

三菱重工

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

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

1995
《3心円泥水式駅シールド》
地下鉄12号線環状部飯田橋駅
工区建設工事で活躍

1939
《日本最初の本格的シールド》
関門トンネル工事で活躍

トンネル開発技術に 60余年のヒストリー。

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



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

トンネルと地下 4

vol. 37
no. 4
2006

Tunnels and Underground

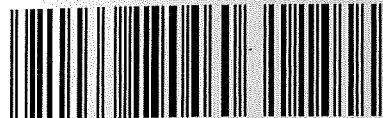
未固結地山における小土かぶりトンネル群の施工
石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服
情報化施工を用いた16万m³地下空洞掘削工事
単線並列シールドから複線山岳トンネルへの移行
臨海部シールドトンネルの塩害調査の結果とその考察

日本トンネル技術協会誌



定価 1,575円
本体価格1,500円

雑誌06619-4



4910066190460
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

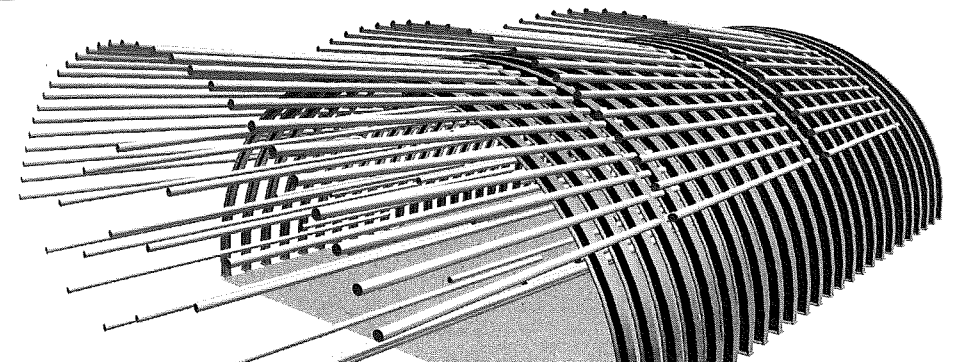
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

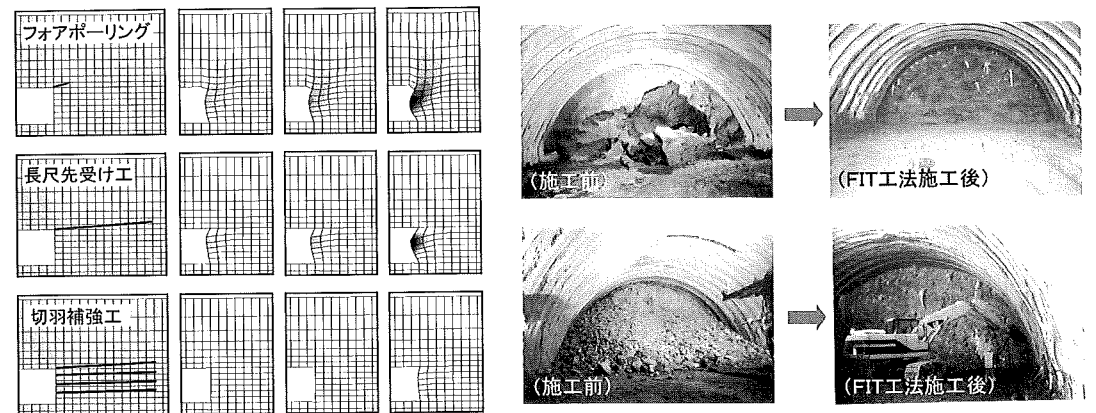
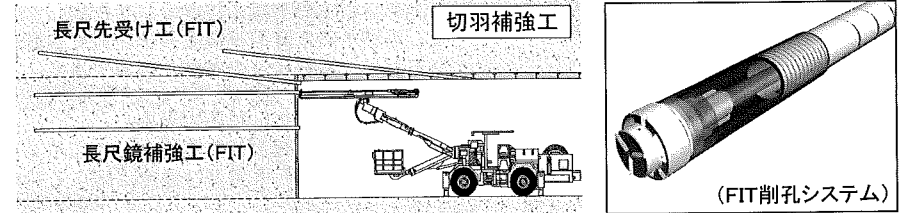
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

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)

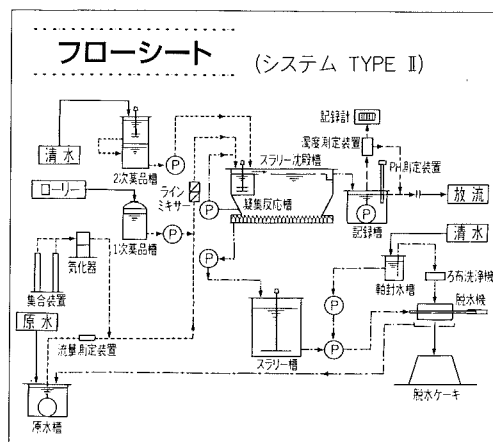
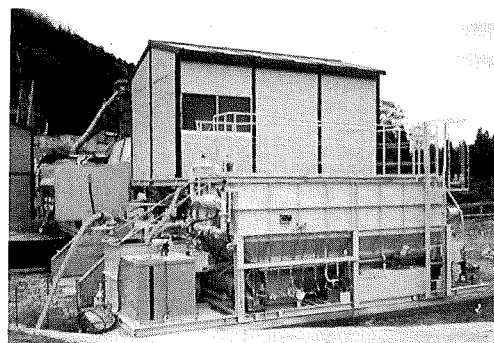
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

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/>

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら
大きな処理能力



特長

1. 基礎、土木工事の期間が短く安価である。設置面積が小さくフラット基礎で設置可能である。
2. 運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合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が少くない。
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
3. シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

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

5. 多種多様な原水に対応出来る。
凝集反応槽攪拌機及び集泥用レーキにインバーターを採用し、水量及び濃度に幅広く対応する。
6. 豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置 (異状警報装置と連動)
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置 (エアレーション装置等)
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動汙布洗浄装置

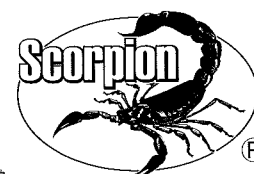
シックナー5機種、脱水機4機種を標準化し、処理量に応じた自由な組み合わせが可能です。あなたの現場にピッタリフィットのシステムを御検討下さい。

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

Tonneru no Rental



エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

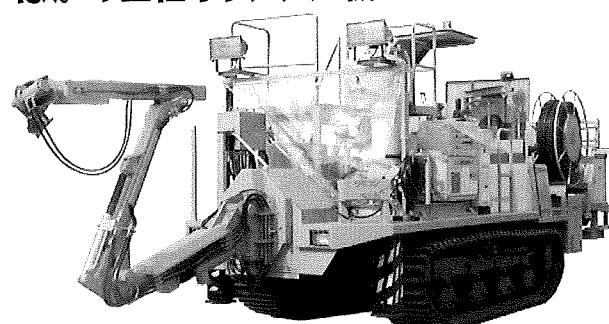
軟弱地盤や斜路
での適応力

スコープオン
SCORPION
ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

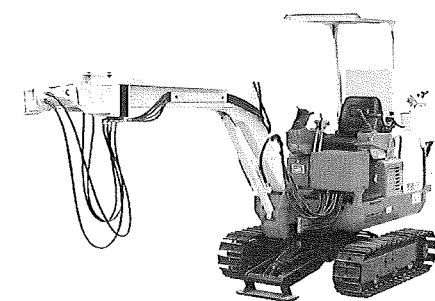
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション) 搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL : 小断面(20m)適用可能一体型吹付機



MR : 小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画

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

株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地286-1

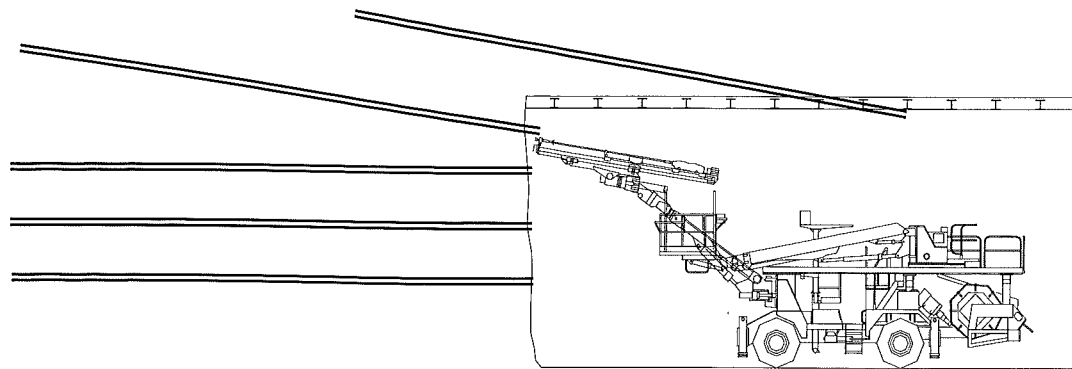
TEL 0268(62)1426 FAX 0268(62)1999

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

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

発泡型シリカレジン

SR-L

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

注入式長尺先受工法

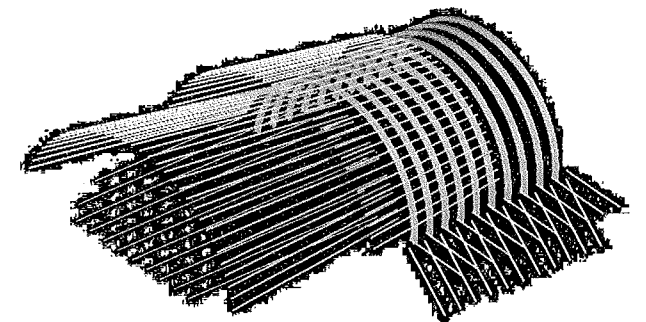
AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

株式会社 カテックス 建設資材事業部

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

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

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

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

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

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

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

北海道地区 〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号
株式会社イー・アル・オー TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

NEW F-Sボルト

—長尺鋼管注入式掘ボルト—

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
長尺鋼管注入式掘ボルト

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

Fujimori

RPEロックボルト

—ZAM高耐食ボルト—

NETIS申請中

FKパネル

—パネル内面補強—

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 |

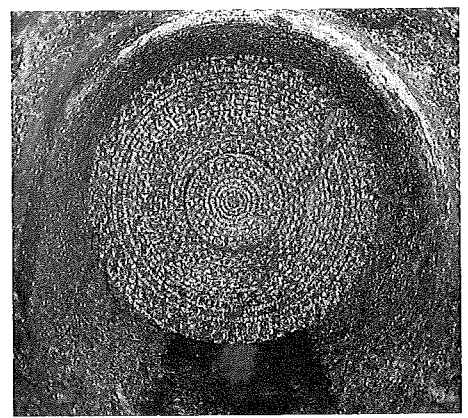
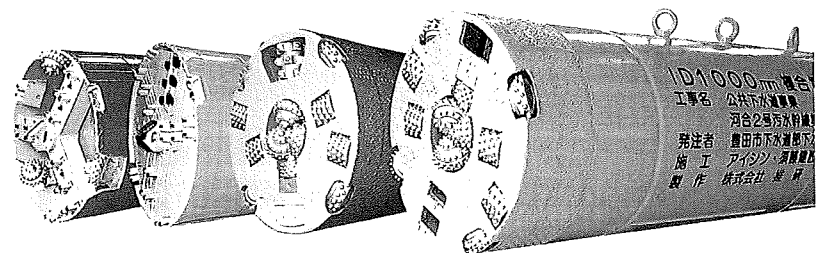
岩盤推進を創めて20年

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



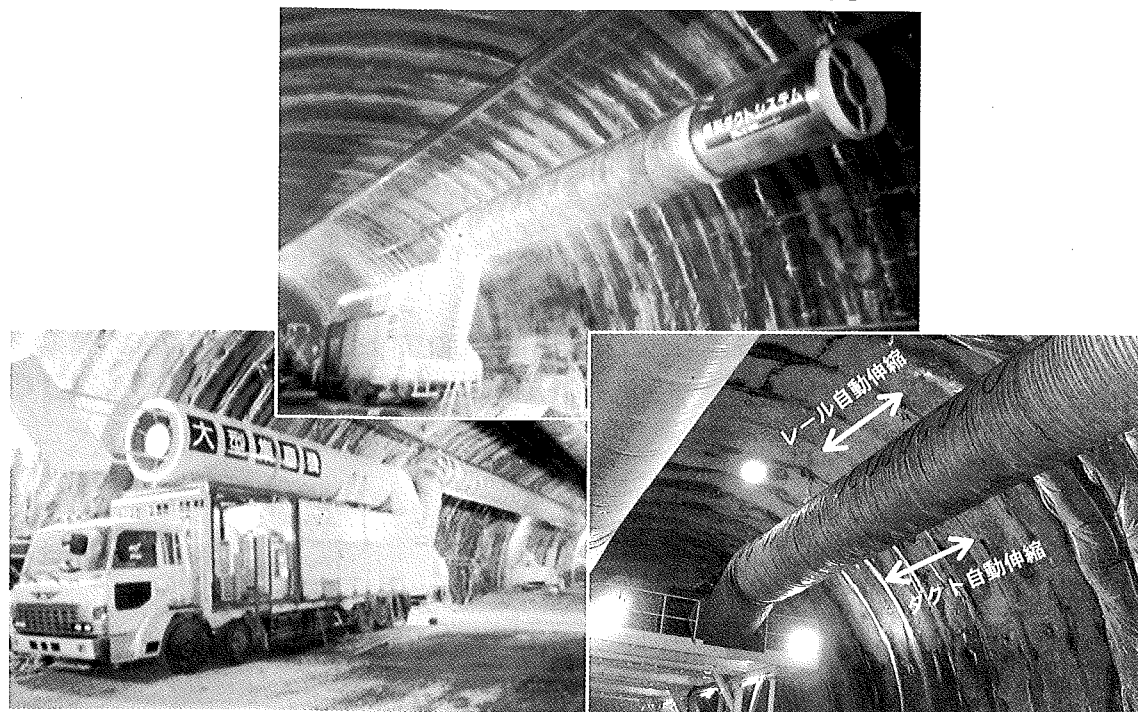
C.M.T工法協会
株式会社 **推研**

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 大阪府高槻市土室3-29-7
TEL 0726-94-6164
FAX 0726-92-0186

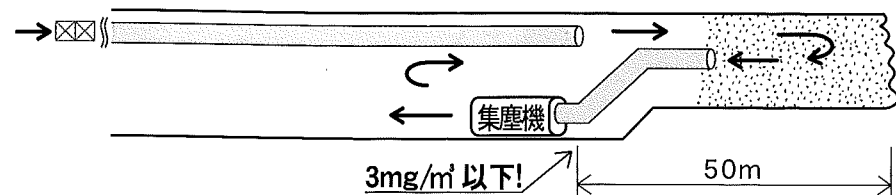
吸引ダクトシステム

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應。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。
- ・適應外径は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

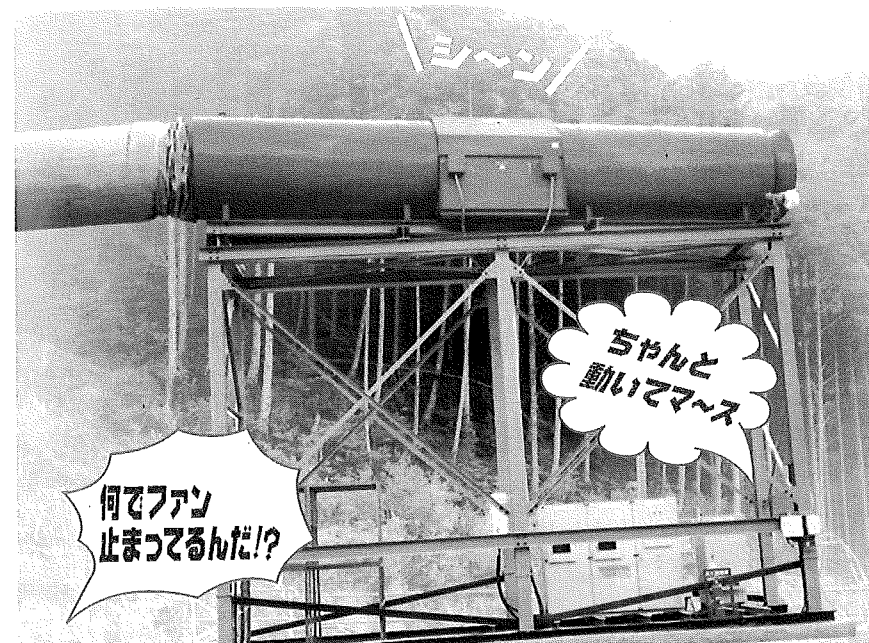
株式会社 流機 エンジニアリング

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

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com リーセンサー TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

超低騒音・三軸反転ファン エアロ★MAX

耳をすまして下さい! ●●♯♯〜これ、ファンの音なんです。



今時、静かなのは当たり前!!

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

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

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社 流機 エンジニアリング

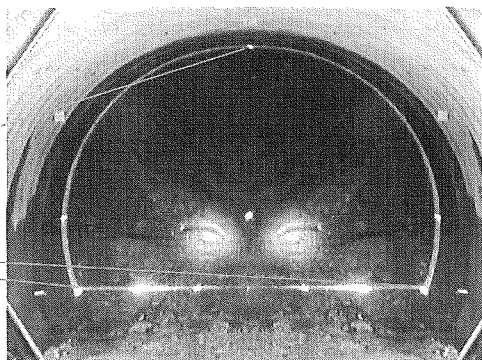
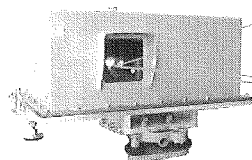
本社/〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL: 03 (3452) 7400 (代) FAX: 03 (3452) 5370
つくば/〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6

URL: <http://www.ryuki.com> E-mail: eigyobu@ryuki.com リーセンサー TEL: 0296 (37) 7680 (代) FAX: 0296 (37) 7681

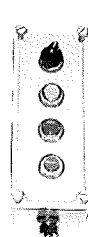
レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現

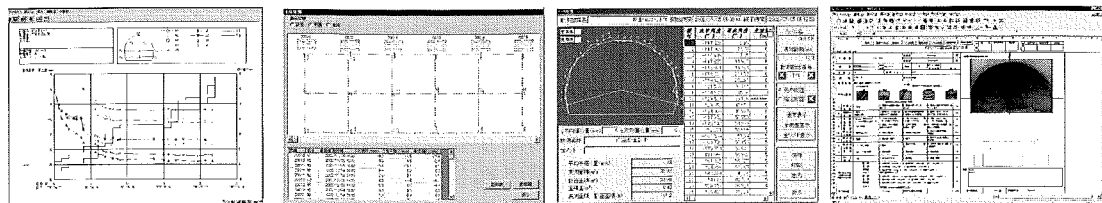


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。

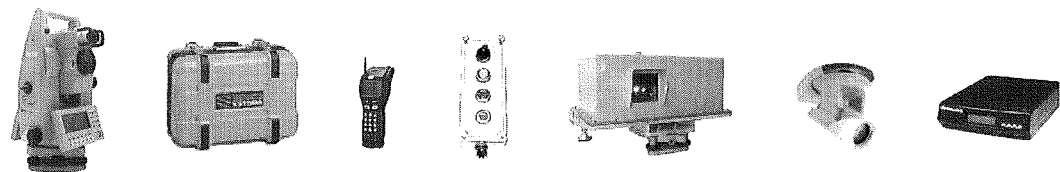


A計測データ処理

支保工立込精度、変形量

内空、巻厚検査

切羽観察、etc



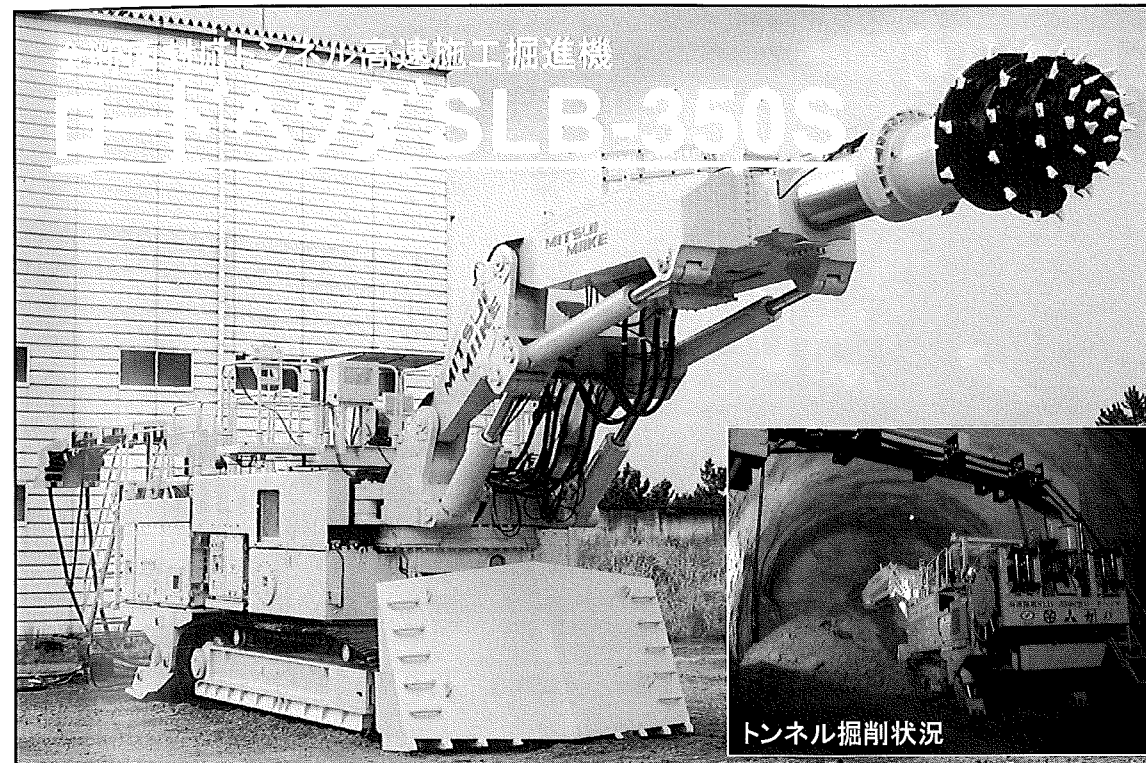
豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

MAC マック株式会社

〒272-0832 千葉県市川市曾谷8-16-3
TEL (047) 371-3191 FAX (047) 371-3190

〔販売元〕

古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

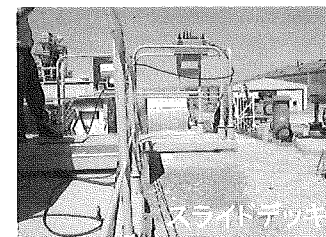


大断面トンネルの高速施工を目指して

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

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



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
販売元 産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203
札幌支店 TEL. 011-251-5211 FAX. 011-221-3704 / 大阪支店 TEL. 06-6448-6851 FAX. 06-6441-6537
福岡支店 TEL. 092-271-8871 FAX. 092-271-0653
http://www.mitsumiike.co.jp E-mail koken@mail.mitsumiike.co.jp

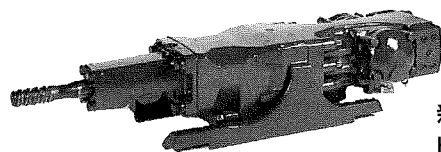
メンテナンス ミイケ機材株式会社 本社 / 〒103-0021 東京都江戸川区中央1丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5678-4105

TOYO

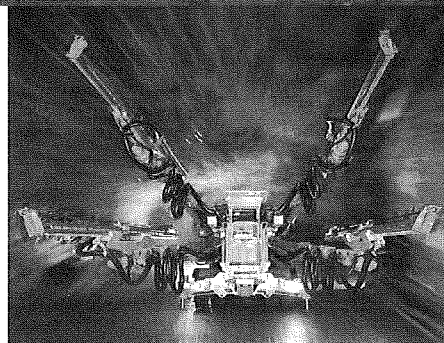
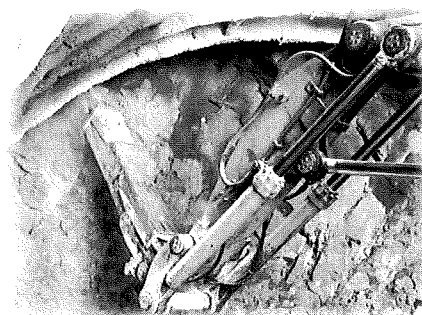
SANDVIK



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



TOYO EJC Rammer
TAMROCK TORO

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

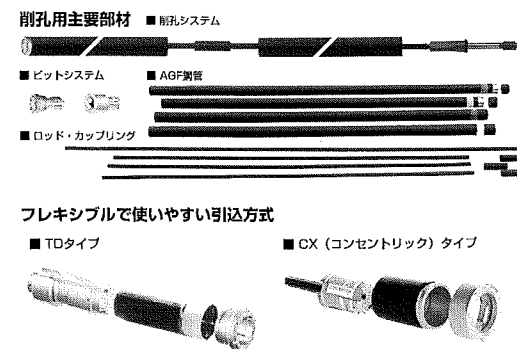
Tel: 045-478-0660 Fax: 045-478-0661
URL: <http://www.SMC.sandvik.com>

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。

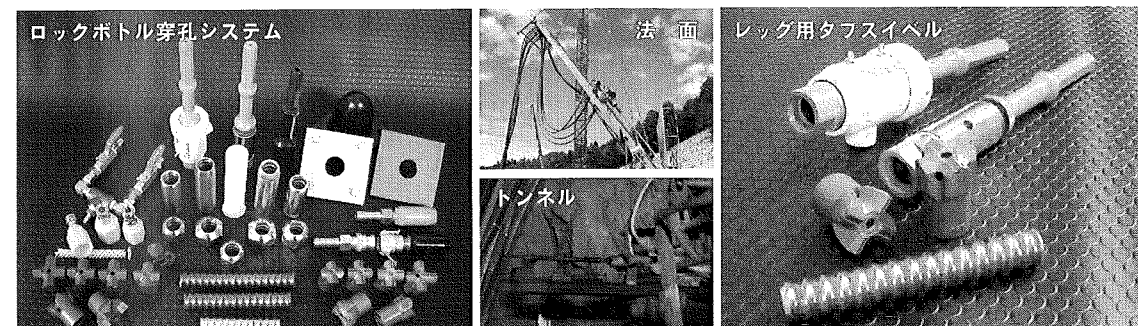


▼ タフボルト (自穿孔ロックボルト)

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。

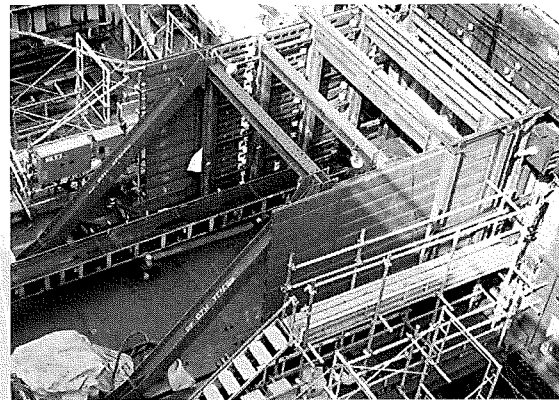
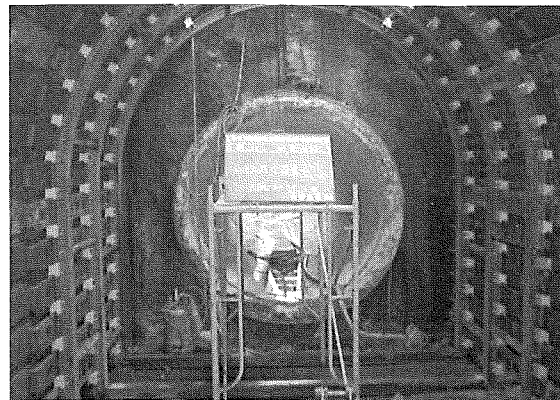
品名	外径mm	断面積mm ²	引張荷重	降伏荷重	せん断荷重
TF22	31.5	375	235kN (24Tf)	196kN (20Tf)	125kN (12.7Tf)
TF26	31.5	420	274kN (28Tf)	215kN (22Tf)	176kN (18.0Tf)
TF32	34.0	500	353kN (36Tf)	274kN (28Tf)	216kN (22.0Tf)



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

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)

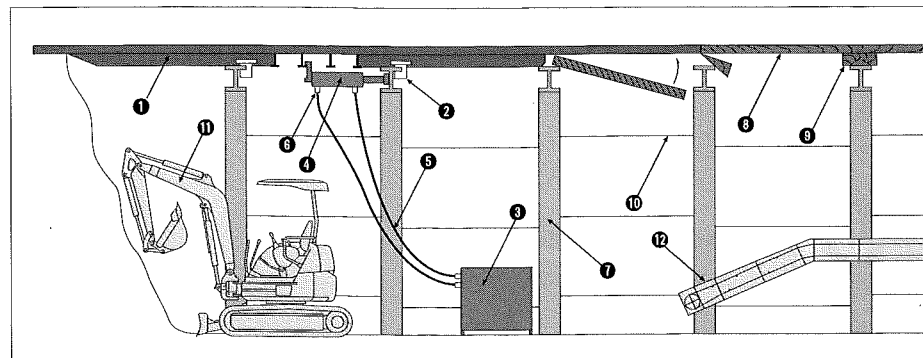
特徴

- 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 バックハウ
- 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/>

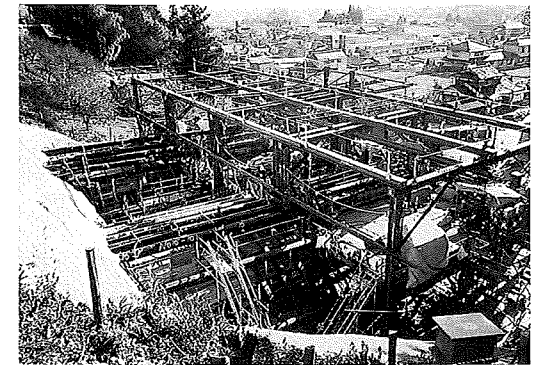
〒102-0072 東京都千代田区飯田橋4丁目4番5号 TEL.(03)3263-7457(代) FAX.(03)3262-0915

THパイプルーフ工法

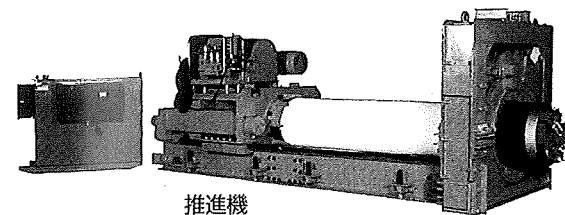
高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

★特 徴★

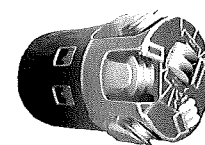
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です。
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用(精度が良いため支保作業が容易です。)
- オーガ中掘り掘削。地山との空隙に同時注入もできます。
- 推進途中でのビットの交換が可能で層変りに対応できます。
- 適応管径は、φ200~φ1200mmです。
- 最大推進長は、約70~100mです。
- 推進機は推力100t、200t、300tがあります。



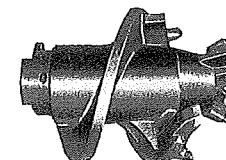
パイプルーフ打設状況(山岳トンネル)



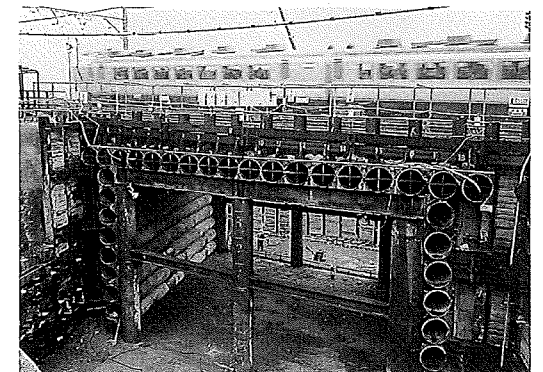
推進機



硬質地盤用ビット



土砂用ビット



パイプビーム工法

〔正会員〕

九州基礎(株) 福岡県 TEL 0946-22-7445
 (株)小宮山土木 長野県 TEL 0267-56-1299
 東興建設(株) 東京都 TEL 03-5773-2015
 東洋地工(株) 福井県 TEL 0776-53-5335
 日特建設(株) 東京都 TEL 03-3542-6401
 北條基礎(株) 大阪府 TEL 072-626-1002
 (株)最上機工 山形県 TEL 0233-32-3885

ケミカルグラウト(株) 東京都 TEL 03-5575-0511
 サン開発工事(株) 大阪府 TEL 0726-41-4951
 東邦地下工機(株) 東京都 TEL 03-3474-3143
 (株)日さく 埼玉県 TEL 048-644-3934
 日本基礎技術(株) 東京都 TEL 03-3476-5701
 北海鋼機(株) 北海道 TEL 011-382-3361
 (株)山昌 兵庫県 TEL 0727-59-8568

〔賛助会員〕

(株)辰巳商会 長野県 TEL 0263-48-1711

電気化学工業(株) 東京都 TEL 03-5290-5360

<http://www.piperroof.jp>



THパイプルーフ技術協会

〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
 TEL 03 (3474) 3143 FAX 03 (3474) 3163
 E-mail: jimukyoku@piperroof.jp

MITSUBISHI DIABIT

地山の維持・補修用工具システム

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

ウルトラメックスビット

工具システム(アウタービットロストタイプ)
※特許申請中

(パイロットビット)

(ロストビット)

スーパーメックスビット

工具システム(ビット回収タイプ)
特許No.2730253 他

超硬工具協会賞受賞

主な用途

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

スモールPビット

工具システム(ロストビットタイプ)
※特許申請中

(ジャンクデバイス)

(ロストビット)

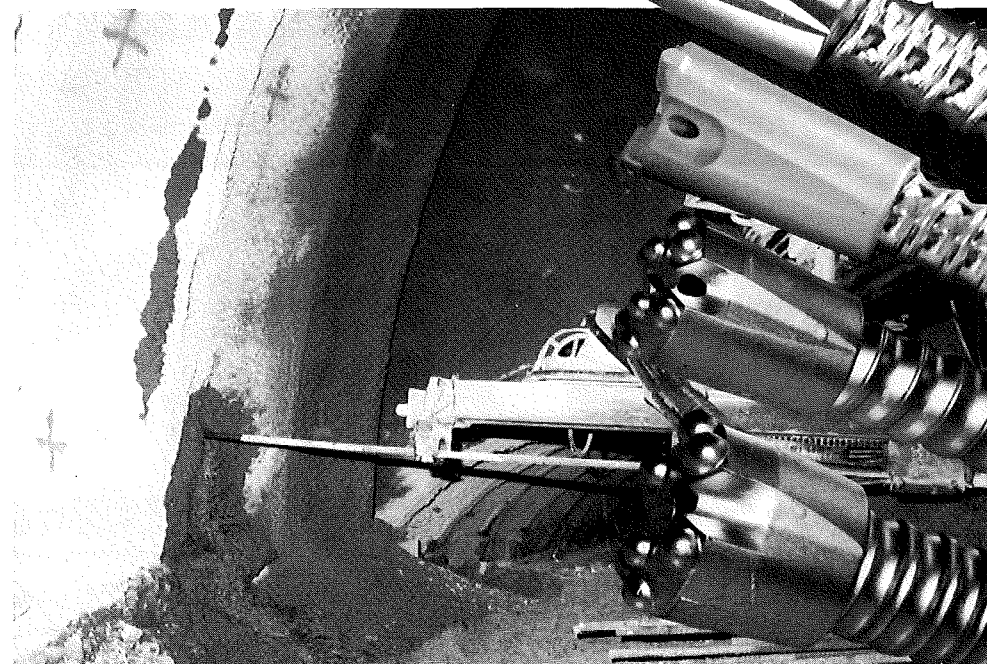
三菱マテリアル

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

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：スィ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、長尺ボルトの打設が可能。
- 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と各種ビットがある。



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	≥19 tf	≥19 tf	≥35 tf	≥60 tf
破断荷重	≥25 tf	≥25 tf	≥50 tf	≥80 tf

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

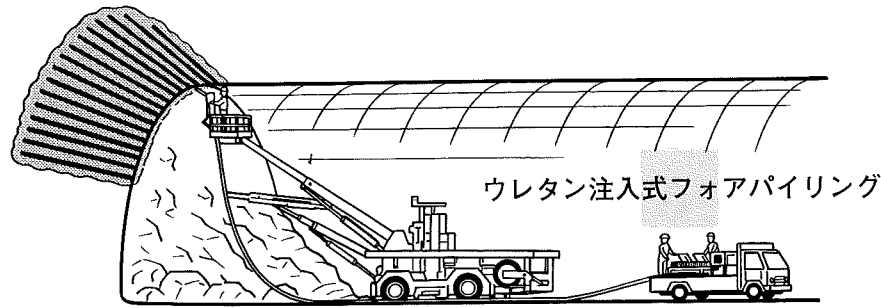
BRIDGESTONE

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

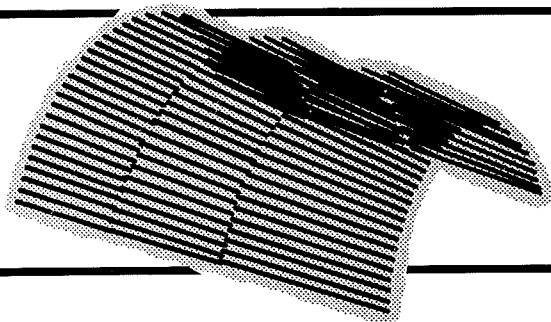
切羽の安定化対策用補助工法

エバーライトGK工法 ウレタン注入式岩盤固結工法

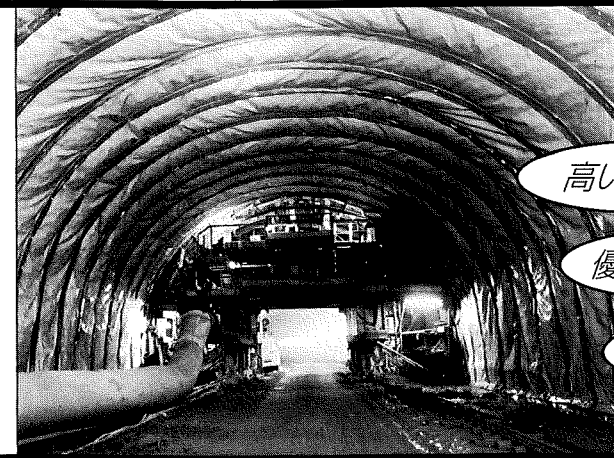


ウレタン注入式フォアパイリング

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

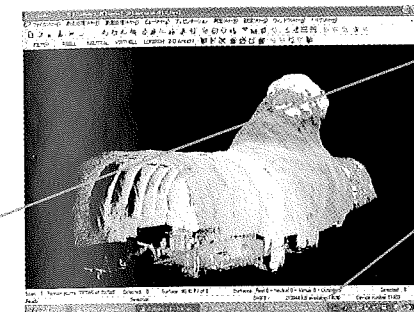
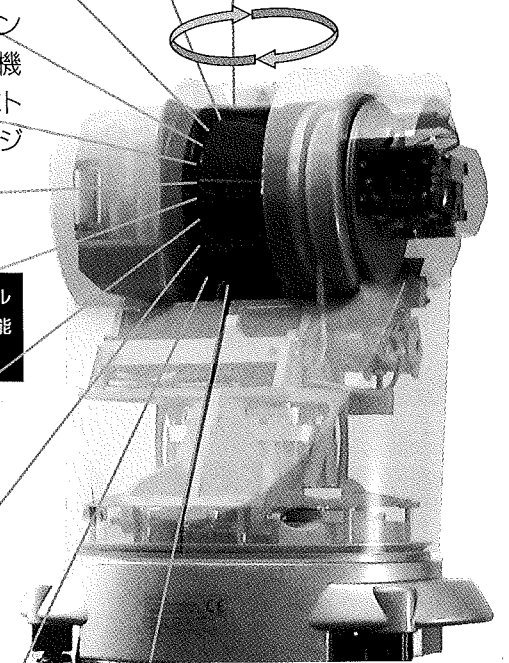
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

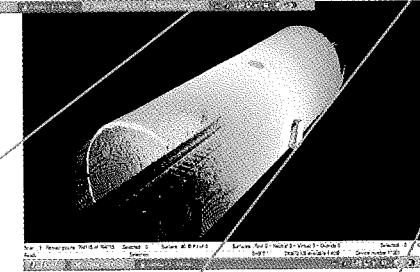
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



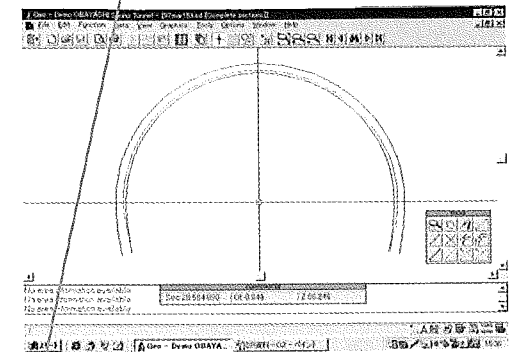
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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

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



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

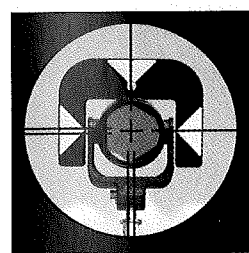
株式会社演算工房 本社 〒604-0847 京都市中京区烏丸通押小路 日土地京都ビル4階 TEL075-213-7200 FAX075-213-7201
<http://www.enzan-k.com/> **enzan**

トンネル測量システム

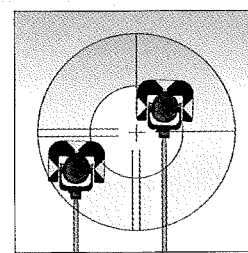
トンネル計測者の声を聞き、さらに進化。
 ライカTPS1200シリーズついに登場。



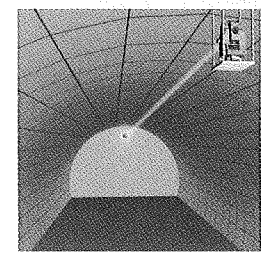
TCRA1200



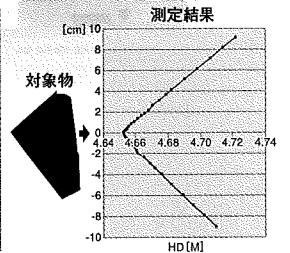
精度が向上した自動視準
 プリズムの視測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



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



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

ライカ ジオシステムズ株式会社 <http://www.leica-geosystems.co.jp>
 本社 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
 テクニカルセンター 〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
 大阪支店 〒540-6131 大阪府中央区城見2-1-61 Twin21 MIDタワー31F Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733
 福岡営業所 〒812-0016 福岡県博多区博多駅南1-3-6 第三博多併成ビル6F Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221
 札幌出張所 〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102



大丸の防音システム

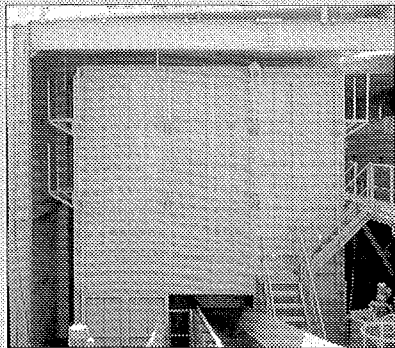


サイレントハウス(Bタイプ)

- 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 〒564-0062 大阪府吹田市垂水町3-28-16 オーベクスビル
TEL.06-6821-6151 FAX.06-6821-6477

電力・通信ケーブル用多条保護管

Kanaflex
ISO9001
認証取得

カナパイプPV型

トンネル内埋設工事を
省力化・効率化

用途

- トンネル・道路・橋梁
- レジャー施設
- 電線共同溝(C.C.BOX)
- 大規模プラント

難燃ポリエチレン製の多条ユニット(定尺5m)
ワンタッチで管路接続、作業性抜群です。
配管間隔が狭い省スペース施工に威力を
発揮します。

カナフレックスコーポレーション株式会社

東京本社 〒106-6117 東京都港区六本木6-10-1 六本木ヒルズ森タワー17F TEL(03)5770-5111 FAX(03)5770-5130
大阪本社 〒530-6017 大阪府北区天満橋1-8-30 OAPタワー17F TEL(06)6881-0776 FAX(06)6881-0760
札幌営業所 TEL(011)271-8770 仙台営業所 TEL(022)792-3055 横浜営業所 TEL(045)241-7511 新潟営業所 TEL(025)226-5111
静岡営業所 TEL(054)275-2258 金沢営業所 TEL(076)234-5660 名古屋営業所 TEL(052)955-1511 神戸営業所 TEL(078)360-6173
広島営業所 TEL(082)240-0609 高松営業所 TEL(087)861-4600 北四国営業所 TEL(0875)57-6120 福岡営業所 TEL(092)474-2630
鹿児島営業所 TEL(099)224-8404

直営工場 北海道工場 仙台工場 栃木工場 千葉工場 滋賀工場 愛東工場 広島工場 四国工場 九州工場
URL <http://www.kanaflex.co.jp>



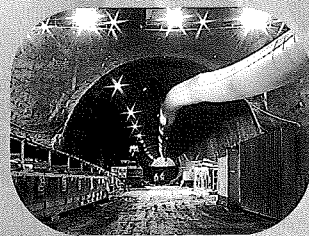
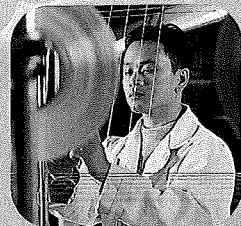
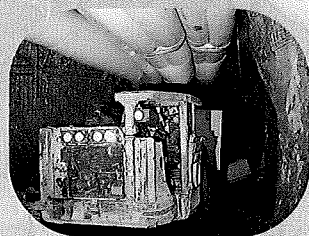
トンネル

C.C.BOX

ABC

VENTILATION SYSTEMS

- ファスナー式風管
- ツインダクト風管
- スパイラル風管
- 帯電防止型風管



親愛なる日本の皆様

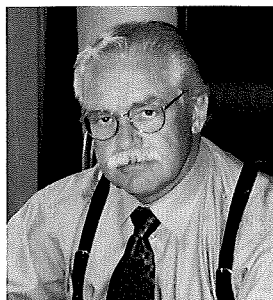
ABCカナダは、1968年の設立以来、トンネル掘削・鉱山用高品質換気システム開発に常に斬新な改革を続けてまいり、現在ではそれらの多くの現場において世界で最も優れた風管メーカーとしての地位を得ております。

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

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

Darryl C. Yausie

Darryl C. Yausie
President
ABC Ventilation Systems



総代理店 **東友エンジニアリング株式会社** 代表取締役社長 泉 俊憲

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

TEL 03-3234-8901 FAX 03-3234-8900

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

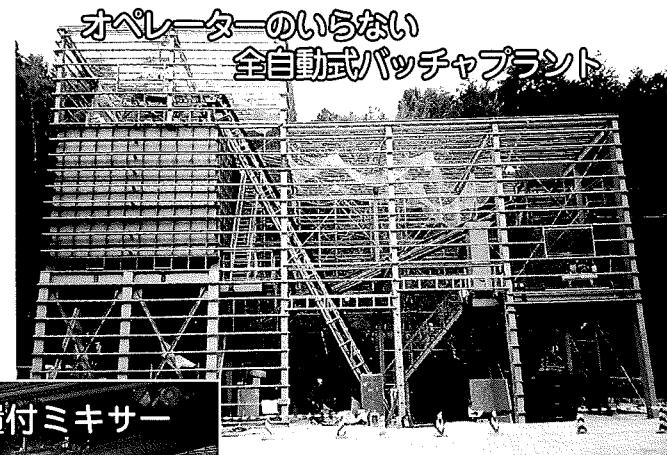
高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

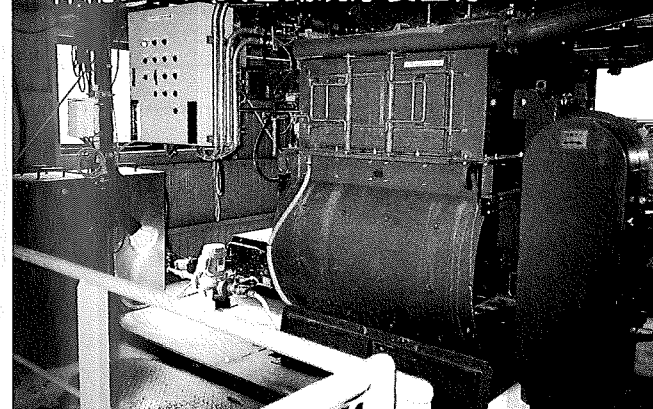
自動スランプ調整装置

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。



オペレーターのいない
全自動式バッチャプラント

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

- ◆ 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}・重タンク用・40^{ton}通過)

ミキサー洗浄水

トラミキ洗浄水

リサイクル

長工期
トンネルに適し
人件費の
大幅削減!

