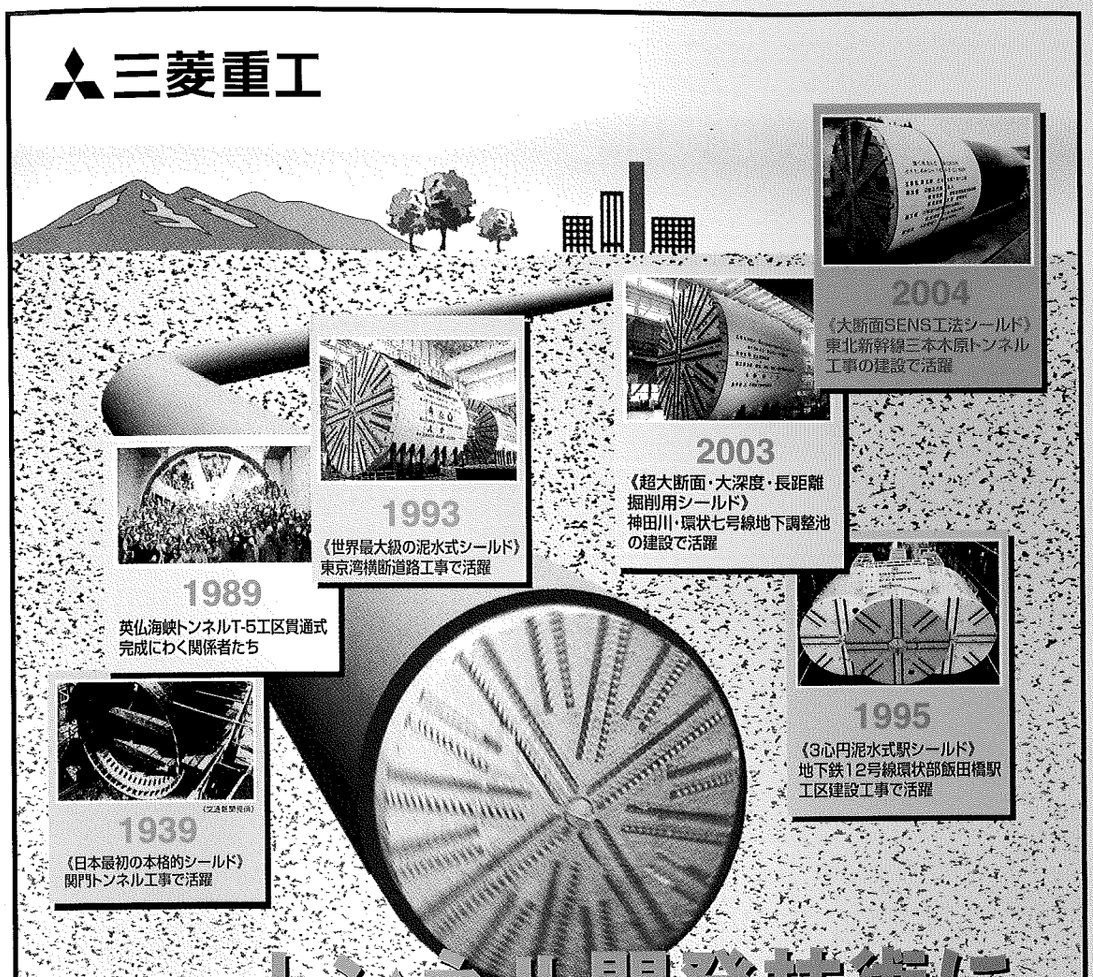
トンネルと地下　平成19年2月1日発行第38巻第2号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

