

トンネルと地下 **6** vol. 38 no. 6 2007

高速道路との交差点における対策工の選定と計測管理
鉄道レンガ高架橋直下に大規模開削で道路函体を構築
ベトナムで初のTBM高速施工
地下水の早期回復を目指した掘削工法と覆工構造
シールドトンネルへの限界状態設計法の適用

日本トンネル技術協会誌



トンネル開発技術に

60余年のヒストリィ。

2006
〈ドバイLRT用シールド〉
ドバイの交通網の発展に貢献

2004
〈大断面SENS工法シールド〉
東北新幹線三本木原トンネル
工事の建設で活躍

2003
〈超大断面・大深度・長距離
掘削用シールド〉
神田川・環状七号線地下調整池
の建設で活躍

1995
〈3心円泥水式盾シールド〉
地下鉄12号線環状線飯田橋駅
工区建設工事で活躍

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工区貫通式
完成にわく関係者たち

1939
〈日本最初の本格的シールド〉
関門トンネル工事で活躍

世界中で
1677台の
実績！

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、三菱は最先端のジオテクノロジーでさらに前進しています。

※平成19年4月1日より、三菱重工のトンネル事業は三菱重工地中建機株式会社として生まれ変わりました。

三菱重工地中建機(株)のシールド式トンネル掘削技術

三菱重工地中建機株式会社 本社 明石市二見町南二見1番地 TEL.078-672-4575
東京事務所 東京都港区港南二丁目16番5号 TEL.03-6716-4092
神戸事務所 神戸市兵庫区和田宮通七丁目1番14号 TEL.078-672-2850

定価 1,575円
本体価格1,500円

雑誌06619-6



4910066190675
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

《デンカスーパーズラリーショット》

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

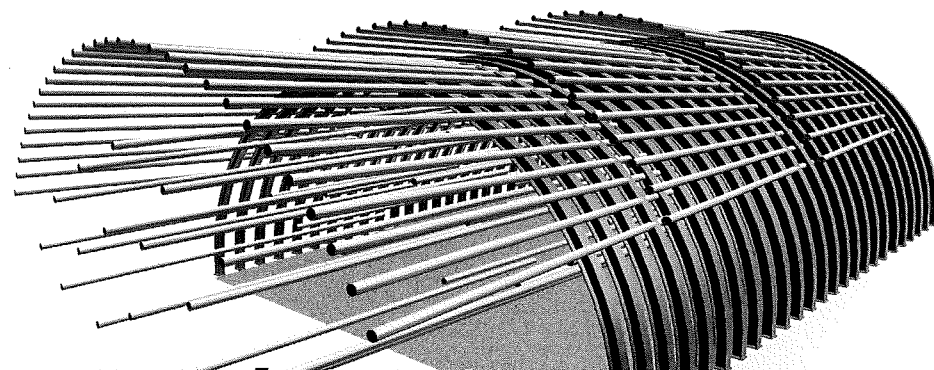
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

全方位 GFRP 管長尺補強システム

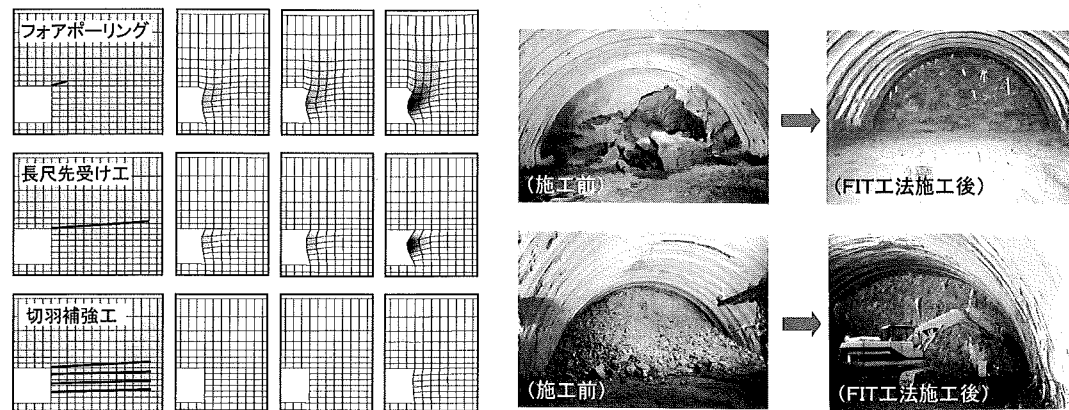
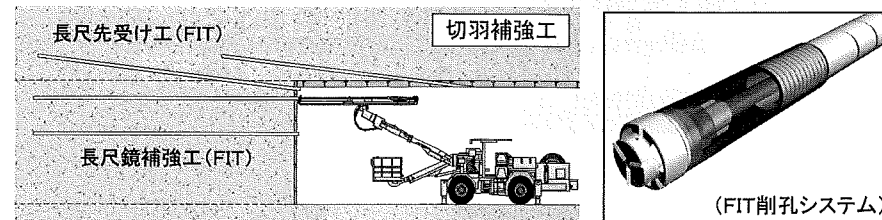
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

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)

KPC 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
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682

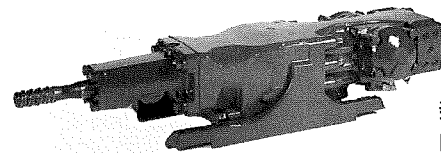
ホームページ <http://www.kfc-net.co.jp/>

TOYO

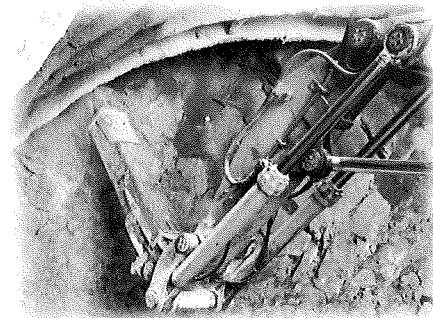
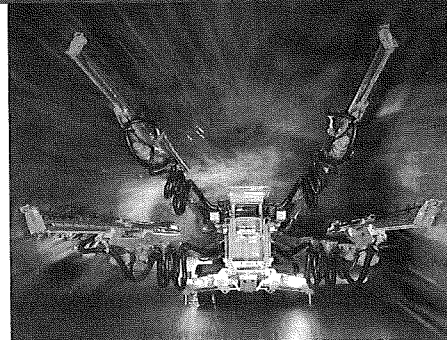
SANDVIK



サンドビクトーヨーは、高速さく孔と作業環境改善の実現をお約束します



新型高性能ドリフター HLX5



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

TOYO EJC Rammer

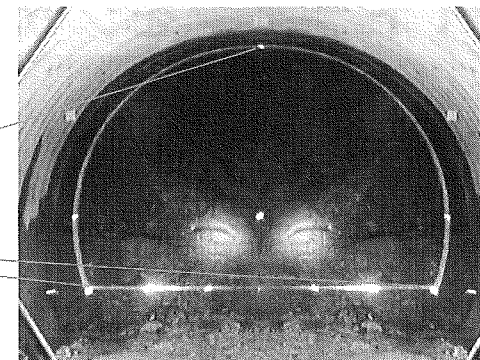
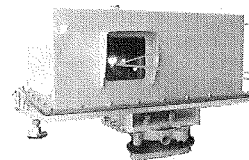
TAMROCK TORO

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

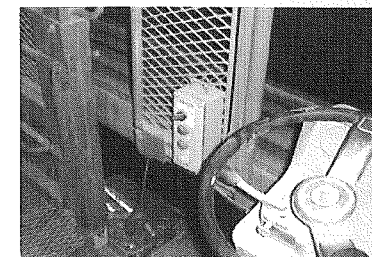
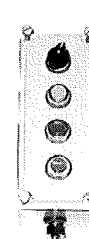
レーザーマーキングシステム

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

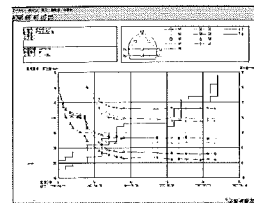


現場環境に耐え得る頑強なコントローラー

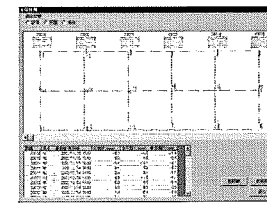


ジャンボに取付けて使用可 AC200V対応

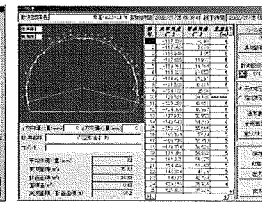
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



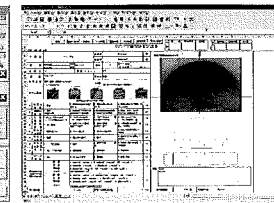
A計測データ処理



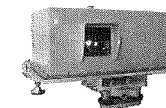
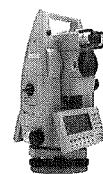
支保工立込精度、変形量



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

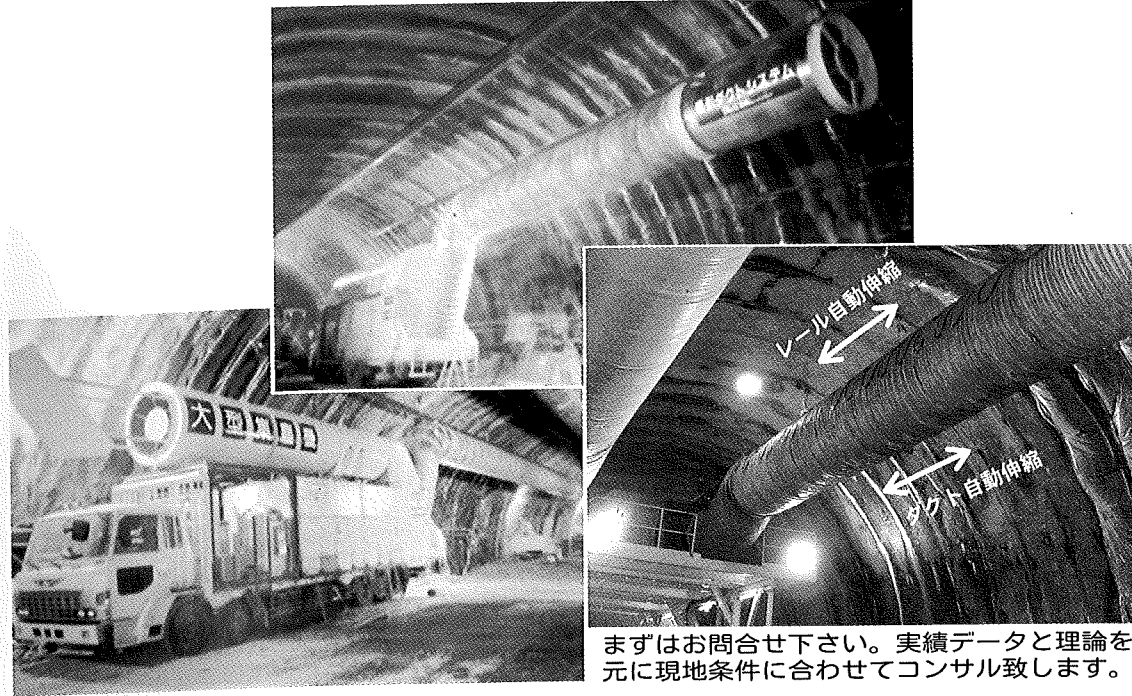
〔販売元〕

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

[特許第3883483号]

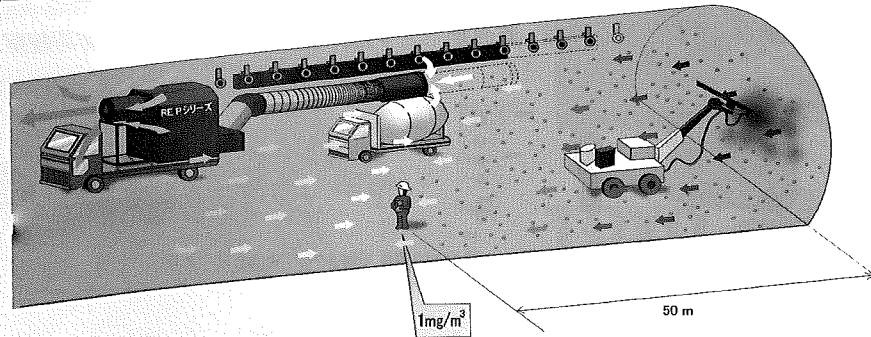
吸引ダクトシステム

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

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

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

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

あつあつ 静かなアリエルです



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

シールド、都市NATMなどの都市環境や

大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。

必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

- 超低騒音：エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比-5dB
- 省エネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人-△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
- 高効率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
- 制御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
(特許 第1742880 ダストセンサーによるインバータ制御)
- 使い易さ：軽量、INV高調波対策も万全、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
- 高価なフリッカ対策設備も不要。
- コンサルティング：長年にわたって経験して参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×2～200kW×2の幅広い品揃えで対応します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

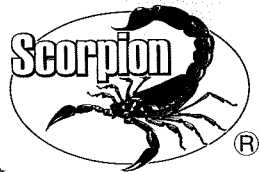
株式会社 流機 エンジニアリング

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

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

今時、静かなのは当たり前!!

TONNERU RENTAL



エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

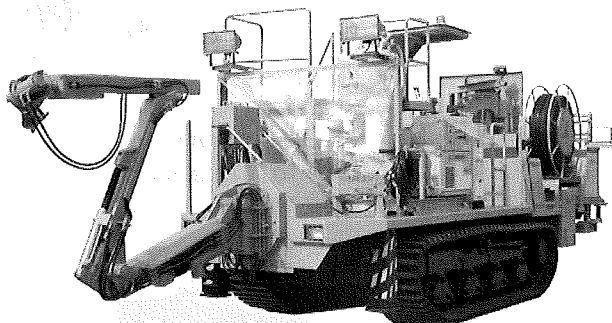
軟弱地盤や斜路
での適応力

スコピオン SCORPION ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

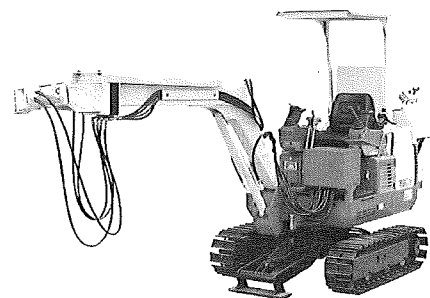
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL:小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機



MR:小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画

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

株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地 2 8 6-1

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

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

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

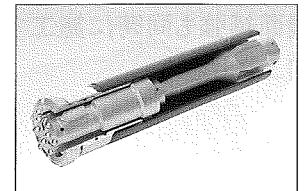
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

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

●ウルトラメックスビット (UMB) 打撃削孔式リングロストタイプ

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

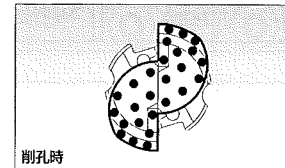
ビット構造



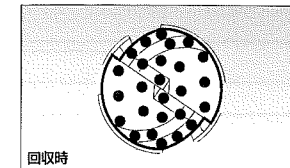
●スーパーメックスビット (SMB) 打撃削孔式拡張タイプ

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

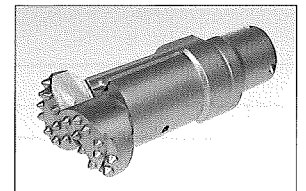
ビット構造



削孔時



回収時

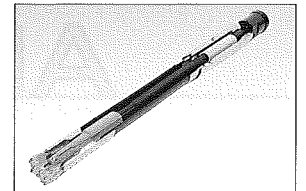


●スモールP (Small-P) システム

●小孔径(2~2.5インチ) 打撃削孔式ビットロストタイプ

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

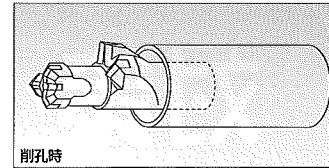
ビット構造



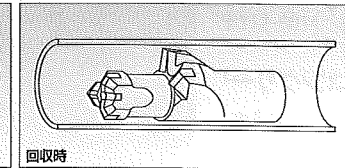
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏心回収タイプ

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

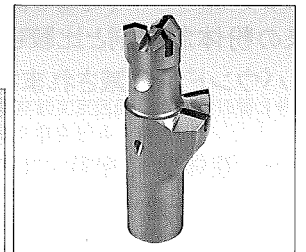
ビット構造



削孔時



回収時



※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

三菱マテリアル

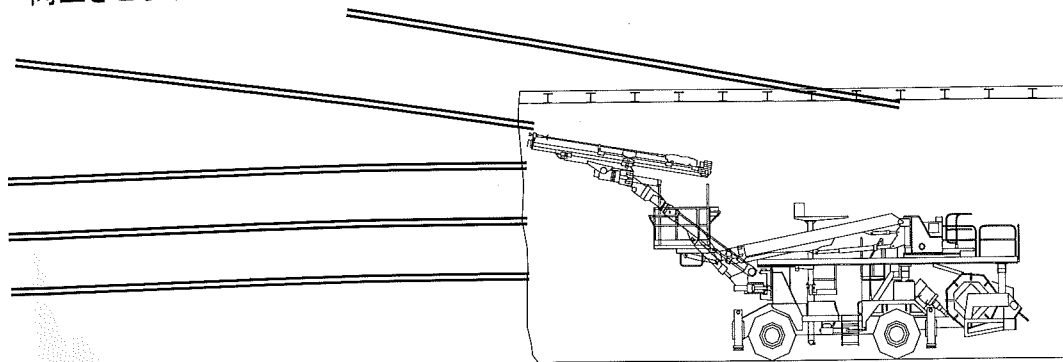
●東京支店 ☎(03)5819-5263 ●大阪支店 ☎(06)6355-1053 ●九州営業所 ☎(092)573-7372 ●海外グループ ☎(0584)27-5011

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

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



アルカリフリー型液体急結剤

AFK-777J

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

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



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことで

KATECS

トンネルの補助工法

注入式長尺先受工法

AGF工法

AGF-P工法

AGF-S工法

AGF-WOO工法

AGF-E工法

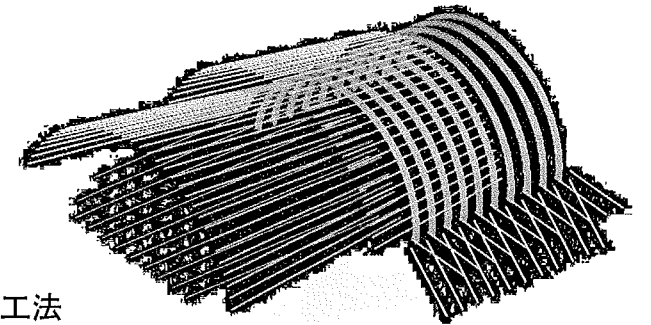
小口径長尺先受工法

SMALL-P工法

FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法

パノラマ工法



発泡型シリカレジン

スーパーSRF

無機系注入材

シリカセーフ

KATECS

株式会社 カテックス 建設資材事業部

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

本社 〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号

技術営業部 TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

中部営業部

〒460-8331 名古屋市中区上前津1丁目3番3号

TEL 052-331-8821 FAX 052-332-0164

東京支店

〒112-0014 東京都文京区関口1丁目15番3号

第2麻生ビル2階

TEL 03-3260-8321 FAX 03-3266-1648

関西営業部

〒550-0015 大阪市西区南堀江4丁目1番18号

十川産業西堀江ビル7階

TEL 06-6578-3235 FAX 06-6578-3237

九州営業部

〒816-0932 福岡県大野城市瓦田623-4

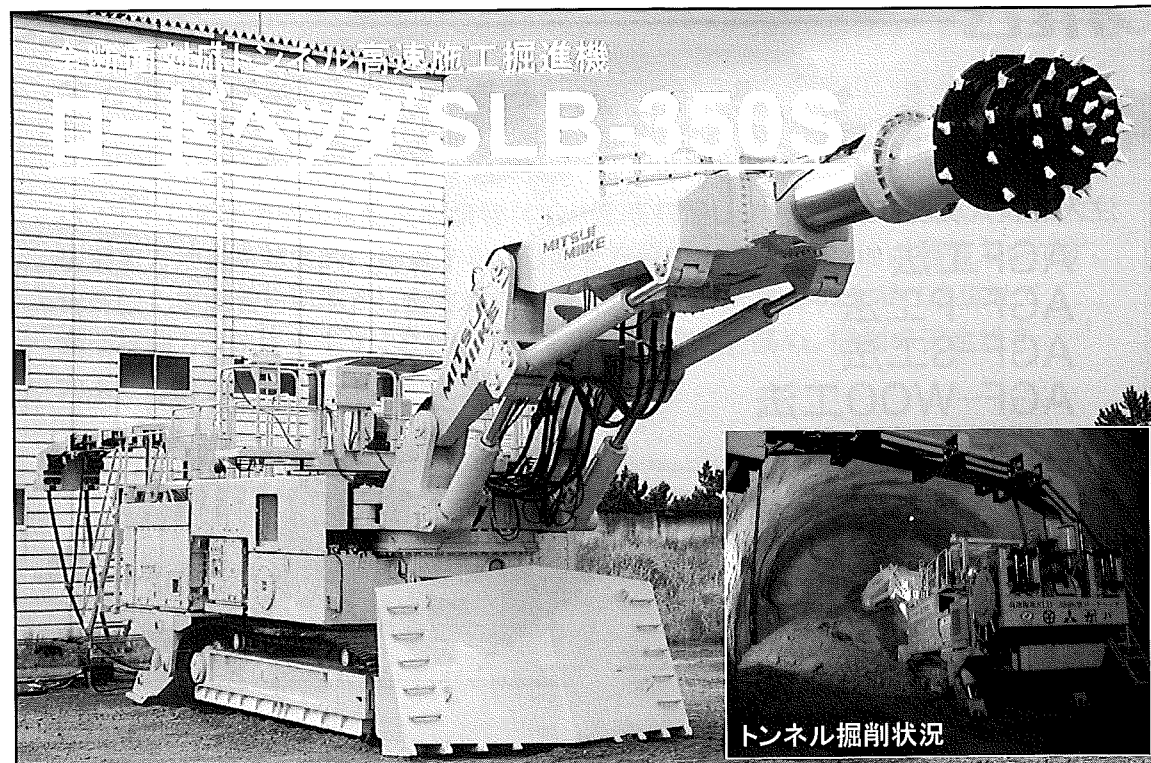
リバーサイド大野城A号

TEL 092-574-0856 FAX 092-574-0846

北海道地区(㈱エイチ・オール・オー)

〒003-0011 札幌市白石区中央1条5丁目8番2号

TEL 011-821-5868 FAX 011-821-6644

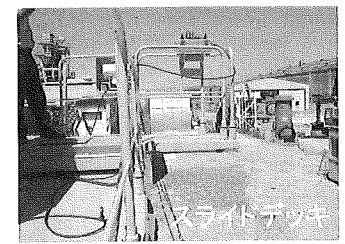


大断面トンネルの高速施工を目指して

特徴

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

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



販売・レンタル 及びメンテナンス **ミイケ機材株式会社** 本社 / 〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5丁目11番7号西日暮里ワイエムビル
 TEL. 03-3241-4711 FAX. 03-5615-1180

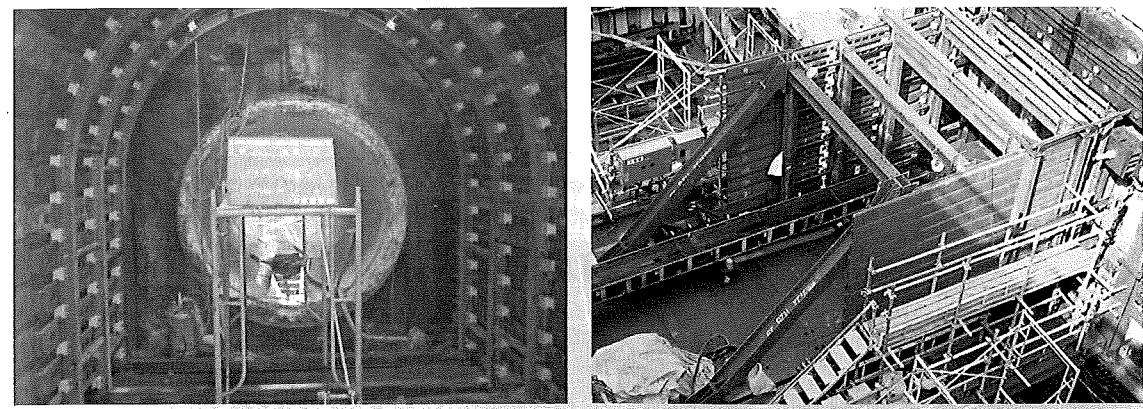
札幌営業所 TEL. 011-817-5220 / 大阪営業所 TEL. 06-6308-1090 / 福岡営業所 TEL. 0944-59-6201

製造元 **株式会社三井三池製作所** 本店 / 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
 産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203

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

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法



30年の実績(工法指導致します)

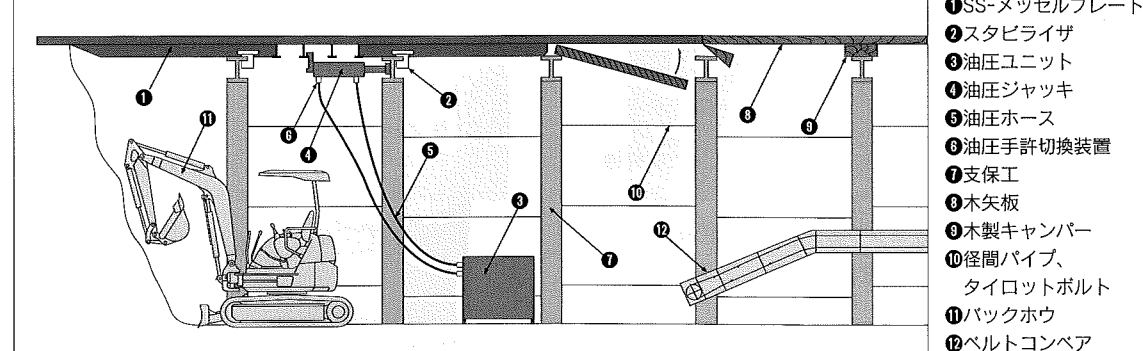
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



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

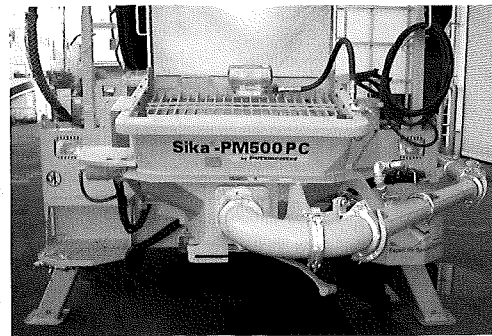
SIETECH 株式会社シーテック
 URL <http://www16.ocn.ne.jp/~sietech/>

吹付けコンクリートシステム



コンクリート吹付機
Sika®-PM500 PC
by Putzmeister

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

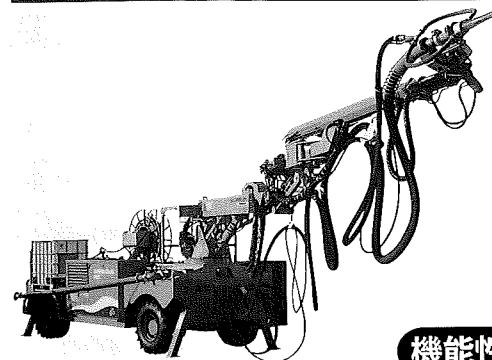


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです。

プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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



コンパクトで群を抜く使いやすさ!

機能性、機動性の基に理想的な機械化を実現!

総販売元 東友エンジニアリング(株) 製造輸入元 プツマイスタージャパン(株)

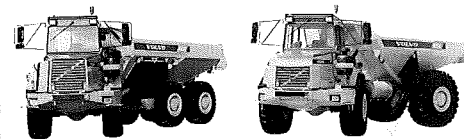
トンネル関連製品

吹付けコンクリートシステム

putzmeister・Sika®-PM500PCコンクリート吹付機
Putzmeister S.A.

一体型吹付機・特殊型吹付機
設計・製作: 東友エンジニアリング株式会社

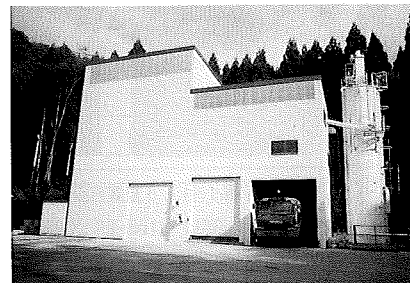
VOLVO ダンプトラック
(A25C-TS, A25C-TR, A20/30C-T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他、トンネル施工機械全般

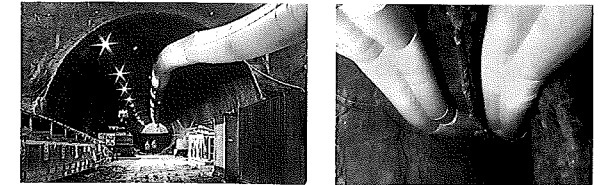
バッチャプラント
(全自動式, 3槽クラム式, 簡易型, 特殊型)



設計・製作: 名岐機器株式会社

トンネル換気システム

ABC
VENTILATION SYSTEMS



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

総代理店 東友エンジニアリング株式会社

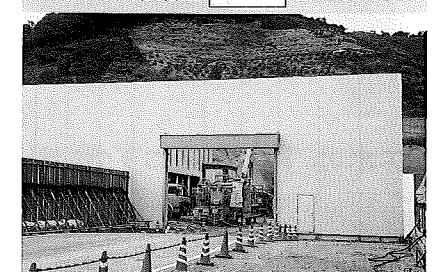
騒音防止システム

エコフラット -35db Cタイプ



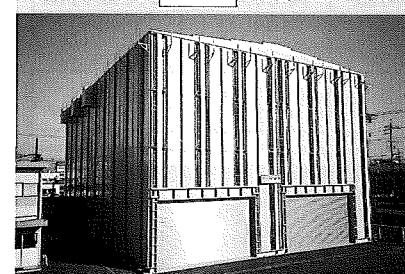
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 -15db Aタイプ



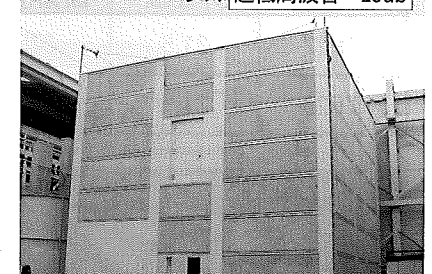
適応性の優れた防音パネル

エコユニット -30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音 -25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工 株式会社トユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

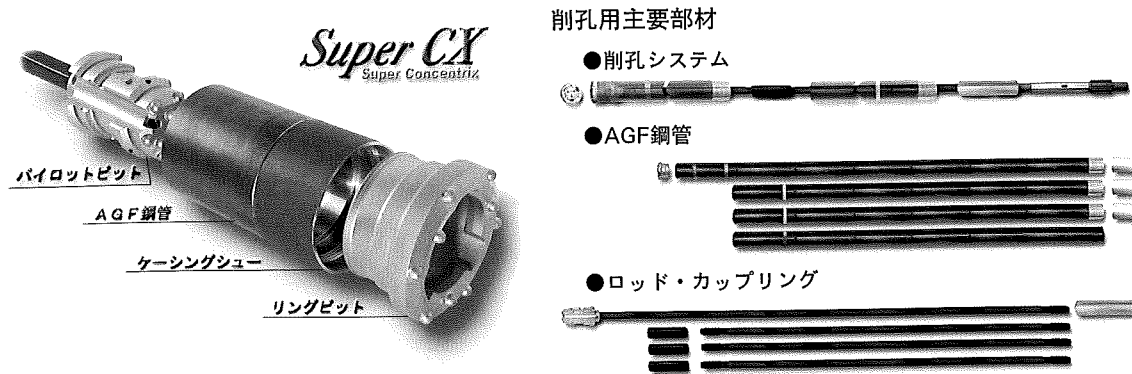
〒102-0073 東京都千代田区九段北3-2-5 TEL: 03-3234-8901 FAX: 03-3234-8900
株式会社トユーエコサポート TEL: 03-5226-5971 FAX: 03-5226-5974
トユーサービス株式会社石岡工場 TEL: 0299-27-6211 FAX: 0299-27-6233

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。

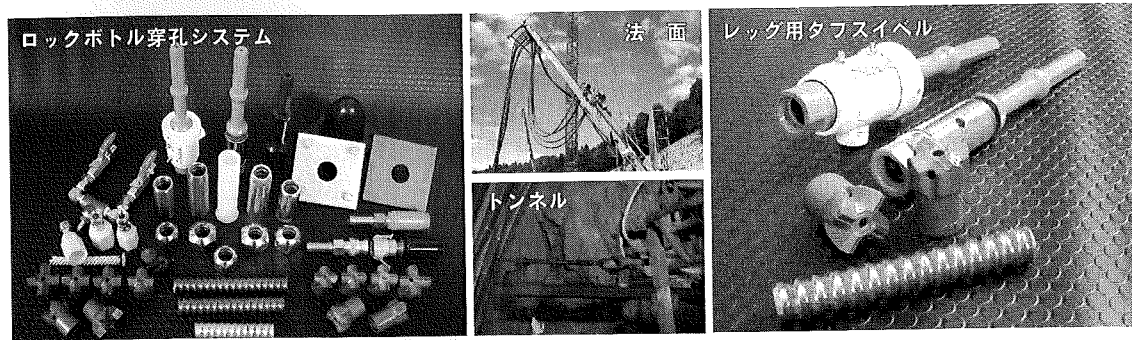


▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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)



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

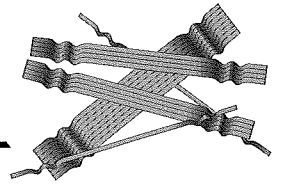
Tel: 045-320-1701 Fax: 045-320-1702

BRIDGESTONE

厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

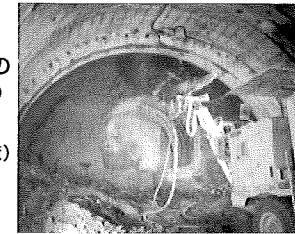
コンクリートをより強く、よりしなやかに。

タフグリップ コンクリート補強用鋼繊維



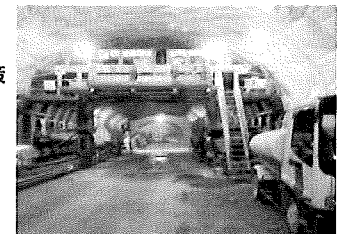
一次吹付

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



二次覆工

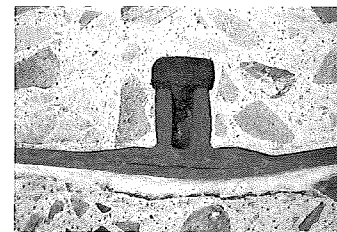
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

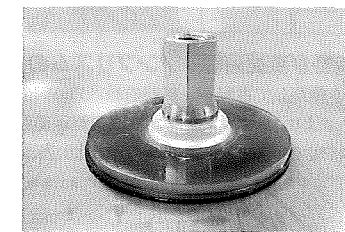
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



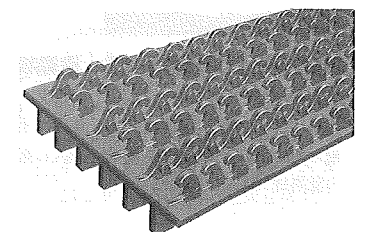
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉤筋金具

■ 容易な施工性



クイックバー

株式会社ブリヂストン

土木・建築資材販売促進第2部

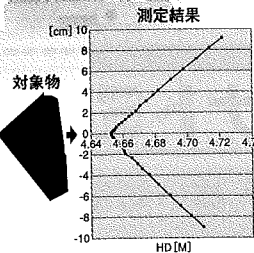
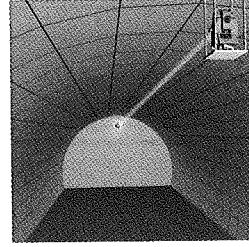
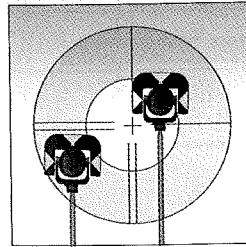
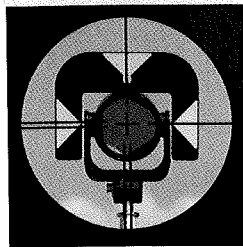
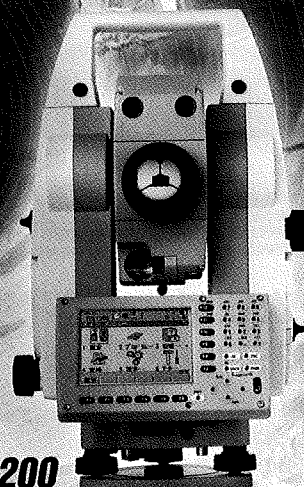
東京都中央区八重洲1-6-6 〒103-0028

TEL. (03) 5202-6872 FAX. (03) 5202-6874

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

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

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

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

ライカ ジオシステムズ株式会社

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

本社	〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート	Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
テクニカルセンター	〒113-6591 東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F	Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
大阪支店	〒540-6131 大阪市中央区城見2-1-61 Twin21 MIDタワー31F	Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733
福岡営業所	〒812-0016 福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多借成ビル6F	Tel.092-432-8201 Fax.092-432-8221
札幌出張所	〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレザント発寒ステーション3F	Tel.011-669-1101 Fax.011-669-1102



拡大された能力。
継続的なお客さまへの
コミットメント。

www.oricaminingservices.com



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

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

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

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

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

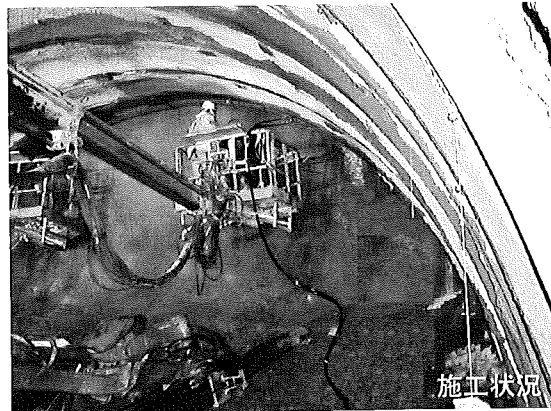
オリカジャパン株式会社
〒105-0001
東京都港区虎ノ門3丁目7-11
虎ノ門三須ビル7階
Tel: 03 5777 4681 Fax: 03 5777 4682



補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



施工状況

■各種注入材 NEW-TSRF (シリカレジン) NEW-TBU (ウレタン)

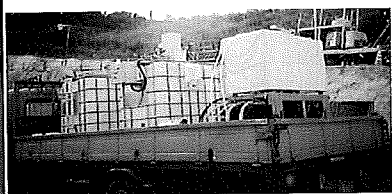


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧ください。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ(左)と現場への搬入風景

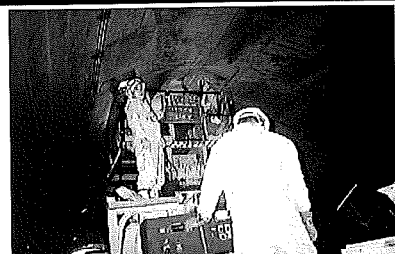


当社のリサイクルコンテナシステムなら、一斗缶の産業廃棄物処理がなくなるため、工事もスムーズに進みます。現場にも環境にもやさしいシステムです。

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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



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

TMC

株式会社ティーエムシー ホームページ : <http://www.tmc-net.com/>

お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL : 03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL : 022-286-5111
名古屋支店	〒466-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL : 0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL : 072-966-6280
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイソリュージョンビル1F	TEL : 0942-40-8151
小牧物流センター	〒485-0825 愛知県小牧市大字下末1636-9	TEL : 0568-44-7786

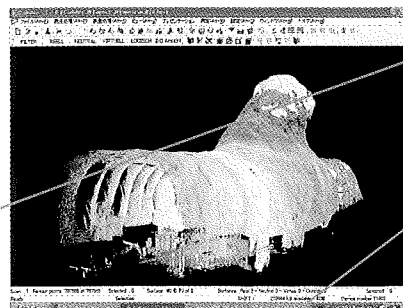
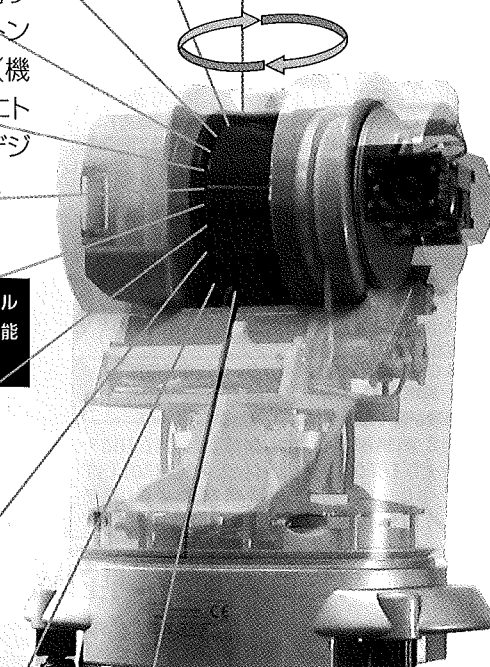
Callidus™ レーザースキャナー

