

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

1989
英仏海峡トンネルT-5区貫通式
完成にわく関係者たち

1939
《日本最初の本格的シールド》
関門トンネル工事で活躍

2004
《大断面SENSI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

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

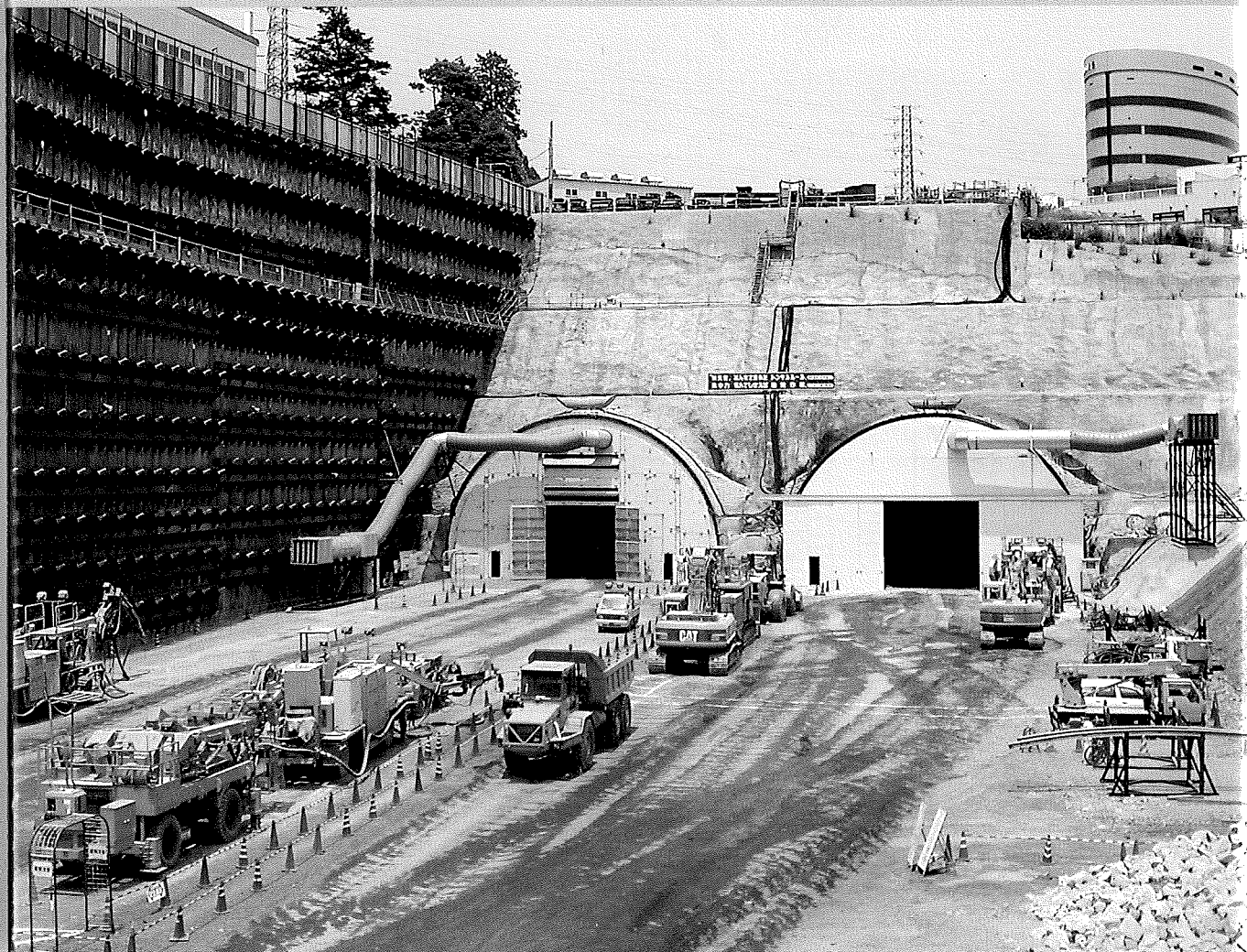
トンネルと地下 8

vol. 37
no. 8
2006

Tunnels and Underground

アーチ状防護工により新幹線トンネル上への空港用高盛土を可能に
小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く
公園地下の車両基地築造と新契約方式
超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究
高流動コンクリートを用いた推進管の開発

日本トンネル技術協会誌



定価 1,575円 雑誌06619-8
本体価格1,500円

4910066190866
01500

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

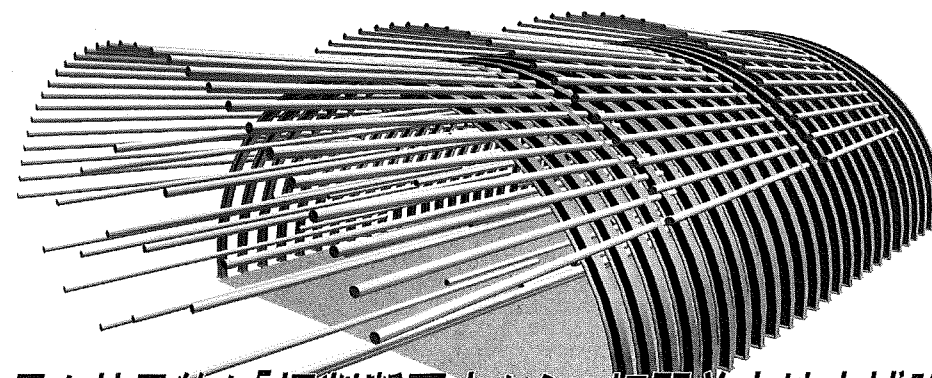
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

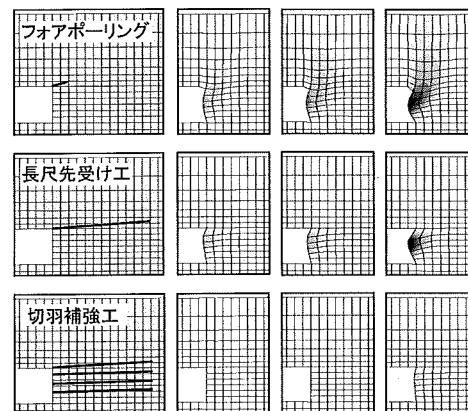
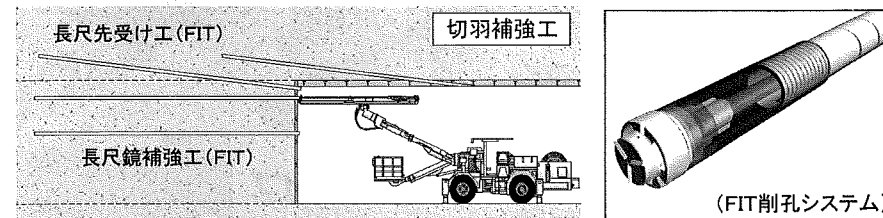
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

FIT 工法

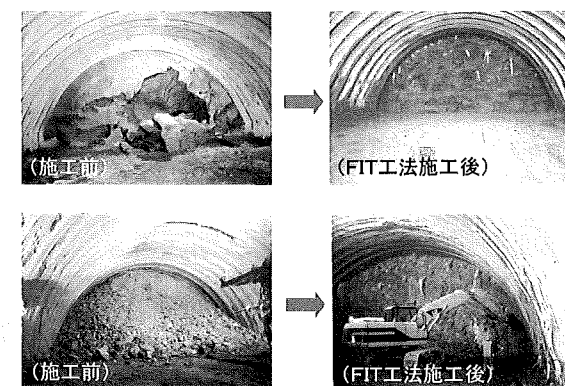
FRP INJECTION TUBE



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/>

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

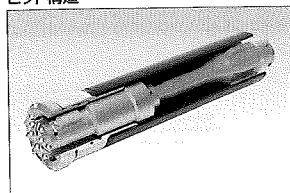
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■用途 注入式鋼管先受け工法・脚部補強・水抜き・フェイスボルト・パイプルーフ・基礎工・アンカー

●ウルトラメックスビット (UMB)
打撃削孔式リングロストタイプ

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合により回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスビット削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

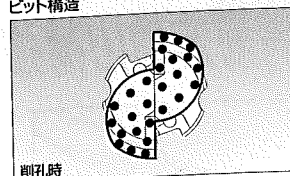
ビット構造



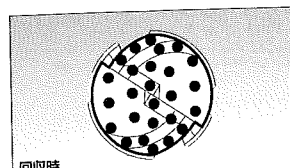
●スーパーメックスビット (SMB) 打撃削孔式拡張径タイプ

- ・国内外で多くの使用実績を誇るヘッド全可動式拡張径タイプ
- ・ヘッド全可動式が可能とする安定した削孔性能
- ・ヘッド全面を取り替える為、高いコストパフォーマンスを実現
- ・軟・中硬岩に幅広く対応

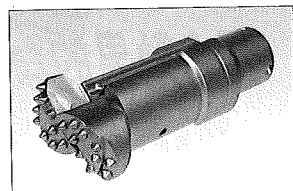
ビット構造



削孔時



回収時

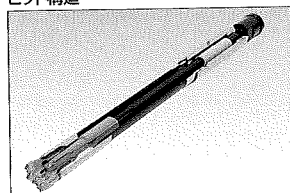


●スモールP (Small-P) システム

●小孔径 (2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ

- ・崩壊性地盤から硬質地盤まで対応する高い削孔性能
- ・独自のロッキング構造とワンタッチ式勘合によりインナーの回収時のトラブルを克服
- ・穴曲がりを極力抑えたハイスビット削孔を実現
- ・水平方向を含め、安定した全方位削孔が可能

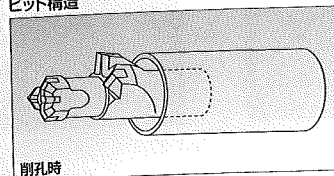
ビット構造



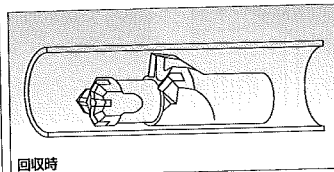
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏心回収タイプ

- ・軟質層等軟岩用簡易拡張
- ・独自の形状・構造の為、使い易い
- ・シンプル形状の為、製品剛性が高い

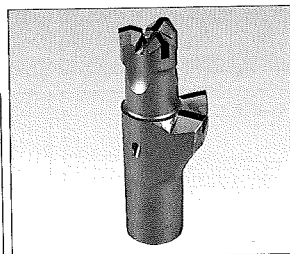
ビット構造



削孔時



回収時



※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

三菱マテリアル

●東京支店 ☎(03) 5819-5263 ●大阪支店 ☎(06) 6355-1053 ●九州営業所 ☎(092) 573-7372 ●海外グループ ☎(0584) 27-5011

湿式吹付けコンクリート用高性能減水剤
NT-1000シリーズ

急結剤と併用することにより、
高品質で経済的な吹付けコンクリートを実現。

- 単位水量を減少し、急結性・付着性・強度発現性などの諸性状を改善する。
- 急結剤の使用量を低減する。

アルカリフリー・低アルカリ型液体急結剤
メイコ®SAシリーズ

成分中にアルカリ分をほとんど含まない液体急結剤。

- 作業員に対する安全性が高い。
- 粉じんの発生が少なく、良好な吹付け作業環境が得られる。
- 付着性に優れ、リバウンド量を低減する。
- アルカリ骨材反応を助長しない。

もつといい吹付けコンクリートのために。
現場のニーズに専用の混和剤システムがお応えします。

二酸化ケイ素を主成分とした球状で超微粒子のシリカフェウム。

- ワーカビリティ、材料分離抵抗性、ポンプ圧送性などを改善する。
- 硬化コンクリートを高強度化し、水密性を増大させる。

シリカフェウム

メイコ®MS610

吹付けコンクリートの練置きを1~16時間まで自由にセットコントロール。

- 長時間の運搬や現場での練置きを可能にする。
- 夜間のコンクリート製造作業を軽減し、吹付け工事を効率化する。

湿式吹付けコンクリート用セットコントロール剤
デルボクリート

株式会社 エヌエムビー
株式会社 ポゾリス物産

●本社/東京都港区六本木3-16-26

TEL03-3582-8814 (直) FAX03-3583-3800

●支店/東京、大阪 ●営業所/札幌、仙台、宇都宮、千葉、横浜、上越、松本、静岡、名古屋、高松、広島、福岡、鹿児島

資料進呈/詳しくは、本社混和剤営業部または、最寄りの営業所にお問い合わせください。



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

BASF
The Chemical Company

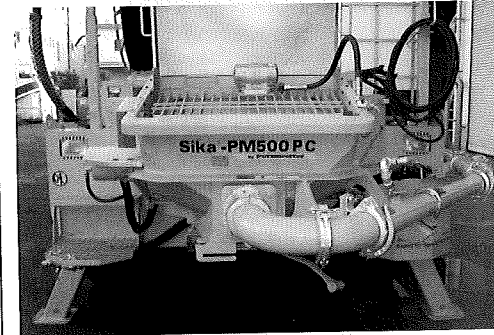
吹付けコンクリートシステム



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。

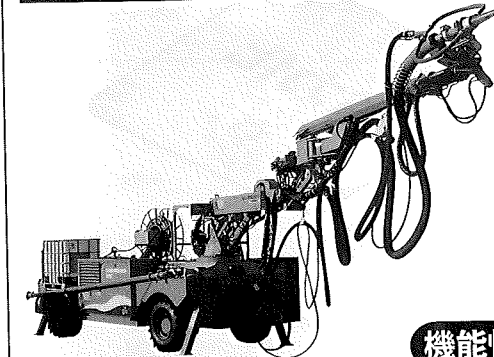
特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。



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つきが防止され、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)

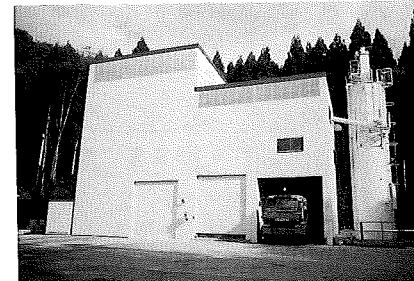


Volvo East Asia (Pte) Ltd

その他、トンネル施工機械全般

バッチャプラント

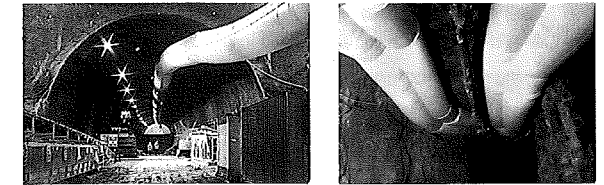
(全自動式, 3槽クラム式, 簡易型, 特殊型)



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
- スパイラル風管

- ツインダクト風管
- 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

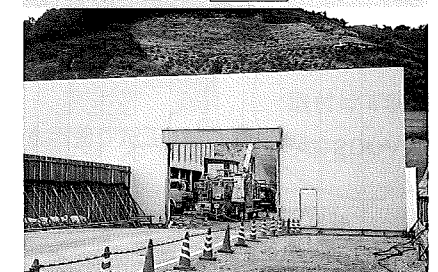
騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



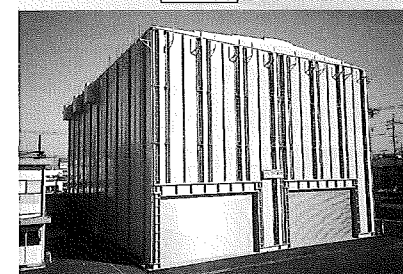
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



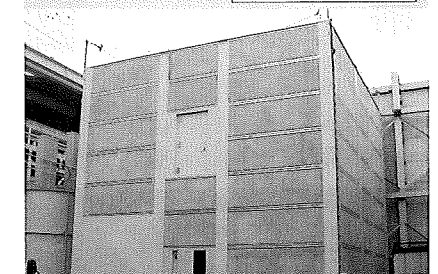
適応性の優れた防音パネル

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

株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974

トユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

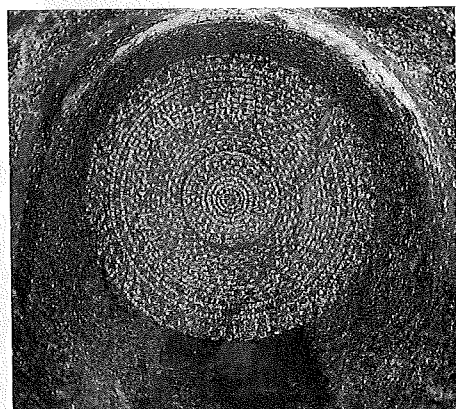
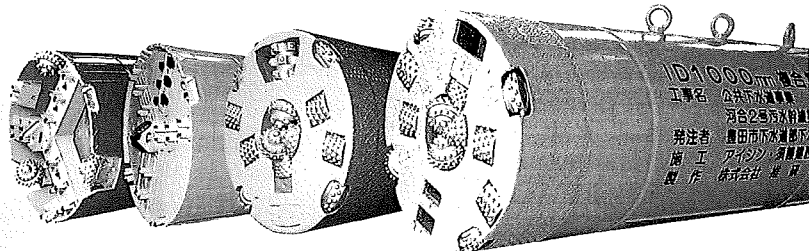
岩盤推進を創めて20年

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**

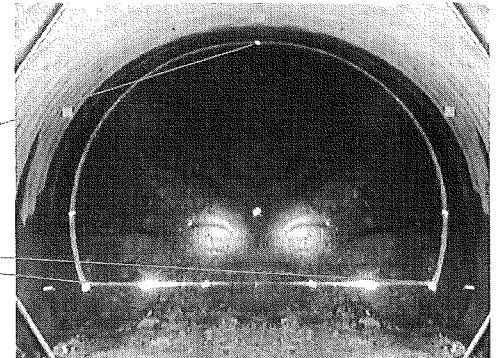
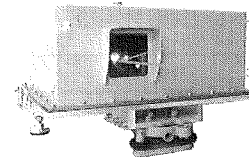
本 社 〒547-0002 大阪市平野区加美東4-3-48
TEL 06-4303-6026
FAX 06-4303-6029

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

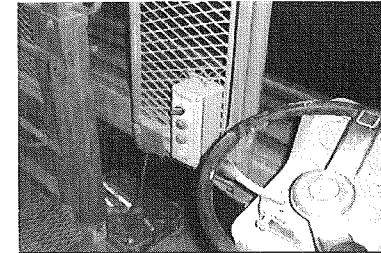
レーザーマーキングシステム

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

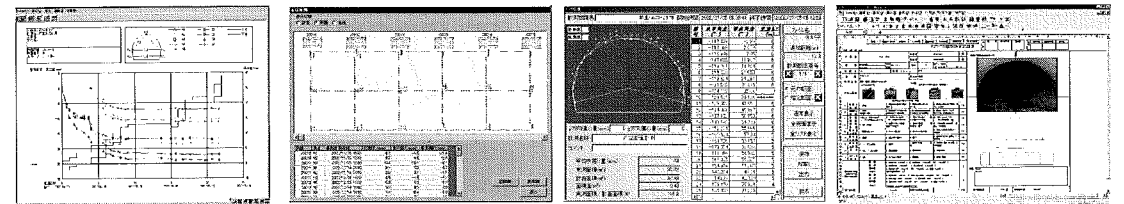


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

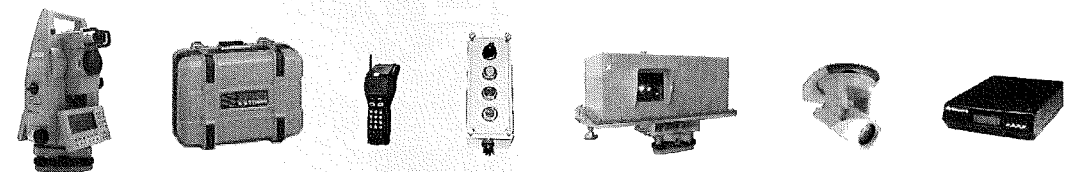


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

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〕

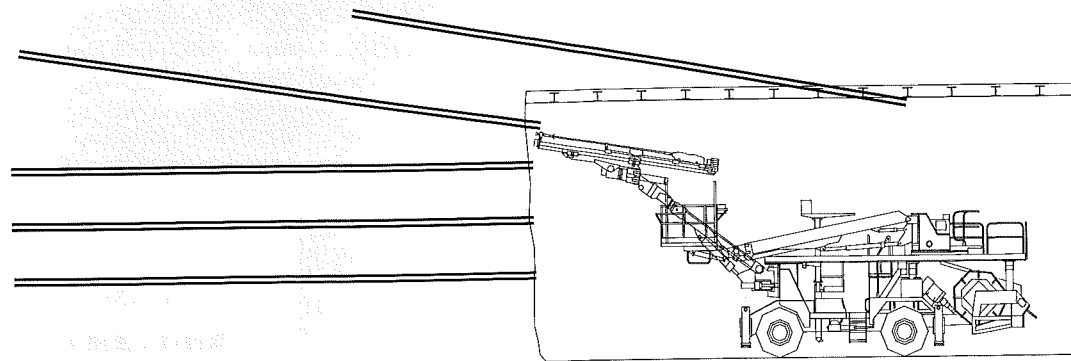
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社 レント

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。



「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砕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

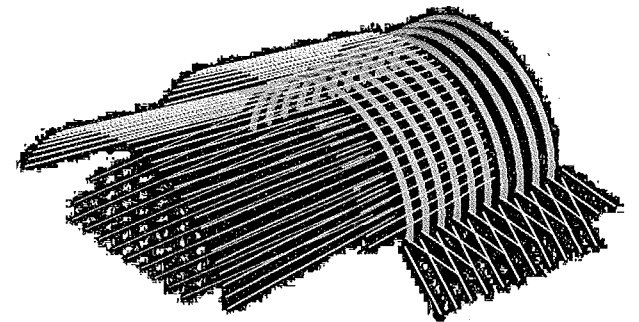
AGF工法

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/>

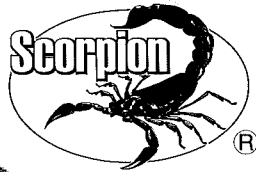
本社 〒460-8331 名古屋市中区上元津1丁目3番3号
技術営業部 TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

中部営業部 〒460-8331 名古屋市中区上元津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

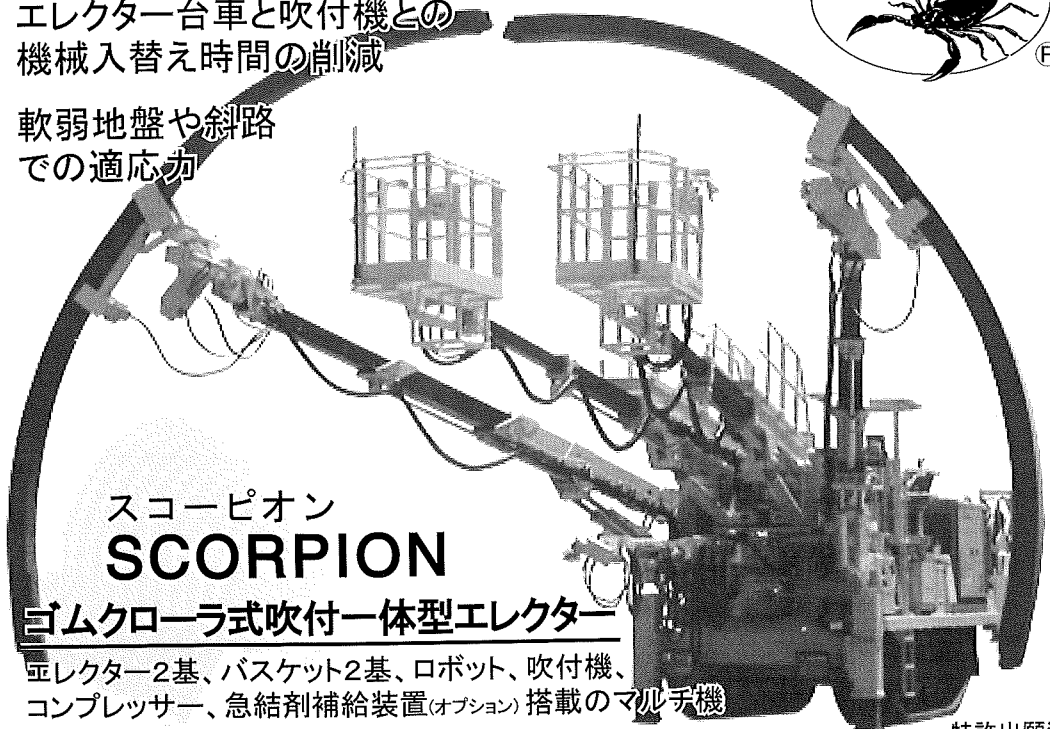
九州営業所 〒816-0932 福岡県大野城市瓦田4-15-26 TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846
北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号 ㈱エイチ・アール・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

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



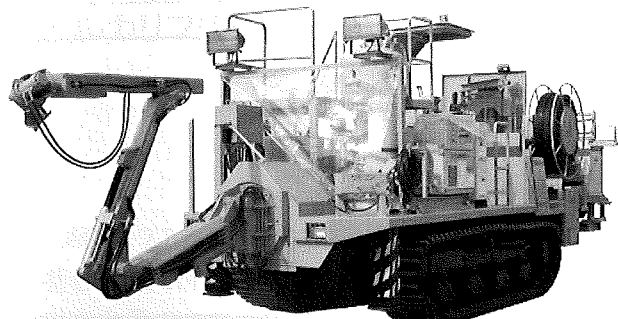
スコーピオン
SCORPION

ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

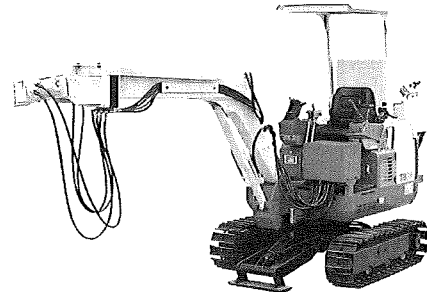
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL: 小断面(20m²)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 2 8 6 - 1

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

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

大丸の防音システム

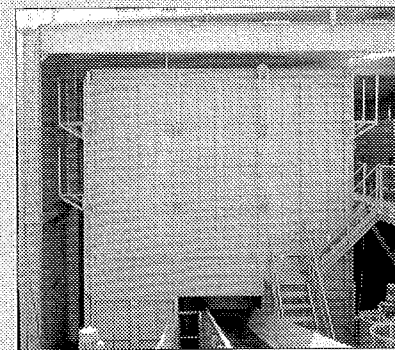


サイレントハウス(Bタイプ)

- 工期の早い標準型
- 音源対策から大型プラントまで

コスモス(Cタイプ)

- 防音効果が最大
- 環境問題の解決に



VLFシステム

- 超低周波音対策に
- 16Hzで-26dB(実績)

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

DMR
Daimaru

大丸防音株式会社

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

本社 〒104-0043 東京都中央区湊2-4-1 TOMACビル2F

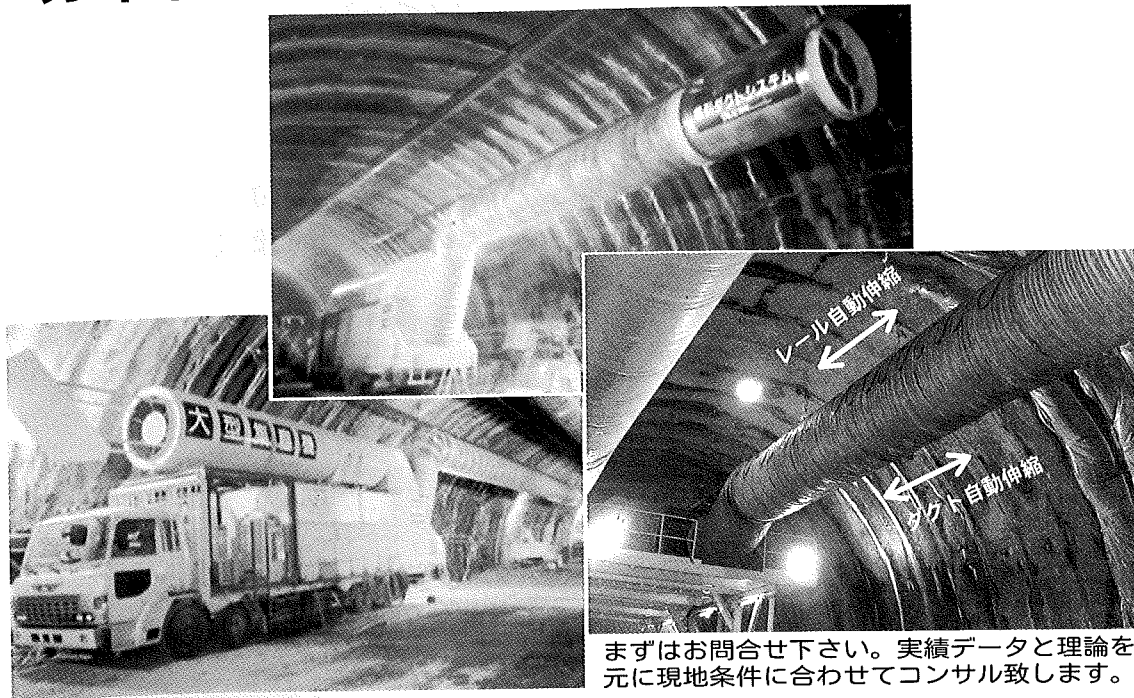
TEL.03-3537-6700 (代表) FAX.03-3537-6701

営業所 〒564-0063 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

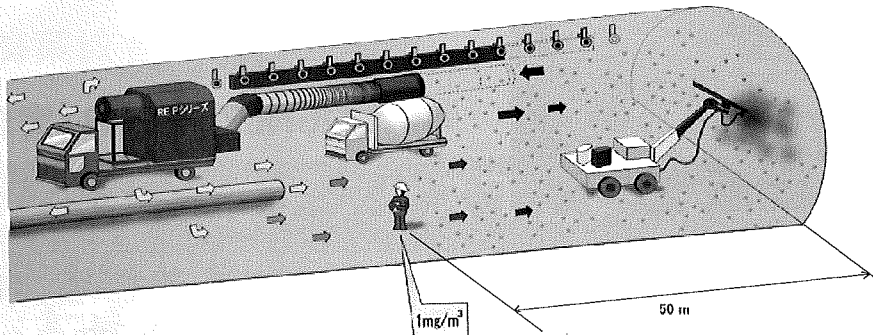
吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(*) 0.5mg/m³達成!!



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

- ・発生源粉塵対策の決定版。
- ・ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- ・掘削工法や作業サイクルに適合。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

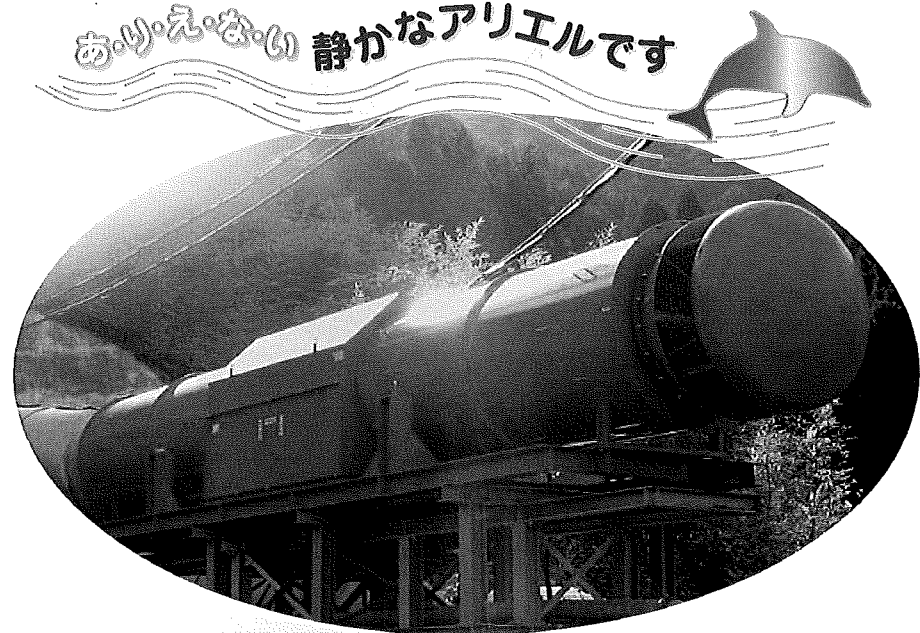
株式会社流機 エンジニアリング

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・三軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

あつえい 静かなアリエルです



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

シールド、都市NATMなどの都市環境や

大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。

必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

- 超低騒音: エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比-5dB
- 省エネ: インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、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

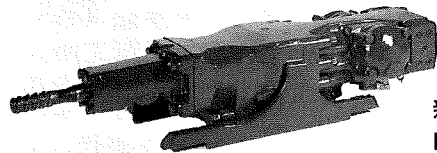
今時、静かなのは当たり前!!

TOYO

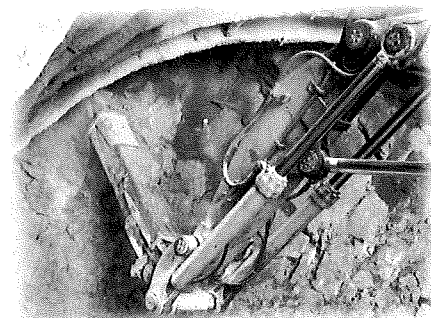
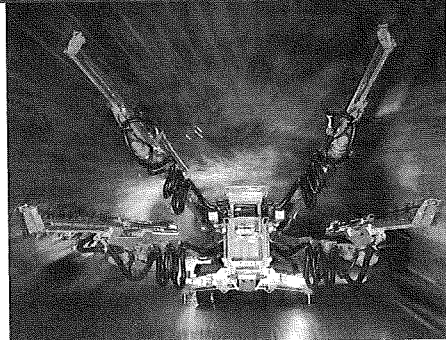
SANDVIK



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



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

TOYO EJC Rammer

TAMROCK TORO

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

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

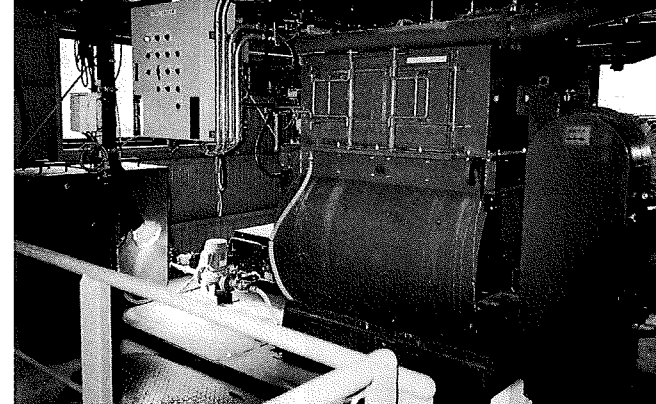
吹付コンクリート用

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。



伸縮ノズル式自動洗浄装置付ミキサー



■ MKS-500KBE-TME型

生コン洗浄水処理装置

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
トラミキ洗浄水
リサイクル

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

MK 名岐機器株式会社

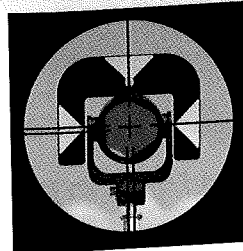
本 社 岐阜県養老郡養老町有尾600-100
〒503-1227 TEL (0584) 35-3735(代)
FAX (0584) 35-3736

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

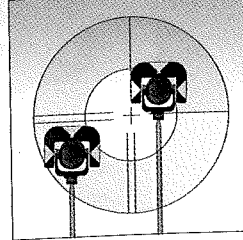
トンネル測量システム

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。

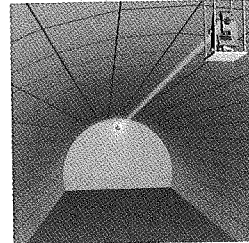
TCRA1200



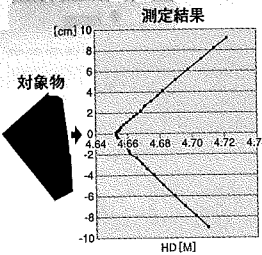
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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

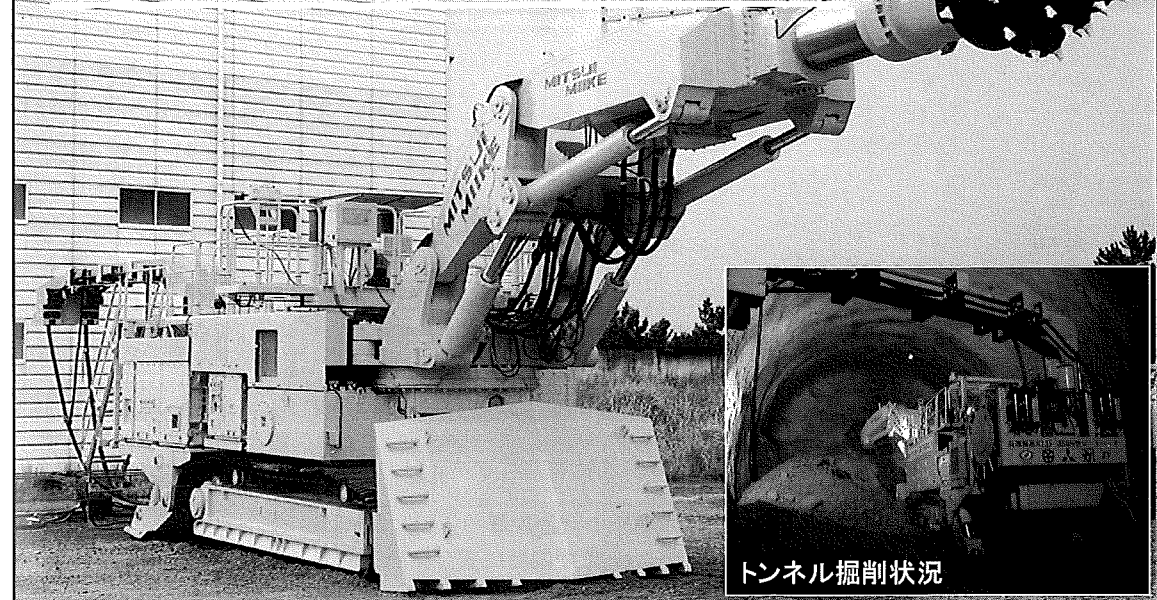
本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート
 テクニカルセンター 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F
 大阪支店 〒540-6131 大阪市中央区城見2-1-61 Twin21 MIDタワー31F
 福岡営業所 〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多倍成ビル6F
 札幌出張所 〒063-0829 札幌市西区発来9条13丁目1-10 プレザント発来ステーション3F

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

Leica
Geosystems

全断面掘削機トンネル高速施工掘進機

ロードヘッダ SLB-350S



トンネル掘削状況

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。
- 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。機体移動に際し配線替えや別途発電機の準備が不要となり、作業時間が短縮されます。

※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
 ※2 掻き・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

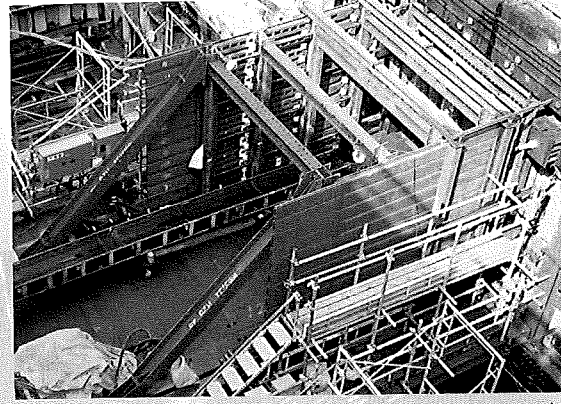
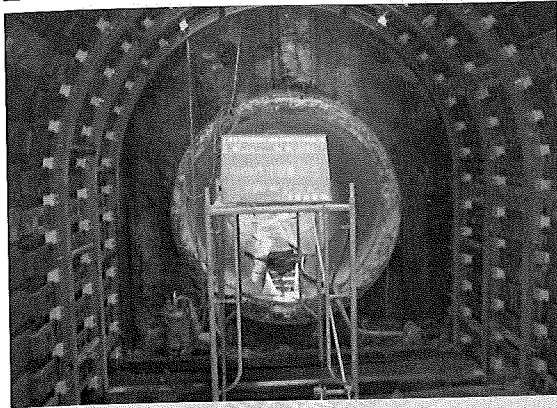
販売・レンタル
 及びメンテナンス **三井三池株式会社** 本社 / 〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
 TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

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

<http://www.mitsumiike.co.jp> E-mail koken@mail.mitsumiike.co.jp

アーストンネル掘削工法に最適 SS-メッセル工法



30年の実績(工法指導致します)

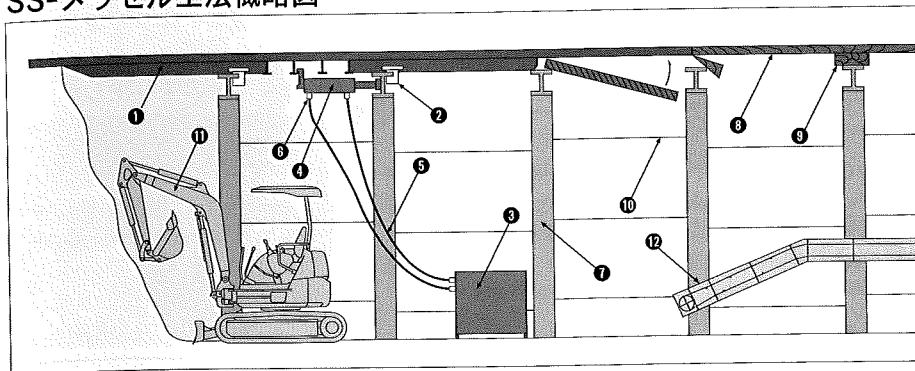
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



- 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 木製キャンバー
- 10 径間パイプ、タイロットボルト
- 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://www16.ocn.ne.jp/~sietech/>

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

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!