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

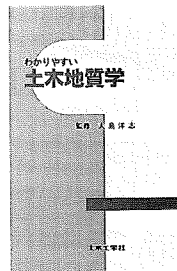
土木工学社の地質学書

[好評発売中]

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 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

[その他の既刊図書]

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

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

地下水の科学 P.A. ドミニコ・F.W. シュワルツ 共著 大西有三 監訳

第I巻 地下水の物理と科学 B5判 235頁 税込4,281円 送料340円

第II巻 地下水環境学 B5判 252頁 税込4,485円 送料340円

第III巻 地下水と地質 B5判 197頁 税込3,873円 送料340円

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

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

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

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

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

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

株式 土木工学社

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ

特許第1610830号



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

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

0~20 (約2年) 20~30 (1年6か月)

30~40 (約1年) 40~50 (6か月)

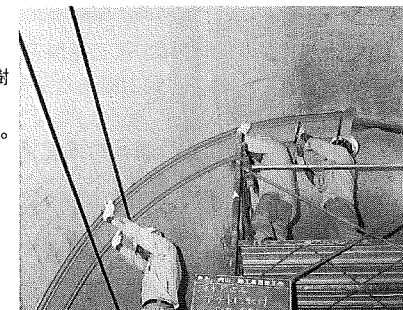
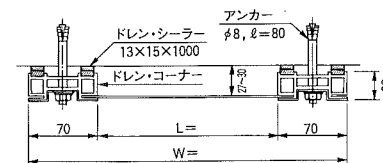
[営業品目] 複層タイヤ/油圧ホース/マテリアルホース/
各種中古車/触媒/線路 (中古)

中濃産業株式会社
代表取締役 土田 義 式

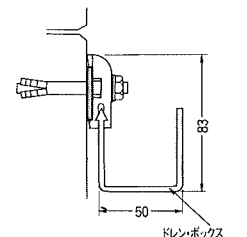
本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)

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。

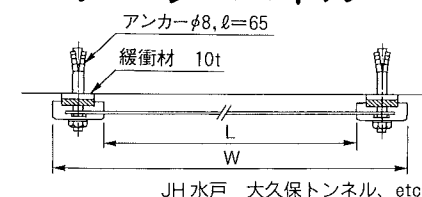


水平導水樋に サイド・ドレン



- 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

コンクリート剥落対策に アーチ・パネル

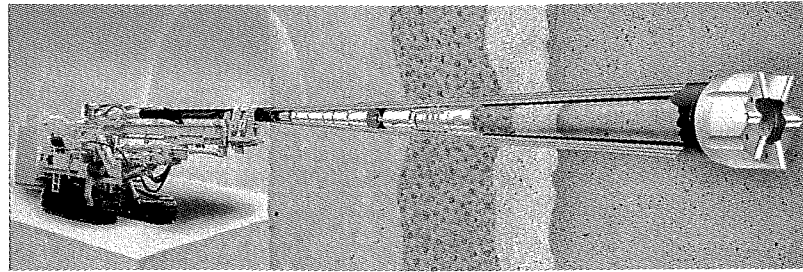


ニホン・ドレン工業株式会社

〒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

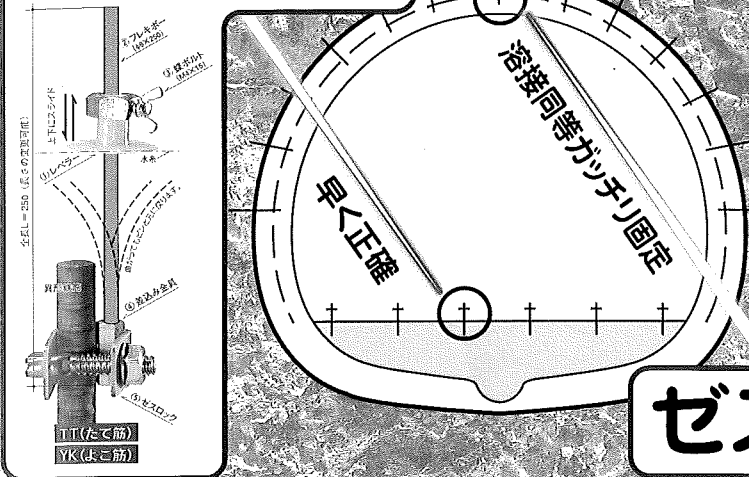
- ①断層破砕帯や湧水をとまう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。
- ②2重管ワイヤーラインサンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、コアサンプルの採取率が従来とくらべて大幅に向上しました。

KOKEN 鉾研工業株式会社
 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/>

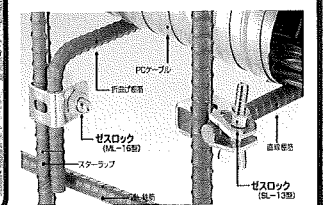
安全・作業効率・経済性を追求した“トンネル副資材”!!

コンクリート床版の天端出し表示具 テンバー® PAT.P



溶接不要!!

鉄筋組立クロス部金具
“結束金具”



ゼスロック® PAT.P

建設の安全と省力化にアタック
ゼン技研株式会社 〒818-0105 大宰府市都府楼南5-16-13
 TEL(092)925-8161 FAX(092)925-3449
 URL <http://www.zen-g.co.jp/>

東京

〒103-007
 東京都中央区日本橋浜町2丁目5-3
 浜町葺ビル4F

TEL/03 (3661) 5651
 FAX/03 (3661) 5656

e-mail
r0kltoks@tces.scm.co.jp

アクセス

地下鉄
 都営
 新宿線/浜町駅より徒歩3分
 浅草線/人形町駅より徒歩5分
 東京メトロ線
 日比谷線/人形町駅より徒歩5分
 半蔵門線/水天宮駅より徒歩5分

k lea

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>

コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中 (特願2001-309314号)

トンネル工事におけるインバート、アーチ鉄筋組立金物

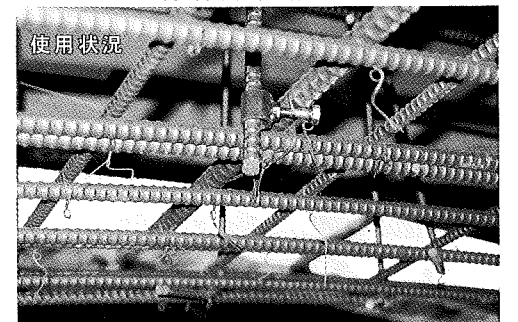
トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取付けていましたが、“防水シートを焦がす”、“塵肺作業である”、“作業効率が悪い”等問題点が指摘されてきました。当社開発のKリングを使用することにより、スピードアップ、コストダウンを可能にすると同時に諸問題をすべて解決することができました。

ご納入実績

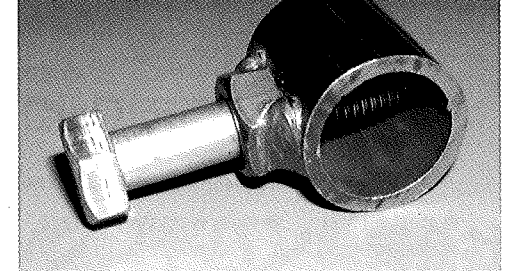
鹿島・西松・大豊共同企業体 第二東名高速道路 富士川トンネル東工事
 大林・白石・地崎工業共同企業体 第二東名高速道路 掛川第三トンネル工事
 奥村組・名工建設・矢作建設工業共同企業体 第二東名高速道路 島田第五トンネル工事

製造・販売元

KTK 〒436-0055 静岡県掛川市弥生町105番地
 Tel : 0537-24-5988 Fax:0537-24-3859
 E-mail : ktk@r5.dion.ne.jp
 URL : <http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk>

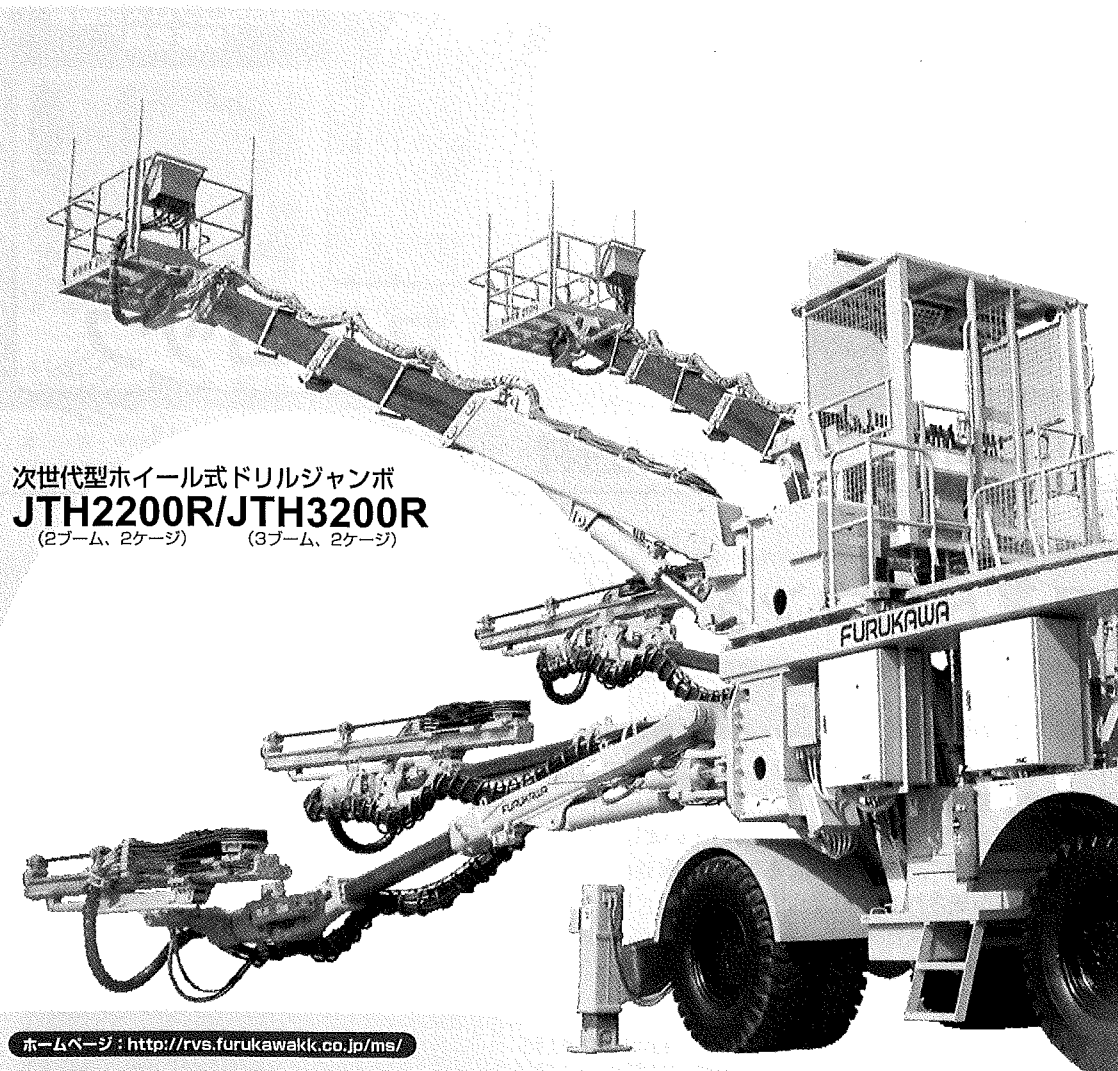


Kリング本体





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

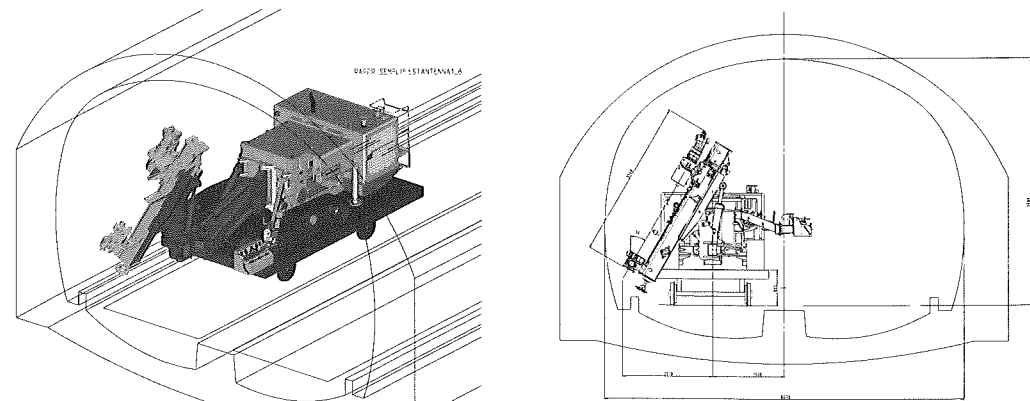
(旧社名: 古河機械販売株式会社)

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

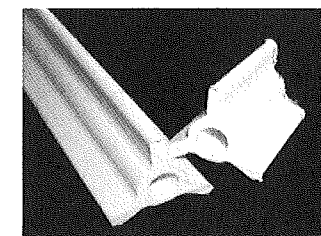
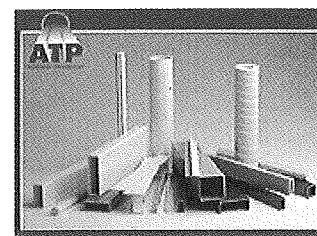
札幌 ☎011-861-3261 東北 ☎022-356-5771 関東 ☎027-322-5953 名古屋 ☎0568-77-7700 静岡 ☎054-620-1641
関西 ☎06-6475-8221 広島 ☎082-231-5621 四国 ☎087-833-4833 九州 ☎092-948-2010
整備工場 関東工場 ☎027-460-7011 名古屋工場 ☎0568-77-6363 大阪工場 ☎06-6475-8461 九州工場 ☎092-948-2010

トンネルの削孔機械・輸入資材

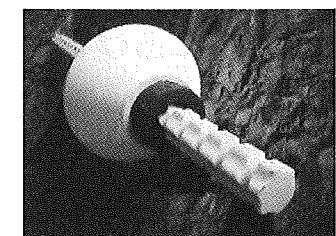
- **油圧削孔機 SM401 ショートマスト仕様**
現場に応じたショートマスト長を選択可能 (ロッド長 1m ~ 2m)



- **グラスファイバーチューブ & ボルト**
トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。

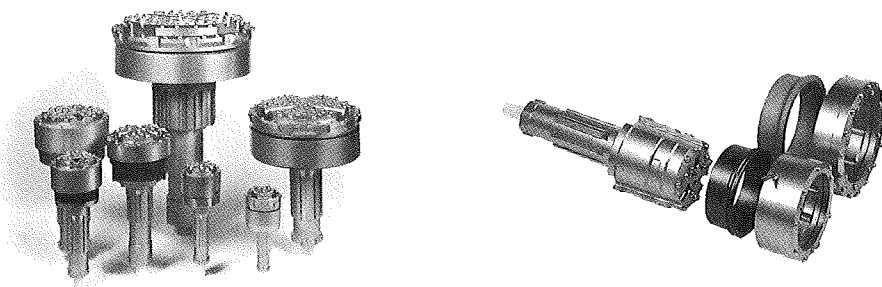


STAR 500S



WIBOLT STAR

- **SOROFLEX [リングビット]**
小口径から大口径までケーシングを用いる二重管削孔に最高のビットシステム



SOILMEC  **ソイルメックジャパン株式会社**
Drilling and Foundation Equipment

〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-12 サンバードビル3F
TEL:03(5643)1271 FAX:03(3664)6451 <http://www.soilmec-j.com/>

■巻頭言

もっと信頼性の高い当初設計を

山田 俊郎5

■研究

臨海部シールドトンネルの塩害調査の結果とその考察

田辺 将樹・佐藤 豊・鈴木 延彰・吉田 聖浩51

■計画

単線並列シールドから複線山岳トンネルへの移行

—横浜環状鉄道 駒林工区・日吉駅工区—

萩野 幸男・谷畑 一行・橋本 芳実39

■施工

未固結地山における小土かぶりトンネル群の施工

—東北新幹線 六戸・三本木原・牛鍵トンネル—

佐伯 則幸・後藤 光理・井浦 智実7

石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服

—第二東名高速道路 浜松トンネル—

後藤 正登・井口 哲也・真邊 剛典・川越 佳人17

情報化施工を用いた16万m³地下空洞掘削工事

—九州電力 小丸川地下発電所—

柏木 雄二・高森 重治・江口聡一郎・小林 康夫31

■連載講座

都市トンネル工事の計測(4)

—土留め, リバウンドの計測例とその評価—

西村 聡・水上 博之・北浦 実59

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(1)

—I. 序論—

JTA保守管理委員会67

■現場だより

「大河のほとり鵜沼」岐阜県各務原市から

石田 豪史16

■資料

トンネル千夜一夜(16)

小野田 滋28

土木情報

編集部30

トンネルジャーナル

編集部38

工法・技術・製品ニュース

編集部76

トンネルワールドニュース

JTA国際委員会国内広報ワーキング77

■会報

会報

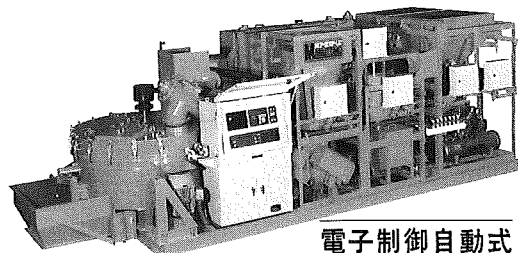
日本トンネル技術協会78

コンパクトで計量精度は抜群……

丸友の移動式 コンクリートプラント

製造・販売・リース

生産量 10~90m³/H



電子制御自動式
(印字自動記録装置付)

丸友機械株式会社

本社 名古屋市東区泉一丁目19番12号
〒461-0001 電話 (052) (951) 5381代

東京営業所 東京都千代田区神田和泉町1の5
〒101-0024 ミツバビル 電話 (03) (3861) 9461代
恵那工場 岐阜県恵那市武並町藤字相戸2284番地
〒509-7121 電話 (0573) (28) 2080代

【表紙説明】

単線並列シールドから複線山岳トンネルへの移行 —横浜環状鉄道 駒林工区・日吉駅工区—

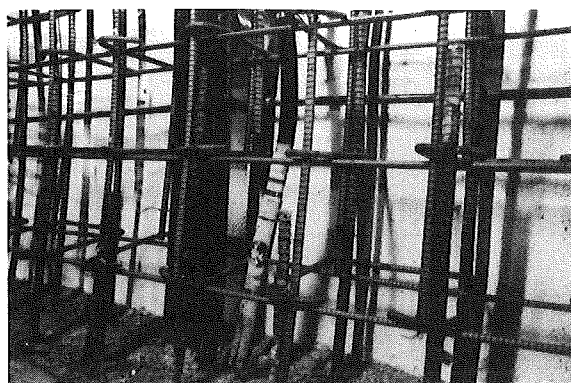


現在建設中の横浜環状鉄道中山～日吉間(13.1km)は、82%(10.5km)の区間が地下構造となっており、駅部は開削工法、駅間においては大半がシールド工法を採用しているが、一部で山岳トンネル工法を採用した。

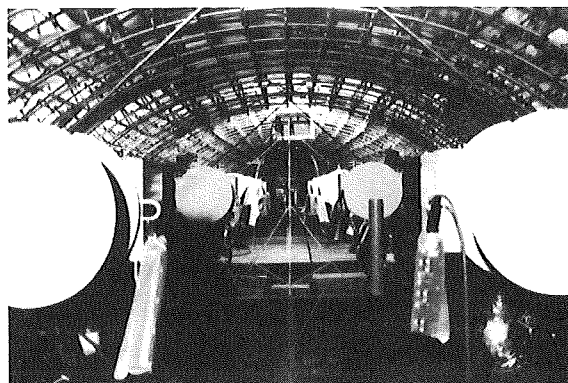
このうち、日吉本町駅から日吉駅間において、国内でも例を見ない単線並列シールド工法から山岳トンネル工法へ地中で移行する駒林トンネルおよび日吉駅において大断面駅部山岳トンネルを採用した。写真は、移行部施工状況である。

(写真提供：横浜市)(本文39頁参照)

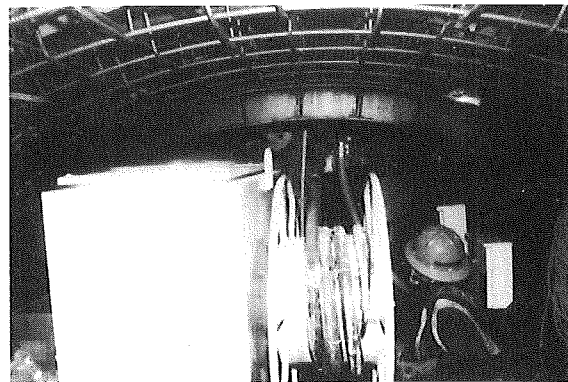
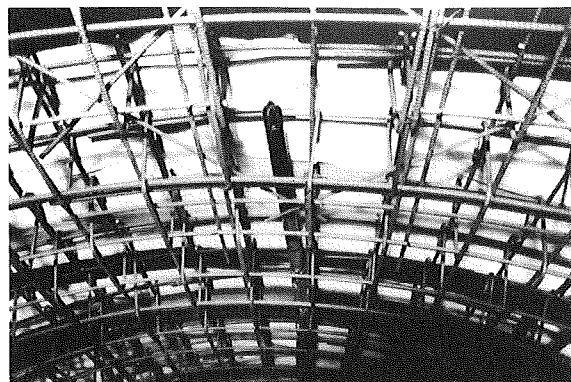
コンクリート打設の新技术



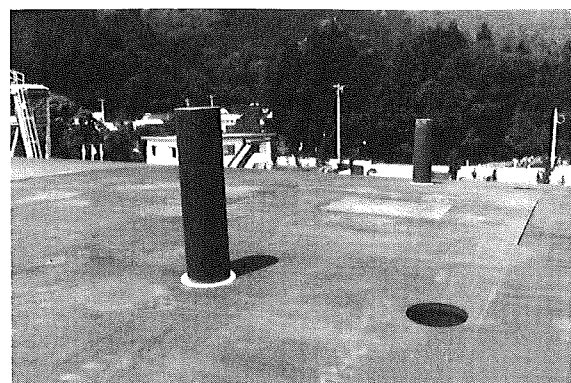
コンクリート感知センサー内蔵型自動バイブレータシステム
(バイブレータに内蔵されたセンサーがコンクリートを感じし自動的に巻き取る)



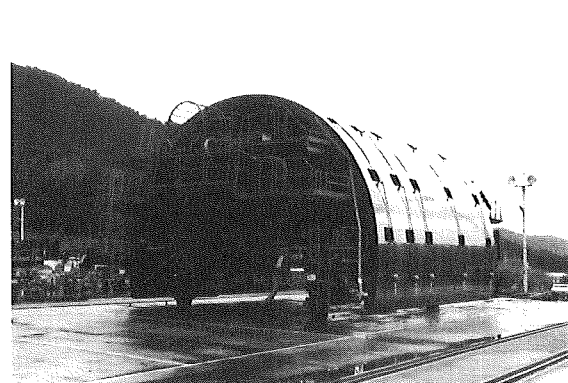
トンネル天場部の引抜き式バイブレータシステム
(トンネルの天場縦断を締固める)



伸縮式バイブレータシステム



浮きバイブレータシステム



会誌委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔委員〕

- | | |
|--|---|
| 伊藤 範行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長 | 濱 建介
株式会社アオバ取締役会長 |
| 久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長 | 松尾 勝弥
飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長 |
| 千葉 隆
清水建設株式会社土木技術本部
技術第二部長 | 宮林 秀次
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長 |
| 永島 茂
東京地下鉄株式会社鉄道本部工務部次長 | 山田 邦博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官 |
| 長島 芳雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長 | 山田 隆昭
中日本高速道路(株)中央研究所
トンネル研究主幹 |
| 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 | 山道 哲二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部長 |

編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

- | | |
|-------------------------------|-------------------------|
| 伊吹山 四郎
攻玉社工科短期大学名誉学長 | 松本 崇義
(元)東京都理事 |
| 島田 隆夫
鉄建建設株式会社社友 | 丸安 隆和
東京理科大学教授 |
| 高橋 彦治
伸光エンジニアリング株式会社技師長 | 吉川 新吉
東京発電株式会社常任監査役 |
| 田島 利男
株式会社ロードエンジニアリング代表取締役 | 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 |
| 林 博
西松建設株式会社専務取締役 | |



岐阜工業株式会社
GIFUKOGYO CO.,LTD

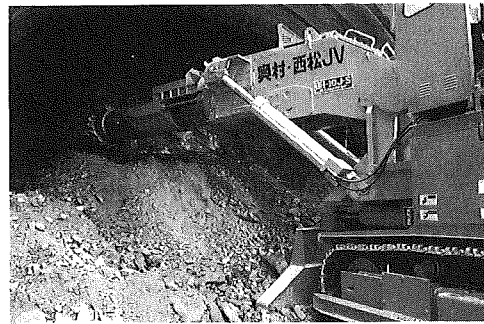
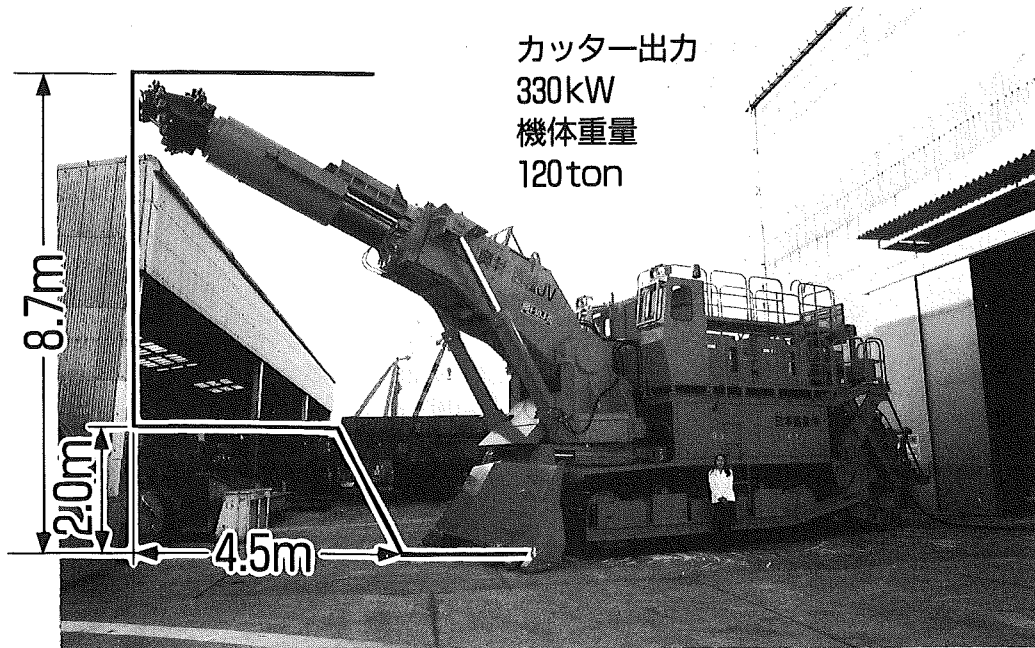
本社 岐阜県本巣市十四条144番地 〒501-0464
本社工場 TEL (058)323-2000(代) FAX (058)323-1176

東京支店 (03)3262-1285(代)
仙台営業所 (022)259-2239
九州営業所 (092)713-5265

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

RH-10J-S ミニベンチ機械掘削工法 ブームヘッド

カッター出力
330kW
機体重量
120ton



RH-10J-S型は

- ① 積込機、NATM関連機器等、従来機との組合せでミニベンチ工法が出来ます。
- ② トップデッキを外すことにより、ショートベンチ工法の上半にも使えます。

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社 建設機械部

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

<http://www.kyb-ksm.co.jp>

旧社名: 日本鉱機株式会社

本社・営業 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル6階 TEL 03-5733-9441
カスタマーサービス

中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139

西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998

三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

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

〔委員〕

城戸 務	東京都水道局建設部工務課長	津金 昭一	独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐
木谷 日出男	財団法人鉄道総合技術研究所 防災技術研究部主任研究員	西村 聡	東京地下鉄株式会社建設部 新宿工事事務所所長
坂根 良平	東京都下水道局建設部設計調整課長	真下 英人	独立行政法人土木研究所 基礎道路技術研究グループ 上席研究員(トンネル担当)
佐藤 亘	東京電力株式会社電力流通本部・工務部 設備渉外・調整グループ課長	山田 隆昭	中日本高速道路(株)中央研究所 トンネル研究主幹
佐野 正生	東京都交通局建設工務部計画改良課長		
清水 満	東日本旅客鉄道株式会社建設工務部 構造技術センター課長		

岩盤切削機 トレンチャー **TRENCOR** INC.



トレンチャーによる中央排水溝掘削

トレンチャーによる 工期短縮とコスト合理化の実現

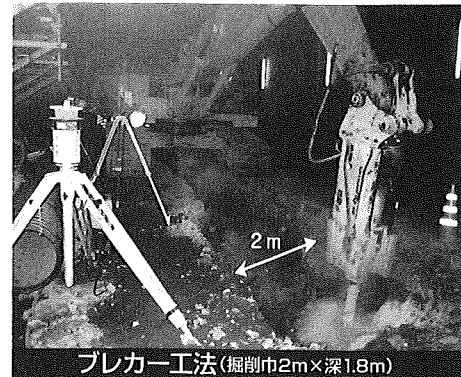
トンネル中央排水溝掘削例

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



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

どちらの工法を選びますか？



プレカー工法(掘削巾2m×深1.8m)



トレンチャー工法(掘削巾0.8m×深1.8m)

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

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

トンネルと地下 VOL.37 No.4 掲載概要

掲載頁
7

未固結地山における小土かぶりトンネル群の施工
—東北新幹線 六戸・三本木原・牛鍵トンネル—

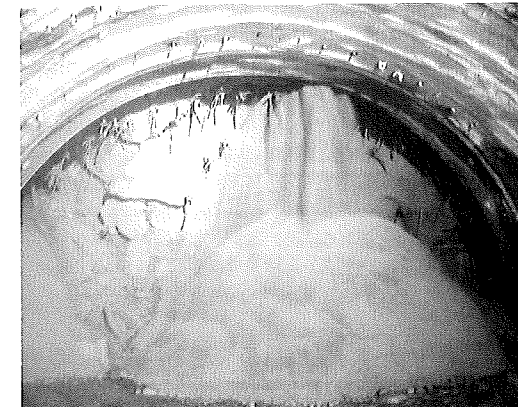
鉄道・運輸機構 佐伯 則幸

東北新幹線八戸・新青森間のうち、青森県東部の上北平野地域に位置する八戸・七戸間のトンネル群(13か所：合計延長17.4km)は、延長の約80%が20m以下の小土かぶり新第三紀鮮新世から第四紀更新世の海成段丘群における固結度の低い、主に軟質な砂層および砂礫層からなり、シルトや火山灰層を介在することを特徴とする地山である。未固結小土かぶりトンネル群について、地山の状況に応じた掘削工法や補助工法を駆使して施工を行っているが、これらのうち、交差する鉄道の活線下を長尺先受け工などの補助工法を用い施工した六戸トンネル、新しいトンネル構築システム(SENS：シールドを用いた場所打ち支保システム)により施工している三本木原トンネル、軟弱な地層に対する切羽の安定対策として鋼管鋼矢板による先受け工を採用した牛鍵トンネルの施工実績について報告する。

Construction of Shallow Tunnels of Tohoku-Shinkansen in Unsolid Ground

By Noriyuki Saeki, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Tohoku-Shinkansen(Superexpress Railway Line)has 13 tunnels with the total length of 17.4km between



写真は三本木原トンネルのNATM区間の崩落発生状況

Hachinohe and Shichinohe which are located in Kamikita Plain of the eastern area of Aomori Prefecture. The cover of 80% of the total length of these tunnels is not more than 20m and the geology of it mainly comprises unconsolidated sand and gravel in the marine terrace group of the Tertiary Pliocene Epoch and the Quaternary Pleistocene Epoch that interspersing silt and volcanic ash. Some auxiliary methods have been adopted to excavate the shallow tunnels in unstable ground. This paper reports the construction records of Rokunohe Tunnel where the long forepoling method was used to cross the railway line, Sambongihara Tunnel which is excavated with the SENS(Casting Support Tunneling System using TBM)and Ushikagi Tunnel where the forepiling method using steel pipe sheet piles was adopted.

掲載頁
17

石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服
—第二東名高速道路 浜松トンネル—

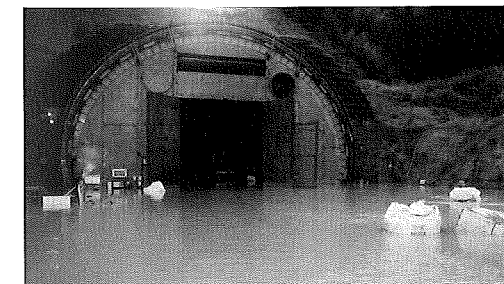
中日本高速道路(株) 後藤 正登

第二東名高速道路浜松トンネルでは、石灰岩中の地下空洞に起因すると考えられる高濁度突発湧水がTBM導坑内から発生した。この突発湧水はまとまった雨が降るとくり返され、本坑掘削時には最大1,400t/hに及ぶ湧水が発生し、吹付けコンクリートの破壊も生じている。このため、本坑からの調査水抜きボーリングを行い、それにより確認された大規模な空洞(ぼら)まで水抜き横坑を掘削し、23.5mで空洞を確認した。

本稿は、石灰岩中の空洞調査・湧水観測結果をもとに想定した高濁度突発湧水の発生メカニズムと一連の対策工とその効果、今後の課題について報告するものである。

Breakthrough of Hamamatsu Tunnel of Tomei Expressway No.2

By Masato Goto, Central Nippon Expressway Co., Ltd.

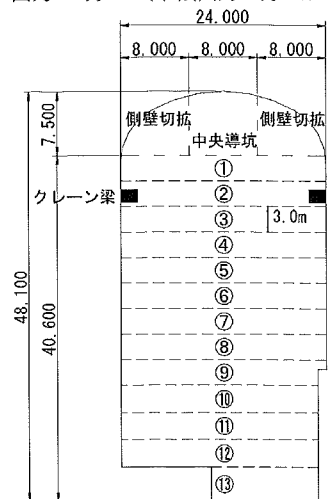


写真は本坑下半から620t/hの出水

The Hamamatsu Tunnel Project of Tomei Expressway No.2 encountered the unexpected gushing of turbid spring water through the pilot tunnel constructed by the TBM due to the cavern in the limestone. The heavy rainfall caused this gushing of ground water whose discharge was up to 1,400m³/h and that have broken the lining by the shotcreting. The boring for drain was performed and detected the big cavern. The drain tunnel arriving at the cavern was excavated(The length of drain tunnel was 23.5m).

This paper describes the investigation of cavern, analyzes the mechanism of turbid water gushing and proposes the measures against it.

小丸川発電所は、九州電力が宮崎県中央部を流れる小丸川に建設中の有効落差646m、最大使用水量222m³/s、最大出力120万kW(単機出力30万kW×4台)の純揚水式発電所である。



図は盤下げステップ

九州電力で初めて大断面NATMを採用した地下発電所空洞掘削工事は、掘削幅24.0m、掘削高さ48.1mの弾頭形の断面形状であり、最大断面積約1,000m²、最大長さ188.0m、総掘削量約16万m³の規模である。掘削工事には、岩盤の挙動を観測しながら掘削を進めることで安全性と経済性を両立する情報化施工管理を導入した。

本稿は、小丸川発電所における地下発電所空洞掘削工事の施工について報告するものである。

Construction of Underground Space for Hydropower Plant using Intelligent Construction System

By Yuji Kashiwagi, Kyushu Electric Power Co., Inc.

Omarugawa(Omaru-river) Pumped Storage Power Plant of Kyushu Electric Power Co., Inc. is now under construction in Omaru River in Miyazaki Prefecture. This hydropower plant has the effective head of 646m, the maximum discharge of 222m³/s and the maximum output of 1,200MW(300MW/unit×4units). This plant is constructed with the NATM using the Intelligent Construction System, and is warhead-shaped, 24.0m wide, 188.0m long and 48.1m deep, and its section area is up to 1,000m² and its excavation volume is 160,000m³.

横浜市においては、現在、横浜環状鉄道中山～日吉間(13.1km)の地下鉄を建設中である。このうち82%(10.5km)の区間が地下構造となっており、駅部は開削工法、駅間においては大半がシールド工法を採用しているが、一部で山岳トンネル工法を採用した。

本稿は今回採用した山岳トンネル区間、日吉本町駅から日吉駅間の単線並列シールドから複線山岳トンネルへと国内でも例を見ない地中での移行となる駒林トンネルならびに日吉駅で採用した大断面山岳トンネルに関する計画および設計概要について報告するものである。



写真は移行部施工状況

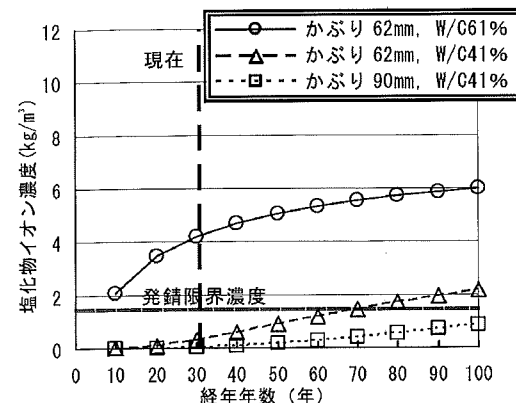
Subway Tunnel Construction using Both of Shield Tunnelling and NATM

By Yukio Hagino, Yokohama Municipal Government

The Circular Subway Line of Yokohama City with the length of 13.1 km between Nakayama and Hiyoshi is now under construction and the structure of 82% of this line(10.5km)belongs to the substructure. The stations are constructed with the cut and cover method and the tunnels are constructed with the shield tunnelling method mainly and with NATM partially. In the tunnel section between Hiyoshi-Honcho Station and Hiyoshi Station, the shield tunnel and the tunnel by NATM will join in the ground. Hiyoshi Station will be constructed with the NATM to be applied to the big underground space. This paper reports the planning and design of these two sections.

シールドトンネルにおいて、RC構造部材中の鉄筋や継手ボルトの腐食はコンクリートのひび割れ、剝離・剝落、さらには継手部の曲げ耐力の低下など、トンネルの耐久性や耐荷力を低下させる原因となり得る。とくに臨海部のシールドトンネルの場合、海水混じりの漏水や塩分の飛来といった塩害の起こり得る環境下であり、そのメカニズムを把握することは供用期間中のトンネルを健全に維持管理していくうえで重要なことである。

本報告では、臨海部のシールドトンネルの塩害にスポットをあて、そのメカニズムの究明と効果的な対策に関する考え方を提案することを目的とし、シールドトンネル内の飛来塩分調査やコンクリートに含まれる塩化物イオン濃度の測定および塩害の劣化予測といった一連の調査結果について紹介する。



図は塩化物イオン濃度の将来予測

Study on Damage by Salt Attack to Shield Tunnels in Coastal Areas

By Masaki Tanabe, Railway Technical Research Institute

Corrosion of re-bars and bolts of reinforced concrete segment makes cracking, spalling or stripping of concrete and deteriorates the bending capacity of joints of segment. These negative factors lead to the deterioration of durability of lining and structural capacity of segment. Shield tunnels in coastal areas are subject to the damage by salt attack due to the leakage of seawater and the exposure by sea air containing Chloride. This paper studies the mechanism of damage by salt attack and proposes the measures against it through the research of the Chloride content in shield tunnels and the Chloride ion density in concrete segmental linings.