3次元トンネル断面計測機

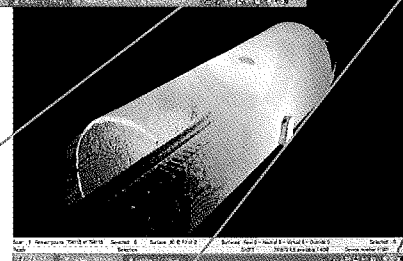
測距精度±5mmで、1秒に1000点以上計測する3次元トンネル断面計測機。1つの機械点からトンネルの約20m⁽¹⁾の範囲を10分で計測できます(機械点前後)。測定データの3次元展開図は、まさにトンネルを絵画のように詳細表示します。又、内蔵デジタルカメラで測定範囲を写真として記録可能です。

(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン



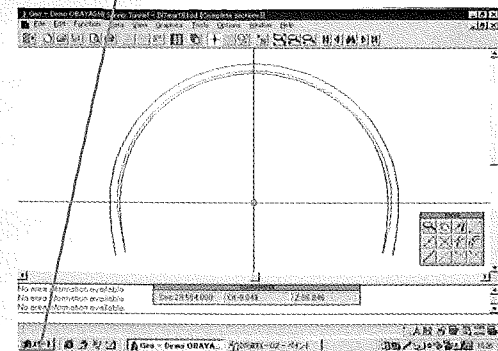
特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。

データ解析および製図「GEOWIN」

AUTOCAD搭載の後処理ソフト「GEOWIN」は、測量計算ソフトを中心としたトンネル管理システムです。カリダスで計測したデータを3次元メッシュ(ポリゴン)で補間した後、断面を指定するだけで設計断面との比較図、設計断面に対する各観測点の差、観測断面の円周長、観測断面の面積、観測範囲のボリューム計算などが計算・表示・出力できます。



■販売・レンタル 株式会社ソーキ

〒550-0025 大阪市西区九条南4-2-4
TEL : 06-6586-1707 FAX : 06-6586-1277
URL : <http://www.sooki.co.jp/>

■製造元 トリンブルジャパン株式会社

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

Kanaflexの電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管 特許出願中

カナレックスML

1. 独自構造 (波付き管と管台一体型リブの連続構造)

- ・リブに平面部があり、管を密着させて敷設できる為、掘削幅、深さを小さく出来る。
- ・従来品に比べ、良好な砂の充填ができ、一括埋め戻しが可能。

2. 可とう性に優れる

- ・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

3. 優れた性能

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

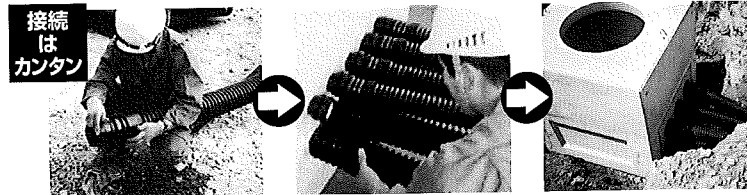
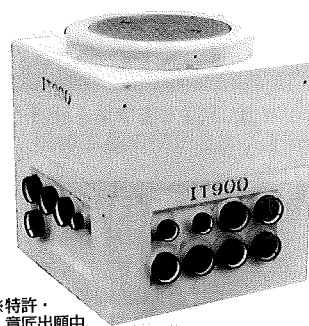
4. 摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ

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



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



管路に継手差口をねじこみ 継手受口に差しこむだけ これで接続完了。

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

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

※特許・意匠出願中

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

カナフレックスコーポレーション株式会社 ISO 9001 認証取得

株式会社 インテック

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

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

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

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

営業所 札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島

直営工場 北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

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

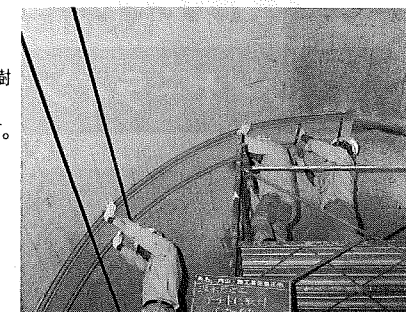
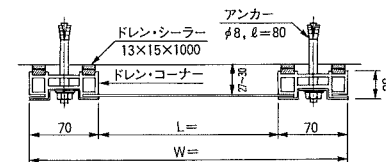
本社 〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241(代) FAX(0581)38-3383
営業所 〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990(代)

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

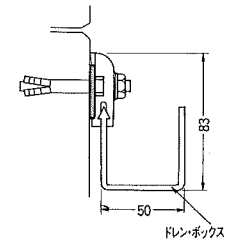
アーチ・ドレン 導水樋

■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。



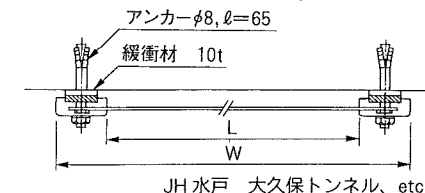
水平導水樋に
サイド・ドレン



■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



JH 水戸 大久保トンネル、etc。

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

ブレーカ用エアコンプレッサ装置

水・ダスト等の浸入による作動油のコンタミ(有害物質による汚染), および内蔵部品(ブッシュ・ピストン等)の早期劣化・磨耗を防止するために油圧ブレーカの打撃室を加圧させて打撃室方向へのダスト浸入を強制的に防止するエアコンプレッサ装置を装備することにしました。



油圧モータ	最高使用圧力	[MPa]	21
	消費油量	[ℓ/min]	15~25
	許容背圧(タンク直戻し)	[MPa]	0.5
	最高回転数	[min ⁻¹]	1450
コンプレッサ	コンプレッサ回転数 常用	[min ⁻¹]	800
	最高吐出量	[ℓ/min]	400
	最高使用圧力	[MPa]	0.8
	安全弁セット圧	[MPa]	1.0
	潤滑油量	[ℓ]	0.9
	総重量(カバー・ベース付)	[kg]	65

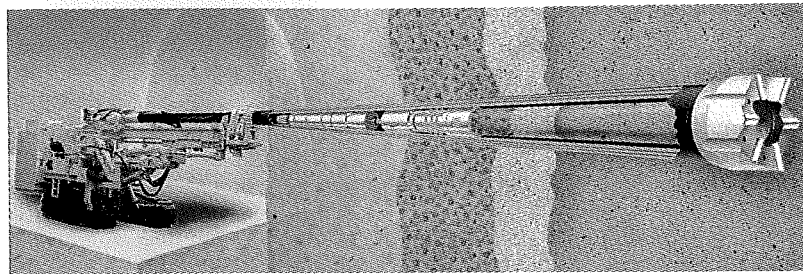
klea

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

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

トンネル掘さくの安全施工に アロードリル前方探査システム

パーカッションワイヤーライン サンプリング工法



- 特長
- ①断層破砕帯や湧水をとまなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。
 - ②2重管ワイヤーライン サンプリングシステムにより、地質条件にかかわらず、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。



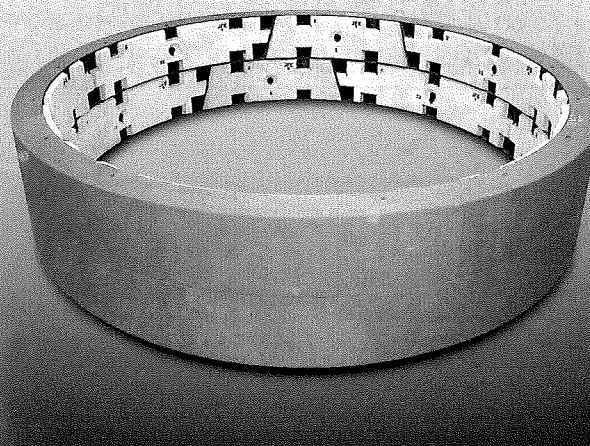
KOKEN 鉞研工業株式会社

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

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

● コンクリート中詰め鋼製セグメント

JFE



近年、都市部においてライフラインの地下化が進み、これらの施設が主として道路下の浅深度地下利用のための過密化・多層化してきたので、大深度シールド工法による地下開発の要望が高まっています。

● コンクリート中詰め鋼製セグメントとは

鋼棒に、予め工場でコンクリートを中詰めしたセグメントで、接合目地をコーキングすることにより、二次覆工を省略することが可能です。

● 高水圧下でも高い止水性

外面が鋼棒で覆われているため、高い止水性を有しています。

● 諸条件に対応可能

鋼製セグメントを基本としているため、重荷重部や曲線部などの諸条件に、柔軟な対応が出来ます。

JFE 建材 株式会社 地下土木商品営業部

〒103-0012 東京都中央区日本橋堀留町1-10-15 (JL日本橋ビル)
 <東京> TEL:03-5644-1266 FAX:03-5644-1235
 <大阪> TEL:06-6444-7626 FAX:06-6444-7633

URL <http://www.jfe-kenzal.co.jp/>

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

ブロック理論と岩盤工学への応用

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

建設工事の保安地質学【改訂版】

石井康夫 著
 A5判 474頁 税込6,300円 送料340円

建設工事の地質診断と処方

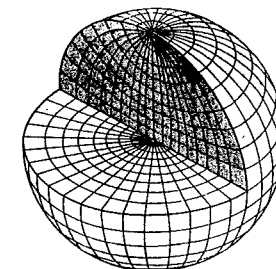
石井康夫・矢嶋壯吉 共著
 A5判 324頁 税込4,515円 送料340円

岩盤地下空洞の設計と施工

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

山岳トンネルの新技术

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



わかりやすいトンネル力学

福島啓一 著
 B5判 286頁 税込6,116円 送料340円

岩盤の計測と解析

工学博士 鈴木光 著
 A5判 244頁 税込4,410円 送料340円

地質工学概論

菊地宏吉 著
 B5判 276頁 税込4,994円 送料340円

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

FURUKAWA
ROCK DRILL



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

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

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

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。

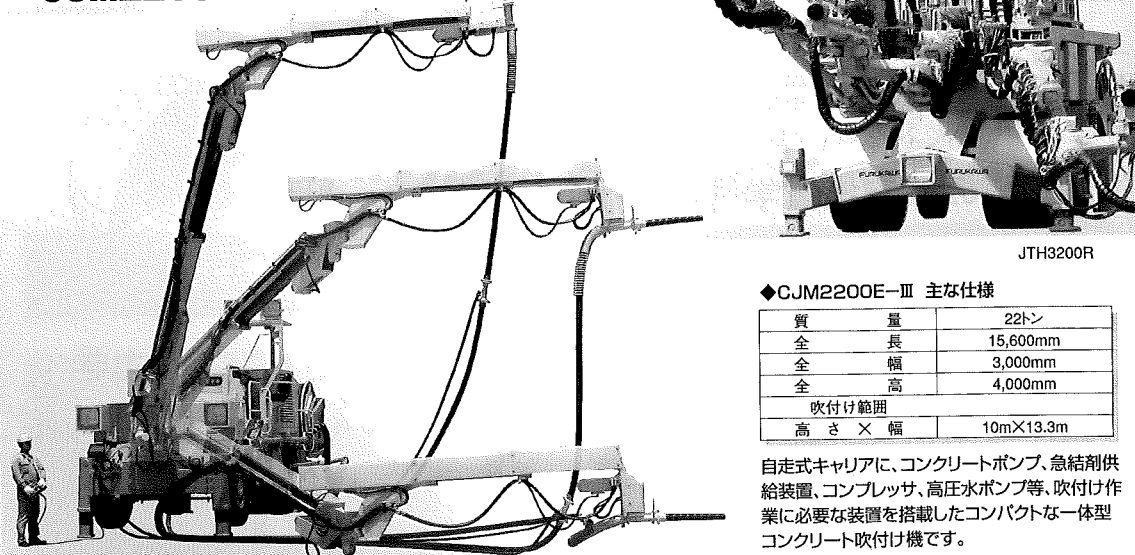


◆主な仕様

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

コンクリート吹付け機 (コンプレッサ搭載型)

CJM2200E-III



◆CJM2200E-III 主な仕様

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

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

写真は吹付け姿勢の合成写真です。

△ 古河機械金属グループ



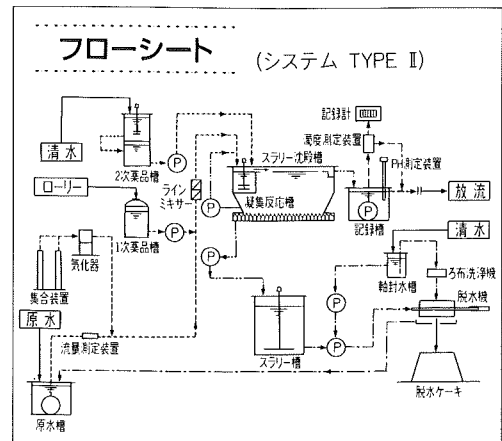
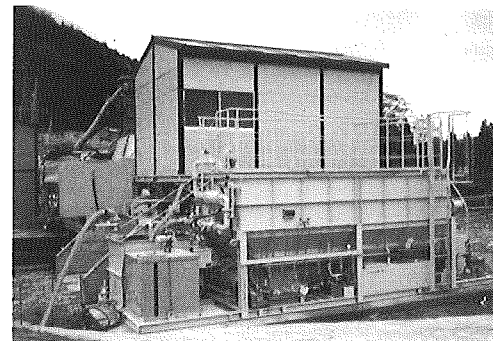
古河ロックドリル株式会社

<http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/>

本社 〒103-0022 東京都中央区日本橋室町二丁目3番14号 古河ビル8F 特機部 電話: (03) 3231-6966
札幌支店 011-861-3261 東北支店 022-384-8991 関東支店 027-322-5953 名古屋支店 0568-77-7700
関西支店 06-6475-8221 広島営業所 082-832-3542 四国営業所 087-815-1708 九州支店 092-948-2010

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なくなる。
又、加圧型脱水方式の無薬注で脱水出来る。
3. シクナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。
4. 運転管理が容易である。
原水流入に合わ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

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

詳細資料請求、お問い合わせは



株式会社 フジテックス

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

Waste Water Treatment System

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻頭言

諸先輩の偉業を顧みて

岡村 康秀51

■研究

シールドトンネルへの限界状態設計法の適用

吉本 正浩・阿南 健一・大塚 正博51

■施工

高速道路との交差部における対策工の選定と計測管理

—北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

依田 淳一・都築 保勇・藤本 浩志・山木 昇7

鉄道レンガ高架橋直下に大規模開削で道路函体を構築

—東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事—

三浦 慎也・渡邊 誠司・永田 敏秋・田代 浩之17

ベトナムで初のTBM高速施工

—ダイニン水力発電所—

田中 正・橋口 徹雄・末吉 功一・郷農 一之29

地下水の早期回復を目指した掘削工法と覆工構造

—新宇治川放水路トンネル—

高井 孝明・中谷 幸一・藤崎 仁・岸田 朗39

■連載講座

発破技術の現状(最終回)

—発破と環境問題(2)—

「発破技術の現状」連載講座小委員会59

■現場だより

「北緯43°のキラリひかるまち」岩内町より

海老子川啓25

■資料

トンネル千夜一夜(30)

小野田 滋26

土木情報

編集部28

トンネルジャーナル

編集部69

工法・技術・製品ニュース

編集部70

■会報

会報

日本トンネル技術協会71



セグメントの新技术

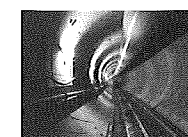
監修 小泉 淳

B5判 132頁 本体価格 2,000円 千290円

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

【表紙説明】

ベトナムで初のTBM高速施工 —ダイニン水力発電所—



ベトナムでは、経済発展に伴い国内の電力需要が毎年10%を超える伸びを示しており、電力の供給が追いつかず、慢性的な電力不足が続いている。そのため、ベトナム政府は国内最大の都市ホーチミン市およびその近郊への電力供給を目的に、日本政府に資金援助を求めた結果、JBICの借款供与により、ダイニンに水力発電所の建設が決定した。ダイニン水力発電所建設のうち、ベトナム最長のトンネルとなる全長11kmの導水路トンネルにおいて、ベトナムで初めてTBM(外径φ=5.48m・施工延長L=7km)を採用した。写真はTBM区間の覆工状況である。(写真提供：ベトナム電力省)(本文29頁参照)

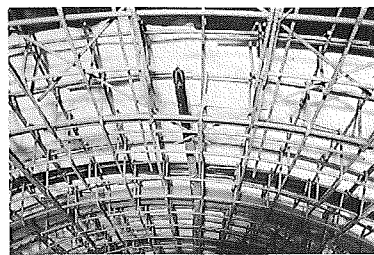
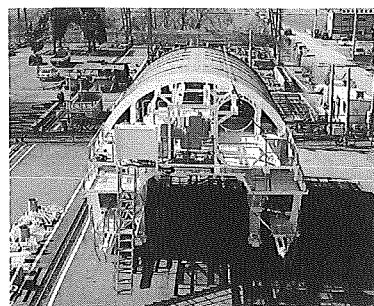
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する 引抜バイブレータ締固システム

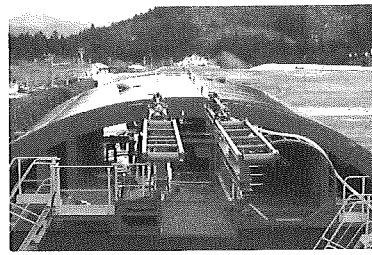
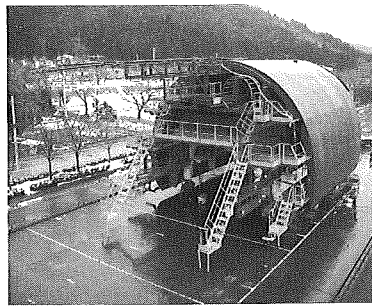
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースパイプ巻取り式



パイプパイプ伸縮式



効果・特徴

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



岐阜工業株式会社
GIFU KOGYO CO.,LTD

GIFU KOGYO

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

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

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

会誌 W G の 構成 (五十音順・敬称略)

〔主 査〕

大 島 洋 志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹 事〕

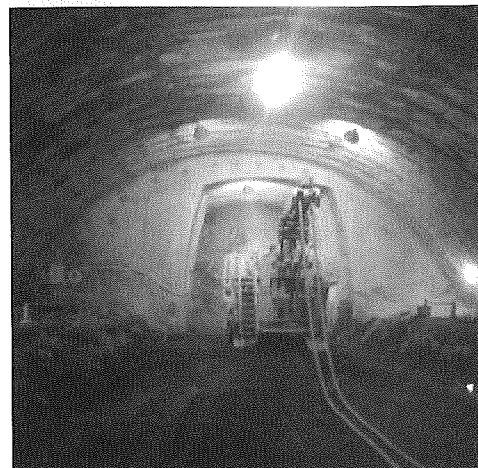
伊 藤 範 行 鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部 グループ長	端 則 夫 大成建設株式会社土木本部土木技術部 トンネル技術室室長
大 石 敬 司 東京地下鉄株式会社建設部工事課課長	濱 建 介 株式会社アオバ取締役会長
久多羅木 吉治 東亜建設工業株式会社土木事業本部技術部長	松 尾 勝 弥 飛鳥建設株式会社土木本部トンネル統括部長
鈴 木 明 独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部計画部計画課長	池 田 豊 人 国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官
千 葉 隆 清水建設株式会社土木技術本部 地下空間統括部部长	山 田 隆 昭 株式会社高速道路総合技術研究所 道路研究部トンネル研究担当部長
長 島 芳 雄 株式会社竹中土木常務取締役技術・生産本部長	山 道 哲 二 株式会社大林組東京本社土木技術本部技術 第二部部长

編集顧問の構成 (五十音順・敬称略)

伊吹山 四 郎 攻玉社工科短期大学名誉学長	林 博 西松建設株式会社専務取締役
島 田 隆 夫 鉄建建設株式会社社友	松 本 崇 義 (元)東京都理事
高 橋 彦 治 伸光エンジニアリング株式会社技師長	丸 安 隆 和 東京理科大学教授
田 島 利 男 NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット トンネル担当	山 口 啓 二 株式会社熊谷組代表取締役副社長
西 松 裕 一 東京大学名誉教授	

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー



主な特長

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

KYB カヤバシステム マシナリー株式会社

KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.

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

(旧社名: 日本鋳機株式会社)

本社・営業
カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4139
西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町6番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島 洋志 国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田 徹

東京都立大学名誉教授

定塚 正行

日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋 良文

東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本 定雄

中黒建設株式会社顧問

濱 建介

株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸 務

東京都水道局建設部工務課長

木谷 日出男

財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

坂根 良平

東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤 亘

東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水 満

東日本旅客鉄道株式会社建設工務部
構造技術センター課長

津金 昭一

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

西村 聡

東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

真下 英人

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

町田 俊二

東京都交通局建設工務部計画改良課長

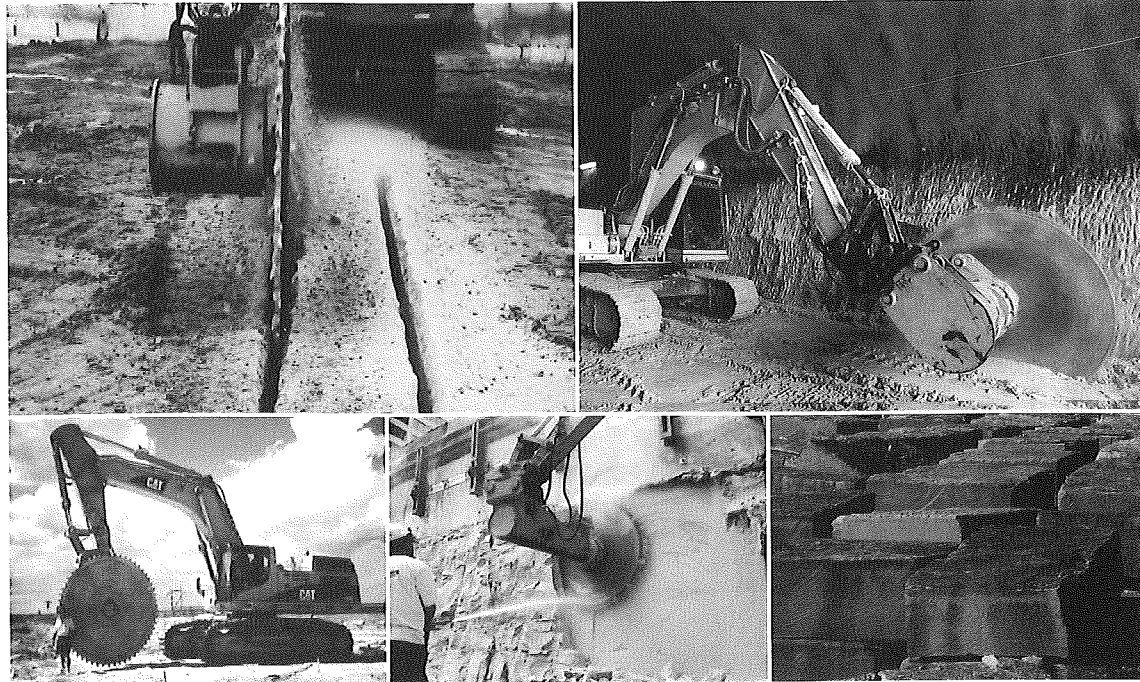
山田 隆昭

株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長役



Rock Saw

Denver, U.S.A.



- ① ロックソーは巾75mm、深さ0.35~1.52mの硬岩細溝切削用カッターです。
- ② 油圧ショベルに取り付け、その油圧源で駆動します。カッター出力55hp、500hpの2種類があります。水平、垂直方向、油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます。

ロックソーに関するお問い合わせは下記連絡先まで。
webサイトもご訪問下さい(www.rocktoolsinc.com)

岩盤切削用 C P C ビット

- ① ビット先端の超硬チップは炭化タングステン(WC)とコバルト(Co)の焼結合金です。
- ② ビット損耗の主なるものに超硬チップの破損と磨耗があります。チップは
- ③ WC粒子が大きいと耐破損強度は大きくなるが耐摩耗性能が低くなり、Co含有量が少いと硬く耐摩耗性能が高くなるが耐破損強度は小さくなる、WC粒子、Co量の組み合わせにより最良最適ビットが出来上がります。
- ④ WC粒子には、細粒、中粒、粗粒、超粗粒があります。商業ベース的には粗粒が限度でした。
- ⑤ CPCは商業ベースで供給出来る超粗粒WCの開発に成功しました。
- ⑥ WCの主要産出国は中国です。China Pacific Carbideは米国に本社、中国に生産拠点を置く超合金メーカーです。

ビットに関するお問い合わせは下記連絡先まで。

(連絡先) **オオヤマ & Co.**

〒121-0813 東京都足立区竹の塚1-27-9

TEL/FAX: 03-3885-0864 E-mail: ohyama2630@lake.ocn.ne.jp

掲載頁
7

高速道路との交差部における対策工の選定と計測管理 —北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

鉄道・運輸機構 依田 淳一

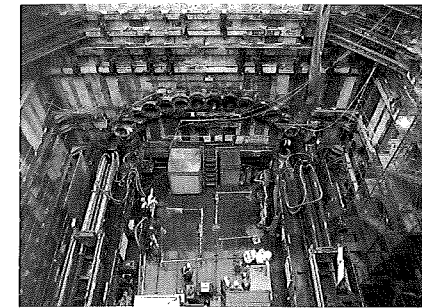
北陸新幹線高丘トンネルは、長野県北部を流れる千曲川右岸側の長丘丘陵を縦断する全長6,918mのトンネルである。高丘トンネルは南北2工区に分割発注しており、そのうちの南工区はトンネル延長2,928m、土かぶり10~50m(1~5D)程度である。また、この工区の特徴として、本線地上付近に民家集中地区のほか高速道路、送電線鉄塔など交差物件が多数存在する。

本報告は、高速道路交差部の施工に伴うNATM対策工の選定、および高速道路路面の計測による施工管理方法について報告するものである。

Selection and Measurement of Countermeasure Construction in the Intersection with Expressway—Hokuriku Shinkansen, South Section of Takaoka Tunnel—

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

Takaoka tunnel of Hokuriku Shinkansen is a tunnel of a total length of 6,918 m that cuts through Nagaoka hills of right side of Chikuma river running through the northern part of Nagano prefecture. Takaoka tunnel is subdivided into two sections—the north and the south, out of which in the south tunnel of length 2,928 m there is an overburden of 10~50m(1~5D). Moreover, a characteristic feature of this section is that in addition to it being a residential area, there are several other obstructions such as expressway and electricity pylons.



写真はパイプーフ推進状況

This article reports the selection of the auxiliary method accompanying construction of the intersection with the expressway, and about the method of construction management through measurement of the surface of the expressway.

掲載頁
17

鉄道レンガ高架橋直下に大規模開削で道路函体を構築 —東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事—

東日本旅客鉄道(株) 三浦 慎也

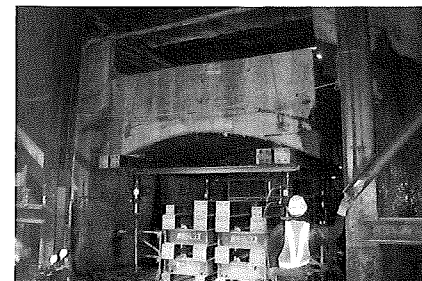
現在、東京都の汐留土地区画整理事業および大江戸線整備事業の一環で推進している東京都市計画道路環状第2号線と都営大江戸線汐留連絡線が、東海道線の新橋・浜松町間で交差する計画になっている。このため、本工事は当該部分の鉄道構造物の改築と交差部道路および地下鉄構造物を構築するものである。

本稿では、環状2号線交差部工事において、山手・京浜東北線および東海道線の主要6路線を、総延長530mの工事桁により大規模仮受けを行い、開削工法にて環状2号線および汐留連絡線の構築を施工するとともに、今回は通常仮設部材として使用する仮受け工事桁をコンクリートで巻き立て、SC造の本設橋梁として使用するという新しい試みが行われたため報告をするものである。

Construction of Road Box in a Large-scale Excavation Directly Under a Railway Brick Viaduct—Intersection of ring road No.2 and Tokaido line between Shimbashi and Hamamatsucho—

By Shinya Miura, East Japan Railway Company

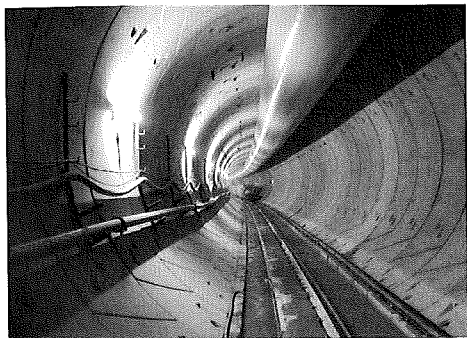
At present, as a part of the project of land readjustment in Shiodome in Tokyo, and the Oedo line improvement, it is planned that ring road No.2 of Tokyo city planning roads and the Shiodome connection line of Toei Oedo line will intersect between Shimbashi and Hamamatsucho of the Tokaido line. Hence, this works consist of reconstruction of the railroad structures and constructions of the road and subway line.



写真はレンガアーチ降下状況

This article reports that on the construction of the intersection of ring road No.2 where a large scale temporary underpinning was carried out for the six main lines of Yamanote, Keihin Tohoku line, and Tokaido line, a new approach was adapted to use SC structure of the underpinning girders(used normally as a temporary structure) with concrete lining for bridge girders, along with constructions of Shiodome connection line and ring road No.2 in the excavation work.

ダイニン水力発電所の導水路トンネルにおいて、ベトナムで初めて採用されたTBM(外径 $\phi=5.48\text{m}$ ・施工延長 $L=7\text{km}$)は2004年1月に発進後、数々の難題を乗り越えて2006年7月に無事に貫通を迎えた。本稿は、高速掘進を目指したTBMの機種選定、道路事情に問題がある現地への輸送、TBM掘削実績についてセグメントの設計・現地製作および施工体制も含めて報告する。



写真は導水路(TBM区間)

First TBM High-speed Construction in Vietnam—Dai Ninh Hydroelectric Plant—

By Tadashi Tanaka, Kajima and Kumagai Gumi JV

The construction by the first TBM in Viet Nam(external diameter $\phi=5.48\text{m}$, construction length $L=7\text{km}$) of the headrace tunnel at Dai Ninh hydroelectric plant, which launched in January 2004, has safely been completed in July 2006 after crossing numerous hurdles. This article reports the selection of TBM that aimed for high-speed excavating, transportation to the site where there were problems in the roads, results of the TBM excavating, and the design, local fabrication and its management of the segments.

新宇治川放水路トンネルは、高知県の町市街地を西に流れる一級河川仁淀川の左支川宇治川の内水氾濫による浸水被害の軽減・解消を目的とした「宇治川床上浸水対策特別緊急事業」の一環として、計画された直径約7m、延長2,365mの円形放水路トンネルである。

本トンネルでは、自然環境・社会環境、とくに地下水環境の保全に配慮して全線ウォータータイト構造を採用した。ウォータータイト構造とするため、防水シートとファンカーテングラウトを基本とし、覆工には最大1.1MPaの水圧が作用するため、覆工厚一定とした円形断面とするなどの工夫を行った。施工では、自由断面掘削機による機械掘削を基本とし、3~4スパン型インバート栈橋を用いて工期短縮を図った。本稿ではこれらについて設計・施工結果を報告する。

Excavation and Lining Structures for Early Recovery of Groundwater—Shin-Ujigawa Flood Way Tunnel—

By Takaaki Takai, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

The Shin-Ujigawa Flood way tunnel is a circular one of diameter 7 m and a total length of 2,365m as a part of “Anti-inundation project against Ujigawa” that aims to reduce and relieve inland flooding of Ujigawa, the branch river of Niyodo river, a class A river in Ino, Kochi Prefecture.



写真は防水シート施工状況

In this tunnel, we adopted watertight structure for all lines considering protection of the natural and social environment, especially groundwater environment. In order to make it a water-tight structure, waterproof sheet and fan-curtain grouting were installed as the base, and since a maximum pressure of 1.1MPa loads on the lining, we devised structures such as make it a circular section with uniform lining thickness. In the construction, the partial face excavation machine and temporary girders for tunnel invert work spanning 3-4 sections were used for reducing the period. This article reports the design and construction result of these.

従来、実施されてきた許容応力度設計法は、シールドトンネルに作用する荷重として「常時」や「L1地震時」などを照査し、その他の荷重状態や材料のばらつきなどは、許容応力度の「安全率」で担保し、安全性を確認していた。一方、限界状態設計法は、材料のばらつきなどを評価し、想定される各荷重条件に対し必要な性能を満足しているか照査する設計法である。そのため、「L2地震時」や「異常時」のような大きな荷重および変形が生じる場合にセグメントの挙動を詳細に再現する構造解析と照査が必要となる。

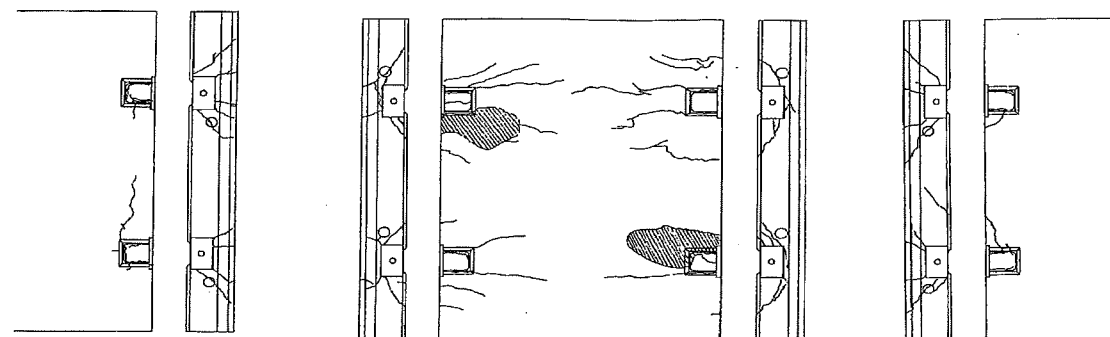
本稿は、鉄筋コンクリート製セグメントの設計に限界状態設計法を導入するための構造解析や照査の方法などに関する研究内容について示すものである。

Application of Limit State Design Method to Shield Tunnel

By Masahiro Yoshimoto, Tokyo Electric Power Company

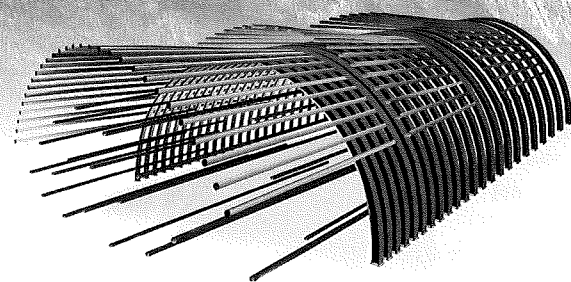
In the Allowable Stress Design Method used traditionally, there are several values examined as the load acted in the shield tunnel—“usual” or “L1 earthquake”, and the uncertainty of other factors such as load state and materials is secured in the “safety ratio” of the allowable stress level, thus evaluating the safety. On the other hand, the Limit State Design Method evaluates the uncertainty of the materials, and then examines whether the performance is satisfactory for each load condition. Hence, in case of large load or deformation such as in case of “L2 earthquake” or “abnormality”, we need the structural analysis model and evaluating method to reproduce the behavior of the segment in detail.

This article explains the research regarding the analysis of structure and method of evaluation to implement limit state design method in the design of segment of reinforced concrete.



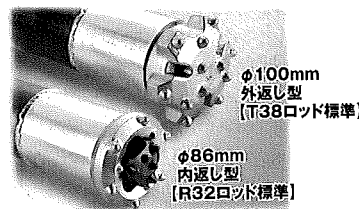
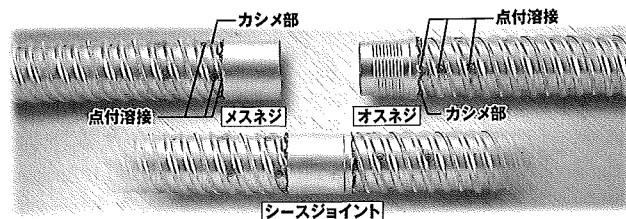
図はテールシール圧が作用する場合に予想されるリング継手の損傷状況(鋼製ボックス継手)

ユニークな発想と高品質・自信の価格



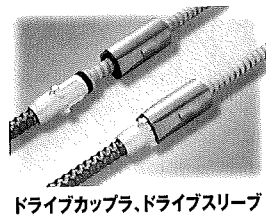
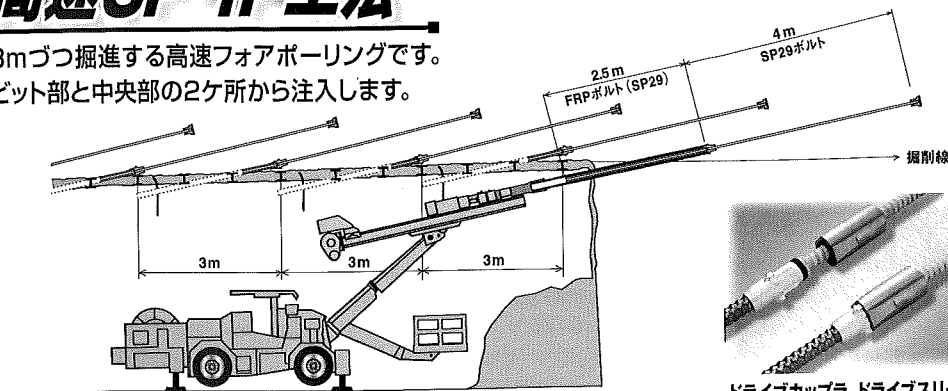
FIXチューブ工法

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

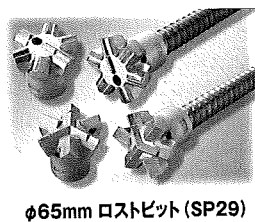
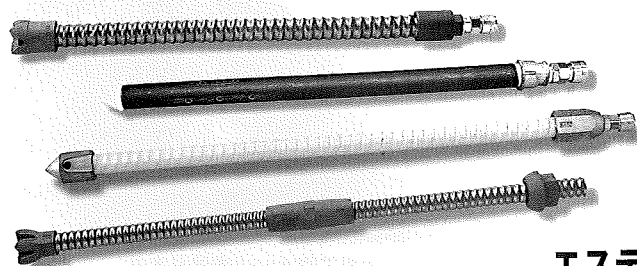


高速SP-IF工法

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



自穿孔ボルト&注入管



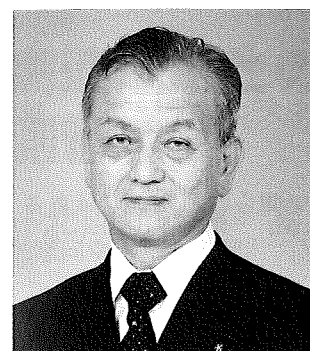
※他にも脚部や坑口周りに利用できる各種の補強土工法、マイクロパイル工法を準備しております。

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
 ST ENGINEERING CORPORATION

〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
 TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
<http://www.st-eng.co.jp>

巻頭言

(題字 小森 博会長)



諸先輩の偉業を顧みて

大豊建設(株)代表取締役社長(本協会評議員)

岡村 康秀

明治時代、日本は一日も早く欧米にキャッチアップすることを目標に、医学や法学をはじめ、造船、ウキスキーの製造に至るまで、あらゆるジャンルに優秀な留学生を送り出した。初代土木学会会長である古市公威博士も、明治8年から5年間フランスに留学された。そのとき、下宿屋のおばさんから、「そんなに根をつめて勉強ばかりしていると体を壊すよ、少しは休みなさい」と言われ、「僕が一日休むと、日本は一日遅れます」と答えられたという。明治時代の留学生は一人一人がこのように高い使命感を持ち、大変な努力をされたお陰で、近代日本の基礎は築かれた。

そして、この熱い思いと高い倫理観を持った、それらの方々の厳しい教えに鍛えられた土木技術者たちが続々と輩出した。明治43年に台湾総督府に奉職された八田與一氏は、不毛の嘉南平野15万haを大穀倉地帯に変えた。その高潔な人格とその偉業は、今も台湾国民から深く敬慕されている。

それから、もう少し時代を下ると、私もその聲咳に接することができた。当社の創立者である内田弘四相談役たちがおられる。相談役は昭和3年に東京帝国大学工学部土木工学科を卒業後、朝鮮総督府や満州国に奉職され、満州国では当社のルーツである大豊満ダム(松花江)の建設に尽力された。満州国は1932~1945年のたったの13年間しか存続せず、その余りの短さに改めて驚かされる。日本人土木技術者は、河川勾配がきわめて緩く、たびたび洪水に見舞われていた満州国の地勢や水文を十分に把握したうえで、ダムや鉄道、都市や道路などのインフラを計画し、ほぼ10年ですべての基盤整備を終えている。琵琶湖よりも大きな人造湖を持つ大豊満ダムは、1937年に着工され1943年の発電開始から今日まで絶えることなく発電を続けており、同時に17万haの灌漑で大穀倉地帯を創り出した。そのうえ、敗戦時にはこれらの施設を破壊することなく、終戦後8年間もの長きにわたり、ダム、発電所、配電電などに関する技術移転を行い、中国への移管を果たしている。その計画力の卓抜さや、施工スピードなどどれ一つをとっても、往時の世界最先端を行っていた。満州国に対する歴史家の評価は大きく分かれるところであるが、満鉄やこの大豊満ダムをはじめとする、満州国

のインフラと農・産業基盤が、中国の発展にどれほど寄与したか計り知れない。この紛れもない事実は日本人土木技術者の誇りであり、その行為と功績は、声を大にして讃えても、讃え過ぎることはない。

次に、私事になるが、これらの大先輩と比肩すること自体、僥越で憚られることではあるが、私も学生時代にはこれらの先輩方と同じように学んだはずなのに、当時の心構えや向学、向上心の不足がたたり、今となっては己の無知無力を嘆くばかりである。

