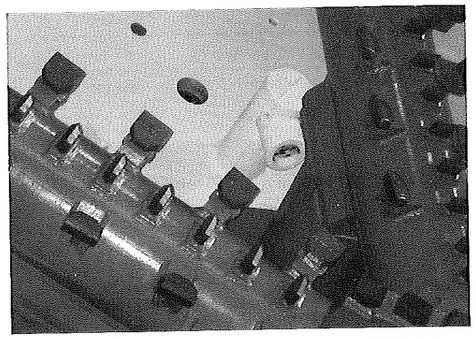


写真-3　固定攪拌翼に設置した加泥材注入孔

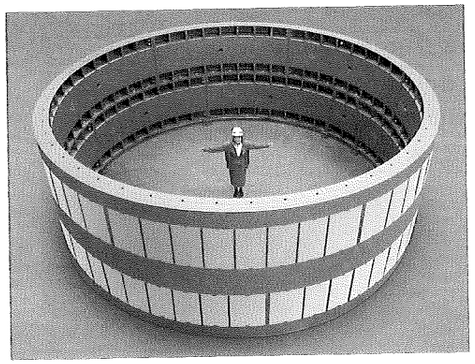


写真-4　セグメント仮組み立て

3-2　セグメント概要

全線コルゲートタイプのダクタイルセグメント(幅1.2m，高さ250㎜)を採用し，設計時の荷重条件に応じて標準型，中荷重型，重量型と称する3タイプのセグメントを使い分けた．

図-2にセグメント配置図を示す(**写真-4**)．

中荷重型は，ばらぞの橋の架け替え時の荷重に対応できる構造としている．また，重量型は小土かぶり部および天神橋付近の護岸改修工事部におけるトンネル上部掘削時の除荷によるトンネルの浮き上がりを防ぐ目的で使用している．

なお，発進・到達部や重要構造物との交差部については，A型およびB型セグメントに注入孔を設け，補足注入ができるようにしている．

3-3　切羽土圧管理

掘進土層が複雑に変化し，また各種重要構造物と交差・近接することから，施工区間を「一般部」，「近接施工部」，「特殊部(土佐堀川横過部)」に分類し，「一般部」と「近接施工部」をさらに，粘性土，砂質土，互層地盤に区分し，各々に対して，**表-2**に示すように切羽土圧の上・下限値を設定した．

表-2　切羽土圧管理計画の上・下限値

				設定方法※1
一般部	粘性土		上限値	静止土圧＋粘着力
			下限値	村山の式による土圧＋水圧
	砂質土		上限値	全土かぶり圧(土水分離)＋水圧
			下限値	村山の式による土圧＋水圧
	互層地盤		上限値	静止土圧＋粘着力
				全土かぶり圧(土水分離)＋水圧
			下限値	村山の式による土圧＋水圧
近接施工部	粘性土	京阪本線	上限値	静止土圧
			下限値	静止土圧―粘着力
				村山の式による土圧＋水圧
	砂質土	阪神高速道路	上限値	静止土圧(土水分離)＋水圧
			下限値	村山の式による土圧＋水圧
	互層地盤	難波橋堺筋線ばらぞの橋	上限値	静止土圧
				静止土圧(土水分離)＋水圧
			下限値	静止土圧―粘着力
				村山の式による土圧＋水圧
特殊部	土佐堀川横過部		上限値	水圧＋100kN/m²
			下限値	村山の式による土圧＋水圧

※1：沖積粘性土(K_0=0.8)では土水一体
洪積粘性土(K_0=0.6)では土水分離とした．

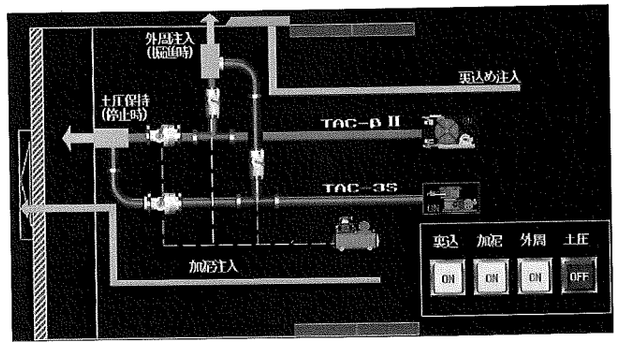


図-4　停止時切羽土圧自動保持装置

実施工では，下限値＋50kN/m²(予備圧＋変動圧)を管理値として，各種マシンデータ，トライアル計測，地表面沈下計測，護岸計測などにより

必要に応じて適宜見直しを行った．なお，実施工での変動幅は±20kN/m²以内に収まった．

掘進停止時には，掘進時と同様の切羽土圧を保持するため，スプリングラインに設置した土圧計の切羽土圧が下限値＋10kN/m²まで低下すると自動的にクレーショック(二液型可塑状粘土系充填材)を注入し，切羽土圧を回復させるシステムを採用した．**図-4**に停止時切羽土圧自動保持装置を示す．

3-4　加泥材

3-4-1　加泥材の選定

掘進土層が複雑に変化するため，各土質に適した加泥材の選定が重要となる．しかし，複雑多岐にわたるすべての土質に対して施工に先立って現場配合試験を行うことはきわめて困難である．そこで事前になにわ橋駅掘削の際に採取した粘性土(Asc層)と砂礫層(Tg1層)に対して，加泥材の現場配合試験を行った．これは，付着が懸念される粘性土と，塑性流動性がもっとも厳しくなると考えられる砂礫層に対する加泥材の適応性を確認するためである．その結果，濃度・注入率を変化させることで各土質に対して十分に塑性流動性を確保できる高分子系添加材(TACキャリー)を採用した．

3-4-2　土質変化の把握と加泥管理

掘進土層が複雑に変化する中，泥土圧シールドの基本となる泥土の塑性流動性を確保するためには，早期に土質変化を把握し，加泥材の濃度・注入率を管理することが重要であった．そこで，実施工では，

① カッタトルク(粘性土が多くなると小さく，砂質土・礫質土が多くなると大きくなる．またOs層では5,000～6,000kN・mと，とくに大きくなる)
② γ線密度計(粘性土が多くなると小さく，砂質土・礫質土が多くなると大きくなる)
③ 乾砂量(粘性土が多くなると少なく，砂質土・礫質土が多くなると多くなる)

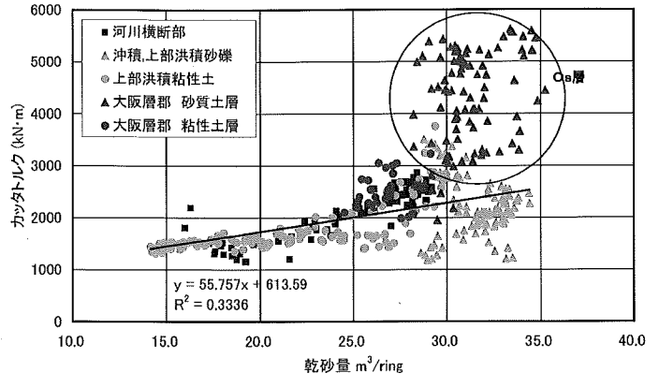


図-5　カッタトルクと乾砂量の関係

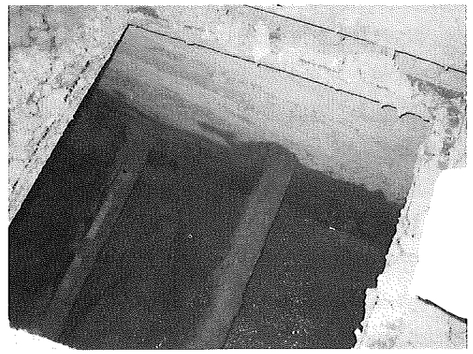


写真-5　シルトミキサーにおける泥土性状

④ P1ポンプ開放型シルトミキサー(テレビカメラにより常時泥土の状態を目視確認)

などにより，土質変化の傾向を把握した．その結果を踏まえ，加泥材の濃度・注入率を適宜変更しながら，泥土の塑性流動性を確保しつつ掘進することができた．**図-5**にカッタトルクと乾砂量の関係を，**写真-5**にP1ポンプシルトミキサー部での泥土性状を示す．

また，上記④の方法に加えて，チャンバ内土圧計の深度方向分布の直線性からも泥土の塑性流動性を確認しながら掘進を行った．

シールド発進後約150m間に出現する土質は水平に堆積した沖積層と上部洪積層であり，その区間の乾砂量がおおむね30～35m³/ringとなっている．また，シールド全断面が大阪層群の砂質土層(Os層)となる区間においても同様の乾砂量となっている．一方，撓曲区間に現れる上部洪積粘性土層および大阪層群の粘性土層(Ma層)は砂質土と

の互層になっており，シールド縦断方向に層厚が変化することから，乾砂量も15～30m³/ringの範囲で増減している．このことから今回採用した乾砂量による掘削管理方法では地層の変化を的確に把握することが可能であったと評価できる．また，大阪層群の砂質土層(Os層)を除く区間においては，カッタトルクは1,500～3,000kN・mの範囲で常用カッタトルクの50%以下であり，適切な加泥注入により掘削土砂が十分に塑性流動化していたと考えられる．N値50以上の非常によく締まった大阪層群の砂質土層(Os層)では，カッタトルクが3,000kN・mを超えており，大きくばらついている．これは，固い地盤におけるカッタビットの切削抵抗がカッタトルクを増加させたものと考えられる．また，加泥材と土質との適合性がその他の土質ほど良くなく，相対的に塑性流動性が悪いようにも見受けられる．

3-5　掘削土量管理

掘進土層が複雑に変化するため，乾砂量による管理と排土量による管理を併用して掘削土量管理を行った．

通常掘削土量管理に用いる電磁流量計・γ線密度計は水平配管部に設置されることが多いが，今回は鉛直配管部(上向き流速部)に設置することにより，より精度の高い計測を行った．

3-5-1　乾砂量による管理

地山の土質調査結果をもとに，理論掘削土量(掘削断面積×ストローク長)から含水量を差し引いた土量を理論乾砂量とし，計測値と比較する方法である．通常，乾砂量は添加した加泥材中固形分の影響を受けるが，本工事では加泥材として比重が地下水と同じ1.0のTACキャリーを使用することで，理論乾砂量と計測乾砂量の比較での管理を可能とした．

なお土質試験結果をもとに，湿潤密度・含水比の補正を行い，そのデータを用いて，地質縦断図および縦断線形から，1リングごとに理論乾砂量を自動演算した．

実施工では，掘削土が粘性土主体の場合は，理論値と計測値の差が3%以内であった．しかし，砂礫土主体の場合は理論値より総じて大きくなる傾向があった．これは，土質調査における地山密度の計測誤差と土質縦断図と実際の土層の相違が原因と考える．

3-5-2　排土量による管理

従来から行われている方法であり，理論排土量と計測値(流量計計測値－加泥材・注水量)を比較する方法である．

実施工では，掘削土が粘性土主体の場合は，理論値と計測値の差が3%以内であった．しかし，砂礫土主体の場合は加泥材を除さない値が理論値と近くなる傾向があった．これは，地山の間隙水を加泥材で置き換えたと推察される．

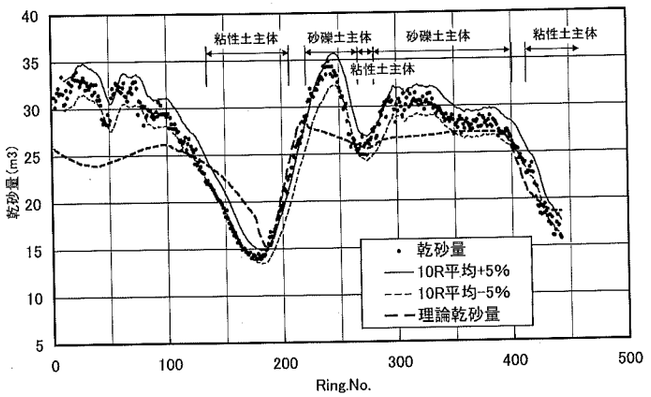


図-6　乾砂量管理図(西行き線)

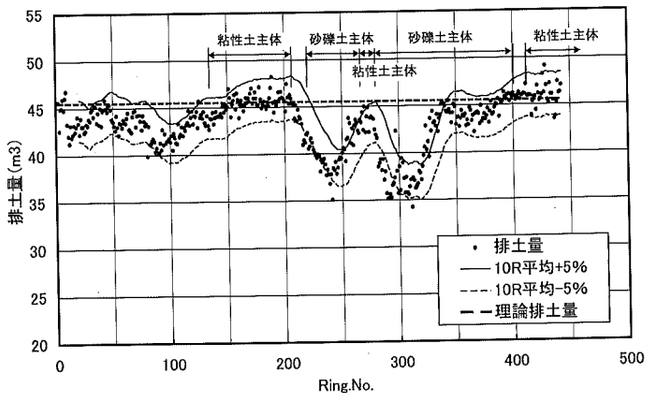


図-7　排土量管理図(西行き線)

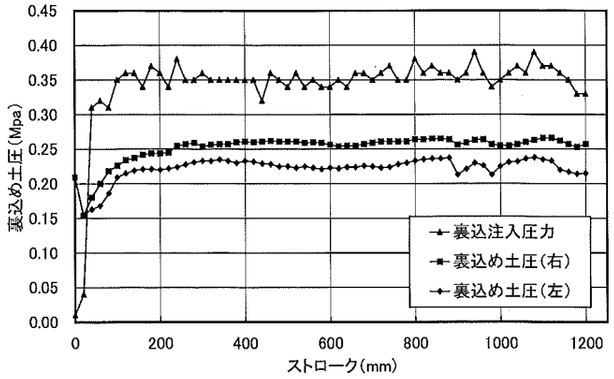


図-8　裏込め土圧計の挙動(西行き線46リング)

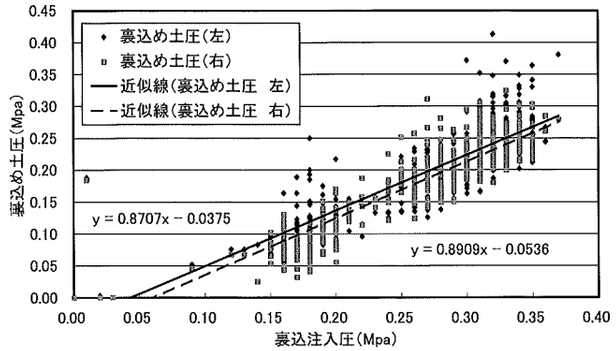


図-9　裏込め土圧と注入圧の関係(西行き線)

乾砂量による管理，排土量による管理とも同一土質に対しては，過去10リング平均値を管理値とし，その±5%以内でおおむね施工できた．図-6に乾砂量管理図(西行き線)，図-7に排土量管理図(西行き線)を示す．

3-6　裏込め注入管理

本工事では，大阪市交通局などで使用実績のある材料(二液性・水ガラス系・可塑状型・セメント系・エアー系)を使用した．エアー系裏込め材は15%のエアーが混入されており，微細なエアーのベアリング効果によって，裏込め材の流動性を増進させ，テールボイドへの充填性を向上させる．

注入圧については，切羽土圧＋100kN/m²を上限として管理を行った．当工区ではシールドに裏込め土圧計を装備しているが，同時裏込め注入管横に設置されるため，掘進距離が長くなるとモルタルなどの付着により土圧計の感度が悪くなる場合がある．図-8に裏込め土圧計の挙動を示す．

そこで掘進初期に裏込め土圧計とバルブセット部の圧力計との相関関係を把握することにより適正な裏込め注入圧を確認しながら，バルブセット部の圧力計により管理を行った．図-9に裏込め土圧と裏込め注入圧との関係を示す．

注入率については，計画段階では，加圧による増加率および土質による増加率を加味してテールボイド量の122～143%とした．実績としては122～152%であった．

なお，注入量および注入圧については，トライアル計測，地表面沈下，護岸計測などにより必要に応じ適宜見直しを行った．

4　おわりに

本工事は複雑に変化する土層におけるシールド掘進，小土かぶりでの河川横断，各種重要構造物との近接施工など厳しい施工条件下での工事であった．しかし，本稿で述べたような，切羽土圧管理や掘削土量管理などの各種掘進管理を実施したことにより，重要構造物や河川横断部の河床などに対しての影響を最小限に抑え，無事に到達することができた．

また，本稿では，複雑に変化する土層におけるシールド掘進管理に関して報告したが，今後，小土かぶりでの河川横断，水平トライアル計測，各種重要構造物との近接施工などについても，機会を得，報告していきたいと考えている．

最後に，本工事を施工するにあたり貴重な指導・助言をいただいた，中之島新線技術委員会の足立紀尚委員長および委員の方々，構造物管理者をはじめとする関係各位の方々に深く感謝の意を表するとともに，本稿が同種工事の一助となれば幸いである．

土木情報 No.417 今月の主な入札結果

（1月10日～2月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
九州農政局	H19筑後川下流白石平野(二期)農業水利事業山脚導水路(下大町西工区)	若築建設	310
緑資源機構	19南丹園八１工区農用道２号T	前田建設工業	1,174.4
東北地整	日本海沿岸東北自動車道堅苔沢T	鹿島建設	3,489
〃	〃 雪沢第一T	飛島建設	2,720
北陸地整	藪田函渠その２	中越興業	190
関東地整	H19矢作排水樋管改築	大旺建設	405
〃	付替県道８号T	大日本土木	835
〃	矢切函渠その４	オリエンタル白石	462
〃	上尾道路桶川地区貯留槽	鹿島建設	731.8
中部地整	１号静清賤機山T	ハザマ	1,436
〃	21号鵜沼南地区道路建設	加藤組	240
近畿地整	和田山八鹿道路上谷T	前田建設工業	2,774
〃	〃 畑T	清水建設	2,500
〃	〃 別所T	三井住友建設	2,632.9
〃	大阪北共同溝交野寝屋川地区	ハザマ	2,820
九州地整	東九州道(県境～北川間)熊野江第２T新設	五洋建設	2,284
〃	〃 (清武～北郷間)北河内T新設	青木あすなろ建設	1,208
鉄道・運輸機構	北海道新幹線，津軽蓬田T他１	鹿島・鉄建・梅林・田中組JV	8,212.3
東日本高速道路	上信越自動車道薬師岳T(その2)	大成・飛島JV	640
〃	北関東自動車道唐沢山T(その2)	鹿島・五洋・飛島JV	1,580
西日本高速道路	米子自動車道二川T	大成建設	1,200
阪神高速道路	大和川線シールドT	鹿島・飛島JV	16,450
北海道	一般国道39号北見市第２南ケ丘T	伊藤組・荒井JV	1,028
栃木県	一般国道400号下塩原第一T(仮称)本体建設	奥村・那須土木・松本JV	2,567.19
群馬県	流域下水道建設事業(管渠築造)赤堀・東・境幹線第11－２工区	吉田組	105
〃	〃 〃 〃 第12－１工区	柏井建設	290
埼玉県	利根川右岸流域下水道上里幹線管渠築造１工区３号	ユーディケー	758
〃	〃 〃 〃 ２工区１号	サイレキ建設工業	117
〃	〃 〃 児玉幹線管渠築造４工区２号	ユーディケー	158.5
都・下水道局	港区白金台五丁目，白金六丁目付近再構築	東洋・大盛JV	661.4
〃	千川幹線再構築その５	株木建設	590
〃	白山幹線再構築	足立建設工業	320
三重県	一般国道269号(南島BP)国補道路改良(１号T)	南建・稲葉JV	697
滋賀県	H19第８号琵琶湖流域下水道東北部彦根第二幹線古沢工区管渠	前田・桑原JV	1,472.5
奈良県	一般国道168号地域連携推進事業(国道改築)(仮称川津第二T)	村本・松塚・天龍JV	1,240
大阪府	寝屋川流域下水道中央(一)増補幹線(第2-1工区)下水管渠築造	中林建設	347
兵庫県	国道178号余部道路油良・間室T	ハザマ・寄神・株木JV	1,496
鳥取県	奥日野２期広域農道三国山T	不動テトラ・美保テクノスJV	850
島根県	広域漁港整備事業浦郷漁港(仮称)浦郷T	金田・石橋JV	480
〃	国道375号忍原拡幅改築(仮称)忍原T	今岡工業	408
岡山県	国道374号４の19の４公共道路	前田・三幸JV	1,346
山口県	一般国道490号道路改良・鞍掛山T	清水・シマダ・大畑JV	2,042.06
香川県	工事国債国道436号道路改築((仮称)橘T)	りんかい日産・カナックJV	1,250
福岡県	国道322号香春大任BP３号T	五洋・鷹羽JV	1,130
大分県	H19道改国第2-2号道路改良(中津１号T)	ハザマ・新成・豊洋JV	2,419.8
鹿児島県	道路改築(青瀬T)	南生・新留・上東JV	1,436.82
ひたちなか市	高場雨水１号幹線管きょ布設(19国補公下雨第４号)	ライト工業	261.5
市川市	広尾地区水路改良	大幹	242.54
横浜市	北部処理区平安地区下水道再整備(その６)	浅井建設	150.17
〃	南部処理区中島地区下水道再整備(その４)・同付帯	新栄重機土木	114.3
名古屋市	第２次堀川右岸滞水池流入幹線下水道築造	佐伯建設工業	281
〃	南野雨水幹線下水道築造	岩田地崎・中部土木・丸彦渡辺JV	1,299.8
和歌山市	堀詰第１，本町合流式下水道改善	西村工業	287.8
長崎市	西部27号幹線(手熊町～式見町)内径1350耗汚水管シールド	オリエンタル白石・田浦組・進成JV	775.18