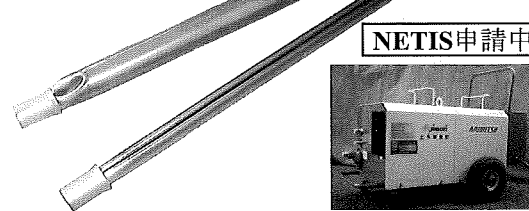
NETIS No.KK-050087

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

RPEロックボルト

—ZAM高耐食ボルト—



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—

SK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>

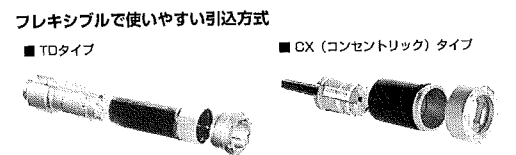
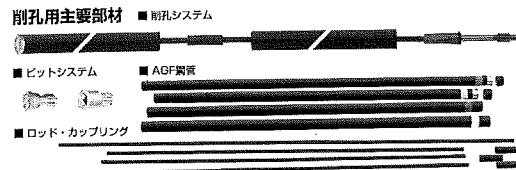
| | | | |
|----------|--------------------|--------------------|---------|
| - 東京本社 | TEL : 03-5789-2384 | FAX : 03-5447-2073 | 担当 : 平山 |
| - 大阪支店 | TEL : 06-6228-3864 | FAX : 06-6228-3886 | 担当 : 南川 |
| - 北海道営業所 | TEL : 011-222-4171 | FAX : 011-221-1370 | 担当 : 大黒 |
| - 東北営業所 | TEL : 022-263-1591 | FAX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

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。

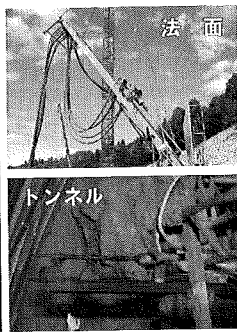
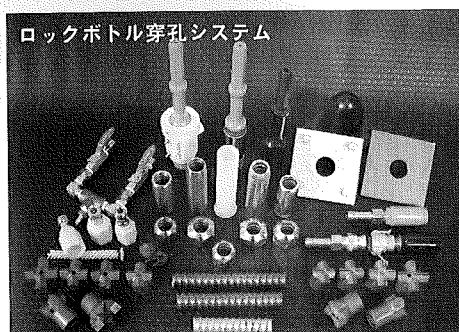


▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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

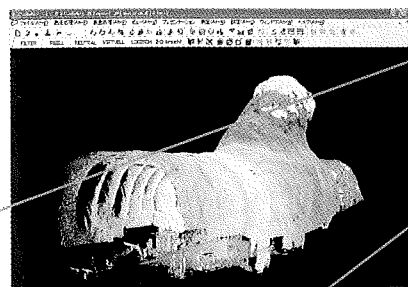
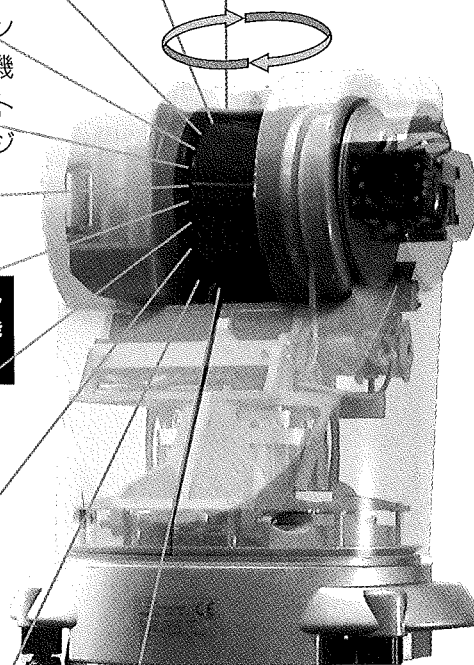
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

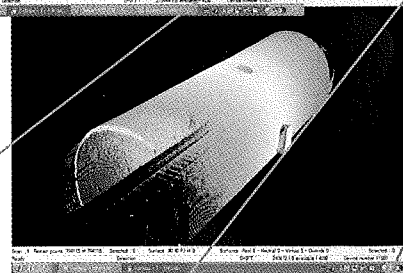
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



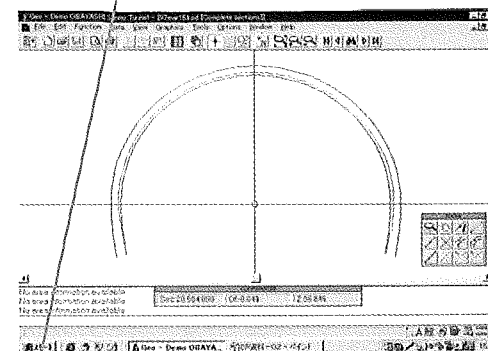
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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、観測範囲のポリウム計算などが計算・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

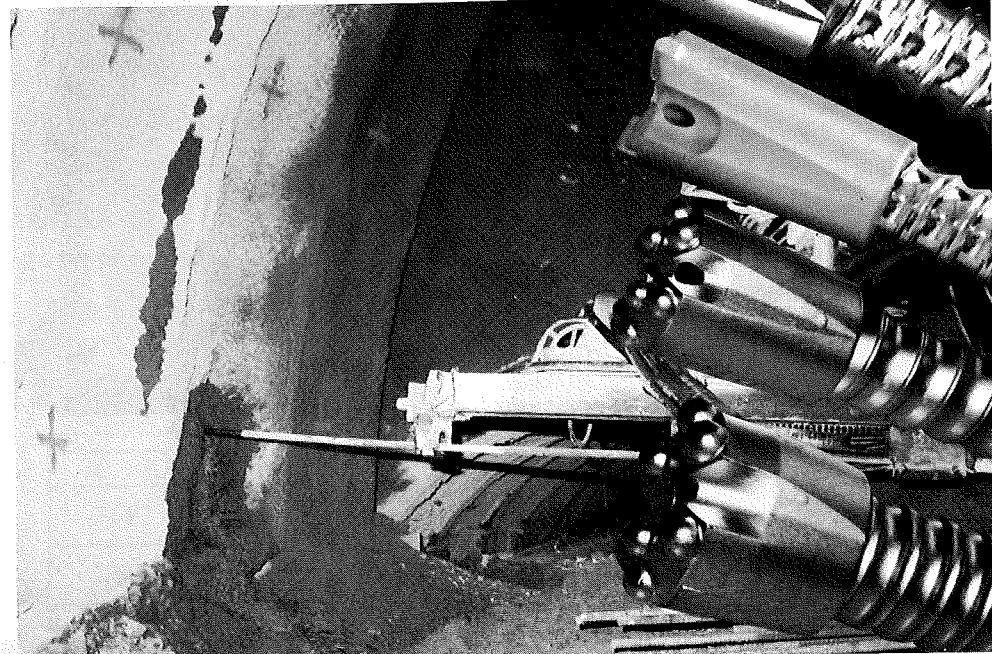
〒135-0007 東京都江東区新大橋1-8-2
新大橋リバーサイドビル101
TEL : 03-5638-5022 FAX : 03-5638-5016

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

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

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

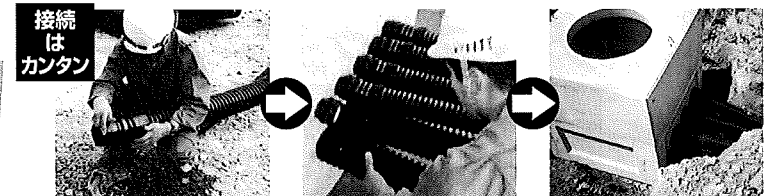
カナレックスML

- 1. 独自構造 (波付き管と管台一体型リブの連続構造)**
 - ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
 - ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。
- 2. 可とう性に優れる**
 - ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。
- 3. 優れた性能**
 - ・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
 - ・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
 - ・JIS C3653 (附属書1及び3) の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。
- 4. 摩擦係数が低く直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。

※特許・
意匠出願中

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

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

カナフレックスコーポレーション株式会社 ISO 9001 認証取得

株式会社 インテック

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 (六本木ヒルズ森タワー17F)

TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130

大阪本社 〒530-6017 大阪市北区天満橋1-8-30 (OAPタワー17F)

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

営業所 札幌・仙台・新潟・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・北四国・福岡・鹿児島

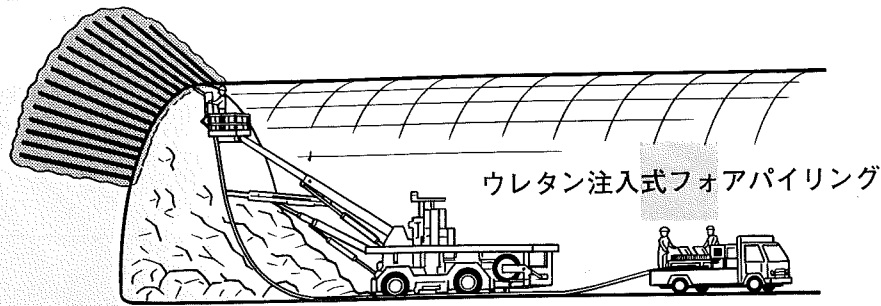
直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に
迅速な対応・信頼の
ブランド

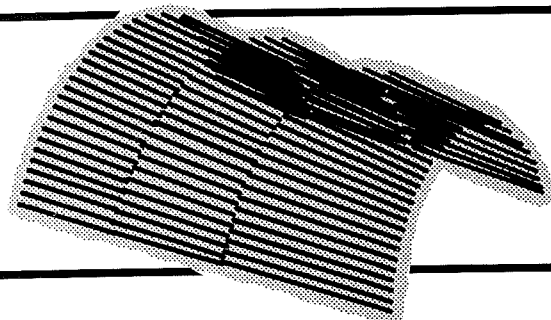
ブリヂストンのトンネル資材

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

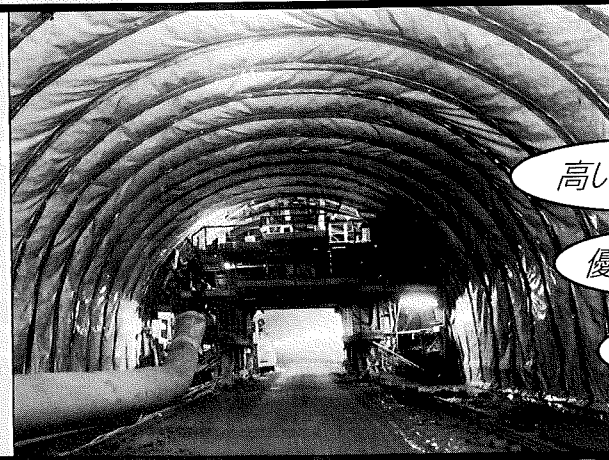


ウレタン注入式フォアパイリング

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

ジャンボナビゲーションシステム

3次元リアルタイム画像処理と高精度自動測量により究極の余掘り管理を実現します

品質の確保、
余掘り、手戻り低減で
コスト削減



★最適な削孔位置、角度の割り出し

3次元リアルタイム画像処理技術によりガイドセルの位置、角度を正確に把握

★オペレーターの作業性UP

最適Pointを運転席モニターでガイダンス

★削孔情報のデータベース化

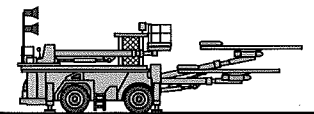
データは数値化され、データベースとして蓄積、次の削孔に活用

★リアルタイムモニタリング可能

オンライン化により事務所でも同時にデータ閲覧が可能

★従来のジャンボがグレードアップ

お手持ちのジャンボに搭載が可能



株式会社 演算工房 <http://www.enzan-k.com/>



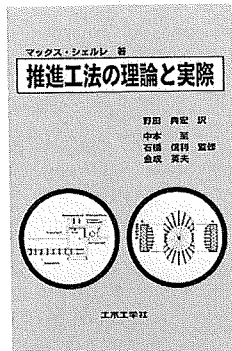
■京都本社 〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階 TEL. 075-213-7200 FAX. 075-213-7201
■東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号 川崎パークビル17階 TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589

マックス・シェルレ 著

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金城英夫 監修

B5判 437頁 税込 8,925円 送料450円



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

〈主要目次〉

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

推薦のこぼ

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

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

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

中本 至・石橋信利・金城英夫

お申し込みは、当社へFAX、または、お近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、下記の申込書に部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ、お申し込みください。

株式会社 **土木工学社**

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

《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒)

事業所名

TEL

部課名

申込者



トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号




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

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

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

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

 **中濃産業株式会社**
代表取締役 土田 義 弐

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



機械切削工事に

1.0m³ベース+MT2000ツインヘッド

klea

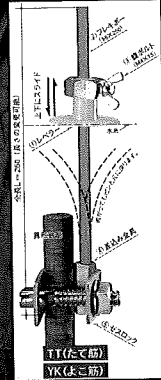
株式会社 ケイ・リー
仙台: TEL.022-359-5331
東京: TEL.03-3661-5651
大阪: TEL.06-6838-1372

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

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



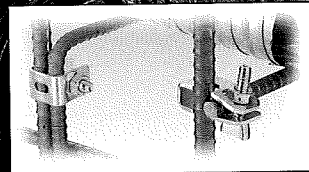
溶接同等にガッチリとねじ固定

“現場志向”が創出する大きな効果

わたしたちは
皆さまと“インテリッサンテ”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ブレキ
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

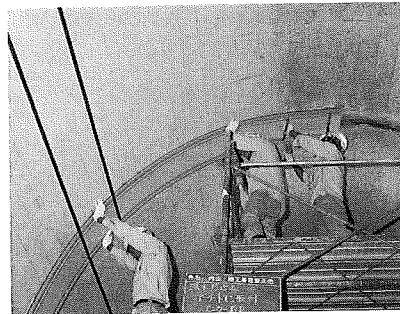
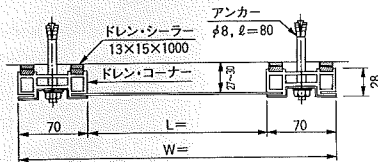
〒818-0105 太宰府市都府楼南5-16-13
TEL(092)925-8161 FAX(092)925-3449
URL <http://www.zen-g.co.jp/>

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

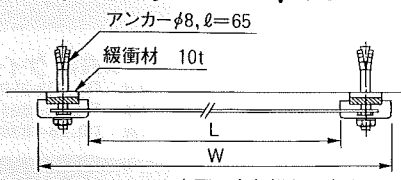
アーチ・ドレン 導水樋

■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。

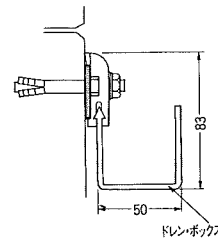


コンクリート剥落対策に
アーチ・パネル



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

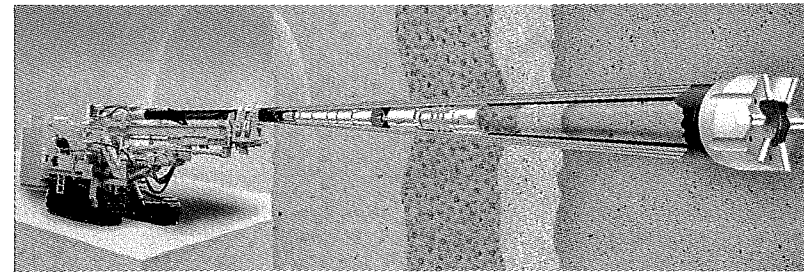
- ・スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ・ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能

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

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まらな難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、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。



KOKEN 鉦研工業株式会社

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

お問い合わせ先：エンジニアリンググループ

TEL. (03)3366-3123 FAX. (03)3366-3365

<http://www.koken-boring.co.jp/>

【好評発売中】

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 本体価格2,500円 円340円

主要目次

序編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

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

第IV編 工事を対象とした地質調査の進め方

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

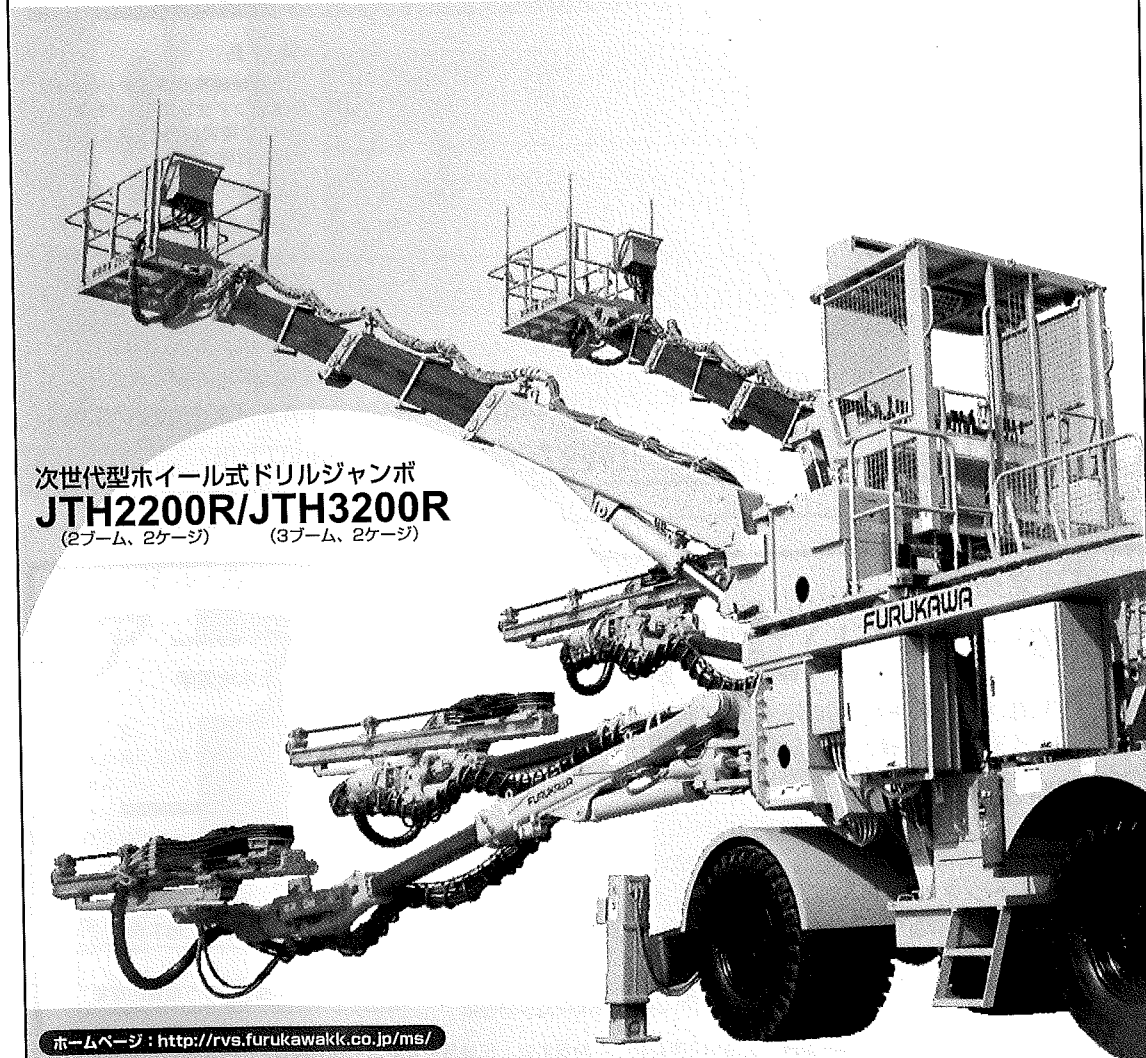
お申し込みは、当社へFAXまたはお近くの書店にてお申し込みください。FAX(03-3267-2807)にてお申し込みの方は、書名・部数・送付先・氏名・電話番号を明記のうえ、お申し込みください。

株式 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



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/>



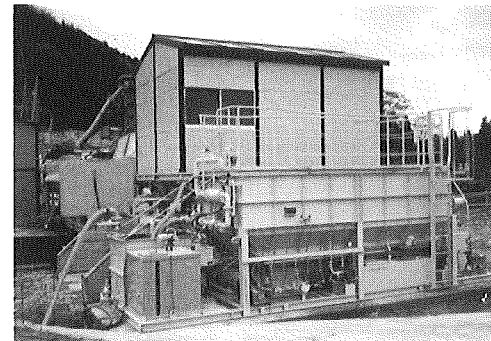
△ 古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名: 古河機械販売株式会社)

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

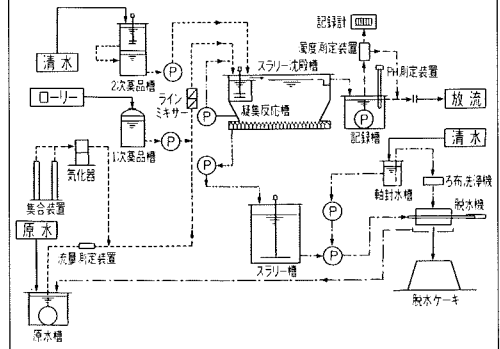
札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010
整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

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



フローシート (システム TYPE II)



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合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。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式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、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。
3. シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異常警報装置を標準装備している。

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

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

6. 豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置 (異常警報装置と連動)
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

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

詳細資料請求、お問い合わせは



株式会社 フジテックス

本社 〒930-0821 富山市飯野12-1
TEL (076)452-1616(代) FAX (076)452-1617

Waste Water Treatment System

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

トンネル技術への期待

南部 隆秋5

■研究

超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究

山崎 幹男41

高流動コンクリートを用いた推進管の開発

子安 英夫・苗村 佳男・小林 浩道・斉藤 彰宏51

■施工

アーチ状防護工により新幹線トンネル上への空港用高盛土を可能に —東海道新幹線第一高尾山トンネル防護工事—

酒井 克衡・高木 政道7

小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く

—第二東名高速道路 今里第一トンネル—

田中 貞俊・池田 克樹・志岐 寛・本村 浩志17

公園地下の車両基地築造と新契約方式

—新交通日暮里・舎人線車両基地—

松本 憲行・坂田 政紀・池田謙太郎・江頭 正州31

■連載講座

都市トンネル工事の計測(8)

—都市部山岳工法を適用した東急東横線地下化工事の計測事例—

関 聡史・岩村 巖59

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(5)

—Ⅲ.トンネル覆工内部の検査手法(1)—

JTA保守管理委員会71

■現場だより

「いのち輝く島」蒲刈より

今村 欣文30

■資料

トンネル千夜一夜(20)

小野田 滋28

土木情報

編集部58

トンネルジャーナル

編集部77

工法・技術・製品ニュース

編集部78

文献紹介

編集部79

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会80

■会報

会報

日本トンネル技術協会82



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 円290円

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

【表紙説明】

小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く

—第二東名高速道路 今里第一トンネル—



第二東名高速道路今里第一トンネルは、標準部の掘削断面積が約206m²の大断面トンネルで、その直上や隣接する箇所建物や工場が存在するため、上下線の離隔距離が4~6mと非常に近接し、土かぶりも10~17mと非常に小さいトンネルである。地質は、非常にルーズな自破碎溶岩で、このような地質条件下で、地盤改良やCD掘削工法を採用することにより、建物の沈下抑制や双設トンネルの力学的安定を確保した。写真は、坑口の状況である。

(写真提供：中日本高速道路(株))(本文17頁参照)

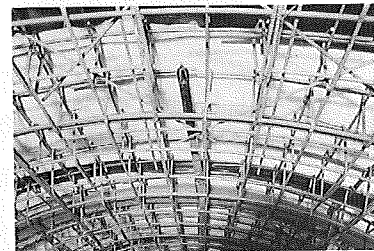
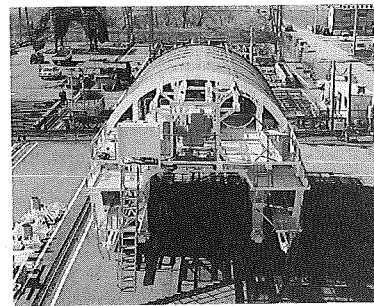
高品質なトンネル覆工に挑む

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

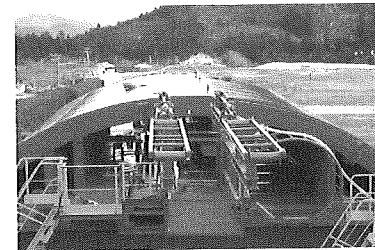
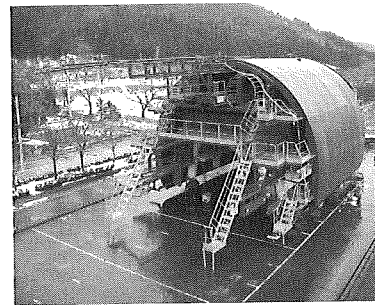
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【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 飛島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)

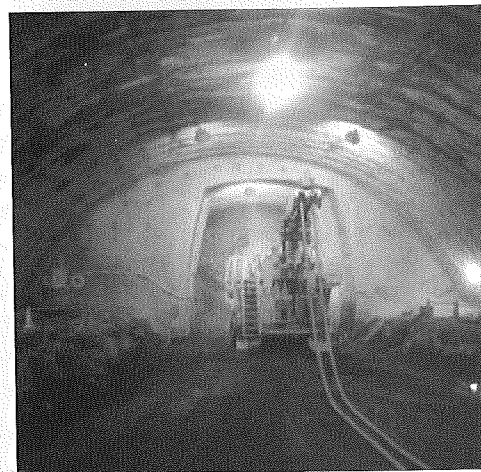
| | |
|--|---------------------------|
| 伊吹山 四 郎 攻玉社工科短期大学名誉学長 | 林 博 西松建設株式会社専務取締役 |
| 島 田 隆 夫 鉄建建設株式会社社友 | 松 本 崇 義 (元)東京都理事 |
| 高 橋 彦 治 伸光エンジニアリング株式会社技師長 | 丸 安 隆 和 東京理科大学教授 |
| 田 島 利 男 NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット トンネル担当 | 吉 村 恒 吉村とんねる・らぼ |
| 西 松 裕 一 東京大学名誉教授 | 渡 邊 和 夫 株式会社熊谷組執行役員副社長 |

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: 日本鉋機株式会社)

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

定塚 正行

日本シビックコンサルタント株式会社

参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋 良文

東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本 定雄

中黒建設株式会社顧問

濱 建介

株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸 務

東京都水道局建設部工務課長

木谷 日出男

財団法人鉄道総合技術研究所

防災技術研究部主任研究員

坂根 良平

東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤 亘

東京電力株式会社電力流通本部・工務部

設備渉外・調整グループ課長

清水 満

東日本旅客鉄道株式会社建設工事事務

構造技術センター課長

津金 昭一

独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構

鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

西村 聡

東京地下鉄株式会社建設部

新宿工事事務所所長

真下 英人

独立行政法人土木研究所

基礎道路技術研究グループ

上席研究員(トンネル担当)

町田 俊二

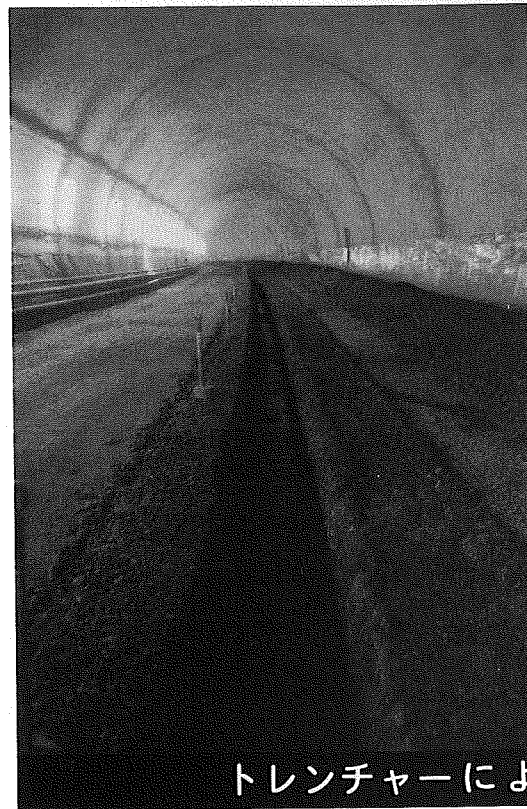
東京都交通局建設工務部計画改良課長

山田 隆昭

中日本高速道路株式会社中央研究所

トンネル研究主幹

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

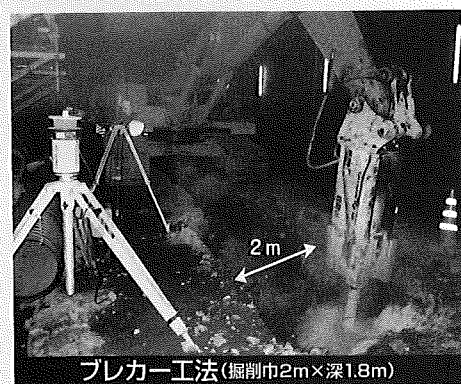
トンネル中央排水溝掘削例

| 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

掲載頁
7

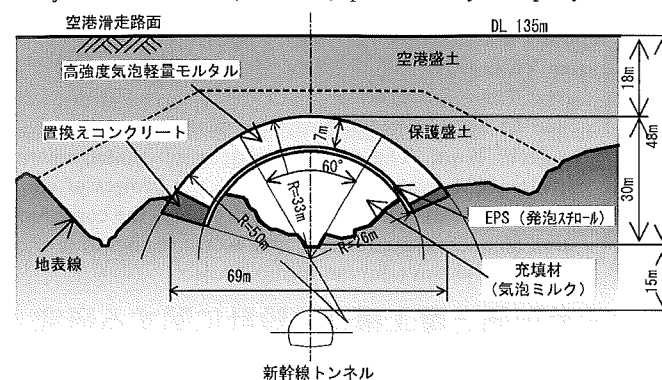
アーチ状防護工により新幹線トンネル上への空港用高盛土を可能に
—東海道新幹線第一高尾山トンネル防護工事—

東海旅客鉄道(株) 酒井 克衡

東海道新幹線第一高尾山トンネルのほぼ全長にわたり静岡空港建設に伴う造成工事が計画された。その範囲は、同トンネル直上の切土部最大約70m、盛土部最大約50mという大規模なものである。この高盛土荷重が既設トンネル覆工に悪影響を与えることが懸念され、検討の結果、新幹線走行にトンネルを供しながら実施できるトンネル防護工を構築する必要が生じた。

本稿はトンネル防護工の構造形式の選定、設計・施工について述べた後、トンネル全体の挙動解析結果を述べ、最後に大規模土工がおおむね施工された段階において防護工の効果が認められたこと、切土部で予想を超える変位が認められたが、トンネル機能維持を確認したことについて述べる。

Protection Works for Construction of Embankment of Airport above Tunnel of Shinkansen(Super Express Railway Line) using Arch-shaped Mortar Zone
By Katsuhira Sakai, Central Japan Railway Company



図は防護工アーチ基本形状

Planned Shizuoka Airport is located above Takao-San Tunnel No.1 of Tokaido Shinkansen(Super Express Railway Line). The length of cut works above this tunnel was up to 70 m and the one of embankment works was up to 50 m. It was expected that the load of embankment would give some negative impacts to the existing tunnel and it was decided that the arch-shaped mortar zone to protect this tunnel was executed. This paper reports the selection, design and construction of this work, analysis of behavior of tunnel, and the effectiveness of this work, which protected this tunnel.

掲載頁
17

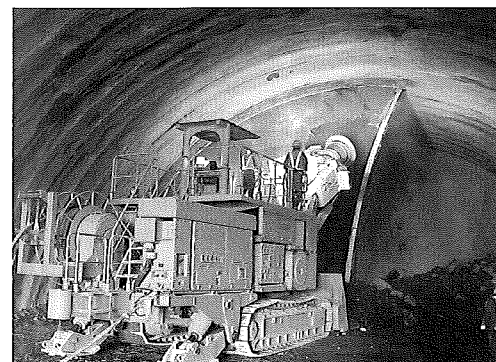
小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く
—第二東名高速道路 今里第一トンネル—

中日本高速道路(株) 田中 貞俊

第二東名高速道路今里第一トンネルは、標準部の掘削断面積が約206m²の大断面トンネルで、その直上や隣接する箇所に建物や工場が存在するため、上下線の離隔距離が4~6mと非常に近接し、土かぶりも10~17mと非常に小さいトンネルである。地質は、非常にルーズな自破碎溶岩が複雑に分布する玄武岩質溶岩で、このような地質条件下で、地盤改良やCD掘削工法を採用することにより、建物の沈下抑制や双設トンネルの力学的安定を確保し、無事掘削を完了することができた。本稿では、溶岩地山における小土かぶり・超近接の大断面双設トンネルの設計・施工方法を述べるとともに力学的挙動特性が明らかになったので報告する。

Breakthrough of Twin Tunnel of Expressway with small Cover using Center Diaphragm Tunnelling Method

By Sadatoshi Tanaka, Central Nippon Expressway Co., Ltd
Imazato Tunnel No.1 of Tomei Expressway No.2 is a twin tunnel and has a total sectional area of 206 m². The clearance of two tunnels is 4 to 6 m and the cover of them is 10 to 17 m. This tunnel is located beneath buildings and factories and the geology around this tunnel is loose basaltic lava. In consideration of these conditions, the center diaphragm tunnelling method and the ground improvement method were adopted. The breakthrough of this tunnel was successfully done without the negative impacts to surrounding structure and without accidents of tunnel construction. This paper presents the design and construction records of this project with the mechanical analysis on ground behavior due to the tunnel excavation.



写真は自由断面掘削機による掘削状況

公園地下の車両基地築造と新契約方式 —新交通日暮里・舎人線車両基地—

東京都地下鉄建設(株) 松本 憲行

新交通日暮里・舎人線は、荒川区の日暮里駅を起点として足立区の舎人地区に至る、延長約10kmの路線であり、東京都臨海部に走る「ゆりかもめ」と同じゴムタイヤ方式の自動運転車両による新交通システムで、平成20年3月の開業を目指し建設されている。

この路線の車両基地は、足立区の都立舎人公園内に建設し、構造物上部を覆土して将来公園とする覆土式の地下構造物である。

また、車両基地の整備事業は、土木の分野で初めてのアットリスクCM(コンストラクションマネジメント)方式で発注した。

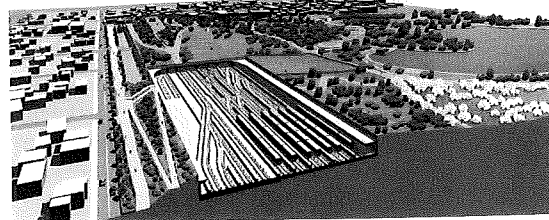
本稿は、覆土式の車両基地本体、および本線と接続する出入庫線トンネル部分の施工、ならびにCM方式での事業運営状況について紹介する。

Construction of Depot and New Contract System of Nippori-Toneri Line Project

By Noriyuki Matsumoto, Tokyo Metropolitan Subway Construction Co., Ltd.

Nippori-Toneri Line will start from Nippori Station in Arakawa Ward and lead to Toneri District in Adachi Ward. This line will have a length of about 10 km and be operated on March, 2008. It will adopt the rubber-tired

fully automated guideway transit system that is same as Yurikamome Line in the Tokyo Water-front Area has. The underground depot of Nippori-Toneri Line will be located beneath Metropolitan Toneri Park in Adachi Ward. The at-risk construction management system(CM System) is adopted in the project of construction of depot. This paper introduces the construction of underground depot and access tunnel to it and the CM System adopted in this project.

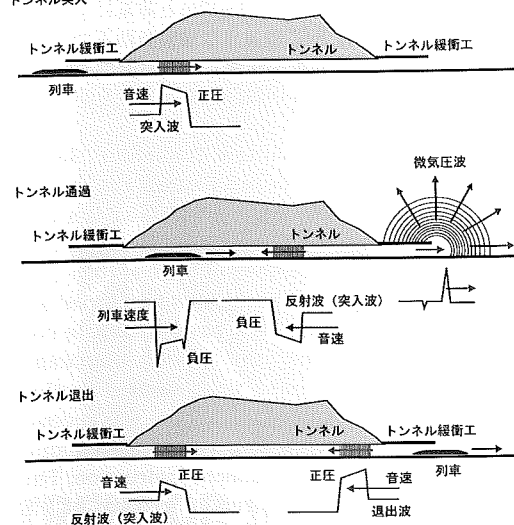


図は車両基地イメージ図

超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究

ジェイアール東海コンサルタンツ(株) 山崎 幹男

本稿は、時速500kmを超える超高速鉄道トンネルの覆工構造の合理的な耐風圧設計を実現する目的から、トンネル内での列車高速走行に伴う圧力現象を解明するとともに、トンネル覆工構造の挙動について論じたものである。高速車両がトンネル内を走行する場合の圧力現象に対し、山梨リニア実験線での圧力変動計測および3次元圧縮性流体を対象とした数値解析を実施しトンネル内圧力変動の最大値やくり返し回数をトンネル覆工構造の設計荷重として評価した。また、設計速度条件でのトンネル内の圧力変動に対する応力解析ならびに疲労実験を実施し、覆工構造の強度特性・疲労特性について検討した。その結果、現状の設計にもとづく覆工構造は列車高速走行に伴う圧力変動に対し、十分な耐力を有していることを確認した。



図は列車トンネル走行時のトンネル内の圧力現象

Study on Change of Air Pressure in Tunnel and Design of Lining for Super High Speed Railway Line

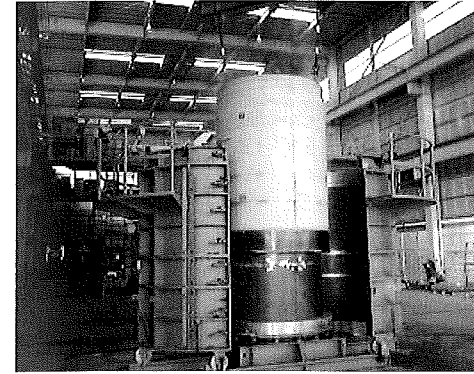
By Mikio Yamazaki, JR Central Consultants Co., Ltd.

This paper studies to clarify the change of air pressure during the passage of train in tunnel of super high speed railway line and the behavior of tunnel lining to establish the rational design method of lining for tunnel of super high speed railway line which has a velocity of over 500 km/h. The experiments were done in Linear Express Experiment Line in Yamanashi Prefecture to measure the change of air pressure during the passage of high speed train in tunnel and the numerical three-dimensional analysis was done with the assumption that air is compressible fluid body. The maximum change of air pressure and the number/frequency of repeat of it are evaluated as parameters for the design of lining. We study the characteristics of strength and fatigue on lining and propose that the conventional design method is available for the one of lining of tunnel for super high speed train.

高流動コンクリートを用いた推進管の開発

東京電力(株) 子安 英夫

推進工法は、都市部での管路埋設工事において多用されている。東京電力(株)では、推進工事費の約3割程度を占めている推進管の調達費用を低減できれば推進工法の一層の合理化を図ることができると考え、既存の鉄筋コンクリート杭製造設備を活用した独自の推進管(SAYAKAn, 最大径φ1,200mm)を開発し実績を上げてきた。今まで、設備上の制限から製造が不可能であった大口径推進管に関する合理化検討を実施し、高流動コンクリートを用いて型枠成型で製造



写真は製品脱型状況

する高流動推進管を開発し、自社工事3件に採用したことから、開発した高流動推進管の特徴および適用工事の概要を紹介する。

Development of Hume Pipe using Super-plasticized Concrete

By Hideo Koyasu, Tokyo Electric Power Company

The pipe jacking method is adopted as in projects of underground utilities in urban areas. In such projects, the cost of Hume pipes shares about 30% of total one and the reduction of it is a serious issue. The diameter of conventional Hume pipe developed by Tokyo Electric Power Company (TEPCO) was up to 1,200 mm. TEPCO has newly developed a large-diameter Hume pipe using the shutterings and super-plasticized concrete. This paper reports the characteristics of this Hume pipe and the projects using it.

トンネル技術への期待



阪神高速道路(株)常務取締役(本協会理事)

南部隆秋

社会資本整備を取り巻く厳しい状況の中でも、八甲田トンネル、飛驒トンネルなどが国の土木史上に残る長大トンネルの建設が進められている。国内においても世界においてもトンネルによる社会資本整備の必要性は以前にも増して高まっており、その技術に対する期待もまた大きくなっていると考えられる。

5年ほど前に中国政府の道路担当の高官が来日されたときに「今回はトンネルを見せて欲しい」というご要望があった。理由を尋ねると「長大橋梁の技術はほぼわかってきた。今後の西域開発に向けて、まだ十分な経験のないトンネルの技術を中国は学ばなくてはならない」とのことであった。ヨーロッパでもジブラルタル海峡やアルプスで大規模なトンネルが計画されている。

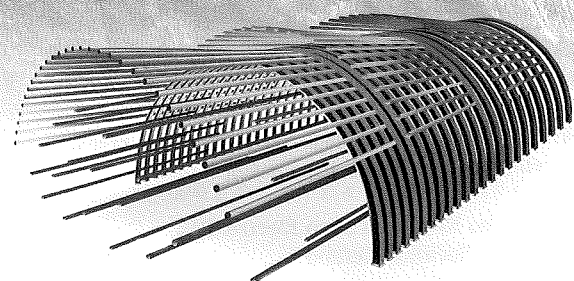
日本の国内においても、その骨格を形成する高規格道路の今後の建設区間は、以前にもまして厳しい山岳地域が多く、構造物比率、とくにトンネル区間の比率は今までに比べ、さらに高いものとなっていくであろう。

都市高速の世界でも、新しい路線ではトンネル構造が主体になりつつある。阪神高速の現状を見ると、近年供用された北神戸線と神戸山手線をのぞいた区間(延長191km)ではトンネルは1か所(700m)、延長のわずか0.4%であるが、北神戸線と神戸山手線の既供用区間(計43km)では28%がトンネル、現在建設中の4路線(31km)ではトンネル構造が63%を占めている。首都高速においても、最大の事業は新宿線、品川線という地下道路であり、長い間の懸案であった東京外環の都区内区間も大規模な地下道路として計画が見直されつつある。

世界でも、アメリカ、ボストンのビッグディッグや、フランスパリ近郊のA86など、大都市において、都市環境の問題や用地取得の困難性に対処するために、大規模なトンネル構造の道路が建設されている。

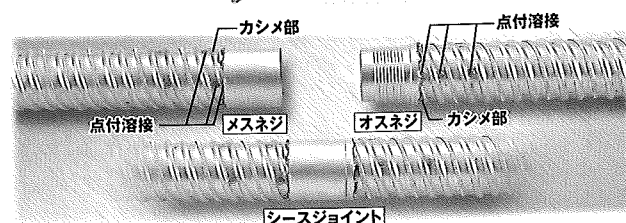
トンネルは、地下に構築されるものが多い。地下の状況は複雑で、相当にいいいな調査をしたとしてもその状況を事前に十分に把握することは困難であり、施工しながら状況の変化に対応していくことが常に求められるが、とくに、都市内トンネルでは、土かぶりの小ささ、土質の不安定さ、地下水位の高さ、騒音振動対策、場所によっては汚染

ユニークな発想と高品質・自信の価格



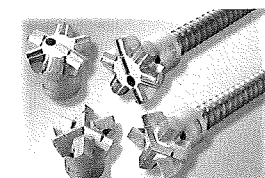
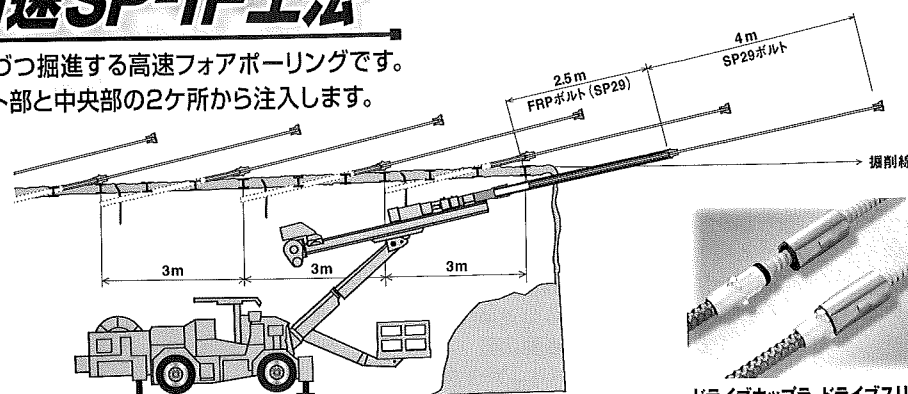
FIXチューブ工法

※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。

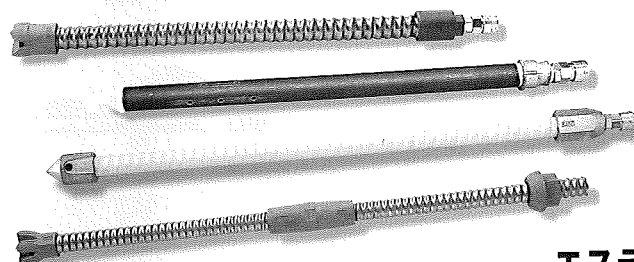


高速SP-IF工法

※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

土壌対策など山岳トンネルよりもはるかに複雑な問題を技術的に克服するとともに、その工事を、常に周辺地域社会との調整を図りながら厳しい施工条件の中で実施していかなくてはならない。

このような状況の中で、トンネル技術、中でも都市内道路トンネル技術のさらなる発展は期待されるところが大きく、また他の土木技術と比べて技術開発の余地も大きなものがあると考えている。

トンネル技術の中でも山岳トンネルではNATMという画期的な技術の登場によって大きな進捗がもたらされた。山岳地域の道路計画では、トンネルは橋梁に比べむしろコストが低いと認識されており、長大なり面管理の難しさもあって管理上の問題はあるもののトンネルをできるだけ避けるという姿勢はなくなってきているのではないだろうか。

しかし、開削トンネル、シールドトンネルが基本となる都市内トンネルのコストはきわめて高い。開削トンネルでは遮水壁、土留め壁として必要となる仮設費用が大きい。シールドトンネルは、各種の合理化、省力化がもっとも進んでいる工法の一つであるが一品製作であることもあって、コストの低減にはなかなかつながらない。都市内トンネルの需要が増大している状況を考えると、コストの低減と施工の確実性の強化が強く求められているといえる。

また、トンネル技術の特徴の一つは、狭い意味での土木技術だけではなく、幅広い技術の集積が求められるという点であろう。とくに道路トンネルでは、換気と安全対策という面で、施設や管理の技術が大切な要素となっている。

換気と照明は、トンネルにとって必須のものであるが、設置するだけでなく管理の段階でも、日常的に常に監視し制御していなければならないという点で道路管理者の負担は大きい。また、交通量が多い都市内トンネルや長大トンネルでは、交通安全確保という道路管理者にとっての重大な課題に対応していかななくてはならない。安全に関わることだけに難しい要素はあるが、このような面での技術の進歩も求められている。

このように、トンネル技術の将来への期待は大きい。わが国はその自然条件の中で、トンネル構造の必要性が高いのは明らかであり、ヨーロッパを中心とする世界の技術集積に比べて何ら遜色のない技術水準を持っている。今後、わが国独自の技術開発を進めることができれば、世界的な需要の増大が見込まれ、現地でのノウハウが占める部分も大きいだけに、海外での各企業の活躍に資するところも大きいはずである。

阪神高速道路(株)では、京都新十条の山岳・シールドトンネル、淀川左岸線、神戸山手線での開削トンネルに加え、今年度から工事が始まる大和川線での大規模な都市内シールド発注を控え、これらの事業を効率的に、コストを抑え工期を短縮して進めるために、新たな技術にもできる限り積極的に取り組んでいきたいと考えており、関係者の方々からの倍旧のご指導・ご支援をお願いしたい。

施工

アーチ状防護工により新幹線トンネル上への空港用高盛土を可能に

—東海道新幹線第一高尾山トンネル防護工事—

東海旅客鉄道(株)建設工事事務部土木工事課担当部長 酒井 克 衛
東海旅客鉄道(株)建設工事事務部土木工事課係長 高木 政 道

1 はじめに

東海道新幹線と斜めに交差する形で静岡空港の建設が進められている。この建設位置には図-1に示すように東海道新幹線第一高尾山トンネル(全長1,755m)が存在し、空港建設に伴う造成範囲は同トンネルのほぼ全長にわたり、切土部で最大約70m、盛土部で最大約50mもの大規模土工が計画された。これによりトンネルに作用する土圧が大幅に増加することになり、既設トンネル覆工に悪影響を与えることが懸念され、検討の結果、後述する新幹線走行にトンネルを供しながら実施できるトンネル防護工を構築する必要が生じた。

当該トンネルは東海道新幹線に供用中のため、新幹線列車の安全・安定運行を確保するために、トンネルに異常な変形や応力を生じさせないこと、トンネル内空の建築限界の確保、ならびにトンネル全体の線路方向での正常な線形の確保が必要条件であった。とくに、第一高尾山トンネル内は時速270km走行区間であるため、列車運行にかかわる軌道狂いの管理値は厳しく定める必要があった。

本稿では、東海道新幹線が供用中であり、盛土造成中やトンネル補強工事に伴う徐行の確保は困難という制約条件のもと、既設トンネルのほぼ全長にわたって施工される大規模土工に対する既設トンネルの機能維持を図るための方策と、大規模土工がおおむね施工された段階での報告をする。

2 大規模土工の既設トンネルへの近接度

静岡空港は起伏の多い標高80~200mの牧ノ原台地と呼ばれる洪積台地に建設されている。この台地を北東-南西方向に貫く新幹線トンネルのほぼ中央付近は沢とほぼ45°で交差したV字形の沢谷を形成しており、周囲は標高

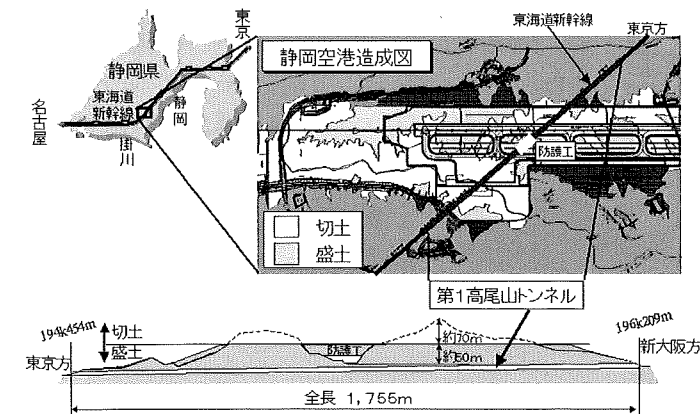


図-1 新幹線トンネル直上への大規模土工計画

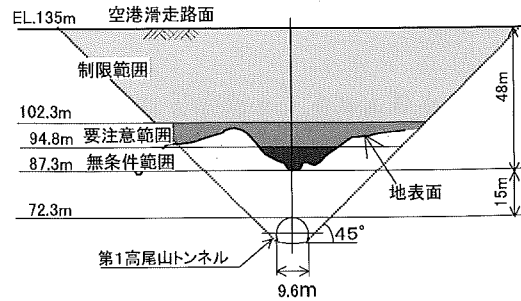


図-2 最大盛土となる断面の近接度

200m前後の山々によって取り囲まれている。沢谷の箇所におけるトンネル天端の標高は72.3m、最小土かぶりは15mであり、空港滑走路の計画標高が135mであることから、最大盛土高さは約50mとなっている。この箇所における近接度を「既設トンネル近接施工対策マニュアル」¹⁰⁾(以下、「近接マニュアル」)に従い近接度を判定した結果を図-2に示す。

これによれば、盛土の大半が制限範囲(要対策範囲)となる。ここで制限範囲(要対策範囲)とは既設トンネルへの影響を極力軽減するために必要な対策工を行うか近接工事計画を変更する範囲である。なお、切土工事の近接度は残存土かぶり比(切土によって残る土かぶり/もとの土かぶり)が0.5未満となり要注意範囲と判定される箇所(残存土かぶり比約0.4)もあるが、残存土かぶりが約50mあり、既存トンネル周辺地山のアーチ作用が損なわれることはないと考えられた。

以上から、既設トンネル直上大規模土工への対策は、高盛土区間に絞られることとなった。

3 高盛土区間でのトンネル防護工

3-1 トンネルの安全性と使用性の判断基準

3-1-1 トンネルの安全性

大規模土工施工前の覆工初期応力度を設定し、大規模土工施工完了後も覆工コンクリートに発生した応力が許容応力度以内に収まることで安全性が確保されることとした。

既設トンネルの初期応力度は、当該トンネル内部からの目視調査や、類似の施工事例などから、覆工に作用している土圧は比較的小さいと推定さ

れた。そこで、TERZAGHIの支保工に作用する緩み土荷重の表中²⁾、④の「普通程度に塊状で割れ目のあるもの」の場合の計算式を適用するものとした。これによれば、土荷重の高さは、5.0m、よって鉛直土圧は、 $11.5\text{tf}/\text{m}^2$ 、水平土圧は、鉛直土圧に側圧係数を乗じた土圧となる。覆工コンクリートの圧縮強度は、施工当時の資料および実構造物から採取したコアから、覆工コンクリートの圧縮強度は $23.5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上あると判断できることから許容応力度をコンクリート標準示方書⁹⁾および国鉄建造物設計標準¹⁰⁾の無筋コンクリートの項を参照して、以下のように設定した。

$$\text{許容圧縮応力度: } \sigma_{ca} = 5.39\text{N}/\text{mm}^2$$

$$\text{許容曲げ引張応力度: } \sigma_{ta} = 0.29\text{N}/\text{mm}^2$$

3-1-2 トンネルの使用性

使用性はトンネル内空の建築限界およびトンネル全体の線形が確保されていることが判断基準となる。トンネル線路方向の線形確保については、一定区間長に対応した軌道の整備保守基準によって、その影響度合いを判断することになる。この整備基準には、10m弦、40m弦での基準などがあるが、当該トンネルは新幹線が270km/hで運行することから、乗り心地に影響する40m弦(10m弦より厳しくなる)での整備保守基準値を適用して、「高低」および「通り」を既設トンネル路盤の許容変位量とした。