もっと信頼性の高い当初設計を



五洋建設(株)執行役員副社長(本協会理事)

山田 俊郎

ヨーロッパでは、第一次世界大戦ごろまでは、オーストリア式、イタリア式およびベルギー式など、各国の名前を冠した工法でトンネルを建設していたという。このころの支保工は木製支柱式である。第一次世界大戦後、アメリカでは木製支柱式支保工に代わり鋼製支保工が用いられるようになった。この工法はテルツァギーによって一般化され、後日、AMSS(American Method of Steel Support)として知られるようになった。いわゆる矢板工法である。強度の高い鋼製支保工で大断面を支保できるようになったので、大型機械が導入され、切羽速度は格段に向上した。1960年ごろ、ご存じNATMが実用化された。現在は、NATMという名称表示の有無は別にして、基本的には山岳トンネル工法にNATMを採用している国が多いようである。NATMの支保材は、吹付けコンクリート、ロックボルトそして鉄筋支保工やH形鋼製の鋼製支保工などの補強金物である。これによって2,000mを超えるような大土かぶり下のトンネルも克服してきた。日本でも、時間的な遅れはあるものの、同様な工法の変遷を経てきている。

木製支保工や鋼製支保工を主な支保部材としていた時代には、いろいろな“技”を使うことによって、地山荷重を増大させないような工夫をしてきた。しかし、所詮、木矢板と地山は密着できないので、切羽の進行や時間経過によって地山は緩む。この緩み荷重を“支える”ために重量級の支保工と覆工が使われた。一方、吹付けコンクリートとロックボルトを主体とするトンネル工法では、支保工は“地山の自立を助ける”ために適用される。これは、地山に密着し、食い込み、地山変位をコントロールするという、軽量級の“技”である。昔から、“トンネル技術者の本当の腕は、地山が力を発揮する前に、発揮させないことである”と言われているが、まさにNATMは、これを地でいっている工法と言える。現時点で、トンネルを安定化させる工法としては、最適な工法の

ユニークな発想と高品質・自信の価格



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

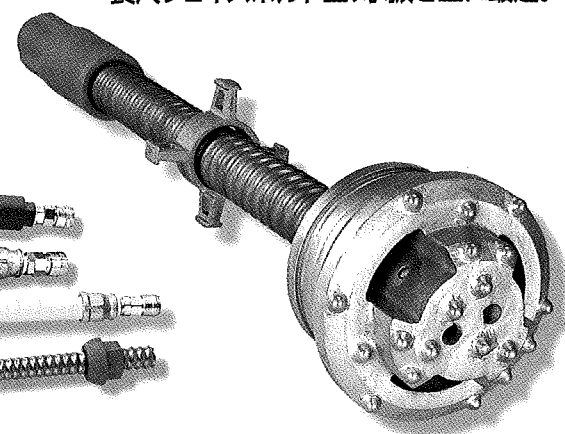
STD BITS

(ロストリング方式)

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

FIX TUBE 工法

長尺フェイスボルト工、水抜き工に最適。



自穿孔ボルト&注入管

AGF-SP 工法

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

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

※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

E-mail: steng@kawachi.zaq.ne.jp

ように感じられる。

一方、山岳工法における支保設計は、当初設計と修正設計に分類されるが、当初設計は“Pre-Dimensioning”としての位置づけで、それほど重視されない。これは、一般にトンネルが長大線状構造物であることから、事前に詳細な設計データを得ることが、技術的にも経済的にも難しいことに起因している。吹付けコンクリートやロックボルトなどの支保工は、施工時に切羽で岩盤を確認し設計される。すなわち、当初の工事契約は当初設計でなされるが、現場では常に修正設計される。誤解を恐れずに言えば、山岳工法は設計変更が前提の工法であるとも言える。

このように、当初設計に信頼をおけないままでの工法選択というのは、事業者にとっても請負者にとっても、非常にリスクな一面を有している。トンネルの事業者、とくに、有料道路建設や第三セクター方式の鉄道などの事業者には、一般にその事業が経済的に成立するかどうか、すなわち事業の投資効果を“事前に正確に把握したい”という要求があるにもかかわらず、設計の確定は工事中の切羽でなされる。また、工事を受注し施工する請負者にとっても、切羽前方地山の状況を知り、作業の安全性を確保したいにもかかわらず、突発湧水や突然の天端崩落に遭遇し、施工の安全を脅かされることもしばしばある。まさに、“一寸先は闇”の状況である。このような点から、事業者にとっても施工者にとっても、“事前に地山の状況を知り、信頼性の高い設計を手に入れたい”という切実な要求があるのは当然のことである。

とりわけ、工法変更や大規模な補助工法が予想される不良地山では、地山状況の変化に対応でき得るトンネル工法の適用が望まれるわけで、そのためには、事前調査や当初設計を、今以上に重視し、信頼性の高い当初設計を実現する必要がある。このことにより、予想外の不良地山出現による崩落事故や、工期延伸による事業損失を抑制し、作業の安全性確保、周辺環境の保全、および良好な品質のトンネル建設を行うことが可能になり、ひいてはトンネル工事への効率的な事業投資につながってくると思われる。

すべてのトンネルでという必要はないが、事前調査を適確に行える技術を確立し、例えばコストがかかっても“設計変更を前提”としないで済む当初設計を手に入れることが、結局のところ経済的なトンネル建設を実現する道になるのではなかろうか。

施工

未固結地山における小土かぶりトンネル群の施工

—東北新幹線 六戸・三本木原・牛鍵トンネル—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第三課長 佐伯 則 幸

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第三課 後藤 光 理

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局十和田鉄道建設所主任 井浦 智 実

1 はじめに

東北新幹線八戸・新青森間のうち、青森県東部の上北平野地域に位置する八戸・七戸間のトンネル群(13か所：合計延長17.4km)は、延長の約80%が20m以下の小土かぶりである。掘削対象は新第三紀鮮新世から第四紀更新世の海成段丘群における固結度の低い、主に軟質な砂層および砂礫層からなり、シルトや火山灰層を介在することを特徴とする地山である。

未固結小土かぶりトンネル群について、地山の状況に応じた掘削工法や補助工法を駆使して施工

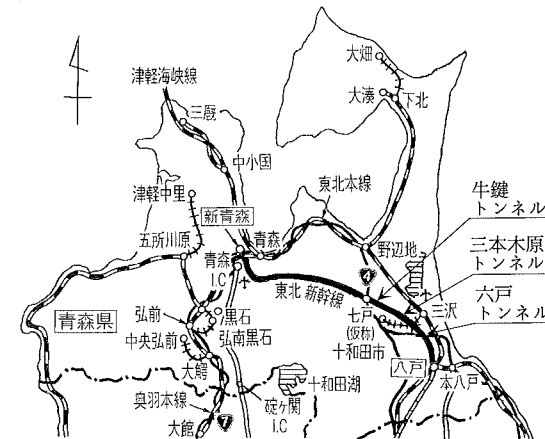


図-1 トンネル位置図

を行っているが、これらのうち、交差する鉄道の活線下を長尺先受け工などの補助工法を用い施工した六戸トンネル、新しいトンネル構築システム(SENS)により施工した三本木原トンネル、軟弱な地質に対する切羽の安定対策として鋼管鋼矢板による先受け工を採用した牛鍵トンネルの施工実績について報告する(図-1)。

2 六戸トンネル

2-1 六戸トンネルの概要

六戸トンネルは東京起点611k450mを入口とする延長3,810mのトンネルであり、八戸・七戸間のトンネル群のうち2番目の長さである。掘削は新青森方から行っており、2006年1月9日現在の切羽位置は612k337mである。土かぶりは沢部を除き約4~20mであり、地質は主に新第三紀鮮新世の野辺地層Nos 1(含水未固結砂層)、その上位には第四紀更新世の天狗岱火山灰層te、高館火山灰層ta(ローム、浮石)が出現する。地表部は主に田畑であるが、トンネルは多数の道路や鉄道、水路と交差する(図-2)。よって周辺環境に与える影響の低減や切羽安定のため、地下水位低下工法¹⁾を併用した各種補助工法を用いて施工を行っている。

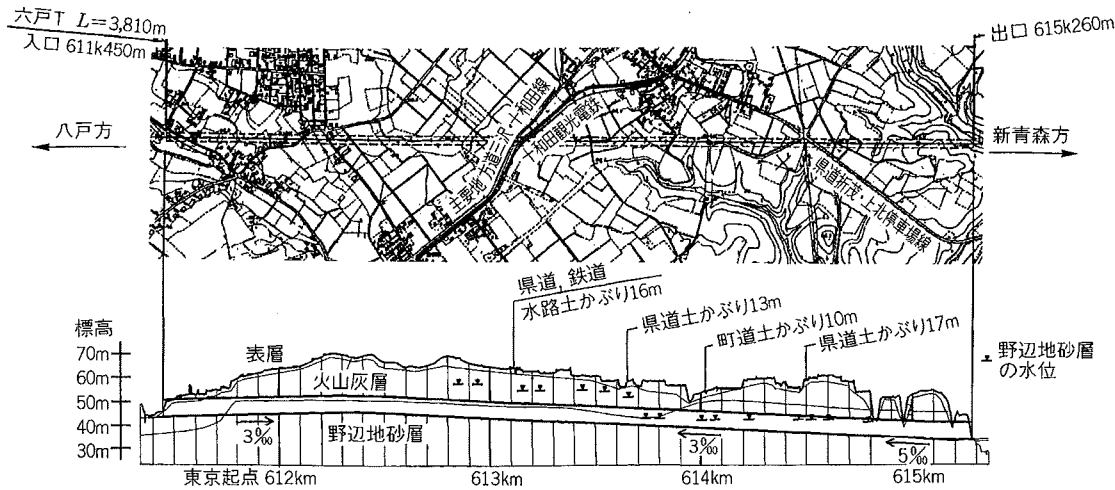


図-2 六戸トンネル線路平面・縦断面図

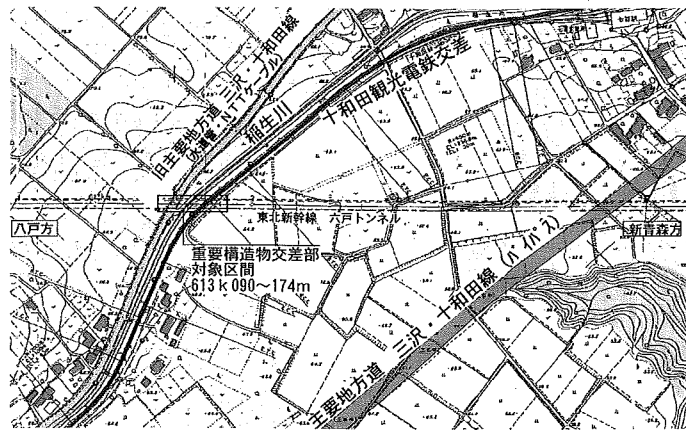


図-3 重要構造物交差平面図

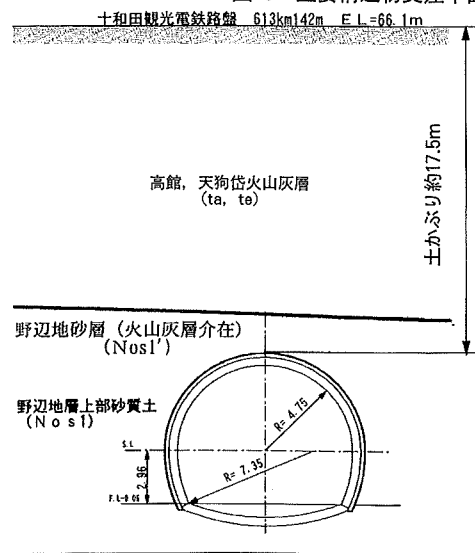


図-4 重要構造物交差部地質横断面図

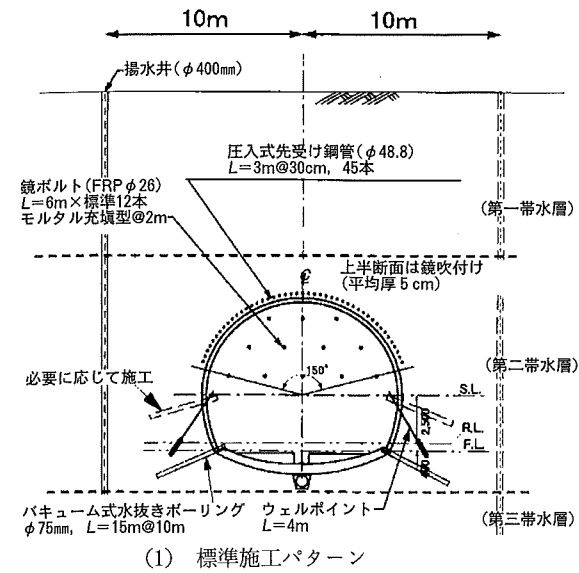
2-2 重要構造物との交差施工

六戸トンネルは、土かぶり約17mで十和田観光電鉄、稲生川用水路、主要地方道および道路下に埋設されている水道管、NTTケーブルと交差する。図-3にそれら重要構造物との交差平面図を、図-4に地質横断面図を示す。各構造物の管理基準値は表-1のとおりであり、直下を掘削するにあたっては慎重な施工が要求されていた。変位軽減対策として薬液注入など地表面からの対策も考えられたが、大型機械の搬入据え付けが困難なことなどから採用せず、坑内からの対策に重点を置くこととした。

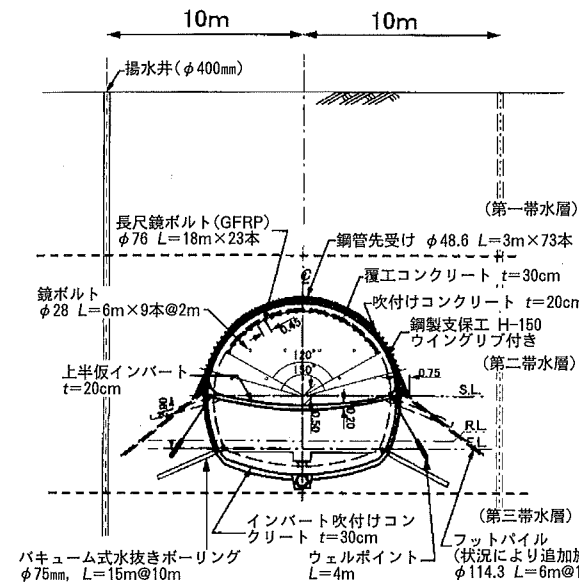
施工時期は稲生川用水路の通水量が少ない冬季とし、十和田観光電鉄のレールにはその剛性を高

表-1 管理基準値

十和田観光電鉄	稲生川用水路	旧主要地方道 三沢・十和田線	上水道	NTTケーブル
水準：±9mm	水路としての機能保持	道路としての機能保持	継手(5mごと)の沈下勾配が4%以下(200mm以下)	施工終了後の通過試験
軌間：+7~-4mm				
高低：延長10mで9mm以下				
通り：延長10mで9mm以下				



(1) 標準施工パターン



(2) 沈下軽減対策施工パターン

図-5 施工パターン図

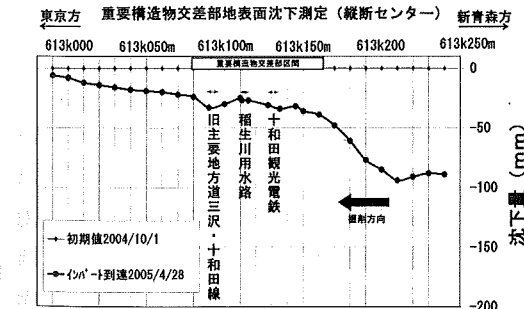


図-6 地表面沈下計測結果

めることを目的とした補剛桁を設置したうえで直下のトンネル掘削を行った。なお、重要構造物へ影響を及ぼす範囲にトンネル切羽が位置している間は、軌道、水路、道路など地表面、埋設物の変位計測の頻度を密に行い、また、軌道整備員、軌道管理者、各構造物の変位監視者を24時間配置し、保安管理体制を万全とした。

トンネル掘削の補助工法選定にあたっては、これまでの施工実績、また、重要構造物交差部とはほぼ同等の地質条件、土かぶりを有した区間において各種補助工法の試験施工を行い、その効果として地表面沈下量との相関を把握したうえで決定した。図-5に六戸トンネルにおける標準施工パターンと重要構造物交差部において採用した沈下軽減対策施工パターンを示す。沈下軽減対策として、これまでの区間で施工実績があり、効果のあった上半仮インバート、インバート吹付けコンクリート、長尺鏡ボルトを中心とし各種補助工法を採用することとした。

2-3 施工結果

重要構造物交差区間付近の最終地表面沈下計測結果を図-6に示す。沈下軽減対策を行った重要構造物交差区間においては地表面沈下が明確に抑制されており、また、各構造物の最終変位量は管理値を超えることなく、交差部の施工は無事終わることができた。

3 三本木原トンネル

3-1 三本木原トンネルの概要

三本木原トンネルは、八戸・七戸間のトンネル群の中で最長の延長4,280mのトンネルである。当該区間の地形は、標高60m程度の比較的平坦な洪積台地と、河川などによって形成された沖積低地およびその支流によって開析された沖積谷で構成されている。地質は、新第三紀鮮新世から第四紀更新世初期にかけて堆積した野辺地層を基盤とし、これを覆う各段丘構成層が分布し、最上位に十和田・八甲田山の火山碎屑物が広く分布してい

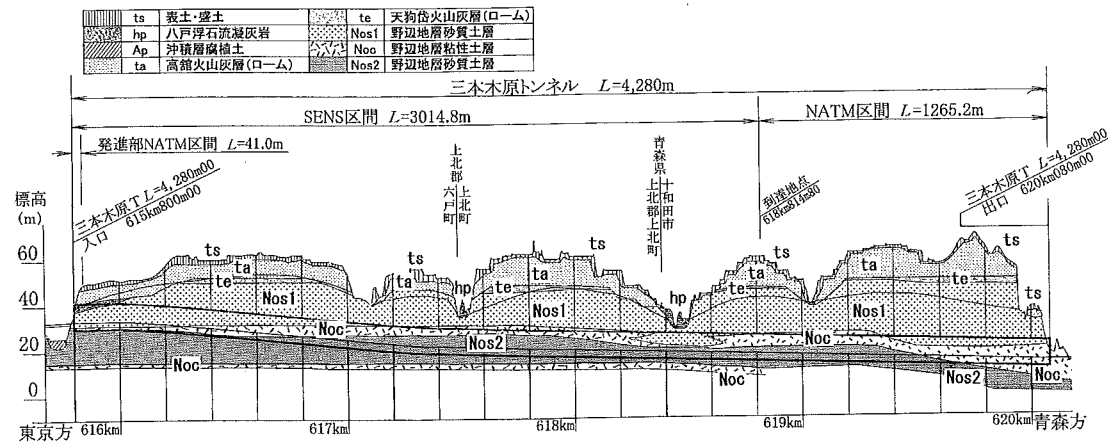


図-7 三本木原トンネル地質縦断面図

る。トンネル通過部の地質は野辺地層が主体であり、未固結な砂質土および粘性土の互層となっている。土かぶりは2~45m、平均23m程度である。地下水位はほぼ全線にわたりトンネル天端以上であり、もっとも高いところでは天端から17m程度上方となっている。図-7にトンネルの地質縦断面図を示す。

当初、新青森方より、地下水位低下工法や注入式先受け工を併用したNATMによる掘削を行っていたが、切羽進行が止まるほどの崩落がたびたび発生した²⁾。そこで、安全性・経済性・施工性の問題から、NATMによる掘削を中止し、シールド工法を用いた新施工システム「SENS」を開発・適用し、東京方より掘削を行っている³⁾。2006年1月9日現在の切羽位置は617k528mである。

3-2 NATM区間の施工状況

三本木原トンネルでは当初、新青森方からNATMによる掘削を行った。NATM区間では、切羽上部に透水性の高い上部砂層Nos1が、その下部には粘性土層Nocが、最下部に下部砂層Nos2が分布している状況であった。各層の代表的な土質試験結果を表-2に示す。とくに上部砂層Nos1は、細粒分含有率が低く粒径がそろっており、地

表-2 代表的な土質試験結果

	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	間隙比 e	細粒分含有率 F_c (%)	均等係数 U_c	透水係数 k (cm/s)
Nos1	1.463	0.864	4.6	3.73	5.33×10^{-4}
Noc	1.480	0.917	21.5	37.97	—
Nos2	1.632	0.679	11.6	6.87	4.61×10^{-4}

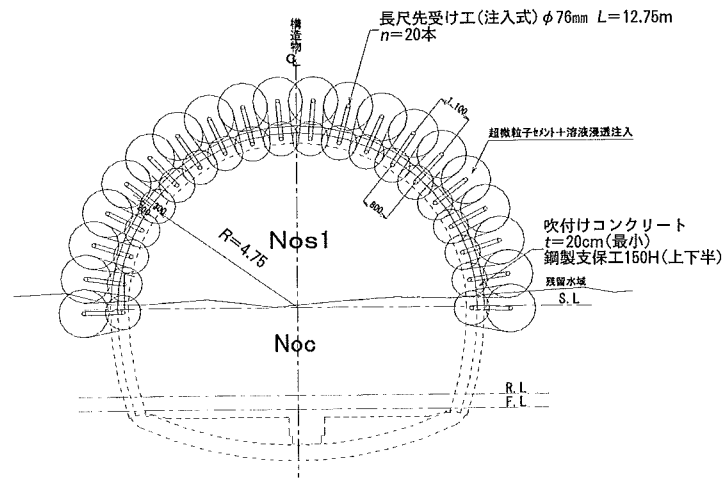


図-8 長尺先受け工

山の流動化を生じやすい特徴を有している。

このような条件下、地下水位低下工法を用い、機械掘削ショートベンチカット工法で掘削を進めたが、乾燥流砂の発生、残留湧水による上半脚部の劣化などにより、切羽状態の悪化が慢性的に生じていた。これに対処するため、坑内からの水抜き工の追加や図-8に示すように、注入式の長尺先受け工の併用などを試みたが、改善には至らず、

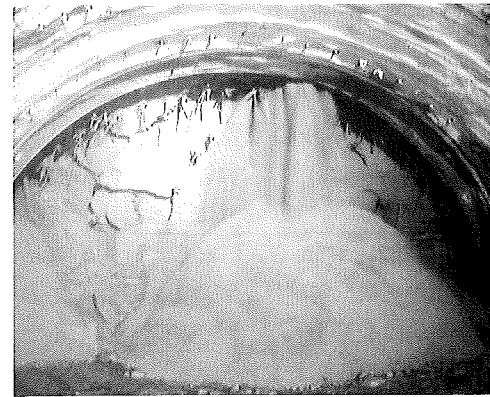


写真-1 NATM区間の崩落発生状況

切羽進行が止まるほどの崩落が2度発生し掘削の中断を余儀なくされた。写真-1は東京起点619k731mで生じた崩落状況である。

3-3 NATM適用の問題点

NATM区間の施工では、上部砂層Nos1と粘性土層Nocの層境が切羽に出現した区間で、地下水位低下工法や注入式先受け工などの補助工法が有効に作用せず、切羽が著しく不安定な状況になる傾向が見られた。とくに崩落の発生前後の区間では、図-9に示すとおり、顕著な坑内変位が観察されている。

当該区間で補助工法が有効に作用しなかった原因は次のとおりと考えられる。

- ① 上部砂層と粘性土層の層境上の残留水を完全に抜け切れず、地下水を有効にコントロールできなかった。
- ② 砂層と粘性土層が複雑に堆積し、層境がうねっているような地質条件であったため、坑内からの水抜き工を実施しても、水みちを的確に捉えることが困難であった。
- ③ 切羽の残留水や部分的な突発湧水の発生により、上半掘削時の脚部が劣化し、一次支保や補助工法のバランスが崩れ、支保特性が総合的に機能しなかった。

このような条件下、安全性、経済性、施工性の面から、NATMを適用し掘削工事を進めることが限界であると考え、NATM掘削を中断し、シールドを用いた場所打ち支保システム「SENS」を考案し、残り約3,000mの掘削を行うこととした。

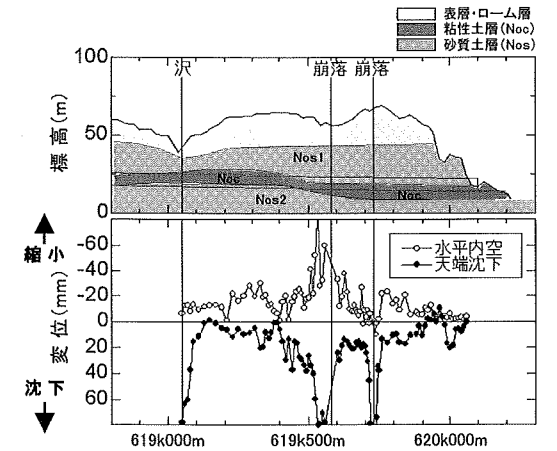


図-9 NATM区間A計測結果

3-4 新施工システム「SENS」の開発

前述の経緯から、安定した掘削を行うため、シールド工法の採用を考えたが、より経済的にシールド工法を取り入れるため、場所打ちライニング工法を採用することとした。しかしながら、過去に施工実績のある代表的な場所打ちライニング工法であるECL工法には次のような問題点がある。

- ① 施工実績が少ないため、施工管理手法、覆工設計手法ともに十分に確立された工法ではない。
- ② ECL工法で施工した場所打ちコンクリートライニングを完成形の構造体として採用したことにより、ひび割れや漏水などの品質管理上の問題が発生し、その対策に労力を要した。

そこで、本工事では場所打ちライニングを山岳トンネルにおける吹付けコンクリートなどと同様に、一次支保材としての機能を有するものと位置付けた。すなわち、掘削された空洞を安定させるための支保材としての機能を有するが、ある程度の地下水の流入やひび割れを許容する排水型トンネルと考え、場所打ちコンクリートの変形が収束したことを確認したうえで、作用荷重を受け持たない化粧巻きとして二次覆工を構築してトンネルを完成させる。この新しい施工システムを「SENS」(Shield Tunnelling Method, Extruded Concrete Lining (ECL), New Austrian Tunnelling

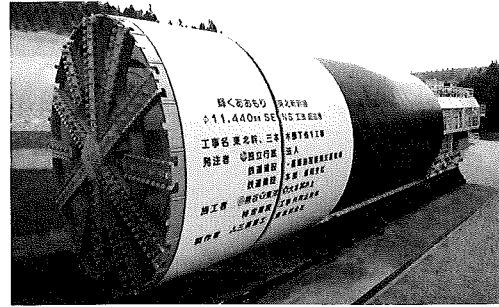


写真-2 シールド組み立て完了状況



写真-3 場所打ちライニングの状況

Method (NATM, Systemの各頭文字)と名づけ、採用することとした。写真-2はシールド組み立て完了状況である。

3-5 SENS区間の施工状況

これまでの施工結果では、場所打ちライニングには当初の想定範囲内のひび割れや漏水の発生が確認されているが、坑内変位は最大3mm程度であり、健全な支保が構築できていることが観測的に確認されている。写真-3は脱型後の場所打ちライニングの状況である。

場所打ちコンクリートを用いたシールド掘削であるため、施工開始初期段階には、主に圧送、貯留設備内の残コンクリート硬化に起因した設備トラブルが発生した。しかしながら、施工設備の改善や、施工管理手法、効果的な設備メンテナンス手法を確立することができており、NATMと比較し格段に安全性の高い施工条件のもと、最近では月進140m程度の安定した掘削進行を確保することができている。

残りの施工を通して、SENSをより合理的な施工システムとして確立し、同様な条件下でのトン

ネル掘削の有効な選択肢の一つとしていきたい。

4 牛鍵トンネル

4-1 牛鍵トンネルの概要

牛鍵トンネルは、標高約40m前後の台地を1D(D=10m)以下の小土かぶりで土砂地山に構築する東京起点621k270mを入口とした延長2,070mのトンネルである。掘削は新青森方から行っており、2006年1月9日現在の切羽位置は621k481mである。地質は、図-10に示すとおりであり、第四紀更新世の高館段丘構成層の砂(ts)は、シルト混じりの砂礫を主体とし、N値=20程度、粘着力c=23kN/m²、細粒分含有率F_c=8~20%である。また粘性土(tc)は、有機質シルトや火山灰質シルトを主体とするもので、N値が10以下の軟弱層で変形係数E=7MN/m²程度である。また、切羽の自立性は良く、tc層とts層の間にはにじむ程度の湧水がある。

4-2 掘削対策工

トンネルの施工は、地上の条件に制約を受けない新青森方坑口から700mの区間を、地表部からトンネル天端部分を改良した後にNATMで掘削を行う地山改良工法⁴⁾で行った。残りの区間については、主要地方道と交差するなどの地上条件により、坑内からの掘削対策工を選択することとした。地質条件から、地上部からの揚水井による地下水位低下工法、φ65mmの鋼管をトンネル側壁部に油圧ジャンボの圧入力と打撃力により打ち込むサイドパイルによる支保工の沈下対策工法を行ったが、一部介在するシルト質の不透水層に残留する地下水による切羽の不安定化が課題となり検討を行った。切羽の安定化を図るための補助工法として従来から多用されている鋼管や異形棒鋼を芯材とする注入式の周辺地山改良工法は、注入材料の硬化時間を要し、切羽開放から短時間のうちに変形が始まる牛鍵トンネルでは、効果が望めない。このようなことから、注入材を用いず改良幅を注入式と同程度の改良範囲を確保すべく鋼管鋼矢板圧入打撃工法(SSPB工法: Steelpipe Steelsheet-pile Pressfit Blow Method)を開発し採用した。

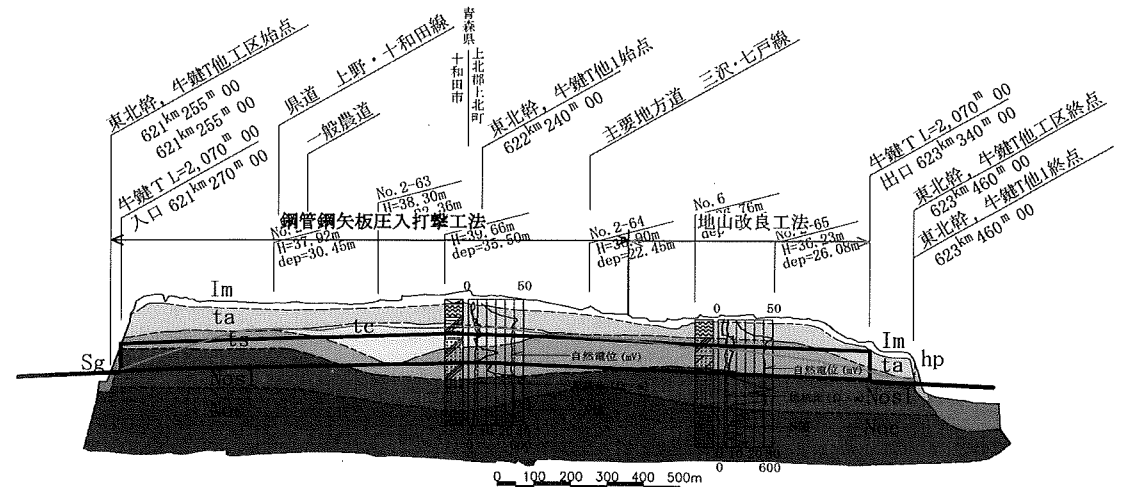


図-10 牛鍵トンネル地質縦断面図

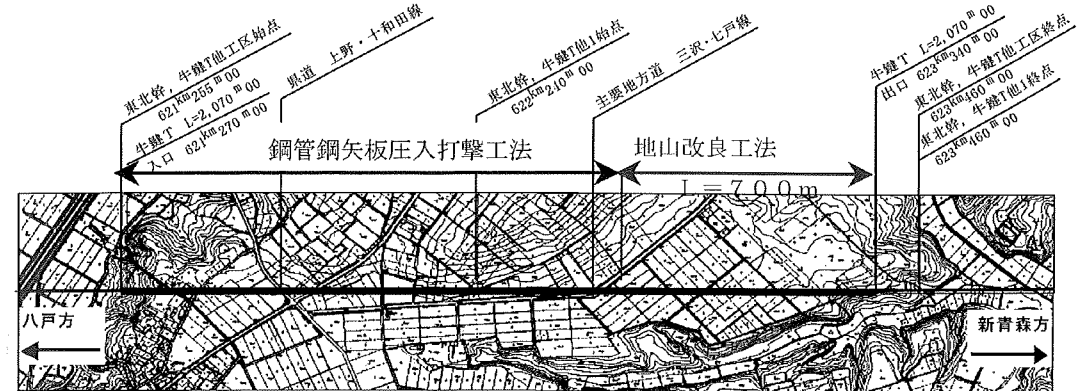


図-11 牛鍵トンネル線路平面図

4-3 鋼管鋼矢板圧入打撃工法の概要

鋼管鋼矢板圧入打撃工法は、図-12に示すように、φ65mmの鋼管に幅150mm×2枚(長さ3.0m/枚)の軽量鋼矢板を取り付けた先受け材を、油圧ジャンボのガイドセルに搭載し、ドリフタの圧入力と打撃力で切羽前方に打設・設置していく工法である。

鋼矢板は、従来工法の注入による改良体より信頼性が高いこと、周辺地山との摩擦抵抗が期待できることおよび剛性が高いことなどの優位性を有しており、確実なアーチを形成できる。また、対象地質である砂層には、周辺地山を固める効果も期待できる。

鋼管は、鋼矢板で連続的なアーチを形成するためのガイド効果、先受け材の剛性を高める効果、

周辺地山との摩擦抵抗が期待できることおよびドリフタの能力を最大限に発揮できる効果などがある。

また、流砂が懸念される地質の場合は、打設断面方向の打設間隔を狭めることで対応可能である。

4-4 鋼管鋼矢板圧入打撃工法施工区間の計測

鋼管鋼矢板圧入打撃工法の妥当性を評価するために、図-13に示すB計測を実施した。

応力変化のもっとも大きかった天端の鋼管鋼矢板の応力変化を図-14に示す。発生応力は最大80N/mm²程度で、使用鋼材の許容応力であるσ_容=140N/mm²を下回って健全性は確保されている。

さらに、切羽の進行に合わせた軸力および曲げモーメント分布の変化を図-15, 16に示す。1基掘

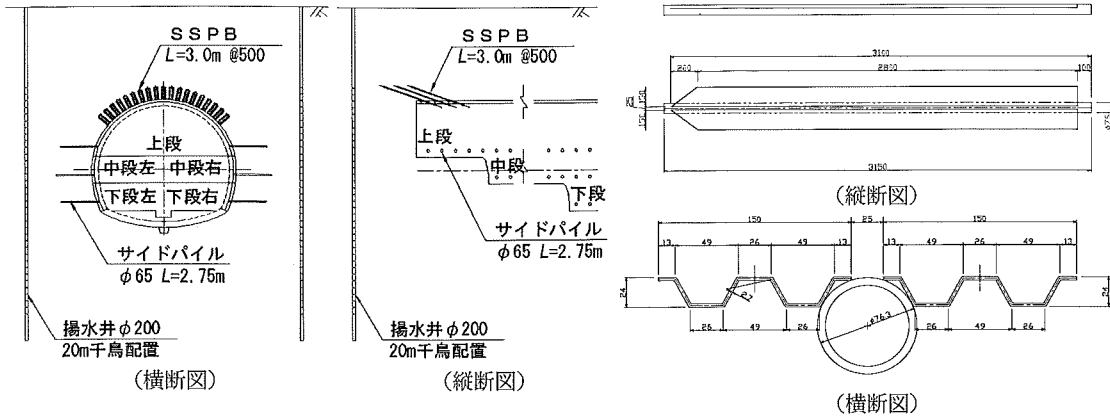


図-12 鋼管鋼矢板圧入打撃工法

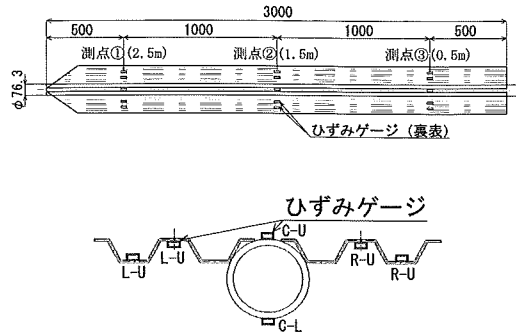


図-13 鋼管鋼矢板ひずみ計取り付け位置

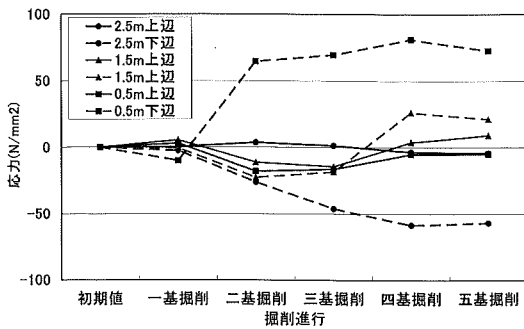


図-14 鋼管鋼矢板の応力変化

削した時点では、大きな変化は見られないが、先受け直下の2基掘削時にそれぞれ大きく増加しその後の掘削では変化がほとんどなく、掘削通過後の応力再配分が、先受けにほとんど影響を与えていないことがわかる。軸力分布は、先受け材先端部に圧縮力が作用しているが、鋼管鋼矢板の剛性が高いため切羽前方の荷重をすべて負担したためと考えられる。モーメント分布は、2基目以降の

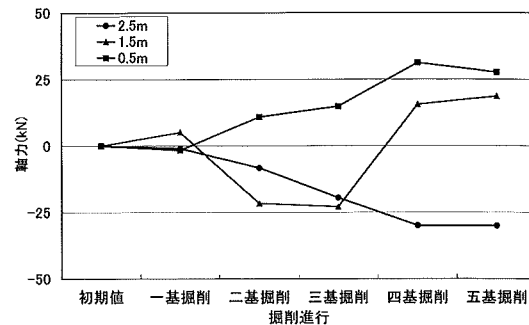


図-15 鋼管鋼矢板の軸力変化

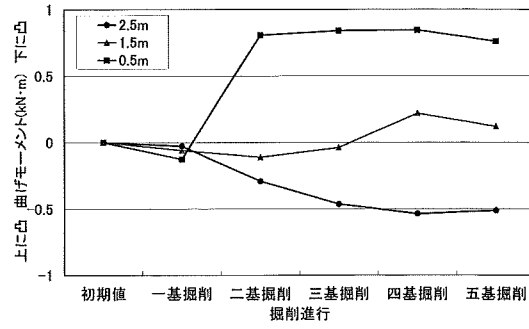


図-16 鋼管鋼矢板の曲げモーメント変化

掘削では、手前側が内空側に凸の、先端付近の地山側に凸のモーメントが発生しており、先受け部材が一次支保と切羽前方を支点とした梁として機能していることがわかる。また、先端付近の地山側に発生している凸のモーメントは先受けが完全な定着部としては作用していないことを示しており、先受け長は実際の長さよりも長いほうが適切であると推定される。

以上のことから、鋼管鋼矢板圧入打撃工法は、小土かぶり未固結土砂トンネルにおいて、経済的に切羽を安定させる掘削補助工法として有効であると考えられる。

5 おわりに

小土かぶりの未固結地山においては、切羽における自立性の低下や緩み領域の増加および地表面に対する影響(とも下がり現象)などの抑制が必要となる。

本稿は、さまざまな補助工法を駆使して工事を進めている一部の紹介であるが、八戸・七戸間トンネル群のうち約60%が未掘削であり、既掘削部分のデータを照査しながら今後の施工に反映して実績を重ね、経済的かつ合理的な設計・施工の確立をめざしたいと考えている。

参考文献

- 1) 田辺宏・長谷川雅彦・梅木信夫・平野逸雄：地下水水位低下工法による土砂地山トンネルの施工，東北新幹線八戸～新青森間 六戸トンネル工事，トンネルと地下，Vol.35, No.6, 2004.6.
- 2) 蓼沼慶正・磯谷篤実・須澤浩之・芳賀宏・野々村嘉映：含水未固結地山における切羽安定方策，トンネル工学研究論文・報告集第13巻，2003.11.
- 3) 佐々木幹夫・佐原圭介・井浦智実・川嶋潤二：場所打ち支保システムによる山岳密閉シールド，東北新幹線八戸～新青森間 三本木原トンネル，トンネルと地下，Vol.36, No.4, 2005.4.
- 4) 北川隆・磯谷篤実・奥津一俊・川口隆徳：地山改良とサイドパイルで小土かぶり土砂地山を掘削，東北新幹線牛鍵トンネル，トンネルと地下，Vol.35, No.4, 2004.4.

【好評発売中】

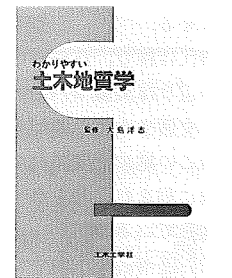
わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修 B5判 209頁 本体価格 2,500円 円340円

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

〔主要目次〕

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



株式会社 **土木工学社**

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



「大河のほとり鵜沼」岐阜県各務原市から

石田 豪史

幼いころに唄って聞かされた英雄『桃太郎』。犬・猿・雉を従え、いざ鬼退治へ……！流れ豊かな木曾川・長良川・揖斐川が育む自然あふれる岐阜県の、三川の中でも名勝日本ラインと謳われた大河木曾川の流域に、そんな『桃太郎』の伝説がひっそりとではあるが強く根づいている。ここ各務原市鵜沼は岐阜県の中濃にあり、木曾川を隔てた対岸はじかに愛知県となる県境に位置する。この地を軸に北の坂祝町、東の可児市、南の犬山市にまたがる一帯には『桃太郎』にちなんだ地名が数多く点在する。「大桃」より流れてきた桃太郎は「栗栖」で育ち、「犬山」の犬、「猿洞」の猿、「雉ヶ棚」の雉とともに可児川の「鬼ヶ島」に鬼退治に向かい、「取組」で鬼たちと戦い、「勝山」で勝鬨を挙げ、「坂祝」で祝宴を開き、平和をもたらすと、「桃山」に姿を消したのだという。

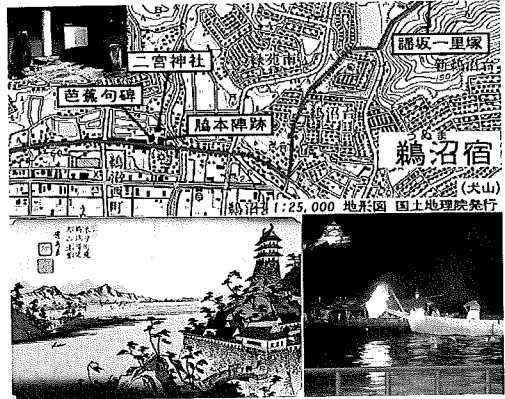
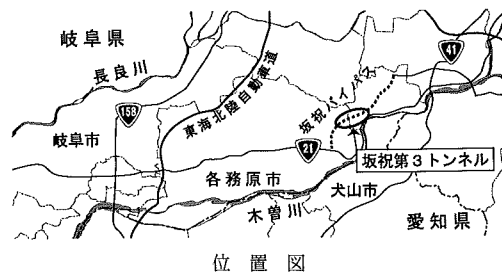
さて、おとぎ話から一変し、この美濃地方は、織田信長、齊藤道三をはじめ数々の戦国武将たちが、歴史の奔流の中でその命運を賭けた乱世の舞台としても有名である。鵜沼の鵜沼城跡に伊木城跡、勝山の猿塚城跡が語る「兵どもの夢の跡」は、古の敗亡の悲運を偲ばせる。

時代は移り、江戸時代に入ると中仙道は整備され、この辺りは美濃十六宿の一つである『鵜沼宿』と呼ばれ、交通や水運の要地として栄えた。かの俳聖松尾芭蕉はこの地に三度訪れている。その際に詠んだ俳句は句碑に刻まれ、今もかつての宿場町の面影を閑雅に詠い遺している。

波溜の 水泡立つや 蟬の声

河豚汁も 喰へば喰せよ 菊の酒

また、夏の風物詩である木曾川の鵜飼の起源は今よ



鵜沼宿概要図

り1,300年前の702年(大宝2年)といわれ、その後340余年前に犬山三代目城主成瀬正親により御料鵜飼として保護され現在に至っている。時に静かに時に激しく、悠久の時の流れをその流れに映し続けてきた大河の上で、夜空に浮かぶ犬山城を背にした鵜舟の篝火は、夏の風情の中、束の間の幻想へ誘ってくれる。

当地域では、国土交通省により一般国道21号の交通渋滞緩和と安全な交通の確保を目的とした坂祝バイパスが計画され、平成2年度に坂祝町勝山から鵜沼に至る4.3kmが事業化された。坂祝第3トンネル工事はこの整備事業の主要工事であり、勝山と鵜沼を阻む小起伏山地に延長1,857mの2車線トンネルをNATMにより鵜沼側から片押し施工する。地質は美濃帯堆積層で、中生代にくり返された地殻変動により陸地に盛り上げられた付加体と考えられ、砂岩・粘板岩・チャートが主な岩種である。平成16年3月に着手してから現在まで既に1,600mの掘削を終えている。この工事の特徴は、坑口から約620mの位置に、最小土かぶり2.5mの小土かぶり部(原火谷)を有することである。昨年10月、入札時の技術提案にもとづき、AGF工法による掘削と本体構造をSFRCおよび全周非排水とした二次覆工を無事完了した。今後も来年2月の竣工を目指し、高品質・高性能のトンネルを供給できるよう常に安全第一を心掛け、職員一同全力で邁進する所存である。(三井住友建設(株)坂祝トンネル作業所監理技術者)

施工

石灰岩区間における高濁度突発湧水の克服

—第二東名高速道路 浜松トンネル—

中日本高速道路(株)横浜支社浜松工事事務所長 後藤 正 登
 中日本高速道路(株)横浜支社浜松工事事務所浜松工事長 井口 哲 也
 中日本高速道路(株)横浜支社浜松工事事務所浜松工事区 真邊 剛 典
 熊谷組・東急建設・大本組特定建設工事共同企業体工事主任 川越 佳 人

1 はじめに

第二東名高速道路浜松トンネルは、静岡県浜松市引佐町～同浜松市滝沢町に至る延長約3.2kmの

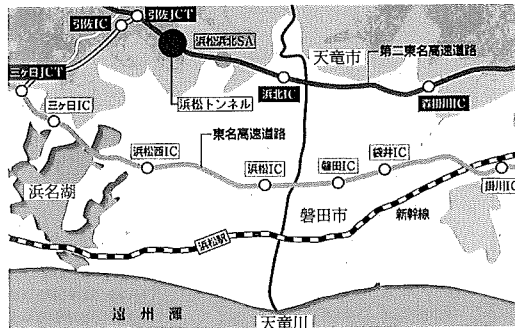


図-1 浜松トンネル位置図

トンネルであり、TBM導坑先進掘削工法を採用している(図-1)。

本稿は、浜松トンネルにおける石灰岩中の地下空洞に起因すると考えられる高濁度突発湧水現象の発生と、石灰岩中の空洞調査・湧水観測結果をもとに想定した発生メカニズム、一連の対策工とその効果、今後の課題について報告するものである。

2 地質概要

地質は秩父中古生層に属する混在岩で、チャート、石灰岩、緑色岩類、粘板岩および千枚岩などで構成される(図-2)。高濁度突発湧水の発生した

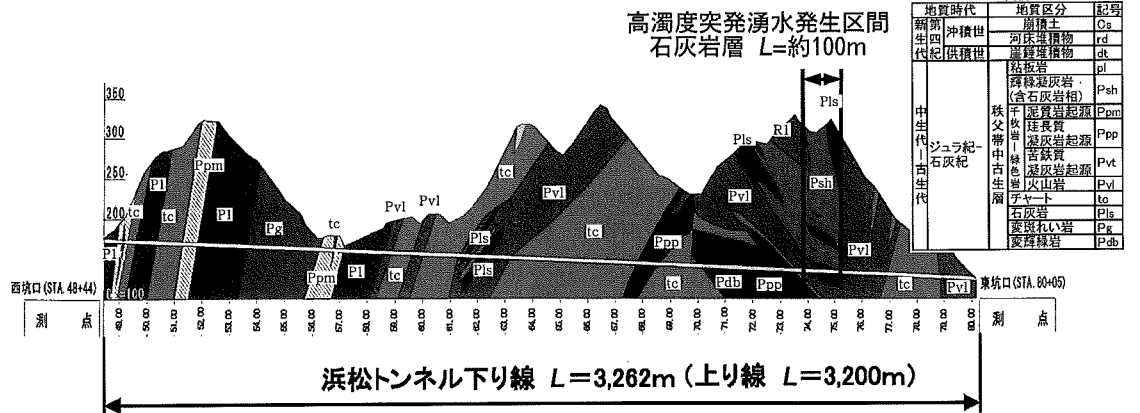


図-2 浜松トンネル地質縦断面図

石灰岩区間には随所に亀裂・空洞が見られ、その一部から高濁度突発湧水が発生した。この区間の石灰岩は地層形成時に近傍の緑色岩類にとりこまれた岩塊であり、取り込まれる際に変形や破碎を受けて亀裂が発達し、長期にわたり石灰岩が溶出し、鍾乳洞化したものと推測される。

3 高濁度突発湧水の発生状況と対策工の流れ

表-1に高濁度突発湧水の主な発生状況とその対策工の流れについて示す。

平成11年6月の降雨(連続雨量164mm)により東坑口から約600m付近の石灰岩区間において、TBM導坑内から高濁度突発湧水が発生した。この現象は、その後もまとまった雨が降るとくり返された。

平成12年6月から上下線に本坑止水注入を行ったが、平成15年4月に下り線上半肩部吹付けコンクリートを破壊する突発湧水が発生した(写真-1, 2)。

これにより、平成15年6月から水抜き(1次対

策工)を実施し、本坑から調査水抜きボーリングを行い、それにより確認された大規模な空洞(ぼら)を目指して水抜き横坑を掘削した。さらに横坑内より水抜きボーリングを実施した。そして、地山