施工

シールド工事における地域とのコミュニケーション

—東京都下水道　墨田区菊川一，二丁目付近再構築工事—

東京都下水道局北部建設事務所工事第二課長　新谷康之
東京都下水道局北部建設事務所工事第二課工事第二係　小川仁
佐藤工業(株)菊川作業所現場代理人　望月健
佐藤工業(株)菊川作業所監理技術者　早川淳一

1 はじめに

東京都区部の下水道整備は，明治時代から始められ，平成７年に普及率100％概成を達成した．しかし，既にコンクリートの耐用年数50年を超過する下水道管が全体延長の約13％を占め，その更新が必要になっている．また，戦前など，東京の市街化が進む以前から造られた下水道管の多くは，戦後から現在に至るまでの市街化を想定した施設能力を有していない．このため，近年，老朽化した下水道管の損傷に伴う道路陥没や，頻発する都市型水害への対応などから，下水道局では，このような老朽化対策と下水道施設の能力アップとを同時に行う事業を，下水道施設の「再構築」事業として実施している．

ところが，密集した市街地の中では，「100％普及しているはずなのに，なぜ今さら下水道管の工事を実施するのか」との疑問からか，下水道工事に対する地域住民の合意形成を図ることが困難なことが少なくない．公共事業においては，住民との合意形成が図られず工事期間が長期化すると，工事コストの増加，整備効果の発現時期の遅延などを招くことから，住民との合意形成は，大きな課題となっている．とくにシールド工事などの非開削工法の工事においては，立坑の設置に対する住民との合意形成がカギを握る．

本稿では，このような密集市街地における「再構築」の工事の一例として，地域住民との合意形成を図るために，下水道事業への理解を得るためのPRを行うなど，地域とのコミュニケーションを活発に行っている事例を紹介する．

2 工事概要

2-1 工事の目的

本工事が施行される東京都墨田区は，荒川と隅田川と東京湾に囲まれる，通称「江東三角地帯」と呼ばれる地域にある．江東三角地帯では，江戸時代から河川や運河が整備され，水運の便が良く交易地として発展してきた．その後，戦前，戦後の工業化の進展などもあり，早くから住宅や中小の工場などの立地が進み，今日では，高層住宅も混在する密集した市街地となっている．また，下水道も戦前から整備が進められてきた．

本工事は，江東三角地帯の中にある墨田区菊川一，二丁目付近の下水道管(枝線)の老朽化対策および雨水排除能力不足の解消を目的として施行し

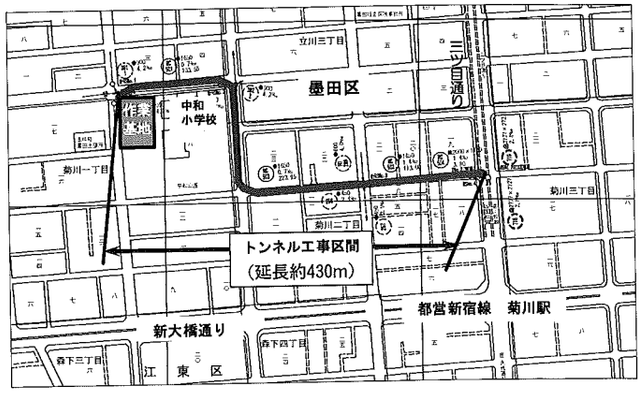


図-1　位置図

ている．当該地域の下水道管は，戦前に作られたものが多く，老朽化が進んでいる．また，既設の下水道管は，降雨強度１時間50㎜，流出係数50％の能力しかなく，下水道局が整備目標として設定している，降雨強度１時間50㎜，流出係数80％を達成するには，新たな下水道管の整備が必要不可欠である．本工事は，この雨水排除能力を増強するための主要枝線(増補管)を築造するものである．この主要枝線(増補管)が完成した後，これに接続する枝線の整備や老朽管の取り替えなどを行い，当該地域の下水道のネットワークの寿命を伸ばし雨水排除能力をアップさせることとしている．

2-2　築造物概要

本工事は，**図-1**に示すとおり，発進立坑および到達立坑を設置し，その間においてシールド工法により下水道管を築造するものである．

- 円形管築造工(泥土圧シールド工法)
  一次覆工(昼夜間施工)二次覆工一体型
  仕上がり内径1,650㎜　延長376.80m
  急曲線部(一次覆工のみ)
  延長63.70m
- 矩形渠(既設下水道幹線との接続区間，開削工法)　2,000×1,100㎜
  延長1.85m(深夜間施工)
- 立坑(発進立坑，到達立坑) 2 か所(深夜間施工)
- 人孔(下部築造) 1 か所(深夜間施工)

なお，本工事に引き続き，シールド急曲線部の二次覆工や人孔上部築造，立坑の埋め戻しなどを行う次期工事を予定している．

2-3　工　期

平成18年11月～平成20年３月末(平成19年11月時点での工期)．

3　発進立坑設置における地域とのコミュニケーション

本工事は，東京都墨田区の密集市街地の中，最初に発進立坑の整備から開始した．発進立坑用地は，NTTの所有地で，当時，駐車場として利用されていた．周辺には民家や事業所が密集し，近傍には墨田区立中和小学校が立地し発進立坑用地の前面道路は子どもたちの通学路として利用されている．工事着手にあたり，当局と工事施工者とで，平成19年１月31日夜，地域の集会所を借りて，地域住民や学校関係者を対象に工事説明会を開催した(**写真-1**)．

工事説明会当日は，地域住民や中和小学校関係者など約10名が出席し，工事概要の説明の後，質疑応答が行われた．

出席者からは，①シールドルート選定の考え方，②工事に伴う家屋補償，③施工時間，④交通誘導員の配置，について質問が出されたほか，⑤より詳細な工程を随時住民等に告知してほしい，との要望が出された．

これらの要望に対して，下水道局および工事施工者から，①地下埋設物との競合を避けて選定した，②家屋被害が出ないよう施工するとともに，家屋被害が生じた場合は下水道局の規定にもとづき家屋補償を行う，③シールド工は，昼夜間施工であるが地下での工事であり周辺への騒音・振動や交通へ与える影響は小さい．一方，立坑の整備は，近隣に事業所が多く昼間施工では車両の通行に影響を与えるため夜間施工とするよう考えている，④中和小学校の通学路を工事車両が通行することになるため，学校からの要望を受けて適切な配置を行う，⑤より詳細な工程をチラシなどで告知する，などを回答し，出席者からの了解を得ることができた．

写真-1　発進立坑の工事説明会の様子(平成19年１月31日)

しかし，いざ工事に着手すると，苦情が相次いで発生した．発進立坑の整備が密集市街地内における工事であり，深夜間施工(午後８時から午前６時まで)であったため，夜間の騒音・振動に対する苦情が続出したのである．このため，交通管理者や中和小学校などの関係機関と再度協議を行い，施工時間を午後４時から午後11時までに変更し，地域からの理解を得て工事を再開することができた．その結果，６月には発進立坑の掘削が完了し，７月に発進立坑の防音建屋を設置し，トンネル掘削に伴い発生する騒音や振動が周辺地域に影響を与えないようにしている．

次に，当局および工事施工者は，こうして得られた工事に対する地域の「理解」をさらに「親しみ」に変えようと，新たな取り組みを行った．

4　発進立坑のイメージアップ～「スミダン」出現

８月21日，発進立坑の防音建屋(高さ約10m，幅15m，奥行き23m)の外壁に，巨大な地中生物の絵が出現した(**図-2，写真-2**)．その名は「スミダン」．発進立坑近隣に立地する墨田区立中和小学校の５，６年生の子どもたち約50名がデザインした，墨田区の地中に生息する想像上の生き物である．

「スミダン」のデザイン化は，工事施工者が環境芸術学会の賛助会員である関係から，社会や環境における芸術のあり方を研究する環境芸術学会コージアム研究部会が企画し，中和小学校の子どもたちが，埼玉大学教育学部美術専修の学生６名から図画工作の授業の中で指導を受けてデザインを作成した．

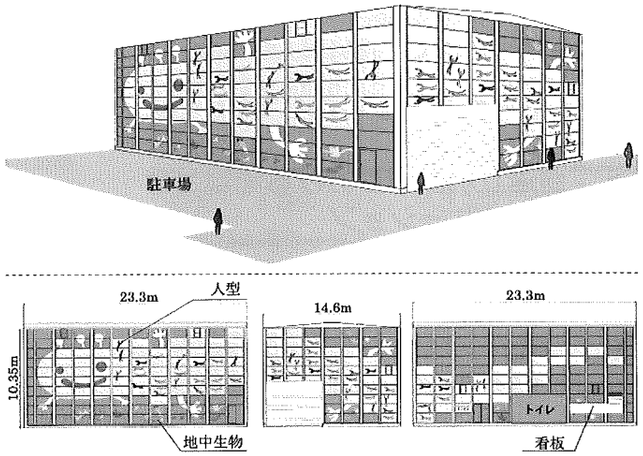
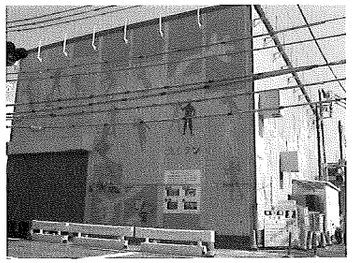
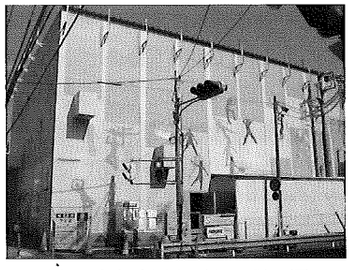


図-2　「スミダン」のデザイン(イメージ図)

(1)　防音建屋を東から見た図



(2)　防音建屋を北から見た図



(3)　防音建屋を西から見た図

写真-2　「スミダン」の全景

デザインを作るにあたっては，工事施工者の担当者がシールド工事の概要を説明したり，埼玉大学の学生たちが「スミダン」をイメージした創作紙芝居を行った後，子どもたちが小学校の体育館で，実際の防音建屋の1/5サイズのモデルを作成してデザインを決定した．完成したデザインは，子どもたちが自由にポーズをとったシルエットが，「スミダン」に乗り遊んでいる絵となった．「スミダン」のデザインは，ウーパールーパーがモデルとなっている．実は，中和小学校では，水生生物であるウーパールーパーを飼育しており，それが「スミダン」の親しみやすいデザインのもととなった．

「スミダン」による防音建屋により，下水道事業に対する理解やトンネル工事のイメージアップが図られ，地域に親しまれる工事となりつつある．「スミダン」による工事のイメージアップは，下水道局・工事施工者・学校・芸術関係者といった多様な主体が連携して取り組んだものである．当局では，今後も，こうした取り組みを進めていくこととしている．

5　到達立坑設置における地域とのコミュニケーション

シールド工事の後半，到達立坑の整備に着手した．到達立坑は，都道(三ツ目通り)の車道部に設置し，今回整備する主要枝線と既設の下水道幹線とを接続させる人孔の下部を築造する．なお，到達するシールドの前胴部分は回収し，別工事のシールドとして転用することとしている(**図-3**)．

都道(三ツ目通り)は東京都区部東側を南北に通過する幹線道路の一つで，昼間の自動車交通量が多く，到達立坑の工事は，交通管理者から深夜間施工(午後9時から翌朝午前6時まで)とするよう指導されていた．

到達立坑に着手した10月2日夜，到達立坑に近接する高層住宅の住民から苦情が寄せられた．夜間工事に伴う騒音や振動で眠れない，というものである．その後，この高層住宅に住む他の住民からも苦情が相次いだ．このため，到達立坑の工事を一時中止し，施工時間を変更できないか検討し関係機関との協議を行った．

しかし，検討や協議の結果は芳しくなかった．幹線道路である三ツ目通りはとくに昼間の交通量が多く，施工時間の午後9時から午前6時，という設定を変えることは容易ではなかったのである．交通管理者との再協議において，工事開始時刻は，交通量の少ない日を選んで試行的に午後8時に早めてもよい，とされた．ただし，工事開始時刻を変更した後に交通渋滞が発生すれば即，開始時刻を午後9時に戻すことを条件とされた．

工事の終了時刻を早めることができないかどうかについても検討を行った．深さ約7mの立坑を築造するための鋼矢板および杭の打設には，工事の手順上，準備や後片付けを含めて最低7時間は必要であり，舗装復旧まで行うには工事の終了時刻は午前3時以降となることがわかった．しかもこの場合，1日の作業量が減るため，工期が数箇月以上伸び，近隣に影響を与える期間も長期化することが明確となった．

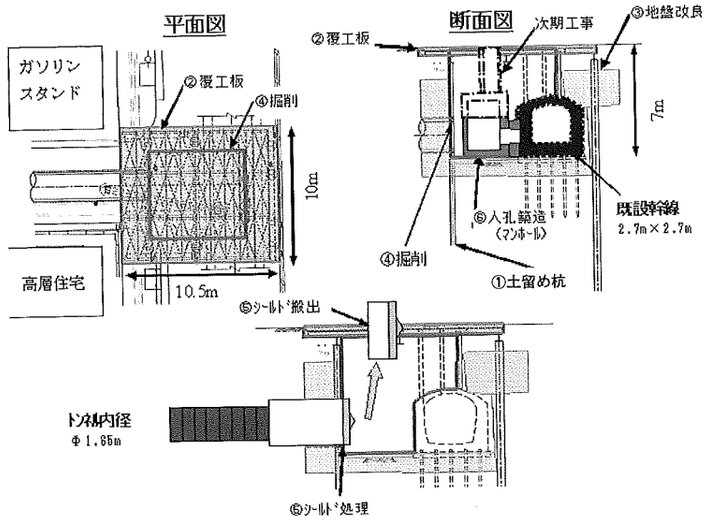


図-3　到達立坑の施工概要

写真-3　到達立坑の工事に関する工事説明会の様子(平成19年11月17日夜)

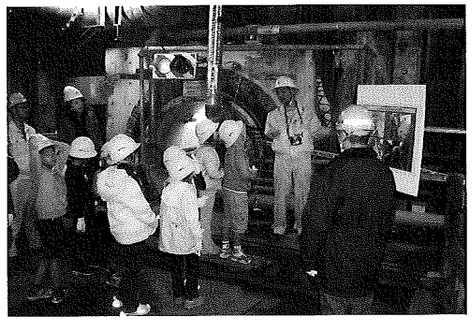


写真-4　発進立坑における中和小学校の現場見学の様子(平成19年12月7日)

加えて，到達立坑の施工が遅延すれば，シールドを再使用する予定の別工事の実施時期を遅らせるか，別途に1機製作しなければならなくなる．

これらのことを総合的に見て，施工時間の変更は，近隣や別工事へ与える影響がかえって大きくなる，と判断し，従前どおりの施工時間で工事を再開することとした．

このため，工事再開に先立ち，到達立坑が近接し苦情が寄せられた高層住宅の住民を対象として，工事説明会を開催することとした．開催にあたり，高層住宅の管理者と相談したところ，住民は平日通勤している方が多いため，工事説明会は週末夜に開催するよう要望された．そこで，工事説明会は11月17日夜，この高層住宅の入り口(エントランス)で行うこととなった(**写真-3**)．都心では住民間のコミュニケーションが希薄だと言われるが，この高層住宅においても，工事への苦情が続出したことや事前に開催を告知していたにもかかわらず，住宅入り口に設けた説明会会場を素通りしていく住民が多く，出席者はほんの数名であった．

工事説明会では，工事の目的や必要性，工事の手順，騒音や振動が発生しやすい工種などの説明を行い，その後，質疑応答を行った．出席者からは，①できる限り騒音や振動の低減を図ってほしい，②騒音や振動の出る工事の内容や日時を事前に告知してほしい，といった要望が出された．下水道局からは，①要望はできる限り工事に反映していく，②今回の工事に引き続き到達立坑内に人孔上部を設置したり，今回築造する下水道管を既設の下水道幹線に接続したりする工事を予定しており，その際は改めて説明会を開催する旨を回答し，出席者の了解を得た．そして，その次の週より，工事を再開した．

再開後，再び住民からの苦情が寄せられるのではないかと心配したが，この間の取り組みが評価されたのか，特段の大きな反対もなく，現在，工事は順調に進んでいる．

6　地域とのコミュニケーションはつづく

12月7，8日の2日間，発進立坑において，地域の住民を対象とする現場見学会を開催した．このうち，12月7日は，防音建屋のイメージアップに協力していただいた中和小学校の子どもたちと先生の計101名に，12月8日には，地域の住民の方々45名に，掘進中のシールドトンネルの中を歩いて見学していただいた(**写真-4**)．

中和小学校については，「スミダン」のデザイン化にかかわった5，6年生だけでなく，3，4年生にも見学していただき，下水道の仕組みやトンネル工事についてわかりやすく説明した．子どもたちからは，「地下でどんな工事が行われているのかよくわかった」「トンネルが学校の前を通って作られているのに，工事による騒音や振動は全然感じなかった」といった感想が寄せられ，大好評であった．中和小学校からは，今回見学できなかった1，2年生にも見学させてほしいとの要望も出され，今後も見学の機会を設けることとして

いる．

本シールド工事を通じて，密集市街地における下水道のトンネル工事の難しさ，とくに，地域住民との継続的なコミュニケーションの重要性を改めて痛感した．下水道は，いったん整備されると使えることが当たり前となり，住民が日常生活の中で下水道の必要性を意識することはほとんどない．さらに，トンネル工事は地下で行われ，地域住民からは何をやっているのか見えないため，不信感を与えやすい．それを打破して事業を進めるためには，工事を実施する側から積極的に地域に働きかけて，下水道事業のPRやトンネル工事の目的や内容の説明に努め，地域住民との合意形成を図り，住民の協力を得ることが必要であり，そのためには継続して地域とのコミュニケーションを進めていかなければならない．

本工事においても，施工中の一次覆工に引き続き，次期工事として，曲線部の二次覆工や人孔上部築造などを実施していかなければならない．工事を円滑に進めていくために，さらに，今後完成する下水道施設に対する理解を深めてもらうために，地域とのコミュニケーションに継続して取り組んでいく所存である．

参　考　文　献

1) 東京都：荒川水系江東内部河川整備計画，2005.9. http://www.kensetsu.metro.tokyo.jp/kasenseibikeikaku/pdf/naibukasenseibikeikaku.pdf
2) 東京都下水道局：地元小学生・大学生・芸術関係者とのコラボレーションによる作業基地が完成しました！，記者発表資料，2007.8.22. http://www.gesui.metro.tokyo.jp/oshi/infn0321.htm
3) 環境芸術学会：巨大な工事現場に空想の地中生物「スミダン」が出現！，記者発表資料，2007.8.22. http://www.gesui.metro.tokyo.jp/oshi/infn0321/sumidann.pdf
4) 環境芸術学会コージアム研究部会：ウェブサイト，http://www.iead.org/bukai/kojium/kojium.html

【書籍紹介】

土木遺産Ⅱ～世紀を越えて生きる叡智の結晶～（アジア編）

（社）建設コンサルタンツ協会『Consultant』編集部 編
2007年11月刊　ダイヤモンド社　本体1,980円

本書は，平成17年に発刊となった「土木遺産（ヨーロッパ編）」のその後の成果として，建設コンサルタンツ協会誌『Consultant』の特集で掲載したアジア各国の土木遺産を紹介した記事をリライトして構成している．ここでは，その施設が長年にわたって使い続けられている理由を探ることに視点を置き，日本国内の類似施設を併せて紹介している．また，その地域文化の礎を訪ね，知的好奇心を満たしたガイドブックとして写真と図表を全頁に配し，一般読者の方にも読みやすいようにしている．

研　究

高速道路トンネル覆工の点検システムの合理化

（株）高速道路総合技術研究所トンネル研究室室長　佐　野　信　夫
（株）高速道路総合技術研究所トンネル研究室研究員　馬　場　弘　二
（株）ネクスコ東日本エンジニアリング常務取締役技術開発部長　山　田　隆　昭
首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境工学専攻教授　西　村　和　夫

1 はじめに

高速道路の供用延長の増加とその高齢化の進むなか，社会的要請により投入できる維持管理費が減少する状況にある．そのため，中・長期的視野に立った維持管理計画の立案とともに，それに必要な点検・評価手法の客観性の確保と定量化が求められており，同時に点検対象，体制，頻度についても根本的な合理化を図るなど，コスト削減も推進しなければならない状況にある．

そのようななか，トンネルの点検技術は，従来の目視を主体とした人力による主観的・定性的な技術から，非破壊検査技術や画像処理技術の開発・導入による，客観的・定量的な技術へと移行しつつある[1]．一方，覆工コンクリートの健全度の評価基準は，管理組織ごとにトンネル用途にもとづいて設定されている[2),3)]．道路トンネルの健全度評価基準では，一部に定量的な基準により分類できるものもある[4)]が，点検結果からトンネルの健全度を判定する際に用いるそれら基準類は，他の構造物の基準類に比べて定性的な表現で示されており，技術者の経験的判断に依存するところが大きく，人的誤差が生じる可能性がある．