三菱重工



トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。

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

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-2
4910066190279
01500

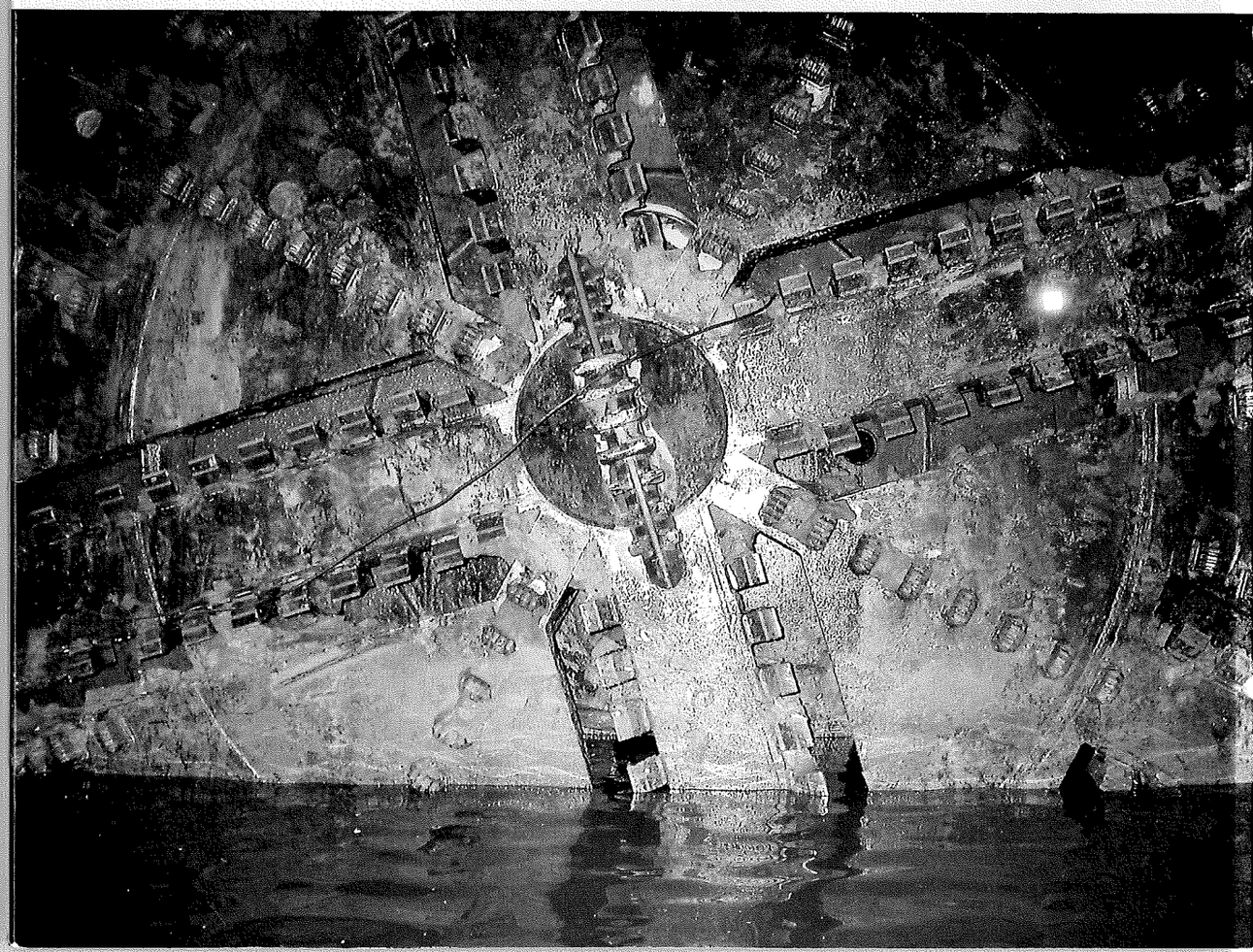
昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年2月1日発行（毎月1回1日発行）　第38巻第2号　通巻438号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 2

vol. 38
no. 2
2007

地すべり地帯で小土かぶりのトンネルを掘る
土かぶり1,000m，6 MPaを超える高圧湧水下で貫通
到達立坑内に3,000tの水を張りシールドを引き抜く
小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設
数値解析による地表面沈下の評価に関する一考察