このように時代を下るごとに、土木技術者のスケールがどんどん小さくなったのはなぜだろうか。今、BRICs諸国は来るべき社会に適合する国造りに向かって、国中が沸きに沸き立っている。また、それらの国では貧しさから抜け出そうと、親は無論のこと親戚や村中までもが、子供の教育にすべてをかけて、あらゆる犠牲を惜しまない。そして、皆の期待を担った子供たちは、その恩に報いるために、信じられないくらいの集中力と上昇志向をもって、死に物狂いで勉学に勤しんでいる。

自分の無知、無力を弁明するわけではないが、これらの子供たちの姿を見ると、大先輩のようにスケールの大きい人物が出現するには、十分な素質に恵まれると同時に、多感な成長期にこの沸き立つ時代に遭遇し、その熱気に後押しされるチャンスに恵まれることが、大きな一つの要因ではないかと思われる。

かかる観点から、今後わが国にその可能性があるかを考えると、悲観的にならざるを得ない。さらに今の社会が深刻なのは、社会が待ち構えている結論がなんとなく先にあり、そこへすぐに、たどり着かせようとする風潮が蔓延している。真の原因や対策などは二の次で、その現象が面白く刺激的であればあるほど良いという劇場型社会が、国民を不完全燃焼の無気力、無関心状態に陥れ、日本はあてどもなく漂流しているように思われる。

公共事業のあり方、談合問題、原子力発電所事故問題など、われわれ土木技術者が率先して社会をリードしなければならない問題が山積している。長い歴史的背景を有するこれらの問題を解決するには、まず社会の信頼を勝ち得ることが先決である。小粒になったとはいえわれわれ土木技術者は、諸先輩方の視野の広さや胆力を顧みて、劇場型社会におもねて目先の規制だけでこと済ます「泥縄式解決策」をとらないこと、内輪の理論が優先する「裸の王様の解決策」を避けること、さらに大切なことは、奴隷売買、植民地侵略、従軍慰安婦問題などでも理解できると思うが、「過去の歴史や事象を裁くときには、現在の倫理や判断基準で裁かない」という毅然とした態度をとり、国民にとって、真に何が大切かを考えに考えて、更に考えて、改めるべき点は改めてゆかなければならない。

微力ながら私も、諸先輩が嘗々と築いてこられた信頼を汚すことなく、努力してゆきたい。

施工

高速道路との交差部における対策工の選定と計測管理

—北陸新幹線 高丘トンネル南工区—

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局工事第二課課長補佐 依田 淳 一
 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所所長 都築 保 勇
 鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局飯山鉄道建設所主任 藤本 浩 志
 戸田・フジタ・アイサワ・藤森特定建設工事共同企業体高丘トンネル南作業所所長 山 木 昇

1 はじめに

北陸新幹線高丘トンネルは、高崎起点131km 572m～138km490mに位置し、長野駅をでて最初のトンネルとなる(図-1)。長野県北部を流れる千曲川右岸側の長丘丘陵を縦断し、全長は6,918mである。高丘トンネルは南北2工区に分割発注しており、そのうちの高丘トンネル南工区はトンネル延長2,928m、土かぶり10～50m(1～5D)程度である。また、この工区の特徴として、本線地上付近に民家集中地区のほか高速道路、送電線鉄塔など交差物件が多数存在する(写真-1)。

本稿では、高速道路交差部の施工に伴う

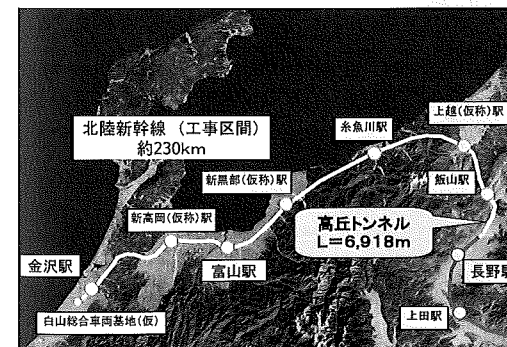


図-1 位置平面図

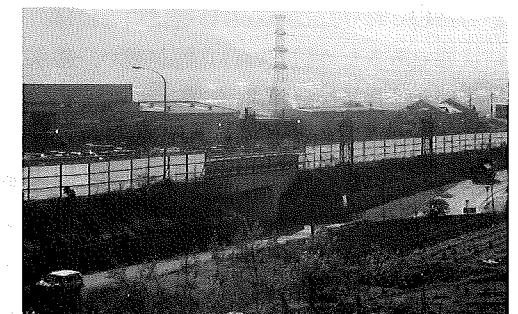


写真-1 高速道路交差部

NATM対策工の選定、および高速道路路面の計測による施工管理方法について報告するものである。

2 地質概要

高丘トンネルが位置する長丘丘陵は、北部は標高400m以上の比較的起伏に富んだ地形であり、南部は標高380mの茶臼嶺を最高点とした起伏の緩やかな丘陵性の地形をなす(図-2)。長丘丘陵は長丘断層と替佐断層に挟まれた場所に位置し、形成年代の新しい第四紀更新世の非常に軟質で緩い状態の堆積岩で構成されている。

地質は、シルト、砂、礫が湖底で堆積したものであり、第四紀更新世前期にあたる猿丸層、同中期の豊野層から構成され、これらを覆って更新世

地質層番号	地質層名	記号
Mics	粘性土・砂層	Mics
Iyc	シルト層	Iyc
Iys	砂層・シルト層	Iys
Iyos	シルト・砂互層	Iyos
Iytc	礫層	Iytc
Iytd	高圧砂岩類	Iytd
Iyscg	砂岩・礫岩・シルト層	Iyscg
Satb	凝石質砂岩	Satb
Sacg	礫岩層	Sacg

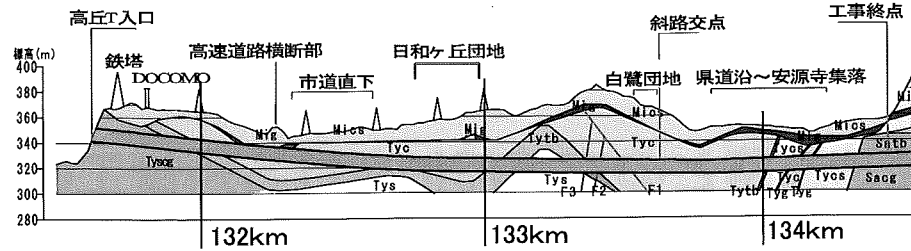


図-2 地質縦断面

後期とされる南郷層がトンネル上部に分布する。トンネル断面に出現する地質はシルト主体の豊野層であり、一軸圧縮強度は1.0MPa程度と小さく、変形係数20MN/m²、地山強度比 $G_a < 1.5$ 程度とともに低いものとなっている。さらに、活断層である長丘断層の断層運動と向背斜をくり返す異常堆積構造によって地質は大きく乱されており、地山は潜在的な亀裂が多く、変形性を助長している。シルト層には挟在または互層などの形で砂層、礫層が分布しており、このうち砂層は均等粒径の未固結状態であるため切羽の自立性が悪く、帯水している場合は容易に土砂流出を伴う。

このように当該地質は、形成年代が若いために未固結状態であることに加え、断層運動、異常堆積構造により亀裂が発達し、変形性に影響を与えていることから、塑性変形および支持力低下によるトンネル自体の沈下および地表面沈下が懸念される。

3 上信越自動車道(高速道路)交差点

高丘トンネルは、高崎起点132km230m付近において上信越自動車道と路面までの鉛直離隔約15m(盛土部:約7m, 地山部:約8m)、平面交差角約45度で交差する(図-3)。さらに、地山の地質はトンネルSL上部においては更新世後期とされる南郷層、SL下部では第四紀更新世中期の豊野層となっており、部分的に帯水砂層を挟んでいる。一軸圧縮強度はトンネル終点方132km300m付近で南郷層が0.15~0.30MPa、豊野層が0.60~1.10MPaと小さくなっており、トンネル掘削に伴い上信越自動車道の沈下などの影響が生じ、車両通行の障害となる可能性がある。したがって、トンネル掘削にあたっては、上信越自動車道盛土構造に対する影響を極力小さくする必要がある。そこで管理限界値を設定し、施工に伴う影響を管理限

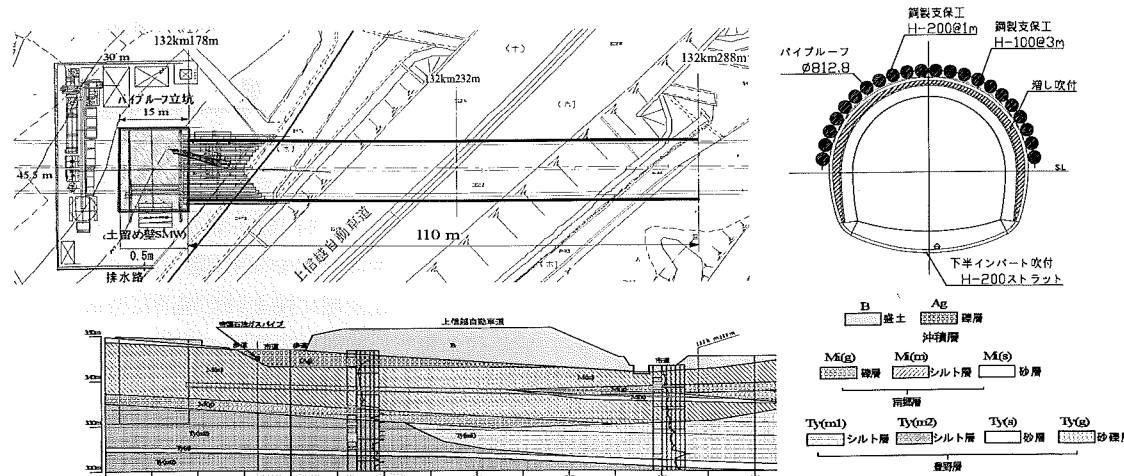


図-3 高速道路交差点 位置平面図・地質縦断面・横断面

表-1 高速道路 地表面管理基準値

管理基準値	地表面沈下量	沈下勾配
注意値(60%)	30mm	6/1,000rad
警戒値(80%)	40mm	8/1,000rad
限界値(100%)	50mm	10/1,000rad

※警戒値を管理目標値とする。

表-2 補助工法の選定比較表

	先受け工法	高圧噴射改良工法	長尺鋼管先受け工法	パイプルーフ工法
沈下抑制効果		△	△	◎
経済性		△	○	△
施工性		△	○	◎
総合評価		△	△	◎

界値内に収めるようNATM対策工の選定を行った。

3-1 管理値の設定

トンネルと交差する上信越自動車道の管理限界値については、上信越自動車道の安全な走行を確保するため、「近接施工技術総覧」(近接施工技術総覧編集委員会, 1997.3.)を参考として、道路管理者と協議のうえ、地表面沈下量50mm, 沈下勾配10/1,000radを設定した(表-1)。また、施工管理を行ううえで、管理限界値の6割, 8割をそれぞれ注意値(30mm), 警戒値(40mm)と設定し、管理目標値を警戒値とした。

3-2 NATM対策工の選定

上信越自動車道交差点区間は、実質的な土かぶりは8m程度と10m(1D)未満になっており、トンネル掘削に伴う地山の緩みや沈下の抑制が大きな課題であった(図-3参照)。とくに盛土体である上信越自動車道部分(約7m)は、トンネルへの作用荷重となることが懸念された。したがって、天端防護とともに、盛土による作用荷重を確実に支持することが必要であると判断した。

はじめに先受け工法を比較検討した。検討した先受け工法は、高圧噴射改良工法、当工区において実績がある長尺鋼管先受け工法(AGF)、パイプルーフ工法であった。それぞれ、沈下抑制効果、経済性の観点で検討を行った(表-2)。

沈下抑制効果を得るためには、先受け長にある程度の長さが必要である。また、土かぶりが10m(1D)未満であるうえに高速道路盛土体が直接作用荷重となるため、先受け工で確実に支持することが必要である。さらに、先受け工の自重による荷重増加が問題となるため、重量は比較的軽いものがよい。

そのような要件の中で検討した結果、トンネル

掘削に先立ち、トンネル外周に鋼管を設置し、周辺地山内に高い剛性のパイプ列を形成することができるパイプルーフ工法を採用した。パイプルーフ工法は上信越自動車道交差点全区間を先行して施工できるため、トンネル掘削による先行沈下や周辺地山の緩みの抑制が期待できる。

また、パイプルーフの施工には発進基地が必要である。発進基地の構築方法として、トンネル坑内を拡幅する方法と立坑を構築する方法がある。比較した結果、低強度なシルト層という地質状況および経済性より、立坑からの施工方法を採用した。よって、考えられる高速道路への影響は、

- ① トンネル掘削による影響
- ② パイプルーフ工による影響
- ③ 立坑掘削による影響

があり、この地表面総沈下量が管理目標値に収まるようパイプルーフ工法の打設範囲を選定することとした。

4 地表面沈下量の予測

4-1 トンネル掘削による地表面沈下量

次に、パイプルーフによる天端防護および脚部沈下抑制効果を検証するため、2次元FEM解析を行った。2次元FEM解析では、トンネル断面形状を横断的に検証する解析であるため、トンネル縦断方向の効果をとり込むことが難しい。そこで、

- ① パイプルーフの縦断的梁効果を2次元FEM解析に取り込む方法
 - ② 高速道路の沈下抑制に効果的なパイプルーフの打設範囲
- について検討した。

①については、パイプルーフの梁的な地山支持機能を弾性床土上の梁モデルで評価し、その結果を参考にして2次元FEM非線形弾性解析を行い、

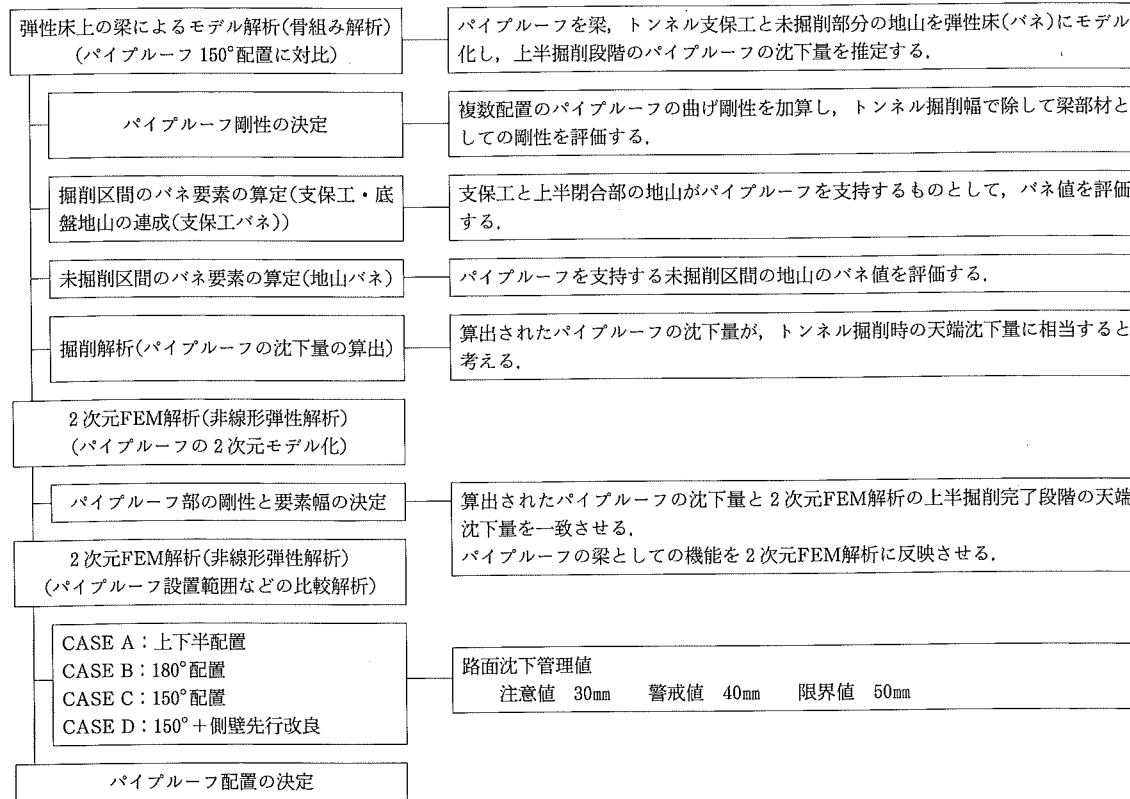


図-4 検討の流れ

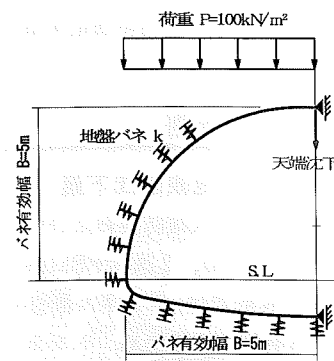


図-5 支保工パネの算出モデル

パイプルーフの縦断的梁効果を取り込むこととした。また、②については①の検討結果を基本として高速道路盛土構造への影響が少なく、かつ経済的となるパイプルーフの打設範囲について、2次元FEM解析により検証することとした。検討の流れを図-4に示す。

また、解析手法は、当工区でのこれまでの実績から、非線形弾性モデルを採用することとした。

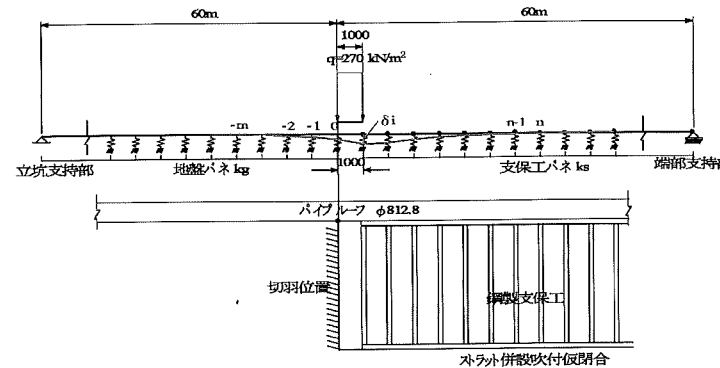


図-6 梁モデル

4-1-1 弾性床上的の梁モデルによるパイプルーフの沈下量予測

トンネル掘削に伴うパイプルーフトンネルの縦断的挙動を評価するために、上半弾性床上的の梁モデルを採用した。パイプルーフを梁、トンネル支保工と未掘削区間の地山を弾性床(パネ)にモデル化し、上半掘削段階のパイプルーフの沈下量を推定した(図-5)。

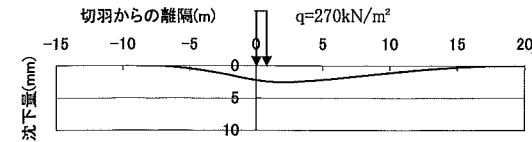


図-7 単位掘削の沈下分布

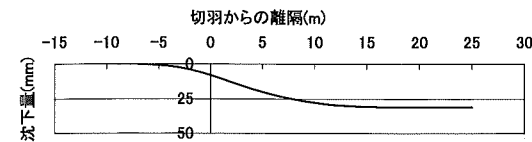


図-8 累積沈下量

トンネル支保工区間のパネ値については、トンネル横断方向(上半断面)を平面骨組みモデル化し、鋼製支保工と吹付けコンクリートの合成部材に単位荷重を載荷することで得られる天端変位量よりトンネル支保工のパネ値を設定した。未掘削区間のパネ値は、地質データより得られた地盤パネを設定した。

パイプルーフの剛性については、中詰めコンクリートを考慮した合成部材としており、150°打設時(20本)の打設本数をパイプルーフ打設幅で平均化した換算剛性とした。

以上の条件を図-6のように設定した弾性床上的の梁モデルにより解析した。沈下量は、パイプルーフがもっとも沈下すると予測される中央部において、単位長さ掘削時の各点の沈下量の逐次累積して算定した(図-7, 8)。1m掘削したことによりパイプルーフは地盤による反力を失い、パイプルーフ上部の地山荷重を受けることとなる。本解析では地山部分および盛土部分の全荷重がかかることとした。その結果、総沈下量(累積沈下量)は31.0mmとなった。この結果は縦断的梁効果を考慮した沈下量と考えられるので、この総沈下量をトンネル上半掘削完了時の天端沈下量にフィッティングすることとした。

4-1-2 パイプルーフの2次元モデル化

続いて、梁モデルにより得られた上半掘削完了時の天端沈下量(31.0mm)を2次元FEM解析に反映させてパイプルーフ機能を評価し、地表面沈下に対する影響を推定することとした。解析に用いられた2次元FEM解析モデルは、梁モデルと同

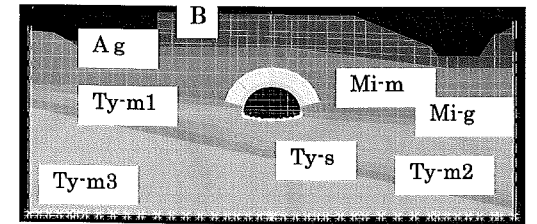


図-9 2次元FEM解析モデル(150°配置)

様の150°打設範囲とした(図-9)。パイプルーフの剛性については、梁モデルにて算出した換算剛性とした。天端沈下量をフィッティングさせるために、パイプルーフと同等の変形係数を持つ要素の幅を検討した。なお、地山部分およびパイプルーフ部分の自重などの物性値はそれぞれの想定値を採用した。また、解析で採用した非線形モデルの定式化は「破壊接近度による非線形モデル」(日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，1987.9.)によった。地質年代に伴う地山の種別は、固結度の高い豊野層を軟岩、固結度の低い南郷層を土砂の扱いとした。初期弾性係数、せん断強度などの地盤物性値は、調査ボーリングデータ・土質試験結果および原位置試験結果の分析から、N値をパラメータとして推定した。

これらの条件下で解析を行った結果、梁モデルでの検討結果であるパイプルーフの総沈下量31.0mmに対し、2次元FEM解析モデルのトンネル天端沈下量が35mmでフィッティングすることができた。

4-1-3 パイプルーフ設置範囲の比較解析

解析より得られたパイプルーフの要素幅および換算された変形係数を用いて、鋼管設置範囲の比較解析を実施した。検討モデルは、上下半モデル、180°、150°および150°モデルに側壁先行改良を加えたモデルの4モデルであり、各モデルをA~Dモデルとした(図-10)。なお、各検討ケースの解析条件は、掘削を7段階に分けて表-3のとおりとした。

解析結果を表-4に示す。次に解析結果の妥当性について検討した。補助工法がパイプルーフのみであるA~Cモデルについて最終ステップの地表面沈下量に着目すると、各モデルにおいて差異が

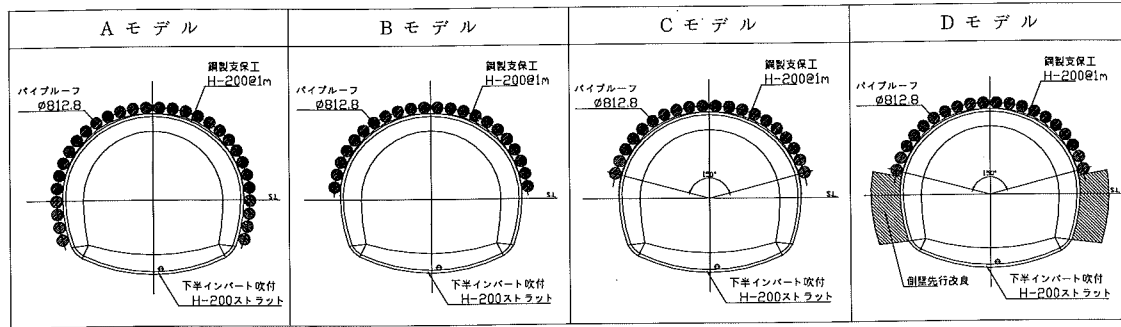


図-10 解析モデル断面図

表-3 各モデルの解析条件

検討モデル	A	B	C	D
パイプルーフ打設範囲	上下半	180°	150°	150°
補助工法	-	-	-	上下半側壁改良
解析ステップ	ステップ1	パイプルーフ設置	パイプルーフ設置	パイプルーフ設置 上半側壁先行改良
	ステップ2	上半掘削(30%)	上半掘削(30%)	上半掘削(30%)
	ステップ3	上半支保工(70%)	上半支保工(70%)	上半支保工(70%)
	ステップ4	下半掘削(40%)	下半掘削(40%)	下半掘削(40%)
	ステップ5	下半支保工(60%)	下半支保工(60%)	下半支保工(60%)
	ステップ6	インバート掘削(40%)	インバート掘削(40%)	インバート掘削(40%)
	ステップ7	仮閉合(60%)	仮閉合(60%)	仮閉合(60%)

() : 開放率

表-4 解析結果

解析モデル	A	B	C	D	
パイプルーフ打設範囲	上下半	180°	150°	150°	
補助工法	-	-	-	側壁改良	
天端沈下量	上半	2mm	14mm	35mm	35mm
	最終	4mm	32mm	65mm	52mm
地表面沈下量	上半	1mm	12mm	30mm	30mm
	最終	2mm	27mm	56mm	45mm

生じた。この原因は、他の地層に比較してN値が高い南郷層の礫層(Mi-g)の存在であると考察された。この礫層にパイプルーフ打設範囲が達するA・B両モデルは、トンネル脚部沈下が抑制され、全体的な沈下量も抑制されるものと考えられた。一方、Cモデルについては、パイプルーフが礫層に達しないため、脚部沈下が他のモデルと比べ大きくなり、結果として全体的に沈下量も大きくなると考えられた。これらの結果は上下半側壁改良を行うDモデルがA・Bモデルと同様に、沈下量が抑えられることで裏づけられる。

表-5 各モデルでの地表面沈下量

解析モデル	A	B	C	D
立坑掘削	2mm	2mm	2mm	2mm
パイプルーフ推進工	11mm	11mm	11mm	11mm
トンネル掘削	2mm	27mm	56mm	45mm
合計	15mm	40mm	69mm	58mm

4-2 パイプルーフ工による地表面沈下量

パイプルーフ工による地表面沈下量をシールドトンネルなどの沈下量予測式、過去の施工実績および2次元FEM解析で得られた結果より想定した。

沈下予測式は「鉄道構造物等設計標準・同解説」(鉄道技術総合研究所, 2005.3.)を参考とした。また、過去の施工実績として、当工区と同様な地質条件での事例を参照し、表-5のとおり算出した。

4-3 立坑掘削による地表面沈下量

立坑掘削による地表面沈下量を2次元FEM解析により想定した。解析にあたり、弾塑性土留め解析により得られた最大水平変位量を算出し、得

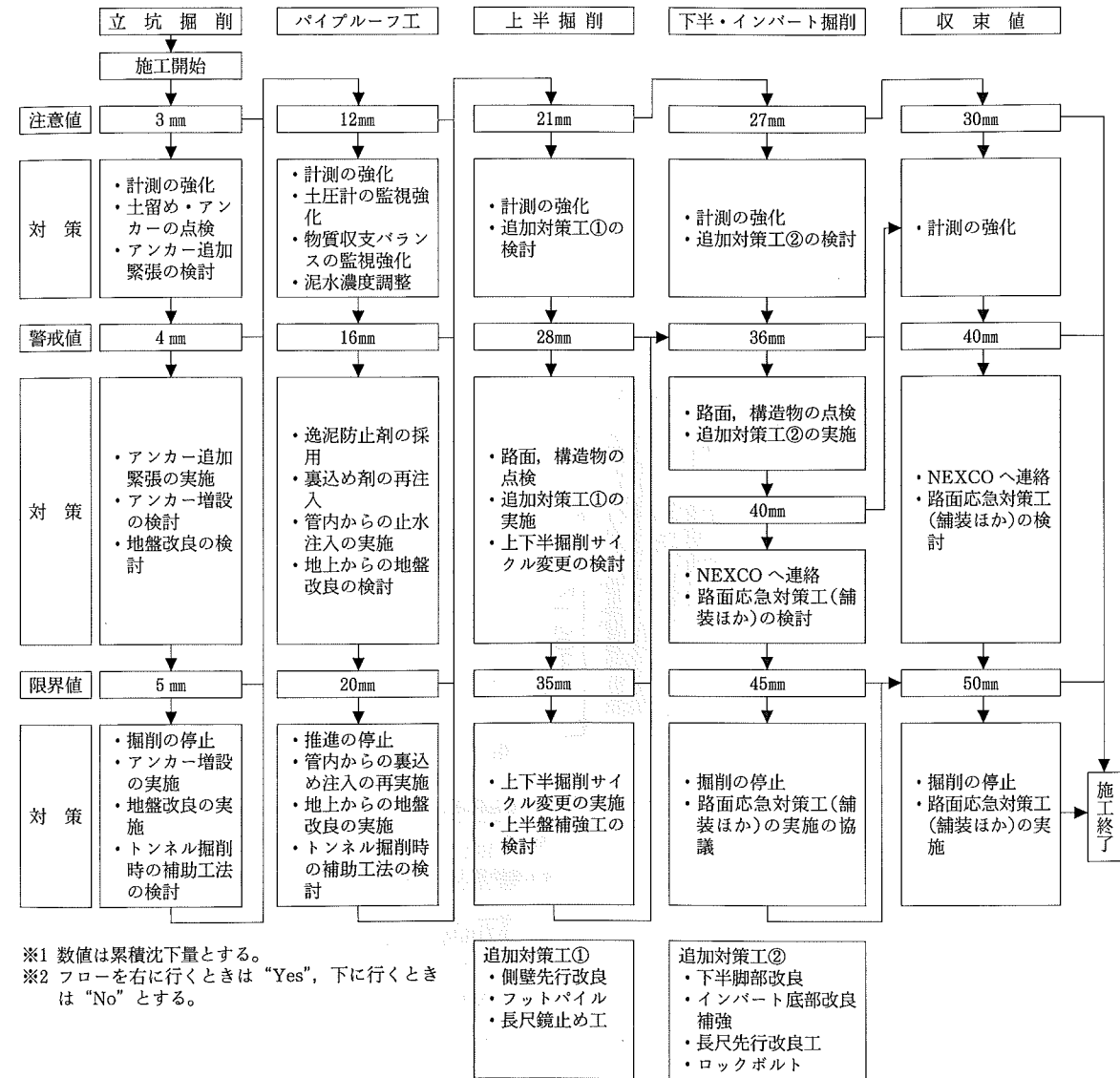
られた算出値を強制変位量として2次元FEM解析モデルに入力した。その結果、高速道路中央部にて2mmの沈下量となった。

以上よりそれぞれの解析より得られた路面沈下予測量を表-5に示す。この結果より総沈下量が管理目標値を満足し、経済的であるBモデル(パイプルーフ打設範囲180°、本数22本)を採用することとした。また、トンネル掘削前に想定よりも沈下が大きくであると予想された場合の追加対策工として、側壁先行改良、フットパイル、長尺鏡止め

工、下半脚部改良、インバート底部改良補強、長尺先行改良、ロックボルトの検討が必要となる(図-9参照)。

表-6 各施工段階における管理値

施工段階	立坑掘削	パイプルーフ工	本坑掘削			
			上半掘削	下半・インバート掘削	最終段階	
管理レベル	10%	40%	70%	90%	100%	
注意値	60%	3mm	12mm	21mm	27mm	30mm
警戒値	80%	4mm	16mm	28mm	36mm	40mm
限界値	100%	5mm	20mm	35mm	45mm	50mm



※1 数値は累積沈下量とする。
 ※2 フローを右に行くときは「Yes」、下に行くときは「No」とする。

図-11 施工管理フロー

5 施工上の管理値の設定

各施工段階での高速道路への影響を管理するため、管理値の設定を行った。先に設定した管理限界値より施工段階ごとに管理限界値を設定し(表-6)、立坑掘削10%、パイプルーフ工40%、本坑上半掘削70%、下半・インバート掘削90%、収束時100%とした。また、それぞれの管理限界値に対し、注意値(60%)・警戒値(80%)を設定した(表-6)。ただし、各施工段階で設定した管理限界値を超えたとしても、収束時に管理限界値である50mmに収束するようトンネル掘削における追加対策工を検討した。検討した対策工は、先述したとおり、側壁先行改良などである(図-11)。

6 施工計画

6-1 立坑施工計画

パイプルーフの発進基地である立坑は、地質的な安定性が比較的高く、仮設用地が容易に確保できる高速道路を挟んだ起点方(132km170m付近)とした(図-3, 12参照)。また、立坑の設置位置周

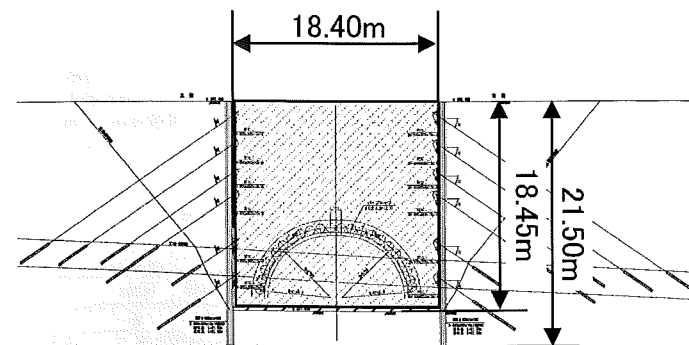


図-12 立坑断面図

表-7 推進方式の比較表

推進方式	オーガ方式	泥水方式	泥土方式
土質適用範囲	粘土シルト～砂層 ○	軟弱土～帯水性砂質土、砂礫土など ○	軟弱土～帯水性砂質土、砂礫土など ○
周辺地山の安定性	掘削面が開放される △	泥水圧により切羽保持が可能(密閉式) ◎	泥土圧により切羽保持が可能(密閉式) ◎
対応鋼管径(mm)	300～1,500 ○	400～2,000 ○	400～2,000 ○
地下水圧上限値(kN/cm ²)	29.4 ×	147.0 ◎	55.8 △
推進延長(m)	約70 ×	約250 ◎	約100 △
総合評価	△	◎	○

辺は、市道に隣接し、高速道路の盛土構造に対しても近接施工となる。そこで立坑の土留め構造は、変形や周辺地山のゆるみを抑制でき、高い剛性を有する柱列式地中連続壁とした。さらに、立坑内でパイプルーフの施工を行うため、作業空間を確保する必要がある。よって、土留め方式はグラウンドアンカー方式を採用した。

6-2 パイプルーフ施工計画

パイプルーフの施工延長は、高速道路の立地条件と盛土構造などの条件を勘案し、132km178m～132km288m(L=110m)とした。

推進方式は、オーガ方式、泥土圧方式、泥水方式より検討した。掘削面を解放するオーガ方式は掘進削孔時に地山を緩めやすく沈下量が大きくなる懸念があるため不採用とした。また、泥土圧方式は掘削土砂の塑性流動性を促進させるための添加剤注入と止水バルブの採用により切羽の安定が保持できるので、地表面への影響は少ないが、パイプルーフ区間は110mの延長があり、実績として100mを超える場合、排土が困難になると想定されたため不採用とした。したがって、当区間では切羽の安定を確保し地表面への影響が少なく、排泥にも問題のない泥水方式を採用することとした。

また、鋼管径は経済性および施工性を検討した結果、φ812.8を採用し、掘進機の外径は鋼管径との差(オーバーカット量)を5mmとして地山の緩みができるだけ小さくなるように計画した。

6-3 掘削施工計画

掘削工法はショートベンチ工法(最

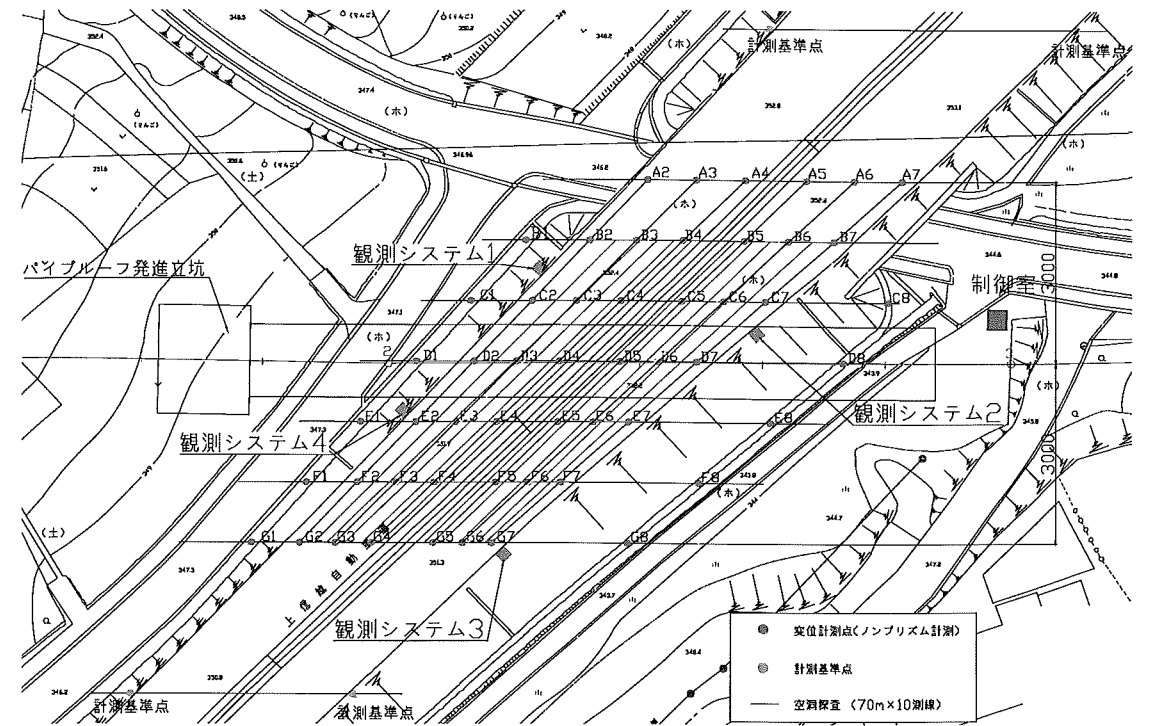


図-13 計測平面図

小ベンチ長6m)とした。当区間における支保パターンについては、支保工200H(吹付け厚25cm)とし、各施工段階における閉合を図るために上半掘削ごとに上半盤吹付けにより仮閉合を行い、さらにインバートについては中央集水管抱き込み式とし、インバート掘削ごとにストラット付きインバート吹付けにより早期閉合を行うこととした。トンネル掘削による緩みをできる限り事前に抑えることで、変位抑制を図ることとした(表-7)。

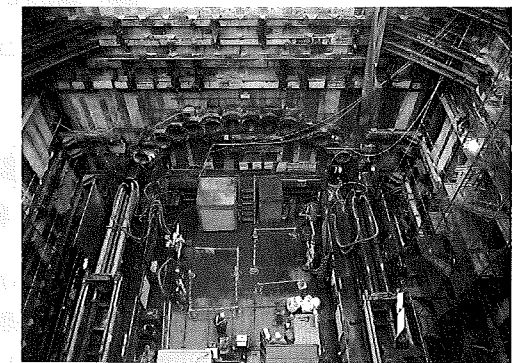


写真-2 パイプルーフ推進状況

7 上信越自動車道の路面沈下計測計画

中日本高速道路(株)(NEXCO中日本)との協議により、NATM掘削などによる地表面への影響監視のため、上信越自動車道の地表面沈下計測管理を行うこととした。計測はパイプルーフの泥水方式による推進時点からトンネル掘削完了までの期間とした。計測方法は、高速道路のり肩部4か所に橋を建て、4方向から地表面を自動計測する方式を採用した。上信越自動車道の路面は供用線

上での計測となるため自動追尾式ノンプリズムトータルステーションを使用することとし、データをリアルタイムに把握できる計測システムを構築することとした。路面上の測点は線路方向と道路方向に設置し、線路方向ではセンターを中心に10mごとに7側線、道路方向では道路上下線それぞれに3側線、その他をあわせ合計53か所に設置した。これらの計測システムにより管理目標値内に収束するよう監視する計画とした(図-13)。

8 おわりに

本稿では、NATM掘削による高速道路への影響をできる限り抑制するための対策工法の選定、自動追尾式計測システムによる計測管理計画などについて紹介した。対策工法の選定では、設定された管理目標値を満たすために、2次元FEM解析などにより地表面沈下量の予測を行い、高速道路交差部のNATM対策工を検討した。計測管理計画では、各施工による地表面への影響を自動計測により管理する計画とした。

現在、本工区はパイプルーフ区間直前までの掘削を無事完了し、パイプルーフの推進を行っている。パイプルーフ推進完了後、立坑埋め戻しを行い、上信越自動車道下をNATMにより掘削を行う予定である。

今後は現在実施している地表面計測による管理を行いつつ、これまでの解析結果、施工結果および計測により得られたデータを今後の施工に反映し、安全性の確保に留意しながら施工完了を目指したいと考えている。

施工

鉄道レンガ高架橋直下に大規模開削で道路函体を構築

—東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事—

東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所立体交差課担当主席 **三浦 慎也**
 東日本旅客鉄道(株)東京工事事務所東京工事区担当助役 **渡邊 誠司**
 鹿島・鉄建建設共同企業体所長 **永田 敏秋**
 鹿島・鉄建建設共同企業体課長代理 **田代 浩之**

1 はじめに

現在、東京都が施行する汐留土地区画整理事業地区内において東京都市計画道路環状第2号線(以下、「環状2号線」という)と都営地下鉄大江戸線汐留連絡線(以下、「汐留連絡線」という)の建設工事を進めている。

環状2号線は、千代田区神田佐久間町と江東区有明を結ぶ約14kmの区部環状道路であり、未整備である港区虎ノ門と江東区有明間(約10.3km)は、都心と臨海副都心とを結ぶ重要なアクセス道路として早期整備が期待されている。今回事業を進めている虎ノ門から東新橋区間は、交通量の多