著者らは，主に高速道路トンネルを対象とし，その覆工コンクリートの点検精度を確保したうえで，前述の課題を解消しながら，点検システムの経済性と作業効率性の向上を図ることを目標としている．本稿では，これを達成するために，覆工コンクリートの表面画像を用いて行う机上点検と現場での近接目視点検との精度の関係[5)]，および定量的な健全度評価基準の設定[6)]，さらにこれらの研究成果を踏まえた，高速道路トンネルにおける点検システムの合理化[7)]について検討成果の一部を紹介するものである．

2 ひび割れ評価に及ぼす技術者能力の影響

2-1 概　説

老朽化あるいは変状したトンネルの補修・補強を計画するうえで，覆工コンクリートに発生したひび割れ状況などを点検・調査することは不可欠である．高速道路トンネルの点検・調査は，走行中の車内から目視で行う「日常点検」に加え，「定期点検」として徒歩による目視観察が1年に1回程度行われている．さらに5年に1回程度実施される「詳細点検」では，高所作業車を用い，近接目視や打音点検が行われている[8),9)]．

このうち，「詳細点検」で行われる近接目視や打音点検は，人力に大きく依存するものの，簡便な方法であり，狭い範囲の局所的な状況が比較的正確に把握できる．しかしながら，近接目視・打音点検は，①上向きの苦渋作業となること，②暗い坑内で汚れた壁面の点検作業のため変状を見落とす可能性があること，③点検の判定結果に人的誤差が生じる可能性があること，④ひび割れ変状の進行性の定量的評価が難しいこと，⑤トンネル全体

表-1　ひび割れ点検・調査方法

手法	近接目視		計測車両	
呼び名	[1]近接目視点検	[2]詳細調査	[3]ひび割れ詳細解析	[4]連続印刷画像解析
主な使用機器	人力＋高所作業車	人力＋高所作業車	レーザー計測車	レーザー計測車
概要	現場でひび割れ展開図を作成 点検速度 100m/日	現場でひび割れ展開図を作成 調査速度 30m/日	計測データを圧縮処理せず，画像変換してひび割れを検出しひび割れ展開図を作成 計測速度60km/h	計測データを圧縮処理し，縮尺約1/40の連続印刷画像を作成し机上でひび割れ展開図を作成 計測速度60km/h

を広範囲に均一の精度で調査することが難しいこと，⑥交通規制時間が増長し道路交通への影響がみられること，など多くの課題が指摘されている．

高速道路では，覆工コンクリートの点検・調査における上記の課題解決の一方策として，レーザー光線や3CCDデジタルビデオカメラを搭載した計測車両を60km/h程度で走行させる，ひび割れ調査技術を導入している[10),11)]．このような計測車両は，高速道路の最低速度(50km/h)以上で点検走行できるので，点検作業に伴う交通規制が不要になることに大きな利点がある．

この計測車両を用いた点検・調査では，覆工コンクリートのひび割れ変状状態を連続的な画像として記録することになる．ここで得られるデータは，あくまでも「画像」であり，そのなかからひび割れなどの変状を検出するためには，技術者の判断に依存することになる．この方法は，覆工コンクリートの画像データをもとに，机上で点検できることに大きな利点を有するものであるが，判断する技術者の能力によって評価の差異が生じる可能性も考えられる．

そこで本章では，判断能力の異なる技術者間の差異がどの程度生じるものか(ただし，判断能力は，業務資格に置き換えて示す)，さらには今後の同評価手法においてどのような点に着目すべきか，について検討を行った

2-2　ひび割れ点検方法の比較

レーザー光線を用いた計測方法と従来の近接目視による方法の違いを把握するため，供用中の2車線高速道路トンネルにおいて，表-1に示す各種のひび割れ点検方法によって覆工コンクリートのひび割れ計測を行った．そして，各方法で得られたデータをもとにひび割れ展開図を作成することで，ひび割れ状態の比較を行うことにした．調査対象のトンネルは供用中の高速道路トンネルであり，典型的な劣化を示す1スパンを抽出した．

表中の[1]近接目視点検とは，従来の高所作業車を用いた方法であり，現地で複数の技術者によってひび割れ展開図を作成する．[2]詳細調査とは，覆工コンクリートに生じているひび割れ実態の正値(基準値)を押さえるために[1]従来の近接目視点検にも増して時間をかけ([1]の3倍以上)，詳細にひび割れ位置や幅などを確認するものである．[3]ひび割れ詳細解析とは，より精度の高い変状抽出処理を行うため，計測データを圧縮処理することなく画像変換して，解析を行った一技術者の判断にもとづいて，机上でひび割れ展開図を作成するものである．[4]連続印刷画像解析とは，計測データを連続画像印刷装置で印刷可能なデータサイズにするために，ひび割れ部を欠落しないように圧縮処理し，実物の約1/40の縮尺で用紙に出力した連続展開画像を，一点検技術者の判断にもとづいて，机上でひび割れ展開図を作成するものである．なお，[1]と[2]の点検，調査は技師B，技師C，技術員という資格の異なる3名の技術者から構成されている．ここで，資格は旧日本道路公団(以下，「旧JH」)の業務資格にもとづいており，「技師B」が業務経験年数8年以上，「技師C」が業務経験年数6～8年，「技術員」が業務経験年数1～6年で，かつ，規定の講習を修了し，旧JHより管理員の認定を受けた者をさす．

[1]～[4]の方法によって得られたひび割れ展開図をもとに算出したひび割れ密度(ひび割れ延長/ひび割れ点検面積)を図-1に示す．画像を圧縮処理した[4]連続印刷画像解析の方が，[3]ひび割れ詳細解析に比べてひび割れ密度が大きい．これは，

連続印刷画像解析では画像データが圧縮され解像度が低いものの，遊離石灰・漏水などひび割れ以外の付加情報が得られるため，熟練した点検技術者がこれらの付加情報をもとに，ひび割れの有無を推測し，補足追加できるためと考えられる．また，[4]連続印刷画像解析では，ひび割れ幅をwとすれば，[1]～[3]にはみられない$1.0 \leqq w < 2.0$㎜のひび割れ密度3.2cm/m²を含んでいるが，これは画像を圧縮処理することに起因した画像精度の影響と予想される．

基準値([2]詳細調査)に比べ，他のひび割れ点検方法によるひび割れ密度はその83～65%程度と小さい．とくに，[2]詳細調査における幅0.5㎜未満のひび割れ密度に比べ，[3]ひび割れ詳細解析と[4]連続印刷画像解析ではその60～61%程度しか認識できていない．これは，画像データ処理の段階において，幅0.5㎜未満のひび割れを十分に認識できなかったことによるものである．

しかし，図-2に示すように幅0.5㎜未満のひび割れ箇所において，コンクリート片がはく落した事例はほとんどなく，幅0.5㎜以上のひび割れを適切に計測することが肝要である．すなわち，コンクリート片のはく落を管理対象と考えるとき，[4]連続印刷画像解析のような机上解析方法でも，幅0.5㎜以上のひび割れに対して，[1]近接目視点検と同程度の精度を有しており，適切にひび割れ状態を評価できるものと考えられる．

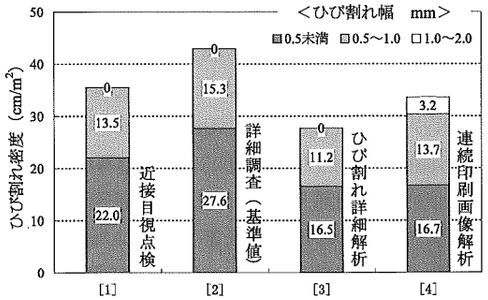
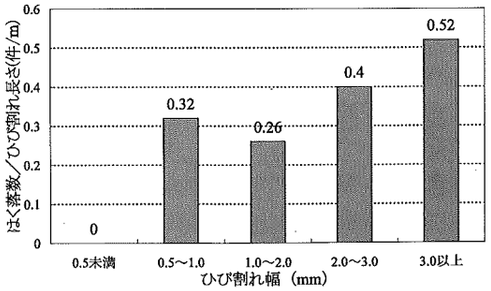


図-1　異なるひび割れ点検方法によるひび割れ密度



注1) 矢板工法トンネル5本＋NATMトンネル3本の調査結果
注2) 打音検査時に強制的に叩き落とした(はく落)箇所

図-2　ひび割れ幅とはく落箇所

2-3　ひび割れ評価に与える技術者の能力の影響

従来の近接目視点検では，(点検)技術者の業務経験の違いにより，ひび割れ判定結果に差異が生じることが問題となっている．そこで連続印刷画像を用いた点検を採用した場合においても，技術者の業務経験の違いによって，作成されるひび割れ展開図に差異が生じることが予想されることから，これらの差異を定量的に把握しておく．そこで，資格の異なる技術者18名に対して，連続印刷画像解析を用いたひび割れ評価の比較を試みた．比較に使用したトンネルは，前節の比較試験とは異なる供用中の高速道路トンネルであり，典型的な劣化を示す1スパンを抽出した．ここで点検を行った技術者の内訳は，「技師B」7人，「技師C」6人，「技術員」5人である．

各資格の技術者が作成したひび割れ展開図をもとに，算出したひび割れ密度の平均値と最大・最小を図-3に示す．ひび割れ密度の値の大きさ(平均)は，技師B＞技師C＞技術員となっており，各技術者の最大・最小間の幅は，技術員＞技師C＞技師Bとなっている．また，各技術者はひび割れ幅を小さく判定する傾向にあり注意が必要である

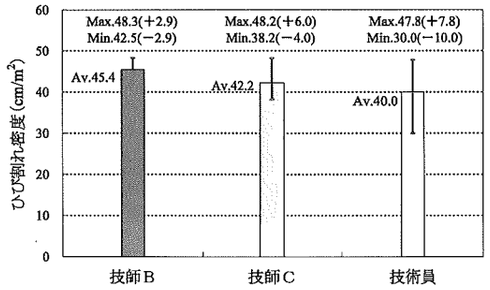


図-3　資格の異なる技術者によるひび割れ密度

ことがわかった[5]．

つぎに，技術者が机上で行う連続印刷画像解析のひび割れ検出精度の向上を図るために，ひび割れ判定誤差を生じる事象について整理・分析を行った．ひび割れのない箇所を間違ってひび割れと判定した「過大判定」の主な原因の割合を**図-4**に示す．この結果に示すように，過大判定の原因の多くが，**図-5a**)のようなコンクリート打ち込み時に生じた覆工コンクリート表面の縞状の模様(縞目模様)や覆工コンクリート表面の粗い部位に煤煙などが付着した箇所，遊離石灰・漏水の流出跡(同図b))であった．ただし，縞目模様や遊離石灰・漏水の流出跡にはひび割れを伴う場合もあるため，その判定には注意が必要である．

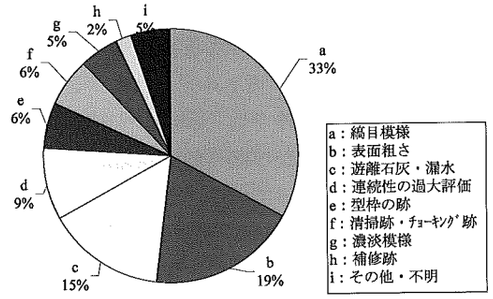
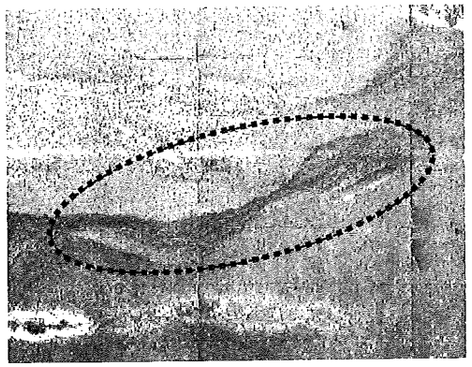
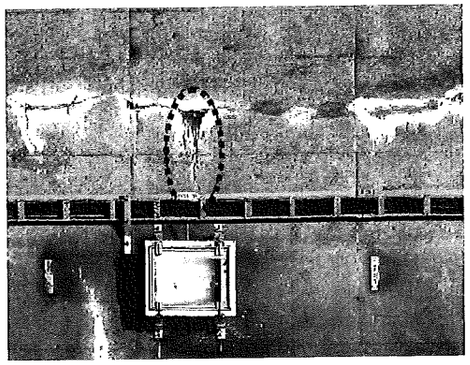


図-4　過大判定の主な原因の割合



a)　ひび割れを伴わない縞目模様



b)　ひび割れを伴わない漏水の流出跡(近傍のひび割れに起因した漏水跡)

図-5　過大判定の主な原因の例

また，ひび割れがある箇所をないと判定した「過小判定」の主な原因として，トンネル内の施設物の背面にあるひび割れを連続したひび割れと判断できないことや，遊離石灰などの近傍にあるひび割れを詳細に把握できないことなどが挙げられる．これらの事象は，連続印刷画像からひび割れ展開図を作成する際の着眼点として留意することによって，ひび割れ展開図の精度向上，ひいてはトンネルの健全度判定の精度向上につながるものと考えられる．

3　健全度評価指標に関する検討

3-1　概　説

本研究における健全度評価基準の構築にあたっては，**図-6**に示す「外力による変状」，「はく落」，「漏水」の3項目を変状評価の対象とした．これは，実際には「外力の作用」によっても「はく落」は生じるが，道路管理者として通行車両に対するコンクリート片のはく落災害を未然に防止することが最優先事項であることを鑑み，原因別の項目ではなく覆工コンクリートに現れる変状現象に着目したものである．つまり，「構造的な安定性」にかかわる主として外力の作用による変状(はく落を除く)と，「利用者の安全性」にかかわるコンクリート片のはく落，および漏水に大きく区分している．

本章では，覆工コンクリートの表面画像から定常的に確認可能な「外力による変状」と「はく落」のうち，「外力による変状」について検討を行った．

3-2　ひび割れ進展と剛性変化にもとづいたトンネル覆工の健全度評価

トンネルの構造的な安定性にかかわる変状のうち，主として外力の作用による変状に対して，トンネルの力学的な健全度を評価し，トンネル覆工コンクリートの補修・補強のタイミングのあり方や対策方法の選定を効率的に実施するためには，覆工コンクリートの現状の残存する耐力を予測する手法を確立する必要がある．

鉄道や道路における現状の維持管理の流れは，トンネル全体を対象とした定期的な目視や打音による簡易な手段を用いて，問題となる箇所を抽出することに主眼を置いた点検が行われ，次の段階として補修・補強の対策時期の判定や対策工の設計に必要となる定量的なデータを得るための詳細な調査が行われている[12),13)]．したがって，トンネル全体の個々のスパンに関して健全度を評価するためには，定期的に実施される点検により得られる「ひび割れ形態」などの進展状況(広がり)から，覆工コンクリートの現状の残存耐力を効率的に予測することが必要となる．

そこで，本章では，1/30スケールの小型載荷実験装置を用いて三次元覆工模型の載荷実験を実施し，荷重形態や断面欠損の状態などをパラメータに，外力の増加とひび割れ形態の進展状況(広がり)，荷重—変位関係，さらに剛性変化との関係を整理した結果[14)]を用いて，ひび割れの進展の状況に応じて覆工コンクリートの残存耐力を評価する指標について検討を行った．

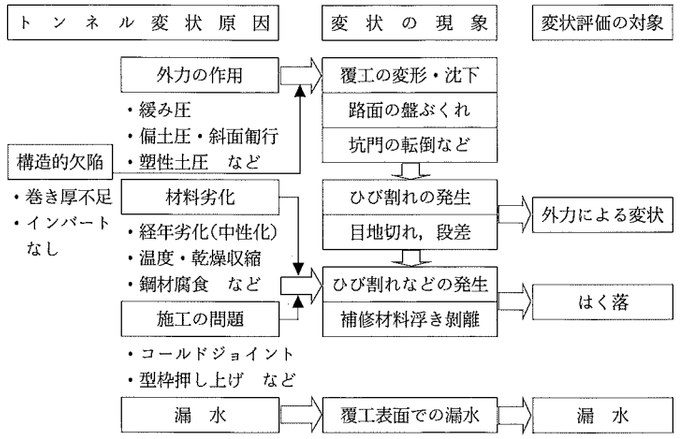


図-6　変状の原因・現象と評価対象の概要

3-2-1　実験概要

実験ケースは，塑性圧，偏圧，鉛直圧，地震時せん断力，支持力不足による不同沈下などさまざまな荷重条件のうち，トンネルに鉛直圧および水平圧が作用する場合の覆工の挙動(ひび割れ発生形態)の全11ケースを実施し，整理を行った．**表-2**に実験ケース一覧を示す．

実験装置は，**写真-1**に示す直接載荷方式の立体模型実験装置(新幹線あるいは2車線道路トンネルの縮尺1/30)である．地盤ばねは円筒形ゴムを用いて，土砂地山から軟岩相当(ばね定数は135N/mm程度)を再現している．載荷板押し込み量δにもとづく変位制御による1ステップ2分間隔とした段階載荷とし，δは自動載荷装置により0.05mm/stepとした．なお，対象とした実トンネルの条件

表-2　実験ケース一覧

No.		グループ1		グループ2		グループ3					グループ4	
		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5	ケース6	ケース7	ケース8	ケース9	ケース10	ケース11
イメージ図												
断面欠損の有無及び位置		健全	端部に6×6cmで巻厚1/2の欠損あり	健全	端部に6×6cmで巻厚1/2の欠損あり	健全	健全 背面空洞あり	健全	中央部に10.8×18.0cmで巻厚1/2の欠損あり	中央部に12.6×18.0cmで巻厚2/3の欠損あり	健全	端部に6×6cmで巻厚1/2の欠損あり
覆工条件	一軸圧縮強度	22.4 N/mm²				25.0 N/mm²		30.0 N/mm2			28.2 N/mm²	28.4 N/mm²
	模型巻厚	20mm	20 mm 欠損部：10mm	20 mm	20 mm 欠損部：10mm	20 mm			20 mm 欠損部：10mm	20 mm 欠損部：7mm	20 mm	20 mm 欠損部：10mm
	模型長さ	320mm										
	縮尺	1/30										
荷重条件	荷重方向	鉛直									水平	
	荷重位置	線状：3点 天端部		集中：1点 天端端部		集中：1点 天端中央部					線状：3点×2 側壁部	
	載荷板のｻｲｽﾞ	6cm×6cm				3cm×3cm	6cm×6cm					
	荷重ｻｲｸﾙ	0.05mm/2min										
地盤ばね材料		硬質円筒形ゴム										
地盤ばね係数		135N/mm										

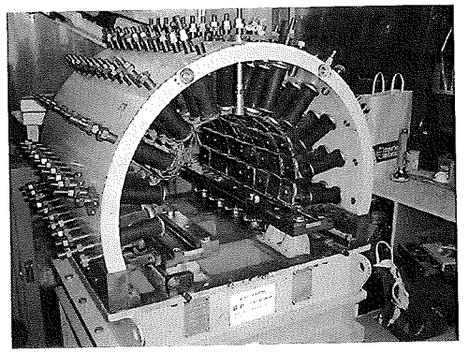


写真-1　覆工模型実験装置

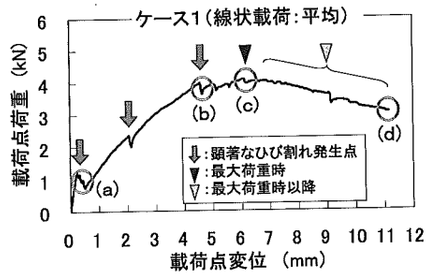
表-3　実トンネルにおける条件および模型実験における設定

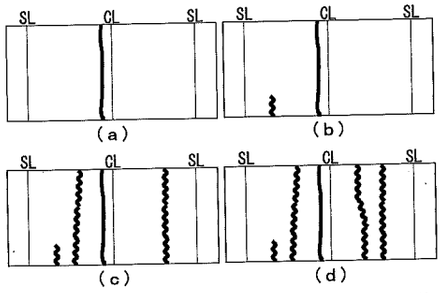
	実トンネル	模型
トンネル形状	トンネル半径4.8m 新幹線標準断面 （高速道路２車線断面に相当）	トンネル半径160㎜ 新幹線標準断面の1/30
覆工巻き厚	60cm	2cm（1/30）
覆工材料	コンクリート 設計基準強度18N/㎟	モルタル 設計基準強度18N/㎟
地山条件	道路：E等級 鉄道：I_N～I_L，I_S等級	地盤ばねのばね係数 135N/㎜で左記を表現
脚部拘束条件	路床，路盤による拘束	硬質ゴムによる固定

および模型における設定は，**表-3**に示すとおりである．

3-2-2　ひび割れの進展と剛性変化

図-7に載荷点の荷重-変位曲線とひび割れ状態の関係の一例を示す．実験ケースによって荷重条件や境界条件はさまざまであるので，それぞれの覆工模型実験から得られる荷重-変位曲線は異なる．しかし，載荷点荷重は，上昇中に数度の急低下をくり返し，ピークを迎え，その後なだらかに減少するような傾向があることが確認された．載荷点荷重の急激な落ち込みを，顕著なひび割れ発生に伴う構造の変化点（応力解放点）と考える．これらの現象を注意深く観察してみると，３回の顕著なひび割れ発生点が見られることから，初期状態（未載荷状態），最大荷重時，最大荷重時以降を加えた六つの変状進行過程に大別して検討することとした．一般的に，抵抗土圧の存在下におけるリングが静定構造物であるためには，力学的にリングあたり３か所のヒンジ形成までは許容される[15]．