日本トンネル技術協会誌



世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

安全性・経済性・高品質

デンカナトミック
吹付けコンクリート用急結剤

一般吹付け・高品質吹付け

デンカナトミックTYPE-5

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

高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10

・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

瞬結吹付け・初期高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

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

優れた低粉じん吹付け

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

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

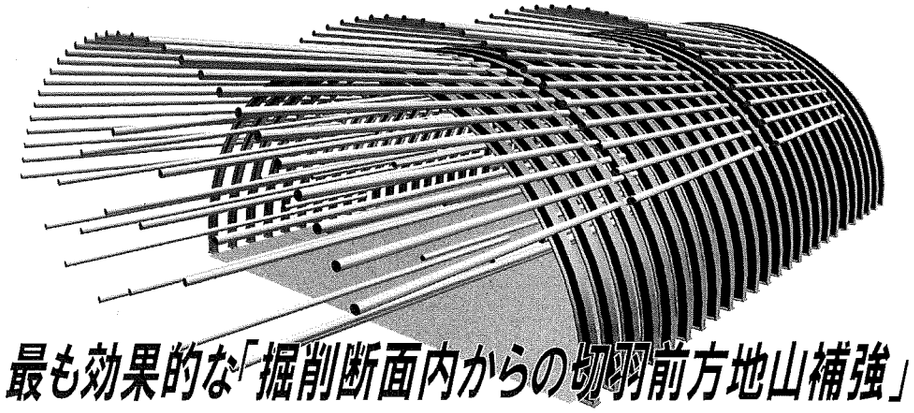
◆トンネル関連製品
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・デンカクリアップ･･･吹付けコンクリート用粉じん低減剤
・デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材
・デンカパワーCSAタイプS／タイプR･･･コンクリート用膨張材
・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

DENKA
電気化学工業株式会社
特殊混和材事業部
東京都中央区日本橋室町2-1-1
電話 03-5290-5558

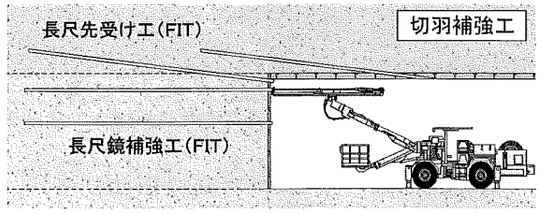
全方位 GFRP 管長尺補強システム

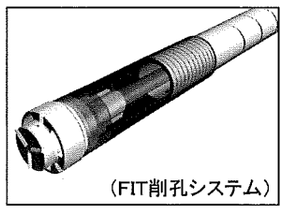
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

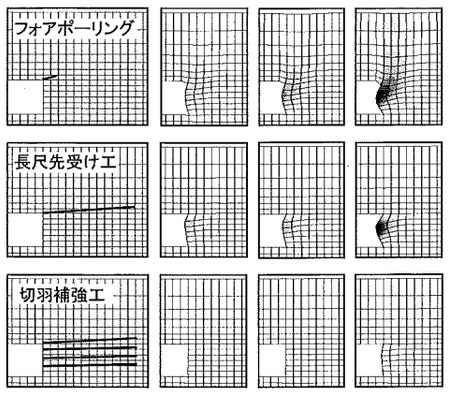
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE

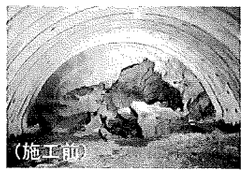


最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」




(FIT削孔システム)




(施工前)


(FIT工法施工後)


(施工前)


(FIT工法施工後)

(数値解析による切羽補強効果の検証例)

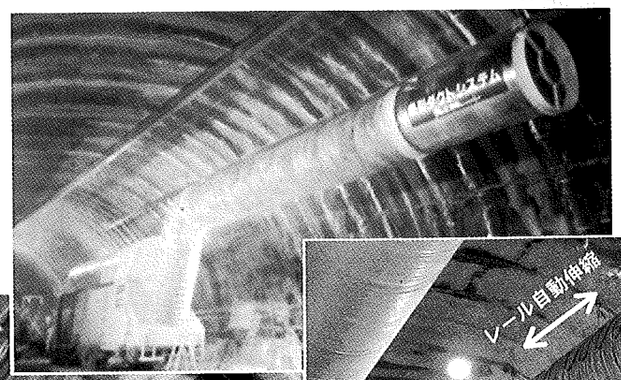
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー

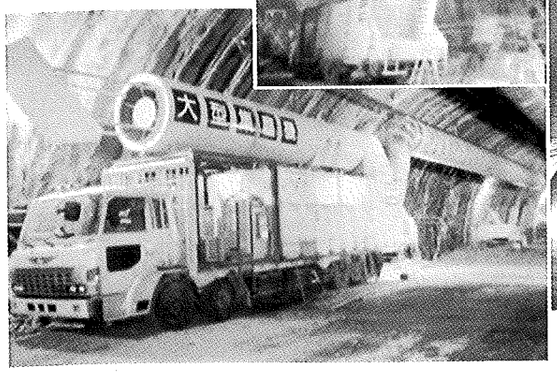
東京土木営業部	TEL(03) 3798-8511	FAX(03) 3798-8516
大阪土木営業部	TEL(06) 6363-1884	FAX(06) 6313-0755
名古屋支店	TEL(052) 223-1050	FAX(052) 223-1059
札幌支店	TEL(011) 751-4681	FAX(011) 751-4682

