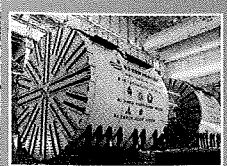


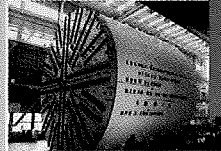
1989

英仏海峡トンネルT-5工区貫通式
完成にわく関係者たち



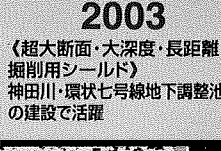
1993

《世界最大級の泥水式シールド》
東京湾横断道路工事で活躍



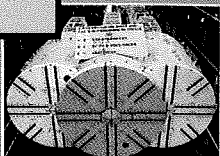
2004

《大断面SENS工法シールド》
東北新幹線三本木原トンネル
工事の建設で活躍



2003

《超大断面・大深度・長距離
掘削用シールド》
神田川・環状七号線地下調整池
の建設で活躍



1995

《3心円泥水式駅シールド》
地下鉄12号線環状部飯田橋駅
工区建設工事で活躍



1939

《日本最初の本格的シールド》
関門トンネル工事で活躍

トンネル開発技術に 60余年のヒストリー。

昭和14年(1939年)我が国初の本格的シールド式トンネル掘削機
を開発して以来、三菱重工はトンネル開発技術のパイオニアとして
60余年にわたり国内や海外で数多くの実績を築いてきました。
豊かな21世紀を育むために、三菱重工は最先端のジオテクノロジーで
さらに前進しています。



三菱重工業株式会社 本社 地中建機事業ユニット 営業グループ 東京都港区港南2-16-5 〒108-8215 TEL03(6716)3111
神戸造船所 地中建機事業ユニット 営業課 神戸市兵庫区和田崎町1-1-1 〒652-8585 TEL078(672)2876

定価 1,575円
本体価格1,500円

雑誌06619-6



4910066190668
01500

トンネルと地下 6

vol. 37
no. 6
2006

Tunnels and Underground

幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服
めがねトンネルの中央導坑を利用した先行アーチ支保
砂地山に鏡補強で扁平大断面トンネルを掘る
営業中の複線躯体を抱え込んだボックストンネル
各種新技術を駆使した大規模水道シールド工事

日本トンネル技術協会誌



世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

安全性・経済性・高品質

デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

一般吹付け・高品質吹付け デンカナトミックTYPE-5

- ・NATMトンネル万能タイプ
- ・信頼の実績
- ・優れた急結性
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・湧水に強い
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

高強度吹付け デンカナトミックTYPE-10

- ・安定した初期強度・長期強度発現性
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

瞬結吹付け・初期高強度吹付け デンカナトミックTYPE-10S デンカΣショットS

- ・脅威の初期強度発現性(10分・3N/mm²)
- ・優れた長期強度発現性
- ・急結剤による強度低下がない
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

優れた低粉じん吹付け

《デンカスラリーショット》 デンカナトミックUS-32 デンカナトミックUS-50 《デンカスーパースラリーショット》 デンカナトミックUSS デンカナトミックLSA

- ・安定した低粉じん吹付けが可能
- ・確かな初期強度、長期強度発現性
- ・湧水、低温に強い
- ・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

◆トンネル関連製品

- ・FTN-30…吹付けコンクリート用高性能減水剤
- ・デンカライフセッター…吹付けコンクリート用凝結調整剤
- ・デンカクリアップ…吹付けコンクリート用粉じん低減剤
- ・デンカPFモルタル、PFモルタルTYPE-K…小断面・TBM用吹付けモルタル
- ・デンカES/ES-L…無公害なセメント系土質安定用急硬材
- ・デンカコロイダルセメント/コロイダルスーパー…微粒子、超微粒子セメント
- ・デンカPモル…注入式ロックボルト定着材
- ・デンカCG-1000、CG-2000…可塑性モルタル用混和材
- ・デンカパワーCSAタイプS/タイプR…コンクリート用膨張材
- ・デンカハードロックII…アクリル系接着剤(ひび割れ注入、シート接着)

DENKA

電気化学工業株式会社

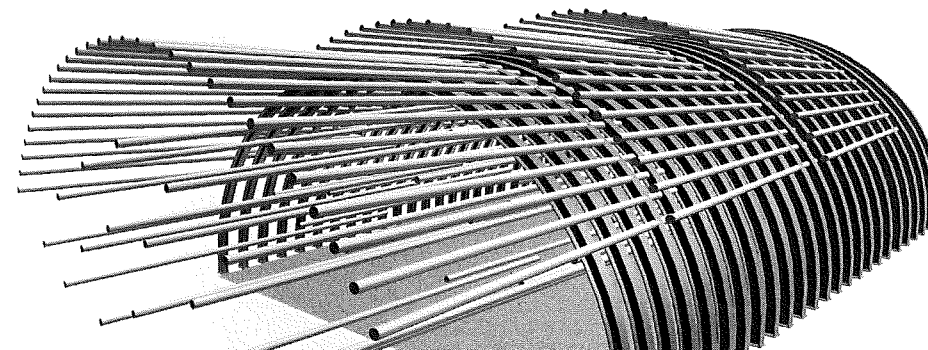
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

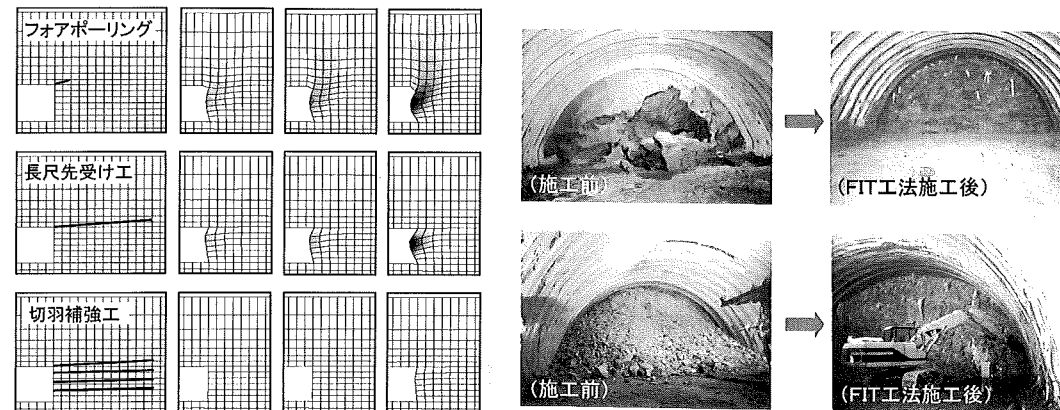
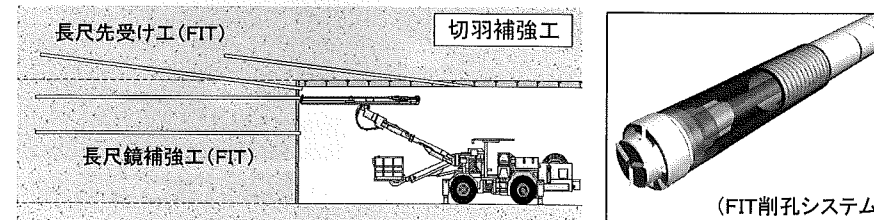
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

FIT 工法

FRP INJECTION TUBE



最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」



(数値解析による切羽補強効果の検証例)

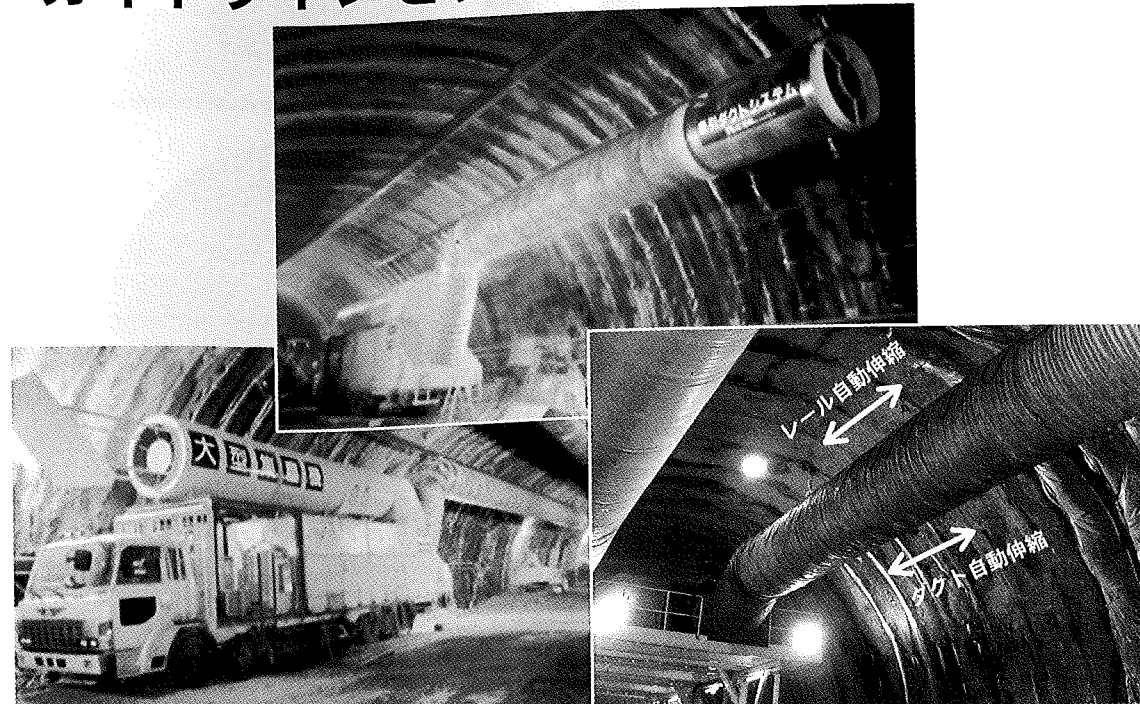
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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

ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

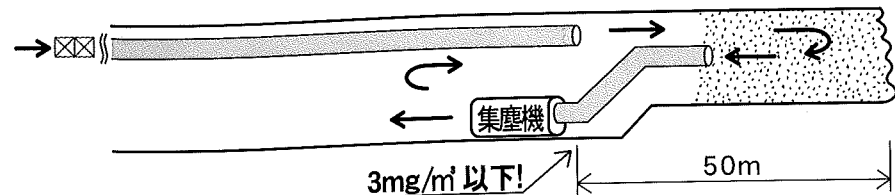
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(*) $0.5\text{mg}/\text{m}^3$ 達成!!



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

- ・発生源粉塵対策の決定版。
- ・ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- ・掘削工法や作業サイクルに適応。操作にお手間をとらせません。
- ・最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- ・適応外径はφ600~φ1800、負圧-2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

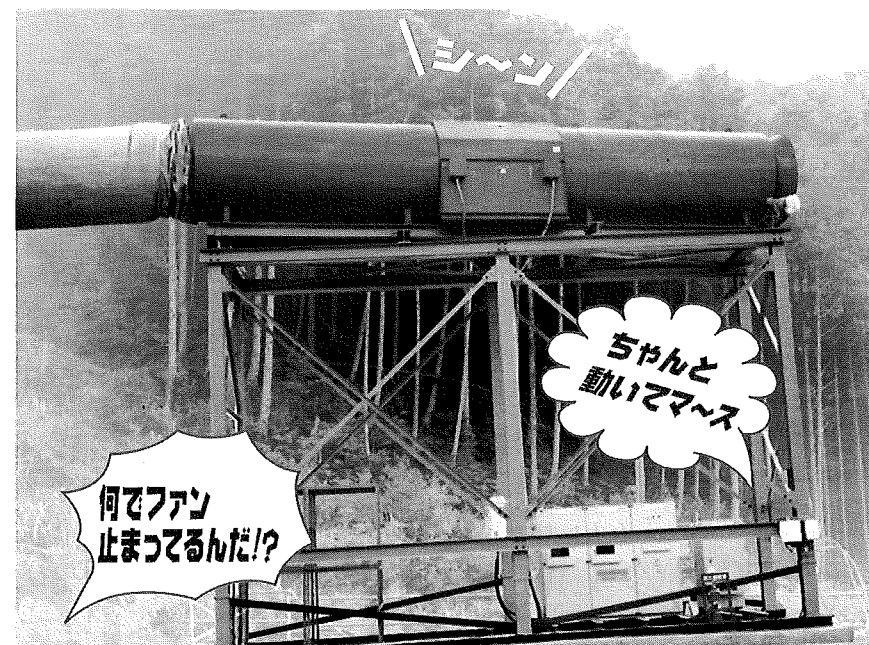
株式会社 流機 エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

本社 / 〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370
つくば / 〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい! ●●サァ〜これ、ファンの音なんです。



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

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

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社 流機 エンジニアリング

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com

本社 / 〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370
つくば / 〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
リースセンター TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

今時、静かなのは当たり前!!

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。

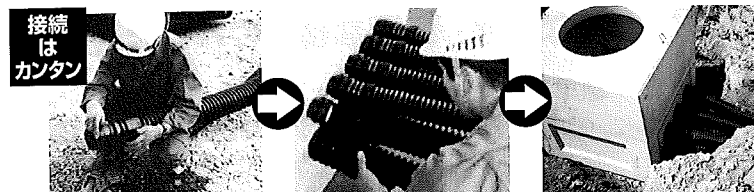
3. 優れた性能

- ・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、ベルプ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



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) を工場に取り付けてご納品。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。

※特許・意匠出願中

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 シーテック

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)

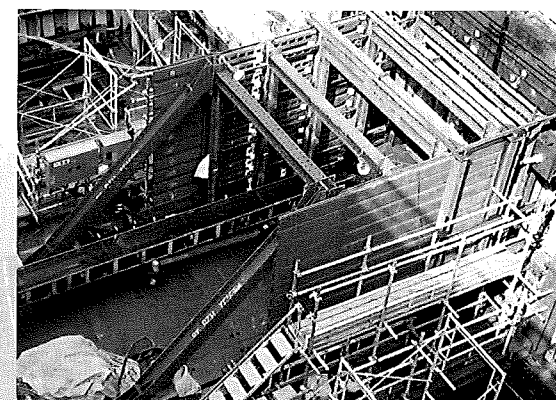
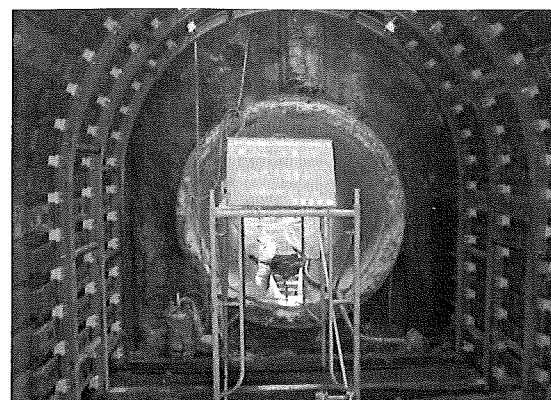
TEL(06)6881-0767 FAX(06)6881-0769

営業所 札幌・仙台・新潟・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・北四国・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

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)

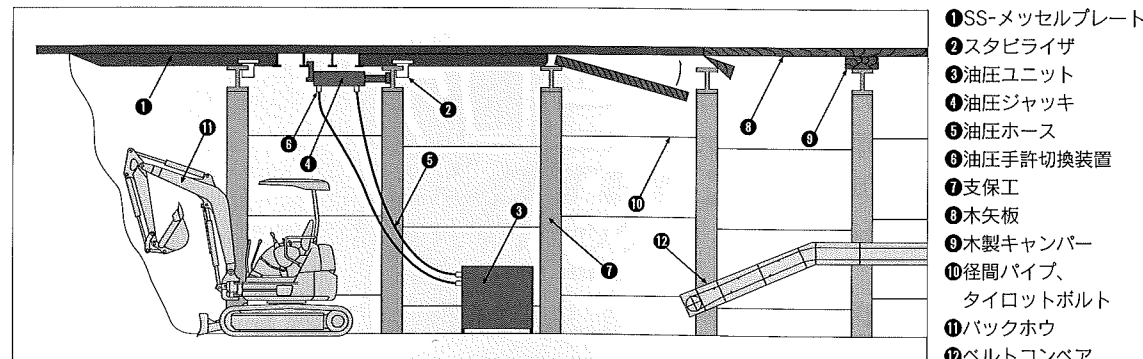
特徴

- 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



- 1 SS-メッセルプレート
- 2 スタビライザ
- 3 油圧ユニット
- 4 油圧ジャッキ
- 5 油圧ホース
- 6 油圧手許切換装置
- 7 支保工
- 8 木矢板
- 9 木製キャンパー
- 10 径間パイプ、タイロッドボルト
- 11 バックホウ
- 12 ベルトコンベア

SIETECH 株式会社 シーテック
URL <http://www.16.ocn.ne.jp/~sietech/>

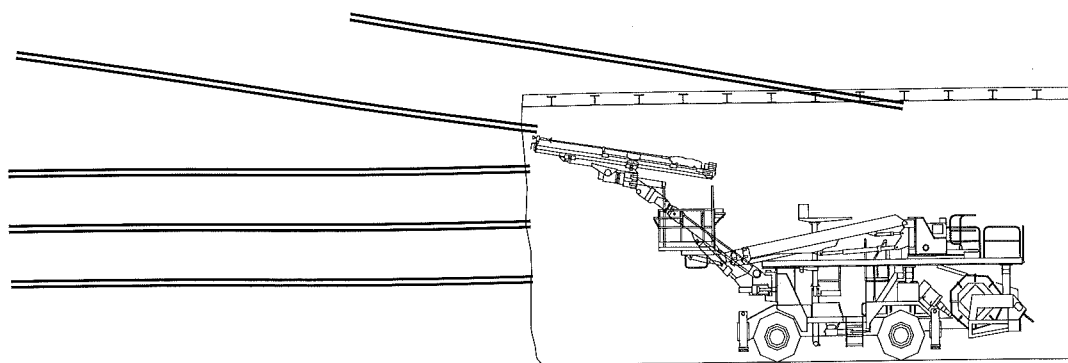
〒102-0074 東京都千代田区九段南3丁目8番10号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

パノラマ工法は切羽から長尺樹脂管(GRP管)を打設しシリカレジン注入することで切羽前方地山を効果的に拘束するための全方位マルチパターン地山補強工法です。特殊強化樹脂管を切羽から全方位に打設することで、天端部の先受工と併せて鏡面補強も同時に施工することができ、切羽の安定性を高め、掘削の安全性を向上させます。



アルカリフリー型液体急結剤

AFK-777J

『AFK-777J』は、コンクリートとの混合が良く付着性に優れ、液体急結剤を少量のエアで添加するため、従来の粉体急結剤と比較して、粉じんやリバウンドが低減されます。

また、液体急結剤吹付けコンクリート用高性能減水剤『404シリーズ』を併用することで、安定した品質の吹付けコンクリート施工が実現できます。



対策!

「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

KATECS

発泡型シリカレジン

SR-L

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

注入式長尺先受工法

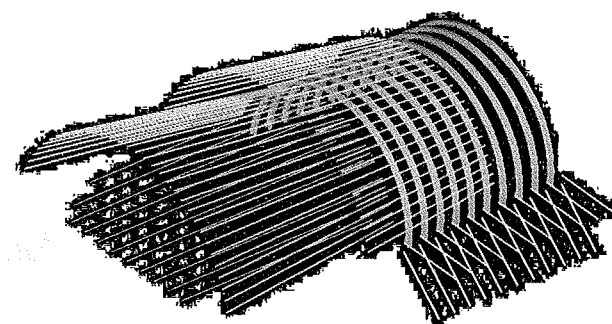
AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

KATECS

株式会社 カテックス 建設資材事業部

<http://www.katecs.co.jp/>

本社 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号
技術営業部 TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

中部営業部 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号
TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

東京支店 〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号
TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648

関西営業所 〒550-0015 大阪市西区南堀江4丁目1番18号
TEL 06-6578-3235 FAX 06-6578-3237

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

九州営業所 〒816-0932 福岡県大野城市瓦田4-15-26
TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846



北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号
㈱エイチ・アール・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

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



3Dカメラスキャナー
自動測量、自動撮影
遠隔リモートコントロール
軽量ポータブル

株式会社演算工房 本社 〒604-0847 京都市中京区烏丸通押小路 日土地京都ビル4階 TEL.075-213-7200 FAX.075-213-7201

<http://www.enzan-k.com/>  **enzan**  **roubou**

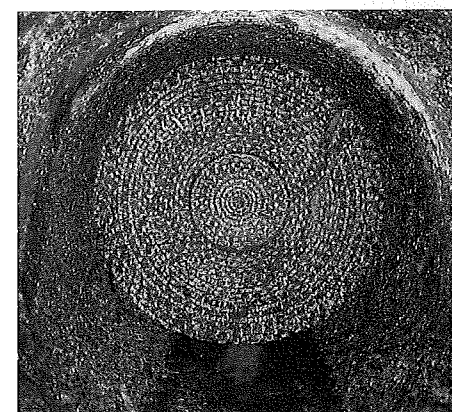
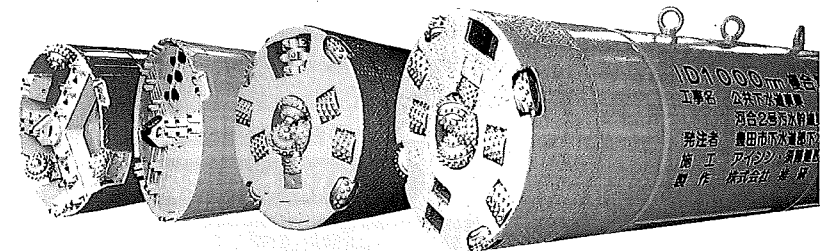
岩盤推進を創めて20年

軟弱土から硬岩まで!!

複合推進工法 (C.M.T工法)

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

■ CMT工法で使用される様々なカッターヘッドの一例



C.M.T工法協会
 株式会社 **推研**

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

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

吹付けコンクリートシステム



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。

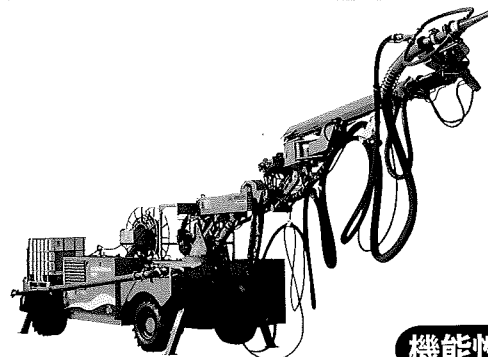
プツマイスター圧送ポンプの特長

- 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=1000mm
他社機 L=600~700mm
- 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づきが防止され、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(株) 製造輸入元 プツマイスタージャパン(株)

トンネル関連製品

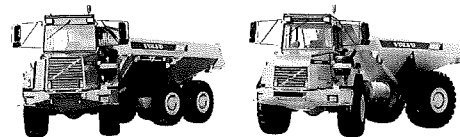
吹付けコンクリートシステム

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)

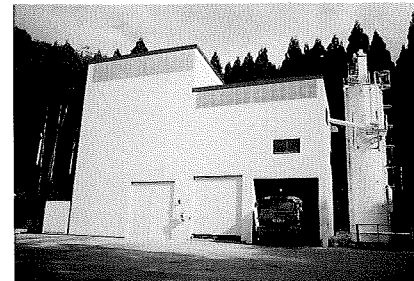


Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

バッチャプラント

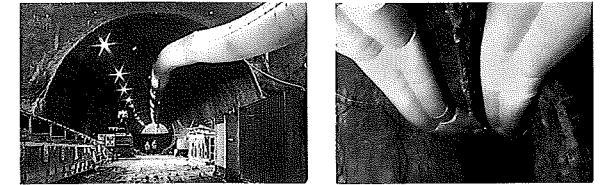
(全自動式、3槽クラム式、簡易型、特殊型)



設計・製作：名岐機器株式会社

トンネル換気システム

ABC
VENTILATION SYSTEMS



- ファスナー式風管
- ツインドクト風管
- 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

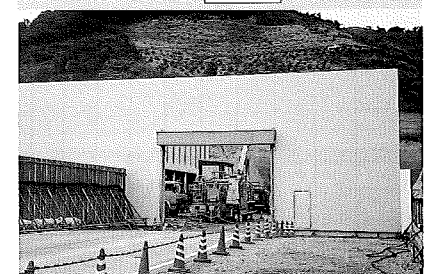
騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



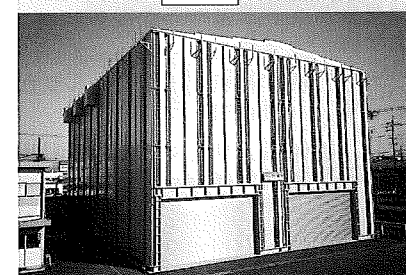
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



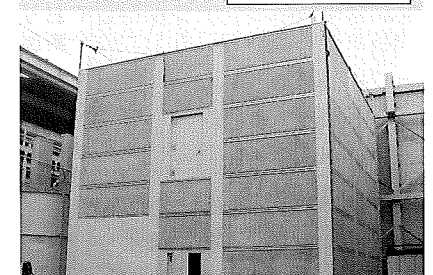
適応性の優れた防音パネル

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



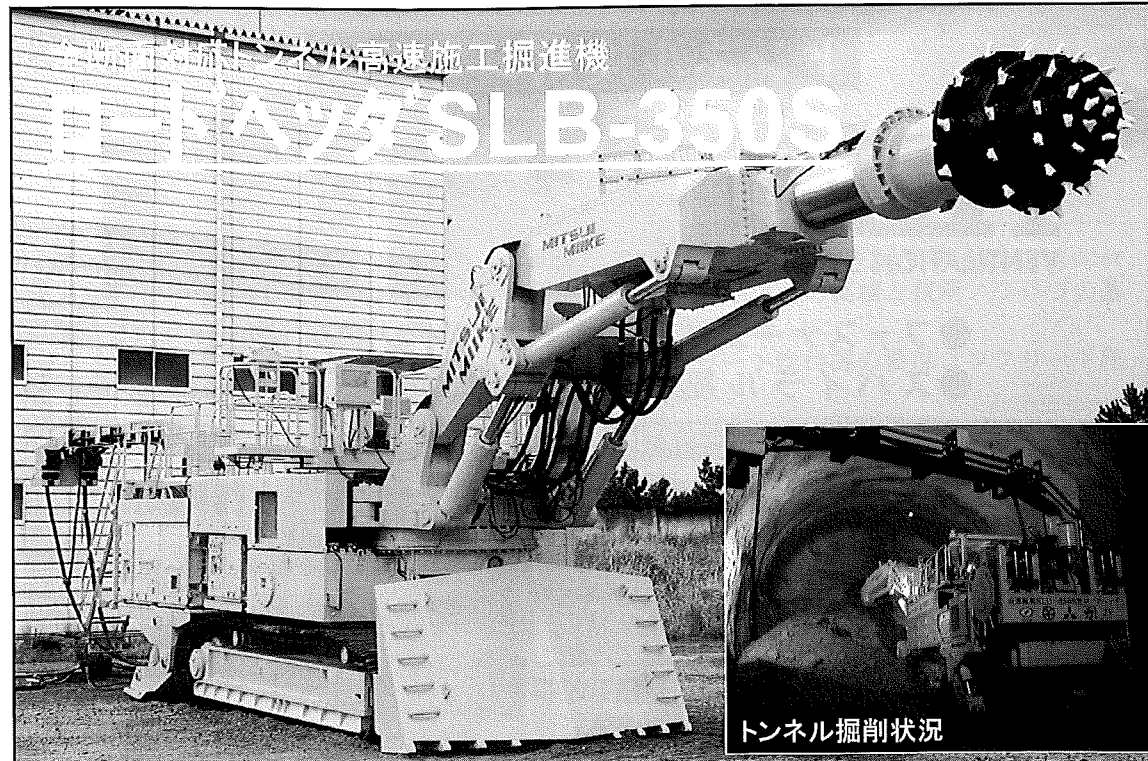
超低周波音対策に適した防音ハウス

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

〒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

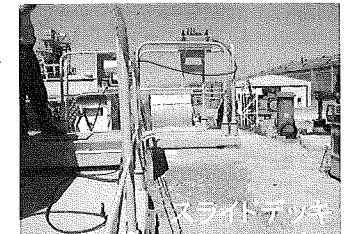


大断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

- 国内最大の350kW・4/6P定出力型2速切換式電動機を搭載しており、軟岩トンネルはもとより、中硬岩トンネルにおいても十分な掘削能力を発揮します。
- 切削部には中折れブームを採用しており、ベンチ長は最大5mまで確保できます。又、中折れブームを取り外しての全断面掘削、及び上半掘削も可能です。
- 中折れブームの取り外し、及び低速掘削を行うことにより、機体安定性と掘削トルクが増加し、中硬岩トンネル掘削時において高い効果を発揮します。(硬岩用ドラム使用)
- 油圧式のスライドデッキを機体両サイドに装備しており、機体幅より各々1mの張り出しが可能であるため、下部掘削時等におけるオペレータの視界が大幅に改善されます。
- ※1,2 ディーゼルエンジンの搭載により、ロードヘッダ単独での走行が可能です。よって、機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

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



スライドデッキ

販売・レンタル
 及びメンテナンス **三井物産株式会社** 本社 / 〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
 TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

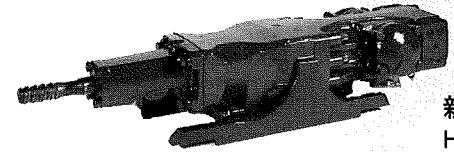
札幌営業所 TEL. 011-644-9110 / 仙台営業所 TEL. 022-247-7155 / 新潟営業所 TEL. 0258-47-1085
 名古屋営業所 TEL. 052-895-5460 / 大阪営業所 TEL. 06-6308-1090 / 福岡営業所 TEL. 0944-59-6201

製造元 **株式会社 三井三池製作所** 本店 / 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
 産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203

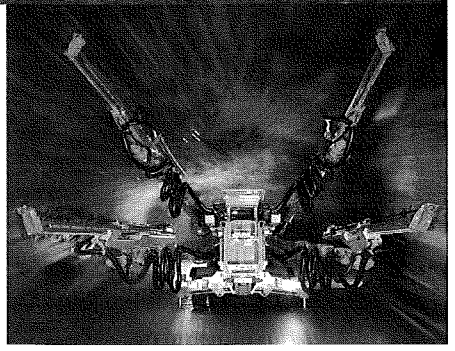
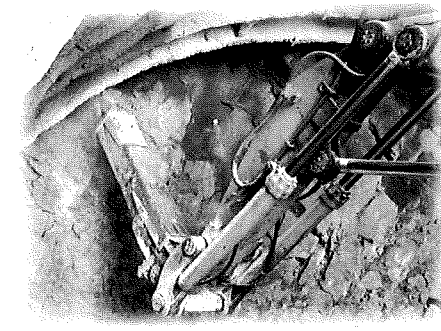
販売元 **株式会社 三井三池製作所** <http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail koken@mail.mitsumiike.co.jp



サンドビクトーヨーは、高速さく孔と作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター HLX5



TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

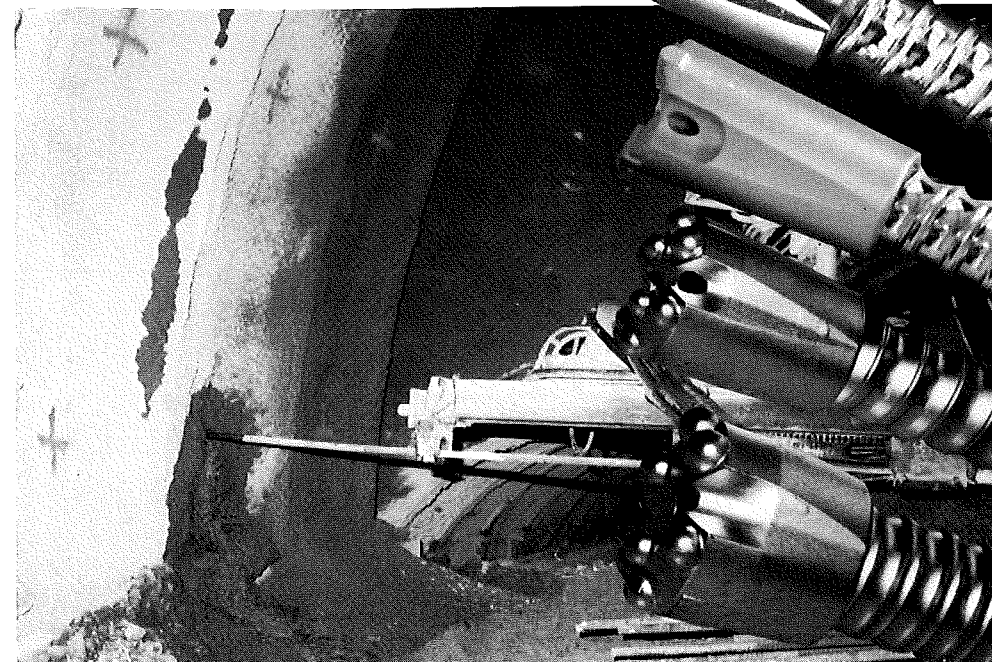
サンドビクトーヨー株式会社
 〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
 共立新横浜ビル6F

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

自削孔 NTロックボルト PAT.P

特徴

- 自削孔:** 削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。
- 施工性:** スイベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。
- 左ネジ:** 削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの
- 多様化:** 適応地山、使用目的に適応した4種類のロックボルトがある。



打設が可能。
と各種ビットが

NTロックボルト本体仕様

| 種類 | RB-30 | RR-32 | RA-40 | FP-73 |
|--------|------------------|------------------|------------------|-----------------|
| 材質及び形状 | 特殊鋼、台形ネジ | 特殊鋼、ローブネジ | 特殊鋼、台形ネジ | 特殊鋼、台形ネジ |
| 寸法 | 28.5D*11d(P13.0) | 31.0D*16d(P12.7) | 39.6D*18d(P13.0) | 72.0D*54d(P8.0) |
| 重量 | 3.5kg | 3.5kg | 6.6kg | 12.5kg |
| 耐力 | ≥19tf | ≥19tf | ≥35tf | ≥60tf |
| 破断荷重 | ≥25tf | ≥25tf | ≥50tf | ≥80tf |

製造元



日東鐵工株式会社

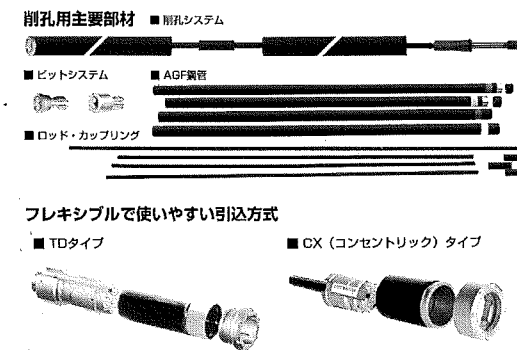
本社 〒142-0043 東京都品川区二葉4-1-20 MC中延ビル
TEL 03-5702-0161(代表)
FAX 03-5702-0165
中国営業所 〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 YAF内山下ビル
TEL 086-234-4800
FAX 086-234-4400
相模原工場 〒229-1112 神奈川県相模原市宮下1-1-38
TEL 042-773-4111(代表)
FAX 042-774-0939

TFTのトンネル資材

▼ AGF工法

トンネル工事において軟弱地山の先行ゆるみ抑制のためAGF鋼管を打設し、その後注入をおこなうことにより地山を安定させ掘削を可能にする工法で、「AGF-φ工法」等があります。

当社はこれらの「ビットシステム」「AGF鋼管」「ロッド・カップリング」等をご提供します。

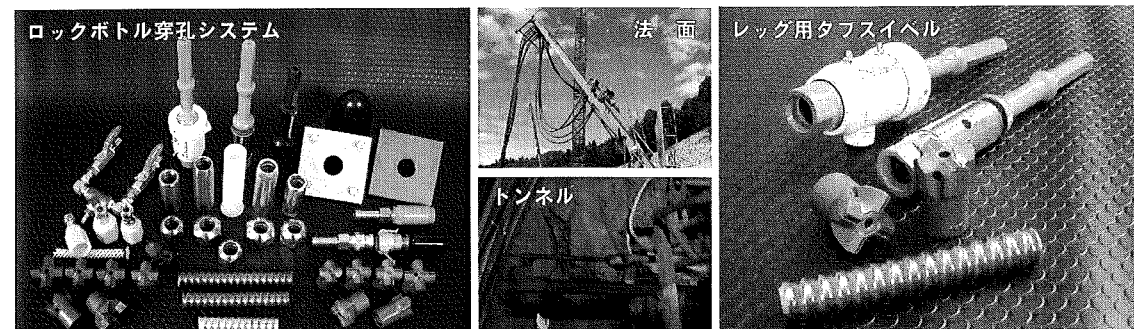


▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

トンネルのフォアパイリング用ボルトから法面用ロックボルトまで幅広く使用されています。どんな削孔機でも施工でき、しかも小型削岩機も使用可能であり足場費の低減が図られます。

また削孔ビットもφ45~φ65mmと広く準備されています。

| 品名 | 外径mm | 断面積mm ² | 引張荷重 | 降伏荷重 | せん断荷重 |
|------|------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|
| TF22 | 31.5 | 375 | 235kN (24Tf) | 196kN (20Tf) | 125kN (12.7Tf) |
| TF26 | 31.5 | 420 | 274kN (28Tf) | 215kN (22Tf) | 176kN (18.0Tf) |
| TF32 | 34.0 | 500 | 353kN (36Tf) | 274kN (28Tf) | 216kN (22.0Tf) |



TFT 株式会社 ティーエフティー

Tube Forming & Technological

〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号

Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

NEW F-Sボルト

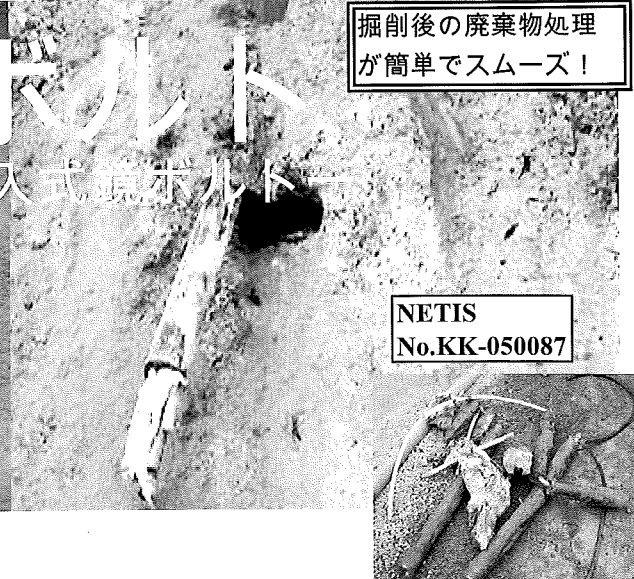
—長尺鋼管注入式鏡ボルト—

掘削後の廃棄物処理
が簡単でスムーズ!



F-Sボルト工法
長尺鋼管注入式鏡ボルト

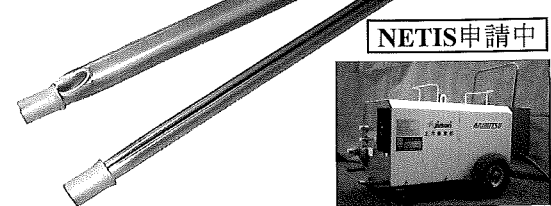
- 1. 低価格
- 1. 簡単施工
- 1. 超長尺施工
- 1. 産業廃棄物軽減



NETIS
No.KK-050087

RPEロックボルト

—ZAM高耐食ボルト—



NETIS申請中



FKパネル

—トンネル内面補強—

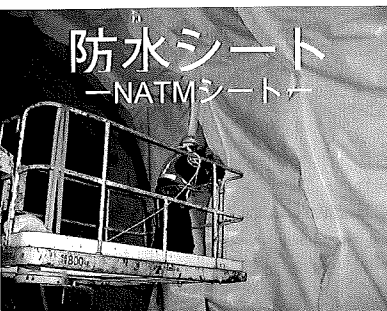
NETIS
No.CB-050021



AGF工法

—補助工法全般—

NETIS
No.KT-000107



防水シート

—NATMシート—



S&Kバーメッシュ

—ユニット化鉄筋—

fujimori

フジモリ産業株式会社

〒141-0022

東京都品川区東五反田 2 - 17 - 1

オーバルコート大崎マークウエスト 9F

URL <http://www.fujimori.co.jp>

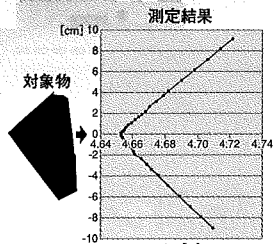
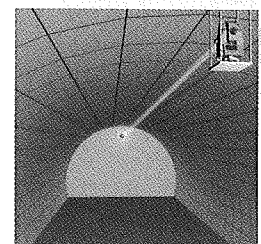
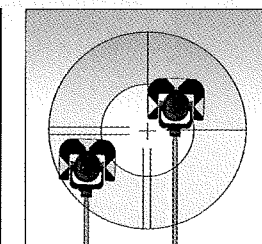
- | | | | |
|----------|--------------------|--------------------|---------|
| - 東京本社 | TEL : 03-5789-2384 | FAX : 03-5447-2073 | 担当 : 平山 |
| - 大阪支店 | TEL : 06-6228-3864 | FAX : 06-6228-3886 | 担当 : 南川 |
| - 北海道営業所 | TEL : 011-222-4171 | FAX : 011-221-1370 | 担当 : 大黒 |
| - 東北営業所 | TEL : 022-263-1591 |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

トンネル測量システム

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



TCRA1200



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

自動視準視野が変更可能 制御コマンドを使用して視野を1/3にすることにより、プリズムが近くに並んだ状態でも測定可能。

ノンプリズムの距離延長 新特許技術PinPointR300によりノンプリズム測距範囲500m²まで可能。これにより、器械のターニング回数が減少。※対象物反射率90%のとき

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

ライカ ジオシステムズ株式会社

<http://www.leica-geosystems.co.jp>

- | | | |
|-----------|---|-----------------------------------|
| 本社 | 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート | Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056 |
| テクニカルセンター | 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F | Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059 |
| 大阪支店 | 〒540-6131 大阪市中央区城見2-1-61 Twin21 MIDタワー31F | Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-8733 |
| 福岡営業所 | 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多階成ビル6F | Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221 |
| 札幌出張所 | 〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレザント発寒ステーション3F | Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102 |



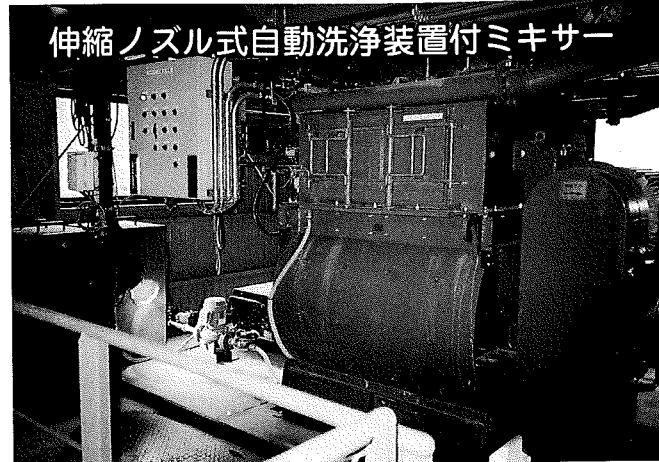
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は
名岐の自動スランプに
おまかせ下さい。



MKS-500KBE-TME型

生コン洗浄水処理装置

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

MK 名岐機器株式会社

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

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

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減!

ミキサー洗浄水 リサイクル
トラミキ洗浄水

MITSUBISHI DIABIT 地山の維持・補修用工具システム

☆玉石・軽石混じり砂礫層掘削に威力を発揮!! ☆掘削しながら同時にケーシングが挿入できる!!