━：開口　〰：圧ざ
※展開図は覆工内面のスケッチ

図-7　荷重-変位曲線とひび割れ展開図（ケース１の例）

一方，覆工では３か所以上のヒンジがあっても抵抗土圧があれば安定を保つことがわかっている．このように，覆工が安定を保てるヒンジ数は，抵抗土圧の大きさや分布形状などにより異なる．本研究の主旨は，幅広く活用が可能な，具体的で精度の高い健全度評価基準を提案することであるので，荷重条件に依存しない３か所のヒンジまでのひび割れ発生現象に着目して検討した．なお，図-7の荷重-変位曲線のうち，２回目の顕著なひび割れ発生点でのひび割れ状態については，開口ひび割れが覆工外面に生じているが，ここでの図は覆工内面の展開図を作成しているために表現していない．

ここで，**図-8**に示すように，初めて載荷点荷重の急降下が起こる顕著なひび割れ発生点を１次ひび割れ発生，２回目および３回目を２次ひび割れ発生および３次ひび割れ発生と呼ぶこととする．また，荷重-変位曲線における傾き（荷重/変位）を「剛性値」と定義することとした．さらに，剛性値に着目すると，ひび割れが大きく発生した時点

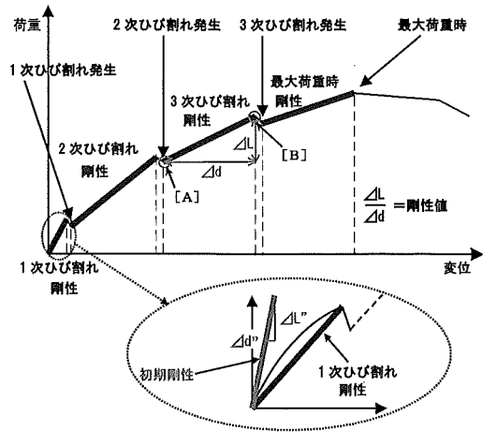


図-8　剛性の算出方法

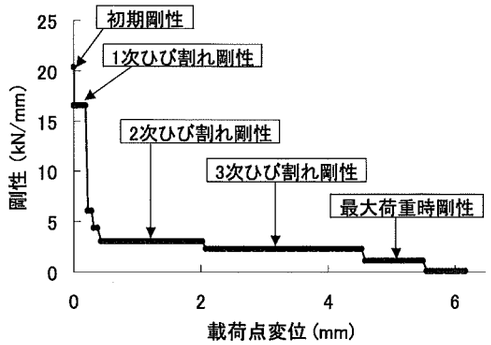


図-9　変位と剛性値の関係（ケース１の例）

で剛性値の低下が確認されている．この剛性値の低下ごとの間を一つの剛性次数（n＝1，2，3，4）と表現することとし，１次ひび割れ剛性，２次ひび割れ剛性，同様に，３次ひび割れ剛性，最大荷重時剛性と定義する．最大荷重時以降は荷重が一定，または，降下をたどることが多いことから，剛性値を“0”として最大荷重時以降剛性とした．さらに，未載荷状態の初期状態の剛性を表現するため，荷重載荷開始直後の実験値の接線勾配を，初期剛性とする．

載荷点変位と剛性の関係の一例を**図-9**に示す．覆工の残存耐力は，ひび割れが発生するとともに低下するが，剛性についても同様の傾向がみられることから，剛性という指標を用いて，覆工の残存耐力を表現することが可能となる．ここで，剛性値は，覆工の寸法の影響を受けるが，初期剛性値で無次元化した剛性値の変化率は覆工寸法の影響を受けないものと考えている[16]．

3-2-3　健全度評価法の提案

本研究では，初期剛性から最大荷重時以降剛性までの六つの変状進行過程時におけるひび割れ形態とともに，剛性値を用いて覆工の現状の残存耐力を表現することで，健全度の評価を行うことを試みた．

（１）　ランク別剛性値の設定

今回実施した覆工模型実験の荷重条件を，実験により発生したひび割れ形態別に表-2に示す四つのグループ（①天端部，線状鉛直載荷グループ，②天端端部，集中鉛直載荷グループ，③天端中央部，集中鉛直載荷グループ，④側壁部，線状水平載荷グループ）に分類した．

ここで，ひび割れ進展による変状進行過程と剛性値とを結び付け，各グループ（荷重条件の違い）を同一の指標により残存耐力を評価するために，統一した健全度評価指標が必要となる．そこで，鉛直載荷グループ，水平載荷グループ別に，それぞれの変状進行過程の各段階における剛性値の平均値を求め，**図-10**に示すようにその平均値の近似曲線を作成した．この近似曲線の各ひび割れ発生段階における値が，剛性の境界値となる．

近似曲線と変状進行過程の各段階との交点を境界値として求めた各ランクの剛性値の幅を，**表-4**に示す．ここでランクとは，変状進行過程の各段階の剛性境界値間を，最大荷重側より各々Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ，……と記すこととし，残存耐力の程度，いわゆる健全度のランクを示すものである．

（２）　健全度評価指標の目安

表-4で求めた健全度ランク別剛性値sの範囲を，鉛直載荷グループ，水平載荷グループ別に健全度評価指標として，ひび割れ形態と剛性の実験値との関係にあてはめグラフ化したものを，グループごとに作成した．天端端部，集中鉛直載荷グループの例を**図-11**に示す．

この図を用いることにより，以下の手順で，残存剛性値を推定し，健全度ランクを知ることができる．まず，地山からの外力の形態をグループ１

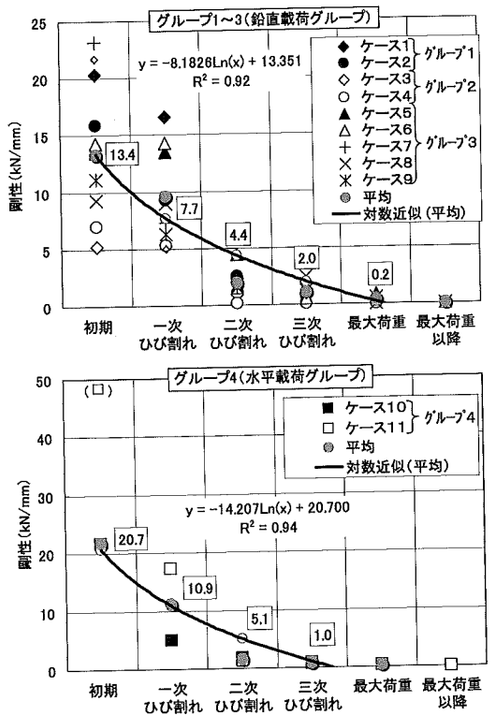


図-10　各ひび割れ発生段階の剛性値

表-4　健全度ランク別剛性値

(kN/mm)

ランク		I	II	III	IV	V	VI
剛性	鉛直載荷グループ	0～0.2	0.2～2.0	2.0～4.4	4.4～7.7	7.7～13.4	13.4～
	水平載荷グループ	0	0～1.0	1.0～5.1	5.1～10.9	10.9～20.7	20.7～

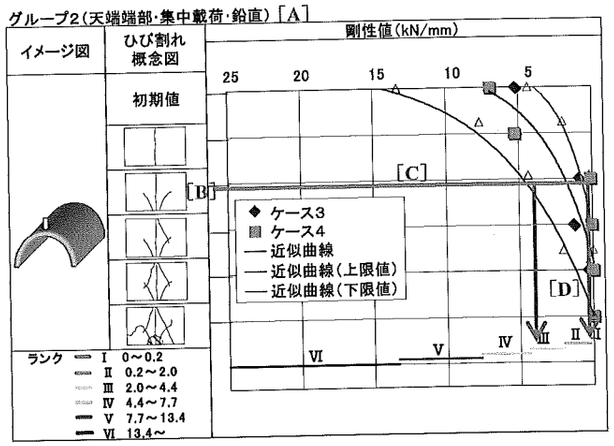


図-11　健全度ランクの求め方説明図

～4から選択する(図-11の[A]). 選択したグループ内で，現状のひび割れ状態にもっとも近いひび割れ形態を選択する([B]). そのトンネルの剛性値は，[C]で選択したひび割れ段階の中心位置の線[C]上で，下限値曲線と上限値曲線で囲まれた範囲にあると推測される．直線[C]と上限値ライン，下限値ラインとそれぞれ交わった点を鉛直下に伸ばし([D])，ランクのラインと交わった箇所で，そのひび割れ段階が，どのランクに当たるかを推定することができる．この例では，健全度はランクIII～IIとなる．

ただし，この過程は，外力形態(変状パターン)が既知の場合であり，外力形態が不明の場合は，点検により得られた覆工に見られるひび割れ状況にもっとも近い形態を，ひび割れ概念図から選択するか，実際にトンネルで変位測定などの調査を実施し，内空断面の変形状態より外力形態を推測するなどして，グループを決定しなければならない．

4　合理的な点検システムの検討

4-1　概　要

本章では，2.1節で概説した計測車両を点検作業に導入することによる，点検システムの効率化とその費用削減効果について検討を行った．

なお，点検した結果については，健全度ランクの判定を行い，判定結果に応じて補修・補強を行うことになる．ここで健全度ランクは，管理組織ごとに対象トンネルの使用目的や重要度によって設定されるものであり，一律に統一することはできない．本研究では，高速道路トンネルの既存の基準類[17),18)]にもとづいて，健全度ランクを表-5に示す6段階(I～VI)に設定している．

4-2　新点検システムの提案

本研究で構築した覆工コンクリートの点検システム(以下，「新点検システム」)のフローを図-12に示す．初期点検以降の点検において新点検システムでは，詳細点検Aの欄に示すように，①計測車両

表-5　点検ランクと補修・補強ランクの関係に基づいた健全度ランクの対応表

健全度ランク	対策時期	対応	道路構造物点検要領(案)[17)一部加筆修正] 点検ランク		設計要領第三集トンネル(トンネル本体工保全編)[18)] 補修ランク		補強ランク	
I	緊急	応急対策・本対策	AA	損傷・変状が著しく，機能面からみて緊急に対策が必要である場合			A	変状の規模が特に大きくかつ進行し，通行車両に対して危険であるため，早急に何らかの補強が必要なもの
II	早急	調査・対策	A	損傷・変状があり，機能低下がみられ対策が必要であるが，緊急に対策を必要としない場合	I	通行車両の安全に対して危険な状態であり，早急に何らかの補修が必要なもの	B	変状の規模が大きくかつ進行し，通行車両に対して危険であるため，早急に何らかの補強が必要なもの
III	速やか				II	通行車両の安全に対して，近い将来危険な状態になることが予想されたり，美観上の問題がある場合で，適切な時期に補修が必要なもの	C	変状があり，それらが進行して，近い将来通行車両に対して危険を与えるため，速やかな補強が必要なもの
IV	計画的						D	変状があり，将来，通行車両に対して危険を与える可能性があるため，重点的に監視し，適切な時期に補強が必要なもの
V		監視	B	損傷・変状はあるが，機能低下がみられず，損傷の進行状態を継続的に観察する必要のある場合	III	早急な補修が必要ではないが，材料劣化などが認められ，監視および場合によっては軽微な補修が必要なもの		
VI		対応不要	OK	損傷・変状がない，もしくは軽微な場合				

注) 交通または利用者の安全に対し支障となるおそれがある場合には，E判定として応急措置がとられる．Eと判定された場合には，点検ランクにEを付加して表示する(例：AA・E，B・E など)．

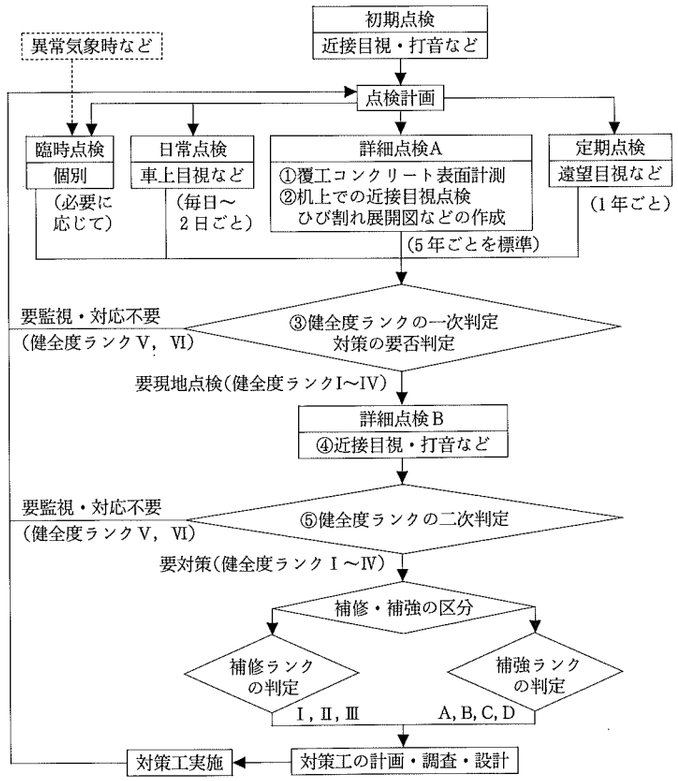


図-12　高速道路トンネルの新点検システム

を用いて覆工コンクリートの表面状態を計測し，②得られた連続印刷画像を机上にて目視点検する．その内容は，スパンごとにひび割れ展開図とひび割れの集計表を作成することである．その後，③健全度ランクの一次判定をスパンごとに行う．健全度ランクを判定する基準[18),19)]は，トンネルの性能項目である，「構造的な安定性」(安全性)と「利用者の安全性」(使用性)において異なる．「構造的な安定性」に対しては，外力によるひび割れと健全度の関連(第3章)も参考にしてトンネルの状態を推定する．変状現象ごとのもっとも危険と判断される健全度ランクがI～IVの場合には，損傷・変状が対策を必要とする状態であるので，現地点検を実施する．健全度ランクV，VIの場合には，損傷・変状があったとしても機能低下が見られないので要監視・対応不要の状態と判定す

る．なお，現地点検が必要と判定されたスパンの健全度ランクⅠ～Ⅳは，現地点検の結果をもとに決定することとした．④現地点検が必要と判定されたスパンには，従来の詳細点検の方法(詳細点検B)を適用し，⑤変状の状態を再確認し，健全度の評価基準と変状事例や変状の進行性を勘案したうえで，健全度ランクⅠ～Ⅳを判定する．

本研究では，この①～③における作業を「詳細点検A」，④，⑤の作業を「詳細点検B」と称する．

この新点検システムを適用することで，「補修」および「補強」の判断を行い，それぞれのランクを決定した後，対策工の計画・調査・設計・施工を実施することとした．ここで，「補修」とはコンクリート片のはく離・はく落，漏水などのように，トンネル構造の安定に直接的に影響しないが，通行車両の安全にとって支障となる要因を除去することなどであり，「補強」とはトンネル構造の耐荷力の低下を抑制または向上させることを意味している．

4-3　点検費用削減を志向した新点検システムの特徴

既往の研究[20]によると，62本のトンネルに対して実施した覆工コンクリートの変状調査において，トンネルが連続する区間であっても各々のトンネルにおける覆工コンクリートの健全度は一様ではなく，比較的健全なスパンの占める割合が高い，あるいは変状が著しいスパンの占める割合が高いというような，両極に位置するトンネルが多いことが報告されている．

このような調査結果を勘案すると，新点検システムでは，従来の点検システムのようにトンネル全長にわたり一律に近接目視点検(詳細点検B)を適用するのではなく，詳細点検Aによってスパンごとに現地点検(詳細点検B)の要否を選別するので，現地点検を必要とする健全度の劣るスパンに注力して，効果的に詳細点検Bを適用できる．このように新点検システムでは従来の点検システムに比べて点検精度を維持しつつ点検効率を高めたシステムとなっている．費用削減効果で優位性が認められれば合理的な点検システムといえる．

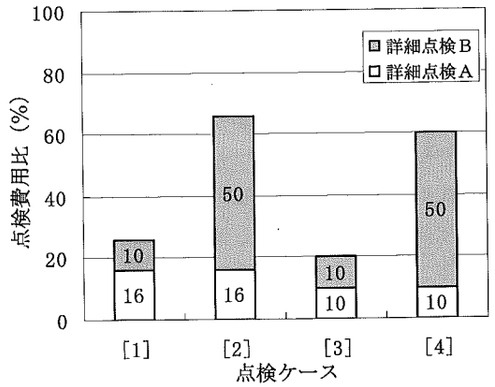
4-4　新点検システムによる費用削減効果の検討

4-4-1　モデルケースの設定と点検費用算出の条件

前節の新点検システムの効率性を活かした場合，どの程度合理化を図ることができるかを確認するために，従来の点検システムとの点検費用の比較を行った．ここで，モデルケースとして，トンネルが連続する区間を有する北陸自動車道の朝日IC～上越IC間を選定した．これは，計測車両の走行速度が60km/h程度と比較的高速なため，複数のトンネルを一度に点検することが可能となり，その経済効果も合わせて確認できるためである．点検区間は朝日IC～上越IC間73.8kmであり，トンネル本数およびその延長は上下線あわせて52本，83.6kmである．

4-4-2　点検費用の比較

点検するトンネル延長は，この区間の平均的なトンネル延長2km×上下線2本＝4kmのケース，前述の点検速度の効果を確認するために，この区間のすべてのトンネル52本，41.8km×上下線2本＝83.6kmを点検するケースの2ケースとした．



注1)点検費用比は，近接目視点検の単価を100%とした場合
注2)[1]，[2]：詳細点検Aの延長2.0km×2において，詳細点検Bの延長が10%，50%の場合
注3)[3]，[4]：詳細点検Aの延長41.8km×2において，詳細点検Bの延長が10%，50%の場合

図-13　近接目視点検と新点検システムの点検単価の比較

した．

図-13に近接目視点検と新点検システム(詳細点検A＋詳細点検B)との点検単価の比較を示す．ここで，点検費用比は，近接目視点検の単価を100(%)としている．また，詳細点検Bの単価は近接目視点検と同等としている．新点検システムは，まず詳細点検Aを実施し，現地点検の不要なスパンを除外して，現地点検の必要なスパンに特定して詳細点検Bを実施することができる．これまでの点検実績では，詳細点検Bの実施割合がトンネル点検延長の10～50%(平均30～40%)であることが多いことから，詳細点検Aの費用に詳細点検Bの費用の10%と50%を加算して示した．当然のことながら，詳細点検Bの実施割合に依存するものであるが，詳細点検Bの実施延長がトンネル延長の84%以下においては，新点検システムは近接目視点検よりも経済性に優れた点検手法であることがわかる．

5　おわりに

本研究では，従来の近接目視点検に替わる点検システムとして，60km/h程度の速度で計測できる車両を活用した新点検システムの提案を行った．そのなかで現時点において必須となる技術者が机上で行う連続印刷画像解析の特性を調べ，技術者の能力による影響など今後の点検・調査の着目点などについて検討を試みた．また，覆工コンクリートのひび割れ展開図をもとに，その健全度に対する定量的な評価基準を提案した．さらに，その新点検システムの費用削減効果について，高速道路トンネルを対象に試算を行い，有効性について評価を試みた．今後は，ひび割れ以外の要因を含んだ「はく落」の点検・評価や評価判定基準の一層の整備に取り組むとともに，トンネルマネジメントシステムへ展開していきたいと考えている．

最後に，本研究を取りまとめるにあたり中川浩二・山口大学名誉教授，吉武勇・山口大学大学院准教授には多大なご指導を賜りました．また，模型載荷実験による検討では旧JH試験研究所トンネル研究室伊藤哲男博士，鉄道総合技術研究所トンネル研究室小島芳之博士，津野究博士，鉄建建設(株)松岡茂博士には貴重なご意見を賜りました．これら関係者の方々のご協力に対し，深甚の謝意を表します．なお，第3章は，旧JH試験研究所(現(株)高速道路総合技術研究所)と(財)鉄道総合技術研究所によって行われた共同研究の成果の一部をもとに取りまとめたものである．

参考文献

1) JTA保守管理委員会：各種装置を活用した新しいトンネル検査手法，トンネルと地下，Vol.37，No.4-10，2006.4-10.
2) 国土交通省道路局国道課：道路トンネル定期点検要領(案)，pp.20-22，2002.4.
3) 国土交通省鉄道局：鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編トンネル)，丸善，pp.16-18，2007.1.
4) 日本道路協会：道路トンネル維持管理便覧，pp.59-137，1993.11.
5) 佐野信夫・伊藤哲男・馬場弘二・西村和夫・吉武勇・中川浩二：連続印刷画像を用いたトンネル覆工コンクリートのひび割れ評価におよぼす技術者資格の影響，土木学会論文集F，Vol.62，No.3，pp.558-566，2006.9.
6) 佐野信夫・伊藤哲男・馬場弘二・小島芳之・津野究・川島義和・松岡茂：ひび割れ進展と剛性変化に基づいたトンネル覆工の健全度評価，土木学会論文集F，Vol.62，No.2，pp.194-202，2006.4.
7) 佐野信夫・馬場弘二・山田隆昭・吉武勇・中川浩二・西村和夫：高速道路トンネルの合理的な点検システムの提案，土木学会論文集D，Vol.63，No.3，pp.391-400，2007.9.
8) 土木学会：トンネル・ライブラリー第14号　トンネルの維持管理，pp.44-52，2005.7.
9) 東・中・西日本高速道路(株)：保全点検要領，pp.3-8，2006.4.
10) 奥野昇・嶋津幸一・伊藤哲男・馬場弘二・吉武勇・中川浩二：レーザー光線による覆工コンクリートのひび割れ調査法の高性能化，土木学会論文集，No.788/V-67，pp.195-200，2005.5.
11) 吉塚守・榎本明博・古賀文俊・山下信秀：ビデオカメラによる覆工コンクリート点検の効率化，EXTEC，No.77，pp.44-47，2006.6.
12) 土木学会：トンネル・ライブラリー第12号　山岳トンネル覆工の現状と対策，pp.85-117，2002.9.
13) 土木学会：トンネル・ライブラリー第14号　トンネルの維持管理，pp.38-63，2005.7.
14) 小島芳之・津野究・佐野信夫・伊藤哲男・馬場弘二・

松岡茂・川島義和：三次元効果を考慮したトンネル覆工のひび割れ進展と力学特性，土木学会論文集F，Vol.62，No.1，pp.53-66，2006.3.
15) 村上博智：村上博智早稲田大学教授退官記念論文集，pp.219，1992.
16) 佐野信夫：高速道路トンネル覆工の合理的な点検システムと健全度評価の定量化に関する研究，首都大学東京学位論文，pp.93-98，2007.9.
17) 日本道路公団：道路構造物点検要領(案)，pp.15-16，2003.8.
18) 東・中・西日本高速道路(株)：設計要領第三集トンネル本体工保全編(変状対策)，pp.44-51，2006.7.
19) 山田隆昭・佐野信夫・馬場弘二・吉武勇・中川浩二・西村和夫：トンネル覆工コンクリートの定量的な健全度評価基準，土木学会論文集F，Vol.63，No.1，pp.86-96，2007.3.
20) 伊藤幸恒・伊藤哲男・原昌信・吉武勇・中川浩二：トンネル覆工コンクリートのひび割れ変状とその点検評価，土木学会論文集，No.714/VI-56，pp.233-238，2002.9.