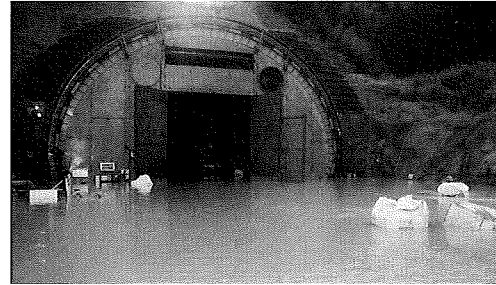


写真-1 H13.8.22本坑下半から620tf/hの出水

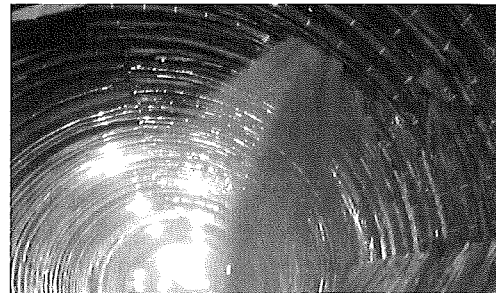


写真-2 H15.4.14本坑吹付け破壊500tf/hの出水

表-1 高濁度突発湧水の発生状況と対策工の経緯

トンネル工事(上り線)	位置	主な高濁度突発湧水	対策工	トンネル工事(下り線)
H11.4 TBM掘削開始	上り線	高濁度突発湧水問題発生 H11.6.28 導坑側壁から300tf/h (連続雨量164mm)	本坑止水注入工 H12.6 TBM導坑から上半に止水注入(上り線) H13.9 TBM導坑から上半に止水注入(下り線) H13.10 下半、インバートに止水注入(上り線) H14.12 下半、インバートに止水注入(下り線)	H12.9 TBM掘削開始
H12.1 TBM導坑貫通	上り線	H12.3.24 導坑側壁から260tf/h		H13.6 TBM導坑貫通
H12.4 本坑拡幅開始	上り線	H13.8.22 本坑下半から620tf/h (連続雨量220mm)		H13.9 本坑拡幅開始
	下り線	導坑側壁から180tf/h		H14.11 本坑拡幅停止
H14.12 本坑貫通	下り線	止水対策による限界を確認 H15.4.14 本坑上半肩部吹付けコンクリートを破壊する500tf/h (連続雨量98mm)	水抜き1次対策工 H15.6 本坑から水抜きボーリング施工 H15.7 水抜き横坑掘削 H15.11 水抜きボーリング施工	
	下り線	H15.7.3 水抜きBr・本坑から650tf/h、濁度10,000ppm以上		
	下り線	H15.8.9 水抜き坑・本坑水抜きBr・本坑から1,400tf/h、濁度10,000ppm以上		
	下り線	H15.11.29 水抜き坑(水抜きBr・ぼら)から193tf/h、	水抜き2次対策工 H17.4 水抜き横坑拡幅掘削 追加水抜きボーリング 観測設備の充実	H16.9 本坑拡幅再開
	下り線	追加水抜き対策の必要性を確認 H16.6.21 水抜き坑(水抜きBr・ぼら)から720tf/h、(連続雨量100mm)岩屑15m³噴出		
	下り線	H16.10.5 水抜き坑(水抜きBr・ぼら)・本坑水抜きBrから900tf/h (連続雨量307mm)岩屑27m³噴出		H17.4 本坑貫通
			水抜き対策の検証 ↓ 高濁度湧水の観測	

の排水能力を高めるために、平成17年4月から2次対策工として横坑拡幅掘削と追加水抜きボーリングを実施した。現在一連の対策効果の検証中であり、坑外までの導水方法について検討中である。

4 高濁度突発湧水の発生メカニズム

4-1 高濁度突発湧水の発生状況と流出形態

4-1-1 高濁度突発湧水の発生状況

水抜き(1次対策工)が完了していた平成16年6月21日、前日からの雨量は99mmに達した。最大降

雨強度は6月21日15時に26mm/hを記録し、その約2時間後、横坑先端部の空洞(写真-3)から約15m³の崩壊土砂が噴出するとともに、横坑から720tf/hの高濁度突発湧水が発生した。濁度の最大もそれと同時に2,500ppmに達した。図-3に突発湧水発生時の降雨、湧水量、濁度などの関係を示す。

その後も10月5日、連続雨量は307mm、最大降雨強度25mm/hを記録したその約3時間後、横坑先端部の空洞から27m³崩壊土砂が噴出するとともに、900tf/hの高濁度突発湧水が発生している。土砂噴出状況を写真-4に示す。

水抜き横坑湧水量は降雨量に合わせて増加するが、連続降雨がある程度続いたうえで短時間に強い降雨があった場合、2時間程度の時間差で高濁



写真-3 H15.9.21横坑ぼらの状況

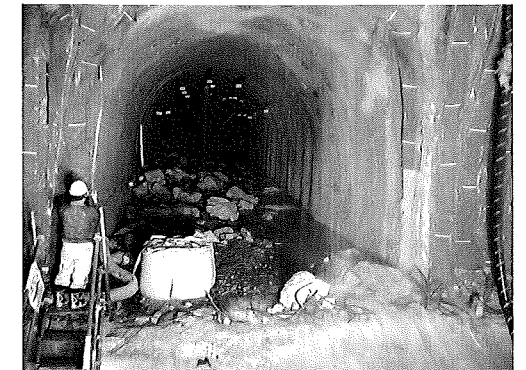


写真-4 H15.10.5岩屑27m³噴出

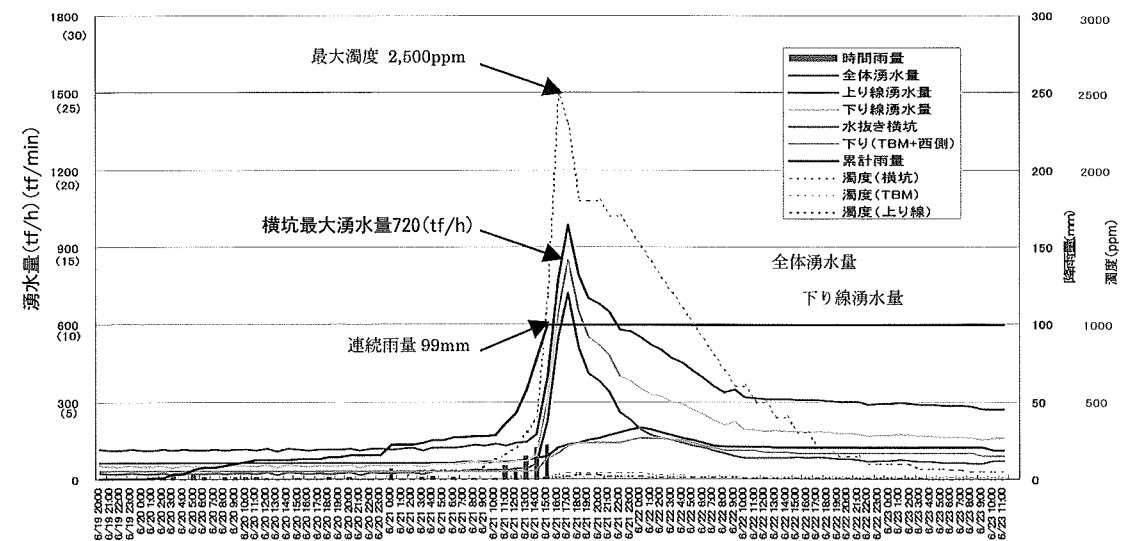


図-3 H16.6.21高濁度突発湧水の降雨量-湧水量のグラフ

度突発湧水が発生している。

4-1-2 崩壊土石の流出形態

崩壊土石は輝緑凝灰岩と石灰岩の角礫が主体で、黄土色の粘性土が点在していた(写真-5)。輝緑凝灰岩は下方に多く堆積し、小さく砂利状(10~50cm)になっているものが多い。石灰岩は上方に多く堆積し、溶食の痕があり、φ1mほどの石灰岩も流出している。粘性土は大きな塊状(10~20cm)で、石灰岩に付着しているものもある。土石の堆積状態から、湧水により輝緑凝灰岩が小さく崩れて流出し、その後に石灰岩の巨石が流出したと想定される。また、大きな塊状の粘性土が原型を保って流出しているため、石灰岩中に比較的規模の大きな空洞(池)が存在する可能性がある。

図-4に横坑湧水量と濁度の関係を示す。この図

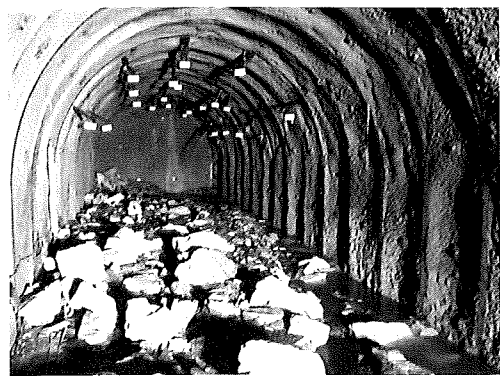


写真-5 岩屑噴出状況

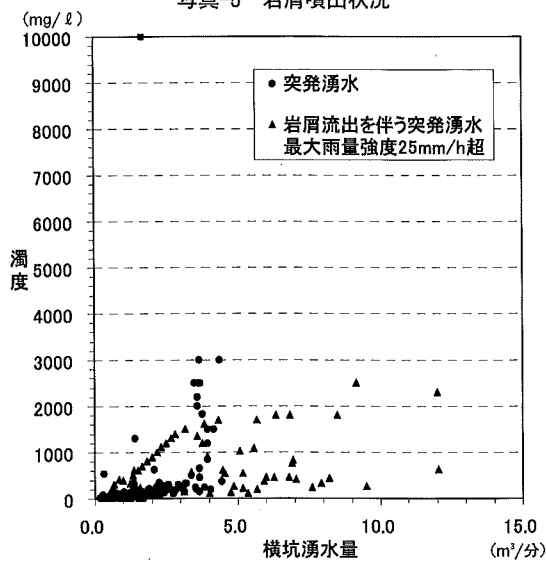


図-4 横坑湧水量と濁度の関係

によると、横坑湧水量が4m³/分を超えると濁度が大きくなる傾向が見られ、湧水量5m³/分が続くと岩屑流出を伴う突発湧水が発生している。

一方、TBM導坑掘削時の突発湧水は、湧出初期に粘土分を多量に含み、空洞周辺は茶色~茶褐色の粘土分を挟在する割れ目(堆積構造方向)が発達していた。

水抜き(探り)ボーリング結果では横坑空洞周辺には多くの空洞が分布し、空洞形態は「空洞」、「粘性土による充填」、「岩塊(主に石灰岩)による埋積」に分けられる。「空洞」の周辺には粘土を介在した割れ目(群)の発達した風化石灰岩が存在し、地下水の浸透領域となっている。「粘性土により充填された空洞」は、先端が先細りの空洞、あるいは流水環境下以外の空洞で、多量の湧水が生じて比較的時間に減少する。「岩塊(主に石灰岩)により埋積された空洞」では顕著な湧水は確認できない。

横坑の掘削実績でも、茶褐色の粘性土を介在し、割れ目の発達した風化石灰岩の後に、多量湧水を伴う空洞に遭遇している。

以上のことから、水抜き横坑で確認された空洞は主となる水みち(地下水の流出経路)をとらえており、ある程度の降雨状態となると(実績では、最大雨量強度25mm/hを超える降雨、または湧水量5m³/分が続く)、風化石灰岩や輝緑凝灰岩(岩屑)の噴出とともに空洞から突発湧水が発生している。その際に、空洞内に付着、堆積している粘性土も押し流され、濁度が高くなると考えられる。

4-2 石灰岩分布域と湧水の集水範囲

トンネル坑内の湧水の起源として、陥没地形(ドリーネ)に集まる雨水の可能性が考えられるため、約400mの石灰岩の分布する範囲を挟むSTA.70~77で、空洞、陥没調査を行った。地表踏査の結果より、判明した事項を以下に示す(図-5, 6)。

- ① 石灰岩分布域は、連続性はなくブロック状に存在する(メランジェ)。
- ② ブロック内は急傾斜あるいは階段状で、階段のテラスには土砂や小さな溶食の穴が多くあいている。

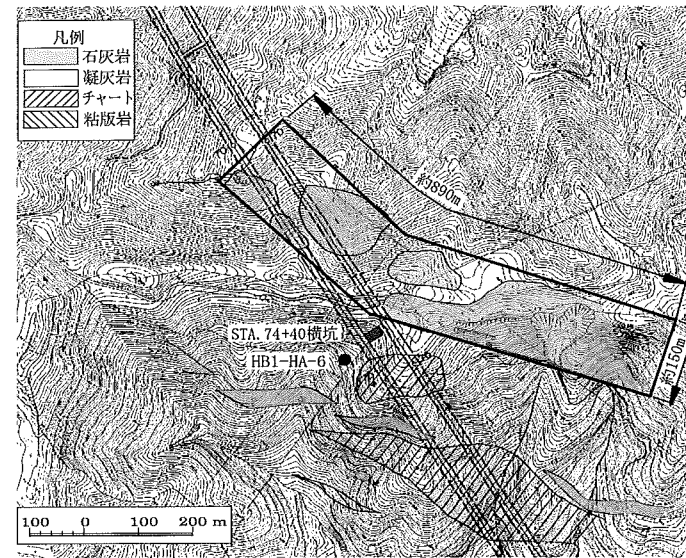


図-5 地表踏査結果と集水範囲

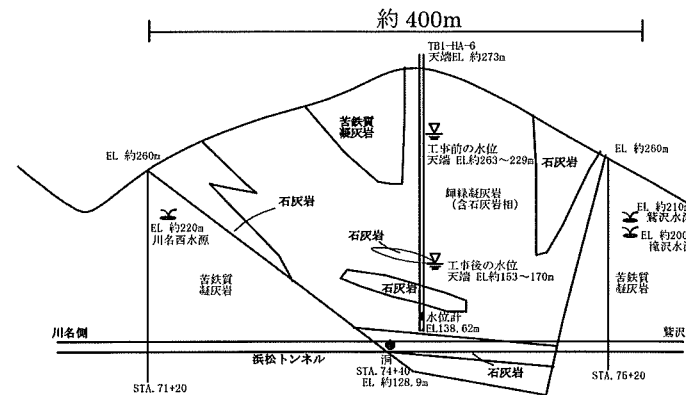


図-6 石灰岩の推定分布

- ③ 土砂で埋まった陥没地形があり、ドリーネの可能性はあるが、土砂の下で確認できない。
- ④ 凝灰岩分布域は緩やかな傾斜で、小さな横穴が何箇所かで確認されている。
- ⑤ 沢水が飲み込まれる穴は確認できなかった。

以上のことから、石灰岩分布域は急傾斜で階段状になっており、テラスでは小さな溶食された穴が数多くあいているため、雨水浸透率は大きいと考えられる。そして、トンネルの湧水は、石灰岩および輝緑凝灰岩が分布した流域の地下水と考えられる。

次に、降雨量と降雨時の水抜き横坑湧水量の積算値から湧水の集水範囲を算定し、石灰岩分布域と対比した。表-2は水抜き横坑湧水量と雨量の積算値算定結果、図-7はそれらの関係図を示す。

水抜き横坑湧水量と降雨量の比率は降雨量の大小に関わらずほぼ一定である。これは、河川の流出現象と同様に、降雨量に合わせて横坑湧水量も増加することを示している。

表-2 横坑湧水量と雨量の積算値

No.	調査期間	①湧水量の積算値 (m³)	②雨量の積算値 (mm)	①/② (m²)	No.	調査期間	①湧水量の積算値 (m³)	②雨量の積算値 (mm)	①/② (m²)	
①	平成15年5月31日~6月6日	8,112	107.5	75,460	⑩	平成16年5月13日~15日	1,663	48.0	34,646	
②	平成15年6月24日~30日	8,161	86.5	94,341	⑪	平成16年5月15日~18日	1,862	49.0	38,000	
③	平成15年7月3日~8日	13,653	151.0	90,417	⑫	平成16年5月19日~22日	3,927	97.5	40,277	
④	平成15年7月13日~15日	5,431	72.5	74,910	⑬	平成16年6月11日~13日	1,465	45.0	32,556	
⑤	平成15年8月14日~20日	16,847	223.5	75,378	⑭	平成16年6月19日~25日	2,888	103.0	28,039	
⑥	平成15年9月20日~24日	3,310	118.5	27,928	⑮	平成16年9月29日~10月1日	541	29.0	18,645	
⑦	平成15年11月29日~12月3日	3,334	80.5	41,416	⑯	平成16年10月2日~8日	24,869	307.0	81,005	
⑧	平成16年4月27日~5月4日	6,213	114.5	54,262	⑰	平成16年10月8日~10日	9,440	184.0	51,305	
⑨	平成16年5月9日~13日	4,146	77.5	53,497	⑱	平成16年10月19日~22日	6,280	120.0	52,335	
							平均	53,579m²		
								約231×231m²		

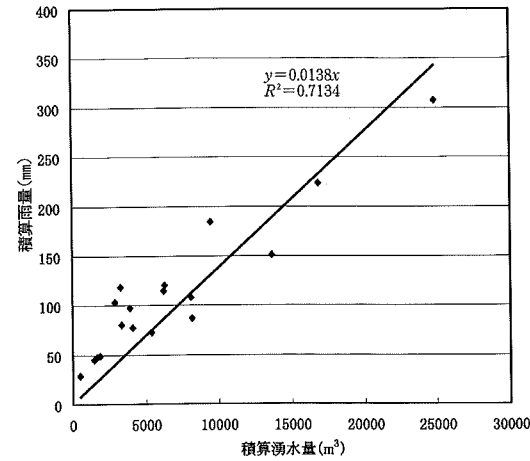


図7 横坑湧水量と雨量の積算値の関係

表2より算定される平均集水範囲は53,500m²となる。地表踏査から判明した石灰岩の分布域(集水範囲)は133,500m²(890×150m)で、浸透率を0.4とすると集水範囲は53,400m²となり、石灰岩の分布域から予想される横坑の集水範囲は、ほぼ横坑湧水量と降雨の積算値の比率から求められる面積と一致する。

4-3 トンネル周辺の地下水分析・観測

4-3-1 水質分析

横坑湧水の供給機構の解明を目的として、突発湧水時の横坑湧水を採取し、主成分分析を行った。分析データを、過去に実施した地表水の分析結果とともに、ヘキサダイアグラムおよびトリリニアダイアグラムに整理した結果、湧水の水質はHCO₃-Ca型でほぼ一定で、横坑湧水量の変動に伴う変化は見られない。また、水質は地元水源などの地表の石灰岩湧水とパターン、濃度ともにきわめて良い一致を示し、横坑湧水の電気伝導度は200μS/cm程度(pH:7~8)で、雨水は10~20μS/cm程度であるため、雨水が直接流出したとは考えづらい。したがって、横坑湧水は石灰岩起源の水で、ピーク時およびその後の状況においても雨水で希釈された形跡は確認できない。そのため、横坑湧水は流動してくる間に多量の貯留水で希釈され

ている可能性があり、空洞(貯水量)は大きいと考えられる。

4-3-2 間隙水圧(図-8)

(1) 降雨との関係

間隙水圧計はいずれも降雨に反応するが、水抜き横坑施工前後(空洞到達前後)で傾向が大きく異なる。横坑施工前は降雨に対しての反応が緩やかで、かつ期間を通じて漸減する傾向を示すのに対し、施工後はほぼ同じ圧力値で、降雨のほぼ直後にわずかではあるが鋭敏に反応している。

(2) 各水圧計の関係

横坑施工後にP1(上り線R側)が急激に減少し、P2(下り線L側)とほぼ同じ値となっており、P1と

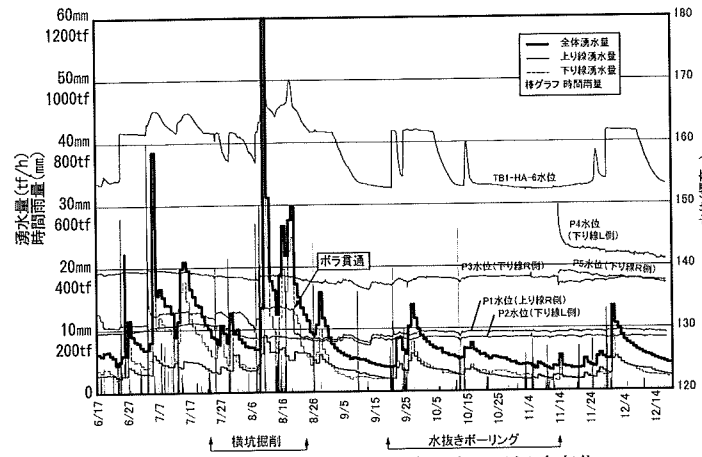
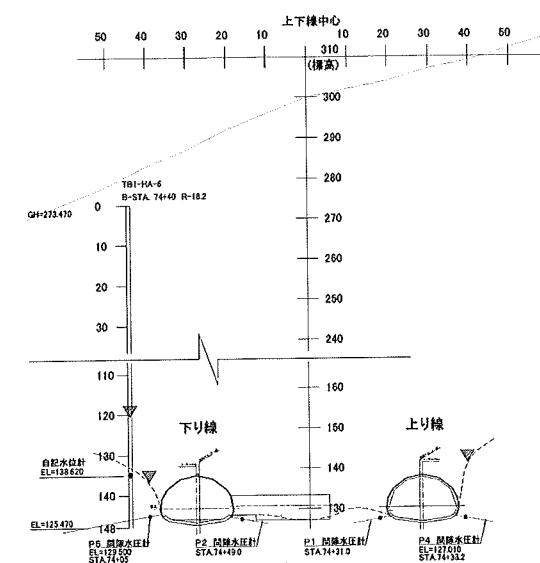


図8 間隙水圧/水位/湧水量/時間降雨量経時変化

P2が検知していた地下水が同じ水みちであったことを示唆している。また、P3とP5も同じ値であり、連続する水みちを捉えていると考えられる。また、上り線(P4)、下り線(P3、P5)の水圧はほぼ本坑天端付近、上下線間(P1、P2)は本坑SL付近(横坑SL付近)で安定している。

(3) 水位計

水位計も間隙水圧計と同様に、降雨と明瞭な関係があり、比較的速やか(2~4日)に低下する。また、通年を通してEL.153m付近になる傾向を示す。

以上のことから、石灰岩層中の水みちのポテンシャルは横坑施工後には安定し、空洞内の地下水は常に不飽和状態で比較的速やかに、横坑内に排出されていると考えられる。

4-4 発生メカニズムの推定

高濁度突発湧水の発生状況、地表踏査、地下水分析・観測結果から推定される発生メカニズムを、以下にまとめる。

- ① 横坑の湧水は、地表の雨水浸透率の大きい石灰岩分布域から流入する降雨を主としている。
- ② 横坑湧水の集水範囲は、横坑湧水量と降雨の水収支分析から、約130,000m²と推定される。
- ③ 石灰岩中には、横坑内につながりを持った大きな空洞(貯水池)が存在し、主たる水みちは横坑で確認された空洞に通じているものと推定される。
- ④ 連続降雨が続いて、短時間に強い降雨があった場合、2時間程度の時間差で突発湧水が発生する(河川に似た流出現象)。その際に、風化石灰岩や輝緑凝灰岩(岩屑)の噴出とともに、大きな空洞内に付着、堆積している粘性土も押し流され、濁度が高くなる。
- ⑤ 横坑施工後、石灰岩層中の水みちのポテン

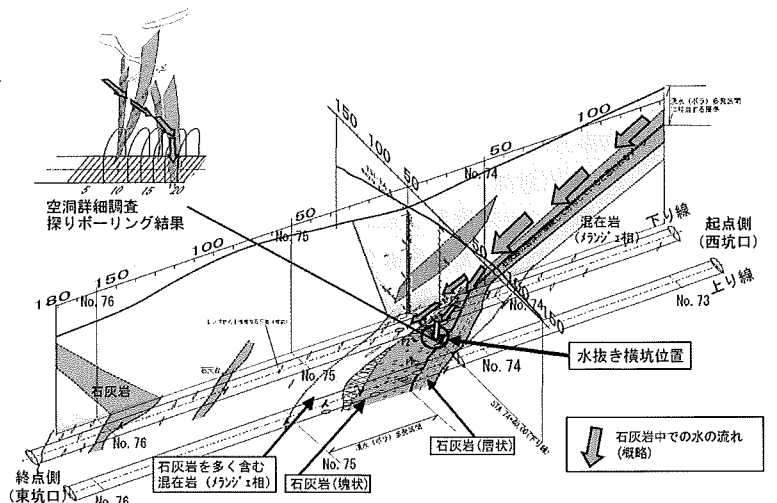


図9 石灰岩区間の水理地質モデル

シャルは安定しており、空洞内の地下水は常に不飽和状態で比較的速やかに、横坑内に排出されている。

- ⑥ 石灰岩中の水位は、本坑上下線の外側では天端付近、上下線間では横坑の水抜きレベル(SL)まで低下している。
- ⑦ 横坑で確認された水みち以外に、顕著な水みちは確認されなかった。

以上の発生メカニズムと上下線の湧水位置および横坑空洞の位置から、「高濁度突発湧水発生の水理地質モデル」は、図-9のように推定された。

5 一連の対策工とその効果の評価

高濁度突発湧水に対する対策工は、以下の前提条件(問題点)をもとに立案した。

(1) 環境保全上の問題点

浜松トンネルの流末には、観光地および水道水・農業用水の取水口があり、流末である都田川水系の放流基準はSS濃度:平均20ppm(最大30ppm)以下と規制されている。

(2) 施工時の問題点

施工中の突発湧水は濁水処理設備の増設により処理は可能であるが、想定量以上の高濁度湧水が発生した場合には対応できない。また、湧水の発生により周辺地山の劣化・空洞化による地山の安定性が懸念される。

(3) トンネル完成後の問題点

地下水上昇に伴う圧力増加により過度の応力が覆工コンクリートに作用し、トンネル構造としての安全性が懸念される。

これらの問題に対し、対策工は安全性・経済性の観点より、高濁度湧水を止める「止水注入工」+湧水(難透水層から漏れた清水)を導水する「排水工」によることとした。

5-1 上り線止水注入(TBM・本坑)

対象区間は石灰岩区間の高濁度突発湧水箇所を中心として、TBM導坑掘削および本坑掘削時の地質データをもとに決定した。

5-1-1 注入範囲

注入範囲は過去の実績(青函トンネルなど)およびロックボルト打設長(6m)を考慮し、上半部は7m、下半・インバート部は6mとした(図-10)。

5-1-2 注入材・注入ピッチ

注入材は、長期的な効果持続の観点からセメント系とした。また、縦断方向の注入ピッチは、ダムのコンソリデーショングラウト事例、坑内の亀裂間隔をもとに3mとした。

5-1-3 施工方法

(1) TBM導坑からの対策

TBM導坑からの事前注入は、本坑掘削時の汚濁水低減および突発湧水に対する安全性を高める目的で行う。注入範囲は、本坑掘削時の施工性を考慮し、TBM導坑の天端部約160°範囲(本坑下半盤からの対応が困難な部分)および湧水発生箇所とした。注入長は、本坑での改良範囲7mを確保するため、TBM導坑からは8mとした。

(2) 本坑掘削時の対策

下半掘削後に切羽観察、湧水状況調査により注入範囲の再検討を行い、下半盤部(200°範囲)および必要区間を注入した(上り線は平成15年3月竣工)。

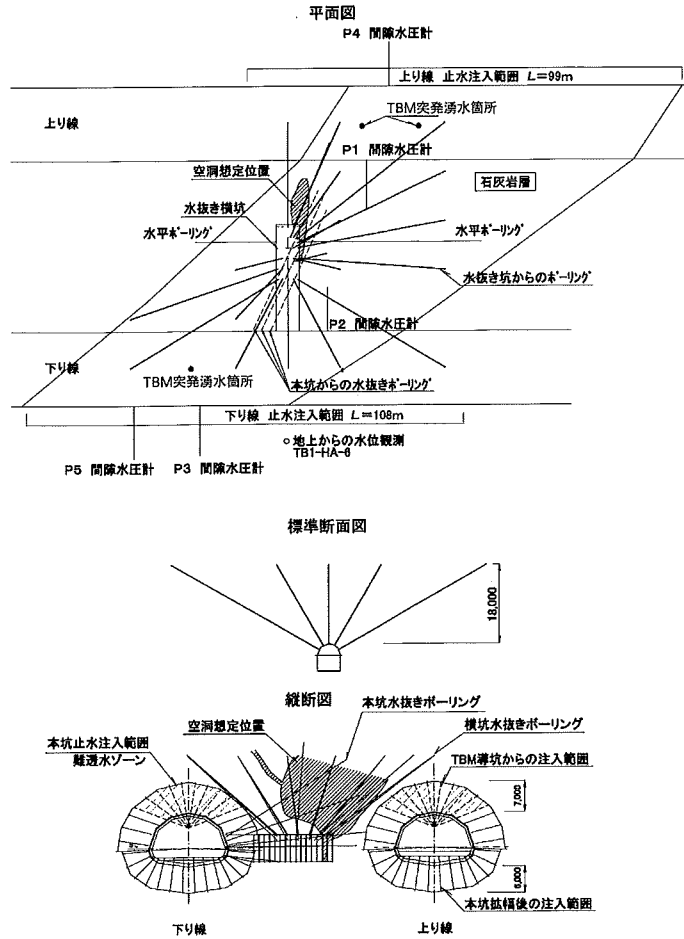


図-10 止水注入工

5-2 下り線止水注入(TBM・本坑)

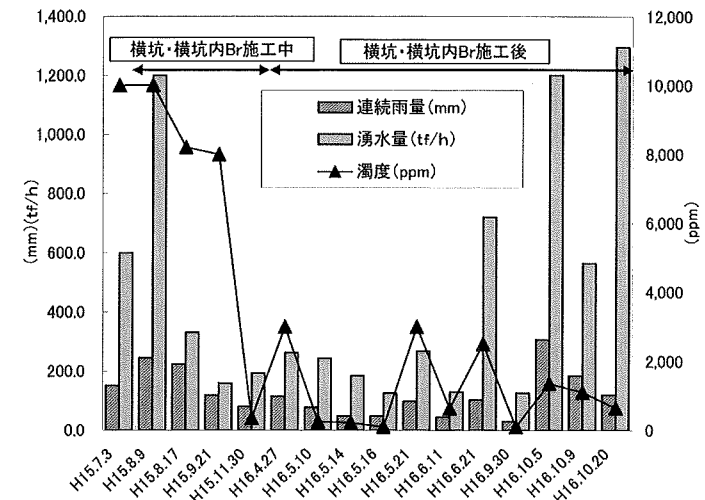
上り線と同様にTBM導坑、本坑からの止水注入を実施した。しかし、本坑注入後の平成15年4月14日に、本坑全周から湧水(清水)噴出後、吹付けコンクリートを破壊する高濁度突発湧水が発生した。このため、止水注入による対策は限界と判断し、水抜き(排水)対策工に移行した。

5-3 下り線1次水抜き対策

高濁度突発湧水の発生流路を特定するため、本坑から水抜きを兼ねた探りボーリング(φ135mm×4本)を実施した結果、上下線間に約6mの空洞が存在していることが判明した。そこで、この空洞まで、上下線間に水抜き横坑(幅5.3m×高さ6.15m:避難連絡坑人道断面)を掘削し、本坑から23.5mの位置に空洞を確認した(写真-3)。さら

に、横坑内から水抜き(探り)ボーリング(横坑内:φ135×24本)を実施して、空洞の連続性・方向、規模を確認するとともに、地下水観測・計測機器を設置し、高濁度突発湧水の発生メカニズムと水抜き横坑の効果を検証することとした。

平成15年7月~平成16年10月までの期間中、連続降雨による横坑内空洞からの多量湧水を16回記録し、空洞および水抜きボーリング孔からの高濁度湧水に伴う土砂・粘土が横坑内に堆積した(写



* 水抜き対策工の施工後は、濁度は減少傾向にある
図-11 水抜き対策に伴う濁度の変化

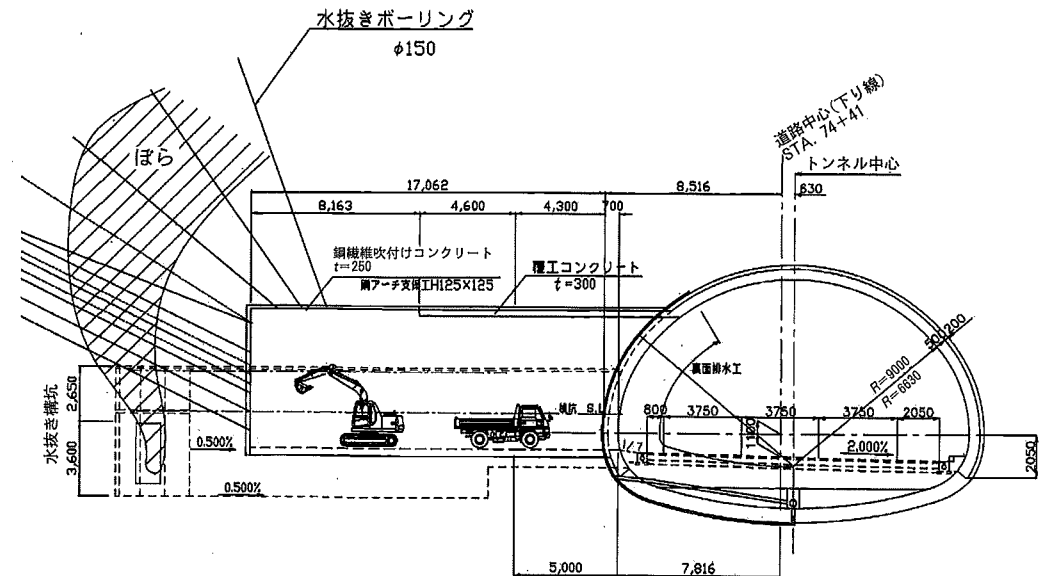


図-12 拡幅水抜き横坑一般図

真-4)。4章に示した高濁度突発湧水に伴う岩屑の噴出も、この期間中に発生している。図-11に示す湧水量と濁度の推移から、濁度は減少する傾向にあるが、今後も流出した土砂の撤去(メンテナンス)が必要になる可能性がある。また、空洞にかかる湧水圧を減少させ、岩屑・土砂が流出しない構造とする必要があることが判明した。このため、第2次水抜き対策を行うこととした。

5-4 下り線2次水抜き対策

追加対策工は、現施工段階に加えて完成後の管理段階も考慮した維持管理対策が必要と判断し、横坑断面の拡幅と追加水抜きボーリングを行うものとした(図-12)。

横坑断面は、避難連絡坑車道断面(延長17m)の大きさとして重機・車両によるメンテナンス作業空間を確保する。ただし、横坑先端部は拡幅による空洞の拡大崩壊および水みちの変化を防止、さらには上部(地表)への影響を抑制するため、拡幅は行わず、濁水処理ピット機能を有する構造とする。また、空洞内部に堆積している土砂・岩屑は除去せず、空洞開口部からの大塊

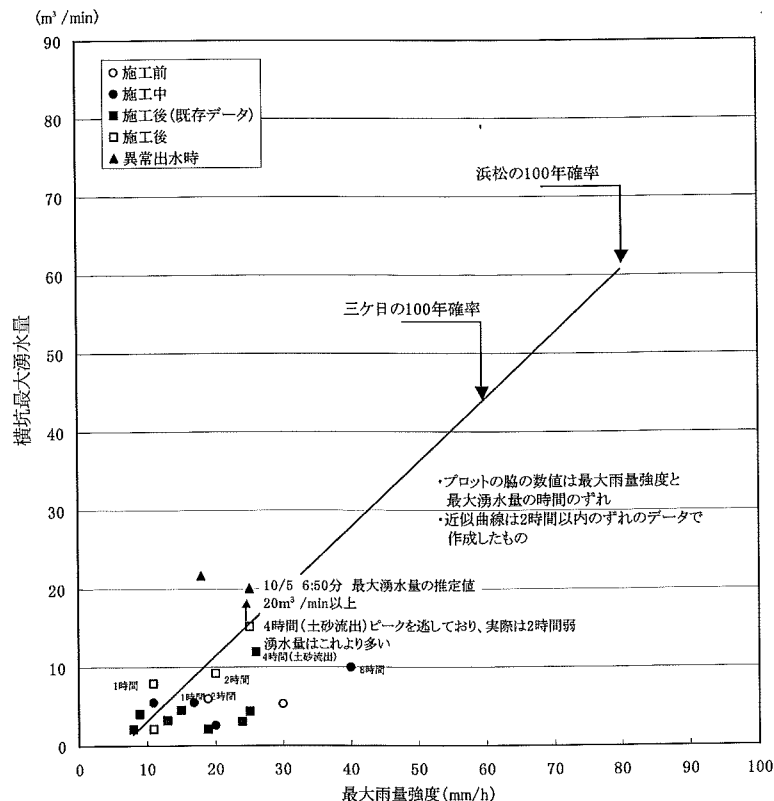


図-13 最大降雨量と横坑最大湧水量の関係

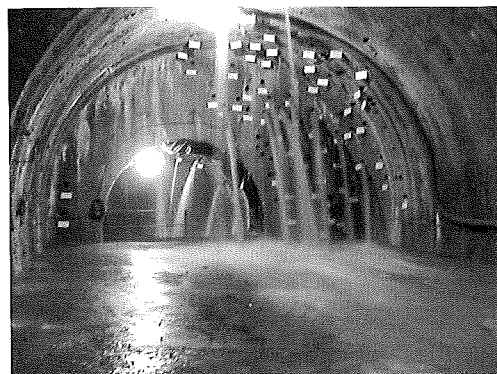


写真-6 H17.7.9横坑1,100tf/hの出水

流出防止のためスクリーン(H形鋼)を設置することとした。

水抜きボーリングは、確認された空洞周辺にφ150mm×長さ15m×48本を削孔した。これは、これまでに観測した湧水量データから最大雨量強度と横坑最大湧水量の関係式(近似直線式)を作成し、当該地区での100年確率の最大雨量強度から想定した最大湧水量60m³/分(3,600tf/h)×2(安全率)

を排水可能な数量である(図-13)。

観測工では間隙水圧計の追加と、必要排水量、坑外までの導水方法を検討するため、湧水量・濁度の自動継続測定を平成17年度に実施することとした。

平成17年度は116mmの連続降雨による多量湧水(1,100tf/h)が発生したが、2次水抜き対策工により有効に排水されている(写真-6)。

6 今後の課題

下り線第2次水抜き対策により、平成17年12月まで安定した状況にあるが、水みちおよびボーリング孔の閉塞状況や土塊の堆積状況により、今後の湧水量、濁度は変化する可能性がある。このため、水抜き横坑からの排水・導水および噴出物の処理を含めた長期的なメンテナンス計

画、横坑(空洞)の安定対策、観測計画を検討中である。

(1) 排水・導水、噴出物処理計画

高濁度突発湧水を路面に流出させずに坑外に導水するため、濁水処理ピットおよび専用の導水管などの設置が必要と考えられる。濁水処理ピットは、土砂、岩屑の流出を防止させる沈砂槽、衝撃を緩衝させる緩衝槽のほか土砂搬出のため重機作業を考慮した構造とする予定である。専用の導水管などは、中央排水とは別系統で、右側路肩部に設置することを検討しており、メンテナンス可能なマンホールなどの大きさ、間隔なども合わせて決定することが重要である。ただし、当面は仮排水で対応し、今後観測データを蓄積後、最終形としての仕様を確定し、設置する予定である。

(2) 観測計画

水抜き横坑施工後、高濁度突発湧水発生は1回しかなく、過去のデータを考慮しても最大湧水量

や土砂流出状況などの確定、覆工コンクリートへの影響の把握が困難なため、観測を継続することとした。

観測は、流量計、間隙水圧計、覆工応力計などの自動計測装置を設置し、高濁度突発湧水の湧水量、土砂発生量、覆工コンクリートへの水圧の影響を観測、監視していく。今後は、観測データ、発生状況にもとづき、濁水処理ピットおよび専用排水管などの規模を決定するとともに、メンテナンス方法を確立していきたい。

7 おわりに

浜松トンネルは、上り線が平成15年3月に竣工、下り線は平成17年11月末現在、高濁度突発湧水区

間を含む400m区間を除き、覆工コンクリートの打設が完了している。石灰岩層で遭遇した高濁度突発湧水はきわめて特殊な現象・観測を記録しており、今回の工事が同様な工事を施工する際の参考になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路公団浜松工事事務所：第二東名浜松トンネル高濁度突発湧水対策について、第二東名高速道路大断面トンネルの効率的な設計施工に関する検討委員会資料，2003.9.
- 2) 熊谷組・東急建設・大本組共同企業体：異常出水対策工実施報告書，2003.11.
- 3) 熊谷組・東急建設・大本組共同企業体：浜松トンネル高濁度突発湧水状況調査報告書，2005.1.

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 堆積盆地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メイジャー神楽坂 電話 (03)3267-2888 (代) 振替00110-8-190072



■パリのメトロ

パリ市内を縦横に走るRATP(パリ運輸公社)のメトロは、現代のパリを代表する地下のインフラである。その歴史は、1世紀以上前の1900年にさかのぼることができるが、世界最初のロンドン地下鉄の開業が1863年で、その後、ブタペスト、ウィーン、ボストンなどで建設されているので、ヨーロッパを代表する都市としてはいささか遅れをとってしまったことになる。パリに地下鉄を敷設しようとする動きは、19世紀半ばからあったとされるが、政府の慎重な姿勢によって先送りされ、1900年の万国博覧会(パリとしては5回目の万博)を機会にようやく実現したのである。

その最初の開業区間は、現在の1号線のポルト・マイヨー～ポルト・ド・ヴァンセンヌの間で、1900年7月19日のことであった。しかし、その後の発展はめざましいものがあり、30年余の間に13号線までが完成し、一躍世界有数の地下鉄都市となった。今回は、こうしたパリの地下鉄の中から、「21世紀のメトロ」として鳴り物入りで登場した14号線について紹介してみたい。

■メトロ14号線の建設

メトロ14号線は、愛称「メテオール」と呼ばれ(Météor=「流れ星」: Métro Est-Ouest Rapide

(東西高速メトロの略)、1937年に開業した初代14号線(のち13号線に編入)以来、実に60年ぶりの新路線となった。この60年間、郊外での路線の延伸や、SNCF(フランス国鉄)との共同運営によるRER(地域間急行)の建設を除けば、RATP自体の新規開業路線はなく、13路線体制が半世紀以上にわたって続くこととなった。

1989年にイル・ド・フランスとパリ市政府は、メテオールの建設を決定し、ただちに工事が開始された。そしてマドレーヌ～ビブリオテック・フランソワ・ミッテラン(新国立図書館)間が1998年10月15日にジャック・シラク大統領を迎えて開業、続いてサン・ラザール～マドレーヌ間が2003年12月16日に開業した。路線は、パリの中心部を延長8kmにわたって東西に貫き、ビブリオテックの手前でセヌ川をくぐっている。

駅部の施工法はやや複雑で、図-1に示すように、山岳工法とシールド工法を組み合わせたような施工法が用いられた。駅部の大断面トンネルとは言い、パリのような安定した地質であれば、都市NATMで施工した方が容易なようにも思えるが、このあたりは独自の技術にこだわるフランス人気質が表れているのかもしれない。

■「流れ星」に乗って

メトロ14号線の特徴は、完全無人運転と駅空間

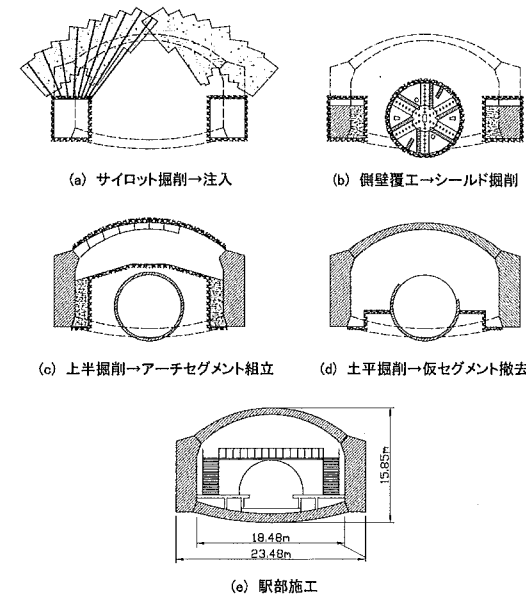


図-1 シャトレ駅の施工法

のデザインにある。鉄道の完全無人運転は、日本でも新交通システムで実施されているが、地下鉄ではまだ例がない。実際に乗ってみると、スムーズな加減速や停車時のドアの開閉など、有人の車両とほとんど変わりなく、無人であることを事前に知らされていなければ全く気がつかないほどである。唯一、無人運転だとわかるのは、先頭車に乗務員室がないことで、前後の車両ともここは展望席となっている(写真-1)。このため、関係者以外は日ごろ見ることのできないトンネル内を観察することができ、パリっ子たちもアミューズメント感覚で楽しんでた。

一方、駅空間のデザインは、在メキシコフランス大使館や、モンペリエ新裁判所などを手がけたフランスの建築家ベルナル・コーンに委嘱された。

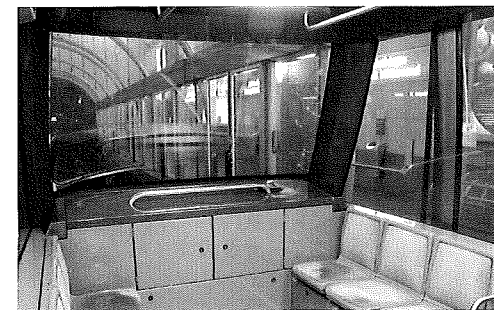


写真-1 先頭車の「展望席」

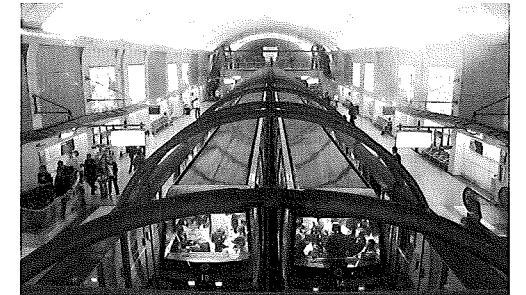


写真-2 中二階から見渡すシャトレ駅の構内

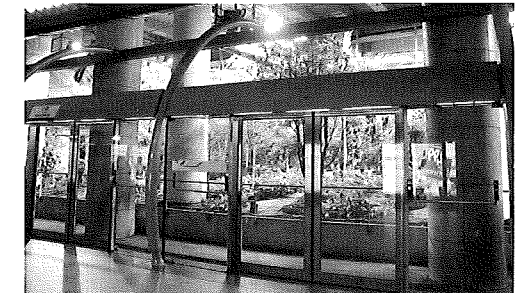


写真-3 ホームのむこうに熱帯植物園が!