ウルトラメックスビット

工具システム(アウタービットロストタイプ)
※特許申請中

(パイロビット)

(ロストビット)

スーパーメックスビット

工具システム(ビット回収タイプ)
特許No.2730253 他

超硬工具協会賞受賞

主な用途

- トンネル.....鋼管先受け工
水抜きボアリング
- 法面.....アンカー
水抜きボアリング
鏡ボルト
鏡補強
- 基礎.....地盤改良
- 調査.....ボアリング

(ジャンクデバイス)

スモールビット

工具システム(ロストビットタイプ)
※特許申請中

(ロストビット)

三菱マテリアル

東京支店 ☎03-5819-5263 岐阜駐在 ☎0584-27-5082
大阪支社 ☎06-6355-1053 海外グループ ☎0584-27-5011
九州営業所 ☎092-573-7372

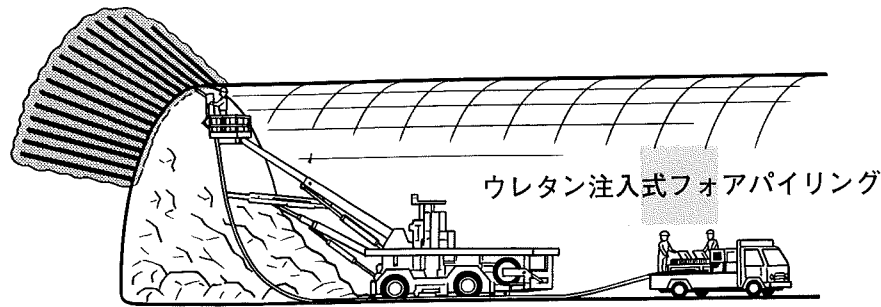
BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

ブリヂストンのトンネル資材

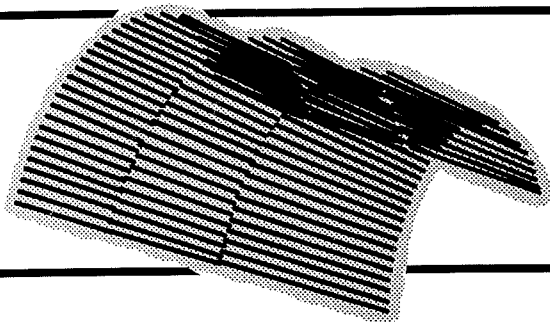
切羽の安定化対策用補助工法

エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法

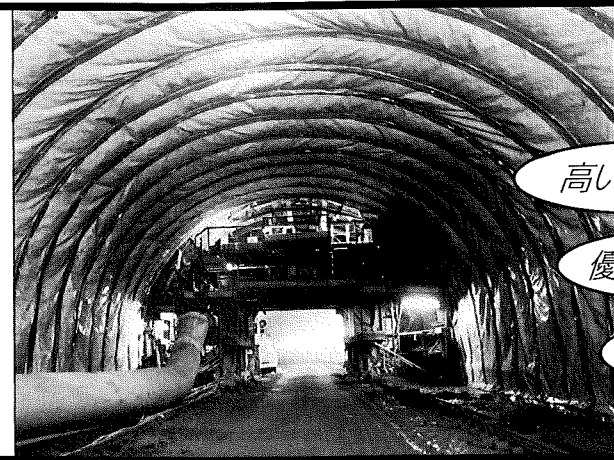


ウレタン注入式フォアパイリング

注入式長尺先受工法
(AGF工法)



ナトミックシート トンネル用防水シート



高い防水性

優れた耐久性

容易な施工性

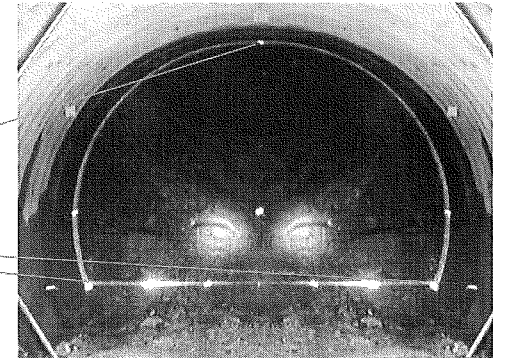
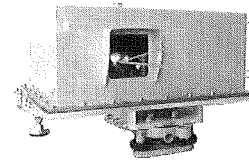
株式会社ブリヂストン

土木・海洋商品販売部
東京都中央区八重洲1丁目6番6号 〒103-0028
電話 東京(03)5202-6870

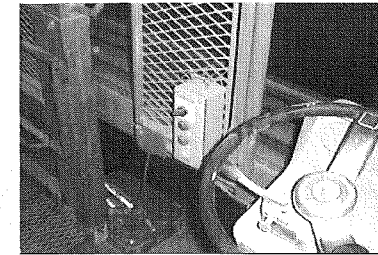
レーザーマーキングシステム

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

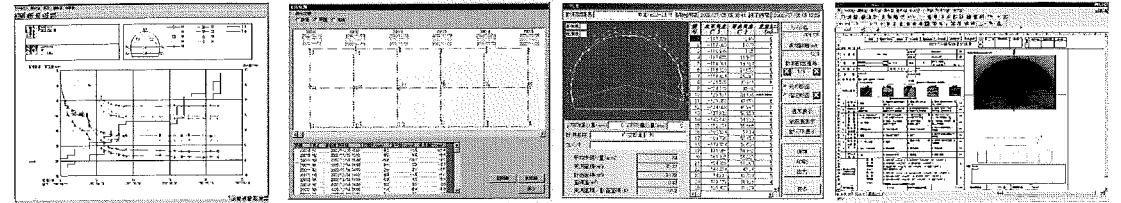


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

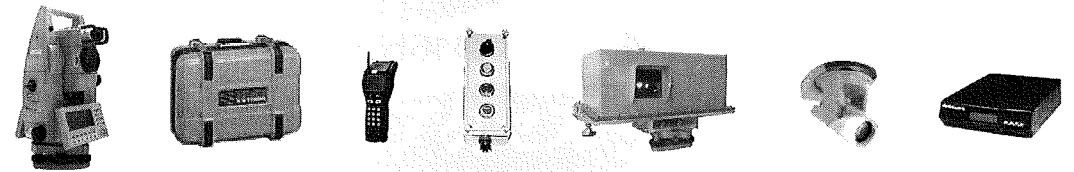


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

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 千葉県市川市曾谷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

大丸の防音システム

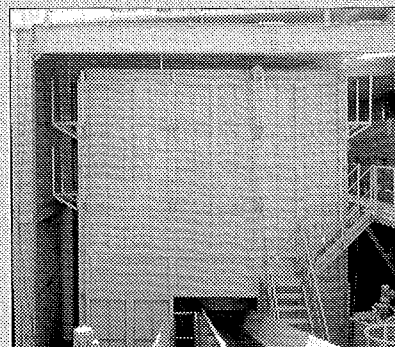


サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

コスモス (Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB (実績)

DMR
Daimaru

大丸防音株式会社

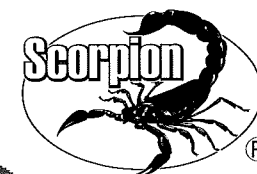
<http://www.daimaru-bouon.co.jp>

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

本社 〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1 TOMACビル2F
TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701

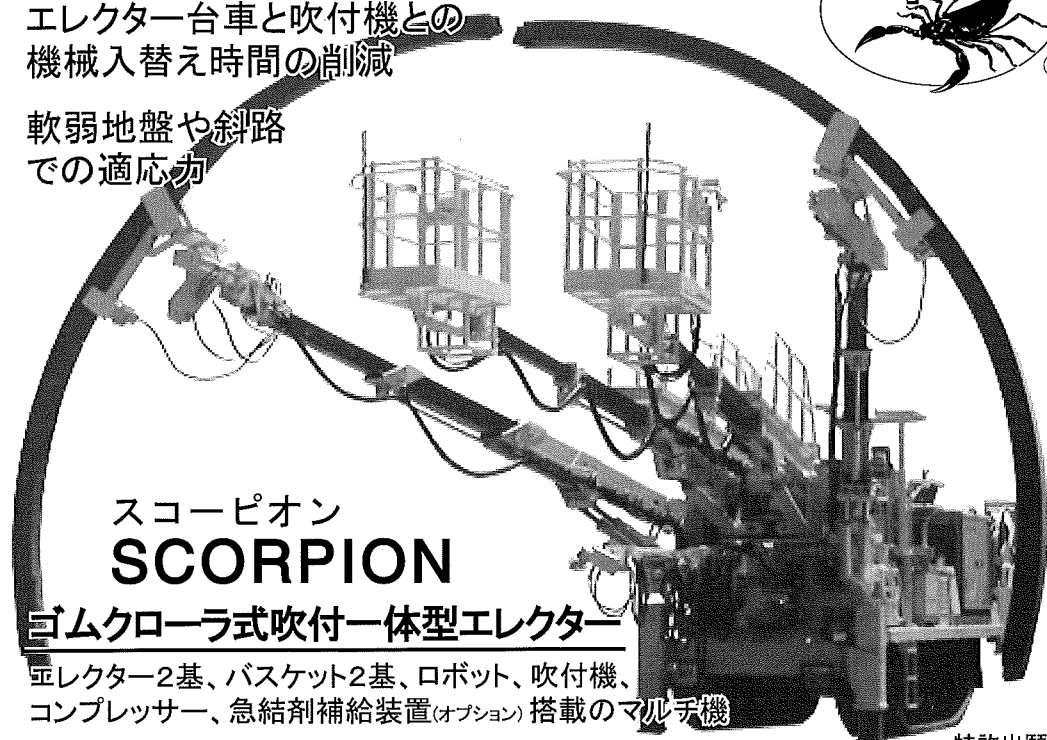
営業所 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-17-23 江坂Mビル8F
TEL.06-6821-6151 (代表) FAX.06-6821-6477

TONNERU RENTAL



エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

軟弱地盤や斜路
での適応力



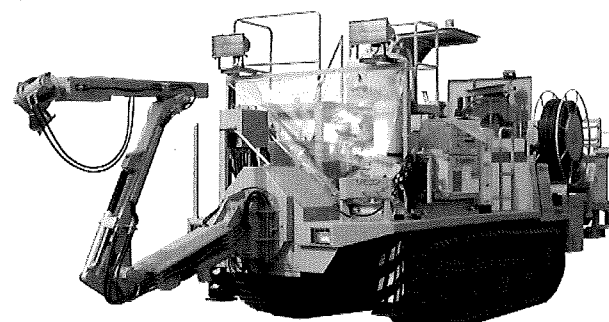
スコーピオン
SCORPION

ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

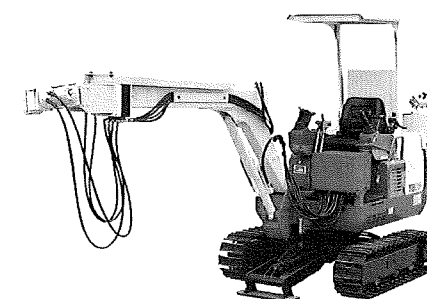
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL : 小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機



MR : 小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画

URL <http://www.tonneru-rental.co.jp/>

株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地286-1

TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999

E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

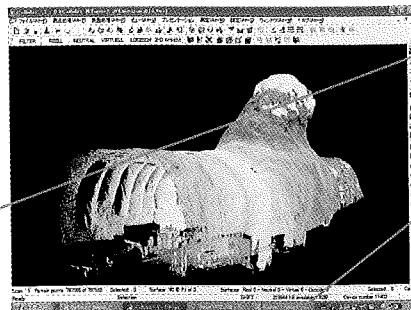
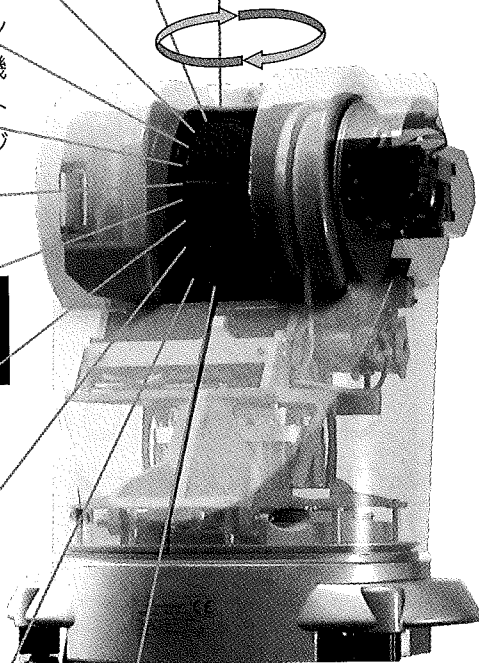
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

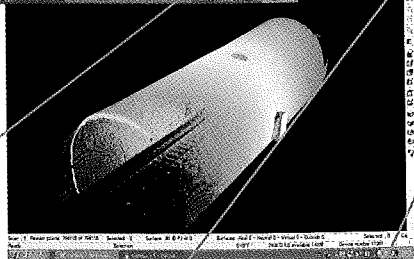
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

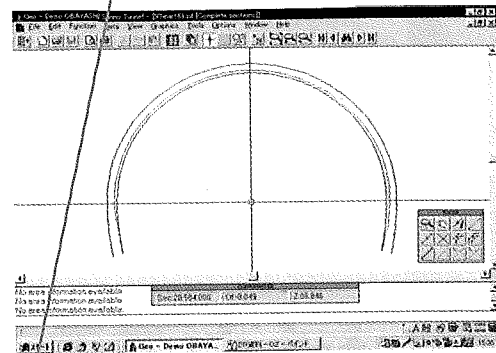
全周360°を10分でスキャン



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

トンネル工事からパンクを追放 坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

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

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

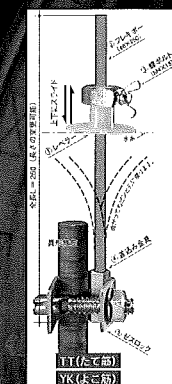
中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

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

Epoch-Making New Type

コンクリート床版天端出し表示具

テンバー PAT.P



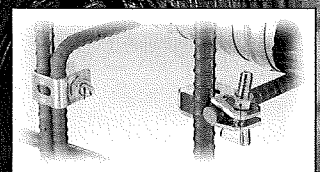
溶接同等にガッチリとねじ固定

“現場志向”が創出する大きな効果

わたしたちは
皆さまと“インテリサント”の共有を
目指します。

無溶接結束金具

ゼスロック PAT.P



コンクリート圧送ホースにもワレキ
ンブルに耐えて、天端仕上がり確実

“工事の安全”と“省力化”のお役に立つ
橋梁副資材専門メーカーです。

〈製造元〉

建設の安全と省力化にアタック
ゼン技研株式会社

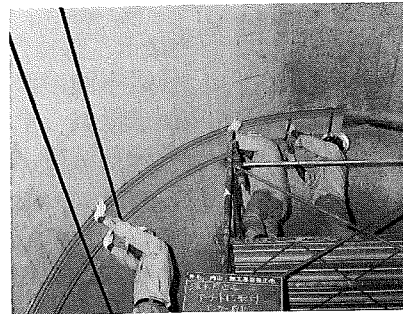
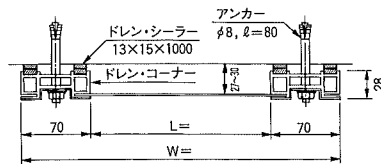
〒818-0105 太宰府市都府橋南5-16-13
TEL(092)925-8161 FAX(092)925-3449
URL <http://www.zen-g.co.jp/>

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

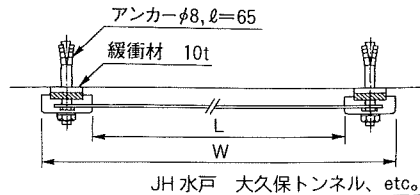
アーチ・ドレン導水樋

■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。

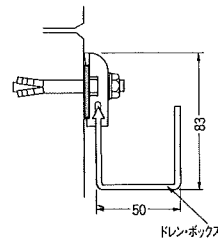


コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



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 n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

仙台

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

e-mail

r0klsens@tces.scm.co.jp

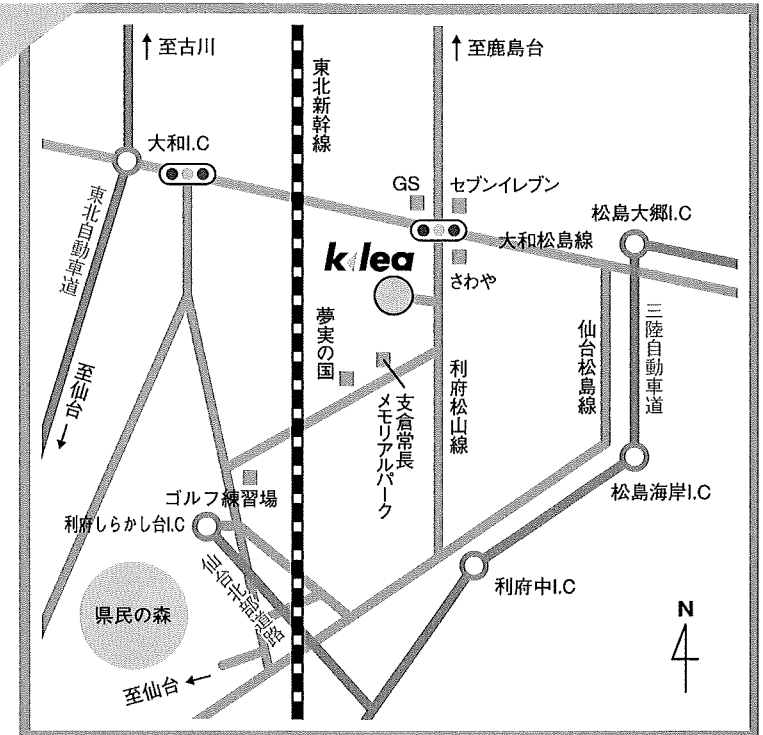
アクセス

車の場合/東北道大和I.Cより20分
三陸道/松島大郷I.Cより15分
三陸道/利府中I.Cより15分
仙台北部道路/利府しらかし台I.Cより10分
電車の場合
東北線/松島駅よりタクシーで20分



株式会社 ケーリー

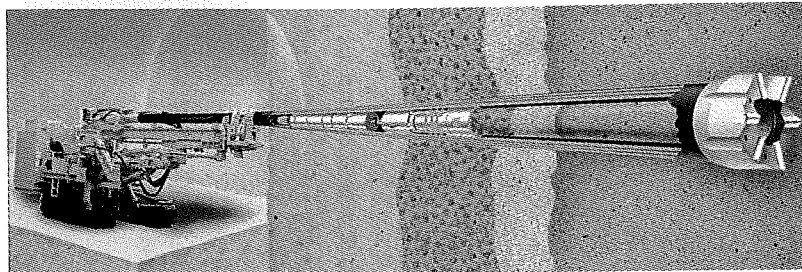
仙台：TEL.022-359-5331
東京：TEL.03-3661-5651
大阪：TEL.06-6838-1372



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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーラインサンプリング工法



■特長

- ①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に、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、地質条件にかかわらず、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。



本社 〒164-8650 東京都中野区中央1-29-15
TEL (03)3366-3111(大代表) FAX (03)3366-3341

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

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

ブロック理論と岩盤工学への応用

R.E.グッドマン, G.H.シー著/吉中龍之進・大西有三訳
A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著
A5判 474頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方

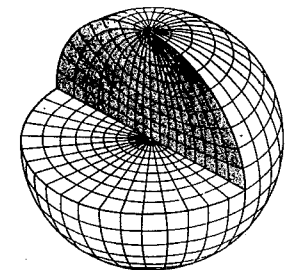
石井康夫・矢嶋壯吉 共著
A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工

E.フック, E.T.ブラウン 共著
小野寺透・吉中龍之進・斎藤正忠・北川隆 共訳
B5判 444頁 上製本 税込10,290円 送料450円

山岳トンネルの新技术

ジェオフロンテ研究会 編集
B5判 500頁 税込15,301円 送料450円



わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著
B5判 286頁 税込6,116円 送料340円

岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著
A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

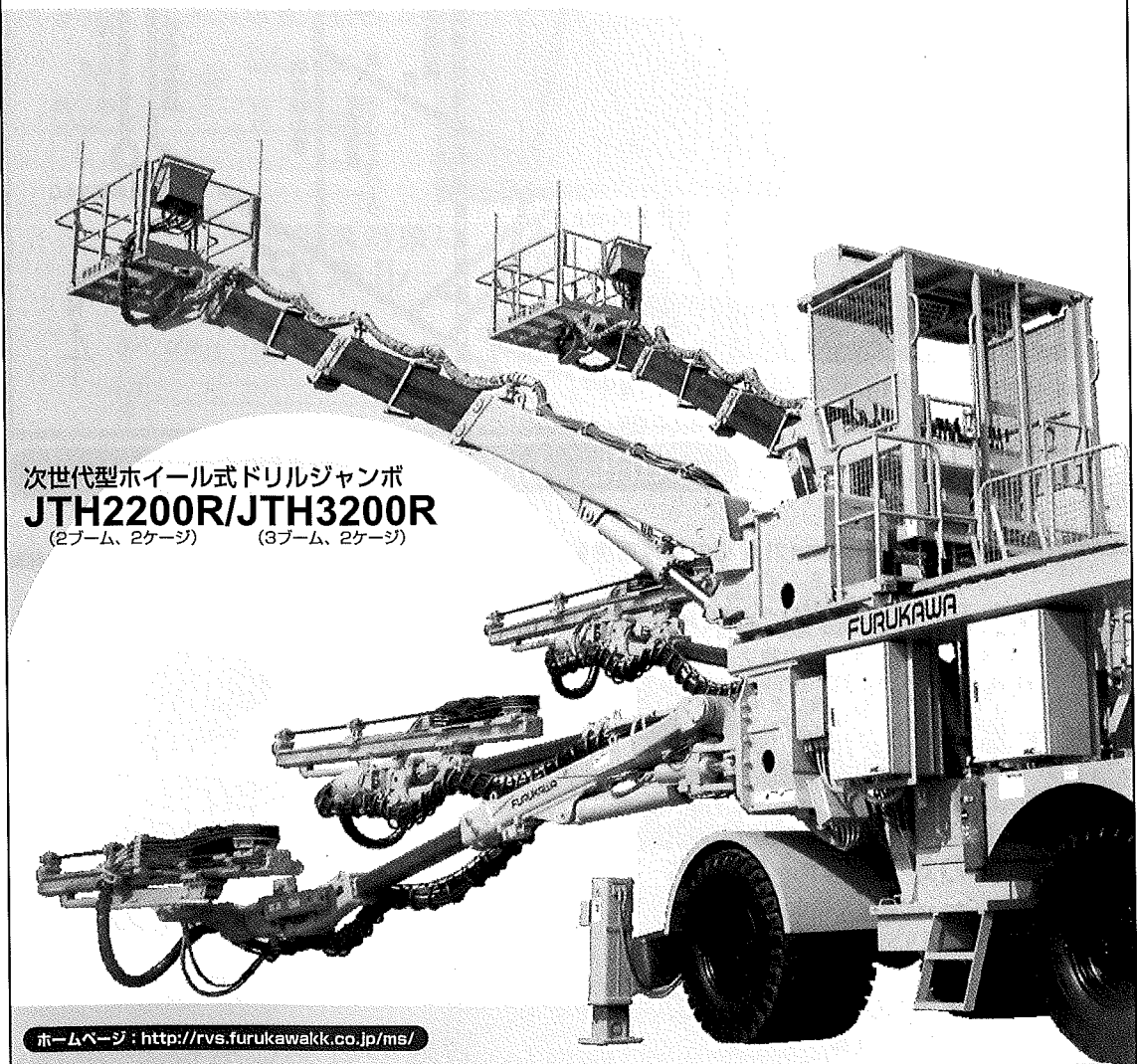
地質工学概論

菊地宏吉 著
B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

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



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



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

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



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

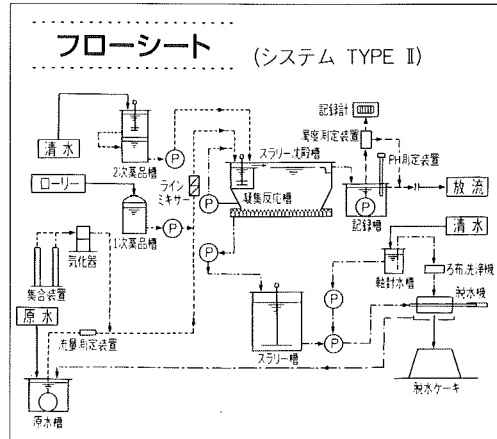
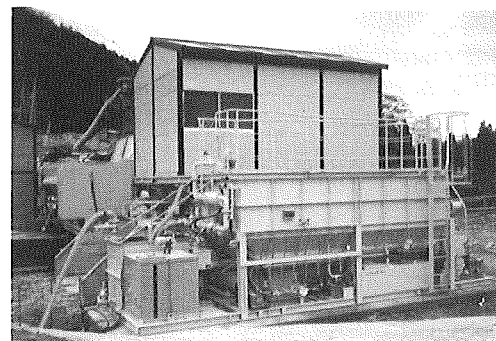
本社 〒101-0047 東京都千代田区内神田2丁目15番9号 古河千代田ビル 特機営業部 TEL: 03-3252-2544

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

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力

Waste Water Treatment System



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わ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。複式汙板型の脱水機を採用していることから汙布等の消費費が少ない。
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
 3. シ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常警報装置を標準装備している。
 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 (異常警報装置と連動)
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
自動汙布洗浄装置
- シクナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

詳細資料請求、お問い合わせは

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

■巻頭言

トンネル技術 今昔

戸村 和彦5

■施 工

幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服

—東北新幹線 市川トンネル—

飯島 興二・梅木 信夫・高橋 聖二・千代谷朝男7

めがねトンネルの中央導坑を利用した先行アーチ支保

—金沢外環状道路 涌波トンネル—

高橋 裕之・田中 志人・岩永 茂治・中北 昭浩17

砂地山に鏡補強で扁平大断面トンネルを掘る

—国道210号日田バイパス 石井トンネル—

古閑 靖啓・広瀬 武志・森本 一・倉原 隆二29

営業中の複線躯体を抱え込んだボックストンネル

—中之島新線建設工事 京阪本線天満橋駅—

谷口 智之・南 裕一39

各種新技術を駆使した大規模水道シールド工事

—東京都水道局 東南幹線—

原園 一矢・伊東 克郎・安田 昭二・松井 紀尚47

■連載講座

都市トンネル工事の計測(6)

—大断面・道路シールドトンネルの技術的課題と計測例—

土橋 浩・田中 弘・斉藤 正幸・名倉 浩57

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(3)

—II. トンネル覆工表面の検査手法(2)—

JTA保守管理委員会67

■現場だより

「南国土佐の地」高知県芸西村から

植村 徹28

■資 料

トンネル千夜一夜(18)

小野田 滋26

土木情報

編集部45

トンネルジャーナル

編集部46

工法・技術・製品ニュース

編集部56

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会国内広報ワーキング73

海外文献速報

JTA研究開発委員会75

■会 報

会 報

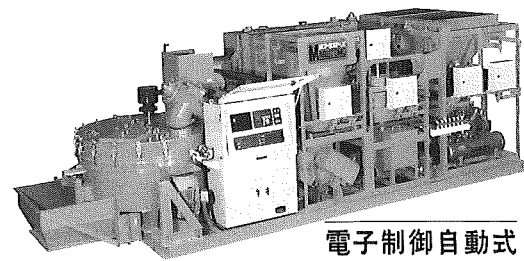
日本トンネル技術協会78

コンパクトで計量精度は抜群...

丸友の移動式 コンクリートプラント

製造・販売・リース

生産量 10~90m³/H



電子制御自動式
(印字自動記録装置付)

丸友機械株式會社

本 社 名古屋市中区東一丁目19番12号
〒461-0001 電話 (052) (951) 5 3 8 1 (代)

東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024 ミツパビル 電話 (03) (3861) 9461 (代)

恵那工場 岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121 電話 (0573) (28) 2 0 8 0 (代)

【表紙説明】

幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服

—東北新幹線 市川トンネル—



東北新幹線・市川トンネルは、未固結土砂地山を小土かぶりで施工する新幹線複線トンネルである。終点側坑口部では、国道および有料道路下の盛土・未固結砂質土層を、土かぶり最小4mで横断する区間があり、施工方法について検討を行った結果、パイプルーフ工法(泥水推進工法)およびNATM(側壁導坑先進工法)で施工した。写真は、道路交差部の坑口状況である。

(写真提供：鉄道・運輸機構)(本文7頁参照)

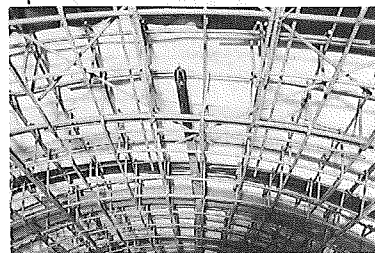
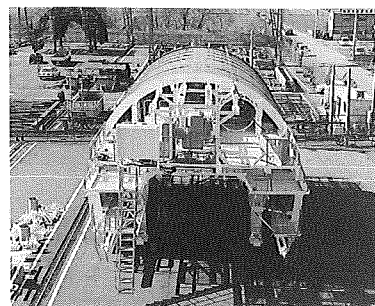
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

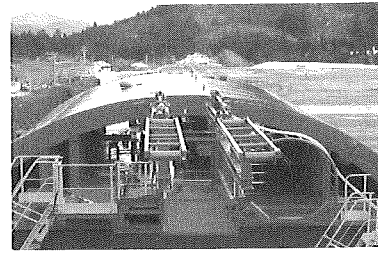
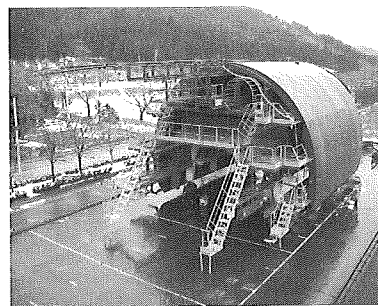
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



効果・特徴

1. 覆工コンクリートの品質が向上する。
2. トンネルクラウン部の締固めが省力化できる。
3. 作業環境が改善でき、狭隘なヶ所での作業が無くなります。
4. 鉄筋、無筋区間での共用が可能で、経済性に富んでいます。



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD

GIFU KOGYO 本 社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464
本社工場 TEL (058) 323-2000(代) FAX (058) 323-1176

本社営業部 (058) 323-2001
東京支店 (03) 3262-1285(代)
仙台営業所 (022) 259-2239
九州営業所 (092) 713-5265

URL <http://www.gifukogyo.co.jp/>

会誌 W G 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〕

| | |
|---|---|
| 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 | 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 |
| 大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長 | 濱 建 介 株式会社アオバ取締役会長 |
| 久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長 | 松 尾 勝 弥 飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長 |
| 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 | 山 田 邦 博 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 |
| 千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 技術第二部部长 | 山 田 隆 昭 中日本高速道路(株)中央研究所 トンネル研究主幹 |
| 長 島 芳 雄 株式会社竹中土木取締役技術本部長 | 山 道 哲 二 株式会社大林組東京本社土木技術本部技術 第二部部长 |

編 集 顧 問 の 構 成 (五十音順・敬称略)

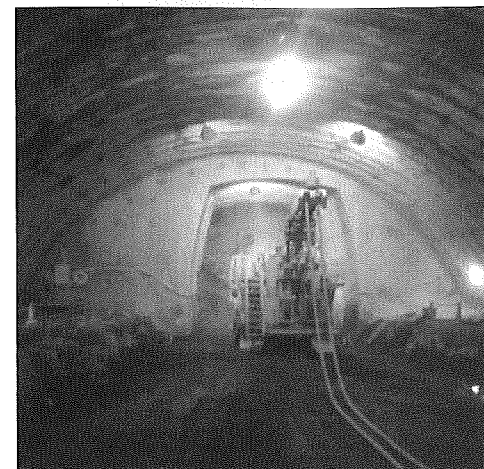
| | |
|--|---------------------------|
| 伊吹山 四 郎 攻玉社工科短期大学名誉学長 | 林 博 西松建設株式会社専務取締役 |
| 島 田 隆 夫 鉄建建設株式会社社友 | 松 本 崇 義 (元)東京都理事 |
| 高 橋 彦 治 伸光エンジニアリング株式会社技師長 | 丸 安 隆 和 東京理科大学教授 |
| 田 島 利 男 NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット トンネル担当 | 吉 村 恒 吉村とんねる・らぼ |
| 西 松 裕 一 東京大学名誉教授 | 渡 邊 和 夫 株式会社熊谷組執行役員副社長 |

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



カッター出力 330kW
総質量 120ton



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: 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6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6番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

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

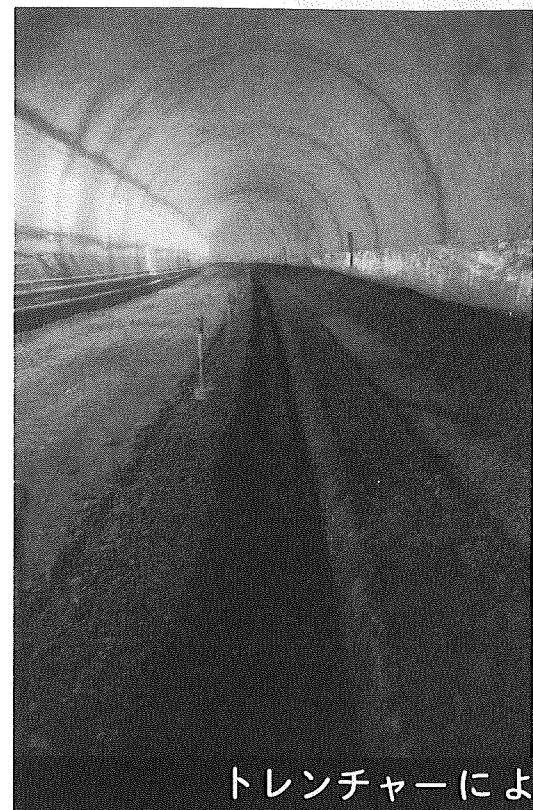
〔編集参与〕

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

〔委員〕

| | | | |
|--------|-------------------------------------|-------|---|
| 城戸 務 | 東京都水道局建設部工務課長 | 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 |
| 木谷 日出男 | 財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員 | 西村 聡 | 東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長 |
| 坂根 良平 | 東京都下水道局建設部設計調整課長 | 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) |
| 佐藤 亘 | 東京電力株式会社電力流通本部・工務部 設備渉外・調整グループ課長 | 山田 隆昭 | 中日本高速道路(株)中央研究所 トンネル研究主幹 |
| 佐野 正生 | 東京都交通局建設工務部計画改良課長 | | |
| 清水 満 | 東日本旅客鉄道株式会社建設工務部 構造技術センター課長 | | |

岩盤切削機 トレンチャー **TRENCOR Inc.**



トレンチャーによる中央排水溝掘削

トレンチャーによる 工期短縮とコスト合理化の実現

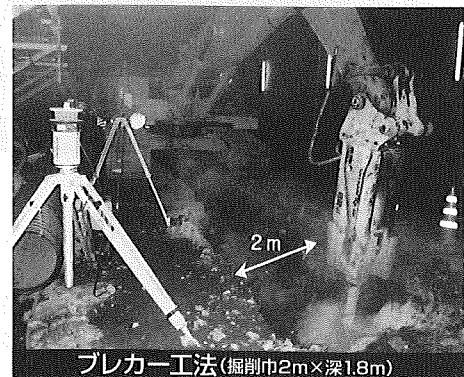
トンネル中央排水溝掘削例

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



| | 切削巾 | 切削深 | 用途 |
|---------|----------|-----------|---------------------------|
| トレンチャー | 0.3~2.4m | 0.5~10.0m | 深溝掘削 ⇒ トンネル中央排水溝、道路、造成地内溝 |
| ロードマイナー | 3.0~4.8m | 0.9~1.9m | 広幅掘削 ⇒ トンネル下半、道路盤、造成工事 |
| ロックソー | 0.1~0.3m | 0.9~1.4m | 狭溝掘削 ⇒ 光ケーブル、電力線、その他 |

どちらの工法を選びますか？



ブレイカー工法(掘削巾2m×深1.8m)



トレンチャー工法(掘削巾0.8m×深1.8m)

TRENCOR INC.
TEXAS, U.S.A
www.trencor.com

総代理店 **オオヤマ & Co.** (Ohyama & Co.)
〒121-0813 東京都足立区竹の塚 1-27-9
TEL.03-3885-0864 FAX.03-3885-0864
mail: ohyama@mui.biglobe.ne.jp

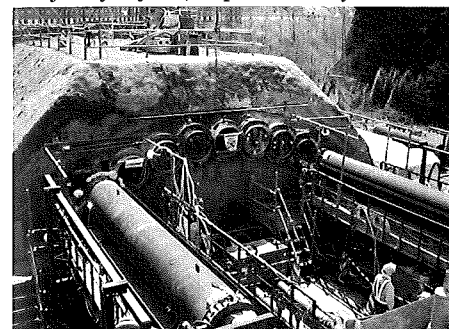
トンネルと地下 VOL.37 No.6 掲載概要

掲載頁 7
幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服
—東北新幹線 市川トンネル—

鉄道・運輸機構 飯島 興二

東北新幹線市川トンネルは、未固結土砂地山を小土かぶりで施工する新幹線複線トンネルである。終点側坑口部では、国道および有料道路下の盛土・未固結砂質土層を、土かぶり最小4mで横断する。道路横断部の施工方法について検討を行い、パイプルーフ工法(泥水推進工法)およびNATM(側壁導坑先進工法)で施工した。また、施工時の地表面沈下予測では、数値解析結果を過去の施工実績にもとづいて補正し、最終沈下量とともに施工の各段階における沈下量の予測精度を高めるように試みた。

本稿では、道路下の未固結地山を小土かぶりで横断するトンネルの設計、施工について報告する。
Breakthrough of Ichikawa Tunnel of Tohoku Shinkansen using Pipe Roof Method
By Koji Iijima, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真はパイプルーフ施工状況

Ichikawa Tunnel is a double track tunnel of Tohoku Shinkansen(Super Express Railway Line). This tunnel was constructed in unstable sandy soil beneath the existing national road and expressway with a cover of 4 m near the portal. This section was excavated with the Silot-NATM(the side drift preceding NATM) using the pipe roof method as an auxiliary method. To expect both of the settlement during construction and the final one and improve the accuracy of them, the numerical analysis method compensated with the measurement data of actual results of tunnelling project in the past was used.

This paper reports the design and construction of this project.

掲載頁 17
めがねトンネルの中央導坑を利用した先行アーチ支保
—金沢外環状道路 涌波トンネル—

石川県 高橋 裕之

金沢外環状道路山側幹線「湧波^{わくなみ}トンネル」は、犀川と浅野川の河岸段丘により形成された涌波台地を小土かぶりで貫くめがねトンネルである。地質は大桑層と呼ばれる固結度の低い細粒砂岩であり、台地上は住宅地であることから、周辺環境と安全に配慮した工事が求められていた。このため、先行変位と地表面沈下の抑制、切羽の安全性確保を目的として、めがねトンネル本坑掘削に先行して中央導坑内から本坑のアーチ形状に沿って曲線鋼管を圧入(ウォータージェット併用の刃口推進方式)し、先行アーチ支保工とする新工法「PSS-Arch工法」を契約後VE方式により採用した。本稿では、この地質状況と新技術の概要、および施工実績を報告するものである。

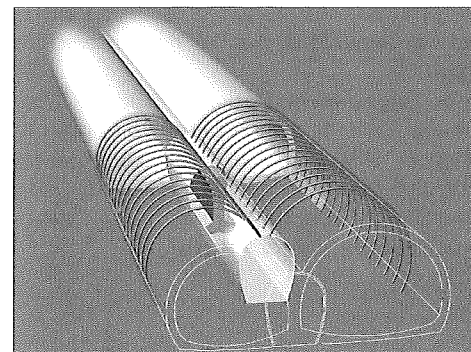
Construction of Eye-Glasses-shaped Twin Tunnel using Center Drift—Wakunami Tunnel

By Yukihiro Takahashi, Ishikawa Prefectural Government

Wakunami Tunnel is a part of Mountainous Side Trunk Road of Kanazawa Outer Circular Line and penetrates Wakunami Plateau in the river terrace between Sai River and Asano River. This tunnel is an eye-glasses-shaped twin tunnel. The geology is unstable sandy rock named Omma Strata and the route of this tunnel is located in the residential areas. In consideration of these geological and environmental conditions, the PSS-Arch Method(the Pre-Supporting System-Arch Method) was adopted to construct this tunnel to minimize the settlement and secure the safe works. The sequence of this method is as follows:

1. Center drift is excavated.
2. Curved Steel tubes are pressed from central drift into ground of the both sides using cutting edge and water jet. Steel tubes function as supports of main tunnels(twin tunnel) at the both sides of center drift.
3. Ground inside steel tubes is excavated and becomes inner space of main tunnel.

The PSS-Arch Method was adopted according to the VE contract system. This paper reports the construction records of this project including the PSS-Arch Method.



図はPSS-Arch工法の概念図

砂地山に鏡補強で扁平大断面トンネルを掘る

—国道210号日田バイパス 石井トンネル—

国土交通省 古閑 靖啓

一般国道210号が通過する日田市街地の慢性的な交通渋滞を緩和するために計画された日田バイパスのうち、久留米側起点に位置する石井トンネルは未固結の砂地山に最大土かぶり14m、1D(掘削幅 $D=14.9\text{m}$)未満で施工された。砂地山の掘削に対して、AGF工法およびレッグパイルによる切羽天端安定対策と切羽鏡面の自立を図る核残しの併用が必要であった。しかし、核残しではレッグパイルを切羽直近でトンネル軸直角に打設することができず、脚部補強効果が早期に得られない問題があった。対策として、切羽鏡面の砂地山を緩めないように長尺鏡ボルトによる鏡補強を実施した。本稿は、長尺鏡ボルトを中心に工法選定、設計、施工結果および計測結果について報告するものである。

Excavation of Oval Tunnel using Long Distance Face Bolting—Ishii Tunnel

By Yasuhiro Koga, Ministry of Land, Infrastructure and Transportation



写真は長尺鏡ボルト(FIT)の打設状況

The Hita Bypass Road Project is planned to alleviate the daily congestion of National Road No. 210. Ishii Tunnel is a part of this bypass road and located near Kurume City. The geology of this tunnel area is unstable sandy ground and the cover is up to 14 m (the width of this tunnel is 14.9 m). The ring cut method using the AGF Method and Leg Pile Method was investigated to excavate sandy ground. But the Leg Pile Method was unavailable because the leg piles driving could not be done in the tunnel leaving the core and the early effectiveness of reinforcement of foot part could not be secured by this method. On behalf of the Pile Method, the long distance face bolting was adopted not to loosen the face of sandy ground. This paper reports the design, construction and measurement of this tunnel project.

営業中の複線躯体を抱え込んだボックストンネル

—中之島新線建設工事 京阪本線天満橋駅—

京阪電気鉄道(株) 谷口 智之

中之島新線整備事業は、大阪の中之島西部地区である玉江橋付近から京阪本線天満橋駅に至る約2.9kmの地下鉄を建設するものである。工事は平成15年度に本格着工し現在順調に進捗している。

本稿では、中之島新線建設工事のうち、京阪本線との接続部分(京阪本線切替え部)において、新設躯体と既設営業線躯体が平面的にラップする延長138mをアンダーピニングにて仮受けしながら、その営業線を包み込む形でRCボックスラメンを構築したこと、また、その後に既設の営業線躯体の撤去を行い、地下における京阪本線上下2線同時切替えを行うことが可能な空間を確保したことを中心に、鉄道トンネル切替え工事の概要について報告する。

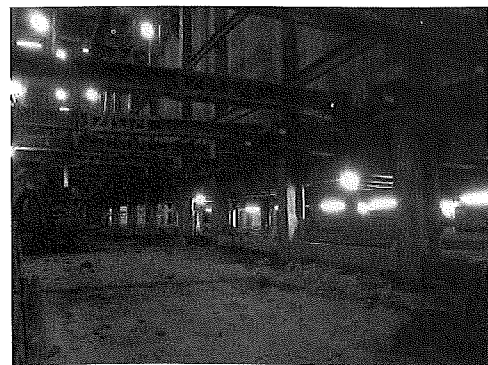
Construction of Temma-bashi Station containing Subway Lines under Operation

By Tomoyuki Taniguchi, Keihan Electric Railway Co., Ltd.

Nakanoshima New Railway Line Development Project comprises the subway construction projects with the length of 2.9 km from Tamae-Bashi in the Western District of Nakanoshima to Temma-bashi Station of Keihan Railway Line. This project has begun in 2003 and is now successfully under construction.

The structure of Temma-bashi Station will be a RC box frame one containing the Keihan Main Line under operation with the lapped length of about 138 m. The existing railway line is temporarily underpinned and will be removed.

This paper describes the relocation works of the existing railway and the one to be newly constructed.



写真はアンダーピニング完了状況

各種新技術を駆使した大規模水道シールド工事

—東京都水道局 東南幹線—

東京都水道局 原薊 一矢

東京都水道局では、効率的な水運用や地震などの非常時におけるバックアップ機能の強化を目的として、浄水場と給水所間等を結ぶ送水管のネットワーク化を進めている。今回報告する工事は、このうちの未施工区間である東南幹線約4kmの区間である。

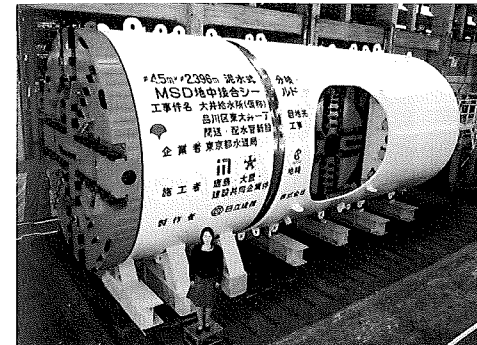
本工事は、土かぶり40m付近での泥水加圧式シールド工事であり、砂層・高水圧下での発進・到達、地中接合、分岐発進といった難易度の高い工事であったが、さまざまな最新技術を駆使して克服することができたので報告する。

今回報告する技術は、①異径MSD(メカニカルシールドドッキング)地中接合法、②分岐シールド工法、③EW工法(Electric corrosion Wall method:電食技術による直接発進工法)、④立坑内隔壁工法の4点である。

Construction of Water Supply System Project using Shield Method

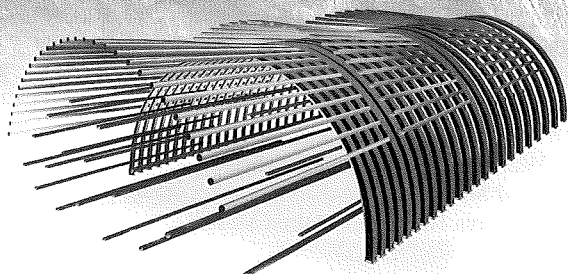
By Kazuya Harazono, Tokyo Metropolitan Government

The Bureau of Waterworks of Tokyo Metropolitan Government promotes some projects of network system of water supply joining water filtering plants and water works not only for the daily use but also for the one in case of emergency such as earthquake. This paper reports the To-Nan Water Supply Main with a length of 4 km and a cover of 40 m, one of projects above-mentioned. This water supply main will be constructed with the shield method using some latest technologies such as the Non-circular Mechanical Shield Docking Method, the Joints in Underground Conveniently Method, Electric Corrosion Wall Method and the Bulkhead-in-Shaft Method, which are introduced in this paper.