3-2 トンネルのモデル化

既設トンネルは上部半断面先進工法で施工されたバラスト軌道の新幹線複線断面であり、設計巻き厚50~70cmの無筋コンクリートの覆工とRC構造のりょう盤を有している。そこで、モデル化では覆工およびりょう盤ともに厚さがそれぞれ一様な梁部材とし、上部半断面と下部半断面との接合部およびりょう盤の結合条件はヒンジ結合とし、ほかは剛結合とした。

3-3 地山のモデル化

トンネル通過地点付近の地質は新第三紀中新世後期の相良層と呼ばれている泥岩、砂岩泥岩互層の軟岩であり、岩質は軟らかく、とくに泥岩は風化しやすく、吸水すると容易に粘土化するという

性質を持っている。地山のモデル化にあたって各種の地盤調査を実施したものの、不確定要素が多いことから、地山のモデルは次の二つを使用した。

一つ目は、地山を通常考え得る範囲内で比較的軟らかに設定することで、トンネル変形量が大きくなり、トンネルの機能維持を判断するうえで安全側となるE(Elastic)モデルである。これは孔内水平載荷試験によって求めた変形係数の平均値を使用したモデルである。地層構成は2層とした。もう一つは、比較の実態に近いと判断されるS(Solid)モデルである。これはS波検層によって求めた地盤の動的変形係数を、それぞれの位置における地盤の歪みレベルに応じて低減したうえで、解析に使用したモデルである。地層構成は3層とし、それぞれの変形係数は、Eモデルの3~8倍程度の値となっている。なお、後述する防護工の設計にはトンネルの安全性を優先するためにEモデルを用いた。

3-4 防護工の必要範囲

防護工がない状態で盛土高さを5m刻みで漸増させ、それぞれの段階における覆工コンクリートの応力度および変位の検討を行った解析結果などからトンネル覆工コンクリートが許容応力度内となるには、土かぶり厚さ43m(地盤標高115m)が限界線となった。したがって、地表面が115m以下の区間は防護工が必要であり、該当する部分はトンネル軸上で延長約110m程度となる。

ところで、トンネル覆工背面に空隙がある場合

はトンネル覆工の発生応力は増加することになるが、その実態は把握できない。そこで、一定条件下で背面空隙が存在する場合を解析したところ、トンネルアーチ部における最終応力は $-6.19\text{N}/\text{mm}^2$ となり、許容引張応力度を超過するため、トンネルの安全を保つためには盛土はほとんどできないことがわかった。そこで、防護工設計上の仮定「背面空隙はない」状態にトンネルを近づけることを目的として、トンネル直上工事の施工までに裏込め注入を実施・完了した。

3-5 防護工の設計

3-5-1 構造形式の選定

新幹線トンネル内部への対策工はできないため、地山上に防護工を構築することとし、その構造形式は、図-3に示すRCアーチ案(図-3(a)、(b))と軽量盛土案(図-3(c))の3案で比較検討した。3案ともアーチ効果により盛土荷重のトンネルへの作用を分散・軽減する点は共通しているが、RCアーチ案は防護工を構造体として捉え、アーチ効果を積極的に期待したものであり、軽量盛土案は盛土材料を軽量材に置換することによる盛土荷重軽減効果を積極的に期待している。

比較検討の結果、RCアーチ案は鉄筋コンクリート構造という信頼性は高い構造物を構築できるが、防護工を構築する箇所が沢部を跨ぐ複雑な地形のため、杭基礎の配置やフーチング位置などの構造上、施工上の問題があった。

一方、軽量盛土案は基礎形状を斜めにするこ

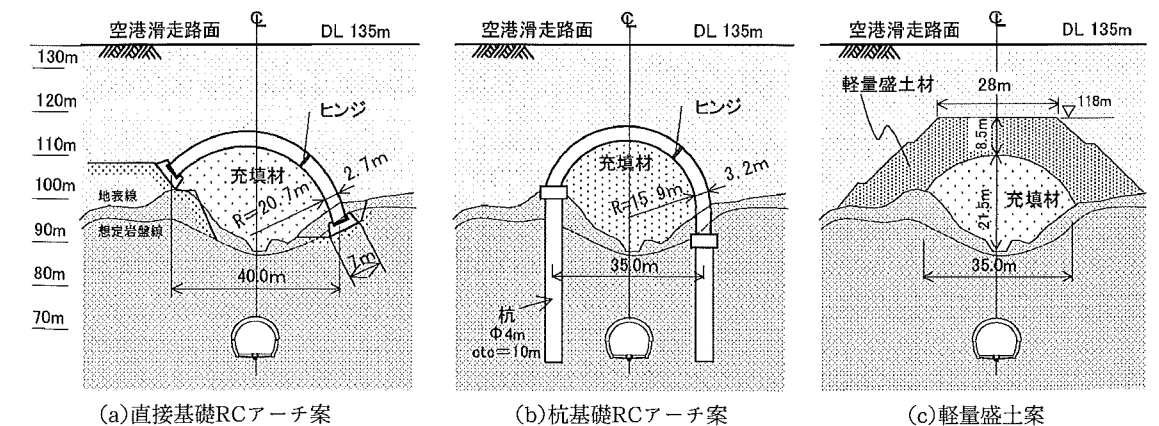


図-3 トンネル防護工構造形式案

で盛土荷重を防護工側方へ分散する効果を期待でき、複雑な地形に対して柔軟な対応が可能であるため構造上、施工上の問題は小さい。しかし、軽量盛土案の構造材料として想定していた気泡モルタルや気泡ミルクは盛土材料としての実績はあるものの構造材料としての信頼性に不明な部分が多いという問題があった。そこで、軽量盛土材の軽量という特性を損なわずに高強度化することで、構造材料としての信頼性への懸念を払拭することとした。材料開発の結果、軽量盛土材として使用される気泡モルタルの約10倍の圧縮強度を有する高強度気泡軽量モルタルを得ることができ、より積極的にアーチ効果を発揮できるようになった。

3-5-2 防護工基本断面形状

最終的に確定した防護工基本形状を図-4に示す。図-3(c)の軽量盛土案からの変更点は次の点である。まず、防護工アーチの変形がその内部の充填材により拘束されないように、防護工アーチと充填材の接触面に発泡スチロールの絶縁層(厚さ1m)を加えた。また、実施工を想定した防護工アーチの進捗ステップごとの応力解析結果により高強度気泡軽量モルタルの許容応力度(圧縮 $3.2\text{N}/\text{mm}^2$ 、引張 $0.1\text{N}/\text{mm}^2$)を上回る箇所が認められたため、アーチ内面を一定円弧に改め、アーチ外面を拡幅するなどの形状変更をした。さらにアーチ脚部で高強度気泡軽量モルタルの許容引張応力度を超える箇所については、コンクリートに置き換えた。なお、図-4中の保護盛土とは空港盛土の一部ではあるが、防護工アーチと並行施工することにより

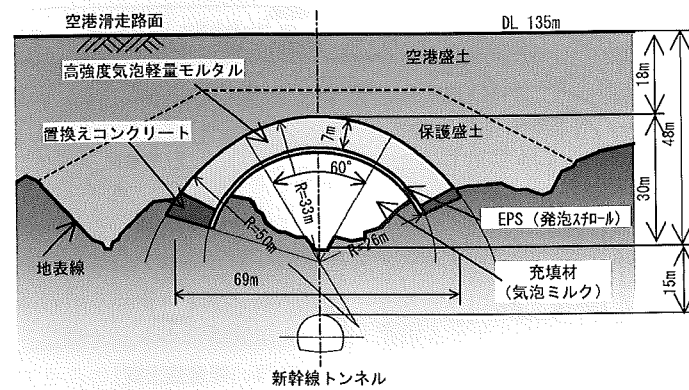


図-4 防護工アーチ基本形状

防護アーチに一定の拘束圧を与える目的を有している。保護盛土の幅は工事用道路や気泡混合プラント設置に使用するため、アーチ外周から30m以上確保することとし、防護アーチ天端からの高さは空港盛土に使用する大型重機の影響を防護工が受けない高さである5mとした。

3-5-3 防護アーチのトンネル軸方向の形状

図-5に示すように防護工が必要なトンネル軸上110m区間を11ブロックに分割し10mごとに独立した一つのアーチとし、それぞれ2次元FEM解析によりアーチ基礎の着岩ラインを検討した。着岩ラインは掘削量を少なくする目的で、地盤調査から得た想定岩盤線近傍とした。なお、トンネルと谷沢が斜めに交差する地形のためアーチ形状の非対称性が強くなるブロックについては、防護工のトンネル軸方向の連続性を保つ観点から基本断面形状は変更せずに着岩ラインを修正することで全断面で高強度気泡軽量モルタルの許容応力度を満足するように設計した。

3-5-4 防護工耐震性能

防護工は空港盛土内に構築される構造物であり、空港盛土完成後のメンテナンスは不可能である。そこで設計想定地震に対して防護工がアーチ機能を損なう損傷を受けてトンネルへの悪影響が発生しないことを動的解析により検証した。その結果、「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」⁹⁾(以下、「耐震設計」)のL1地震動および「盛土構造地震時安定解析」の模擬地震動では損傷レベル1(応力度の制限値を超えない)、耐震設計のL2地震動(スペクトルI(海洋型))では損傷レベル2(局部的に応力度の制限値

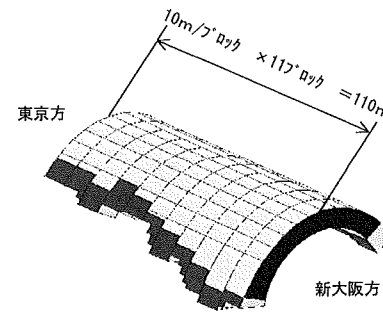


図-5 防護工鳥瞰図

を超える応力が発生する。ただし、地震時・地震後に機能に影響を及ぼさない)の性能を有していることを確認した。なお、L2地震動が防護工に作用した場合、アーチ内面端の一部で引張応力度の制限値を超過するが、常時では圧縮力が作用しているため地震後はひび割れが閉塞されることが期待できる。また、過大な引張応力が発生する時間がきわめて短時間であり、防護アーチ着岩部とアーチ頂部の地震時最大水平相対変位が10mm程度と微小なため、防護工が崩壊するような大変形は生じにくいと考えた。

3-5-5 防水構造

防護工アーチ材および充填材(気泡ミルク)は吸水による重量増加によって防護工性能を損なう恐れがあることから図-6に示すように防水シートとアーチ基礎コンクリートによる防水対策を実施した。なお、トンネル軸方向の防護工端部には端部コンクリート(厚さ2.5m)を基本アーチ外周に沿って配置して防水するとともに、端部コンクリート上に軽量盛土を構築することで盛土荷重を低減し、トンネル覆工コンクリートが許容応力度内に収ま

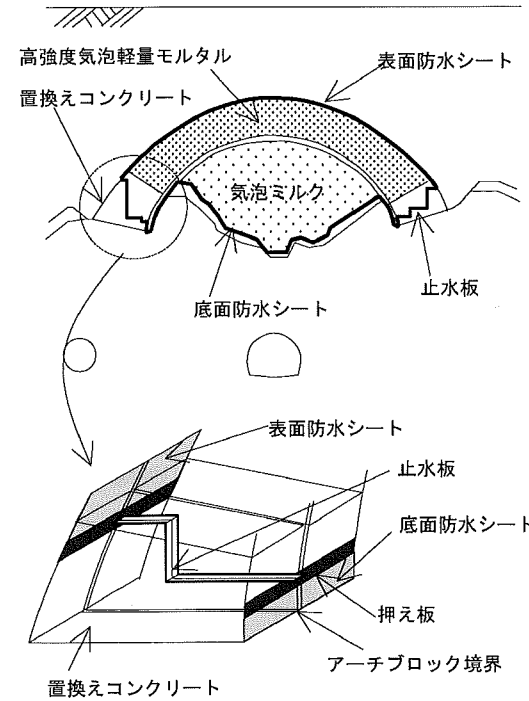


図-6 防水構造

るようにした。

3-6 防護工の施工

防護工施工の主要工事は、高強度気泡軽量モルタル(アーチ材)50,810m³、気泡ミルク(充填材)39,550m³、コンクリート工(置き換えコンクリート)19,430m³、掘削127,800m³、保護盛土234,400m³であり、工期は平成13年3月から平成15年7月までであった。防護工の施工手順は図-7に示すように、アーチ基礎岩盤の仕上げ、充填材地山部のモルタル吹付け、底面防水シートの貼り付けを行い、その後アーチ基礎部のコンクリートを先行完了させた後、発泡スチロールを型枠として気泡ミルクを打設し、置き換えコンクリート天端まで打ち込んだ。これ以降はアーチが閉合するまで発泡スチロール、気泡ミルク、高強度気泡モルタルをほぼ

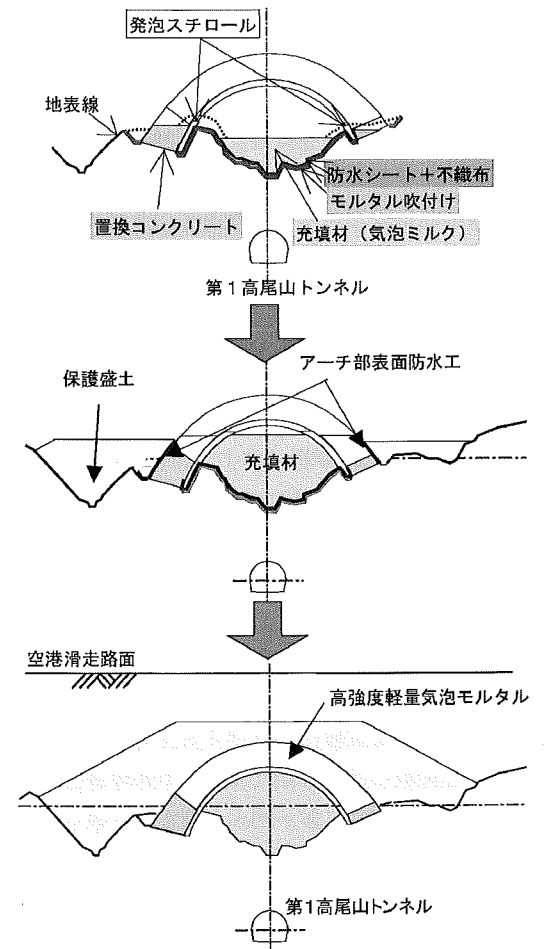


図-7 防護工施工手順

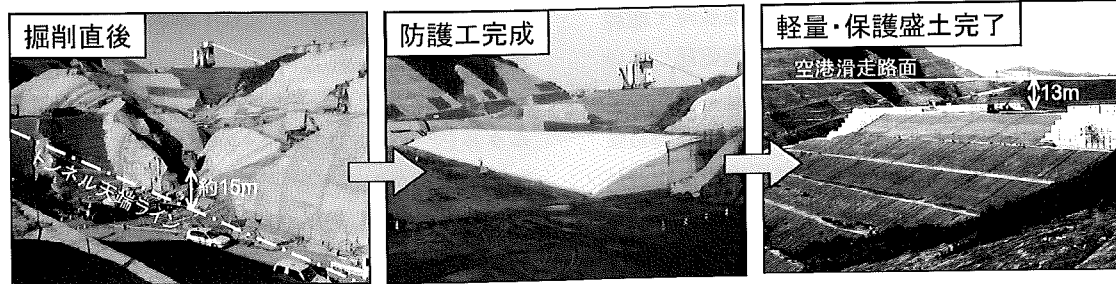


図-8 トンネル防護工施工状況

水平に順次施工することを基本とした。

なお、保護盛土は、アーチ施工標高に対して5m下がりを目安にアーチ表面への防水シート貼り付け後、段階的に盛った。

図-8に施工状況を示す。

施工管理上の特徴として、単位セメント量420kgという富配合のため発熱量が多い高強度気泡軽量モルタルをマッシブな構造体を使用することに対する温度ひび割れ対策と、気泡剤と人工軽量骨材を併用する高強度気泡軽量モルタルの品質管理が挙げられる。

これらについては、別途報告⁹⁾しているため、本稿では省略する。

4 既設トンネル挙動予測と鉄道への影響予測

3次元弾性FEM解析により、トンネル全長の挙動を解析した。解析はトンネル全長(1,755m)を含む1,840m×600mの範囲をEL.0mより地表まで3次元モデル化し、盛土のみの解析結果と切土のみの解析結果を重ね合わせ空港造成工事完了時を評価した。

地盤モデルは盛土解析ではEモデルを、切土解析では孔内載荷試験により得られた載荷時と除荷時の弾性係数の比率を用いてEモデルの弾性係数を割り増した。なお、地山と覆工とが離れる方向に変位する際には地山と覆工間で引張り・せん断力を伝達しないように、覆工と地山との間にギャップ要素を設けている。空港完成時のトンネルへの影響を以下に示す。

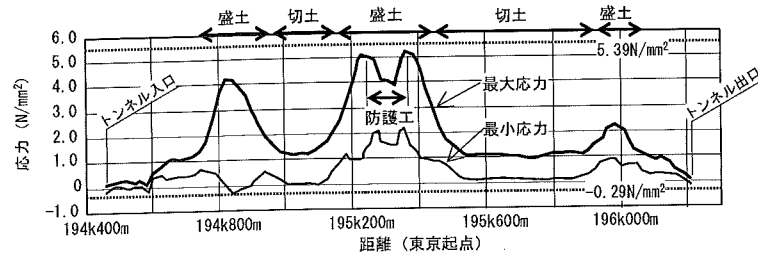


図-9 トンネル覆工発生応力

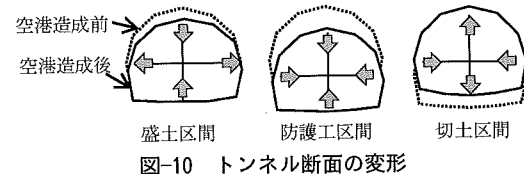


図-10 トンネル断面の変形

4-1 トンネル覆工に発生する応力

図-9に示すとおり最大応力、最小応力とも、トンネル全長にわたって許容応力度以下であり、切土と盛土とも施工される断面については、切土のみ、盛土のみ、空港完成時のいずれにおいても、覆工に発生する応力は許容応力度以内であった。

4-2 トンネル断面の変形

図-10に示すように、盛土区間では縦方向に縮小し、防護区間では縦・横方向に縮小する。また、切土区間では縦方向に伸張する。なお、この変形は、建築限界を支障するような変状ではない。

4-3 軌道狂い(高低)の変化

トンネル直上の切盛土によって大きく影響を受けると考えられる軌道狂い(高低狂い)について、予測解析結果を図-11に示す。勾配の変化率としての弦正矢の値は、40m弦で0.45mm程度と非常に小さく、変形は波長の長い緩やかなたわみのため、時速270kmでの新幹線列車走行の乗り心地の観点からも問題となる値ではない。

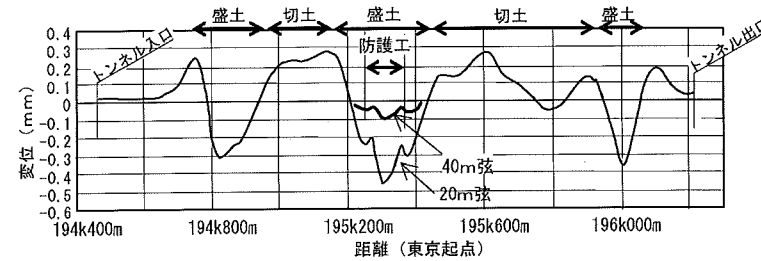


図-11 トンネル路盤弦正矢

- (1) 列車運転時には、トンネル内に立ち入っての人的な測定・監視は困難であること。
- (2) 列車通過による60m/s相当の風圧と通過後の負圧や列車振動が計測機器に悪影響を与え、かつ計測器固定の緩みを生じさせること。

- (3) 列車走行に伴う雨水、鉄粉などの汚れが、計測に悪影響を与えること。

5 計測管理計画

5-1 計測管理計画

防護工の構築により、トンネル全体の機能維持と新幹線の安全・安定運行の維持を確保することが可能となった。しかし、東海道新幹線直上トンネルでの大規模盛土造成工事というこれまでわが国では実績のないプロジェクトであり、既設トンネルの初期応力度やトンネル周辺地山の物性(とくに変形係数)などの不確定要素がトンネル全体の機能維持に大きく影響することから、空港造成工事中のトンネルの挙動を緻密に厳しく管理する必要があった。トンネル断面の変形を計測管理する内空変位計の管理基準値(予測解析結果と照合し、適切な対応を取るための値)と管理限界値(列車の抑止・徐行手配するための限界値)を表-1に示す。なお、軌道変位については管理基準値レベルIを軌道整備時の仕上がり目標値(高低狂い3mm/10m弦)とし、これを超過した時点で夜間に軌道整備をすぐ実施できるように体制整備することとした。

5-2 計測時の課題と対策

当該トンネルは新幹線が270km/hで1日に300本近く通過するトンネルであることから、次の課題があった。

表-1 トンネル内空変位の管理値

| | | 管理基準値 (単位: mm) | | | | |
|------|----|-------------------|------|------|-------|--------------|
| | | 管理基準値 | | | 管理限界値 | |
| 管理測線 | | I | II | III | 水平測線 | 斜め測線 |
| | | 盛土区間 | 斜め | | | |
| 切土区間 | 水平 | -1.5 | -2.0 | -2.5 | ±7.0 | +6.0 -5.0 |
| 防護区間 | 斜め | | | | | |

このため、信頼の持てる計測環境が整うまでトンネル影響範囲の盛土切土工事の施工をしないこととし、次の対策を実施した。まず、列車走行に伴う振動などの影響の除去は計測器のシステム上の工夫により対処した。一方、計測機器固定の緩みや汚れなどの除去については列車振動と異なり数日あるいは数週間かけて、(計測値上の)見かけ変位として現れるため、ひとつひとつ原因を探索し、計測機器内部固定の強化や汚れの影響が顕著にならない計測機器清掃サイクルを見出すことなどにより除去した。なお、これらの見かけ変位はトンネル上部工事が施工されていないので、見かけ変位と判断できたが、仮にトンネル上部工事が施工されていたらトンネルの実変位と判断することとなった点を特筆しておきたい。なお、日変動や計測器自体の誤差は除去できなかったが、合計で約0.3~0.5mm程度であり管理値と比較して小さいことから除去不能な誤差として扱うこととした。

5-3 既設トンネルの季節変動

前述の対策により列車振動などの影響や見かけ変位は除去できたが、トンネル内空変位計において年間の季節変動が最大で約4mmあることがわかった。この季節変動は計測8断面において、冬季から夏季にわたり、徐々に水平測線が縮小し、斜め測線が伸張するといった傾向が認められ、さらに夏季から冬季にかけては測線の変位が反転するといった傾向が認められた。この変位量は坑内温度と高い相関関係があり、トンネル内空の温度変化に伴う覆工コンクリートの体積変化の影響であることを温度応力解析にておおむね再現するこ

とができた。このことを踏まえ、内空温度の変化による温度補正を実施した結果、年間を通じて安定した値が計測できるようになった。

6 計測管理結果

6-1 トンネル防護工の挙動と効果

トンネル防護工の挙動について、防護工アーチ歪みと基礎地盤変位の計測結果の一例を図-12に示す。なお、図-12の時点で防護工上部の盛土は標高約133mまで施工されている。

アーチ発生歪みから、歪みはアーチの軸方向に沿って発生しており、アーチアクションの発生がわかる。なお、軸力は大きいところで約3N/mm²であり、高強度気泡軽量モルタルの設計基準強度10N/mm²と比較し十分小さい。また、地中変位

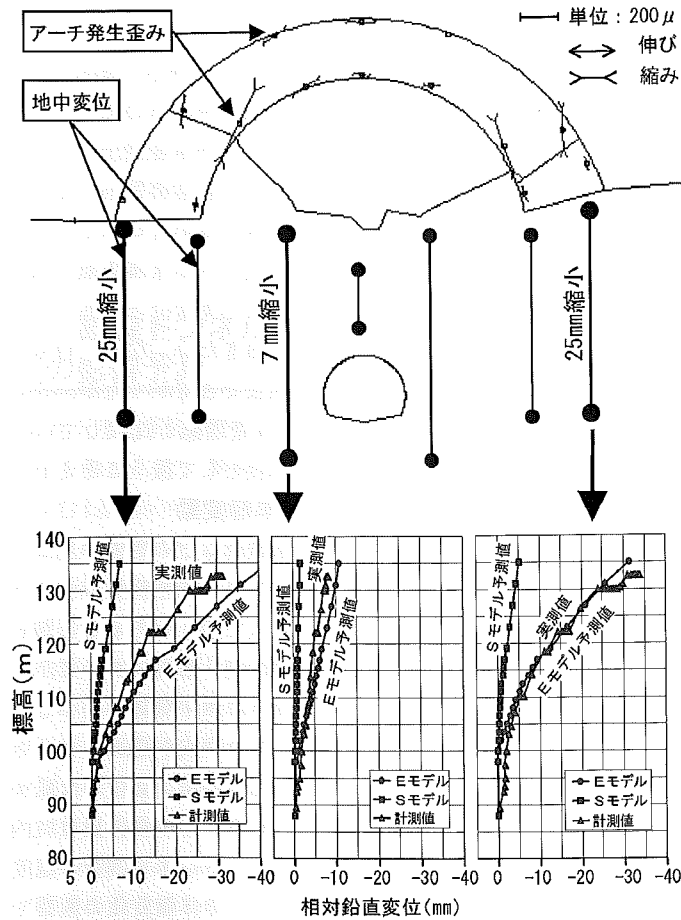


図-12 トンネル防護工挙動の計測管理結果

(地中変位計下端を固定点とした場合の地中変位計上部の変位)からアーチ脚部はアーチ内側の地盤と比較して大きく沈下していることから、アーチアクションにより盛土荷重がアーチ脚部つまり、トンネル側方へ分散されていることがわかる。なお、E,Sそれぞれの地盤モデルを用いた予測解析結果と実測値を示したグラフから、盛土の進捗に従い予測解析どおり地中変位が進んでおり、地盤はおおむね設計で設定した物性を有していると考えられる。

6-2 既設トンネルの挙動と軌道への影響

6-2-1 既設トンネルの挙動

図-13(a)に切土工事に伴うトンネル内空の変位の経時変化を、(b)にトンネル路盤高さの変化を、(c)に防護工設置区間における盛土工事に伴うトンネル内空変位の経時変化を示す。

防護工区間においては、図-13(c)に示すように標高133m付近まで盛土が施工されたが、管理基準値レベルIに達することはなく、おおむね予測解析どおりと考えている。近接盛土に対し無対策とした箇所において、管理基準値レベルIIに達し、上部盛土施工の影響が認められることを鑑みると、防護工効果が発揮されているものと考えている。

切土断面の内空変位については、図-13(a)に示すように水平方向の測線の縮小、斜め測線の伸張が認められる。この傾向は、予測解析における変形と同じである。なお、水平変位が予測解析の結果と比較して大きく、管理基準値レベルIIIを超過したことからトンネル覆工の打音検査およびクラックの進展調査を実施し、トンネル覆工には全く異常ないことを確認したうえで切土を再開した。なお、内空変位量と切土高さ変化量との間には比例関係が認められることから、トンネル影響範囲の切土を一定量で水平に施工するよう請

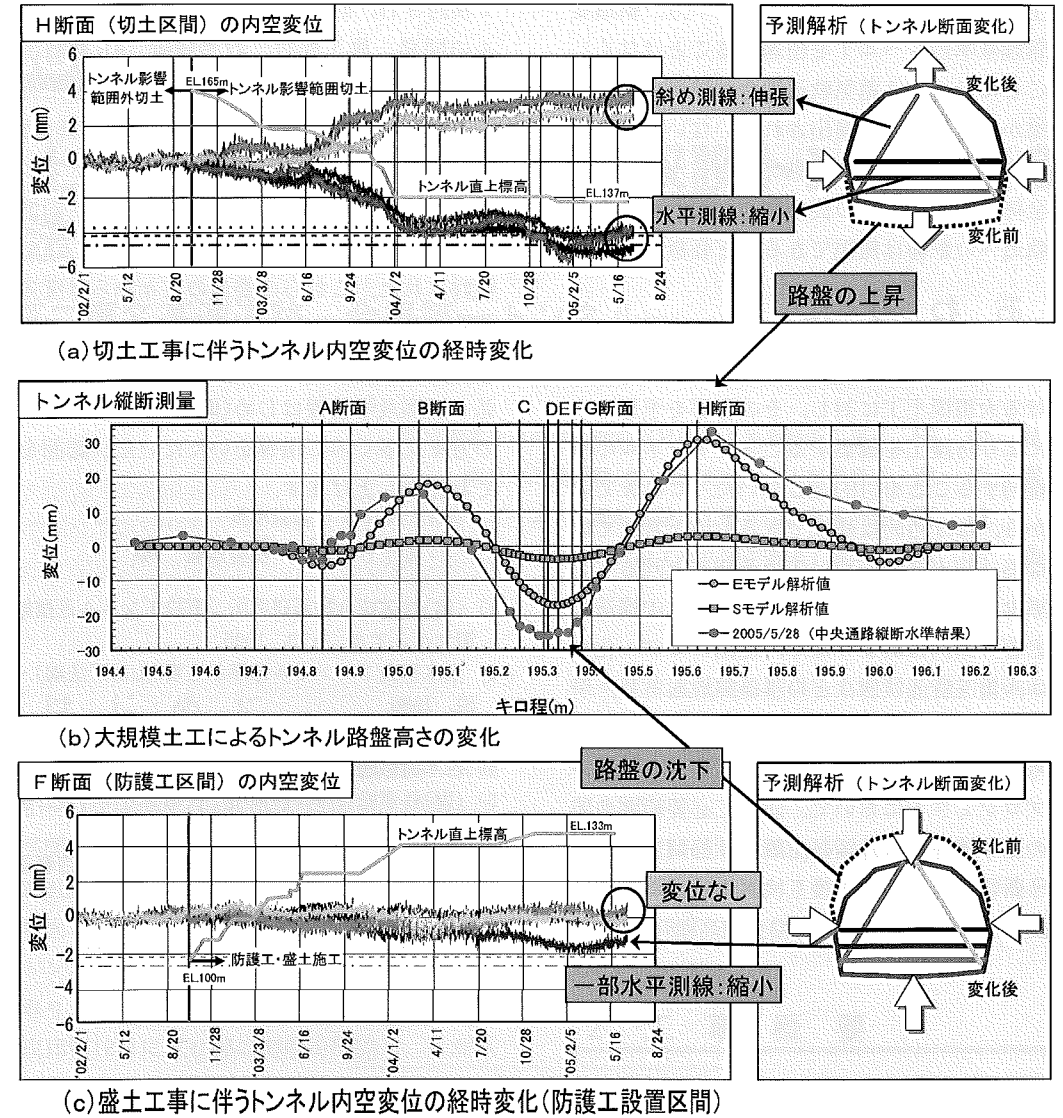


図-13 トンネル路盤変位と内空変位

岡県に要請し、内空変位が急激に変化しないようにした。これにより、安全係数を約1.8として設定した覆工コンクリートの応力度制限値に対し十分な余裕をもって、計画的に打音検査を実施することができた。切土の変位量が予測値と比較して大きくなった原因の特定は困難だが、切土がおおむね終了(空港滑走路面計画高さまで残り約2m)し、切土の影響による変位は収束しており、その変位量もトンネル幅に対して0.05%程度と小さく、7回実施したクラック進展調査からも変状は認め

られない。これらのことから「東海道新幹線第一高尾山トンネル防護工施工技術委員会」においてトンネルの安全性と使用性に問題はないと判断され、トンネル監視体制を半年に1回スプリングラインに限定した打音検査を実施することに緩和している。

6-2-2 トンネル路盤、軌道への影響

月1回実施しているトンネル縦断測量から、図-13(b)に示すようにトンネル路盤鉛直変位は予測解析どおり防護工・盛土区間で沈下し、切土区

間で上昇していることがわかった。一方、軌道変位は管理基準値レベルIを超過することはなく、10日ごとに走行する電気軌道総合試験車の軌道測定結果からも異常値は検出されていない。つまり、予測解析どおりの路盤の挙動が発生したが、トンネル全体としては波長の長い緩やかなたわみのため、軌道への影響は無視できるほど軽微であった。

7 おわりに

本プロジェクトは、東海道新幹線トンネル直上における大規模土工に対し、その影響を予想し、必要により防護工を構築することでトンネルの機能を維持することを目的としていた。これまでの結果から、ほぼ目的は達成できるものと考えている。なお、切土区間においては予想を上回るトンネル挙動が発生した。大規模な切土の地中構造物への影響計測例はあまりなく、地山のモデル化やトンネル覆工背面状態などの不確実性もあり、予測解析は困難と思われるが、本工事での計測結果が参考になれば幸いである。

本プロジェクトにおいて、防護工必要範囲や防護工の基本構築案は静岡県主催の「静岡空港建設に伴う新幹線トンネル防護工検討委員会：三谷健委員長・(社)日本建設機械化協会最高顧問(当時)」

で検討され、防護工設計や高強度気泡軽量モルタルの開発、施工検討、計測管理はJR東海主催の「東海道新幹線第一高尾山トンネル防護工施工技術委員会：西岡隆委員長・筑波大学名誉教授」, 「同構造(地震)分科：西岡主査」, 「同トンネル分科：岡田勝也主査・国士舘大学教授」, 「同地盤分科：龍岡文夫主査・東京理科大学教授」において検討された。これらの委員の方々からは度重なる的確で懇切なご指導をいただき、また、具体的な構造計算と地盤工学上の検討にあたっては朝倉俊弘・京都大学教授はじめ(財)鉄道総合技術研究所の方々にも多くのご指導をいただいた。誌面を借りてお礼申し上げます。

参考文献

- 1) (財)鉄道総合技術研究所：既設トンネル近接施工対策マニュアル, p.73, 1995.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書(山岳工法編)・同解説, 1986.
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書, 1986.
- 4) 日本国有鉄道：国鉄建造物設計標準, 第31項, 1983.
- 5) (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計, 1999.10.
- 6) 庄野昭・野田豊範・高木政道：高強度気泡軽量モルタルをマッシブなアーチ構造物に適用, コンクリート工学, Vol.42, No.6, pp.48-54, 2004.6.

『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)

施工

小土かぶりの超近接大断面双設トンネルをCD工法で貫く

—第二東名高速道路 今里第一トンネル—

中日本高速道路(株)横浜支社沼津工事事務所工事長 田中貞俊

中日本高速道路(株)横浜支社沼津工事事務所 池田克樹

清水建設・アイサワ工業・ピース三菱特定建設工事共同企業体所長 志岐寛

清水建設・アイサワ工業・ピース三菱特定建設工事共同企業体工事課長 本村浩志

1 はじめに

今里第一トンネルは、第二東名高速道路の御殿場JCT～長泉沼津IC(仮称)間に位置し、山岳トンネル区間230m、開削トンネル区間164mを含めて、全長394mで、山岳区間の掘削断面積は約206m²の大断面トンネルである(図-1)。

本トンネルは、上り線と下り線が非常に近接し、土かぶりも小さいトンネルである。

平成15年12月に下り線の掘削を開始し、計測結

果や原位置試験の結果をもとに、当初計画の見直しを図りながら効率的な施工を行い、とくに大きな変状もなく、平成18年3月に上下線の掘削を完了した。

本稿では、溶岩地山における小土かぶり・超近接の大断面双設トンネルの設計・施工方法を述べるとともに、その力学的挙動特性について報告する。

2 工事概要

今里第一トンネルは、裾野市の準工業地帯を通過しており、民間研究施設(3階建て研修棟・8階建て宿泊棟)の下部および民間工場施設の直近を土かぶり10～17mで通過し、上下線のトンネル間隔が4～6mの超近接の大断面双設トンネルである。

トンネル周辺の地質は、自立性の低い未固結状の自破碎溶岩層を含み、変形能は高く、トンネル掘削に起因する地表沈下などによる建物への悪影響が危惧された。また、このような地質条件下でのセンターピラー部の力学的安定性の確保は、双設トンネル成立のための基本条件であった。

このため、掘削に先だち、地表から自破碎溶岩

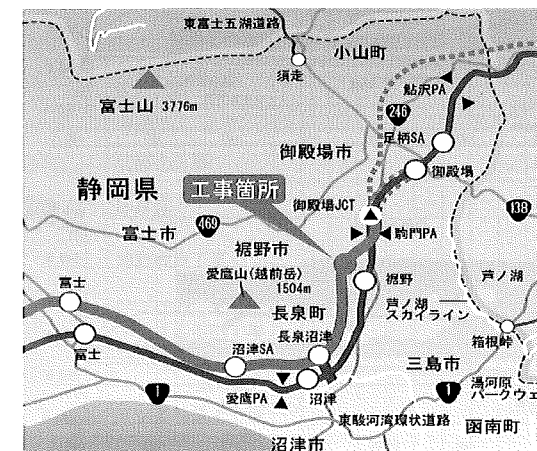


図-1 位置図

P_a = 水押し圧力, α = 係数(0.5)

H = 注入深度

として開始したが、すぐに規定注入圧力(水押しの結果 1 MPa程度)に達し、ほとんど注入されなかったため、以後の試験では規定注入圧力を 3 MPaに上げて行った。

試験工場の課題として残った、砂分の多い地質部の対策は、実際のトンネル位置で試験施工を行い、周辺状況を確認したうえで経済的な注入仕様を検討することとした。

(3) 注入パターン

試験工事では、群孔試験として1辺長4.5mの正三角形内に10孔の注入孔を配し(最終孔間隔1.5 m)、これを1~4次に分け逐次、間隙率(40%)から想定される注入量の4倍(1孔あたり改良対象体積×40/100×4)を上限として注入を行った。

この結果、礫混じり砂部や多孔質部には、隙間なく超微粒子セメントの浸透が確認されたが、注入範囲の下部に締まった細粒部の分布した層では、浸透が不十分であった。また、注入状況、リーク状況および注入完了状況から判断すると、試験工事の上限注入量は、やや過大であったと判断された。

一方、事後ボーリングによる変形係数の値は、試験11点中10点で目標値を上回る結果であった。

この試験工事の結果を参考に、実施工における注入パターンは以下のように計画した。

対象地盤の平均間隙率を40%とし、図-4に示すように、注入パターンはA, Bの2種類とした。図中太線は改良対象面積を示す。

注入工A: 地盤改良部の外周部に注入孔間隔1.5mで1列を配置。上限注入量は、外周部で確実な注入が要求されることから、間隙率から想定される注入量の4倍である6,240 l/mとした。

注入工B: 外周に囲まれた内部に注入孔間隔3.0mで配置。上限注入量は、想定される注入量の2倍である6,240 l/mとした。

深度方向の注入間隔は、注入工A, Bともに3

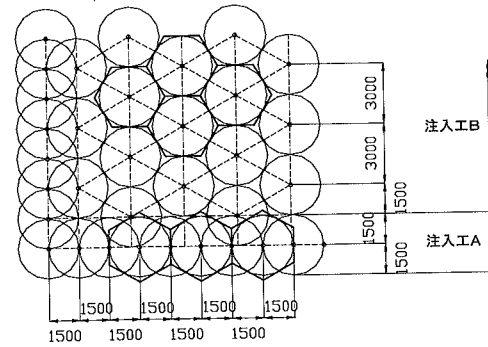


図-4 本施工における注入孔配置

か所/m(33cmピッチ)とした。

施工順序は、注入工Aを先行し、これが完了したところから注入工Bを実施した。

4-2 地盤改良範囲・注入材の見直し

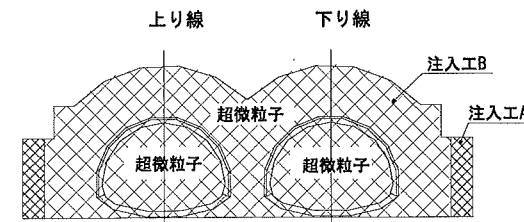
地盤改良工は、未固結の自破碎溶岩層を改良対象とし、トンネル内とその外周7mの範囲を超微粒子セメントで改良する計画で開始した。

地盤改良工を開始するにあたり、平成14年1~8月までの期間、本施工の範囲内において試験施工を行い、開削調査を行った。その結果は以下のとおりであった。

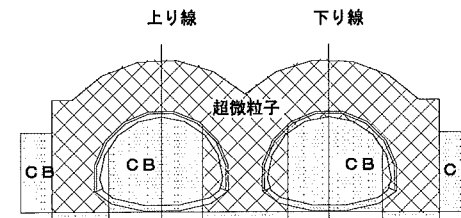
- ① 当初想定していた地山間隙(40%)より不均一性が高かったことが判明した。
- ② 注入材は間隙の大きい層に偏り、間隙が小さい層には充填が不十分であったことを確認した。

この解決策として、超微粒子セメントの散逸防止を目的としてブリージングの少ないCB(セメントベントナイト)による隔壁を縦断方向12mごとに設けるとともに、トンネル両端部と底盤部にもCBによる隔壁を設け、間隙の小さい部位への確実な注入ができるようにし、同時に、経済性を考慮してトンネル断面内の注入材をCBに変更した。

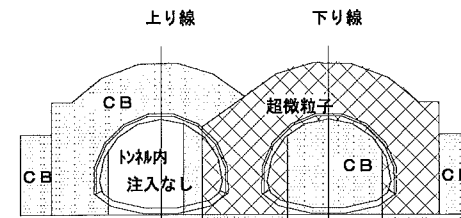
さらに、このCB改良体の変形係数を原位置試験で確認したところ、改良目標値の200MN/m²を満足する結果が得られたため、トンネル外周部をCBで注入し、トンネル断面内の注入は取りやめ、確実な注入改良が要求される民間研究施設の下部とセンターピラー部を超微粒子セメントにすることにより、経済的な注入工を可能とした。



(1) 超微粒子による改良(当初)



(2) CBによる隔壁, トンネル内CBに変更



(3) 上り線 外周CB, トンネル内注入なしに変更
図-5 改良範囲の変遷

4-3 地層判別システムを用いた注入の効率化

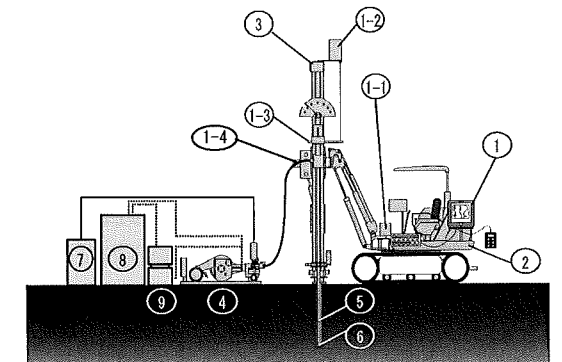
本トンネルの地質構造は複雑で、注入範囲も上下線にわたることから、注入工を行いながら注入範囲を特定することが可能な地層判別システム(ITS: Imazato Tunnel Sounding system)を開発・導入した。

このシステムは、表-2に示すように、削孔機に取り付けた各種センサーからのデータをリアルタイムに測定・解析することが可能であり、玄武岩溶岩部と自破碎溶岩部を判別できることから、削孔と同時に注入対象層である自破碎溶岩部が特定できるようになり、注入範囲を限定した効率的な注入工を可能にした。

削孔はロータリーパーカッション方式で行い、5 mm削孔ごとにデータを取得し、処理の段階で20データ(10cm分)の中央値を評価位置のデータとして採用した。

図-3の①は調査ボーリングをもとに当初想定したトンネル部の地質縦断図を、②はITSを用いて確認された地質縦断図を示す。図中の着色部分は、注入対象の自破碎溶岩である。

両者を比較すると、当初想定では、数本のボー



| 番号 | 名称 | 番号 | 名称 |
|-----|-------------|----|---------|
| 1 | 地盤判別システム計測器 | 4 | 送水ポンプ |
| 1-1 | センサー(圧力) | 5 | ロッド |
| 1-2 | センサー(深度) | 6 | ビット |
| 1-3 | センサー(回転) | 7 | 発電機 |
| 1-4 | センサー(打撃) | 8 | 水タンク |
| 2 | クローラー式削孔機 | 9 | グラウトミキサ |
| 3 | ドリルヘッド | | |

図-6 地層判別システム(ITS)

表-2 地層判別システムの測定パラメータ

| パラメータ | 表示名称 | 単位 | センサ最大 | 説明 |
|-------|-----------|-------------------|--------|--|
| | | | スケール | |
| 送水圧 | MUD_PRESS | N/mm ² | 3.5 | 削孔水送圧力 |
| トルク | TORQUE | N/mm ² | 15 | ビット回転機構駆動油圧(トルクを発生させる油圧であって、トルクそのものではない) |
| スラスト | THRUST | N/mm ² | 15 | フィード回転機構駆動油圧 |
| 保持力 | PULL_UP | N/mm ² | 15 | フィード機構背圧 |
| 時間 | TIME | s | 8 | 5 mm削孔に要した時間 |
| 削孔速度 | SPEED | m/h | 4,095 | ビット前進速度(= 5 mm/TIME) |
| 回転数 | ROTATION | Teeth | 65,535 | ビット回転機構駆動ギア歯数(5 mm削孔中に回転したギア歯数) |
| 打撃数 | 打撃数 | 回 | 65,535 | ピストン打撃回数(5 mmあたりの打撃数) |
| ビブラソル | VIBRASOL | G | 5,000 | 打撃削孔時のドリフター振動加速度 |

リングデータからの地層推定であるため層状構造としていた地質が、実際には、玄武岩溶岩と自破砕溶岩が複雑に混じり合いながら互層構造を呈していることがわかる。

4-4 地盤改良効果

地表からの地盤改良を終了した段階で、調査ボーリングを実施し、改良状況、変形係数、改良割合を確認した。

(1) 超微粒子セメントによる改良

調査ボーリングの結果、超微粒子セメントを注入した注入対象層は、十分な改良がなされており、改良割合はほぼ100%であった。変形係数は改良目標値を十分に上回る2,000MN/m²程度であった。

(2) セメントベントナイト(CB)による改良

CBにより改良された部分の変形係数は、200MN/m²程度であり、改良目標値は満足したが、調査ボーリングのコアをみると未改良の部分が存在し、改良割合は60%程度と低く、超微粒子セメントに比べて確実性に劣る結果となった。

4-5 地盤改良時の構造物隆起

不良地層に対する強度には良好な結果が得られた地盤改良工であったが、注入中に直上にある市道の一部が隆起した。

市道1-13号線は、東京方坑口に近いトンネル上を土かぶり約10mで交差している。この市道直下をCBで斜め注入していた際、道路センター付近で幅4m、長さ5mの舗装面が5cmほど隆起した。これは注入箇所下部に玄武岩の層があり、

CBが下方に流れず地表へリークし、舗装と路盤の間に浸透したことが原因であった。対策としては、浸透性の低いCBをセメントミルクに変更し、地表面の計測を自動化し強化した。注入圧についても、これまでより低い2MPaから開始し、計測の結果に異常がなければ、上限注入圧を2.5MPaに変更することとし、その後は市道に異常は認められなかった。

5 トンネル掘削

トンネル掘削は、地盤改良工が終了に近づいた平成15年12月に、下り線の先進坑から開始した。

5-1 当初計画における施工方法

当初計画のトンネル支保パターンは、図-7に示すとおりである。

掘削方法は、トンネルと地表面の変位抑制、切羽の安定確保を目的として、1つの断面を先進坑3分割、後進坑3分割の6分割で掘削するCD工法を計画した。また、超近接トンネルのセンターピラー部は、PCボルトで緊張力(初期:100kN、最終:300kN)を与え、地山強度を保持する計画であった。