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

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(9)

JTA都市トンネル小委員会

Q 29. 同時裏込め注入方法で同時裏込め注入装置の長所・短所および選定の際の留意点について教えてください．

A. シールド掘進により，テール内で組み立てられたセグメントがテールを抜け出すと，地山との間に空隙(テールボイド)が生じます．

テールボイドによる応力解放が原因で地盤変状が生じ，地表面の沈下や近接構造物の沈下，傾斜，損傷などの悪影響が発生します．そのためテールボイドに裏込め注入を行い，地山の緩みと沈下を防止します．また，裏込め注入は，セグメントからの漏水防止，セグメントリングの早期安定などに役立ちます．

注入材は，ゲル時間や強度が調整できる2液性の可塑状型が一般に使用されています．なお，裏込め注入圧が高すぎると地盤の隆起の原因となります．

(1) 裏込め注入の注入時期と注入方法

注入時期により，掘進に合わせテールボイドの発生と同時に注入を行う「同時注入」と掘進後に注入を行う「即時注入」に分けられます．

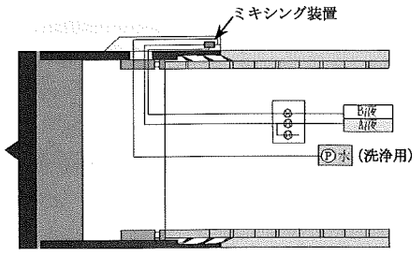
同時注入は，図-1に示すようにシールド本体テール部に設けられた注入管(以下，同時裏込め注入管という)から注入する方法とセグメントのグラウトホールから注入する方法とがあります．

同時裏込め注入管から注入する方法の特長は，以下のとおりです．

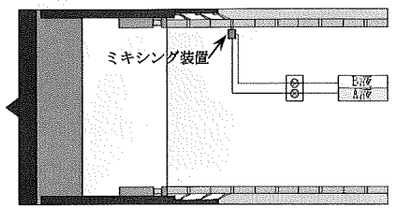
① テールボイド発生と同時に注入が可能であり，早期沈下抑制に有効である．

② セグメントに設けるグラウトホールを削減・省略できるため，漏水の要因を減らせる．

③ ミキシングノズルの盛替え作業が不要となり，作業環境の改善になる．



同時裏込め注入管による注入



セグメントグラウトホールからの注入

図-1 同時注入

グラウトホールから注入の場合は，グラウトホールがテールを脱出するまでは注入ができません．そのため，掘進開始から注入開始するまでの時間を短くするため，テールブラシ位置とグラウトホールの位置を合わせるよう設計をしたり，グラウトホール位置を中央から坑口側にずらしたりすることもあります．

「裏込め注入」に関する実態調査報告書[1]によると，同時裏込め注入管による注入は全体の16%，セグメントグラウトホールからの注入は全体の24%で，同時注入は全体の40%でした．近年では，セグメントグラウトホールからの注入が増加し，

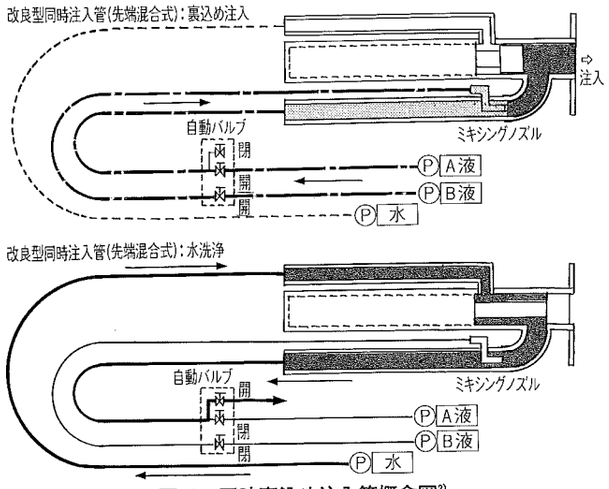


図-2　同時裏込め注入管概念図[2)]

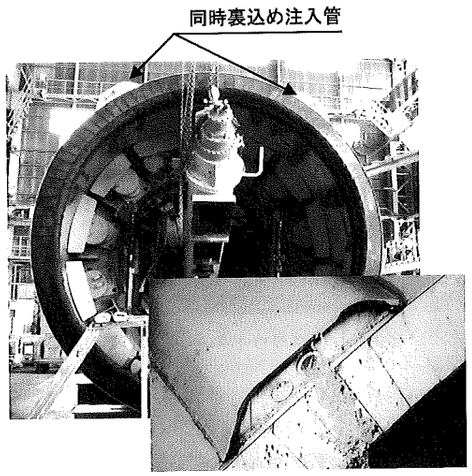


写真-1　同時裏込め注入管設置の例

同時注入が一般的になっています.

(2)　同時裏込め注入管

図-2は同時裏込め注入管の例です. A液(主材)とB液(硬化剤)を混合させるミキシングノズルが吐出口に近く装備され, 洗浄時にはショートジャッキで吐出口を塞ぎ, A液, B液用管内を水洗浄する構造です.

注入は自動注入システムが実用化されており, A液対B液の比率, 注入率, 上・下限の圧力を設定することにより, シールド掘進速度に合わせて自動的に注入を行います.

同時裏込め注入管は, シールド後胴部の上部に近い位置で一般的には, 予備を含め2本以上取り付けられています(**写真-1**). 大断面シールドでは, 吐出量を考慮し4本取り付けている例もあります.

(3)　同時裏込め注入装置の課題と対策

1)　注入管の閉塞

ミキシングされた注入材が注入管内を通るため, 管内に注入材が付着し, 水洗浄していても管閉塞を生じるおそれがあります. 閉塞は主に, 低吐出量注入時で問題となっていました.

この対策として, A液流入管およびミキシング部を脱着可能な構造として洗浄などのメンテナンスを容易にするとともに, ミキシング位置を注入管先端から20～30cmと短くして注入材の付着を低減するよう改良されているものがあります. また, 裏込め材のゲル時間が早過ぎたり, 可塑性の保持時間が短かったりすると, 注入管内の抵抗が上がり, 注入圧力の上昇や管内の目詰まりなども生じますので, とくに急曲線部での裏込め材料の選定も重要です.

2)　テール内への漏洩, テールブラシの固結

注入口がテールプレート端となることから, 注入圧が高すぎるとテールへ注入材が漏洩する, また, 注入材がテールブラシに固結し, 止水性が低下するなどの問題が生じることがあります.

同時裏込め注入管の吐出口に隣接して土圧計を装備して, 注入圧力を常時把握する方法も採用されています.

3)　突出して装備されていることにより発生するトラブル

注入管がスキンプレートからの突起となるため, 発進および到達時の坑口でのエントランスパッキンが形状変化に追従できないことによる出水や, 推進抵抗の増大が考えられます.

前者の対策として, エントランスを突起に合わせた形状とする, 突起部付近ではパッキンを長くし押さえ板の幅を狭くする, 突起部の形状変化をなめらかにするなどの対策が行われています.

後者の対策として, 洪積層などの硬質な地盤の掘削では, 突起出代の小さいものとする, 前方に先行ビットを取り付ける, 装置先端部を補強するなどが行われます. また, 曲線施工がある場合には注入管を短くするなどが行われます.

(4)　選定の留意点

注入方式として同時裏込め注入装置の採否は, 土質条件, 土かぶり, 近接構造物への影響検討解析結果などによる早期注入の必要・重要性だけでなく, 同時裏込め注入管の突出による発進・到達時のエントランスパッキンなどの対応性や掘進中の推進抵抗増大に対する対策や, 急曲線がある場合には最小後胴部長への注入装置装備の可否などを考慮して決定します.

1)　注入管本数の決定

注入管本数は, テールボイド, 設計掘進速度などから算出した必要注入量に対して, 1本あたりの流量30～100 ℓ/minをもとに必要数を求め, 予備管の要否を考慮して装備数を決定します.

同時裏込め注入装置の寸法は, 管径80㎜, カバー厚20㎜により高さ100㎜であったものが, 最近では管径55㎜で高さ80㎜と低い注入管が開発され, 採用実績はシールド外径3,000㎜クラスでも増加しています.

2)　裏込め材の品質管理

注入方式だけでなく, 裏込め注入材の品質の良否が地表面の沈下抑制などに大きく影響しますので, 裏込め材の品質管理が重要です. そのため, 定期的に混練り注入材の性状として, フロー値, ブリージング率, ゲルタイム, 圧縮強度などに関する試験および材料計量器の定期検査などを実施する必要があります.

(文責：磯　陽夫/西松建設(株))

参　考　文　献

1) JTA都市トンネル小委員会：「裏込め注入」に関する実態調査報告書(1), トンネルと地下, Vol.26, No.6, pp.29-38, 1995.6.
2) 塩谷智弘・廣瀬秀男・山口博章：既成市街地下を縦横に縫って掘り進む, 大阪市営地下鉄8号線シールド工事, トンネルと地下, Vol.35, No.9, p.35, 2004.9.

Q 30. シールド掘進に伴う地盤変状のメカニズムとその防止対策方法を教えてください.

A.

(1)　はじめに

シールド掘進に伴う地盤変状は, 施工条件や掘削地盤の性質によって異なりますが, 適切な施工管理によって, 未然にトラブルを防止することは可能です. そのためには, 施工に伴う変状の原因や機構を理解しておくことが必要です. 昨今のシールド工法にかかわる技術の向上により, 切羽安定機能の高い土圧式や泥水式による密閉型シールドの施工が主流をなしています. その結果, 周辺地盤への影響は以前に比べ, 格段に小さくなっているものの, 施工による地盤変状のメカニズムを把握し, 予防策を事前に検討しておくことは重要です. 変状のメカニズムを解明することは非常に難しいことですが, ここではシールド掘進における地盤変状の原因と基本的な現れ方, およびその防止対策について記述します.

(2)　地盤変状の原因と現れ方

1)　切羽圧力のアンバランス

チャンバ内圧力と地山土水圧の平衡状態が失われると, 地盤変状が現れます. チャンバ内圧力が地山土水圧より小さな場合は地表面沈下, チャンバ内圧力が地山土水圧よりも大きな場合は地表面隆起が発生することがあります(**図-1**；①沈下, ②隆起). これらの現象は多くの場合, 地表面沈下は細粒分(粘土・シルト分)の少ない沖積帯水砂層, 地表面隆起は沖積軟弱粘性土層を掘進する際に切羽安定が確保できずに誘発されることが多いようです. 変状の現れ方として, 切羽近傍の地表面において沈下や隆起現象が見られます. 切羽直上から前方30～50m区間での地表面沈下(先行沈下)が発生することもあります. これらは地山の応力解放や切羽の負荷土圧による地盤の弾塑性変形です.

2)　掘削による周辺地山の乱れ

施工時の余掘りや蛇行による地盤変状(図-1；④沈下)が発生することがあります. 変状の現れ

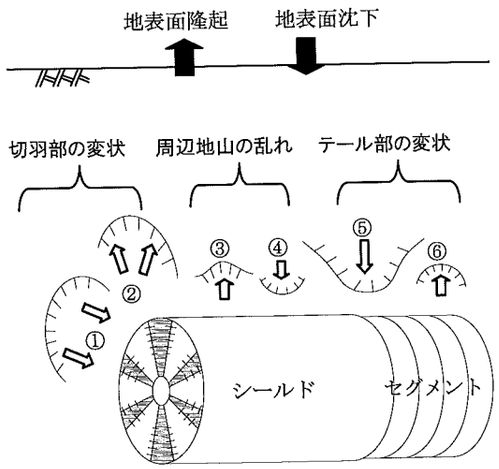


図-1　シールド掘進に伴う周辺地山の変状

方として，施工位置近傍の地表面において沈下現象が見られます．さらに主として沖積粘性土掘進時は，地山とスキンプレートとの摩擦による乱れが誘発される地盤変状(図-1；③隆起，④沈下)が発生することがあります．掘進に伴う周辺地山の乱れが大きくなると，シールド通過後，地表面沈下が数箇月にわたり継続することがあります．とくに，鋭敏比の高い軟弱粘性土の場合は大きな沈下量となります．これは後続沈下と呼ばれ，地山が乱されることによる圧密およびクリープ沈下です．

3)　テール部の変状

テールボイドの発生により，周辺地山はテールボイドに向かって変形し，地盤変状が発生することがあります．密閉型シールドにおける地表面沈下の多くの場合はテールボイドによるものです(図-1；⑤沈下)．その原因は，周辺地山の掘削による自立性に依存するものであり，沈下量の大きさは裏込め注入における注入材料，注入時期，注入圧力，注入量，注入位置などに起因します．過大な裏込め注入圧によって，地表面隆起を誘発することもあります(図-1；⑥隆起)．また，セグメントリングがテール部脱出後，局所的な荷重で変形することによるテールボイドの増加も地盤変状の一因です．変状の現れ方として，テール部直上の地表面沈下現象が見られます．これは，テールボイドに起因する地山の応力解放による弾塑性変形です．

以上，シールド掘進による地盤変状の原因について記述してきましたが，土かぶり比(H/D，H：土かぶり厚(m)，D：シールド外径(m))と地盤変状についても，ある程度の相関関係が見出せます．沖積地盤の場合，H/Dが1.5以下になると沈下量が増大する傾向が見られます．また，洪積地盤ではH/Dの値にかかわらず，沈下量には大差がないといった事例も報告されています[4]．

(3)　地盤変状防止対策

1)　切羽安定対策

土圧式シールド工法では，切羽安定を確保するため，掘進速度とスクリューコンベヤ回転数を調節することにより，チャンバ内圧力を地山土水圧にバランスさせることが重要です．泥土圧シールドの場合，止水効果と掘削土塑性流動化を図ることを目的とした，適切な添加材を選定することも重要です．また，適正な管理土圧を把握するため，事前の検討に加えトライアル施工による管理値の設定も考慮すべきです．大断面シールドの場合，チャンバ内上部と下部の土圧差が大きくなることが想定されます．正確な土圧分布を把握するために，土圧計を多数配置する配慮も必要です．

泥水式シールド工法では地山の透水性に応じて，泥水の品質を確保しながら，安定した泥膜を形成し，地山土水圧に見合う泥水圧を作用させておく必要があります．

2)　掘進による周辺地山の乱れ対策

シールド掘進に伴う周辺地山の乱れをできるだけ緩和するため，蛇行量を少なくするとともに，シールド姿勢制御に配慮する必要があります．急曲線施工では中折れ装置を効果的に使用して，余掘り量の低減を心がけるべきです．また，同時裏込め注入機構を装備したシールド掘進の際，突起形状による地山の乱れを誘発することがありますので，採用の可否も含め，注入管の寸法などについては詳細な検討が必要です．

3)　テール部における地盤変状対策

掘削地盤性状に応じた裏込め注入管理がポイントです．充填性に優れた固結強度の大きな注入材料を使用するとともに，注入圧力，注入量の管理も徹底する必要があります．注入時期はできるだけ早期に行うことが望ましく，同時注入方式を採用するのがよいでしょう．さらに，セグメント継手，裏込め注入孔からの漏水を防止するため，セグメントの組立精度を向上させることや適切なセグメントシールを使用することにも留意すべきです．セグメントリングの変形による地盤沈下を防止するため，継手ボルトの締め付け管理を徹底します．中大断面シールドの場合，セグメントの自重による変形の影響も無視できませんので，計画時にはセグメント形状保持装置の検討が必要です．

(4)　おわりに

ここでは，シールド掘進に伴う地盤変状の現れ方と防止対策について述べてきましたが，周辺地山のゆるみ範囲や地表面沈下量は，掘削技術(掘進管理)の良し悪し，掘削地盤の特性(安定性，強度)，覆工の迅速な施工，掘削断面の大小，併設トンネルの場合はその離隔などに関係します．そのため，施工状況と地盤性状の不確定要素に左右される地表面沈下量(変位量)の把握は，事前予測解析などで簡単にできるものではありません．

シールド掘進時の地盤変状トラブルを未然に防ぐためには，路線全体の地質状況を詳細に把握し，綿密な施工計画を立てておくことが必要です．同時に大切なことは日々の施工管理の徹底です．シールド掘進管理は定型的なサイクルに依存されるものです．順調な施工が続くと，ちょっとした油断から裏込め注入の管理を怠ったため，大きな地表面沈下を誘発してしまったというような事例もあります．トンネル技術者にとって，施工が順調に進んでいても，常に「切羽安定」と「周辺地山の変状」に目を光らせておくことは重要です．

(文責：山口英・新屋かずみ/五洋建設(株))

参　考　文　献

1) 土木学会：2006年度制定・トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，2006.7.
2) シールドトンネルの新技術研究会：シールドトンネルの新技術，土木工学社，1995.1.
3) 地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで，1997.2.
4) 東京都下水道局：東金町雨水幹線その1工事に伴う地盤変状調査解析要約集，1988.