い既存道路との交差が多く、渋滞対策のために平面道路のほぼすべての区間において地下トンネルが計画されている(図-1参照)。

汐留連絡線は、都営大江戸線と都営浅草線を結ぶ連絡線であり、本工事区間では環状2号線の整備と合わせ環状2号線函体下に地下トンネル(単線トンネル)で施工された(図-1参照)。環状2号線と汐留連絡線は、本工事区間の新橋・浜松町間では山手・京浜東北線、東海道線計6路線と交差する構造形式のため、当該部分の環状2号線およ



図-1 環状2号線全体路線図

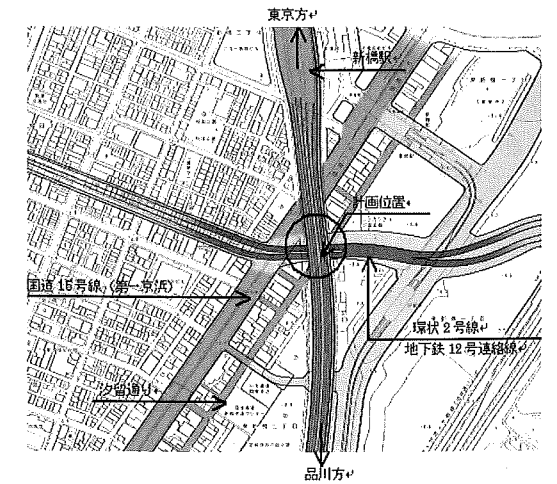
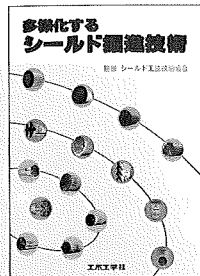


図-2 現場位置図



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・カット・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

び汐留連絡線交差部函体延長約80m区間は、トンネル構築と構築範囲の既設鉄道高架橋の改修工事を東日本旅客鉄道(株)(以下、「JR東日本」という)が東京都および東京都地下鉄建設(株)から受託して施工を行っている(図-2参照)。

また、当該工事範囲は鉄道発祥の地としても知られた地域であり、改修を行った山手・京浜東北線部分の既設鉄道高架橋は明治36年に築造され、東京駅から続くレンガ造のアーチ高架橋としても有名である。

本稿では、環状2号線交差部工事において、山手・京浜東北線および東海道線の主要6路線を、総延長530mの工事桁により大規模仮受けを行い、開削工法で環状2号線および汐留連絡線の構築を行うとともに、本工事では、通常仮設部材として使用される仮受けで使った工事桁をコンクリートで巻き立て、SC造の本設橋梁として使用するという新しい試みが行われたため報告をするものである。

2 工事概要

本工事の工事概要を表-1に、本施工範囲の施工前後の平面図・縦断面図を図-3, 4に示す。また、概略の全体施工フローを図-5に示す。

表-1 工事概要

仮設	工事桁架設: 531.8m 既設構造物撤去: レンガ・コンクリート 4,436m ² 地盤改良工: CJG・ジオパスタ 6,645m 外周土留め工: 4,158壁m ² 掘削工: 28,872m ³
本体	環状2号線函体: 1連ボックスカルバート2基, B=8.6m, H=5.4m, L=80m 汐留連絡線函体: 1連ボックスカルバート1基, B=4.3m, H=4.2m, L=80m 工事桁本設利用桁: 20連, L=4.0~21.4m SRCラーメン橋台: 1基, 4線分, 橋長10.6m RCラーメン高架橋: 1基, 4線分, 橋長13.3m RCラーメン橋脚: 3基 逆T式橋台: 1基 ボックス橋台: B=3.5m, H=3.1m, L=23m

トンネルと地下

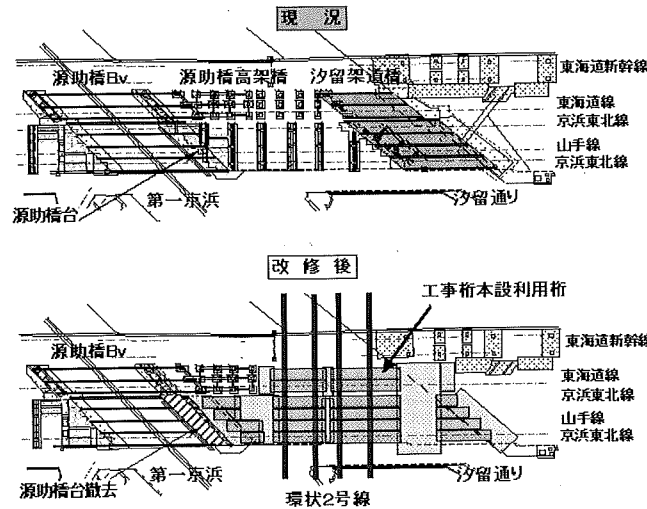


図-3 施工範囲平面図

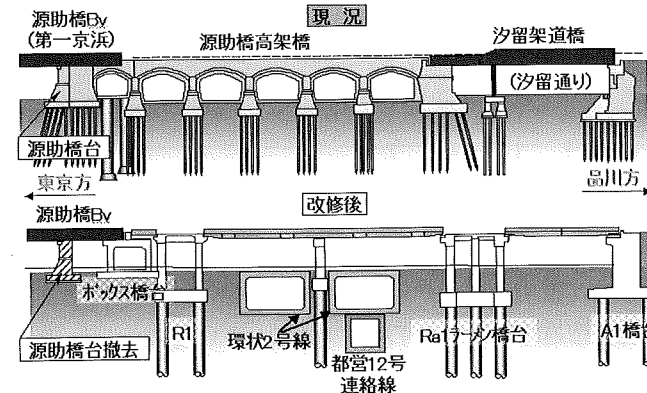


図-4 施工範囲縦断面図

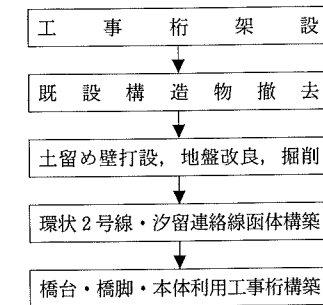


図-5 全体施工フロー

本工事においては、2車線のボックスカルバートで構成される環状2号線を2基、環状2号線函体直下に単線のボックスカルバートで構成される都営大江戸線汐留連絡線1基の構築を施工した。

施工範囲には、上部に既設鉄道高架橋があり、山手線、京浜東北線部分がレンガアーチ構造、東

浮き上がり防護をして施工を行った(図-6参照)。

一方、環状2号線および汐留連絡線の施工と合わせて既設鉄道高架橋の改修工事を行い、8基の橋脚・橋台の構築および20連の橋梁の施工を行った。新設橋梁は、通常、別の作業ヤードで製作し大規模な架け替え工事が必要とするが、本工事では、仮設工事で使用した工事桁に高強度モルタル製の埋設型枠を設置し、内部にコンクリートを充填して本設橋梁として使用する工事桁本設利用をJR東日本として初めて採用し、都内主要路線の鉄道運行に影響を与えない形で施工を行った(図-7参照)。

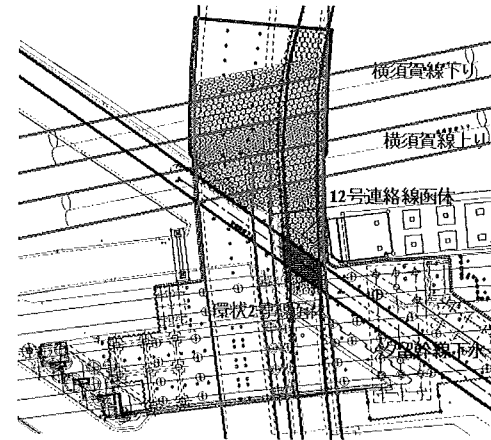
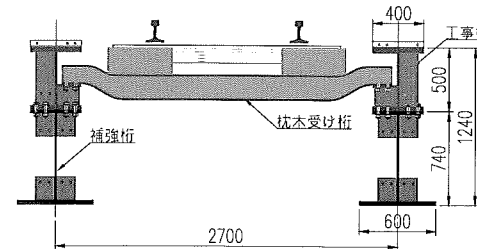
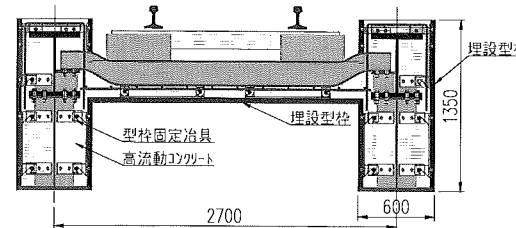


図-6 既設地中構造物平面図



鋼材断面



本設桁断面

図-7 工事桁本設利用桁断面図

海道線部分がRC構造の高架橋となっており、現場を横断する汐留通り(港区道)上には、それぞれ4線5主桁および2線3主桁の鋼橋が架設されており、営業線への影響を最小限に抑えるため、施工範囲の軌道を工事桁により仮受けを行い開削工法で施工した。

新設のボックスカルバートは、掘削底面より約6.3m下部に既設の横須賀線シールド(φ7.2m)が2本、さらに浅い部分であるほぼ掘削底面付近には既設汐留幹線下水シールド(φ4.0m)が交差する状況での施工となるため、掘削時の応力開放による地中構造物への影響を考慮し、地盤改良による

3 施工実績

3-1 工事桁架設

本工事では、現在の高架橋下部を掘削し、ボックスカルバートを構築するため、最初に東海道線2線および山手線、京浜東北線4線の計6線分(1線延長65~100m:総延長530m)の工事桁架設を行った。とくに、この交差部区間に現存する汐留通り上においては、既設桁を撤去しながらの工事桁架設となるため、当該路線を始発から14:30(東海道線は7:10)まで止める(運休)長大間合いにて施工した。

山手線、京浜東北線部分の既設桁は4線5主桁、東海道線部分が2線3主桁で構成されており、今回既設桁を1線または2線横にスライド撤去し、あらかじめ作業構台上にて地組みした工事桁を横取り、縦取り架設する一括架設工法を採用して行った(写真-1~3参照)。既設桁架設範囲外の工事桁架設は、通常の間隔閉鎖間合いにて、主桁と枕木受け桁を分割架設する工法で施工した(写真-4参照)。

3-2 既設構造物撤去

工事桁架設完了後、掘削に先立ち既設鉄道高架橋の撤去を行った。撤去は、軌道に近接した上部部分をワイヤーソーにより切断撤去、下部の基礎部分を機械取り壊しによる撤去により行った。

とくにレンガアーチ高架橋の撤去は、明治36年築造のレンガ造であるため、アーチ部分を1ブロッ

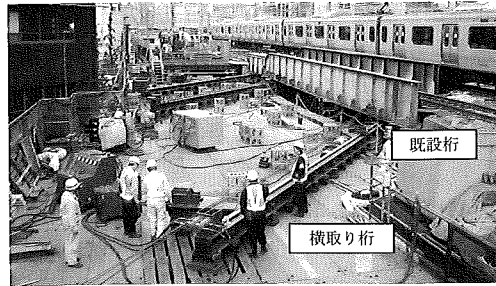


写真-1 既設桁横取り装置



写真-2 既設桁横取り状況

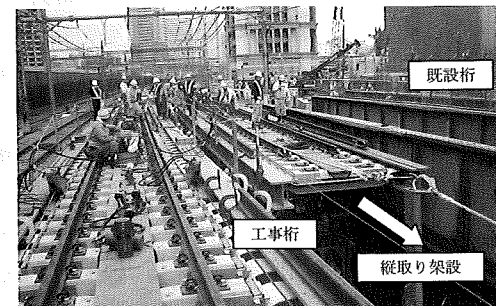


写真-3 工事桁架設状況(一括架設)

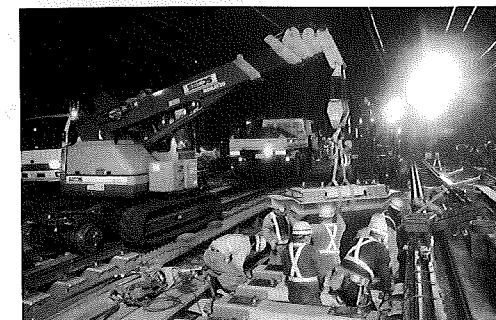


写真-4 工事桁架設状況(分割架設)

ク約80tの大ブロック(幅5.4m, 奥行4.0m)で切断し, 撤去時の部材の安定を考慮しながら降下した。アーチ部材の降下には, 上部にH-250の吊り桁4本を設置し, 70t級センターホールジャッキ4台

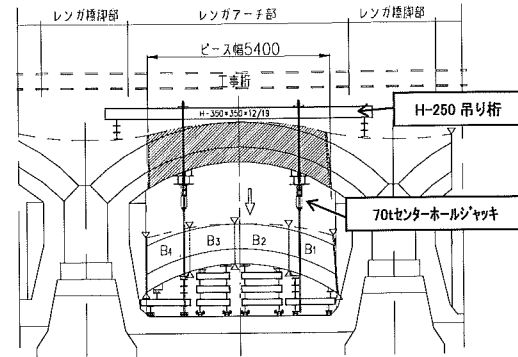


図-8 レンガアーチ降下設備図

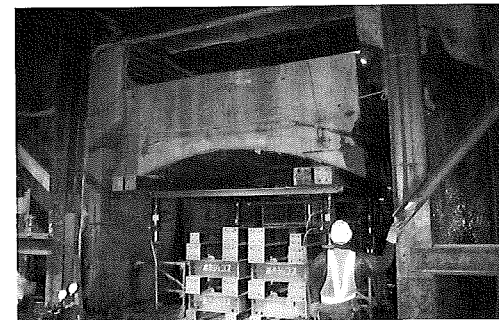


写真-5 レンガアーチ降下状況

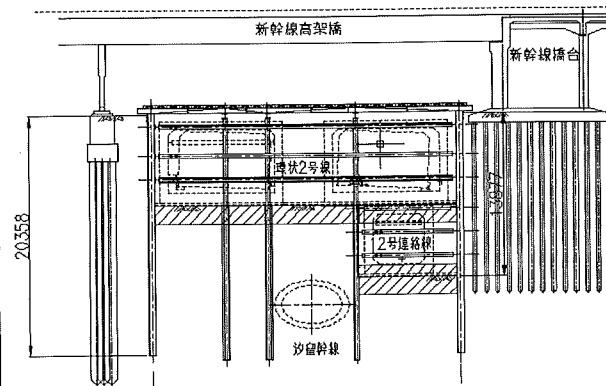


図-9 掘削範囲断面図

を用いて降下した(図-8, 写真-5参照)。降下したアーチ部材は, 再度ワイヤーソーで小割りに切断して10tダンプで搬出した。

3-3 土留め壁打設, 地盤改良工, 掘削

本工事の掘削については, 深さは汐留連絡線部分で最大15m程度であるが, 掘削範囲内に山手・京浜東北線, 東海道線および東海道新幹線という主要路線が横断している状況から, 掘削時の変状抑制が重要であった(図-9参照)。さらに, 掘削底面に深にも横須賀線シールドおよび汐留幹線下水

が直角および斜めに横断しており, 応力開放による浮き上がりに関しても対策が必要となった。

土留めに関しては, 掘削深さや許容変位量に合わせて4種類の土留め壁を採用した。その中で在来線下(山手・京浜東北線, 東海道線)横断部および新幹線影響範囲内の土留め壁は, 許容変位が厳



写真-6 H鋼鋼矢板土留め壁

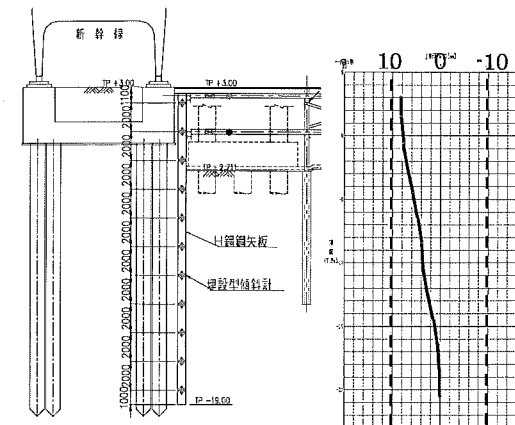


図-10 埋設型傾斜計配置図・計測結果

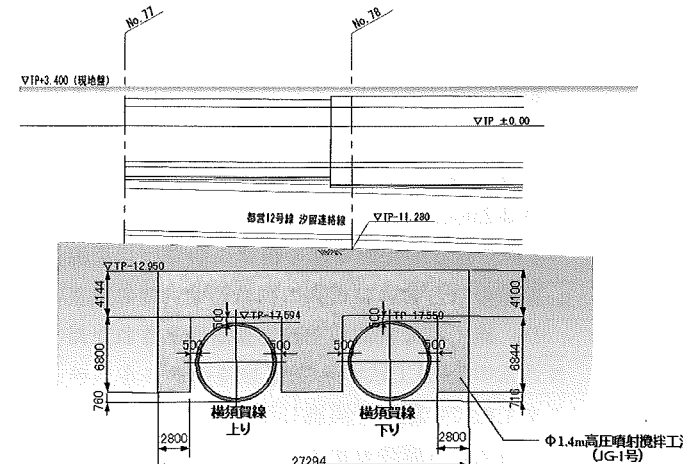


図-11 横須賀線シールド防護地盤改良図

しく設定されているため(在来線: 30mm, 新幹線: 10mm)壁体剛性の高いH鋼鋼矢板(写真-6参照)を使用し, 新幹線部には補助工法として地盤改良工(CJG)による先行地中梁を併用し土留め壁の変位抑制を行った。

掘削は, 掘削背面に埋設型傾斜計を設置し計測管理を行い, 施工中最大8.5mm(設計最大9.7mm)のたわみ量で管理しながら行った(図-10参照)。

また, 掘削底面以深の横須賀線シールドおよび汐留幹線下水シールドの変状防止に関しては, 設計時にFEM解析による影響検討を行い地盤改良工(CJG)による対策工を実施した(図-11参照)。横須賀線シールドに対しては, シールド変位の計測管理を施工中最大3.7mm(設計許容値6.7mm)のたわみ量で管理しながら掘削を行い, 地上および地中の重要構造物への影響を最小限に抑えた。

3-4 環状2号線・汐留連絡線函体構築

本工事では, 環状2号線と汐留連絡線のボックスカルバートの施工を行った。このうち, 環状2号線の構築についての報告を行う。

本施工範囲の環状2号線は, 大きく分けて4ブロックに分かれており, 虎ノ門側の3ブロックは2基のボックスカルバート, 築地側の1ブロックが2径間のボックスカルバート構造で構成され, すべてのブロックとも3回の打設ロットで施工した(図-12, 13参照)。当施工範囲は地下水位が高いため, ひびわれによる漏水対策として, すべての

ブロックにひびわれ誘発目地の設置を行った。

また, ほかのブロックに比べ平面的に広く, 部材の厚いB5ブロックは, 3次元温度応力解析を実施し, 使用するコンクリートを低熱ポルトランドセメントに変更することで最小ひびわれ指数が改善されると判明したため(表-2参照), 対策として低熱コンクリートへの変更を併用して施工した。その結果, 現在のところすべてのブロックにおいて有害なひびわれは確認されていない。

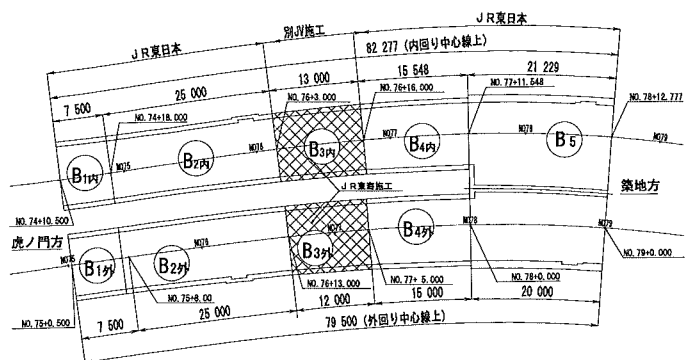


図-12 環状2号線平面図

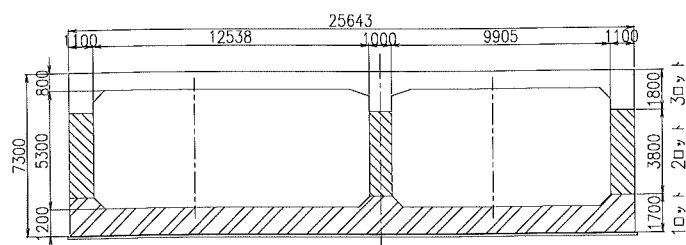


図-13 環状2号線(B-5)断面図

表-2 温度応力解析結果(抜粋)

セメント種類	部位	最大引張応力 (N/mm ²)	最小ひび割れ指数	ひび割れ発生確率
N	頂部材表面	2.54	0.58	95以上
	版部材内部	3.08	0.99	90
	内側部材表面	3.68	0.90	95
	壁部材内部	5.45	0.61	95以上
	外部材表面	2.64	1.26	55
	壁部材内部	4.42	0.75	95以上
L	底部材表面	3.81	0.60	95以上
	版部材内部	2.90	1.15	70
	頂部材表面	0.41	0.60	95以上
	版部材内部	1.95	1.51	20
	内側部材表面	0.39	0.96	65
	壁部材内部	1.22	2.74	5未満
L	外部材表面	0.41	0.94	65
	壁部材内部	1.27	2.74	5未満
	底部材表面	1.11	1.04	90
	版部材内部	1.82	2.24	5未満

ボックスカルバートの配筋は、最終的な土かぶり厚が約700mmと小さく、上床版厚も制限されているため(最小550mm)、通常のボックスカルバートと比較するとかなり密な配筋(主筋D38@125)

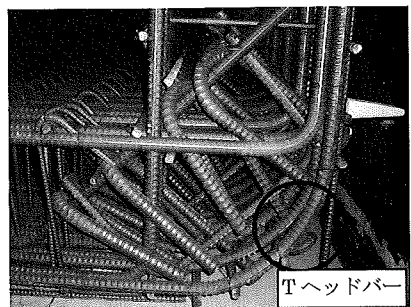


写真-7 隅角部配筋状況(Tヘッドバー使用)

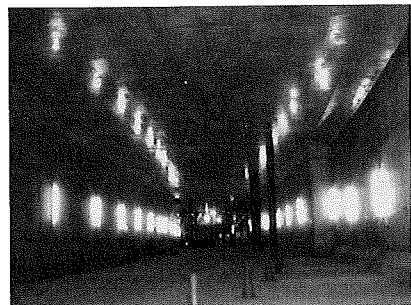


写真-8 環状2号線トンネル全体全景

となっている。とくに隅角部に関しては、当初の形状がハンチ筋のせん断補強筋も主筋同様にD38を使う仕様となっていたため、ほかの鉄筋と干渉して当初の配筋では困難な状況であった。そのため、せん断補強筋の定着部を干渉するフック形状から鉄筋先端を加工して支圧定着部を設けるTヘッドバー工法に変更し配筋を行い(写真-7参照)、無事に全長80mの構築を完了した(写真-8参照)。

3-5 橋台・橋脚・本体利用工事桁構築

本工事では、高架橋改修に伴い8基の橋台および橋脚の構築も併せて行った。このうち、新幹線影響範囲での場所打ち杭の施工に使用した低空頭オールケーシング杭に関して報告を行う。

本工事で施工した場所打ち杭は、φ1,800およびφ2,000、杭長21.6mおよび19.0m、施工本数は4本である。この4本の杭については、東海道新幹線の橋台および橋脚の影響範囲内での施工となり、施工時に営業線への影響が懸念されたため、通常のTBH工法から変更し特殊オールケーシング工法での施工を実施した。この工法は、鋼管にて確実に孔壁の安定を図るとともに、掘削ビット+逆循環(リバース)方式を採用することにより、

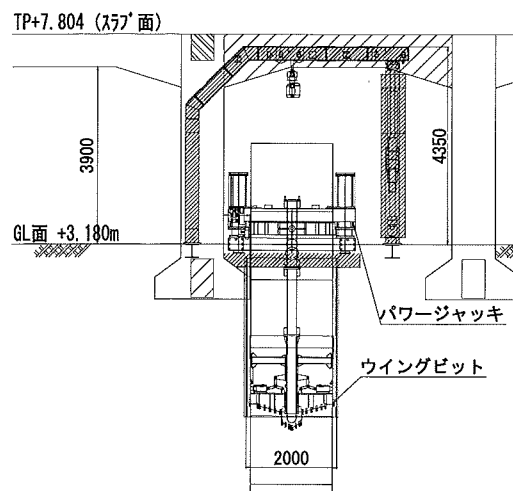


図-14 低空頭オールケーシング杭施工状況

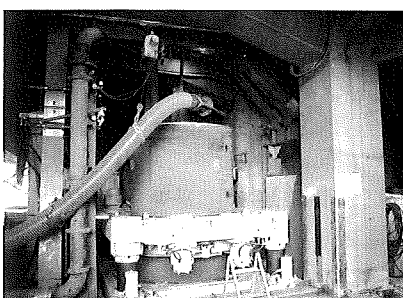


写真-9 低空頭オールケーシング杭施工状況

従来のオールケーシング工法では成し得なかった低空頭下での施工を行うものである(図-14, 写真-9参照)。

最初に、全周回転型パワーケーシングジャッキにより1.5mの長さの鋼管を回転させ、その鋼管から伝達されたトルクにより先端の三翼ビットが回転し、地山の掘削を行う。その後、土砂の吸い上げ状況に合わせて鋼管を圧入し、鋼管を順次溶接で接合しながら掘削した。既設鉄道高架橋下部の松杭などが残置されている中で、施工には若干の時間を要したが新幹線構造物に変状を与えることなく施工を完了した。

橋台および橋脚の構築完了後、JR東日本として初めて採用した本体利用工事桁形式の新設橋梁の構築を行った。

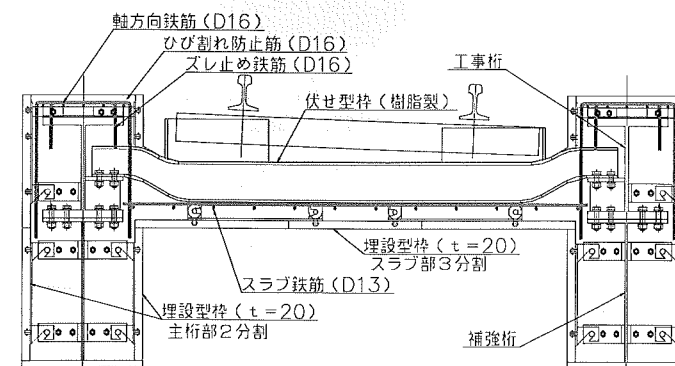


図-15 本体利用工事桁断面図

表-3 高流動コンクリート仕様

項目	仕様		備考
	繊維混入なし	繊維混入あり	
設計基準強度	35N/mm ²		強度の保証材齢28日
セメントの種類	早強ポルトランドセメント		—
粗骨材の最大寸法	20mmまたは25mm		—
水セメント比	40%		クリープ変形抑制のため
空気量	4.5±1.5%		繊維混入後は、6.0%以下
スランプフロー	700±50mm	650±50mm	繊維混入ありは繊維混入前で評価
自己充填性ランク	ランク1	ランク2	—
流動性保持時間	90分		出荷→運搬→打ち込み時間を考慮

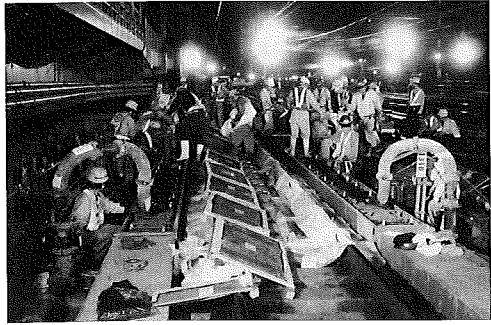


写真-10 コンクリート打設状況

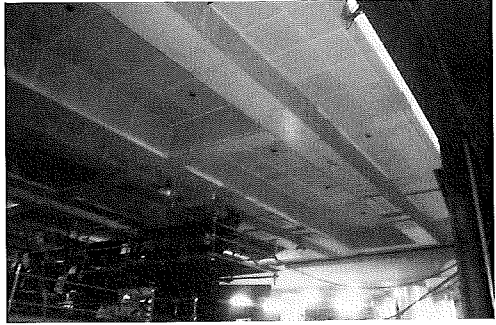


写真-11 本設利用桁全景(下面より)

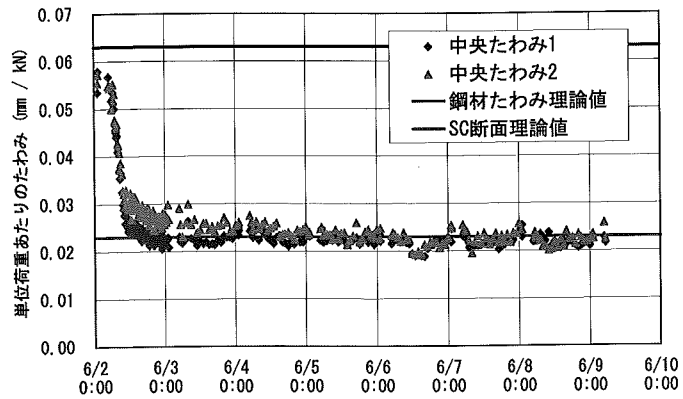


図-16 中央たわみ履歴図(打設後から1週間)

表-4 仮橋脚撤去時たわみ計測結果

	支間	設計値	実測値
死荷重たわみ	18.8m	9.7mm	9.1mm
列車荷重たわみ*		4.4mm	3.7mm

※：列車荷重は、過去の計測よりM-12相当で計算

接合し、桁の外周に工場製作した高強度モルタル製の埋設型枠(AQフォーム)を設置した(図-15参照)。型枠および鉄筋の設置完了後、線路閉鎖作業時間でコンクリート打設を行った。

コンクリート打設は、狭隘な打設断面および20m程度の桁長への短時間での打設を考慮してフロー700mm、自己充填性ランク1の高流動コンクリー

トを使用した(表-3, 写真-10参照)。打設直後の本設桁のたわみ挙動は、打設直後は鋼材剛性のたわみ量を示しているが、時間経過とともに徐々にたわみ量が減少しSC(鉄骨コンクリート)断面の剛性に変化し、鉄骨とコンクリートの一体性が確認された(図-16参照)。打設が完了した桁は、3か月の養生期間終了後に桁中間に設置された仮橋脚の撤去を行い、最終的な本設桁としての供用をした。また、その際のたわみ計測においても設計値内のたわみ量であることが確認された(表-4, 写真-11参照)。

4 おわりに

現在、躯体構築はほぼ完了し、2007年10月の竣工に向けて最終仕上げおよび復旧工事を行っている。

本工事では、都市内の主要幹線鉄道直下の開削工事という制約の多い施工条件下において、既存施設への影響を最小限にする成果を確認することができた。本工事での工事実績が、今後の類似工事の参考になれば幸いである。

きみも金鉱を発見できる

金鉱の有望地域と探し方

理学博士 石井康夫著 新書判 202頁 本体定価 980円(〒210円)

株式会社 **土木工学社**

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



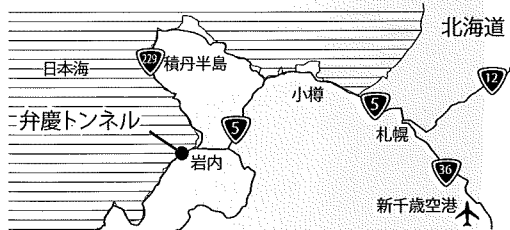
「北緯43°のキラリひかるまち」岩内町より

海老子川 啓

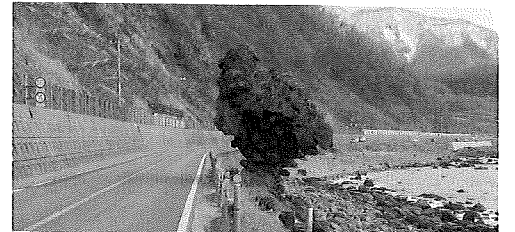
札幌の西約100kmに位置するここ岩内町は、文学、美術と文化的香りの高い町である。代表的な施設である「木田金次郎美術館」には、有島武郎の小説「生まれ出づる悩み」のモデルとなった岩内が生んだ孤高の画家、木田金次郎の作品が多数展示されているし、水上勉の名作「飢餓海峡」の舞台になった町としても有名である。また、これはあまり知られていないことであるが、文豪、夏目漱石が25歳から47歳までの22年間、本籍を置いていた町でもある。もっとも本人は住んだことはおろか訪れたこともなく、徴兵逃れのために東京から籍を移したのではないとも言われている。

小樽市から積丹半島を周回し、岩内町を経て江差町に至る国道229号は、その沿線に自然界が創りだした見事なビューポイントが随所に点在する路線である。その中でも当弁慶トンネルが位置する雷電海岸沿いは断崖絶壁が続く、その中に弁慶が刀を置くためにつくったという伝説の『弁慶の刀掛け岩』や薪を積んだようなかたちの『弁慶の薪積み岩』、街道を旅する人が雨宿りをしたと言われている『傘岩』などの奇岩が存在している。

弁慶トンネル工事は、国道229号において落石・岩盤崩壊対策として進められている防災事業の一環で行われている全長1,048mのトンネル新設工事である。地質は火山角礫岩(ハイアロクラスタイト)が主体であるが、両坑口はそれぞれ古期土石流堆積物および崖錐堆積物からなっている。とくに起点側坑口部は大きな沢の中に古期土石流堆積物が扇状地を形成しており、坑口から約180mにわたって巨礫(φ50~300cm)が混在するルーズな堆積物となっている。トンネル掘削にあたっては天端部の安定対策として注入式長尺鋼管フォ



位置図



奇岩「笠岩」



現場見学会の様子

アパイルング、鏡面の安定対策として長尺鏡ボルト工を補助工法として併用し、さらにトンネル脚部の沈下を抑制するため、ミニベンチカット工法(ベンチ長2m)によるトンネル断面の早期併合方式により大きな変位もなく無事貫通することができた。

昨年11月18日の『土木の日』には岩内町を中心とした近隣の小学生を招いて親子見学会を実施した。コンクリートを急結材の添加により瞬く間に固める実験や濁水をきれいにする実験、道路に関するクイズや歩測による距離当てクイズ、トンネル掘削機の稼働の様子を間近で見たり各種建設機械への体験搭乗などなど、参加した児童や保護者の方は目を輝かせて楽しんでいた。見学会後に頂戴した感想やお礼の手紙を見るにつけ、主催したわれわれの方が逆に励まされ、かつ感動したものである。逆風にさらされている建設業界にあってこれからはただ工事をするだけではなく、一般の方々に積極的に理解していただける機会をつくっていくのもわれわれ現場に携わる者の務めだと意を強くした。

最後に発注者および関係各位のご指導のもと、地元の方々のご協力を賜りながら一人のけが人も出さずに無災害で竣工することを決意して筆を置く。(ハザマ・田中・北野JV弁慶トンネル作業所長)



■1939年の大水害とその復旧

日華事変の勃発で日本の支配下となった京包線は、1939年、華北交通(日中合弁だが実質的には日本の国策企業)の設立によって、同社の管理下に置かれた。その年の7月25日、京包線の沿線は未曾有の大洪水に襲われ、南口～青竜橋間の鉄道施設は壊滅的な打撃を被った。この日、南口駅を出発した列車は激しい雨によって青竜橋駅で運転中止となって待避していたが、ほどなく山崩れが発生して機関車と駅が埋没し、路盤は流されて線路が宙吊りとなった。幸い、駅員や車内に避難していた乗客は難を逃れたが、このほかにもトンネルの入口が埋まるなど、線路はあちこちで寸断された(この列車には北支開発初代総裁で第一次近衛内閣の拓務大臣であった大谷尊由が乗っていたが、張家口にたどり着いた直後、にわかに体調を崩して急逝した)。

応急復旧工事は、沿線から数万人を動員して行われ、同年9月14日を復旧期限とした軍の要求に対して、半分の工期で竣工させ、8月21日に最初の列車が運転された。その後、本格的な水害復旧工事が行われることとなり、三堡～青竜橋間の弾琴峽トンネル(延長78m)、石佛寺トンネル(延長73m)、観世音トンネル(延長125m)の3か所のトンネルと、いくつかの橋梁が建設された。復旧工

事にあたっては、現場機関として南口臨時工事事務所が設置され、所長に鉄道省熊本建設事務所から大谷勝が赴任した。大谷は、熊本建設事務所岩屋出張所長として日田彦山線最長の釈迦岳トンネル(彦山～筑前岩屋間、延長4,379m)の建設工事を担当していたので、トンネル工事を伴うこの区間の責任者としては適任であった。

復旧工事は、約1年後の1940年7月に完成したが、この際に完成したトンネルは、いずれも坑門やウイングなどに、日本固有の石積みである谷積みを用いており(写真-1)、日本の影響下で建設されたトンネルであることを物語っている。また、トンネルの断面が狭小で余裕がないこと、側壁の断面が曲線で構成されていることなど、中国が建設したトンネルとは異なる。いかにも日本のトン

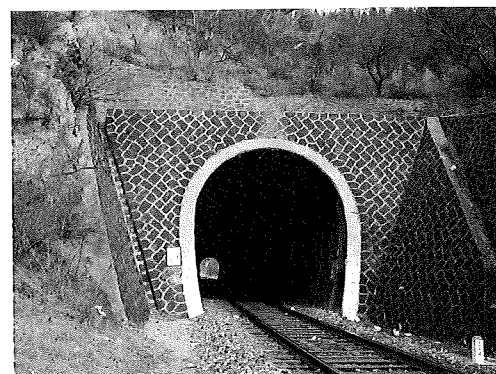


写真-1 日本の影響下で完成した観世音トンネル

ネルらしい特徴を観察できる。

■中華人民共和国成立後のトンネル

日中戦争は1945年に終結し、中華民国の時代を経て1949年10月の中華人民共和国成立によって、京包線は鉄道部平津鐵路管理局(現在は北京鐵路分局)が管理することとなった。

1960年になると、輸送力増強のために京包線・南口～康庄間の複線化工事が行われることとなり、東園～居庸関の居庸関二号トンネル(延長344m)、三堡～青竜橋(新駅)の弾琴峽トンネル(延長113m)、石佛寺トンネル(延長72m)、観世音トンネル(延長117m)、青竜橋一号トンネル(延長121m)、青竜橋(新駅)～八達嶺の青竜橋二号トンネル(延長175m)の6か所のトンネルが新設された。工事は、1960年2月に開始され、1961年12月に完成した。

複線化工事で建設されたトンネルの断面は、京張鉄路の時代とほぼ同じ中国スタイルの断面を踏襲し、いずれも側壁を垂直に仕上げた。坑門は石積みで、京張鉄路でも用いられた厚めのモルタル目地を用いた乱積みまたは切石積みを用いている。

なお、青竜橋二号トンネルの坑門には「青竜橋貳號峒」と繁体字で書かれたレリーフと「1960」という建設年、中華人民共和国鉄道部のロゴマークが掲げられており、新しい国家建設のモニュメントとして位置づけられていたことをうかがわせている(写真-2)。



写真-2 解放後の複線化で完成した青竜橋二号トンネル

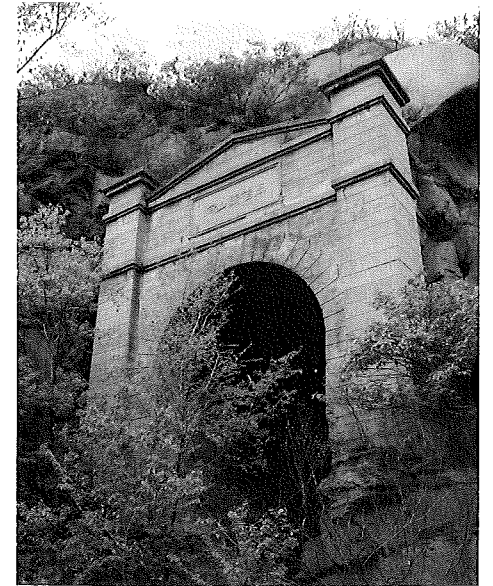


写真-3 廢線跡に現存する旧・五桂頭トンネル

■近代化遺産としての京張鉄路のトンネル

京張鉄路の沿線には、中国の鉄道の父・詹天佑の指揮によって建設された開業時のトンネル、華北交通によって建設された水害復旧時のトンネル、解放後の複線化により建設されたトンネルの3代のトンネルが現存し、そのすべてが原形を保っている。このうち、1939年の水害で廢線となった旧・五桂頭トンネルの張家口方坑門の下には、「延慶県文物保護單位・五桂頭山洞・延慶県人民政府・一九九九年公布」と書かれた碑があり、県単位(中国の「県」は日本の「郡」に相当)の文化財(文物保護單位)として公認されていることを示している(写真-3)。

中国における土木構造物の近代化遺産は、まだ調査や保存が体系的に行われていないのが現状で、都市部の構造物—とくに橋梁—などでいくつか文化財に指定された例はあるものの、建築分野には及ばない。近年、経済成長を背景として都市の再開発や鉄道の改良工事が急ピッチで進む中国であるが、中国の歴史とともに歩んできたこれらの近代化遺産にも、保存の目が向けられることを期待したい。

土木情報 No.408

今月の主な入札結果
(4月10日～5月9日)

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄科学技術研究基盤整備機構	沖縄科学技術大学院大学(仮称)基幹環境整備(トンネル・立坑)(その1)	西松建設・大城組JV	258
東海農政局	宮川用水第二期地区導水路その2	飛島建設	472
〃	〃 〃 〃 その3	飛島建設	416
〃	〃 〃 〃 その5	戸田建設	410
〃	〃 〃 〃 その6	大豊建設	330
〃	〃 〃 〃 その10	白石	244.93
〃	新矢作用水地区北野幹線水路富永工区	フジタ	310
中日本高速道路	舞鶴若狭自動車道小浜第3T	東急建設	1,066.127
〃	紀勢自動車道荷坂T	大成建設・大豊建設JV	4,324
大阪府	配水管布設φ900(バイパス・高石市～泉大津市)	戸田建設・白石JV	2,099
〃	配水管布設φ800(バイパス・泉大津市～忠岡町)	大成建設・吉岡建設JV	1,855
〃	配水管布設φ1,350(バイパス・堺市)1工区その1	森本組	348.1
さいたま市	芝川第14処理分区下水道(南建-18-21)	和光建設	163
〃	芝川第6処理分区下水道(北建-18-52)	三ツ和総合建設業協同組合	114
〃	鴨川第45処理分区下水道(南建-18-25)	カタヤマ	103.5
横浜市	山下町φ800mm(関内線)配水管新設(その1)	千代田建設	165.86
〃	(仮称)環状4号線口径1,200mm新設(その35)	親和興業	139.4
〃	浦舟幹線～平楽幹線口径700mm連絡管新設	ドリーム建設	175.2
〃	港北処理区岸根地区下水道整備工事(その12)	エヌシー	114.568
神戸市	3拡送水T更新鋼管その1・3拡送水T更新鋼管その2	JFE工建	128.9

【図書のご案内】

ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!