パリのメトロは、その開業時からデザインに力を入れ、アール・ヌーボーによる入口や、白タイルを基調とした明るい駅構内(老朽化などによって薄暗くなってしまったが、近年シテ駅など一部の駅が往時の美しい姿をよみがえらせた)、ヴォールト天井による柱のない地下駅の実現など、当時としては質の高い地下空間を提供した。コーンは、地下深部の駅に自然光を導く工夫や、見通しの良い駅構内、閉塞感を感じさせない広々とした空間、中二階を利用した動線など、地下の公共空間に対する設計コンセプトを明快に提示した。このため、ホームドアが設置されているにもかかわらず開放的で、階段やホームから駅全体を見渡せる工夫がなされている(写真-2、見晴らしを良くすることによって犯罪やテロ対策にも役立つとされる)。

極めつけはガール・ド・リヨン駅にある地下の熱帯植物園で、日本でも最近の地下鉄などで斬新な地下空間が見られるようになったが、さすがにこの奇抜なアイデアには驚いた(写真-3)。14号線はさらにビブリオテックからメゾン・ブランシュ方面への延伸が計画されているので、これからもどんな地下空間が誕生するのか、21世紀のメトロが楽しみである。

土木情報 No.394

今日の主な入札結果 (1月26日～2月24日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
北海道網走土現	道道紋別丸瀬布線道路改良金八T	大林・東急・宮坂JV	3,885
北開・網走	湧別地区第6号排水路	三共建設・北進工業JV	170
〃	〃 暗渠排水路東工区	菊地組	111.8
東北地整	一般国道45号両石T	前田建設工業	1,800
〃	長井ダム県道付替西柵平T	株木建設	615
関東地整	圏央道笠森Tその1	大成・若築JV	2,850
〃	外かん市川松戸線函渠	オーバーシーズ・ベクテル・インコーポレーテッド	1,260
〃	付替県道6号T	前田建設工業	1,700
近畿地整	176号管根服部電線共同溝	東亜道路工業	1,900
中国地整	三刀屋T	森本組	505
四国地整	平成17-19年度石丸T	飛鳥建設	1,580
九州地整	鹿児島3号新武岡T	ハザマ・銭高JV	4,280
〃	大分川ダム仮排水路T	戸田建設	1,744
水資源機構	浦山ダム清水バイパス管路敷設	鹿島・日本国土JV	1,455
東日本高速	北海道横断自動車道カラ里T	前田・大本・若築JV	4,250
〃	〃 上庶路T	東亜建設・福田組JV	1,665
西日本高速	四国横断自動車道焼坂第一T	大成・東洋・銭高JV	4,100
〃	〃 新角谷T	鹿島・福田組JV	2,500
〃	東九州自動車道中村地区函渠	大淀開発	312.5
都・下水道局	台東区上野公園付近再構築	竹内工務店	204
〃	台東区谷中四丁目、文京区千駄木三丁目付近再構築	森本組	228.9
〃	台東区千束一、三丁目付近再構築	日興建設・大隅建設JV	193.47
〃	豊島区南池袋二丁目、東池袋一丁目付近再構築	拓洋建設・中江建設工業JV	355.85
〃	品川区中延三、四丁目付近枝線立坑設置	東急・大日本土木JV	579
〃	業平橋ポンプ所放流渠その7	奥村組・大豊・徳倉JV	336.6
〃	東陽幹線立坑設置	五洋・青木あすなろJV	160
〃	足立区千住四丁目付近再構築	拓洋建設・ロード建設JV	189.47
山梨県	国道300号波高島T	齋藤建設・近藤工業・砂田建設工業JV	1,350
〃	国道139号松姫T大月工区	ハザマ・銭高・アイサワJV	1,998
滋賀県	琵琶湖流域下水道湖南中部守山栗東雨水幹線古高工区管渠	清水・戸田・昭建JV	3,240
〃	〃 東北部彦根第二幹線河瀬工区管渠	三東・谷庄JV	770
〃	甲西ライン菩提寺工区送配水管移設	丸杉建設	369.8
京都府	府道泉宮脇線地方道路交付金工事(仮称・下吉田T)	吉村・丹波・松村JV	988
鳥取県	奥日野広域農道(仮称)豊栄T	竹中土木・今田組JV	762
愛媛県	国道379号川登T	二神組	555.5
〃	二級河川出海川水系出海川総合流域防災(出海川放水T)	西田興産	294.2
仙台市	中野第3号雨水幹線工事6	地崎工業・熱海建設興業JV	432
横浜市	南部処理区弘明寺地区下水道再整備(その2)	工藤建設	223.63
〃	〃 根岸地区下水道再整備(その14)	宮内建設	135.8
〃	小雀6号配水池築造	鹿島・イワキ建設JV	1,300
〃	栄処理区柏尾雨水幹線下水道整備	石田建設	169.5
名古屋市	元鳴尾雨水幹線下水道築造	西松・西武・小島JV	610
〃	白水町雨水幹線下水道築造	大林・熊谷・日本国土JV	2,610
〃	地下鉄6号線延伸徳重第1工区	清水・西松・鉄建JV	6,210
〃	〃 第2工区	鹿島・戸田・東急JV	5,960
〃	〃 鳴子北駅工区	ハザマ・東亜・大本JV	1,950
〃	〃 相生山工区	前田・三井住友・浅沼JV	2,550
広島市	井口地区下水道築造17の2	新井組・竹田組JV	764

施工

情報化施工を用いた16万m³地下空洞掘削工事

—九州電力 小丸川地下発電所—

九州電力(株)小丸川発電所建設所発電所工事区工事区長 柏木雄二

九州電力(株)小丸川発電所建設所発電所工事区主任 高森重治

九州電力(株)小丸川発電所建設所発電所工事区 江口聡一郎

(株)間組・(株)熊谷組・飛鳥建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体小丸川作業所所長 小林康夫

1 はじめに

おまるとわ
小丸川発電所は、宮崎県の中央部を東へ流れる一級河川小丸川において、その支流大瀬内谷川の

最上流部にアスファルト表面遮水壁型ロックフィルダムを築造して上部調整池とし、小丸川本流部にコンクリート重力式ダムを築造して下部調整池とし、この間を約2.8kmの水路で連絡し、有効落差646mを得て最大出力120万kWの発電を行う純揚水式発電所である。図-1に小丸川発電所位置図を示す。

本稿は、情報化施工を用いた地下発電所空洞掘削工事の施工について報告するものである。なお、小丸川発電所全体の計画については既報告の文献1)を参照されたい。

2 工事概要

地下発電所空洞(以下、本体空洞と記す)は、掘削幅24.0m、掘削高さ48.1m、最大長さ188.0mであり、最大断面積約1,000m²、総掘削量約16万m³



図-1 発電所位置図

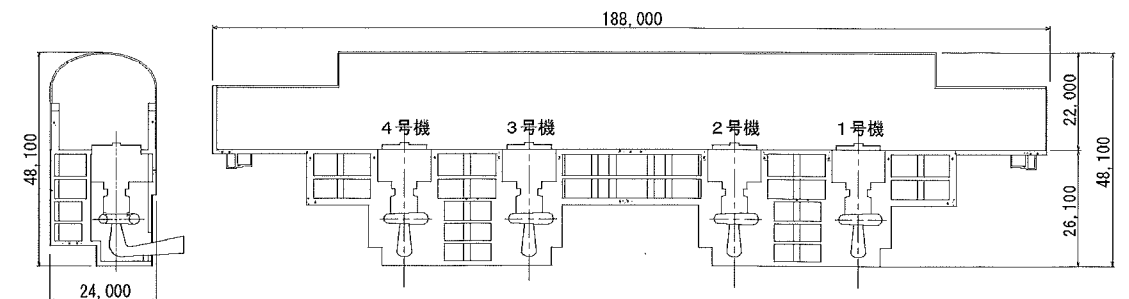


図-2 発電所構造図

の規模である。図-2に発電所構造図を示す。

本体空洞の横断形状は、アーチ部をコンクリートで覆工するきのこ形、近年の岩盤力学の進歩やNATMの普及などを背景とする弾頭形および卵形の3形状について比較検討を行った結果、ゆるみ領域が小さく空洞の安定性が高いこと、掘削量が少なく経済的であること、アーチ部の工期が有利であることなどから、九州電力(以下、当社と記す)で初めて弾頭形を採用した。

3 地質概要

水路系ルート地質は、砂岩・頁岩からなる新生代古第三紀始新世～漸新世の四万十累層群の日向層群と、これにルート中央部ではほぼ直交する形で貫入している幅約300mの木城花崗閃緑岩の岩脈状岩体を基盤とする。発電所周辺の地質断面図を図-3に示すが、本体空洞はこの花崗閃緑岩の岩脈中に位置させている。

また、本体空洞周辺の岩級区分はおおむねC_H級であり、節理間隔5～15cmの細区分AⅢa岩盤を主体とし、その中に節理間隔15～50cmの細区分AⅡa岩盤が分布する。

4 掘削工法

本体空洞の掘削は、アーチ部の掘削と鉛直壁をなす盤下げ部の掘削に大別され、アーチ部の3ステップを完了後に盤下げ部13ステップを実施する計16ステップで掘削を行った²⁾。掘削ステップ図を図-4に示す。

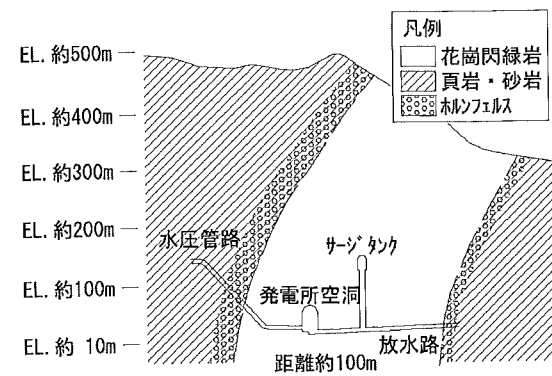


図-3 模式的地質断面図

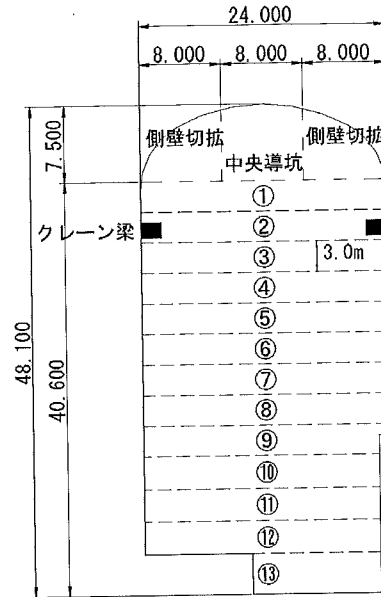


図-4 盤下げステップ

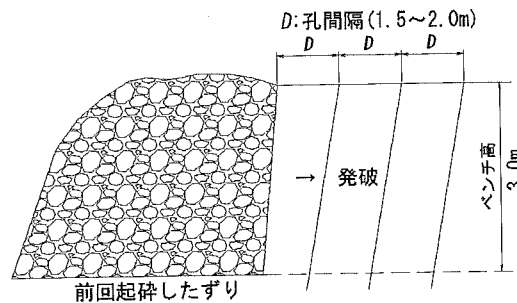


図-5 緩め発破概要図

アーチ部断面は、掘削幅24.0m、掘削高さ7.5mである。アーチ部の掘削手順は、坑外と本体空洞中段部を接続する工事用道路トンネルから途中で分岐して、アーチ部北側妻壁に連絡する作業坑を設けた後、幅8.0m、高さ7.5mの中央導坑を掘削後、左右の切掘げ掘削を行う中央導坑先進側壁掘幅工法とした。

盤下げ部掘削は、1ベンチ3mを基本とするベンチ発破を13回くり返す13リフト構成とした。このうち盤下げ掘削は、幅18mの中割部をベンチ掘削で行った後、側壁3m部分の切り掘げを実施する工法とした。

なお、今回のベンチ発破には発破したずりをそのまま残置して次の発破を行う緩め発破工法を採用した。緩め発破概要図を図-5に示す。緩め発破

は、飛石などを抑制することが可能なことから安全性が高く、また穿孔とずり積み込み作業を並行できるため効率化を図ることが可能である。その一方、緩め発破を行うことにより発破から支保完了までの経過時間が長くなるものの、その時間差が空洞の安定性に大きな影響を与えることは確認されなかった²⁾。

5 支保設計

当地点では大断面NATMの設計思想にもとづき、支保部材には吹付けコンクリート、ロックボルト、およびPSアンカーを用いた。

支保設計は、空洞全体に分布する不連続面の位置や挙動を、数少ない調査結果にもとづいて安全側で評価して設計する場合、支保量が增加して結果的に不経済となり得る。そこで、支保の設計を初期設計支保と後に述べる情報化施工にもとづく追加支保に分け、局所的に岩盤が不安定な箇所や不連続面で形成されるキープロックには個別に追加支保を施工することとした。すなわち、図-6のイメージのように、初期設計支保数量を最低限に抑制し、必要な箇所のみで岩盤補強を実施することで、全体として必要最小限の支保量で本体空洞を安定させることを目指した。

主要な支保部材となるPSアンカーの初期設計支保は、亀裂を含む岩盤を入力物性値で平均化した均質体としてモデル化し、二次元有限要素法解析結果により推定されるゆるみ領域を補強対象領域として設計した。その補強対象領域に対し、単位面積あたりの必要導入力を算定し、発破進行長などからアンカーの打設ピッチを設定した。設計

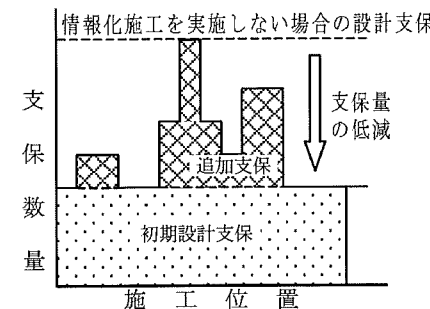


図-6 支保イメージ図

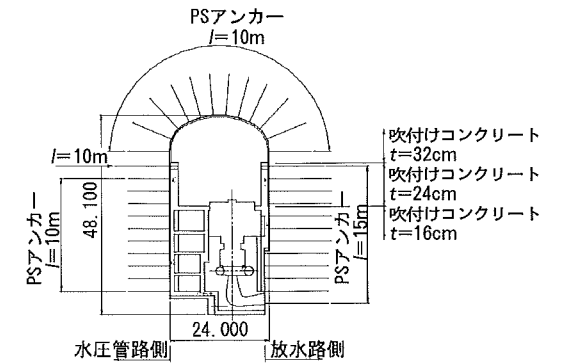


図-7 設計支保パターン

段階では、流れ目の亀裂が卓越する放水路側側壁部のゆるみの進展に備え、放水路側側壁部のアンカーをアーチ部および水圧管路側側壁部より深部で定着させることとした。

吹付けコンクリートは、切羽での肌落ちや崩落を防ぎ安定を図る支保層、長期的な支保の安定を図る支保補強層、外環境から支保層を保護する被覆層の3層構造を基本とし、目的に応じて吹付けコンクリート厚を決定した。ただし、発電機レベル以下の建物コンクリートで覆工される箇所については、覆工コンクリートが被覆層の効果を発揮すると考え、被覆層の施工を省略した。図-7に初期設計支保パターンを示す。

6 情報化施工管理

本体空洞掘削時の岩盤挙動管理には、施工の途上において地山の挙動を観察・計測し、その結果を分析して設計・施工に反映させる情報化施工管理を採用した³⁾。

6-1 埋設計測器による計測管理

6-1-1 埋設計測器の配置

埋設計測器による計測管理では、空洞全体の岩盤挙動を把握するため、図-8に示すように空洞長軸方向にほぼ均等に計測断面を設け、断面ごとに地中変位計、アンカー荷重計およびロックボルト軸力計を設置し計測を行った。なお、掘削高さ掘削断面が最大となるため、変形が大きくなると予測したA、B断面、および断面形状が異なるC断面の3断面を主断面とし、計測器を密に配置

した。代表してA断面の計測器配置図を図-9に示す。

6-1-2 計測管理システム

これらの全埋設計測器から得られる情報に対し、現地にて昼夜間連続して人力でデータ処理を行うことは困難である。そこで、1時間ごとに自動的にデータ収集・処理を行う現場計測室を設置し、現場計測室から約2km離れた坑外の請負者工事事務所、および請負者工事事務所から更に約5kmの場所に位置する当社の発電所建設所の3か所を工事用光ケーブルで連結して、データをリアルタイムで共有する計測管理システムを構築した。図-10に計測管理システム構成図を示すが、このシステムはデータ処理を自動で行うとともに、すべての計測値がデータベースとしてサーバー内に保存されているので、必要に応じて自由にデータを取り出すことができる。また、経時変化図や相関図などの図化処理メニューを標準で備えており、

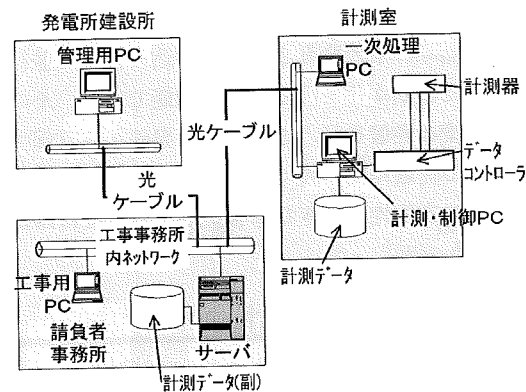


図-10 計測管理システム構成図

データ抽出時刻や計測器名を選択することで必要な資料を自動で作成できる仕様となっている。以上の機能は上記各事務所でも常時操作できるため、掘削中の変状発生時などには、当社・請負者が一体となって迅速かつ適切に分析・評価を行い、対策工実施に反映させることができた。

6-2 地質観察

地質観察では、切羽岩盤の性状、亀裂や湧水の有無を観察するとともに、連続性や走向・傾斜などの亀裂情報については、とくに入念に観察・記録を行い、キーブロック解析の入力条件や、特徴的な岩盤挙動の原因を追跡する材料とした。

6-3 予測解析

予測解析手法は、計測された挙動を再現するようにパラメータをセットし、その時点以降の挙動を新たに予測した。なお、計測管理の途上において、岩盤の挙動に影響を与えていると判断した亀裂については、解析モデルの修正・改良を逐次実施し、予測精度の向上に努めた。

6-4 管理基準

岩盤挙動管理は、原則として傾向管理と絶対値管理を併用している。

傾向管理は、変位速度など単位時間あたりの変化量で表現される経時変化率に管理レベルを設け、あらかじめ決められた管理方針に従い対処するものである。

絶対値管理は、累計の変化量に管理レベルを設けて管理するものであり、傾向管理と同様にあらかじめ決められた管理方針に従うものである。

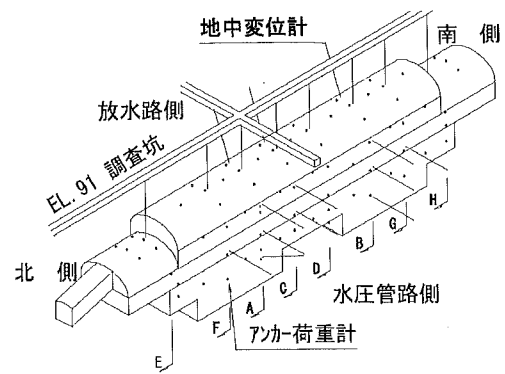


図-8 計測断面位置図

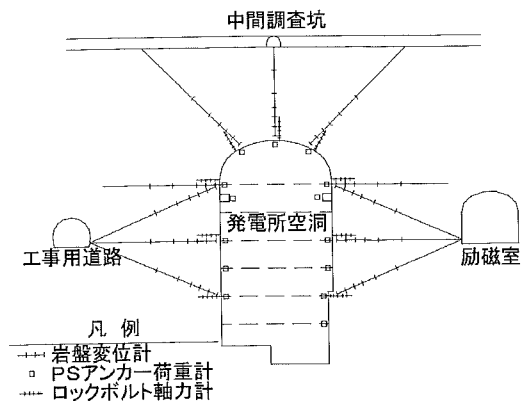


図-9 計測器設置断面図

また、これらの管理は対象となる期間に応じて、恒常的に継続して管理する日常管理と、掘削ステップごとの単位で管理するステップ管理に分けて設定している。

7 掘削実績

以下に本体空洞掘削時の岩盤挙動および岩盤補強実績を示す。

7-1 アーチ部掘削実績

アーチ部の岩盤挙動は、AⅢa岩盤が主体となる部位の断面の総変位量が、AⅡa岩盤が主体となる部位の断面の総変位量と比較して約2倍となるなど、延長188mの空洞長軸内で総変位量が大きく異なる分布傾向を示した。

アーチ部の補強は、破壊モードが落下主体であるため極力早期に対策工を実施することとし、掘削の進行に伴う計測管理結果と切羽での地質観察結果の分析を迅速に行うことに努めた。

また、盤下げ掘削開始後は補強が困難となることから、計測結果、亀裂情報の分析結果および予測解析結果から補強対象領域を若干見直し、盤下げ掘削移行時にPSアンカーの増し打ちと既設アンカーの荷重調整(増し締め)を主とする最終補強を実施した。

7-2 側壁部掘削実績

側壁部の岩盤挙動は、初期設計段階では、本体空洞内でもっとも卓越する不連続面である北西走向・南西傾斜が流れ目となる放水路側側壁における岩盤すべりを懸念した。しかし、結果としては差し目となる水圧管路側側壁部の変位増加が顕著となる挙動を示した。水圧管路側側壁部の変位増加が顕著となった原因は、地質観察結果および埋設計測器の挙動から、卓越した高角度不連続面が開き、空洞側に倒れ込むことによって生じたものである可能性が高いと推察している。

側壁部の補強は、破壊モードが岩盤すべりであり、アーチ部と比較して徐々に破壊が進行すると考え、空洞壁面での地質観察結果や周辺の計測管理結果の分析を詳細に行い、補強対策範囲幅、高さ、奥行きを岩盤ブロックとして極力限定し、必

要な時期に必要な数量の補強対策を講じることに努めた。以下に、盤下げ掘削10リフト完了後にA断面水圧管路側側壁部で実施した補強例を記す。

7-3 岩盤補強例

A断面水圧管路側側壁部盤下げ掘削5リフトに設置した地中変位計AD-6の計測値増加に対して、PSアンカーの増し打ち補強を6、7リフト掘削時の2回実施して、その後の掘削を行った。しかし、局所的な地質不良箇所が存在し10リフト掘削後も変位の発生が継続したことから補強を行った。

7-3-1 補強工法

10リフト盤からもっとも変位が発生している5リフト盤まで高低差は15mである。この場合、5リフト周辺にPSアンカーを施工するためには、長期間にわたる掘削作業の中止、仮設足場の設置、アンカー穿孔機械として通常のクローラドリルに代わるボーリングマシンの採用が必要となるため、対策工に要する期間と対策工の速効性の観点から問題が多い。そこで、図-11に示すように現状の10リフト盤に高さ約4mのずり盛土を施工し、ずり盛土上から盤下げ掘削8、9リフトに位置する高さに帯状かつ密に長尺のPSアンカーを重点的に配置する案を採用した。この案を採用した理由は、対策工実施に要する期間が短いことから速効性も期待できること、および帯状かつ集中的にPSアンカーを打設することによって、11～13リフト掘削時に側壁上部に伝播する影響を極力低減する効果が大きいと判断したからである。なお、この補強実施後も変位発生が継続する場合には、掘削作業を長期的に中断して5リフト周辺を補強する計画とした。

したがって、補強完了後の盤下げ掘削再開時には、岩盤挙動を注意深く監視するために以下のリスク管理を実施した。

① 分割発破の採用

発破時の掘削応力開放領域を極力小さくし、変位発生を抑制することを目的として分割発破を実施した。

具体的には、10リフト以降の盤下げ掘削においては、水圧管路側壁側において幅5m×

延長 5m×ベンチ高さ 2mに分割して発破・支保工を実施した。

② 重点的な計測監視

発破のつど、変位状況を確認し施工を進めた。変位状況の監視には、発生変位量が収束傾向にあるかどうかの傾向管理を重要視した。同時に、追加して打設したPSアンカーについてもアンカー荷重計を設置して、補強範囲の面的な岩盤挙動を監視した。

7-3-2 補強結果

A断面水圧管路側側壁部盤下げ掘削 5リフトに設置した地中変位計AD-6の経時変化図を図-12に示す。対策工の実施により、11リフト以降の掘削によるAD-6における変位は収束傾向にあるこ

とが確認できる。

今回の補強は、対策に要する期間を極力短縮し、補強後の掘削作業にリスク管理を実施して、安全かつ効率的な岩盤補強を行った。その結果、最終リフトまでの掘削を継続実施することができた。

図-13に掘削完了時の発電所空洞PSアンカー実績図を示す。

平成15年2月の掘削完了後の本体空洞内の工事も順調に進捗し、現在ではコンクリート構築工事もおぼろげに完了している。

また、本体空洞掘削完了後の岩盤挙動は、時間の経過とともに徐々に収束しており、掘削完了から約3年が経過した現在、本体空洞は安定していると判断している。

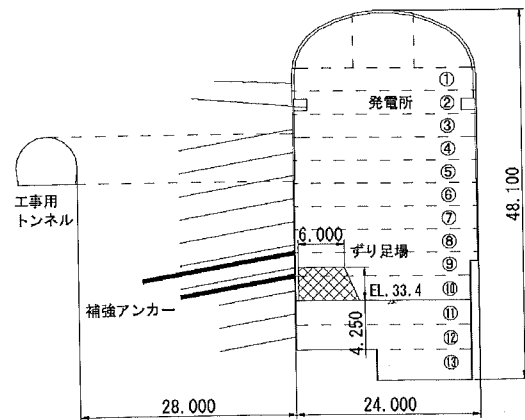


図-11 補強対策図

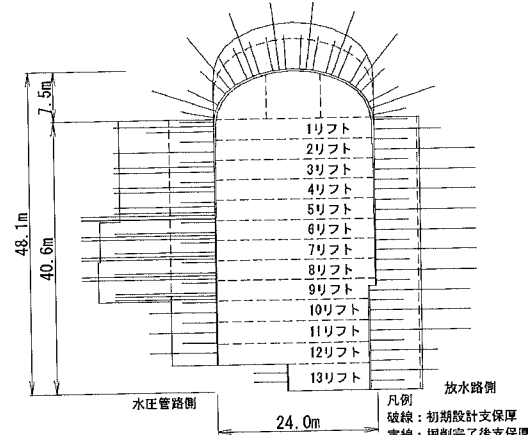


図-13 アンカー打設実績(断面図)

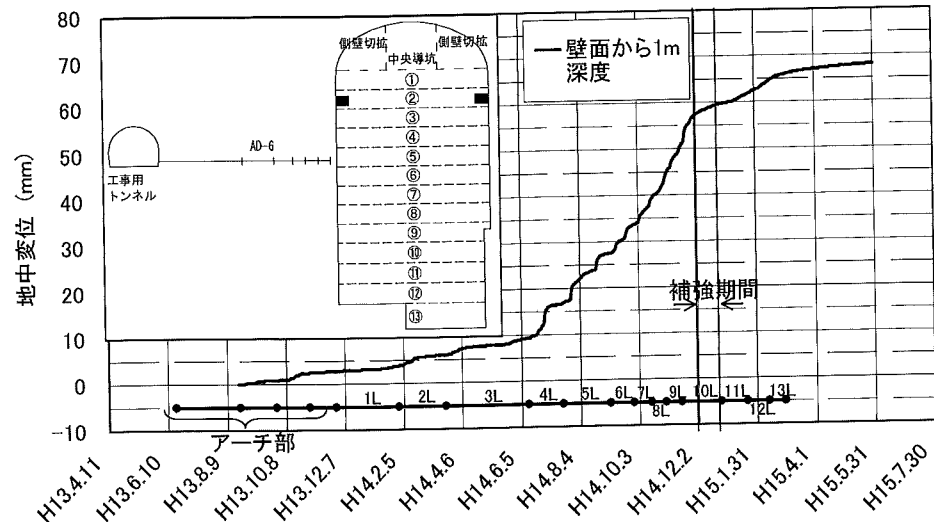


図-12 地中変位計(AD-6)計測値経時変化図

8 おわりに

大規模地下空洞掘削工事であった小丸川発電所地下発電所空洞掘削工事は、弾頭形の断面形状に対し、大断面NATMにもとづく支保設計を実施した。本体空洞掘削工事の施工管理には、当社で初めて本格的な情報化施工管理を採用し、発注者と請負者が一体となった施工管理を工事期間中継続して実施した。その結果、掘削期間中切羽を停止することなく、適切な追加補強を行って順調に掘削を完了することができた。

しかしながら、今回の情報化施工管理の運用にあたっては、変位計測結果および地質観察結果に大きく依存したところがあるため、今後は地質の状況に応じて、計測断面や埋設計測器を適宜追加設定することで、より効率的な岩盤補強を行うことができると考える。

参考文献

- 1) 田中征夫：小丸川発電所の計画と調査設計，電力土木，No.282，pp.29-33，1999.7.
2) 市丸義次・河邊信之・西村毅：大規模地下空洞盤下げ掘削における緩め発破工法の適用について，土木学会第58回年次学術講演会講演概要集，VI-015，pp.29-30，2003.9.
3) 鶴田正治・河原田寿紀・日高英介：小丸川地下発電所の設計解析と情報化施工計画，電力土木，No.300，pp.114-118，2002.7.
4) 柏木雄二・河原田寿紀・日高英介：小丸川発電所地下空洞の情報化施工，電力土木，No.307，pp.53-57，2003.9.
5) 河邊信之・園田利美津・江口聡一郎・西村毅：大規模地下空洞における情報化施工の適用と実施結果について，トンネル工学報告集，Vol.15，pp.175-180，2005.12.
6) 柏木雄二・園田利美津・江口聡一郎：小丸川発電所新設工事のうち地下発電所空洞の設計と施工，電力土木，No.319，pp.55-59，2005.9.

『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、本誌編集委員会が審査のうえ決定します。
4. 掲載論文については当社規定の原稿料をお支払いいたします。
5. 原稿は、原則として返却いたしません。(注：「現場だより」の投稿は受付けておりません)
送付先 株式会社土木工学社 編集部 投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

トンネル ジャーナル

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

φ3,500mm推進工事完了

横浜市環境創造局発注の「西部処理区瀬谷飯田雨水幹線下水道工事」(横浜市泉区)で国内初のφ3,500mmの超大口径推進工法を適用し、高精度に掘進を完了した。

工事は、境川沿いの浸水解消を目的として、既設雨水幹線と境川を結ぶ路線延長194.5mを泥土圧式推進工法で掘進するもので、工場製作した2分割のセグメントを現場で搬入・組み立てを行い、既設シールドや地中埋設管への影響を防止するため、低推力で掘進を行った。

環状2号日比谷通り交差部の設計業務に着手

東京都は、2009年度中に完成を目指している「環状第2号線汐留〜虎ノ門区間」(延長約1.5km)のうち、日比谷通りと交差する地点の設計業務に着手する。

交差部の地下には、都営三田線、芝共同溝、大規模な上・下水道などがあり、交通量の多い幹線道路直下で地下鉄への影響を抑え、共同溝や上・下水道の移設など、都市土木技術の粋を集めた工事になると予想される。

外環道都内区間のトンネル工法概要計画

東京外かく環状道路(外環道)の都内区間である関越道〜東名高速間延長約16kmのうち、トンネル構築に採用が想定されている工法の内容が明らかになった。

計画では、本線をNATM、シールド、函体推進、開削の4工法を組み合わせる構案としている。シールドと函体推進の施工区間は、現在検討中であるが、NATMは、JCT、ICの手前で本線の分合流が必要に

なる8か所2.3kmを、開削はNATM前後の約4km程度を想定している。

和田山八鹿道着工へ

近畿地方整備局豊岡河川国道事務所は、北近畿豊岡自動車道の養父市八鹿町高柳の八鹿IC(仮称)から朝来市和田山町市御堂の和田山JCT・IC(仮称)間に建設を予定している「和田山八鹿道路」(延長13.7km)の工事に2006年度から着手する方針を固めた。

同道路は、トンネル5か所、橋梁6か所など構造物が全体の4分の3を占める。トンネルは、八鹿トンネル(延長約3,000m)、畑トンネル(延長約1,800m)、上谷トンネル(延長約1,500m)、別所トンネル(延長約1,500m)という1,000mを超えるトンネルが4本と枚田トンネル(延長約600m)がある。

大和北道路のルート選定

近畿地方整備局奈良国道事務所は、大和北道路有識者委員会(委員長:斎藤峻彦・近畿大学教授)が推奨した案の中から「西九条佐保線地下+高架案」を選定し地元自治体と合意した。

同道路は、京奈和自動車道木津IC〜西名阪自動車道郡山IC(奈良市歌姫町〜大和郡山市横田町)を結ぶ延長12.4kmで、うち地下区間が4.5km、高架区間が6.5km、地表区間が1.4kmで計画されている。地下区間はシールド工法で建設する予定。

共同研究を行う事業者募集

土木研究所は、「山岳トンネル工事で機械掘削する際の粉じん低減に関する研究」と「下水汚泥焼却灰を再利用した改良土による埋設管の耐震対策」の2件で共同開発を行う事業者を募集する。

前者は、断面が50〜90m²、地山強度が40N/mm²のトンネルで機械掘削時の粉じん濃度を3mg/m³に抑えるための方法などを開発する。

後者は、現地発生土と下水汚泥焼却灰を再利用した改良土の品質・施工管理手法などを研究し、環境安全性や耐震性の評価・対策マニュアルの開発を行う。

募集要領などはホームページ(<http://www.pwri.go.jp>)に掲載している。

東京湾口道路建設促進へ

神奈川県は、神奈川県横須賀市と千葉県富津市を結ぶ「東京湾口道路」の建設推進への取り組みを本格化させる。

同道路は、東京湾岸道路や東京湾アクアラインなどとともに東京湾を8の字に結ぶ環状道路の要として位置づけられており、東京湾をまたいで横須賀市と富津市間約17kmを結ぶ路線。現在、国が橋梁案とトンネル案で技術調査を行っている。首都圏の経済発展に東京湾の物流機能の向上が必要であり、地元の官民で組織する「三浦半島地域高速道路建設促進期成同盟」に松沢知事(神奈川県)が顧問として参加し、国などへの働きかけを行っている。

大深度地下の建設技術提携

鹿島、三菱重工業、川崎重工業の3社は、地下40m以深のシールドトンネルの地中拡幅と分岐合流の施工技術で提携した。

鹿島が開発した地中拡幅工法と分岐合流工法をベースとして施工効率を一段と高め、より低コスト・短工期の技術開発を進める。すでに3社間で契約書を締結し、シールドの開発に着手しており、2006年度中には実証実験を始める。

計画

単線並列シールドから複線山岳トンネルへの移行

—横浜環状鉄道 駒林工区・日吉駅工区—

横浜市交通局高速鉄道建設部理事兼高速鉄道建設部長 萩野 幸男
横浜市交通局高速鉄道建設部設計課課長補佐兼設計係長 谷 畑 一行
横浜市交通局高速鉄道建設部設計課設計協議係長 橋 本 芳 実

1 はじめに

横浜市では、市域の交通利便性の確保を図るとともに、首都圏の業務核都市の形成と市内のバランスある発展を支えるため、横浜環状鉄道の整備を進め、横浜駅を中心とする既存の放射型鉄道と合わせ、放射環状型の鉄道ネットワークの形成を目指している。

横浜環状鉄道は、臨海部と内陸部を結び環状方向の移動を支える路線で、元町付近から横浜市の副都心として位置づけられている上大岡、二俣川、港北ニュータウンセンター地区を経て鶴見に至る路線である。

横浜環状鉄道中山〜日吉間は、横浜環状鉄道の一部区間として、横浜市交通局が平成13年に工事着手し、平成19年開業を目標に現在鋭意工事中の路線であり、土木工事の進捗率は平成17年度末で約80%となっている。土木工事が完成した区間から順次軌道工事、電気工事などを進めており、本年夏には、センター南・北駅間で新造車両による試験走行を開始す

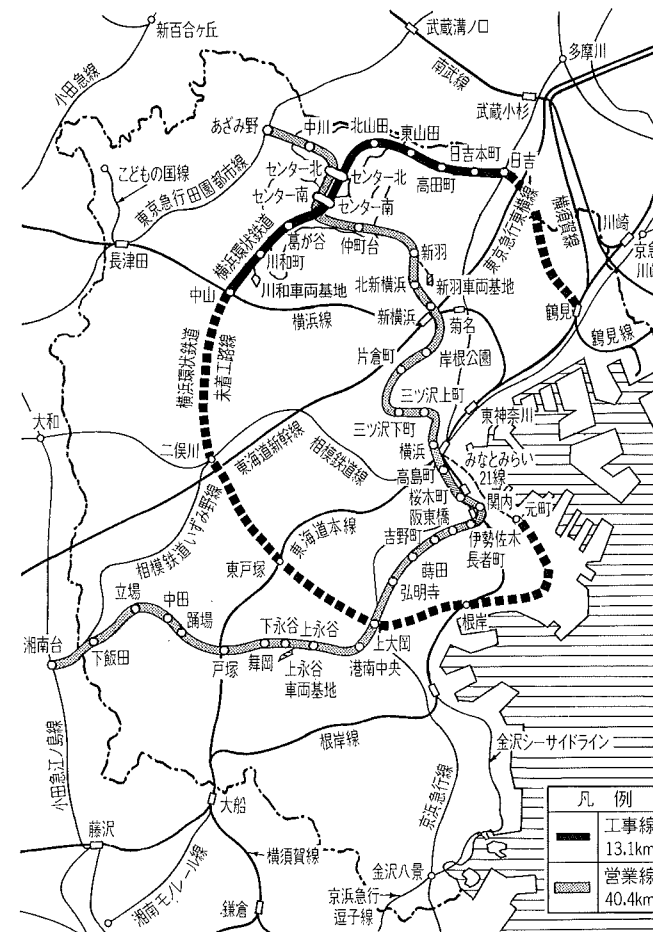


図-1 市営地下鉄路線図

る予定である。

この路線の整備により、市北部の港北ニュータウンと既成市街地との交通利便性が改善され、港北ニュータウン地区をはじめ沿線地域と東京方面のアクセスは、既設の市営地下鉄路線(あざみ野～センター北～センター南～新横浜～横浜～湘南台、営業延長40.4km)などと相まって、飛躍的に向上するものと期待されている(図-1)。

本稿は、横浜環状鉄道中山～日吉間の建設事業のうち、現在工事中の日吉駅～日吉本町駅間において、わが国でおそらく初めてとなるシールドトンネル工法から山岳トンネル工法へ地中で移行する駒林トンネルおよび日吉駅において、大断面駅部山岳トンネルを採用した経緯や計画ならびに設計方法などについて述べるものである。

2 計画概要

横浜環状鉄道中山～日吉間は、横浜市北部の緑区、都筑区、港北区を通過する路線で、緑区から中山から北上して、土地区画整理事業として旧日本住宅公団(現 都市再生機構)が地元および横浜市と協調して施行した港北ニュータウン区域を通り、都市計画道路日吉元石川線の道路下を東進して日吉に至る延長13.1kmの路線である。

本路線は既存の放射状の鉄道路線を結ぶことか

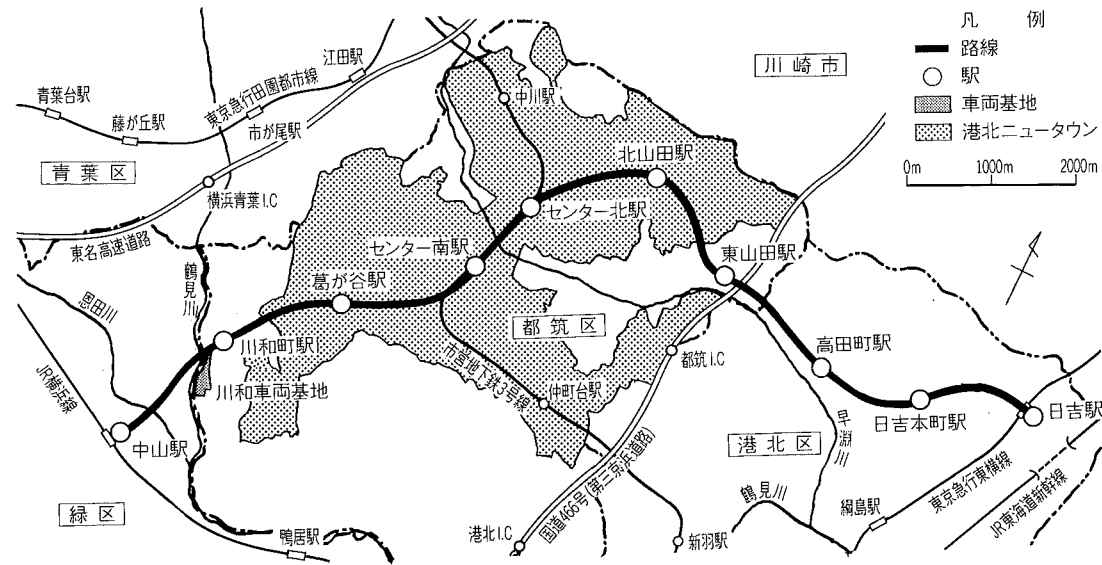


図-2 路線平面図

ら、需要に見合う小型車両を採用するとともに、起伏に富む地形の中で、急勾配に対応できるリニアモーター推進方式を採用している。

中山駅と日吉駅の間、川和町、葛が谷、センター南、センター北、北山田、東山田、高田町、日吉本町の各駅の計10駅を設置する。車両基地は、川和町駅付近の鶴見川沿いの地上部に設け、基地の地下の一部に神奈川県の鶴見川遊水地(貯水量約125,000m³)を一体整備し、事業用地の有効活用と建設費の縮減を図っている(図-2)。

本事業は、①安全性の向上、②経済性の発揮、③利便性の向上、④環境保全などを基本的な考えとして計画を策定し、路線計画にあたっては、利便性の確保と建設および運営費の低減を図るため、リニアモーター推進方式の長所を生かし、駅を極力浅い位置に設置するよう計画した。このうち、葛が谷駅、東山田駅、日吉本町駅は、ホームは地下に設けるが、改札口を地上に設け、地域のランドマークとなるよう地上駅舎とし、利用者にわかりやすい駅構造となっている。駅間の地下部分はシールドトンネル工法が主体となっており、単線並列が5区間、複線断面が2区間となっている。また、周辺環境へ配慮しつつ、経済的な地上・高架構造を18%(2.4km)の区間で採用している(図-3参照)。

両端の日吉駅と中山駅では、それぞれ東急東横

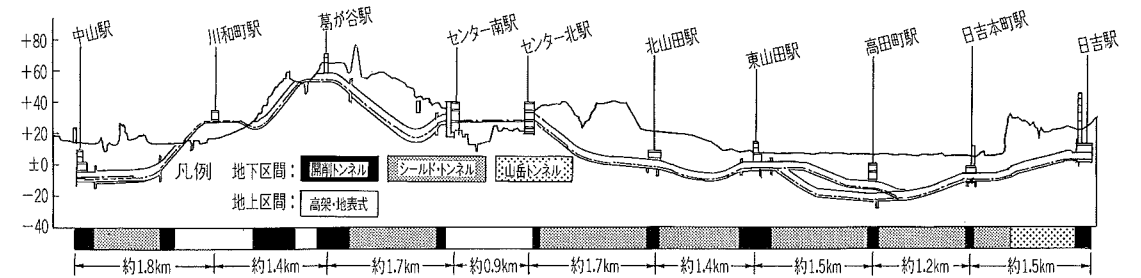


図-3 路線縦断面図および構造形式

線とJR横浜線との乗り換え駅となるが、関係鉄道事業者の協力を得て、乗り換えにあたっては地上に出ることなく、直接他鉄道のプラットフォームに乗り換えるよう計画しており、乗り換え時は、日吉駅で約2分、中山駅で約3分である。また、運転はワンマン運転方式を採用し、可動式ホーム柵を設置する計画としている。

3 地形・地質概要

本路線が位置する緑区、都筑区、港北区は、多摩丘陵の端部にあたる地域であるため、高地と低地が複雑に入り組んでおり、路線を横断あるいは並行する形で鶴見川の本流と支流が流れている。

沿線の地形は、下末吉台地と呼ばれる洪積台地と鶴見川水系沿いの沖積低地などからなり、標高差約70mと起伏に富んだ地形となっているが、港北ニュータウン区域では区画整理により、原地形は大きく改変されている。

沿線地域の地質は、上総層群を基盤として、台地部分の表層地質は相模層群に属する下末吉ローム層と多摩ローム層となっており、低地部分の表層地質は鶴見川水系の河川活動により形成された沖積層の粘土層、シルト層となっている。

4 単線並列シールド工法から複線山岳トンネル工法への地中移行

4-1 概要

当該区間は、日吉駅から日吉本町までの約1.3km区間にトンネルを築造するもので、この区間の地形は、日吉駅から約1kmまでが標高25~30mの比較的平坦な台地であり、1km付近で標高

30mから標高約5mまで急傾斜で変化している。その先、日吉本町駅までは標高5~10mの低地帯が続いている(図-4)。

トンネル上部の土地利用は、日吉駅から約400mまでは近隣商業地域(建ぺい率80%、容積率300%)で駅前商店街となっており、7~10mの道路沿いに4階層を中心とする基礎杭を有するRC構造の建物が存在する(写真-1)。

これより先の区間は「第1種低層住居専用地域(建ぺい率30~60%、容積率60~100%)」となっており、日吉本町駅まで続いている。

トンネルは、導入空間のある日吉駅の商店街の道路下を通るものの住宅地では民地下に敷設している。

近隣商業地域、第1種低層住居専用地域ともに建物が密集しており、かつ道路は生活道路の幅員の狭いものが多くを占めている。

以上述べたような地形、土地利用のため、平面線形においてはできるだけ堅牢建物を避け、道路下の公共空間の活用を基本としたルートを選定すると同時に運転時間の短縮を図れるよう曲線半径R=400mを確保できるような線形(図-5)とした。



写真-1 日吉商店街より日吉駅を臨む

地質層番号	記号	地層名
新 生 代	F	礫土・粗土
	Ac1	相模層・相模礫土
	Ac2	砂質土層・シルト質土
	Ac	砂質土層
	Ag	高砂質層
	Lo1	ローム
	Lo2	凝灰礫土
	Do1	砂質シルト
	Do2	砂質土・埋積礫土
	Ds	礫砂
第 四 紀	Dc	砂礫
	Kc	風化凝灰
	Ka	砂質土・砂質シルト
	Kp	礫石・砂質シルト
	Ks	礫砂