Q 31．工法別(泥水式，泥土圧)の掘削土量管理の方法，ポイント，適切な管理値の設定方法や最近のシステムについて教えてください．

A．切羽の安定を保持しながらスムーズな掘進を行うには，掘進量に見合った掘削土砂を排出する必要があります．しかし，地山の土量変化率や掘削土の単位体積質量にばらつきがあることや，添加材の種類や添加量，あるいは排土方式によって，掘削土砂の容積や質量が変化するため，的確に排土量を把握することは困難な場合が多くなります．また，掘削土砂の性状としても，半固体的性質を示すものから，流体に変換されて排土するものまでさまざまとなります．このため，排土量管理だけを単独に行っても切羽崩壊や地盤沈下を抑制することは難しく，土圧管理と排土量管理を併用することが重要です．

以下に，泥水式および泥土圧シールドの掘削土量計測・管理について述べます．

(1)　泥水式シールドの掘削土量計測・管理

泥水式シールドの場合は，送排泥系統に設けた流量計と密度計による掘削土量の管理を行っており，掘削土量は計測された送排泥流量，密度と土質調査結果である地山の含水比，土粒子比重より掘削土の地山土量に換算して算出しています．真の掘削土量を直接求めるのではなく，間接的な計測により土量管理が行われるため，掘削管理誤差は計器誤差が主なものとされてきましたが，送泥比重，逸泥現象による乾砂量，真比重，掘削時間などの変化によっても誤差が生じることに留意する必要があります．基本的な管理項目は，**図-1**に示すように掘進に伴う掘削土量(排泥流量と送泥流量の差)，乾砂量(排泥乾砂量と送泥乾砂量との差)の二つです．これらの計測値から余掘り量や切羽の崩壊の有無などを統計手法を用いた処理により掘削土量を判断することになります．

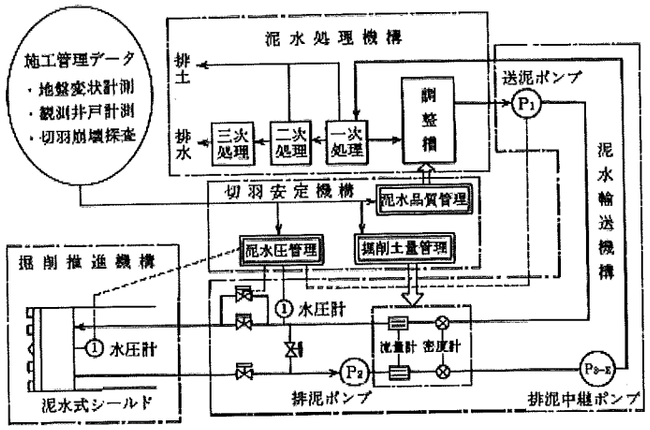


図-1　泥水式シールド掘進管理概要図

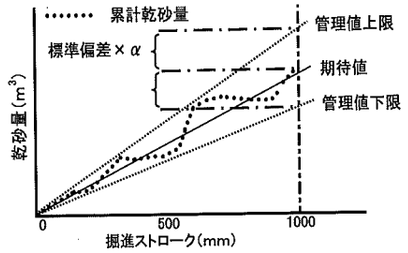


図-2　掘進ストロークによる管理値設定範囲図

V_2：排泥乾砂量(m³)
V_3：掘削乾砂量(m³)
G_1：送泥水比重
G_2：排泥水比重

1)　掘削土量

計算による掘削土量は次式で表せます．

$$Q=\pi/4\cdot D^2\cdot S_t$$

Q：計算による掘削土量(m³)
D：シールド外径(m)
S_t：掘進ストローク(m)

一方，計測による掘削土量は次式で表せます．

$$Q_3=Q_2-Q_1$$

Q_1：送泥流量(m³)，Q_2：排泥流量(m³)，
Q_3：計測による掘削土量(m³)

QとQ_3の対比により逸泥状態(泥水または泥水中の水が地山に浸透している状態，$Q>Q_3$)か，取り込み状態(泥水圧が低いため地山の地下水が流入している状態，$Q<Q_3$)かの判定が可能となります．一般的に崩壊のない正常掘削時には，若干の逸泥状態で管理されることが多いです．

2)　乾砂量

乾砂量は，地山または送排泥水に占める土粒子の体積です．土粒子の真比重は，変らないものとすると，理論乾砂量は次式で表されます．

$$V=Q\cdot 100/(G_s\cdot w+100)$$

V：理論乾砂量，G_s：土粒子の真比重，w：地山の含水比(%)

一方，掘削乾砂量は次式で表されます．

$$V_3=V_2-V_1$$
$$=1/(G_s-1)\times\{(G_2-1)\cdot Q_2-(G_1-1)\cdot Q_1\}$$

V_1：送泥乾砂量(m³)

この式の値は，掘進ストロークあたりの値であり，実際には瞬時の計測値を積分することによって算出します．VとV_3との対比により取り込み不足状態($V>V_3$)か取り込み状態($V<V_3$)かの判定が可能となります．また，理論乾砂量は，100～200m間隔で行われたボーリングデータをもとに掘削断面に現れる各層厚，土粒子の真比重および含水比から算出しますが，それらの推定精度を考えると，これを基準値とするには不適当と考えられます．このため，計測値を統計的に処理し，過去の30リング程度のデータから最小自乗法による推定を行って，次のデータの期待値と標準偏差を求め，統計処理を行い，期待値と標準偏差から管理値の上限および下限を決めています．

(2)　泥土圧シールドの掘削土量計測・管理

泥土圧シールドの場合は，チャンバ内の掘削土をスクリューコンベヤで排出し，鋼車またはポンプ圧送，ベルトコンベヤなどを用いて排土を行っています．計測形式は，後方式と連続式に大別され，その計測内容は重量計測と容積計測の2種類となります．重量計測は鋼車重量の計測があり，容積計測は鋼車台数によるものや，スクリューコンベヤ回転数・圧送ポンプ回転数からの計測によるのが一般的です．

掘削土量管理は，掘削土量が掘削地山の土質や添加材，排土方式により体積，質量がばらつくため，管理の精度を良くすることは難しいですが，

表-1　泥土圧シールドの土量計測方法・留意点

型式			計測方法	留意点
後方計測式	鋼車運搬式		軌条積算荷重計測・ロードセル	鋼車に土が付着したまま積み込むため，誤差が大きい．衝撃に対する注意が必要．
			吊り荷計測・ロードセル	運搬時にベルトコンベヤや鋼車からこぼれる．
			鋼車台数の容量計測	鋼車に土が付着したまま積み込むため，誤差が大きい．土砂性状によって変化する．
	土砂ホッパ計測式		土砂ホッパの基礎柱に荷重計を設置	掘進中は残土抜きができない．
連続計測式	計測ベルコン式	重量式	ベルトコンベヤの下に重量計を設置し，重量を計測	土砂の性状や脈動によってばらつきがある．液状のものは流失する．
		超音波式	定速で動くベルトコンベヤの上に複数の超音波計測点を設置し，排土断面を計測	センサーの設置数により設定値が変わる．ベルトコンベヤ上の土砂に粗密があると誤差が生じる．
		レーザー光式	定速で動くベルトコンベヤの上に複数のレーザー光計測点を設置し排土断面を計測	精度よく断面形状を読み取れるが，土質によって反射性が異なり，誤差が生じる．
	ポンプ圧送式		スラッジポンプのピストン回数をカウント	掘削土の性状によって計測値にばらつきが生じる．
	スクリュー回転計測式		スクリュー回転数をカウント	スクリュー内の土砂の密度のばらつきなどにより誤差が生じる．
	排土管方式	電磁流量計式	排土管に電磁流量計を設置し流量を計測	排土の流速が小さいと精度が悪くなる．土質によりばらつきが大きい．
		超音波ドップラー式	管外から超音波を発信し，ドップラー効果により流量を計測	排土の流速が小さいと精度が悪くなる．ポンプ圧送の脈動でばらつきが大きい．
		比抵抗値計測式	比抵抗値計測物質を土に混入し，電気的に流速を計測	混入物の流動状況が土砂と同一でなければ誤差が大きくなる．
		ローラーカウント式	排土口にローラー回転計を設置し，回転数をカウント	排土の性状に大きく左右される．
		排土管の土圧計測式	排土管内に2点の圧力センサーを設置し，土圧差を計測し流量を算出	圧力センサーの設置場所により，誤差が生じる．土圧の変化により補正が必要．

同種工事や既に蓄積した掘削土量のデータにより変動幅を推定して管理を行います．

表-1に「泥土圧シールドの土量計測方法・留意点」について示します．これら複数の方法により掘削土量の計測，管理，確認を行うことが一般的です．

以下に最近使用されている掘削土量の計測方法を述べます．

1)　鋼車運搬式

排土を目視できるため，一般的に掘削量は，①鋼車1台あたりの容積×台数より算出する方法，②ロードセルで鋼車の重量を計測する方法で排土量の管理を行っています．さらに近年では，これらを併用し，通過点に3Dスキャナーを取り付けて鋼車に積載された土の量を計測し，排土量を管理している事例もあります．

2)　ポンプ圧送式

配管内が見えないためセンサーにより流量を計測するのが，一般的な方法です．排土の状態が一様な粘性土のスラリーで，満管で圧送されている場合は，泥水式シールドで使われている電磁流量計(**写真-1**)で計測することができますが，空気を含んだり，土質の変化により密度が変化したりするなど，一様なスラリーでない場合は測定誤差が大きくなります．近年，泥水式シールドで採用されている電磁流量計とγ線密度計から構成される，より精度の高い排土量システムも開発されています．また，圧送ポンプのポンピング数から排土量を算出して，管理することもできます．

3)　連続ベルトコンベヤ方式

ベルトコンベヤによる管理方法には，重量管理型と容積管理型の二つに大別されます．

重量管理型は，ベルトコンベヤをベルトスケールで計測する方式です．搬送土砂がベルトコンベ

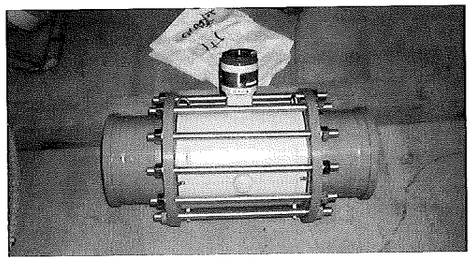


写真-1　電磁流量計

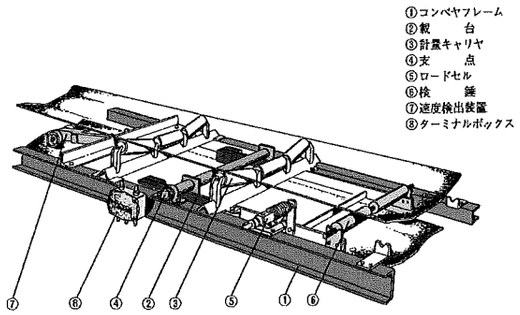


図-3　内部構造図

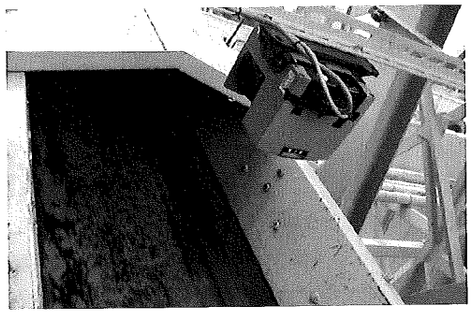


写真-2　レーザースキャナー

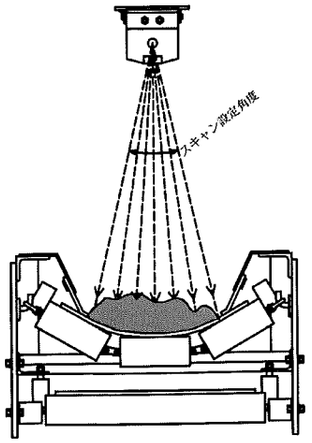


図-4　動作原理詳細図

ヤ上を通過する際に，搬送土砂の重量をロードセルにて計測しパルス発信器よりベルト速度を検出します．この２種類の信号を演算器にて掛け合わせて，時間あたりの搬送土砂重量を算出します．内部構造を図-3に示します．

次に容積管理型は，ベルトコンベヤ上の掘削土量を光学的に計測する方式です．搬送土砂の表面の輪郭をレーザースキャナーにより短周期でスキャンします．スキャン範囲は回転ミラーの回転角度により設定します．このようにして求めた搬送土砂の断面積にベルトコンベヤの進行速度を乗ずることにより時間あたりの搬送体積が算出されます（写真-2，図-4）．

（文責：城野健一郎/鹿島建設(株)）

参　考　文　献

1）地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで，pp.199-208，1997.2.
2）土木学会：2006年度制定・トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，pp.173-179，2006.7.
3）土木学会：土木施工なんでも相談室［土工・掘削編］，p.2-4，2-5，2005.7.

Q 32.　セグメントのクラック・欠けの防止および補修の方法について教えてください．

A.　近年，都市部では地下構造物の輻輳化により，シールドトンネルは大深度化，急曲線・急勾配化が進むなど，厳しい条件下での施工が増えています．一方，経済性の追求からセグメントの薄肉化や幅広化，二次覆工の省略などが図られており，セグメントの損傷リスクは従来に比べ大きくなっています．ここでは，コンクリートセグメントについて，クラック・欠けの防止および補修の方法について紹介します．

（1）　セグメント損傷防止の留意点

1）　施工計画時の留意点

クラック・欠けなどコンクリートセグメントに発生する損傷は，多くの場合，過大なジャッキ推力や大きな偏心量，シールドテール部のせり，セグメント組立精度の低下など，複数の要因が絡み合って発生しています．また，セグメントの損傷

発生は，施工管理の良否に大きな影響を受けますが，トンネル線形，地盤条件，セグメントの基本仕様などが主要因になることもあります．このため，施工計画にあたっては，施工管理の面での損傷防止に留意するとともに，損傷発生の危険性が高いと判断した場合は，セグメントの仕様の変更なども含めた方策が必要となります．以下に具体的な留意点を述べます．

①　荷重条件での留意点

大深度，高水圧下の硬質地盤中のコンクリートセグメントの場合，外荷重により発生する曲げモーメントが小さく，軸力が卓越した状態となるため，必要となるセグメントの桁高が小さく，また鉄筋量も少なくなりがちです．一方，高水圧下では，シールドジャッキ推力は相対的に大きく，反力体であるセグメントに与える影響が大きくなります．また，止水性を確保するためシール材の寸法や反発力は大き目に設定することがあります．このため，このような条件下では，施工時荷重の影響が大きいことに留意する必要があります．

②　線形条件での留意点

一般にシールドトンネルの線形は，直線部と単一半径の曲線部とで構成されますが，シールド掘進にあたっては，曲線前後の直線部からシールドジャッキの片押しなど曲線施工の準備に入りますので，セグメントへの負担は大きくなります．このため，急曲線部では，曲線区間だけでなく，曲線部前後のシールド１機長分程度の直線区間についても，鋼製系のセグメントを採用することが，セグメントの損傷を減らすうえでは，有効となります[1]．

③　シールド，セグメントの仕様検討

シールド，セグメントの形状や仕様は，相互に与える影響を考慮して決定します．表-1にシールドとセグメントの施工計画時の留意点をまとめます．

2）　施工時の留意点

①　過大なジャッキ推力

ジャッキ推力が過大となる要因としては，掘進速度が過大で，掘削土砂をスムーズに取り込めない状況，地盤の緩みによりシールドが締め付けられている状況，テールクリアランスの偏りや裏込め注入材の流入・固化など

表-1　シールド，セグメントの施工計画時の留意点

項目		留意点
シールド	シールドジャッキの配置	・セグメント分割位置を極力押さない配置 ・軸方向挿入型Kセグメントでは，Kセグメントに均等に推力がかかる配置 ・半径方向の推力載荷位置は，偏心量が小さくなるように配置
	ジャッキスプレッダー	・局所的に過大な荷重が作用しない十分な剛性 ・スプレッダー表面に貼る緩衝材の材質確認 ・スプレッダー球座部分の可動性能の確保
	テールクリアランス	・曲線掘進シミュレーションにより，シールド・セグメントの相対的位置関係を把握し，切羽側・坑口側双方のテールクリアランスを適正確保 ・外荷重による変形を少なくするためのテール部の十分な剛性
	中折れ装置	・中折れ機構は，直線部での蛇行修正でも，シールドジャッキの片押しを少なくでき，セグメント損傷防止に有効
セグメント	幅広セグメント	・坑内でのセグメントピースの回転余裕確認 ・テールクリアランスが縦断方向で偏りやすい ・シールドジャッキ推力に対し座屈スパンが大きくなり，破損しやすい
	分割数	・分割数が少ないと，セグメントピースが大きくなり運搬・回転や組立時の微調整がしにくい ・等分割セグメントは，Kセグメントが大きいため，挿入時にセグメントの両サイドを目視しにくく組立性が低下する．また，内外周の寸法差が大きいため，挿入角度を大きくとる必要があり，コーナー部が鋭角となり，破損しやすい
	ボルトレスセグメント	・ピン式継手を用いる場合のピンの挿入余裕は，余裕が大きすぎると組立誤差の増大につながり，小さ過ぎるとピン挿入不能の恐れがでる

によりテール部が拘束されている状況，などが考えられます．ジャッキ推力抑制の方策としては，ジャッキ速度の低下，面板の閉塞解除，余掘り量の拡大，裏込め注入管理圧の見直しなどを検討します．

② ジャッキパターンの偏り

シールドジャッキが片押しになると，ジャッキ１本あたりの推力が大きくなり，スプレッダー位置の圧縮応力度が大きくなるだけでなく，総推力の合力位置が図心から離れて，偏りすぎると，リング間に引張力が働き，リング継手の目開きや破損を生じる恐れがあります．このため，極力偏りの少ないジャッキパターンが望まれます．

③ シールドとのせり

シールドテールとセグメントとのせりによるセグメント損傷を抑止するためには，テールクリアランスの計測をリングごとに行い，シールドとセグメントの相対的な位置関係を常に把握し，テールクリアランスの偏りを管理値以内に収めることが基本となります．また，土圧などによるテールスキンプレートの変形やセグメントの真円度も考慮して管理する必要があります．

一方，急曲線部で縮径セグメントを採用した場合，裏込め材が流入しやすく，通常径に戻した場合に大きなブラシ圧が発生することがありますので慎重な施工管理が必要です(図-1参照)．

④ セグメント組立精度

コンクリートセグメントの損傷は，多くの場合，セグメントの組立精度が悪い状態でジャッキ推力やテールの拘束力など各種の施工時荷重が作用することで発生しています．具体的には，リング継手面の段差は，次のセグメントが組まれてジャッキ推力がかかれば応力が集中し，容易に損傷を生じます．また，継手に目開きが残ったままで，シールド掘進を行えば，目開きが閉じる際にセグメントが変動し損傷を生じます．したがって，セグメントの損傷を防ぐうえでは，セグメントの組立精度を上げることが基本となります．

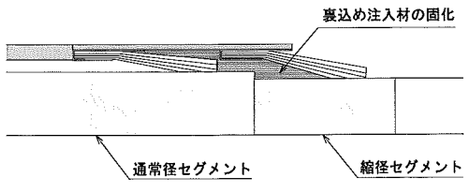


図-1　縮径～通常セグメント移行部概要図

また，ボルトレスセグメントの場合，従来のボルト継手式のセグメントに比べて，組立ピースの微調整が困難なこと，いったん組み立てたピースの位置変更や組み直しが困難なこと，継手部で許容できる誤差が小さいことなどに留意する必要があります．とくに，セグメント継手の締結力が小さいタイプの場合，組立時にシール材をつぶしきれずに目開きが残留し，最後のKセグメント挿入が困難となったり，逆にKセグメントの挿入を容易にするため，ラッパ形状に組み立ててしまうことがあります．いずれもセグメント損傷につながりますので，注意が必要です．また，リング間にピン式継手を用いる場合，隣接ピースのセグメント継手面をこすりながら組み立てるため，シール材のたるみや剥れに注意する必要があります．シール材の剥れは漏水を生じるうえ，剥れたシール材を挟み込み，目開きや損傷につながる恐れがあります．

⑤ 曲線施工

曲線施工では，テーパーセグメントの使用比率が多いこと，シールドジャッキの片押しになりやすいこと，テールクリアランスが偏りやすいことなどから，直線部に比べてセグメントが損傷しやすくなり，注意が必要です．また，シールドジャッキとセグメントの偏角により推力がセグメントの法線方向力として作用し，その結果，周方向の引張力が生じ，クラックを生じることがあります(図-2参照)．このため，曲線施工時は，中折れ装置を有効に用いてできるだけ多くのジャッキで掘進することが有効です．

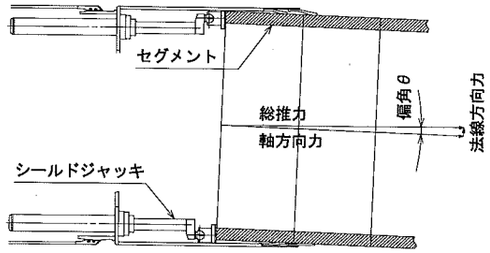


図-2　シールドジャッキとセグメントとの偏角概要図

(２) 損傷発生時の対応

1) 損傷状況の確認

シールド施工中にセグメントに損傷を生じた場合，もっとも重要となるのは，なるべく早期に，損傷原因を特定し，適切な対策を講じることで，残された施工区間において，同じ損傷をくり返さないことです．そのためには，損傷状況を正確に把握することが必要となります．前述のようにセグメントの損傷は，複数の要因が絡んで発生する場合が多いため，損傷の状況，発生時期，そのときの掘進データなどを詳しく調べる必要があります．表-2に損傷原因の把握に必要な項目をまとめます．

表-2　損傷原因の把握に必要なデータ

損傷状況	軸方向クラック，周方向クラック，隅角部の欠け，セグメント継手部の損傷，リング継手部の損傷，背面の割れ，ヘアクラック，その他
発生時期	初期掘進，本掘進，直線部，曲線部，曲線の前後，その他
発生箇所	上下左右，全体，A・B・Kセグメント
発生タイミング	セグメント組立時，掘進時(テール内，テール通過中，テール通過後)
掘進データ	切羽圧，カッタトルク・回転方向・回転速度，コピーカッタ，ジャッキパターン，ジャッキ圧，ジャッキストローク，掘進速度，回転角(ヨーイング，ピッチング，ローリング)，中折れ角度，テールクリアランス，グリース圧，裏込め注入圧，その他
出来形データ	目開き量，目違い量，真円度，セグメント倒れ
基本データ	土質条件，シールド諸元，トンネル諸元，覆工諸元

2) 損傷原因の把握と対策の検討

損傷状況を確認した後で損傷原因を推定するとともに，対策を立案します．損傷原因は，複雑に要因が絡むので，経験豊富な施工技術者の意見を聞いたうえで，原因を絞り込みます．また，対策も複数考えられますので効果の確認を慎重に行う必要があります．

3) 補修方法の選定

① クラック補修

クラックの補修方法としては，ウレタンやエポキシ樹脂の注入工法や，表面被覆工法があります．クラック幅による補修の要否は，設計条件や環境条件および漏水の有無により判断されますが，一般的には0.15～0.2㎜が境となります．プラグ式の樹脂注入工法の施工手順を図-3に示します．また，微細なクラックに対しては，クラック表面を被覆することにより酸素供給をシャットアウトするとともに，美観を保つ，変成高分子シリカ系塗料な

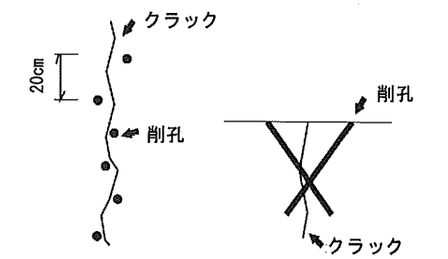


図-3　プラグ式樹脂注入工法の施工手順

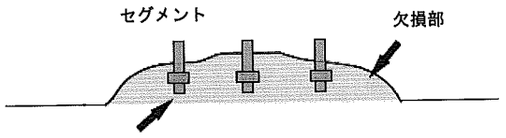


図-4　剝離，欠け補修　概要図

どによる表面被覆工法や，軽度の漏水を伴う場合は，クラック表面に塗布することでクラック内部まで水と反応してセメント結晶を増殖させ，止水と空隙充填を行う浸透性防水材による塗布工法があります．

② 剝離，欠け補修

剝離，欠けの補修は，損傷の形状や深さ，補修後の欠落の恐れの有無などから補修方法を選定します．欠落の恐れがある場合は，アンカーなどを設置してから，補修モルタルを充填します(図-4参照)．なお，補修モルタルには，セグメントと同等の圧縮強度を求める場合もあります．また，仕上がり色は，乾燥時に合っていても湿潤状態では目立つ場合がありますので，留意する必要があります．

(文責：金子正士/三井住友建設(株))

参 考 文 献

1) 土木学会：トンネル・ライブラリー，第17号，シールドトンネルの施工時荷重，2006.10.