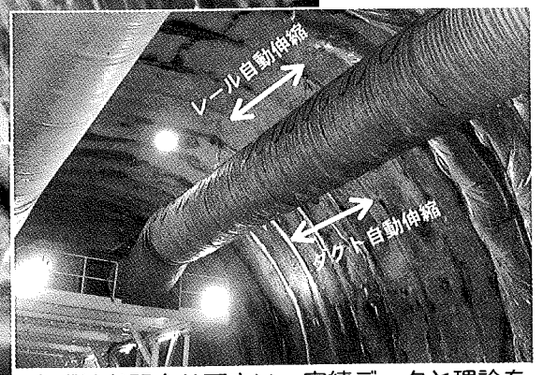
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア(※)0.5mg/m³達成!!

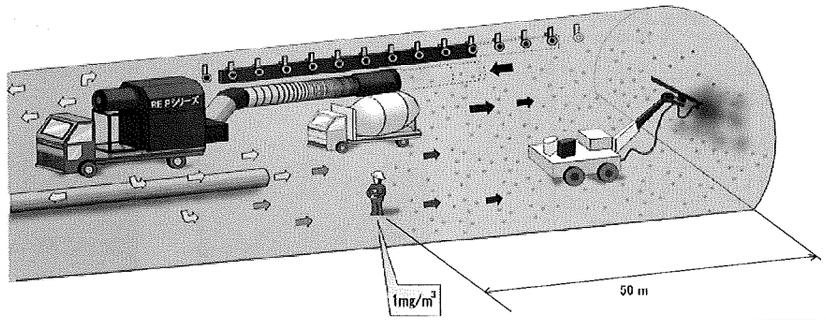






まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- 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応。操作にお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- 適応外径はΦ600～Φ1800、負圧－2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。

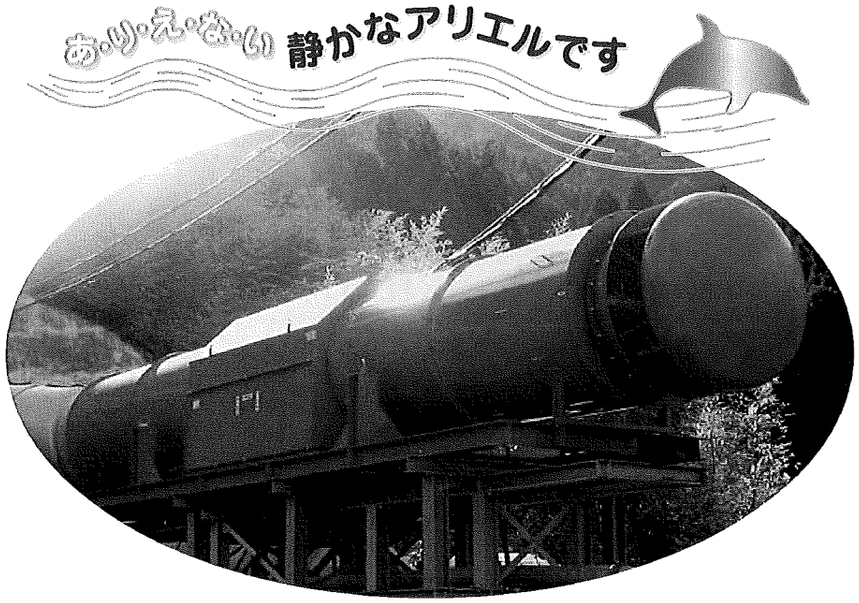


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400（代） FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680（代） FAX：0296（37）7681

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

今時、静かなのは当たり前!!