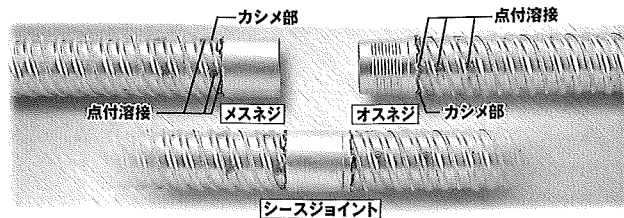
写真はMSD地中接合シールド親機

ユニークな発想と高品質・自信の価格



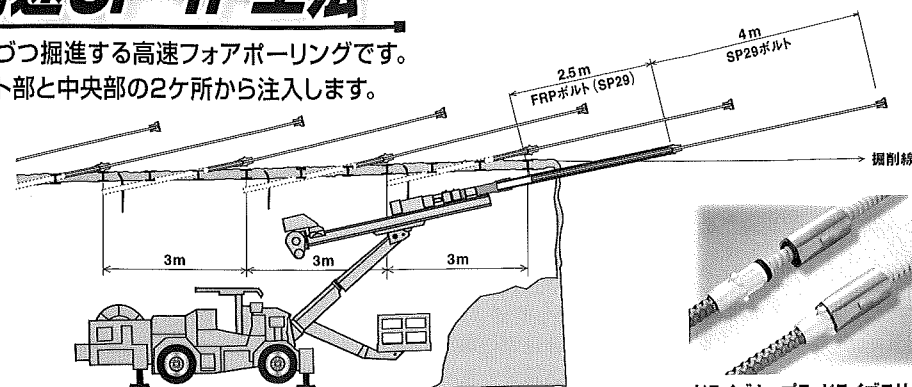
FIXチューブ工法

※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。

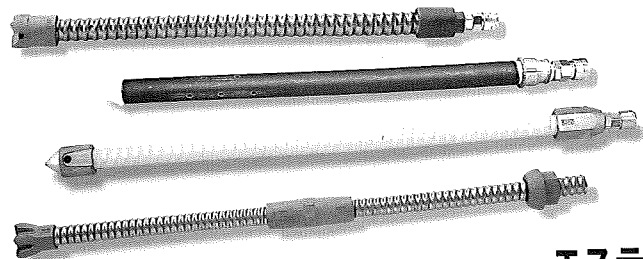


高速SP-IF工法

※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ヶ所から注入します。



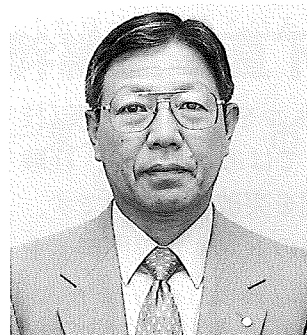
自穿孔ボルト&注入管



※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



トンネル技術 今昔

飛島建設(株)取締役執行役員専務(本協会理事)

戸村和彦

この稼業、「土木屋」、その中の山岳トンネルの道に入ったのが37年前でした。きっかけは、この当時の山岳トンネルを志した多くの土木技術者の卵と同様、映画「黒部の太陽」に接したことでした。関西電力が社運を賭け、黒部峡谷に国家的大事業として建設した「黒四ダム」のトンネル工事を扱った壮大な映画です。工事は難工事の連続で、トンネル掘削中の破碎帯での大出水シーンが今でも強烈に頭に焼き付いています。石原裕次郎の格好良さもさることながら、仕事のスケールの大きさと自然の偉大さ、怖さ、その中で要求されるとさの判断力、洞察力などトンネル技術者にしか味わうことができないであろう凄さにひかれ、自分も是非トンネル屋になりたいと思ったものでした。そんなことから自ら希望し、入社とともに山岳トンネル工事に従事させてもらうこととなりました。

それはさておき、当時のトンネル掘削の標準工法は「矢板工法」でした。大断面トンネルでの良好な地質では「底設導坑先進上部半断面工法」が、地耐力不足などが懸念される軟弱地質では「側壁導坑先進上部半断面工法」が一般的な掘削工法とされていました。

当時は今ほど多様な補助工法がなかったことから、断層や破碎帯などに遭遇すると松丸太、場合によっては古レールを用いての「縫い地工法」や丸太と矢板を組み合わせた「切羽鏡張り」工法などを駆使して地山を極力傷めない方法で、破碎帯などの突破が試みられました。突破が困難となると、切羽面積を小さく分割して掘削したり、導坑の中に更に小さい導坑を先進させて水を抜いたりさまざまな工法を選択しました。それでもどうにもならない場合、最後の手段として薬液注入などの止水・地盤改良工法が導入されるという状況でした。

地山を支える支保工は既にH形鋼でしたが堅岩地山では矢板を支保工間に掛け渡す「掛け矢板工法」で、支保というより落石防護といったものです。地質が悪くなるに従い、矢板の掛け方も「送り矢板」、「縫い地矢板」、「縫い地矢木」へと変わっていきます。さらに、地山荷重が大きくなり、鋼製支保工に変形が生じたりすると「後光梁」といっ

た太い丸太を用い、「後光」のごとく支保工を補強するというようなことが行われました。

この「矢板工法」の時代は地質が悪くなればなるほど、トンネルを掘る坑夫の腕(技量)の良し悪しでトンネル工事の成否が決まったといっても過言ではありません。経験豊かで腕の良い坑夫は地山を緩ませず的確な方法で不良地山区間を突破したものです。したがって、トンネル工事を請負う建設会社はそれぞれ自社専属のトンネル専門業者を抱えていました。

昭和50年代に入ってトンネル標準工法は「NATM」に変わっていききました。

「計測・解析・評価」技術、ならびに「先受け工法」、「鏡補強工法」、「長尺水抜き工法」などのさまざまな補助工法、それに油圧削岩機やコンクリート吹付け機、大型ずり積み・運搬機などが相次いで開発・導入されました。これにより工事の安全性も格段に向上しました。

掘削工法が「NATM」に変わり、従来の「矢板工法」の時代ほどは坑夫の腕に頼らなくて済むようになりました。言うなれば、「経験」、「勘」、「コツ」といった職人芸的な技術から、計測データにもとづいた支保と補助工法の採用、汎用的な機械によってトンネルが掘削されるようになったのです。その結果、自社専属のトンネル専門業者を持たなくても施工可能になり、トンネル工事は特殊なジャンルではなく、一般土木工事に近くなりました。

しかし、そうはいつでも一般土木工事に比べると前方の地質・湧水・地山性状など、まだまだ予見できないことがたくさんあり、施工途上のさまざまな問題に対する細心の注意と予兆を見逃さないかつての「坑夫の目」がトンネル技術者に不可欠であることはいうまでもありません。

さらに、これからのトンネル技術を考えてみると、わが国の社会環境などから、その「機能」をいかに長く保持するか、「ライフサイクルコスト」をいかに低減するかといったトンネルの長寿命化・メンテナンスフリー化技術が設計・施工の段階から求められてくると思います。

土木構造物は一般の商品とは違い、50年、100年と長期にわたって使用されるものです。次世代、次々世代までその機能が健全に保持されることが不可欠です。一般商品のほとんどは自分の世代で使い果たされるものですが、土木構造物は次世代以降の人々にまで永く使われるもので、いわば次世代への「贈り物」です。

完成から43年経ても輝きを失わない「黒四ダム」のように、いつになっても評価される質の高い土木構造物をわれわれ世代からの次世代への「贈り物」として造り続けたいものです。

施工

幹線道路直下を90mのパイプルーフで克服

—東北新幹線 市川トンネル—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事2課長 飯島 興二
 鉄道・運輸機構東北新幹線建設局(前)八戸鉄道建設所所長 梅木 信夫
 鉄道・運輸機構東北新幹線建設局八戸鉄道建設所担当副所長 高橋 聖二
 大林・東亜・小田急・東北特定建設工事共同企業体所長 千代谷 朝男

表-1 工事概要

| | |
|-------|---|
| 工事名 | 東北新幹線市川トンネル工事 |
| 発注者 | 鉄道・運輸機構東北新幹線建設局 |
| 施工者 | 大林・東亜・小田急・東北特定建設工事共同企業体 |
| 工事場所 | 青森県八戸市大字市川町地内 |
| 工事延長 | トンネル延長 L=925.0m N A T M 部: L=870.5m 箱形トンネル部: L= 54.5m |
| 掘削断面積 | 約70m ² |

1 はじめに

市川トンネルは、2010年度末に完成予定の東北新幹線八戸～新青森間に建設される延長925mのトンネルである。この八戸～新青森間のトンネルには、「未固結地山」、「小土かぶり」、「地下水」といった、山岳トンネル工法を適用するうえで課題となる条件下で施工されるトンネルが多い。本トンネルも例外ではなく、全区間に均等係数の小さい砂質土が分布し、土かぶりは2～16mと小さい。実施工では、自立性が悪く、流砂が発生する地山に対して補助工法を駆使し、切羽・天端の安定性を確保しながら掘削を行った。

終点側坑口部は、国道45号(日交通量20,000台)および百石有料道路と土かぶり最小4mで交差する区間であり、とくに厳しい条件であった。

施工方法について種々の検討を行い、パイプルーフ工法(φ800mm, n=17本, L=91m)およびNATM(側壁導坑先進工法)での施工方法を採用した。

本稿では、小土かぶりで道路下を横断するトンネルの設計・施工について報告する。

2 概 要

2-1 工事概要

工事概要を表-1に示す。

2-2 地質概要

全体的には、細粒分混じり砂質土の野辺地層(nos)と、含水比中位でさらに細粒分含有率、均等係数がともに小さい高館段丘構成層の砂(Ts)あるいは砂礫(Tg)が互層となって、水平に分布している。

終点側道路交差部の地質は、トンネル天端から上半断面が表土・盛土(Bn)、断面内ほぼ全体が根城段丘構成層砂質土(ns)、トンネル下端より約3m以深から層厚5m程度が根城段丘構成層砂礫(ng)、これより深部は野辺地層砂(nos)で構成されている。

表土・盛土(Bn)は国道および有料道路施工時に造成されたもので、砂質分を含んだ粘土状を呈し、植物や木根を含み、φ5～10cmの垂円礫が若干混入している。根城段丘構成層砂質土(ns)

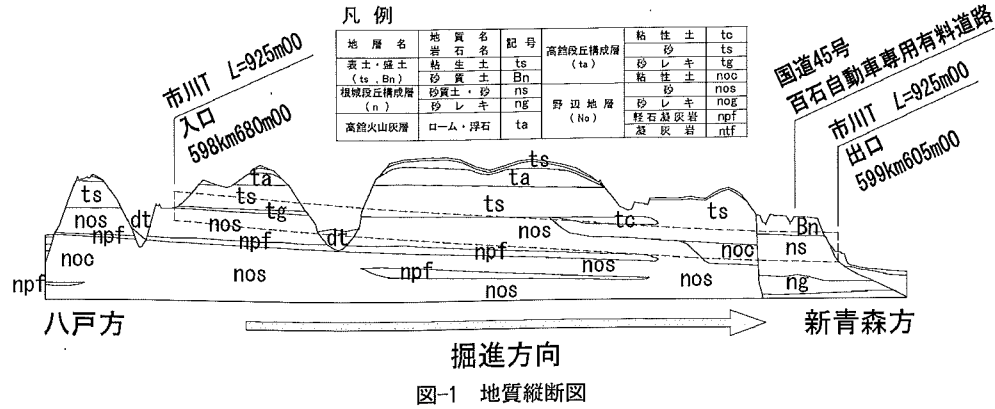


図-1 地質縦断面図

は、N値10程度であるが、下端付近の土質からは内部摩擦角 $\phi=38^\circ$ という結果が得られており、支持層として期待できる。

これ以深はN値50以上で、よく締まった層である。地下水位はBn層とns層の層境から下部1mに位置している。

図-1に地質縦断面図を示す。

3 道路交差部の設計・施工

3-1 道路交差部の設計

3-1-1 当初計画

当初、道路交差部の施工方法は、国道および有料道路を切り回し、鋼矢板を用いた土留めによって開削する計画であった。しかし、交差する道路が主要幹線であり、道路を切り回すことで周辺に及ぼす影響が大きく、また、交通の安全性を確保することが困難であると考えられた。そこで、道路を切り回す必要がない非開削工法での施工方法を検討した。

3-1-2 非開削工法の設計

(1) 一次選定

盛土および未固結砂質土内を土かぶり最小4mで掘削するため、地表面への影響が少なく、掘削時のトンネル安定性が高い施工方法が必要であった。

表-2に示す各施工方法について、地表面への影響、工期、経済性に加え、施工の確実性を考慮して、NATM(側壁導坑先進工法)+パイプルーフ工法(泥水式)を選定した。

(2) パイプルーフ工法の検討

一次選定では、パイプルーフの施工は泥水式推進工法によるものとして選定したが、これは以下の理由による。

- ・オーガ式の場合、盛土部分の自立性を確保するために、全区間で地山改良が必要であるが、これは道路上から施工する必要がある。
- ・泥水式推進工法は、打設精度がよい。
- ・泥水式推進工法は、パイプルーフ施工時の地表面沈下量を小さく施工できる。

パイプルーフ打設範囲は 120° で、施工本数は17本(L=91m)とした。

パイプ径は、①推進機の引き戻しが可能、②裏込め注入が確実、③玉石などによる掘進不可能時に管内からの対応が可能、などの点を考慮して $\phi 800$ とした。

また、①本坑掘削時のパイプ間からの土砂抜け落ち防止、②鋼管打設精度の確保、③パイプルーフの一体化、を目的として、鋼管にセクションを取り付けた(図-2参照)。なお、泥水推進工法でも、発進部・到達部では地山の自立性を確保するために地山改良(薬液注入)が必要となる。

(3) 掘削方式の選定

一次選定では、掘削方式を側壁導坑先進工法として工法選定を行った。

これは脚部の地盤支持力について検討した結果、側壁導坑先進工法でなければ必要支持力を満足しなかったためである。脚部支持力検討の結果、短期許容支持力を満たすように、側壁コンクリー

表-2 非開削工法の比較

| No. | 工法 | 図 | 施工方法概要 | 地表面への影響 | 工期 | 費用(①を100とする) | 長所 | 短所 | 評価 |
|-----|-------------------------------|---|--|---|------|--------------|--|---|----|
| ① | NATM(側壁導坑先進工法)+パイプルーフ工法(泥水式) | | トンネル外周に沿って推進機で掘削しながら鋼管パイプを打設した後、裏込め注入および中詰しめ注入によってパイプ内外を充填する。パイプルーフ施工後、側壁導坑先進工法でトンネル施工を行う。 | 地表面への影響が比較的小さい。工期面でも有利。立坑が不要。パイプルーフ精度がよい。 | 17か月 | 100 | 導坑掘削用機械を編成する必要はない。パイプルーフは直線施工であり、打設範囲を広げることが必要である。産業廃棄物(泥水)が発生。 | | ○ |
| ② | NATM(側壁導坑先進工法)+パイプルーフ工法(オーガ式) | | トンネル外周に沿ってオーガで掘削しながら鋼管パイプを打設した後、裏込め注入および中詰しめ注入によってパイプ内外を充填する。パイプルーフ施工後、側壁導坑先進工法でトンネル施工を行う。 | 工期面でも有利。立坑が不要。 | 20か月 | 90 | パイプルーフ打設前に道路部からの薬液注入が必要。パイプルーフ精度に懸念がある。導坑掘削用機械を編成する必要はない。 | パイプルーフは直線施工であり、打設範囲を広げることが必要である。 | × |
| ③ | NATM(ショートベントリカチカ工法)+MJS工法 | | トンネル周辺に硬化材を高圧噴射し、改良体を作成する。MJS施工後、ショートベントリカチカ工法でトンネル施工を行う。 | 工期、工費面で有利。本坑掘削時に機械編成を変える必要はない。 | 16か月 | 95 | 改良体が固化するまでに時間を要する。改良体造成の確実性に不安。改良材が地表面に噴発する恐れがある。施工可能延長が短いため、立坑が必要。産業廃棄物(泥水)が発生。 | | △ |
| ④ | HEP & JES工法 | | 中空の鋼管エレメントを地中に牽引圧入する。これをくり返し必要断面を形成した後、鋼管エレメント間をPC鋼線で緊張し、本体構造物とする。 | 地表面への影響はほとんどない。 | 24か月 | 155 | 地表面への影響がもっとも小さい。函体内掘削時に機械編成を要する必要がある。円形断面形状が構造的に有利。 | 工期、工費面で劣る。パイプルーフ打設前に道路部からの薬液注入が必要。到達部に立坑が必要。曲線施工が困難。 | △ |
| ⑤ | 刃口推進工法+パイプルーフ工法(オーガ式) | | トンネル外周に沿ってオーガで掘削しながら鋼管パイプを打設した後、裏込め注入および中詰しめ注入によってパイプ内外を充填する。パイプルーフ施工後、プレキャスト化した函体の刃口を装着したものを推進する。 | パイプルーフ施工時の沈下 | 28か月 | 235 | 本体掘削時の地表面沈下はNA TMよりも小さい。 | 工期、工費面で劣る。パイプルーフ打設前に道路部からの薬液注入が必要。到達部に立坑が必要。パイプルーフ精度に懸念がある。 | × |

ト幅を1.9mとした。

(4) 地表面への影響照査

地表面への影響を確認するために二次元FEM解析を行った。その結果、国道側ではトンネル掘削による地表面沈下量が許容値35mm以内であったが、有料道路側では大きな沈下が発生することが示された。

これは、パイプルーフ最下端が国道側では支持層(ns層)に設置されるのに対して、有料道路側では盛土(Bn)内に設置されるため、盛土の変形とともにパイプルーフが共下がりするためであった。

しかし、①二次元解析ではパイプルーフの縦断方向の梁効果を間接的にしか考慮していないこと、②対策が必要な場合は導坑内からの実施が可能で

あることから、施工中に地表面沈下を監視し、必要となれば導坑内から沈下抑制対策を実施するという方針で、パイプルーフ打設範囲は120°で決定した。

図-3に道路交差部の平面・縦断図を、図-4に支保パターン図を示す。

3-2 道路交差部の施工

施工フローを図-5に示す。

仮設道路・ヤードの造成、埋設物防護などの準備工を行った後、坑口部の保護盛土を造成した。盛土法面はモルタル吹付け(t=10cm)で保護した。

続いて、パイプルーフ発進部および到達部の切羽自立性確保を目的として、薬液注入を行った。パイプルーフ推進設備の設置、発進坑口部処理を行い、パイプルーフの推進を開始した。

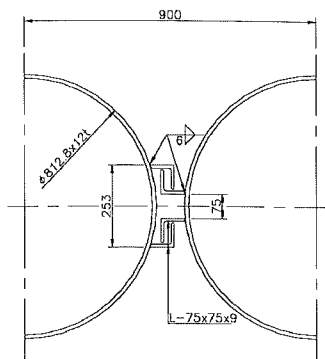


図-2 鋼管セクション詳細図

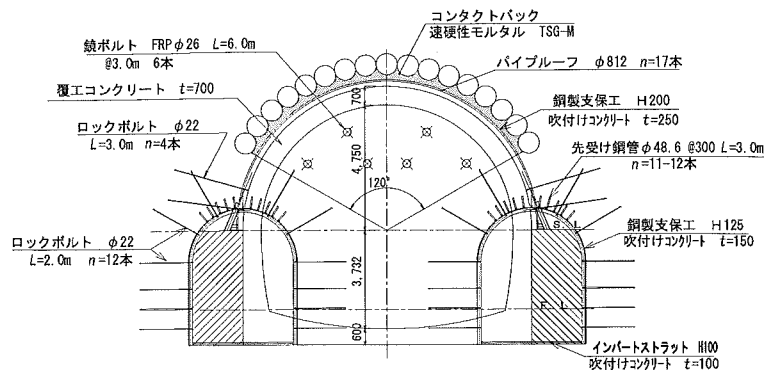


図-4 支保パターン図

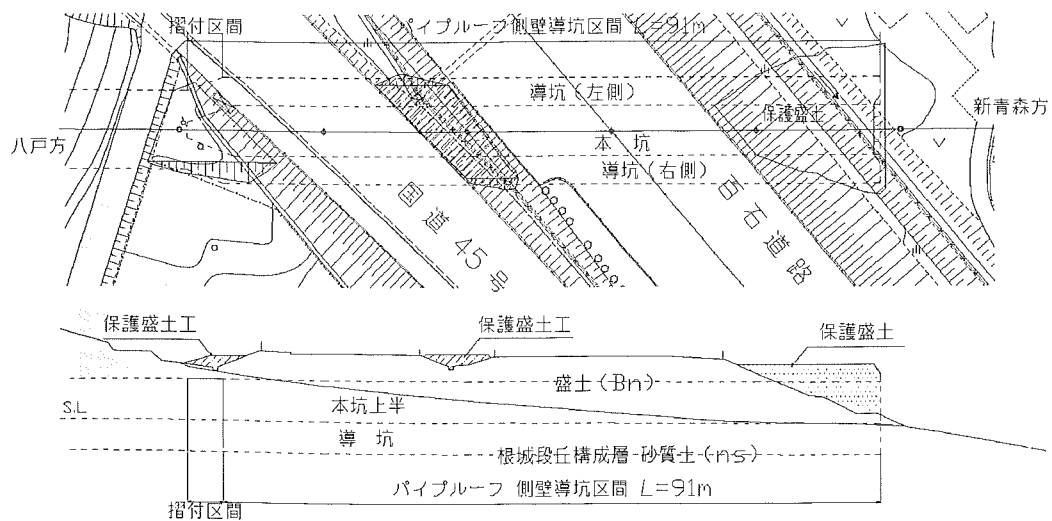


図-3 道路交差部平面・縦断図

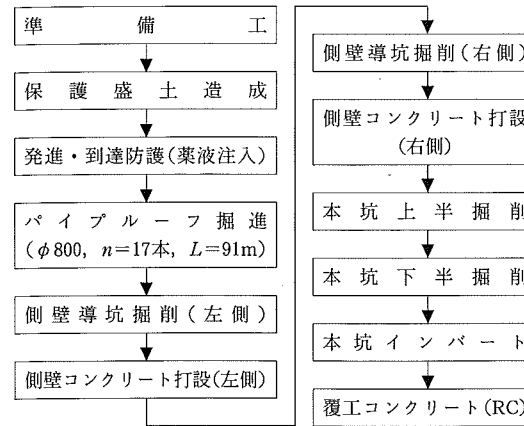


図-5 道路交差部施工フロー図

3-2-1 パイプルーフの施工

表-3にパイプルーフ工の概要を示す。

泥水式パイプルーフ工法は、パイプルーフ鋼管の先端に泥水推進機を取り付け、推進機で地山を掘削しながら、元押し装置によって鋼管を圧入する工法である。この工法の長所を以下に列挙する。

- ① 岩盤、転石、玉石を含む地盤、砂礫およびこれらの土質に砂質土、粘性土を含む互層の掘削が可能である
② 100m以上の長距離施工が可能である(130mの実績あり)
③ レーザー方向誘導装置により、鋼管打設精度が高い
④ 掘進機本体を管内から回収できるので、到達立坑を必要としない
⑤ オーガ式に比べて施工速度が早い

写真-1に泥水推進機を、写真-2に施工状況を示す。

推進は終点側(新青森方)から始点側(八戸方)へ向かって行った。最初にセンターの1本を推進機1台で打設し、以降は左右2台の推進機で施工を行った。図-6に推進手順のフローを示す。なお、パイプルーフ鋼管打設完了後に、鋼管内をエアミルクで充填した。

施工の結果、鋼管打設精度は管理値(±50mm)以内に収まった。ただし、鋼管間にセクションがあることで、前の鋼管の打設精度が後続の鋼管の打設精度に影響するため、推進時の精度管理は慎重

表-3 パイプルーフ工概要

Table with 2 columns: Item (掘進方法, 施工延長, 打設範囲, 打設本数, 鋼管諸元) and Value (泥水推進式, L=91m, 天端120°, n=17本, φ812.8mm, t=12.7mm, L=6m/本)

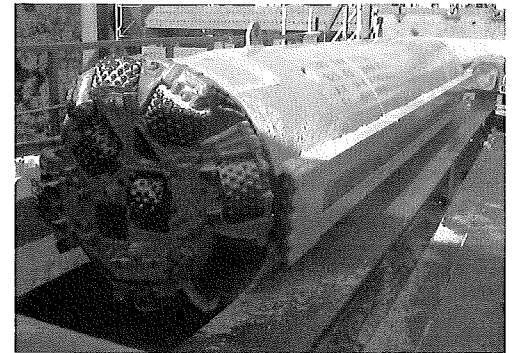


写真-1 泥水推進機

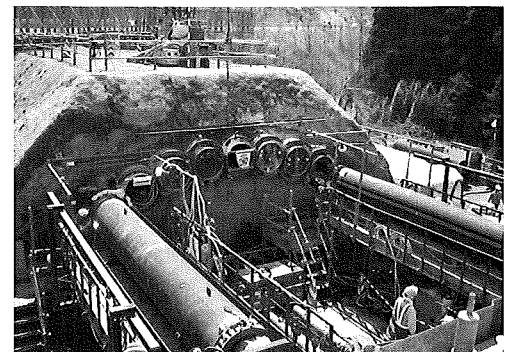


写真-2 パイプルーフ施工状況

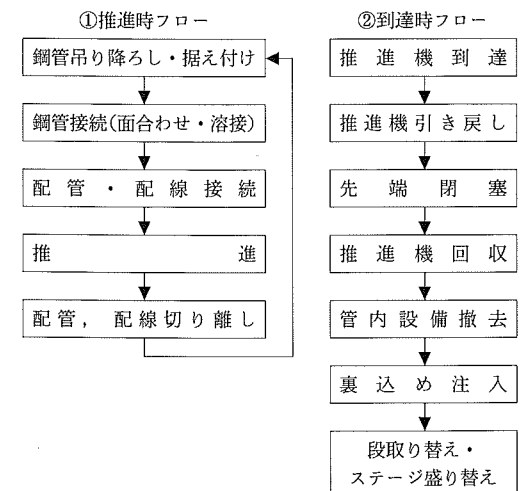


図-6 パイプルーフ推進手順フロー図

表-4 パイプルーフ1本あたり施工日数

| 項目 | 日数 | 備考 |
|---------|-----|-----------------------|
| 移設・発進準備 | 3日 | 架台盛り替えほか |
| 推進 | 6日 | L=91.16m |
| 推進機引き戻し | 1日 | 推進機撤去 |
| 中詰め注入 | 2日 | 43.9m ³ /本 |
| 計 | 12日 | — |

に行う必要があった。この点について、セクションの形状および大きさについては、今後検討する余地がある。

パイプルーフ施工による地表面沈下量は10~25mmであり、過去の推進工法での実績値10mmに比べて、とくに終点側の国道側で大きな沈下が発生した。これは、有料道路側の盛土が石灰改良されていたのに対して、国道側の盛土は腐食物を多く含む粘土質であり、地山の自立性が悪く、裏込め注入を行う前に変形が発生し、推進機と鋼管のクリアランス分(直径で30mm)の沈下が発生した結果と考えられる。このような地質条件では、可能な限り早く裏込め注入を行う必要があったが、推進と同時に裏込め注入を行うと、裏込め材がセクションを伝わって口元にリークするため、推進中の鋼管から1本隔てた鋼管で裏込め注入を行わなければならなかった。セクションによる裏込め材のリーク防止方法についても、今後改善する必要がある。

表-4にパイプルーフ1本あたりの施工日数(実績)を示す。

3-2-2 側壁導坑の施工

側壁導坑の掘削は左側から開始し、始点側(八戸方)から終点側(新青森方)に向かって掘削した。導坑の鏡面上部には細粒分混じりの砂質土、下

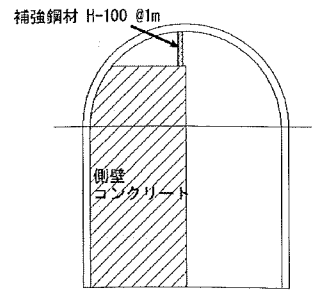


図-7 導坑空洞部補強鋼材設置図

部には粘性土が分布し、底盤には若干だが湧水があり、支保工脚部の地山の泥濘化を引き起こした。左側導坑掘削時には地表面で20mmを超える沈下が発生し、沈下抑制対策の検討および地表面沈下の再予測が必要となった。地表面沈下の再予測について、詳細は3-3で述べる。

計測データを分析した結果、導坑脚部の沈下、導坑天端の沈下および地表面沈下が一致していたことから、導坑脚部の沈下を防止する必要性が明らかになった。これより沈下防止対策として、導坑インバートの早期閉合を実施した。ただし、導坑切羽の自立性が悪く、核残しで掘削しているため、インバート閉合は切羽から2~3間遅れの施工であった。そこで、支保工設置後からインバート閉合までの脚部沈下を少しでも軽減するように、支保工建て込み時に脚部地山をセメント改良し、支保工脚部に敷鉄板(300mm×500mm, t=18mm)を設置した。一方、右側導坑掘削時には湧水がほとんどなく、左側導坑掘削時ほどの地表面沈下は発生しなかった。

3-2-3 本坑の施工

側壁コンクリート完了後、本坑上半掘削時の沈下を抑制するために、側壁コンクリートと導坑支保工の間に補強鋼材を設置した(図-7)。

本坑上半掘削は、導坑支保工および吹付けコンクリートを撤去し、掘削ずりで導坑内を埋め戻しながら施工した。本坑切羽には、全面に砂質土が分布しており、湧水はなかった。

パイプルーフと鋼製支保工の間にはコンタクトバックを設置した(写真-3)。これは、パイプルーフ鋼管と支保工との隙間部に布製の充填袋を設置

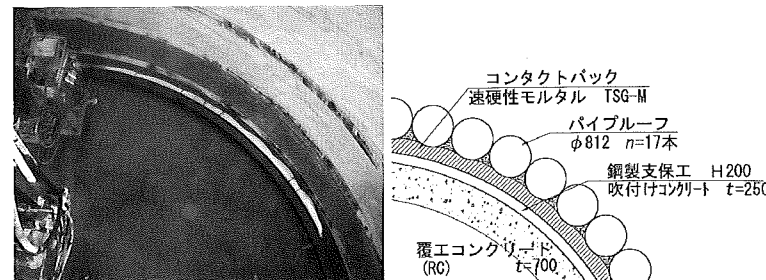


写真-3 コンタクトバック設置状況

表-5 当初および再評価後の地山物性値

| 地層 | 項目 | 当初 | | 再評価後 | |
|--------------------|------------------------------|-------|-------|--------|-------|
| | | 当初 | 再評価後 | 当初 | 再評価後 |
| 盛土 (Bn) | 変形係数E (kN/m ²) | 1,017 | | | |
| | 単位体積重量γ (kN/m ³) | 17.33 | | | |
| | ポアソン比ν | 0.45 | | | |
| 根城段丘構成層 砂質土・砂 (ns) | 変形係数E (kN/m ²) | 0.818 | 0.315 | 12,800 | 9,142 |
| | 単位体積重量γ (kN/m ³) | 19.53 | | | |
| | ポアソン比ν | 0.35 | | | |
| 根城段丘構成層 礫 (ng) | 変形係数E (kN/m ²) | 0.538 | 0.315 | 35,000 | |
| | 単位体積重量γ (kN/m ³) | 19.53 | | | |
| | ポアソン比ν | 0.35 | | | |
| 野辺地層 砂 (nos) | 変形係数E (kN/m ²) | 0.538 | 0.315 | 35,000 | |
| | 単位体積重量γ (kN/m ³) | 17.15 | | | |
| | ポアソン比ν | 0.35 | | | |
| | 側圧係数K ₀ | 0.538 | 0.315 | | |

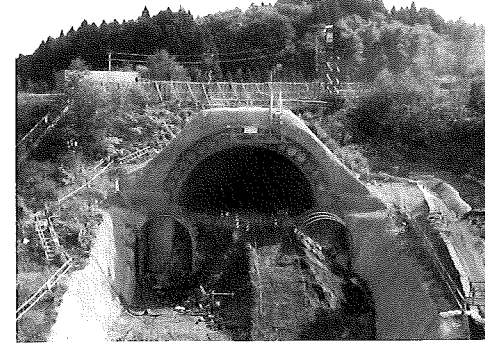


写真-4 道路交差部坑口

し、超速硬性モルタルを充填することで、早期に地山荷重を支保工に伝達させ、沈下を抑制するものである。また、鏡面にはウレタン注入式鏡ボルト(L=6.0m)を施工した。

本坑掘削時の天端沈下および内空変位はともに5mm程度であった。地表面沈下の結果については3-3-3で述べる。側壁コンクリートは、導坑インバートの上に設置したこともあり、ほとんど変位がなかった。写真-4に、貫通時に坑口からみたトンネル全体を示す。

3-3 地表面沈下の再予測と結果

左側導坑掘削時の地表面沈下が予想以上に大きく、右側導坑および本坑を掘削すると、道路部で管理基準値35mmを超える沈下が発生する懸念があった。そこで、左側導坑掘削時のトンネルおよび周辺地山の挙動を分析し、以降の施工における沈下防止対策を検討するとともに、地表面沈下の予測を行った。

施工中の地表面沈下管理を徹底するためには、最終沈下量のみではなく、施工の各段階における沈下量も重要である。ここでは、施工中および最終の沈下量について、FEM解析結果を過去の施工実績をもとに補正し、精度の高い予測を行うように試みた。

3-3-1 解析による地山条件の再設定

左側導坑掘削時の計測結果をもとに、パラメータ解析を行って地山条件を再評価した。ここで、

- ① 解析では、地山条件の評価を容易に行うために、地山を弾性体としてモデル化する
- ② 切羽到達時期と導坑内空計測開始時期には

時間差があり、この時間差が計測結果に与える影響は無視できない

③ 天端沈下と内空変位では必ずしも解析値と計測値とが一致する必要はないが、重要なのは地表面沈下の予測精度であることを考慮すると、地表面沈下と導坑の変形モード(天端沈下と内空変位の比)は解析で再現されなければならない

以上の方針で解析を行い、導坑掘削時の変位に対して影響が大きい根城段丘構成層砂質土(ns)の変形係数と地山の側圧係数を求めた。表-5に当初の地山物性値と再評価した地山物性値を示す。

3-3-2 地表面沈下の予測

再評価した地山物性値を用いて二次元FEM解析を行った。しかし、二次元FEM解析では、小土かぶり・土砂地山において側壁導坑先進工法でトンネルを施工する際の地山挙動を、適切に再現

することが困難である。精度の高い予測を行うためには、解析と実挙動が異なる部分に対して補正が必要である。

ここでは、①地表面沈下の先行変位、②側壁コンクリートの支持効果、について過去の施工実績をもとに解析結果を補正して予測値とした。具体的には以下のとおりである。

二次元解析では、パイプルーフの先受け効果を含め、地表面沈下の三次元的な挙動を再現できない。解析では左側導坑掘削による全地表面沈下のうち60%以上が先行変位として発生する結果となったが、実測では先行変位は30%程度であった。過去の施工実績からも、地表面沈下の先行変位率は30~40%が妥当である。よって、解析結果の先行変位率を30%として補正した。また、解析では本坑支保工設置後に側壁コンクリート自体が15~20mm沈下する結果であったが、過去の側壁導坑先進工法による施工実績では、側壁コンクリートはほとんど沈下していない。予測では、本坑上半支保工設置後の側壁コンクリート沈下量を5mmとして

解析結果を補正した。

地表面沈下の解析結果と予測値を表-6に示す。

3-3-3 予測値と実測値の比較

図-8, 9に、地表面沈下の実測値、解析値(補正前)および予測値(補正後)の比較を示す。

(1) 導坑掘削時の比較

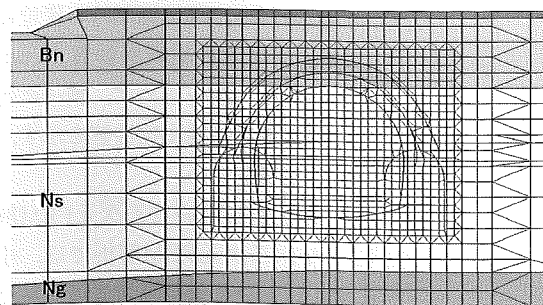
国道側では、沈下傾向、沈下量ともに、予測値と実測値はよく一致している。過去の施工実績にもとづいた先行変位率で解析値を補正することで、切羽到達段階での予測精度が向上している。一方、有料道路側では、切羽到達時の予測値と実測値は国道側ほど一致していない。実測の先行変位率は左側導坑掘削時に45~50%、右側導坑掘削時に60~65%であった。

国道側と有料道路側とで予測精度が異なった要因として、両者の地質構造の相違が考えられる。すなわち、有料道路側では国道側よりも盛土層が厚く、最下端のパイプルーフが国道側では地山内に設置されたのに対して、有料道路側では盛土内に設置された。このため有料道路側では、切羽前

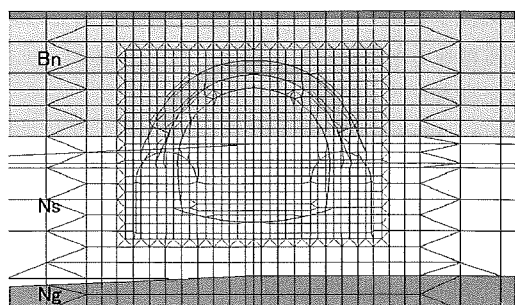
表-6 地表面沈下の解析値と最終予測値

(単位: mm)

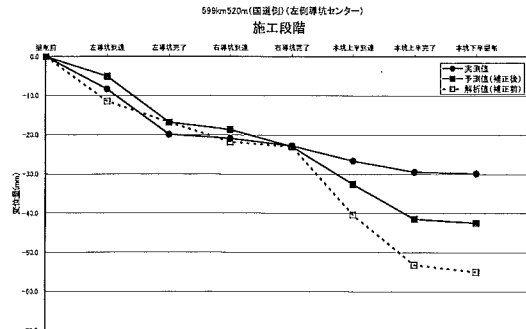
| | 国道側 | | | | | | 有料道路側 | | | | | |
|--------|----------|------|--------|------|----------|------|----------|------|--------|------|----------|------|
| | 左側導坑センター | | 本坑センター | | 右側導坑センター | | 左側導坑センター | | 本坑センター | | 右側導坑センター | |
| | 解析値 | 予測値 | 解析値 | 予測値 | 解析値 | 予測値 | 解析値 | 予測値 | 解析値 | 予測値 | 解析値 | 予測値 |
| 左側導坑到達 | 11.4 | 5.0 | 9.7 | 4.4 | 4.9 | 2.4 | 15.3 | 5.8 | 13.8 | 5.4 | 7.8 | 3.3 |
| 左側導坑完了 | 16.8 | 16.8 | 14.7 | 14.7 | 8.1 | 8.1 | 19.4 | 19.4 | 17.9 | 17.9 | 10.9 | 10.9 |
| 右側導坑到達 | 21.8 | 18.7 | 24.7 | 18.4 | 19.7 | 12.3 | 27.2 | 21.9 | 31.9 | 22.3 | 26.6 | 15.6 |
| 右側導坑完了 | 23.0 | 23.0 | 27.1 | 27.1 | 22.2 | 22.2 | 27.7 | 27.7 | 32.4 | 32.4 | 26.7 | 26.7 |
| 本坑上半到達 | 40.4 | 32.6 | 49.1 | 38.4 | 38.7 | 31.1 | 46.3 | 37.0 | 55.2 | 43.4 | 44.6 | 35.7 |
| 本坑上半完了 | 53.2 | 41.5 | 63.2 | 51.2 | 50.9 | 38.4 | 55.3 | 47.0 | 65.1 | 57.1 | 53.7 | 44.9 |
| 本坑下半完了 | 55.0 | 42.5 | 64.7 | 52.2 | 51.9 | 39.4 | 58.9 | 48.0 | 69.0 | 58.1 | 56.8 | 45.9 |



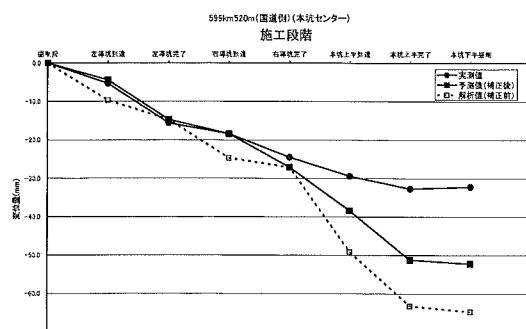
国道側 解析モデル図



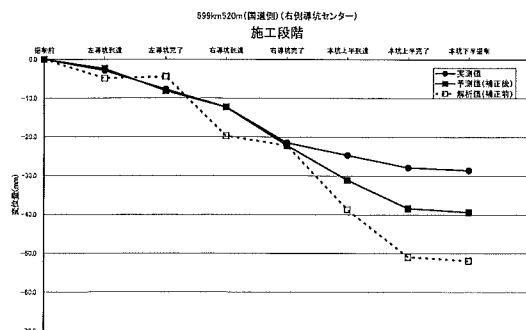
有料道路側 解析モデル図



(1) 左側導坑センター



(2) 本坑センター



(3) 右側導坑センター

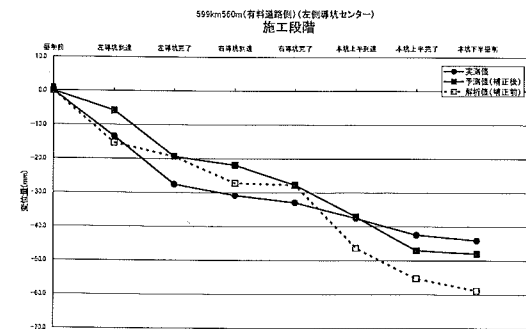
図-8 実測値、解析値、予測値の比較(国道側)

方での地山からパイプルーフへの反力が小さく、先行変位量が大きくなり、先行変位率が大きくなったと考えられる。

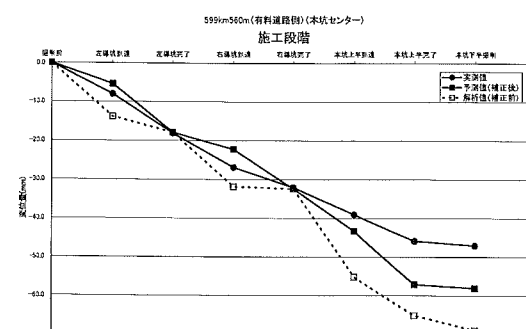
(2) 本坑掘削時の比較

国道側および有料道路側とも、沈下量の予測値が実測値よりも大きくなった。考えられる要因を以下に列挙する。

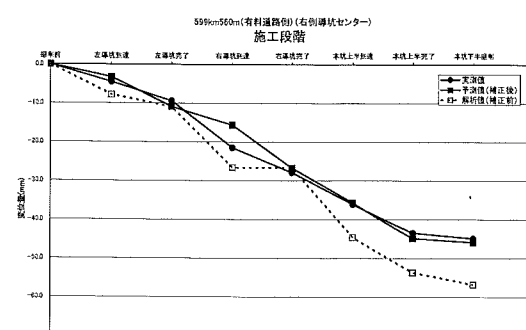
- 1) 側壁コンクリートの支持力：予測では側壁コンクリート沈下量を5mmと仮定したが、実際には側壁コンクリートがほとんど沈下しなかった。
- 2) パイプルーフの先受け効果：パイプルーフ工



(1) 左側導坑センター



(2) 本坑センター



(3) 右側導坑センター

図-9 実測値、解析値、予測値の比較(有料道路側)

法では、剛性の高い部材が縦断方向に長く設置されており、パイプルーフを介して支保が負担する荷重が増大する。この効果を、二次元解析では支保工設置前の掘削解放力を低減することで間接的に表現している。本予測では掘削解放率を30%としたが、より小さな値を設定するべきであったと考えられる。

3) 地下水の影響：左側導坑掘削時には、地下水により地山が泥濘化し、導坑脚部の支持力低下が地表面沈下に影響していた。また、地下水の排水自体による地表面沈下も発生していたと思われる。

一方、本坑掘削時には地下水はほとんどなかった。地山物性値の再評価は左側導坑掘削の計測結果をもとに行っており、これは地下水の影響を含んでいるため、地山物性を過小に評価している。このため、地下水の影響が少なかった本坑掘削時の沈下量を過大に予測する結果となった。

4) 支保の剛性：予測では、次の点で支保の剛性を過小に設定している。

- ① 当該区間では、トンネル線形が曲線であるのに対してパイプルーフを直線で施工しているため、パイプルーフ打設範囲をトンネル断面より拡幅している。これにより実際の吹付け厚は設計吹付け厚の2倍となる。
- ② 鋼製支保工背面に設置したコンタクトバックには初期高強度モルタルを充填しているが、解析ではこの剛性を考慮していない。

以上の要因は、定量的に評価して予測に反映することが困難なものが多いが、精度の高い予測を行うためには無視できない要因である。

4 おわりに

国道および有料道路の下を、小土かぶりで未固結地山内を横断するという厳しい条件での掘削を無事完了し、現在は覆工コンクリート(RC)の構築を行っている。

小土かぶり、土砂地山の都市NATMトンネルでは、事前検討の結果と実施工の挙動とが異なる場合が多い。本稿で提示した施工実績は、同種のトンネル施工において役立てられるものと期待する。また、予測時に数値解析では適切に再現できない現象について、過去の施工実績を考慮して予測することが有効であることを示した。

一方、実施工で明らかとなった施工上の問題点や、予測で十分に再現することができなかった要因について、結果を真摯に受け止め、今後、改善していくことが重要である。

最後に、市川トンネルの施工にご協力いただいた多くの関係者の方に感謝の意を表す。

施工

めがねトンネルの中央導坑を利用した先行アーチ支保

—金沢外環状道路 涌波トンネル—

石川県県央土木総合事務所外環状道路建設課長 高橋 裕之
 石川県県央土木総合事務所外環状道路建設課技師 田中 志人
 熊谷・西松・北都・豊蔵共同企業体涌波トンネル作業所所長 岩永 茂治
 (株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部グループ課長 中北 昭浩

1 はじめに

涌波トンネルは地域高規格道路金沢外環状道路山側幹線のうち、金沢市錦町～大桑町間の涌波台

地を貫く延長663mの本線めがねトンネルと、その直上に位置し小立野台地を貫く延長179mの連絡道トンネルからなる、全国的にも例のない三目構造のトンネルである(図-1)。また、地上部には住宅地が広がり、土かぶりは最小12mと小さく、上下のトンネルの離れも最小3mとなっている。このため、施工には地表面沈下や施工時の振動・騒音など、周辺への影響を最小限に抑えることが要求される都市型トンネルとなっている(図-2)。

本線トンネルは、掘削断面積約50m²の中央導坑を先進して幅2mの中壁を構築した後、本坑(掘削断面積が各々70m²、110m²)の掘削時に補助工法として注入式長尺鋼管先受け工法(AGF工法)を用いる計画であった。しかし、中央導坑の掘削実績から、本坑の掘削においては追加の補助工法が必要と判断され、一方では工費の増大・工期

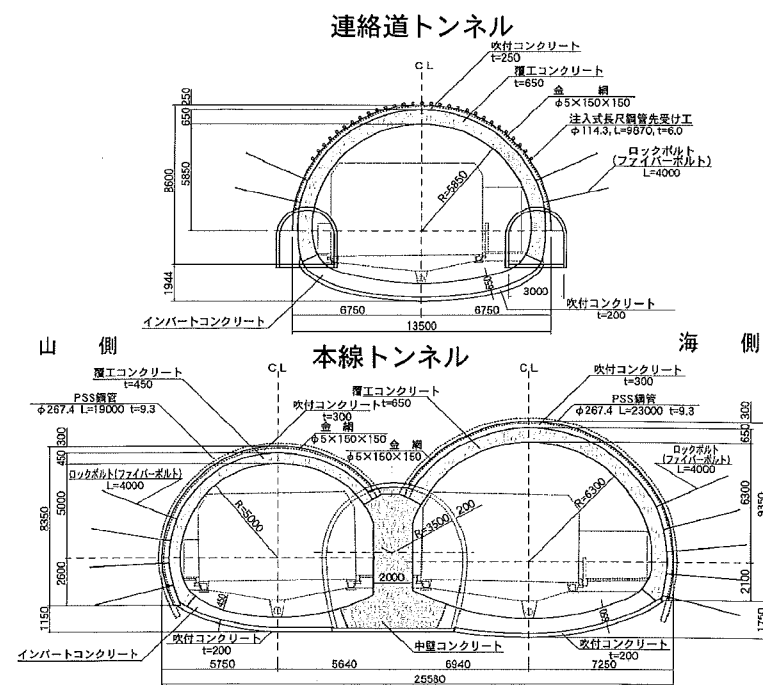


図-1 支保工断面図

【好評発売中】

わかりやすい土质地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

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

【主要目次】

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

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

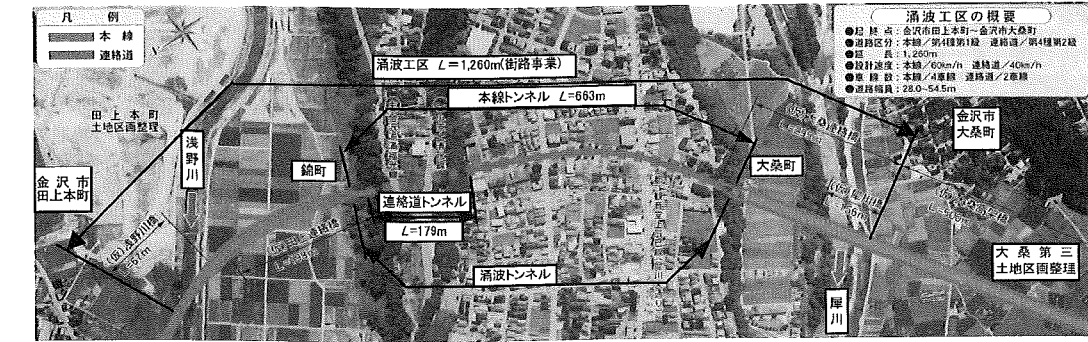


図2 トンネル位置と地質縦断面

の延長などの問題が懸念された。

これらの問題を解決するため、契約後VE方式により、先行アーチ支保工による地山補強工法「PSS-Arch(プレサポーティングシステムアーチ)工法」の提案があり、これを採用した。