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

送付先　株式会社土木工学社 編集部 投稿係

〒162-0832東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂

電話 (03) 3267-2888(代)

トンネル　ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

上浅貝トンネルが貫通

福島県いわき市が整備を進める都市計画道路台山水野谷町線(仮称)上浅貝トンネルの貫通式が行われた．(仮称)上浅貝トンネル新設工事は，L=317mで幅員14m．

赤瀬トンネルで貫通式

山口県が整備する岩国市本郷町波野の赤瀬トンネルの貫通式が行われた．トンネルは2本でそれぞれL=175mと68m，幅6mの片側1車線．同トンネルは同市美川町と本郷町を結ぶ県道徳山本郷線の波野地区での改良工事の一環で，区間整備が終わる年内の開通を予定している．

佐渡島　多田トンネルで貫通式

新潟県が整備を進める主要地方道佐渡一周線，多田トンネルの貫通式と貫通祝賀会が行われた．同トンネルは延長1,511m，全幅員8.5mのNATMトンネルで，佐渡島内で3番目に長いトンネルとなる．

地山は主として中・古生層の砂岩・頁岩・凝灰岩などからなっており，付加体，メランジュなどの地質の変化や湧水などに悩まされた工事だったが平成16年1月の掘削開始から約4年でトンネル貫通を迎えた．

今後，平成21年度の開通を目指し，覆工コンクリート，舗装，電気設備工事などの工事を進める．

矢代第2トンネル貫通式

福井県が整備を進める小浜市矢代ー田烏間を結ぶ国道162号矢代第2トンネル(仮称)の貫通式が行われた．

トンネルは全長1,027m，幅9.7m．矢代側と田烏側の2工区に分け，昨年春から夏にかけて着手し，両側から掘り進めた．平成21年度のトンネル完成を目指している．

新松尾トンネルが貫通

四国地整が事業を進める国道56号宇和島道路において，平成17年3月に着手された新松尾トンネル(仮称)(L=2,031m)が，約2年10か月の工事期間を経て貫通した．

同トンネルは，国道56号宇和島道路の津島IC(仮称)～宇和島南IC間に位置するトンネルで，宇和島道路では最長のトンネルとなる．

今後は，コンクリート打設工事などを行い，平成20年3月の完成を図るとともに，津島IC(仮称)～宇和島南IC(宇和島市津島町高田間の早期供用を目指す．

北陸新幹線飯山トンネルで貫通式

鉄道・運輸機構が整備する北陸新幹線飯山トンネルが全貫通し，貫通式が行われた．

同トンネルは長野・新潟県境の22.225kmの山岳トンネル．「上倉工区」「富倉工区」「新井工区」「東菅沼工区」「木成工区」「板倉工区」の6工区に分け，平成10年に着工．泥岩主体の褶曲構造の地山のなか，膨張性地山，未固結層，可燃性ガス，高圧帯水層などさまざまな困難に遭遇したが，補助工法を駆使し，9年5か月を経て貫通した．

山岳トンネルとしては，八甲田(26.455km)，岩手一戸(25.808km)に続き，第3位の長大トンネルとなる．

岩戸トンネル(2期線)が開通

中部地整岐阜国道事務所が整備を進める一般国道156号岐阜東バイパス岩戸トンネル(2期線)の完成式典が行われ，同日2期線トンネルへの交通の切り替えが行われた．

岐阜東バイパスは，交通混雑緩和および交通安全確保を図ることを目的とした岐南町八剣から関市山田に至る延長約13.4kmの道路で，これまでに，岐南町八剣から岐阜市入舟町交差点までの6車線2.5kmが昭和62年度に完成し，今回の開通予定区間を含む入舟町交差点から岐阜市日野南5丁目までの4.2kmが暫定2車線で平成3年度に開通していた．

同トンネルの完成により，入舟町交差点から岐阜市日野南1丁目までの2.5kmについて一部供用が始められ，すでに供用されている一期線トンネルのリフレッシュ工事の完成後，年度内に全線4～6車線化する予定．

京都市営地下鉄東西線延伸が開業

京都市が建設を進めてきた東西線延伸線(二条～太秦天神川)2.4kmが完成し，営業を開始した．

工事は，シールド区間である「二条西工区」「西大路西工区」，駅部を開削で施工する「西大路駅工区」「天神川駅工区」の4工区に分け行われた．

シールド区間のうち，二条西工区は，ϕ5.7mの並列トンネルで，洪積の礫質層を泥土圧シールド2機用い，平均日進5mで838mを掘進した．西大路西工区は大断面となるϕ9.3mの複線トンネルを採用．洪積の礫質層を泥土圧式で1,162m掘伸した．平均日進は7mであった．

西大路西工区では，インバートの埋め戻しが1万m³以上となるため，コンクリートでの埋め戻しに替わり，発生土による流動化処理土を用いた．処理土は，天神川駅工区内のプラントで作成し，天神川駅上部埋め戻しにも用いられた．

延伸開業に伴い，烏丸御池駅～太秦天神川間を約8分で結ぶとともに，京阪京津線の太秦天神川駅までの乗り入れ延長についても同時に実施される．

文献紹介

研　究・開　発

山元弘：建設ロボットによる掘削作業の自動制御技術の開発，基礎工，Vol.35，No.9，2007.9.

小峯秀雄・大橋良哉・安原一哉・村上哲：ベントナイトの膨潤圧・膨潤変形特性に及ぼす温度履歴の影響とその要因，土木学会論文集C，Vol.63，No.3，2007.10.

土谷幸彦・倉川哲志・工藤健・小西真治・小島芳之・東畑郁生：海底トンネルの覆工の長期挙動と評価に関する研究，土木学会論文集C，Vol.63，No.3，2007.10.

上田保司・生頼孝博・田村武：土の凍結線膨張率を取り込んだ3次元地盤変形解析，土木学会論文集C，Vol.63，No.3，2007.10.

桑野健・大西有三・西山哲・佐々木靖人・川北稔：岩盤崩壊のリスク評価に向けたハザードマップ作成に関する研究，土木学会論文集C，Vol.63，No.3，2007.10.

髙野智宏・堀口敬・佐伯昇：高温加熱を受ける高強度繊維補強コンクリートの耐火性能について，土木学会論文集E，Vol.63，No.3，2007.10.

小山俊博・石橋勝彦・金子岳夫・南将行・小林順二・齋藤敏明・菊地宏吉：大規模地下発電所空洞の時間依存性変形挙動に関する研究，土木学会論文集F，Vol.63，No.3，2007.10.

菊本智樹・川端信義・丸山大輔・山田眞久：乗用車専用小型道路トンネルにおける火災時の煙挙動に関する模型実験，土木学会論文集F，Vol.63，No.3，2007.10.

加藤寛・神原隆則：練馬トンネルにおける地下水流動保全工法による地下水変動の推移，土木施工，Vol.48，No.11，2007.11.

土橋浩：大都市の地下を貫く道路，首都高速中央環状線山手トンネルの開通，地質および構造の概要，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

田中充夫・岡野孝司：大都市の地下を貫く道路，首都高速中央環状線山手トンネル開通，トンネル防災・安全対策の概要，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

三具正孝：大都市の地下を貫く道路，首都高速中央環状線山手トンネル開通，トンネル施設の概要，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

石田高啓・小林靖典：シールドトンネルの耐震設計と耐震照査事例，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

寺島善宏・白鳥明：開削トンネルの耐震設計，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

並川賢治：シールドトンネル切開き技術の開発と今後の展望，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

石戸谷淳：道路トンネルに適用した低濃度脱硝技術，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

施　　工

秋田満留・津川優司：自動化オープンケーソン工法(SOCS)を用いた最近の施工事例，基礎工，Vol.35，No.9，2007.9.

加藤元彦・前島俊雄・平井秀幸：LPG岩盤貯槽掘削における情報化施工，波方国家石油ガス備蓄基地，基礎工，Vol.35，No.9，2007.9.

都築保勇・平出廣和・依田淳一：大土かぶり高水頭未固結砂岩層での大崩落とその復旧，北陸新幹線　飯山トンネル，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

植村技研工業(株)NOS事業部：オープンシールド工法(NOS)，厳しい施工条件の中で環境に配慮したボックスカルバート埋設工法，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

中尾努・古川衛・田村武：砂礫地盤を対象にした泥土圧シールド工法の地盤変状計測結果に関する一考察，土木学会論文集F，Vol.63，No.3，2007.10.

飯田廣臣・野々村政一・小山幸則・小西真治・小泉淳：シールドを用いた場所打ちライニングの挙動に関する現場計測結果とその考察，土木学会論文集F，Vol.63，No.3，2007.10.

土屋正彦・小山文男・山本平：ボスポラス海峡横断鉄道トンネル，アジアとヨーロッパを結ぶ海底トンネル，土木技術，Vol.62，No.10，2007.10.

井畑敏昭・杉原光広：ナムツン2水力発電プロジェクト，ラオスでの108万kWの水力発電工事，土木技術，Vol.62，No.10，2007.10.

設楽和久・松本政徳・谷倉泉：河川堤防における樋管の調査と補修・補強，内径1m以下の小口径樋管に対する内巻き管渠更生工法の採用事例，建設機械，Vol.43，No.11，2007.11.

馬場畑美敏・山下清広・平岡康之：地下埋設物が輻輳する交差点内を開放型矩形シールドで施工，大阪市営地下鉄第8号線　緑橋駅連絡通路，建設機械，Vol.43，No.11，2007.11.

森山守・寺田光太郎・松原利之・小林伸次：土かぶりが1,000mにもおよぶ不良地山帯との闘い，東海北陸自動車道飛騨トンネル工事，建設機械，Vol.43，No.11，2007.11.

黒川英知・梅田一成・木村幸雄：TBM先進導坑および新割岩工法で新幹線直上部を掘る，国道2号三原バイパス　第5トンネル工事，建設機械，Vol.43，No.11，2007.11.

高松良行・大井和憲：共同溝整備事業におけるコスト縮減と工期短縮への取り組み，八潮共同溝Ⅱ期工事におけるワンパスセグメントの施工事例，土木技術，Vol.62，No.11，2007.11.

足立賢一・伊與田弘樹・千場洋：水環境を考慮した山岳トンネルの止水工法について，八王子城跡トンネル，土木技術，Vol.62，No.11，2007.11.

塩崎正人・安藤文彦・岡本隆：3次元レーザースキャナーのトンネル施工管理への適用事例，建設の施工企画，No.693，2007.11.

荒神敏郎・大古殿利直・寺島善宏・宗澤敦郎・柴田佳彦・篠原浩史：都市部における大断面泥水式シールドの施工事例，上落合シールド，東中野シールド，本町シールド，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

土橋浩・松田満・松原健太・高橋忠：都市部で長距離掘進した大断面泥土圧シールドの各種対策，中落合シールド，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

波津久毅彦・松田満：二次覆工を省略した道路シールドトンネルの耐火構造と施工，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

渡邊健司・齋藤純一・大住元豊：大深度開削トンネルで路下施工した地中連続壁(鋼製壁式)の設計施工，要町換気所，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

川田成彦・蔵治賢太郎・亀川信・三浦俊彦：地下鉄直上を掘削する開削トンネルのリバウンド対策，本町換気所，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

蔵治賢太郎・大古殿利直・上代慎之介・宇佐美誠治：地下鉄が斜めに横断する土留め壁の設計と施工，本町換気所，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

並川賢治・荒神敏郎・小川晃・川崎光洋：開削工法によるシールドトンネル分合流部の設計施工，中央環状線西池袋出入口，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

蔵治賢太郎・蒲和也・宮脇卓哉・国谷一彦：非開削工法によるシールドトンネル分合流部の設計施工，西新宿JCT北連結路，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

松田満・荒神敏郎・伊藤信次・柴田佳彦：シールドトンネル上下線連絡坑の設計施工，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

渡邊健司・蔵治賢太郎・吉田祥二：都市部で施工したアンダーピニングの施工事例，地下鉄丸ノ内線，神田川交差部，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

川田成彦・倉持豊・池口潤一：幹線道路の直下で施工した既設洞道φ3mの非開削撤去，バックフィルシールド工法，基礎工，Vol.35，No.12，2007.12.

維　持　管　理

曽川彰・鈴木裕之・中村耕治：長大道路トンネルの維持管理，関越自動車道　関越トンネル，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

川島康孝：長大海底鉄道トンネルにおける維持管理，津軽海峡線　青函トンネル，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

小宮山隆：地下放水路トンネルにおける維持管理，首都圏外郭放水路，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

小島芳之：事例に学ぶトンネルの変状と対策，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

太田裕之：トンネルの調査・診断技術，維持管理時代をむかえて，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

太田裕之：トンネルの補修・補強技術，維持管理時代をむかえて，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

横尾敦：都市NATMにおける補強技術，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

東晋一郎：日本一長い対面通行トンネルを安全・快適に，東海北陸自動車道　飛騨トンネル，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

国土交通省都市・地域整備局大都市圏整備課大深度地下利用企画室：大深度法の概要と最近の動向，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

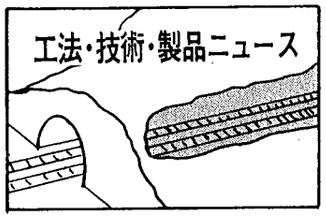
寺島善宏・松田満：維持管理を考慮したトンネルの施工事例と維持管理計画，中央環状新宿線　山手トンネル，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

西村高明・沼澤憲二郎：維持管理を考慮した地下鉄建設と特徴的な施工技術，東京メトロ副都心線，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

小西真治：我が国のトンネル技術の進展と現況，これまでの技術とこれからの技術，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

川田成彦・伊藤崇法・岡野孝司：首都高速道路におけるトンネル防災技術，首都高速中央環状新宿線，土木施工，Vol.48，No.10，2007.10.

佐野信夫・馬場弘二・山田隆昭・吉武勇・中川浩二・西村和夫：高速道路トンネルの合理的な点検システムの提案，土木学会論文集D，Vol.63，No.3，2007.10.



アーティキュレートダンプトラックをモデルチェンジ

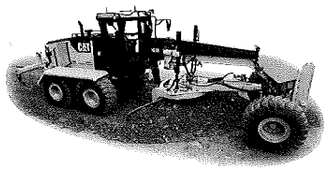
新キャタピラー三菱は，3軸6輪駆動のアーティキュレートダンプトラックCAT 730(最大積載量：28.1t)をモデルチェンジし発売した．

同機は，排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減する新世代環境対応型エンジンACERTを新たに搭載し，国内のオフロード法少数特例基準に適合．EPA・EUの第3次基準値排出ガス規制をクリアする能力も備える．また，従来機に比べエンジン出力や最大積載量をアップし生産性を向上するとともに，車両の異常を監視するモニタリングシステムを進化させ，安全性にも配慮した．

ジョイスティックコントロールシステムのモーターグレーダー

新キャタピラー三菱は，モータグレーダ2機種をモデルチェンジし，発売を開始した．

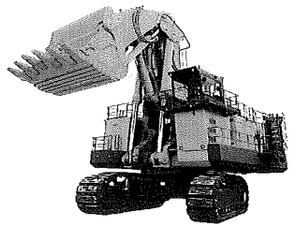
新発売されるのはCAT 14M(ブレード幅4,270㎜)とCAT 16M(同4,880㎜)．「ジョイスティックコントロールシステム」を新たに採用し，運転席左右のジョイスティックレバーにより，ブレードやステアリング，前後進速度段などを同時に操作可能で，作業効率が大幅に向上．運転操作の習熟も早く，生産性向上に大きく寄与する．また，速度段に応じてエンジン出力を自動的に設定するバリアブルホースパワーシステムや，エンジン冷却水の温度に合わせファン回転数を自動的に調節するデマンドファンシステムを採用するなど，昨今の燃料価格高騰を背景に高まる省燃費へのニーズにも応えている．



超大型ショベルを発売

日立建機は，超大型油圧ショベル4機種の発売を開始した．

今回のモデルチェンジでは，エンジン式のEX1900-6，EX2500-6，EX3600-6の3機種についてEPA排ガス2次規制に対応した新型エンジンを搭載するなどを行った．また，超大型電動式ショベルの需要が拡大しているため，電動モータ式のEX5500E-6(写真)を新たに開発した．



「除雪機械展示会」に出展

川崎重工は，北海道千歳市で開催された「2008ふゆトピア・フェアin千歳」における「除雪機械展示・実演会」(主催：(社)日本建設機械化協会)に，日本除雪機製作所および北海道川重建機と共同で除雪機械4機種を出展した．

高速型除雪ドーザAUTHENT 55 DV(写真)は，通常の除雪ドーザの約2倍の発進加速性能と49km/hの最高速度を実現し，一般車両の交通の流れを妨げることなく，現場間をスムーズに移動でき，除雪作業の効率化が可能．

ロータリ除雪車HTR406は除雪幅2.6m級，エンジン出力328kWの大型ロータリ除雪車で，多雪地帯の幹線道路や山岳道路はもとより，飛行場や高速道路での除雪作業にも適する．また，HTR265は除雪幅2.2m級，エンジン出力220kWの中型除雪車，HTR83が除雪幅1.3m，エンジン出力68kWの小型ロータリ除雪車となっている．

ハンディタイプレーザー距離計

ライカジオシステムズはハンディータイプのレーザー距離計ディストシリーズの新製品Leica DIST™ D3の発売を開始した．1993年に発売されたDISTOシリーズの7世代目となる．

小型ながら多彩な機能を搭載し，シリーズ最高の測定精度(標準±1.0㎜)を実現，長距離測定も可能とし ターゲットプレートがなくても80m(晴天，対象白色)の測定を可能としている．

海外文献速報

(社)日本トンネル技術協会
国際委員会

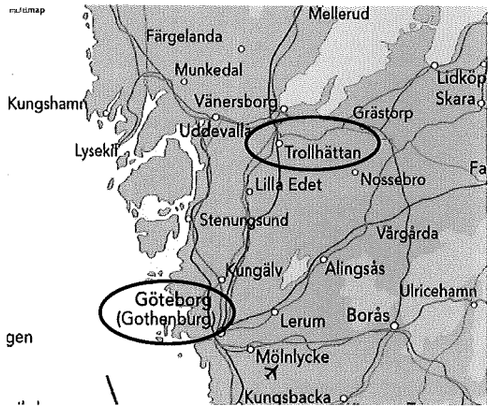
トロバッケントンネルでの早い仕事/Quick work on the Torbacken-Hede tunnel

Tunnelling & Trenchless Construction, January/Februry, 2007, pp.26–28

スウェーデン鉄道局Banverketは現在，2004年の政府の承認後(117億ユーロ：約18,720億円)，スウェーデンの鉄道システムの大改良を行っている．ここでは，相当数のプロジェクトが進行中である．これは，プロジェクトの中のGothenburgとTrollhättan間の複線化への改良工事の紹介記事である．

近年，鉄道貨物輸送が年20%の割合にて増加しており，現在，単線で許容速度は140km/hとなっている．複線への拡張後，許容速度は250km/hになり，Gothenburgとオスロ(ノルウェー)の旅行時間が現在の4時間から2.5時間に，GothenburgとTrollhättanは，30～35分短縮され50分になる．

工事は，レムコン社が7.5km区間の複線化をSEK520million(約97億円)で落札した．工事は大小のトンネル約5.4kmの掘削が含まれている．TrollhättanとGothenburgで建設される二つのトンネルのうちの一つは，“Nygårdトンネル”と呼ばれ，21か月で掘削が完了した．このトンネルは，3,030mの長さであり，高さ10.2m，幅13.5m(約125m²)である．このほかに，1,880mの避難坑と，1：10の勾配の500mの横坑(高さ6m，幅5m)がある．進行はメイントンネルと避難坑を合わせて，1週間で130mである(切羽は六つ)．地質は，大部分が硬岩，片麻岩(灰色や赤色のスケール)である．



2005年の8月に契約され，10月からメイントンネルの掘削をするための長さ500m，6m×5mの横坑の掘削が始まった．

切羽は，メイントンネルで南北に一つずつ，中央から二つずつの計四つ，避難坑が二つである．発破のメインはANFOで，1サイクルあたり1,600kg用いられ，NONELシステムにより行う．すべての切羽を合わせ，1週間で22回の発破が行われ，1発破で5.9m長をおこす．

プレグラウトは，スウェーデンの厳格な法律を守りこのプロジェクトを確実なものにするために行われている．施工が終わるまでに許容される地下水の進入量は，100トンネルmあたり，10ℓ/minである．メイントンネルでは，すべての切羽にて進行の3回に1回の割合で24m長，径64㎜の40孔のアンブレラ状の注入孔を削孔している．削孔後，湧水量を測定し必要なグラウト材を算定している．また，サービストンネルは，22孔でメイントンネルと同様に行われている．

鉄道は，2009年中ごろに全線開通の予定である．

(文責：伴　享・佐藤工業(株))

シンガポールNicoll道路陥没の要因/Factors in the Nicoll Highway collapse

By Richard Davies : Tunnels & Tunnelling International, February, 2007, pp.31–34

2004年4月に発生し4人が死亡したシンガポー

ルNicoll道路陥没に関する報告.