建設工事の 保安地質学

(改訂版)

理学博士 石井康夫 著

A5判 上製本 475頁 価格6,300円 定価3,340円

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

株式会社 **土木工学社**

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

施工

ベトナムで初のTBM高速施工

—ダイニン水力発電所—

鹿島・熊谷組JVダイニン水力発電所工事所長 田中 正
鹿島・熊谷組JVダイニン水力発電所工事副所長 橋口 徹雄
鹿島建設(株)アルジェリア東西高速道路工事課長 末吉 功一
鹿島・熊谷組JVダイニン水力発電所工事工務主任 郷 農一之

1 はじめに

ベトナム南部に位置する国内最大の都市ホーチミン市周辺は、ベトナム政府のドイモイ(刷新)政策導入後、内外から投資が集中し、急速な経済発展を続けている。

経済発展に伴い、国内の電力需要は毎年10%を超える伸びを示しており、火力発電事業、水力発電事業が継続的に行われているが、慢性的な電力不足が続いている。ベトナム政府がホーチミン市および近郊への電力供給を目的に、日本政府に対して資金援助を求めた結果、JBICの借款供与により、ダイニン水力発電所(最大出力30万kW)の

建設が決定した。

ダイニン水力発電所は、ホーチミン市の北東約300kmに位置する(図-1参照)。発電所工事は、ベトナム最長のトンネルとなる導水路トンネル(全長11km)、半地下式発電所、放水路トンネルなどの全長約30kmにも及ぶ工事である。

このうち、発電所全体工期を左右する導水路トンネルは早期に完成する必要がある。導水路トンネルの上流部7kmをシールド型TBMで掘削し、掘削と併行してセグメント覆工を行った(写真-1参照)。

本稿では、ベトナム初のTBM工事において高速掘進を目指したTBMの選定、セグメントの設計・製作、施工体制について紹介する。

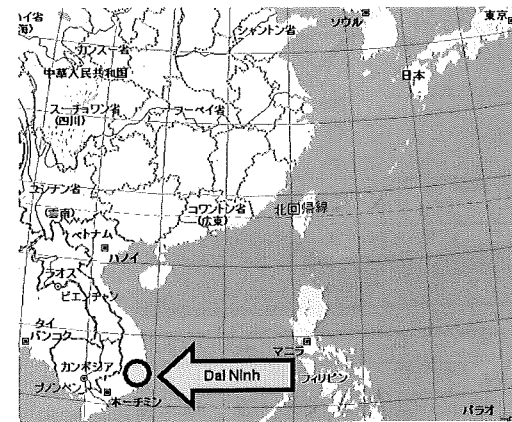


図-1 ダイニン発電所位置図



写真-1 導水路(TBM区間)

2 全体工事概要

国名：ベトナム社会主義共和国
 工事名：ダイニン水力発電所 CW1
 発注者：ベトナム電力省
 設計者：日本工営・電源開発共同企業体
 施工者：鹿島・熊谷組・SONG DA共同企業体
 工期：2003年5月15日～2007年8月14日
 (51か月)
 内容：30万kW水力発電所工事の土木・建築
 工事(表-1, 図-2参照)

3 TBM工事概要

3-1 TBM工事概要

TBM型式：シールド型
 掘削外径：5,480mm
 覆工内径：4,650mm
 トンネル延長：7,057m
 トンネル勾配：平均0.63%上り勾配
 トンネル線形：曲線部2か所(R=1,000m)
 覆工構造：RCセグメント
 裏込め充填：ピーグラベル+セメントミルク

TBM組み立て：坑外組み立て
 TBM引き込み：中間横坑および本坑引き込み
 720m(R=80m曲線部含む)

TBM解体：坑内解体

3-2 TBM工事区間の地質

導水路トンネルは、ほぼN-S方向に山稜に沿って配置されている。近傍山地は多くの鞍部と谷の山体群からなり、地形はなだらかなことが特徴であり、土かぶりは50～290m程度である。

TBM区間の地質縦断面を図-2に示す。TBM掘削区間の地質は、約2kmがジュラ紀から白亜紀の石英安山岩と安山岩およびジュラ紀の花崗岩貫入岩体からなる火成岩区間で、約5kmが中生代ジュラ紀の砂岩・シルト岩からなる堆積岩区間で

表-1 主要構造物概要

構造物名称	構造物概要
開削導水路	長さ 1.8km 掘削 800,000m ³
導水路トンネル	長さ 111m(TBM 7km 内径4.65m) (NATM 4km 内径4.50m)
サージタンク	高さ 120m 内径 10m
ベンストック	長さ 1.8km コンクリート 14,700m ³
発電所	掘削 300,000m ³ コンクリート 26,854m ³
放水路トンネル	長さ 722m

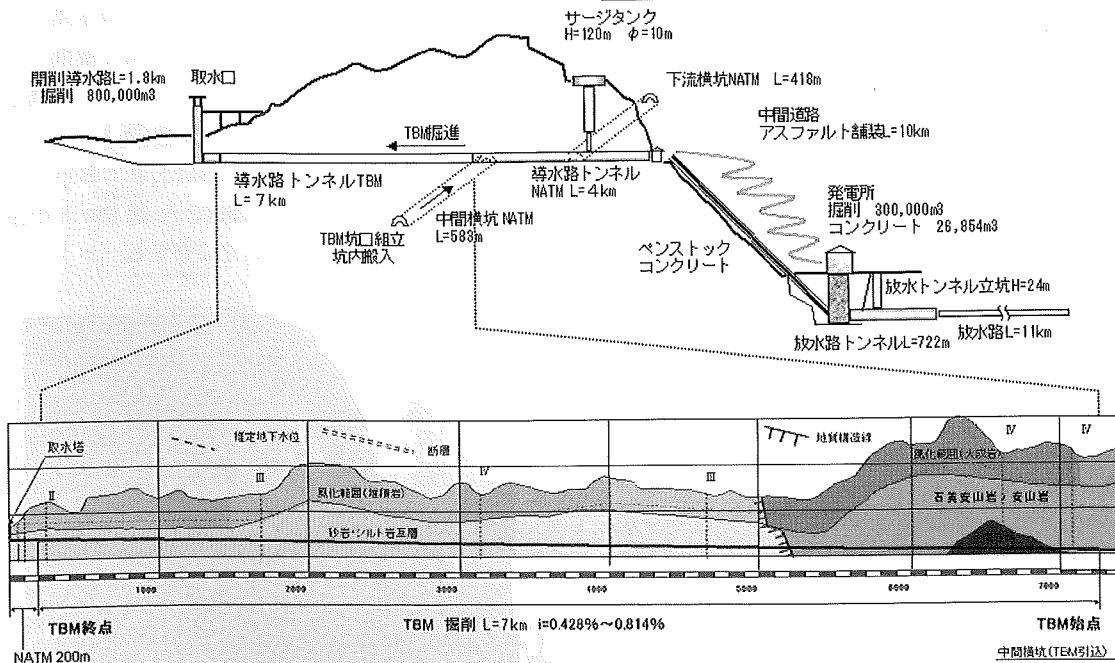


図-2 TBM区間地質縦断面図

あった。

4 TBMの選定

4-1 検討フロー

TBMの設計および製作日数はその特殊性により一般的に長く、通常1年以上を要する。さらに、今回はベトナムで初めてのTBM機械輸入であり、通関・運搬などに通常よりも時間を要することが予想されたため、掘削開始14か月前の2003年10月までにTBMメーカーと仮契約を交わす必要があった。

工事入手前にTBMメーカー7社から参考見積りを徴収し、着手後に交渉を継続する一方でベトナムにおいて施工する場合の問題点を洗い出し、海外のTBM事情(契約・技術)に詳しい2名の欧米人の支援を受けて、図-3に示す検討フローにもとづいてTBMを選定した。

4-2 詳細検討

4-2-1 TBM設計条件

TBMに求められる機能の第一は、高速施工であり、これのための一つの柱は掘削能力である。とくに硬質岩盤に対する掘削能力が重要であり、100MPaの岩盤でも最低5cm/minの掘削能力が求められる。ほかにはセグメントの運搬・組立および裏込め注入を、短時間で施工できるTBMバックアップ設備の基本仕様である。

4-2-2 目標月進

契約上のTBM掘削期間は7,057mを21か月で終了する予定となっている。ベトナム初の

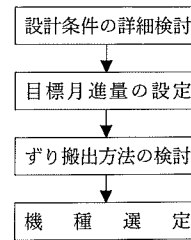


図-3 検討フロー

TBM掘削であるため、リスクも大きいですが、実掘削期間を19か月に設定し、初期掘削期間の1か月を除き、平均400m/月を目標とした。

4-2-3 TBMの比較検討

表-2にTBM機種比較表を示す。表に示す3機種はTBMの発注条件に見合った見積りを提出したメーカーの機種であり、掘削能力には大きな差はないが、掘削後のセグメント組立や裏込めの高速施工能力には経験の差がでていた。検討の結果、TBM本体の製作実績は少ないものの後続覆工設備の充実したイタリアのSELI社を第一候補として交渉し採用した(表-3, 写真-2, 3参照)。

4-2-4 ずり搬出方法の検討

ずり鋼車方式は、表-4に示すように価格、工期、信頼性で有利であることから、この方式に合わせたバックアップ設備を発注した。なお、インバートセグメントにレールを固定して運行スピードを20km/h程度とし、進捗に応じて複線架台装置(200m)を牽引することにより、ベルコンと比べても大きな運搬時間ロスが生じない計画とした。

表-2 TBM機種比較

項目		A社	B社	C社
オリジナル TBM (改造前)	製作年	1998年	1992年	1998年
	メインベアリング	中古品使用	中古品使用	新品使用
	過去の平均月進	300m程度	500m以上	650m以上
TBM 基本能力	総出力	1,200kW	2,300kW	1,500kW
	モーター制御	インバート制御	クラッチ方式	VFD方式
	カットトルク	2,242kNm	4,080kNm	2,600kNm
推定掘削 能力	推力	10,200kN	20,000kN	16,000kN
	硬岩	○	◎	◎
バック アップ設備	軟岩	◎	○	◎
	セグメント組立	◎	○	◎
	裏込め充填	△	○	○
覆工設備	グラウト設備	○	○	○
	覆工設備	新規大幅改造	同左	新規製作
油庄冷却方式		水冷	空冷	水冷
海外での施工実績		×	◎	○
性能保障		200m or 2か月	300m or 6か月	2,300m and 6か月
設計・製作納期		11か月	9か月	8か月
総合評価		△	△	○

◎:優 ○:良 △:可 ×:不適

表-3 採用したTBM諸元

名称	主要諸元	備考	
形 式	フルシールド型		
掘 削 径	φ5.48m		
機 体 長 さ	12.355m	本体のみ	
バックアップ全長	約180m		
本 体 総 重 量	450t		
総 出 力	1,500kW		
ずり出し方式	ずり鋼車方式		
カ ッ タ	カッタ径	φ432mm(17")	
	カッタ数	38個	
カ ッ タ 駆 動 装 置	モーター出力	250kW×6台	
	カッタトルク	2,600/3,900kNm	定格/最大
推 進 装 置	推進力	16,000kN	2,000kN×6組
	推進ST	1,450mm	
補 助 推 進 装 置	推進力	7,406kN	529kN×14組
	推進ST	2,800mm	
メ イ ン グ リ ッ パ	グリップ形式	水平対方式	
	グリップ力	27,200kN	

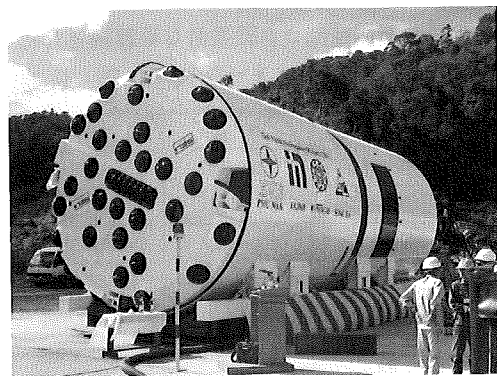


写真-2 TBM本体

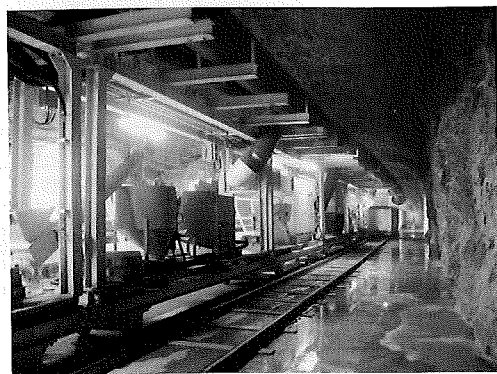


写真-3 バックアップ設備(一部)

表-4 土砂搬出方式比較表

ずり鋼車方式		連続ベルコン方式	
ヨーロッパで主流		アメリカで主流	
主な設備			
25t ジーゼルロコ	5台	12t ジーゼルロコ	4台
ずり鋼車	32台	連続ベルコン設備	1式
ずり転倒装置	1式	同定ベルコン設備	1式
TBM内ずり積み込み装置	1式	TBMテール延伸設備	1式

設備の長所

- ・行きでセグメントなどの運搬、帰りに土砂運搬で効率が良い
- ・車両の運転管理がセグメントなどの資材のみで容易である
- ・施工実績も多く、施工が単純
- ・土砂運搬の安全性に優位

設備の短所

- ・ベルコン方式に比べサイクルタイムが長くなる
- ・ベルコンの直列配置のため故障による影響が大きい
- ・列車の安全管理が必要
- ・ベルコン調整など熟練度が必要
- ・列車の排気ガス対策が必要
- ・ずりの清掃作業が発生する
- ・カーブベルコンが高価

現場条件での工期・費用検討

坑内工事	なし	坑内設備工事	1.5か月
本工事	19か月	本工事	18か月
合計	19か月	合計	19.5か月
概算費用	ベルコンの70%	概算費用	100%

総合評価

機械的に単純であり、作業員が増えるが取り扱いが容易である	横坑からのずり出しで固定ベルコンが必要で費用増の原因あり
○	△

5 TBMの輸送

5-1 海上輸送

TBMの船舶輸送については、もっとも重いパーツを単独のクレーンで荷卸し可能な船舶を指定し、相吊りによる落下のリスクを避けた。また、港における荷降し作業についてはクレーン作業に立会い、玉掛けなどの作業を確認しながら行った。

5-2 内陸輸送

TBMがホーチミン港に到着後、一般部品は40tトレーラーにて、重量物は特殊トレーラーを使用

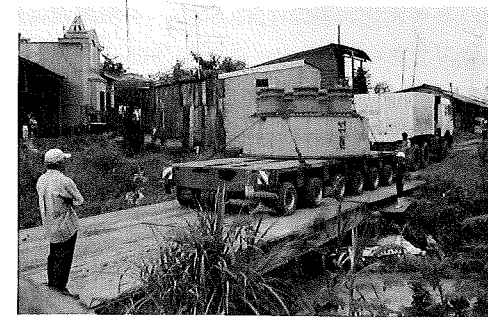


写真-4 TBM運搬用仮橋

して運搬した。

TBM工事に限らず他の工種においても、発展途上国では重量物を現場に輸送する際に、強度不足の橋梁の補強あるいは仮設橋梁の設置などが必要となる場合がある。今回の工事では1か所に写真-4に示す仮橋を設置して輸送を行った。

6 セグメント

6-1 セグメントの検討フロー

TBMの覆工に使用するセグメントの設計から製作までのフローを図-4に示す。

6-2 セグメントの設計

6-2-1 設計委託

セグメントの設計は仕様書に従って施工側が設計し、エンジニアが承認する方法が取られている。

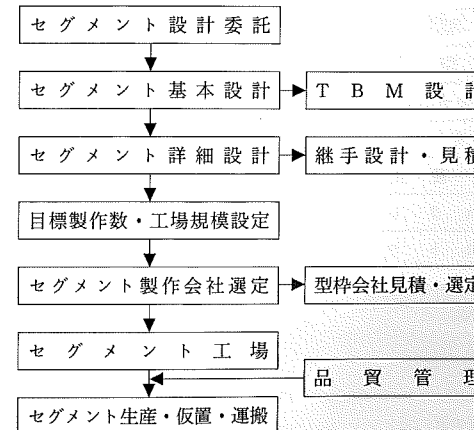


図-4 セグメント設計・製作フロー

TBM機種(SEL)選定が決定した時点で、TBMとセグメントの合理的設計が必要と考え、多くのセグメント設計にも実績のあるSEL社と関係の深いオーストリアのコンサルタントが設計を実施した。

6-2-2 セグメントの基本設計とその特徴

仕様書に記載されている設計条件は表-5のとおりである。

上記の仕様をベースに、高速組立を可能とするため、以下のように仕様変更した(図-5参照)。

- ① セグメントの分割数を4ピースに変更。
- ② セグメント幅を1.3mに変更。
- ③ セグメント形状はインバートと天端のピースを台形、左右のピースを平行四辺形に変更。

インバートセグメントの形状は、レール敷設時に枕木を使用せず、直接敷設するために、インバート部を2.1m幅で平らにするとともに、レールを容易に固定できるようにインバート部にプラスチックソケットアンカーを埋設した。

また、インバートの溝は排水およびコンクリート量と重量の低減を目的に設計された。

仕様を変更した結果、以下に示す効果も得られた。

- ① 4ピースセグメントは剛性が高く、継手部の曲げモーメントが小さいため、外圧作用時の変形に強い。

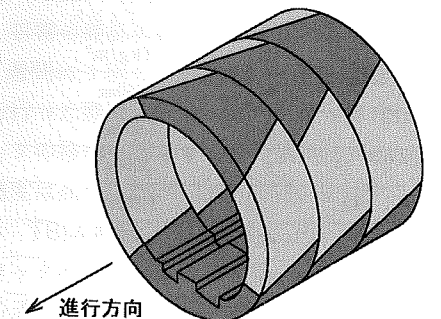


図-5 設計セグメント鳥瞰図

表-5 契約時設計条件

材 質	仕上がり内径(mm)	セグメント厚(mm)	セグメント幅(mm)	分割数	外水圧(kPa)	内水圧(kPa)
鉄筋コンクリート	4,650	300	1,200	6	1,100	—

注:仕様書にトンネル周辺の水位が高いため、内水圧は作用しないとの記述あり。

- ② セグメント組立中に組立中以外の3ピースに常時押し付け力を与えることで、後方のすべてのリングに圧縮力が働き、組み立て時の変形を防止する。
- ③ ピース間の継手位置が連続しないため、継手が大きな弱点とならない。

継手構造は図-6に示すようにリング間はセグメント両端を埋め込みの凹形状の構造とし、ダウエルピンを埋め込んで接合する方式とした。

セグメントの基本仕様は表-6のとおりである。またセグメントのカーブ部、および修正に対しては、厚さの異なる硬質ゴム製(EPDM)のテーパリングを挟むことで、対応した。

6-3 セグメントの製作

6-3-1 ベトナムの現状

ベトナムの建設会社はセグメントの製作経験が皆無である。このため現地に工場を設置するにあたり、製作実績のある外資系企業を選択し、その指導のもとに製作を行う必要があった。また工場

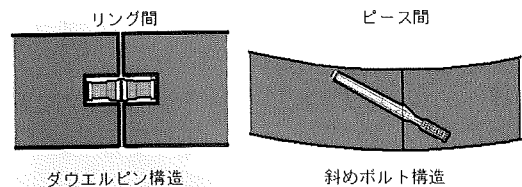


図-6 継手構造図

表-6 セグメント仕様一覧表

項目	内容	
構造	RCセグメント	
鉄筋量	110kg/m ²	
外径	5,250mm	
内径	4,650mm	
厚さ	300mm	
幅	1,300mm	
セグメントピース	下部	台形
	側部(左)	平行四辺形
	側部(右)	平行四辺形
	上部	台形
ジョイント	リング間	ダウエルピン 8本
	ピース間	斜めボルト 2本
止水区間対応	水膨張シール(11bar)	
テーパ部	硬質ゴム製テーパリング	

設備、セグメント型枠に関しても、現地調達は難しい状況であった。

6-3-2 製作計画

セグメント製作数は組立数に対して過不足を生じないように、合理的な工場設備と経済的な型枠数を設定し製作計画を立案した(月あたり最大製作数324リング)。

6-3-3 セグメント製作工の発注

上記のセグメント製作計画をもとに日系企業に決定した。

その後詳細を詰め、表-7に示す工場設備をTBM施工現場から近距離の場所に設置した。

セグメント工場を写真-5に示す。

6-3-4 セグメントの製作

型枠清掃後、鉄筋かごと継手金物を設置し、バケット打ちでバイブレータを用いてスランプ5

表-7 セグメント工場設備一覧表

設備項目	数量	仕様
コンクリートプラント	1基	120m ³ /hr
フォークリフト	2台	バケット運搬10t
鉄筋切断機	2台	
鉄筋曲げ加工機	8台	
鉄筋仮組立加工台	8台	
溶接機	12台	
門型クレーン	1台	3t鉄筋運搬
門型クレーン	4台	7.5tセグメント運搬
スチームボイラー設備	2基	
スチーム養生設備	1式	
水養生設備	2基	23m×13m×1.5m
25tクレーン	2台	25t級
15tトラック	5台	15t級(1リング運搬)

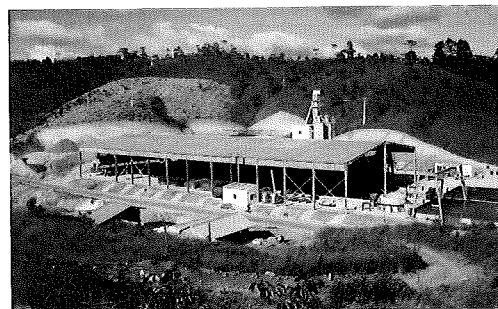


写真-5 セグメント工場

cmのコンクリートを打設・締め固めた。打設2時間後から60℃のスチーム養生を行い、12MPa以上の強度発現を確認後、脱型し3日間水中養生を行った後、45MPa以上の強度を確認して出荷した。型枠は6リング分用意し昼夜の転用で最大1日あたり12リングを製作した。

7 TBM掘削

TBM掘削フローを図-7に示す。TBM掘削においては、掘削・セグメント組立・裏込め注入・ずり出し・材料運搬・レール敷設などの一連の作業をそれぞれ遅滞なく行う必要があり、TBM運転と機械のメンテナンスの両方がうまくかみ合うことが重要である。

7-1 測量システム

当初はTBMに設置した受光装置によりレーザー光に対するTBMの相対位置を検知する英国製のシステムを採用したが、以下のような問題が発生した。

- ① レーザー光をトンネル基線と平行にセットしなければならず、このため専属の測量チームが必要である。
- ② 自動追尾装置がないため、人力作業でレーザーと受光システムを設置する必要があり、狭いTBM空間ではレーザーの盛り替え回数が増える。
- ③ レーザー盛り替えに4時間を要する。

掘削ターゲット(測量システム)の確認

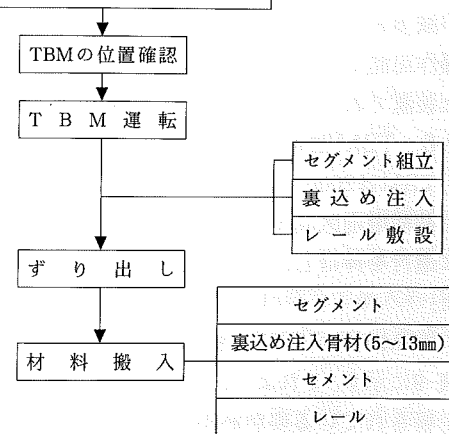


図-7 掘削フロー図

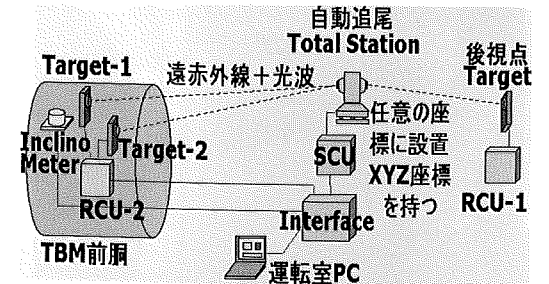


図-8 ロボテックシステム概要図

- ④ TBMの位置は相対位置しか算出されないため、TBMの位置を毎日測量する必要がある。
- ⑤ 英国に会社があるため故障時の部品調達に1週間から1か月を要する。

これらの問題を解決し、測量によるロスタイムを軽減するために、測量システムとして新たに日本製のロボテックシステムを導入した。

ロボテックは図-8に示すように、オートロック自動追尾タイプのトータルステーションとRMT-TARGETにより通常行う光学測量作業を自動化したものである。

このシステムの導入により以下のように改善された。

- ① RMT-TARGETとトータルステーションの設置位置の自由度が高く、双方の盛り替えは1時間程度で終了した。
- ② TBMの位置が絶対座標で示されるため、日常の確認測量作業は不要である。

2週間に1回のTBM掘進停止日に測量チェックを行った際には、ローカルスタッフだけでロボテックの移動を行っても最大誤差は30mmであり実用精度は高かった。

7-2 TBM運転

カッタ消耗度合いの確認後、切羽から30m坑口側の運転室において、TBMの位置を確認した後、カッタヘッドを起動する。カッタヘッド起動後は、岩の状況により推進力と回転数を設定し、掘進する。

7-3 セグメント組立

通常のセグメントと比較して、寸法が大きく重

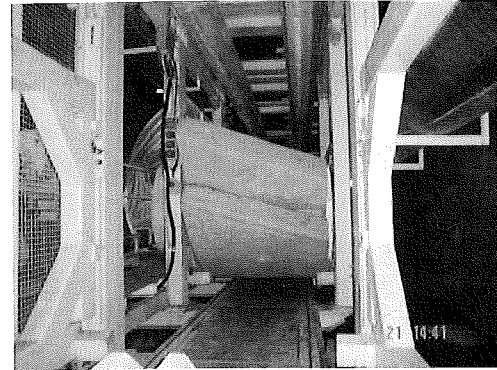


写真-6 セグメント昇降設備

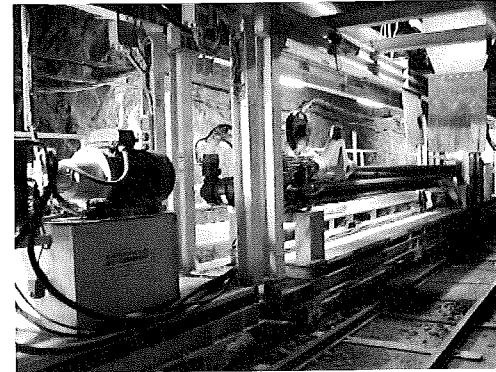


写真-8 ずりトロ移動装置

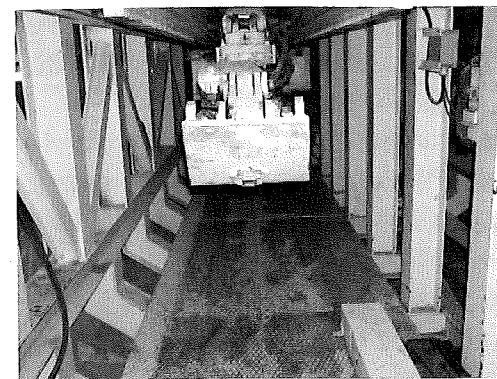


写真-7 セグメント運搬設備

量が重いので、狭いTBM坑内での運搬・組立が難しい面があった。そのため、TBMバックアップ設備を片側に寄せ、運搬スペースを確保するとともに、セグメントエレクタ、ホイストの能力を上げて対処した。

セグメントの運搬については、運搬台車1台に2ピースを載せ、台車4台で2リングを同時搬入した。坑内で台車からセグメントを降ろす際は、時間短縮のため、ワンタッチ操作できる設備を採用した(写真-6参照)。

また、セグメント運搬用ホイストを写真-7に示す。

7-4 裏込め注入

TBM掘削断面(φ5,480mm)とセグメント外径(φ5,250mm)の空間に、コンクリート吹付け機でピーグラベル(5~13mm碎石)を充填した後、セメントミルクを注入した。

注入口は各ピースに2孔ずつ設け、天端部には

坑口方向に40度傾斜した1孔を追加した。

ピーグラベルの注入は、セグメントの沈下防止のため、後胴が切羽側に移動し、注入口が後胴から抜けた後、直ちに注入を行った。

また、セメントミルクの注入は、ミルクのリーク、作業効率を考慮して、切羽から約1km坑口側で施工した。

7-5 ずり出し

一列車の編成は25tディーゼルロコに10台のずりトロ、2台のピーグラベル台車、および4台のセグメント台車である。

坑内に入った列車は約5分でセグメント、ピーグラベルを降ろし、ずり運搬バルコンの下にずりトロを誘導し、ディーゼルロコを切り離れた。

ずりトロは、バルコンから落ちるずりの積み込み状況に応じて、写真-8に示す電動の移動装置で移動する。この装置を使用することで、排気ガスが減少し、装置のオペレーターが状況を見ながら操作可能であるため、環境、安全の両面から優れた装置である。

7-6 TBM掘削実績

TBMは2005年1月の発進後、図-9に示すように初期掘進区間および花崗岩区間を突破後、順調に進行を伸ばし、計画より2か月短縮して貫通した。

TBMの進行記録を表-8に、岩種別TBM進行を表-9に示す。これより、TBM進行は岩質に大きく影響されているのがわかる。

岩の強度は事前の地質調査資料より131MPa以

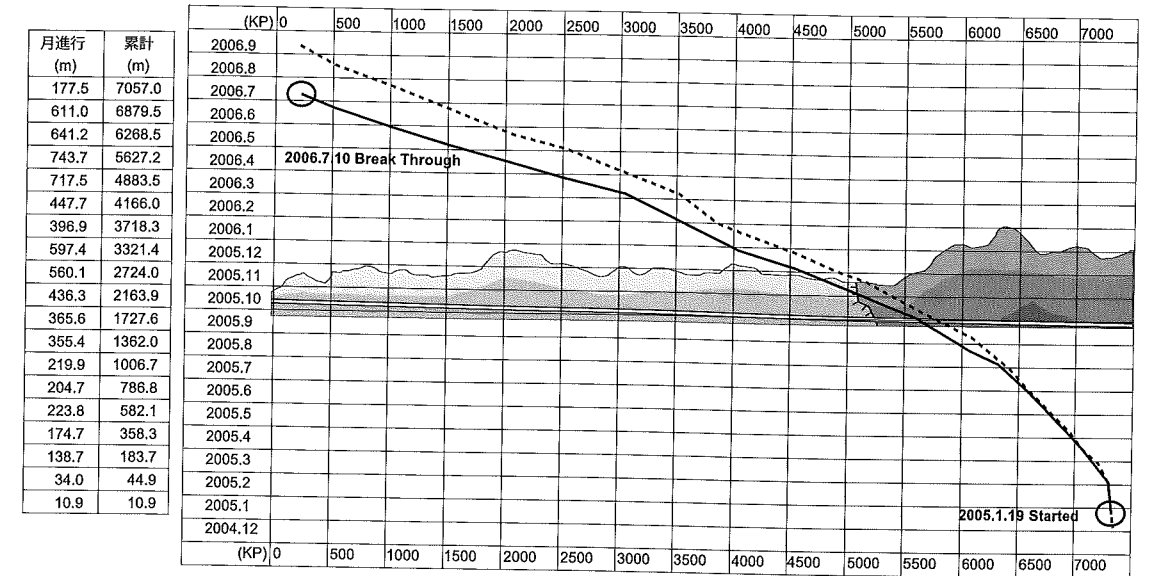


図-9 TBM進行実績

表-8 TBM進行記録

項目	1日進行	7日進行	30日進行
最大進行	37.1m	225.1m	812.2m

表-9 岩種別TBM進行実績

	掘削長 (m)	暦日 (日)	30日平均進行 (m/30days)
安山岩 - 1	75.74	50	45
花崗岩	930.92	144	194
安山岩 - 2	1,233.15	97	381
砂岩・シルト岩	4,817.19	247	585
全体	7,057	538	394

※安山岩-1は初期掘進区間

表-10 計画-実績 岩強度比較表

岩種	計画時岩強度 (MPa)	実績岩強度 (MPa)
安山岩・石英安山岩	63-121	60-170
花崗岩	131	130-190
砂岩・シルト岩	30-91	70-120

下と予想され、これにもとづいてカット消費量を計画した。しかし、TBM坑内での岩強度を調査した結果は表-10に示すように花崗岩で最大約190MPaであった。このため実績ではカットの消費量が計画の約2倍となった。

一方、湧水量は、花崗岩から安山岩への層境付近のKP6,460付近から0.45t/minの湧水が始まり、

KP6,415付近では5t/minとなり、破碎された花崗岩とともにTBM内へ流入した。最大湧水量は11t/minに達した。この間、TBMチャンバ内に流入したマサ状の花崗岩の搬出に時間を要した。

8 施工体制

8-1 組織

TBM工事を施工する場合、運転および機械管理には、経験ある技術者が相当数必要である。多数の外国人技術者を雇用すると工事費は著しく高くなるため、必要最小限のTBM経験技術者(欧米人)と現地人スーパーバイザーを雇用し、現地の建設会社と労務提供契約を締結して、人選した現地の機械工・電工、作業員および監督員を配置する半直備方式の組織体制を採用した。

8-2 シフト体制と勤務体制

当初は図-10に示すように、作業時間を各10時間の昼夜掘削シフトとその間に4時間のメンテナンスシフトを設定したが、シフト交代に伴うロスなどが発生し、TBM稼働時間が伸びなかった。

TBMの進捗向上のため、①3シフトそれぞれに掘削に必要な人員を配置、②TBM内でのシフト交代、③測量システムの改善を行い、図-11に示すようにシフト体制を改善し、24時間TBM掘

そのため、学識経験者などで構成する「新宇治川放水路トンネル地下水影響検討委員会」を設置し、検討した結果、トンネル施工による地下水の低下を速やかに回復させ、生活環境、自然環境に影響を極力与えない「ウォータータイトトンネル(完全止水構造)」を採用した。

2 ウォータータイトトンネルの設計

トンネル掘削時にはできるだけ地下水を低下させず、かつ完成後は地下水位を速やかに回復させるため、以下の工法と構造を計画・設計した。

2-1 止水方法

全線ウォータータイト構造とするため、以下の対策を講じた。

- (1) トンネル内への地下水の流入防止
 - ・基本的には、厚さ2mmのEVA防水シートを覆工背面全周に巻き立て、止水
 - ・打継目に止水板や止水ロープの設置
 - ・水密なコンクリートの打設
- (2) 地下水のトンネル軸方向流動防止
 - ・覆工背面と防水シート間の空隙を伝っての地下水の流動を防止するため、ウォーターバリアの設置(50m間隔)
 - ・地山の緩みゾーンで地下水がトンネル縦断方向に流動するのを防止するため、地下水の縦断方向の変化点(地山の変化点)にトンネル内から放射状に10m、2ステージのグラウトを施工
 - ・ファンケーティンググラウトのボーリング孔は防水シートを切断するためその止水として、ウォーターバリア工の設置
 - ・中央仮排水管および排水ピットの閉塞

2-2 覆工の形状と構造

覆工構造の設計の特徴は、円形断面を採用したこと、設計荷重として水圧、覆工自重および地盤反力(地盤バネ)だけを考慮したこと、およびコンクリートの設計基準強度を変えることによってす

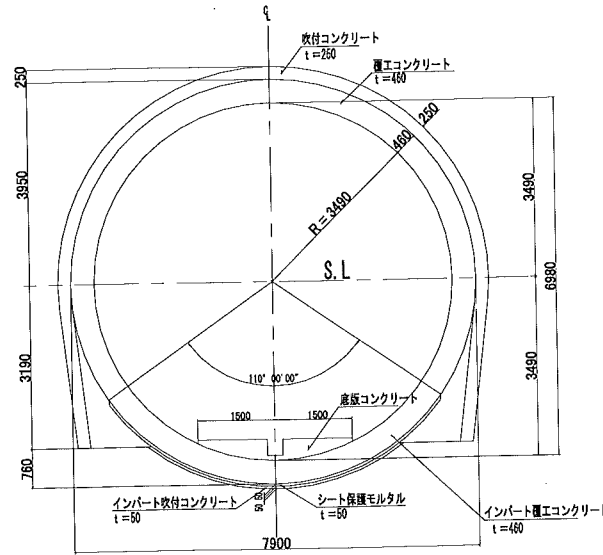


図-2 標準断面図

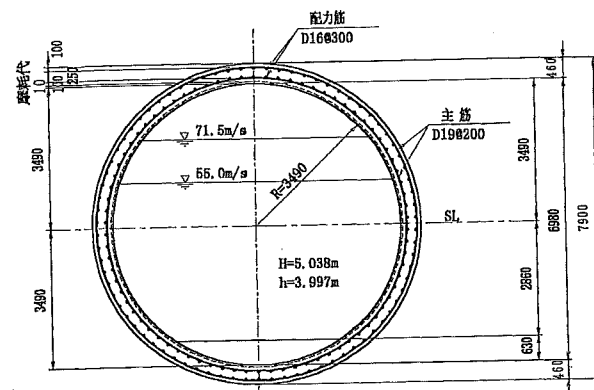


図-3 覆工構造標準断面図

べての断面で覆工厚を一定として防水シートの施工性および経済性を追求した(図-2)。

水理計算および水理模型実験によって円形断面とすると、必要半径は3,49mと決まり、この内空断面諸元を用いて平面骨組み解析によるシミュレーションを行い、覆工厚と覆工応力との関係を調べた。また、地下水位は全区間で一定でなく、50, 80, 110mの三つに区分した。コンクリートの設計基準強度の最大値をコンクリート標準示方書に示される40N/mm²とし、覆工厚と応力の関係から、覆工コンクリート厚を45cm(摩耗代含まず)とした。地下水位が80~110m区間ではコンクリート設計基準強度を40N/mm²、50~80m区間では30N/mm²、50m以下および坑口部では21N/mm²とした。

DII以下および坑口区間では引張り応力が発生することと配筋の施工性を考慮してD19による複鉄筋とし、他の区間では引張り応力は発生しないもののひび割れを防止する用心鉄筋としてD19による単鉄筋を配筋した(図-3)。

2-3 施工での対策

施工における対策は、次のとおりとした。

(1) 掘削方式

地山のゆるみを抑えるため、自由断面掘削機を用いた機械掘削方式を標準とし、発破掘削は硬岩地山に限定した。

(2) 掘削と覆工の並進施工

掘削から覆工終了までの湧水量を減らし、地下水位の低下を抑えるため、掘削と覆工の同時並進施工とした。

(3) インバート栈橋の採用

掘削と覆工を同時並進するには、インバート覆工も同時に行う必要がある。インバート覆工を打

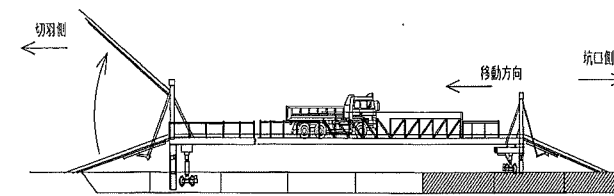


図-4 インバート栈橋

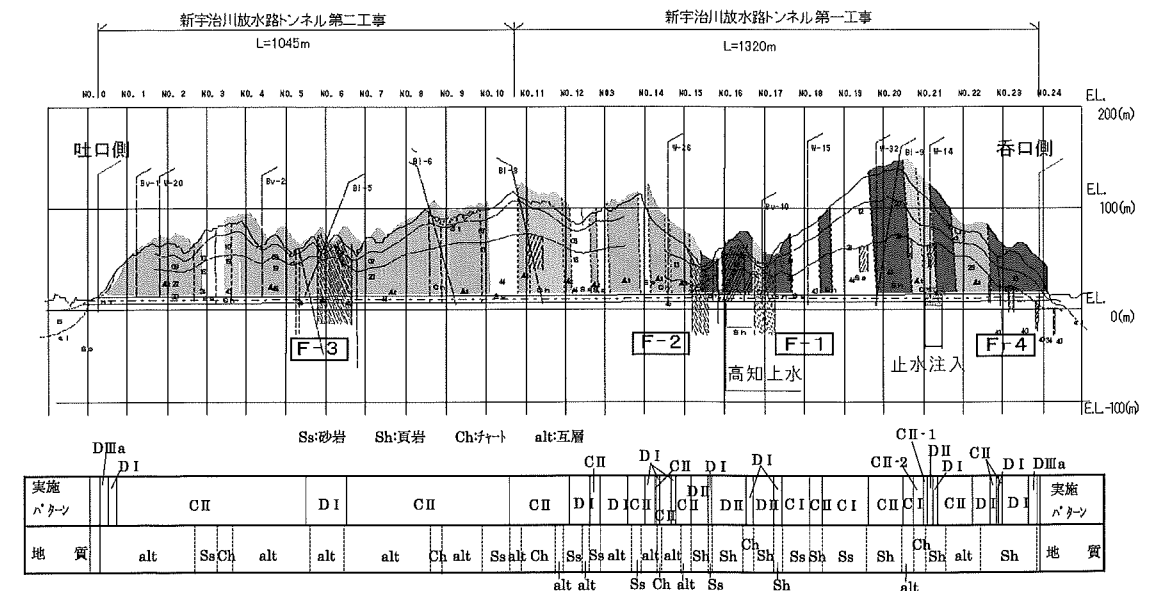


図-5 新宇治川放水路トンネル全体地質縦断図

設しながら、掘削ずりの搬出ができるインバート栈橋を採用した(図-4)。

3 施 工

3-1 入札時VE方式(総合評価方式)の採用

民間技術を積極的に採用し、より良い工事ができるように、入札時VE方式(総合評価方式)を採用した。

VE提案のテーマは、第一工事では掘削および覆工における工期短縮とコストダウン、第二工事では、工期短縮と切羽と覆工との離隔距離を450m以内に保つ施工法の提案とした。