この工法は、中央導坑から本坑の外周に沿って曲線鋼管を掘削前の地山に挿入することにより、掘削に先立ち支保工を構築するもので、地表面沈下の抑制効果が大きく施工の安全性が高い優れた工法である。

本稿では、導坑掘削から判明したトンネル経過地の大桑層の特性と、その特性を踏まえて開発・施工されたPSS-Arch工法について報告する。

2 トンネル経過地の大桑層の特徴

2-1 大桑層の地質学的特性と断層の存在

トンネルの掘削対象となる地質は、第四紀前期更新世に堆積した大桑層である。大桑層は氷河性海水準変動を受けた浅海成の淘汰の良い砂岩層とされており¹⁾、涌波トンネルの地山では大局的にほぼ均質な砂層、泥層が互層をなして連続するものと認識されていた。

大桑層中の砂層は本来、やや青みがかった灰色を呈するが、中央導坑の掘削深度では風化により

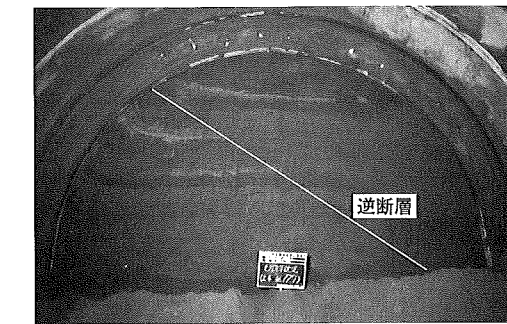


写真-1 中央導坑切羽に出現した逆断層

褐色～黄褐色を呈していた。また、同一砂層と解釈されていた層準での岩相(粒径、堆積様式など)の変化や泥層の不連続性に起因すると考えられる湧水状況の差から、切羽の自立性不良が確認された。切羽のスケールで地質を見た場合、この岩相の変化や不連続性は、大桑層形成時の堆積深度など、堆積環境のわずかな変化によるものとされる²⁾。

また、見かけの変位が数十cm以下の逆断層が多数分布することが掘削時に判明し、その一部は走向がトンネル軸とほぼ平行であったため、長区間にわたり切羽に出現することとなった(写真-1)。ほとんどの断層面では、赤褐色を呈する周辺の砂層より硬質な酸化帯(厚さ数mm)が発達しており、地山内部で力学的な不連続面を形成するとともに相対的に難透水性な層となっていた。なお、これ

らの断層は地表露頭や地形面の変位としては確認されておらず³⁾、また、細粒粘土化帯や破碎帯を伴わず、地山の風化により初成構造が読みとりにくいことから、事前調査のボーリングコア試料からの判定は困難であった。

2-2 地山物性値のばらつきと地質状況

図-3(a)に中央導坑の掘削実績を、図-3(b)に中央導坑掘削時にインバートで実施した平板載荷試験より得られた変形係数を示す。

No.94付近とNo.100付近は淘汰のよい細粒砂から成るOm-2層の値である。これ以外の8か所は細粒砂主体で上方ほど粗粒化するOm-3層でのデータである。Om-3層における変形係数は、20(No.86付近)～230N/mm²(No.107付近)と大きくばらついていることがわかる。既往調査結果⁴⁾によると、No.86+00付近の調査ボーリング孔でのトンネル底盤付近の孔内載荷試験から得られた変形係数は40.18N/mm²、28.42N/mm²で、図-3(b)に示す平板載荷試験から得られた変形係数はこれらの事前調査とほぼ調和する結果が得られた。

これらの強度が著しく低くなっている箇所は、図-3(a)に示すトンネル掘削実績と比較すると、断層の上盤側、岩相境界付近などの湧水が多い箇所に相当する。

2-3 中央導坑の施工実績と地質

導坑掘削で実施した補助工法と地質の実績を比

較すると、次のようにまとめられる。

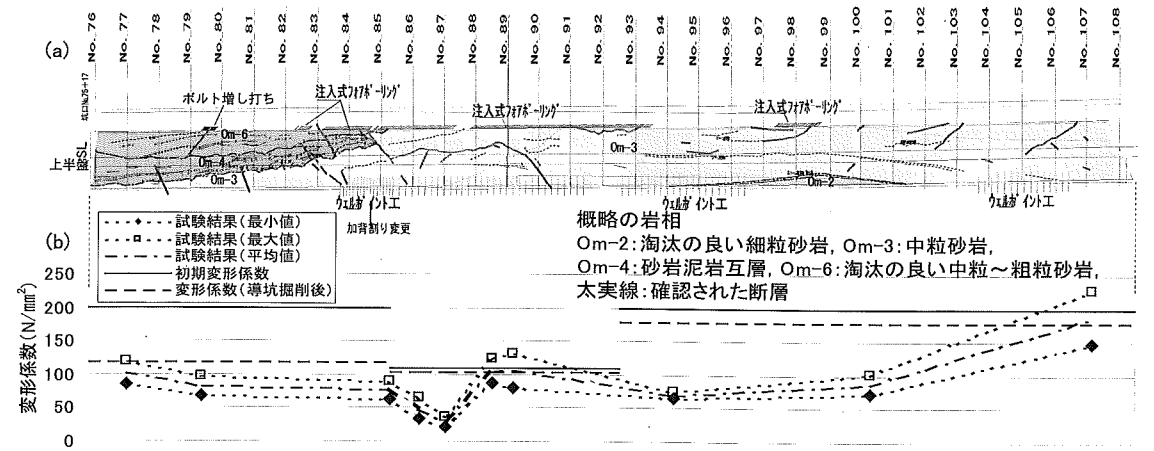
断層が導坑切羽内に出現する手前から天端の崩落などが頻発したため、注入式フォアボーリングを施工している。鏡面でこれらの砂層の岩相境界や砂と泥層の境界部では、地下水のしみ出しに伴う地山の流出が生じ、注入式フェイスボルトによる地山補強や水抜きボーリングの施工を実施した。また、断層がインバート下方へ逃げていく箇所、およびOm-3層準内の岩相の変化部、Om-2層との境界部では地下水が賦存し、トンネル底盤の泥滓化とそれに伴う地耐力不足が生じたため、ウェルポイントによる地下水の低下を行うとともに、掘削方法を上下半のマイクロベンチから、三段ベンチとして上中段をマイクロベンチで先進させる方法に変更した。

3 地山の工学的特徴と施工上の問題点

3-1 地山の工学的特徴

大桑層は、地質学的に続成作用を十分に受けていないため、工学的にはいわゆる未固結な状態である。

また、力学特性は深度依存性が必ずしも認められず、かつ、岩相ごともしくは同一岩相内でも強度特性に違いがあり、多様な岩相、堆積構造と断層の分布および地下水の存在に制約されていた。



(a)中央導坑掘削実績(地質、補助工法)、(b)中央導坑底盤の平板載荷試験から得られた変形係数

図3 中央導坑掘削実績と変形係数

3-2 中央導坑掘削実績から得られた施工上の問題点

前述のような地質条件のもと、土かぶり小さく、かつトンネル天端上方に自然水位(地下水面)が存在することから、中央導坑掘削時には、未固結砂層での緩み領域の拡大防止、切羽の自立時間の確保に加え、以下の点を考慮する必要が生じた。

- ・地下水低下のためのディープウェル稼働後に、泥質層や断層面上面に残留する地下水による地山の流出と緩み領域の拡大
- ・インバートの泥濘化とそれに伴う支持地盤の強度不足
- ・岩相のわずかな違いにより力学特性に差が生じ、施工時の地山の安定性が相対的に脆弱な部分に制約される
- ・断層近傍での大規模な天端の崩落

また、上記の土木地質学的な問題を有する地質の連続性を本坑に展開して考えることは、大局的には可能であるが、断層の出現位置を含めた地質構造を予測することは困難である。そのため本坑めがねトンネルの施工を考慮すると、掘削に伴い変位(地表面沈下)が増大し、周辺住宅の損傷を防止するために定めた管理値内には収まらないことが予測され、対策工の追加が必要であると判断された。

4 新工法PSS-Arch工法の採用

前章で述べた地山条件下において安全確実に本坑めがねトンネルを施工するため、当初設計の

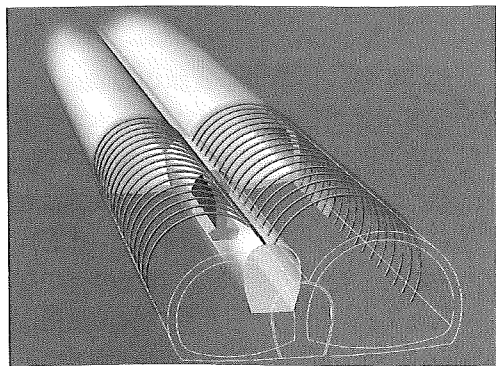


図-4 PSS-Arch工法の概念図

AGF工法に代えて契約後VE方式により施工者から提案された「PSS-Arch工法」を、山側幹線施工検討委員会(委員長：太田秀樹・東京工業大学教授)の専門的見地からの意見を参考に、本坑トンネルの支保方法として採用することとした。図-4にPSS-Arch工法の概念図⁹⁾を示す。

4-1 工法概要

PSS-Arch工法は、トンネル支保工を掘削断面の外側に、掘削に先行して地山内に設置していくもので、めがねトンネルにおいては、本線トンネルの掘削に先立ち中央導坑から曲線状の鋼管をウォータージェットによる切削とバキューム吸引による排土により挿入設置する工法である。さらに、鋼管を用いて薬液注入を行い、最終的に鋼管内にモルタルを充填することにより、AGF工法を補助工法とする設計支保と同等以上の支保機能が期待できるものである。

(1) 本工法の特長

- ① 先行アーチ支保工により、あらかじめ支持・補強された地山内を掘削するため、先行変位の抑制効果が非常に大きい。
- ② 先行アーチ支保工をトンネル掘削底盤より深く根入れさせることにより、沈下抑制の効果が大きい。
- ③ トンネル掘削工程に影響しない工法であるため、工期の大幅な短縮が図られる。
- ④ 切羽の自立性が格段に向上するとともに、支保工建て込み作業がなくなることで切羽接近作業も少なくなり、作業の安全性が非常に高い。

(2) 数値解析による効果の検証

PSS-Arch工法の地表面沈下抑制の効果について

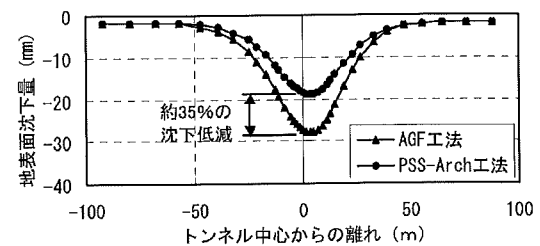


図-5 2次元FEM解析結果

では、2次元FEM解析での試算によれば、本坑掘削時の地表面沈下量が当初の補助工法であるAGF工法を適用した場合の65%に低減される結果が得られた(図-5)。

4-2 施工方法

(1) 曲線鋼管の推進手法

PSS-Arch工法における鋼管推進機構は、従来の回転式推進機を用いた方法とは異なり、地山の特性(比較的均質な未固結の砂層)を生かして新たに開発した「鋼管先端の刃口とウォータージェットにより、刃口を圧入させながら掘削を行う方法」である。

また、掘削土の排出については、中央の排泥管(内管)を通してバキュームポンプにより泥水として吸引するもので、これまでに施工実績のない新しい工法である(図-6、写真-2)。

(2) PSS-Arch工法の施工

PSS-Arch工法の施工範囲を図-7に示す。施工範囲は、本線トンネル掘削延長636mのうち516m

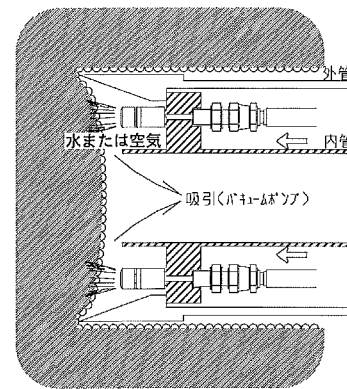


図-6 削孔システム

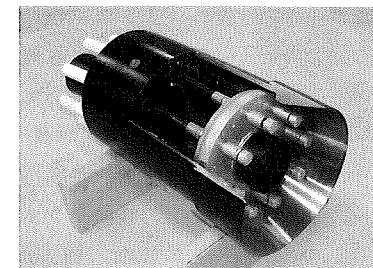


写真-2 刃口と先端ノズル

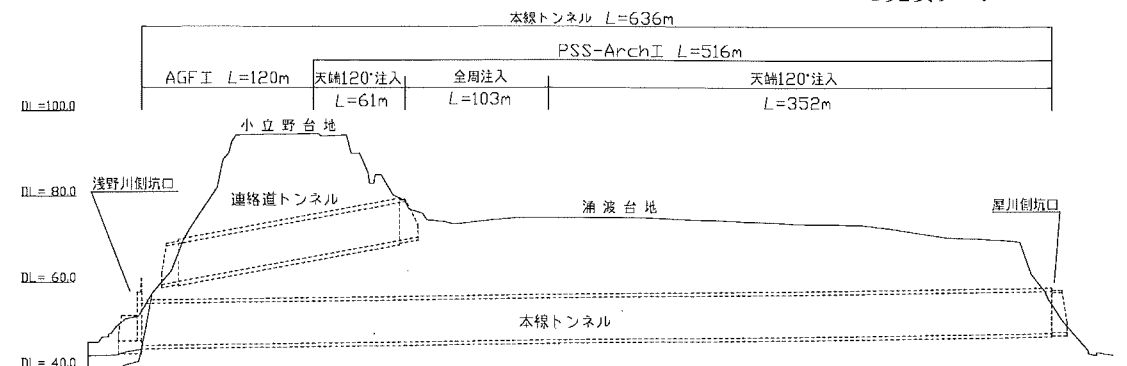


図-7 PSS-Arch工法の施工範囲

である。標準区間(413m)については天端120°の注入、一部の脆弱区間(延長103m)については全周注入を行う。

PSS鋼管はφ267.4、t=9.3mmを使用し、一定の曲率(山側R=6.0m、海側R=7.5m)に加工した曲線鋼管を、山側L=19.2m、海側L=23.1mの長さで、縦断方向のピッチ1mで施工する(図-8)。施工順序を図-9に示す。

① 先行削孔工

大口径ボーリングマシンにより、中央導坑の支保部材である吹付けコンクリートやファイバーリング(FRP)などをL=1.5m、φ350で先行削孔する。

② 曲線鋼管推進工

1ピースL=3mの曲線鋼管を自動溶接で順次接続しながら、所定の長さまで曲線推進する。泥水は坑外に設置されたバキュームポンプで吸引・排出する(写真-3,4)。外管を所定の長さまで推進した後に、内管は引き抜き、次の鋼管推進に使用する。

③ 薬液注入工

地山と鋼管の間を充填するために一次注入を行い、さらに二次注入として浸透性のある水ガラス系溶液型無機長結材を使用し、地山改良を行う。

④ 鋼管内充填工

先行支保としての剛性確保のため、鋼管内にモルタルを充填する。

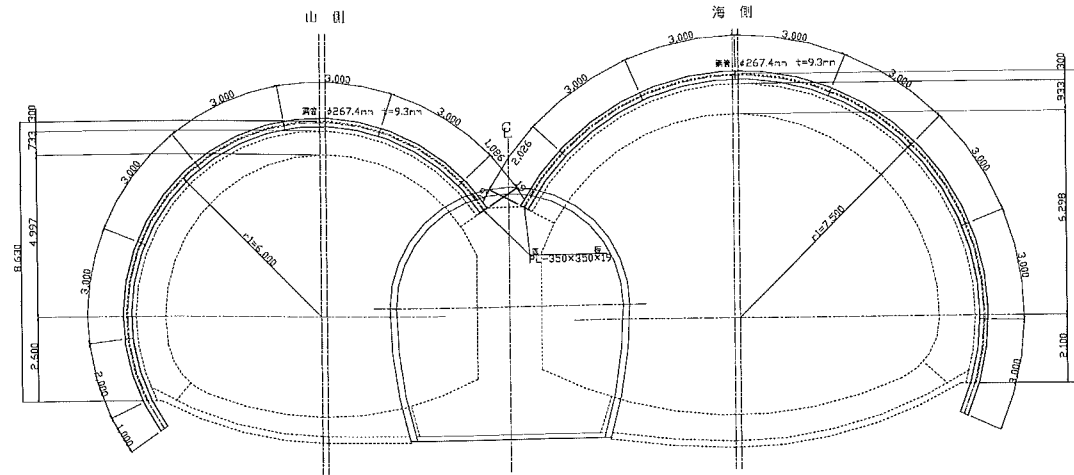


図-8 PSS-Arch工法の施工パターン

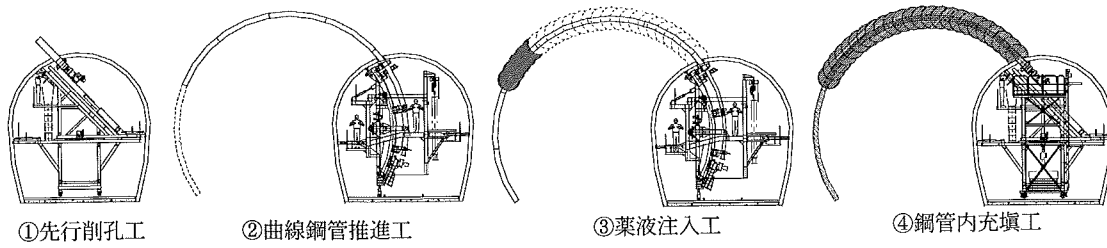


図-9 施工順序図

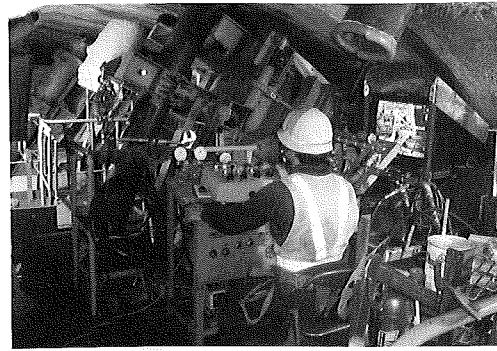


写真-3 PSS鋼管推進状況

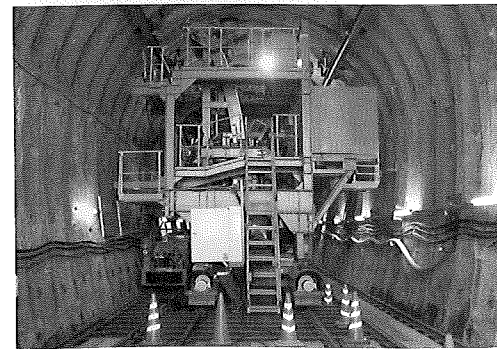


写真-4 PSS推進機

5 PSS-Arch工法の効果

本坑掘削時のトンネル周辺地山にはPSS-Arch工法により先行して鋼管支保が設置され、また注入の効果もあわせ、地山の安定性が格段に向上している(写真-5)。

5-1 地表面沈下

涌波トンネルでは周辺住宅への影響を防止するため、民地内の地表面沈下勾配を1/1,000rad以下とすることを目標とし、トンネル直上の地表面沈下量にて管理を行った。

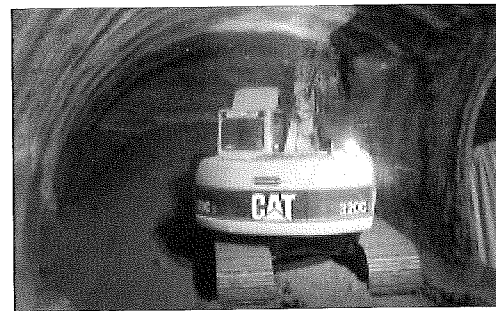


写真-5 本坑掘削時の地山状況

実施工では、表-1に示すように管理基準値内で施工することができた。

5-2 PSS鋼管の応力測定結果

PSS鋼管応力測定は、7か所で実施している。測定結果(最大値)を表-2、経距変化(No.86+14)

を図-10、応力分布(No.86+14)を図-11に示す。PSS鋼管の応力はすべて軸圧縮応力状態にあり、圧縮部材として有効に働いている。

また、最大応力は許容応力以下で収まっており、十分な支保機能を発揮している。

表-1 地表面沈下計測値(地表面沈下量(最大値)の実績)

| | 小立野台地部 (坑口~TD.180m) | 涌波新鮮部Ⅱ (TD.180m~320m) | 涌波新鮮部 (TD.320m~坑口) |
|---------|------------------------|--------------------------|-----------------------|
| 中央導坑掘削時 | 5mm以下 | 10mm | 12mm以下 |
| 山側本坑掘削時 | 17mm | 12mm | 12mm |
| 海側本坑掘削時 | 29mm | 14mm | 15mm |
| 連絡道T掘削時 | 33mm | — | — |
| 管理基準値 | 40mm | 25mm | 15mm |

注)山側本坑：先行掘削，海側本坑：後行掘削，導坑中央上，沈下方向を正とする

表-2 PSS鋼管応力の測定結果(最大値)

| 測点 | 山側(先行)トンネル | | 海側(後行)トンネル |
|----------|------------|------------|------------|
| | 山側トンネル掘削時 | 海側トンネル掘削後 | 海側トンネル掘削後 |
| No.86+4 | -96(中壁肩部) | -73(地山肩部) | -101(地山肩部) |
| No.86+14 | -82(中壁肩部) | -86(地山肩部) | -134(中壁肩部) |
| No.87+4 | -104(中壁肩部) | -79(天端) | -143(地山肩部) |
| No.90+19 | -125(天端) | -112(天端) | -83(中壁肩部) |
| No.92+9 | -66(中壁肩部) | -62(中壁肩部) | -103(地山肩部) |
| No.99+7 | -120(中壁肩部) | -125(中壁肩部) | -108(中壁肩部) |

(-)：圧縮，単位：N/mm²

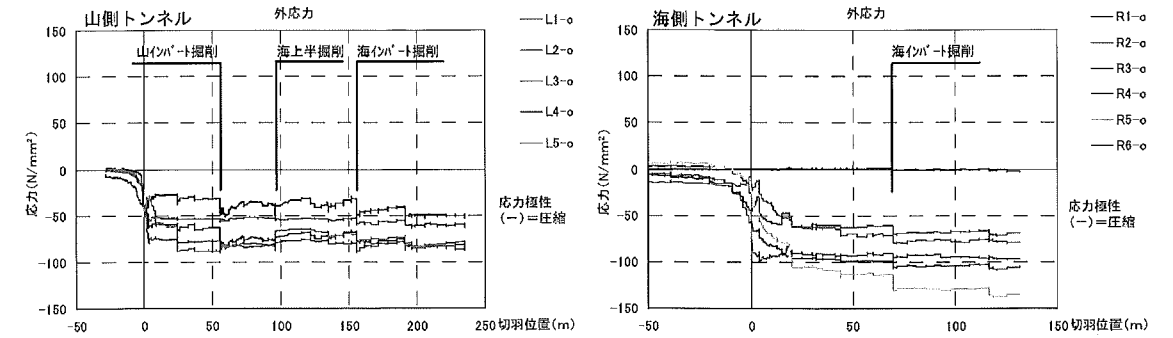


図-10 PSS鋼管応力の経距変化図

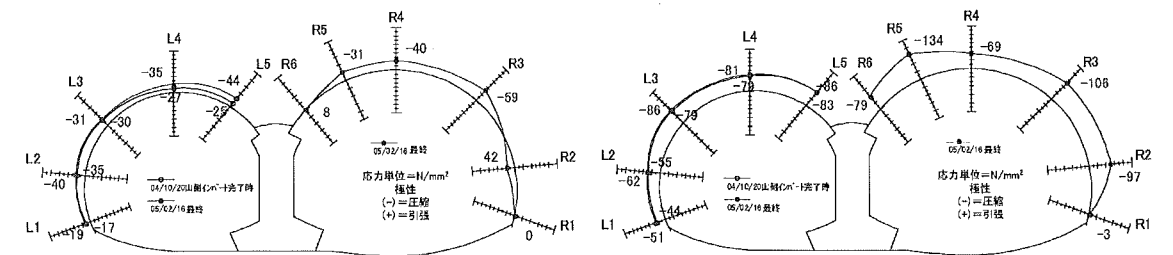
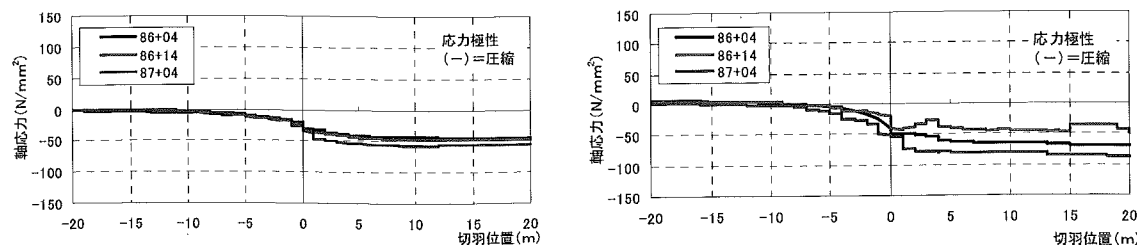


図-11 PSS鋼管応力分布図



(1) 山側(先行)トンネル天端測点 (2) 海側(後行)トンネル天端測点

図-12 切羽到達前後のPSS鋼管応力経距変化

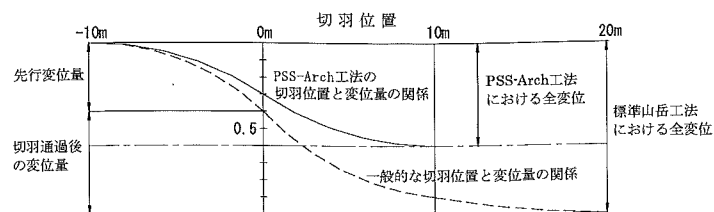


図-13 掘削に伴うトンネル周辺地山の想定変位挙動

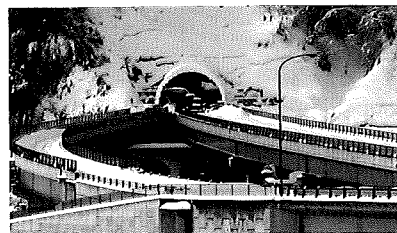


写真-6 2006年2月の浅野川側坑口

m程度で収束しており、切羽を中心とした対称分布に近い状況となっている。また、先行応力比(切羽到達前の発生応力/全応力)は、60~70%となっている。切羽到達前後のPSS鋼管応力の挙動を、掘削に伴うトンネル周辺地山の変位挙動(トンネル縦断方向の変位挙動)で考えると、PSS-Arch工法により先行変位が小さく抑えられるとともに、切羽通過後の変位量も緩み抑制により非常に小さい状況となっていることが想定される(図-13)。これらについては、今後、解析による検証を進め、実現象との比較により、PSS-Arch工法の解析モデル化に結び付けたいと考えている。

6 おわりに

小土かぶり・未固結地山を貫くめがねトンネルに、先行アーチ支保工による地山補強工法「PSS-Arch工法」を採用することにより、地表面沈下量を基準値内に抑え、周辺施設に影響を及ぼすことなく掘削を完了できた。現在(2006年2月)の坑口状況を写真-6に示す。

切羽状況・計測結果から、PSS-Arch工法の効果をまとめると次のようになる。

- ① 先行して設置された鋼管支保、注入改良の効果により、地山の安定性(自立性)が格段に向上する。

- ② 左右(隣接)トンネルへの影響は中壁周辺の応力再配分に見られるだけで、きわめて小さく抑えられる。
- ③ トンネル掘削による影響は、切羽到達前10m~切羽通過後10m程度で、切羽を中心とした対称分布に近い状態である。
- ④ トンネル周辺地山の挙動は、先行緩みの抑制により、切羽通過後の変位量も小さく抑えられていると想定される。
- ⑤ 地山安定性の向上と支保工建て込み作業がなくなることによる切羽接近作業の減少により、作業の安全性が大きく向上する。

今回、開発・実用化されたPSS-Arch工法は、涌波トンネルの地質に合わせて開発したものであり、鋼管を推進するための掘削機構としてウォータージェットを併用した刃口推進方式を用いた。この掘削機構は、涌波トンネルの地質のような固結度の低い土砂地山において非常に有効な手法であり、都市部の土かぶりの小さい軟弱な地質にも適用することが可能である。

今後、この工法を幅広く活用するために、今回の施工実績を生かして掘削機構などに改良を加え、新規めがねトンネルへの適用だけでなく、都市部の流出入トンネルランプ部のような超大断面トンネルや既設トンネルの拡幅・変状補修などのト

ンネルリニューアルへの適応についても、検討していきたい。

最後にPSS-Arch工法の施工を採用・実施するうえで貴重な助言をいただいた、太田秀樹・東京工業大学教授をはじめとする山側幹線施工検討委員会委員各位に深謝いたします。

参考文献

- 1) 地学団体研究会編：新版地学事典，平凡社，p.194，

- 1996.
- 2) 北村晃寿：下部更新統大桑層上部に見られる水河性海水準変動による堆積シーケンス，地質学雑誌，Vol.100，No.7，pp.463-476，1994.
- 3) 例えば，活断層研究会編：新編日本の活断層，東京大学出版会，1991.
- 4) 石川県金沢土木事務所：山側幹線技術検討委員会報告書，1999.
- 5) 熊谷・西松・北都・豊蔵JV：PSS-Arch工法パンフレット，2003.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 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、球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析/塑性力学の基礎、軸対称円形トンネル、線対称円形トンネルの弾塑性解、円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討/トンネルの大きさの影響、時間の影響、表面の影響、山はね、ゆるみと締めり、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メジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072



■平山復二郎と白石多士良

平山復二郎と白石多士良は、府立一中、一高、東大、鉄道院の同期という経歴のみならず、野球やゴルフ仲間でもあった。白石は早い時期に官を辞して野に下ったため、後半生は官民の関係となったが、お互いに立場を変えながらも助け合い、土木業界の隆盛を支えた。今回は、平山復二郎の無二の親友であった白石多士良について、そのエピソードを交えながら記してみたい。

■土木技術者としての白石多士良

白石多士良(写真-1)は、1887(明治20)年10月17日、白石直治(1857~1919)の長男として東京に生まれた。直治は、東京帝国大学土木工学科教授で、のちに関西鉄道社長となり、鉄道用のトンネルとしては初めて立坑を使って掘削した加太トンネルを完成させた人物で、さらに土木学会会長や衆議院議員などを歴任した。

多士良は、府立一中に入学し、終生の友となる平山復二郎、釘宮馨、田中豊(本連載第2回参照)と同級になった。一高に進学した多士良は平山とともに野球部で活躍し、さらに東京帝国大学土木工学科へと進んで、1912(明治45)年、鉄道院に入庁した。入庁後は、平山、釘宮とともに大分建設事務所に配属されたが、その所長はかつて関西鉄

道の白石直治の下で建築課長を務め、京都帝国大学教授を経て鉄道界に戻った那波光雄であった。

1918(大正7)年、多士良は31歳で鉄道院を辞してアメリカへ渡航し、圧気潜函工法と出会うが、2度目の洋行中に関東大震災の報に接して急遽帰

国し、帝都復興院嘱託となった。帝都復興院には、道路課長に平山復二郎、橋梁課長に田中豊、隅田川工事事務所所長に釘宮馨が、それぞれ鉄道省から出向しており、わが国最初の圧気潜函工法を永代橋の基礎工事で用いることに成功した。これをきっかけに、多士良は圧気潜函工法を専門に行う会社として1933(昭和8)年に白石基礎工業(現・白石)を設立し、大阪市営地下鉄御堂筋線大國町工区で、延長約410mにわたる圧気潜函工法による地下鉄トンネルを完成させた(写真-2)。戦争の影響で会社の経営は一時傾きかけたが、戦後は橋梁基礎や工場、火力発電所の建設とともに需要が増えたほか、平山復二郎と建築家のアントニン・レーモンド、実弟の白石宗城と計り、パシフィックコンサルタンツの設立に尽力した。

激動の時代にあって、多くの友に囲まれて業界

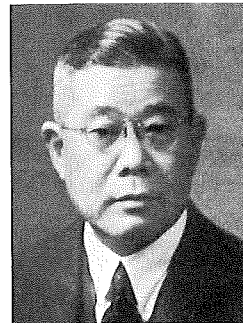


写真-1 白石多士良
(1887~1954)

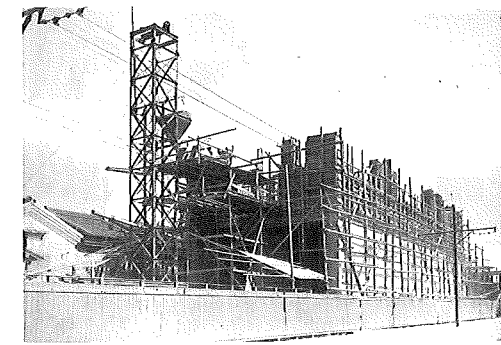


写真-2 大阪市営地下鉄における圧気潜函トンネルの工事(1936年/筆者所蔵)

の発展に尽くした白石多士良は、1954(昭和29)年7月6日、持病を悪化させ66歳で永眠した。多士良の葬儀は、本郷の弓町教会で催され、時の首相・吉田茂(吉田茂は多士良の叔父)をはじめ、多くの参列者が長蛇の列をなしたと伝えられる。

■ゴルフ界への貢献

土木技術者としての白石の業績は、平山復二郎の『地底に基礎を掘る』(パシフィックコンサルタンツ・1955)などに詳しいので、ここでは白石のもうひとつの顔であるゴルフとのかかわりを紹介してみよう。白石のゴルフ界への貢献は、土木分野に勝るとも劣らないものがあり、それは趣味の領域をはるかに超えたものであった。

白石は、一高野球部の先輩であった中野武二の誘いによって1920(大正9)年ごろに駒沢にあった東京ゴルフ倶楽部(跡地は現在の駒沢競技場)の会員となったが、メンバーには総裁・朝香宮鳩彦、キャプテン・近衛文麿をはじめ、草創期の日本ゴルフ界のトッププロ・赤星四郎、赤星六郎兄弟などが名を連ねていた。東京ゴルフ倶楽部は、日本人による初めてのゴルフ場として1913(大正2)年に設立された名門で、白石はここで理事職にあたる名誉書記に推された。その後、駒場コースは、世界恐慌の影響で移転することとなり、1932(昭和7)年、イギリスからゴルフ場設計の第一人者、チャールズ・アリソン(アリソンバンカーの語源となった人物)を招き、埼玉県朝霞に新しいゴルフ場を造成したが、白石はその準備に奔走した。

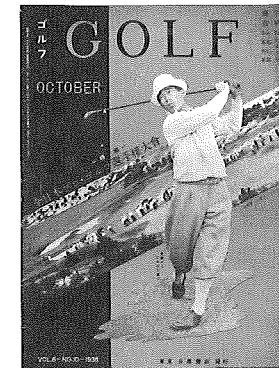


写真-3 白石が編集主幹をつとめた雑誌『GOLF』(1936年10月号/筆者所蔵)

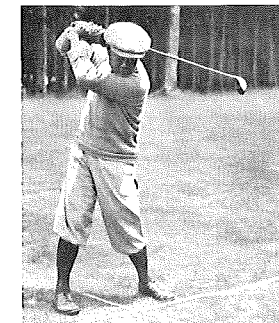


写真-4 悪い例として示された白石自身のバックスイング(白石多士良著『正しいゴルフ』目黒書店・1931より/筆者所蔵)

白石はさらに、1931(昭和6)年に日本人が著した最初のゴルフの理論書と言われる『正しいゴルフ』を著したほか、雑誌『GOLF』を創刊してその編集主幹としても活躍した(写真-3)。口さがない友人は、不器用な白石が書いた『正しいゴルフ』を読むとゴルフが下手になるぞと茶化した。白石自身は下手の横好きであることを自認していたため気にせず、不器用な人も正しい指導と練習を積み上げ上達できると説いた。そして、良い例の写真には赤星兄弟などのプロを用い、悪い例の写真には自身をモデルとして使った(写真-4)。

白石のゴルフ熱は、1933(昭和8)年の白石基礎工業設立まで続くが、その後は社業に専念し、ゴルフは本来の趣味に戻ったようである。もし白石がそのままゴルフに熱中していれば、日本における圧気潜函工法の普及はもう少し遅れ、ゴルフ界の発展はもう少し早まっていたかもしれない。



「南国土佐の地」高知県芸西村から

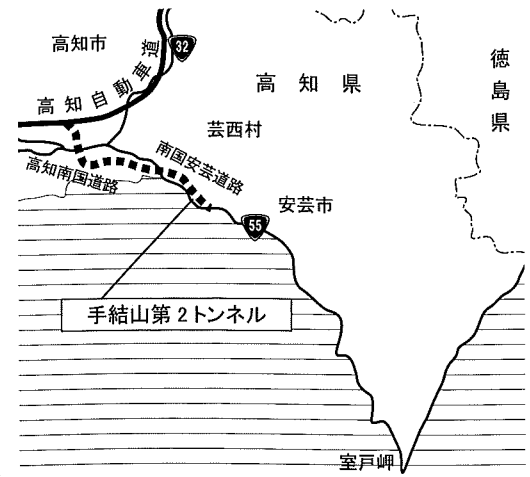
植村 徹

この土佐の地は幕末から明治にかけて数多くの偉人を輩出した。太平洋に面した明るく解放的で南国情緒豊かなこの地が坂本龍馬、板垣退助、三菱財閥の祖・岩崎弥太郎や中岡慎太郎などを生んだのかも知れない。

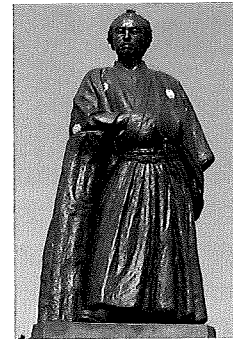
ここ高知県安芸郡芸西村は高知市から車で東へ50分ほどの海辺に面した村である。芸西村はメロンやスイカ、ピーマン、なす、きゅうり、花などのハウス栽培が盛んで、村中の至るところでビニールハウスの団地を見ることができる。隣の安芸市は阪神タイガースのキャンプ地でもあり、やはり冬は本州とは違い暖かいな、と実感できる。2月初旬には菜の花が咲き、中旬にはウグイスが鳴き始めた。今年の桜の開花宣言も全国でもっとも早く3月15日にされた。

さて、南国・安芸道路とは前述の安芸市から南国市の高知龍馬空港を結ぶ12.5kmの高規格幹線道路である。その西の先は高知自動車道高知ICまで伸びる高知・南国道路につながる。この道路は海沿いを走る国道55号の交通渋滞解消や災害時のルート確保などさまざまな問題の解消が期待される新設道路となっている。当トンネルは南国安芸道路の手結山に位置する東側の第2トンネルである。

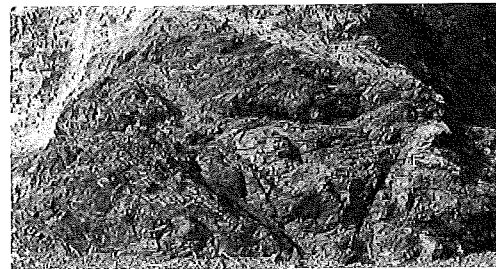
坑口基地は太平洋を一望できる絶景の高台にあり天気よければ60kmほど離れた室戸岬を東のかたに



位置図



坂本龍馬像



手結メランジェの露頭



坑口基地から太平洋を望む

見ることもできる。地質は中生代白亜紀の泥岩、砂岩、輝緑凝灰岩であるが、手結山自体がメランジェの付加体として全国的にも有名である。写真に見えるくろしお鉄道のトンネルでも補助工法を駆使して掘削された記録がある。

平成17年10月より西方に向け掘削を開始し925mのうち、現在240mを掘進中である。地元のご理解とご協力を得ながら、発注者である国土交通省の指導のもと平成19年5月の完成を目指し鋭意施工中である。(大日本土木(株)地整手結山作業所所長)

施工

砂地山に鏡補強で扁平大断面トンネルを掘る

—国道210号日田バイパス 石井トンネル—

国土交通省九州地方整備局大分河川国道事務所玖珠監督官 古 閑 靖 啓
梅林建設(株)石井トンネル作業所現場代理人 広 瀬 武 志
梅林建設(株)石井トンネル作業所監理技術者 森 本 一
梅林建設(株)土木本部技術開発室室長 倉 原 隆 二

1 はじめに

福岡県久留米市から大分県大分市に至る一般国道210号の通過する日田市は古くから交通の要衝として大きな役割を果たしてきたところであるが、近年のモータリゼーションに伴う慢性的な交通渋滞が続いており、交通の円滑性向上と安全確保を目的とする全延長5.3kmの日田バイパスが昭和63年度に工事着手された。当バイパスは平成5年に延長3.1kmが部分供用されており、残る2工区L=2.2kmを平成18年2月の供用開始予定で工事が進められた。石井トンネルは残区間の久留米側起点

に位置する延長115mの2車線道路トンネルである。

当トンネルは新生代第四紀の阿蘇火砕流堆積物(熔結凝灰岩)を被覆する未固結砂の段丘堆積物で構成された丘陵地に、最大土かぶり14mで施工することから、切羽天端および鏡面の安定確保を目的とする補助工法の選定、実施が最重要課題であった。補助工法として、切羽天端安定にAGF工法およびレッグパイル、鏡面安定に長尺鏡ボルトのFIT工法をそれぞれ採用した結果、大きなトラブルもなく、無事に貫通することができた。

本稿では長尺鏡ボルトによる鏡補強を中心に工法選定、設計、施工および計測の結果について報告する。当トンネルの位置図を図-1に示す。

2 工事概要

石井トンネルの掘削方式は1,200kg級ツインヘッドを用いた機械掘削で、掘削工法は上半先進ショートベンチ掘削によるNATMとした。トンネルの支保パターンは全線DIIIaで、掘削断面積約120m²、掘削幅14.9m、扁平率0.57の扁平大断面トンネルである。

トンネル概要を表-1に、標準断面図を図-2に示す。

工 事 名：大分210号石井トンネル新設工事

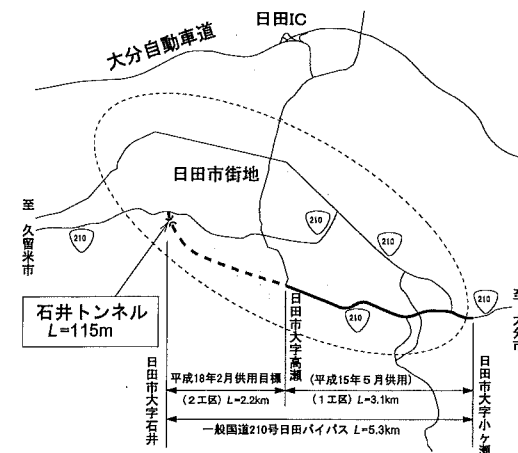


図-1 位置図

工事場所：大分県日田市大字石井町字池ノ瀬
265番地
発注者：国土交通省九州地方整備局
工期：平成15年9月26日～
平成17年3月30日

主要工種：トンネル工 NATM機械掘削
L=115m
長尺先受け工(AGF) 14シフト
脚部補強工(AGP) 84基
長尺鏡ボルト(FIT) 8シフト
坑門工 2基
ずり処理 11,839m³

表-1 トンネル概要

| | | |
|---------|------------------|--------|
| トンネル名 | 石井トンネル | |
| 路線名 | 一般国道210号日田バイパス | |
| 道路規格 | 第3種第2級 | |
| 設計速度 | 最大速度60km/h | |
| 設計内空断面積 | 78m ² | |
| 幅員 | 全幅 | 13.0m |
| | 車道部 | 3.5m×2 |
| | 歩道部 | 2.0m×2 |

3 地形・地質概要

当トンネルは標高80~110mの丘陵地で東西に走る小尾根部と斜交している。丘陵地にある寺院は45°影響線上に近接しており、掘削時の地表面沈下の影響が懸念された。

写真-1に久留米側坑口、図-3に平面図、図-4に地質縦断面図を示す。

地質は阿蘇火砕流堆積物の熔結凝灰

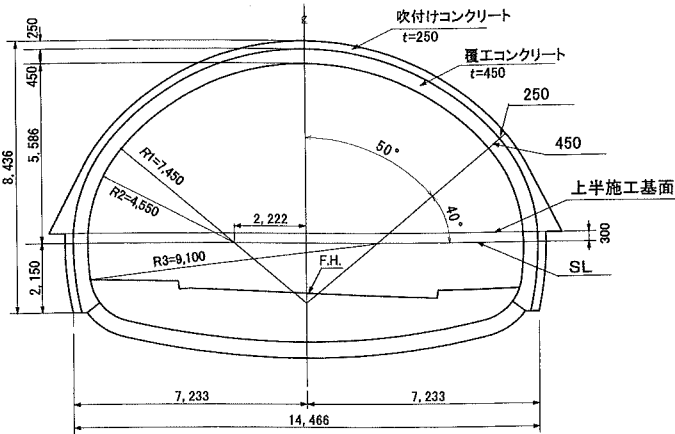


図-2 標準断面図



写真-1 久留米側坑口

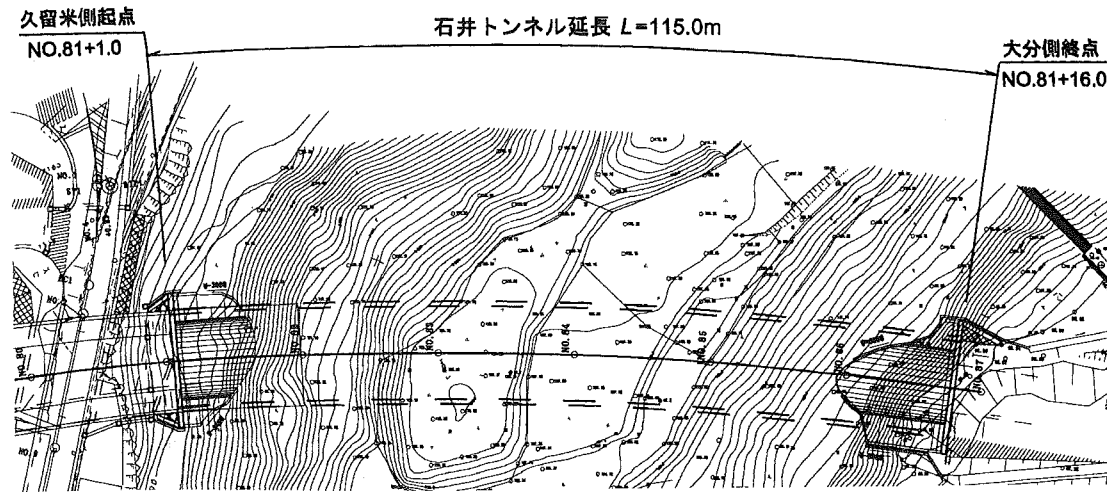


図-3 平面図

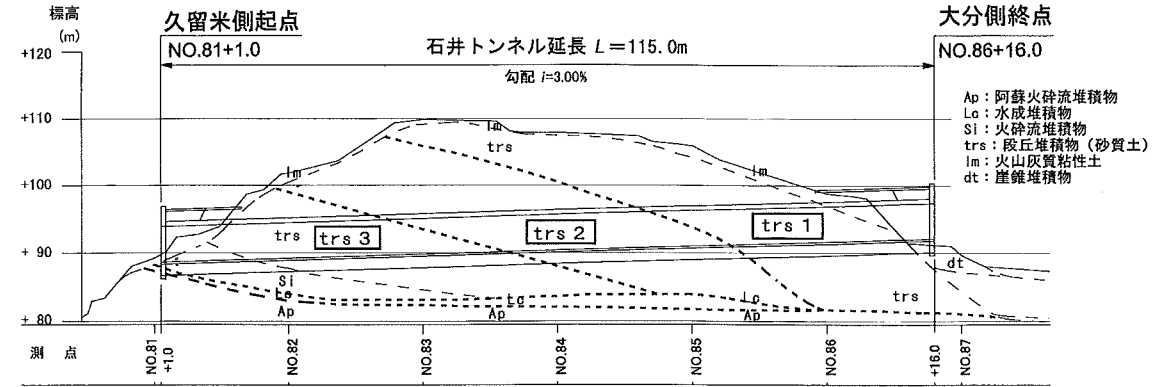


図-4 地質縦断面図

表-2 切羽の自立条件(土砂地山)¹⁾

| 分類 | 細粒分(74μm以下)含有量 | 均等係数U _c |
|---------|----------------|--------------------|
| 自立困難 | 10%未満 | 5未満 |
| 場合により自立 | 10%以上~20%未満 | 5以上 |
| 自立性がよい | 20%以上 | — |