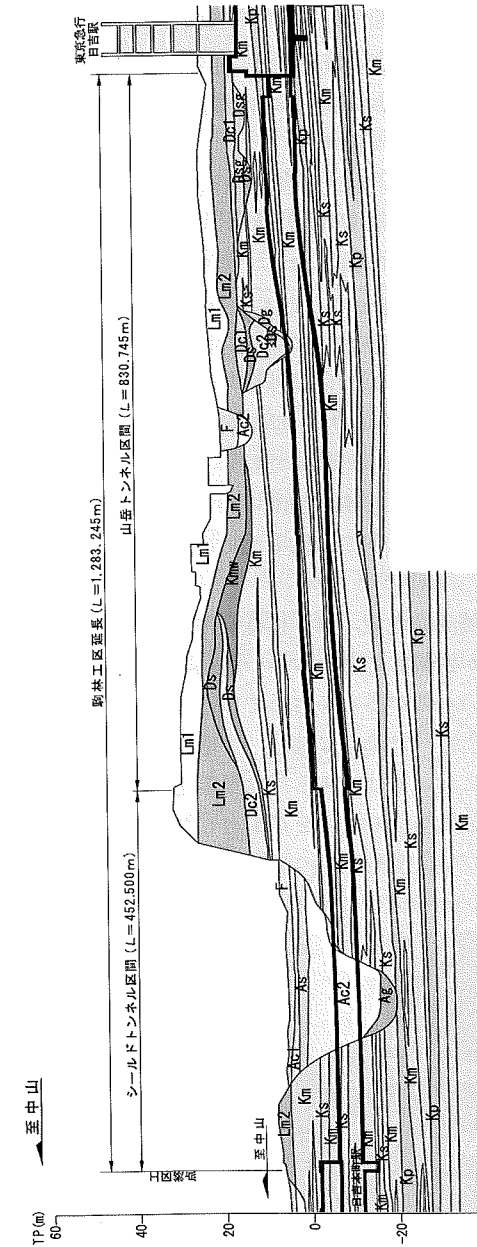


図4 駒林工区地質縦断面図

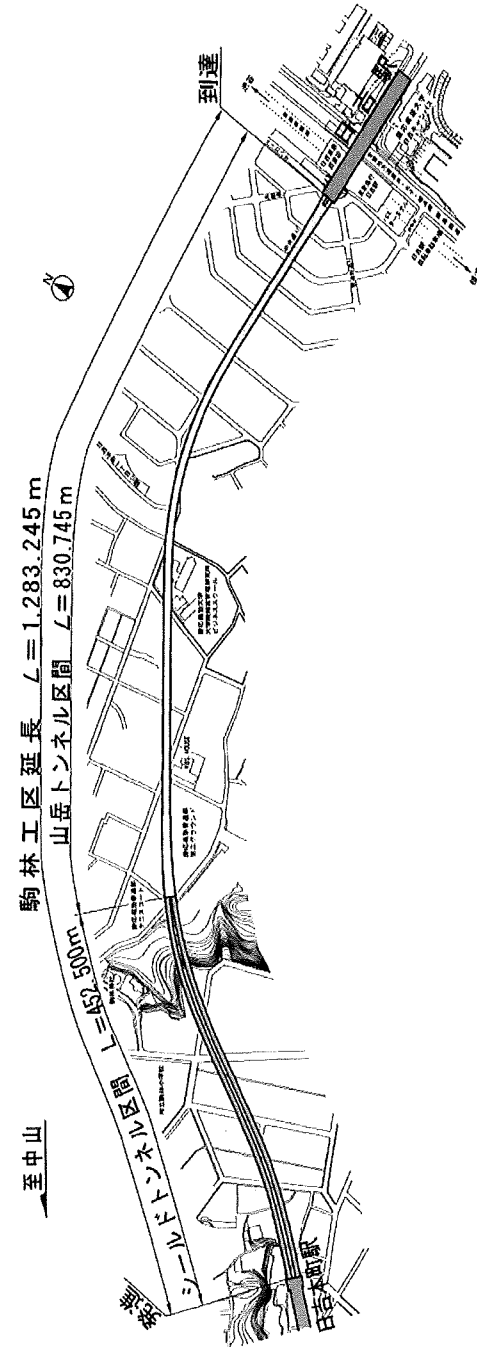


図5 駒林工区平面図

なお、縦断線形については、日吉駅から日吉本町駅に向かって下り勾配となり、両端の駅との接続、排水勾配に配慮するとともに、鉄道供用開始後の環境などに配慮して土かぶりをできるだけ確保することとして、0.2~3.2%の勾配を採用した(図-4)。

4-2 地質状況

(1) 日吉駅から1km地点の区間

当区間の台地の部分の地盤構成は、地表よりローム層・相模層(D)が層厚5~15m程度で基盤層上を覆っている。約400~500m付近においては、U字状の埋没谷が存在している。基盤層は上総層(K)の泥岩を主体とする細砂層との互層である。トンネルは基盤岩のかぶり0~20mの位置を通過する。なお、基盤内の細砂層は、1.3kgf/cm²の間隙水圧を有する(図-4)。

(2) 1km地点から日吉本町駅間

当区間については、一部旧河道、開析谷が存在し、沖積層が深いところで約17mまで達している。地盤構成は基盤層を直接沖積層が覆っており、上位より有機物、砂質土、シルト、基底礫層が薄く分布する。沖積層はいずれも軟弱で、基盤層は泥岩を主体とする細砂層との互層である。トンネルは沖積層の開析谷部を通過する(図-4)。

4-3 工法の選定

当該区間のトンネルの施工方法については地質状況、地上の土地利用状況、鉄道線形などを考慮して次のような工法を選定した。

(1) 日吉駅から1km地点の区間

- 地上部：商店街・民地
- 地質：上総層群の泥岩で上部は洪積層、ローム層
- 線形：日吉駅は島式ホームでその手前に折り返し機能として渡り線を設置(線間変化)

当区間では、多くの建物移転を伴う開削工法は地上状況および深度から採用は困難であり、シールド工法では、①渡り線での線間変化部の対応が難しいこと、②単線並列シールドトンネルでは民地部の用地取得面積が多くなること、から採用は

きわめて困難である。このため、③地質が強度の高い上総層群で切羽の安定が図れること、④上総層群の泥岩と細砂層との比率が3:1以下で地下水の供給が少ないこと、⑤基盤層の上部が洪積層かローム層のため地表面沈下が生じにくいこと、⑥渡り線部の拡幅工事が容易であること、などから山岳トンネル工法(NATM)を採用することとした。

(2) 1km地点から日吉本町駅間

- 地上部：民地(建物あり)
- 地質：沖積の開析谷が存在
- 線形：日吉本町駅は島式ホーム

当区間では、開削工法は地上の土地利用状況から採用はきわめて困難であり、山岳トンネル工法は開析谷部の軟弱層を全断面で通過するため施工が難しいことから、施工延長が約450mと短い、①線形、②地質、③民地下の通過、などを考慮し単線並列シールドトンネルを採用することとした。

4-4 工事概要

- 工事件名：高速鉄道4号線駒林工区土木工事
- 工事場所：横浜市港北区日吉2丁目~日吉本町5丁目まで
- 工期：平成14年3月~平成18年6月
- 工事内容：工事延長 1,283m
 - 単線並列シールドトンネル 452m
 - 複線山岳トンネル 817m
 - 単線並列山岳トンネル 14m

4-5 シールドトンネル工法から山岳トンネル工法への移行地点の検討

(1) 地質

基盤層内など自立性が高く安定した地質であることが望ましく、また、山岳トンネル工法による切り掘りを行うため地下水を含む砂質土層を避けることも望まれる。とくに、切り掘り施工時の地下水位低下の影響が1k100m付近から日吉本町駅側にある沖積層の開析谷への影響を及ぼすことのないよう考慮することが重要である。

(2) 移行地点の山岳トンネル掘削時における地下水の影響範囲

工事中に排水を伴う山岳トンネル工法は、地下

水位の低下による地盤沈下を避けるため、開析谷まで地下水低下が及ばない影響範囲を検討し移行する地点を決定する必要があり、以下により検討を行った。

① 検討方法

検討のフローは図-6による。

② 計算モデル

計算モデルの概念図を図-7に示す。

③ 帯水層の透水係数

地質調査の結果 Ks層の透水係数 k は 10^{-3} cm/secで、Km層の透水係数 k は 10^{-5} cm/sec程度であり、もっとも大きな地下水位低下となる場合を想定し 10^{-3} cm/secの場合で検討した。

④ 検討結果

影響範囲は約100mとなり、沖積層の開析

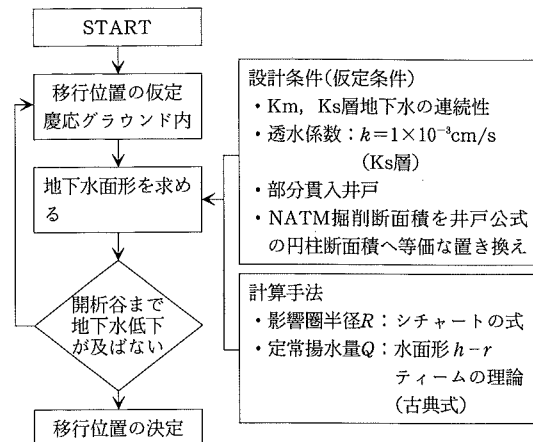


図-6 検討フロー

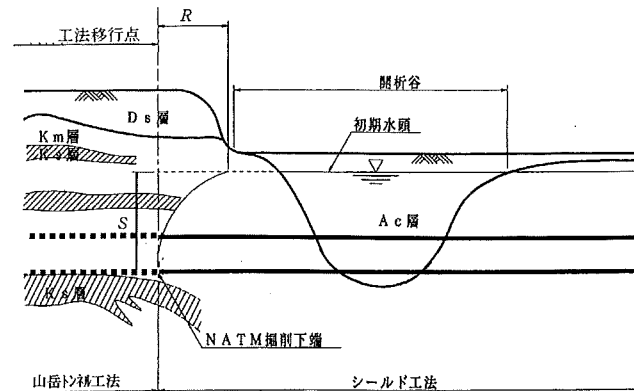


図-7 計算モデル概念図

谷へ影響を及ぼさないことがわかった。

(3) 土地利用

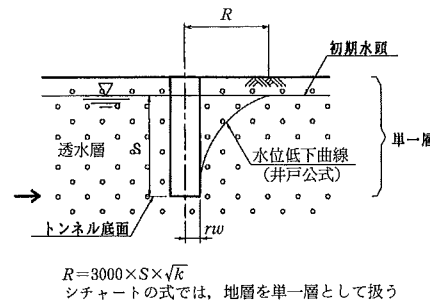
移行地点の地上部は、単線並列シールドトンネルから複線山岳トンネルへの移行に際し、地盤改良などの補助工法が必要になったときでも、対応しやすい土地利用状況下であることが望ましいと考えた。

(4) 中間立坑の検討

単線並列シールドトンネルから複線山岳トンネルへの移行地点については、開析谷部より100m以上離すことが必要であり、付近にある学校のグラウンド内が考えられた。しかし、この付近は、①路線上の取り付け道路は狭小であり幹線道路まで距離があること、②頻繁に大型車両の進入ができない状況下にあること、③生活道路を工事車両の通路とすることは周辺環境に対して悪影響を及ぼすなど社会的にも問題が多いことから、中間立坑の設置は困難であると判断し、地中内での異種工法接続とした(写真-2)。



写真-2 移行部付近より日吉駅を臨む



4-6 山岳トンネル工法移行部の施工方法

単線並列シールドトンネル(外径5.7m・掘削断面積27m²)から複線山岳トンネル(掘削断面積107m²)に地中で工法変更し掘削を行う工事は事例がないが、これまでの山岳トンネル工法の技術と経験を生かし、中壁分割式掘削工法(図-8)を採用した。

移行部分の施工ステップを(図-9)、および掘削フロー(図-10)に示す。

2台のシールドを使ってほぼ同時に掘進し、A線のシールドを所定の位置まで掘削し後方設備を撤去・搬出した後、①地中で面盤を撤去・周囲掘削(24m²)・0基支保工建て込み・吹付け、②シールド坑内より、カッターローダーで徐々に拡幅しながら掘削、③通常の複線断面に使用する軟岩用トンネル掘削機などが待機できる位置約40mまで掘削、④拡幅断面掘削機械から通常断面機械に入れ替え、⑤通常掘削機械により徐々に拡幅しながら掘削、⑥掘削機を反転、

⑦シールドの到達地点へ向かって拡幅した区間の分割断面の中壁を撤去して本断面まで切り広げを行う。

移行区間の覆工厚は70cm、鋼製支保工(H-200×200)、吹付けコンクリート厚20cmで、補助工法(図-11)は、注入式フォアパイル(L=3m)

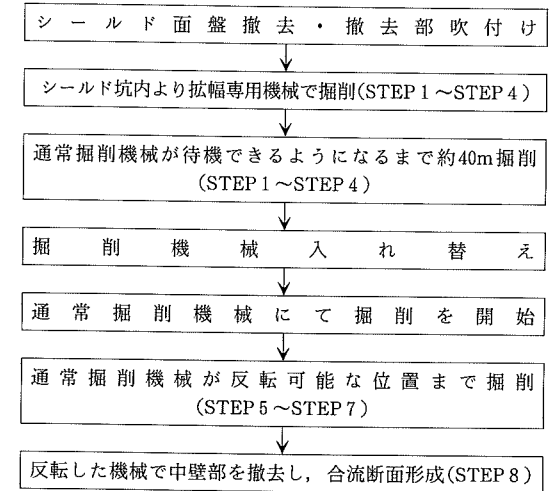


図-10 中壁分割式掘削フロー

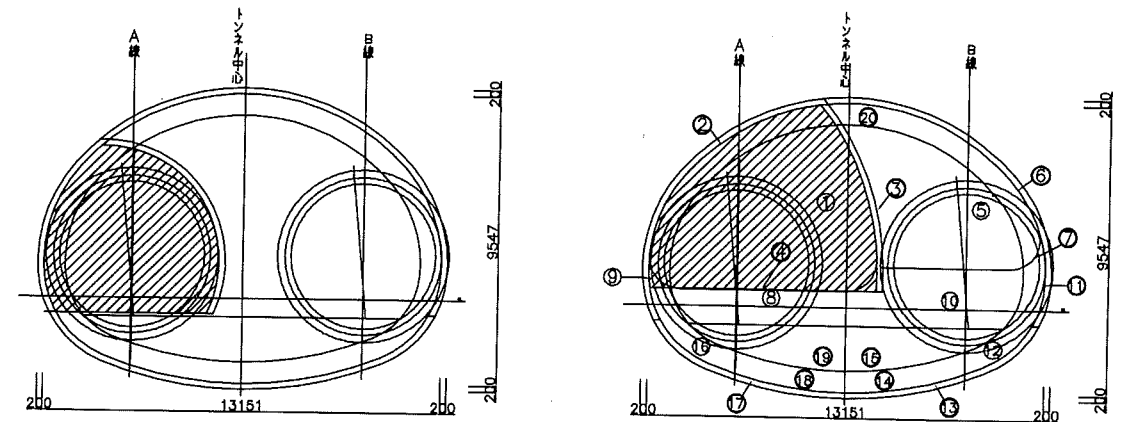


図-8 中壁分割式掘削断面図

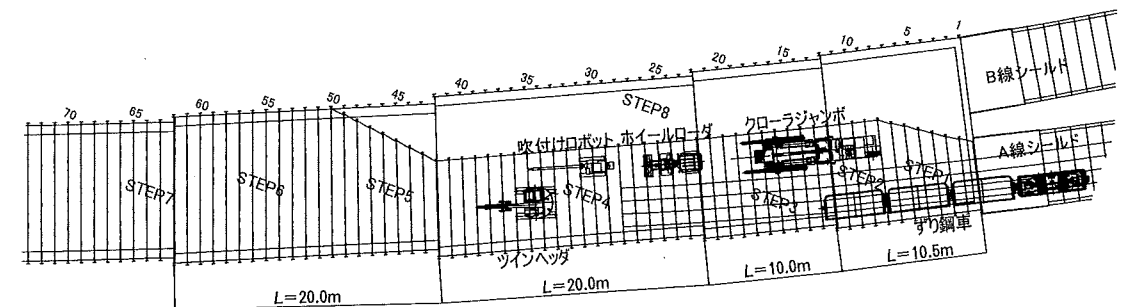


図-9 中壁分割式掘削ステップ図

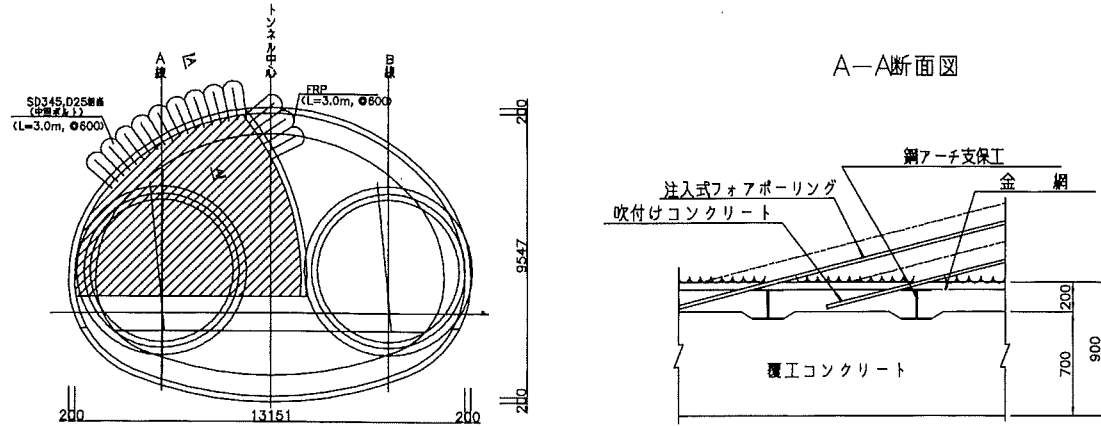


図-11 移行部掘削補助工法



写真-3 移行部施工状況

を使用し、中壁側については切削可能なFRPの材料を使用することとした。

なお、この区間の施工に関しては前例のない工事であることから、請負人の綿密な施工計画のもと、平成17年1月から工事に着手し、約5か月の時間を要したが、地下水位の低下など地上部への影響もなく計画どおり工事を進めることができた(写真-3)。なお、計測の結果については別途機会があれば報告したいと考えている。

5 駅部(日吉駅)大断面山岳トンネルの計画および設計

5-1 日吉駅の計画概要

日吉駅の周辺地域は、東急東横線を挟み西側に駅を中心とした放射状の街路網が整備され、駅に近接した区域は商店街が、商店街の外側は住宅地として整備されている。また、東側には慶應義塾

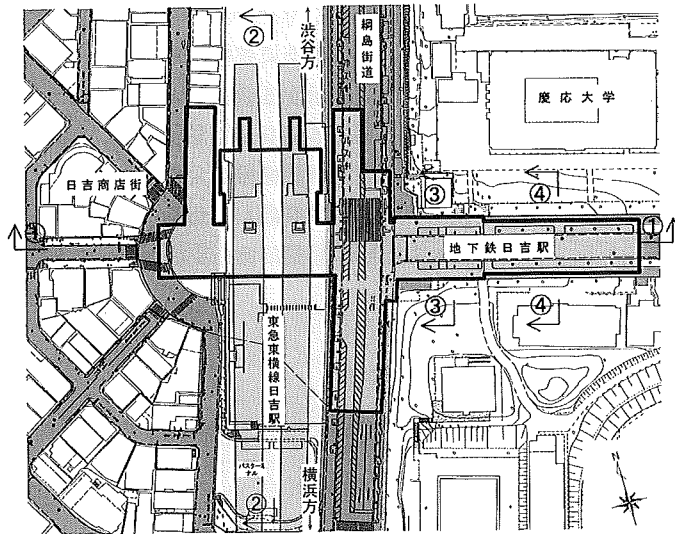


図-12 日吉駅工区平面図

大学の日吉キャンパスが広がっており、多くの学生が集う活気のある街並みが形成されている地域となっている。

横浜環状鉄道日吉駅は、この地域に集う人々の重要な交通機関のひとつとして計画されるとともに、横浜環状鉄道中山～日吉間と東急東横線の乗り換え駅となることから、東京都心部と横浜市域の交通結節点としても大きな役割が期待されているところである。

横浜環状鉄道中山～日吉間の開業後は、1日に約3万8千人のお客様が日吉駅を利用して下さるものと見込んでおり、新設するほかの9駅と比較しても規模の大きな駅となっている(図-12, 13)。

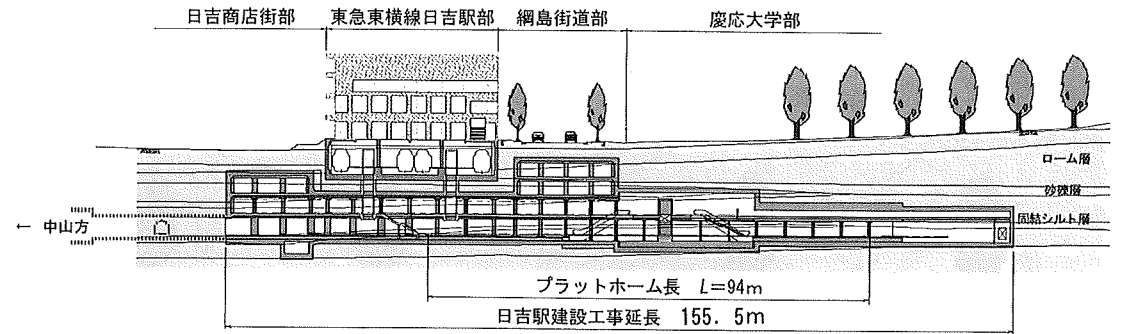


図-13 日吉駅工区縦断面図

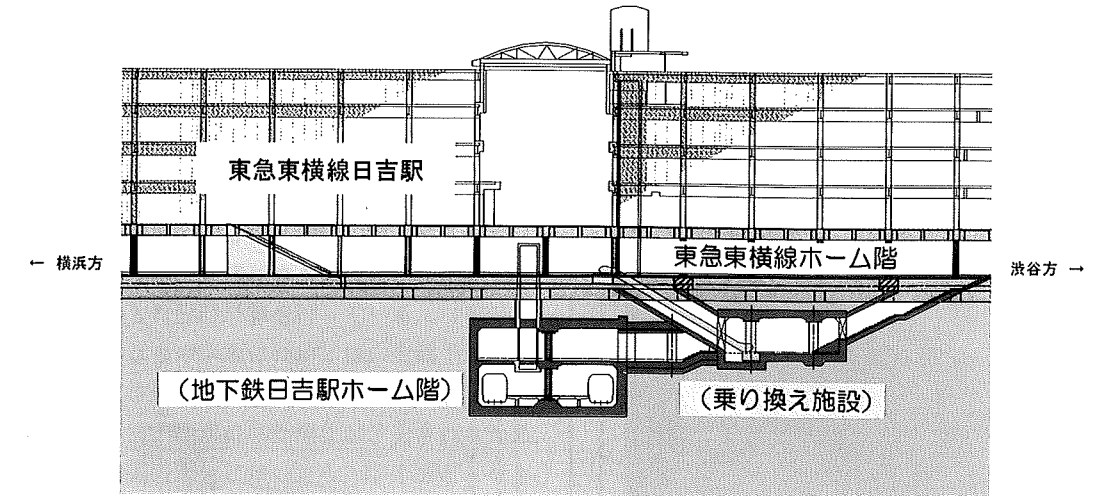


図-14 東急東横線下部横断面図

日吉駅の構造については、線路方向に2層2径間の箱形ラーメンを基本とした構造を採用している。下層が1面2線の島式ホームを有した軌道階となっており、上層が改札口を有したコンコース階となっている。このコンコース階には、東急東横線との地下乗り換え施設を併設し、東横線ホームに直接アクセスできる構造とすることで、利用者が円滑に乗り換えできる経路を確保している(図-14)。

また、日吉駅は、横浜市道路局が事業を進めている日吉駅自転車駐車場(仮称)を一体的に整備することとして計画しており、東急東横線の東側に並行する都市計画道路東京丸子横浜線(網島街道)の直下には、3層3径間(一部4層)の箱形ラーメンを開削工法により築造し、地下1階と地下2階の一部を自転車駐車場として整備し、地下3階に駅事務室や機械室などを整備する計画としている。参

考までに日吉駅土木工事の主要数量を以下に示す。
 工事延長(線路方向)： 155.5m
 掘削土量：111,450m³
 躯体コンクリート：22,500m³

5-2 駅部大断面トンネルの計画および設計

当初、日吉駅はすべてを箱形ラーメン構造で計画しており、東急東横線の直下に位置することや上部土地利用の状況を踏まえ、道路下に位置する区間以外は非開削による施工を計画していた。その後、社会情勢の変化などにより建設コストの縮減が喫緊の課題とされ、日吉駅においても、構造変更をも視野にいたった大幅な計画変更を行った経緯がある。その結果、慶應義塾大学の敷地下に位置する約73mの区間は、非開削による箱形ラーメン構造から山岳トンネル構造へ計画を変更することとしたが、下層に軌道階、上層にコンコース階を有する区間であることから、必要な内空幅員や

内空高を満足させるため、約73mのうち30mについては掘削面積が約250m²という、都市部鉄道トンネルではほかに類を見ない断面となっている。なお、残る約43mについてはコンコース区間を外

れることから、軌道階におけるホーム幅員を確保すべく3連のメガネトンネル形式を採用した(図-15, 16)。

山岳トンネルに変更した当該区間の地層は大き

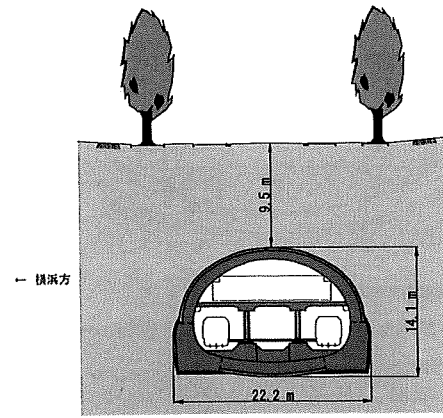


図-15 大断面山岳トンネル横断面

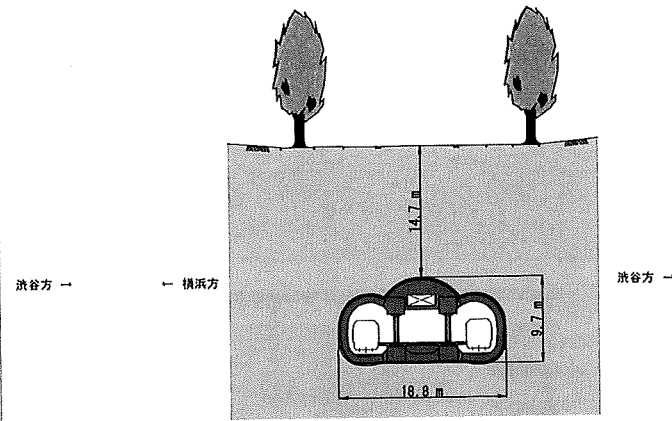


図-16 3連メガネトンネル横断面

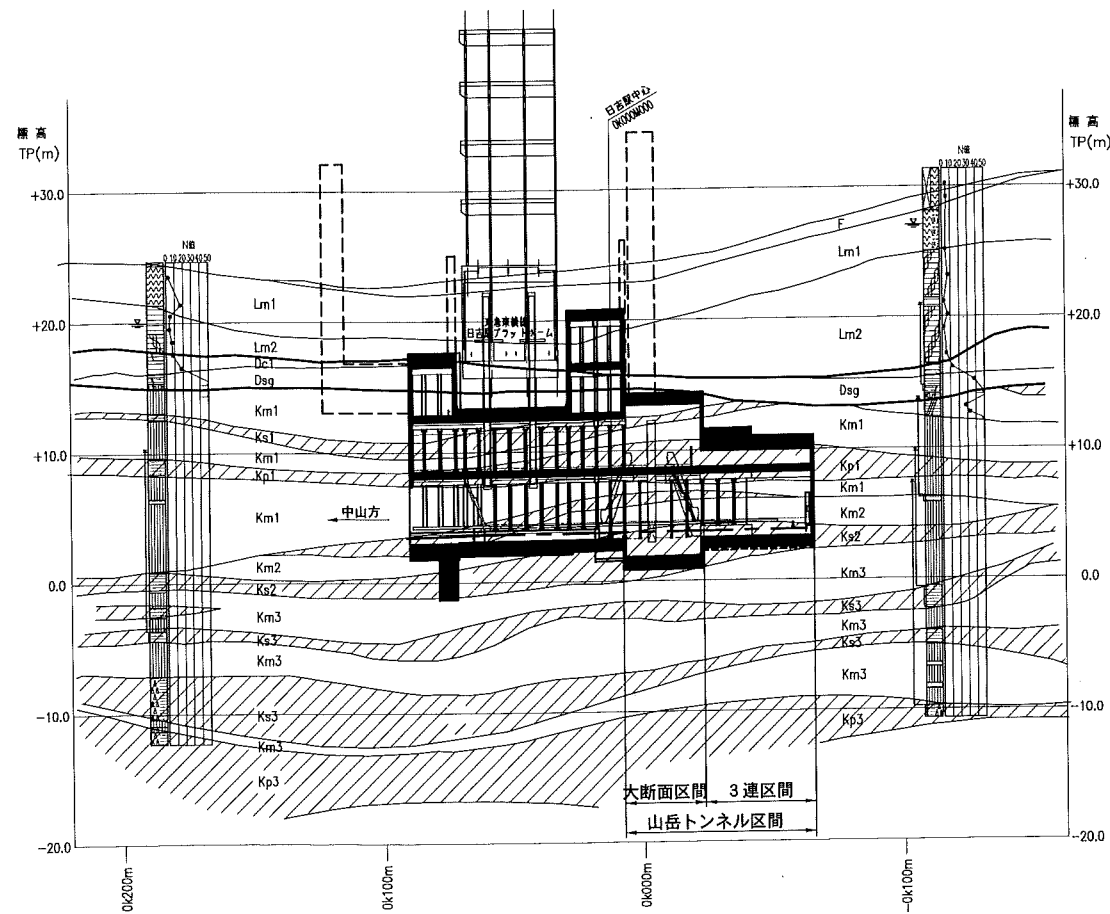


図-17 日吉駅工区地質縦断面

く4つに区分され、地表から盛土層(F)、沖積層(A)、関東ローム層(Lm)、いわゆる洪積層の地層である相模層(D)および上総層(K)となっている。地表下約10m程度で基盤層となる上総層となり、N値50以上の泥岩(Km)に薄い細砂(Ks)を挟んだ互層で構成されている(図-17)。

山岳トンネルの設計にあたり、とくに、大断面となるコンコース部の断面については土かぶりが約10mと小さく、トンネル天端が基盤層となる上総層からでていることもあり、地盤のアーチアクションを期待することができず、箱形断面と同様に「抗土圧構造物」として設計している。また、上部が大学敷地内であることから、将来的な土地利用が変化することなども考慮し、偏圧を考慮した設計計算を行っている。なお、コンコースとなる中床版については、上部土地利用の変更に伴う建物荷重の変化の度合いによっては、トンネルアーチ脚部の挙動変化が予測されるため、中床版に引張力が生じないように、中床版とトンネル外周部材とは縁を切ることで設計した。

大断面山岳トンネルについては、フレーム計算により断面を設定しているが、トンネル上部がローム層であり、下部は上総層群で固結シルトと細砂の互層であることから、トンネルを支持する地盤が塑性域に達する場合、応力の配分が複雑に変化することが予測される。このことから、トンネル掘削に伴う地盤応力の変化に応じた段階ごとに、地盤の非線形特性を考慮したFEM解析を行い、大断面トンネル全体の安全性を検証している。

その結果については、トンネル天端は上総層からでているものの側部が上総層に押さえられ、トンネル全体では、偏圧を考慮したとしても十分に安定していることが確認できた。

5-3 施工状況

横浜環状鉄道日吉駅の建設にあたっては、東急東横線日吉駅の直下を横断すること、および隣接した箇所での大規模掘削を伴う工事であることか

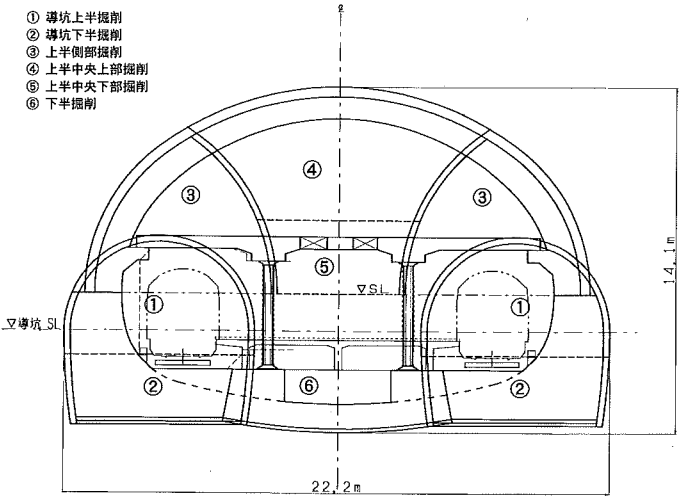


図-18 大断面山岳トンネル加背割り図

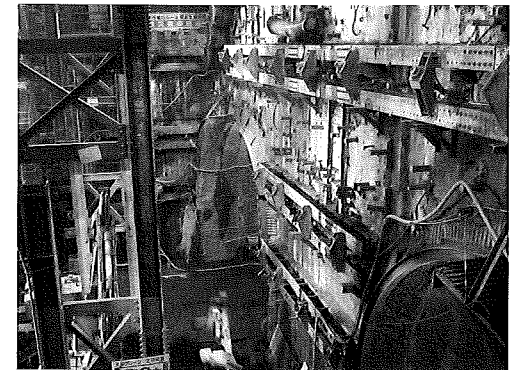


写真-4 大断面山岳トンネル：導坑掘削完了

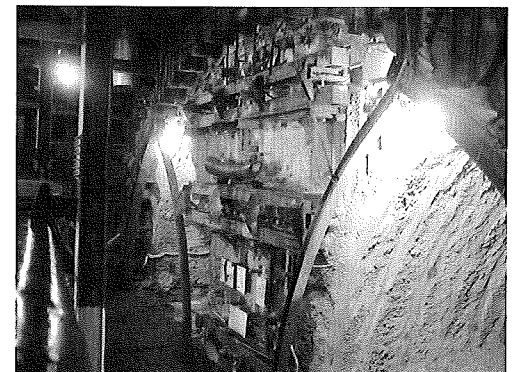


写真-5 大断面山岳トンネル：上半側部掘削完了

ら、躯体構造物の設計は横浜市交通局が行い、東急東横線施設に与える影響解析および仮設設計ならびに土木工事の発注から施工監理までを東京急行電鉄(株)に委託している。

現在の施工状況については、道路下に位置する

開削工法の区間を基地として、東横線直下の非開削箱形トンネル区間の掘削および東横線駅舎の仮受け、大学敷地下の大断面トンネルおよび3連メガネトンネルの掘削ならびに二次覆工を並行して施工しているところである(図-18)。なお、平成18年には、駅部山岳トンネル(大断面トンネルおよび3連メガネトンネル)の掘削および二次覆工について完了させる予定である(写真-4,5)。

および日吉駅の大断面トンネルは現在施工中であるが、今後、機会があれば施工状況などについて報告したいと考えている。

最後に、駒林トンネルの山岳トンネルの施工にあたり、ご指導いただいている西村和夫・首都大学東京教授、小島芳之・鉄道総合技術研究所トンネル室長および野城一栄・同トンネル副主任研究員に誌面を借りて、感謝を申し上げます。

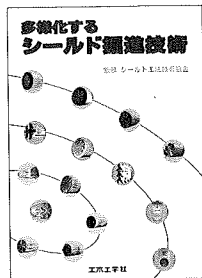
6 おわりに

横浜環状鉄道中山～日吉間の建設事業は、現在、平成19年開業、総建設費2,500億円(当初計画額3,002億円)を目標として、土木工事、軌道工事、電気工事や車輛製造などを進めており、最盛期といえる状況である。本稿で紹介した駒林トンネル

参考文献

- 1) 萩野幸男・村田守廣・岡部哲也：横浜環状鉄道中山～日吉間の建設計画，トンネルと地下，Vol.32，No.6，2001.6.
- 2) 小嶋一夫・谷畑一行・天野豊：地域特性を生かした駅部開削の施工法，トンネルと地下，Vol.34，No.6，2003.6.

【新刊図書】



多様化するシールド掘進技術

監修 シールド工法技術協会
B5判 141頁 本体価格2,500円

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

【掲載工法】

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

臨海部シールドトンネルの塩害調査の結果とその考察

(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル研究員 田 辺 将 樹
(財)鉄道総合技術研究所構造物技術研究部トンネル主任研究員 佐 藤 豊
東日本旅客鉄道(株)設備部構造物管理グループ 鈴 木 延 彰
東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課防災計画グループ 吉 田 聖 浩

1 はじめに

シールドトンネルにおいて、RC構造部材中の鉄筋や継手ボルトの腐食はコンクリートのひび割れ、剝離・剝落、さらには継手部の曲げ耐力の低下など、トンネルの耐久性や耐荷力を低下させる原因となり得る。とくに臨海部のシールドトンネルの場合、海水混じりの漏水や塩分の飛来といった塩害の起こり得る環境下において、そのメカニズムを把握することは供用期間中のトンネルを健全に維持管理していくうえで重要なことである。

本報告では、臨海部のシールドトンネルの劣化の一要因である塩害にスポットをあて、そのメカニズムの究明と効果的な対策に資する考え方を提案することを目的とし、シールドトンネル内の飛

来塩分調査やコンクリートに含まれる塩化物イオン濃度の測定および塩害の劣化予測といった一連の研究結果について紹介する(図-1)。

2 一般的な塩害のメカニズム

本題に入る前に、一般的な塩害のメカニズム、すなわち「コンクリート内に塩化物イオンはどのように供給されるのか」と「塩化物イオンが浸入した場合、そこで何が起きるか」という点について以下に整理する。

2-1 塩化物イオンの供給源

コンクリート中の塩化物イオンは、次の状態で主にコンクリート内に存在すると考えられる。

- ① 骨材や混和剤などに含まれ建設中に混入されるもの
- ② 建設後にコンクリート表面などから浸入するもの

①はコンクリート打設時に細骨材として海砂をよく洗わずに使用した場合などである。現在では、昭和61年6月の建設省からの通達¹⁾をもとに、コンクリート中の塩化物総量に基準が設けられている。②は海水や融雪剤などに存在する塩化物イオンがコンクリート表面などに付着し、その濃度勾配による拡散で深部に移動する現象である。

2-2 鋼材の腐食

塩化物イオンが、コンクリート中の鋼材に到達

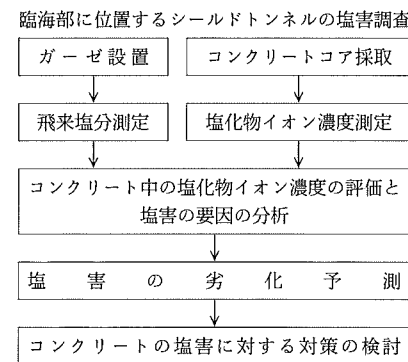


図-1 実施フロー

すると鋼材の腐食が始まる。鋼材の腐食のメカニズムはおおむね以下ようになる。

- ① コンクリートは未反応の細孔溶液の存在により、一般にpHが12以上のアルカリであり、この環境下で、鋼材表面は不動態被膜を形成し腐食しにくい状態にある(鋼材の不動態化)。
- ② 塩化物イオンが細孔溶液中において腐食が発生するのに必要な濃度(発錆限界濃度：一般的に1.2~1.5kg/m³)に達すると、不動態被膜が破壊される。
- ③ 不動態被膜が破壊されると、鉄イオンが細孔溶液中に溶け出すアノード反応(Fe→Fe²⁺+2e⁻)と、鉄イオンが鋼材中に残す電子が酸素と水と反応するカソード反応(H₂O+1/2O₂+2e⁻→2OH⁻)が起きる。
- ④ この反応で生成した水酸化イオンと鉄イオンが反応して水酸化鉄(錆)を生成する(腐食)。
- ⑤ 腐食が進行すると、これに伴う膨張圧でコンクリートにひび割れが発生し、さらに鉄筋の腐食が加速されやすい状態となる。

ここで、③について、腐食には必ず水と酸素が必要となるということが重要である。

3 調査対象としたシールドトンネル

調査対象としたシールドトンネルは河口部に建設されており、供用開始から30年以上経過している。一部開削工法で建設された区間があるものの、ほとんどがシールド区間で、セグメント区間(二次覆工なし)が約4km、二次覆工区間(二次覆工

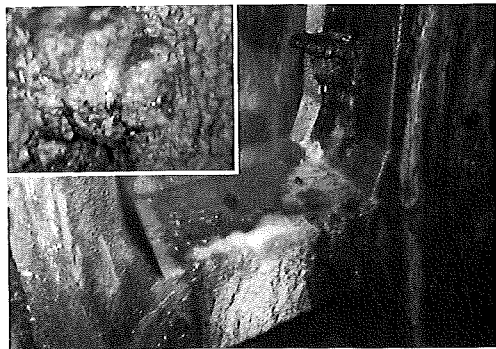


写真-1 漏水および腐食

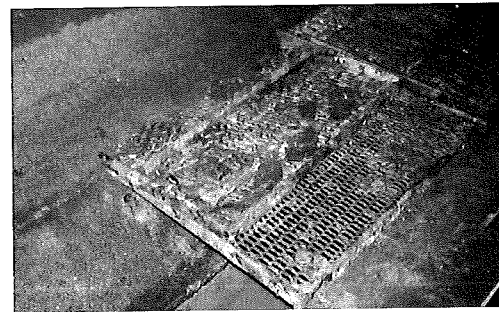


写真-2 付帯設備の腐食

あり)が約3kmとなっている。また、調査トンネルには立坑が7つあるが、いずれも海水が混入する水域から100m以内のところに位置している。

現地における目視調査の結果、セグメント継目部分の漏水、セグメント継手ボルトや付帯設備(手すりやエキスパンドメタル)の腐食、排水溝の目詰まりなどの現象が確認された(写真-1, 2)。

4 コンクリートの塩害調査について

4-1 調査概要

塩害の影響を受けていると思われるトンネル覆工に対して、次の調査を行った。

- (1) 飛来塩分の測定
トンネル内および地上部の飛来塩分量を測定し、コンクリート表面から浸入する塩化物イオン濃度を定量する。
- (2) コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定
コンクリートコアを採取して、コンクリート内部の深さ方向の現在の塩化物イオン濃度を測定するとともに、将来の鉄筋位置における濃度を予測し、部材の耐久性に関する残存供用年数を特定する。

(1)および(2)について、測定箇所と測定項目について表-1にまとめた。また、調査対象箇所の概略図を図-2, 3に示す。

4-2 飛来塩分の測定

4-2-1 測定方法

飛来塩分量は『JIS Z 2382 大気環境の腐食性を評価するための環境汚染因子の測定』に準拠して、ドライガーゼ法で測定した。ここで、飛来塩

表-1 測定項目および測定箇所

測定箇所番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭
構造	立	セ	立	二	二	セ	セ	立	二	セ	セ	二	立	セ
立坑からの距離(m)	0	46	0	265	260	210	150	0	240	296	260	243	0	185
飛来塩分	地上													○
	地下1階			○						○				○
	地下2階			○						○				○
	0度			○		○		○	○		○			○
	45度			○		○		○	○		○			○
コンクリート中塩化物イオン濃度**	90度a		セ	二	二	二				二		セ	二	
	90度b					二								
	135度					二	セ							
	180度													路
中性化の測定***	○	○	○	○	○	○		○	○		○	○	○	
温度・湿度***	地下2階			○										
	線路階			○										

※構造について…立：立坑，セ：セグメント，二：二次覆工
 ※※コンクリートコアを採取した箇所の構造を記述している。位置については図-3を参照。
 セ：セグメント(RC)，二：二次覆工(RC)，路：路盤(RC)
 ※※※調査はしたが、結果を本報告には掲載していない。
 ※※※※セグメント、二次覆工、路盤の水セメント比はそれぞれ42.1%、49%、61%であった。

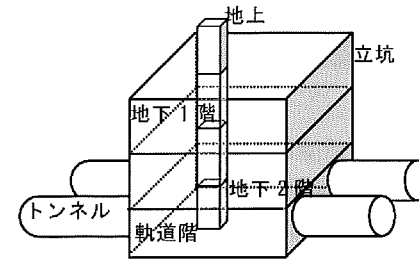


図-2 測定箇所(階層別)

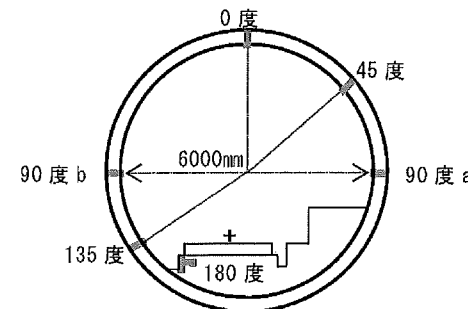


図-3 測定箇所(横断面の位置)

分量の単位はmg/(dm²・d)であり(以下、mddと略す)、一日に単位面積(dm²=0.01m²)あたりのコンクリート覆工にどれだけの塩化物が付着す

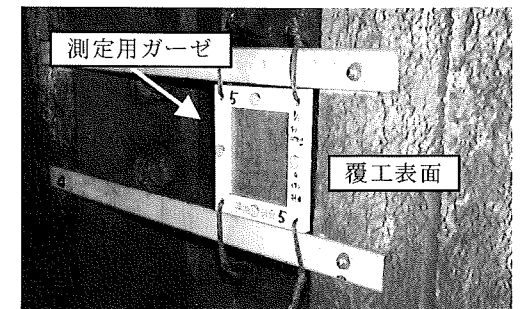


写真-3 測定用ガーゼ設置状況

るかを示すものである。写真-3は測定に用いたガーゼの設置状況を示している。表-1に示した測定箇所においておのおの2回測定し、その平均を飛来塩分量とした。

4-2-2 測定結果および考察

図-4に飛来塩分の測定結果を示す。全体的な傾向として、立坑(地下1, 2階)で測定された値より地上で測定された値の方が大きい。また、立坑で測定された値よりトンネル内において測定された値の方が大きい。このことから、トンネル内の飛来塩分量の一部は地上から流入しているもので

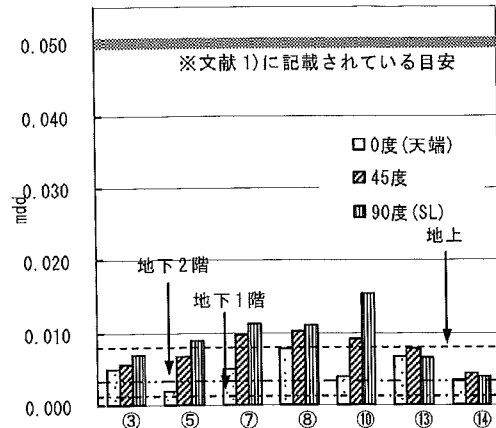


図-4 飛来塩分測定結果

あり、さらにそれらの量的関係からトンネル内の総飛来塩分量は地上の飛来塩分量と、もともとトンネル内に存在したものと和であることが推測できる。また、横断面位置ごとの飛来塩分量の傾向としては、0度(天端)から90度a(スプリングライン)に近づくにつれて飛来塩分量が多くなっていることがわかる。