主要支保部材は、高強度吹付けコンクリート(圧縮強度36N/mm²)と高規格鋼アーチ支保工(SS540相当HH-200、中壁はHH-150)とした。

掘削方法は、自由断面掘削機(ロードヘッド)を主体とした機械掘削とセリ矢方式による割岩工法を併用する計画とした。

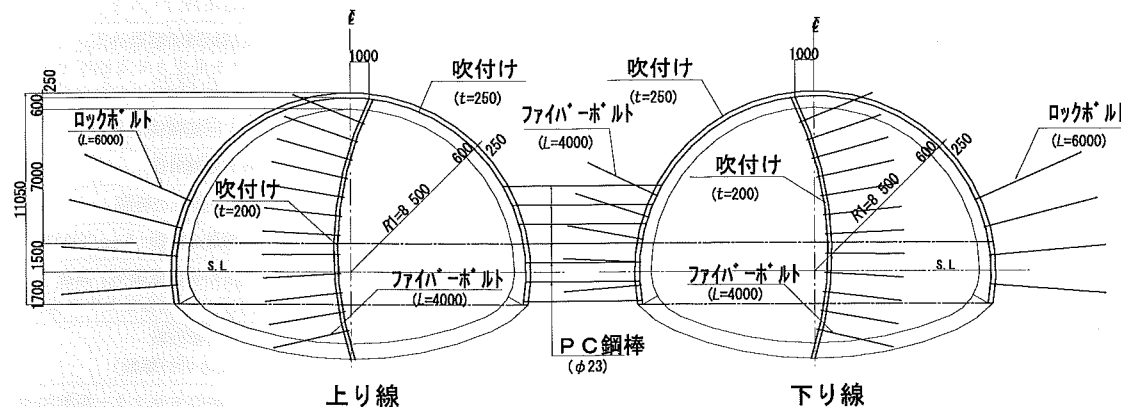


図-7 当初支保パターン

表-3 トンネル支保構造一覧

| 名称 | 区分 | | 備考 |
|-----------|-------------|---------|-------------------------------|
| | 本体 | 中壁 | |
| 吹付けコンクリート | t=250mm | t=200mm | $\sigma_{28}=36\text{N/mm}^2$ |
| 鋼アーチ支保工 | HH-200 | HH-150 | SS540相当 |
| ロックボルト | L=4m (ピラー側) | L=4m | ファイバーボルト、耐力170kN以上 |
| | L=6m (外側) | - | 耐力: 上半290kN以上、下半170kN以上 |
| PCボルト | L=4.7~6.4m | - | C種1号 $\phi 23$ (実施工では取り止め) |



写真-2 自由断面掘削機による掘削状況

5-2 掘削方式の変更

当初計画における割岩工法は、ホイールジャンボで大口径($\phi 100\text{mm}$)の孔を細かいピッチで穿孔し、ベースマシンに取り付けた油圧セリ矢で自由面に沿って岩を割っていく方法である。

割岩工法は、振動・騒音を抑えることができる工法として当初計画していたが、明り掘削の作業実績から玄武岩溶岩は非常に堅硬で亀裂も少なく、100N/mm²程度の強度を有し、割岩工法による効率的掘削は困難であることが判明した。また、自由断面掘削機では、自破砕部分の改良体を掘削することは可能であったが、玄武岩溶岩部では掘削が非常に困難であることから、機械掘削と制御発破を併用した掘削方式に変更した。ここでの制御発破は、振動・騒音を抑えるために、1孔ごとに起爆時間に秒時差を設ける多段式雷管を採用し、1孔あたりの火薬量を一定量以下に制限した。

掘削順序は、まず自破砕溶岩部分を自由断面掘削機で掘削し、発破対象の面積を減らすとともに自由面の形成を行い、残った玄武岩溶岩部分だけを発破した。また、トンネル上部にある民間研究施設には、8階建ての宿泊棟が併設されているため、施工における制約を受け、深夜から朝にかけての発破は不可能となり、作業サイクルの調整を余儀なくされた。

しかし、この掘削方式へ変更することで、トンネル全線に分布している玄武岩溶岩に発破工法を適用でき、「高効率」の掘削を可能にした。

5-3 CD分割数の変更

トンネル掘削は、民間研究施設の建物に近い下り線の先進坑から開始した。先進坑の上半、下半の掘削を終えた時点で、次のような知見が得られた。

- ① トンネルの内空変位、天端沈下は最大でも5mm程度(最終的には6mm程度)、地表面沈下は2mm程度(最終的には3mm程度)と少なくともトンネルは安定している。
- ② 民間研究施設の建物に取り付けた沈下計の値は、最大で2mm程度(最終的には3mm程度)と小さい値であった。
- ③ 切羽観察から、地盤改良の状況は、非常に良好であり、計画どおりの注入効果が得られた。CBによる注入部分には、先のボーリング調査と同様、一部未改良の部分が見受けられたが、全体的に良好な改良が確認され、切羽は自立した。

以上の結果を踏まえて、以降の掘削を、次のように変更した。

- ① 下り線では、既に上・下半の先進坑が完了していたことから、引き続き、後進坑の上・下半を掘削し、インバート部のCD分割は取りやめ、5分割によるCD工法で施工した。
- ② 上り線の建物に近い部分では、上半を2分割で施工したが、下半、インバート部はCD分割を取りやめ、4分割によるCD工法で施工した。
- ③ 上り線で建物の影響が少ない箇所より、

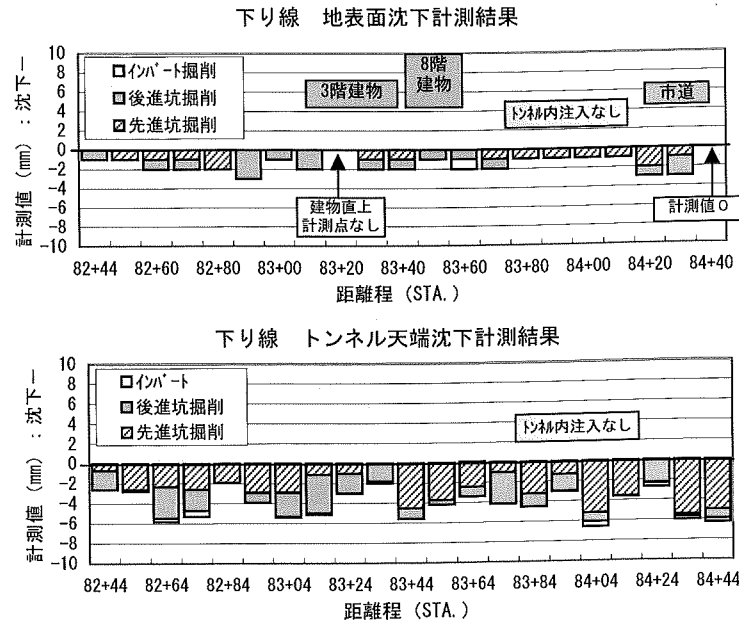
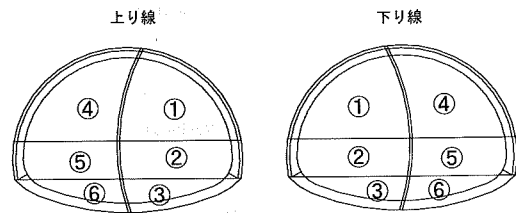
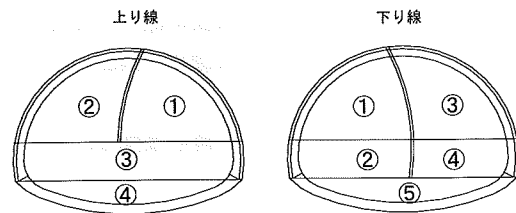


図-8 地表面沈下・天端沈下計測結果

1. 当初計画 (CD6分割)



2. 実施工 (CD4~5分割)



* 上り線約70mは、上半の中壁も取止め (CD3分割)

図-9 CD分割の変更

CD分割を取りやめ、上・下半、インバート部を3分割とした上半先進工法で施工した。平成18年3月末現在、掘削は終了したが、民間研究施設の計測値やトンネルおよび地表面の計測値に大きな変位は見られなかった。

上半2分割から全断面の上半先進工法への変更

は、以下の検討、実績にもとづき行った。

上り線で建物に近接した部分の掘削を終えたことで、上半2分割掘削を見直すことを検討したが、トンネル断面内の注入改良を取りやめた範囲内であり、天端部に自破碎溶岩が分布していたことから、補助工法なしに全断面による上半先進工法への変更は危険であると判断し、上半2分割にて掘削を継続した。その後、天端部に玄武岩溶岩の分布を確認し、残り約70mとなった範囲を全断面による上半先進工法へ変更した。

5-4 センターピラー部の補強

本トンネルの上下線離隔は、4~6m程度と非常に近接しているため、センターピラー部における力学的安定性の確保は、超近接トンネルが成立するための絶対条件である。

このことから、トンネル掘削に先だち施工した地盤改良工では、民間研究施設建物の下部とセンターピラー部は確実性の高い超微粒子セメントにより改良を行った。

(1) PCボルトによる補強計画

センターピラー部の補強方法については、当初計画段階でFEM解析を実施し、以下のような解析結果を得た。

- ① センターピラーの側方への変形拘束は、ピラー部地山のひずみと地表沈下の抑制に有効である。
- ② 拘束圧を変化させた試行解析から、拘束圧は300kN/m²程度が上限である。
- ③ 掘削初期の段階で大きな拘束力を作用させると、分割掘削との境界で、大きなひずみの遷移が生じ、支保構造および周辺の地山安定に悪影響を及ぼす。
- ④ 拘束時期、範囲、拘束圧を変化させた試行解析から、上下線の先進坑を掘削した後に、低めの拘束圧を載荷し、後進坑断面閉合時に

上限の拘束圧を載荷する方法がもっとも有効である。載荷位置は、上半盤より3mの範囲内とするのが拘束効果としては高い。

これらの結果にもとづいて、図-7に示すようなPC鋼棒(φ23, C種1号)のボルト配置を計画した。

施工範囲は上半部3mと下半部とし、ボルト間隔は1m, 1断面あたり7本とした。トンネル軸方向のボルト間隔も1mとし、受圧板(C-200×90×8)で横方向に連結する構造である。

載荷時期は、先進坑の上半断面を掘削した後に、上半部のPC鋼棒を施工して初期載荷(100kN)する。下半も同様に、先進坑の掘削後に、下半部のPC鋼棒を施工して初期載荷を行う。最終的に上下線の後進坑のインバート閉合が完了した時点で、最終載荷(300kN)を行うが、載荷圧は計測データによる拘束効果を確認しながら判断することにした。

(2) センターピラー部の改良結果

トンネル掘削時の切羽観察により、センターピラーに近い側で超微粒子セメントによる改良体が形成されており、その改良割合も高く、計画どおりの改良がなされていることを確認した。

また、下り線の先進坑掘削後に、センターピラーに向かって4本の水平ボーリングを実施し、そのコアを使って強度試験を実施した。その結果、硬質な自破碎部分では、亀裂に超微粒子セメントの注入が確認され、一軸圧縮強度は40,000kN/m²であった。脆弱な自破碎部分でも、十分に超微粒子セメントが注入されており、7,400~18,700kN/m²の強度が得られた。

(3) センターピラー部の安定性評価

この時点までに得られた、地表面の沈下、重要建物の沈下計測結果、孔内載荷試験や一軸圧縮強度試験結果、切羽における超微粒子セメントによる改良状況などから、センターピラー部は、計画以上の改良体が形成できたことを確認した。

また、センターピラー部の自破碎溶岩改良体における一軸圧縮強度は、7,400kN/m²以上であり、図-10に示すように、超近接トンネルセンターピ

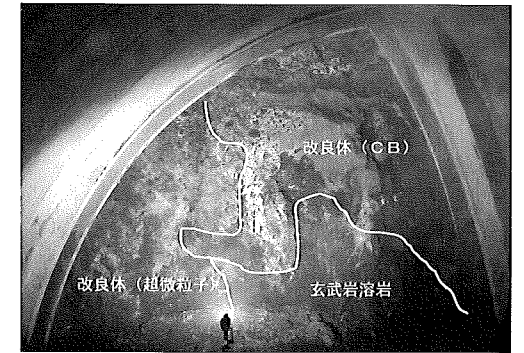


写真-3 切羽における改良状況

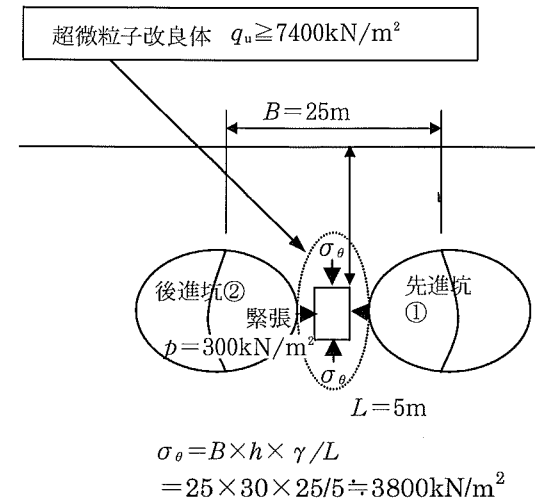


図-10 センターピラー部の応力状態

ラー部に作用すると考えられる最大地圧の3,800kN/m²をはるかに凌ぐ結果となり、最大300kN/m²のPC鋼棒による拘束をすることなく、力学的安定を確保できることを確認した。

以上のことから、センターピラー部の補強は、システムロックボルトによる方法に変更し、内空変位、天端沈下、地表面沈下の計測工により超近接トンネルの力学的安定を確認することにした。

またセンターピラー部には、上り線先進坑の掘削後、7か所に軸力計を設置し、後進坑および下半、インバート掘削による影響を自動計測により確認した。

センターピラーに設置した軸力計の最大値は引張で20kN程度と小さく、内空変位、天端沈下、地表面沈下に異常は認められず、トンネルの力学的安定は確保できた。

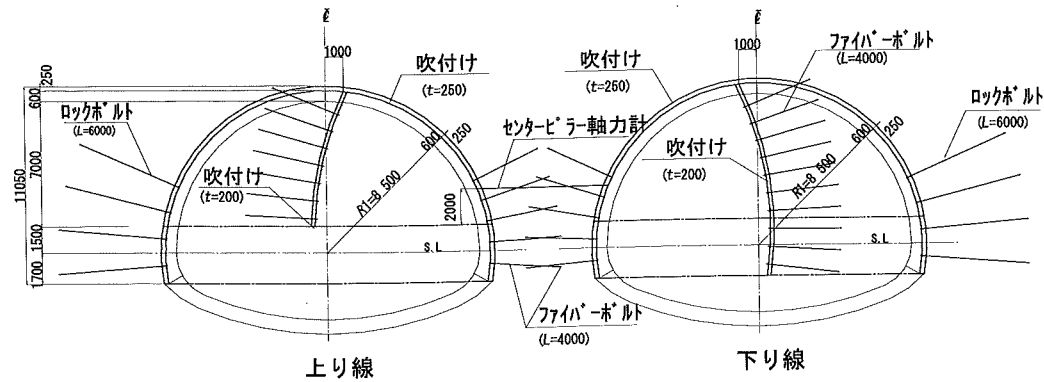


図-11 ピラー軸力計と変更支保パターン

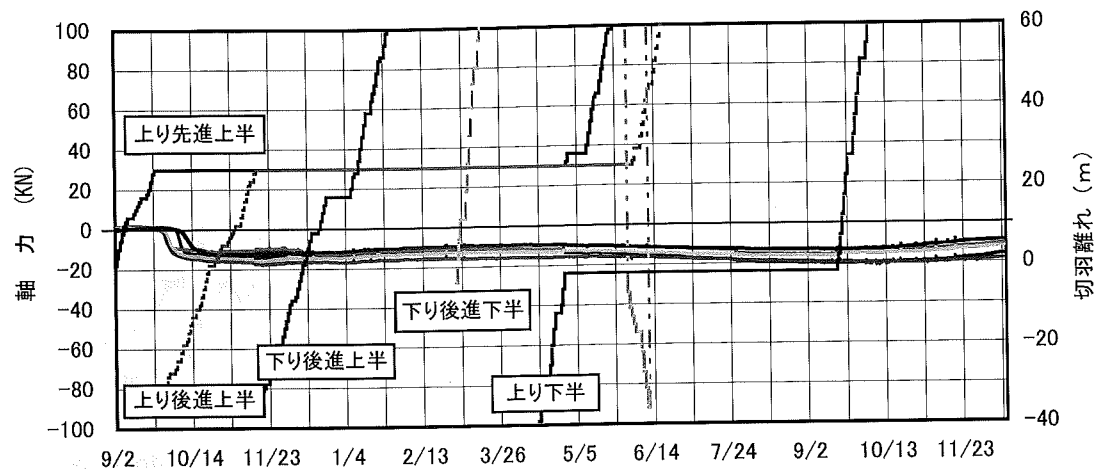


図-12 センターピラー軸力計計測結果

6 おわりに

小土かぶり自破砕岩層を通過する超近接大断面双設トンネルを事前の注入工とCD工法を採用して、情報化施工のもと、効率的な施工ができた。

この今里第一トンネルの施工を通して、以下のことが明らかになった。

(1) トンネル周辺に分布する裾野溶岩層の未固結状自破砕岩は、地表からの超微粒子セメントの注入により、当初目標としていた変形係数(200 MN/m²)を十分に満足する地盤改良ができた。その結果、当初計画の一部を見直すことで、より効率的な施工を可能とした。

(2) トンネル直上の民間研究施設建物周辺や超近接の双設トンネルに挟まれたセンターピラー部は、確実性の高い超微粒子セメントによる改良を

行った。それ以外は、より経済的なセメントベントナイトを注入し、重要度に応じた注入材の使い分けができた。また、建物への影響が少ない場所では、トンネル断面内の注入を取りやめることで、効率的かつ経済的な注入改良が可能となった。

(3) 民間研究施設や民家が近接したトンネル掘削であったが、機械掘削方式に加え、多段式雷管の採用と薬量制限による爆破工法の併用により、効率的な掘削を可能にした。

(4) 計測結果や切羽での注入改良状況、民間研究施設との位置関係などを考慮し、民間研究施設建物直下を通過する下り線では5分割CD工法を、これに近接する上り線では4分割CD工法と上半先進工法を採用することにより、掘削工期の短縮ができた。

(5) 上下線の離隔が4～6mと非常に狭い超近

接の双設トンネルであったが、センターピラー部を超微粒子セメントで改良したことで、当初計画以上の改良体を造成できたため、PC鋼棒による載荷拘束を行うことなく、超近接双設トンネルの力学的安定を確保することができた。

現在、今里第一トンネルは上り線のインバートコンクリートの施工を順調に進めており、トンネルの完全閉合まで残りあとわずかである。

本トンネルのような、厳しい条件によるトンネル工事は、今後更に増加すると考えられるが、地盤改良工などの補助工法やCD工法を採用するに

あたって、今回の施工結果が参考になれば幸いである。とくに今回、上下線の離隔が4～6mといった超近接大断面双設トンネルを掘削したが、センターピラー部分の地山強度を十分に確保できれば、この程度の離隔でもトンネルの安定は確保できることを証明した。

最後に、本工事にあたり「第二東名高速道路愛鷹地区トンネルの設計・施工に関する検討委員会」今田徹委員長をはじめとした委員会委員ならびに関係各位より、貴重なご意見をいただいたことをここに記して、感謝する次第である。

P.A.ドミニコ, F.W.シュワルツ著

地下水の科学

各B5判
全3巻

地下水の科学研究会 大西 有三 監訳

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

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

<第I巻 主要目次>

■序論 ■岩石における空隙の起源と透水性 ■地下水の動き ■岩石の弾性的な性質と流れの方程式 ■水理試験 (モデル, 方法と応用) ■溶質と粒子の輸送 ■汚染物質の水理地質学入門

<第II巻 主要目次>

■地下水の化学 ■化学反応 ■物質輸送の数理理論 ■地下水による物質輸送 (水質編) ■地下水による物質輸送 (地質編) ■物質の輸送のモデル ■輸送プロセスとパラメータ同定 ■水質浄化の対策

<第III巻 主要目次>

■水資源 ■堆積盆水環境における地下水 ■地殻における地下水 ■地下水流動における熱輸送

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



■平山復二郎と河野康雄

1933(昭和8)年、東京帝国大学を卒業して鉄道省に入省した河野康雄は、平山復二郎が所長を務めていた熱海建設事務所に配属され、その薫陶を受けた。河野は平山より20歳以上も離れた後輩であったが、その後も平山を師と仰ぎ、長じてパシフィックコンサルタンツの3代目の社長となって平山の衣鉢を継いだ。また、戦争の最中に隧道技術講習所を創設し、戦後のトンネル技術の発展へとつながる技能者を養成した功績者でもある。今回は、平山の一番弟子とも言うべき河野康雄の足跡を紹介してみたい(写真-1)。

■土木技術者としての河野康雄

河野康雄は、1909(明治42)年8月18日に兵庫県高砂市で鉄道院技師をしていた父・繁一(明治37年・京都帝大土木卒、のち神戸鉄道局工務課長)の二男として生まれ、福岡県立小倉中学校、第五高等学校を経て1933(昭和8)年3月に東京帝国大学土木工学科を卒業した。同年、鉄道省に入省して熱海建設事務所二俣在勤となり、当時建設が進められていた二俣線(現・天竜浜名湖鉄道)の建設に従事した。その後、たびたび軍隊に応召されたが、1941(昭和16)年に召集解除となって熱海地方施設部に復帰し、1943(昭和18)年には同副長となった。

熱海地方施設部は、丹那トンネルを含む東海道本線国府津～沼津間の工事を行うために設置された熱海線建設事務所を濫觴とし、その後、伊東線や二俣線を担当するようになって熱海建設事務所に改称し、さらに熱海工事事務所を経て熱海地方施設部に改組された。当時、熱海地方施設部では1942(昭和17)年3月に着工した新幹線(いわゆる弾丸列車)の工事を行っており、河野はその最前線で陣頭指揮にあたった。また、徴兵による技能者不足を補うために隧道技術講習所を創設し、新丹那トンネルを実習現場として人材を養成した。しかし、新丹那トンネルの工事は1943(昭和18)年8月中止され、河野は第一地下建設部隊を率いて浅川地下壕(東京都八王子市)や松代大本営(長野市)などの地下施設の建設にあたった。

河野は、1946(昭和21)年に37歳で鉄道を去って三幸建設常務となり、白石基礎工事を溜まり場として平山復二郎、白石多士良、釘宮馨らと日本の将来を議論する日々を過ごした。やがてこの集まりが発端のひとつとなって1951(昭和26)年にパシフィックコンサルタンツが設立され、河野は常務

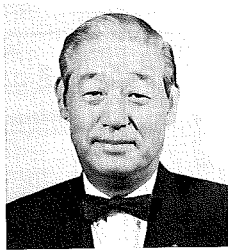


写真-1 河野康雄 (1909～1991)

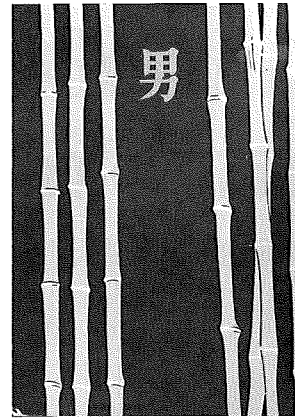


写真-2 舟橋聖一「男」(新潮社・1942:筆者所蔵) 取締役、のち社長として社業の発展に尽力した。その在任期間中は、100か国、500回の海外出張をこなし、年間100回以上もゴルフコースを回ったという強靱な体力の持ち主であったが、1991(平成3)年2月28日、急性心不全により、81歳での生涯を閉じた。

■舟橋聖一「男」と河野康雄

「東京日々新聞」(「毎日新聞」の前身)に1941(昭和16)年12月11日から連載された舟橋聖一の小説「男」は(写真-2)、責任感あふれるトンネル技術者・日下志郎を主人公として、その再婚話をめぐる二人の女性の心理を描いたもので、時局を反映して戦時色の濃い作品となった(12月8日から連載予定であったが、日米開戦のため3日遅れて掲載されたというエピソードがある)。

小説では、大陸輸送の使命を受けて上越国境の青馬峠に建設される架空のトンネルを舞台としているが、実際は舟橋自身が熱海地方施設部などを取材しながら書いた。このためトンネル工事の描写も迫力があり、ことに崩壊事故でトンネル工事が危機を迎えるあたりは真に迫っている。主人公の志郎のモデルと言われるのが河野で、再婚話云々は完全なフィクションであったが、働き盛りの有能なトンネル技術者という人物像は、河野をイメージしたものと伝えられる。

この小説は、1943(昭和18)年に東宝で映画化され、同年6月に封切された。監督は早撮りで知ら

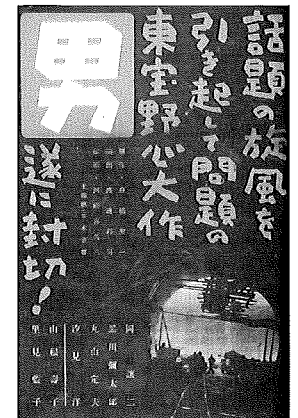


写真-3 映画「男」(東宝・1943)(「映画旬報」1943.6.21号より:筆者所蔵)

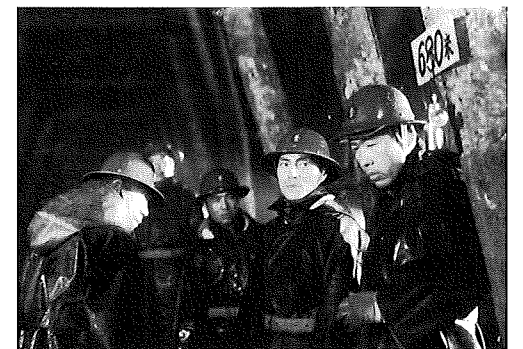


写真-4 映画「男」のスチールより(河野康雄旧蔵資料) 右から2人目が主演の岡譲二

れた渡邊邦男、主人公を岡譲二、ヒロインを山根壽子、里見藍子が演じ、撮影は熱海地方施設部の協力のもとに実際の新丹那トンネルで行われた(写真-3,4)。ことに主演の岡は、河野の許を頻繁に訪ね、役作りに励んだと言われる。当時の映画評によれば、映画のできは今ひとつであったが、トンネルの崩壊で生き埋めになるシーンは迫力に満ち、さすがに工事現場でロケを敢行しただけのことはあると評価された。また、主題歌は、灰田勝彦による「男の凱歌」(若杉雄三作詞、服部一正作曲・日本音響)であった。

トンネル工事をテーマとした映画では、「黒部の太陽」、「海峡」などが有名であるが、「男」はその元祖にあたる作品と言える。映画は現在、東京国立近代美術館フィルムセンターに保管されているが、機会があればぜひ観てみたい1本である。

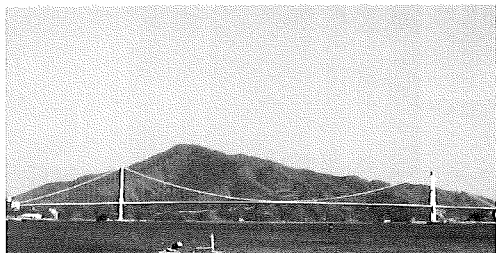
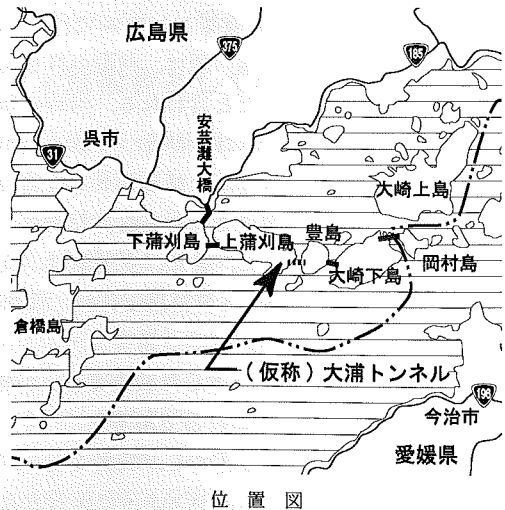


「いのち輝く島」蒲刈より

今村 欣文

広島市の南東部に位置する呉市は、戦艦大和の誕生の地として有名である。当作業所のある蒲刈町は、平成17年に安芸郡から呉市に合併した。蒲刈町は、瀬戸内海に浮かぶ大小9つの島からなり、下蒲刈島と上蒲刈島を結ぶ橋(蒲刈大橋全長480m)は昭和54年に、また本土と下蒲刈島を結ぶ橋(安芸灘大橋全長1,175m)は、平成12年1月に供用開始し、島から本土へのアクセスが便利になった。当地域は、広島県の呉地方拠点都市地域、安芸灘架橋景観指定地域および瀬戸内中央リゾート構想地域に指定されており、瀬戸内海特有の多島美を生かした観光開発の推進にも力を入れている。下蒲刈島には、朝鮮通信使に関する資料などを展示した松濤園、日本建築の美しさあふれる総檜造りの蘭島閣美術館などの観光施設があり、上蒲刈島は、「日本の渚100選」に選ばれた「ロマンビーチ県民の浜」、太陽と海の文化を古代人に学び、海水から作る天然の塩「海人の藻塩」も有名である。また映画、テレビロケなどの撮影などにも利用され、最近のドラマでは『海猿』が撮影された。

ここで、千年の知恵を甦らせた本物の藻塩の故郷について語ろうと思う。温暖な気候に恵まれた瀬戸内は、古く平安時代から塩田を使った製塩が盛んな土地柄である。実はそれよりずっと昔の古墳時代から、日本の



安芸灘大橋

塩づくりの原点とも呼ばれる豊かな製塩法「藻塩焼き」があった。それが盛んに行われていたのが上蒲刈島の南西部で、現在は「県民の浜」となり、白砂青松の美しさが際立つ浜辺である。「海人の藻塩」は、そのような藻塩作りの故郷で、古代製塩技法を忠実に再現しつつ、最新の設備で衛生的に作られている。千年の時を越えて、私たちの祖先も味わっていた繊細で心にしみいるような味わいの塩である。

さて、今回広島県から発注された工事は、上蒲刈島(呉市蒲刈町大浦)と現在離れ島である豊島(呉市豊浜町豊島)とを結ぶ路線で、当路線整備により、本土から下蒲刈島、上蒲刈島、豊島、大崎下島を経由して、愛媛県の岡村島まで陸続きとなり、通勤や通学、医療などの時間短縮、交通信頼性の確保により、交通体系が大幅に改善される。路線延長は3.9km、蒲刈側一般部(約1.1km)、トンネル部(約0.8km)、(仮称)豊島大橋(0.9km)、豊島側一般部(約1.1km)で構成されている。周辺では、山裾の丘陵地を利用して、両島の名産である柑橘系農産物栽培などが盛んに行われており、柑橘系の香りがただよう路線である。工事は5月末現在、明かり部分の擁壁、盛土工事とトンネル坑口ヤードを造成しており、7月半ばからトンネルに着手する予定である。トンネル工事を進めるにあたっては隣接する住民とのコミュニケーションを大切にし、工事に従事する全員が、「環境・安全・品質・工程」を意識し、工事全体のバランスを考慮したトンネル施工を行う所存である。(清水建設(株)・格正建設(株)特定建設工事共同企業体作業所所長)

施工

公園地下の車両基地築造と新契約方式

—新交通日暮里・舎人線車両基地—

東京都地下鉄建設(株)新交通本部建設調整課長 松本 憲行
 (前)東京都地下鉄建設(株)新交通本部建設調整課長 坂田 政紀
 清水建設(株)新交通日暮里・舎人線車両基地CMR所長 池田 謙太郎
 清水建設(株)新交通日暮里・舎人線車両基地CMR主任 江頭 正州

1 はじめに

新交通日暮里・舎人線は、荒川区の日暮里駅を起点として足立区の舎人地区に至る延長約10kmの新交通システムである。昭和60年7月の運輸政策審議会答申「東京圏における都市高速鉄道を中心とする交通網の整備に関する基本計画について」(答申第7号)のなかで、建設することが位置づけられ、東京都区部北東部の交通不便地域の解消および沿線地域の開発促進を目的として整備されている。平成7年12月に軌道法特許を取得し、平成9年12月に本線部を、平成16年2月に車両基地部

の工事に着手した(図-1)。

新交通システムとは、道路を立体的に利用した専用軌道上を走行する自動運転によるバスと鉄道の間程度程度の輸送力をもつ新しいタイプの交通機関である(図-2)。当路線は、東京都が軌道の支柱、駅部の主要構造物を建設し、東京都地下鉄建設(株)が、駅部内装・車両・電気・通信などの設備整備と車両基地部の建設を行っている。

新交通日暮里・舎人線の車両基地は、足立区にある都立舎人公園内北東部の未開園部分(面積約11ha)の直下に築造している。掘削はほとんど行わず、地上面に構造物を構築後、全体を土で覆い、

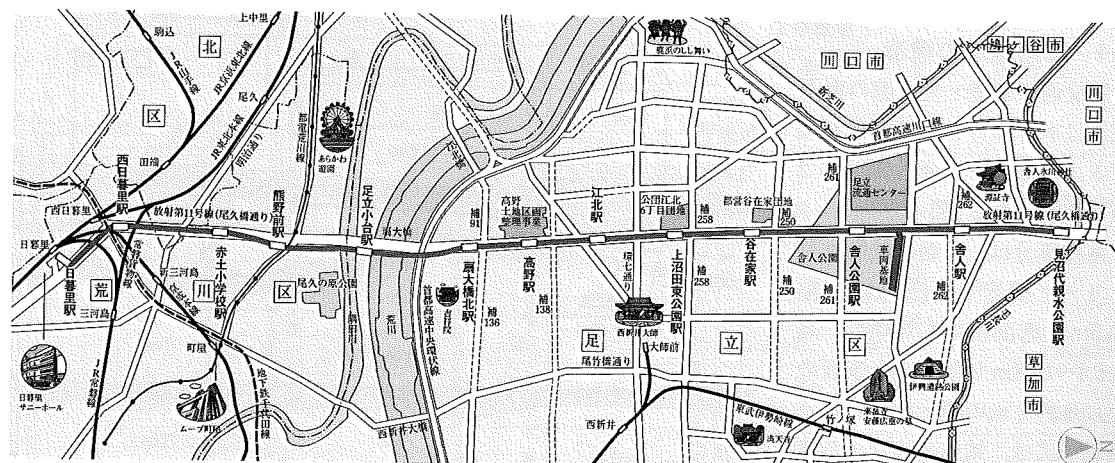


図-1 新交通日暮里・舎人線計画概要図(駅名仮称)

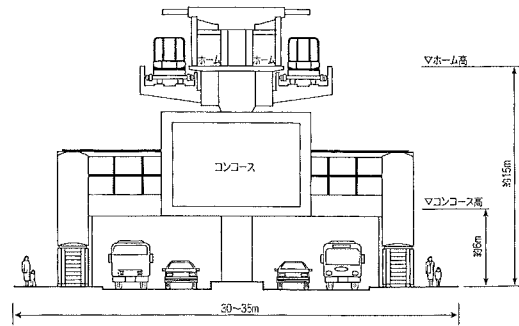


図-2 新交通システム駅部標準断面図

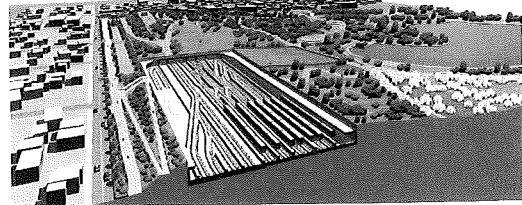


図-3 車両基地イメージ図

上部は公園として供用される地下方式の車両基地である。このことから、消防法においても地下構造物として届け出を必要とした(図-3)。

車両基地の整備事業を行うにあたり、事業主である東京都地下鉄建設(株)は、新しい試みとしてCM(コンストラクションマネジメント)方式で発注した。

本稿は、車両基地の施工、ならびにCM方式での事業運営状況について紹介する。

2 工事概要

2-1 車両基地の構造

新交通日暮里・舎人線の車両基地は本体部分と、本線と接続する出入庫線トンネル部分の2つに大別される(図-4)。

本体部分は、一層の鉄筋コンクリート構造で全長533m、幅84.5m、床面積約40,000m²、高さ5.4~12.3mである。上床版の上には約2mの覆土が行われる。基礎形式は、地盤改良による支持力増強を図った地盤上での直

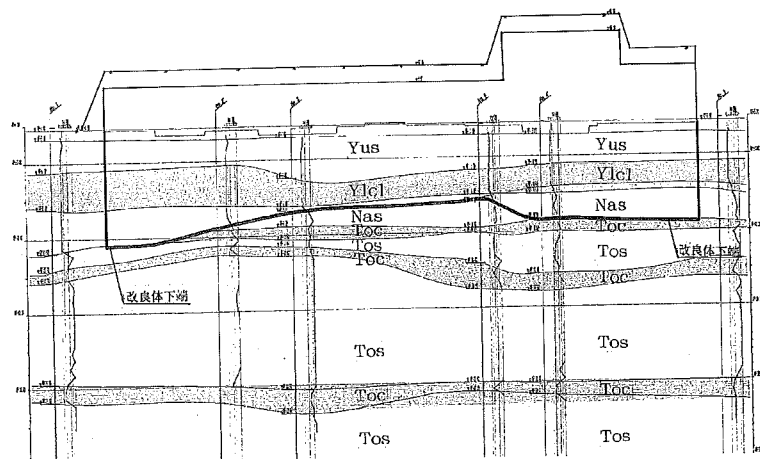


図-4 車両基地全体平面図

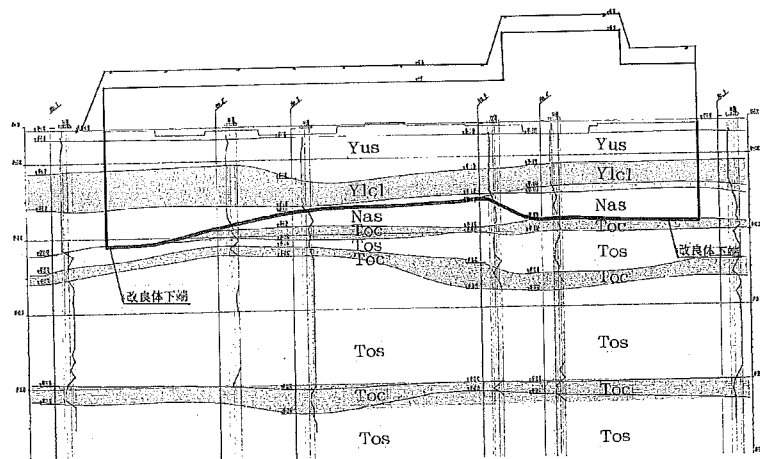


図-5 地層縦断面図

接基礎である。

出入庫線トンネル部分は、単線のトンネルであり、幅5.9m、高さ5.7m、延長38mのボックスカルバート構造で、基礎形式は杭基礎構造である。

この車両基地の機能としては、保有車両の留置、運用車両の安全管理を行う検査、車両の整備・修繕を行う工場、本線の線路・電線・信号の保守であり、さらに、運行管理、電力管理などの中央指令機能も有する。つまり、新交通システムの中核機能となっており、これらの機能を十分に満足させる構造である必要があった。

2-2 地盤条件

当該地は、40年前までは主に田畑として使用され、公園用地として東京都が取得した。

土層としては、地表面から埋土層、沖積層の有楽町層、洪積層の七号地層、東京層の順に構成される(図-5、表-1)。有楽町層はN値が0~5程度の軟弱層であり、砂質土を主体としている。その

表-1 解析に用いる地盤定数

| 土質名 | 土質種類 | N値 | 単位体積重量 γ (kN/m ³) | | ポアソン比 ν | 内部摩擦角 ϕ (°) | 粘着力 c (kN/m ²) | 初期せん断弾性係数 V_{s0d} (m/s) |
|------|------|----|--------------------------------------|------|-------------|------------------|------------------------------|---------------------------|
| | | | 湿潤 | 水中 | | | | |
| B | 砂質土 | 3 | 17.0 | 7.0 | 0.333 | 29 | - | 100 |
| Yus | 砂質土 | 3 | 18.0 | 8.0 | 0.333 | 33 | - | 130 |
| Ylc1 | 粘性土 | 2 | 18.0 | 8.0 | 0.333 | - | 24 | 140 |
| Yls1 | 砂質土 | 5 | 18.0 | 8.0 | 0.333 | 36 | - | 240 |
| Ylc2 | 粘性土 | 1 | 16.0 | 6.0 | 0.333 | - | 55 | 120 |
| Nas1 | 砂質土 | 27 | 20.0 | 10.0 | 0.333 | 35 | - | 290 |
| Toc1 | 粘性土 | 30 | 17.5 | 7.5 | 0.333 | - | 240 | 290 |
| Tos1 | 砂質土 | 33 | 18.0 | 8.0 | 0.333 | 36 | - | 380 |
| Tos2 | 粘性土 | 29 | 18.5 | 8.5 | 0.333 | - | 290 | 350 |
| Tos2 | 砂質土 | 50 | 19.0 | 9.0 | 0.333 | 38 | - | 380 |

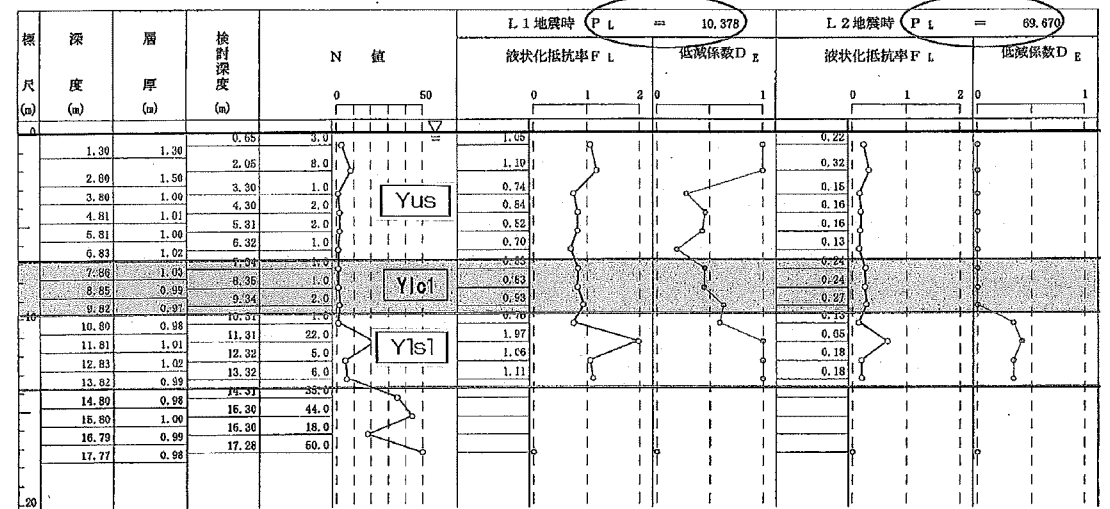


図-6 液状化判定結果

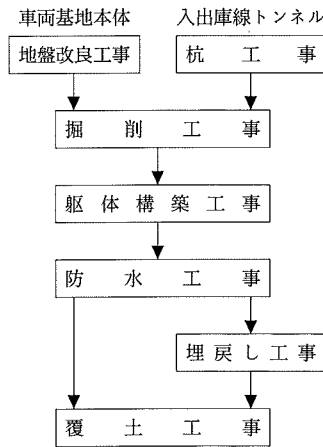


図-7 施工順序図

表-2 工事概要

| 工事件名 | 施工者 | 施工時期 | 主な工事数量 |
|------------|---------|------------------|---|
| 準備工事 | 大林組 | 平成16年2月~平成16年8月 | 地盤改良工: 6,714本 |
| 構築工事 (A工区) | 戸田・大豊JV | 平成16年8月~平成17年10月 | 車両基地本体 鉄筋コンクリート工: 52,358m ³ 出入庫線トンネル 鉄筋コンクリート工: 547m ³ PHC杭: 1,353m |
| 構築工事 (B工区) | 小田急建設 | 平成16年8月~平成17年10月 | 車両基地本体 鉄筋コンクリート工: 26,233m ³ |
| 軌道関連工事 | 小田急建設 | 平成17年7月~平成18年6月 | 走行路ほか 鉄筋コンクリート工: 6,509m ³ |
| 付帯工事 | 石井組 | 平成17年11月~平成19年3月 | 覆土量: 330,000m ³ |

ため、有楽町層は全層にわたって、L1およびL2地震時において液状化する可能性が高い(図-6)。洪積層は七号地層の一部にN値が10程度の部分もある。しかし、おおむね30~50以上のN値を示すため支持層とし、N値による判断により支持地盤深度を決定した。支持地盤の深度は10~19mとなる。

2-3 施工順序

車両基地本体の工事は、まず、基礎となる地盤の地盤改良工事を全面的に行い、その後、掘削、軀

体構築および防水工事を行い、最後に覆土工事と同時に建築設備工事を行う。入出庫線トンネルは、杭基礎工事および埋め戻し工事が車両基地本体工事と異なる(図-7)。

なお、各々の工事内容については、表-2の工事概要に示す。

3 車両基地本体工事

3-1 地盤改良工事

当該地盤は、L1, L2^{注)}地震時において、全面的な液状化が想定される軟弱な地盤である。そのため、支持力増強と液状化対策を深層混合処理工法による格子状配置の地盤改良で行う。この格子状地盤改良効果がL2地震時でも有効であることを、遠心力模型実験により確認した。結果として、格子間隔(L)と改良深度(H)の寸法比(L/H)を0.8以下にすれば、液状化となる過剰間隙水圧比50%を超えないことが確かめられた(図-8, 9)。

また、対象平面積が約40,000m²と広大なため、1本あたりの改良面積が大きい大口径(φ1,500およびφ1,300)を採用して、施工本数を減らすことでの工期短縮、費用低

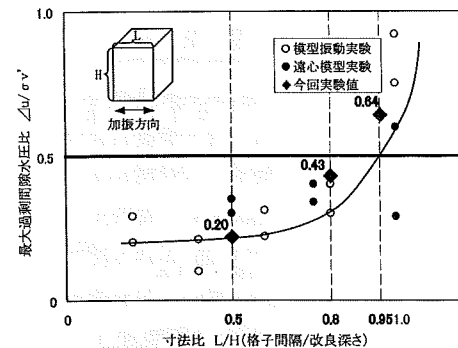


図-8 地盤改良体の寸法比と最大過剰間隙水圧比との関係

注) L1地震とは、設計耐用期間中に数回程度受けるであろうレベルの地震を示す。L2地震とは、阪神淡路地震のように、発生する確率が小さいが非常に強い地震を示す。

減を図った(表-3)。当該地での地盤条件から、φ1,500とφ1,300による施工範囲は、GL-17mまでをφ1,500、それ以深をφ1,300とした(図-10)。

表-3 改良径および配置比較表

| | 従来型 φ1,000, 2軸式 | 大口径型-① φ1,300, 2軸式 | 大口径型-② φ1,500, 2軸式 |
|-----------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 改良径 | | | |
| 改良面積(比率) | A = 1.50m ² (1.0) | A = 2.56m ² (1.7) | A = 3.35m ² (2.2) |
| 施工可能深度 | 約40m | 約20m | 約15m |
| 配置計画 | | | |
| 格子間隔(内寸法) | 6.4m × 6.3m (4.9m × 4.6m) | 6.6m × 5.5m (4.5m × 4.5m) | 7.2m × 6.5m (4.9m × 5.3m) |
| 改良率 | 約45% | 約46% | 約46% |
| 判定 | 施工本数が多く施工性が劣るため、不採用 | 平均施工深度が15mを超える深い断面で採用 | 平均施工深度が15m以下の断面部分で採用 |

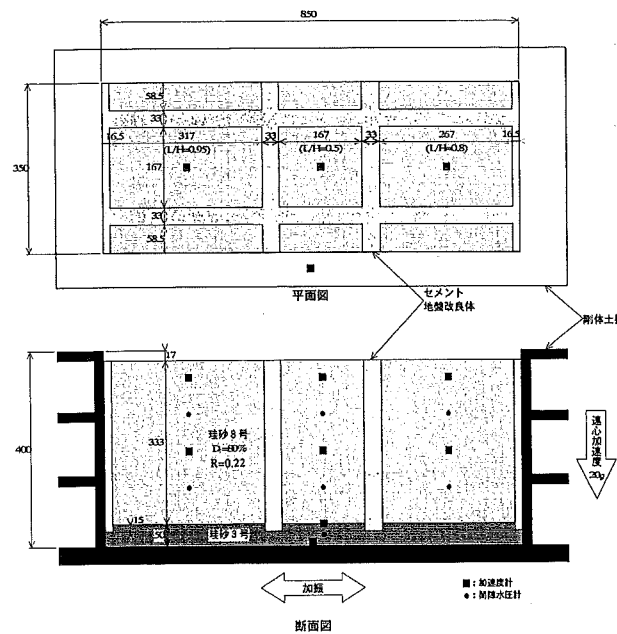


図-9 実験土槽概要図(遠心模型実験)