岩(Ap)を基盤に、その上部を火砕流堆積物(Si)、段丘堆積物(trs, trp, trg, lm)、崖錐堆積物(dt)などが被覆している。トンネル切羽通過部はtrs層の砂質土が中心で、上位よりtrs1~trs3層の3つに区分され、trs層の粒度分布は砂分が62~87%を占める。

表-2に示す切羽の自立条件¹⁾と比較すると、起点側NO.82~中央部NO.84区間は細粒分含有率6.5~8.0%、均等係数4.0~4.5で「自立困難」に、中央部NO.84~終点側区間は細粒分含有率9.3~21.7%、均等係数8.5~81.4で「場合により自立」に相当することから、切羽の不安定化が予測された。一方、trs層の三軸圧縮試験結果によれば、内部摩擦角φは18~38°、平均30°、粘着力cは3~38kN/m²、平均16.2kN/m²であり、いわゆる湿潤砂における見かけの粘着力程度であった。

以上より、地下水位はトンネル通過部より下方にあり、砂質土は自然含水比10~20%前後であることから、掘削解放に伴う乾燥によって見かけの粘着力が容易に低下し、未固結砂の切羽は鏡面崩壊を起こしやすいと考えられた。

4 トンネル施工上の問題点

当トンネルは未固結の砂地山に最大土かぶり14mの1D(掘削幅D=14.9m)未満で掘削することから、以下のトンネル施工上の問題点に対して検討を行った。

4-1 切羽天端崩落

当トンネル坑口部では切羽前方からの押し出しによって切羽鏡面がすべり崩壊する可能性²⁾があったため、切羽前方の先行緩みおよび先行変位の抑制が可能な長尺鋼管フォアパイル工(AGF工法、起点坑口部φ114.3×L=12.81m-1シフト、終点坑口部φ114.3×L=7.81m-1シフト)が計画されていた。

一方、図-5に示すように、当トンネル一般部は充填式フォアボーリング(モルタル全面接着式、L=3.0m、28.5本/断面)が計画されているが、未

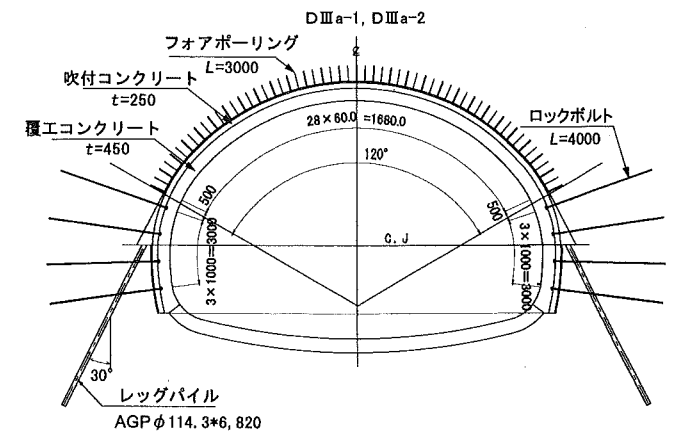


図-5 当初支保パターン(トンネル一般部N値<50)

固結の砂地山ではボルト間からの抜け落ちがいったん始まると、ゆるみの波及によって切羽前方の先行崩落へと拡大し、切羽天端崩落を引き起こすおそれがあった。また、村山の方法³⁾による必要先受け長は3.3~4.9mとなり、充填式フォアポーリング $L=3m$ では先受け長が不足する結果となった。

以上より、トンネル一般部においても短尺の充填式フォアポーリングから長尺鋼管フォアパイリング(AGF工法)に変更した。

4-2 地表面沈下および脚部沈下

当トンネルは未固結の砂地山を土かぶり1D未満で掘削するため、45°影響線上に近接する寺院に対して地表面沈下の影響が懸念された。一方、上半支保脚部の砂地山がN値50未満となるDⅢa-1およびDⅢa-2の区間では、地盤支持力不足対策として、ウイングリブ付き鋼製支保工とレッグパイプ(AGP, $\phi 114.3 \times L=6.82m$, 左右各1本)が図-5に示すように計画されていた。

そこで、地表面沈下および脚部沈下の対策効果を二次元線形弾性FEM解析で予測した。

表-3に解析ケースを示す。AGPの施工時期は上半支保工設置時と同じにした。表-4に解析変位量を示す。

地表面沈下はAGPを追加したケース2よりもAGFに変更したケース3の方が小さく、さらにAGFとAGPの両方があるケース4では1/2まで大きく減少する。

AGPの追加によって、脚部沈下は充填式フォアポーリングおよびAGFのいずれにおいても約40%の減少となり、高い脚部補強効果が認められるが、トンネル直上の許容地表面沈下量を $40mm^0$ とすると、ケース4でも満足しない。しかしながら、地表面沈下が直接制限される重要構造物は45°影響線の内側になく、掘削時の影響は小さいと判断した。

4-3 切羽鏡面崩壊

当トンネルは $74\mu m$ 以下の細粒分含有量が10%以下、均等係数5未満が大半を占める砂地山を掘削することから、切羽の自立性が困難であると予測された。これに対し、切羽鏡面安定を図る一般的な鏡補強は核残しであるが、①砂質土の自然含水比が10~20%程度と低く、乾燥を受けやすいため、みかけの粘着力低下が核残しの自然崩壊を引き起こし、核残し効果が得られない可能性があること、②土木学会の「直線すべりの極限つり合い法」⁹⁾より求めた表-5の切羽安全率は、充填式フォアポーリングからAGFへの変更による先受け工の効果を反映し、核残しをおこなっても $F_s < 1.0$ となり、力学的な照査からも切羽鏡面の不安定化が予測されること、③核残しがトンネル軸直角方

表-3 解析ケース

| 解析ケース | 条 件 |
|-------|-------------------|
| 1 | 充填式フォアポーリング |
| 2 | 充填式フォアポーリング+AGP |
| 3 | AGF工法(上半120°) |
| 4 | AGF工法(上半120°)+AGP |

表-4 FEM解析変位量 (単位: mm)

| 解析ケース | (単位: mm) | | | |
|-------|----------|-----------|---------|-----------|
| | 1 | 2 (AGPあり) | 3 | 4 (AGPあり) |
| 地表面沈下 | 115.3 | 97.4 | 78.5 | 58.5 |
| 天端沈下 | 185.0 | 160.8 | 105.9 | 80.0 |
| 脚部沈下 | 左SL | 41.3 | 21.9 | 46.8 |
| | 右SL | 43.3 | 24.5 | 48.4 |
| 内空変位 | (-24.3) | (-4.1) | (-24.8) | (-2.8) |

(): 相対変位 正值: 沈下, コンバージェンス

表-5 切羽安全率の計算結果

| 測 点 | 支保タイプ | | 土かぶり H(m) | 作用荷重 Q(kN) | 滑動力 S(kN) | 抵抗力 R(kN) | 核残し P _s (kN) | 安全率 F _s |
|----------|-------|-----|-----------|------------|-----------|-----------|-------------------------|--------------------|
| | パターン | 先受け | | | | | | |
| NO.81+14 | DⅢa-1 | AGF | 3.6 | 74.82 | 226.39 | 88.47 | 22.99 | 0.49 |
| NO.82+00 | DⅢa-1 | AGF | 6.6 | 98.21 | 247.58 | 96.75 | 22.99 | 0.48 |
| NO.83+00 | DⅢa-1 | AGF | 14.0 | 148.64 | 295.99 | 107.76 | 28.40 | 0.46 |
| NO.83+10 | DⅢa | AGF | 13.5 | 148.12 | 295.53 | 107.59 | 28.40 | 0.46 |
| NO.84+00 | DⅢa | AGF | 11.4 | 144.96 | 292.73 | 106.57 | 28.40 | 0.46 |
| NO.85+00 | DⅢa-1 | AGF | 8.8 | 190.23 | 357.98 | 161.71 | 52.19 | 0.60 |
| NO.86+00 | DⅢa-1 | AGF | 1.3 | 33.82 | 228.98 | 127.61 | 52.19 | 0.79 |

作用荷重 Q: 土木学会「トンネルライブラリー第10号: プレイニング工法」により算出

向のレッグパイプ打設を不可能にしていること、④レッグパイプの施工遅れはトンネル安定に致命的な影響を引き起こすおそれがあることなどの理由より、切羽鏡面の安定を図り、切羽直近でのレッグパイプ打設効果を可能とするため、鏡補強を核残しから鏡ボルトに変更した。

5 鏡ボルトの設計

切羽鏡面の切羽安全率を直線すべり解析より求め、鏡補強の有無を判定した。AGFと地山間に働く動員摩擦力による荷重軽減効果⁹⁾を考慮した直線すべり解析より、N値50の区間ではAGF工法によって地山荷重が軽減され、鏡ボルトが不要となった。鏡ボルト本数の算定は、切羽鏡面地山の直線すべり面における鏡ボルトのせん断力および引張力から求まる本数の大きい方とした。なお、鏡ボルトの材質は掘削時の障害とならないことを前提にGFRPを選定した。

(1) 打設本数

鏡ボルトの打設本数 n は次式⁹⁾より求めた。

a. せん断力

$$n = \frac{F_s \times (S - R)}{\tau} \times \frac{A}{h} \quad (1)$$

b. 引張力

$$n = \frac{F_s \times (S - R)}{\sin(45^\circ - \phi/2)} \times \frac{1}{P_t} \times \frac{A}{h} \quad (2)$$

(2) 打設密度

鏡ボルトの打設密度は標準設計パターン⁹⁾を参考にした。当トンネルの地山特性は、

- ① 砂地山は「地山等級E」である。
- ② 砂質土は非常にルーズである。
- ③ 切羽鏡面はすべり崩壊しやすい。

であり、「設計パターンI」に該当すると判断し、鏡ボルトの打設密度は $1.2m \times 1.2m$ /本を基本とした。

(3) 打設長

未固結の砂地山掘削では切羽前方の広範囲に先行ゆるみが発生しやすく、掘削解放時には切羽鏡面が自然崩壊する可能性は否定できない。とくに、切羽鏡面崩壊は長尺先受け工の地盤反力低下につ

ながり、先受け効果が十分に得られないため、切羽前方のできるだけ深い範囲まで先行補強することが望ましいと判断した。GFRPの鏡ボルトでは、1回の打設長として実績の少ない17mの長尺化を前提に、断面剛性が大きく、打設の直進性精度が高められる径76mmのGFRP管を選定し、1シフト長14m、ラップ長3.0mを基本パターンとした。

(4) 定着材

鏡ボルトと未固結の砂地山を一体化した改良コラムの形成をねらって、定着材は浸透性、発泡性、接着力が高く、固結度の低い地山や亀裂性地山などに適しているウレタン系材料を選定した。

6 施工結果

当トンネルは平成15年12月22日に掘削開始、平成16年の8月24日に上半掘削、9月14日に下半掘削、平成17年1月19日にインバートを完了した。補助工法の施工は油圧ジャンボを使用し、トンネル全線にわたってAGF工法を14シフト、AGPを84基、長尺鏡ボルトのFIT工法を8シフト施工した。

図-6に施工縦断図、図-7に実施支保パターンを示す。

AGFは掘進7mごとに $\phi 114.3mm$ の鋼管 $L=12.5m$ /本を38本打設し、高浸透ウレタンを169.3kgf/本注入した。FITは掘進14mごとに $\phi 76mm$ のGFRP管 $L=17m$ /本(ラップ長3m)を打設し、シリカレジン228.0kgf/本注入した。写真-2にFITの打設状況を示す。

着工前の事前検討では、NO.83+10~NO.84+10のD区間はN値50の締まった砂質土が出現するため、AGF工法の長尺先受け効果によって切羽鏡面の安定が得られると予測し、長尺鏡ボルトを計画しなかった。しかしながら、C区間の終点付近において、写真-3に示すように鏡ボルト間からの抜け落ちによって切羽鏡面崩壊が発生したことから、切羽鏡面の土壌硬度値を参考に切羽安全率を再評価し、2段配置の長尺鏡ボルト15本/断面をD1区間に追加した。

図-8に示すように、D1区間の長尺鏡ボルトは

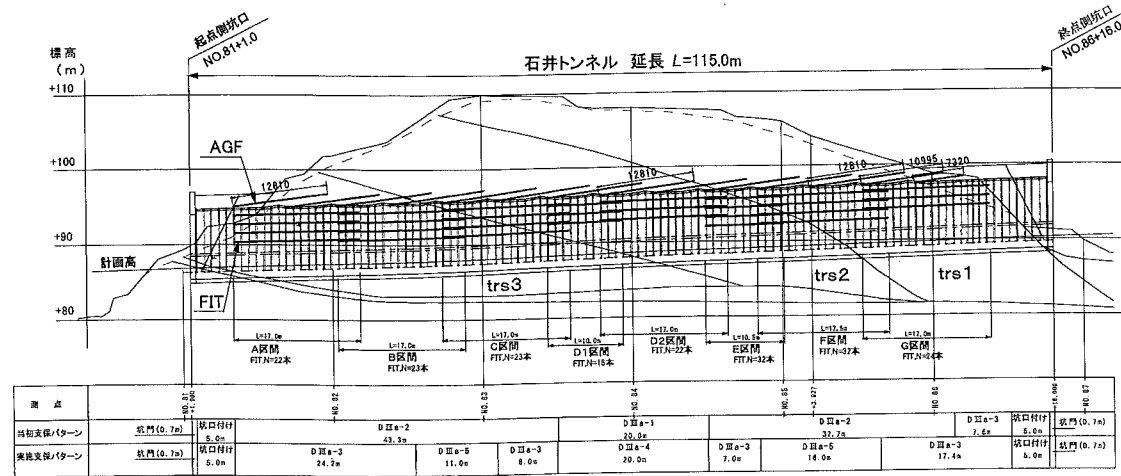


図-6 施工縦断面

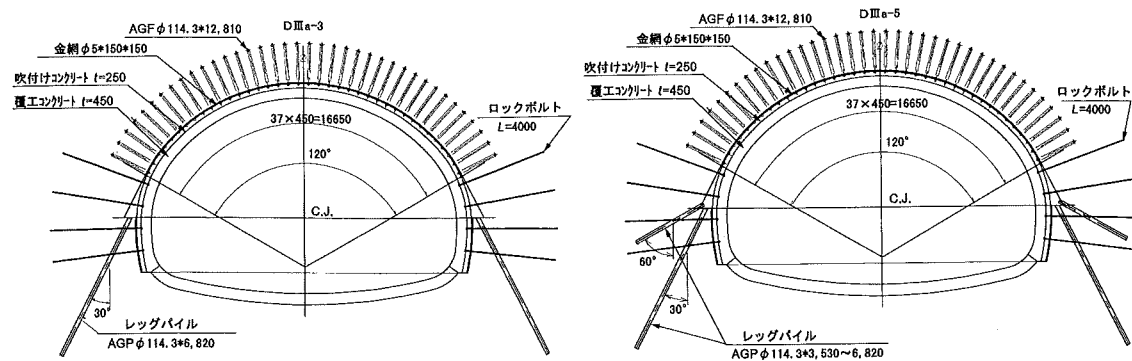


図-7 実施支保パターン

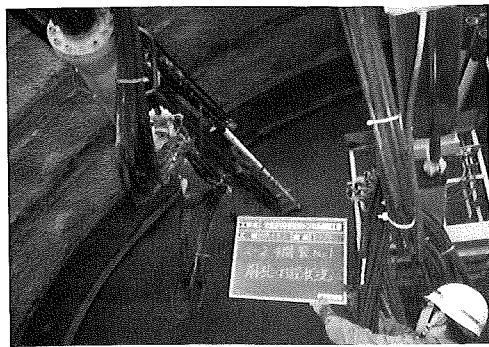


写真-2 長尺鏡ボルト (FIT) の打設状況

上半切羽鏡面上部の支保工周辺に配置し、天端部の安定を図ったが、長尺鏡ボルト下端の地山が掘削によって徐々に崩壊し、写真-4のように切羽前方深さ3.5mまでのすべり崩壊に拡大した。この原因は、当初予測されたN値50の地山が掘削に伴って地山強度が低下し、2段配置の地山拘束力が不足したためと考えられた。

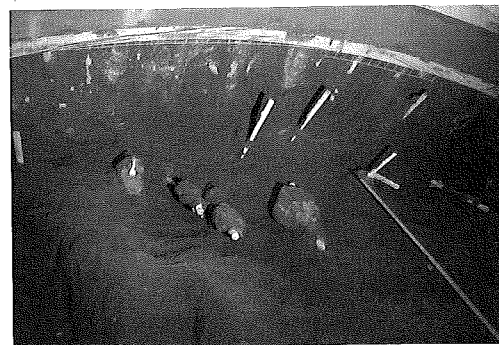


写真-3 切羽鏡面の崩壊状況

この対策として、図-9に示すように、D2区間の長尺鏡ボルトを3段配置が可能な22本/断面に変更した結果、鏡ボルト間からの抜け落ちもなく、安定した状態で掘進できた。これより、E区間以降の鏡ボルトを3段配置を基本とした結果、終点まで良好に施工できた。表-6に長尺鏡ボルトの施工実績を示す。

7 補助工法の効果

当トンネルにおいて、未固結の砂地山の安定を目的に採用した補助工法の効果を評価するため、地山のみかけ弾性係数を求めた。また、トンネル全線にわたって実施した長尺鏡ボルトは打設本数によって切羽鏡面の安定性に差が生じたので、三次元FEM解析によって長尺鏡ボルトの効果を検証した。

7-1 みかけ弾性係数

LIMANOVの方法⁹⁾を用いて地表面沈下から求めた地山のみかけ弾性係数を表-7に示す。得られた地山のみかけ弾性係数はNATMにて施工可能とされる50,000kN/m²を超えている。また、みかけ弾性係数と土かぶり比の関係において、切羽の自立性を「安定」、「やや不安定」、「不安定～崩壊」の3つに領域分けされた図-10に、表-7のみかけ弾性係数をプロットすると、「不安定～崩壊」領域から対策後は「やや不安定」もしくは「安定」領域へと向上している。

一方、天端沈下/地表面沈下と土かぶり比の関係を図-11に示す。土かぶり比0.5未満では天端沈下/地表面沈下は0.6に収束し、共下がり状態にある。しかし、土かぶり比0.5以上では天端沈下/地表

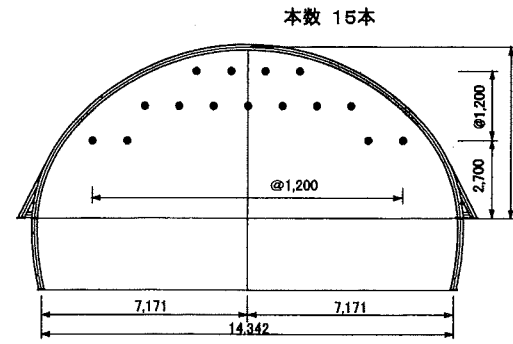


図-8 長尺鏡ボルトの打設配置 (D1区間)

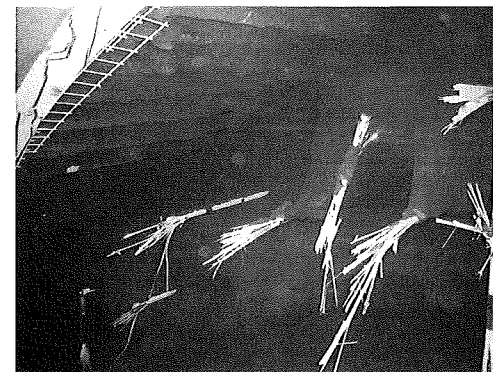


写真-4 D1区間 (N=15本) の切羽崩壊状況

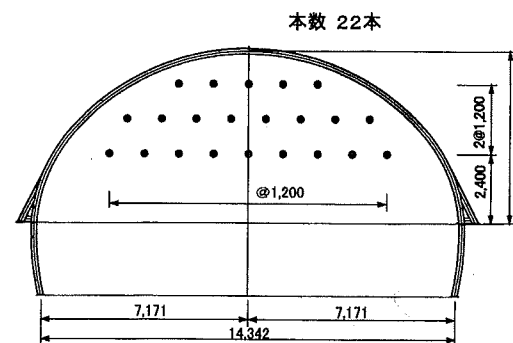


図-9 長尺鏡ボルトの打設配置 (D2区間)

表-6 長尺鏡ボルトの施工実績

| 施工区間 | 計画 | 実施 |
|------------------------------|---------------------|---------------------|
| A区間: NO.81+ 6.7~NO.82+ 0.7 | 22本/断面, 3段, L=17.0m | 22本/断面, 3段, L=17.0m |
| B区間: NO.82+ 0.7~NO.82+ 14.7 | 23本/断面, 3段, L=17.0m | 23本/断面, 3段, L=17.0m |
| C区間: NO.82+ 14.7~NO.83+ 8.7 | 23本/断面, 3段, L=17.0m | 23本/断面, 3段, L=17.0m |
| D1区間: NO.83+ 8.7~NO.83+ 15.7 | なし | 15本/断面, 2段, L=10.0m |
| D2区間: NO.83+ 15.7~NO.84+ 9.7 | なし | 22本/断面, 3段, L=17.0m |
| E区間: NO.84+ 9.7~NO.84+ 16.7 | 33本/断面, 4段, L=10.5m | 32本/断面, 4段, L=10.5m |
| F区間: NO.84+ 16.7~NO.85+ 10.7 | 32本/断面, 4段, L=17.5m | 32本/断面, 4段, L=17.5m |
| G区間: NO.85+ 10.7~NO.86+ 7.7 | 24本/断面, 3段, L=17.0m | 24本/断面, 3段, L=17.0m |

表-7 地山のみかけ弾性係数

| 測点 | 土かぶり比 H/D | 地山の弾性係数 E (kN/m ²) | みかけ弾性係数 E _a ' (kN/m ²) |
|-------|-----------|--------------------------------|---|
| NO.83 | 0.9 | 19,400 | 83,166 |
| NO.84 | 0.8 | 13,100 | 118,641 |
| NO.85 | 0.5 | 9,800 | 373,146 |

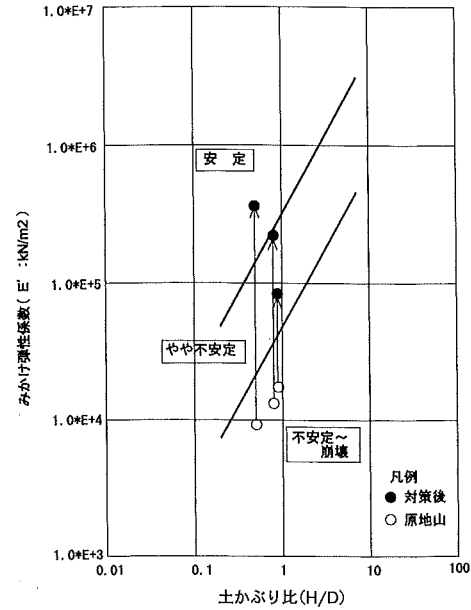


図-10 みかけ弾性係数と土かぶり比の関係⁷⁾

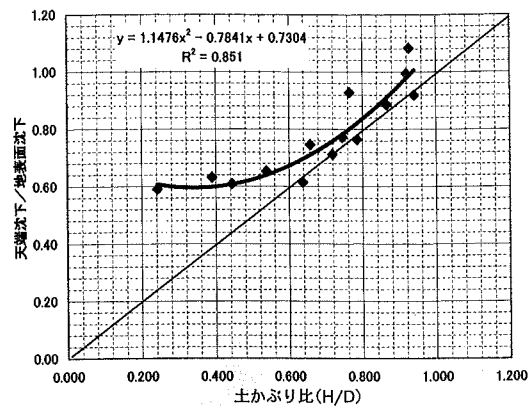


図-11 土かぶり比と天端沈下/地表面沈下の関係
面沈下は大きくなり、地表面沈下が相対的に小さくなっている。

以上より、土かぶり比0.5以上では補助工法による地山のみかけ弾性係数の向上が、地表面沈下の抑制に寄与していたと考えられる。

7-2 長尺鏡ボルトの効果

三次元線形弾性解析に用いた解析モデル図を図-12に、解析ケースを表-8に、長尺鏡ボルトの配置モデル図を図-13に示す。長尺鏡ボルトはφ76mmのGFRP

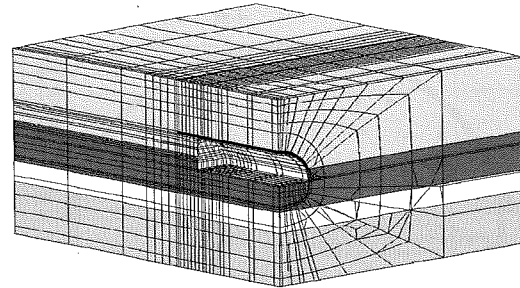


図-12 三次元解析モデル図

表-8 三次元解析ケース

| ケース | 条件 |
|-----|---|
| 1 | AGFのみ |
| 2 | AGF+長尺鏡ボルト全面N=12本(上半切羽周辺部に配置) |
| 3 | AGF+長尺鏡ボルト全面N=17本(上半切羽全面に粗2.4m×2.4mに配置) |
| 4 | AGF+長尺鏡ボルト全面N=32本(上半切羽全面に密1.2m×1.2mに配置) |

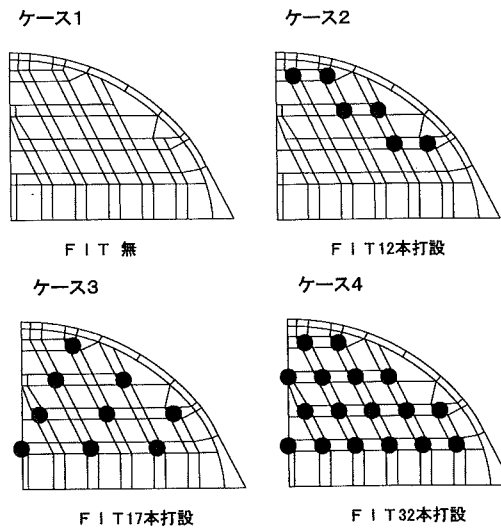


図-13 長尺鏡ボルトの配置モデル図

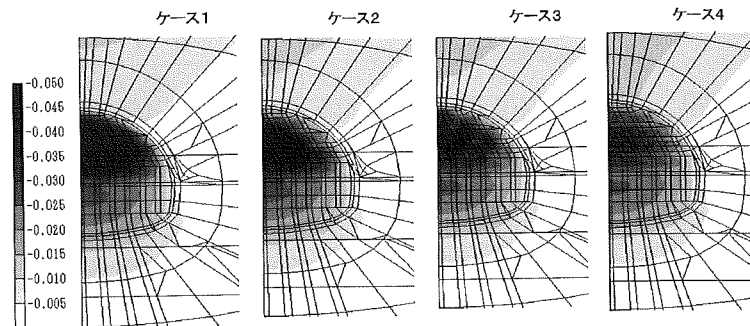


図-14 トンネル軸方向の変位

管と幅50cmのシリカレジジン注入改良域を合成した等価弾性係数を求め、40cm×40cmの改良体としてモデル化した。

トンネル軸方向の変位を図-14に示す。ケース1では上半切羽中央部の広範囲で50mmの押し出しとなるが、鏡ボルトを上半切羽全体にほぼ均等に配置するケース4では上半切羽の押し出しが小さく、ボルト間も30mm以下に抑制される。

以上より、長尺鏡ボルトの効果を得られるには、補強範囲に対して均等かつ密な打設配置が有効であり、3段配置の打設は妥当であったと考えられる。

8 計測結果

当トンネルは土かぶり1D未満の砂地山に扁平大断面を掘削することから、掘削の影響が地表面へ波及しやすいと判断し、地表面沈下の測定ポイントをトンネルセンターの縦断方向に5mピッチで配置した。

図-15にA計測の結果を示す。天端沈下、脚部沈下、地表面沈下は土かぶり厚さに比例した沈下傾向を示す。一方、内空変位は

土かぶり厚に比例した鉛直荷重が卓越するトンネル中央区間で、地山側に拡がる傾向を示す。これらの傾向は図-15に示す追加脚部補強区間(DⅢa-5, L=11m)で顕著に現れ、図-16に示すように天端沈下および脚部沈下が急激に増加し、両肩部の吹付けコンクリートにクラックが発生した。原因は上半脚部の沈下による吹付けコンクリートのせん断破壊と考えられ、レッグパイルL=3.53mを左右の上半脚部に1本追加したところ、沈下速度が緩やかになり、掘削再開後もクラックは拡大しなかった。

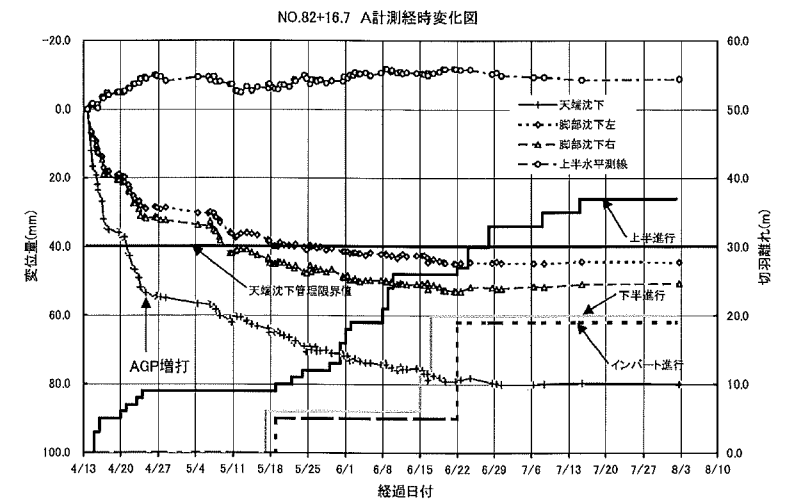


図-16 追加補強区間NO.82+16.7 経時変化図

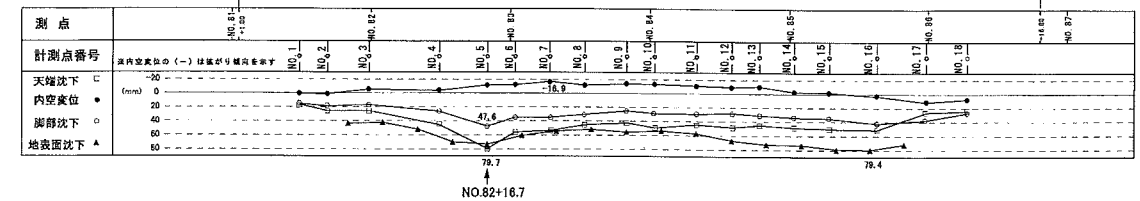
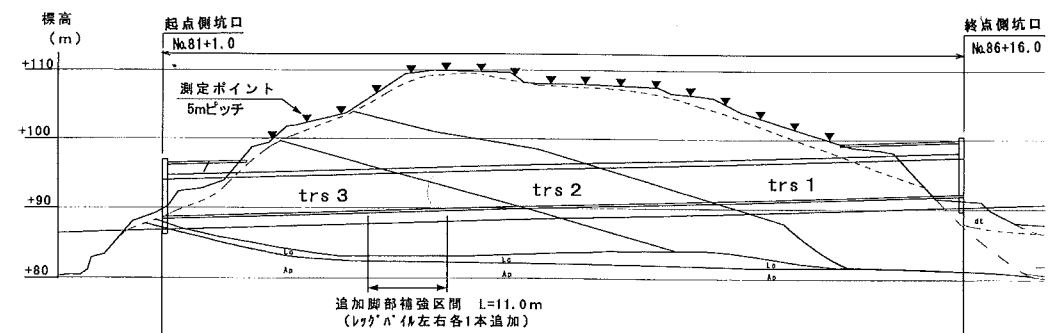


図-15 A計測結果

9 おわりに

当トンネルでは未固結砂地山の切羽鏡面安定対策としてFIT工法による鏡ボルトを全線で採用した。従来から、鏡ボルトは掘削時の切羽鏡面崩壊を抑えるため、一時的に採用される場合が多い。しかし、当工事のように、切羽鏡面安定を連続して保持する必要がある場合、直線すべり解析から求めた必要打設本数では地山状態によって切羽鏡面の安定度が異なり、十分な抑制効果が得られない状況もあった。今後、施工経験をさらに積み、安全性が高く、経済的な設計手法を確立できるように努力していきたいと考えている。

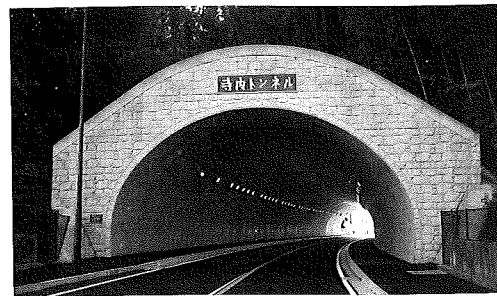


写真-5 平成17年12月久留米側坑口(供用名：寺内トンネル)

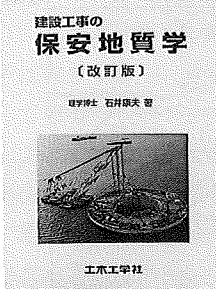
最後に、当工事の施工に際して貴重なご助言、ご指導を賜った方々に、この紙面を借りて謝意を表したい。なお、日田バイパスは集中的かつ重点的に整備が進められ、当初の開通目標の平成18年2月よりも3か月早く開通し、石井トンネルは「寺内トンネル」(写真-5)として平成17年12月3日より供用されている。

参考文献

- 1) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，pp.58-59，1996.2.
- 2) 櫻井春輔・足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，pp.47-48，1988.12.
- 3) (社)土木学会：トンネル・ライブラリー5 山岳トンネルの補助工法，pp.21-27，1994.3.
- 4) (社)日本トンネル技術協会：地中構造物の建設に伴う近接施工指針，pp.107-108，2000.10.
- 5) (社)土木学会：トンネル・ライブラリー10 プレライニング工法，pp.147-151，2000.5.
- 6) (社)日本トンネル技術協会：山岳工法における補助工法の効率的な設計施工法に関する報告書，pp.64-65，2000.6.
- 7) 櫻井春輔編著：都市トンネルの実際—合理的な設計・施工をめざして，鹿島出版会，pp.62-66，1998.3.

【図書のご案内】

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 円340

本書は、多くの人が『地質の知識を通して、安全を守る』という点の理解を深めることを目的とし、安全教育の資料、あるいは災害時に直接役立つように各種のエピソードや適用法規まで加えた他の技術専門書とは異なったタイプのユニークな地質専門書である。

株式会社 **土木工学社**

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

施工

営業中の複線躯体を抱え込んだボックストンネル

—中之島新線建設工事 京阪本線天満橋駅—

京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部工事担当係長 谷口 智之
京阪電気鉄道(株)中之島新線建設部計画設計担当係長 南 裕一

1 はじめに

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

- ・整備区間
起点：(仮称)玉江橋駅 (大阪市北区中之島5丁目)
終点：京阪本線天満橋駅 (大阪市中央区天満橋京町)
 - ・建設延長：約2.9km
 - ・新駅(4駅；駅名はすべて仮称)：玉江橋駅・渡辺橋駅・大江橋駅・新北浜駅
- 施設の建設と保有については、中之島高速鉄道

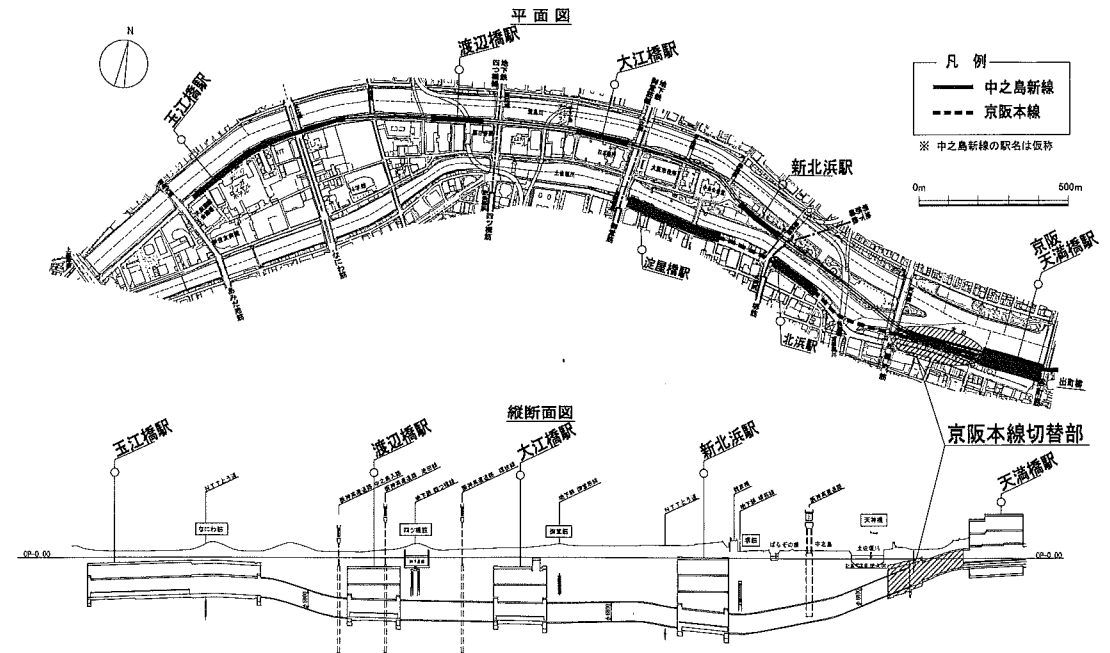


図-1 計画概要図

(株)が行い、完成後は京阪電気鉄道(株)が列車を乗り入れ、運行を行う。工事は平成15年度に本格着工し平成20年度の完成を目指している。

本稿では、中之島新線建設工事のうち、京阪本線との接続部分(京阪本線切替部)における地下トンネル切替工事の概要について述べる。

2 切替部の工事概要

今回の計画路線では、京阪本線と中之島新線は天満橋駅で接続する。この駅は京都方面への複々線の始端であり、現在は行き止まりとなっている2本の線路(3・4番線)に淀屋橋行き線路を切り替え、その後に新線との接続を行う(図-2)。天満橋駅の西側に当たるこの部分(京阪本線切替部)については、地下

での京阪本線の切り替えを伴う工事となることから、京阪本線の運転保安のため中之島高速鉄道(株)から京阪電気鉄道(株)が受託し、施工を行っている。

本工事では、新設躯体の施工方法の違いから東側140mを別線部、西側138mをラップ部と称している(図-3)。別線部では、営業線躯体と平面的に

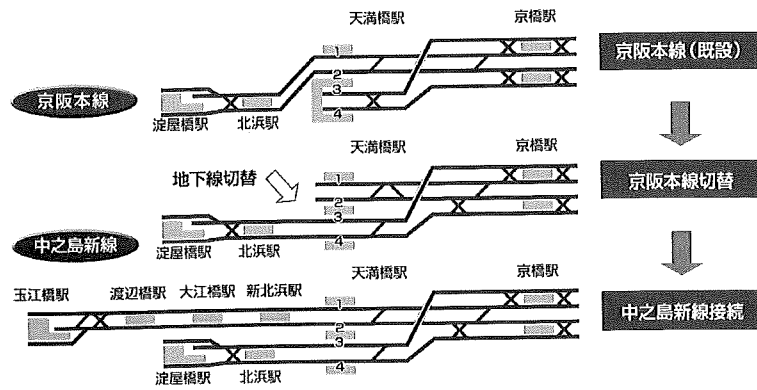


図-2 京阪本線切り替え順序図

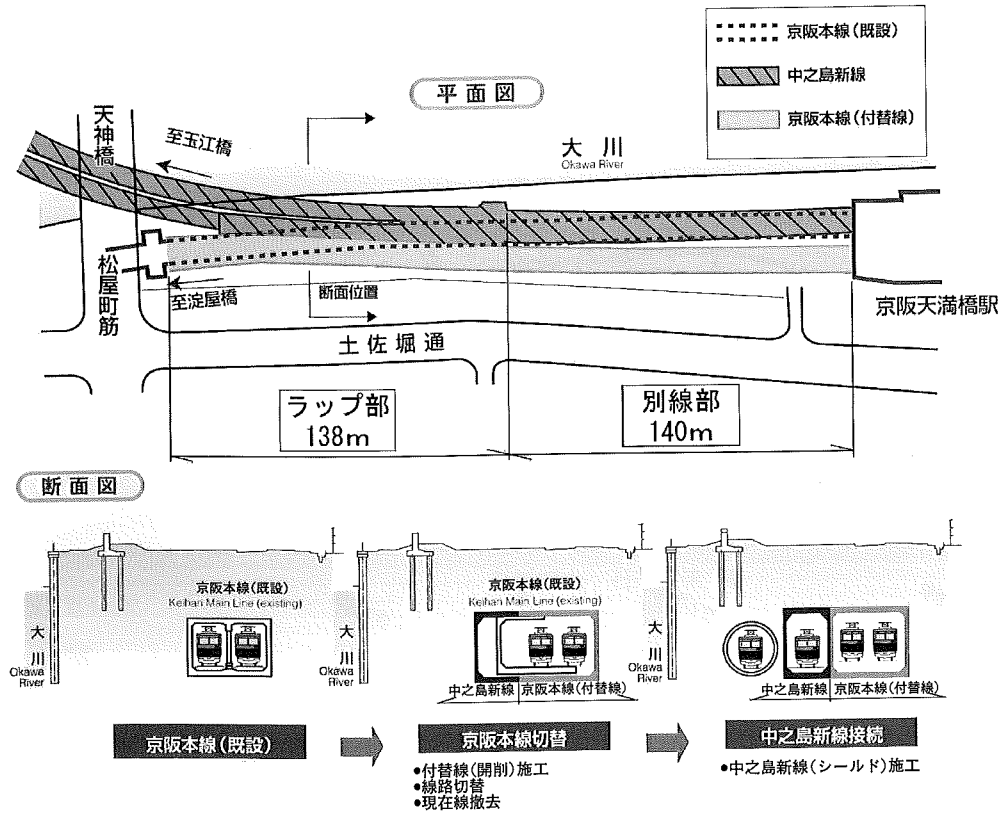


図-3 京阪本線切替部概要図

ラップしていないため、オーソドックスな開削工法により施工することが可能であるが、ラップ部では営業線躯体と平面的にラップすることから、躯体周辺を開削したうえで、一時的に京阪本線の

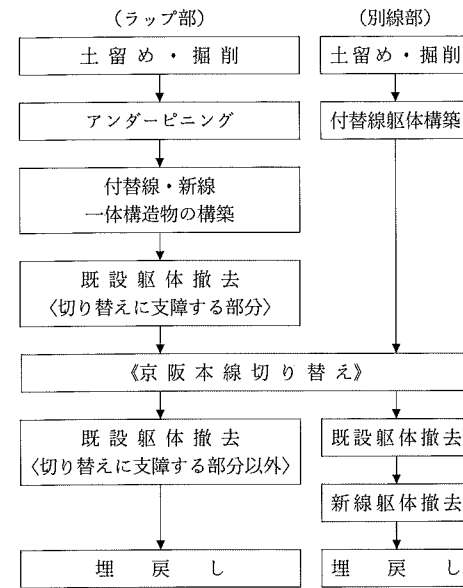


図-4 切替部における工事フロー

営業線躯体(RCボックスラーメン)をアンダーピニングにて仮受けしながら、その営業線を包み込む形で付替線と中之島新線の構造物(RCボックスラーメン)を構築した。その後既設の営業線躯体の撤去を行い、地下における京阪本線上下2線同時切り替えを行うことが可能な空間を確保した。平成18年4月には、京阪本線上下2線の同時切り替えを行い、今後は残りの既設躯体撤去工事や新設躯体の構築、さらに、隣接工区からのシールド到達に向けた補助工事を行う予定である。図-4に工事フローを示す。

3 営業線躯体のアンダーピニング

3-1 アンダーピニングの概要

施工計画にあたり、工法選定では、営業線躯体内から中間支持杭を打設する方法やパイプルーフによる仮受け案についても検討したが、図-5のとおり、営業線躯体下から中間支持杭を打設する方法を選択した。アンダーピニングの施工は、①導坑工、②支持杭工、③受け桁設置工の順序で行った。