トンネル内における飛来塩分量の最大値は、⑩の90度a部分(スプリングライン)において測定され、0.015mdd程度を示していた。『無塗装鋼鉄道橋設計施工の手引き』²⁾によれば、橋梁の塗装にあたって、「0.05mddを超える地域での無塗装橋梁の採用は避けるのがよい」および「離岸距離が10km以上であれば0.05mddを超えないものと考えられる」とされており、鋼材を対象としたときには、無塗装でも対応できる値であることがわかる。しかし、既往の研究では、RC構造物を用いて長期暴露試験を行った結果、飛来塩分が蓄積されることにより、コンクリート深さ方向の塩化物量が增加している事例³⁾があることから、飛来している塩化物量が微小であっても、その蓄積によって経年とともに塩化物が浸入し、塩害が起きる可能性がある。飛来塩分の蓄積の程度とその影響については、「4-4 塩害の要因」に記述する。

4-3 コンクリート中の塩化物イオン濃度の測定

4-3-1 測定方法

コンクリート中の塩化物イオン濃度は、採取し

たコンクリートコアを深さ方向に一定の間隔で切断した後、各試料の塩化物イオン量を蛍光X線分析法を用いて分析して算出する⁴⁾。なお、本手法で算出した値は、セメントに含まれる塩化物イオン量として換算される。したがって、塩化物イオン量が1%、単位セメント量が300kg/m³のコンクリートとすると、塩化物イオン量(全塩化物量)は3kg/m³となる。

4-3-2 拡散係数およびコンクリート表面の塩化物イオン濃度の算出方法

実構造物のコンクリート中に外部から浸入した塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{aps} およびコンクリートの表面塩化物イオン濃度 C_{os} は、次式に示すフィックの第2法則にもとづいた拡散方程式を用いて、採取したコンクリートコアの各深さ位置で測定された塩化物イオン濃度を回帰分析したうえで定量した(『JSCE-G573-2003 実構造物におけるコンクリート中の全塩化物イオン分布の測定方法』)。

$$C(x, t) - C_i = C_{os} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{aps} \cdot t}} \right) \right\} \quad (1)$$

ここに、

x : 暴露面から塩化物イオン濃度を測定した箇所までの距離(cm)

t : 供用年数(年)

$C(x, t)$: 距離 x (cm), t (年)において測定された塩化物イオン濃度(kg/m³)

C_{os} : 実構造物から採取されたコンクリート表面の塩化物イオン濃度(kg/m³)

C_i : 初期含有塩化物イオン濃度(kg/m³)

D_{aps} : 実構造物から採取されたコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数(cm²/年)

erf : 誤差関数

ただし、 $\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-n^2} dn$

4-3-3 測定結果および考察

(1) コンクリートコア中の塩化物イオン濃度
コンクリートコア中の塩化物イオン濃度をセグ

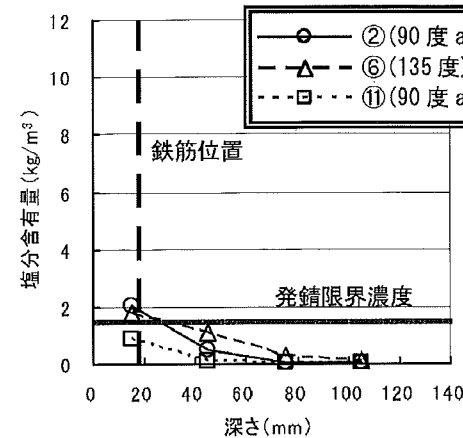


図-5 セグメント部の塩化物イオン濃度

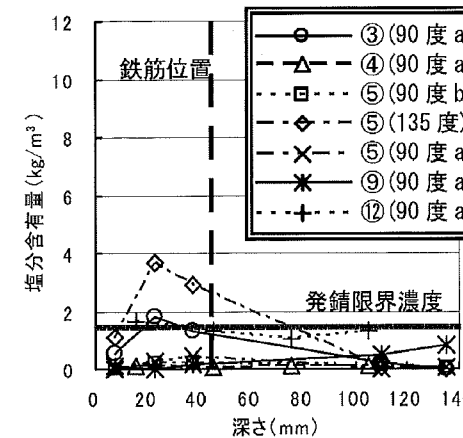


図-6 二次覆工部の塩化物イオン濃度

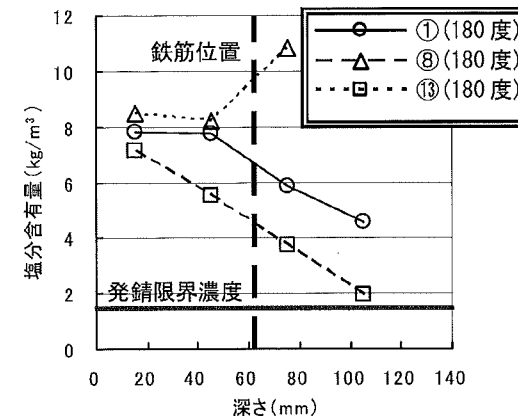


図-7 路盤部の塩化物イオン濃度

メント、二次覆工、路盤別に示したものが図-5~7である。

図-3に示したセグメントと二次覆工の90度の部分のうち、③~⑤[90度a]、⑤[90度b]、⑨、⑪、

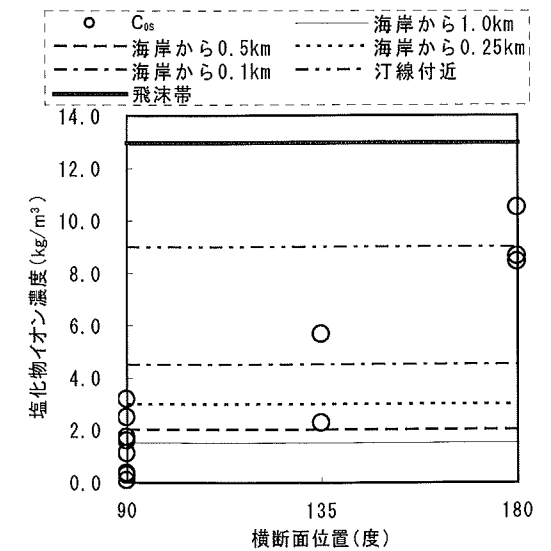


図-8 部位ごとの表面の塩化物イオン濃度

⑫においては、鉄筋位置の濃度が発錆限界濃度を超えていない。一方、一部のセグメントの90度の部分(②)や路盤(①、⑧、⑬)、135度に位置するセグメントおよび二次覆工(⑤[135度]、⑥)などのスプリングラインより下部のコンクリートでは、既に発錆限界濃度を超えている。仮に、鉄筋近傍において、腐食に必要な水や酸素が供給されていれば鉄筋の腐食が生じているものと推測される。

また、図-6の⑨、⑫においては、覆工背面側の濃度が高い。これは、セグメントと二次覆工の境界にみずみちができて、背面から塩化物イオンが浸入していることによると考えられる。また、図-6の深さ100~140mmの塩化物量の値はほぼ0に等しいことから、建設時からの塩分の混入はないと推測され、コンクリート内の塩化物はすべて完成後に外部から浸入したものと考えられる。

(2) コンクリート表面の塩化物イオン濃度

実構造物から採取されたコンクリート表面における塩化物イオン濃度 C_{os} について、横断面位置ごとに分類したものが図-8である。90度の位置における濃度は0.07~3.16(kg/m³)、135度の位置における濃度は2.3~5.6(kg/m³)、180度の位置における濃度は8.39~10.47(kg/m³)となっており、下部に行くほど表面の塩化物イオン濃度は大きくなっていることが確認できた。これより、トンネルの

場合、横断面の位置により塩害の程度が大きく異なるため、位置や構造別にコンクリートコアをサンプリングし、塩害の劣化診断を行っていくことが重要となる。

ここで、調査トンネル内のコンクリート表面に付着している塩化物イオン濃度のレベルを把握しやすくするために、地上のRC構造物のそれと比較してみる。図-8中の各横線で示す塩化物イオン濃度値はRC構造物が塩化物の影響を受ける場合のコンクリート表面における濃度の目安である⁵⁾。調査トンネルにおける表面の塩化物イオン濃度をこれらと比較した場合、90度(スプリングライン)の位置は海岸から0.25km以遠の位置、135度の位置は海岸から0.1~0.5kmの位置、180度(路盤)の位置は飛沫帯~汀線付近にあり、これらの位置において影響を受けるRC構造物と同レベルの塩化物イオンが表面に付着していることになる。

(3) コンクリートの見掛けの拡散係数

式(1)より定量した実構造物から採取されたコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数 D_{app} を表-2に示す。

表-2 塩化物イオンの見掛けの拡散係数

部 位	$D_{app}(cm^2/y)$	$D(cm^2/y)^{**}$	
セグメント	②(90度)	0.168	0.692
	⑥(135度)	0.487	0.692
	⑪(90度)	0.104	0.692
二次覆工	②(90度a)	0.596	1.235
	④(90度a)	—*	1.235
	⑤(90度b)	—*	1.235
	⑤(135度)	0.453	1.235
	⑤(90度a)	0.330	1.235
	⑨(90度a)	—*	1.235
路 盤	⑫(90度a)	—*	1.235
	①(180度)	2.847	2.759
	⑧(180度)	—*	2.759
⑬(180度)	1.441	2.759	

*コンクリート中の塩化物イオンの移動がほとんど見受けられず、拡散係数を定量できなかった。

**セメント種は普通ポルトランドセメントであり、セグメント、二次覆工、路盤のW/Cはそれぞれ42.1%、49%、61%としてDを算出した。

ここで、比較のために、式(2)⁹⁾より水セメント比とセメントの種類のみから算出される拡散係数 D もあわせて表-2に示す。

$$\log D = -3.9(W/C)^2 + 7.2(W/C) - 2.5 \quad (2)$$

D_{app} と D を比較した結果、一つを除いたすべてのコンクリートコアで、 $D_{app} < D$ となっており、これは実構造物の拡散係数は平均的な拡散係数に比べ小さく、コンクリート内の細孔が緻密になっていることを示している。すなわち、調査トンネルにおいては、コンクリートが良質で塩化物イオンが拡散しにくい状態であることがわかる。

以上(1)~(3)より、調査トンネルでは、コンクリートの品質は良好であるものの、供給される塩化物量が非常に多いため塩害の恐れが懸念され、その傾向はとくにスプリングライン以下で顕著である。

4-4 塩害の要因

経年により蓄積された飛来塩分量とコンクリート中の全塩化物量の比較を図-3に示した90度部分(今回の調査で飛来塩分がもっとも多く測定された部位)について行った。すなわち、4-2-2において求めた一日あたりの飛来塩分の付着量に経年経年数(30年)を乗じた値と、4-3-3(1)において示した深さ方向の塩化物イオン濃度の分布を積分することにより算出したコンクリート中に蓄積されている全塩化物量の値を比較した。表-3はそれらの値を示したものであり、これより付着した飛来塩

表-3 全塩化物量に対する飛来塩分量の割合

	a飛来塩分蓄積量 (kg/m ²)	bコンクリート中の全塩化物量(kg/m ²)	a/b (%)
セグメント	0.011	0.282	3.9
二次覆工	0.009	0.208	4.3

表-4 トンネル内の漏水の化学分析結果

	pH	Na ⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	SO ₄ ²⁻ /Cl ⁻
トンネル内	7.56	3,120	396	6,036	152	0.03
海 水	8.10	10,500	401	19,000	2,652	0.14
河 川 水	—	7.3	12.7	6.1	15.9	2.61

単位: mg/l

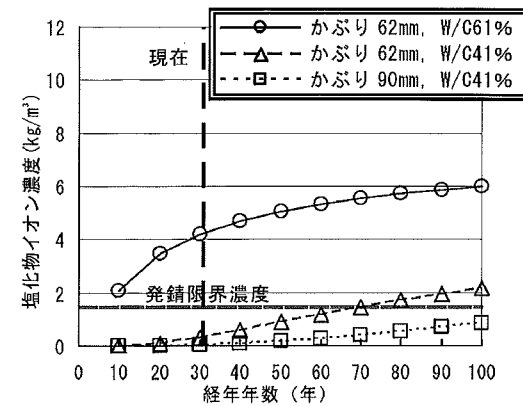


図-9 塩化物イオン濃度の将来予測

分がすべてコンクリート中に浸入していると仮定しても、セグメント部において飛来塩分の蓄積量は、コンクリート中に含まれる全塩化物量の3.9%程度に過ぎないこと、二次覆工についても4.3%程度に過ぎないことがわかる。このことから、トンネル内の塩化物イオンの蓄積に飛来塩分はほとんど寄与していないことがわかる。

一方、トンネル内の漏水の化学分析を行ったところ(表-4)、Cl⁻量が非常に多く、かつ漏水のNa⁺量およびCl⁻量がともに海水の1/3となっていることから、漏水中に海水が混じっていることがわかる(海水成分はコンクリートと反応し、劣化生成物としてコンクリート中に凝縮するため、実際の海水混入量より低く定量される)。このことから、トンネル内において、漏水している部分やそれが滞留している排水溝などは塩化物イオンの供給源となっている。これが列車風による飛散やコンクリート自体の吸い上げなどによりコンクリート表面に付着した後、乾湿のくり返しにより凝縮され濃度が高くなっているものと推察される。

4-5 塩害の劣化予測

供用開始から t 年後の鉄筋位置 x における塩化物イオン濃度 $C(x, t)$ は、4-3-3(2)、(3)において示した C_0 と D_{app} を定数とした式(1)に、 t と x とを代入することで求められる。

図-9の○は、本調査にて多量の塩化物イオンが測定された路盤⑬の鉄筋近傍の塩化物イオン濃度の経年変化を示したものである。現状および将来

において塩化物イオン濃度が発錆限界濃度を超過しており、鉄筋位置において、酸素および水が十分供給されている場合は鉄筋腐食が発生する恐れがあることを示している。

さらに、図-9は前述した路盤⑬について、水セメント比を61%から41%にした場合(△)、さらにかぶりを62mmから90mmにした場合(□)の鉄筋位置における塩化物イオン濃度の予測も示している。

図より水セメント比を41%にした場合には供用開始から70年程度は発錆限界濃度を超過せず、さらにかぶりを90mmにすれば供用開始から100年経過しても発錆限界濃度以下となる。このことから、水セメント比やかぶりはトンネルの耐久性維持の面から非常に重要な項目であることが言える。

4-6 塩害の対策

4-4で示したとおり、調査トンネルにおける塩害の原因はコンクリート表面に付着する塩化物イオン量が非常に多いためであり、対策としては、塩化物イオンの供給源を絶つために、覆工内面を定期的に清掃することや、排水溝の目詰まりを取り除くこと、また、滞留した水が飛散しないように溝蓋を設置することなどが、簡易で効果的である。また、すでに鉄筋位置において腐食環境下にあるものは、鉄筋の腐食程度を調査したうえで、脱塩や断面修復などの対策を検討する必要がある。

海水の影響を受けるコンクリート(飛沫帯)において、『コンクリート標準示方書施工編(平成8年制定)』では最小の単位セメント量を300kg/m³(粗骨材の最大寸法が40mmの場合)、最大のW/Cを45%とする必要があること、『日本建築学会建築工事標準仕様書JASS5』では最大のW/Cを45%、かぶりを60~90mmとする必要があることとしている。

一方、今回対象としたトンネルは、路盤では、単位セメント量が260~300kg/m³、W/Cが60%、かぶりが62mmであり、二次覆工では、単位セメント量が300kg/m³、W/Cが50%、かぶりが46mmであり、セグメントでは、単位セメント量が400kg/m³、W/Cが42%、かぶりが18mmであった。このためトンネル内のコンクリートは上記の目安

に満たないものもあり、耐久性に問題が生じる可能性がある。臨海部に建設され、塩害の可能性が考えられるトンネルに使用するコンクリートにおいては、新設時の当初から、水セメント比の見直しやかぶりの増加、防水材⁷⁾による表面被覆工、防錆材の使用⁸⁾、塗装鉄筋の使用などを検討・設計しておくことも重要である。

4-7 まとめ

シールドトンネルの塩害調査より、本環境において以下のことを確認した。

- ① 飛来塩分測定およびコンクリート中の塩化物イオン濃度測定などより、トンネル内の塩害の程度を総合的に確認することができた。
- ② 塩害の原因は、コンクリートコアの塩化物イオン濃度が深い位置においては低濃度であったこと、飛来塩分の影響がほとんどないこと、漏水が海水混じりであること、排水溝の目詰まりや列車風により塩水の滞留・飛散・乾湿のくり返しが起きやすい環境にあることなどから、覆工表面に高濃度の塩化物が蓄積され、それが浸入したためと思われる。
- ③ 劣化予測の結果、部位によっては現在から将来にかけて発生限界濃度を超えるところが存在していた。
- ④ 塩分の供給量が多い場所において、構造物の耐久性を確保するために、水セメント比およびかぶりを適切に定めることが非常に重要であることを確認した。

5 おわりに

今回実施した調査は塩害の初期段階を把握する

ためのものであるが、早期発見、早期措置取り組みの観点で予防保全的意味合いが強い調査であり、かつ、シールドトンネル内の塩害状況を把握するために行われた数少ない総合的な調査といえる。今後はさらに調査事例を増やし、塩化物量の多少とひび割れや鉄筋の腐食量の関係を把握することを鋭意進め、トンネルの維持管理に関するデータを蓄積していきたい。

最後に、本調査を行うにあたり、東日本旅客鉄道(株)東京支社東京土木技術センターの関係各位に多大なご協力を賜りました。誌面をお借りして御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 建設省：コンクリートの耐久性向上技術の開発報告書(第二編)，1988.11.
- 2) (財)鉄道総合技術研究所：無塗装鋼鉄道橋設計施工の手引き，1994.3.
- 3) 大城武・山田義智・谷川伸：厳しい環境下での実大RC建物の長期暴露試験について，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.1，1995.
- 4) 立松英信・高田潤：蛍光X線法によるアルカリ量・塩素量の推定，土木学会第45回年次学術講演会，V-212，pp.450-451，1990.9.
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書(維持管理編)，pp.100-102，2001.1.
- 6) 土木学会：2002年版コンクリート標準示方書改定資料，pp.83-88，2002.3.
- 7) 日本コンクリート工学協会：コンクリートのひび割れ調査，補修・補強指針，pp.91-99，2000.9.
- 8) 松田正義・大内田隆紀・大谷博・秀島節治：耐久性を目指した建物の設計・施工例，コンクリート工学Vol.24，No.8，pp.35-44，1986.

セグメントの新技术

監修 小泉 淳
B5判 132頁 本体価格 2,000円

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

都市部講座

都市トンネル工事の計測(4)

—土留め、リバウンドの計測例とその評価—

東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所 西村 聡
パシフィックコンサルタンツ(株)交通事業本部鉄道部部长 水上 博之
パシフィックコンサルタンツ(株)交通事業本部鉄道部課長 北浦 実

① はじめに

開削工法は、土水圧を土留めで抵抗させて掘削し、その空間に躯体を構築するトンネルの施工法のひとつである。この工法では、掘削背面地盤の沈下が発生することや地下水位が変動することなど周辺環境への影響が大きく、今まで多くの現場計測が実施され、この結果から設計法や施工法に開発または改良が加えられてきた。その背景には、

- ・土留めに作用する主たる荷重が土圧や水圧であるため、その変動が地盤性状、施工手順により大きく異なり正確に評価できないこと
- ・開削トンネルの工事では、仮設設備にもかかわらず、土留めに要するコストが全体工事費に占める比率が高く、土留めに対して経済的な設計および施工が要求されていること
- ・土留めを施工するとき地下水位低下や周辺地盤の変状など周辺環境に影響を与えやすいこと

などがある。とくに最近の都市部での工事は、地下埋設物が大量かつ複雑に存在し、かつ重要な構造物が近接しているなど制約条件が多いものとなっている。それに伴い計測工もさまざまであり、土留め工の安全性を直接的に計測するもののほか、周辺環境への影響が大きい地下水位の計測や掘削時のリバウンドが地下埋設物などの近接構造物に与える影響を把握する計測も行われている。

本稿においては、まず開削工法での計測の一般論を述べ、次に地下水の豊富な地山における工事で情報化施工を行っている地下鉄13号線新宿三丁目駅の計測例と開削トンネルのリバウンドに関する計測や予測手法について紹介する。

② 計測の考え方

土留め工に関する計測の目的から大きく分類すると、攻める計測と守る計測との両者がある。すなわち、近接構造物などの影響を把握する計測が前者にあたり、掘削の安全性を検証する計測が後者にあたる。とくに前者においては近接協議の結果により計測工で近接構造物の安全性を把握する機会が多く、開削トンネルの施工にあたって計測工が重要な位置づけとなることもある。後者では荷重などの不確定要素の変動の度合いによって、その必要性が定まることとなる。軟弱粘性土地盤などでは、施工時の地盤の乱れや背面地盤の割裂部への地下水の浸入に伴い土留めに作用する荷重が想定した荷重よりも大きくなることもある。このようなことが推定される場合には、計測工を密に実施して土留め壁や支保工の安全性を確認しながら施工することが望ましい。一方、自立性の高い地盤を対象とする場合には、土留めの挙動の予測解析を実施する以外は、最小限の計測でよいこともある。4章に紹介する地下鉄13号線の新宿三丁目駅の例は、これに該当する地山であり必要最

小限の計測を行って、先行工事で得られたデータを隣接箇所の後行工事に反映することによりコストの削減を図った例である。

⑧ 開削トンネルの一般的な計測について

3-1 計測項目

計測管理の目的は、施工中の安全を定量的に確認することとともに、仮に課題が発生した場合、計測結果を分析して設計時の諸条件を見直し、すみやかにこれに対処することである。計測管理を効果的に実施するには、次のような項目を計画時点で検討し、必要に応じて計測器を配置しなければならない。

- ① 地盤と周辺環境条件、土留め壁や支保工の構造特性の把握
- ② 土留め計画時の仮定条件の把握
- ③ 計測項目の検討
- ④ 計測方法(計測器、システム、計測位置、頻度)の検討
- ⑤ 管理基準値と管理体制の検討

計測すべき項目は、工事の安全上の問題が生じると予想されるものを中心として、設計や施工へフィードバックできるものが対象となる。土留め工事での施工上の問題が生じる可能性がある事象や着目すべき項目を下記に示す。

- ① 土留め壁：変形、応力
- ② 支保工：変形、応力
- ③ 掘削底面：ヒービング、被圧地下水による盤ぶくれ、ボイリング、リバウンド
- ④ 周辺地盤、構造物：沈下、水平移動

設計や施工にかかわる検討上の仮定には、地盤条件、土留め工の諸元および解析手法に関するものがある。地盤条件の仮定としては、側圧の大きさと分布形状、変形係数、せん断強度、透水性などである。土留め工や解析手法の仮定としては、壁体の剛性や切梁支保工のばね定数、根入れ部の評価方法などがあり、これらと併せて適用する解析手法も課題の一つである。これらの計測項目と

表-1 主な計測項目と測定方法

測定対象	計測項目	測定方法
土留め壁	土圧および水圧	・土圧計 ・水圧計
	応力	・ひずみ計 ・鉄筋計
	変形	・傾斜計 (挿入式および固定式) ・トランシット
切梁腹起し中間杭	切梁軸力	・ひずみ計 ・鉄筋計 ・油圧計 ・ロードセル
	腹起し応力	・ひずみ計 ・鉄筋計
	腹起したわみ	・水糸 ・トランシット
	支柱の沈下および浮上り	・レベル
掘削底面	土の浮上り	・レベル
	地下水位(水圧)	・観測井 ・間隙水圧計
その他	排水量	・ノッチタンク
周辺地盤	沈下および浮上り	・レベル ・層別沈下計
	水平移動	・挿入式傾斜計
周辺構造物埋設管	沈下および浮上り	・レベル ・層別沈下計 ・水盛式沈下計 ・固定式傾斜計
	傾斜	・固定式傾斜計 ・下げ振り ・水準器
	亀裂	・クラックゲージ ・コンタクトゲージ
	地下水	水位(水圧)
その他	騒音	・騒音計
	振動	・振動レベル計

測定方法との関係を表-1に示す。

計測を計画する場合、計測目的に応じて必要となる計測項目を組み合わせ、計測目的と経済性、精度に配慮して計測項目を選定する必要がある。また、工事の安全を確認するためには、機器的な計測のみならず工事監督者が表-2に示すような目視点検を行うことも重要となる。

3-2 計測方法と計測器の配置

地盤種別などの条件に応じて一般によく使用される計測項目の組み合わせの例を表-3に示す。計測器は、目的に応じて選定するほか精度などにも十分配慮して選定する必要がある。その注意点を下記に示す。

- ① 取り扱いが容易なもの
- ② 容量や測定範囲に余裕があるもの

③ 耐水性・防じん性・耐衝撃性に優れているもの

④ 磁気などの環境の影響を受けにくいもの
計測器は、土留めの設計および施工にかかわる条件を十分に把握できるよう考慮して配置する。通常、計測器は設計時に標準断面として設定した位置やもっとも危険側となる位置などに配置することが多い。また、沈下や変形の計測では、不動点が重要となり、工事箇所の近傍に不動点を選定する必要がある。近接構造物がある場合、その構造物の特性に配慮して計測箇所を決定する必要がある。近接工事において周辺構造物の計測は管理者との協議によって計測点が決まることもあるた

表-2 目視点検項目

点検対象	点検項目
土留め壁	・漏水、土砂崩れ ・亀裂およびかみ合わせ ・矢板のはらみ出し
切梁腹起し支柱	・切梁の通り(蛇行) ・切梁・腹起しの仕口、継手、接合部の状態(ボルトの状況、端部の変形など) ・支柱のわん曲
その他	・湧水の状況と量、掘削深さ ・掘削のり面の状態 ・排水設備の状態 ・土留め背面地盤の沈下や移動
周辺地盤構造物埋設物	・舗装および地表面の亀裂 ・敷石および縁石の状態 ・構造物の状態(亀裂の位置など) ・埋設管の状態(亀裂の有無、養生の異常など)

め、事前協議を十分に行い計画することが重要である。

計測する頻度は、工事の進捗に伴う計測値の変化を速やかに把握することができ、工事に際し遅滞なく対策が実施できるよう設定するのが原則である。計測頻度の目安を表-4に示すが、測定値の変動が大きく挙動が明確に把握できない場合には測定頻度を増やすことや別の計測機器を増設するなどの対応が重要である。

3-3 計測結果と管理値

計測結果を施工に反映させることが現場計測の主たる目的であるため、計測結果を利用する計画にあたっては、測定値の評価方法や安全を損ねる可能性が発生した場合の対処方法など管理方法と管理体制を明確に定める必要がある。

計測結果の評価方法の一例を図-1に示す。通常、

表-4 計測頻度の目安

項目	初期値設定	掘削中および躯体構築中	躯体構築完了後	
			土圧・水圧	応力
壁体	掘削施工前 1回/日 1~2週間程度	1~2回/日	1回/週	1回/月
	掘削施工前 1回/日 1~2週間程度	1~2回/週	1回/月	1回/月
支保工	掘削施工前 1回/日 1~2週間程度	1~2回/日	1回/週	1回/週
地盤	掘削施工前 1~2回/週	1~2回/週	1回/月	1回/月
地下水	掘削施工前 1回/日 1~2週間程度	1~2回/日	1回/月	1回/月
構造物	掘削施工前 1~2回/週	1~2回/週	1回/月	1回/月

表-3 測定項目の組み合わせ例

測定対象	測定事項	計測事項	地盤種別		土質の特質	
			軟弱地盤	良質地盤	圧密層がある	透水性が高い
I. 土留め工の管理	1. 土留め壁の計測	(1)土留め壁に作用する土圧	○			
		(2)土留め壁に作用する水圧	○			○
		(3)土留め壁の曲げひずみ	○			
		(4)土留め壁の変形	○	○	○	
	2. 切梁・腹起しの計測	(5)切梁に作用する軸力と変形	○	○		
		(6)切梁の温度変化	○	○		
II. 周辺地盤の管理	3. 周辺地盤の変位計測	(7)背面地盤の変形	○	○	○	○
	4. 周辺構造物の変位計測	(8)構造物の沈下・傾斜	(○)	(○)	(○)	(○)
	5. 地下水位の観測	(9)排水量と地下水の変動	○	○	○	○

注 ○：一般に測定されることが多い項目 (○)：状況によっては必要な事項

工事の安全性の評価は、測定値と管理基準値の比較により行っており、管理基準値が重要な意味をもつ。

管理基準値は、環境条件や解析結果から決められる。一般に、限界値に対して、1次管理値と2

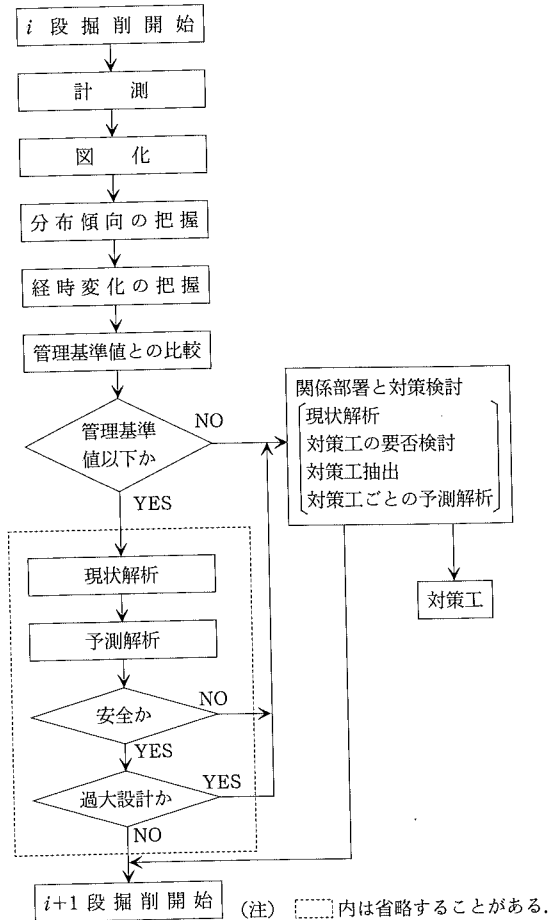


図-1 計測結果の検討フロー例

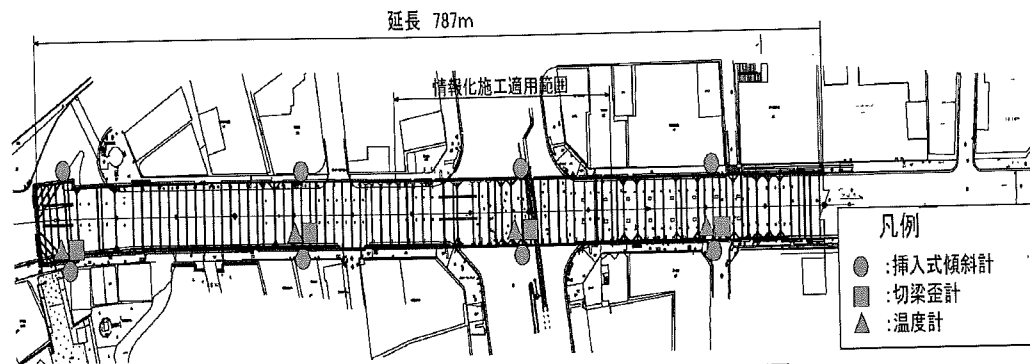


図-2 地下鉄13号線新宿三丁目駅計測機器配置平面図

次管理値を設けることが多く、1次管理値はこれを超えると要注意という意味をもたせ設計計算値の70~80%としている。2次管理値は設計計算値とされ、これを超えると何らかの対策を必要としている。限界値は、許容応力度の1.5割増の値を採用しているケースが多い。

計測結果をさらに有効に活用する方法として、測定値を用いた現状解析を行い最適入力値を設定し、この最適入力値を用いてその後の挙動を予測する方法がある。最適入力値の設計時の入力値を最適入力値に置き換えることで、その後の挙動予測をより正確なものとする事ができる。しかし、設計は、過去の事例から入力値と計算方法、制限値を組み合わせて安全な結果が得られるように確立されてきている。したがって、安易に入力値の変更を行うことは適当とはいえないので十分注意を必要とする。

④ 計測を用いた情報化施工の事例 (地下鉄13号線新宿三丁目駅)

4-1 工事概要

地下鉄13号線新宿三丁目駅は、東京都新宿区三丁目の明治通り下に計画されており、現在工事中である。本工事は、延長787m、深さ幅ともに17~18mと大規模な開削工事である。当該地区の地盤は、良質な地盤であり、上から関東ローム層、東京砂層、東京粘土層、東京礫層という構成である。

本工事の特徴として、地盤は良質であるが、高い地下水位をもつ砂層や砂礫層が存在することである。土留め工は、これらに配慮し止水性の高い

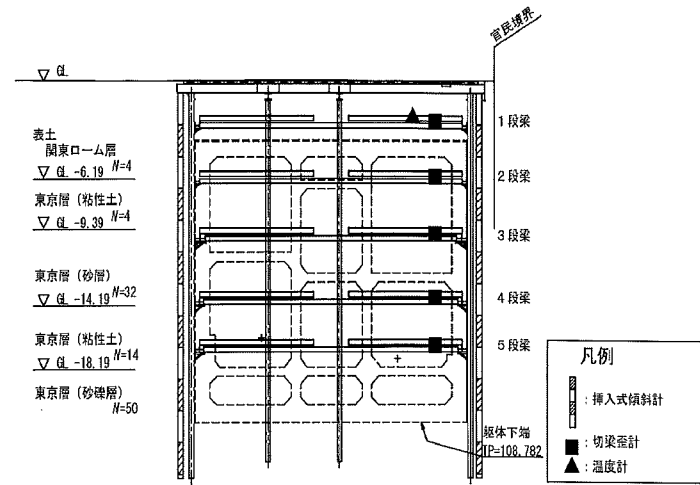


図-3 地下鉄13号線新宿三丁目駅計測機器配置断面図

表-5 新宿三丁目駅実測値と計算値の比較

土留め壁変位測定 (最大変位: 単位mm)			
掘削次数	実測値	設計値	実測値/設計値(%)
一次(GL-3.5)	2.02	3.65	55
二次(GL-7.3)	2.88	9.58	30
三次(GL-10.9)	8.21	14.93	55
四次(GL-14.9)	9.03	21.54	42
五次(GL-17.9)	14.25	21.65	66
六次(GL-1.6)	13.58	21.10	64

切梁軸力の測定 (反力: 単位kN)			
切梁段数	実測値	設計値	実測値/設計値(%)
一段	70	117	60
二段	180	257	70
三段	250	502	50
四段	250	389	64
五段	350	531	66

土留め壁を選定した。また、先行工事で土留めの応力や変形の結果を後行工事への施工に反映して経済化を図った。

4-2 計測内容と結果

先行工事の計測内容は、先に述べたように必要最小限の計測項目と同様な計測を行っており、その主な内容は、

- ① 土留め壁の変位測定
- ② 作用荷重の把握を目的とした切梁土圧計
- ③ 地下水位観測井戸

などである。表-5に示す先行工事の計測結果より、

管理値である設計値と比較して、土留め壁の変位および切梁軸力は、50~70%程度の結果であった。そこで設計で仮定していた作用荷重が小さいことが確認されたため、これらの結果を受け隣接箇所の工事では、作用荷重を見直し、支保工の使用サイズを小さめのものに変更した。その結果、設計値と実測値は近い結果が得られ、かつ安全に工事をすすめることができた。

⑤ 開削トンネルのリバウンドについて

5-1 リバウンド現象について

リバウンドが問題となるケースは、軟弱な粘性土地盤であることが多く、掘削により中間杭が浮き上がり支保工に2次応力が発生し耐力が不足す

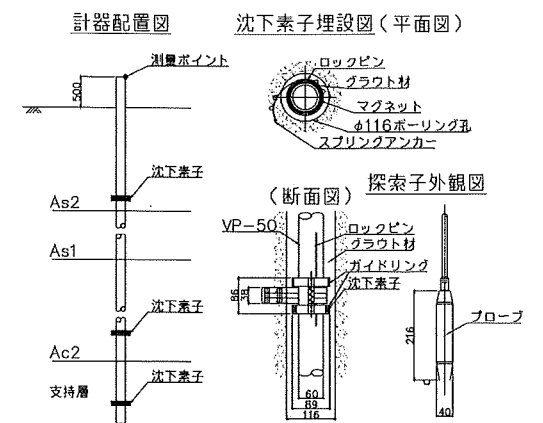


図-4 沈下素子を用いたリバウンド計測機器

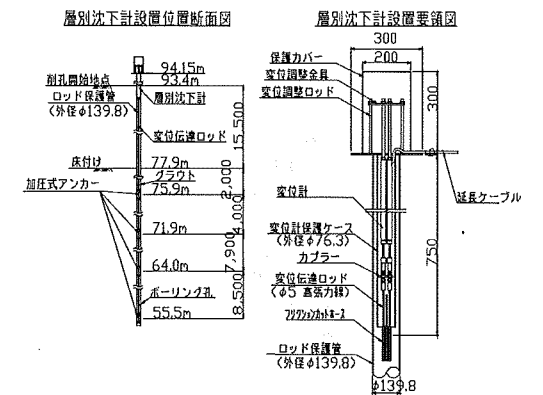


図-5 層別沈下計を用いた計測機器

こともある。また、掘削側の受働抵抗力が低下し土留め工の安定が確保できなくなるケースもある。また、既設トンネルの上部を掘削する場合、地山のリバウンドが既設トンネルに影響を与えるため、リバウンド量を正確に把握する必要がある。掘削底面の変状要因として、考えられるものは、

① 土の除去による土の弾性的または塑性的変形

② 被圧地下水による盤ぶくれやボイリング
 ③ 土の廻り込みによるヒービング現象

がある。地下水による変状は、予測と近い結果が現象として得られるため、設計当初から対策を施すことである程度回避可能である。荷重の除去による変状やヒービング現象は、難解な問題であり、精度よく予測することが困難である。本章では、リバウンドの計測方法と予測手法を紹介する。

表-6 山留め・掘削工事におけるリバウンド予測手法^{2),4)}を一部改定

研究者	予測手法の概要	予測手法の概念図等
伴野・ほか(1976) ⁷⁾ 田野・ほか(1986) ¹⁰⁾	Terzaghi(1924)の圧密理論を除荷時に適用 ・掘削除荷重による地盤内の応力変化をBoussinesqの弾性理論解などにより求める。 ・除荷時 $e \sim \log \sigma'$ 関係からリバウンド量 δ を求める。 $\delta_r = \frac{c_r}{1+e_0} \log \left[\frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma'_0}{\sigma'_0} \right] \cdot D$ $w = p \frac{B}{E} [(1-\nu^2)F_1 + (1-\nu-2\nu^2)F_2]$ δ_r : 地盤の浮き上がり量 c_r : 膨張指数 σ'_0 : 原地盤の初期有効上載圧 e_0 : に対応する間隙比 $\Delta\sigma'_0$: 有効上載圧変化量 D : 層厚 ・圧密試験除荷曲線の直線近似勾配を C_r とする。 $C_r/C_c = 1/9.3 \sim 1/27$ (実測値), $1/5 \sim 1/10$ (一般値), 砂礫は $\Delta e \sim \log \sigma'$ 関係から算定 ⁷⁾ 。 くり返し三軸圧密試験の m より算定 ¹⁰⁾ 。	
植下・ほか(1973) ⁹⁾ 松下・ほか(1976) ⁶⁾ 富士・ほか(1985) ¹⁰⁾ 笹尾・ほか(1985) ¹¹⁾ 辰巳・ほか(1985) ¹²⁾ 玉置・ほか(1988) ¹⁴⁾ 桂・ほか(1988) ¹⁵⁾ 佐藤・ほか(1993) ¹⁶⁾ 玉置・ほか(1993) ¹⁶⁾	Steinbrenner(1934)の弾性解 ・地盤を掘削底面に排土重量が作用する弾性体と仮定しリバウンド量を求める。 ・有限厚弾性体の表面に長方形載荷面をもつ等分布荷重が作用した場合の載荷面隅角点の弾性変位量は次式 ⁹⁾ により算定される。 $w = p \frac{B}{E} [(1-\nu^2)F_1 + (1-\nu-2\nu^2)F_2]$ F_1, F_2 : $L/B, D/B$ により決まる係数 ここに、 L : 載荷面の長さ、 D : 弾性体厚さ ・LLT試験の除荷・再載荷時の弾性係数採用 ⁷⁾ 。 ・せん断波速度より $G = \rho V_s^2, E_s = 2(1+\nu)G$ 。 ・くり返し三軸試験の除荷時応力～歪曲線の歪レベルに応じて変形係数を設定 ¹⁰⁾ 。 ・底面から B (幅) / 2 範囲 E_{vs} , それで深 $1/2E_{vs}$ ¹¹⁾ 。 ・くり返し孔内載荷, 平板載荷, 圧密試験より E 設定 ¹²⁾ 。 ・PS検層 E 補正: $E_s/E_{vs} = 0.4\sigma'_v/\sigma'_{v0} + 0.2$ ¹⁴⁾ 。 ・PS検層 E 補正: $E_s/E_{vs} = 0.5\sigma'_v/\sigma'_{v0} + 0.1$ ¹⁵⁾ 。 ・主応力変化・せん断歪による地盤剛性低下考慮 ¹⁶⁾ 。 ・SteinbrennerとFEMの地中応力は良く一致 ¹⁶⁾ 。	

日本鉄道建設公団「深い掘削土留工設計法」(1993) ⁹⁾	リバウンド計測値の統計処理による相関式 ・文献データの統計処理にもとづき、掘削に伴う排土荷重とリバウンド量の相関式を提示。 A地盤: $Y_R = -5.600 + 0.533 \cdot \sigma_R$ B地盤: $Y_R = -1.234 + 1.218 \cdot \sigma_R$ Y_R : 掘削面中央位置のリバウンド量(mm) σ_R : 掘削による排土荷重(tf/m ²) A地盤: 良好な地盤 B地盤: 軟弱あるいは普通地盤 ・文献調査による除荷時変形係数補正案。 ① PS検層 V_s による E : $1/2 \sim 1/3$ (平均0.4)倍 ② 孔内載荷処女荷重時の E : $8 \sim 20$ (平均12)倍 孔内載荷くり返し荷重時の E : $3 \sim 6$ (平均4)倍 ③ 三軸圧縮試験による E : $3 \sim 10$ (平均6)倍 ④ 一軸圧縮試験: $E = 240 \cdot q_u$ ⑤ N 値から $E = 25 \cdot N$ (kgf/cm ²): $2 \sim 4$ (平均3)倍	
柴崎・ほか(1982) ⁹⁾ (1984) ⁹⁾ 田野・ほか(1986) ¹⁰⁾ 岡田・ほか(1988) ¹⁶⁾ 佐藤・ほか(1988) ¹⁷⁾	弾性FEM解析 ・地盤を連続体と仮定し、有限要素法を用いて掘削部の応力解放に対するリバウンド量を算定する。ほとんどが2次元平面ひずみ条件。 ・リバウンド発生領域を底面から掘削幅とし、PS検層による弾性係数を1/4倍すると実測に一致 ⁹⁾ 。 ・載荷過程試験の弾性係数を用い、残留応力係数 α をパラメータとして実測に合わせる ^{9),17)} 。 ・LLT試験の除荷過程の弾性係数採用 ¹⁰⁾ 。 ・掘削時の弾性係数を逆算し構築時の沈下計算 ¹⁶⁾ 。	<p>FEM解析モデル</p>

5-2 リバウンドの計測方法

一般に掘削底面の計測は、掘削ごとに地盤が取り去られるため、測定が困難である。過去においては、中間杭の浮き上がりを計測することで、その性状をある程度把握していたが、路面覆工などを受ける中間杭は、自動車荷重などがくり返し作用していることや支持層まで挿入されていることが多いため、地盤のリバウンドと必ずしも一致しない。近年、底盤面以深の地盤中の鉛直変位を計測する方法として、次のようなものが計測メーカーから提案されている。使用する計測器は、精度や工事現場の状況を把握したうえで選定するのがよい。

- ① 沈下素子を用いた計測
- ② 層別沈下計を用いた計測

5-3 リバウンド量の予測手法

リバウンド量の予測手法には、比較的簡易的な予測式とFEM解析によるものが多い。リバウンド量の予測にあたって地盤の変形係数 E やポアソン比 ν が大きく関係しているため、その値の選定

には十分注意しなければならない。土中などに地下埋設物があり、その上部を開削する場合には、簡易的な式でその数値を確認し埋設物に影響があると予測される際には、埋設物の限界値や重要度を勘案してより詳細な検討を行うのがよい。以下に主要な方法を示す。

- (1) 簡易的な理論解によるもの
 - ・Steinbrennerの弾性解析
 - ・正方形半無限弾性解析
 - ・Boussinesqの地中応力変化による弾性解析
 - ・Terzaghiの圧密理論を除荷時に適用
- (2) 経験式によるもの
 - ・リバウンド計測値と掘削排土荷重の相関式
- (3) 有限要素法によるもの

- ・弾性FEM解析
 - ・異方性弾性FEM解析
 - ・非線形弾性FEM解析
 - ・弾塑性FEM解析
 - ・有効応力(浸透連成)FEM解析
- さまざまな予測手法に関する概要を表-6に示す。

詳しくは、地盤工学会「山留め架構の設計・施工に関わる研究報告書」¹²⁾を参照されたい。

⑥ ま と め

土留め工の設計に多く用いられる弾塑性設計法の開発にあたっては、その理論と現場による計測とを実証している。このような観点からも計測は安全な工事を目的とする以外にも技術の発展に大きく貢献しており、計測結果の活用方法がより重要である。一方、土留め工事の事故は、大規模なものより比較的小規模な土留め工事に多く発生しているようである。これらの中には、計測を行っているにもかかわらず発生しているものもある。これは、測定結果の活用や目視点検が不十分であったため発生している場合が多いようである。トラブル発生前には、前兆現象が確認されることが多いため、工事管理体制や現場計測の活用を十分に検討し、事故や災害を早期に防ぐことがより重要である。

参 考 文 献

- 1) 土質工学会：現場計測計画の立て方，1990.4.
- 2) 地盤工学会：山留め架構の設計・施工に関わる研究報告書，1998.2.
- 3) 日本鉄道建設公団：深い掘削土留め工設計法，1993.9.
- 4) 地盤工学会：山留めの挙動予測と実際，1999.2.
- 5) 植下・松井・大岡：地盤の挙動計測による建築基礎の合理化の例，土質工学会論文集，Vol.13，pp.87-95，1973.
- 6) 松下・岸田・中井：根切りによる支持地盤のリバウンド量，日本建築学会大会学術講演概要集，pp.1721-1722，1976.
- 7) 伴野松次郎・加倉井正昭・岡田正徳：大規模な逆打ち工法における建物と地盤の挙動，竹中技術研究

- 報告，No.15，pp.12-31，1976.
- 8) 柴崎富士夫・川辺一洋・青木雄二郎：深い根切工事に伴う地盤の浮上りについて(1. 設計時の予測，2. 実測結果)，土質工学会研究発表会講演集，Vol.17，pp.929-936，1982.
- 9) 坂本佳一：有限要素法による土留め解析について 残留応力の概念の導入，銭高組技報，No.8，pp.26-34，1984.
- 10) 富士泰彦・大久保常雄・坂口充夫・梅田周作・石郷岡誠：軟弱地盤における開削工事でのリバウンド測定，土質工学会研究発表講演集，Vol.20，pp.1253-1254，1985.
- 11) 笹尾光：構造物の弾性沈下量予測に関する一提案，鹿島建設技術研究所年報，Vol.33，pp.185-190，1985.
- 12) 辰巳洋治郎・柴田東：地下掘削に伴うリバウンド量の予測値と実測値について，土質工学会研究発表会講演集，Vol.20，pp.1255-1256，1985.
- 13) 田野隆一・六鹿史朗・福井さとし：特集：下水道(雨水対策)逆打・アースアンカー工法併用による大規模掘削工事，土木技術，Vol.41，pp.64-73，1986.
- 14) 玉置克之・西尾伸也・後藤茂・天野賢：層別沈下計測による支持地盤の変形係数，土質工学会研究発表会講演集，Vol.23，pp.1245-1246，1988.
- 15) 桂豊・西尾伸也・玉置克之・森誠二：掘削に伴う支持地盤の変形性状(その1～その3)，土質工学会研究発表会講演集，Vol.25，pp.1137-1138，1988.
- 16) 岡田純治・花房宏安・谷口清：根切りに伴うリバウンドおよび再圧縮量について，土質工学会研究発表会講演集，Vol.23，pp.1237-1238，1988.
- 17) 佐藤常雄・深田和志・木村芳正・坂本佳一・吉田弘明：軟弱地盤における大深度掘削の挙動と解析(その1，その2)，土木学会年次学術講演会，Vol.43，pp.502-505，1988.
- 18) 佐藤英二・青木雅路・丸岡正夫：大深度掘削工事に伴う近接構造物の挙動，土質工学会シンポジウム発表論文集，pp.101-106，1993.
- 19) 玉置克之・桂豊・岸田了：掘削および構築時の支持地盤のヤング係数の変化，日本建築学会論文報告集，No.446，pp.73-80，1993.