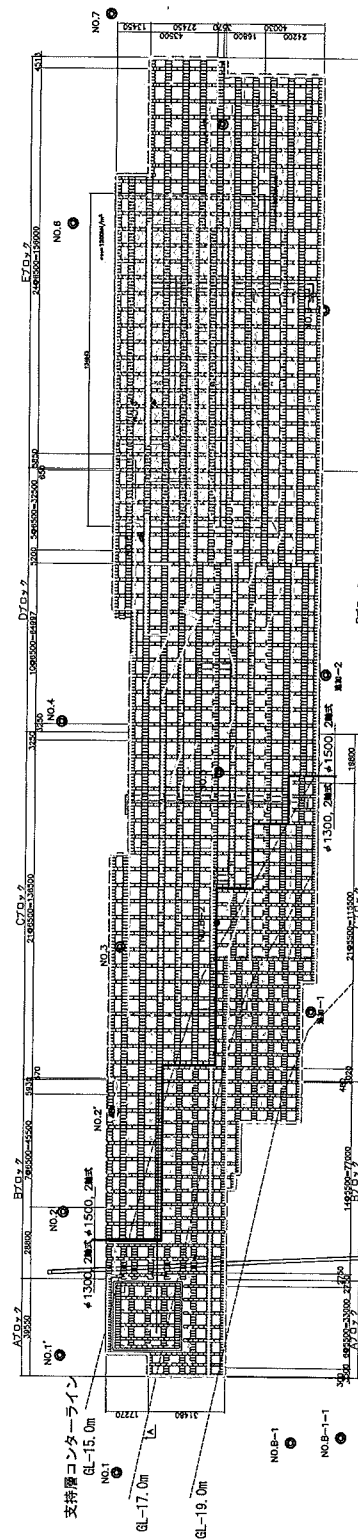


図-10 地盤改良計画図

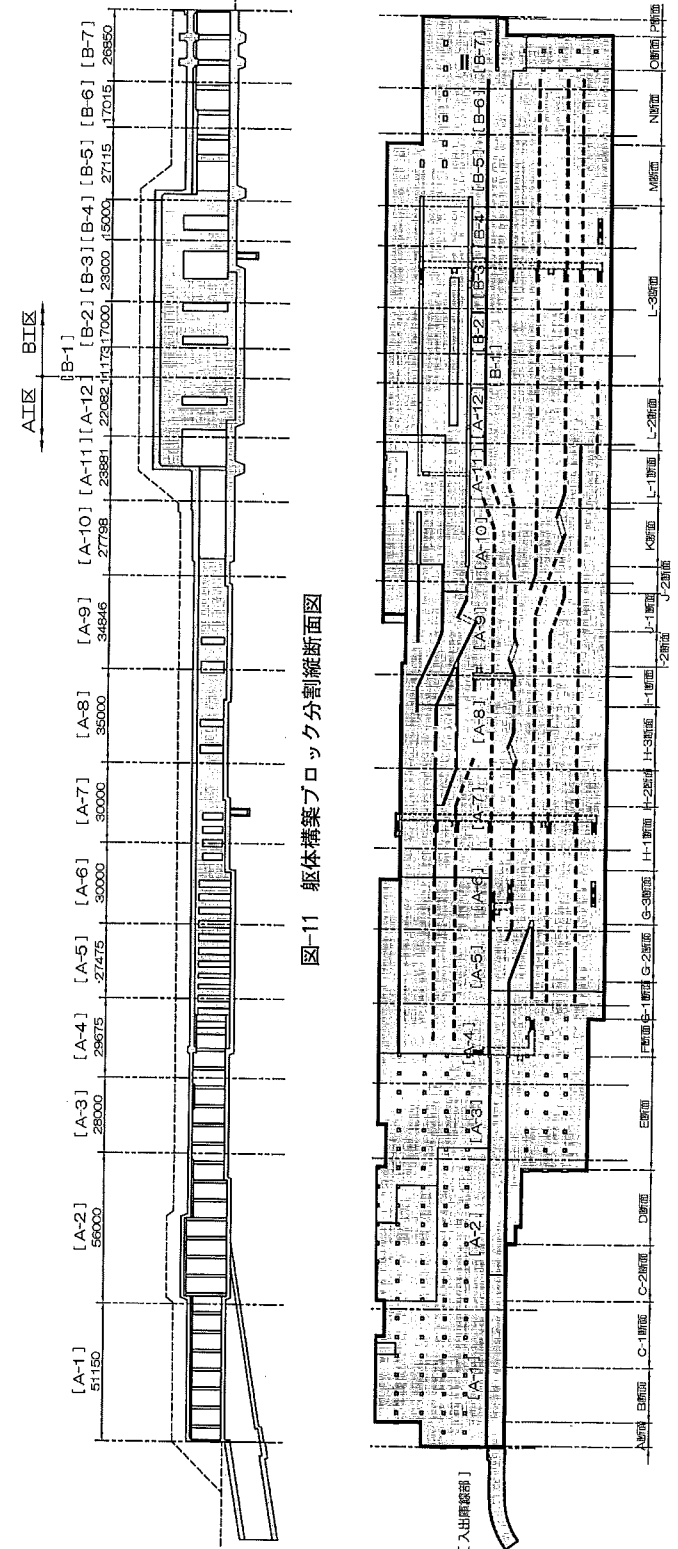


図-11 躯体構築ブロック分割断面図

図-12 躯体構築ブロック分割平面図

3-2 躯体構築工事

車両基地本体の下床上面レベルが現地盤と同じレベルとなるため、掘削は下床版厚さ(約1m)のみ行う。また、床付け地盤の表面状態が、先行する地盤改良工事により良好であったため、均しコンクリートの施工性を確保する目的の基礎砕石を省いた。

本体の鉄筋コンクリート(約7.9万m³)は、全体を横断方向に19の施工ブロックに分けて施工した(図-11, 12)。

3-3 防水工事

車両基地本体は、周辺の地下水位より上に位置するものの、全体的に覆土されるため、外周面に防水を行う。底部および側部は、ゴムアス系の防水シートによる外防水とした。頂部は、覆土後の公園の植栽による障害を防ぐために、耐根性能をもった屋上緑化などで実績のあるエチレン系の防水シートでの外防水とした。

3-4 覆土工事

防水工事終了後、公園計画に沿った形状で覆土を行う。躯体上部で約2mの厚さを基本としており、覆土量は約33万m³となった。当初より当該地にあった公園工事用の土と今回の掘削発生土(約16万m³)、および外部から搬入した2種、3種の建設発生土(約17万m³)で施工を行った。

4 入出庫線トンネル工事

4-1 設計

入出庫線トンネル部は、車両基地の端部に位置し、尾久橋通り上の本線から、道路下を半径30mの曲線で直角に方向を変えて、車両基地とつながり部分である。既設のトンネル部分の構造が杭基礎であることから、同一の杭基礎構造とした(図-13)。

そのため、車両基地本体と基礎構造の形式が異なり、地震時の挙動も異なる。

このことから車両基地本体との接続部に可とう継手(エキスパンションジョイント)を設置し、地震時の変位の差を吸収する構造とした(図-14)。

エキスパンションジョイントの設計にあたっては、双方の地震時の挙動解析を行い、L2地震時での最大相対変位量が152mmであったことから、200mm対応型とした(図-15, 16, 表-4)。

4-2 杭施工

入出庫線トンネル部の基礎杭は、中掘り先端根固め工法によりPHC杭を施工した。支持地盤への着底は、各杭ごとに管理を行った。

また、入出庫線トンネル部分は、1/3が幹線道路(放射11号)の下に位置している(図-17)。そのためこの部分の施工は、夜間作業帯を設置して行った。

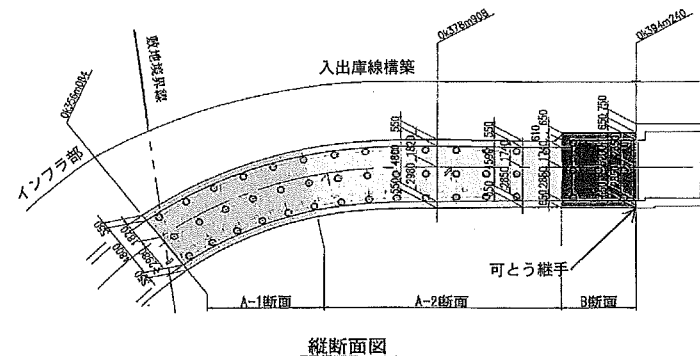


図-13 入出庫線トンネル部構造図

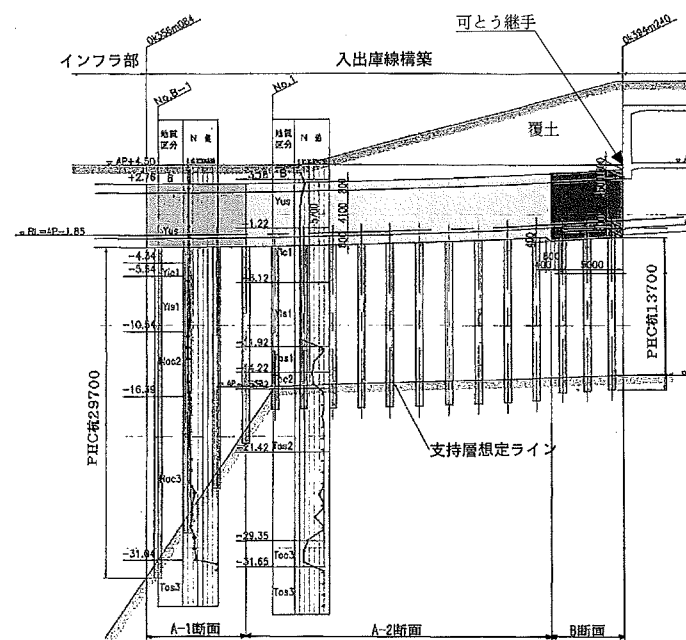


図-14 可とう継手図
DTSP.

| 番号 | 名称 | 寸法 | 材質 | 備考 |
|----|----------|--------------------|--------|--|
| ① | 伸縮ゴム | t=10, H=180, W=280 | CRゴム | 伸縮筋入り |
| ② | 取付枠材 | t=9 | SS400 | コックワ-1200用取付枠材 t=4.3, H=120, W=280, 3mmのり |
| ③ | フッコーボルト | M20 | SUS304 | |
| ④ | 押入板 | t=16, W=65 | SS400 | 系鉄筋ノックHDZ55 |
| ⑤ | ナット、ワッシャ | M20用 | SUS304 | |
| ⑥ | スパンソール | t=4, W=40 | アチル粘着材 | |

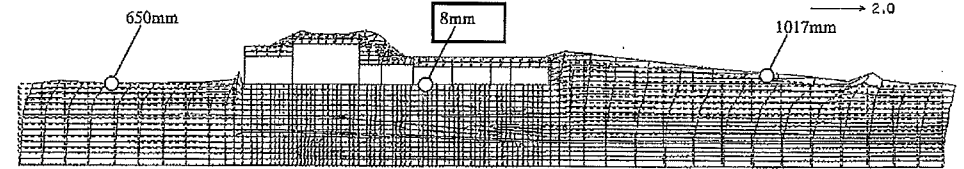


図-15 車両基地本体の最大変位図

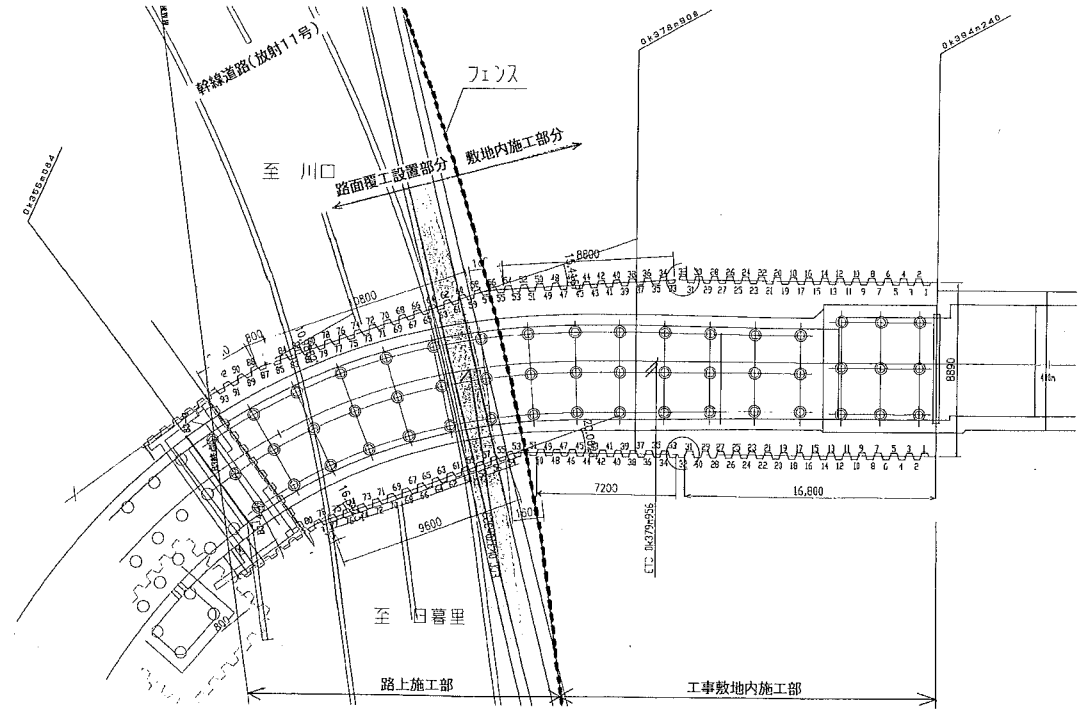


図-17 杭施工計画平面図

4-3 躯体構築, 防水および埋め戻し工事

入出庫線トンネル部における幹線道路下部分は路面覆工を設置した(図-18)。

路上での作業を極力減らすため、この部分の掘削は路上から行わず、工事敷地内から横方向に掘り進み行った。構築も同様に、工事敷地内から資材の

表-4 最大変位量

| | 最大変位量 | 備考 |
|---------|-------|-----------------|
| 車両基地本体 | 8mm | L2地震時動的解析結果より |
| 入出庫線 | 144mm | 設計計算書より(L2地震時) |
| 最大相対変位量 | 152mm | 位相差を考慮して両者の和とする |

図-16 入出庫線の最大変位図

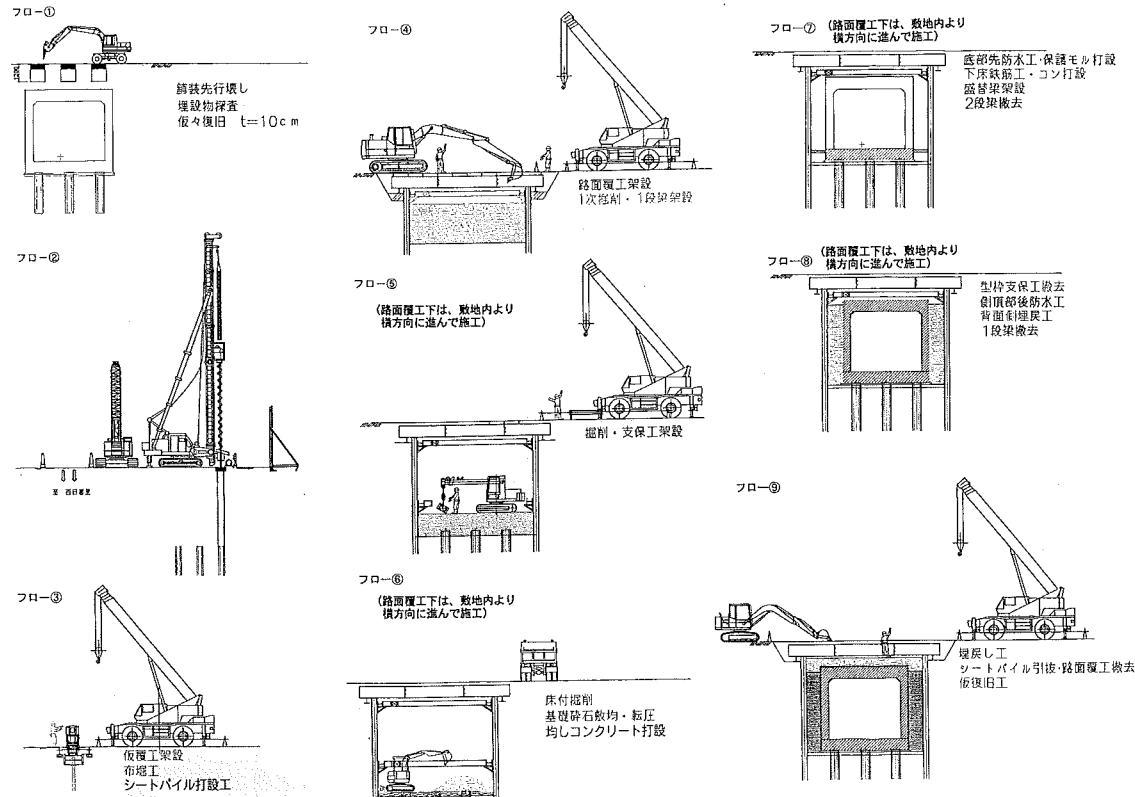


図-18 入出庫線部施工順序図

搬入、コンクリート打設などを行った。

防水も車両基地本体と同様に、側部はゴムアス系、頂部は耐根性のあるエチレン系とした。

埋め戻しには、流動化処理土を使い施工した。

5 CM方式での事業運営

ここで、新交通日暮里・舎人線車両基地整備事業の最大の特徴である、CM方式での契約・運営の形態について紹介する。

建設業界、とくに土木の分野では、設計会社が設計を行ったうえで、元請け業者(総合工事業者)がマネジメント業務も含めて工事を総価一式で請け負う一括請負方式が主流である。しかし、バブルの崩壊以降、建設投資の減少、建設コストの更なる縮減、競争原理の活用、コスト構成の透明化、建設プロセスの透明性確保・説明責任の拡大などが求められ、これらのニーズに応えるべく、PFI方式、デザインビルド方式、CM方式などの新しい発注方式が試みられるようになってきた。

CM方式は、CMR(コンストラクションマネージャー)が発注者の補助者としてマネジメント業務を行うが、施工に関するリスクを発注者が負う。ピュアCM方式と、CMRがマネジメント業務だけでなく施工に関するリスクも負うアットリスクCM方式がある(図-19)。

東京都地下鉄建設(株)は、土木の分野において日本で初めてアットリスクCM方式を採用し、CMRをプロポーザル方式により公募し、学識経験者を含めた委員会の審査を経て、最終的に清水建設(株)と業務委託契約を締結した(図-20)。

今回のCMRの具体的な役割は、事業主の利益や事業の効率性の最大化を図るために、事業主の代行者としての立場に立ち、CMRが建設工事(土木・建築・設備)や実施設計などの発注、関係者(官公庁・地元・システム業者など)との調整、必要書類の作成、および工事の施工管理など、本事業に係わる管理業務全体を行うことである。そしてCMRは、自ら建設工事を行うことはできない

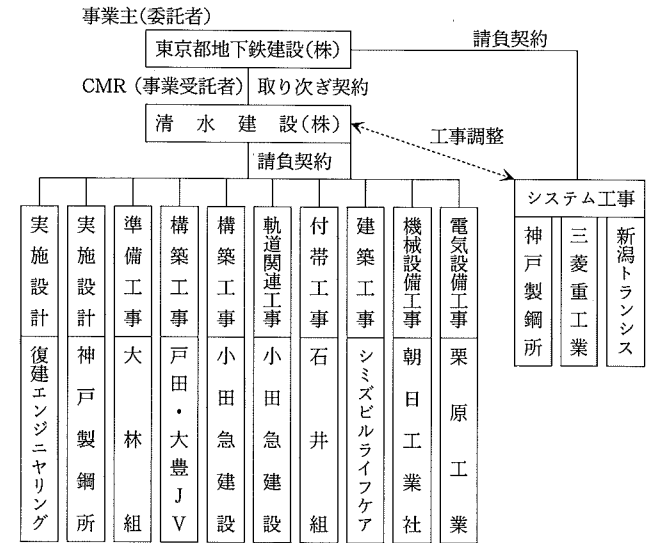
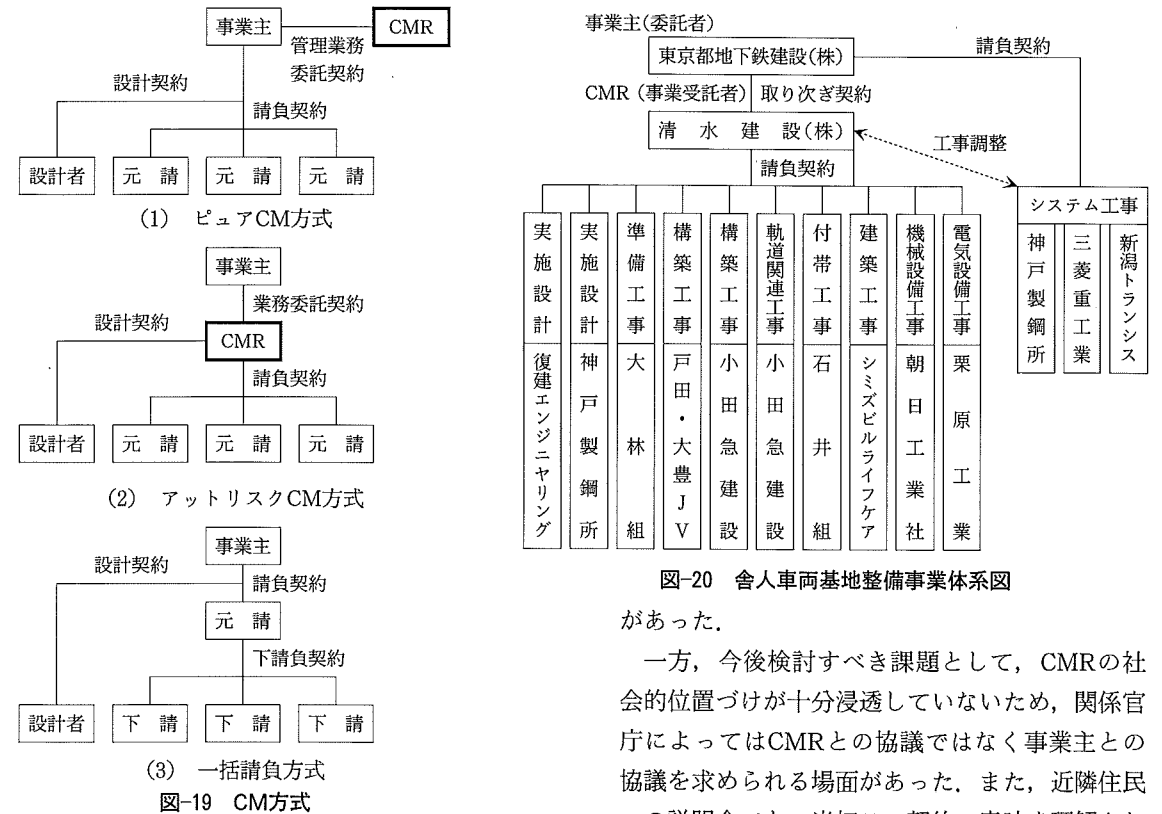


図-20 舎人車両基地整備事業体系図

があった。

一方、今後検討すべき課題として、CMRの社会的な位置づけが十分浸透していないため、関係官庁によってはCMRとの協議ではなく事業主との協議を求められる場面があった。また、近隣住民への説明会でも、当初この契約の意味を理解されず、事業主が出席し、説明することがあった。その他、前払い金や工事履行・工事保険などについても、建設業保証会社や保険会社がCM方式に対しての対応および処理体制が整っていない現状もあった。

結果として、今回、土木の分野で初めて採用したアットリスクCM方式は、期待していたように行政側と民間側のコスト管理を含めた技術力の融合を図ることができ、順調に工事が進捗して、効果は得られていると考える。

今後、すべての建設プロジェクトが今回のアットリスクCM方式を採用できるとは思えないが、一定の条件を整えばアットリスクCM方式の採用は十分可能である。その条件の一つとして事業主側の技術力が担保されていることが重要である。また、本事業のように、公園予定地内での施工で地下埋設物などの移設が少ないなど、施工リスクが事前にはば把握できる場合では、発注段階で全体事業費の縮減および増加抑制に期待できる。加

方式のため、事業主とCMRの利害が異なることは生じない。

事業費としては、事業主は設計・工事に必要とされる直接的な費用を支払い、CMRはあらかじめ合意した管理業務費のみを受け取る。今回は、全体工事費の最大保証金額を設定しており、通常の施工に関するコスト増加はリスクとしてCMRが負うこととなる。

本事業は施工の途中にあるが、現在までのCM方式による事業運営の成果について述べてみたい。

まず、事業主の利点として、活発な競争を促したことによる発注時の工事価格の低減、工事費最大保証金額を設定したことによる発注後の工事費増加の抑制など、全体事業費の縮減・増加抑制を行うことができた。さらに、本事業では工事費最大保証金額以下で工事が完成した場合、その圧縮金額の1/2が、報奨金としてCMR側に与えられるというインセンティブがあるため、コストを抑える多くの技術提案が積極的に行われたなどの利点

えて、車両基地のように要求機能が明確な構造物の建設プロジェクトでは、設計や施工上の工夫が可能であることから、多くのVE提案がされやすく、コスト削減に有効な方法であると考えられる。

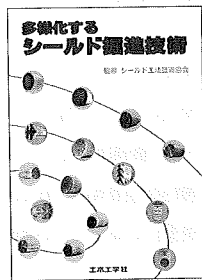
6 おわりに

現在、車両基地整備事業としての建設工事は最

終段階を迎えて、基地の外では覆土・外構工事、基地内では、新交通の運行に向けた準備が着々と進められている。また、本線においては、土木・建築工事に加え本年度は、車両・電気・通信等各種設備の整備が最盛期に向かっている。

今後も安全に万全を期し、平成20年3月の開業に向け、最大限の努力をしていく所存である。

【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、㉑MSDI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

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

研究

超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究

ジェイアール東海コンサルタンツ(株)東京事業部東京設計部部長 山崎 幹 男

1 はじめに

超電導磁気浮上式鉄道は、時速500kmで東京～大阪を1時間程度で結ぶ中央新幹線の実現に向け、山梨実験線において、走行試験、技術開発が推進され、最高速度581kmおよびすれ違い相対速度1,026kmの世界記録更新を樹立している。

平成17年3月には、超電導磁気浮上式鉄道実用技術評価委員会(国土交通省)において「平成16年度まで走行試験および技術開発を進めてきた結果、技術開発は大きく前進し、超電導磁気浮上式について実用化の基盤技術が確立したと判断できる」という総合評価がなされ、システムの完成度向上が着実に図られている。

一方、供用時に想定される路線では、日本の地形条件・立地条件を勘案すると、トンネル延長の

割合が多くなることが予想され、トンネル内の圧力変動現象を解明し、トンネル構造の合理的な耐風圧設計を実現することが不可欠である。

本研究は、時速500km領域の超高速鉄道トンネルの覆工構造に対する合理的な耐風圧力設計を実現することを目的として、トンネル内の圧力現象の解明と圧力変動の評価方法、その圧力変動に対するトンネル覆工構造の力学的挙動の把握について報告するものである。

2 山梨リニア実験線のトンネル断面形状

山梨リニア実験線の概要を図-1に、トンネルの断面形状および覆工構造の概要を図-2に示す。

トンネル内空断面は、所定の建築限界外に施工上あるいは保守上必要な余裕を考慮し、地形、地

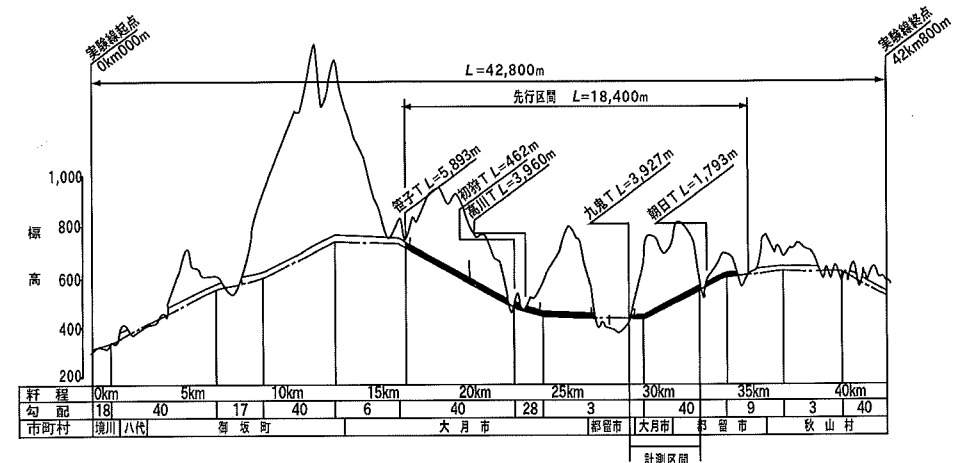


図-1 山梨リニア実験線の路線概要(縦断面)

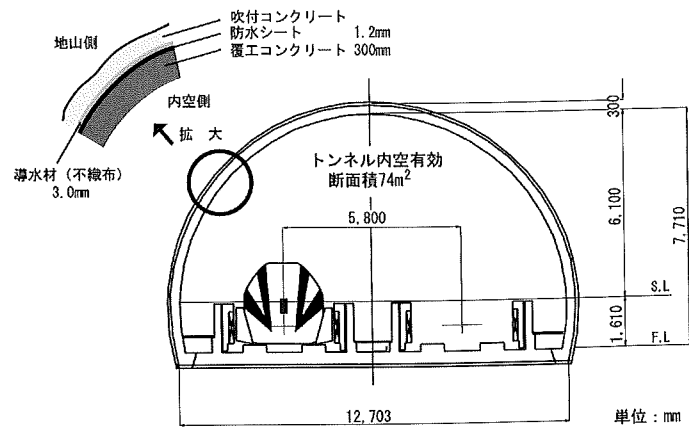


図-2 山梨リニア実験線のトンネル断面図(標準区間)

質に応じた形状とするのが一般的である。

超電導磁気浮上式鉄道では設計最高速度は550 km/hとなり、在来型新幹線に比べ空気抵抗による走行抵抗の増大やトンネル内の圧力変動が覆工構造に及ぼす影響を考慮することが必要となる。とりわけ空気抵抗は列車の推力を大きく左右するため、車両・トンネル断面積比 $R(=a/A$:車両断面積 a とトンネル内空有効断面積 A の比)を、空気力学的観点から設定しておく必要がある。また、これらの要素のほかに、経済性(建設コストやランニングコスト)、施工性などを総合的に勘案して、車両・トンネル断面積比 $R=0.12$ を適切と判断した。

このため、車両断面積 $a=8.9m^2$ に対し、所定のトンネル内空有効断面積は $A=74m^2$ となる。また、トンネル幅 B は、ガイドウェイ中心間隔、ガイドウェイ内空幅および通路幅を考慮し、 $B=12.7m$ 程度と計画した。なお、高さ H については内空有効断面積を満足させる高さとして、路盤よりトンネル天端まで、 $H=7.7m$ とした^{2),3)}。この結果、山梨リニア実験線のトンネル断面(標準区間)は、図-2に示すような内空有効断面となり、その扁平率は0.64程度と新幹線トンネルの扁平率0.83に比べ、扁平な断面形状となっている。

3 トンネル内の圧力変動現象

図-3は、列車トンネル走行時のトンネル内の圧力現象を概念的に示したものである。

列車先頭がトンネルに突入すると、列車前方の空気を圧縮しトンネル内に急激な圧力上昇を生じさせる。また、列車中間部の突入により緩やかな圧力上昇を伴いつつ、列車後尾がトンネル内に入ることによって圧縮された空気は静穏時のトンネル内圧(=大気圧)近くまで回復する(=突入波)。この突入波は音速でトンネル内を伝播し、トンネル出口に到達すると正負反転した反射波として、逆方向にトンネル内を伝播する。

上述の突入波とは別に、列車がトンネル内を通過する場合には、列車先頭通過による急激な圧力低下が生じ、さらに列車中間部通過に伴う緩やかな圧力低下を生じて、列車後尾通過により圧力は回復する。この圧力変動は、列車の走行に伴いトンネル内を列車の走行速度で移動する。

列車先頭がトンネル出口から退出すると、列車側面の低圧部にトンネル外部から空気が吸い込まれ、トンネル内の空気を圧縮しトンネル内に急激な圧力上昇を生じさせる。また、列車中間部の退出による緩やかな圧力上昇を生じ、列車後尾がトンネルから完全に退出することにより圧力は回復する(=退出波)。この退出波も突入波と同じくトンネル突入

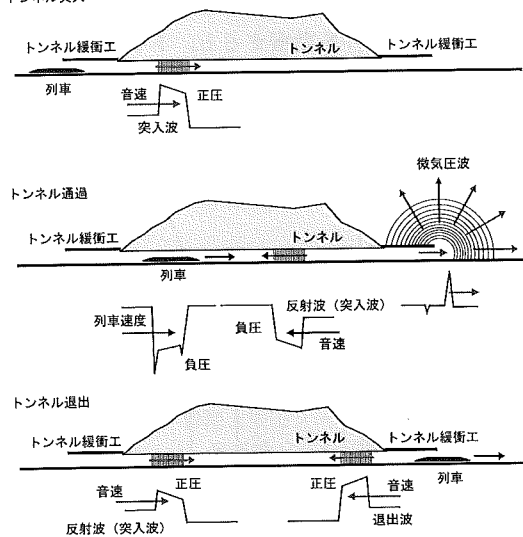


図-3 列車トンネル走行時のトンネル内の圧力現象

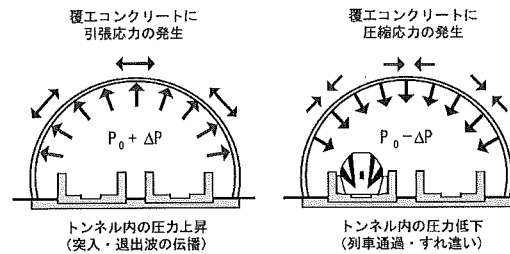


図-4 トンネル内の圧力変動と覆工応力の関係

ンネル内を音速で伝播し、トンネル入口で反射し逆方向に伝播する。

このように、列車がトンネル内を高速走行することにより生じた突入波や退出波は、列車の通過による圧力低下現象と複雑に重なり合う。また、列車がトンネルを退出した後も、トンネル壁面の摩擦によるエネルギー損失を伴いつつ重複反射をくり返し伝播する。

図-4は、トンネル内の圧力変動と覆工コンクリートの応力状態を模式的に示したものである。図に示すように、圧力変動 ΔP は、大気圧 P_0 (山梨リニア実験線: $P_0=970hPa$)に対し正圧 $P_0 + \Delta P$ (圧縮)の場合はトンネルの覆工コンクリートに引張応力を生じさせ、負圧 $P_0 - \Delta P$ (膨張)の場合には覆工コンクリートの圧縮応力を生じさせることになる^{2),3)}。

4 トンネル内の圧力変動測定

超高速列車走行に伴い生じる圧力現象を解明するため、山梨リニア実験線のトンネル(=九鬼トンネル:長さ約4 km)内において、試験車両(MLX01:3両編成・約80m)がトンネルに突入・退出・通過・すれ違い走行を行う際の圧力変動を測定し、その結果について考察した。なお、圧力変動測定の詳細は参考文献2)に譲るものとし、ここでは結果のみを報告する。

さまざまな速度域・走行形態における圧力変動測定結果から、突入波、列車通過、退出波、反射波、すれ違いの5つの圧力現象を抽出した。また、各圧力現象に対し、列車速度と圧力変動量の関係を求めた。

図-5は、トンネル内に生じる圧力現象のうち、

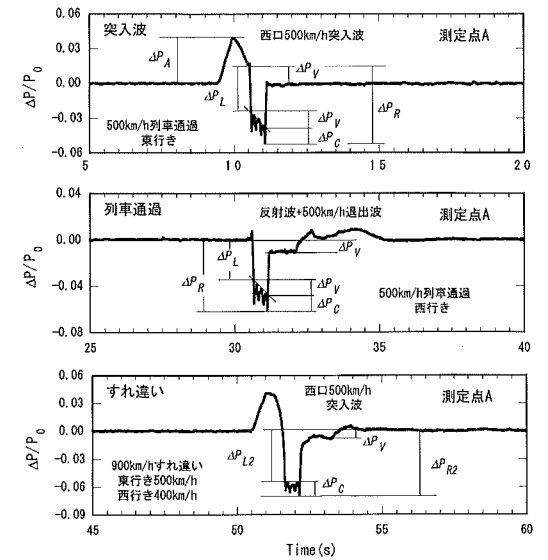


図-5 トンネル内の各種圧力現象に対する測定結果

突入波、列車通過、すれ違いの測定結果を示したものである。なお、図中の圧力値は大気圧比で示している。

図示した結果から、列車500km/hトンネル突入時の突入波は $\Delta P_A/\Delta P_0 = +0.04$ 、列車500km/h走行時の圧力低下は、 $\Delta P_R/\Delta P_0 = -0.061$ 、相対速度900km/h(500km/h+400km/h)のすれ違い走行時の圧力低下は、 $\Delta P_{R2}/\Delta P_0 = -0.077$ となる。

なお、列車側面(各々の対向列車側)の流れ場が単独走行の場合と異なるため、すれ違い走行時の圧力低下は、東行き列車(500km/h)による圧力低下と西行き列車(400km/h)による圧力低下の単なる線形和とはならない。

5 トンネル内の圧力変動解析

トンネル内の圧力変動を算定するため、数値流体解析(Computational Fluid Dynamics:以下、CFD)を用いた圧力変動解析を実施し、実験線での測定結果との比較から解析の妥当性を検証するとともに、各圧力現象に対し、列車速度と圧力変動量の関係を求めた。これにより、設計に必要なさまざまな速度域での圧力変動を列車の走行形態に応じて算定することが可能となる^{2),4)}。

図-6は、CFD解析に用いた解析格子のうち、

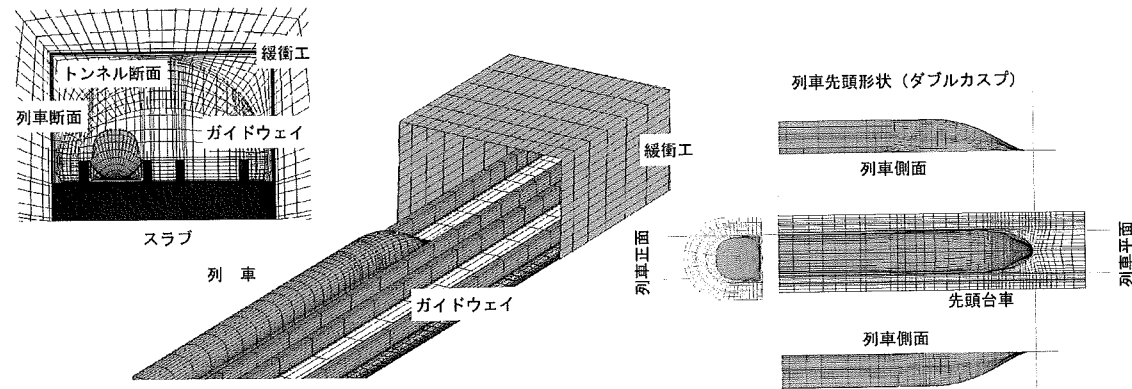


図-6 CFD解析に用いた解析格子

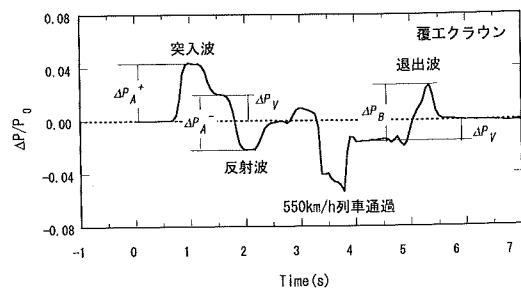


図-7 突入・反射・列車通過・退出時のCFD解析結果

トンネル断面、緩衝工断面、および列車先頭部の詳細を示したものである。CFD解析では、3次元的に対象となる構造などの形状をできるだけ忠実に再現することにより高精度な予測を行うことが可能である^{2),9)}。

図-7は、列車トンネル突入、反射、通過、退出時の一連のCFD解析結果の一部を示したものであり、トンネル坑口から150mの地点での時系列波形を示している。図示した結果から、まず、正圧の突入波 ΔP_{+A} が測定点を通過した後、負圧の反射波 ΔP_{-A} が通過し、列車による圧力低下 ΔP_R を生じた後、正圧の退出波 ΔP_{+B} が通過しているのがわかる。

CFD解析結果と既往の理論式⁹⁾との組み合わせにより、列車速度と各々の圧力変動の関係を求める提案式を定めた²⁾。これにより、設計に必要なさまざまな速度域での圧力変動を列車の走行形態に応じて算定することが可能となる。

図-8は、CFD解析にもとづく提案式から求めた列車速度と各々の圧力変動の関係を示したもの

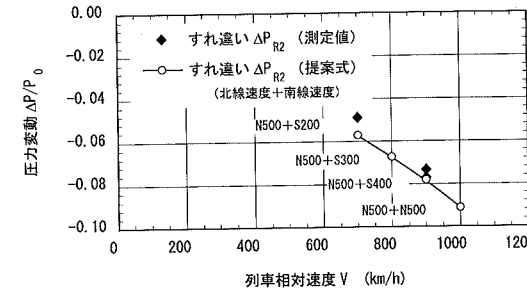
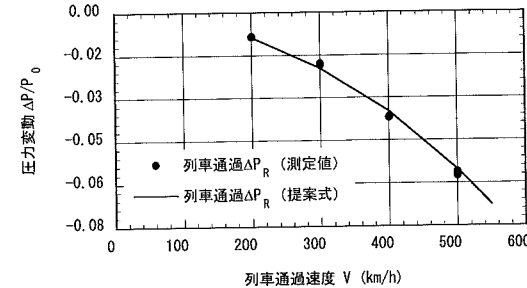
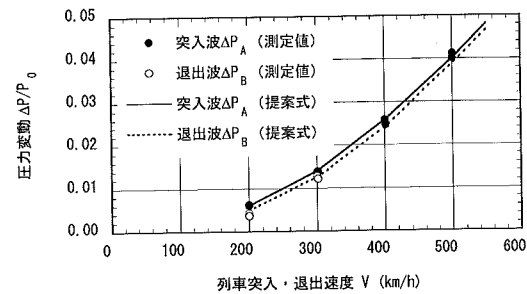


図-8 列車速度ごとの圧力変動測定値と解析値の比較

である。

また、図-8には圧力変動測定結果も示している。図-8の解析値と測定値は良く一致しており、CFD解析および提案式は実用上、十分な精度を有していることが確認できる。

6 圧力変動の最大値とくり返し回数

6-1 トンネル覆工に作用する最大圧力

トンネルの覆工構造の強度特性について検討するには、トンネル全体での最大圧力を評価する必要がある。

図-3で説明したように、トンネル内では列車の走行に伴う複数の圧力変動(突入波・退出波・反射波・列車通過・すれ違い)が重畳し、トンネル内の特定の場所では、これまで説明してきた以上の大きな圧力が生じる。すなわち、最大圧力を評価することは、複数の圧力変動が重畳している状態を評価することになり、その最大値を算定することになる。ここでは、全長10km程度までのトンネルを対象に、列車は16両編成(列車長400m)とし、速度条件として、1列車単独走行時には列車速度 $V=550\text{km/h}$ 、2列車すれ違い走行時には2列車とも速度 $V=500\text{km/h}$ 、すなわち、相対速度 $1,000\text{km/h}$ の場合の最大正圧および最大負圧を算定する。なお、最大圧力を算定するうえで定めた各々の圧力現象は、以下に示す6種類である。

- (a) 列車突入時に発生する突入波 ΔP_A
- (b) 列車退出時に発生する退出波 ΔP_B
- (c) トンネル坑口での反射波 $\Delta P_{\pm A}$
- (d) 列車通過時の圧力低下 ΔP_R
- (e) すれ違い時の圧力低下 ΔP_{R2}
- (f) 空気粘性効果による圧力変動 ΔP_V

図-9は、1列車走行時および2列車走行時に、トンネル内で最大正圧と最大負圧を生ずる現象の組み合わせを示したものであり、それぞれ、列車と圧力波のダイヤグラムの形で表している¹⁾。

図-9の組み合わせで、トンネル内の最大圧力(最大正圧・最大負圧)を算定すると、表-1に示す結果となる。

6-2 トンネル内の圧力変動のくり返し回数

トンネル覆工構造の疲労特性に関する検討を行う場合には、圧力変動とトンネル供用期間中のくり返し回数を定める必要がある。

トンネル内の最大正圧・最大負圧の算定の場合

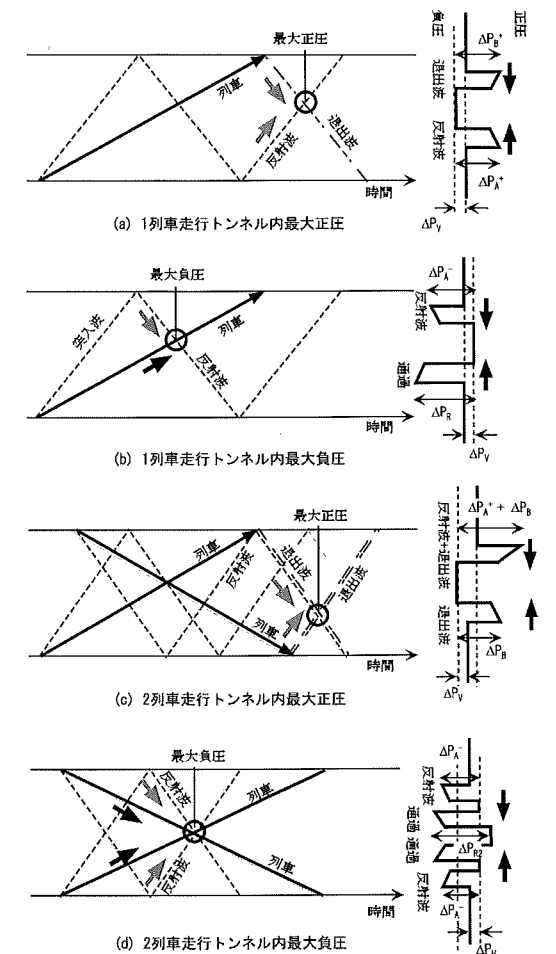


図-9 トンネル内の最大正圧・最大負圧を算定する際の組み合わせ

表-1 トンネル内の最大正圧・最大負圧

| 最大値 | 1列車単独走行 550km/h | 2列車すれ違い 1,000km/h |
|----------------------------|--------------------|----------------------|
| 正圧 $\Delta P_{max}/P_0$ | +0.109 | +0.146 |
| 負圧 $\Delta P_{min}/P_0$ | -0.123 | -0.188 |

と同様、トンネルの供用期間100年と列車の走行条件・運行条件にもとづき、圧力現象の重複度(=重畳のパターン)に応じて、その圧力変動ならびにくり返し回数を定める。

表-2,3は、トンネル内に生じるすべての圧力現象の重畳パターンを想定し、その重複度1~3に応じて正圧および負圧の圧力変動とくり返し回数

表-2 正圧の重複度と圧力変動およびくり返し回数

| 圧力現象 | 重畳パターン | 圧力変動 $\Delta P_i/P_0$ | 回数 |
|------|--------------------|-----------------------|------------|
| 重複度3 | 突入波+退出波×2 | +0.146 | 374,000 |
| 重複度2 | 突入波+突入波 突入波+退出波 | +0.110 | 6,588,000 |
| 重複度1 | 突入波・退出波 | +0.055 | 32,424,000 |