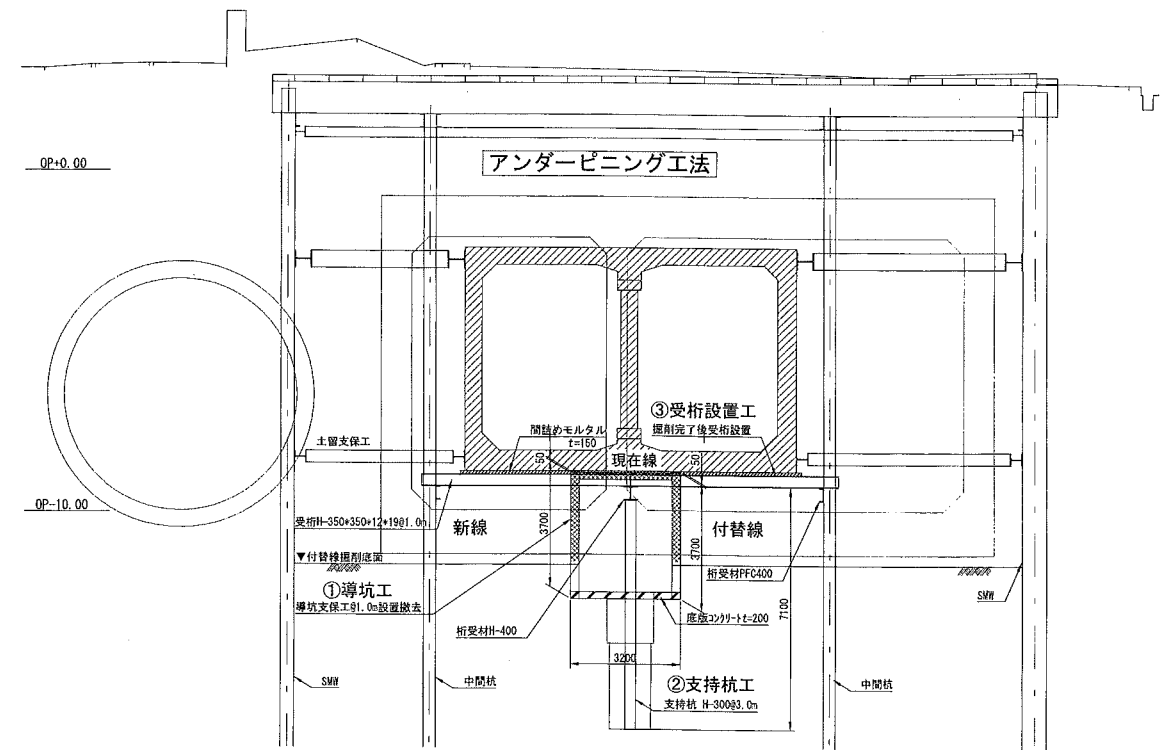


図-5 アンダーピニング断面

3-1-1 導坑工

支持杭を打設するための導坑は躯体中心直下に設置し、側面掘削には簡易メッセル工法(内空H 3,700mm×B3,200mm)を採用した。

3-1-2 支持杭工

支持力の設計は摩擦杭で行い、φ1,200mm、L=4.5mの杭体コンクリートとH-300の芯材を3mピッチに施工した。限られた空間での施工となるためリバースサーキュレーション工法(TBH)により削孔し、芯材は継ぎ足して建て込んだ。

3-1-3 受け桁設置工

中間杭と支持杭に桁受け材を設置した後、導坑両側を順次掘削し、スパン5.7~7.8mの受け桁(H-350)を1mピッチに設置した。この際、営業線躯体への影響を極力少なくするため、受け桁設置完了後プレロードを導入した状態で、営業線躯体下との間(150mm)にモルタルを充填し、営業線躯体の138mにわたりアンダーピニングを完了させた(写真-1)。

3-2 営業線躯体の計測およびリスク対策

工事による営業線躯体に対する影響としては、

掘削時のリバウンドとアンダーピニングによる変位および土留め支保工による偏土圧荷重の影響が予想された。例えば、FEM解析によるリバウンドの隆起予測については最大28mm、沈下予測については最大5.6mmであった。そこで、図-6のとおり自動計測器を軌道および営業線躯体に設置したほか、月1回の軌道内3次元測量と軌道検測、毎日の躯体のレベル沈下測量を行った。また、ある程度の躯体の変位については、軌道整備による対応を基本と考え、次の2点をアンダーピニングの前に施工した。

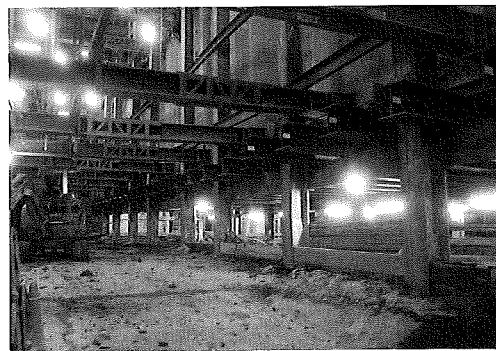


写真-1 アンダーピニング完了状況

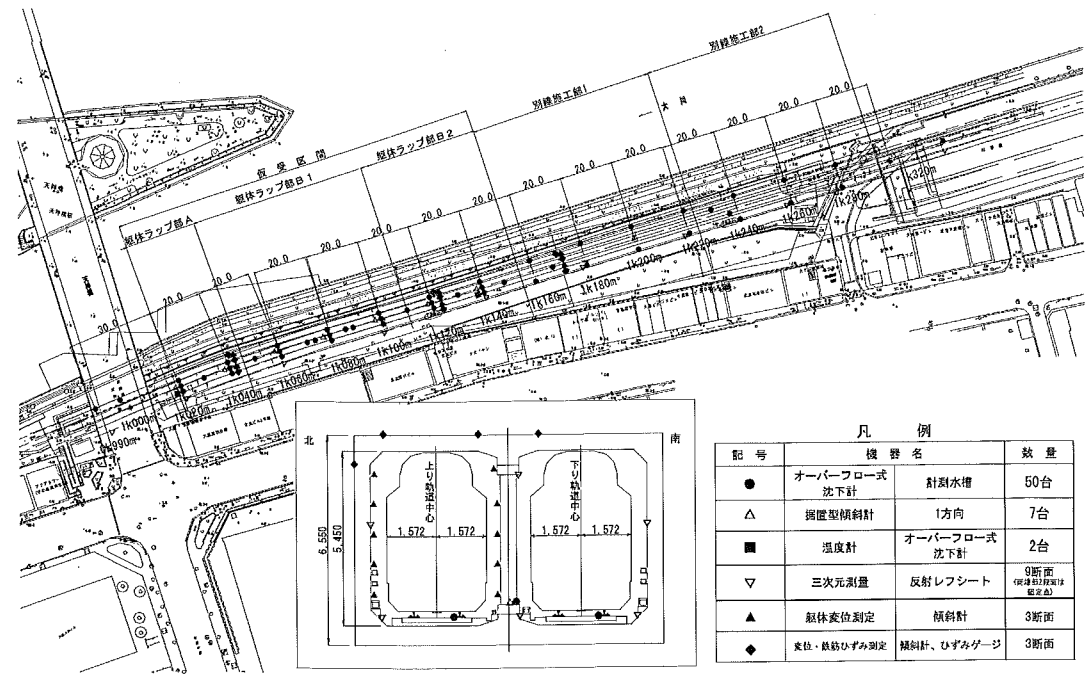


図-6 計測器の配置図

| 凡 例 | | |
|-----|--------------|--------------------------|
| 記号 | 機器名 | 数量 |
| ● | オーバーフロー式 沈下計 | 計測水槽 50台 |
| △ | 掘削型傾斜計 | 1方向 7台 |
| ■ | 温度計 | オーバーフロー式 沈下計 2台 |
| ▽ | 三次元測量 | 反射レフシート 9断面 (保線用計測器 設置済) |
| ▲ | 躯体変位測定 | 傾斜計 3断面 |
| ◆ | 変位・風動ひずみ測定 | 傾斜計、ひずみゲージ 3断面 |

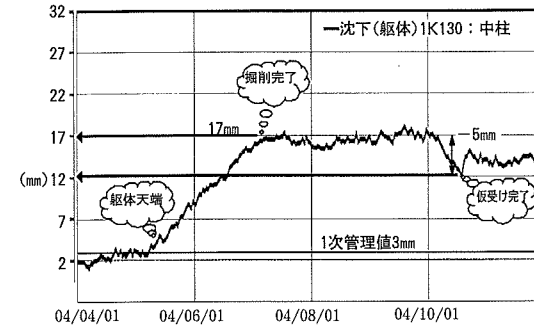


図-7 躯体の経時変化

- ① コンクリート直結道床の砕石道床化
 - ② 剛体架線支持架の取り替え(±30mm可動)
- ここで、計測期間中の躯体の経時変化について図-7に示す。

実測値としてはリバウンドが17mm、沈下が5mmであったが、道床突き固めをはじめとする軌道の一時的保守により列車については通常運転を確保することができた。

4 既設構造物の撤去

既設鉄道営業線をアンダーピニングした後、これを包み込む形で新設構造物を一体的に構築する。その後、付替線の敷設に支障となる既設構造物を撤去することとしたが、その際、側壁を運搬する機械と上床版や柱を撤去・運搬する機械の2種類を製作した。

撤去のフローは図-8のとおりであるが、あらかじめ1ピースを5t程度あるいは5t以下に切断し、専用機械により運搬する。なお、部材の切断・撤去によりボックス構造が成立していない部分については、新設躯体上床版から吊りボルトを設置しており、列車運行には問題ない状態を確保した

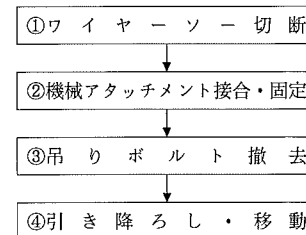


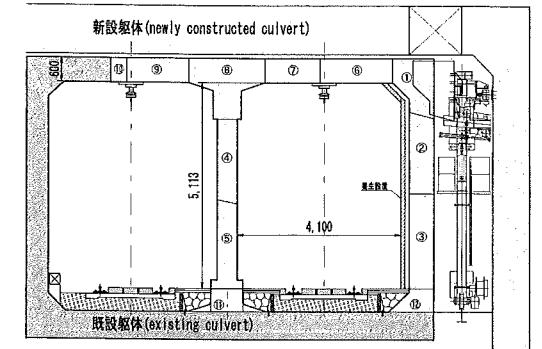
図-8 撤去フロー(上床版)

(図-9、写真-2)。この結果、京阪本線を切り替えるために必要な671ピース(約2,500t)の既設躯体について撤去を完了した。

5 京阪本線上下2線同時切り替え

去る平成18年4月には、これまで進めてきた線路切り替えのための軌道工事および電気工事が完了し、写真-3の箇所において、所定の線路閉鎖時間内(最終電車~始発電車)に地下での上下2線同

側壁撤去



上床版撤去

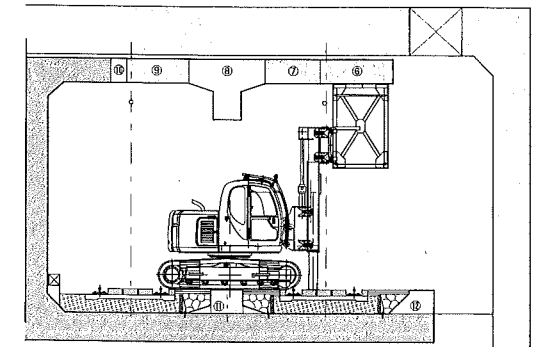


図-9 既設構造物撤去方法



写真-2 撤去状況

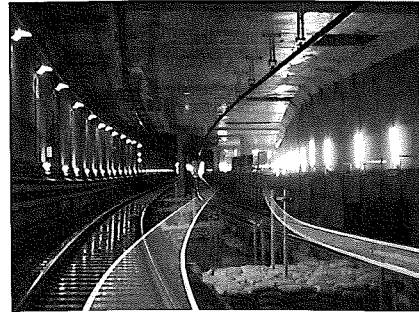


写真-3 京阪本線切替部付近の状況 (白線は切り替え後の軌道線形を示す)

時切り替えを無事完了した。なお、切り替えに伴う軌道工事の概要については以下のとおりである。

- ① 上り線大阪方 線路寄路工 61m, 最大移動量 2,350mm
② 上り線京都方 レール付替え工 50m(タイププレート交換工 20m, パッキン入替え工 10m)
③ 下り線 線路寄路工 56m, 最大移動量 2,305mm

6 今後の予定

- (1) 既設躯体撤去 現在完了した既設躯体の撤去については前述したとおりであるが、残る1,625ピース(約10,040t)については、今後、撤去する予定である。
(2) 隣接工区からのシールド到達 当工区の西端は隣接工区からのシールド到達部である。ここでの特徴は、図-3, 10に示すとおり、

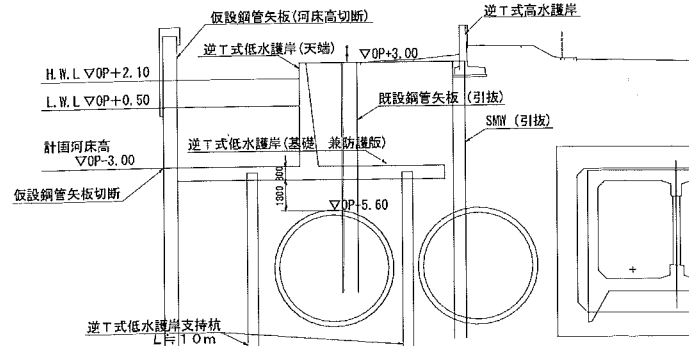


図-10 シールド到達付近の断面図

既設護岸である鋼管を逆T式護岸へ変更すること、橋台やこれに近接する位置をシールドが通過すること、また、河床小土かぶり部をシールドが到達することである。したがって、シールド到達部およびその付近については、十分な防護と綿密なシールド掘進管理を必要としている。

7 おわりに

現在、中之島新線建設工事全体では、平成20年度の開通を目指して順調に進捗している。その中でも京阪本線切替部においては、前述のとおり新線開通の準備ステップとなる京阪本線の切り替えを平成18年4月に無事完了した。これも国・大阪府・大阪市をはじめとする関係各位のご理解とご協力の賜と感謝している。今後も、営業線の安全を確保し、事故のないよう工事を進めていく所存であり、引き続き、ご指導・ご協力を賜りたくお願い申し上げる次第である。

『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」の投稿は受け付けておりません)
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)

土木情報 No.396 今月の主な入札結果 (3月23日~4月21日)

Table with 4 columns: 事業主体 (Project Owner), 工事名 (Project Name), 請負会社 (Contractor), 請負額単位数 (Bid Amount in million yen). It lists various construction projects across different regions and their respective contractors and bid amounts.

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL

日比谷共同溝見納め

国土交通省関東地方整備局が東京・霞が関で整備を進めている日比谷共同溝のトンネル構築がほぼ完了し、今年度から電線や下水管などの内部躯体工事が始まるため、一般見学が難しくなる。

同共同溝では、見学会を行ったり、狂言師の野村萬斎氏による「地底能楽堂」を開催、また人気歌手のプロモーションビデオの撮影に使用するなど積極的にPRを実施。これまでに見学者は1万人を超え、「東京ジオサイト」のホームページへのアクセスは2,400万以上に達した。2009年度の完成予定。

けいはんな線開業

第三セクター「奈良生駒高速鉄道」が主体となり、2000年から建設を進めてきた「けいはんな線」(生駒～学研奈良登美ヶ丘間約8.6km)が3月27日開業した。

同線と大阪市営地下鉄中央線との相互直通運転により、大阪ベイエリアまで一直線につながり、大阪と奈良の経済・学術・文化などの連携を深めるアクセスとして期待されている。

工事は、全10工区に分け、うち3工区を近畿日本鉄道が、全体の6割がトンネルとなる残り7工区を奈良生駒高速鉄道が発注した。トンネルは、3本のトンネルからなる「東生駒トンネル(約3.6km)」、「白庭トンネル(約130m)」、「北大和トンネル(約1.1km)」がある。運営は、近畿日本鉄道が行う。

出雲仁摩道路が承認

山陰自動車道の一部となる(仮称)出雲仁摩道路の事業計画が2月に行われた島根県都市計画審議会で承認

された。事業を担当している中国地方整備局松江国道事務所では、今年度より測量・調査に取りかかりたい意向だ。

同道路は、島根県出雲市知井宮町を起点に大田市仁摩町大国に至る延長約37.4kmの自動車専用道路。計画によると、インターチェンジ5か所、高架橋・橋梁33か所、トンネルが8か所となっており、トンネルの総延長は約4.45km。

下水道幹線抜本改修へ

神奈川県鎌倉市は、鎌倉処理区(鎌倉・腰越地区)の下水道幹線の抜本的な改修を検討する。

現在、同処理区域の下水道整備事業はほぼ完成の段階を迎えているが、初期に整備された管渠施設は老朽化が進み更新の時期にきている。また、市内の河川を避けるためにサイフォンによる伏せ越しを行っており、維持管理に手間がかかり、ランニングコストも大きくなっている。このため、抜本的な対策として深度の大きいところへ自然流下式の管渠を敷設する。径1,000mm、延長7～8kmを想定。今後、2か年かけて改修箇所や事業化の実現性を探る。

飛驒トンネル先進坑貫通

中日本高速道路(株)が建設を進めている東海北陸自動車道の飛驒トンネル(延長約10.7km)の先進坑が3月31日開通した。

工事は、当初4.5mのTBMで片押しで行う予定だったが不良地山と大量湧水によりNATMに切り替えたり、到達側から迎え掘りをするなど苦労の連続で着工から9年を経てようやく貫通に至った。

先進坑は、本坑掘削に先立って、最大土かぶり1,000mにも及ぶ地山の地質調査、水抜きを目的に建設さ

れた。完成後は避難坑となる。同トンネルは、関越自動車道の関越トンネルに次ぐ、国内第2位の長さとなる。

中央環状品川線の事業許可取得

首都高速道路(株)は、3月31日付で、首都高速中央環状品川線の事業許可を国土交通相から取得した。

同路線は、品川区八潮三丁目～目黒区青葉台四丁目までの約9.4km。構造物の内訳は、トンネルが約8.4km、高架が約0.6km、掘割が約0.4kmとなっている。同線は、大井JCTで湾岸線と、大橋JCTで目黒線と立体接続をし、中央環状新宿線と平面接続をする。

甲南トンネル下り線貫通

西日本高速道路(株)が、滋賀県甲賀市甲南町杉谷で建設を進めている第二名神高速道の甲南トンネル(仮称)下り線(全長約2.5km)が4月26日貫通した。

これにより大津JCT～亀山JCTまでの約42kmにある3本のトンネルが上下線とも貫通したことになり、同区間の開通に向けて大きな節目となった。同トンネルは今年9月完成予定。

シールド工法技術協会
平成18年度定時総会開催

シールド工法技術協会は、5月15日セルリアンタワー東急ホテル(東京)で定時総会を開催した。

冒頭、磯島茂男会長は、世界に目を向け、また、シールド工法技術をリードする協会として自負を持ってさらに発展したいと挨拶した。

平成17年度の活動報告では、シールド工法技術協会が監修し、当社で発行した「多様化するシールド掘進技術」の紹介もあった。議事は満場一致で承認され閉会した。

施工

各種新技术を駆使した大規模水道シールド工事

—東京都水道局 東南幹線—

東京都水道局西部建設事務所長 原 藺 一 矢
東京都水道局西部建設事務所工事第二課長 伊 東 克 郎
飛島・竹中建設共同企業体監理技術者 安 田 昭 二
鹿島・大豊・地崎建設共同企業体監理技術者 松 井 紀 尚

1 はじめに

東京都水道局では、効率的な水運用や地震などの非常時におけるバックアップ機能の強化を目的として、浄水場と給水所および給水所間を連絡する送水管ネットワークの構築を進めている。このうち東南幹線は、埼玉県三郷市内の東京都水道局三郷浄水場から東京都大田区において現在築造中の大井給水所(仮称)までを結ぶ、延長約45kmに及ぶ大規模送水管である(図-1)。

今回の工事は、東南幹線の未整備区間であった品川区八潮から大田区大井までの約4kmを泥水加圧式シールドにより施工したものである。砂層・高水圧下における発進・到達、地中接合、分岐発進といった難易度の高い工事であったが、さまざまな最新技術を駆使することによりこれを克服することができたので報告する。

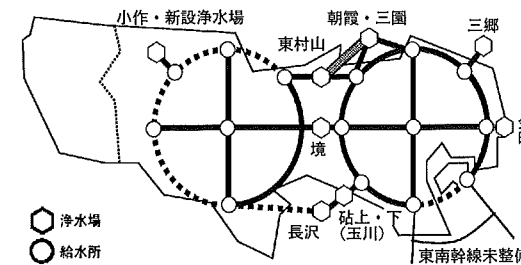


図-1 送水管整備の概要図

2 工事概要

本工事は、品川区八潮1丁目から八潮5丁目の地中接合地点までのI工区約1,400m(F路線)と、大田区東海から品川区八潮5丁目の地中接合地点までおよび分岐地点から品川区大井までのII工区約3,400m(A～C, E路線)の2つの工区に分かれる。I工区(F路線)とII工区(C路線)の接合地点では、土かぶり35mでの異径MSD(メカニカルシールドドッキング)地中接合法、分岐シールド工法を採用した。また、I工区(F路線)の発進ではEW工法(Electric Corrosion Wall Method: 立坑のシールド通過部分に、連続壁鉄筋の代わりに用いた鋼管を電食作用で溶解し薄肉化することにより、シールドで直接切削して発進する工法)を採用した。II工区の間立坑(B路線の到達)においては、立坑内にシールド全体が入る鋼製隔壁を設置して、その中に到達させる工法を採用した(図-2)。

2-1 異径地中接合と分岐シールドの採用

図-3に示すように、本工事の地中接合・分岐地点は、内径4,000mm, 2,400mm, 2,000mmの3本のトンネルが結合する地点である。従来であれば立坑を構築してそれぞれのシールドを発進または到達させるところであるが、本工事においては地上部

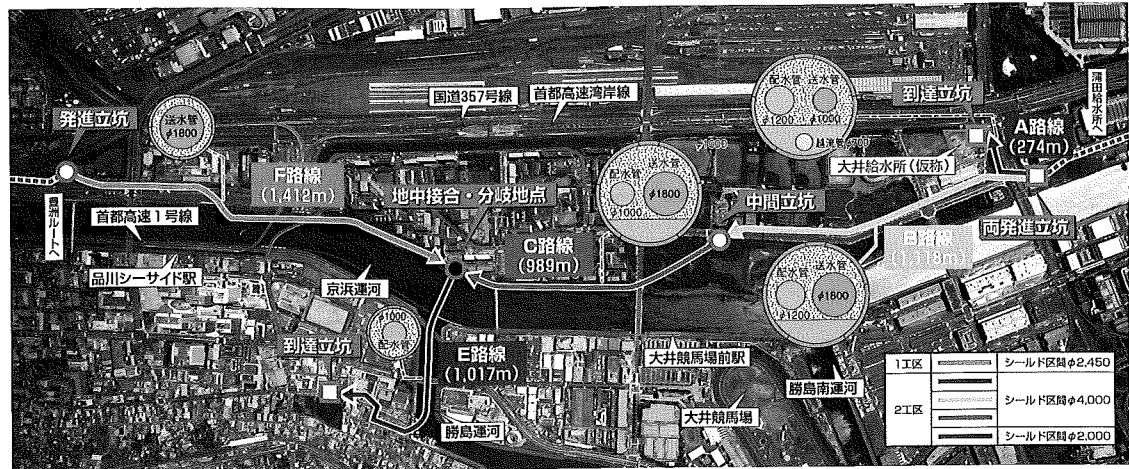


図-2 東南幹線工事路線図

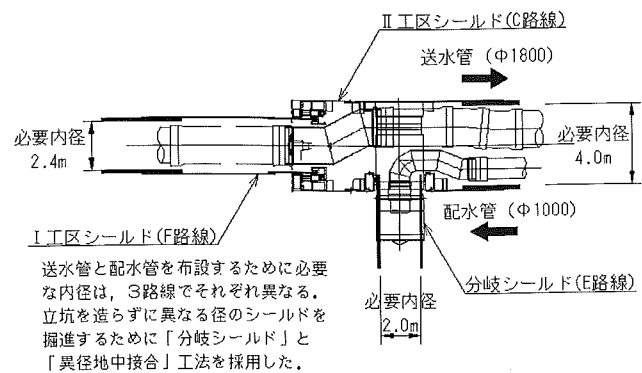


図-3 地中接合・分岐点詳細図

の利用制約やコスト面を考慮して、立坑が不要な分岐発進と異径地中接合を組み合わせた工法を採用した。

3 異径MSD地中接合

3-1 施工条件

地中接合は品川区八潮五丁目の京浜運河緑道公園下、土かぶり35mの位置となる。接合箇所は緑道公園のため、立坑築造のための長期占用の許可が得られなかった。地中接合箇所の土質は江戸川砂層(Edg)である。

今回の異径MSD地中接合に用いるシールドは、I工区のシールドが外径φ2,836mmの泥水式で、II工区(受入側)は外径φ4,500mmの泥水式である。受入側シールドは面板を分割することによって、貫入リングを受け入れるためのスリットが形成さ

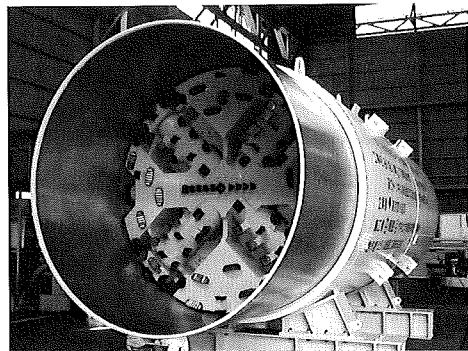


写真-1 貫入側シールド

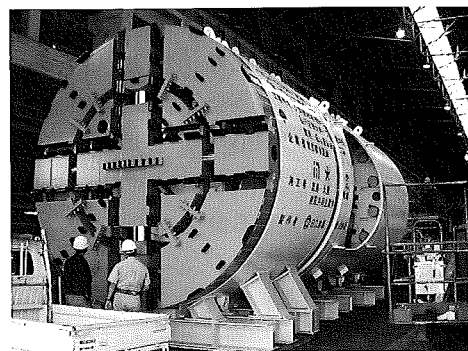


写真-2 受入側シールド

れるように工夫を施している(写真-1, 2参照)。

3-2 異径MSD地中接合の施工フロー

施工フローは図-4のとおりである。

3-3 異径MSD地中接合の課題と対策

3-3-1 到達精度の確保

要求された到達精度は、偏心量(ズレ)±50mm以内、面角(傾き)±0.5°以内であった。

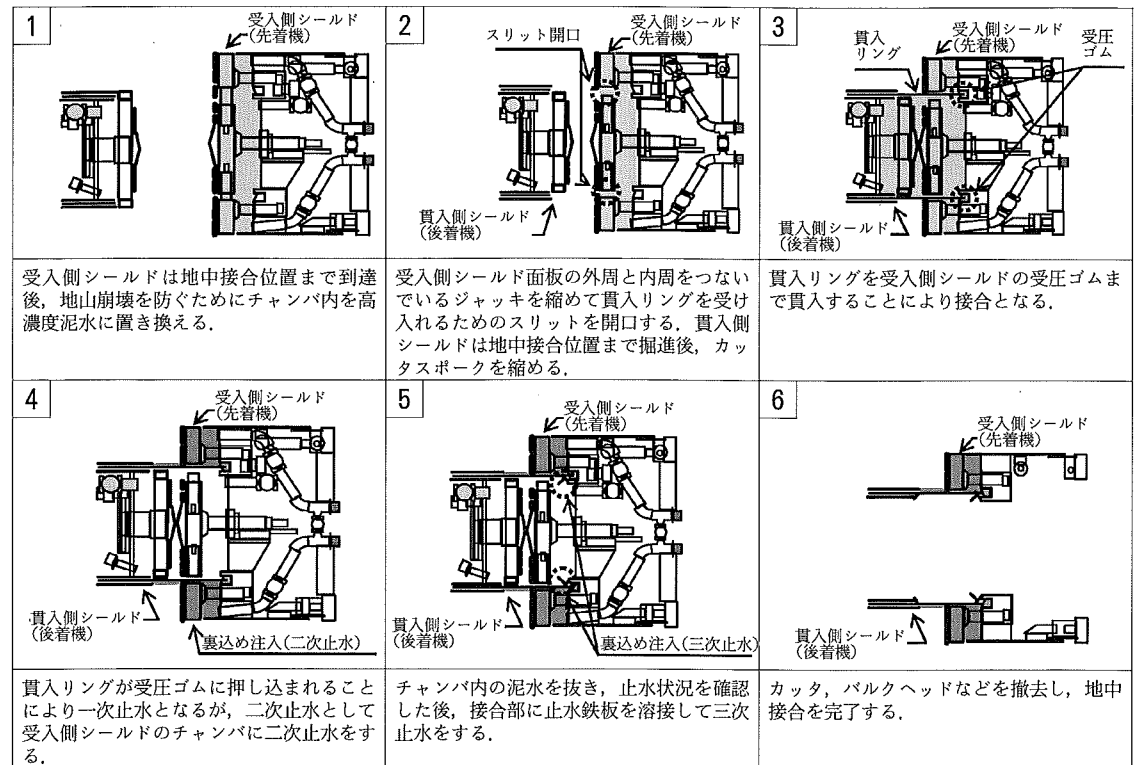


図-4 地中接合の施工フロー

II工区のシールドが所定の位置に到達後、分岐シールドが発進してその影響がなくなってからII工区シールドでチェックボーリングを行い、受入側シールドの位置測量を実施した。

I工区のシールドは接合点手前約100mの位置でチェックボーリングを行い、その結果をもとにして最終掘進距離、方向などを決定し、接合地点まで掘進した。

3-3-2 地中接合

接合作業の中で基本となる工種は、カッタスポークの縮小、貫入リングの貫入である。

カッタスポークの縮小は1本ずつスワイヤーの縮み量を確認して行った。

貫入リングはジャッキで受入側に押し出す。押し出し量の最終確認のため、連通管(φ90)をII工区側から貫通させた。貫入リングは12本の押し出しジャッキで150mmのジョイントロッドを継ぎながら順次押し出した。

貫入ストローク長および貫入圧力(14MPa)を

確認して貫入完了とした。

受入側シールド側より二次止水を行い、チャンパ内の排水を行い、止水を確認して止水鉄板を溶接してから三次止水をした。地中接合完了後、それぞれのシールドを解体した。

3-4 施工実績と今後の課題

当工事により、MSD工法は大深度下(土かぶり35m)でも信頼性のあることが確認できた。

MSD工法の成否を決めるのはシールドの位置確認作業である。今回は受け入れ側、貫入側各々でチェックボーリングを行ったが、非貫通方式や各種センサー類を用いたシールド内からのより簡易な確認方法の開発など、よりよい位置確認方法を検討していくことが今後の課題である。

4 分岐シールドの発進

4-1 分岐発進の概要

① φ4,500mmの親機からφ2,396mmの子機が直角方向に分岐発進した。

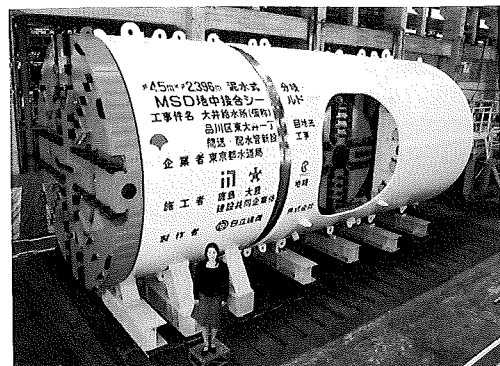


写真-3 親機全体

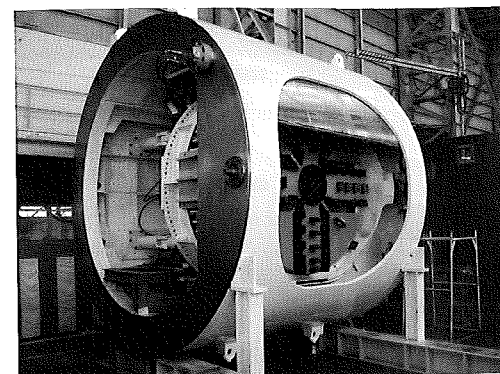


写真-4 親機中胴部分

- ② 子機発進の開口を作る方式として新工法を開発した(ゲート旋回方式)。
- ③ 地上の制約により、子機発進のための地盤改良工を施工できなかった。
- ④ 分岐発進地点の土質は洪積砂層(江戸川層)で、水圧は0.3MPaと高かった。

写真-3に親機全体を示す。写真-4は、子機が発進する親機中胴部分を示す。

図-5, 6に、子機発進の概念を示す。

4-2 分岐発進の与条件(課題)と対策

(1) 地中接合に必要な精度の確保

分岐発進する地点と同じ場所で地中接合も行うため、子機を発進させる際に親機の変動を避ける必要がある。このため、実績のある「外胴スライド方式」(親機の外胴を前方にスライドさせるので親機が変動しやすく)ではなく、新たに開発した「ゲート旋回方式」(子機を発進させる開口を塞いでいるゲートを上方向にスライドさせるので親機は動かない)を採用した。この方式による分

C 路線掘進時

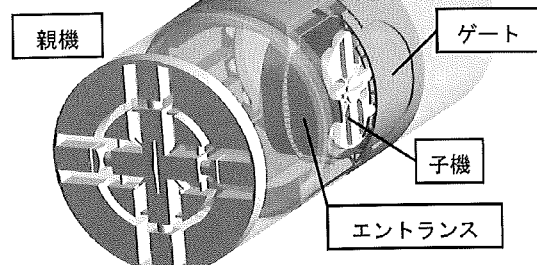


図-5 C路線掘進時の概念図

分岐発進時

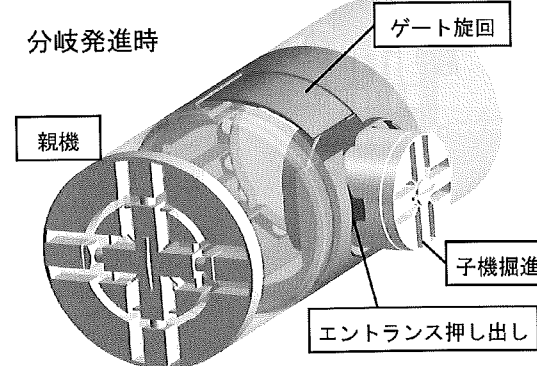
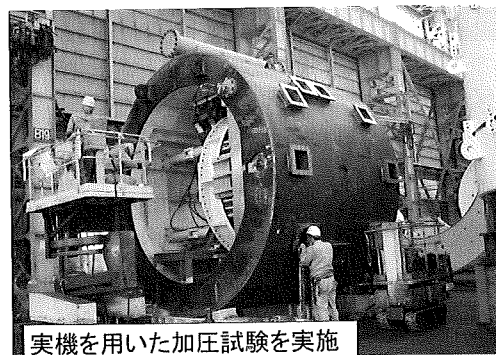


図-6 分岐発進時の概念図



実機を用いた加圧試験を実施

写真-5 工場実験状況

岐発進は世界初となった。

ゲート旋回方式を採用することにより、親機を通常のシールドジャッキを用いて所定の位置に到達させた後、親機の変動を避けることなく分岐発進工事を施工することができた。

(2) シールド強度, 変形量, 止水性の検討

親機のスキンプレートには、子機発進用の開口(2.6m×2.6m)があり、親機掘進中はこの開口をゲートで内側から塞ぐ機構となっている。大きな

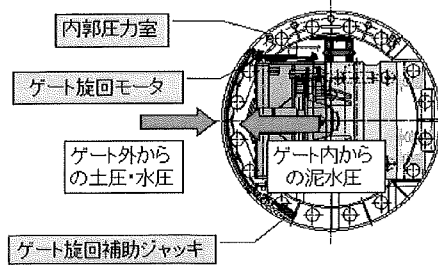


図-7 内隔圧力室

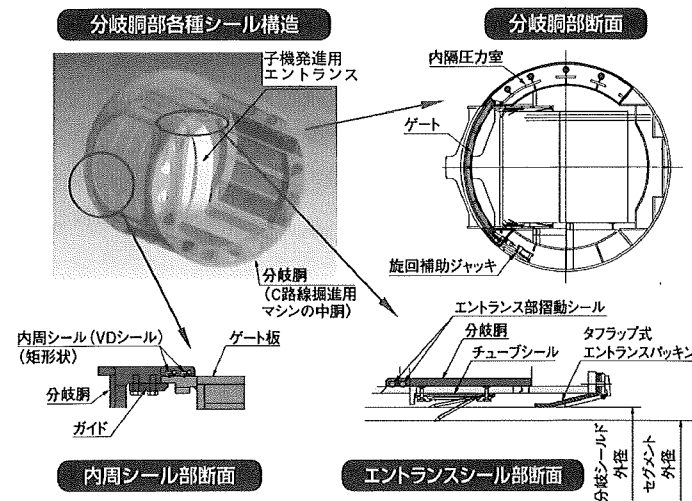


図-8 エントランスポッキング

開口のあるシールドの強度および掘進中の変形量、開口部とゲートの隙間からの漏水対策を十分に検討した。シールド全体に水圧0.7MPaを作用させる工場実験も実施した。実験状況を写真-5に示す。

開口部とゲートの隙間からの漏水を防ぐためにVDシールドを2段装備した(後出図-8参照)。

(3) ゲートを地中で開ける

図-7に示すように、親機に内隔圧力室と呼ぶ水密構造の部屋を装備した。ゲートを開ける前に内隔圧力室の中に0.3MPaの泥水を注入することにより、ゲートが受ける地山から土水圧と同等の泥水圧を内側からも作用させ、ゲート内外の圧力を均衡させた。その結果、ゲート旋回に必要なトルクを小さくすることができた。

(4) 出水事故の回避

4分割された子機を組み立てながらの発進となるため、ゲートを開けた後シールド全体がエント

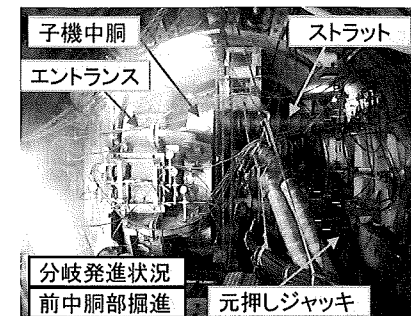


写真-6 前中胴部掘進状況

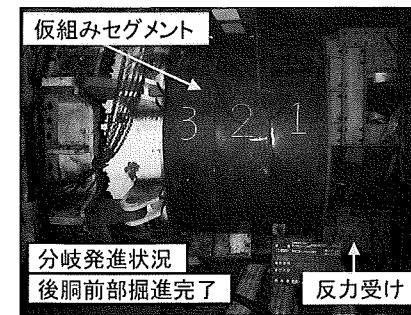


写真-7 後胴前部掘進完了

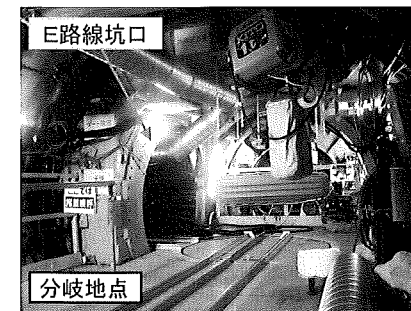


写真-8 分岐発進完了状況

ランスを通過するまでに22日を要した。エントランスポッキングは、図-8に示すように、坑口側にタフフラップ式パッキング、切羽側にチューブ式パッキングの2段を装備した。

4-3 施工実績と今後の課題

写真-6, 7に施工時の状況を、写真-8に分岐発進完了状況を示す。

前述した課題に対する対策が効を奏した結果、ゲートはスムーズに開けることができ、また、エントランスからの漏水もなく分岐発進を完了することができた。万一の出水に備え、トンネル内に緊急止水隔壁(鋼製扉)を装備したが、幸いなことにこの隔壁は使わずに済んだ。

5 EW 工法

5-1 発進の施工条件

I 工区の発進立坑部におけるシールド土かぶり
は約42mと大深度である。発進立坑の近接重要構
造物として、「JR東海新幹線引き込み線」および
「東京電力大井火力発電所の放水路」があり、こ
れらへ影響を及ぼすと新幹線の停止、発電の停止
という甚大な影響を及ぼすこととなるため、厳し
い管理値の中で立坑築造時より変状監視を行って
いた。したがって、シールド発進に際しては、こ
れら重要構造物へ影響を及ぼさない安全な施工が
求められた。

5-2 発進の施工フロー

地中連続壁工からシールド直接発進概念を図-9
に、EW工施工フローを図-10に示す。

電食の原理は電気防食技術の逆転の発想で、溶
解させたい対象物へ積極的に電流を流すことによ
り腐食を促進させる技術である。

5-3 施工実績と今後の課題

電食用杭芯材として鋼管(SKT400, $t=9.5\text{mm}$)
を3本使用した。

電食杭芯材は工場製作とし、現地にてエントラ
ンス部の連壁鉄筋かごに組み込んだ。その際、杭芯
材と鉄筋との絶縁状況を確認して電食による連壁
鉄筋への影響がないことをあらかじめ確認した。

シールドをエントランス内に進めた後に電食を



図-9 シールド直接発進概念図

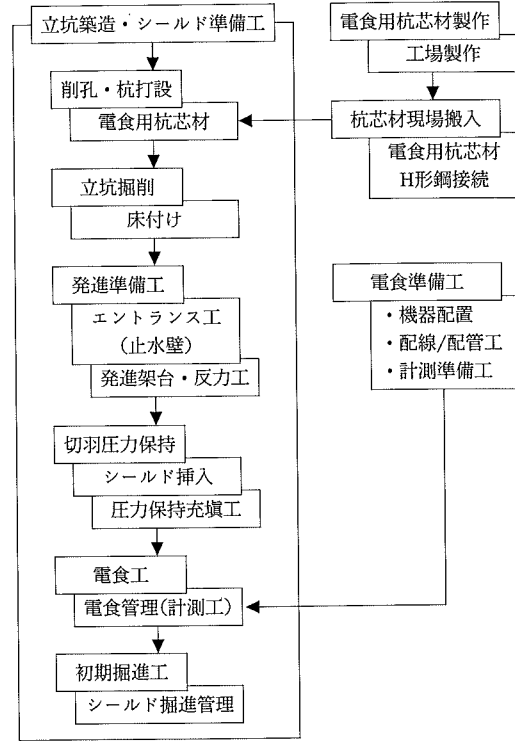


図-10 EW工法施工フロー

開始した。電食施工中は電流・電圧・電解液性状
および循環状況を管理した。電食終了は、通電電
流の急減(100A/本以下)、通電電圧の急増(最大
30V)、IRセンサー反応により判断した。電食に
要した日数は11日間であった。

周囲への影響測定で迷走電流の計測および連壁
鉄筋への影響の計測を行ったが、いずれも影響は
なかった。

電食完了を確認したのち、シールドを直接発進
した。連壁部切削によるビット性能の低下が懸念
されたが、その後の掘進において異常は認められ
なかった。また、発進前と後での「JR東海新幹
線引き込み線」および「東京電力大井火力発電所
の放水路」の変状もなく安全な施工ができた(発
進による立坑最大変位1.19mm(管理値3.00mm以
内))。

今回の施工から安全性が実証されたが、他の工
事で施工するNOMST工法と比較することで、施
工はもちろん、コスト削減についての検討も行っ
ていきたい。

6 立坑内隔壁工法による引き抜き到達

6-1 中間立坑引き抜き到達の施工条件

II 工区中間立坑(図-11)では、分岐マシンを既
存のマシンに組み入れるため、マシンを立坑内に
完全に引き出さなければならなかったが、到達深
度はGL-37mと深く、地下水間隙水圧が0.33MPa
(3.3kgf/cm²)と高かった。また土質はTos層(洪
積砂層)で、細粒分が10%以下と少なく、かつ均
等係数が1~2と粒径が均一であった。このよう
な水圧・土質条件においては、到達時に鏡部から
の出水が生じた場合に、坑口付近の地山が一気に
流動破壊して砂が流出し、立坑水没の危険があ
る。このため、立坑内隔壁工法を採用した。図-

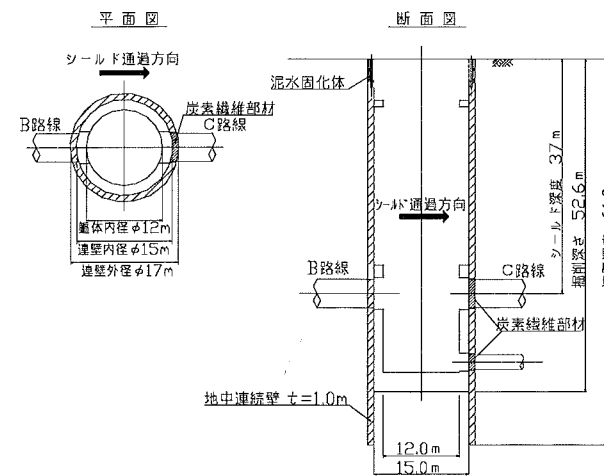


図-11 中間立坑構造図

| 深さ (GL) | 層厚 | 柱状図 | 土質区分 | 記事 |
|---------|------|-----|----------|--|
| -31.04 | 4.95 | | 粘性土 | |
| -34.34 | 3.30 | | 粗砂 | 砂の粒径均一 含水量中~多い |
| -36.99 | 2.65 | | 微細砂 | 砂の粒径均一 所々、細砂となる部分がある |
| -38.19 | 1.20 | | シルト混じり細砂 | 砂の粒径均一 |
| -39.74 | 1.55 | | 微細砂 | 砂の粒径均一 |
| -40.44 | 0.70 | | シルト混じり細砂 | 砂の粒径均一 |
| -46.19 | 5.75 | | 粗砂 | 41~42m間、粗砂でφ2~5mm程度の 細礫を少量混入する 全体的に見て砂の粒径比較的均一 4.5m付近、粗砂となる |

図-12 到達部付近の土質状況

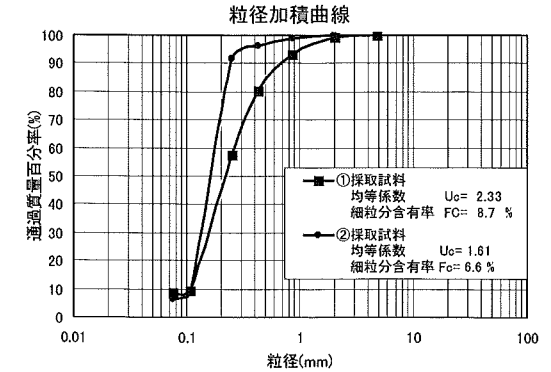


図-13 粒径加積曲線

12に到達部付近の土質柱状図を示す。また、図-
13に粒径加積曲線を示す。

6-2 中間立坑への引き抜き到達施工フロー

図-14に立坑内隔壁工法の施工フローを示す。

まず、到達補助工法として鏡切りを行うた
めの強度ゾーンを噴射攪拌杭(スーパ
ージェットミディ工法)によって造成した。次
に、シールドが立坑に到達する前に鏡切りを
行った。強度ゾーンをシールドで掘進する前
に鏡切りを行うので、この時点での出水の危
険は小さい。

鏡切りの後、シールド全長が入る鋼製隔壁
を中間立坑内に設置し、この隔壁内部に流動
化処理土を充填した。その後、シールドが隔
壁の中を掘進して、隔壁蓋の手前まで到達さ
せた。この時点でシールドは完全に立坑内に
入った状態となり、この後にさらに空推進す
る必要がない。また、隔壁内に

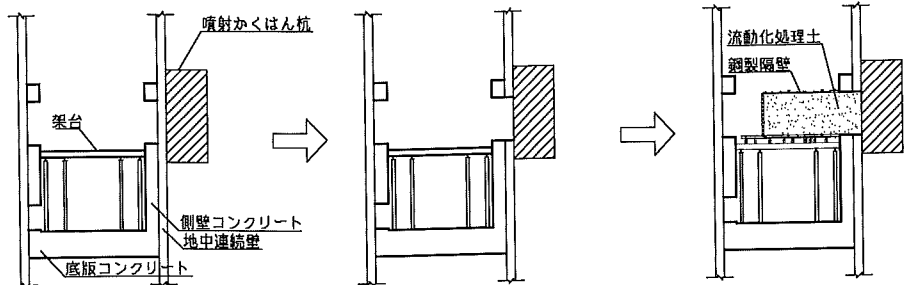
到達した時点で、セグメントの
外側に形成される止水ゾーンは
噴射攪拌杭、連壁、立坑側壁を
足した長さの7.0mと長く取る
ことができるため、止水に対す
る信頼性が高い。