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

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

超低騒音：**エアロMAX 最小値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。
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたってつちかって参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×２～200kW×２の幅広い揃えで対応致します。
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

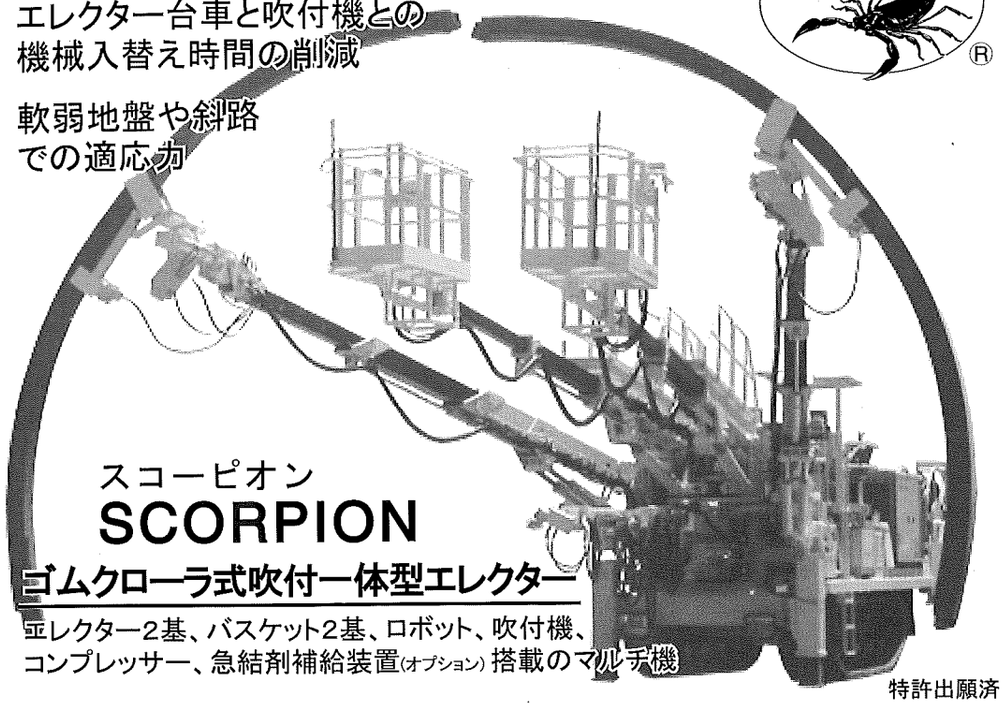
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400（代） FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680（代） FAX：0296（37）7681

Tonneru no Rental

エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

軟弱地盤や斜路
での適応力

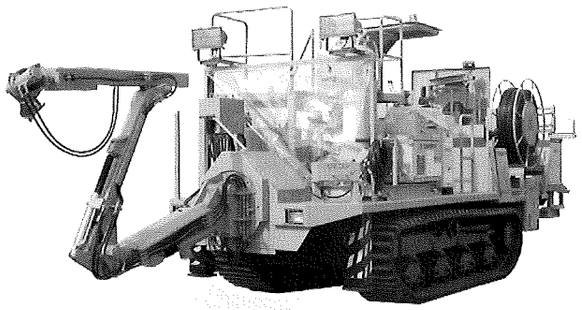


スコーピオン
SCORPION
ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

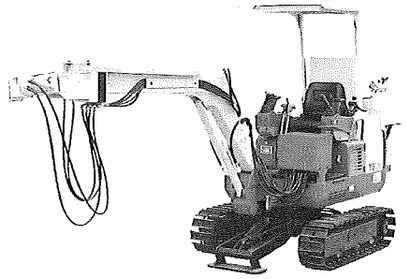
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL：小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機