表-3 負圧の重複度と圧力変動およびくり返し回数

| 圧力現象 | 重畳パターン | 圧力変動 $\Delta P_i/P_0$ | 回数 |
|------|-----------------------------|-----------------------|------------|
| 重複度3 | 反射波×2+列車通過 反射波+すれ違い | -0.138 | 281,000 |
| 重複度2 | 反射波+列車通過 すれ違い 反射波+反射波 | -0.102 | 5,840,000 |
| 重複度1 | 列車通過 反射波 | -0.066 | 22,520,000 |

を算定したものである。正圧・負圧、いずれの場合も、重畳の組み合わせパターンで、2~3種類の圧力変動を示す場合があるが、その中で最大の圧力変動を採用した。なお、トンネル内で生じる圧力変動のくり返し回数は、列車の運行計画(運行ダイヤグラム)に従い、自列車と対向列車のトンネル突入時間をずらしながら、各々の重複度に応じてカウントしたものである。

7 トンネル覆工構造の強度特性

覆工コンクリートの応力解析は、図-2に示したトンネルの覆工構造をトンネル軸直交断面での平面ひずみ問題として取り扱う。図-2に示したように、トンネル覆工の地山側には、止水目的の防水シートと導水性向上のための導水材(不織布)が配置されている。防水シートの弾性係数は導水材に比べ十分に大きいため、地山を支持するばねとして導水材(不織布)と覆工コンクリートの弾性だけに着目したモデル化を行う。解析モデル構築にあたり次の2点を仮定した²⁾。

- ① 地山は吹付コンクリート、ロックボルトなどの支保工により安定が保たれ、覆工には地圧が作用しない。

- ② 圧力変動による変形は、覆工コンクリートと覆工地山側に配置された導水材(不織布)のみに生じる。

解析対象のモデル化は4節点ソリッド要素を用い、覆工と導水材は周方向に32分割し、また、厚さ方向に関しては、導水材は1分割、覆工コンクリートは3分割とした。境界条件は、覆工の端部と導水材の地山側の節点変位を拘束した。要素分割を図-10に示す。覆工コンクリートの材料定数は、計測地点で採取した覆工コンクリートのボーリングコアの圧縮試験結果などにもとづいた³⁾。

導水材の物性に関しては、室内試験により厚さ方向に受ける荷重と厚さの保持率の関係が得られている。荷重を受けている状態での導水材の接線弾性係数は、厚さ方向に受ける荷重が増加すると剛性が高くなる非線形特性を示す³⁾。さらに、覆工地山側に配置された導水材は、施工の際、覆工コンクリート打設時の圧力を受けて圧縮されると考えられる。この圧力を静水圧分布と仮定し、導水材の弾性係数の分布をコンクリート打ち込み深さの関数として定めた³⁾。

この結果を用い、解析モデルの要素ごとに各々の要素の中心位置で、導水材の弾性係数を設定した。

図-10に示した解析モデルを用い、覆工コンクリートの応力解析を行い、解析結果から求められるひずみと実測ひずみの比較を行い、解析モデルの妥当性を検証する。なお、解析において外力とする圧力変動は、測定から求められた圧力変動の最大値を用いている^{2),3)}。

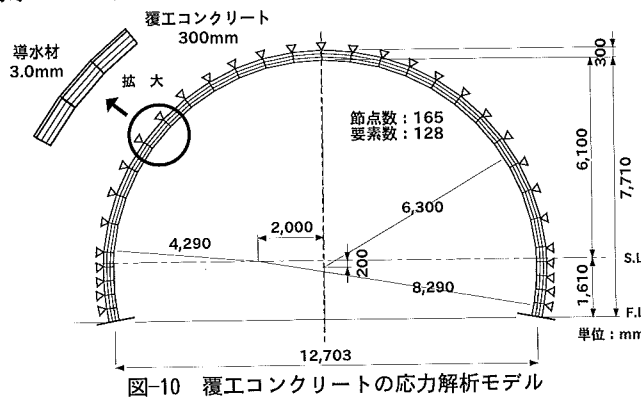


図-10 覆工コンクリートの応力解析モデル

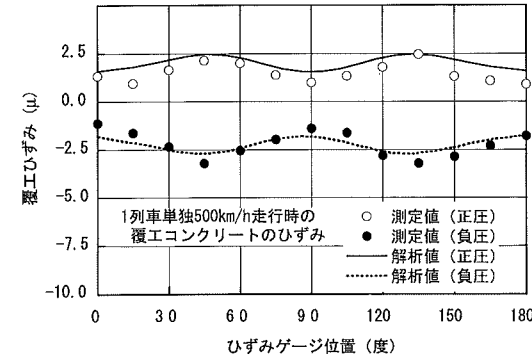
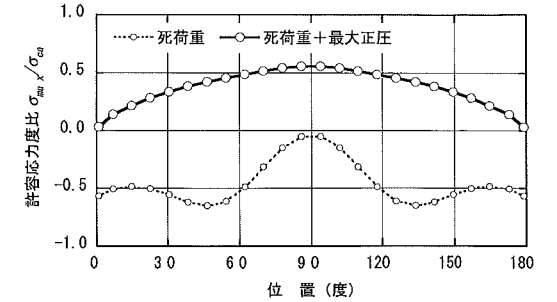


図-11 最大ひずみ分布の解析値と測定値の比較

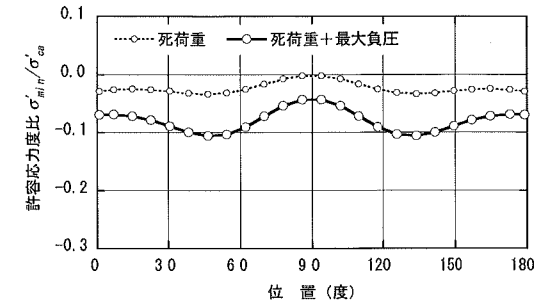
図-11に覆工コンクリートの最大ひずみ分布の解析値と測定値(列車500km/h走行)の比較結果を示す。図示した結果から、突入波作用時の正圧による最大引張ひずみとその断面内の分布に関し、解析結果と測定結果はよく対応していることがわかる^{2),3)}。

覆工コンクリートの自重(=死荷重)を考慮し、さらに、表-1で求めたトンネル覆工構造に作用する設計用最大圧力変動(最大正圧・最大負圧)が作用した場合の覆工コンクリート応力について検討する。

死荷重+最大圧力変動を作用させた場合の応力解析の結果を図-12に示す。図-12(1)は死荷重+最大正圧を作用させた場合の解析結果(図中実線)であり、図-12(2)は死荷重+最大負圧を作用させた場合の解析結果(図中実線)を示している。図中の破線は死荷重による応力を示しており、この破線と実線との差が、最大圧力変動による応力を表す。なお、図-12は、コンクリート応力度を、コンクリート標準示方書の無筋コンクリートの許容引張応力度 $\sigma_{ca} = 0.29 \text{ N/mm}^2$ (最大正圧作用時) および許容圧縮応力度 $\sigma'_{ca} = 5.4 \text{ N/mm}^2$ (最大負圧作用時) の比、すなわち、それぞれ許容応力度比で示している。そのため、死荷重による許容応力度比は、最大正圧作用時と最大負圧作用時では異なることとなる。図-12に示した結果から、引張り・圧縮、いずれの場合も、絶対値で許容応力度比1.0を超える応力(引張り=0.6および圧縮=0.1)は発生していない。この結果から、列車が500km/hで走



(1) 最大正圧作用時の引張応力



(2) 最大負圧作用時の圧縮応力

図-12 最大圧力作用時の覆工コンクリートの応力度

行する場合の最大正圧・最大負圧が作用した場合にも、覆工コンクリートは十分な強度を有していることがわかる。

8 トンネル覆工構造の疲労特性

表-2,3に示したトンネル内に生じる正圧・負圧の圧力変動とくり返し回数にもとづき覆工コンクリートの疲労特性の検討を行う。

超高速鉄道トンネルの覆工構造では、列車走行に伴う圧力変動により覆工コンクリートには引張りおよび圧縮の交番荷重が作用し、覆工断面には変動する圧縮・引張軸力と正負の曲げモーメントが発生する。このために、覆工コンクリートは、通常の疲労試験で対象となる圧縮のみ、あるいは、引張りだけの荷重に比べ、くり返し載荷の影響を大きく受けることが予想される。

さらに、列車走行に伴う圧力変動に伴う応力のくり返し荷重による覆工コンクリートの疲労については十分な検討がなされていないのが現状であり、現在、多く実施されている圧縮、引張り、圧縮・引張りおよび曲げ疲労試験方法ではこのよう

な応力状態は再現できない。

本研究では、このような引張り・圧縮軸力と正負の軸力・曲げモーメントのくり返し荷重を受けるトンネル2次覆工コンクリート(以下、覆工)の応力状態を精度よく再現でき、軸力と曲げモーメントを同時に作用させることが可能な疲労試験機を開発し、圧力変動に伴う内圧を受けるトンネルの覆工コンクリートをモデル化し、覆工コンクリートの疲労性状について試験した。

図-13は、本研究で開発した覆工疲労試験装置の概念図を示したものである。覆工疲労試験装置の開発にあたり、従来の梁の曲げモデル、1点荷重および2点荷重の梁モデル、アーチモデルについて比較検討した結果、応力状態の再現性という観点から、2点荷重の梁モデルとアーチモデルが優れていることがわかった。しかし、境界条件の設定、変位やひずみの測定、装置の開発時間、開発にかかるコストなどを考慮し、装置としてもっとも実現性が高いことから、図-13に示すような試験体の両側(内空側と地山側)から荷重を作用させる方法(2点荷重)を採用することとした。

図示したように、覆工コンクリート内の応力状態を再現するため、供試体の両側に2台のアクチュエータを設置し、供試体中心軸からの偏心距離を利用して、供試体に軸力とモーメントを作用させる。この荷重装置により、供試体にはトンネル内での列車走行による覆工コンクリートの応力状態を模擬した圧縮・引張りのくり返し応力が作用することになる。

覆工の疲労試験に先立ち、その基準となる静的荷重試験を行った。その結果、供試体はほぼ弾性的な挙動を示し破断に至った。標準供試体の静的破壊強度をトンネル内の圧力変動(内圧)に換算すると、平均値で97.48kPa ($\Delta P_A/P_0=0.98$ 相当)であった。

図-14は、この疲労試験装置による荷重パターンの概念図と疲労試験装置の稼働状況を示したものである。なお、疲労試験での荷重の荷重速度は5 Hzとしている。

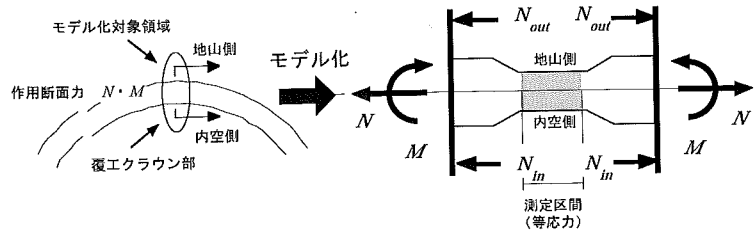
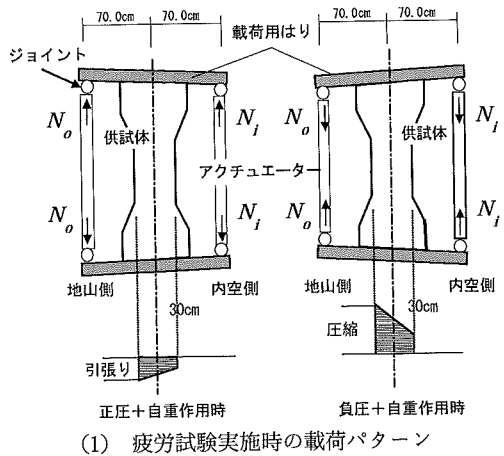
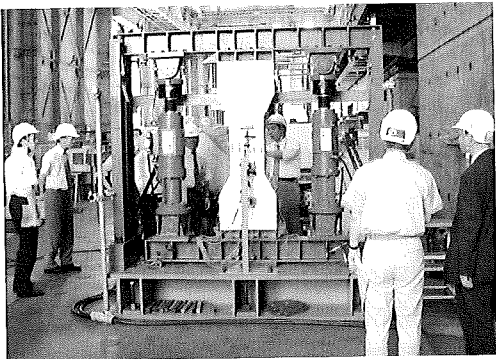


図-13 覆工コンクリートのモデル化(2点荷重方法)



(1) 疲労試験実施時の荷重パターン



(2) 疲労試験装置の稼働状況

図-14 覆工コンクリートの疲労試験に用いた装置

のである。なお、疲労試験での荷重の荷重速度は5 Hzとしている。

疲労試験では、軸力 N および曲げモーメント M を変化させ、覆工コンクリートに圧力変動が作用した状態と同様な応力状態を再現させる。

図-15は、覆工コンクリートの疲労試験結果を $S-N$ 曲線(内圧比=疲労試験時の破壊強度の換算内圧値 P_{FG} と静的荷重時の破壊強度の換算内圧 P_{ST} の比)としてまとめたものである。図示した結果から、疲労寿命と内圧比の回帰結果の精度は相関

係数で88%と高く、ばらつきも少なく良い対応関係にある。これらの関係を外挿すると、標準供試体ではくり返し荷重回数100万回に相当する内圧比は0.65となり、この値はトンネル内圧力変動の最大正圧 $\Delta P_A/P_0=0.146$ に相当する内圧比0.15の4倍強に相当し、十分な耐力があることが確認できる。

図-15に示した $S-N$ 曲線にもとづき、トンネル内の圧力変動の年間想定荷重にマイナー則を適用することにより、覆工コンクリートの疲労に対する累積損傷度を求めることにする。

トンネル覆工クラウン部の最大応力とそのくり返し回数から算定される累積損傷度は、表-4に示すような結果となり、その値は、疲労試験から得られる $S-N$ 特性の平均値を採用しても累積損傷度は 4.92×10^{-9} (平均値)ときわめて小さい検討結果であり、疲労試験から得られる $S-N$ 特性の95%信頼区間の下限値をとった場合でも、累積損傷度は 2.85×10^{-4} となり、疲労特性の観点から言えば、設計上十分な耐力があることを確認した。

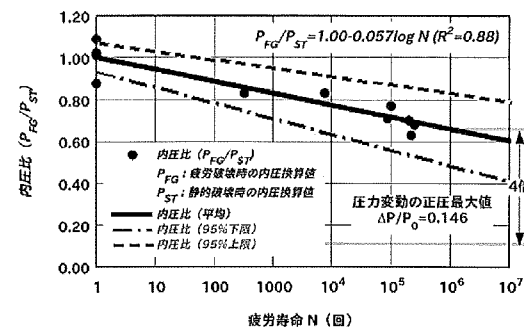


図-15 疲労試験から得られた $S-N$ 曲線(内圧比表示)

表-4 軸力・曲げモーメント同時荷重時の覆工コンクリートの累積損傷度

| 圧力変動 $\Delta P/P_0$ | くり返し回数 | 平均値 | | 下限値(95%信頼区間) | |
|---------------------|------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | 破壊回数 | 損傷度 | 破壊回数 | 損傷度 |
| 0.146 | 374,000 | 9.89×10^{14} | 3.78×10^{-10} | 2.90×10^{16} | 1.29×10^{-5} |
| 0.110 | 6,588,000 | 4.20×10^{15} | 1.57×10^{-9} | 8.72×10^{16} | 7.55×10^{-5} |
| 0.055 | 32,424,000 | 3.83×10^{16} | 8.46×10^{-10} | 4.68×10^{11} | 6.93×10^{-5} |
| -0.138 | 281,000 | 1.36×10^{15} | 2.06×10^{-10} | 3.71×10^{10} | 7.58×10^{-6} |
| -0.102 | 5,840,000 | 5.80×10^{15} | 1.01×10^{-9} | 1.11×10^{11} | 5.24×10^{-5} |
| -0.066 | 22,520,000 | 2.46×10^{16} | 9.14×10^{-10} | 3.34×10^{11} | 6.73×10^{-5} |
| 累積損傷度 | | | 4.92×10^{-9} | | 2.85×10^{-4} |

9 おわりに

本研究は山梨実験線での実測、CFDを用いた3次元数値流体解析、疲労試験装置を用いた模型試験、FEMによる応力解析を活用し、高速列車走行に伴う、トンネル内圧力変動評価ならびにこの圧力変動作用時の覆工構造の強度特性・疲労特性の評価を行い、これらの検討・評価から得られた一連の研究結果を博士論文⁹⁾としてまとめ、その骨子の概要を報告したものである。

超高速鉄道トンネルの覆工構造の耐風圧設計について論じるとともに、山梨リニア実験線のトンネルを対象にして、設計方法の妥当性および覆工構造の特性を評価した。

本研究で提案した耐風圧設計法は、従来の知見にない時速500km/h走行下での実測結果との比較から、トンネル内の圧力変動の算定方法および覆工コンクリートの応力度解析モデルとも、実用上、十分な精度を有することを確認した。また、提案した設計方法にもとづき、将来の営業線を想定した条件下での覆工構造の特性を評価した結果、現状の設計断面であれば、構造上、十分な強度と疲労特性を有していることを確認した。

最後に、本報告をまとめるにあたり、東海旅客鉄道(株)リニア開発本部各位、(株)大崎総合研究所各位に多大なるご協力を賜り、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 北川修三・板橋廣二・松橋貞雄：山梨リニア実験線の建設計画，トンネルと地下，Vol.22, No.5, pp.7-12, 1991.5.
- 山崎幹男・若原敏裕・永長隆昭・上野眞・藤野陽三：超高速鉄道トンネル内に生じる圧力変動評価，土木学会論文集，No.738/I-64, pp.171-189, 2003.7.
- 山崎幹男・加藤寛・若原敏裕・岡崎真人・上野眞・藤野陽三：超高速鉄道トンネル内の圧力変動に対する覆工構造の設計，土木学会論文集，No.752/I-66, pp.119-131, 2004.1.
- 小川隆申・藤井孝蔵：高速で走行する

列車のトンネル突入によって生じる圧縮波の数値シミュレーション, 日本機械学会流体工学部門講演会論文集No.930-49, 1993.

5) 山本彬也: 新幹線トンネルの圧力変動・空気抵抗・トンネル換気, 鉄道技術研究報告, No.871 (共通編

第89号), 1973.10.

6) 山崎幹男: 超高速鉄道トンネル内の圧力変動評価と覆工構造の設計に関する研究, 東京大学, 2004.3. 博士論文.

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, 経験的計画法, 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 ○弾索性論による解析/そ性力学の基礎, 軸対称円形トンネル, 線対称円形トンネルの弾索性解, 円形トンネルで地山の自重を考えた弾索性解析 ○弾索性解以外の検討/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メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888 (代) 振替 00110-8-190072

研究

高流動コンクリートを用いた推進管の開発

東京電力(株)工務部送変電建設センター土木グループ 子安英夫
東京電力(株)工務部送変電建設センター共同溝設計グループ 苗村佳男
東京電力(株)東京支店東京工事センター管路保全グループ 小林浩道
日本コンクリート工業(株)技術開発部第二技術グループ 斉藤彰宏

1 はじめに

推進工法は, 都市部での管路埋設工事などにおいて多く適用されている.

また, 近年では長距離施工・急曲線施工や自動測量などの技術の発展により施工の合理化が図られ, 推進工法の適用可能となる施工条件が拡大されている.

東京電力(株)では, 推進工事費の約3割程度を占めている推進管の調達費用を低減できれば推進工法の一層の合理化を図ることができると考えた.

このため, 日本コンクリート工業(株)と共同して開発した鉄筋コンクリート杭の遠心力成型工程を活用した推進管¹⁾(以降, SAYAKAnという, 最大口径1,200mm)を開発し実績を上げてきたが, 今回いままでの製造技術では不可能であった大口徑推進管の合理化検討を行った.

すなわち, 東京電力(株)がRCセグメントの合理化の一環として開発した, コンクリート二次製品への高流動コンクリートの適用技術と日本コンクリート工業(株)のコンクリート二次製品製造技術を融合させ, 遠心力成型を行わない推進管(以降, 高流動推進管という)の製造技術を開発(特許出願中)した. そして東京電力(株)の3件の工事に採用した.

本稿では, 開発した高流動推進管の特徴および適用工事の概要を紹介する.

2 高流動推進管の特徴

2-1 準拠規格について

高流動推進管は従来の推進管と同様, 下水道推進用鉄筋コンクリート管²⁾(JSWAS A-2 1999, 日本下水道協会(以降, 下水道協会規格という))相当品である. したがって, 検査項目は以下の4項目である.

- ① 外観, 寸法
- ② 外圧強度
- ③ コンクリートの圧縮強度
- ④ 水密性

2-2 製造方法について

2-2-1 コンクリート

(1) 高流動コンクリートの採用

高流動コンクリート(スランプフロー: 65.0±5.0cm)と中流動コンクリート(スランプフロー: 18.0±2.0cm)を用いて推進管の試作を行い製造コストおよび出来上がり状況などを比較した結果, 材料費は高くなるものの人件費の削減などトータルコストで優位となることおよび推進管の出来上がり状態も良好であることから, 高流動コンクリートを採用した.

(2) コンクリートの打設方向

コンクリート表面の空気痕発生防止を図るため, 円筒型枠を立ててコンクリートを打設する「縦打ち方式」を採用した.

(3) コンクリートの圧縮強度

コンクリートの圧縮強度として, 脱型強度と設計基準強度の2条件を設定した.

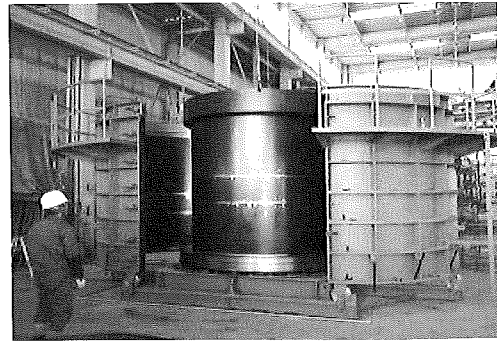


写真-1 型枠外観

1) 脱型強度

型枠の有効利用によるコストダウンを指向し、通常作業時間で1日2回転の製造が可能となるよう、脱型強度を材齢4時間で15 N/mm²とした。

2) 設計基準強度

長距離推進に対応できる推進管とするため、設計基準強度を材齢7日で70 N/mm²とした。

2-2-2 鉄筋籠

鉄筋籠の製作にあたっては、帯筋(普通鉄線)を所定間隔で軸筋(鉄筋)に巻きつけて溶接固定することで堅固な鉄筋籠としている。

また、確実に鉄筋籠のかぶりを確保する対策を施している。

2-2-3 型枠

「縦打ち方式」での作業の省力化を図るため、型枠に以下の工夫を行った。

- ① 継手カラーを底盤型枠に固定することで、カラー取り付け精度の向上を図った。
- ② 定置式型枠とし、車輪をつけた外型枠がレール上を走行することで型枠の吊り上げ移動を回避した。

写真-1に型枠外観を示す。

2-2-4 製造工程

推進管製造工程は、型枠整形、コンクリート打設、一次養生、脱型、二次養生、差し口側端面整形という手順で行われる。推進管製造過程を写真-2~4に示す。

2-3 外圧強度について

2-3-1 規格値

下水道協会規格に規定されている推進管の外圧

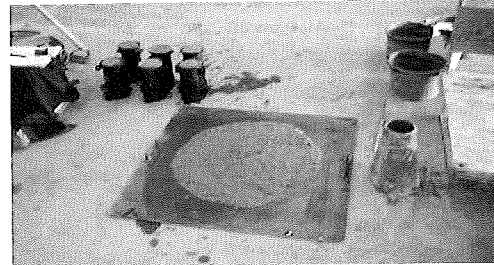


写真-2 スランプフロー試験状況

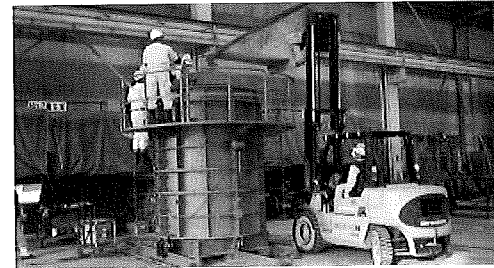


写真-3 コンクリート打設状況

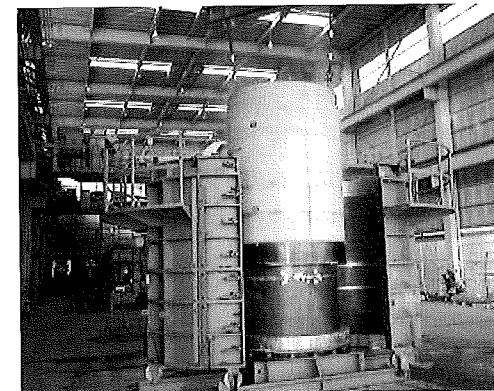


写真-4 製品脱型状況

強度およびその試験方法は表-1および図-1に示すとおりである。

2-3-2 標準強度推進管(I種管)

標準強度の推進管である下水道協会規格のI種管(以降I種管という)は、SAYAKAnの製造実績を踏まえ単鉄筋構造とした。

推進管を単鉄筋構造とした場合、推進管の外圧強度(ひび割れ荷重)が規格値を下回ることが懸念されたことから、コンクリートに膨張材を混和して、ケミカルプレストレス効果によるコンクリート引張強度の増加を図った。

鉄筋量一定のφ1,500mmの推進管を用いて、膨張材混和量をパラメータとした外圧強度試験を実

表-1 外圧強度規格値

| 呼び径 | 単位: kN/m | | | |
|-------|----------|------|------|-----|
| | ひび割れ荷重 | | 破壊荷重 | |
| | I種 | II種 | I種 | II種 |
| 1,200 | 44.2 | 88.3 | 86.3 | 133 |
| 1,500 | 50.1 | 101 | 110 | 151 |
| 1,800 | 55.9 | 112 | 134 | 168 |

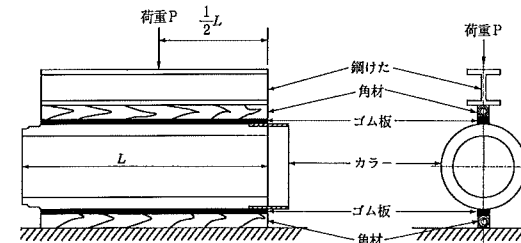


図-1 外圧試験方法

施した結果、以下の事項が確認できた。

- ① 膨張材混和量が多いほど外圧強度は大きい。
- ② 膨張材混和量がある程度以下の場合、外圧強度のばらつきが大きい。
- ③ 膨張材混和量がある程度以上になると、型枠脱型時に推進管端部(継手凹凸部)のコンクリートの損傷が発生しやすくなる。

上記より、膨張材混和量は外圧強度のばらつきが小さく、規格値を一定の安全率を有して満足する最小の値を選定した。

2-3-3 高強度推進管(II種管)

高強度の推進管である下水道協会規格のII種管(以降、II種管という)は、土かぶりの大きな箇所など高強度の推進管を必要とする場合に用いられる。

II種管のひび割れ荷重の規格値はI種管の2倍であることから、複鉄筋構造に変更するとともに、膨張材混和量の増加を図った。これは、ケミカルプレストレス効果が鉄筋の拘束力と正の相関関係があるとの考え³⁾にもとづくものである。

膨張材混和量は、I種管での検討と同様に外圧強度規格値を一定の安全率を有して満足する最小の値を選定した。

なお、複鉄筋の場合、膨張材混和量

を多くしても、型枠脱型時のコンクリートの損傷は見られなかった。

2-4 水密性について

下水道協会規格の下部規格である継手型式試験規定においてJA(目開き量:30mm)、JB(目開き量:40mm)およびJC(目開き量:60mm)の3ケースについて試験条件が定められている。このうち、使用頻度の多いJA、JCの条件を表-2に示す。

2-4-1 止水性向上を目指した対応策

- ① 急曲線対応として、ロングカラー(185mm)を採用し、急曲線施工で生じる目開きにおいてシール材がカラーから抜け出さないようにした。
- ② 水道用ゴム(JIA K 6353)を使用すると

表-2 水密性能試験条件

| 継手区分 | 試験の種類 | 試験水圧 (MPa) | 抜け出し量 (mm) | 目開き量 (mm) |
|------|-------|------------|------------|-----------|
| JA | 水平水密 | 0.15 | 30 | 0 |
| | 曲げ水密 | | 0 | 45 |
| | 複合水密 | | 37 | 30 |
| JC | 水平水密 | 0.25 | 60 | 0 |
| | 曲げ水密 | | 0 | 90 |
| | 複合水密 | | 37 | 60 |

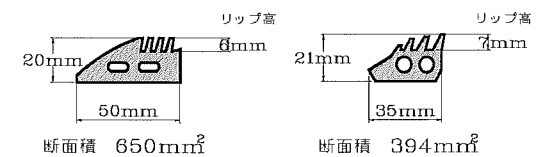


図-2 形状寸法 (1)下水道規格シール材 (2)高流動推進管シール材

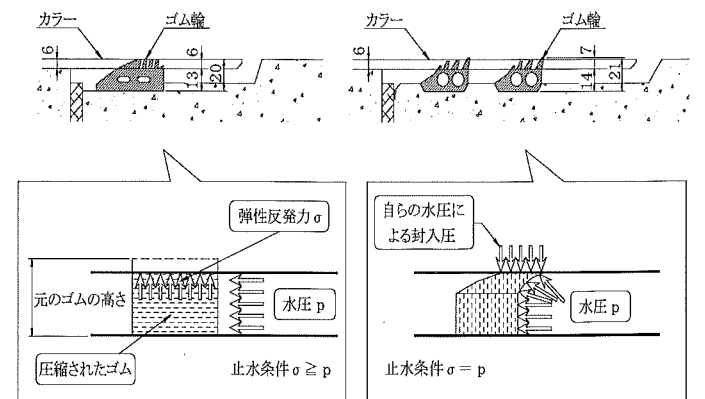


図-3 止水の考え方

もに、シール材の形状検討により嵌合時にシール材の捲り上がりの防止(つぶれやすかつ後ろへ倒れやすい形状)と自封効果による止水(シール材の高さを大きくし、嵌合時に後ろに倒れこんだリップが水圧を受けるとカラーに密着し止水するという考え方)を期待したシール材とした。

シール材の形状寸法を図-2に、止水の考え方を図-3に示す。

2-4-2 止水性能確認試験結果

継手区分JCの条件で水密試験を行い、推進管先端側の1本のシール材のみで水平・曲げ・複合水密とも0.3MPaの止水性能を有しており、下水道協会規格を満たしていることを確認した。

2-5 外観と寸法精度

高流動推進管は、型枠成型で製造していることから管内・外周とも外観は良好であり、寸法誤差はきわめて小さい。

首都高初台(変)管路支障移設工事(φ1,350mm, 53本)に納入した推進管の管寸法測定結果を表-3および図-4~6に示す。

2-6 推進工法の適用拡大

市販推進管の最大口径は、道路運搬上の制限からφ3,000mmとされているが、本推進管は遠心締め固め装置を用いないため工事現場における製造

表-3 管寸法測定結果

| | 管内径 | 管厚さ | 管長 | カラー長 |
|--------|--------|--------|---------|--------|
| 下水道許容値 | ±8 | +8, -4 | +10, -5 | ±2 |
| 最大誤差 | +2, -2 | +5, -2 | +2, -0 | +1, -2 |
| 平均誤差 | -0.1 | +0.2 | +0.5 | -0.2 |

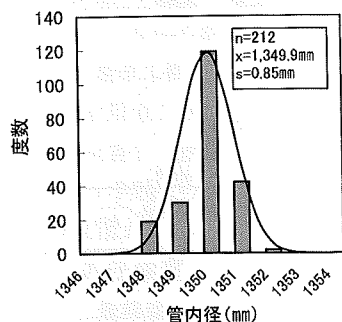


図-4 管内径測定結果

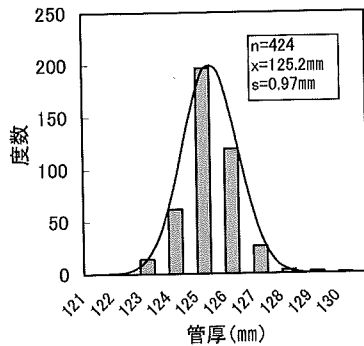


図-5 管厚測定結果

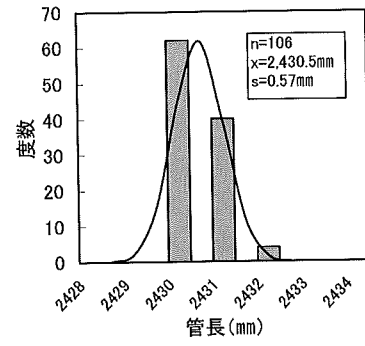


図-6 管長測定結果

が可能である。

現場製造は、道路運搬を回避できることからφ3,000mmを超える推進管の製造ができ、今までシールドでなければ施工が不可能であった工事を推進工法で施工することが可能となり、大幅なコストダウンが期待できる。

3 従来品との性能比較評価

高流動推進管は2-1で示したとおり、従来品相当の性能を有するように開発されたものであるが、コンクリートの配合や締め固め方法に従来品と相違があることにより、従来品(以下、市販推進管という)との性能を比較評価した。

3-1 外圧強度および変形性能

高流動推進管と市販推進管を用いて、同一条件での外圧試験を実施した。

試験推進管の口径φ1,500mmとし、詳細条件は以下に示すとおりである。

- ・高流動推進管
管長 2.43m, 種類 I種-70, 鉄筋量 1.01%
管長 0.80m, 種類 II種-70, 鉄筋量 1.82%
- ・市販推進管
管長 2.43m, 種類 I種-50, 鉄筋量 0.75%
管長 0.80m, 種類 II種-50, 鉄筋量 1.02%

なお、試験時の材齢は、メーカーの管理材齢(高流動推進管7日, 市販推進管21日)以上とし、外圧試験は2-3に示す下水道協会規格に準拠した。

また、外圧試験にあたっては、ダイヤルゲージを設置して推進管の変形量を測定した。ゲージ設置位置を図-7に示す。

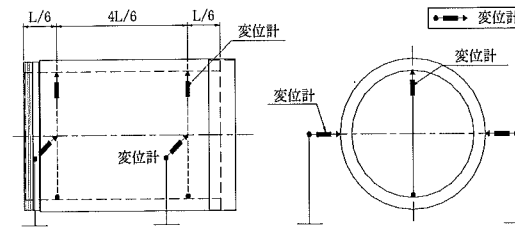


図-7 ゲージ設置位置図

3-1-1 外圧強度

外圧試験の結果、高流動推進管、市販推進管とも規格値を満足する結果を得た。とくに高流動推進管における破壊荷重の安全率は2.0以上という結果を示した。

表-4に外圧強度試験結果を示す。

3-1-2 変形性能

図-8に高流動推進管の荷重-変位曲線を、図-9に市販推進管の荷重-変位曲線を示す。

これにより、以下の事項が確認された。

- ① 高流動推進管、市販推進管ともに縦方向と横方向の変位量はほぼ対称となった。
- ② ひび割れ発生時の変形量は、高流動推進管においてはI種管で縦方向0.7mm, 横方向0.8mm, II種管で縦方向0.9mm, 横方向0.8mm程度である。また、市販推進管においてはI種管で縦方向0.4mm, 横方向0.7mm, II種管で縦方向0.7mm, 横方向0.6mm程度であった。すべて1mm以内での小さな変形量でひび割れが発生している。
- ③ 高流動推進管と市販推進管では、ひび割れ発生後の荷重-変位曲線の形状に明らかな相違が見られ、高流動推進管が滑らかな曲線で

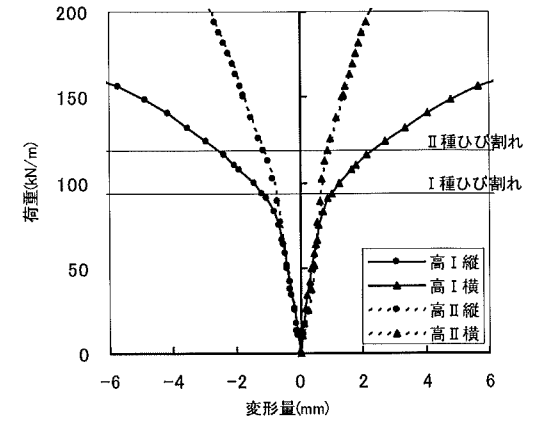


図-8 荷重-変形量曲線(高流動)

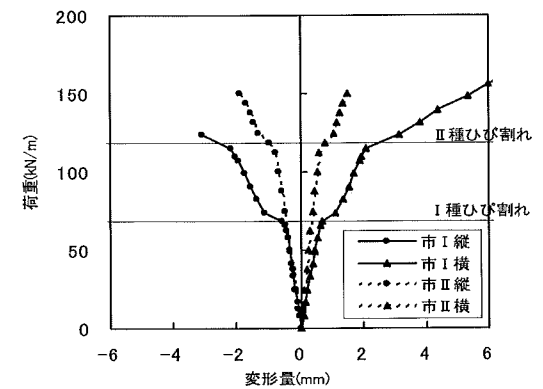


図-9 荷重-変形量曲線(市販)

推移するのに対し、市販推進管ではひび割れ発生直後に変形量が急激に進展する傾向がある。また、市販推進管I種管においては、ひび割れ以降も再度折れ点が発生しており、曲げ剛性が急激に変化しているように見られる。推進管の真円度(縦方向内空/横方向内空)の変化量を変形率(1-真円度)としたとき、高流動推進管および市販推進管の荷重-変形率曲線は図-10に示すとおりである。

これにより、以下の事項が確認された。

- ① 高流動推進管、市販推進管ともに変形率が0.10~0.12%の範囲でひび割れが発生している。
- ② I種管、II種管ともに高流動推進管の方が変形率が小さい。
- ③ 市販推進管の荷重-変形率曲線は滑らかでなく、変形率が急激に進展するところ

表-4 外圧試験結果

| 推進管種類 | ひび割れ荷重(kN/m) | | | 破壊荷重(kN/m) | | | |
|--------|-----------------|-------|-------|------------|-------|-------|------|
| | 規格値 | 実測値 | 安全率 | 規格値 | 実測値 | 安全率 | |
| 高流動推進管 | I-70 L=2.43 | 50.1 | 93.6 | 1.87 | 110.0 | 220.2 | 2.00 |
| | II-70 L=0.80 | 101.0 | 119.1 | 1.18 | 151.0 | 361.0 | 2.39 |
| 市販推進管 | I-50 L=2.43 | 50.1 | 68.3 | 1.36 | 110.0 | 168.7 | 1.53 |
| | II-50 L=0.80 | 101.0 | 118.8 | 1.18 | 151.0 | 240.0 | 1.59 |

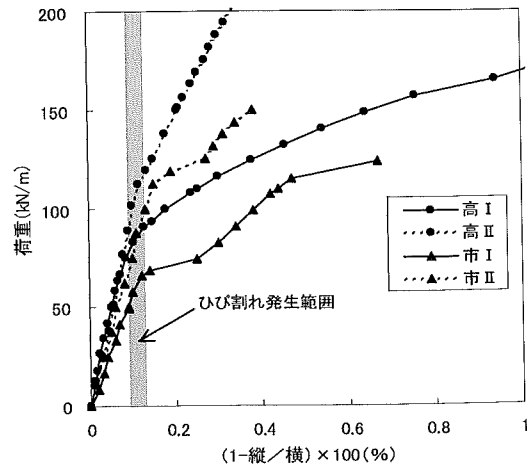


図-10 荷重-変形率曲線

ろが見られた。

高流動推進管と市販推進管を用いた外圧試験結果から、高流動推進管の外圧強度は市販推進管と同等またはそれ以上であり、変形性能(規格特性外)が優れていることが確認された。

3-2 その他

市販推進管は、コンクリートを打設して遠心締め固めを行うという作業を数回にわたってくり返す製造方法が取られている。遠心締め固めを行ったコンクリートは、水および微細な粒子が管内側へ搾り出され、管内側からペースト層、モルタル層、コンクリート層が形成される。このため、コンクリートの断面には打設境界の層が見られ、遠心締め固め後の余剰水の処理が不完全な場合などには、コンクリート内部に空隙が残留することがある。このとき、推進管を電気洞道として使用する場合、洞道内は乾燥状態にあるため空隙部にク

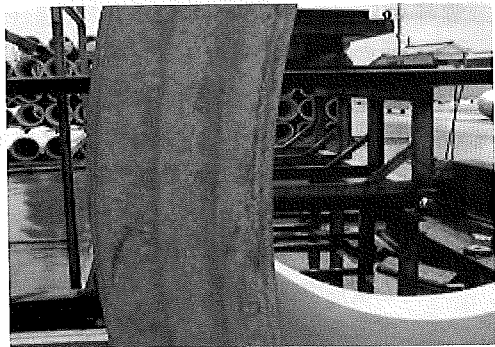


写真-5 市販推進管断面



写真-6 高流動推進管断面

ラックが発生し、所定の性能を有さない危険性がある。

これに対し、高流動推進管はコンクリートを一度に全量打設すること、および高流動コンクリートが不分離特性を有していることから均一に打設されるため、空隙などが発生する恐れが少ない。

市販推進管と今回開発した高流動推進管のコンクリート断面の比較を写真-5, 6に示す。

4 高流動推進管の適用実績

4-1 首都高初台(変)付近管路支障移設工事

4-1-1 施工場所

東京都渋谷区初台2丁目地先

4-1-2 使用推進管

高流動推進管(標準管) φ1,350mm 53本

4-1-3 工事期間

平成17年7月~平成17年8月

4-1-4 工事の特徴

都道317環状6号線(山手通り)で施工されてい



写真-7 施工状況

5 まとめ

本推進管の製造は、高流動コンクリートの持つ特性を最大限に利用することで、製造設備の簡素化・労力の削減などによりコストダウンに努めた製品である。また、品質面でも標準仕様で高水圧・急曲線対応管および長距離対応推進管の性能を有しており、施工条件が厳しいほどコストの低減が大きくなる推進管である。

今回実施した外圧試験結果において、高流動推進管は市販推進管と比較して同等もしくは同等以上の品質を有していることを確認した。

併せて、口径φ3,000mm以上の推進管を現場サイトで製造することでシールドと推進工事の垣根の解消が期待できる製品でもある。

現在、東京電力(株)の3件の工事に採用し、いずれも良好に施工していることから、更なる採用を計画中である。今後、本推進管が電力・ガス・水道をはじめとする推進工事のコストダウンに寄与できれば幸いである。

参考文献

- 1) 山崎 剛・鹿野 聡・白井伸一：杭の製造工程を応用した低価格・高強度推進管の開発，電力土木，No. 300，pp.160-164，2002.11.
- 2) (社)日本下水道協会編：下水道推進工法用鉄筋コンクリート管，JSWAS A-2，1999.
- 3) 菊 広樹・土田伸治・大岩健次郎：ケミカルプレストレスを導入した遠心力高強度鉄筋コンクリート杭の研究(その1，その2)，土木学会第53回年次学術講演会 V-402，p.161，1998.10.