鏡部から漏水がないことを確
認してから鋼製隔壁を解体し、
その後鋼製隔壁とシールドの間
に残っている流動化処理土の中
からシールドを取り出した。

1. 地盤改良工

2. 鏡切り工

3. 鋼製隔壁設置・流動化処理土充填



4. 鋼製隔壁内掘進・到達

5. 鋼製隔壁撤去・流動化処理土はつり

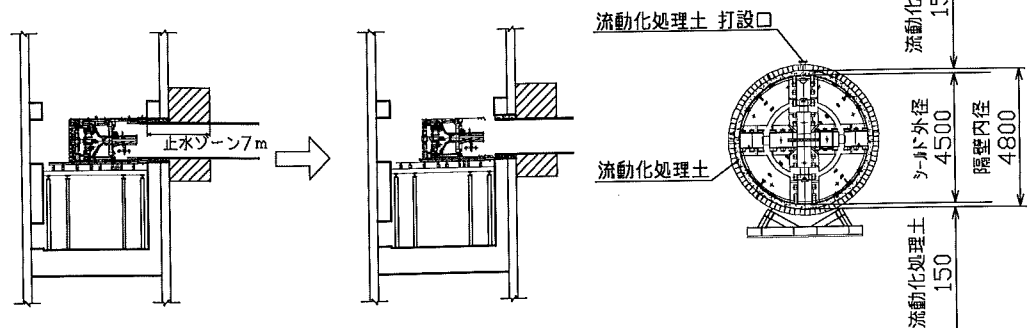


図-14 立坑内隔壁工法の施工フロー

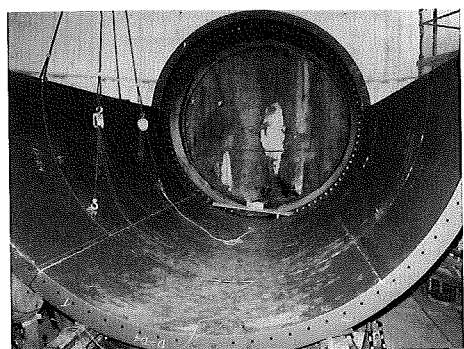


写真-9 鋼製隔壁組み立て状況

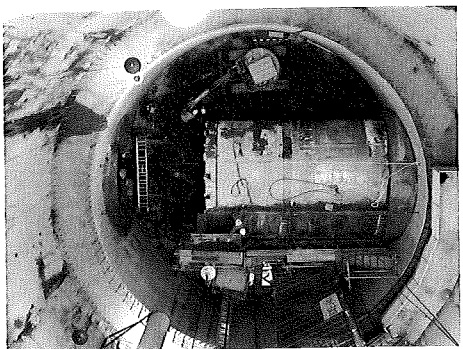


写真-11 鋼製隔壁解体状況

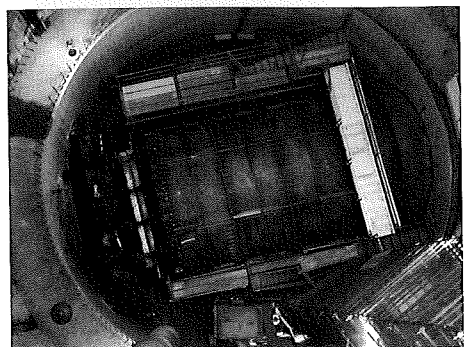


写真-10 鋼製隔壁組み立て完了

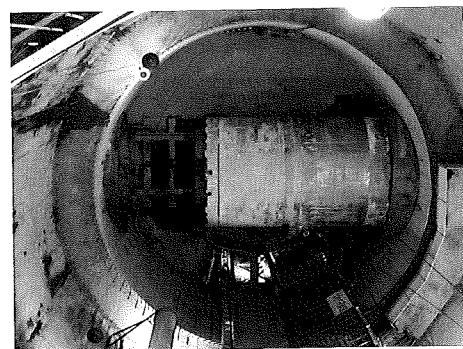


写真-12 鋼製隔壁解体完了

6-3 施工実績と今後の課題

写真-9~12に施工状況を示す。

シールド外径φ4,500mmに対して、鋼製隔壁内径はφ4,800mmであり、シールドの外周に残る流動化処理土の厚さは150mmである。隔壁内を掘進中に、シールドの重量によって下部の流動化処理土が削られやすくなり、シールドが徐々に下がってしまうことが懸念されたが、ノーズダウンは全くなかった。

流動化処理土掘進中は、シールドチャンバ内が閉塞気味となり推力の上昇が見られた。このた

め、隔壁の変状、隔壁接合箇所からの漏水、隔壁蓋に設置した支保工に作用する軸力などを管理しながら慎重に掘進した。

7 ま と め

本工事で採用した各種の最新技術は、大深度化、立坑用地確保難、コスト削減など、これからますますシールド工事に求められてくる条件を解決する技術として有効であると考えられる。本工事の施工実績が、これからのプロジェクト設計・施工の一助となれば幸いである。

【新刊図書】



多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

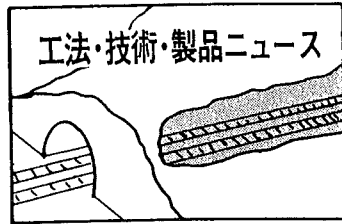
本書は、「トンネルと地下」に約1年間にわたり連載した『多様化するシールド掘進技術』をベースとして、掲載しなかった工法、技術などを整理、体系化するとともに、各種工法の境界、システム・考え方の違い、適用での留意点が、よりわかりやすいように手を加え再度同名の図書としてシールド工法技術協会が監修を行ったものである。

(掲載工法)

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

株式会社 土木工学社

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



非開削で分岐合流部を構築

前田建設工業は、非開削で道路トンネルの分岐合流部を構築する「セグメント切削シールド工法」を開発した。

同工法は、先行して本線トンネルに切削可能なセグメントを配置し、後施工となるランプシールドで直接切削することで2つのトンネルを結合させるもの。試算では、従来の開削工法に比べ工期で30%、コストで20%の縮減が可能としている。

センタージャッキでシールド発進

佐藤工業は、東京地下鉄発注の「地下鉄13号線西早稲田工区」においてシールド発進時に立坑内に仮セグメントを構築せずにセンタージャッキを利用して掘進する新たなトンネル工法を開発した。

同工法は、シールドの四隅にジャッキを配置し、坑口と反対の壁からバックアンカーとともにシールドを推進する工法。これにより、仮セグメントが不要になり立坑区間を広く使えるようにした。

空気圧点検作業が大幅に軽減

横浜ゴム(株)は、空気式防舷材の空気圧をモニタリングするシステム「FENDER watch (フェンダーウォッチ)」を開発した。

同システムは、空気式防舷材(空気を内包したゴム製の緩衝材)の内側に取り付けられたセンサーで空気圧を測定し、無線でハンディタイプのモニターに送信して表示する仕組み。

これにより、船と船、船と岸壁の間に浮かせて使う空気式防舷材の定期的な空気圧チェックを海上から引き上げることもなく測定でき、点検作業が大幅に軽減できる。また、異常を知らせるアラーム機能があり、設定値はユーザーが自由に指定できる。

3.5トンクラス後方超小旋回型ミニショベル

新キャタピラ三菱は、後方超小旋回型ミニ油圧ショベル「REGA」Cシリーズへ新たに3.5トンクラスを発売した。

今回発売した303.5C CR「REGA」(バケット容量0.11m³)は、4トントラックで運搬可能なコンパクトボディに、3トンクラスを大きく上回る作業性能を備えている。また、排出ガス対策については、国土交通省の第二次規制はもちろん、オフロード排ガス新法(特定特殊自動車排出ガス規制法)および第三次規制の基準値をクリアする能力を備えている。



掘削残土を粒径に応じて減容処理

清水建設は、泥水シールドを使ったトンネル工事で発生する掘削残土を減容処理する新技術「ハイパー・スクリーン・システム」を開発した。

同システムは、一次処理の工程を確、中砂、粗砂、微細砂の各粒径に応じて3段階で分離・脱水処理を行う。このうち、微細砂用に開発した「微細砂脱水装置」により、これま

での技術では難しかった微細砂を処理することができ、セメント系の改良材で改質していた手間や費用が省略できる。また、泥水輸送用のポンプにかかる余計な負荷もなくなり、切羽面の泥膜として再利用する1次処理土の品質管理も確実に行えるようになる。

高濃度泥水を減容処理

銭高組・エーケーケミカル・ハイモ・ホージュンの4社は、高濃度泥水や高含水浚渫土を減容処理する「アクアセパレート工法」を共同開発した。

同工法は、濁水処理施設に組み込んだ汎用的な脱水処理装置に粉末凝集材を投入して脱水処理を行うことで40~50%の減容化が図れる。従来の濁水処理では難しかった高濃度泥水・泥土(比重1.10~1.35)の減容処理が可能で、全量廃棄処分が一般的だった小口径シールドなどへの採用に向け受注実績の確保を目指す。

新素材ビットで長距離掘進

戸田建設は、千葉県水道局発注の「江戸川~古ヶ崎線(仮称)φ200mm配水本管布設工事(その2)」で特殊合金チップによる耐摩耗性に優れた新素材のカッタービットによる長距離のシールド掘進を完了した。

同工事は、地下埋設物の影響で中間立坑設けず、延長3,684mの長距離を泥水式シールドで掘進するもの。そのため、カッタービットにJIS規格のE-3材に真空処理することでじん性を高めた特殊合金チップを取り付けた新素材のビットを採用。さらに、長距離対策として、特殊先行ビットと先行ビットをカッタービットの前に設置することにより掘進に伴う摩耗の軽減を行った。平均日進量16m、最高月進量536mを記録するとともに許容誤差の半分以下の高精度で掘進を終えた。

都市トンネル工事の計測(6)

都市トンネル工事の計測(6)

一大断面・道路シールドトンネルの技術的課題と計測例

首都高速道路(株)東京建設局設計第一グループ総括マネージャー 土橋 浩
日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部部長 田中 弘
日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部構造技術ソリューション部長 斉藤 正幸
(株)間組土木事業本部技術第一部課長 名倉 浩

① はじめに

今月号では大断面シールド工事での計測技術を取り上げる。キーワードは、「大断面」と「道路トンネル」および「現場計測」である。

わが国のシールド工法の最初の成功事例は関門鉄道トンネルで(圧気併用手掘り式、1939)、シールド工法の誕生期にすでに海底下で外径7mもの大断面シールドトンネルを手がけていた。その後、泥水式・土圧式などの密閉型シールド工法が都市トンネル工法の主流となる1970~80年代には、地下鉄、上・下水道、電力・通信事業などの都市部社会資本整備でシールド工法が大活躍し、わが国のシールド技術も大進歩をとげるが、既存施設が錯綜する条件下での大断面施工が要求される都市部道路トンネル工事はこの時期ほとんど手がけられていない。

外径12mを超える「大断面シールドトンネル」時代の先陣を切ったのは神田川・環状七号線地下調節池第一期工事(1992、外径13.9m)、および東京湾横断道路海底トンネル工事(1992、外径14.14m、以下、TTB)である。とくに、大都市部既成市街地での密閉型シールド工法の有効性を示した前者の実績を契機に、現在では外径12m以上の大断面シールド工事が約20例にのぼる。こうした経緯のほかに都市再生や都市環境保全などの社会ニ-

ズも後押しして、今まさにシールド工法を活用した道路トンネル事業が首都圏および関西圏で注目されている。

本講座で紹介する現場計測事例では、近年の最先端事業と言える首都高速中央環状新宿線(以下、新宿線)の大断面・道路シールドトンネルでの実績にもとづく最新的话题を取りあげている。

② 大断面・道路シールドトンネルの技術的課題

大断面・道路シールドトンネルは、従来から多くの実績を有する下水道、電力、通信、共同溝、鉄道などと異なって、経験が少ない大断面で、従来の実績を上回る近接度の高い併設施工を行う場合が多く、出入口など分岐部の構築に伴う大規模な切り開き施工などの特徴も有している。このため、従来の実績にもとづいた判断では過大な設計や不十分な安全性の確保などの問題が生じる可能性があり、技術的に解決すべき課題が多く残されている。この課題は、大断面シールドトンネルの設計によるものと、道路シールドトンネルによるものとに大別することができる。

大断面シールドトンネルにおける設計上の課題のうち、とくに重要なものを表-1に示す。一般的にシールドトンネルの設計は、土木学会の『トンネル標準示方書[シールド工法編]・同解説』など

表-1 大断面シールドトンネルの設計上の技術的課題

| 設計上の技術的課題 | 技術的課題の背景 |
|-----------------------------|---|
| 自重による発生断面力(曲げモーメント)の適切な算定方法 | 従来の設計体系では、覆工の自重に対して地盤反力を考慮しないため大断面シールドトンネルでは大きな設計断面力が発生するが、実態は既設の覆工や施工設備などによる支持効果があり発生断面力は小さいと考えられる。 |
| 良質地盤における最小土圧の設定方法の確立 | 第三紀層や洪積層などの自立性に富む良質地盤中に構築する場合、緩み土圧の算定値は小さい。一方、従来は最小土圧として1.0~2.0Dの土荷重を保証荷重として考慮してきた。大断面シールドトンネルでは中小断面に比べて最小土圧の設定が設計断面力に大きな影響を与えるため適切な設定方法の確立が望まれる。 |
| 地盤反力係数の設定方法の確立 | 中小断面を対象としてきた従来の設計体系では、過去の経験にもとづいて地盤反力係数を設定してきた。しかしながら、同一の地盤条件であってもトンネル断面に依存して地盤反力係数が変化し、大断面の場合には中小断面に比べて地盤反力係数が低減するという考え方があり。 |
| 施工時荷重の影響に対する適切な安全性照査手法の確立 | 大断面シールドトンネルでは覆工の厚が大きく、組み立て時の作業スペースも大きくなるため、覆工厚の低減やセグメント幅の拡大に対する制限が少なくなる。その結果、土圧や水圧などの長期的な荷重で決定した断面が施工時に大きな損傷を受ける可能性がある。 |

表-2 道路シールドトンネルの設計・施工上の技術的課題

| 技術的課題 | 技術的課題の背景 | 使用目的別重要度 | | | |
|--|--|----------|----|-----|-----|
| | | 道路 | 鉄道 | 電力等 | 下水等 |
| 併設トンネルの影響に対する適切な設計断面力の算定方法ならびに安全性照査手法の確立 | 道路シールドトンネルでは、限られた用地幅に上下線2本以上のトンネルを建設することが多い。このとき、トンネル同士の離隔が接近するために先行トンネルに対する後行トンネルの施工の影響が無視できない水準になると考えられる。 | ◎ | ◎ | - | - |
| シールド切り開きによる出入口など分合流部の設計・施工法の確立 | 道路シールドトンネルの出入口など分合流部は、周辺環境への影響低減や経済性などの理由でシールド切り開き施工が採用されている。しかし、大断面、数百mの長い切り開き延長、複雑な構造形状など過去の鉄道トンネルの事例と大きく異なるため、設計・施工法に多くの課題があり、その確立が求められている。 | ◎ | ○ | △ | △ |
| トンネルの施工に伴う地盤変状の評価方法の確立 | 都市部におけるシールド施工では重要構造物との近接施工が避けられない。このため、施工に伴う地盤変状を極力抑えることが重要となり、その対策工の要否の判断基準となる地盤変状の事前解析の精度向上が望まれる。 | ◎ | ◎ | ○ | ○ |

◎：非常に重要、○：重要、△：関係あり、-：該当せず

に準拠して実施されており、大断面シールドトンネルもその例外ではない。しかしながら、同書は、中小断面のシールドトンネルを網羅するように制定されていることから、必ずしもその記述内容が大断面シールドトンネルに適しているとは限らない。わが国で初めて外径13mを超える断面を適用したTTBを例にとれば、その計画、設計、施工の各段階において、大断面シールドトンネル特有の課題に対して、より安全で経済性の高いトンネルを構築するために有識者による委員会を設置し、個別に解決を図り、さらに課題の解決にあたっては実験などを駆使して、より正確な評価を行う試みがなされている。

今日では、TTBをはじめとする大断面シールドトンネルの実績とその後の研究によって得られ

た知見にもとづいて、より合理的な大断面シールドトンネルの建設に取り組んでいるが、さらなる経済性の追求と安全性の確保を両立させるためには、実施工における地山やトンネル構造物の挙動と施工条件などを関連づけた、より多くの情報が必要である。

一方、道路シールドトンネルにおける設計・施工上の課題を表-2に示す。これらの課題は、道路トンネルという特殊性による施工条件などによって生じる課題であると考えられる。今日においてもこれらの課題に対して十分な実績を積んでいないことから、未解決な部分を残しながら、事業を進めるために一定の安全性を確保したうえで設計・施工が行われている。設計・施工に課題を残した工事の実施にあたっては、最終的な安全

の確保を確認しながら施工しなければならないため、情報化施工などの適用が求められる。

③ 大断面・道路シールドトンネルの現場計測事例

3-1 大断面シールドトンネルの覆工計測の例¹⁾

3-1-1 計測目的とする技術的課題

大断面シールドトンネルはその施工例も少なく、課題を検証する機会も少ないことから、十分な計画と準備が必要である。

ここで紹介する計測事例は以下の技術的課題を検証することを目的として実施したものである。

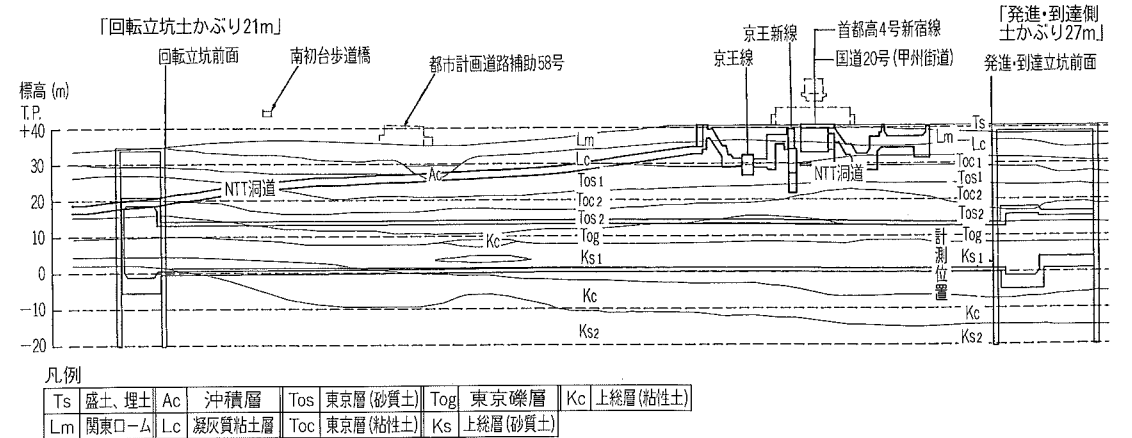
- ① 良質地盤における作用土圧
- ② 併設施工の影響によるセグメント設計手法
- ③ 自重の影響による設計断面力の算定方法

3-1-2 計測概要

計測を実施した西新宿シールドトンネルは、片側延長599mの横併設トンネルで、外径13.23mの泥水式シールド工法により掘削した。縦断線形はほぼ水平で、発進・到達からの直線部を曲線半径204mRの曲線部で結んだ平面線形である。現場

計測は、図-1に示すように、到達立坑手前の直線部で行った。施工箇所付近の地質状況は、地表面より表層、関東ローム層、東京層(砂層・粘土層)、東京礫層および上総層群で構成されており、このうち東京層(砂層)、東京礫層および上総砂層をシールドトンネルが通過した²⁾。

計測断面は、図-2に示すように併設離隔が約3.75m(0.28D₀)である。セグメントリングに設置した計測機器は、土圧計(4か所)、水圧計(2か所)および周方向の鉄筋ひずみ計(10か所)である。このうち、切羽通過8日前を初期値として併設の影響による土水圧計測値の増分とシールド位置との関係を表したものを図-3に示すが、切羽が通過する約10m手前から土水圧が徐々に増加し、シールドテール通過直後に最大となる。周方向位置では、①および②の後行トンネル側の位置の増加が激しい。この土水圧の増加は裏込め注入圧と考え



凡例

| | | | | | | | | | |
|----|-------|----|--------|-----|----------|-----|----------|----|----------|
| Ts | 盛土、埋土 | Ac | 沖積層 | Tos | 東京層(砂質土) | Tog | 東京礫層 | Kc | 上総層(粘性土) |
| Lm | 関東ローム | Lc | 凝灰質粘土層 | Toc | 東京層(粘性土) | Ks | 上総層(砂質土) | | |

図-1 西新宿シールド平面縦断図²⁾

| 土質 | 層厚 m | N値 | γ kN/m ³ | c kN/m ² | ϕ 度 |
|------|---------|----|-------------------------------|------------------------|-------------|
| B | 4.7 | 0 | 13.5 | (0) | 84 |
| Le | 3.4 | 3 | 15.0 | (0) | 38 |
| Tos1 | 6.9 | 14 | 19.0 | 0 | 34 |
| Toc2 | 3.7 | 9 | 18.5 | 48 | 0 |
| Tos2 | 5.6 | 36 | 19.0 | 0 | 30 |
| Tog | 3.4 | 50 | 19.0 | 0 | 34 |
| Ks1 | 7.0 | 50 | 18.5 | 0 | 36.9 |
| Kc | 10.7 | 50 | 19.0 | 110 | 0 |

※ () は設計荷重を算出する際の値

図-2 計測位置の土質条件

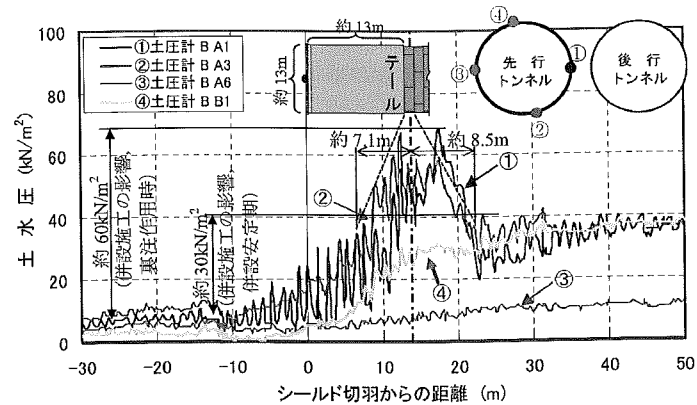


図-3 併設の影響による土水圧の増分とシールド位置の関係

られ、その影響範囲はシールドテールの前後約7～9m程度と考えられる。

土水圧はその後減少し、一定の荷重に収束する傾向にあるが、その値は併設施工の影響を受ける前より大きくなっている。

次に、セグメント周方向鉄筋ひずみの計測値より換算した計測曲げモーメントの経時変化を、①影響範囲外(単体トンネル施工時)、②側圧最大(裏込め注入圧作用時)、③併設安定期(作用土圧が安定した併設施工約1か月後)、の3つの代表的な時期について比較したものを図-4に示す。

①の単体トンネル施工時における曲げモーメント分布は、横方向に広がる形状を示しているが、②の側圧が最大となる裏込め注入圧作用時には、後行トンネル側の側部で負曲げが正曲げに転じて

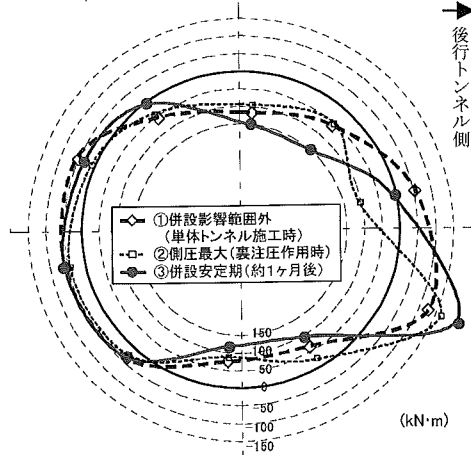


図-4 計測曲げモーメントの経時変化

おり、トンネル頂部および底部の正曲げモーメントはやや減少する傾向にある。また、併設安定期である③の時期では、トンネル頂部および底部の正曲げモーメントは初期の単体シールド施工時に比べて増加し、後行トンネル側の負曲げモーメントも増加傾向を示している。これは、裏込め注入圧作用時には、先行トンネルは後行トンネルの裏込め注入圧の影響を受けて一時的に側方から押される状況となるが、併設安定期では、この施工時荷重の影響が

残留したため先行トンネルの後行トンネル側の負の曲げモーメントが増大したものと考えられる。

すなわち、①の単体トンネル施工時の曲げモーメントは、正曲げ最大で約110kN・m、負曲げ最大で約-126kN・mであったのに対し、③の併設安定期の曲げモーメントでは、正曲げ最大で約150kN・m、負曲げ最大で約-221kN・mとなっており、正曲げで約40kN・m(比率1.36)、負曲げで95kN・m(比率1.75)それぞれ増加する結果となった。この曲げモーメントは設計曲げモーメントの正曲げ726kN・m、負曲げ461kN・mの半分以下であり、安全性は確保されているものの、設計で見込んでいた併設施工の影響による曲げモーメントの増分は正曲げで31kN・m、負曲げで46kN・mと実測値を下回るものになっている。この結果から、

大断面併設シールドトンネルにおける併設施工の影響は、単体トンネルの状態が発生する断面力を増加させる方向に作用するものであり、セグメントの設計にあたってはその残留する影響を適切な評価方法によって考慮すべきものであることが確認できる。

3-2 道路シールドトンネルの切り開き施工計測例

3-2-1 切り開き施工

道路シールドトンネルには、避難出口・換気ダクトの接続部および出入口など分合流部といった道路トンネルの機能上必要な構造物がある。これらの築造にあたり覆工を部分的に撤去し、地中にシールドトンネルより大きな空間を設ける切り開き施工が必要となる。とくに出入口などの分合流部築造のため、新宿線では5か所で最大約500mにわたる長い区間で併設した大断面シールドトンネル間を掘削する切り開き施工が行われ、その総延長は約1.3kmに及ぶ(図-5参照)。

切り開きの施工方法としては、併設シールドトンネル中央部および上部に位置する分合流部躯体を地上から掘削して構築する開削方式(図-6)と、上部の地山をルーフなどで支持しながら非開削で掘削して躯体構築を行う非開削方式がある。新宿線では、路上から施工する開削方式を標準とし、大型交差点などの道路交通への影響が大きい場合、支障する地中埋設物の処理が困難または時間を要する場合には、路上を使用しない非開削方式を適用している。

このうち、開削方式の切り開き施工法としては、併設した本線シールド外側に遮水壁を、また、トンネル直上には土留め壁を設置し、土留めとシ-

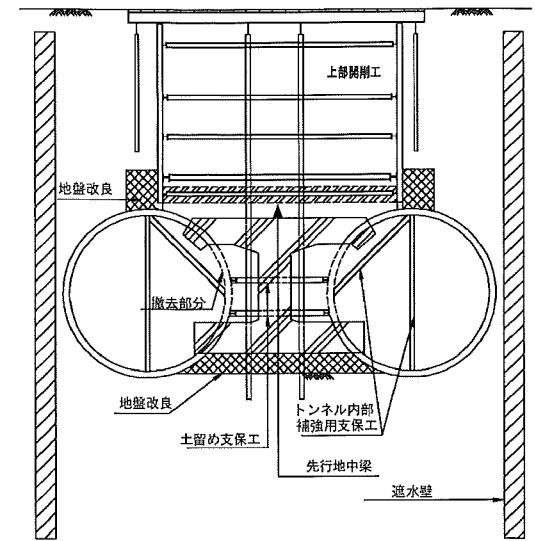


図-6 開削方式の切り開き構造(1本柱構造)

ルドトンネル間の止水対策や先行地中梁といった地盤改良を行った後、シールドを通過させる。その後、トンネル内部に補強用支保工(以下、トンネル内支保工)を設置し、本線トンネル間を支保しながら土留めおよびトンネル間を掘削し、鋼製セグメント(以下、鋼殻)を切斷・撤去して躯体を構築する施工法を採用している。

3-2-2 計測の目的と技術的課題

切り開き施工は、国内では地下鉄駅などで実績があるものの、大断面(最大外径 ϕ 12.83m)、長い延長、図-5に示したように断面形状が連続的に変化する複雑な構造など道路トンネル特有の課題が次のようにある(図-7参照)。

- ・1本柱構造などの特殊な躯体構造と、掘削に伴う鋼殻の変形や残留応力
- ・鋼殻と躯体接合構造の設計法⁹⁾
- ・根入れのない土留めの安定

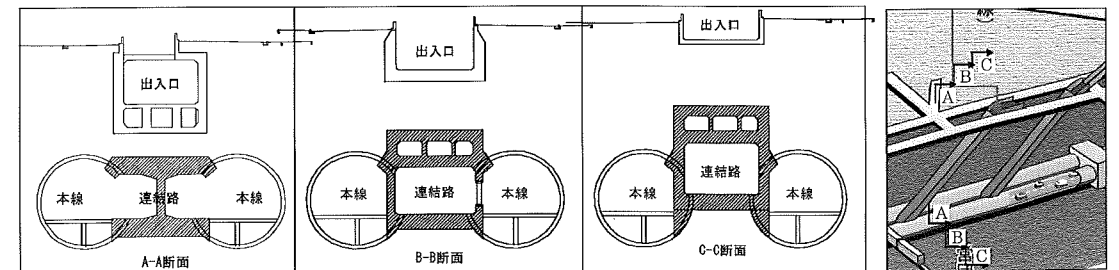


図-5 切り開き構造の概要

二次管理値は「短期許容応力度の30%」(≒長期許容応力度の50%)としている。

3-2-4 計測概要

計測内容と主な機器選定の考え方を次に示す。

(1) 絶対変位計測

切り開き施工に伴う鋼殻の変状を把握するために、トンネル縦・横断方向(鉛直・水平)の絶対変位だけでなく、トンネル回転による変位も計測する必要があります。計測方法は、切り開き区間が広い範囲になることから、不動点を適切な位置に設置する必要があります。そこで、常時計測が可能となるトータルステーション(TS)による自動追尾システムによる計測を採用した。

(2) 横断面変形計測

トンネルの回転を計測するには、水盛式沈下計だけでは対応できないため、本計測では、以下の①、②案について比較検討した。

- ① TS+ユニバーサル変位計
- ② TS+傾斜計+レーザー変位計

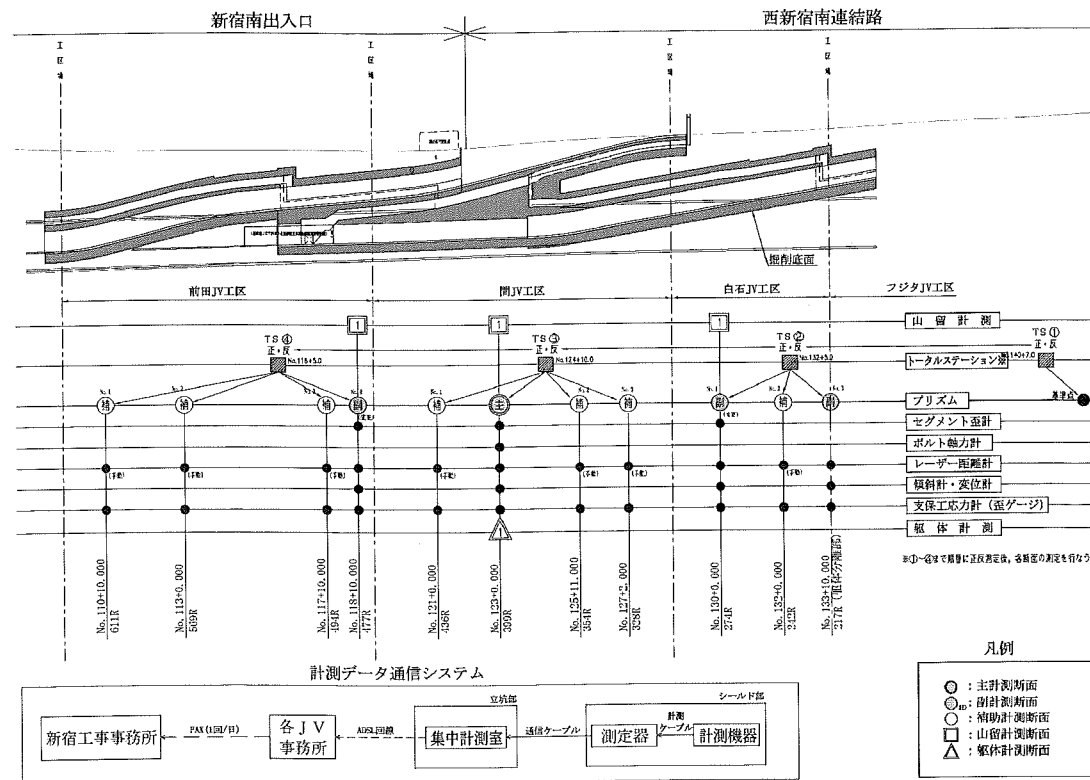


図-10 計測機器配置縦断図

この結果、経済性に優れ、内部支保工や枕木、泥水配管などのトンネル坑内設備があっても計測が可能な②案を採用した。

(3) 土圧・水圧・部材断面力

地下水位低下工法を併用していることから、鋼殻に作用する水圧と土圧が掘削側と背面側で異なることが予想された。一方、大深度や高水圧などの条件で施工する場合、シールド掘進に伴う裏込め注入圧および後行シールド通過による影響などの施工時荷重が鋼殻に悪影響を及ぼす可能性があった。そこで、シールド掘進から切り開き施工に至る各施工ステップにおいて、鋼殻に作用する土圧および水圧を把握する目的で、先行トンネルにのみ土圧計・水圧計をあらかじめ鋼殻に等間隔で設置した。

なお、支保工(トンネル間・トンネル内)や鋼殻接合ボルトの作用軸力を把握する目的でひずみゲージを設置している。計測機器の配置例として、1本柱区間の計測断面を図-9に示す。

切り開き部の鋼殻および躯体設計断面数は、構造変化により延長200mで7か所以上となる区間もあり、それぞれの断面で鋼殻の剛性や構造形状も異なる。これらの設計断面ごとに計測断面を設定すると、一部では計測断面が20m程度の細かいピッチで配置されることになり、膨大な計測費が必要となることから、主計測断面と副(補助)計測断面に分類し、総計測断面数を33断面とした。

各計測断面は切り開き施工の安全性を把握するとともに、とくに主計測断面は、設計検証のための基礎データを収集することを目的とした。また、副計測断面は、主計測断面における計測値の妥当性確認と各計測断面での設計の妥当性確認を目的

とした。計測機器配置の例として、新宿南連絡路付近の計測機器配置縦断図を図-10に示す。また、シールド工事、切り開き工事など複数の工区とJVにまたがることから情報を共有化するため、計測結果はインターネットを介して発注者工事事務所および各JV事務所で監視できるようにした。

3-2-5 計測結果の一例⁶⁾

平成18年3月現在、各切り開き区間において、おおむね、床付け位置までの掘削を完了した状況にある。これまでのところ、おおむね一次管理値内で施工できており、設計値との比較においても、設計値の範囲内であり施工の安全性が確保できて

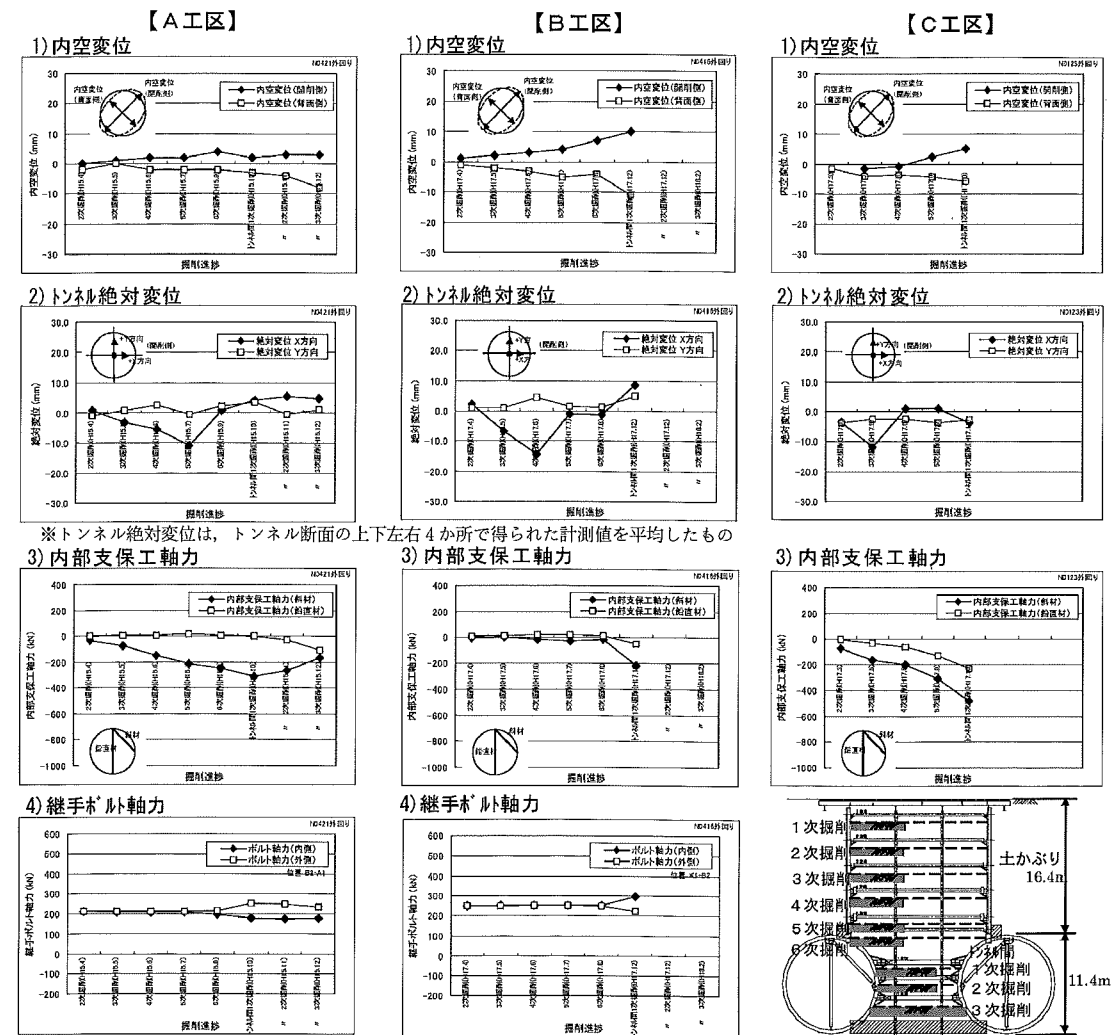


図-11 施工ステップに伴う計測値の変化⁶⁾

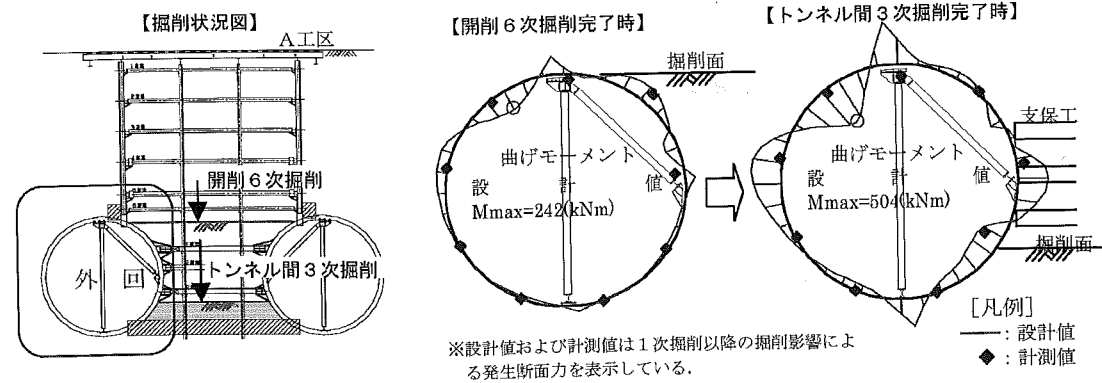


図-12 セグメント断面力の計測結果⁹⁾

計測結果について、図-11に施工の進捗に伴う計測値の変化の例として池袋南出入口、新宿南出入口付近の計測結果を示す。掘削に伴い内空変位では鋼殻が掘削側に変形する傾向が、絶対変位としては鋼殻が掘削側上方に変位する傾向が確認できた。また、トンネル内部支保工は、鉛直材および斜材に圧縮力が発生しており、これらは事前の解析の傾向とおおむね一致している。しかしながら、これらの計測値は、いずれも設計値に比較して小さい結果となっている。一方、図-12は1次掘削を初期値としてその後の掘削による鋼殻の発生曲げモーメントを示したものである。設計では、掘削に伴い曲げモーメントの増大が予測されたが、計測による鋼殻断面力は、変化の傾向はおおむね設計と同じであるが、やはり設計値に対して小さいことが確認できた。

これらの計測結果から、これまでの施工は安全に施工が進められていることが確認できた。今後、鋼殻との接合を含んだRC躯体構築、鋼殻主桁や支保工撤去、埋戻しなど重要な施工ステップが残っていることから、竣工まで計測管理を継続し、その結果を施工管理に反映しながら安全に工事を進めると同時に、工事完了後も長期的な挙動を把握し、これらの計測結果を設計へフィードバックすることを予定している。

④ おわりに

大断面・道路シールドトンネルの場合、これまでのわが国の膨大な施工実績にもとづくシールド

工法に関する技術知見、すなわち中小断面の単体シールドトンネルを標準としたシールド技術力だけでは扱えない技術的課題があるということに留意が必要である。このことは、トンネル標準示方書やその他の関連技術図書だけでは合理的な設計法の構築、あるいは安全な施工法の選定などに対する担保が完全には取れないことを意味しており、それを補うのが本講座で扱っている計測技術であり、また、大断面・道路シールドトンネルに関するさらなる新技術へのチャレンジを支えるのも計測技術である。

参考文献

- 1) 田島・岸田ほか：併設シールドトンネルの影響評価方法に関する検討，トンネル工学研究論文・報告集，第13巻，pp.407-412，2003.11.
- 2) 川瀬修・並川賢治・遠藤蔵人・西岡巖：都心でわが国最大級の双設シールドトンネルを掘る一首都高速中央環状新宿線西新宿トンネル，トンネルと地下，Vol.33，No.3，pp.15-27，2002.3.
- 3) 土橋・川田ほか：鋼製セグメントとRC躯体の接合部応力伝達に関する一考察，構造工学論文集，Vol.51A，pp.1405-1414，2005.3.
- 4) 小島直之・大場新哉・山中宏之・森益基ほか：シールドトンネル開削切り開き部における鋼殻の設計法について，土木学会第58回年次学術講演会，2003.9.
- 5) 渡辺剛史・川田成彦・白鳥明・山田武正・篠崎裕：鋼製セグメントとRC躯体接合部の実証試験，土木学会第60回年次学術講演会，2005.9.
- 6) 土橋・寺島：計測管理システムによるシールド掘削工法の設計施工について，地盤工学会・地下空間開発における調査・計測に関するシンポジウム，2006.5.