3-2 トンネル掘削

3-2-1 地質

新宇治川放水路トンネルの地質は中生代三畳紀~ジュラ紀の秩父帯三宝山亜帯に属する斗賀野層群と高岡層である。呑口側に斗賀野層群、吐口側に高岡層が分布する。両層ともチャート、砂岩、

頁岩、石灰岩、緑色岩で構成されるが、斗賀野層群はチャート主体、高岡層は砂岩頁岩互層を主体とする。全体に割れ目の発達した岩盤で、とくに頁岩部に著しく、鱗片状~葉片状に割れ目が発達し、風化が進み軟質化している。塊状のチャート、砂岩の新鮮な岩塊は

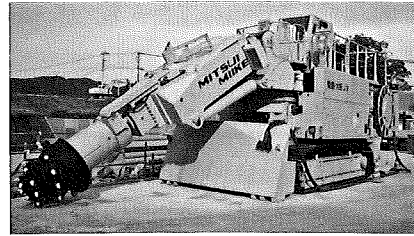


写真-2 自由断面掘削機

非常に硬質である。地層はトンネルと直交方向に走向し、70~80°の高角度で傾斜している。また、チャートと頁岩との境界などの物性の異なる岩層境界は破碎気味である(図-5)。

3-2-2 機械掘削

設計では、地山等級C Iまでが、200kW級の自由断面掘削機を用いた機械掘削によるショートベンチ掘削工法を標準工法とした。地山等級Bは発破掘削とした。

VE提案では、第一・第二工事とも中硬岩地山にも掘削が可能な大型の自由断面掘削機(300kW級)を導入し、補助ベンチ付き全断面掘削工法を採用し、工期短縮を図った(写真-2)。

頁岩層での機械掘削は困難であった。砂岩・チャート層では大型の自由断面掘削機では掘削が困難となり、発破掘削を行った。また、地層がトンネル軸と直角でない場合には、頁岩と硬質の砂岩・チャートが部分的に出現することが多く、機械掘削だけでなくゆるめ発破を併用した。

3-2-3 トンネル湧水と地下水位

第一工事では、掘削当初から湧水が多く、水抜きボーリングで対応した。後述する坑口から264m付近で最大8t/minの大量突発湧水が発生した。その後工事完了までほぼ2t/minの湧水量があった。突発湧水のため地下水位はトンネル天端付近まで低下した。なお、断層および破碎帯での地下水位の低下はなかった(図-6)。

第二工事では、山体も小さく、土かぶりも小さいこともあって、坑内湧水は少なく0.4t/min程度で推移した。

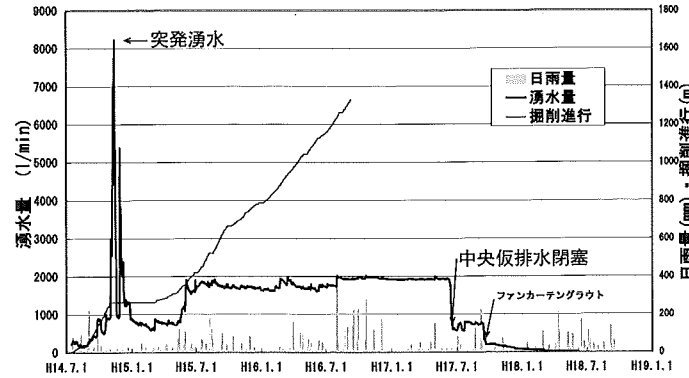


図-6 坑内湧水量の経時変化(第一工事)

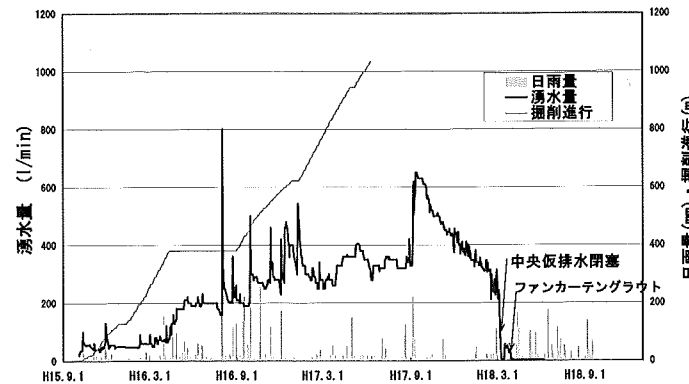


図-7 坑内湧水量の経時変化(第二工事)

工事中の地下水位は、坑口からF3断層までの土かぶりの小さい区間では、トンネル天端まで低下したが、F3断層およびその以奥では、地下水位の低下は少なかった(図-7)。

3-2-4 突発湧水と対策

(1) 突発湧水の発生

第一工事の坑口から264m付近において先行水抜きボーリング(L=70m)を施工中、18m削孔したときに2t/minの突発湧水があり、0.5MPaの高水圧により削孔不能となった。地下水位を下げる必要があるため、さらに6本の水抜きボーリングを施工したが、本数を増やすに従い湧水量は最大8t/minに達した。

地質調査ボーリングの結果、突発湧水の原因は、チャート層を主体とした幅40mの帯水層であった。地下水位の低下は、地層の走行方向である東西方向の尾根沿いに進み、事前対策範囲を大きく超えることが予想された(写真-3)。

また、地下水影響シミュレーション解析では、

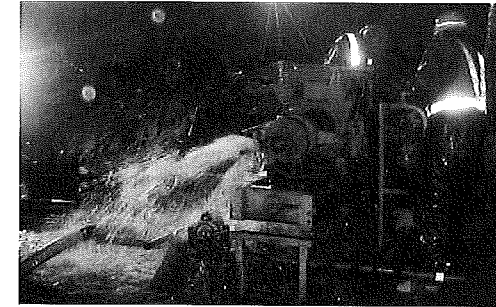


写真-3 突発湧水状況

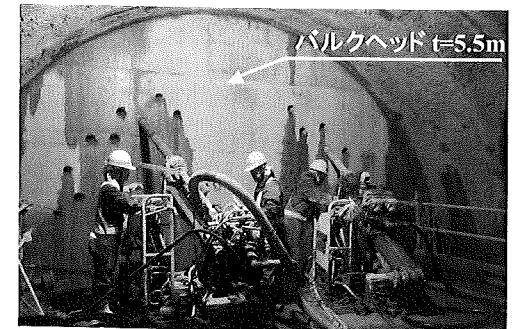


写真-4 止水注入状況



写真-5 スリット掘削状況

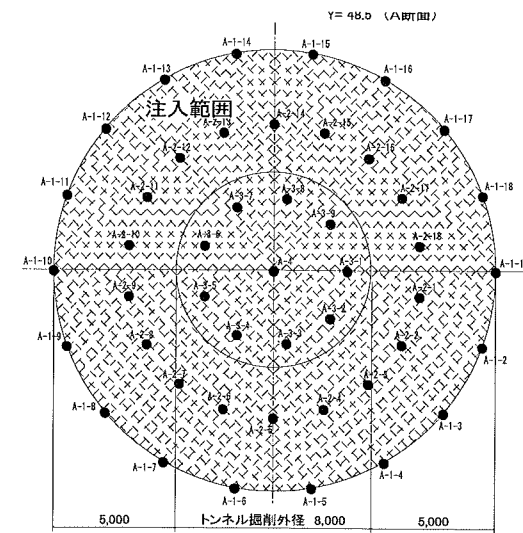


図-8 止水注入断面図

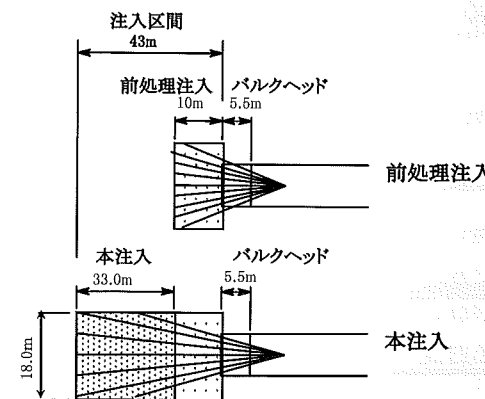


図-9 止水注入平面図

止水注入をしないと地下水の回復が1年以上遅くなる結果が得られた。止水対策方法を検討した結果、止水注入工法を採用した。

(2) 止水注入

止水注入の管理目標値を3.0Luとし、注入材の

選定および注入範囲を決定した。

止水注入範囲は、他の事例などよりトンネル外周から5m範囲とし、湧水ゾーン40mを包絡する43m区間とした(図-8, 9)。

止水注入方法は、ボーリングマシンで削孔後、珪酸ソーダ(水ガラス)+高炉コロイドセメントを湧水圧の3~5倍で注入することとし、注入間隔は先端切羽で3mとなるようにパターンを設定した(写真-4)。

(3) 止水注入の評価

止水注入区間の掘削による湧水量は、109ℓ/min/mで、管理値の1.8倍となった。湧水箇所は局所的であり、そのほかは目標値以下となっていることから、止水注入の効果はあったと判断した。

(4) 止水注入区間の掘削

ロックボルトを打設すると、止水注入ゾーンに孔を開けることになり湧水を引き込む恐れがあるため、ロックボルトなしのCII-1、DII-1パターンで施工した。

突発湧水区間のチャートは岩盤強度150~200N/mm²と硬質であり、自由断面掘削機の能力では

掘削できないことから、大型油圧式岩盤破砕機による割岩工法を採用した。

しかし、割岩工法では8.4mの掘削で0.5m/日の進行しか得られず、残りの29m間は、割岩併用発破掘削を行った。発破による注入ゾーンへの影響を抑えるため、外周にはスリットを設けた。さらに、上半と下半を分けて施工した(写真-5)。

3-3 覆工工事

3-3-1 インバート覆工

(1) インバート栈橋

地下水シミュレーション解析で、掘削切羽とアーチ覆工との離隔距離を短くするほど地下水位の回復が早くなる結果が得られた。第一工事では最大離隔距離を650m以内、第二工事ではさらに200m短縮することにした。

掘削と覆工との同時並進施工では、掘削、インバー

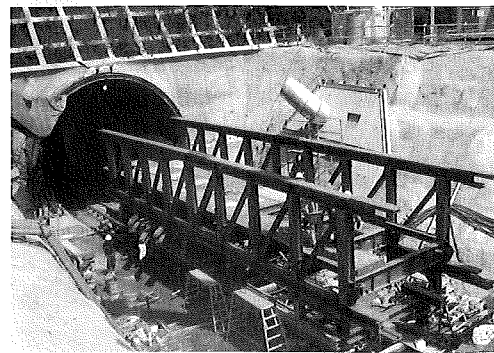
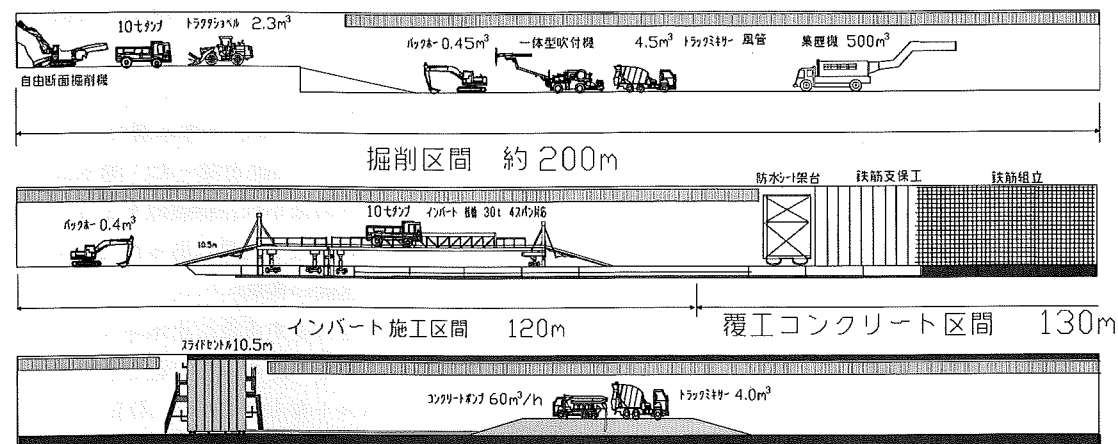


写真-6 インバート栈橋組立



写真-7 インバート鉄筋



掘削終了時まで常に切羽先端から450mを確保

図-10 トンネル施工順序

ト覆工およびアーチ覆工を同じ進行で施工する必要がある。同時並進でネックとなるのが、インバート覆工で、標準案の2スパン施工可能なインバート栈橋では、月進40.2mであり、掘削やアーチ覆工の進行に連動できず、離隔距離を確保できない。インバート覆工の進行を上げるため、第一工事ではインバート覆工を3スパン施工可能なインバート栈橋を、第二工事では4スパン打設可能なインバート栈橋を用いた。

3スパン施工可能なインバート栈橋は、長さ70mで、3日に1回の打設が可能(月進63m)、4スパン施工可能なインバート栈橋は長さ82mで、2日に1回の打設が可能(月進94.5m)である。なお、4スパン型インバート栈橋は、半径R=200mの急曲線での施工ができないため、この区間は掘削工事を中止して、簡易インバート型枠を用いて覆工

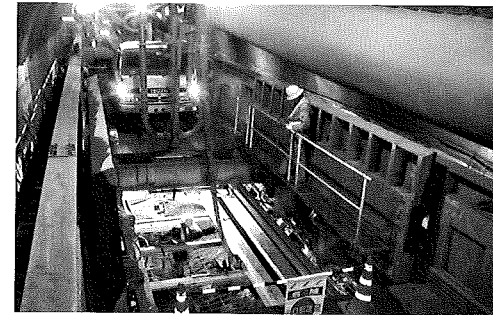


写真-8 インバートコンクリート打設状況

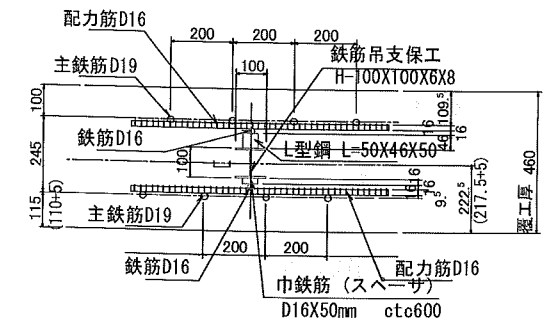


図-11 覆工コンクリート断面図

表-1 覆工コンクリート現場配合

使用場所	強度		粗骨材最大寸法(mm)	スランパの範囲(cm)	空気量(%)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m³)				
	呼び強度	設計基準強度(N/mm²)						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G 5mm~mm	混和剤 (mℓ/m³)
アーチ覆工	40	40	20	18±2.5	4.5±1.5	38	41.2	171	450	686	984	3,150
	30	30	20	18±2.5	4.5±1.5	46	46.5	164	357	821	953	2,499
	24	24	20	18±2.5	4.5±1.5	54	48.4	161	298	883	948	2,980
インバート覆工	40	40	20	12±2.5	4.5±1.5	38	38.7	171	450	645	1,026	1,125
	30	30	20	12±2.5	4.5±1.5	46	42.1	164	357	744	1,026	892
	21	21	20	12±2.5	4.5±1.5	58	44.5	161	278	821	1,026	695

を行った(写真-6, 図-10)。

(2) 施工

インバート覆工は、インバート栈橋下部に設けた移動式型枠を用い、コンクリートはコンクリートポンプ車をインバート栈橋上に設置し、打設した(写真-7, 8)。

3-3-2 アーチ覆工

(1) 流動化コンクリート

本トンネルは、全線鉄筋コンクリート構造となっており、アーチ部では鉄筋を所定の位置に設置できるように鉄筋吊り支保工(H-100)が2m間隔で設置される。鉄筋吊り支保工は、覆工断面の43%を占めることから、覆工コンクリートの流動性が懸念された(図-11)。

施工に先立ち、模擬型枠を使って試験施工を行い、充填性、材料の分離、ブリージングの発生、型枠に作用するコンクリート圧力などを配合ごとに調べた。

通常のスランパ12cmのコンクリートでは、充填が不可能であったことから、スランパ18cmの

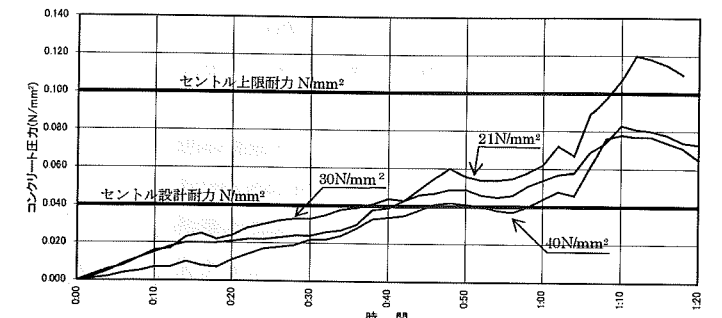


図-12 時間経過によるコンクリート圧力の変化

高流動化コンクリートに決定した。なお、21N/mm²のコンクリートはセメント量が不足して充填できず、24N/mm²の流動化コンクリートに変更した(表-1)。

(2) セメントの補強

スライド式セメントクラウン部のコンクリート圧力は0.04N/mm²(トンネルコンクリート施工指針)で設計される。上限値は0.1N/mm²(安全率2.5)である。40、30N/mm²のコンクリート圧力は上限値以下で試験施工を完了することができた。24N/mm²のコンクリートでは打設終了手前で上限値を超え、吹出し部付近の鋼製型枠に座屈を生じたことから

セントルの耐力を通常耐力の2倍(0.2N/mm²)に補強した(図-12)。

(3) 施工

施工は、鉄筋吊り支保工の組み立て、鉄筋組み立て、セントルセット、コンクリート打設の順に行った。

鉄筋組み立て時に防水シートを傷つけないよう注意して施工した。

コンクリートの圧力の管理として、セントル頂部の縦断方向に3か所のコンクリート圧力計を設置した。経験にもとづくコンクリートの打ち止めを、圧力で管理することにより、確実にコンクリートを充填できた。

また、頂部のコンクリートの充填に合わせて引き抜きパイプブレータやセンサーパイプブレータを使用し、障害物周りの充填および締め固めを行った。

(4) コンタクトグラウト

覆工コンクリート打設後のコンクリート収縮などにより防水シートと覆工コンクリートとの間に空洞が発生することが懸念されることから、アーチ天端部に1スパン2か所のグラウトホールを設け、低圧注入を行った。

コンタクトグラウトの注入圧力は、下地面の凹凸が $D/L \leq 1/6$ 程度となった場合、0.15N/mm²以上の圧力で防水シートがなじむという試験結果がある。このことから、注入圧力は、初期圧プラス0.2N/mm²とした。

注入材は、ブリージングが少なく、強度発生が期待できる材料とし、コスト削減かつ品質確保の面からフライアッシュセメントを添加した無収縮セメントミルクとした。配合決定にあたっては、比較試験を実施した。

表-2 コンタクトグラウト配合

	$w/(C+D+F)$ (%)	デンカタス コン(kg)	普通セメント(kg)	フライアッシュ(kg)	レオピルド(ℓ)	水(ℓ)
21N/mm ² 配合	40.0	127.4	672.0	447.8	10.8	498.9
30N/mm ² 配合	40.0	132.9	867.1	289.0	12.1	515.6
40N/mm ² 配合	40.0	133.7	935.8	234.2	11.8	521.4

目標強度は、ばらつきを考慮して設計基準強度より10N/mm²高く設定した(表-2)。

注入結果は、当初想定注入量(約50ℓ/トンネルm)のほぼ2倍の注入量となった。これは、密着性の低い箇所(クラウン部以外の部分)にもグラウト材が浸透し、トンネル全周に注入材が回った結果と考えられる。また、コンクリートの強度により注入量の平均値が異なっており、強度が高いほど収縮が大きく注入量も増加傾向にでる結果となった。

(5) 切羽とアーチ覆工との最大離隔距離

第一工事では最大離隔距離は660m、第二工事では430mとなり目標を達成することができた。

3-4 防水工事

3-4-1 防水シート

防水シート破損防止のため、防水シート材料の選定、施工中および溶着部の検査などに細心の注意を払った(写真-9)。

(1) 防水シート施工時の対策

- 防水シートにおけるシグナルレイヤーの採用
- 裏面緩衝材(不織布)と防水シートの別貼り工法の採用
- ロックボルトの頭部を吹付けコンクリートで覆う
- 吹付けコンクリート表面の平滑化

(2) 鉄筋組み立て作業時の対策

- インバート部における防水シート保護モルタルの施工(設計では、モルタルをインバート部の防水シート表面に打設することになっていたが、試験施工により問題がないことを確認し工期が短縮できる吹付けモルタルとした)(写真-10)



写真-9 防水シート施工状況

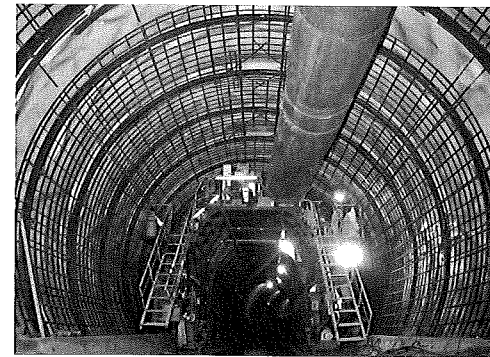


写真-10 鉄筋吊り支保工

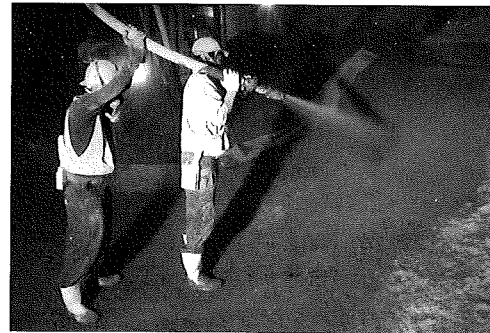


写真-11 インバート吹付けモルタル

- インバート鉄筋組み立て時の専用パッドの採用
- アーチ鉄筋組み立て用の鉄筋台車と鉄筋吊り支保工の採用(鉄筋台車を用いて鉄筋を組み立て、鉄筋の位置保持のために鉄筋吊り支保工(H-100, ctc2.0m)と微調整ジャッキを使用(写真-11))

(3) 覆工コンクリート施工時の対策

- つま型枠は防水シートと接触することから、次の対策を行った。
- つま型枠が接触する箇所には防護シートを取り付ける。
- つま型枠の一部(接触部分)にエアチューブを使用する。
- パイプブレータが防水シートと接触しないよう引き抜きパイプブレータの使用する。

3-4-2 ウォーターバリア工

ウォーターバリア工は、ファンカーテングラウトと共同して、トンネル縦断方向に地下水が流出するのを防止するものである(図-13)。

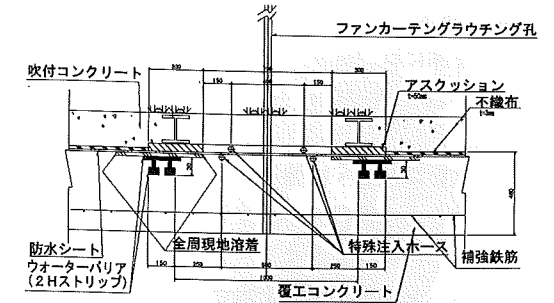


図-13 ウォーターバリア断面図

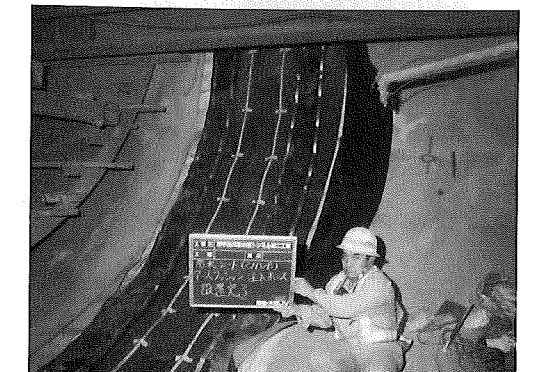


写真-12 ウォーターバリア設置状況

ウォーターバリア工は、吹付けコンクリートと防水シート間にある不織布内の地下水流出防止、防水シートと覆工コンクリート間の隙間からの地下水流出防止およびファンカーテングラウトの削孔による防水シート開口部からの漏水防止の役目をする。

ウォーターバリア工は両坑口付近およびファンカーテングラウト位置とし、トンネル全長で9か所設置した(写真-12)。

3-4-3 漏水防止工

(1) 止水板

覆工コンクリートの横断方向の施工継目全周に設置した。

止水板は、幅200mmPVC止水板を使用した。

(2) 打継目部の対策

施工継目の止水は止水板を断面方向に全周設置する設計とした。施工実績をみると、必ずしも十分でないことから、止水板に加えて、次の漏水防止工を行った。

- 1) 打継目部の防水シートを補強するため、幅

400mmの防水シートを重ね二重とした。

2) つま部にコンクリートが確実に充填できるようにエア抜き用の有孔ホース(PVCφ12mm)を設置した。

3) 止水板の補助・補強としてベントナイト系止水ロープを止水板背面に設置した。

また、アーチ覆工とインバート覆工との水平打継目にもベントナイト系止水ロープ(φ12mm)を設置し、止水を行った(図-14)。

3-5 中央仮排水路の閉塞

3-5-1 中央仮排水路閉塞

トンネル工事施工中に発生するトンネル湧水は中央仮排水管に流入し、50m間隔に設置した中央仮排水ピットから強制排水される(図-15)。

覆工完了後、このピット内に流出するトンネル湧水を止水して防水シート開口部を復旧することにより全周防水としてウォータータイトトンネルが完成する。

止水方法として、管内をセメント系により固化させて止水する注入による管内閉塞を選定した。中央仮排水管の周りはフィルター砕石で取り囲まれているため、管内の閉塞だけではフィルター砕石の空隙を地下水が流れる。よって、ファンカー

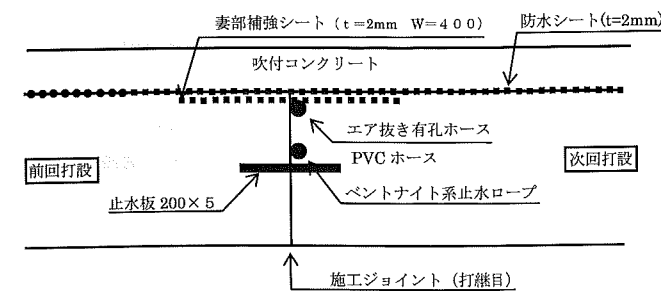


図-14 覆工コンクリート打継目

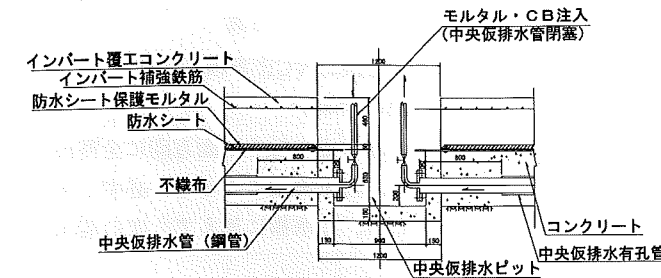


図-15 中央仮排水路断面図

テングラウト施工時の注入材が中央仮排水管周辺に浸入しないように注入材を使い分けることにした。

ファンカーテングラウトに関係しない箇所の注入材は1:2モルタルによる注入とした。

ファンカーテングラウト施工箇所は管内のみならず、管内から有孔を通してフィルター砕石内部まで充填でき、かつブリージング率が小さいセメントベントナイトミルクによる注入を選定した(表-3, 4, 写真-13)。

3-5-2 仮排水ピット閉塞

仮排水ピットの閉塞は、ピット内をコンクリートで充填し、防水シートを鋼製の枠で固定する設計とした。しかし、湧水量が多い所では、モルタルにより排水ピットを充填すると、地下水が急速に復水し、水圧により防水シートとピット壁面の隙間から漏水して防水シートによる止水ができなかった(図-16)。

対策として、中央仮排水管閉塞と同様に鋼製蓋をピット開口部にボルトにより固定し、セメントベントナイトモルタルを注入して止水した。さら

表-3 モルタル現場配合

普通セメント	砂	水	W/C	フロー値
590kg	1,180kg	352ℓ	60%	20秒前後

表-4 セメントミルク現場配合

普通セメント	ベントナイト	水	ブリージング率	フロー値
390kg	39kg	858ℓ	3.2%	100秒前後

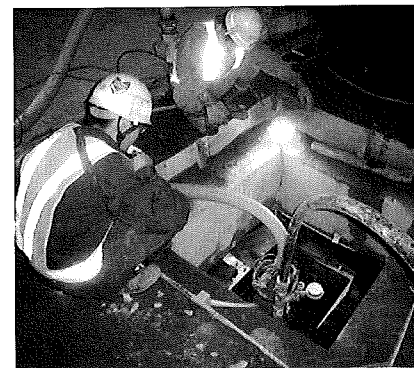


写真-13 中央仮排水路閉塞状況

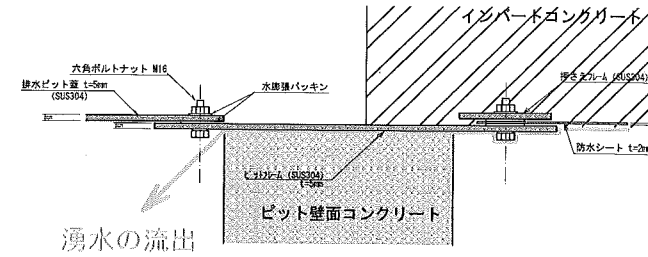


図-16 ピット内への湧水状況

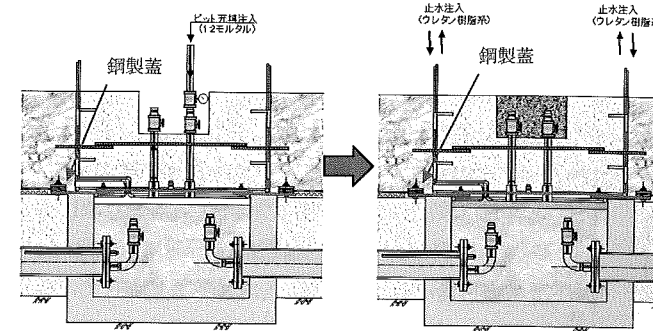


図-17 仮排水ピット閉塞手順

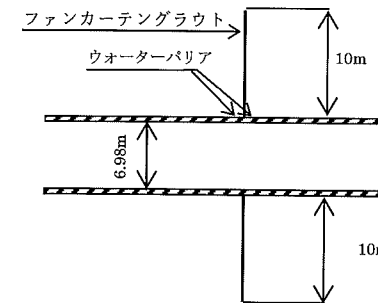


図-18 ファンカーテングラウト縦断面図

に、インバート部の埋め戻しコンクリート打設後、鋼製蓋内部にモルタル注入を行い、最後に打継目からの漏水対策として、ウレタン樹脂による止水注入を行った(図-17)。

3-6 ファンカーテングラウト

ファンカーテングラウトはゆるみゾーン内の地下水の縦断方向の流出を防止するため、トンネル全周にわたってリング状の止水ゾーンを設けるものである。

ファンカーテングラウトは地下水位のトンネル縦断方向の変化位置に7か所配置した(図-18, 19)。

改良深さは、地中変位計測結果から地山のゆるみ範囲を調べ、その2倍の範囲の10mとした。

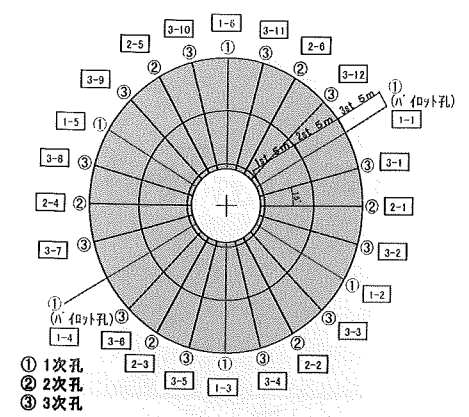


図-19 ファンカーテングラウト断面図

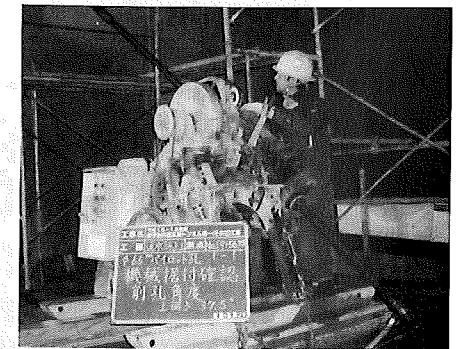


写真-14 パイロット孔削孔

改良目標値は、パイロット孔内で第3st(10.0~15.0m)のルジオンテストを行い、トンネル掘削により乱されていない地山のルジオン値(5Lu)とした。

注入圧力は、1stは0.3MPa(口元圧力)、2stおよび3stは0.5MPaとした(写真-14)。

4 施工結果

4-1 維持管理計測

覆工設計の妥当性を検証する目的で、覆工内に間隙水圧計、コンクリート応力計、鉄筋計を設置し、地下水位の回復に伴う覆工応力を測定している。

まだ設計水頭まで地下水位は回復していないが、応力解析による水頭と応力の関係を示すライン上に計測応力は沿っている。最終的に設計水頭まで水位が上がっても許容応力内に収まると推測される(図-20~22)。

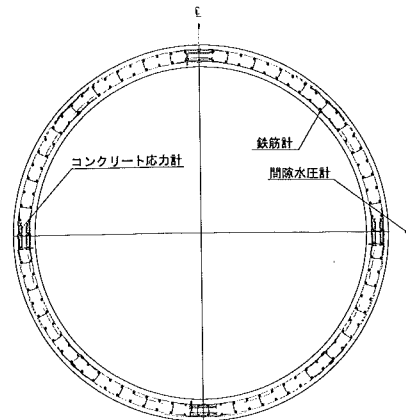


図-20 計測機器配置図

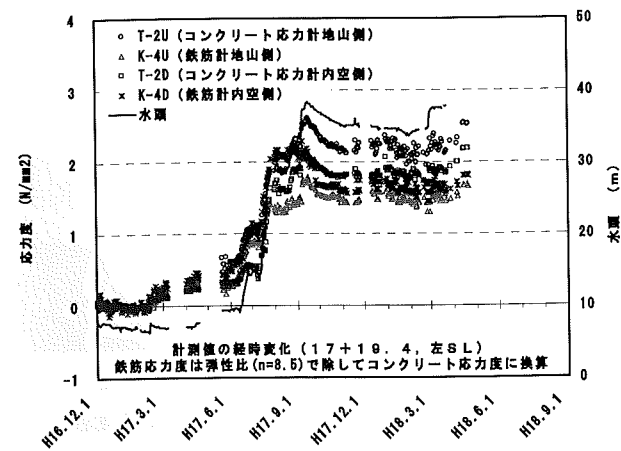


図-21 計測値の経時変化

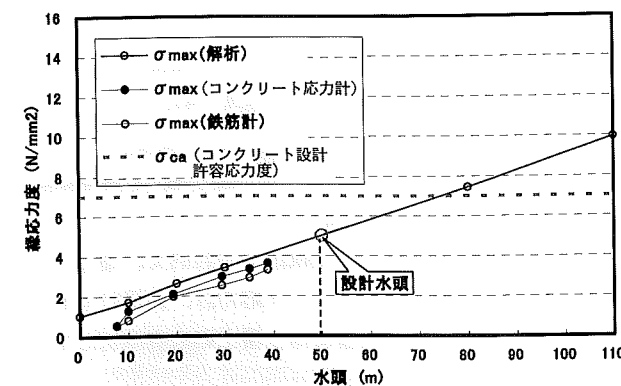


図-22 解析結果と計測結果の比較

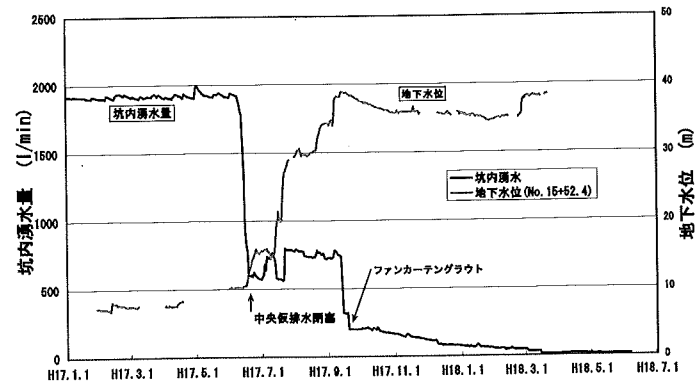


図-23 坑内湧水と地下水の経時変化

4-2 地下水の回復

中央仮排水閉塞やファンケーテングラウトなどの止水工事を行うと坑内湧水量は10 l/minまで減少し、地下水は急速に回復している(図-23)。

5 おわりに

本工事は全線ウォータータイトトンネルとし、かつ最大1.1MPaの高水圧に耐える覆工として円形断面を採用するとともに、巻き厚を一定としコンクリート強度で対応する経済的な設計を行った。

「新宇治川放水路トンネル設計施工検討委員会」および「新宇治川放水路トンネル地下水監視委員会」を設立し、設計・施工について長期にわたり専門家の意見を聞き、試験施工を行うなど試行錯誤しながら工事を進めた。平成19年2月に呑口・吐口工事を含めた新宇治川放水路の竣工式を行った。

地下水は、現在のところ順調に回復しつつあるが、水位の上昇に合わせ覆工内の応力がどのように変化するか観測を続けている。

最後に、設計・施工にあたりご理解とご協力をいただいた関係各位に対し、誌面を借りて感謝する次第である。

研究

シールドトンネルへの限界状態設計法の適用

東京電力(株)工務部副長 吉本正浩
東電設計(株)土木本部都市土木部課長代理 阿南健一
東京電力(株)工務部部長 大塚正博

1 はじめに

従来、実施されてきた許容応力度設計法は、シールドトンネルに作用する荷重として「常時」や「L1地震時」などを照査し、その他の荷重状態や材料のばらつきなどは、許容応力度の「安全率」で担保し、安全性を確認していた。一方、限界状態設計法は、材料のばらつきなどを評価し、想定される各荷重条件に対し必要な性能を満足しているか照査する設計法である。そのため、「L2地震時」や「異常時」のような大きな荷重や変形が生じる場合にセグメントの挙動を詳細に再現する構造解析と照査が必要となる。また、「施工時」のように特殊な荷重条件を取り扱うことも必要となる。なお、異常時とは文献1)で報告されたような軟弱粘性土地盤の長期荷重を想定した荷重状態である。

本稿では、地中送電用シールドトンネルに使用する鉄筋コンクリート製セグメントの設計に限界状態設計法を導入する際の構造解析、施工時の検討および設計事例を記載する。

2 構造解析手法の検討

シールドトンネルは、セグメント本体は継手で結合されリング間は千鳥組みされた構造であるため、構造解析はこの状態を再現すべきである。一方、限界状態設計法は多くの荷重条件を検討することになるため、構造解析に簡便性も要求される。したがって、構造解析手法は、はり-ばねモデル計算法とした。はり-ばねモデル計算法の説明図

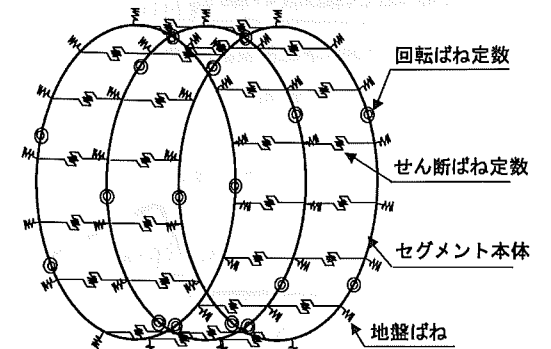


図-1 はり-ばねモデルの説明図(3 Ringの千鳥組み)

を図-1に示す。これを限界状態設計法に適用する課題は、異常時やL2地震時を検討する場合の材料降伏に近い状態での断面力と変形量を精度よく算定することである。このためには次の部材の個々の剛性低下をモデル化したうえで、千鳥組みによる添接効果の再現性を確認する必要がある。