る首都高速中央環状新宿線の建設に伴い支障となる管路の移設を目的に、一部区間に高流動推進管を初採用した工事であり、推進管などへの不具合は発生せず、良好な結果であった。施工状況を写真-7に示す。

4-2 国道357号神明共同溝E-1分線工事

4-2-1 施工場所

千葉県千葉市中央区千葉港1丁目地先

4-2-2 使用推進管

高流動推進管(標準管) φ1,500mm 67本

4-2-3 工事期間

平成18年4月~平成18年6月

4-2-4 工事の特徴

国道357号神明~蘇我・村田共同溝からの分線と既設マンホール間の連係を目的に、高水圧(0.2MPa)・急曲線(35mR)・急勾配(12.6%の下り勾配)という条件下での工事であり、先頭部の急曲線区間を除く区間に高流動推進管を採用している。

4-3 磯子2丁目付近管路新設工事

4-3-1 施工場所

神奈川県横浜市磯子区磯子2丁目地先

4-3-2 使用推進管

高流動推進管(標準管) φ1,500mm 64本

4-3-3 工事期間

平成18年4月~平成18年6月

4-3-4 工事の特徴

国道16号吉野町磯子共同溝からの分線と既設マンホール間の連係を目的に、N値50以上の土丹層を普通推進工法で掘進する工事であり、全線にわたって高流動推進管を採用している。

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では、研究論文(実験、技術開発など)を募集いたします。大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい。とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので、平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します。なお、応募方法の詳細につきましては16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)

土木情報 No. 398

今月の主な入札結果

(5月27日～6月26日)

| 事業主体 | 工事名 | 請負会社 | 請負額 単位 百万円 |
|-----------|--------------------------------------|---------------------------|------------------|
| 北開・帯広 | 更別地区中央幹線排水路東22号工区 | 山内組 | 248 |
| " | 鹿追地区2号幹線配水管 | 三井組・大川組・河向組JV | 171 |
| " | " 3号 " | 道東建設工業・東日本道路JV | 228 |
| 中国地整 | 出雲バイパス白枝地下下水道 | カナツ技研工業 | 240 |
| 四国地整 | 地芳T第1(その4) | 鹿島・日本国土JV | 5,300 |
| 鉄道・運輸機構 | 北陸新幹線松ノ木T(東)2 | 鉄建・東洋・みらい・岡田土建JV | 1,712 |
| 石狩西部広域水道 | 送水施設創設9号送水管新設その15 | 中山組・北成建設・札幌土建工業JV | 149.7 |
| " | " 1号 " その77 | 田中組・大東工業・大同舗道JV | 171 |
| 埼玉県 | 荒川右岸流域下水道終末処理場放流渠築造5 | 岩田建設 | 175 |
| 都・水道局 | 町田市相原町2781番地先から同区相原町706番地先間送水管用立坑築造 | 大盛工業 | 680 |
| " | 拜島ポンプ所から八王子市丹木町一丁目地先間送水管用立坑およびトンネル築造 | 西松・鴻池JV | 2,068 |
| " | 中央区日本橋横山町, 東日本橋三丁目付近外管渠改良 | 市原組 | 178.5 |
| 都・下水道局 | 文京区白山五丁目付近再構築 | 布施建設 | 169.6 |
| " | " 関口二, 三丁目付近再構築 | 隅田川工業 | 111.11 |
| " | " 小日向一丁目付近再構築 | シー・エス・アイ | 150 |
| " | 豊島区南大塚三丁目付近再構築その2 | 足立建設工業 | 149.7 |
| " | " 西池袋二丁目, 目白三丁目付近再構築 | 多賀建設・佐竹建設JV | 260.44 |
| " | 荒川区南千住六丁目, 荒川一丁目付近再構築 | 大蔵工業 | 188.49 |
| " | 補助107号線拡幅に伴う荒川区南千住一丁目付近再構築 | 京三建設工業 | 170.6 |
| " | 墨田区東向島六丁目, 八広一丁目付近再構築 | 前川建設 | 372 |
| 都・新都市建設公社 | 町田市公下鶴川雨水幹線その3 | ハザマ・安藤JV | 843.08 |
| " | " 小山町污水枝線その5 | 国土総合建設・岳大土木JV | 268.74 |
| 福井県 | 遊子T | 西村組・羽崎組JV | 599 |
| 徳島県 | 旧吉野川流域下水道建設事業鳴門松茂幹線管渠(鳴門南工区) | 大豊・島谷・富岡JV | 769 |
| 長崎県 | 主要地方道長崎南環状道路改良(唐八景T) | 青木あすなる・梅林・松田JV | 3,379 |
| 札幌市 | 二十四軒手稲通幹線新設その21No.9-0021 | 中山組・杉原建設・北海道機械開発・札幌土建工業JV | 318 |
| " | 藻岩導水管布設替えその5 | 丸彦渡辺建設・原田建設工業・柏菱建設工業JV | 217.5 |
| " | 西5丁目幹線新設その5No.9-0005 | 北土建設・新太平洋建設・北海道建設工業・花井組JV | 246 |
| 志木市(埼玉県) | 田子山地区浸水対策第二期(その1) | ハザマ・関口工業JV | 365 |
| 城戸・鶴ヶ島水道 | 給・配水間第144号布設替 | 戸田建設 | 105.8 |
| 城戸・鶴ヶ島下水道 | 污水管渠築造(鶴ヶ丘幹線) | 島村工業・清水工業JV | 160 |
| 千葉市 | 新港横戸町線2工区ボックス他築造 | ハザマ・三井住友・総電建JV | 2,168 |
| " | " 6工区 " | 大本組・高田土木JV | 582 |
| 横浜市 | 水場から減圧水槽φ1,500mm導水管布設(その14) | ハザマ | 1,380 |
| " | 中部処理区千代崎地区下水道再整備(その5) | 新和興業 | 164.6 |
| 横須賀市 | 7工区堀の内排水区污水第1幹線ほか築造 | 馬淵・ピーディーJV | 784.8 |
| 相模原市 | 公下相模川第6-イ-38雨水管整備(1工区) | 浅沼組 | 219.73 |
| " | " 麻溝台地区雨水幹線整備(3工区) | 入江土木 | 116.38 |
| 名古屋市 | 高速鉄道第6号線神沢駅工区 | 奥村・銭高・森本JV | 2,550 |
| 宇治市(京都府) | 小倉污水幹線系統(米阪地区)管渠建設 | 前田建設工業 | 946 |
| 奈良市 | 三条松町～芝辻町4丁目地内奈良市水質改善下水道奈良増強幹線築造 | 大豊・不動・ピーエス三菱JV | 837.39 |
| 高砂市(兵庫県) | 米田塩市2号雨水幹線 | 塩谷運輸建設 | 174 |

建設情報

都市トンネル工事の計測(8)

—都市部山岳工法を適用した東急東横線地下化工事の計測事例—

東京急行電鉄(株)鉄道事業本部工務部土木課課長補佐 関 聡 史
(株)東急設計コンサルタント鉄道技術室専任部長 岩 村 巖

① はじめに

都市部でトンネル掘削を行う地盤は、固結度が低いうえに地下水を含む場合が多く、掘削直後の地山が自立しないことがある。こうした地質上の制約があるにもかかわらず、都市トンネル工事には掘削に伴う地表面沈下や地下水低下など周辺へ

及ぼす影響に配慮した対応が求められる。

このため、都市トンネルは掘削面の安定確保と周辺への影響軽減に技術的な課題の少ない開削やシールド工法を用いるのが一般的である。しかし最近では、切羽安定性を向上させる対策工の開発、周辺環境への影響予測手法や情報化施工の進展、経済性などを背景に、都市部山岳工法を採用する事例が増加している。山岳工法は、技術の改良や改善を経ながら制約の多い都市トンネルの施工に適用可能な工法へ変貌しつつある(図-1参照)。

東急東横線地下化工事は、横浜高速鉄道みなどみらい21線と相互直通運転するため、東白楽駅～横浜駅間約2km区間を営業線直下で地下化したものである。施工法は、地上から地下へ移行する土かぶりの小さい区間は開削工法を、新田間川を横断する特殊区間へはシールド工法を適用した。一方、一般的な区間は適切な対策を講じることで切羽安定性が向上し、周辺構造物へ及ぼす影響も許容される範囲内に収束するとの判断を下して、都市部山岳工法を採用した(図-4参照)。

本稿では、同工法を適用した際の計測について東横線地下化工事例を中心に述べる。

② 工事概要

同工事における都市部山岳工法の施工は、営業線直下の帯水砂層を軌道に沿って掘削するという前例のないもので、都市トンネルでは不可避とも思われる地上・地下構造物への近接施工に関する

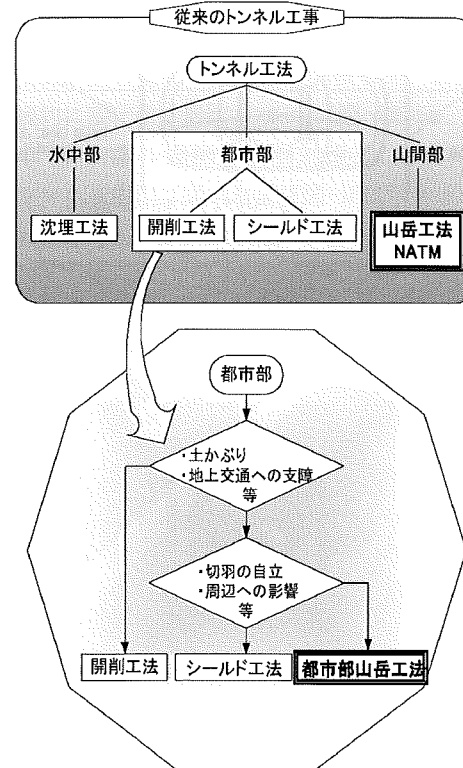


図-1 最近の都市トンネル工法

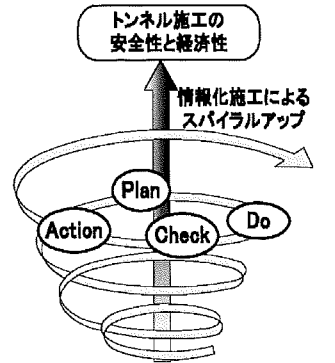


図-5 情報化施工のPDCAサイクル

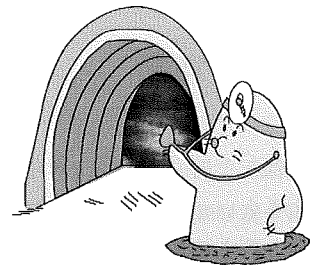


図-6 切羽の地山状況や支保の診断

CTスキャンに似た役割を担っている。

3-2 計測計画の作成

計測計画の作成にあたっては、トンネル規模・地質条件・立地条件・掘削工法などはもとより、周辺への影響を考慮することが必要である。

都市部山岳工法では近接構造物などに発生する沈下現象とそれを防止あるいは低減できる対策が重要視されることから、沈下防止の目的や成果を明確化できる計測計画の作成が重要である。

都市部山岳工法の具体的な計測計画について、実際の計測事例を以下に紹介する。なお、本工事では、都市部山岳工法の一般的制約条件に加えてトンネル直上部に営業線が存在する特殊性から、計測項目や計測数量が膨大なものとなった。

(1) 坑内計測

トンネル坑内における計測は、計測目的により下記の2つに分類のうえ計測計画を立てた。

- ① 日常の施工管理のため実施する計測A
- ② 情報化施工の実現を目的として設計および施工へ反映するために実施する計測B

計測Aは、施工の安全性や切羽の安定性などを判断するため行う坑内観察調査・内空変位測定・

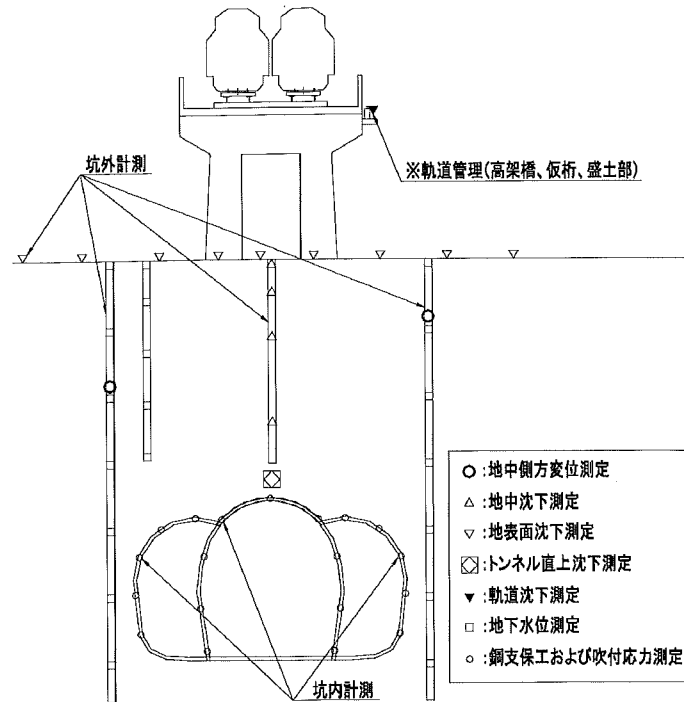


図-7 本工事の計測配置概要

天端沈下測定を基本とした計測項目であり、一定間隔ごとに計測断面を設定して測定した。

計測頻度は、通常の坑内観察調査では1掘進長ごとあるいは1日1回程度であるが、本工事では計測の重要性に鑑みて、頻度を1mに設定した。

また、内空変位測定・天端沈下変位測定は通常10~20m間隔程度で実施されるが、地質の変化が著しく、沈下に関する管理が厳しい本工事では、計測間隔を5mごとに短縮して実施した。

計測Bは、計測Aにより把握された切羽周辺の地山状況を踏まえて、支保の妥当性や安全確認、地山挙動把握のために行う計測であり、計測Aに追加して実施した。これらの計測は、設計施工の修正が必要か否かの判断資料に活用した。

吹付けコンクリート応力測定や鋼支保工の応力測定は、トンネル構造物の安定性を把握するのに重要であり、測定頻度をとくに定めず断面形状が変化するたびに実施することを基本とした。

(2) 坑外計測

施工中の揚水およびトンネル掘削時に発生する地表面や近接構造物の沈下、周辺へ及ぼす影響の

把握を重視した。さらに、本工事では地下水位の変動が周辺に及ぼす影響が大きいことに留意して地下水位測定や揚水量測定なども実施した。

このほかの計測は、図-7と図-15に示すように地表面沈下測定・近接構造物沈下測定・地中沈下測定・地中水平変位測定などトンネル周辺地山の相互挙動を総合的に把握するために実施した。

(3) 軌道沈下計測

本工事ではトンネル直上の東横線の軌道状況をリアルタイムに把握する目的で、全区間850mにわたって綿密な軌道沈下計測を実施した。

軌道沈下計測は、軌道縦断方向5~10mごとに100点以上に及ぶ水盛連通管式沈下計を取り付け、10分間隔で測定データをLANで計測室に送り、瞬時に図処理するシステムを構築した。

判定に用いた管理基準は図-18に示すが、線路延長方向10m間の軌道高低差が7mm以内という、東横線の保守要領に準拠した数値であった。

計測結果の分析や評価に際しては、事前に保守管理部門と十分に議論し、列車運行の安全確認が迅速に行えるように協力体制を構築した。

本工事における計測配置を図-7に示す。

3-3 計測項目と計測方法

計測Bや坑外計測を行う位置は、重要構造物の近傍や事前解析を実施した断面の中から代表的な断面を選定した。解析や計測結果から、支保工に発生する応力などが大きい断面や部位についてはほかの箇所よりも積極的に測定することとした。

計測データの検討に際しては、計測内容および計測機器特性・測定精度などを正確に把握のうえ施工状況と関連づけることが不可欠である。

本工事でも実施した計測項目と方法を示す。

(1) 吹付けコンクリート応力測定

吹付けコンクリート応力測定は、吹付け部材に発生している応力把握をはじめ、応力バランスや偏圧発生の確認、支保工の安定性などを判断するために行う計測で、頻度を多く測定した(図-8)。

吹付け直後の弱材齢時から測定することから、軽量小型で取り扱いやすい有効応力計を用いた。この有効応力計は厚さの薄い吹付け部でも容易に

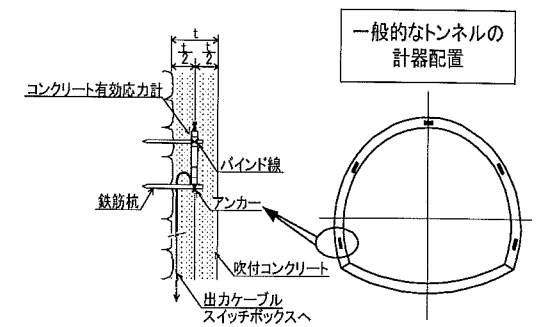


図-8 吹付けコンクリート応力測定

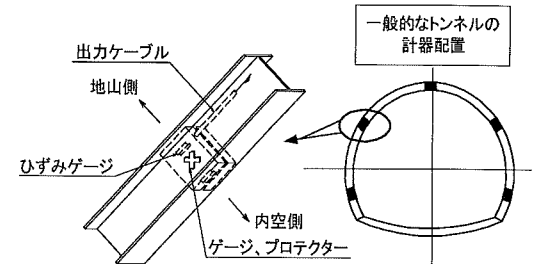


図-9 鋼支保工応力測定

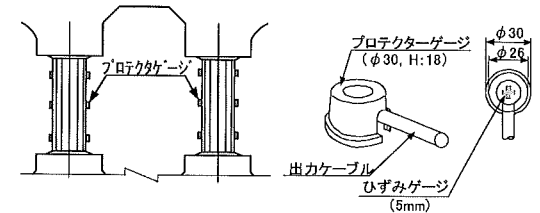


図-10 支柱応力測定

埋設できるが、漏水に弱いという欠点もあるので湧水対策と併せた対応措置が必要である。

(2) 鋼支保工応力測定

鋼支保工の応力測定は、支保工に作用している応力やその方向などから吹付けコンクリートとの荷重分担比率を評価分析して、鋼支保工の寸法・形状・建て込み間隔を確認するために行った。

測定は、鋼支保工にひずみゲージを貼り付けて曲げモーメント・軸力・せん断力を求めた(図-9)。

(3) 支柱応力測定

支柱応力測定は、3連メガネトンネルの支柱に発生する軸応力や曲げ応力を測定して応力状態を確認のうえで、左右坑掘削時に支保構造の安定が保たれるか否かを判断する目的で計測した。

ひずみゲージ型プロテクターゲージを支柱表面に貼り付け発生応力を検出し、測定した(図-10)。

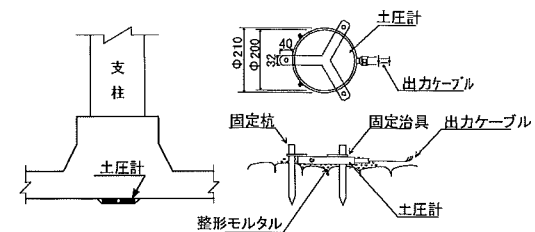


図-11 底盤土圧測定

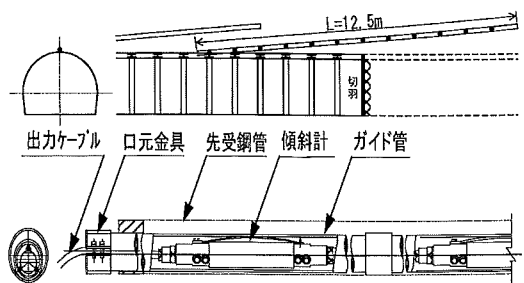


図-12 長尺先受け工たわみ測定

(4) 底盤土圧測定

底盤土圧測定は、支柱の底盤に作用する土圧の大きさや分布状態から支柱応力との対比を行い、底盤地山の安定性を判断するため実施した(図-11)。

(5) 長尺先受け工たわみ測定

切羽前方地山の安定対策に適用した長尺先受け工やパイプルーフ鋼管の変位や応力分布状況からその効果を評価し、長尺先受け工の最適な長さや建て込み間隔などに関する判断資料を得るため実施した(図-12)。

(6) トンネル直上沈下測定

トンネル直上沈下測定は、掘削に伴う地山沈下量と分布の大きさから周辺地山の安定性を確認し先行変位量を把握するために実施した。測定には連通管式圧力センサー型沈下計を用いた(図-13)。

(7) 地中沈下・地中水平変位測定

地中沈下測定は、坑内の計測などと異なり切羽通過前に沈下計を設置するため、掘削進行に伴う全地山挙動を施工過程で把握できる利点がある。

測定は、トンネル側壁部の地山挙動を把握する目的で地表面からボーリングを行い地中沈下計と地中水平変位計(多段傾斜計)を設置した。

仮想不動点は、インバートから-5mの位置に設定のうえ、地中沈下測定5断面、地中水平変位測定2断面を測定する計測計画を立案した(図-14)。

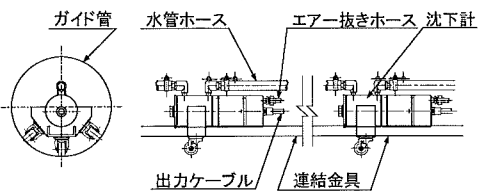
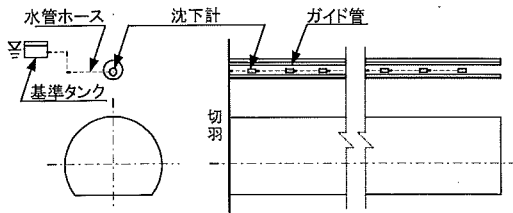


図-13 トンネル直上沈下測定

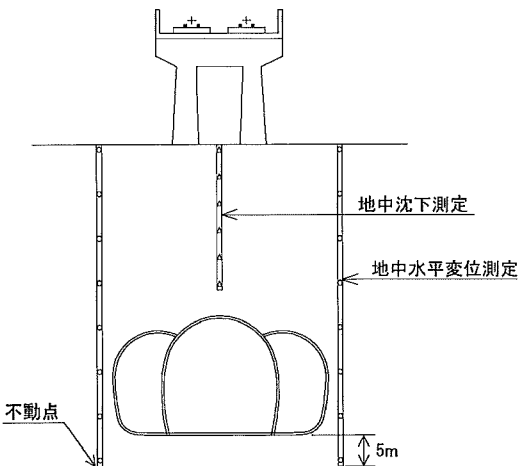


図-14 地中沈下・地中水平変位測定

(8) 軌道沈下測定

軌道沈下測定は、850m区間の全長にわたって軌道構造に応じて5~10mの間隔で110点に及ぶ水盛式沈下計を設置のうえ慎重に行った。

当初、光波を用いた計測システムの導入なども検討したが、相対沈下量を正確に把握するための計測方法として高い信頼性と豊富な実績があり、さらに現場条件に適していることなどを考慮したうえで、水盛連通管式沈下計を採用した。

この水盛連通管式沈下計は、軌道の相対沈下を連続的に測定するにはたいへん有効であったが、反省点もある。強風により特定箇所の値が大きく振れることがあり、温度変化の影響を受けやすいなど気象条件に敏感に反応する点である。また、計測期間が2年以上と長期間に及んだことから、

メンテナンスが不可欠であった。計測計画時にはこうした点にも十分な注意が必要である。

3-4 計測位置・項目と計測システム

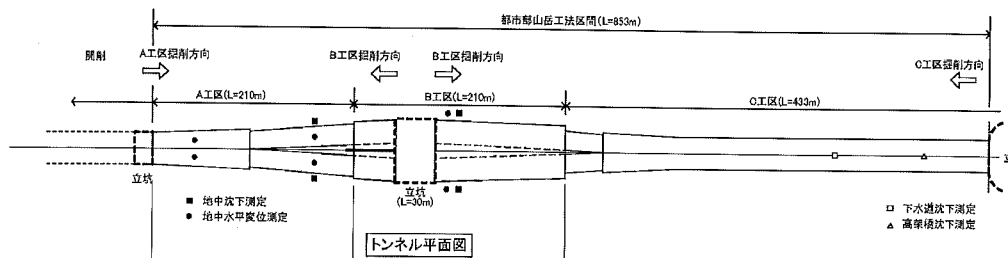
本工事のB計測は異なる断面形状や区間ごとに当初は10断面を設定したが、施工時には適宜計測断面と計測項目を追加した。本工事の計測位置と計測システムを図-15, 16に示す。

3-5 情報化施工のシステム構成

本工事で採用した情報化施工システムに関する構成イメージを図-17に示す。

④ 計測結果の活用

計測結果の活用にあたっては、トンネル坑内の観察・計測結果を吟味したうえで周辺地盤を含む



| 区分 | 距離 (m) | 計測項目 | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|---------|------|----|----|------|----|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | | 掘削 | メカ | 双脱 | 3連メカ | 掘削 | 3連メカ | メカ | メカ | 双脱 | 掘削 | 掘削 | 掘削 | 掘削 | 掘削 | 掘削 |
| 収付コンクリート応力測定 | 60m | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鋼支保工応力測定 | 107m | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支柱応力測定 | 100m | | | | | | | | | | | | | | | |
| パイプルーフ沈下測定 | L=2km | | | | | | | | | | | | | | | |
| AGFたわみ測定 | L=12.5m | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地中沈下測定(坑外) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地中水平変位測定(坑外) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 地表面沈下測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 仮設支柱応力測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 底盤土圧測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| トンネル直上沈下測定 | L=50m | | | | | | | | | | | | | | | |
| ロックボルト軸力測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 支保工ひずみ測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 接頭変位測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 鎖ボルト軸力測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 高架橋地中沈下測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 下水道地中沈下測定 | | | | | | | | | | | | | | | | |

※双設断面は施工中に大断面へ変更

●: 計測時の割合
○: 施工時追加

図-15 計測位置・項目

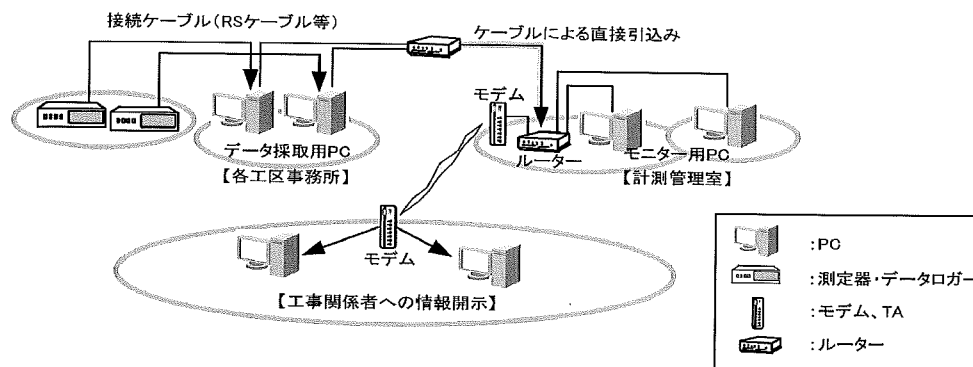


図-16 計測システム

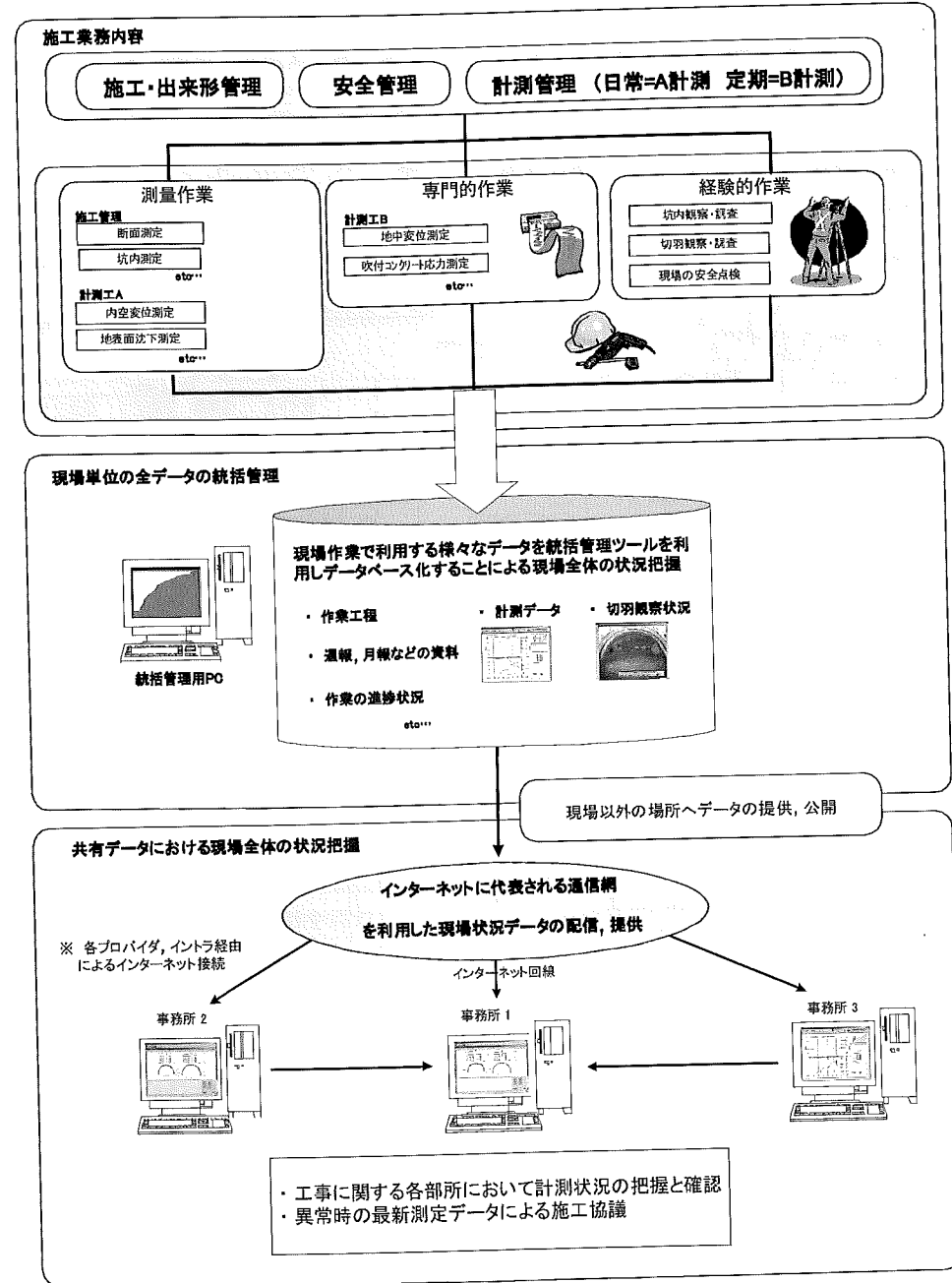


図-17 情報化施工のシステム

トンネル構造の安定性および近接構造物へ及ぼす影響を分析・評価することが重要である。

評価基準となる管理基準値は、計画時における目標値として設定するが、進捗とともに変化する施工や計測の状況などに応じて場合により見直すことも検討する必要がある。

4-1 管理基準の設定

管理基準はトンネル施工の安全性確認のほか、近接構造物へ及ぼす影響を一定の範囲内に収める目的から設定される。このため、構造物管理者の定める基準を満足することが重要で、管理者との十分な協議を通じて設定する必要がある。

管理基準の設定方法は種々あるが、本工事では事前に実施したFEM結果を参考に近接構造物や地下埋設管の施設管理基準、および東横線軌道の保守管理要領などにもとづいて設定した。

図-18に示す軌道沈下計測の管理基準は、施工初期段階における約3か月間に及ぶ試行期間中の現場対応を踏まえて設定した基準である。

4-2 解析と計測結果の比較

地質調査結果および断面形状を考慮のうえ、計14断面で二次元弾性FEM解析を行い、地表面に発生すると想定される沈下量を算出した。一般に予測解析と現場計測から得られた沈下量の間には若干の差異が生じるが、現場の状況により種々の原因が考えられる。以下にひとつの事例として、今回の結果について両者を比較した比率を下記の表-1~3に示し、その考察を述べる。

メガネ断面では、表-1に示すように、解析値と実測値が同程度であるが、双設断面では比率が1.6~1.7とやや大きい。この理由は、双設断面の中間地山に相互干渉現象が生じ、その影響により実測値が解析値を超過したものであると判断した。

表-2の3連メガネ断面の比率は0.6~1.0程度であり、解析値と実測値の整合性が取れているが、キノコ断面はほかの断面に比較してその比率が若干大きい。

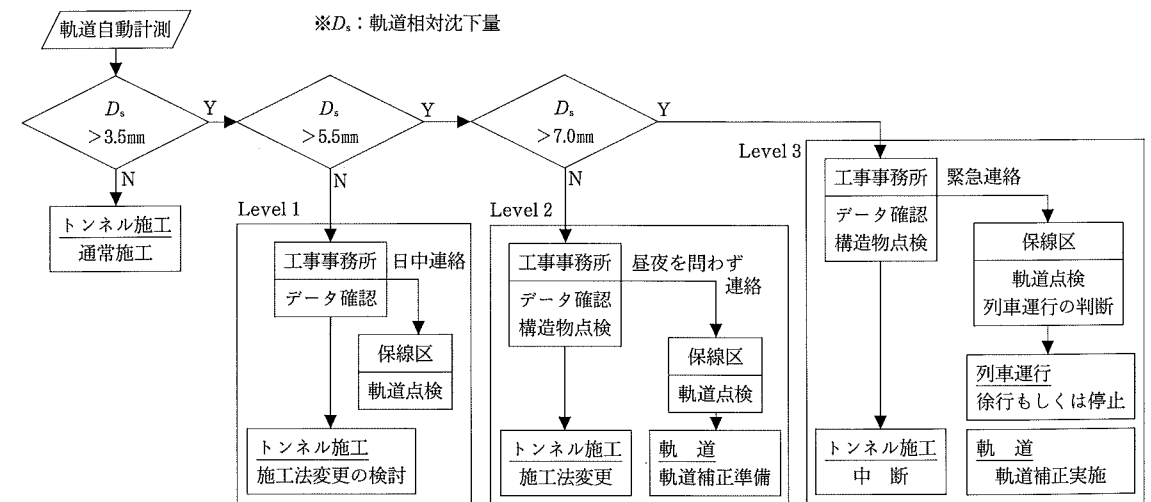


図-18 軌道沈下管理基準と対応

この理由は、駅部開削時の躯体浮上現象が支柱を介して地表面まで届き、差し引きされた沈下量は減少すると解析は予測した。しかし、実施工では躯体の浮上現象は発生せず、トンネル掘削に伴う沈下現象のみが発生したことを示している。

表-3に示す単円断面の比率は0.8~1.2であり、解析値と実測値がほぼ合致する。この中で大断面区間の420m付近は隣接工区との境界にあたり、

表-1 解析値と計測値の比較(A工区)

| 断面 | メガネ | メガネ | 双設 | 双設 |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 坑口距離 | 0m | 32m | 122m | 192m |
| ①解析値 | 4.4mm | 4.7mm | 4.3mm | 4.1mm |
| ②実測値 | 5.0mm | 6.5mm | 7.0mm | 7.0mm |
| ②/① | 1.1 | 1.4 | 1.6 | 1.7 |

表-2 解析値と計測値の比較(B工区)

| 断面 | 3メガネ | 3キノコ | 3メガネ |
|------|--------|-------|-------|
| 坑口距離 | 230m | 300m | 335m |
| ①解析値 | 11.0mm | 4.9mm | 7.0mm |
| ②実測値 | 7.0mm | 5.8mm | 7.3mm |
| ②/① | 0.6 | 1.2 | 1.0 |

表-3 解析値と計測値の比較(C工区)

| 断面 | 大断面 | 大断面 | すりつけ | 単円 | 単円 | 単円 | 単円 |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 坑口距離 | 420m | 460m | 520m | 580m | 600m | 640m | 780m |
| ①解析値 | 12.7mm | 10.6mm | 8.4mm | 8.8mm | 7.4mm | 4.2mm | 3.9mm |
| ②実測値 | 5.0mm | 8.0mm | 6.8mm | 4.5mm | 5.0mm | 5.0mm | 4.1mm |
| ②/① | 0.4 | 0.8 | 0.8 | 0.5 | 0.7 | 1.2 | 1.1 |

切羽は掘進せずに棲壁を形成して停止していた。5-1の沈下特性曲線に示すように、先行沈下量は全沈下量の50~60%程度発生する。当該区間は、切羽が停止していた棲壁効果の影響から沈下量がほぼ半減したものであると推測した。

4-3 設計および施工への反映

計測結果は、施工の安全性確認、支保の効果や覆工・インバートの妥当性評価などはもとより、合理的な設計や施工を実現するために活用した。

(1) 双設断面区間における対応

双設断面の離隔は、図-19に示すようにかなり小さく大規模な地山補強が不可欠と考えていた。しかし、計測の早期判断により相互干渉の影響は

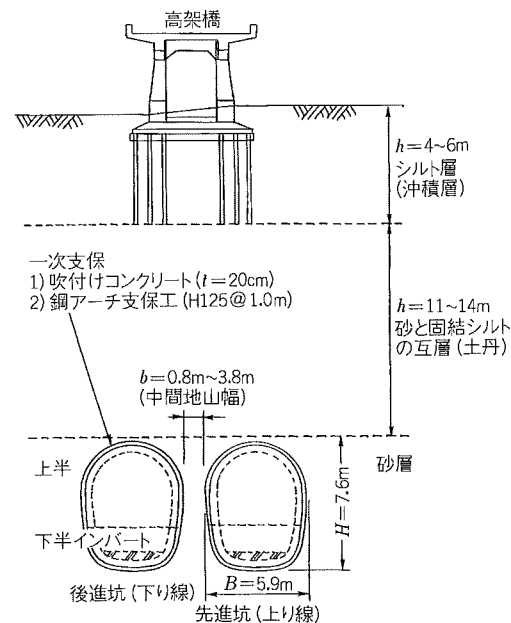


図-19 双設断面の近接状況

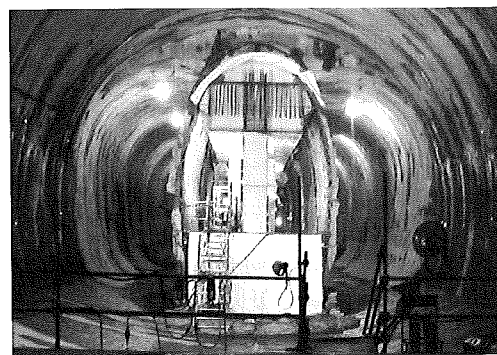


写真-2 3連メガネ断面

想定より小さいことが確認されたことを受けて、予定していた対策工の縮小が可能になった。

掘削部の地山は砂層であり、揚水の効果により地山が自立可能に近い状態まで改善されていた。そこで、局部的な葉液注入による補強対策のみで地山の安定性を確保し、沈下量を抑制した。

(2) 3連メガネ断面区間における対応

3連メガネ断面の中央坑は、写真-2に示す縦長構造としたことから側圧対策として水平ボルトを用いた補強を計画していた。しかし、実施工時に生じる水平ボルトの軸力は小さいことが判明したため、補強用水平ボルトの施工を中止した。

(3) 単円複線断面区間における対応

単円複線断面の中で横浜側坑口に近い区間は、トンネル天端付近に砂層の出現が想定されていたことに加え、直上部地山にNTTとう洞と下水道埋設管が近接交差していた。このことから、沈下抑制と天端防護を兼ねた対策として長尺先受け工を27スパンにわたり用いる計画であった。しかし、計測結果や切羽地山の変移動向などから、両近接交差部を通過した時点で、沈下量の制御は通常の見込みと判断し、変更した。

(4) 施工中におけるトンネル断面形状の変更

軌道の安全確保や周辺への影響軽減を目的に、トンネル断面形状は小断面の組み合わせを基本としていた。断面が小さいことから反町駅における列車風の問題が発生し、駅前後の双設断面区間は上下線のトンネル間に数本の横坑を設置するなど設計上の措置により対処する計画であった。

しかし施工時に、横浜方については施工状況や

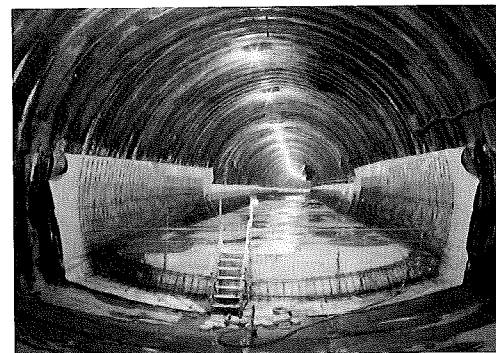


写真-3 大断面トンネル

切羽観察、計測結果などが良好であることに加え、列車風の緩和や複雑な構造であるがゆえの耐水性改善を目的として、複線大断面トンネルへの設計変更を実施した。実際の計測結果などを積極的に活用し、施工途中に変更した事例である。

大断面形状はトンネルの安定性を考慮のうえ、高さ11.7m、掘削幅15.6m、掘削断面積150m²のほぼ円形に近い滑らかな断面で掘削した(写真-3)。

⑤ 得られた知見と考察

鉄道営業線の直下で施工した都市部山岳工法は情報化施工を実現し、近接する構造物や営業線の安全に支障なく施工を終えることができた。

本工事の計測管理は、安全確実な施工の実現に大きく貢献した。本計測により得られた具体的な知見および考察について、以下に記述する。

5-1 沈下特性曲線の活用

沈下特性曲線は、トンネル切羽が軌道沈下量を測定する地点の直下部に接近して通過するまでの沈下傾向を表示したものである。本工事における同曲線について、事前想定と施工時の実測結果を図-20に示し、特徴について考察する。

沈下特性曲線は、主に最終沈下量の早期予測に活用した。最終沈下量は表-1~3に示したように4~8mmと小さい値であったが、切羽到達前後で沈下量のおおむね50%づつが生じた。また、沈下開始から収束までは4Dを要し、事前の想定より広範囲で時間をかけて生じる結果となった。この理由はトンネル天端付近に堆積した固結シルトの層が剛性の大きい板状の地盤として地表面沈下を抑制する効果を発揮したためと推測される。

沈下特性曲線は、沈下の傾向を早期に把握する

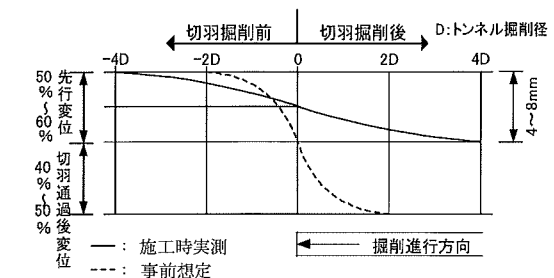


図-20 沈下特性曲線

ことができることから、万一の際の円滑な初動に効果的であると考えられる。都市トンネル工事の今後需要を考慮すると、近接構造物や周辺環境へ及ぼす影響防止対策が重要であり、必要に応じて沈下特性曲線を活用することが有効である。

5-2 計測結果の総合的判断

計測は一般的には個別の項目ごとに管理基準を設けることが多いが、計測値には誤差や異常値を含むことがある。計測結果を適切に評価判断するためには、常に施工状況との関係や計測相互間の相関性について総合的な視点を持つ必要がある。

本工事では、3連メガネ断面の左右坑施工時に、中央坑支柱について設計値を超過する支柱軸力が作図処理されたことから、緊急に会議を開催したことがあった。原因究明や応急対策の可否などを検討したが、ほかの計測や施工状況からは異常を示唆する情報は得られていないことから、改めて見直した結果、ひずみから軸力に変換する処理の過程におけるミスが原因と判明した。

得られた計測結果を鵜呑みにするのではなく、常に冷静に判断できるように、あらゆる観点から施工状況や計測の相関性を把握する必要がある。

5-3 相対沈下による計測管理

本工事では軌道の安全確保が最大の技術課題であることから、絶対沈下量にもとづく測定以外に相対沈下量を基準とした沈下計測を行った。

盛土や高架橋などの鉄道構造物では、掘削時に発生する任意の2点間における最大相対沈下量を極小化できる場合には、ある程度の絶対沈下量が生じても構造物への実害などは発生しない。

相対沈下を基準とする計測は、多くの測点数が必要となることからまだあまり一般的ではないが、効率的な近接施工を実施するには、積極的に採用することが必要と考える。

5-4 修正設計する積極的な対応

都市部山岳工法では、現場における技術判断が重要なことは3-1ですすでに述べたとおりである。

しかし、計測結果を設計・施工へ反映することの重要性はある程度認識できても具体的な方法や設計との関連性については、判然としないものが

ある。また、事業者と施工者では立場の違いから対策の実施時に温度差が生じることもある。

現場における技術判断を円滑に行うためには、改めて設計することを前提とすべきである。

当初設計は、事前に得られた情報にもとづいて概略設計することであるが、現場の修正設計とは当初設計時点では想定できなかった地山の状況や計測結果に合致するよう設計を修正する積極的な現場対応を指しており、計測結果を設計や施工への確に反映することにほかならない。これには、計測計画が重要であるが、必要に応じて計測計画自体も修正しながら施工することが望まれる。

5-5 情報化施工による経済性向上

安全対策には相応の費用が必要となることから、安全性と経済性のバランスは難しい課題である。

本工事は計測を活用した情報化施工を具現化し、都市トンネル工事の経済性を総合的に向上させることができた。

その主な要因は、東横線をはじめ近接構造物の安全性確保の目的から調査・解析および施工中の計測を徹底することで、潜在する不確定な要素を極力排除しようとしたことによる。

本工事では、トンネル掘削に伴って軌道などに生じる沈下をリスク特定のうえ、あらかじめ想定可能なリスクはできるだけ顕在化させないように設計・施工上の必要措置を講じ、掘削に伴い刻々と変化する地盤変位などのリスクはモニタリングを通じて早期予測と適切な低減対応が採れる体制をとり、綿密で慎重なリスク管理を実施した。

都市トンネル工事が高コストであるといわれる理由は、地盤変状が許されないなかで地盤などの不確定要素を明白にできないことから、施工中の安全性向上に迫られて、時として過剰とも思える安全対策を実施することが主原因と考える。

計測技術の進展により、掘削に伴う地山挙動を

かなり正確に把握することが可能になってきた。これらに加えて、例えば地盤の状況が事前に手に取るように把握できる調査技術の発展があれば、都市トンネルの施工は大きく変わる。他分野とのアライアンスも含め、さらなる調査・計測技術の開発と実用化が期待されることである。

⑥ おわりに

本工事は鉄道営業線の直下で都市部山岳工法を適用することから難工事を覚悟したが、先達から適切な助言をいただき成果を挙げることができた。平成14年度土木学会技術賞を受賞できたことも多くの関係者のお陰であると深く感謝している。

施工時の課題であった地下水対策検討に際してご指導を賜った故今井五郎・横浜国立大学教授に深謝したうえで先生のご冥福をお祈りいたします。また、本工事の計測の実施や本稿作成にあたって協力いただいた東亜測器の藤田・遠藤両氏に誌面を借りて御礼申しあげる。

終わりに際して、もう一度述べたい。

計測計画にはとくに決まりはない。周辺環境や地盤状況など、施工上どんな現象に注目するかにより構成内容が大きく異なってくるからである。

計測計画時にはこうした当該工事のポイントをいかに明確に把握して設定するかが重要である。

参 考 文 献

- (財)鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説(都市部山岳工法トンネル)，2002.5.
- 地盤工学会：計測結果の解釈と計測管理，1999.11.
- 島村祐司・小林理志・関聡史・岩村巖：鉄道営業線直下のNATM施工，東急東横線東白楽～横浜駅間地下化工事，トンネルと地下，Vol.33，No.5，2002.5.
- 小林理志・関聡史・岩村巖：鉄道営業線直下のNATM施工(その2)；東急東横線 東白楽～横浜駅間地下化工事，Vol.33，No.12，2002.12.