〔土木工学社図書案内〕

岩盤の計測と解析 工博 鈴木 光著

A 5判 箱入 244ページ 本体価格4,200円 (〒380円)

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

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

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

加藤精雄

各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(1)

— I. 序 論 —

JTA保守管理委員会

① 連載をはじめるときにあたって

現在、わが国では表-1に示すように、道路、鉄道、水路、下水道、電力あるいは通信用にきわめて多くのトンネルが供用されている。これらのトンネルが所要の機能を発揮し続けるためには地道での確な維持管理を進めていくことが重要であり、その中でも、点検・検査技術については確実性と効率性の観点から更なる発展が求められるところである。

一般にトンネルは環境変化の少ない地中に建設されているので、こまめに手を加えれば長期にわたって供用が可能な構造物である。実際、建設後100年を越えてなお使用されているトンネルも多く存在している。

表-1 日本のトンネル延長の内訳

(2005.4 JTA 保守管理委員会調べ)

用途	概略延長	記事(内訳など)
道路	2,900km	道路統計年報2004(国土交通省道路局監修全国道路利用会議による(平成14年度))
鉄道	3,080km	JR 2,200km 地下鉄 490km 民鉄・第三セクターなど390km (平成14年度末、鉄道総研調べ)
導水路	4,700km	電力会社10社の導水路トンネルの合計(沖縄電力を除く)
下水道	360,000km	全国の下水道管きよの合計(平成14年度末)
電力・通信	電力480km 通信600km	電力：東京電力のみの場合 通信：NTTの場合

しかしながら、経年による老朽劣化は、多かれ少なかれ避けることはできない。また、供用中に変状が進行し、対策を強いられるトンネルも少なくない。とくに最近では、1999年の鉄道トンネルにおける覆工コンクリートの剝落事故などのように、経年とともにトンネルの安全が問われる問題が顕在化しつつある。

このような状況のなか、現在数多くの企業や自治体で、検査精度の向上、検査のコスト縮減、維持管理計画の高度化などを目指し、これまで人力に頼ってきた点検・検査業務の自動化、省力化、数値化、システム化を目的としたさまざまな非破壊検査手法の導入・開発が進められている。

その中には、既に実用に供されているものも多く、定期的実施される目視・打音などによる従来の検査・点検の代替技術として、あるいは新しい調査技術やモニタリング技術として、事業者が積極的に取り入れているのが現状である。また、いまだ研究途上の手法についても、実用化が期待できるものが少なくない。

一方、これらの新技術がトンネルの維持管理に広く有効に活用されるかどうかは、事業者の設備維持管理体制に対する配慮次第であるというのも事実である。

以上から、発展著しいトンネルの検査技術に関して、各事業者の取り組みをもとに、技術分野ごとの整理をすることは大変重要かつ有意義であり、日本トンネル技術協会保守管理委員会(表-2)で取りまとめを行うことにしたものである。

表-2 保守管理委員会の構成

委員長	吉田 幸一	東日本旅客鉄道(株)
委員(前)	今野 和則	国土交通省道路局
"	小輪瀬良司	国土交通省道路局
"	真下 英人	(独)土木研究所
"(前)	有水 恭一	西日本高速道路(株)
"(前)	鈴木 淳司	東日本高速道路(株)
"	建部 俊典	東日本高速道路(株)
"(前)	式田 直孝	首都高速道路(株)
"	大久保高秀	首都高速道路(株)
"	泊 弘貞	東京地下鉄(株)
"(前)	守屋 洋	日本電信電話(株)
"	藤倉 規雄	日本電信電話(株)
"(前)	浦中 和光	東京都交通局
"	両角 幸範	東京都交通局
"(前)	藤崎 満	東京都下水道局
"(前)	渡辺志津男	東京都下水道局
"	中里 隆	東京都下水道局
"	小林 順二	東京電力(株)
"	小島 芳之	(財)鉄道総合技術研究所
"	今岡 彦三	佐藤工業(株)
"	井田 隆久	(株)銭高組
"	赤荻 博明	飛鳥建設(株)
"	太田 義和	太田技術事務所
幹事(前)	内田 浩二	東日本旅客鉄道(株)
"	向山 路一	東日本旅客鉄道(株)

当委員会は、トンネルの維持管理に携わる事業体を中心に構成しており、トンネルに関する技術的な検討・提言、新技術の導入・普及、情報交換、国際トンネル協会(ITA)との技術交流を主とした活動を活発に行ってきた。

1984年以降、これら活動成果の一部については、「トンネルの保守・維持管理シリーズ」(Vol.15, No.5(1984.5)から13回)、「トンネルの保守・維持管理」(Vol.25, No.1(1994.1)から9回)、「トンネルの新しい検査手法」(Vol.27, No.8(1996.8)から4回)、「建設・保守管理へのフィードバック」(Vol.29, No.5(1998.5)から4回)、「トンネルの補修・補強における工法と材料」(Vol.33, No.5(2002.5)から6回)と、順次取りまとめて本誌にて報告してきた。

そこで、前回の報告から既に約8年が経過したこと、この間トンネル検査技術の開発・実用化が急速に進展したことに鑑み、2003年より3年間にわたって調査・研究を進めてきた活動の成果の一部をまとめ、連載講座の形で報告することにしたものである。

表-3 本連載講座の構成

I. 序 論
1. 連載をはじめにあって
2. トンネル検査の現状と問題点
3. 従来の検査手法と問題点のまとめ
II. トンネル覆工表面の検査手法
1. 活用されている技術の概要
2. 赤外線カメラを利用した検査手法
3. CCDカメラおよびレーザーを利用した検査手法
4. CCDカメラを利用した検査手法
5. テレビカメラを利用した検査手法
6. ラインセンサーカメラによる覆工表面の検査
7. レーザーによるクラック探査装置の開発
8. レーザー光による覆工表面撮影を活用した検査
III. トンネル覆工内部の検査手法
1. 活用されている技術の概要
2. 電磁波法による覆工内部の検査手法
3. マルチパス方式レーダーを利用した検査手法
4. 電磁波探査による二次覆工コンクリート調査
5. 打音法による覆工内部の検査手法
6. 小径コアによる覆工内部の検査手法
IV. その他の検査手法および変状監視手法
1. 活用されている技術の概要
2. 油圧探針装置による覆工背面地山の探査
3. 光ファイバーセンシング技術を利用した変状監視
4. 光ファイバーによる変状監視
5. 導電塗料による変状監視
V. 連載のおわりに

なお、紹介する検査手法は、各委員の情報を持ち寄って整理したものであるため、わが国で現在開発・実用化されているすべてのトンネル検査手法を網羅しているわけではない。しかし、全編に目を通していただければトンネル維持管理に関する最新の動向をご理解いただけるものと考えている。読者諸氏の参考になれば幸いである。

② トンネル検査の現状と問題点

2-1 トンネルの変状と検査の必要性

トンネル覆工に生じる変状には、変形・変位、ひび割れ、目地切れ、剝離、漏水、凍結、析出、補修材料の劣化、などがある。これらの変状の原因は多様であり、土圧・水圧などの過大な外力の作用や経年などによる材料劣化などの外的な要因に加えて、施工時に起因する内的な要因とが、相互に組み合わされることによって生じる。これらの変状は、既往の現状調査の結果によれば、軽微

なものも含めると25~40%程度のトンネルに見られるとされている¹⁾。

このような変状が生じると、トンネルとしての機能を十分に確保できなくなる場合があるので、点検・検査を定期的に行ってその状況を把握し、必要な場合には的確に対策を講じていくことが、トンネルを長期間安全に使用し続けていくうえで不可欠である。

2-2 各事業者におけるトンネル検査の現状と問題点

保守管理委員会では、今回の調査・研究を進めるにあたり、構成委員が所属する各事業体が所有するトンネルに関して、設備の現状と検査の位置づけおよび技術的な問題点について整理した。これらは読者にとっても参考になる部分が多いと思われる。よって、以降の連載の導入としてここで解説しておくことにする。

2-2-1 東京地下鉄(株)の場合

(1) トンネルの現状

東京メトロが保有する日本でもっとも古い地下鉄トンネル(銀座線浅草~上野間)では、供用開始以来80年の歳月が経過している。

(2) 検査の目的

維持管理における検査業務は、列車の安全安定運行の確保を最優先課題とした保全業務の色彩が強く、従来のトンネル検査は、目視観察と打診による覆工面の変状状況の把握が主体であり、その結果にもとづく補修を実施している。

すなわち、まず、徒歩巡回により漏水、ひび割れ、析出物、補修跡などの目視観察スケッチおよび剝離の打診による打音確認で2年に1回の全般検査を行い、その成果を変状展開図に作成している。

全般検査の結果、機能支障の恐れなどが発見され個別検査が必要と評価された場合には、必要に応じて詳細検査を実施している。

(3) 検査の問題点

トンネル内作業の特殊性から、①暗く狭隘な空間での変状見逃しによる検査の不確実性、②高所に対する(足場設置を伴う)検査の困難性、③検査

する担当者の資質・個人差による変状評価の不定量化、④躯体深部の不可知性、⑤劣化・変状の微小性、緩慢性による時系列挙動把握の困難性などの問題点を抱えている。一方、トンネル検査を取り巻く環境も、①路線延伸に伴う保線検査業務量の増加、②経年による老朽化の進行に伴う劣化・変状の増大、③施工法、断面形状などによるトンネル特性の多様化、④ベテラン技術者の減少に伴う検査技術の低下などと、変貌を遂げており、人力型検査手法のあり方が問われる中で、検査精度の向上、正確なデータの取得と記録保存、その蓄積データの活用が大きな課題となっているようである。

2-2-2 東日本旅客鉄道(株)の場合

(1) トンネルの現状

JR東日本の鉄道トンネルは、新幹線・在来線を合わせて、1,263トンネル、総延長約882kmに及び、経年120年のレンガトンネルから石造、コンクリート、RC、シールドと建設された年代により構造種別も異なっている。平均経年が58年と老朽化が進んでいる。

(2) 検査の目的

トンネル覆工の検査は、おおむね2年周期の全般検査の中で目視点検を実施し、必要により打音検査が行われている。検査ではとくに覆工表面の変状の把握・記録を行い、健全度判定にもとづいて必要な措置を判断する。また、ひび割れの長さや幅などの時間経過による進展の有無についての確認にも重点が置かれている。

(3) 検査の問題点

覆工表面の変状については、目視で状況を野帳にスケッチし、その後必要により変状展開図が作成されてきたが、以下のような問題点を指摘している。

- ① 現地でのスケッチは時間を要するとともに、正確性に欠ける面がある。
- ② 展開図を作成するのに手間がかかる。
- ③ 時間的変化を把握するのが困難である。

一方、トンネル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、覆工内部の状態を正確に把握することも重要となるため、従来からハンマーを用いた打音検査を実施してきたが、覆工面をハンマーで打撃した際の打撃音と感触から変状の有無を判断するものであり、以下のような問題点を挙げている。

- ① 人間の感覚に依存するため判定に個人差が生じる。
- ② 検査記録を定量的に残せない。
- ③ 検査作業員の肉体的負担が大きい。
- ④ 覆工深部や背面の検査は困難である。

2-2-3 東、中、西日本高速道路(株)(旧 日本道路公団)の場合

(1) トンネルの現状と検査の目的

東、中、西日本高速道路(株)が管理する高速道路延長は7,000kmを越え、また、供用後の平均経過年数が約20年に達するなか、老朽化や劣化に起因する道路構造物の損傷事故が見られている。このような情勢の中、高速道路トンネルについても、供用延長の増加とともにトンネル覆工コンクリートの剥落が多発してきている。そのため、覆工コンクリートの不具合を早期に検出し、構造劣化や機能低下に対して維持補修の優先順位を明確にすることが不可欠となっており、これが検査業務の主な目的となっている。

(2) 検査の問題点

高速道路トンネルの点検は、①狭い空間内で、②交通規制中の限られた時間内で、③長大で連続

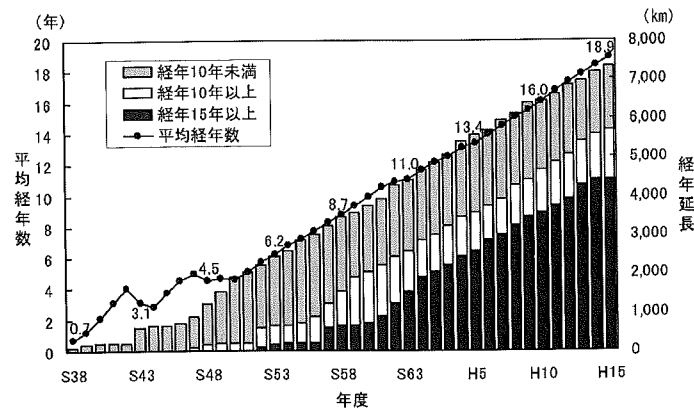


図-1 高速道路の平均経過年数と経年延長

した壁面を、④とくに古いトンネルでは煤煙や埃などが付着して見えにくくなっている状態で行っており、きわめて過酷な条件下で実施している現状が指摘されている。さらに、構造の詳細な劣化状態を把握するために近接目視や打音を実施する場合には、多大な労力と時間を要するとともに上向き作業となるため作業性の面で苦渋を伴うことが多い。また、ひび割れの存在や進行を見落とす可能性があるなど、健全度の評価にあたって人的判断のバラツキが生じる可能性があるなどの課題がある。

2-2-4 首都高速道路(株)の場合

(1) トンネルの現状と検査の目的

首都高速道路(株)が管理する高速道路延長は、現在約280kmで、そのほとんどが高架、トンネルなどの構造物となっている。

このうちトンネルは上記のうち、約6%の延長約17kmで、その大半が開削工法により施工された。平成17年10月現在で、供用から30年以上経過したトンネルが全体の約3割を占めており、最近では老朽化に伴い、トンネル壁面コンクリートやタイルの浮きや剥離などが見られている。

首都高速道路におけるトンネルには、都市内における重交通下においても安全走行空間を確保すべく、水噴霧や消火器などの防災設備、照明設備、換気設備、これらを監視・制御する管制設備など多くの設備を設置している。

このため首都高速道路におけるトンネルの検査

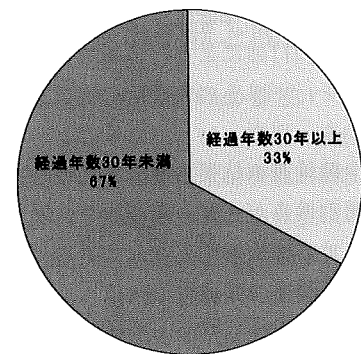


図-2 首都高速道路のトンネル供用経過年数

は、トンネル本体の維持補修を適切に行うための躯体の変状調査ということだけではなく、これらの設備が正常に作動するかどうかを確認する機能の点検も大きな目的である。

(2) 検査の問題点

首都高速道路(株)では現在、5年に1回の頻度で足場などにより構造物に接近し損傷の有無を把握する定期点検を行っている。一方、新規建設路線では沿道環境に配慮し、トンネル構造を採用してきており、現在建設中の路線(中央環状新宿線、川崎縦貫線、横浜環状北線など)はその延長の約65%(19.2km)がトンネル構造で、これらがすべて完成するとトンネル管理総延長は36kmで現在の2倍強となる。

トンネルの点検には多大な労力と時間を要し、また車線の規制や通行止めが必要で首都高速道路を利用される方々に多大な負担を強いることから、いかにして躯体の損傷や各種設備の点検時間を短縮化し、またそれにもとづき構造物や設備の健全度を合理的に評価するかという課題を有している。

2-2-5 東京電力(株)の場合

(1) トンネル(水路)の現状

東京電力の水路トンネル(導水路、放水路)は、総延長約740kmに及んでおり、そのうち約70%が建設以来60年を経過した老朽トンネルである。

(2) 検査の目的

これらの水路トンネルの保守管理は、外部から目視観察による普通点検(原則として1回/1年)と内部を抜水して行う精密点検(原則として1回/3年)に分かれており、更に変状が著しいトンネルについては詳細調査が実施されている。

(3) 検査の問題点

通常水路トンネルの内部点検は、発電所の点検などによる停止に合わせて実施しており、数日から1週間程度の限られた期間に実施しなければならない。

これは、発電所の長期停止による溢水電力の削減を考慮したものであり、きわめて短時間で全線を確認することが求められる。

このように水路トンネルの内部点検・調査は、

作業環境の悪い場所で長距離にわたって測定・記録を行うことから、多大な労力を費やす作業となる点が課題とされている。また、作業者の経験・技能の違いから点検精度に差がでることも懸念されている。

2-2-6 日本電信電話(株)の場合

(1) トンネルの現状

NTTは、全国に約600kmの通信トンネルを保有しており、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いる。

(2) 検査の目的

トンネルの点検は、目視主体の定期点検(3~5年周期)によって、ひび割れ、漏水、剥離などの覆工表面の劣化現象を劣化ランクごとに定量的なデータとして把握する。目視では原因がわからない場合や原因を究明する必要がある場合に精密点検を実施し、対策の必要性を判断したり、劣化原因に適合した補修の選定などを行う。

シールドトンネルの場合、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、コンクリートの剥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原因となるため、精密点検でこれを把握することが重要である。

(3) 従来の問題点

設備の安全性や長期信頼性を評価するうえで、コンクリート内部を点検することが重要となるが、従来の目視や打音検査ではコンクリート内部の劣化把握は困難であり、またコア抜きによる確認はコンクリートを一部破壊することから、老朽化したトンネルをさらに傷める可能性がある。

そこで破壊せずに点検できる非破壊検査技術の必要性が高まっている。

従来から、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、また深さ方向の精度に問題があった。

2-2-7 東京都交通局の場合

(1) トンネルの現状

都営地下鉄の路線別、トンネル種別の延長は、表-4のとおりである。

表-4 路線別、構築種別の延長

単位：km

種別 路線別	地下					地上 高架橋 など	計
	箱型			シールド			
	複線	単線	その他	複線	単線		
浅草線	16.2	0.9	0.5	—	2.2	—	19.8
三田線	16.3	—	0.0	1.1	3.4	5.7	26.5
新宿線	9.7	—	0.3	2.4	17.6	2.5	32.5
大江戸線	8.6	0.1	—	3.9	57.2	—	69.8
計	50.8	1.0	0.8	7.4	80.4	8.2	148.6

トンネルの施工方法としては、浅草線、三田線では駅部、駅間とも大半が開削工法で建設している。また、新宿線、大江戸線は原則として駅部が開削、駅間がシールドとなっている。その他特殊な工法として、ケーソン、凍結工法、沈埋工法、シールド駅工法などを採用している。

シールドの二次覆工は、浅草線、三田線、新宿線ではすべてのシールド区間に施工している。また、大江戸線ではシールド区間のうちの単線13.6km、複線0.9kmに施工し、全路線の施工延長は41.2kmである。

(2) 検査の目的

都営地下鉄のトンネル検査は、法定検査基準に準拠して2年を超えない周期で行っているが、コンクリート表面のひび割れや漏水などの発生およびこれらの進行状況の確認を主な目的としている。なお、検査で発見した異常箇所については、原因究明と補修の要否判定のために別途詳細調査を実施している。

(3) 従来の問題点

従来の検査では、徒歩での目視により、ひび割れや漏水などの状況を所定の様式に記録し、これを持ち帰り、紙ベースの台帳に転記し、ファイルする方法を採っていた。このため、次のような問題があった。

- ① キロ程ごとのひび割れ形状などを正確に台帳に記載することが困難である。
- ② トンネルの変状を時系列に記録する仕組みになっているが、進行状況を定量的に把握しにくい。

③ 検査員により、記録に個人誤差が生じやすい。

④ 平成12年2月に当時の運輸省から通達された「トンネルの保守管理について」にもとづくトンネル内面の展開図が整備されていない。

2-2-8 東京都下水道局の場合

(1) 下水道管きよの現状

平成14年度末における下水道管きよの延長は全国で約36万kmにも達している。

東京都区部の場合を例にとると、平成15年度末における下水道管きよの管理延長は、約15,500kmであり、そのうち約2,000kmが法定耐用年数である50年以上を経過しており、全体の約13%となっている。今後、高度経済成長期の下水道普及率の伸びと歩調を合わせ、その割合は飛躍的に増大することが維持管理を進めるうえで大きな課題となっている。

(2) 管きよに起因する道路陥没の発生状況

道路陥没の原因は、管きよの老朽化、地盤沈下、他企業工事による損傷などが考えられるが、交通車両の増加などの外的要因の影響を含め経年劣化により管の耐力が失われ、ひび割れや断面欠損などが生じる場合が大半を占める。

下水道管きよに起因する道路陥没の発生件数は、緊急対応の効果もあり、平成12年度をピークにここ数年減少傾向にあるものの、年間1,000件前後と、依然として多く発生している。そのうち約7割は、本管と汚水枒をつなぐ取り付け管で発生している。

(3) 管路内調査の目的および実績

管路内調査は、下水道の本管や取り付け管の現況を調査し、管路施設に起因する事故などの未然防止対策および計画的な修繕や改築への反映を目的に実施している。

管路内調査の方法は、目視のほか、テレビカメラ調査機器を活用し、損傷箇所の早期発見を行っている。

調査の順序は、区部面積約56,000ha中でも整備年次が比較的早く、管きよ能力不足および老朽化が進んでいる都心区16,350haを「第1期再構築エ

リア」に選定し、優先的に昭和57年度から実施している。このエリアでは、下水道管きよの管理延長が約4,600kmあり、平成15年度末までに老朽度の著しい箇所の再調査も含め、約4,400kmの調査を実施し、約95%の管路内調査を完了している。また、区部全体では、全管理延長の約49%にあたる約7,600kmの管路内調査を完了している。

管きよの老朽化が予想される都心区においては、調査結果はデータベース化し、対処療法的に対応するのではなく予防保全を重視した維持管理に努めている。

(4) 検査の問題点

1) 分析結果の効率的な運用

調査が終了した管路内調査データは膨大なため、計画的な修繕や改築に必要な分析を行うにあたって、誰もが効率的かつ正確に分析できるよう情報検索機能および資料の散逸・劣化対策を充実させる必要がある。

2) 維持管理技術・機器の開発

近年、管路内調査用テレビカメラの技術開発が進み、小口径管きよの調査をより一層正確に行えるようになってきている。

一方、幹線に代表される大口径管きよの調査などにおいては、小口径に比べ、いまだ適当な機器が少なく人力に頼っている面がある。このため、より安全かつ効率的な維持管理技術の開発と作業の機械化が必要となっている。

③ 従来の検査方法と問題点のまとめ

3-1 検査の手順・方法

前項で示したように、道路、鉄道、水路、通信などの一般的なトンネルにおいては、トンネル坑内の検査は、以下のような手順と方法で行われている。

3-1-1 定期的な検査

トンネル全数を対象として定期的に行われている(例えば、道路では1~5年ごと、鉄道では2年ごとなど)。その方法は、一般に徒歩による目視を中心にして必要により打音と組み合わせることによって行われている。ただし、下水道小口径

管のように人間が入れない場合については、ビデオなどによっている。

また、その検査の結果はスケッチや台帳に記録し、それらを整理して変状展開図などの記録簿を作成し、維持管理が行われている。

3-1-2 詳細な検査

定期的な検査によって変状箇所が特定されると、変状状況に応じて詳細な調査が個別に行われる。変状の進行性が問題となる場合には、計測によって進行性を監視することも行われている。また、変状の種類によっては、トンネル周辺の地山の調査が必要となる場合もある。

3-2 検査の問題点

3-2-1 覆工表面の検査の場合

トンネル覆工表面の検査にあたっては、坑内の環境上、一般に以下のような問題がある。

- ① 暗く、狭隘な空間で検査が実施しにくい。
- ② 延長が長く労力を要する。
- ③ アーチ部などは高所作業となり困難である。
- ④ 検査者の判断基準に結果が左右される。
- ⑤ 手書きによる記録に手間がかかる。
- ⑥ 記録されたデータを整理し、時間による変化をつかむのが困難。

さらに、用途ごとの問題としては、下記のようなものがある。

- ① 道路、鉄道トンネルでは、自動車や列車が走行しているため、検査時間が限られる。
- ② 下水道管きよや発電所の水路トンネルなどの特質として、常時水が流れており立ち入りしにくい、小口径の場合には人が入れない、とくに下水道では有毒ガスなどが発生している危険がある、などの問題がある。

これらのことから、変状の存在や進行などを見落とす可能性も否定できず、健全度の評価にあたって人的判断のバラツキが生じる可能性があることや、その結果から健全度を判定する際にも客観性に欠ける場合がある、などのさまざまな問題を有している。

以上のような問題を解決するため、各方面において、近年の計測技術を活用し、精度良く、短時

間で、多くの検査データを取得・蓄積し、維持管理に有効に活用できるよう、さまざまな技術開発が取り組まれている。

3-2-2 覆工内部の検査の場合

トンネル覆工内部の検査は、トンネルの構造上の特色などにより以下のような課題がある。

- ① コア削孔および削孔内部観察による調査方法は、箇所あたりの作業に多くの時間と費用がかかり、トンネル全体の健全度評価に必要な量のデータ収集は難しい。
- ② トンネルの種類によって、夜間作業や車線規制の実施が強いられ、広範囲の調査の実施は難しい。
- ③ 破壊検査を主とするため、部位やコンクリートの劣化状況によっては、構造物に悪影響を及ぼしかねない。

このような問題点を踏まえ、覆工内部の検査は、対象部位と接触あるいは非接触としても非常に近傍にて実施する必要があることを念頭に置き、検査装置の開発が行われている。

検査車などによる計測では、トンネル内の電力設備や覆工面の大きな凹凸、補修箇所などといった支障物の回避に要する時間の割合が大きい。これらの影響による速度ロスを削減することが課題である。また、計測データの蓄積により、さまざまなトンネルコンクリートに対するデータ特性を把握し、解析作業に反映させていくことも必要である。レーダー解析にもとづく判定結果と、実際に現地で確認した結果の比較検証をもとに、より実態に即した判定指標の確立が望まれる。

依然として覆工内部の検査は、鉄筋や鋼製セグメントの腐食状況、コンクリートの強度低下や中性化深さなどの点検調査を、一部コンクリートを破壊して、もしくはコアを採取して確認しているのが大多数である。

経年劣化したトンネルを破壊して検査することは、構造性能の低下を招くばかりでなく、作業の安全性を損なうこととなるため、これら開発・導入された検査手法の活用を進め、非破壊検査に移行させていくことが重要である。

3-2-3 覆工背面の地山探査の場合

既設トンネルの健全度については、構造物自体の調査、診断に加え、トンネル内で見られる漏水などの影響による構造物背面地盤の緩み領域の有無を把握する必要があり、地表面からのボーリングや、トンネル内からの削孔などによる背面空洞の調査や、地質状況を把握する方法が一般的である。都市部におけるシールド工法などによる地下トンネルの場合、地下水面よりも下部にあり地山が流動化し、背面に緩みを生じている場合もありこれらの調査には手間がかかっている。

ボーリング調査は地盤の状況を確認するため広く実施されているが以下のような課題がある。

地表から削孔する場合、調査したい位置までのかぶり大きいと装置が大掛かりになるとともに、必要でないデータも多数とることとなる。また、都市トンネルなどでは、調査地点が地上の活用状況に制限されるため、調査精度が落ちる場合がある。

トンネル内部から削孔する場合、手間がかかるのが課題である。また都市鉄道などで地盤が緩く、地下水面以下にある場合などは、貫入試験やボーリング自体が困難な場合があり、削孔も水圧などがかかり地下水の噴出などの対策が必要となる。

電磁波による探査は比較的軽微な機器により、広範囲にわたり効率的に調査が可能である。しかし調査できるものが限られ、地質やN値などのデータを取得することはできない。また、覆工厚が厚い場合などはデータの精度が悪くなる、あるいは測定が不可能となる。

3-2-4 モニター技術による変状監視の場合

トンネルを効率的に維持管理するうえで、変状を一定の範囲で事前に検知することも重要である。そこで、トンネルの変状をモニター技術によって遠隔監視し、歪みゲージを中心とした各種センサーやAE(Acoustic Emission)法など、電気的なセンサーを活用したトンネル変状の把握が進められてきている。

モニター技術は、監視対象構造物の変状を検知するためのセンサーなどを配置し、ケーブルや無

線などにより監視センターへ計測データを伝送する方式が一般的である。しかし、電気的センサーを用いたモニター技術は、点の情報を捉えることはできても、線的あるいは面的な連続情報を捉えることは困難である。また、トンネルのような管理延長が長い構造物に対しては、センサーに電力を供給するケーブルや計測信号を伝達するケーブルなどシステム構成が複雑でコスト面でも課題が多い。このような課題を解決できる方法として、光ファイバーおよび導電塗料の活用が進んでおり、

注目が集まっている。

次章以降、目視検査に代わる技術としての覆工表面の新しい検査方法、打音検査に代わる技術としての覆工内部欠陥の新しい検査方法、変状が生じた場合に重要な調査対象となる覆工背面の新しい検査方法および光ファイバーなどによる変状監視について紹介していく。

参 考 文 献

- 1) 土木学会：トンネルの変状メカニズム，2003.9.

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章

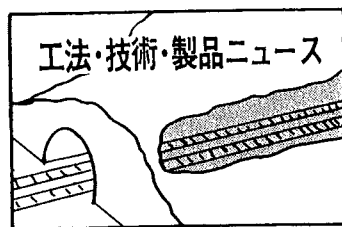
B5判 285頁 本体価格4,660円 円340円

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

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

 株式会社 土木工学社

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



ノンプリズム測距500mを実現

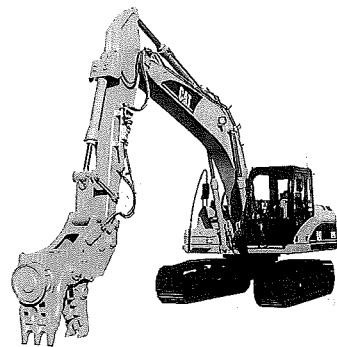
ライカジオシステムは、トータルステーションTPS400/700/800の3シリーズにノンプリズム測距500mを実現する「ultra(ウルトラ)モデル」を発売した。

同器は、ノンプリズム機能により、立ち入り禁止地域や交通量の多い市街地での測定時間を短縮するとともに、ピンポイントレーザーにより目標物を正確に捕らえて精密測定を可能とした。また、赤色可視光レーザーは直接目で見るができるため、視線誤差を確認しながら作業ができる。

金属を効率よく仕分け・選別してリサイクルに貢献

新キャタピラ三菱は、小型の油圧ショベルCAT®312DL「REGA」と中型の標準機CAT320D「REGA」およびロングクローラ機CAT320DL「REGA」にバッテリー式マグネット仕様車を加え発売した。

解体現場や産業廃棄物処理現場での金属スクラップのリサイクルに威力を発揮し、仕分け、選別、積み込み作業を1台で効率よく行うことが可能。

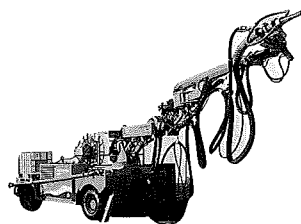


コンパクトなコンクリート吹付け機

東友エンジニアリングは、コンクリートポンプで世界的な実績を誇るPutzmeister(プツマイスター)社製コンクリート吹付け機「Sika®-PM 500PC」の日本国内における総販売権をプツマイスタージャパンから取得した。

同機は、ヨーロッパでの実績と技術のノウハウをもとに開発され、従来のコンクリート吹付け機の考え方をことごとく変えた画期的な製品である。

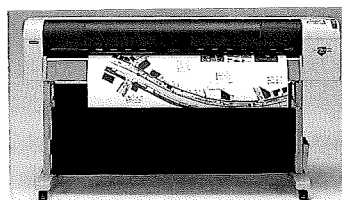
その特徴として、コンプレッサー搭載型にもかかわらず、非常にコンパクトで運転席も180度回転式となっており、走行時の死角がない。コンクリートポンプは、圧送シリンダーが長く、油圧回路に特許FFH(フリーフロー油圧回路)を採用しており、切換えスピードが速く、脈動、騒音振動、リバウンドが少ない。



A0対応の高速インクジェットプロッタ

武藤工業は、A0対応の現行機種種のスペックを大幅に改良し、解像度や印字速度を高め、軽量化を実現した「ドラフステーションRJ-900C」を発売した。

特徴は、①新型ヘッドの採用で高速・高品質作図を実現、②用紙搬送の機構部を最適化することで、薄手の用紙からマットフィルムまで高精度の搬送が可能、③プロッタの状態をコンピュータから確認できるステータスマニタを装備、などである。



ジャイロ技術と光学技術のハイブリット化

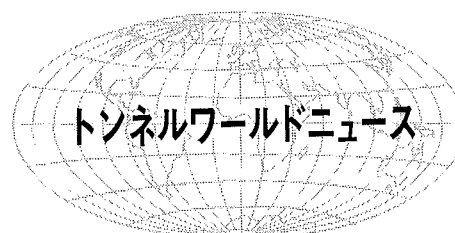
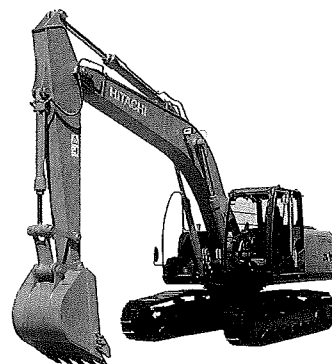
トキメック自動建機は、ジャイロシステムと自動視準トータルステーションをハイブリット化した「シールドトンネル掘進管理システムTellus(テルス)を開発し、販売を開始する。

このシステムは、シールド工法の線形管理に不可欠な姿勢計測と位置測量をリアルタイムで行えるのが特徴で、マシンの高速施工や測量の簡素化などのニーズに応えたもの。

全域にわたり基本性能を進化

日立建機は、新型油圧ショベルZAXIS-3シリーズとして、新たに4機種を発売する。

同シリーズは、「濃密品質」をキーワードとして生産性・経済性の向上、構造物強化による耐久・信頼性のアップ、環境・安全性へのさらなる配慮、居住・整備性の改善など、油圧ショベルが求める全領域にわたって「基本性能の進化」を図った。また、衛星通信機器を標準装備することによって従来から好評の「e-サービス」をさらに進化させた。



(社)日本トンネル技術協会
国際委員会国内広報ワーキング

Herraduraトンネルの掘削がほぼ完了

地中海ハイウェイ計画の大半を占めるスペインCadiz(カディス)とBarcelona(バルセロナ)間にある延長5.7kmのHerraduraトンネルは、今月の掘削完了に向けて作業が進められている。

Cantalobos, Calaceite, およびGatoの3本の双設トンネルは、離隔25mの計画で掘削が行われ、それぞれの延長は2,198m, 386m, 281mである。3本のトンネルの坑口部合計650mは、明かり巻きとなっている。

Cantalobosトンネルは、300m間隔で火災対応のための歩行者連絡坑4か所と、900m間隔で車両連絡坑2か所が設置され、また上下線トンネルごとに、延長40m、幅2.5mの非常駐車帯2か所、設備室3か所、避難所12か所が設置されているのが特徴である。

施工者のUTE La Herradura-Ploder社、Azvi社、およびObras Subterráneas社は、幅員12.5m、断面積105m²のトンネルを構築している。

トンネルの断面は、上半部が半径6.3mのアーチとなっており、下半部はS.L(スプリングライ

ン)から路盤まで1.85mの断面である。また、幅10.5mの車道と両側に0.75mの歩道が設置されている。

T&TIは、「このトンネル掘削は、地殻変動を受けた複雑な断層地盤を掘削するという、高度な技術的挑戦である」と説明を受けた。

掘削地盤は軟弱層から硬質層まで幅が広く、主に石英と雲母を含有する頁岩で構成されている。さらに、トンネル縦断に沿って、砂岩と石英岩の断層が出現すると想定された。

二次覆工コンクリートは、厚さ300mmでセントルを使用して打設する計画である。また支保工は、吹付けコンクリート、長さ5m、直径25mmのロックボルトおよび鋼製支保工からなり、吹付けコンクリートは鋼織入りか金網入り、ロックボルトは、樹脂注入式かアンカーと周面地盤との摩擦増強式といった、地質の状況により変更する。

標準的な掘削手順は、天端から5.5mの上半を先進する工法である。また、掘削は、油圧ブレイカによる機械掘削と発破工法を併用した工法である。切羽削孔には、完全に自動化された3ブーム式削孔機「Tamrock Axera T11 Data」2台と半自動2ブーム式削孔機「Tamrock Axera T08 TCAD」1台が使用された。さらに、削孔機は、ロックボルトの削孔と連絡坑の掘削にも使用された。

T&TIは、「トンネル平均日進掘削長は、12mであった」と説明を受けた。

この記録は、8時間3交代制、18~20mのベンチ長での施工にもとづいている。

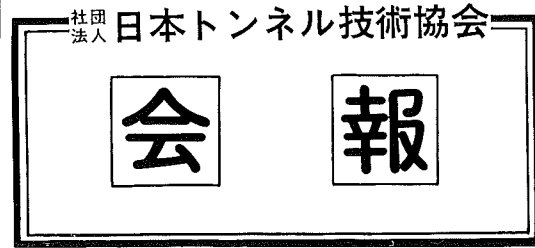
(T&TI '05.10 担当:武井秀永・佐藤工業(株))

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37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)



1. 会員の現状

	1月25日現在	2月25日現在
正 会 員	1,983名	2,188名
団体会員	343名	346名
個人会員	1,640名	1,842名
名 誉 会 員	1名	1名
計	1,984名	2,189名

2. 第180回理事会

日 時：平成18年2月20日(月)12：00～13：00

場 所：(社)日本トンネル技術協会会議室

出席者：理事29名， 監事3名

議 事：

- ①255名の入会と50名の退会を承認
- ②佐伯評議員の後任として中村益美氏(東京都下水道局)を承認
- ③入会金および会費規定の一部改正を承認
- ④第32回通常総会議案および進行計画を承認
- ⑤第32回通常総会議案要綱を承認
- ⑥当面の主要行事日程を承認

3. 委員会の開催状況(2月1日～28日)

①調査研究関係委員会

◎契約積算委員会

山岳トンネル小委員会幹事会：2/13(松野徹幹事ほか6名)ずり出し方式調査を検討
都市トンネル小委員会：2/24(西村高明委員長ほか8名)作業方針を検討

◎施工技術委員会

TBM工法小委員会幹事会：2/13(高津壮太幹事ほか16名)成果品原稿を検討
都市トンネル小委員会：2/14(石田恵一委員長ほか17名)編集方針を検討
支保幹事会：2/28(服部修一幹事ほか22名)作業方針を検討

◎研究開発委員会：2/15(大久保誠介委員長ほか16名)

海外文献を査読
トンネル技術白書小委員会打合せ会：2/1(岩田充功幹事ほか10名)原稿を検討

◎筑紫トンネル特別委員会：2/22, 23(樗木武委員長

ほか29名)現地視察

◎新埋め戻し材特別委員会：2/28(赤木寛一委員長

ほか20名)配合試験結果報告

計 9回開催 153名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：2/10(日月俊昭委員長ほか14名)理事会議題を検討

◎国際委員会

企画調整幹事会：2/22(石井一生幹事ほか7名)国際関係業務対策
対外広報WG：2/2(光木香幹事ほか7名)レイアウト原稿を検討
同 同：2/21(光木香幹事ほか7名)レイアウト原稿を検討

国内広報WG：2/9(光木香幹事ほか8名)海外文献を査読

◎会誌委員会：2/8(大島洋志委員長ほか14名)3月号

の会誌と3か月計画を検討

計 6回開催 63名出席

合計 15回開催 216名出席

4. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 等
第32回ITA総会およびコンgres「地下空間の安全」	2006. 4. 22～27	ソウル(韓国)	Korean Tunnelling Association International Tunnelling Association 韓国トンネル協会 国際トンネル協会 http://www.ita2006.com
第10回吹付けコンクリート国際会議	2006. 9. 12～16	ウィスラー(カナダ)	Engineering Conferences International 国際技師会議事務局 http://www.engconfintl.org/6ad.html
イノトランス2006「国際鉄道技術専門見本市」	2006. 9. 19～22	ベルリン(ドイツ)	Team InnoTrans イノトランス事務局 http://www.innotrans.com 問い合わせ先：メッセ・ベルリン日本代表部(在日ドイツ商工会議所) TEL：03-5276-8730 info@messe-berlin.jp http://www.messe-berlin.jp(日)
第4回アジア岩盤力学シンポジウム「都市部における地下空間利用」	2006. 11. 8～10	シンガポール(シンガポール)	International Society for Rock Mechanics (ISRM) and the Tunnelling and Underground Construction Society of Singapore(TUCSS) 国際岩盤力学協会 シンガポール地下建設協会 http://www.arms2006.org/
第1回国際シンポジウム「都市部における地下空間の利用」	2006. 11. 6～7	シャルムエルシェイク(エジプト)	Egyptian Tunnelling Society エジプトトンネル学会 http://www.egyts.com/
第33回ITA総会およびコンgres「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5～10	プラハ(チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee International Tunnelling Association チェコトンネル協会 国際トンネル協会 http://www.wtc2007.org

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

5月号予告[5月1日発売予定]

- 鉄バクテリア汚泥の発生抑制に関する検討
 - 北陸新幹線 高峰トンネル西工区
 - 首都高速中央環状新宿線 東中野～中野坂上区間道路トンネル工事
 - 東京メトロ 綾瀬車両基地立体交差工事
 - 東京都下水道 飛鳥山幹線シールド
 - 【連載講座】
 - 都市トンネル工事の計測(5)
 - 各種装置を活用した新しいトンネル検査手法(2)
- *内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆昨年末に、東京電力(株)の「八ッ沢発電所施設」が重要文化財の指定をうけた。所在地は山梨県上野原市で、近くには日本三大奇橋として有名な猿橋がある。猿橋のそばには発電所施設の一部である第1号水路橋があり、これら二つの橋は桂川のV字谷に小さなアーチをかけている。猿橋に観光目的でおとずれる人々も、第1号水路橋の古いRCアーチに目をひかれてしまうようで、猿橋以外にも思いのほか雰囲気の良い橋があった、と紹介しているのをインターネットの日記などでしばしば目にする。

◆今回、重要文化財に指定されたものは、取水口施設、隧道、水路橋、調整池など合計20か所の発電所関連施設と土地で、約14kmの範囲に及んでいる。これは日本の重要文化財の中で最大規模となる。発電所建設の黎明期といえる明治のおわりにつくられた(営業運転開始は明治45年)大規模な水力発電所関連施設が水系全体として残っていること、それぞれの構造物に高い土木技術が発揮されていることが評価された。

◆平成15年末に重要文化財に指定された東京電力の丸沼ダムもそのちに期間を限定して公開されていることから、八ッ沢発電所施設も、近々公開されるかもしれないなどと密かに期待している。

◆発電所の敷地内には古い桜が多く、この付近の桜の名所でもあるらしい。せっかくなので春のお花見の季節にあわせて公開されると、おとずれる楽しみもさらに増えるだろう。

★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4号 [通巻428号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成18年3月20日 印刷

平成18年4月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

http://www.soc.nii.ac.jp/jta

発行所 株式会社土木工学社

〒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

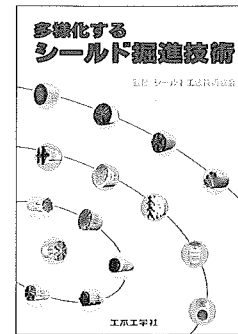
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは、著作権上での例外を除き、禁じられております。本誌から複写または転載を希望される方は、小社(03-3267-2888)までご連絡ください。

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地下莖シールド工法、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・カッター・シールド工法、⑮自由断面シールド工法、⑯OHM工法、⑰H&Vシールド工法、⑱単円～三連型駅シールド工法、⑲MFシールド工法、⑳DOT工法、㉑MSD工法、㉒親子シールド工法、㉓拡径シールド工法、㉔DSR工法、㉕泥土加圧シールド工法、㉖ケミカル・プラグ・シールド工法、㉗気泡シールド工法、㉘コンパクトシールド工法、㉙既設シールド撤去工法

本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先

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

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

TAIKU



CL301E型 カッターローダ

強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

特長

1. カッター駆動モータは、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・カッターローダ

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
カッターヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

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

製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

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

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段階調整式リターダ
 - ・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.6
90ZV	3.2

ズリ積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■ロードホールダンプ

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



ONE FOCUS
Complete Solutions

Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社

建設機械ビジネスセンター

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