連載講座

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(3)

— II. トンネル覆工表面の検査手法(2) —

JTA保守管理委員会

③ CCDカメラおよびレーザーを利用した検査手法(東, 中, 西日本高速道路(株))

東, 中, 西日本高速道路が管理する高速道路延長は7,000kmを超え, また, 供用後の平均経過年数が約20年に達するなか, 高速道路トンネルにおいて, 供用延長の増加とともにトンネル覆工コンクリートの剥落事象が多発してきている。

このような背景から, 東, 中, 西日本高速道路では現況の劣化の進行状況を正確かつ迅速に把握するため, 高速道路トンネルの覆工表面計測の要求性能(表-1)を満足する, CCDカメラによる覆工表面計測技術, アルゴンレーザーによる覆工表面計測技術を従来の目視などの検査に代わる手法として採用し, 覆工コンクリート表面の撮像・記録を行う「トンネル覆工表面計測技術」を試行的に導入している。

表-7 トンネル覆工表面計測技術の要求性能

| 項目 | 性能基準 |
|------|-------------------|
| 計測速度 | 50km/h以上 |
| 計測範囲 | SLより上のアーチ部 |
| 計測精度 | ひび割れ幅0.5mm程度以上 |
| 取得画像 | 高精細連続印刷(縮尺1/40程度) |

3-1 検査装置の概要

CCDデジタルビデオカメラ計測システムは, 複数台のCCDデジタルビデオカメラを搭載し撮影することで, 覆工コンクリートの表面情報を連続的に記録し画像化するもので, 表-8に計測機械

表-8 計測機械の仕様

| 名称 | 仕様(単位:mm) |
|------------|---|
| デジタルビデオカメラ | 画素数: 3 CCD 34万画素(有効画素) 寸法: 93×112×193 重量: 900g |
| 照明器 | 消費電力: 1kW 寸法: 290×213×195 定格電圧: 100V 重量: 2.3kg |
| デジタル録画装置 | 記録方式: DV-CAM 寸法: 221×44×250 記録時間: 3時間(max) 重量: 5.8kg |
| 発電器 | 出力: 20kVA/台 寸法: 600×600×700 重量: 580kg/台 |
| 電圧変換器 | 消費電力: 10A 寸法: φ250×150 重量: 5kg |

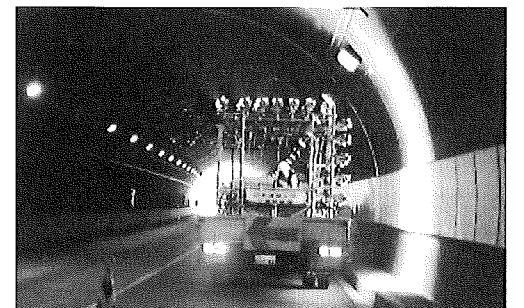


写真-1 計測車両の状況

の仕様を, 写真-1に計測車両の状況を示す。機材はすべて4tトラックの架台に搭載する。計測における走行速度は60km/hまで対応可能である。

3-2 測定原理など

デジタルビデオカメラを用いたひび割れ計測技術は, 複数台のビデオカメラにより撮影された動画を静止画に変換し, トンネル縦断方向および周方向の画像の貼り合わせ処理を行い, 合成展開画像を得るものである。なお, 使用するデジタルビ

デオカメラの有効画素数と画角の関係によって、ひび割れ検出能力が異なる。当該計測手法における画像は、すべてカラーである。

3-3 健全度評価の方法

CCDデジタルビデオカメラ計測を用いて得られた連続印刷画像を写真-2に示す。

今回のトンネル覆工表面計測技術によるトンネル検査においては、CCDカメラにより計測したトンネル覆工表面の連続印刷画像をもとに、技術者が損傷展開図(図-3)を作成し、トンネル覆工表面の健全度評価を実施する。健全度評価は、トンネルセントルごとに、ひび割れ密度、ひび割れ形態、その他漏水、遊離石灰、補修状況などの覆工

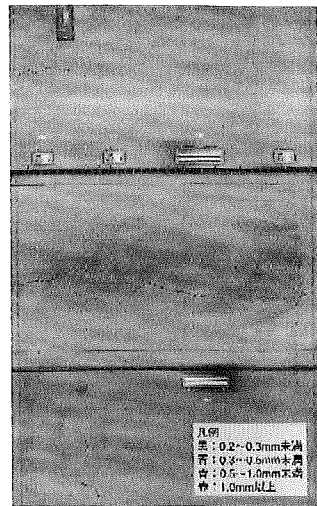


写真-2 連続印刷画像

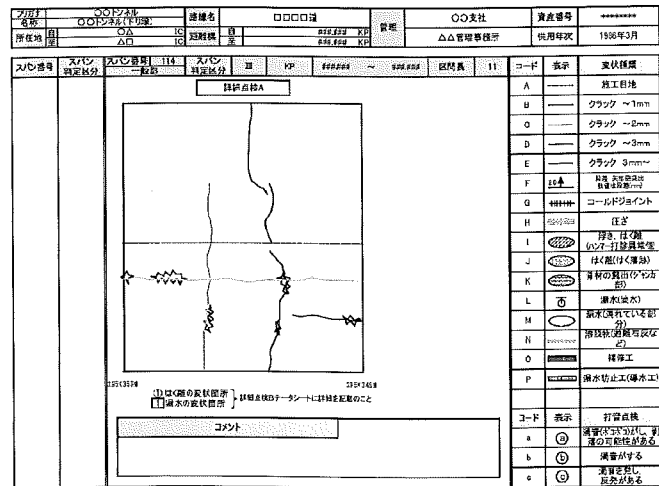


図-3 損傷展開図

表面情報を加味し、机上での判定により実施する。

連続印刷画像およびひび割れ展開図をもとに実施した健全度評価の結果により、更に詳細な点検が必要な箇所を抽出し、対象箇所については、現地において近接目視および打音を実施し、再評価を実施する。

3-4 アルゴンレーザーによる計測システム

前述したとおり、東、中、西日本高速道路ではアルゴンレーザーによる覆工表面計測技術も実用化しており、CCDカメラにより得られた画像と同様に、健全度評価に活用しているので、紹介したい。

アルゴンレーザー光を用いたひび割れ計測技術は、レーザースキャナでレーザー光線をトンネル壁面に照射し、壁面で反射した光線の微妙な輝度の強弱を光センサーで読み取り、256階調にデジタル化し高密度磁気テープに記録する。このレーザー光線の反射光量データを、車両の進行方向に連続して読み取ることにより鮮明な画像を得るものである。

アルゴンレーザー計測システムは、レーザー光線の反射光量を車両の進行方向に連続して読み取り撮影することで、覆工コンクリートの表面情報を連続的に記録し画像化するもので、表-9に計測システムの仕様を示す。計測時の走行速度は60 km/hまで対応可能である。アルゴンレーザー計測システムを用いて得られた連続印刷画

表-9 計測システムの仕様

| 名称 | 仕様 |
|----------------|--|
| 計測車両 | <ul style="list-style-type: none"> 車両寸法：全長6.79m×全幅2.26m×全高3.2m 車両総重量：7.63t 最小回転半径：5.9m 乗車定員：5名 |
| レーザースキャニングユニット | <ul style="list-style-type: none"> レーザー光源：Arイオンレーザー レーザーパワー：4W(最高) レーザー走査角度：約120度/約150度(交換式) |
| センシングユニット | <ul style="list-style-type: none"> センサー：光電子増倍管 個数：6個 |
| データレコーダ | <ul style="list-style-type: none"> 記録速度：30MB/sec(最高) 記録容量：250GB(最高) |

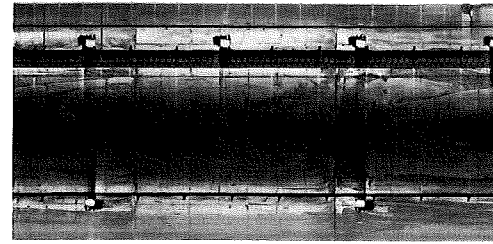


写真-3 連続印刷画像

像を写真-3に示す。

3-5 今後の課題

トンネルの維持管理についてはさらなる点検の合理化が求められており、とくに高速道路においては、供用トンネルの本数の増加、さまざまな制約の下での点検作業が強いられるといった条件から、計測技術を活用することによる検査精度の向上と迅速化が欠かせない。

今回、試行的に導入した本手法については、判断する技術者の経験や能力が必要となる部分が多く、経験年数の少ない技術者の判読等能力の向上と均質化が次の課題である。変状を確実に把握していくこと、そして蓄積された点検結果を分析することにより、トンネルの維持管理の省力化、予防保全に寄与していきたいと考えている。

④ CCDカメラを利用した検査手法(東京都交通局)

東京都交通局では、平成11年に鉄道トンネルで相次いだコンクリートの剥落、落下事故に対する運輸省(現 国土交通省)通達(平成12年2月29日「トンネルの保守管理について」)を踏まえ、地下鉄トンネルの点検にCCDカメラによる検査手法を導入し、維持管理のシステム化を図っている。

検査手法として、①検査成果に個人誤差が少なく、精度がよい、②作業効率がよく、安価に検査ができる、③維持管理に使いやすいということで採用され、平成12~13年にかけて、都営地下鉄4線の全トンネルの構築内面をCCDカメラでビデオ撮影し、画像処理を

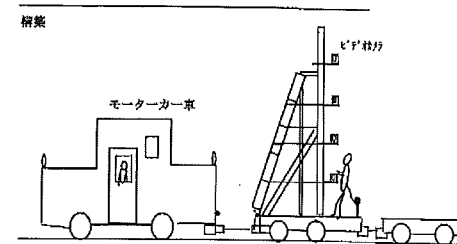


図-4 ビデオ撮影

施して展開図を作成した。ひび割れ箇所、漏水箇所、補修箇所などを展開図に描くことができるようになっている。

4-1 装置の概要と検査方法

4-1-1 ビデオ撮影方法

ビデオ撮影は、最高級汎用ビデオカメラ(画素数34~130万)により行っている。ひび割れの抽出を2mm以上と考え、最小ピクセルのサイズを2mmとすれば、壁面とひび割れとの輝度比が高いことから、0.5mmを画面上で視認することができる。

撮影は、まず準備として、カメラ、照明器具、データコーダーなどの諸機材を図-4に示すように保線用平トロッコまたは建築限界測定車に搭載し、カメラは壁面に対して直角になるよう取り付ける。撮影時は、これを保守用モーターカーで5~15 km/hの低速で牽引する。

シールドの円形トンネル区間においては、トンネル壁面とカメラ距離がおおむね一定であるので、レンズの画角(撮影角度)に応じ、隣接カメラとのラップ分とカメラの画素数に応じた撮影距離によりカメラ配置を決定できる。しかし、箱型トンネル区間では、断面構造の変化に伴い撮影距離も変化するので、その都度カメラ配置を調整する必要がある。カメラのトンネル進行方向に対する角度および照明との角度は、クラックを鮮明に浮き立たせるために重要なポイントとなる。

4-1-2 画像編集

撮影したビデオ映像をコンピュータ処理するために、まず、ビデオキャプチャ処理によりAVI方式のデータに変換する。変換されたAVIデータを用いて、各カメラに進行方向に対する画像接合を一定区間ごとに行う。次

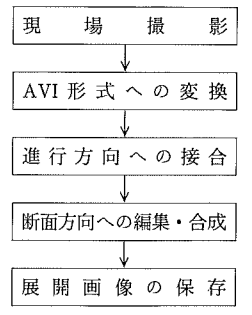


図-5 処理フロー

に接合した各カメラ画像の横断面方向に対する編集・接合を行って展開画像を作成する。図-5はその処理フローである。

4-1-3 画像解析

編集した展開画像を用いて変状の解析を行う。コンピュータ画面に表示された画像に変状と打音検査結果を所定の様式で記入する。

ひび割れは幅2.0mm以上のものをトレースし、そのほか打ち継ぎ目、ジャンカ(ひび割れを伴うもの)、剝離、セメント分の流出、さび汁、鉄筋の露出、漏水箇所については範囲を展開画像に記入する。浮きについては、打音検査の結果を記入する。記入はそれぞれをレイヤー構造にしているため、展開画像だけまたは展開画像とひび割れだけというように単独、重ね合わせ表示ができる。

4-2 使用状況と今後の課題

2年ごとの構築法定検査結果や補修工事、漏水防止工事はもとより、剝落・落下防止および補修対策を目的として平成15～16年にかけて詳細な打音調査を外注委託しており、その調査結果についても展開画像に入力している。

今後の課題としては、①トンネル構造物の健全性の診断基準、補修基準などの保守マニュアルを整備すること、②画像システムを利用して保守作業に活用できるものにする、③長期間の管理を可能にすることなどが挙げられ、継続的な取り組みが必要であると考えている。

⑤ テレビカメラを利用した検査手法(東京都下水道局)

東京都下水道局では、管きょ内の正確な性状を把握する手段として、昭和57年からテレビカメラの調査を試行し、昭和60年から小口径管きょの本管および取り付け管に対するテレビカメラ調査を本格的に開始している。とくに、主要道路に埋設されて、敷設後30年以上を経過している管きょを対象に優先的に調査している。

本管の調査は、カメラをマンホールから挿入し、本管内を自走させながら破損箇所などを確認する。直視または側視の映像をモニターテレビに映し出

し、必要な事項を画像に入力するとともに専用の記録表に整理される。また、取り付け管の調査は、小型カメラを先端に装着したケーブルを汚水枒から人力で挿入し、状態の確認が行われている。

5-1 小口径管きょテレビカメラ調査システムの概要

小口径管きょ(φ250～800mm未満を対象)のテレビカメラ調査は、図-6に示すように、調査に必要なオペレータ室や機器などを架装したテレビカメラ車を利用して行われている。テレビカメラ調査器には、自走式とけん引式があるが、基本は自走式で、ベルトまたはタイヤで走行する。

テレビカメラで撮影されたデータは、調査判定基準にもとづき、人孔スパンを1サイクルとして破損の箇所ごとに位置、内容などが画像に入力および調査記録表に記載される。テレビカメラ調査器の主な仕様は、走行速度が最大17m/分、走行距離が約100m、本体重量が約23kgとなっている。

5-2 小口径管きょ調査における今後の課題

小口径管きょ調査は、昭和57年から行われてきたが、成果品がアナログデータで構成されていることから、情報検索に多大な時間を要することや、貴重な資料の散逸・劣化など種々の問題が生じている。このため、管路内調査データの電子化に向けた検討が行われているところである。

電子化の主なメリットとしては、これに伴って新たに開発された管路内調査機器を導入することで調査効率が約2倍に向上し、現場作業の効率が向上する。また、これまで、全調査延長をオペレータが目視判定していることから、結果にばらつき

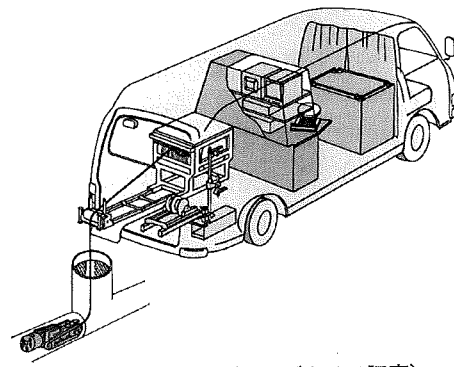
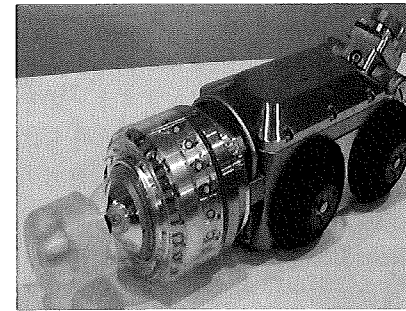


図-6 管路内調査(テレビカメラ調査)



90万画素のビデオカメラを搭載し、曲面ミラーを用いることで、管路内を直進するだけで、壁面全体の詳細な映像を取得できる。

写真-4 デジタル式管路内調査器

が生じやすかったが、損傷判定ソフト

を併せて開発することによって、判定を機械化できるようになり、判定時間の短縮や均質化が可能となっている(写真-4, 5参照)。

現在、導入に向け、実施可能な体制や環境の整備が進められている。

5-3 大口径管きょテレビカメラ調査システムの概要

一方、下水道の大口径管きょについては、流速や水量が大きく、硫化水素ガスの発生など多くの危険を伴い、これまで、調査員の立ち入りに制約が設けられていた。しかし、近年では、安全な作業環境で詳細な調査ができるようになってきている。

その技術の一つに挙げられるのが、メトロビバーシステムと称される大口径管きょの状況を詳細に調査記録するシステムで、平成5年度から4年をかけ、東京都での実証実験をくり返して改良を加えながら、開発されたものである。

本システムでは、4点レーザーポイントを用いた画像計測システムによる精度の高い測定、管内の状況をそのまま電子化した各種記録媒体への収納が可能である。このため、経年変化などの維持管理に必要な情報を容易に収集することができるようになっている。

5-4 測定原理および装置の概要

調査機は浮体に調査カメラを搭載した船体タイプ(写真-6)で構成されている。船体は、下水管きょの中を自然流下で流れるため、原則として上流か

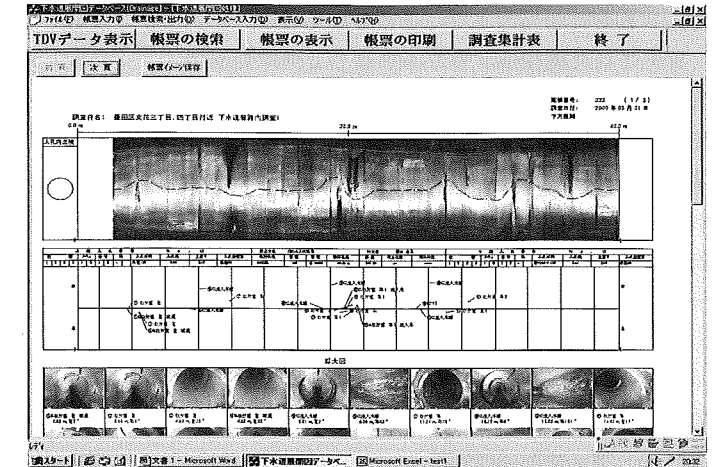


写真-5 管路内調査のデジタル化

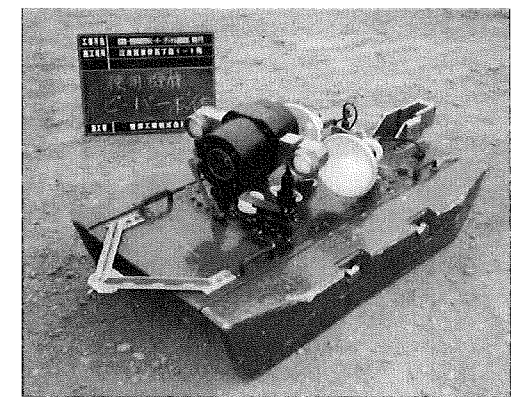


写真-6 調査機(船体)

ら下流方向へ調査を行う。

計測の原理は、4点レーザーポイントを等間隔に設定して、テレビ画像上に映ったレーザーポイントの座標軸から画面上のスケールを算出し、クラックなどの大きさを計測するものである。調査性能としては、3m離れた壁面の幅1mmのひび割れが計測可能であり、かつ、壁面上部の仰ぎみした場合の画像補正機能の保持など、精度の確保に努めている。

装置の構成については、船体構造がカメラの揺れを緩和するため、スタビライザー付きの双胴式となっているほか、4点レーザーポイント光発生装置(100×100mm)は、傾きのある場合でも正確な測定ができるよう、半導体レーザー式スポット光としている。また、レンズのズーム倍率は、対象物をより拡大撮影できるように、従来機では6倍

であったものが14倍までに高められている。

撮影された画像はケーブルを通して画像処理装置に転送され、デジタル画像として記録される。また、クラックなどの画像をアナログからデジタルに変換し、メディアに記録する。このデータをもとに画像処理が行われ、クラック規模などが計測される。

5-5 計測データの活用状況

不良箇所などは画像処理ファイルとしてデジタルメディアに保存される。計測結果の画像は、画像処理ソフトウェアにより専用形式から、一般的なビットマップ形式に変換し、さらに圧縮率が高く画質の劣化の少ないJPEG形式(白黒)に変換する。また、一般的な調査写真については、ビデオ

信号から変換器を使用してJPEG形式(カラー)を作成している。

調査映像については、これまでビデオテープで保管されていたが、閲覧に手間を要するとともに保管場所に制約があるなどの問題があったため、現在は、デジタルメディアに映像を収めることにしている。これによって、映像の閲覧が簡便になり、貴重な調査映像の劣化の防止も実現された。また、維持管理情報がデータベース化されることにより、施設の経年変化の把握とともに、維持管理の全体像の把握ができるようになっていく。さらに、蓄積された情報を集計・分析することにより、効率的に設計業務を進められ、効果的な維持管理計画策定の一助となっている。

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

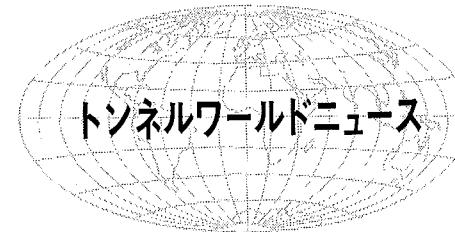
B5判 285頁 本体価格4,660円 円340円

本書は、最近のシールドトンネルの新技术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、新技术について調査・計画編、設計・施工編とに分けて、その理論と実際についてソフト、ハードにわたり記載している。また、これらのことを実務にすぐさま活用できるように、付録としてセグメントの設計、地盤変位予測解析、施工計画についての計画・設計例も紹介し、実務者をはじめトンネル技術者のニーズに応えた内容となっている。

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



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

ニュージーランドのAlpurt B2 トンネルで掘削準備が整う

ニュージーランドの社会基盤事業計画の中で最大のトンネルプロジェクトであるAlpurt B2バイパスの350mの双設道路トンネルの事業が最盛期を迎えている。

T&TIは、契約者がSydney's Cross Cityトンネルから200kW級のロードヘッダを購入し、来年の1月にロードヘッダが掘削を開始できるように改装しているということを知った。その事業計画を行うNorthern Gateway Allianceのトンネル建設の責任者であるTony Pink氏はT&TIに、ロードヘッダの大きさはローカルネットワークからの使用可能な電力量(大きな機械はまかなえない)と地盤条件によって決まる小断面の導坑が掘削できるかという仕様によって決定されたと話した。

そのトンネルは、上半48m²、下半60m²、インバート9m²として、117m²の掘削断面で進行する。地質は、概して5~25MPa程度の強度の介在したシルト岩、砂岩、泥岩からなると想定されている。地下水は路線が地下水位より上にあるため、問題にはならないと予測されている。

上半の支保工は、4mの自穿孔の注入式ロックボルトと厚さ50~100mmの鋼繊維補強吹付けコンクリートで施工される。改良されたAtlas Copco社製の352 Rocket Boomerはロックボルト連続打設装置を装備し、遠隔操作によるボルトの設置を可能としている。ボルトのパターンは地山状況により変化し、6mのボルトとラティスガーダーが追加可能である。このレベルの追加支保は、断

層帯、坑口部、抜け落ちがありそうな場所でのみに見込まれているとPink氏は語った。

新しいSika/Putzmeister社製のPM500吹付けロボットがプロジェクトのために購入され、吹付け添加材の供給者を選定するため、Sika社とDegussa社より液体急結材の供給を受け、現在試験施工中である。下半掘削は、油圧ブレーカと掘削機に搭載された切削機によってコソクを行いながら施工し、インバート掘削はブルドーザとリッパによって施工される。

Pink氏は、幌形断面のトンネルは8.5mの高さと12.5mの幅の仕上がりとなると語った。覆工は、325mmの無筋コンクリートであり、防水シートとジオテキスタイル排水不織布によって防護され、火災時に割れるのを抑制するポリプロピレンのファイバーを含んでいる。

現在の計画では、上半掘削、下半掘削が来年後半に完了し、掘削に続く覆工が2007年の後半に完了する予定である。機械設備と電気設備は2008年前半に完了し、2008年12月にすべてのバイパスが開通する予定である。

(T&TI '05.11 担当: 藤原武司・大成建設(株))

シベリアのKrolskyトンネルで TBMの発進準備が完了

ロシアのクラスノヤルスクのBamtonnelstroy (BAM)社は、Krolskyトンネルプロジェクトで使用される直径9.5mのシングルシールド硬岩用TBM「Martha」を、現場での組み立てに続いて発進させた。

「Martha」は石灰岩と花崗岩だけでなく、カットのすり減りが激しい変質粘板岩が大部分を占める地盤を通して、2.3kmの掘削を行う。このTBMは毎日10時間2交代制で運転し、今年10月に貫通する予定である。

昨年10月にシベリアのKrolskyの工事現場で発進式が開かれた。出席者にはBamtonnelstroy社の社長Andrey Nedosekov氏、ロシア鉄道省の代理でクラスノヤルスク鉄道部長のVladimir Suprun氏、TBMメーカーのLovat社のRick

Lovat氏が参列した。

Lovat社との契約には、プレキャストのトンネル覆工エレメントを製造するセグメントプラント(セグメントコンベヤとプラントの設計レイアウト、施工を含む)の設計と供給が含まれている。また、Lovat社はTBMの組み立てと試験運転、さらに掘進管理についての技術業務を請け負っており、最初の200mの掘進には技術援助を行う予定である。

Lovat社製RME375SEシングルシールドTBMの特徴は、油圧式のカッタヘッドである。このカッタヘッドには摩擦や磨耗を減らすために用いられる地盤注入材(泡、ポリマー、液体)の注入孔が7か所設置されている。カッタヘッドの表面と刃先はクロムカーバイド被覆によって保護されており、7つの発電機により合計で2,100kWの電力が供給される。

TBMの最初の仕様では、62個のディスクカッタが装着されている。直径381mmの内取り付け型のディスクカッタは、1個あたり25tfの押し付け

力を持っている。カッタフェイスの中央にある4個のディスクカッタは、大きいテールフィッシュカッタと交換することができる。カーバイド製のルーフトップインサートビットとボタンインサートビットは、必要に応じてアダプターボックスを使って、ディスクカッタと交換することができる。カッタヘッドチャンバの掘削ずりを集積する土砂バケットが、センターベアリングのモータープレートの上に設置されている。

ベルトコンベヤは2段切り替え式の逆運転可能なタイプで、掘削ずりを積み込むため、土砂バケットの中央に設置されている。ベルトの幅は0.9mで1時間に800tfを排出可能である。1番目のベルトは長さ20mであるが、2番目のベルトはさらに長い73mである。ベルトコンベヤシステムはずりをトンネル外へ搬出するため、軌道式ずり運搬車へずりを搬送する。Lovat社は予定より3か月短い9か月間で、このTBMの設計と製造を行った。(T&TC '05.12 担当:山崎貴之・鉄道・運輸機構)

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては44頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ、ご応募下さい。

問い合わせ先 株式会社 土木工学社 編集部

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂 電話 (03) 3267-2888 (代)



(社)日本トンネル技術協会 研究開発委員会

革新的火災対応(消火方法)-パート2 ウォーターミストの適用/ Innovative Fire Protection-Part 2: Application of Water Mist

Tunnel 3/2005, May 2005, pp.24-42

1. ウォーターミストシステムの概要

ウォーターミストシステムは単純な製品であるにもかかわらず、火災に対処して避難するときに最適な環境を作り出すシステムである。このシステムはコンパクトであるため、既存のトンネルに対しても適用性が高い。微細水粒子を用いた固定式システムは最近、急速に普及してきている。固

体の物質が燃えているときにウォータージェットや放水で消火するときの効果は燃えている物を冷やすことにある。しかし、液体の火災物などに対して使用すると、火災物が水によって流され火災が拡大する可能性がある。スプリンクラーの消火原理は、火災が発生する温度を感知したときにスプリンクラーの放水を自動的に始めて、0.1~数mmの粒径の水を噴射して火災物を直接消火すると同時にその周りのものを火災温度以下に冷却することで鎮火させることにある。スプリンクラーからインパルスを与えて噴射した水が部分的に気化して燃え上がるガスと周囲の熱気を低減するが、そのときに熱気と冷気が複雑な動きをして周辺の気

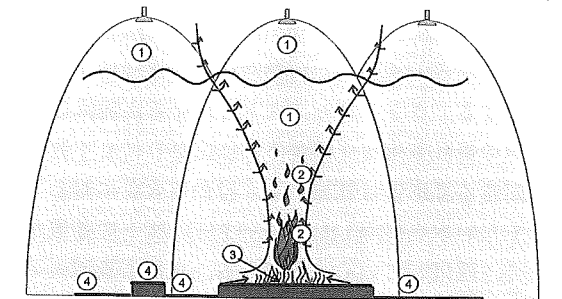


図-1 火災に対する消火メカニズム(数字は表-1中の作用場所を示す)

表-1 水による消火メカニズムの比較

| 方 式 | 作用場所 | 消 火 機 構 | 問 題 点 |
|--------------|-----------------------|---|--|
| ウォータージェット | ③, ④ | 火炎と火勢の低減 フラッシュオーバーの防止 火災範囲の拡大抑止 | 大量の水 水害 火災流体に効果なし |
| スプリンクラー | ③, ④ 部分的に①, ② | 火炎と火勢の低減 フラッシュオーバーの防止 火災範囲の拡大抑止 高温ガスの冷却 | 燃焼層の破壊 大量の水 水害 隠れた火災部に届かない |
| 上からのウォーターミスト | ①, 部分的に② | 高温ガスの冷却 自動感知 オイルが燃える小さな閉ざされた室内でも適用可能 水量が少量 水害はほぼなし | 燃焼層の不安定化 影響距離が短い 隠れた火災部にほとんど届かない 火災を抑制するが、消火には不十分 |
| 下からのウォーターミスト | ①, 部分的に② (煙柱の中に限定) | 放射熱の低減による火勢の減少 フラッシュオーバーの防止 火災範囲の拡大抑止 自動感知 水量が少量 水害はほぼなし 隠れた火災部にも届く | 火災を抑制するが、消火には不十分 |

流が乱れる。これが避難活動に悪影響を与える。ウォーターミストシステムはスプリンクラーの1/10の水量で非常に細粒の水を噴射する消火システムである。粒径は150 μ mより少し大きい程度でインパルスを与えないで噴霧する。ウォーターミストは浮遊してガスの動きで移動する。非常に早く蒸発してしまうため、上から噴射するとカバーする距離は短い。しかし、下から噴射したウォーターミストは粒径が非常に小さいため、空気中に浮遊して、室内やエンジンなどの火災部分に運ばれて蒸発することで、火災エネルギーを15%低減させることができる。その結果、火災の拡大を抑制するとともにフラッシュオーバーも防げる。液体の可燃物に大きな水滴が降り注ぎ、沸騰温度以上に達すると沸騰した可燃性液体が爆風のように噴射する。ウォーターミストを用いると流入した外気の攪乱も少なく煙が下部に広がりにくく避難に対する悪影響は低減する。自動車火災に対しては少ない水を使用したウォーターミストの効果が高く、採用していくべきである。水による消火メカニズムは表-1のようにまとめられる(表中の作用場所については図-1参照)。

2. 適用方法

このシステムは、トンネル天井部に仕切り板があり開閉可能な吸い込み口を備えた排煙システムの設置されたすべての道路トンネルに適用可能で

表-2 ウォーターミストによる火災制御の概要

| | 探知方法 | 対策 |
|----------------------|--------------------------------------|---|
| 火災検知 | 手動火災警報 | トンネル閉鎖 |
| 火災検知 | または、不明瞭な部分まで見えるか、ラインに並んだ検知器による自動火災警報 | 火災場所の自動検知 トンネル閉鎖 水配管への水供給 |
| 第1段階 | トンネル内の火災周辺の風速の測定 | 火災部に近接した高温空気排気口を2か所開いて、ガスを排出するために軸流ファンの速度を上げる |
| 第2段階 | 火災周辺の風速のチェック | 風上の2~3個のミストノズルを開放する |
| 第3段階 | 火災周辺の風速のチェック | バランスのとれた風の流れをつくるために、火災部周辺の1~数個のジェットファンを作動させる |
| 第4段階 (火災探知から2分以内) | 火災部分の特定 | 火災部前後の少なくとも3セクションのミストノズルを開放する 開放している排気口から火災が広がる場合は、さらに速く排気口も開放する |

ある。道路トンネルに適用する場合、トンネル全高の1/3~1/4の高さの側壁部分に設置する。手すりに水が通るようにした物でもよい。火煙の範囲をできるだけ小さくするためには火災の早期発見が大切であり、ビデオカメラのような視認装置の適用性が高い。火災部分の風上の限定したノズルを解放できるシステムにすることが重要である。そのためには、軸流ファンなどによるトンネル軸方向の気流を作っておくことが必要である。煙の排気速度は乱流を起こさないために遅い方がよい。火災制御の概要を表-2に示す。

3. まとめ

このシステムは火災を完全に消火するシステムではないが、経済的にトンネル火災をコントロールできて、避難活動を助け、トンネル火災部の両方向に脱出できるシステムであり、傾斜トンネルの煙突効果の危険も生じない。

(文責：山田和男・(株)竹中土木)

土圧と圧気の併用密閉による新しいTBMを用いてパリの下水道トンネルを素早く掘削/Fresh TBM mix finishes Paris sewer tunnel fast

By Thierry Borca : Tunnelling & Trenchless Construction, May, 2005, pp.12-14

VL10下水トンネル第二工区は、パリ南部の土かぶり30m地点を長さ1,830m、掘削径4,850mmで掘進するトンネルであり、パリ下水道局が豪雨時の排水対策として計画した下水道トンネル建設プロジェクトの一環である。

本トンネルの地質は、Sesame立坑における発進時は石膏混じりの泥灰質粘土で、途中で砂層を挟んだ後石灰岩となる。被水圧は0.25MPaであった。

トンネル路線には300Rのカーブと、高速鉄道やビル、既設下水管な

どの重要構造物直下の施工となり、高速鉄道の軌道に対する許容沈下量は3mm以内と設定された。

本トンネルは、パリの下水道トンネルとしては初めて土圧シールド型TBMを採用しており、CSM Bessac社がTBM関連の機械製造から施工計画・施工を含めてすべてを受注した。同社は、これまでも長年にわたり圧気式ブーム掘削型TBMの施工実績があり、また6m以下のTBMについてはあらゆる形式の密閉方法の経験がある。同社のこれらの実績・経験より、本トンネルでは土圧・圧気の併用による密閉方式を採用した。現場では、切羽の安定のために土圧とともに圧縮空気設備より常に圧気が供給された(空気量の割合は1/2~1/3)。

土圧と圧気を併用する方法は、以下のような利点がある。

- ・回転トルクの低減、およびそれに伴う機械部品への負担の低減が可能となる。
- ・チャンバ内の切羽上半に対して良好な拘束力を与える。
- ・水圧へのバランスが取りやすくなる。
- ・CCTVにより、チャンバ内の切羽が観察可能となる。
- ・常時圧気を併用することにより安全性が向上する。
- ・ずりの水分を低減させる。

TBM・後方設備・ずり鋼車は、同社の工場ではほぼ完成に近い形状まで製作した後、現場に搬入された。搬入立坑は、直径15mの泥水固化壁によるものであり、長さ12mの後方作業坑が構築されたが、通常必要となるTBM組み立て用の作業坑は不要であり、工程と工費の削減を図れた。なお、

立坑の直径は11mまで短くすることも可能である。

掘削時は、切羽作業は7時間労働の2方編成とし、もう1方を機械のメンテナンスと先進ボーリングによる前方探査の担当とした。先進ボーリングは、切羽前方の空洞調査のために実施したが、空洞がある場合には、先進ボーリングのロッドを用いたグラウト注入による地山改良により対応した。

後方台車は7台用意し、先頭の後方台車に運転席・動力・セグメント搬送装置などを搭載し、4台はずり鋼車搬入用に用い、残りに水冷装置などの付属設備を搭載した。

1回の掘進長は1.3mであり、これには最大40m³のずり搬出能力が必要となる。このため、ずり鋼車としては10m³積載可能なものを4台用意し、1台は機関付きとした。

覆工は、一般的な5分割された鉄筋コンクリート製のセグメントとキーセグメントにより構成されている。外径は4.6m、内径は4mであり、1リングの幅は1.3m、厚さは300mm、重量は13.2tfである。セグメントの連結は樹脂製のピン継ぎ手としている。

トンネルは2004年5月31日に発進され、掘進速度としては膨張性地山に遭遇した場合を除き週進95m以上を確保し、2005年1月27日に貫通した。

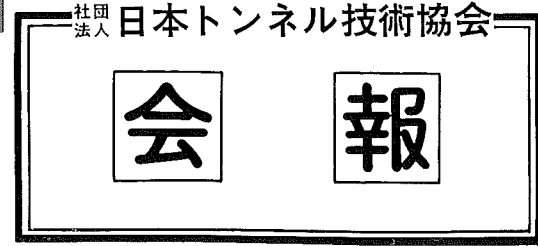
CSM Bessac社は、入札準備期間に本プロジェクトの綿密な調査を行い、受注後はこれらの情報をもとに設計、TBMの製作、施工計画および調達を効率的に実施した。施工期間は、発生したトラブルに対して事前準備にもとづき迅速に対応し、初の土圧型TBMの急速施工の成功へと導いた。

(文責：野間達也・(株)フジタ)

セグメントの新技术

監修 小泉 淳
B5判 132頁 本体価格 2,000円

本書は「トンネルと地下」の連載講座として、過去10年間に開発され、実用化されたセグメントを中心に開発中のものも含めてアンケート調査を実施し、また、土木学会の年次学術講演会における発表状況も参考にし、34件のセグメントを抽出し、同じフォーマットで紹介したものをもとに、新たに「セグメントの新技术」編集委員会を作り、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。



1. 会員の現状

| | 3月25日現在 | 4月25日現在 |
|------|---------|---------|
| 正会員 | 2,188名 | 2,222名 |
| 団体会員 | 346名 | 338名 |
| 個人会員 | 1,842名 | 1,884名 |
| 名誉会員 | 1名 | 1名 |
| 計 | 2,189名 | 2,223名 |

3. 第181回理事会, 第61回評議員会

日時:平成18年4月28日(金)12:00~13:00

場所:東京商工会議所8階「東商スカイルーム」

出席者:理事24名, 監事3名, 評議員26名

議題:

- ①116名の入会と27名の退会を承認
- ②作業所単位会員の事前入会を承認
- ③役員, 評議員の交替を承認

1. 理事

| 旧 | 新 | 所属役職 |
|-------|-------|--------------------|
| 村田 正信 | 北川 信 | 本州四国連絡高速道路(株)常務取締役 |
| 峯本 守 | 山田 和男 | 前田建設工業(株)常務執行役員 |
| 渡邊 和夫 | 山口 啓二 | (株)熊谷組代表取締役副社長 |

2. 評議員

| 旧 | 新 | 所属役職 |
|-------|-------|--------------------|
| 高津 俊司 | 宮林 秀次 | (独)鉄道・運輸機構東京支社長 |
| 土岐 康夫 | 藤原 秀武 | (株)森本組代表取締役社長 |
| 内田興太郎 | 岡村 康秀 | 大豊建設(株)代表取締役執行役員社長 |
| 渡辺 正男 | 鈴木 行雄 | 東亜建設工業(株)代表取締役社長 |
| 古川 俊明 | 高橋 康夫 | 東京都交通局参事 |

- ④委員会組織の改正を承認
- ⑤第32回通常総会議案(案)を承認

3. 委員会の開催状況(4月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

都市トンネル小委員会:4/12(末富裕二委員長ほか12名)調査報告書を検討

◎施工技術委員会

支保幹事会打合せ会:4/5(服部修一幹事長ほか7名)課題を検討

TBM工法小委員会編集WG:4/20(岡田喬幹事ほか5名)原稿を査読

都市トンネル小委員会拡大幹事会:4/26(中島泰彦幹事長ほか27名)作成方針を検討

◎研究開発委員会:4/11(大久保誠介委員長ほか18名)

海外文献を査読

◎環境調査特別委員会:4/21(久野悟郎委員長ほか19名)

計測データを検討

計 6回開催 94名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会:4/21(日月俊昭委員長ほか9名)理事

会議課題を検討

企画運営幹事会:4/19(土谷幸彦幹事長ほか7名)

総務課題を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会:4/5(石井一生幹事長ほか5名)今

後の対応を検討

国内広報WG:4/12(光木香幹事長ほか8名)海外文

献を査読

◎事業委員会:4/6(桑原彌介委員長ほか15名)催物事

業計画を検討

◎会誌委員会:4/5(大島洋志委員長ほか15名)5月号

の会誌と3か月計画を検討

計 6回開催 65名出席

合計 13回開催 203名出席

4. 国際会議の開催予定

| 会議名 | 開催日 | 場所 | 主催者等 |
|--|----------------|------------------|--|
| 第10回吹付けコンクリート国際会議 | 2006. 9. 12~16 | ウィスラー(カナダ) | Engineering Conferences International 国際技師会議事務局 http://www.engconfintl.org/6ad.html |
| イノトランス2006 「国際鉄道技術専門見本市」 | 2006. 9. 19~22 | ベルリン(ドイツ) | Team InnoTrans イノトランス事務局 http://www.innotrans.com 問い合わせ先:メッセ・ベルリン日本代表部(在日ドイツ商工会議所) TEL:03-5276-8730 info@messe-berlin.jp http://www.messe-berlin.jp(日) |
| 第1回国際シンポジウム 「都市部における地下空間の利用」 | 2006. 11. 6~7 | シャルムエルシェイク(エジプト) | Egyptian Tunnelling Society エジプトトンネル学会 http://www.egyts.com/ |
| 第4回アジア岩盤力学シンポジウム 「都市部における地下空間利用」 | 2006. 11. 8~10 | シンガポール(シンガポール) | International Society for Rock Mechanics (ISRM) and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore(TUCSS) 国際岩盤力学協会 シンガポール地下建設協会 http://www.arms2006.org/ |
| 第12回中国土木学会年次会議, 第14回トンネル工学会年次会議 「トンネルおよび地下建設のための最新の理論と実践」 | 2006. 11. 9~11 | 上海(中国) | China Civil Engineering Society Institute of Tunnel and Underground Engineering 中国土木学会 トンネル工学会 http://www.cces.net.cn |
| 第33回ITA総会およびコンGRESS 「地下空間:巨大都市の4次元利用」 | 2007. 5. 5~10 | プラハ(チェコ共和国) | Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org |

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

7月号予告[7月1日発売予定]

[特集：東西関係ガス導管新設工事]

- 音波探査による東京湾海底地質の想定
- 大深度海底シールドの覆工設計
- 長距離シールドの設計・施工におけるリスクマネジメント
- 長距離海底シールドにおける高速施工
- 単胴型ロングジャッキ式同時掘進の施工実績
- 長距離掘進後の高水圧下における機械式地中接合工

【連載講座】

- 都市トンネル工事の計測(7)
 - 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(4)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆記録的な豪雪に見舞われた地帯にもようやく雪解けとともに春が訪れた。今回の記録的な豪雪に対して気象庁は、「2006年豪雪」と命名した。これは、「昭和38年1月豪雪(三八豪雪)」以来2度目のことである。

◆都会に住んでいると大雪による孤立など考えられない。このような報道に触れると山奥にも立派な道路が必要なのではないかと考えさせられる。

◆雪によって生涯なやまされたのは、ご存知、合戦の天才児「上杉謙信」であろう。戦国動乱の時代にあって、北陸・信濃・関東に出陣を重ね、宿敵武田信玄との五度にわたる「川中島の合戦」は戦国時代を代表する合戦として今も語り継がれている。もし、雪の心配がなく現在のようにある程度整備された道路があったら、歴史は大きく変わっていたことは間違いない。

◆財政赤字が膨れ公共工事の削減・凍結が続く中、誰もが安全で住みやすい国土を作ってもらいたい。1本の道路が歴史を変える力がある。

(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)土木工社社までご連絡ください。

★(社)日本トンネル技術協会会員の方の住所(送付先)変更は直接(社)日本トンネル技術協会へご連絡ください。

トンネルと地下

第37巻 第6号 [通巻430号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成18年5月20日 印刷

平成18年6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.soc.nii.ac.jp/jta

発行所 株式会社土木工社

〒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

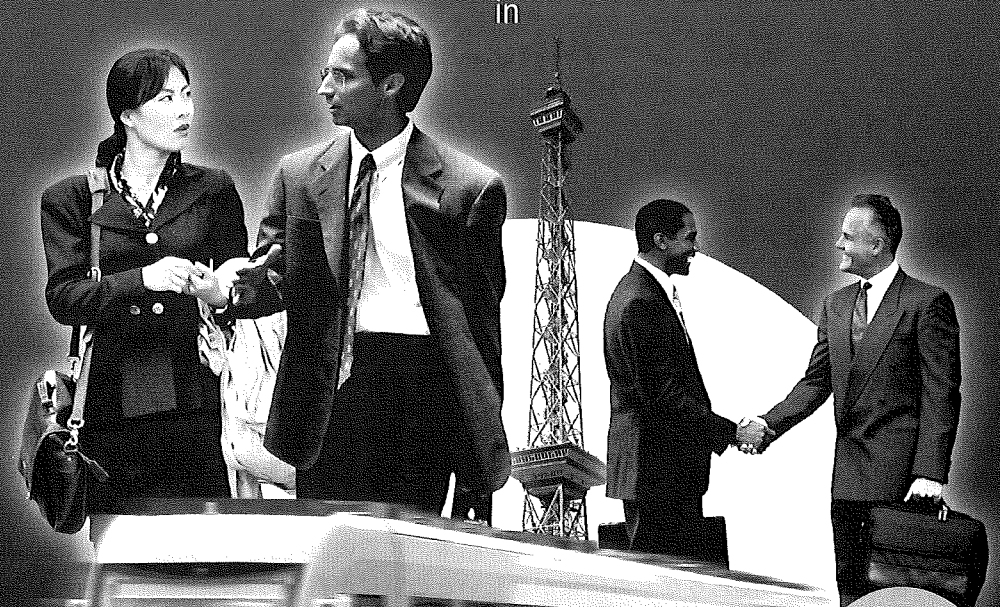
本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。TEL: 03-3267-2888

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。

鉄道技術の最先端を展示する業界トップイベント

Railway Technology · Interiors Infrastructure · Services
Public Transport · Transport IT · Tunnel Construction

in

2006年9月
19日-22日InnoTrans
2006国際鉄道技術専門見本市
ベルリン見本市会場技術革新コンポーネント・車両・システム
レールフィールドでの展示ならびにコンベンション

ウェブサイト: www.messe-berlin.jp

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

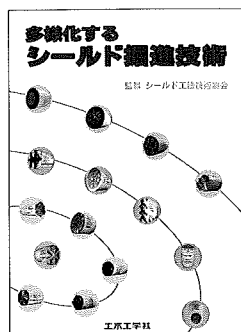
Messe Berlin

好評発売中

多様化する シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

このような背景を踏まえて、掘進技術を広くシールド技術者の参考となることを意図し、最近に開発、実用化された技術を中心に日本トンネル技術協会誌「トンネルと地下」に平成16年春より約1年にわたり『多様化するシールド掘進技術』という連載講座を設け紹介した。

その結果、読者の方々より、掲載対象とした以外の技術との関係、従来工法との関わりなどの情報が欲しいとの意見が寄せられた。

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

【掲載工法】

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

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

(株)土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888 FAX: 03-3267-2807

【好評発売中】

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 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术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うえて、新技术について調査・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。

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位防止 ○ 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

きりりと線

《ご 注 文 票》

シールドトンネルの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名

部 課 名

申込者名

⑧

TAIKU



CL301E型 カッタローダ

強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

特長

1. カッタ駆動モータは、110kW 電動機搭載
2. 散水装置により、ビット冷却と粉塵抑制
3. パワーコントロールにより、岩質等に応じて、自動的にドラム送り制御
4. ケーブルリールにより、電源ケーブルのさばきが容易
5. 走行移動用ディーゼルエンジン搭載

トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

| 型式 | RL16 | RL10 | RL5-1 |
|-----------|--------|--------|-------|
| 適用ズリ取断面 | 10~32㎡ | 7~30㎡ | 4~14㎡ |
| 油圧パワーバック | 53kW | 45kW | 31kW |
| ベルトコンベア能力 | 150㎡/H | 150㎡/H | 70㎡/H |
| 質量 | 16.5トン | 12.6トン | 9.2トン |

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

本社 〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号 ☎(03)3741-3131(代表) FAX(03)3741-6457

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!

KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



コンパクト

- クラス最小の車体寸法
 - ・全長7,980mm
- クラス最小の回転半径
 - ・5,850mm (後・後輪リフトアップ時)

大出力

- クラス最大級のエンジン出力
 - ・212Kw/2,300min⁻¹

クリーン

- 万全の環境対応
 - ・第2次排ガス基準クリア
 - ・セラミック製黒煙浄化装置

安全

- 安全性
 - ・4段階調整式リタダー
 - ・後方カメラ&モニター

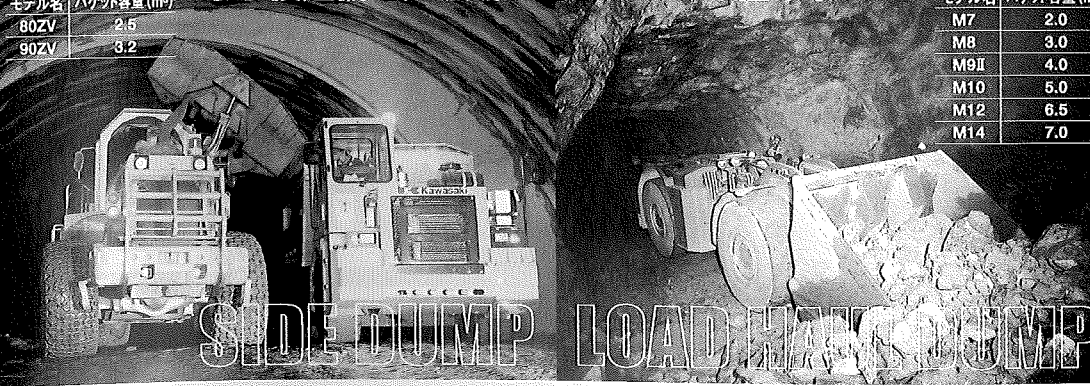
■両サイドダンプ

| モデル名 | バケット容量(m³) |
|------|------------|
| 80ZV | 2.5 |
| 90ZV | 3.2 |

ズリ積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■ロードホールダンプ

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



ONE FOCUS
Complete Solutions

Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社

建設機械ビジネスセンター

東京本社 〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1(世界貿易センタービル)
☎(03)3435-6959 HPアドレス <http://www.khi.co.jp/kenki/>