建設現場

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(5)

—Ⅲ. トンネル覆工内部の検査手法(1)—

JTA保守管理委員会

① 活用されている技術の概要

非破壊検査手法の中でコンクリート内部を検査する技術としては、電磁波法、超音波法、打音法(点検ハンマによる打音検査とは異なる)が挙げられる。

一方、小範囲の削孔によって試料を採取し、構造物の破壊を最小限にとどめて、コンクリートの物理特性や劣化状況を調べる手法も開発されている。

各検査手法で使用される波の周波数帯について図-1に示す。

1-1 電磁波法(レーダー法)

電磁波は、波長の短いものから順にγ線、X線、紫外線、可視光線、赤外線、電波(マイクロ波、ラジオ波)などに分類される。

レーダー法は、コンクリート中に送信された電磁波が、電気的性質の異なる物質の境界で反射波を生じる性質を利用して、往復の伝播時間から反射物体までの距離を求めることにより、コンクリート中の埋設物を探査する手法であり、ハード面は実用に供されている。

また、電磁波法は試験結果が瞬時に画像または数値で表現されるという特長を有しているため、試験方法の原理を熟知していない者であっても内部探査結果が理解しやすいという利点があるが、結果を評価するソフトの面では、今後も検討の余地が残されている。

1-2 超音波法

超音波法は非破壊検査方法として、金属や医療の分野などで大きな成果を上げている。コンクリート分野では、超音波がもつ物理的性質を利用して弾性係数などの物理的性質や、コンクリート中に存在するひび割れ、空隙、ジャンカやコンクリート表面の浮き、剝離などの欠陥を検出し、その状態や品質を調べる非破壊検査方法である。コンクリート中の超音波は、弾性体を伝播する波動であるため弾性波の一種で、この方法では透過波あるいは反射波から弾性体内部の状態を調べることを特長とする。

1-3 打音法

コンクリート構造物の表面を打撃したときに生じる空気振動をマイクロフォンによって測定し、その打撃音から物体の物性値や、形状、欠陥の有無などを検知しようとするものである。取り扱う周波数は、可聴域である20Hz～20kHzの空気振動(音)である。

打撃により調べる方法は、従来から構造物検査などで用いられており手法そのものは古いが、電子機器を用いて測定・評価する点で新しい取り組みと言える。

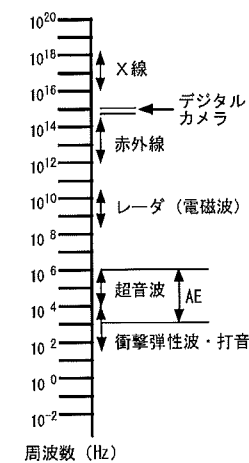


図-1 各試験法で使用する電磁波の周波数帯の概要

1-4 小径コア法

既存構造物から採取した直径25mm程度の小径コアを用いて載荷試験を行い、その圧縮強度の試験値から補正式を用いて構造体コンクリート強度の推定値を算出する技術である。従来の直径100mmのコア供試体圧縮強度による推定方法と同程度の精度で、構造体コンクリート強度を推定できる。各事業者で開発・実用化されている覆工内部の

検査装置の例を、表-1~3に示す。

トンネル覆工内部の検査は、従来、覆工表面を対象とした目視検査と、覆工内部を対象としたハンマによる打音検査を主体としているところが多かった。

しかし、近年、経年劣化や当時の施工方法に起因する覆工の変状が表面化してきており、従来の検査手法では二次覆工コンクリートの空洞などの

表-1 電磁波レーダー法と超音波法を活用した検査装置

| システム | システムの目的と特長 | 仕様・性能 | 備考 |
|-------------|--|---|------------|
| 電磁波探査 | 目視検査によりクラックが確認できたシールド区間を対象、二次巻きコンクリートの厚さとセグメントの中子部空洞状況の調査。 | 方式 パルスレーダー 機器仕様 周波数：350MHz 探査深度 15~40cm程度(覆工表面より) 走行方式 モーターカー牽引方式(計測機器搭載のダンプトロ) 検査速度 1 km/h | 東京都交通局 |
| 電磁波法および超音波法 | 電磁波レーダー法は、鉄筋配筋状態やコンクリート内部の剝離・空洞探査を目的としており、反射波の増幅機能やデータ解析手法など、主にソフト面の改良を加えることにより、S/N比の向上を図り、探査深度と精度を向上している。 超音波法は、コンクリートの厚さ、空洞深さ、ひび割れ深さ、鉄筋かぶりなどの計測を目的としており、数千回にも及ぶ平均化処理と任意の成分波を検出できる周波数フィルタを用いてノイズを除去し探査精度を向上している。 | (電磁波法) 方式 パルスレーダー方式 機器仕様 中心周波数：1 GHz 探査深度 30cm程度 走行方式 ハンディタイプ 検査速度 20cm/s程度(1ライン) (超音波法) 機器仕様 中心周波数：500kHz 探査深度 150cm程度 走行方式 検査作業はターゲットとする調査箇所プローブを当てて計測を行う。 | 日本電信電話(株) |
| トンネル覆工検査車 | トンネル覆工の検査は、覆工材料の劣化などに起因する、剝離、剝落や構造体としての機能障害などの発見を目的としており、覆工表面の変状に加えて、覆工内部の状態を把握することが重要となる。 広範囲の覆工面を連続的に効率よく計測することが可能であり、かつコンクリート内部の状況を3次元データとして記録可能なマルチパス方式レーダーである。 | 方式 マルチパス方式レーダー 機器仕様 レーダー3基(1アームにつき1基)送信16個、受信16個の256とおりのデータ処理を実施 探査深度 25~40cm程度(覆工表面から) 走行方式 自走式保守用車(計測時は油圧駆動方式による低速走行) 検査速度 最高3.5km/h | 東日本旅客鉄道(株) |

表-2 打音法を活用した検査装置

| システム | システムの目的と特長 | 仕様・性能 | 備考 |
|----------------------------|--|---|--------------|
| コンクリートヒッターI ライニングヒッターII | 検査者の経験と勘に頼っている打音検査を、音響機器にて測定し定量的に評価する。 音の評価を振動の特性として表す、振幅、減衰、周波数に着目した評価パラメータにより定量的に評価する。 | 方式 フード付きマイクロフォンとインパルスハンマによる打音法 機器仕様 ベースマシン、打音測定ユニット、コントローラ 探査深度 約30cm程度(部材厚さにて評価) 走行方式 高所作業車(モバイルローラー付き) 検査速度 60m/h(測定：50cmピッチ) | 佐藤工業(株) |
| 鉄道総研式打音検査装置 | ハンマによる打音検査に替わる方法として内部の状態を定量的・客観的に把握することを目的に開発。 打撃によって発生するコンクリートの振動を音として捉え、その周波数や振幅、減衰時間などから、空洞や割れ目の有無、コンクリートの厚さを評価。 | 方式 打撃・収録・判定を自動化・機械化した打音法 機器仕様 打撃装置、フード付きマイクロフォン、波形解析・判定装置(ノートPC) 探査深度 巻き厚：30(空洞などの欠陥あり)~50cm以下(欠陥なし) 走行方式 携行タイプ(総重量：約5.5kg) 検査速度 打撃から判定まで：5秒/回、7~8分/m ² (25か所) | (財)鉄道総合技術研究所 |

表-3 小径コア法を活用した検査装置

| システム | システムの目的と特長 | 仕様・性能 | 備考 |
|------------|---|--|--|
| ソフトコアリングC+ | 骨材径の小さな建築構造物のコンクリート強度調査法として直径20mm程度のコアによる方法として開発された技術を、骨材径の比較的大きなコンクリートでも調査可能技術として拡大展開し確立したものである。 コンクリート圧縮強度だけでなく、中性化深さ、塩化物イオン量の測定も、直径100mmコア供試体とほぼ同等の精度で試験できる調査技術とするために、安定した結果の得る直径25mmのコアを用いる。 | 方式 コアリング 機器仕様 ダイヤモンドコアビット 呼び径：32mm(採取コア直径：25mm) 回転数：600~3,000rpm 出力：650W以上 削孔速度 毎分：2~5cm/1,000~3,000rpm | (株)錢高組 前田建設工業(株) 日本国土開発(株) ソフトコアリング協会 |

把握が困難なこと、またコア抜きによる確認ではコンクリートの一部を破壊するために地下水圧下の作業となり、安全面で問題があった。

そこで、非接触で連続して覆工内部を検査できる電磁波レーダーが以前から用いられてきたが、電磁波の減衰や周辺ノイズの影響により測定深さに限界があり、深さ方向の精度については課題が残されていた。

このような背景から、NTTやJR東日本では既存の電磁波レーダー技術の改良を進め、検査装置の改善・新規導入を図っている。

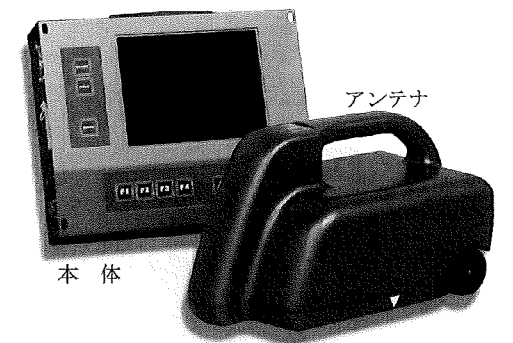


写真-1 電磁波レーダー

表-4 装置仕様

| | |
|-------|---------------------------------------|
| 方式 | パルスレーダー方式 |
| 中心周波数 | 1 GHz |
| 探査深度 | 30cm程度 |
| 電源 | 専用バッテリーまたは専用ACアダプタ |
| 外形寸法 | 本体：251×213×70mm アンテナ：150×254×133mm |
| 重量 | 本体：約2.8kg アンテナ：約1.6kg |

② 電磁波法および超音波法による覆工内部の検査手法(日本電信電話(株))

NTTのシールドトンネルは、鋼製セグメントを用いて二次覆工コンクリートを打設する形態がほとんどである。この二次覆工コンクリートの充填不良は、コンクリートの劣化を促進させ、コンクリートの剝落を招くばかりでなく、鋼製セグメントの腐食を促進させることから、覆工内部の検査は欠かすことができない。

NTTでは、二次覆工コンクリートの厚さ、ジャンカおよび空洞の調査を目的として電磁波レーダーを用いている。

2-1 検査装置の概要

新しい電磁波レーダーは、反射波の増幅機能やデータ解析手法など、主にソフト面の改良を加えることにより、S/N比の向上を図り、深さ30cm

程度までの探査が可能になっている。

装置は、写真-1に示すようにデータ解析を行う本体と電磁波を放射するアンテナから構成される。また、仕様については、表-4に示すとおりである。

2-2 測定原理

測定原理は、従来の電磁波法と同様であり、パルス状の電磁波をコンクリート内に放射し、コンクリート内の比誘電率の異なる物体との境界面からの反射波を受信し、その往復の伝播時間から反射物体までの距離を求める方法となっている。

2-3 測定状況と判定例

NTTにおける検査は、目視や打音による「定期点検」と劣化原因の推定や補修方法検討のための「精密点検」に大きく分かれるが、電磁波レーダーは精密点検において全国的に使用されている。

写真-2に、空洞探査の測定状況を示す。図-2はそのときのレーダーの画像であり、空洞部の有無が明確に判断できることがわかる。

2-4 超音波法による検査装置の活用

電磁波レーダーと組み合わせる検査装置として、NTTでは、コンクリート内部の劣化を計測する超音波装置の開発も行っている。

装置は、データ解析を行う本体と超音波を送受信するプローブ(写真-3)からなり、超音波の伝播時間を測定することにより、コンクリートの厚さ、空洞深さ、ひび割れ深さ、鉄筋かぶり深さなどを計測できる。

使用例としては、ひび割れの深さ方向の進展を計測する場合(写真-4)や、電磁波レーダーで二次覆工コンクリートの未充填箇所を特定した後、超音波法により未充填箇所のコンクリート厚さを正確に計測する場合などが挙げられる。

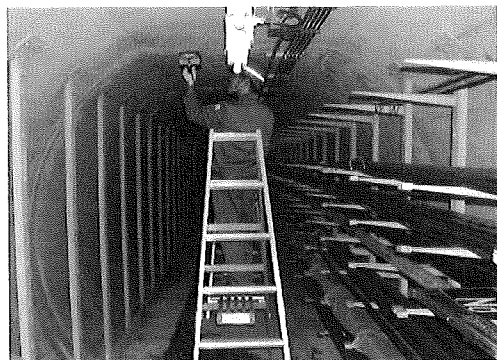


写真-2 空洞探査測定状況

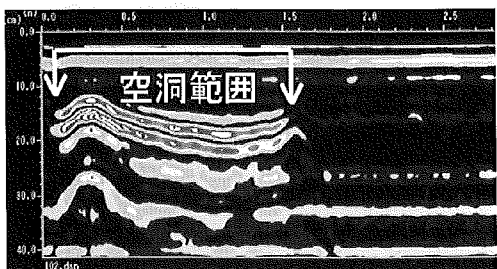


図-2 電磁波レーダーの画像

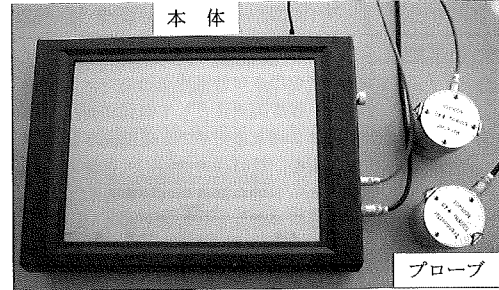


写真-3 超音波装置

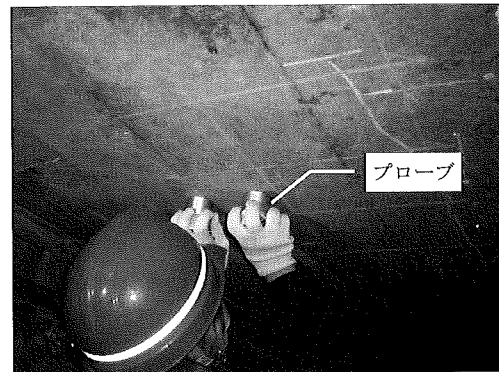


写真-4 超音波装置によるひび割れ深さ計測

③ マルチパス方式レーダーを利用した検査手法(東日本旅客鉄道(株))

JR東日本では、従来より実施しているハンマを用いた打音検査では解決が難しい、判定の個人差や作業員の肉体的負担の解消、覆工深部や背面への検査範囲の拡大および検査記録の定性確保を目的として、コンクリート内部の状況を3次元データとして記録することができるマルチパス方式レーダー技術を採用した、トンネル覆工検査車(図-3(右))を製作、導入している。覆工面を広範囲かつ連続的に計測することが可能であり、検査の効率性にも配慮がなされている。

3-1 測定原理

電磁波レーダーは、送信した電磁波が電気的特性(誘電率)の変化する境界部分において反射して戻るまでの時間を演算することにより、検知対象物の位置、形状を特定する技術である。コンクリートであれば、内部に存在する材料の不均一箇所や、空気など物性の異なる箇所、すなわちジャンカや

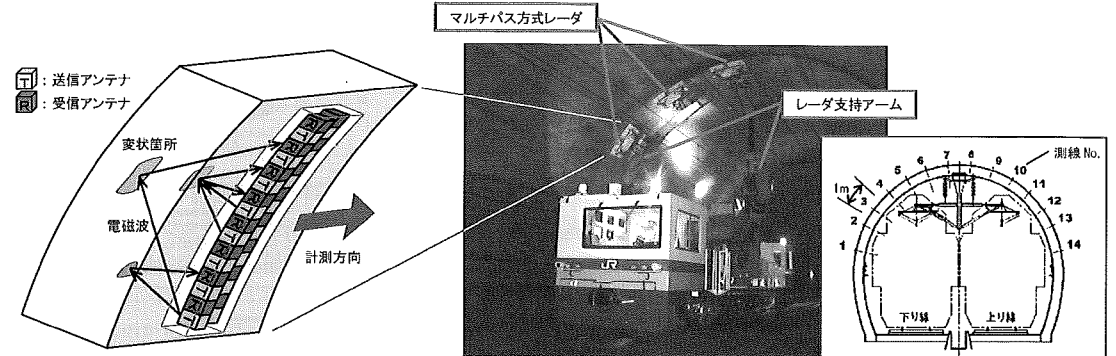


図-3 左: マルチパネル方式レーダーによる計測イメージ 右: トンネル覆工検査車計測状況

ひび割れ面、空洞などで反射が起きるため、内部の変状を検出することが可能である。

今回採用したマルチパス方式レーダーは、16個の送信アンテナと16個の受信アンテナの組み合わせにより得られる256(16×16)とおりのデータを処理することで、覆工コンクリート内部の状態を立体的に解析することが可能である。マルチパス方式レーダーによるトンネル覆工の計測イメージを図-3(左)に示す。

3-2 装置の構成・性能

トンネル覆工検査車は、検査装置(マルチパス方式レーダー)を搭載した走行車両と、屋内用の解析装置から構成される。

3-2-1 走行車両および検査装置

走行車両は、新幹線用の自走式保守用車であり、計測時は油圧駆動方式による低速走行が可能である。検査装置は3基のレーダーから構成されており、1基あたりの計測幅は1mで、探査深度は覆工表面から25~40cm程度である。また、トンネル内設備(架線、下げ束、信号ケーブルなど)を回避しながら連続的に効率よく計測するために、レーダーを支持するアームについては、下げ束を回避しながらクラウン付近を計測するオフセットアームと、下げ束側方を通過しながら計測するスライドアームの2本構成としている。計測対象トンネルは、フル規格新幹線の複線円形断面トンネルである。

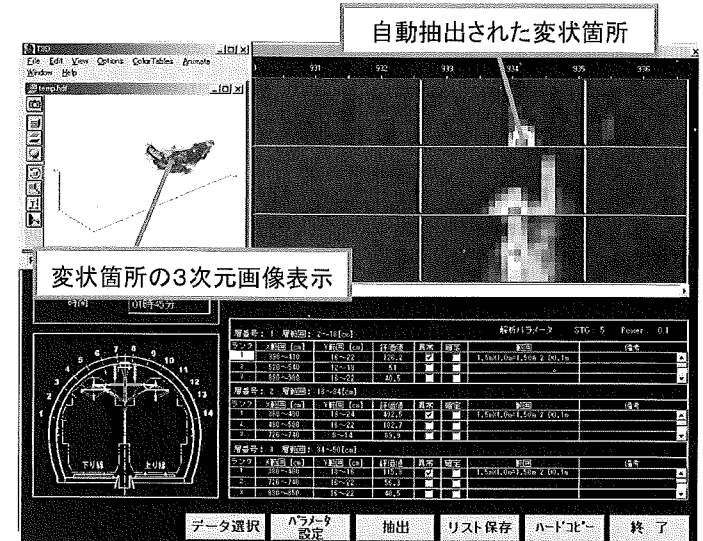


図-4 レーダー解析装置の専用プログラム表示例

3-2-2 解析装置

検査車により計測されたレーダー計測データは、図-4に示すレーダー解析装置の専用プログラムにより解析される。

専用プログラムは、レーダー反射波の強度、面積などから変状候補箇所を自動抽出する機能と、反射波データを視覚的に把握可能な3次元画像データに変換、表示する機能を搭載しており、膨大な計測データを迅速に処理するとともに、覆工内部状況の詳細な診断が可能となっている。

3-3 計測状況

覆工内部データを取得するための計測作業は、専門会社の計測技術者により実施される。計測方法は、レーダーの計測幅に応じて14測線に分割したトンネル覆工面を、3基のレーダーにより複数

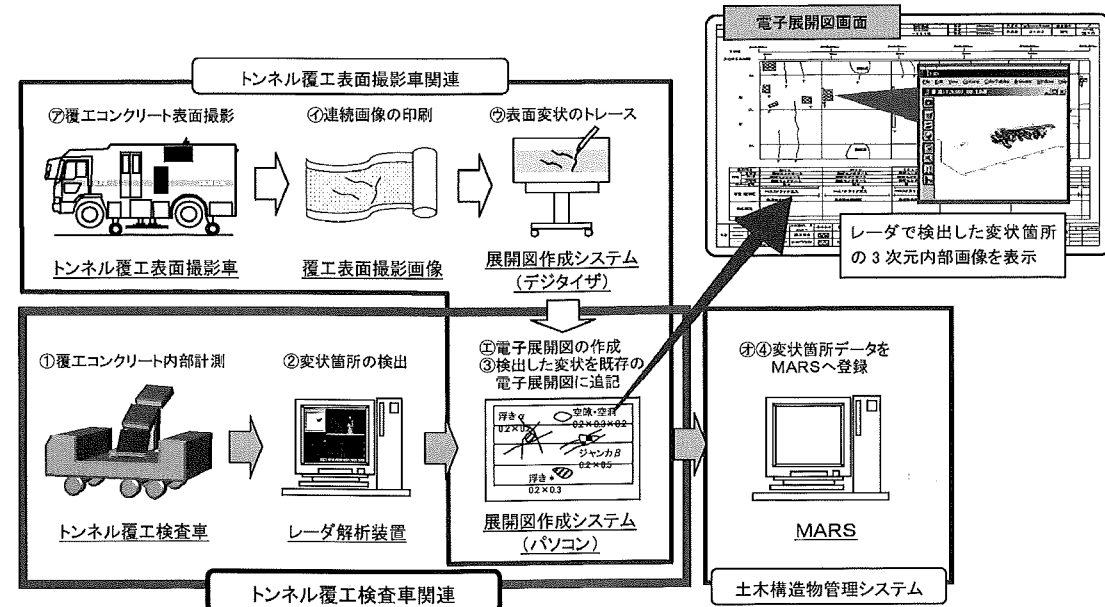


図-5 計測データ処理の流れ

回に分けて計測走行する方式であり、計測時の走行速度は最高3.5km/hである。図-3(右)は、下り線側の測線番号3, 5をスライドアーム、測線番号7をオフセットアームにより計測している状況である。

計測データ処理の流れを図-5に示す。トンネル覆工検査車により計測されたレーダ計測データは、専門の解析会社において解析される。解析会社では、解析装置を用いてコンクリート内の変状箇所を検出し、導入済みのトンネル覆工表面撮影車の覆工表面撮影画像をもとに作成された電子展開図上に、検出された変状箇所を上書き記録する。解析結果を受領したら、覆工表面撮影画像や過去の検査履歴、必要に応じて実施する現地確認結果などを踏まえて、検出した変状箇所の最終判定を行い、判定結果を土木構造物管理システムへ登録

する。

3-4 データの活用方法

レーダ計測により得られた覆工内部データは、コンクリート中の変状箇所の検出や、覆工厚不足の確認などに用いられる。さらに、覆工表面撮影画像から確認される表面のひび割れ状態などを組み合わせることで、ひび割れなどの3次元的な広がりを把握することができ、剝落に対する危険度の判定を行うことができる。

検出、判定した変状箇所は、位置、形状などを特定したうえで、電子展開図上に表示される。また、展開図中にレーダ計測範囲を表示し、該当する3次元内部画像データをリンク付けさせることにより、覆工表面状況と覆工内部状況を一元的に管理することが可能となっている。

きみも金鉱を発見できる

金鉱の有望地域と探し方

理学博士 石井康夫著 新書判 202頁 本体定価 980円 (〒210円)

株式会社 **土木工学社**

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

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL

尾道松江線の 島根県側が起工

中国地方整備局は、新直轄方式により整備を進めている中国横断自動車道尾道松江線のうち、島根県雲南市吉田町～三刀屋町の三刀屋木次IC間約24.6kmが起工した。

尾道松江線は、広島県尾道市を起点に島根県松江市に至る延長約137kmの国土開発幹線自動車道。このうち、三刀屋木次ICから松江玉造IC間約6kmはすでに開通しており、尾道JCT～三刀屋木次ICの約111kmを新直轄方式で整備をしている。今回起工した区間には、中間点に吉田掛合ICを設けるほか、橋梁15か所、トンネル6か所を整備する。トンネルは、毛無山トンネル(4,886m)、杉戸トンネル(547m)、吉田トンネル(1,485m)、川尻トンネル(425m)、高瀬山トンネル(801m)、上熊谷トンネル(971m)である。

伊座敷トンネル着工近づく

鹿児島県は、国道269号伊座敷バイパス(鹿児島県南大隅町佐多伊座敷～同佐多浮津間約2.9km)の主要構造物となる伊座敷トンネルの用地取得を進めており、順調に行けば来年度にも着工する見込み。

同トンネルは、延長2,151m、幅員6または7mをNATMで施工する予定。また、同バイパスの起点側と終点側にそれぞれ210mと539mの明かり部があり、ほとんどを伊座敷トンネルが占めることになる。すでに千代田コンサルタントにより詳細設計を完了している。

外環道事業着手に向け始動

東京外かく環状自動車道(外環道)が都内区間の事業化に向け新たな段階に入った。

東京都は、30年以上の凍結状態だった同道路を高架式からトンネル式に変更するための変更案を、東京都都市計画審議会に報告した。

変更案では、事業予定年度は07～20年度の14年間。トンネル工事10年、高架工事4年、換気所工事6年を見込んでいる。トンネルは、延長約16kmの双設トンネルを主にシールド工法で行い、一部で函体推進、NATM、開削を予定している。

大田防災事業で1kmを トンネル化

中国地方整備局岡山国道事務所は、国道53号の防災事業として、岡山県建部町大田～同町福渡間約1kmをトンネルにより迂回させるルートの工事用道路を本年度に着手し、トンネル本体工事に向け準備を開始した。

同道路は、一級河川旭川と急峻で硬質な花崗岩からなる節理が発達した法面に挟まれた場所に位置する。集中豪雨や地震時に小落石などが発生する恐れがあり、緊急的な措置とともに調査設計、用地買収を行っている。トンネルは片側1車線、幅員11mを予定

首都高と都が認可共同取得

首都高速道路と東京都は、首都高速中央環状品川線の都市計画事業の認可を共同で取得した。これにより品川線の整備を両者が共同で行うことが正式に決定した。

同路線は、品川区八潮3丁目～目黒区青葉台4丁目までの延長約9.4km。外回りを東京都が、内回りを首都高速道路が建設し、このうちトンネルが8.4kmを占める。今後、シールドの発進基地となる大井北立坑を8月に着工し08年度よりシールドトンネルの整備を行う予定。13年度の

事業完了予定。

赤岩トンネル着工

北陸地方整備局新潟国道事務所が整備を進める国道49号揚川改良・赤岩トンネルが着工した。

揚川改良は、新潟県阿賀町津川～白崎までの延長約7.5kmに新たに阿賀野川左岸ルートを開削。現道は阿賀野川の右岸ルートで、線形が厳しく、挙動を続ける巨岩を背負う本尊地区など難所がつづく。同トンネルは、幹線国道改良の最大の構造物で難所打開に期待されている。

弓張トンネル2期工事着手へ

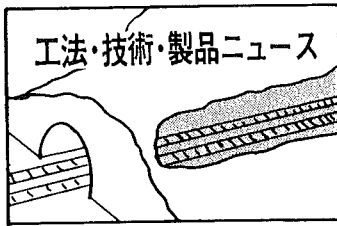
九州地方整備局が進めている西九州自動車道の「佐々佐保道路」(長崎県佐々町大字沖田免～佐保市矢岳町約9km)で計画している弓張トンネルの2期工事を本年度後半に着手する。

同トンネルは、延長約1,300m、内空断面積約65m²をNATMで施工。1期分は佐々側から掘削を進めており、近く佐保側坑口で改良工事に着手し、順調なら本年度内に2期工事に着手する。

福岡外環共同溝1工区 シールド掘進完了

九州地方整備局福岡国道事務所が進めている福岡202号外環状共同溝(福岡市博多区大字立花寺～西区大字拾六町間約16.2km)の第1工区で直径5.7mのシールドが、延長2,770mの掘進を完了した。

同共同溝は、整備中の国道202号福岡外環状道路、福岡高速5号線の直下で建設しているもの。同工区では、風化花崗岩などが存在し、6か所ある中間立坑ごとにカッタービットを交換するなど摩耗と闘いながら無事掘進を完了させた。



複合地盤を低コストで推進

鴻池組は、硬岩と粘土からなる複合地盤での推進工事を低コストで行う技術を確認した。

同社は、山口県内のガス埋設管工事で、すでに開発されている大型ゲージカッターを用いることで硬岩での長距離掘進を可能にした「K-1 推進工法」と余剰泥水を減量化する目的で開発した高性能分散材「AK-2000」を組み合わせて施工した。

これにより、同分散材を使用しない場合に比べ産業廃棄物の発生量を53%低減でき、運搬、処分にかかるコストを64%削減できることを確認した。

スクリー式垂直搬送コンベヤ

フジタは、横浜市緑区で施工中の高速鉄道4号線恩田川工区で泥土圧シールド工事から発生する大容量の掘削土を高効率で垂直搬送する、「スクリー式垂直揚土システム」を確認した。

同システムはスクリー式のコンベヤで掘削土を地上に搬送する仕組みで、従来の垂直ベルコンに比べ1/2の設置規模で、2倍の揚土能力がある。また、低騒音・低振動で環境にもやさしい。今後、大深度シールド工事への提案活動を強化する。

新しい支保工法「POWERボルト工法」

奥村組は、山岳トンネルの地盤変形を抑えるための新しい支保工法「POWERボルト工法」を開発した。

同工法は、トンネル外周に複数の特殊な鋼管を45度で放射状に打設し、トンネル周辺に剛性の大きな厚みのある補強ゾーンを構築するもの。

従来の支保材で変形が抑えられない地山でも有効な支保技術で、支保工の再構築や強化などの作業が不要で効率的な施工を実現。同社では、今後、大変形が生じる山岳トンネル工事の変位抑制工法として発注者に積極的に提案する。

前方地山の予測が可能

鴻池組は、山岳トンネルで既設施工区間の実績データと調査位置の機械データを対比させ、前方地山を正確に予測できる地山評価技術「K-tes(Konoike tunnel estimation system)」を開発した。

同社が開発したのは、切羽穿孔時の機械データにより、切羽前方探査技術をコアとして、切羽評価点や計測データ、支保実績などと関連づけることで、地山評価や支保選定をリアルタイムに行う情報化施工システム。これにより、品質や経済性の向上が期待でき、事前に補助工法などを準備できるため、掘削を止めることなく計画的な工程管理が可能。

オープンシールドでL型擁壁構築法の特許取得

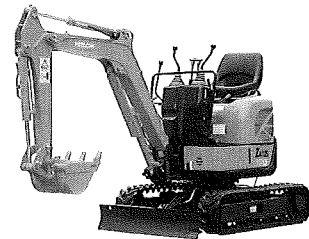
ユーディケーは、植村技研工業と共同申請していた「オープンシールドによる擁壁の築造方法」の特許を取得した。

同工法は、L型ブロックを上下に対向させてボックスカルバート状に組み合わせオープンシールドで掘進し、順次上部のL型ブロックを撤去・掘削し、さらに転用しながらL型擁壁を構築する。土留めが不要で、余掘りがなく、土工量の軽減を図れる。また、近接構造物への影響が少なく、プレキャストのため、小断面化が可能などのメリットがある。

後方超小旋回型ミニショベル

日立建機は、ZX10U₂後方超旋回型ミニショベルを発売した。

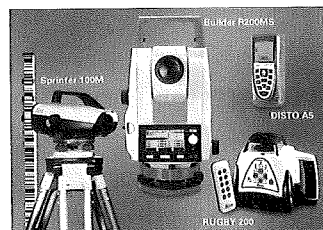
同機は、クローラ幅が760~1,000mmまで伸縮できる「可変脚式クローラ」を標準装備し、縮めることで狭い通路を通過でき、稼働現場では掘り作業ができるため、優れた安全性を発揮。操作レバーに油圧パイロット式を採用。さらに、フルオープン式エンジンカバーや分割式フロントホースなどを採用することにより、点検整備性も大幅に向上。年々増大しているレンタル需要にも対応している。また、国土交通省の超低騒音型建設機械と排出ガス対策型建設機械(3次規制)基準値もクリア。



建築業向け測量器

ライカジオシステムは、建築業向け測量器シリーズのラインナップを拡充し販売を開始。

従来、建築工事では土木工事向けに開発された測量器を流用し、それに古典的な下げ振り、水糸などを使用してきた。このような背景から最新のテクノロジーを導入した測量器をラインナップすることにより、簡単な操作でありながら、ミスを防ぎしかも疲れにくい、正確で迅速な作業をもたらす。



設計・理論

文献紹介



- 吉田幸信・安藤幹也・赤木渉・菅原大介・田村栄治・長谷川修一・中川浩二：トンネルの地山挙動を予測する和泉層群の岩盤特性区分、応用地質、Vol.47, No.2, 2006.6.
- 寺内伸・谷口裕史・宮地明彦・中田雅博・吉武勇・中川浩二：適用性拡大に向けたNew PLS工法の技術開発プロセス、土木学会論文集VI-70, No.812, 2006.3.
- 吉田幸信・安藤幹也・山本雅貴・長谷川修一・鈴木昌次・中川浩二：内空変位計測データに基づく四国地方のトンネルにおける地山挙動特性、土木学会論文集VI-70, No.812, 2006.3.
- 城間博通・益田光雄・進士正人・松井幹雄・西村和夫：現場計測に基づく垂直縫地ボルトのトンネル周辺地山補強に関する一考察、土木学会論文集VI-70, No.812, 2006.3.
- 小島芳之・津野究・佐野信夫・伊藤哲男・馬場弘二・松岡茂・川島義和：三次元効果を考慮したトンネル覆工のひび割れ進展と力学特性、土木学会論文集VI-70, No.812, 2006.3.
- 升本一彦・藤田朝雄・杉田裕：坑道周辺の掘削影響領域への粘土系材料を用いたグラウト注入手法の検討、土木学会論文集III-74, No.813, 2006.3.
- 大塚勇・青木智幸・大町達夫・伊藤洋：地山とボルトの付着特性に着目した長尺鏡止めボルトによる地山補強効果の評価、土木学会論文集III-74, No.813, 2006.3.
- 大塚勇・青木智幸・大町達夫・伊藤洋：長尺鏡止めボルトによる地表面沈下の抑制効果に関する解析的検討、土木学会論文集III-74, No.813, 2006.3.
- 吉塚守・大窪克己・吉武勇・中川浩二：各種ロックボルトの引抜き付着強度実験、土木学会論文集III-74, No.813, 2006.3.
- 佐藤修一：地盤改良を必要としないシールド推進・到達工法、アーバンゲート、建設機械、Vol.42, No.5, 2006.5.
- 森正嗣・中筋智之・開本正弘：直線スクイーズ式圧送ポンプ、小口径～中口径シールドの排泥システム、建設機械、Vol.42, No.5, 2006.5.

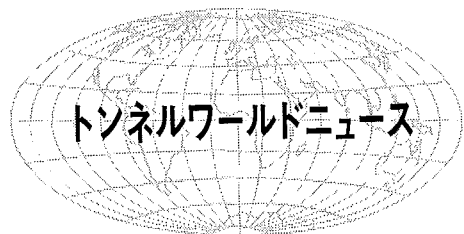
施工

- 高橋聡・諸橋敏夫：大断面複合円形シールド工事の概要、東京地下鉄13号線神宮前工区土木工事、土木技術、Vol.61, No.1, 2006.1.

- 武友憲重・河村靖男・西村誠一・塩川裕之：不良地山における超大断面トンネルの施工、箕面有料道路、箕面トンネル南工区、土木学会誌、Vol.91, 2006.1.
- 田邊滋・三木栄一：地下鉄13号線駅部開削工事の地下水対策、基礎工、Vol.34, No.3, 2006.3.
- 太田耕栄・河野悦朗・高橋茂吉：仙台空港アクセス鉄道地下部本体工事における地下水対策、スーパーウェルポイント工法と真空プレス型リチャージウェル工法、基礎工、Vol.34, No.3, 2006.3.
- 島田剛・工藤山城・桜井昭二・中村一郎：水中躯体移動設置工法を用いた地下水流動保全対策の施工事例：基礎工、Vol.34, No.3, 2006.3.
- 島田剛・竹石英之・木佐貫徹・山本佳正：地下水流動阻害対策工としてのニューマチックケーソン工法、東京都建設局環状8号線南田中トンネル工事での対策事例、基礎工、Vol.34, No.3, 2006.3.
- 高松正彦：秋田中央道路の計画と施工概要、土木技術、Vol.61, No.3, 2006.3.
- 阿曾正明・岩田義弘・志野和己・長尾和明：可燃性ガスを含むトンネルの施工、北陸新幹線飯山トンネル新井工区工事の例、建設機械、Vol.42, No.4, 2006.4.
- 徳永潔計・小淵良一・橋詰順一・松藤孝弥・松元和伸：環境保全対策としての機械掘削工法、九州新幹線玉名トンネル(北)工区、建設機械、Vol.42, No.4, 2006.4.
- 村本利行・早川淳一：センターホールジャッキ方式によるシールドの推進方法、仮組セグメント不要の移動式バックアンカー工法、建設機械、Vol.42, No.4, 2006.4.
- 山田勝久・岸勘治・青屋鉄弘・中野定司：下水道未普及地域解消を図る旧江戸川横断シールド、建設機械、Vol.42, No.5, 2006.5.
- 佐藤英郎：超大口径管径φ3,500mm推進工法の施工、分割回収型掘進機「やどかり君」、PC推進管、スーパーエル工法を適用した、世界初となる超大口径管径φ3,500mm推進工法の施工、建設機械、Vol.42, No.5, 2006.5.
- 梶原竹生：環境に配慮したトンネル工事施工、国道18号上田坂城バイパス岩鼻トンネル工事報告、土木技術、Vol.61, No.5, 2006.5.
- 露崎格・伊藤和芳：PC分割型推進管による超大口径推進工法、土木技術、Vol.61, No.5, 2006.5.

維持・管理

- 清水満・鈴木尊・末松史朗：都市部の地下水回復に伴う地下駅の対策、基礎工、Vol.34, No.3, 2006.3.
- 加藤徹・海谷真市・林正博：流域変更を伴う大規模幹線の更正工事と処理場における対応報告、湯島幹線改良工事、月刊下水道、Vol.29, No.5, 2006.4.



(社) 日本トンネル技術協会
国際委員会

高雄市の地下鉄工事で一週間に2度の地盤陥没発生

高雄地下鉄公団(高雄捷運股份有限公司)は、昨年の12月初旬に週2度発生した地盤陥没事故を機に、60億US\$に及ぶこの地下鉄事業の工事を監視するための委員会を発足させた。この地下鉄事業は、高雄地下鉄公団が高雄市から2000年に設計・施工、ファイナンス、事業運営までを一括して受注したもので、当対策委員会は発注者の要請で設立された。

地下鉄公団の取締役であるFan Chen-bou氏は、「この委員会は、学識経験者を招き、地下鉄事業の設計コンサルタントと工事請負企業体の代表者約30名で構成し、トンネル掘削が完了する3月まで6工区の施工を監視する」と語った。

また、社長であるChiang Yao-tsung氏は、この建設工事の品質改善にあたって高雄市政府が介入することを容認した。また同氏は、高雄の地質は難しく、このトンネル工事はほかのどこよりもタフなチャレンジができることも指摘した。

高雄市議会は過去2年間にこの事業で10か所もの陥没事故が発生したことを指摘した。その陥没事故の中でもShitzuwan Station工区の陥没は橋線工区の工事を中止し、近隣の24人が緊急に避難したものであった。

高雄市政府側には、このShitzuwan Station工区の工事再開を高雄地下鉄公団に許可する前にどのような復旧方法が必要であるのかを今なお検討中である。

Chiang社長は「この地下鉄事業は難工事で当初から特別なプロジェクトだった。プロジェクト

のスタッフはこの事故の重大さを厳粛に受け止め、どんな難しい問題に直面しても勇気を持って対処する構えだ」と語った。

もっとも最近の陥没事故は、昨年12月10日にChungcheng Road(中山路)のHsinghsing 警察署近くのトンネル工区で発生した事故で、その陥没は深さ3m、長さ7m、幅5mにわたった。高雄地下鉄公団側は、2日前にこの区間をシールドで掘削し、支保工の欠陥に起因する事故だと判断された。

しかし、もっとも重大な事故はその事故の1週間前の12月4日に発生したものであった。それはトンネル(上下線の避難連絡坑)掘削中に地下約33mにおいて地下水を噴発させ、橋線のCultural Center駅工区(文化中心駅)の工事を中断させた。陥没の規模は、長さ50m、幅30m、深さ10mで企業体は、Chungcheng RoadとTashun Roadの

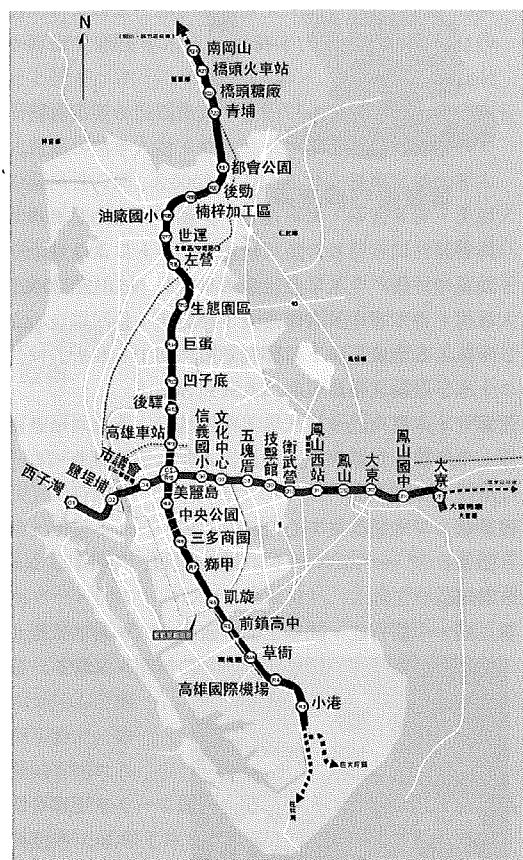


図-1 高雄地下鉄路線図

改装したLovat社製TBMによるカラカス地下鉄トンネルの貫通

GHELLA Sogene CA は12月中旬にカラカス地下鉄の最後の区間を貫通させた。

「Betania」という名の直径5.8mの土圧式TBMは2005年3月に発進し2,300mを掘進した。

El Valle立坑からCoche立坑までの掘削は予定どおりに完了し、CA Metro de Caracas (CAMETRO)にとって、南部への新しい延伸線であるEl Valle駅とVenezuela Seat駅を結ぶ3号線の最初の掘進となる。

Metro de CaracasはCAMETROによって運営され、現在、延長45km、40駅を有し、以下の路線により構成されている。

- ・1号線：延長22.5km(地下区間20km)、7両編成の車両が最大33本運行
- ・2号線：延長18km(地下区間9km)、6両編成の列車が最大14本運行
- ・3号線：延長4.5km、6両編成の列車が最大5本運行

地下鉄はMetrobusと呼ばれるフィーダーバスシステムにより補完されている。

TBMは1bar程度の水圧を持った頁岩、砂、粘土からなる変化に富んだ地質を掘進した。

Lovat Model RMP2285Eは1985年に最初に導入され、最近、LovatとGhella Sogeneによりリニューアルが行われた。

Metro de Caracasによるトンネル径の増加に対応するよう、改造の一部としてLovatはTBMの径を5.7mから5.8mに増加させた。リニューアルには、前胴部やメインドライブの更新、複合地質対応型カッターヘッドの装着も含まれた。

立坑から撤去された後、TBMは次の同様な掘削のために再配置される予定である。

(T&TC '06.1,2 担当：光木 香・(独)鉄道・運輸機構)

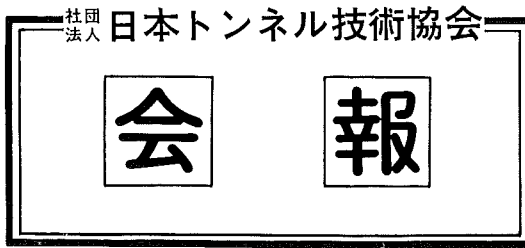
混雑する交差点を11時間にわたって通行止めにした。また、その復旧工事費は1,500万US\$と予測される。

この長期に及ぶ復旧計画が合意されるまで、被害をほかに波及させないように約9,000m³の土砂とコンクリートで陥没箇所の埋め戻しがなされた。その結果Chungcheng Roadは、T&TIが取材したところから閉鎖され、12月の下旬に通行が再開された。日曜日に発生した陥没事故にもかかわらず、交通渋滞が発生しさらには近接するLinkang鉄道の運行まで停止させた。

このトンネル工事(高雄地下鉄工事)の問題は(T&TI, p.6, 2005.10に掲載されたが)地下鉄建設労働者と事業主との間で発生した労働条件論争に端を発し、台湾野党国民党が事業主はこの地下鉄工事で働くすべての作業員の安全性改善を棚上げにしていると台湾政府交通部の介入を言及したことから生じている。しかし、当局はこの問題に対して介入の必要がないと拒否した。台湾団結連盟のLuo Chih-ming氏は、この問題をもっと実質的に台湾政府交通部と公共工事委員会がこの建設事業を監視する専門機関を設け厳しく監視する必要があると語った。

台湾野党国民党のHuang Chao-shun氏は、「現高雄市長のYeh Chu-lan氏(葉 菊蘭)がこのプロジェクトに関して自身の監視不足を市民に謝罪し、辞任して、この件の調査結果を待つべきだ。」と付け加えた。ところが、前 高雄市長のFrank Hsieh氏(フランク謝長廷)は勝ち誇ったように「この高雄地下鉄の事故に関する諸問題は重大なことではない。むしろ台北市の抱えているMRTプロジェクト(台北地下鉄計画)の問題の方がもっと重大なのではないか。したがって、われわれは高雄市の件についてこれ以上問題視しない。」と語った。

(T&TI '06.1 担当：篠原慶二・前田建設工業(株))



1. 会員の現状

| | 5月25日現在 | 6月25日現在 |
|------|---------|---------|
| 正会員 | 2,222名 | 2,222名 |
| 団体会員 | 338名 | 338名 |
| 個人会員 | 1,884名 | 1,884名 |
| 名誉会員 | 1名 | 1名 |
| 計 | 2,223名 | 2,223名 |

2. 委員会の開催状況(6月1日～30日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：6/27 (中島泰彦主査ほか18名)原稿を検討
計 1回開催 19名出席

◎運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：6/7 (大島洋志主査ほか13名)7月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会：6/21 (石井一生幹事長ほか9名)ITA総会、理事会報告

ITA総括WG：6/8 (福本勝司主査ほか11名)今後の活動を検討

海外文献小委員会

海外ニュースWG：6/14 (光木香主査ほか8名)海外文献を査読

◎事業委員会：6/15 (桑原彌介委員長ほか15名)催物事業計画を検討

同 打合せ会：6/2 (小山幸則講師ほか7名)ステップアップ研修会(シールド)開催方針を検討

同 同：6/14 (朝倉俊弘講師ほか5名)ステップアップ研修会(山岳)開催方針を検討

計 7回開催 75名出席

合計 8回開催 94名出席

3. 国際会議の開催予定

| 会議名 | 開催日 | 場所 | 主催者等 |
|---|----------------|-------------------|--|
| 第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gres 「地下空間：巨大都市の4次元利用」 | 2007. 5. 5～10 | ブラハ (チェコ共和国) | Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org |

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

4. 平成18年度催物開催現況

| 催物名 | 開催日 | 人数 | 場所 |
|--|----------------|-----|------|
| (見学会) | | | |
| 大阪市地下鉄現場研修会 | 2006. 4. 17 | 16 | 大阪府 |
| 横浜市地下鉄現場研修会 | 2006. 5. 30 | 28 | 神奈川県 |
| 東京地下鉄13号線現場研修会 | 2006. 6. 2 | 24 | 東京都 |
| 首都高速新宿線現場研修会 | 2006. 6. 20 | 25 | 東京都 |
| 上記のほか、東北新幹線、各種高速道路、近畿地区地下鉄などのトンネル建設現場研修会を開催する予定です。 | | | |
| (発表会) | | | |
| 第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」 | 2006. 11. 29 | 150 | 東京都 |
| 第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」 (講演、講習会) | 2006. 11. 30 | 150 | 東京都 |
| 第8回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門) | 2006. 11. 1, 2 | 30 | 東京都 |
| 第9回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門) | 未定 | | |

9月号予告[9月1日発売予定]

- 狭小な鉄道トンネルの剝落対策
 - 広島高速1号線トンネル工区
 - 仙台市高速鉄道東西線建設計画の概要
 - 大津雨水幹線築造工事 尾花川排水区
 - 「第32回ITA総会」報告
 - 【連載講座】
 - 都市トンネル工事の計測(9)
 - 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(6)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆本号では超高速鉄道にかかわる研究成果をジェイアール東海コンサルタンツの山崎様にご執筆いただきました。興味深い論文でしたので、多くの方の参考になったと思います。

◆ひとえに「高速鉄道」と申ししても日本では2とおりの使われ方がされています。1つは新幹線のような、主に時速200kmで走行するもので、もう1つは地下鉄などの都市を走行する交通機関です。帝都高速度交通営団(現・東京地下鉄(株))や埼玉高速鉄道(株)がこれにあたります。これは当初、路面電車より「高速」な交通機関と定義されたことから、運営事業体が「高速鉄道」を名乗ったことが事の始まりです。

◆海外の高速鉄道に目を向けますと、フランスのTGVやユーロスターなどは日本でも一般の方にもよく知られておりますが、そのほか、イタリア、ドイツ、スペイン、スウェーデン、ベルギー、アメリカ、イギリス、中国などで新線として開業・運行され、フィンランド、スイス、ノルウェー、ポルトガル、スロベニアで在来線での高速鉄道が導入されています。近い将来、これらの国々に、韓国、台湾が加わることとなります。

◆スペインの高速鉄道AVE(アヴェとは鳥の意味)は、現在、マドリッド～セビリア間を2時間半で結んでいます。数年後には、マドリッド～バルセロナ間を延伸させる予定です。この延伸計画で大きな問題が持ち上がっています。世界的に有名な建造物・ガウディ作「サグラダ・ファミリア」のほぼ直下にAVEのトンネル計画があり、教会関係者より猛反発されています。スペイン政府は技術的に問題なしと関係者に説明しているようですが、関係者は地質の複雑さを考慮すると、遠い将来、重大な危険性をもたらすと主張しているようです。

◆日本でも、2001年に施行された「大深度地下利用法」があるとはいえ、京都の歴史上重要な建造物直下にトンネル計画が持ち上げれば少なからず反対論があがるのは間違えありません。技術的教育を受けていない一般の方へ、十分な説明をできるように工夫が、今後の工事計画に重要となっていくかもしれません。

(I.Y)

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

トンネルと地下

第37巻 第8号 [通巻432号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成18年7月20日 印刷

平成18年8月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://wwwsoc.nii.ac.jp/jta

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メイジャー神楽坂

TEL: 03-3267-2888

FAX: 03-3267-2807

http://www.tunnel.ne.jp

発行人 山本 育徳

編集人 山本 勝誉

印刷 新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は、書店または土木工学社へ直接お申し込みください。

■お申し込みの際は、誌名、購読期間、住所、所属、氏名などを明記のうえ、FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください。後日、小社より振込用紙をお送りいたします。

購読料

1冊 1,575円(送料108円)

(本体価格 1,500円)

1年 15,000円(前納)

振替 00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

本誌への広告掲載は小社「トンネルと地下」営業部までご連絡ください。

TEL: 03-3267-2888

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

好評発売中

多様化する
シールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会

B5判 141頁 本体価格2,500円



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

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

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

【掲載工法】

①ラチス式同時施工シールド工法、②F-NAVIシールド工法、③ハニカムセグメントを用いた同時施工法、④ロングジャッキ式同時施工シールド工法、⑤ダブルジャッキ式同時掘進シールド工法、⑥充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掘径シールド工法、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

TAIKU



CL301E型 カッタローダ

強力な掘削
最大掘削高さ6.6m

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

トンネル掘進機の本命・カッタローダ
山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

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

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

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

Kawasaki

KUT300

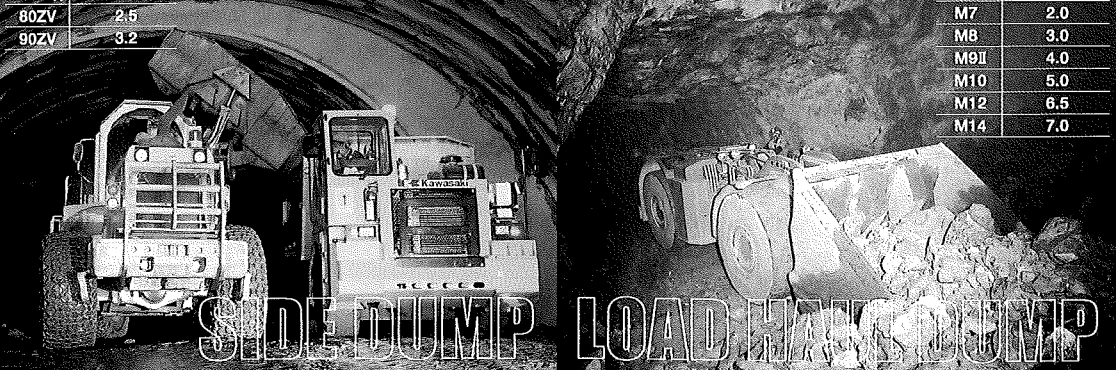
輸送重量27t・3軸4輪駆動

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!



- 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段階調整式リタータ
 - ・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい



■両サイドダンプ

| モデル名 | バケット容量 (m ³) |
|------|--------------------------|
| 80ZV | 2.5 |
| 90ZV | 3.2 |

■ロードホールダンプ

| モデル名 | バケット容量 (m ³) |
|------|--------------------------|
| 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/>