- ・セグメント継手の曲げ剛性モデル(回転ばね)
- ・リング継手のせん断剛性モデル(せん断ばね)
- ・セグメント本体の曲げ剛性モデル

2-1 セグメント継手の曲げ剛性モデル

セグメント継手の曲げ剛性モデルを図-2に示す。モデルの妥当性は、実物大の継手曲げ試験を行い検証している。試験数は、軸力のない場合が19、軸力を導入した場合が8となっている。モデルの詳細は次のとおりである²⁾。

- ・継手の離間前の回転ばね定数は $k_{\theta 1}$ を用いる
- ・継手の離間後の回転ばね定数は、 $k_{\theta 2}$ に補正係数(正曲げ:0.32, 負曲げ:0.56)を乗じる
- ・回転ばね定数の算定には軸力を考慮しない

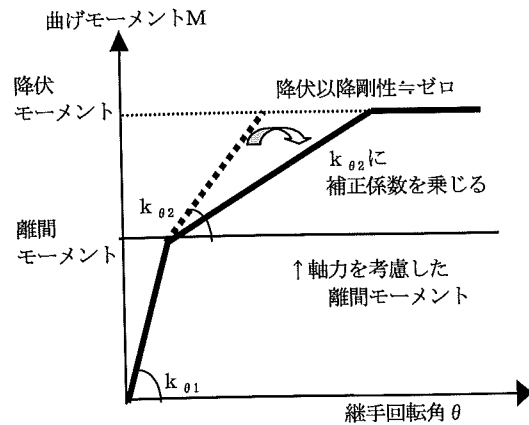


図-2 セグメント継手の曲げ剛性モデル

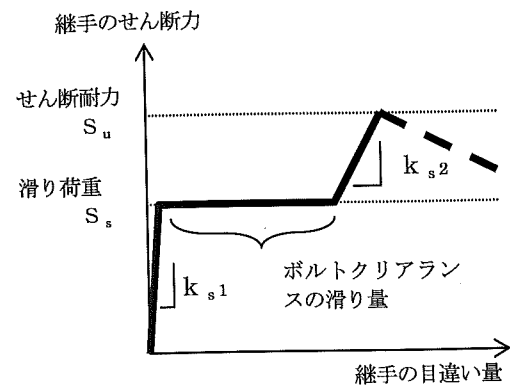


図-3 リング継手のせん断剛性モデル

- ・継手離間モーメントの算定は軸力を考慮する
 - ・継手板の降伏以降の曲げ剛性はゼロとする
- ここに、離間、 $k_{\theta 1}$ および $k_{\theta 2}$ は、文献3)に定義される回転ばね定数のことである。

2-2 リング継手のせん断剛性モデル

リング継手のせん断剛性モデルを図-3に示す。モデルの妥当性は実物大の継手せん断試験(試験数11)を行い検証した。モデルの詳細は次のとおりである²⁾。

- ・初期勾配 k_{s1} (kN/m)は無限大とする
 - ・滑り荷重 S_s は式(1)より算定する
- $$S_s = (-0.002H + 1.0) \cdot P \quad (1)$$
- ・滑り量 δ はリング継手構造より算定する
 - ・第2勾配 k_{s2} (kN/m)は式(2)より算定する
- $$k_{s2} = 0.46 \cdot P + 22.1 \quad (2)$$

ここに、 S_s : リング継手1個あたりの滑り荷重

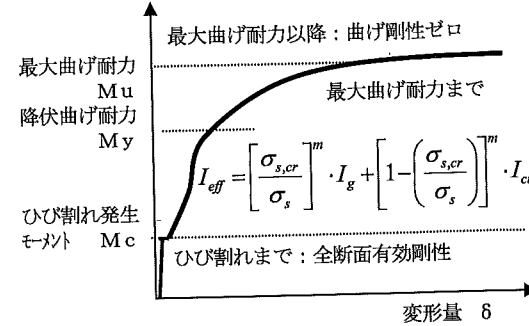


図-4 セグメント本体の曲げ剛性モデル

(kN), P : リング継手ボルト1本あたりの初期緊張力(kN), H : セグメント厚(mm)である。

2-3 セグメント本体の曲げ剛性モデル

セグメント本体は、一般的な鉄筋コンクリート構造の曲げ剛性低下モデルが適用可能である。本稿では、図-4に示すBranson式を用いた⁴⁾、鉄筋コンクリート構造のポストピークまでを対象にした曲げ剛性モデルは、 $M-\phi$ モデル、FIBERモデルなど種々のものがあるので、セグメント本体に対して適切なモデルを選択すればよい⁶⁾。

2-4 構造解析手法の総合評価

千鳥組みにより生じる添接効果の再現性を検証するために添接曲げ試験結果と各部材の剛性低下モデルを使用したはりばねモデルの計算結果とを材料降伏に近い状態で比較した。添接曲げ試験とは、図-5に示すように継手曲げ試験⁹⁾の両側に半幅のセグメントをリング継手で連結させ、セグメント本体、セグメント継手およびリング継手の添接効果を確認する試験である。添接曲げ試験の供試体の構造諸元を表-1に示す。

図-6(a), (b)は、供試体の支間中央部での荷重一鉛直変位関係であり、図に併記したはりばねモデル計算による変形量の算定値と比較すると、(b)のセグメント本体の破壊時で算定値の方が小さく85%程度であった。一方、図-7は、中央部セグメントのセグメント継手の荷重一目開き量の関係であり、同様にはりばねモデル計算による目開き量の算定値と比較すると、セグメント継手の降伏時で算定値の方が大きく150%程度であった。また、図-8は中央部セグメントと添接セグ

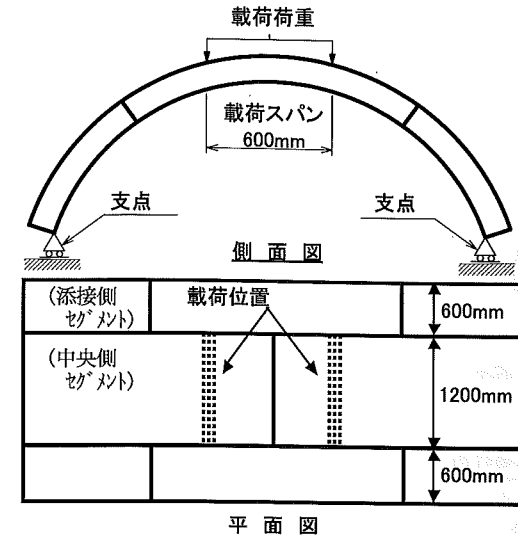


図-5 添接曲げ試験の説明図

表-1 添接曲げ試験の供試体構造諸元

トンネル内径 (mm)	セグメント厚 (mm)	セグメント幅 (mm)	引張鉄筋比 (%)	セグメント継手ボルト	リング継手ボルト
3,700	200	1,200	0.85	M27	M24

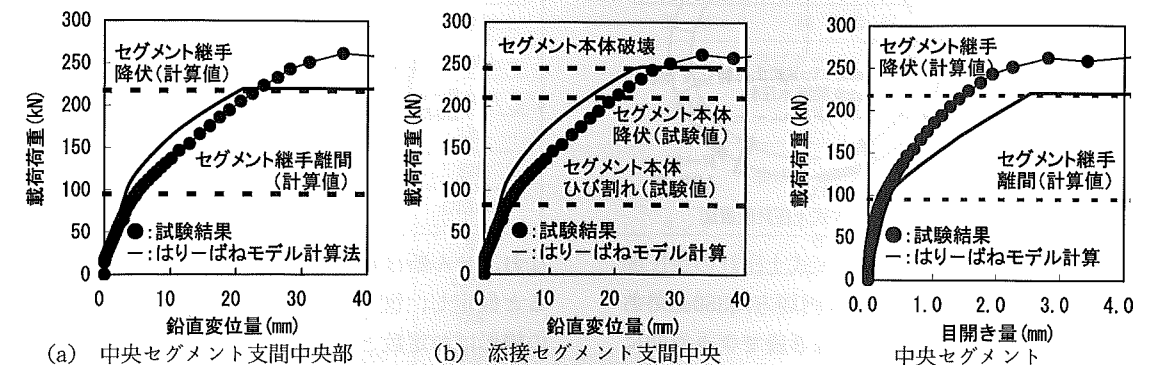


図-6 荷重-鉛直変位関係の比較

図-7 荷重-目開き関係の比較

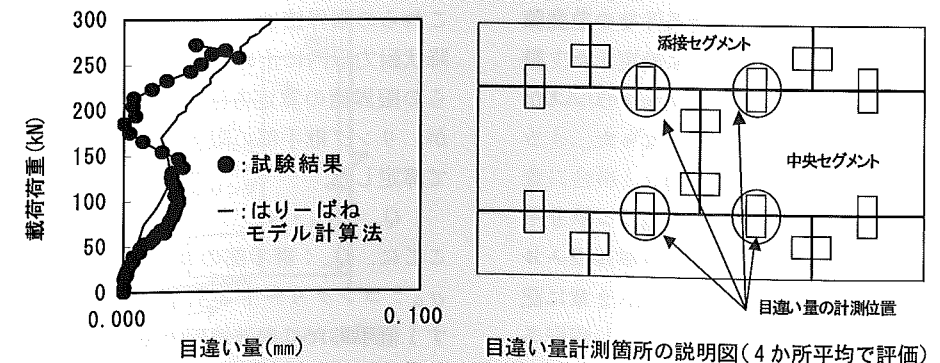


図-8 荷重-目開き関係の比較

ントのリング継手位置における荷重一目開き量の関係であり、同様に算定値との比較を行うとリング間継手の目開き量の算定値はおおむね一致した。

以上、材料降伏に近い状態での添接効果の再現性が確認できたことにより、各部材の剛性低下モデルを用いたはりばねモデル計算法は、目開き量を安全側に算定する傾向にあるものの、異常時やL2地震時の断面力と変形量を算定する構造解析手法として実用可能と考えられる。

3 施工時荷重の照査方法の検討

シールド工場の施工時の状態のうち鉄筋コンクリート製セグメントに損傷を生じさせる可能性が高いのは表-2に示すテールシール圧とジャッキ推力が作用する状態と考えられた^{7,8)}。本稿ではとくにテールシール圧に対する照査の検討内容を記載する⁹⁾。

3-1 テールシール圧の計測例

テールシール圧の計測例を表-3に示す。

表-2 鉄筋コンクリート製セグメントに問題が発生する可能性がある施工時の荷重状態

	テールシール圧	ジャッキ推力(偏心含む)	リング間目開き箇所でのジャッキ推力
荷重状態	曲線部の掘進時などマシンのテールエンドクリアランスが小さい箇所でセグメントにテールシール圧が作用する	ジャッキ推力がセグメントに作用する状態、ジャッキに偏心があると偏心による曲げが作用する	隣接するリングに目開きによる不陸が生じた状態で、セグメントにジャッキ推力が作用する
説明図			

表-3 テールシール圧の現場計測の概要

地盤条件	沖積粘性土(軟らかい粘性土)	洪積粘性土(硬い粘性土)
諸条件	トンネル恒長: 1,862m トンネル外径: 3,95mm セグメント厚さ: 275mm 計測深度(土かぶり): 21.6m 計測位置の線形条件: 曲線区間の終点付近 テールブラシ: 3段 テールグリリス: 6か所×2段(テールブラシ間充填)	トンネル恒長: 2,528m トンネル外径: 4,95mm セグメント厚さ: 275mm 計測深度(土かぶり): 12.6m 計測位置の線形条件: 直線(蛇行あり) テールブラシ: 3段 テールグリリス: 5か所×2段(テールブラシ間充填)
計測図		

ここで、荷重を計測するパッド式土圧計の受圧面寸法はトンネル軸方向600mm×円周方向350mmである。各マシンのテールブラシは3段でブラシ間にはテールグリリスが充填されていた。この計測例をもとに同一の地盤条件および構造条件での急曲線部のテールシール圧を図-9のように設定した。設計したテールシール圧は、テールクリアランスが小さい箇所を最大とする偏圧分布となった。

3-2 テールシール圧の影響検討

図-9のテールシール圧を用いて鉄筋コンクリート製セグメントの損傷を試算した。テールシール圧による影響を検討する構造解析には、2章に記載したはりばねモデル計算法を用いた。解析条件を表-4に、モデルの境界条件を図-10に示す。

なお、せん断ばね定数はジャッキ推力の影響があると仮定し、図-3のモデルは使用せず100MN/mの線形ばね定数とした。

試設計の照査項目および限界値を表-5に示す。これらの限界値は、施工時のセグメントの損傷を降伏耐力以内に止めるという前提で定めた。これらの限界値の算定方法は、文献10)に従っているが、リング継手部の限界値を求める Q_{uc} は式(3)にて算定した。

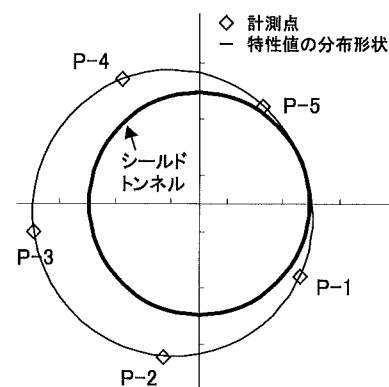
$$Q_{uc} = \sigma_{tk} \cdot A \quad (3)$$

ここに、 Q_{uc} : 継手部のコンクリートせん断耐力、 σ_{tk} : コンクリートの引張強度、 A : 図-11に示す1継手あたりの破壊面の投影面積である。

試設計の照査結果を図-12に示す。これより、

土圧計 No.	位置* (度)	グリリス圧 (kN/m ²)	クリアランス量(mm)	ブラシ圧 (kN/m ²)	特性値 (kN/m ²)
P-1	125.5	129.0	47.3	26.7	155.7
P-2	193.0	462.0	7.3	92.2	554.2
P-3	260.5	548.0	0.0	143.1	691.1
P-4	328.0	388.0	22.3	33.1	421.1
P-5	33.5	41.0	52.7	26.7	67.7

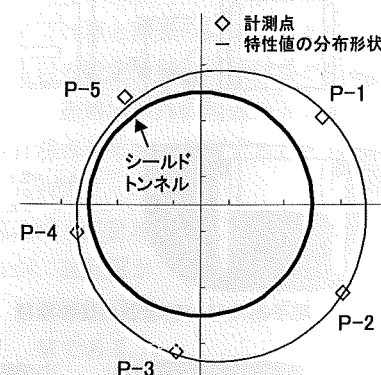
※天端を0度とし、右回りを正としたときの角度



(a) 沖積粘性土の現場

土圧計 No.	位置* (度)	グリリス圧 (kN/m ²)	クリアランス量(mm)	ブラシ圧 (kN/m ²)	特性値 (kN/m ²)
P-1	54.5	419.0	21.6	34.3	453.3
P-2	122.0	531.0	0.0	143.1	674.1
P-3	189.5	403.0	14.6	55.5	458.5
P-4	257.0	153.0	48.3	26.7	179.7
P-5	324.5	198.0	58.7	26.7	224.7

※天端を0度とし、右回りを正としたときの角度



(b) 洪積粘性土の現場

図-9 テールシール圧の値と分布形状

表-4 構造解析の条件

地盤条件	沖積粘性土	洪積粘性土
トンネル外径(mm)	3,650	4,650
セグメント幅(mm)	1,200	1,200
セグメント厚さ(mm)	125	125
テールシール幅(mm)	772	825
鉄筋量	D13×8	D13×8
セグメント分割数	6	6
回転ばね定数 (kN・m/rad/ring)	正曲げ 4,050 負曲げ 788	4,050 788
せん断ばね定数 (kN/m)	100,000	100,000

表-5 試設計の照査項目および限界値

部位	照査項目	限界値
セグメント本体	曲げモーメント・軸力	降伏断面耐力
	せん断力	せん断ひび割れ耐力 (0.7V _{cc})
セグメント継手部	曲げモーメント・軸力	降伏断面耐力
リング継手部	せん断力	せん断ひび割れ耐力 (0.7Q _{uc})

沖積粘性土および洪積粘性土の両ケースともにリング継手のせん断耐力の照査が不合格になった。一方、図-13はセグメント厚さと継手の構造諸元を変化させて、リング継手のせん断力が照査に合格するセグメント厚さを試算した結果である。図-13より沖積粘性土および洪積粘性土の両ケースとも、セグメント厚さが175mm程度以上あれば照査に合格した。なお、図-14は、鋼製ボックス継手を用いた継手せん断試験においてリング継手がせん断破壊したときのスケッチ図である。これより、テールシール圧により、リング継手部に生じる損傷は、継手周りを始点にしたトンネル軸方向へのひび割れと予想できる。

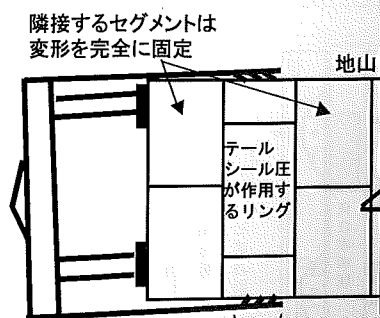


図-10 トンネル軸方向の境界条件の説明図

3-3 テールシール圧の照査のまとめ

テールシール圧により生じる鉄筋コンクリート製セグメントの損傷を検討した結果、次のことがわかった。

- 現場計測と類似な施工条件の場合、セグメント厚さ175mm未満で損傷が発生する可能性がある

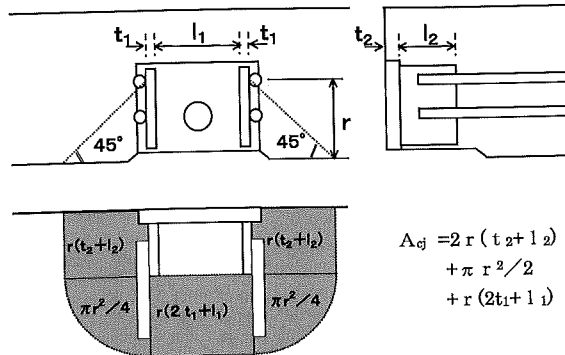
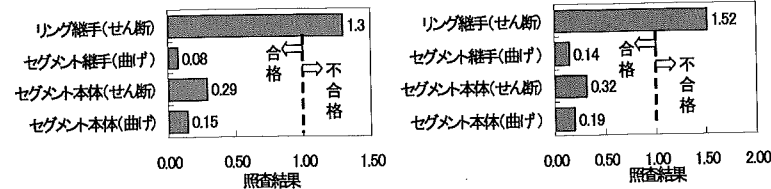
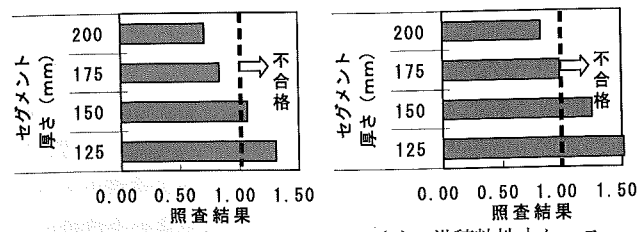


図-11 1継手あたりの破壊面の投影面積



(a) 沖積粘性土ケース (b) 洪積粘性土ケース
図-12 テールシール圧を用いた試設計の照査結果



(a) 沖積粘性土ケース (b) 洪積粘性土ケース
図-13 セグメント厚さに対するリング継手せん断耐力の照査結果

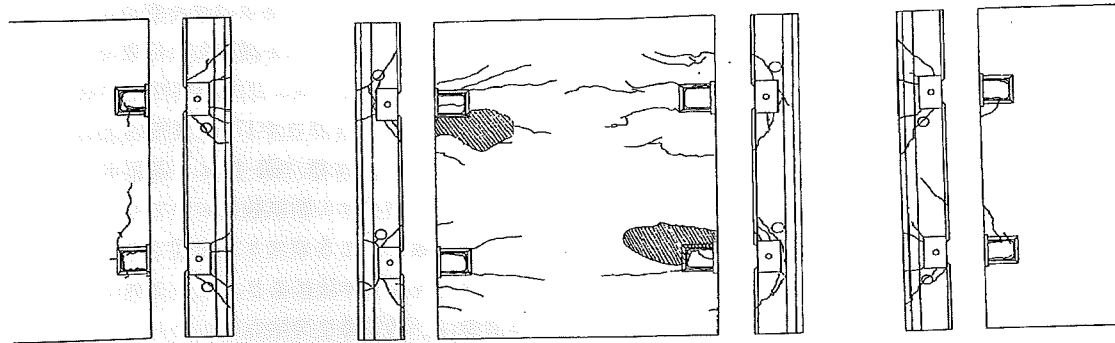


図-14 テールシール圧が作用する場合に予想されるリング継手の損傷状況(鋼製ボックス継手)

ある
・損傷はリング継手のせん断破壊に関連するひび割れになる可能性が高い
つまり、今回よりも大きなテールシール圧が発生すると想定される施工条件の場合やセグメント厚さを175mm程度以下とする場合には、設計時点でのテールシール圧の照査が必要になると考えられる。

4 シールド工事への適用例

限界状態設計法の適用対象トンネルの地盤条件を図-15に示す。常時、異常時および施工時の荷重条件に対する鉄筋コンクリート製セグメントの

埋立土層	地下水位 -1.8 m
沖積砂質土層	
沖積粘性土層	トンネル土かぶり -29.58 m
沖積砂質土層	
沖積粘性土層	
沖積砂質土層	
洪積砂質土層(耐震設計上の基盤層)	

λ=0.35
φ=45°
C=0.0kN/m²
k=50 MN/m³
内径3.4m

図-15 設計地盤条件

5 おわりに

本稿の限界状態設計法の適用範囲は、超高圧の送電用ケーブルを収容するシールドトンネルであり、一次覆工に鋼製ボックス継手の鉄筋コンクリート製セグメントを用い、二次覆工を省略する場合である。なお、検討した構造解析および照査は、新設だけでなく既設トンネルの健全度の評価としても、構造計算と照査の結果をもとに、維持管理の点検項目の設定や補強の検討などに適用している。また、送電用以外の用途のトンネルへ本稿に示す設計法の考え方を準用することも可能であると考えられる。

本稿に示す設計法の考え方で多くのシールドトンネルが、高品質かつ経済的に建設され、合理的な維持管理が行われることを念願する次第である。

最後に、本研究に多大なご指導とご助言をいただいた山本稔・東京都立大学名誉教授、小泉淳・早稲田大学教授、小山幸則・(財)地域地盤環境研究所所長をはじめとする方々に、末筆ながら誌面を借りて心から謝意を表する次第です。

参考文献

- 有泉毅・金子俊輔・塩治幸男：シールドトンネルの長期荷重に関する研究，トンネルと地下，Vol.37，No.11，pp.49-56，2006.11.
- 吉本正浩・阿南健一・大塚正博・小泉淳：地中送電用シールドトンネルの性能規定と

照査項目を表-6に示す。この例では、耐震設計上の基盤内にトンネルがあるので地震時の検討を省略した。

なお、表中の耐久性の照査に関するひび割れやかぶりなどの詳細根拠については誌面の都合上省略する¹⁰⁾。

鉄筋コンクリート製セグメントの本体および継手部材の設計結果を表-7に示す。これら各部材の各荷重条件に対する照査結果を図-16に示す。これより、この例では常時荷重に対するセグメント本体の圧縮応力が断面の決定要因になっているとわかる。このように断面が決定される荷重条件と部材がわかるのが限界状態設計法の特長でもある。そのため、施工時や維持管理時は、これらの結果を参考として管理することができる。

表-6 鉄筋コンクリート製セグメントの照査項目と限界状態

照査項目	荷重条件			
	常時	異常時	施工時	
耐荷性	セグメント本体	応力制限値以下 ^{※1)}	最大耐力以下	降伏耐力以下
	継手部			
変形・止水性	リング変位 ^{※2)}	D/150以下 ^{※2)}	D/100以下	D/150以下
	目違い量	1.0mm以下	3.0mm以下	1.0mm以下
耐久性	目開き量	0.5mm以下	2.0mm以下	0.5mm以下
	ひび割れ幅	0.0035c以下 ^{※3)}	-	-
	かぶり	25mm以上	-	-

※1 応力制限値：コンクリートはクリープ破壊に対する制限値，鋼材は降伏応力度，※2 D：シールドトンネルの内径(mm)，※3 c：主筋かぶり(mm)

表-7 鉄筋コンクリート製セグメントの設計結果

トンネル内径(mm)	セグメント厚(mm)	セグメント幅(mm)	主筋	セグメント継手ボルト	リング継手ボルト
3,400	200	1,200	D13×8	M20	M20

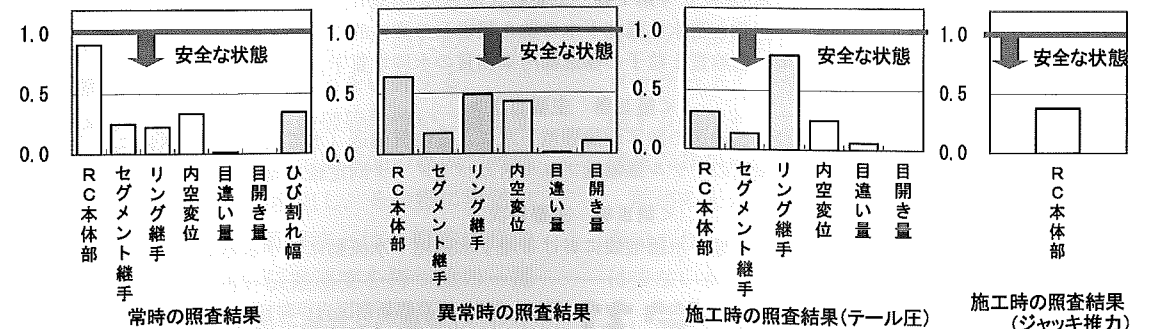


図-16 鉄筋コンクリート製セグメントの照査結果

限界状態設計法による照査, 土木学会論文集No.764/III-67, 2004.6.

3) 村上博智・小泉淳: シールド工用セグメント継手の挙動について, 土木学会論文報告集, 第296号, pp.73-86, 1980.4.

4) Branson, D. E.: Deflections of Concrete Structures, McGraw-Hill Inc. Co., 1977.

5) (社)土木学会: コンクリート標準示方書 [2002年制定] 耐震性能照査編, pp.21-30, 2002.12.

6) (社)土木学会・(社)日本下水道協会: シールド工用標準セグメント, pp.29-34, 2001.7.

7) 小山幸則・小西真治・Jovanovic, P. S.・橋本正: シールドトンネルに施工時荷重が及ぼす影響, トン

ネルと地下, Vol.33, No.8, pp.35-43, 2002.8.

8) 中村益美・松浦将行・沢里能雄: 大深度シールドトンネルの施工時荷重とその対策, トンネルと地下, Vol.34, No.1, pp.35-41, 2003.1.

9) 吉本正浩・阿南健一・大塚正博: シールドトンネルの施工時荷重の照査方法に関する一提案, 土木学会論文集No.756/VI-62, 2004.3.

10) (社)土木学会: トンネルへの限界状態設計法の適用, トンネルライブラリー, 第11号, 2001.5.

11) 吉本正浩・信岡卓・笠井靖浩・大塚正博: 地中送電用シールドトンネルの耐久性設計に関する提案, 土木学会論文集No.763/VI-63, 2004.6.

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

<第III巻 主要目次>

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



株式会社 土木工学社

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



発破技術の現状(最終回)

—発破と環境問題(2)—

「発破技術の現状」連載講座小委員会

③ 発 破 音

発破に限らず、音の性質は音の強さ(dB(デシベル))と音の高低を左右する周波数(Hz(ヘルツ))で決まる。音の中で人間が感知できる(可聴音)のは20~20,000Hzと言われているが、実際には、100Hz以下や15,000~20,000Hzの音は、人によるがほとんど聞こえないことが多い。また、よく言われる低周波音とは、定義はないが、1980年にデンマークで行われた国際会議では、100Hz以下の音としている。20Hz以下になるとさらに超低周波音と呼ばれることもある⁹⁾。

ここでは、主に発破の際に問題になる「可聴音」と「低周波音」について、その特徴や対策について述べる。

3-1 発破音の発生機構と特徴

3-1-1 発破音の発生機構

爆薬が爆発すると多量のガスが発生するとともに、そのガスが急激に膨張する。そのため、周囲に衝撃波を発生させ、岩石などを破砕する。

トンネル発破では、岩石の破砕に伴い、自由面が急激に移動する。また、岩盤表面の亀裂や発破孔から急速に爆発ガスが噴出し、その際に空气中に衝撃波が発生する。衝撃波とは一般的に音速(約340m/s)よりも速い伝搬速度を持つ波の一種であるが、空气中で次第に減衰し、音波(いわゆる音)に変わる。音波に変わるのは約180dB程度

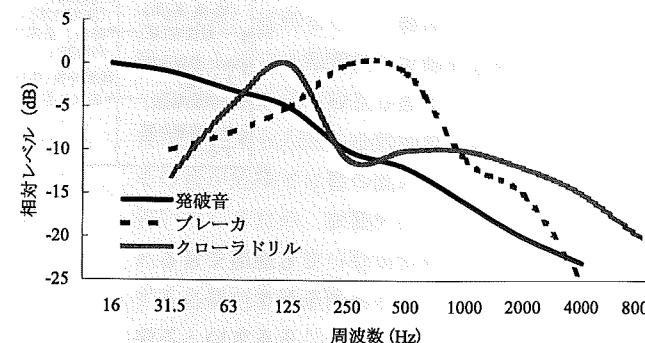


図-6 発破音の音圧スペクトル例¹⁰⁾

と言われている。

よって、われわれが発破音として感じている音は、元々は発破の衝撃波が減衰して音に変わったものである。

3-1-2 発破音の特徴

発破音は、日常の会話や工場・建設機械の作動音などと異なり、一過性のいわゆる衝撃的な音である。短いものは1秒以下、長いものでも10秒程度である。図-6は、ベンチカットの発破音とクローラドリルの穿孔音、ブレーカの打撃音の音圧スペクトルを相対レベルで示したものである。クローラドリルやブレーカでは100~500Hzが卓越するのに対して、発破音は100Hz以下の低い周波数の音が卓越しているのがわかる。

前述のとおり、100Hz以下の音は聞こえにくい音であり、いわゆる「うるさい」という心理影響は少ないが、窓ガラスや扉、障子などをがたつかせ、二次的に不快感を与えることがある。また、低い周波数が卓越しているために距離減衰効果が

小さく、遠距離まで影響を及ぼしやすい。

そのため、発破音の影響を考える場合には、人間にとって騒音となる可能性がある「可聴音」と、心理影響は少ないが建具などに影響を与える可能性のある「低周波音」の二つを考慮する必要があります。

3-2 発破音の影響

3-2-1 可聴音(騒音)の影響

(1) 人体に対する影響

人体への影響を評価する尺度としては騒音レベルが適している。騒音レベルは、周波数および継続時間に依存する人間の音に対する感覚を補正した尺度で

あり、発破に伴う可聴音についても適用できる。

図-7に騒音レベルの大きさの例を示す。

騒音の人体への影響としては、うるさい、不快である、イライラするなどの心理的・情緒的影響や、睡眠への影響、仕事や読書が中断させられるなどの生活妨害などが挙げられる。また、聴力低下や、難聴などの重大な影響もある。定常騒音による各種影響についてはさまざまな研究がなされており、図-8に騒音による人体への影響について示す。

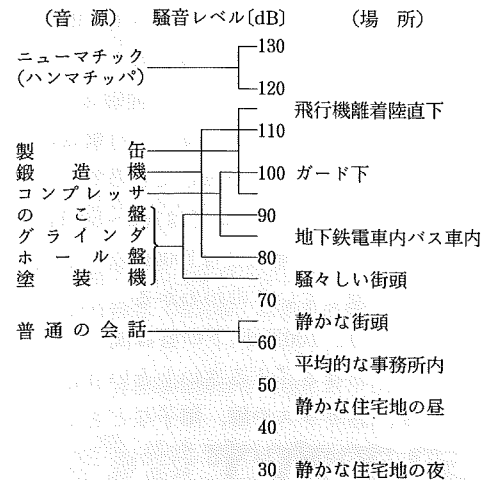


図-7 騒音の例¹¹⁾

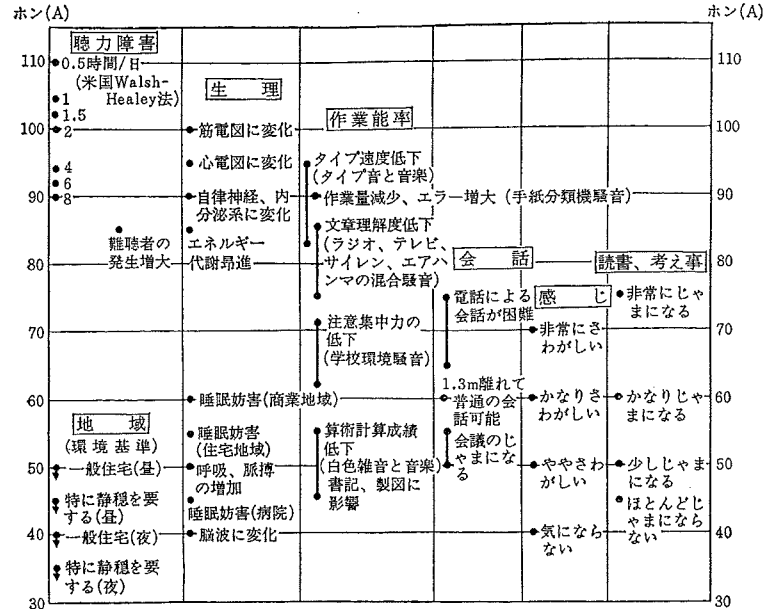


図-8 騒音の影響¹¹⁾

図-8によると、50dBを超えると「やや騒がしい」と感じるようになり、55dBを超えたあたりで住宅地域では睡眠に影響が生じてくる。60dBを超えると「かなり騒がしい」という感じになる。

これは、いずれに関しても定常騒音による影響であり、発破音のような衝撃的かつ単発的な音に関しては、より大きな値まで許容されると考えて良いと思われる。発破音は、人体へ影響を与えるというよりは、爆発音に似た単発音のために不安や驚愕を与えることにより不快感を訴えられるものと考えられる。

(2) 可聴音の規制値

規制値については、発破振動同様に、現在のところ行政から提示されているものはない。建設工事に関する騒音の規制としては、騒音規制法に衝撃的な騒音について杭打ちなどを対象に「敷地の境界線において、週日・昼間で85dBを超えない値」が示されており、これも発破振動同様、発破は対象外であるが、発破にも準用されているのが実態である。また、騒音に関しても県や市の条例で規制が定められている場合にはその値が規制値となっている。

上述のとおり、発破音に関する行政の特定の規

制値はないが、火薬学会より発破騒音に関する提言値が表-12のように示されている。

この提言値は、アンケートなどによる実状把握や、諸外国の適用例などを参照して提言されたものである。昼間で100dBあるいは「暗騒音+30dB」のいずれか小さい方、夜間で70dBあるいは「暗騒音+20dB」のいずれか小さい方を提言値としている。

図-8では、70dBで非常に騒がしいレベルであるため、かなり大きい規制値とも感じられるが、前述のとおり、図-8は定常騒音での影響であり、発破騒音は、単発的かつ発生時間がきわめて短いものである。そのため、会話を遮断する、イライラを発生させるなどの影響は少ないと考えられる。また、発破騒音による不快感の発生原因は、情報の欠如などによる恐怖感、不信感から生ずる場合がほとんどであると考えられ、発破施工の公共性、安全性に関する広報活動、情報公開を積極的に進めるべきであると本提言では付け加えている。例えば、発破時刻の予告は重要で、説明会、回覧、個別訪問による中長期的予告と拡声放送による直前予告と直後の終了報告が効果的としている。

(3) 動物などに対する影響

トンネル現場は、山岳地帯のみならず最近では

表-12 発破騒音の人を対象とした提言値¹²⁾

Table with 2 columns: Target (昼間, 夜間) and Proposed Value (100dB or 70dB with noise level offsets).

表-13 騒音が家畜・家禽に及ぼす影響調査¹⁰⁾

Table with 4 columns: Target (乳牛, 豚, 鶏), Noise Type, Magnitude, and Impact (e.g., milk yield reduction, growth effects).