事故は開削トンネルの第9スラットの下方を掘削し，上部のジェットグラウト層を除去したときに発生した.

陥没事故は，ストラットが縦横両方向に崩れたためと考えられ，その原因は複雑な地質条件や連続壁やストラットシステムなどの設計にあった.

事故現場では，軟質海洋性粘土層の下の沖積層面は北から南に急激に10mも落ち込んでおり，それを横切ってトンネル掘削がなされた.

地質の状況や地層の強度の過大評価などによる，連続壁の強度不足やストラット/ビーム接続部の強度不足など，設計ミスによって起こるべくして起こった事故と指摘された.

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

オーストラリアが有料道路の崩壊を検証 /Australia examines toll road collapses

By Shani Wallis : Tunnels & Tunnelling International, February, 2007, pp. 26–29

2005年11月，Lane Cove道路トンネルのオフランプトンネルで発生した陥没事故の報告書概要.

トンネルの大部分は弱い頁岩であり，ロードヘッダーによる全断面掘削が行われていた．トンネルは，幅9m×高さ7mの矩形断面であり，一般部は，鋼繊維補強吹付けコンクリート(t=12.5cm)とL=4mのロックボルト(1mピッチ)である．換気坑と交差する拡幅区間のクラウン部は，L=5mのロックボルトとt=10cmの吹付けコンクリートが追加施工された.

陥没事故は坑口より120mの地点(土かぶり17m)，直交する換気坑を拡幅通過直後に発生した．陥没は，近隣のアパートの一角まで穴が広がったが，作業者，一般市民ともに無事であった．この穴は2,750m^{3}のコンクリートで建設機械とともに埋められた(図-1, 2).

調査報告書によると事故の原因は，土かぶりが小さいこと，現場の頁岩層の脆弱性，低強度の岩脈がトンネル交

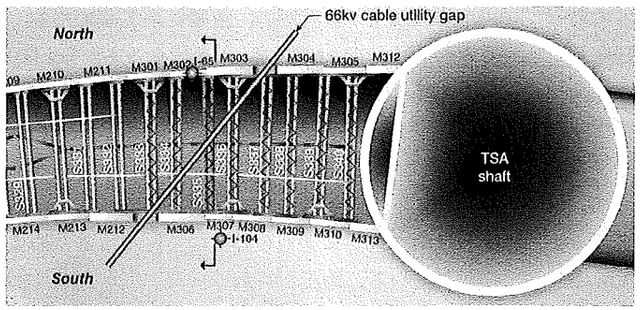


図-1　トンネル平面図

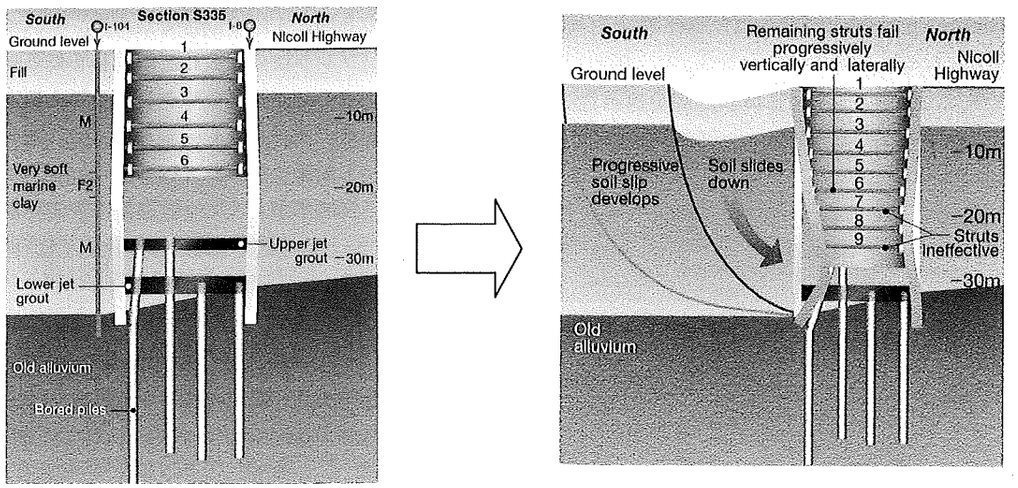


図-2　崩落部断面図

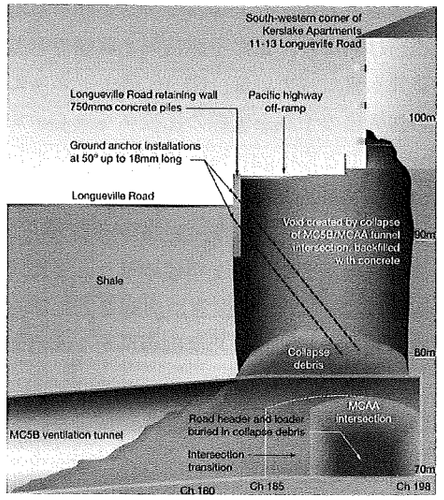


図-1　崩落部断面図

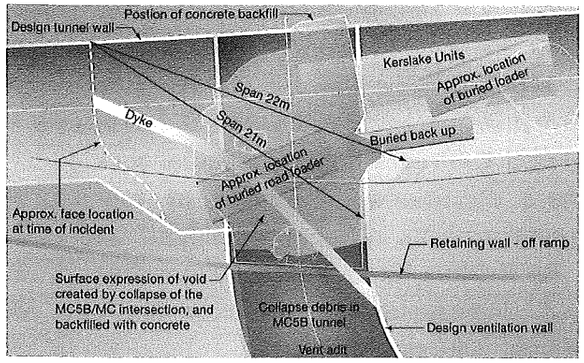


図-2　崩落部平面図

差部を斜めに横切っていることが陥没の主要因であると指摘された．また，トンネル拡幅部の幅は20m以上となり，「スパン17mではロックボルト6m以上」というシドニーのトンネル設計ガイドが守られなかったなど，支保が不十分であったことが事故につながったことも指摘されている.

（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

硬岩トンネルにおける沈下特性について /Subsidence over hard rock tunnels

By Erik Eberhardt , Christian Zangerl , Simon Low : Tunnels & Tunnelling International, March, 2007, pp.50–53

一般に，粘性土地山における圧密沈下(consolidation settlement)解析手法はテルツァギーの一次元圧密理論にもとづいている．圧密沈下における地盤の鉛直ひずみは，間隙水圧の変化を与えることによって算定される．しかしながら，本理論はトンネル掘削などで地盤が解放されることによる自由排水の境界条件，あるいは地盤の不均一性，透水性，異方性などを反映していない．最近の地盤数値解析手法は目覚ましい発展を遂げており，圧密沈下解析の標準的な方法としてFEM解析(有限要素法)が採用されている．これは，地山を連続体として取り扱うものである．亀裂を有する岩においても，岩盤自体は連続体として解析されている．また，地盤が有する割れ目からの排水を考慮することも解析上可能であるが，その精度は十分とは言えない.

Zangerlは亀裂を有する結晶質岩の沈下特性(consolidation subsidence)を説明するため，いくつかの変形モデルを開発した．これらは水平方向の割れ目の閉合による鉛直方向変形の増大，あるいは有効応力の変化，また，鉛直方向の割れ目に沿って発生する滑りや排水状況による有効応力の変化について言及している．Zangerlの変形理論を裏付ける数値解析手法としてDEM解析(個別要素法)が挙げられる．本手法は地盤の不連続性を考慮しているものであり，割れ目における滑り，あるいは不連続面における割れ目の開閉，排水網など複雑な地盤の非線形的挙動を表現することが可能である．DEM解析は不連続性を持つ地盤解析手法として妥当なものであるが，詳細な現地調査による地盤特性の評価が解析の精度を左右する.

スイスのGotthardハイウエイトンネルは1970～1977年にかけて建設されたトンネルであるが，現在も地表面沈下の傾向が見られ，現地調査を実施し，FEM，DEMによる解析を試みた．その結果，計測された最大沈下量の絶対値はFEM解析による結果に近く，沈下曲線の形状はDEM解析による結果と精度よく合致した．ちなみに，DEM解析で得られた最大沈下量は実測最大沈下量の75%であったが，これはDEM解析の限界であると言える.

（文責：山口英・白上勝章/五洋建設(株)）

岩盤状況の予測と実際：ネパール・ヒマラヤ山脈の4トンネルプロジェクトを振り返って/Predicted versus actual rock mass conditions：A review of four tunnel projects in Nepal Himalaya

By Krishna Kanta Panthi：Tunnelling and Underground Space Technology, March, 2007, pp.173–184

水力発電所プロジェクトにおいて，岩盤性状の予測・評価・解釈の正確性は工期と工費に大きな影響を与え，プロジェクトの成否につながる．本論では，ネパールのヒマラヤ山脈地域にて近年構築された四つの水力発電所トンネルプロジェクトにおける岩盤予測と実際の比較・評価を行った．

四つのプロジェクト(Khimti I水力電力プロジェクト，Kaligandaki "A" 水力電力プロジェクト，Modi Khola水力電力プロジェクト，Middle Marsyangdi水力電力プロジェクト)で行った地質調査項目は異なり，また予測結果と実際の岩盤状況の差異も異なっている．図-1に各トンネルにおける岩盤等級の予測と実際の比較グラフを示すが，Khimti IとKaligandaki "A" については他の二つのトンネルと比べて予測と実際の差異が大きかった．Khimti Iでは，支保費用が当初の約5倍に膨らみ，工期も約2年延伸した．また，Kaligandaki "A" では支保費用が約2倍に膨らみ，工期を間に合わせるため掘削導坑を1本追加した．

一般的に予測と実際の差異が大きい理由は，

① 計画段階において調査や試験が不十分であった

② 深層風化など予測しがたい複雑な地質であった

③ これまでの経験的知見が生かされなかった

などが挙げられる．

したがって，より精度の高い予測を行うために

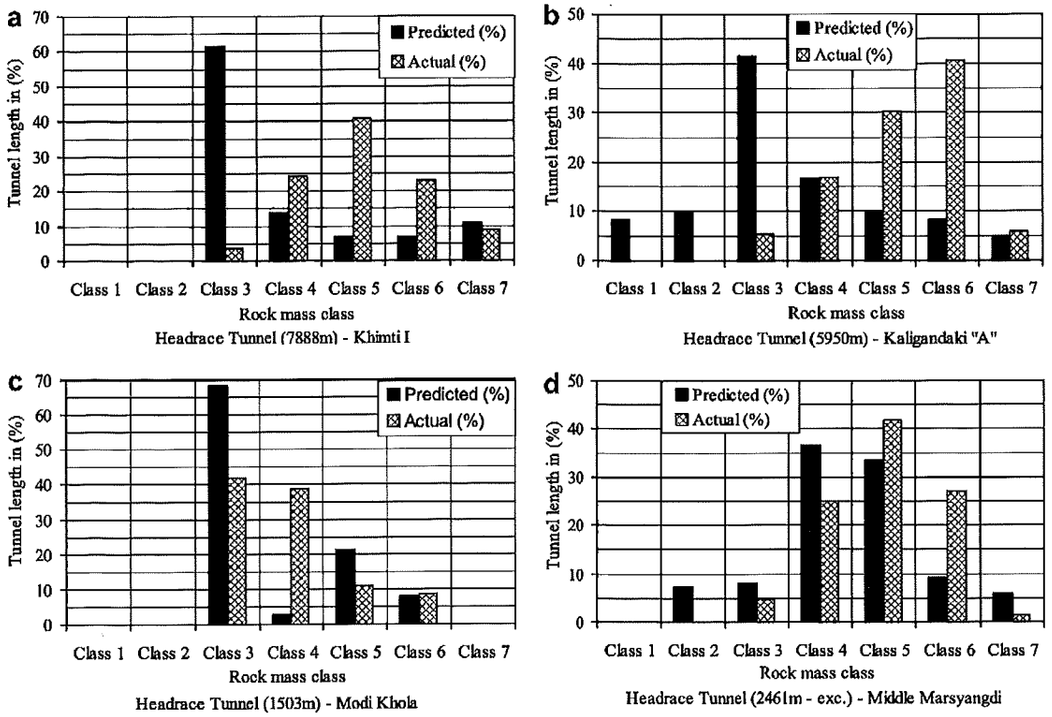


図-1 四つのトンネルにおける岩盤等級の予測と実際

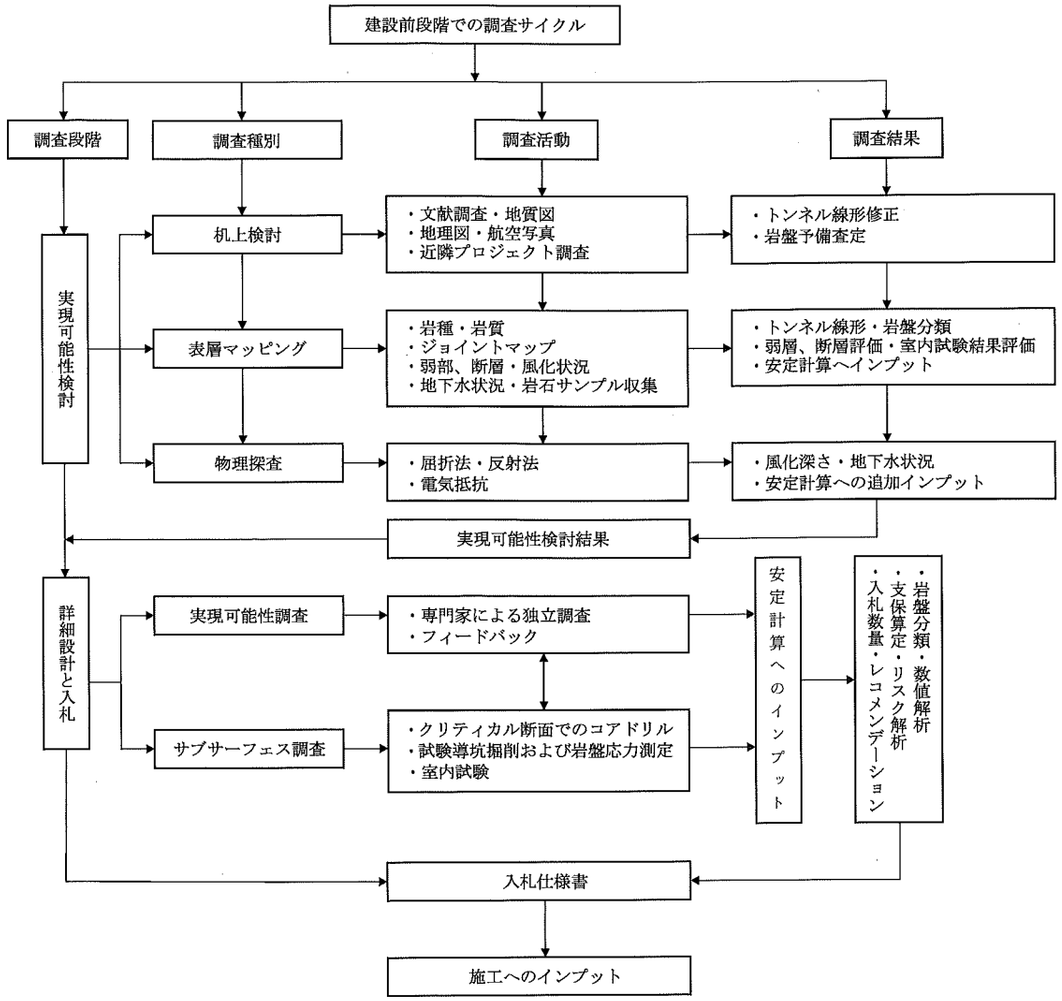


図-2 地下空間工事における計画段階における地質調査方法の提案

図-2のような方法で各トンネルについて統一的に調査することを提案する．

（文責：横尾 敦・鹿島建設(株)）

続 きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著 新書判 217頁 本体定価 1,200円（〒210円）
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

	1月25日現在
正会員	2,132名
団体会員	399名
個人会員	1,733名
名誉会員	1名
計	2,133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

◎技術委員会：1/29(今田徹委員長ほか18名)活動報告および来年度計画を検討

共通技術小委員会

ずり出し方式調査WG：1/23(小暮誠主査ほか7名)調査報告書を検討

山岳トンネル小委員会支保WG打合せ会：1/17(服部修一主査ほか3名)変状事例を検討

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：1/24(中島泰彦主査ほか16名)原稿を検討

北海道新幹線(北海道方)施工技術委員会：1/17，18(三上隆委員長ほか29名)現地視察ほか

耐震設計検討特別委員会：1/23(今田徹委員長ほか16名)耐震性能を検討

効率的掘削工法特別委員会：1/25(西村和夫委員長ほか24名)原稿を検討

北海道新幹線(本州方)施工技術委員会機械化WG：1/29(小山幸則座長ほか28名)施工法検討

計　8回開催　149名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：1/8(大島洋志主査ほか14名)2月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

対外広報WG：1/11(小島宗隆主査ほか9名)アンケート結果を検討

海外文献紹介WG：1/15(大久保誠介主査ほか13名)海外文献を査読

海外ニュースWG：1/30(小島宗隆主査ほか7名)海外ニュースを翻訳

計　4回開催　47名出席

合計　12回開催　196名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第34回ITA総会およびコングレス「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 19～25	ニューデリー(インド)	CBIP(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会) http://www.cbip.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19年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
プラハ国際トンネル会議技術調査	2007. 5. 3～13	18	オーストリア，チェコ，ドイツ
首都圏トンネル現場研修会	2007. 5. 30	14	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2007. 6. 14	19	東京都
上野地区地下構造物建設現場研修会	2007. 6. 28	17	東京都
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 7. 4	15	神奈川県
西大阪延伸線建設工事現場研修会	2007. 7. 27	16	大阪府
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 8. 23	17	神奈川県
第二東名　島田第一トンネル現場研修会	2007. 10. 30	12	静岡県
北陸新幹線　第2魚津，新木浦トンネル現場研修会	2007. 11. 8，9	7	富山県，新潟県
藤沢市下水道トンネル現場研修会	2007. 11. 16	14	神奈川県
第二京阪　小路トンネル現場研修会	2007. 11. 30	16	大阪府
JES工法現場研修会	2007. 12. 11	23	東京都
千葉市下水道現場研修会	2008. 2. 8	30	千葉県
(発表会)			
第60回(山岳) 「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」	2007. 9. 26	136	東京都
第61回(都市) 「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」 「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」	2007. 9. 27	114	東京都
(講演，講習会)			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2007. 10. 25，26	16	東京都
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2007. 11. 1，2	25	東京都
2008トンネル技術の特別講演と技術研究発表会	2008. 2. 22	300	北海道

4月号予告[4月1日発売予定]

●覆工コンクリートの新しい養生方法の研究開発
●九州新幹線　筑紫トンネル
●鳥取自動車道　智頭用瀬トンネル
●東京メトロ副都心線　新宿御苑工区
【連載講座】
●シールド工事の施工に関するQ&A(10)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆3月は，年度末の時期であり，次の年度に向けて引越しや移行作業，新生活などで大忙しになる．その一方で気象庁より「桜の開花予想」が発表され春の訪れが近いことを実感する．

◆昨年，アメリカで中国製の玩具から鉛が検出され大きく報道されたばかりだが，今度は，わが国で中国製の冷凍餃子による中毒事件が起こった．消費者からは，中国製の商品に対する信頼がなくなりつつある．中国は，世界第一位の労働人口と低賃金で世界の工場として，ここ数年で大きな発展を遂げてきた．昨年，中国の株価が下落したのをきっかけに世界同時株安が起こるなど，今や世界経済に大きな影響を与えることは周知のとおりである．今後，中国離れが加速したら，穀物や石油の高騰で物価が上昇しているなか，どれだけ上昇するか計り知れない．

◆中国と日本の関係は，先進的な技術や仏教の経典などの収集を目的として「遣隋使」，「遣唐使」を派遣していた千年以上も前から続いている．その後の歴史は周知のとおり，1972年の田中角栄・周恩来両首相が署名して国交が正常化して35年が過ぎたばかりである．未だいろいろな問題を抱えており，今回の事件がそんな過去の問題から起きたという節もあるが，両国の友好関係を維持していきたい．

◆8月8日より北京オリンピックが開催され，選手はその出場をかけて日々努力を重ねている．わが国も2016年のオリンピックを東京に招致するため委員会を発足させ，盛んにPR活動を行っているが，未だ国民の関心が薄いようだ．今回の北京オリンピックの成功がわが国のオリンピック招致へ向けた大きな飛躍になることを期待したい．

(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39巻 第3号〔通巻451号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成20年2月20日　印刷
平成20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://www.japan-tunnel.org
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

●営業本部高機能建材営業部 〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-8-15 ネオカワイビル8F　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