市街地周辺にも建設することが増加している。そのため、発破振動や発破音が動物や家畜・家禽に与える影響を考慮する必要性が増加していると思われる。

とくに発破音が動物に与える影響について調査・報告されたものはないが、類似した単発的衝撃音による鶏、乳牛などの家畜・家禽に関して実施されたものがある。その影響調査を表-13に示す^{13),14)}。これらの調査範囲からすると、乳牛については何らかの影響が認められるようである。豚については、影響は認められていない。鶏についても成長、産卵ともに影響はないようであるが、順応するまでは驚愕する行動を示すようである。

動物行動工学の観点からは、発破作業に関する音についても人間の心理同様に慣れの行動もあり、その音が危険でないことがわかれば心理的に落ち着いてくるため、試験的に問題を起こす可能性のある音を発生させて動物の行動をじっくりと観察する必要がある。それによって問題の発生を避けることができるだろうと考えられている¹⁵⁾。

3-2-2 低周波音の影響

発破に限らず、低周波音による影響として考えられるのが圧迫感や振動感、睡眠への影響といった「人体への影響」と、がたつきなどの「建具への影響」である。以下にそれらの影響について述

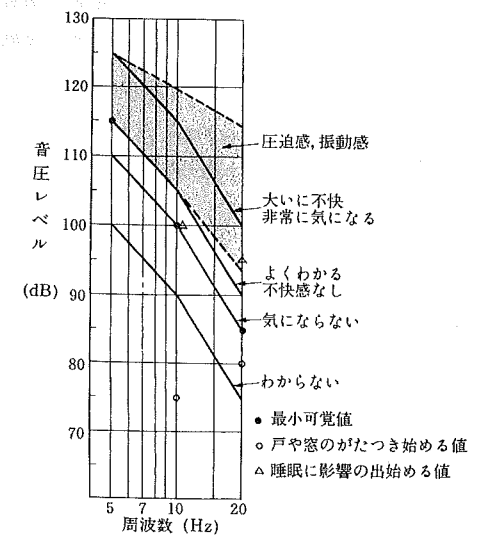


図-9 超低周波音による圧迫感と振動感¹⁶⁾

表-14 超低周波音の睡眠に及ぼす影響¹⁰⁾

睡眠深度 周波数(Hz)	1	2	3	REM
10	100dB以上になると影響が 出始める(105dBで100%目 覚める)	同左 1の場合より影響は少ない	同左 2の場合より影響は少ない	104dBでわずかに目覚める
20	95dB以上になると影響が 出始める	同左 1の場合より影響は少ない	同左 2の場合より影響は少ない	95dBでは影響なし

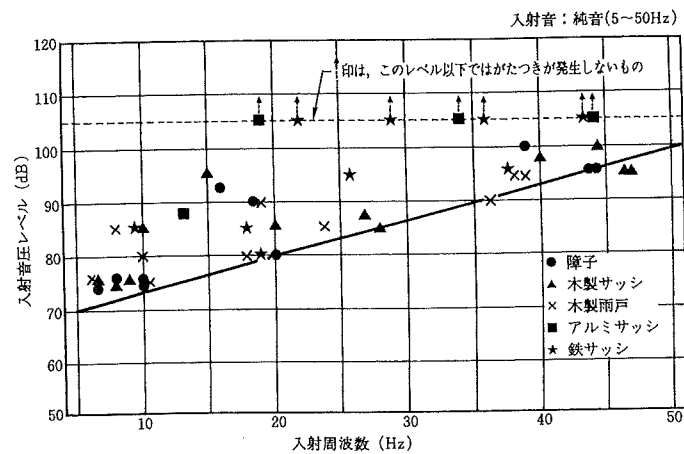


図-10 低周波音による建具のがたつき限界¹⁰⁾

べる。

(1) 人体に対する影響¹⁶⁾

1) 心理的な影響

発破に起因する低周波音による人体への影響については、未だ明らかではない。しかし、定常的な超低周波音については過去に環境庁が調査研究を行っている。正常な聴力を持つ健康な被験者30人を対象として実験室で超低周波音を与えて得られたデータを図-9に示す。

図-9によると、20Hzでは95dBを超えたあたりから不快感が発生しており、100dBを超えたあたりから大いに不快であり圧迫感や振動感を感じる結果となっている。

2) 睡眠に及ぼす影響

睡眠についても同様に実験室において超低周波音の影響を調査している。その結果を表-14に示す。

この結果からすると、周波数が20Hzで95dB以上、10Hzで100dB以上の場合に影響が出始めている。しかし、この実験は20分ごとに超低周波音

を加える実験のため、発破に比較してきわめて頻度が高い。そのため、発破による場合にはより大きな値まで許容されると推定できる。

(2) 建具に対する影響(がたつきなど)

発破に限らず低周波音は、耳には聞こえず、建具のがたつき音だけが聞こえるために、地盤振動による影響と誤認される場合が多い。

図-10に低周波音によって生じる建具のがたつきに関するデータを示す。

本データは縮尺模型実験により定常的な超低周波音を加えて各種建具のがたつき限界を求めたものである。周波数により異なるが、建具によっては約75dBからがたつきが始まっている。また、建具は木製のものがたつきやすくアルミや鉄サッシとは10dB近くの差が見られた。

しかしながら、本データは、あくまでもがたつきが発生し始める最小の値を示したものであり、人が知覚できるほどの音が発生し、苦情が生じるまでにはいくらか余裕があると考えられる。一説によれば、発破に伴う超低周波音の問題が生じるのは約100dBが目安であるとする報告¹⁷⁾がある。

(3) 低周波音の規制値

低周波音については、近年になってさまざまな研究が行われ始めた分野である。よって、規制値については、発破音だけでなく定常音についても行政が定めた規制値はないのが実状である。

また、火薬学会でも現時点では影響など不明確な点が多いとして、あくまでも参考値として、昼間で130dB、夜間で100dBを規制値の目安と示している¹²⁾。

3-3 発破音の予測と軽減対策

発破音の対策は、発生源での対策と伝播経路での対策の二つに大別できる。明かり発破では、伝播経路対策は一般的に困難で、発生源での対策が非常に重要である。これに対してトンネル発破は、伝播経路対策が有効で、坑口に防音扉を設けることにより効果的な軽減が可能である。

本節では、トンネル発破に関する音の予測式を紹介するとともに、発破音の軽減手法についても紹介する。

3-3-1 トンネル発破における発破音予測式

発破音の予測式に関しては、現時点において発破振動ほど一般化されているとは言えないが、施工前に予測を求められる場面も多い。そのため、ここでは学会などで発表されている発破音の予測式について紹介するが、最終的には発破振動同様、実際の試験発破によりその適合性を検討する必要がある。

以下に、発破音予測式の一例を示す。

1) 船津の式

・騒音レベル予測式

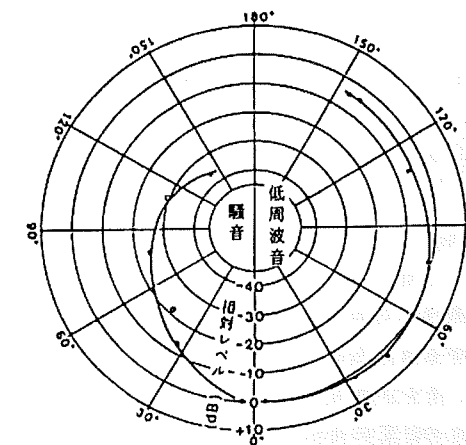
$$L = A + 16 \log W - 16 \log D - 20 \log R + \Delta L \quad (5)$$

・低周波音レベル予測式

$$L = A + 7 \log W - 20 \log R + \Delta L \quad (6)$$

ここで、

L : 騒音レベル, 低周波音レベル予測値(dB)



指向特性

A : 定数(騒音レベル)

DS雷管 130, MS雷管 136

A : 定数(低周波音レベル)

DS雷管 141, MS雷管 148

W : 1発破の総装薬量(kg)

D : 坑内距離(m)

R : 坑外距離(m)

ΔL : 指向性, 防音扉, 回折減衰などの補正值(dB)

2) 塩田の式(低周波音レベルのみ)

・低周波音レベル予測式

$$L(r_0) = 5.36W + 127.2$$

$$L_r = L(r_0) - 20 \log(r/r_0) + A_u \quad (7)$$

ここで、

$L(r_0)$: 切羽面からトンネル坑口までの距離 r_0 における低周波音レベル(dB)

W : 段あたりの斉発爆薬使用量(kg)

L_r : 切羽面から受音点までの距離 r における低周波音レベル(dB)

r : 切羽面から受音点までの距離(m)

r_0 : 切羽面からトンネル坑口までの距離(m)

A_u : 超過減衰量(dB)

特徴としては、船津の式は1発破の総装薬量を用いるのに対し、塩田の式は段あたりの斉発爆薬使用量を用いている違いがある。

しかし、船津の式も使用する雷管の種類により定数が異なり、これは、起爆秒時の間隔が広がるほど音の重なりが減少するため発破音も低下することを示している。

このことより、発破音を低減するためには、1発破の総装薬量を低減させることも重要であるが、より多段発化して1段あたりの装薬量を低減することも重要であるといえる。

3-3-2 トンネル発破における発破音軽減対策

一般に発破音のレベルは機械音に比べて大きく、しかも低周波領域が主成分のため、発破音軽減対策は困難である。その中で上述の発破音予測式を考慮して発破音を低減させるためには、表-15に示すように「音源」と「伝播経路」での対策をとる必要がある。

表-15 発破音を低減させるための方法と効果

対策方法	内容・効果
音源対策	
薬量の低減	一発破の総火薬量を減らす。または、使用する段数を増加し、1段あたりの最大薬量を減らすことも有効である。
装薬方法	浅い位置での装薬は、発破のエネルギーが空気中へ放出される率が高くなる。装薬はできるだけ深い位置に行い、込め物をきちんと行うことで多少空気中へ放出されるエネルギーは抑えられる。
段発の時間間隔	段あたりの間隔が短いと発破音が増幅する可能性がある。同じ薬量、段数の場合にはMS雷管よりもDS雷管を用いた方が発破音低減には効果的である。ただし、1発破の音の継続時間は長くなるため注意が必要である。
その他	IC雷管のような精密起爆雷管を用いて、発破音を干渉させて低減させる試みもなされている。
伝搬経路対策	
防音扉【坑内】	現在のところ発破音対策としてもっとも多く使用されており、可聴音、低周波音ともに低減効果がある。
防音シェルター・防音ドーム【坑口】	主に可聴音の軽減に用いられる。
防音壁【坑外】	機械音などの可聴音に対しては有効であるが、低周波に対する効果は少ない。

表-16 IC雷管による多段制御発破施工実績

工事名	軽減効果(対在来工法)	
	低周波音	騒音
愛宕トンネル	約5dB	約5dB
恩方トンネル	—	約9dB

表-17 M系列を用いた低周波軽減試験結果

周波数	低周波音軽減効果
1.6~2.0Hz	6~7dB
2.5~3.0Hz	約10dB
4.0~12.5Hz	2~4dB

表-19 防音扉の一般的な効果

防音扉設置数	遮音効果	
	騒音レベル(dB)	低周波音圧レベル(dB)
1基	18~22	12~15
2基	28~32	18~22

表-18 防音設備の種類と効果の目安

防音設備	材料仕様	対策効果	
		騒音	超低周波音
1. トンネル工事用防音扉	RTD-G型(ガラス繊維充填)	20dB程度	8dB程度
	RTD-S型(砂充填仕様)	25dB程度	15dB程度
	RTD-C型(コンクリート充填)	30dB程度	18dB程度
2. トンネル工事用遮音壁	防音シート(高さ3m)	5~10dB程度	効果期待できない
	万能塙(高さ3m)	5~10dB程度	効果期待できない
	DBA型防音パネル	10~15dB程度	効果期待できない
3. トンネル工事用防音シェルター・ハウス	NUH型防音パネル	20~25dB程度	8dB程度
	EC型防音パネル	25~35dB程度	10dB程度

※騒音の対策効果は、1/1オクターブバンド中心周波数の500Hzの値を示す。
超低周波音の対策効果は、1/3オクターブバンド中心周波数の8~16Hzの平均値を示す。

音源対策としては、1発破の総火薬量を低減することが望ましいが、それを行うと分割発破や1発破進行長の低減が必要となる場合もある。その際には、まずは、振動対策同様、MS+DS電気雷管や導火管付き雷管、IC雷管を用いた多段化に

伝搬経路対策としては、トンネル発破では、防音扉がもっとも確実に多用される対策である。これは、トンネル発破の音の発生源が坑口に限定できるため、この部分で遮音することによって効果的に対策が可能であるためである。式(8)は、遮音を

よる段あたり薬量の低減が行われることが多い。

ただし、とくに低周波音は発破振動よりも波長が長いので、多段化してもそれほど大きな軽減効果は得られにくいのが実状である。表-16にIC雷管によって全断面にわたる1段1孔の発破を行い、低周波音・騒音対策を行った実施例を示す^{18),19)}。

また、低周波音制御の一方法として、雷管の起爆時間を信号処理理論の一つであるM系列に従って起爆させ、スペクトルの卓越周波数をシフトして低周波音を制御する方法が考案され、トンネルで実験がなされている。その低周波音軽減結果を表-17に示す²⁰⁾。

考える場合に重要といわれている質量則である。遮音効果は遮音材料の面密度に関係し、重量の重いものほど遮音効果が高いといわれている。

$$TL = 18 \log_{10}(M \times f) - 44 \quad (8)$$

ここで、TLは透過損失、Mは遮音材料の面密度、fは遮音対象の音の周波数である。

発破音は、他の騒音に比べて周波数が低いので、同一の材料と比較すると、他の騒音よりも遮音効果が期待できない。このため、防音扉はその面密度を増すために、吹付けコンクリートを吹付けたり、防音扉に水・砂を充填したりするなどの工夫をすることがある。表-18にそれらの工夫をした場合を含めた一般的な防音設備の遮音効果例を示す²¹⁾。

また、防音扉1枚では十分な効果が得られない場合、2重、3重に設置して遮音効果を確保する場合もある。その際の一般的な防音扉の遮音効果例を表-19に示す²²⁾。

④ 発破による二酸化炭素(CO₂)の排出

地球温暖化の原因とされる温室効果ガスの排出量削減が急務となっており、建設工事においても施工に伴う二酸化炭素排出量の削減が重要な課題となっている。そこで、トンネル工事における二酸化炭素排出量と排出量低減方策について以下に述べる。

4-1 トンネル工事における二酸化炭素排出量

全長1,500m、掘削断面積約80m²の道路トンネルを想定して、LCA(Life Cycle Assessment)にもとづいてトンネル掘削時の二酸化炭素排出量を算出した例を表-20に示す。

この結果では、1,500mのトンネル掘削時に約2,600tonから4,600tonの二酸化炭素を排出することが推定される。

LCAにもとづいて二酸化炭素排出量を算出する場合には、①燃料、電力、火薬類など施工時のエネルギー類の消費による二酸化炭素排出量と②使用する資機材製造時の二酸化炭素排出量を対象

表-20 延長1,500mのトンネル掘削時の二酸化炭素排出量(ton)²³⁾

掘削方式	発破掘削			
	B	CI	CII	
エネルギー類	電力(機械動力、換気、照明)、軽油、火薬類	1,250	1,385	1,544
消耗性資材類	吹付けコンクリート、ロックボルト鋼製支保工、ロッド・ビットなど	1,243	2,012	2,977
耐久性資材類	トンネル重機など	72	84	98
施設類	坑外施設、火薬庫など	15	16	17
総合計	2,580	3,497	4,636	

※覆工コンクリートは検討から除外している。

としている。発破で消費される火薬類の製造時に排出される二酸化炭素量について、ここでは雷管1個につき101.2g、エマルジョン爆薬1kgにつき943.2gとしている。

4-2 施工方法による二酸化炭素排出量の比較

施工方法による二酸化炭素排出量を比較する資料として、前述のLCAについて、①燃料、電力、火薬類など施工時のエネルギー類の消費による二酸化炭素排出量を対象として排出量を推定した例を表-21に示す。

表に示すように、掘削においては発破掘削、機械掘削(トンネル掘削機)、機械掘削(大型油圧ブレイカ)、TBMの順に排出量が大きくなる。

4-3 二酸化炭素排出量の削減方策

発破掘削の場合の二酸化炭素排出量が機械掘削に比べて小さいため、周辺環境への影響(振動、騒音、低周波音)に対する配慮は必要であるが、二酸化炭素排出量を抑制するためには発破掘削を採用することが有利である。

このほか、効果が大きい工種はざり処理であり、現場条件による適用性を検討する必要はあるが、連続ベルトコンベヤ方式あるいはコンテナ方式を採用することで排出量を低減できる。

さらに、発破掘削において二酸化炭素排出量を低減する方策としては、長孔発破など効率的な発破を行うことである。2.5~3.0mの長孔発破を行えばエネルギー類で約10%の排出量削減が可能で

表-21 トンネル工の二酸化炭素排出量推定²⁴⁾

想定条件 断面：80m²程度(2車線道路トンネル)、延長：1,500m、地質：中硬岩CII ($q_u=50\text{MPa}$ 程度)

工種・工法	施工方式	CO ₂ 排出量 (t-CO ₂)		
掘削	全断面工法	TBM(推定掘進量240m/月)	1,200t	
	補助ベンチ付き全断面工法	発破掘削	79t	
		機械掘削(トンネル掘削機)	200t	
	削	機械掘削(大型油圧ブレーカ)	620t	
		ショートベンチカット	発破掘削	87t
		工法	機械掘削(トンネル掘削機)	160t
機械掘削(大型油圧ブレーカ)	610t			
ざり処理	ロングベンチカット工法	発破掘削	87t	
		機械掘削(トンネル掘削機)	160t	
		機械掘削(大型油圧ブレーカ)	610t	
吹付けコンクリート	10tダンプトラック	380t		
	20tダンプトラック	410t		
	コンテナ式	270t		
ロックボルト	連続ベルトコンベヤ方式	300t		
	湿式	79t		
鋼製支保工	乾式	98t		
	全面接着式	39t		
金網	摩擦接着式	35t		
		14t		
二次覆工		9.3t		
		22t		

※照明、換気、給排水、濁水処理は検討から除外している。

あるとの報告²⁵⁾もある。ただし、長孔発破では余掘りが大きくなる傾向があり、余掘りが大きくなれば、ざり処理、吹付けコンクリート、二次覆工における二酸化炭素排出量が増え、結果として排出量が大きくなることも懸念される。二酸化炭素排出量の低減効果を上げるためには、爆薬の威力を最大限に生かし、かつ余掘りを最小限に抑制した効率的な長孔発破を行うことが必要である。

⑤ おわりに

夏の風物詩の代表的なものに花火がある。全国各地で、夏には毎日のように花火大会が開催される。最近では、真冬にも多くの花火大会が催されている。

花火が打ち上げられるたびに「たーまやーっ



「かーぎやーっ」と言った掛け声を聞くとき、日本人ほど、酔狂で花火の好きな国民はいないのではないかと感じる。

「ドドドーン」という音が聞こえると、「オッ、花火か」と、顔を緩めながら、音の方向に目をこらす。

某花火大会の特等席(打ち上げ場所から水平距離で約200m)で、花火の低周波音を測った粋人(無粋?)がいる。その話によると、最大で110~120dBであり、クライマックスには、そのレベルの低周波音が約15分にもわたって続いたとのことである。数値だけ見れば、この110~120dBというのは、家を揺らし、人に圧迫感や振動感を与えるレベルである。なのに、観客は、はかなくも美しく花開く光に陶醉し、その圧迫感までもを楽しむ、ため息をついて、余韻を楽しむ。

これほど人を酔わせる花火も、わが国でのルーツをたどると、鉄砲の伝来にたどり着くが、花火を見て武器を思い起こす人はきわめて少ない。

そのむかし、強烈な爆発力を持つニトログリセリンが、狭心症の有効な治療・予防薬となることに驚いたものである。しかし今や、ニトログリセリンといっても恐怖感を覚えるよりも、医療用の平和利用をイメージする人のほうが多い。

また、最近の車には必ず装備されているエアバッグでは、衝撃を感知したセンサーから電流が流れ、それにより火薬が発火し、ガス発生剤を燃焼させ

て、急激にエアバッグがふくらむというメカニズムになっている。点火装置と火薬類が装備されているが、人命を救うというイメージはあっても、危険物が車に搭載されているとは誰も考えない(火薬類取締法上は、エアバッグの点火装置は火薬類の適用除外を受けている)。

ところが、建設工事で爆薬類を使用するときには、「危ないものを近くに持ち込んできた」、「万が一にも爆発したらどうするの?」、「過激派のターゲットにならないの」、「ア〜怖ッ」といった迷惑がる声があがる。単に、爆薬、火薬という言葉は、日本人にとってあまり日常的でなく、何となく暴力的で武器、もしくは戦争につながるイメージを抱かせる。

われわれは、今の含水爆薬を地面に投げつけても、火の中で燃やしても、爆発しないことを知っている。しかし一般には、「いつ爆発するかわからない」、「ちょっとした衝撃で爆発する」といったイメージが先行していることは否めない。

そういった意味からすると、現在の産業火薬が、打ち上げ花火よりも格段に安全で、コントロールされているものであることを、一般に理解いただけたなら、「オッ、発破かっ」と、微笑みながら、「貫通は近いのかな」、「確か貫通するまでに619回の発破をかけると言っていたから、あと二十数回で貫通かな」などといった軽い話題を、地域の方々に提供できるのではないだろうか。

まれに日本でもニュースで報じられることのある、完全にイベント化した海外でのビル発破解体では、その計算された技術にも驚かされるが、裏には緻密で細やかな広報活動が隠されていると推測される。見事に実益とエンターテインメント化を両立させており、学ぶべき点があるのではないかと思われる。

環境問題は非常に微妙なところがある。というのは、発生する現象を物理量で表すことは、今の測定技術や解析技術をもってすると、簡単に行うことができる。

しかし、その値が人体を始めとする対象物にどのような影響を与えるかということ特定するこ

とは、非常に難しい。とくに、影響があるかないかの微妙な値となると、個々の保有している感性やそのときの感情にも大きく左右される。

まして、自分の理解できない世界で、何が行われているかわからないときには恐怖感さえ抱く。

親しみがわくと、今までいやでいやで仕方なかった事柄が、急に身近で好ましいものになる。

われわれトンネル技術者の使命として、発破はアカデミックな技術であり、安全で、なおかつ何よりも経済的なトンネルの構築を実現する手段である、といった説明責任を有しているのではないだろうか。

参考文献

- (社)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会編：発破による音と振動，山海堂，p.15，1996。
- (社)火薬学会発破専門部会：現場技術者のための発破工学ハンドブック，共立出版，pp.458-462，2001。
- 採石ハンドブック編集委員会編：採石ハンドブック，技報堂出版，pp.914-915，1988.5。
- 火薬学会発破専門部会：発破振動・騒音・低周波音の規制値に関する提言(数値の提案)，Explosion，Vol.4，No.3，1994。
- 岡本正幹：家畜家禽の環境と生理，養賢堂，1970。
- 小田良助：騒音が家畜の生理生態に及ぼす影響，西日本畜産学会報，Vol.22，1979。
- (社)日本騒音制御工学会技術部会低周波音分科会編：発破による音と振動，山海堂，p.113，1996。
- 中野有朋：超低周波音—基礎・測定・評価・低減対策—，技術書院，pp.82-83，87，2002。
- 井上堯之・雑喉謙：低騒音・低振動掘削工法(1)，トンネルと地下，Vol.24，No.4，1993.4。
- 小野利昭ほか：電子遅延式雷管によるトンネル制御発破試験，(社)日本トンネル技術協会 第42回施工体験発表会，1998。
- 寺嶋正章ほか：環境(発破騒音・オオタカ)に配慮したトンネル工事，(社)日本トンネル技術協会 第42回施工体験発表会，1998。
- 船津弘一郎・内山恒光：日本騒音制御工学会技術発表会講演論文集，pp.57-60，1987.9。
- トンネル騒音・振動対策技術会：トンネル工事中における周辺環境への環境予測と保全対策，騒音，振動，超低周波音の予測と対策，設計基準書，2003。
- ジェオフロンテ研究会低公害掘削工法分科会制御発破ワーキンググループ：制御発破に関する報告書，

1992.

23) (社)火薬学会発破専門部会：現場技術者のための発破工学ハンドブック，共立出版，pp.485-486，2001. (一部加筆修正)

24) (社)日本建設機械化協会：建設施工における地球温暖化対策の手引き，p.20，2003. (一部加筆修正)

25) (社)火薬学会発破専門部会：現場技術者のための発破工学ハンドブック，共立出版，p.487，2001.

わかりやすい トンネルの力学

B5判 286頁 本体価格 5,825円 円340円

福島啓一著

NATMの導入以来，トンネル工事の現場に計測が大幅に取り入れられるようになって，トンネルの力学がますます重要視されるようになった。

本書はトンネル力学の基礎的な事項に基づく問題点を経験則と理論則から説明し，設計・施工に携わる実務者がトンネルを掘るとき，また，計画・設計するときに考慮しなければならないトンネルの力学を主眼にした入門書である。

【目次】 ○従来のトンネル力学の考え方／トンネル力学の発展，NATM以前の考え方／ゆるみ高さの推定，ゆるんだ地山の釣り合い，沈下量の差により変わる土圧，切羽の安定，地山の分類による支保の設計，NATMの考え方／せん断破壊説，変形による圧力の低減，地山のゆるみ防止，アンカーボルトによる地山の補強，地山挙動の時間依存，せん断破壊説による設計法，経験的設計法，地山分類と地山等級に対応した支保工の標準設計，NATM力学についての問題点，○弾性論による解析／弾性学の基礎，軸対称円形トンネル，線対称円形トンネルの弾性解，円形トンネルの弾性解析，地表面に近いトンネル，だ円形のトンネル，球形空洞周りの応力と変位 ○弾塑性論による解析／塑性力学の基礎，軸対称円形トンネル，線対称円形トンネルの弾塑性解，円形トンネルで地山の自重を考えた弾塑性解析 ○弾塑性解以外の検討／トンネルの大きさの影響，時間の影響，表面の影響，山はね，ゆるみと締めり，地山のゆるみ，再圧密を考えた考察 ○その他の検討／二次覆工の役割とひび割れ，安全率，支保工の設計・観察・計測の解釈と逆解析，力学的に好ましい，または好ましくないトンネルの設計および施工法，有限要素法，トンネルと地下水

株式会社 **土木工学社**

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

トンネル ジャーナル

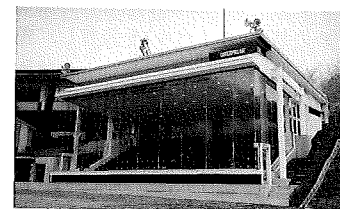
TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL · TUNNEL JOURNAL

秩父デモセンターの観覧席をリニューアル

新キャタピラー三菱は，建設機械の総合研修施設である秩父デモセンターのデモンストレーション観覧席をリニューアルした。

同センターは，本格的なデモンストレーションエリアを備えたアジア最大の施設として，1979年10月にオープン。日本だけでなく，アジア・オセアニア地域を中心に全世界から来場者を迎え，累計来場者数は32万人を超えている。

今回のリニューアルでは，デモンストレーションを見学する観覧席をガラス面で囲い空調を導入したことで，気温の高低にかかわらず常に一定の室温を維持できるようしたのに加え，稼働する建機の迫力を損なわないよう，生の稼働音の取り入れ口を設置。これにより，快適な環境を維持しつつ，迫力あるデモンストレーションを見学できる。



5,000万人カウントダウン プレゼントキャンペーン

長野県大町市の扇沢駅から富山県立山町の黒部ダム駅を結び，立山黒部アルペンルートの関電トンネルと立山トンネルを通る6.1kmの間を16分で結んでいる関電トンネルトロリーバスが，昭和39年8月1日の営業開始から43年目迎えた今春，累計乗車人数が5,000万人を超える見通しとなり，「5,000万人カウントダウンプレゼントキャンペーン」を実施して

いる。

5,000万人目の乗客にはくす玉割りと記念品が贈呈され，5,000万人達成以降の達成日の乗客には全員に記念絵はがきが贈呈される。また，4月10日から5,000万人達成までの期間に1万円分の旅行券や各種記念グッズが総勢5,000名に当たる。

圏央道八王子JCT～あきる野ICが6月23日に開通

東日本高速道路，国土交通省関東地方整備局，中日本高速道路は，圏央道の八王子JCT～あきる野ICの区間が6月23日15時から開通すると発表した。

これにより，東京西側で初めて高速道路間(中央道～関越道)が接続されることになる。今回開通する区間は八王子JCT(八王子市裏高尾町)からあきる野IC(あきる野市下代継)までの延長9.6kmで，4車線，設計速度80km/h，中央道と関越道間の移動時間が，約90分短縮され，年間約260億円の経済効果が期待される。

開通区間には，川口トンネル(上り線約1,950m，下り線：約1,960m)，天合峰トンネル(上り線約1,360m，下り線約1,350m)，恩方トンネル(上り線約730m，下り線約710m)，および，八王子城跡トンネル(上り線約2,400m，下り線約2,380m)がある。

八王子城跡トンネルは，国指定の史跡である八王子城跡の付近を通過するため，トンネルの工事にあたっては，八王子城の築城時に掘削された坎井と呼ばれる井戸や，八王子城の城主の住居であった御主殿の遺跡に近接した御主殿の滝などの水環境を保全する必要があった。そのため，シールドによる先進導坑を掘削後，トンネル周囲に先進導坑内から地山止水材を注入，その後，リーミ

ングTBMにより，拡幅する工法を採用した。

TBM水路トンネルの貫通とトンネル見学会

九州農政局で初めてのTBMによる水路トンネルが貫通し，トンネル内部見学会が開催された。

貫通したトンネルは西諸(二期)農業水利事業浜ノ瀬幹線水路建設工事の将来建設される浜ノ瀬ダムと配水用調整池を結ぶ延長5,400m，仕上がり内径2,300mmのかんがい水路トンネル。農政局で初めてTBM工法により施工を行い，平成17年1月に発進，今年2月16日に約25か月の期間を経て発進基地からダム側に到達した。TBMの解体後，歩行で貫通点を通行することが可能となったので一般公開を行った。

見学会では，貫通したばかりの5,400mのトンネルの往復ウォーキングや1,000mまでのバッテリー機関車に乗車しての見学を行い，地元一般市民を中心に230名が参加した。

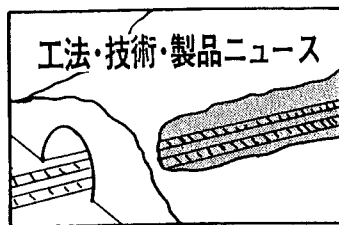
参加者には記念品として貫通石や貫通餅，さらには解体したTBMの部品を配布するとともに，見学会開始の合図は一般参加の子供たちによるくす玉開花を実施した。

シールド工法技術協会 平成19年度定時総会開催

シールド工法技術協会は，5月14日にセルリアンタワー東急ホテル(東京)で定時総会を開催した。

冒頭，磯島茂男会長の開會挨拶および2年間の任期を終え会長職退任の挨拶があった。その後，議事事項が審議され満場一致で承認された。

新会長には小林将志・大成建設専務役員土木本部長が就任し，それに伴い事務局が清水建設から大成建設に移行する。



土木設計の品質向上・コスト削減を可能に

オートデスクは、AutoCAD® 2008をベースにした土木設計業務従事者向け設計用アプリケーション AutoCAD Civil 3D® 2008日本語版を発売した。

同製品は、AutoCAD ベースのアプリケーションで、「ダイナミック土木モデル」を導入した。設計変更の際に、「土木モデル」に変更を加えると、プロジェクト全体にわたる関連情報が一度に更新され、製品の品質向上、エラーやミスの削減、また、図面の書き直しなどによる時間と人的資源の大幅な削減が可能になるとしている。

20t級油圧ショベルを新発売

新キャタピラー三菱は、CAT®油圧ショベル300「REGA」Dシリーズの20トンクラス6機種を発売した。

中型標準機CAT320D「REGA」、中型の汎用小旋回機CAT 320D RR「REGA」、中型の超小旋回機CAT 321D CR「REGA」および、それぞれの機種のロングクローラ仕様であるCAT 320DL「REGA」、CAT 320 DL RR「REGA」、CAT 321DL CR「REGA」。

今回のモデルチェンジでは、排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減した新世代環境対応型エンジン「ACERT(アサート)」を搭載。オフロード法をはじめ欧米の排出ガス規制にも適合したハイレベルの環境性能を実現した。また、燃料生産性を約4%向上しエコノミーモード時

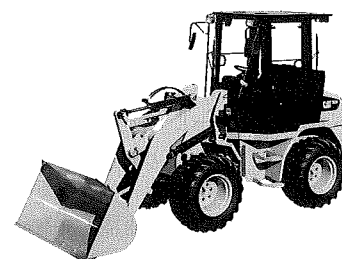
の作業量を約5%向上させるなど、生産性をアップした。万一の際のエンジントラブルを最小に抑えるさまざまなエンジン保護機能を搭載し、信頼性も大きく進化させている。



新ミニホイールローダ

新キャタピラー三菱は、道路工事や土木・産廃現場から、街中の除雪作業、農業・畜産業まで幅広く活躍するミニホイールローダをモデルチェンジし、新発売する。

新発売するのは、CAT®901B2、902B2、903B2の3機種で、それぞれバケット容量が異なり0.4、0.5、0.6m³。オフロード法の基準値に適合した新しいエンジンを搭載し、排気量をアップするとともに冷却性能も向上し、過酷な現場でもゆとりある作業が可能となった。

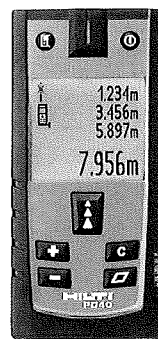


使いやすいレーザー距離計

日本ヒルティは、コンパクトで耐久性・測定精度を向上したレーザー距離計PD40を発売した。

手持ちレーザー距離計では世界最高精度となる誤差1.0mmを実現し、現場作業に適した耐衝撃性、防塵防滴構造を採用。手のひらサイズで持ちやす形状とし、すべりにくい素材を用いたデザインとした。操作性も

ボタン一つで計測が可能など、従来機に比べ性能を向上させた。



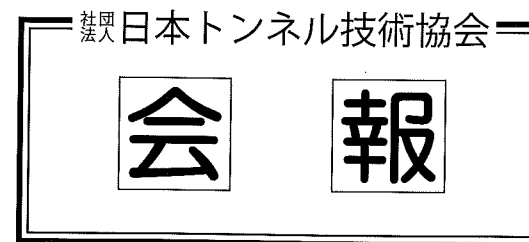
空気力でトンネル補助工法の削孔

鹿島とドリルマシンは共同で空気力を利用した削孔工法WALDIS (WaterLess Drilling System,ウォールディス)を開発した。

同工法は、ドリルジャンボによる補助工法の施工時に用いていた削孔水に替わり、エアーを用いるもの。削孔水を用いることによる、周辺の地山の劣化や予定された直径以上の孔が空いてしまうといった不具合が解消されるとしている。

インナー管に圧縮空気を送り込むための装置(スイベル)を装着し、先端部分に圧縮空気を送り、土が詰まるのを防止し、また、先端部分に当たった圧縮空気が、その反動により鋼管とインナー管の間を逆流する仕組みを開発した。これにより発生する強い吸引力により土を排出するシステムとなっている。同システムは、設計どおりの孔を構築できるので、地山のゆるみ防止や切羽安定、地表面沈下防止が確実に行うことができ、また、トンネル汎用機械であるドリルジャンボがそのまま使え、特別な重機を必要としない。

同システムは、2006年度に試験施工を行い、削孔水を用いた場合の課題をすべてクリアしていることを確認し、本施工にも適用され、その効果を確認している。



山岳トンネル小委員会支保WG打合せ会：4/27(服部修一主査ほか5名)事例調査原稿を査読
都市トンネル小委員会Q&A施工WG：4/25(中島泰彦幹事ほか17名)原稿を検討
保守管理小委員会：4/11(林康雄委員長ほか12名)活用事例を検討
計 4回開催 46名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：4/25(日月俊昭委員長ほか9名)理事会議題を検討
広報小委員会：4/12(大塚正博委員長ほか7名)方針を検討
同 打合せ会：4/24(土門剛委員ほか4名)方針を検討
会誌WG：4/4(大島洋志主査ほか11名)5月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会
海外文献紹介WG：4/9(大久保誠介主査ほか13名)海外文献を査読
ニュースWG：4/17(小島宗隆主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

計 6回開催 58名出席
合計 10回開催 104名出席

1. 会員の現状

	4月25日現在
正 会 員	2,208名
団体会員	415名
個人会員	1,793名
名 誉 会 員	1名
計	2,209名

2. 第185回理事会、第63回顧問・評議員会

日 時：平成19年4月25日(水)12:00~13:00

場 所：東京商工会議所8階「東商スカイルーム」

出席者：理事26名、監事3名、顧問2名、評議員26名

議 題：

- ①15名の入会と42名の退会を承認
- ②第33回通常総会議案(案)を承認

3. 委員会の開催状況(4月1日~30日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

共通技術小委員会資材機械検索リストWG：4/19

(末富裕二主査ほか8名)検索リストを検討

4. 国際会議の開催予定

会 議 名	開 催 日	場 所	主 催 者 等
第34回ITA総会およびコンGRESS「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 22~27	ニューデリー(インド)	CBIP(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling Association(国際トンネル協会) http://www.cbip.org

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

7月号予告[7月1日発売予定]

- 北陸新幹線 峰山トンネル
 - 沖縄県・豊見城東道路 豊見城トンネル
 - 東京メトロ副都心線 東新宿駅
 - 東京ミッドタウンプロジェクト
 - 東京都水道局 東南幹線豊洲立坑
- 【連載講座】
- シールド工事の施工に関するQ&A(1)

*内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆ようやく日本でもバイオガソリンの試験販売を開始した。このガソリンは、サトウキビやとうもろこしなどの植物原料から採取したエタノールを混ぜたもので、エタノールを利用する分、原油の消費が減り、温暖化ガス排出削減、原油依存の軽減が期待されている。アメリカ、欧州、ブラジル、中国ではすでに使われており、わが国では、サトウキビ生産が盛んな沖縄県がバイオエタノールの実験場となっており地域振興策の目玉として、エタノール生産の財政支援を予定している。

◆一方、穀物から採取するため、食料の高騰が懸念されている。環境問題や資源枯渇への懸念を背景に穀物をバイオ燃料に振り向ける動きが各国で強まっている。ブラジルではオレンジ畑を次々につぶし、サトウキビ畑に転作したり、アメリカでも大豆や菜種の畑からとうもろこし畑への転作が行われている。この影響が、4月にオレンジジュースの値上げ、5月にマヨネーズの値上げにつながった。今後、中国などの経済成長や発展途上国の人口増で食料需要がどんどん増えるうえ、オーストラリアでは湖が干しあがるほどの大干ばつで小麦の値上げ、水産物においてもマグロの漁獲制限をはじめとした資源の制約など、ますます食料品の値上げが懸念されている。食料自給率が低いわが国では将来に向けて自給率を高めるのか、食料輸入先の確保を優先すべきなのか政府内でも意見が分かれている。

◆われわれは、食料なしでは生きていけません。食料品の値上げは家計を圧迫し、消費意欲をなくし、回復傾向にある経済を逆戻りにさせてしまうのでは、われわれの子孫のために住みよい地球であることを願います。

(K.Y)

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

トンネルと地下

第38巻 第6号 [通巻442号]

ISSN 0285-631X

Tonneru to chika

平成19年5月20日 印刷

平成19年6月1日 発行

社団法人日本トンネル技術協会

会長 小森 博

〒104-0041 東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)

TEL: 03-3553-6174

FAX: 03-3553-6145

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

発行所 株式会社土木工学社

〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16

番地メジャー神楽坂

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。

マックス・シェルレ 著

推進工法の理論と実際

野田典宏 訳 中本 至・石橋信利・金城英夫 監修

B5判 437頁 税込 8,925円 送料450円



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

〈主要目次〉

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

推薦のことば

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

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

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

中本 至・石橋信利・金城英夫

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

株式 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

《書籍申込書》

推進工法の理論と実際 冊 申し込みます

住所(〒)

事業所名

TEL

部課名

申込者

㊞

【好評発売中】

シールドトンネルの新技术

シールドトンネルの新技术研究会編 代表 鈴木 章
B5判 約280頁 本体価格4,660円 送料 340円

〔推薦の言葉〕

東京都技監兼下水道局長・工学博士 村田 恒雄

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

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

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

目 次

第一章 概説 1. シールド工法の変遷と将来の技術開発の方向性○シールド工法の歴史○シールド工法誕生以前のトンネル工法○シールド工法の登場 2. わが国におけるシールド工法の歴史○シールド工法の導入と発展の経緯○シールド工法の現況 3. 今後の技術開発の方向性

第二章 調査・計画編 1. シールド工法の調査技術 2. 断面および線形計画 3. シールド機種の種類と選定 4. 新しいシールド工法

第三章 設計・施工編 1. 覆工○一次覆工の設計○二次覆工の設計と施工○シールドトンネルの防水技術 2. 立坑の設計と施工設備○立坑の設計と施工○シールド機の構造と装備○仮設備の計画○シールド工事による自動化 3. 掘進と施工管理○シールド掘進と施工管理○シールド発進と到達○裏込め注入工法と注入効果○曲線施工と地中接合○補助工法の種類と選定 4. 近接施工と環境対策○近接施工と対策○アンダーピニングおよび支障物対策○シールド工事と環境対策○新工法の現状と将来展望○ECL工法 5. 切羽の安定と地盤変位防止○切羽安定の理論と実際○泥水式シールド工法の切羽安定○土圧シールド工法の切羽安定 6. 地盤変位の理論と実際

付録 1. セグメントの設計例 2. 地盤変位予測解析手法の例 3. シールド工事の施工計画



株式会社 土木工学社

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

きりりとーりー線

《ご 注 文 票》

シールドトンネルの新技术 _____ 冊 申込みます。

所在地 〒 ()

事業所名 _____

部 課 名 _____

申込者名 _____

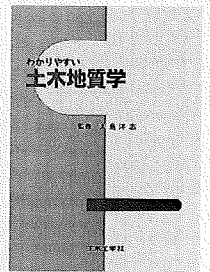
土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい 土木地質学

大島洋志 監修

B5判 209頁 税込2,625円 〒340円



主要目次

序 編 トンネルと地質の関わり

1. 地質学とは、応用地質学とは 2. トンネルと地質

第I編 トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第II編 トンネル工事と地質条件

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

第III編 地質調査法

1.地形・地質調査一般 2.既存資料調査 3.空中写真判読 4.地質踏査 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・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判 444頁 税込10,290円 送料450円

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

A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

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

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

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

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



株式会社 土木工学社

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

TAIKU



CL301E型 カッタローダ

強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

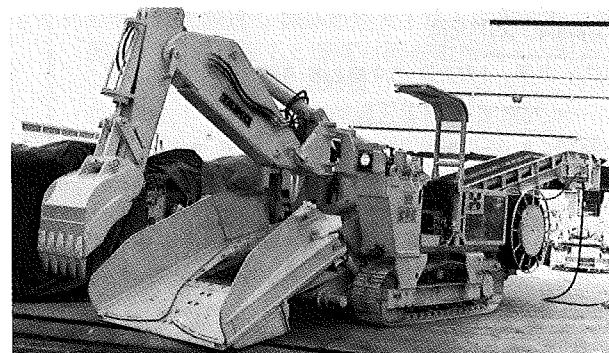
特長

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

トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に、なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

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

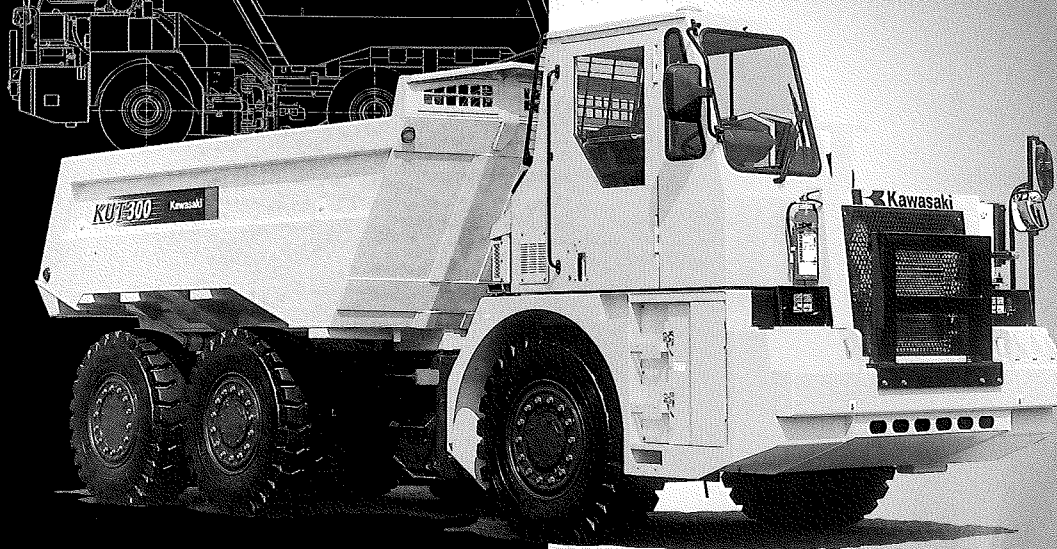
製造・販売・レンタル 株式会社 **タイクウ**

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

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!

KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



コンパクト

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

大出力

- クラス最大級のエンジン出力
 - ・212kW/2,300min⁻¹

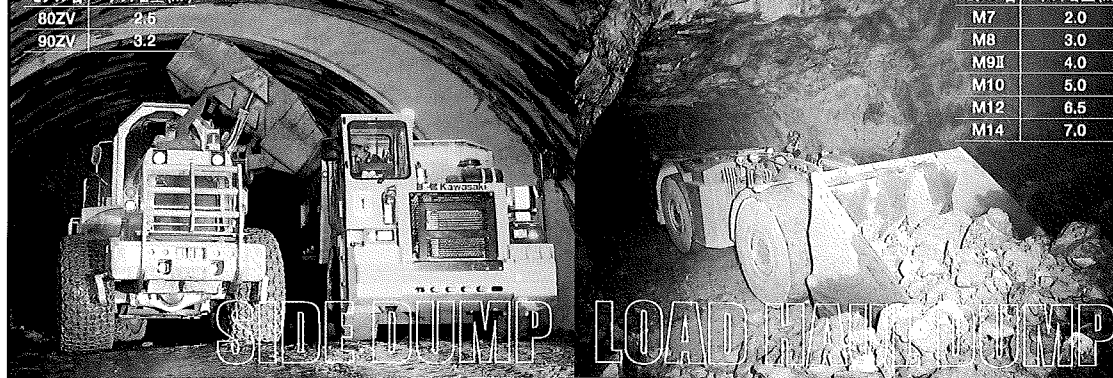
グリーン

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

安全

- 安全性
 - ・4段階調整式リタダ
 - ・後方カメラ&モニター

■両サイドダンプ すぐり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい



モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.6
90ZV	3.2

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/>