MR：小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

ホームページにアクセス下さい 機械図、動画

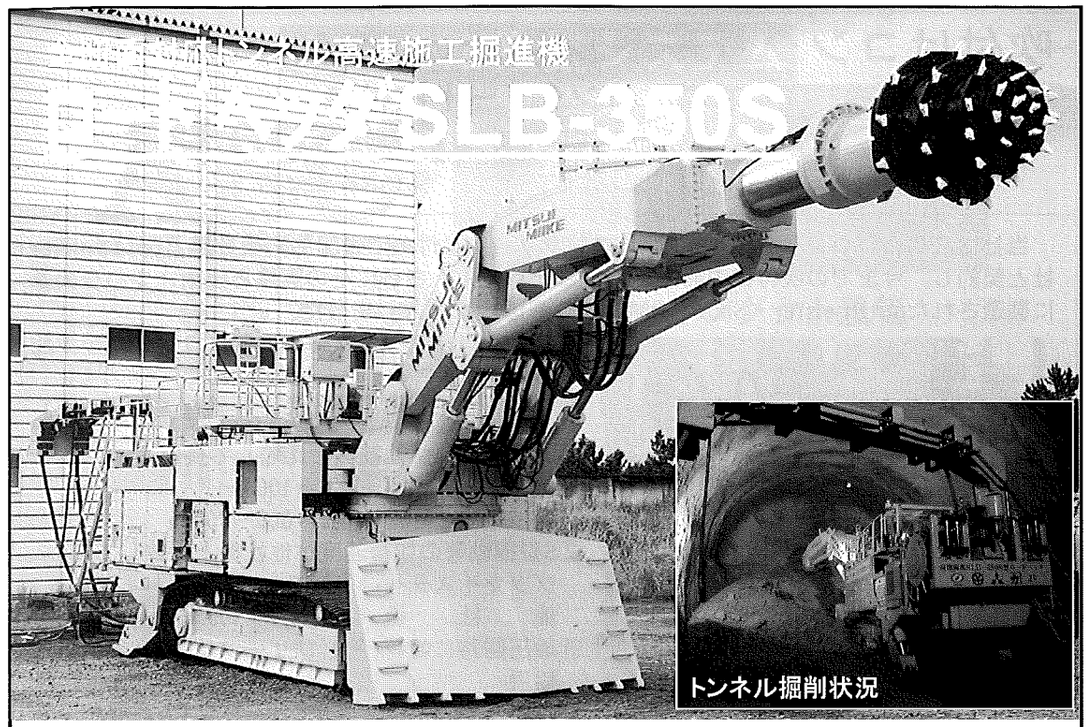
URL http://www.tonneru-rental.co.jp/

株式会社 トンネルのレンタル

〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地２８６－１

TEL 0268(62)1426　FAX 0268(62)1999

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



トンネル掘削状況

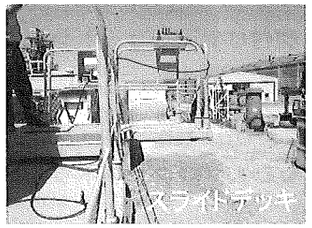
高速施工掘進機

SLB-350S

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充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[※1,2]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。



スライドデッキ

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

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／〒103-0021 東京都江戸川区中央１丁目13番19号
TEL. 03-3241-4711　FAX. 03-5678-4105

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

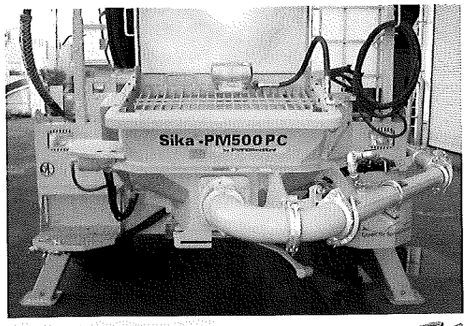
製造元 販売元 株式会社 三井三池製作所　本店／〒103-0022 東京都中央区日本橋室町2丁目1番1号 三井ビル2号館
産業機械部 TEL. 03-3270-2006 FAX. 03-3245-0203
http://www.mitsuimiike.co.jp　E-mail koken@mail.mitsuimiike.co.jp

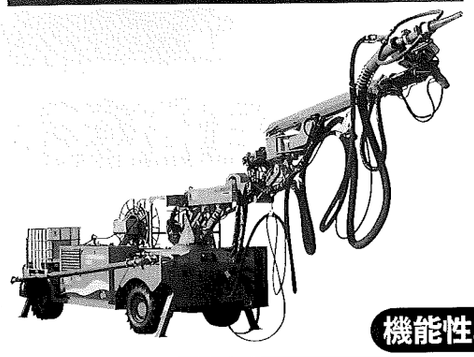
吹付けコンクリートシステム

Sika® PM
Experts on Sprayed Concrete

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

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





特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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

コンパクトで群を抜く使いやすさ！

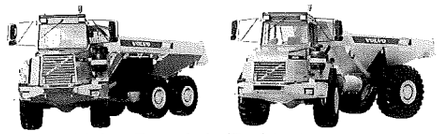
機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

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

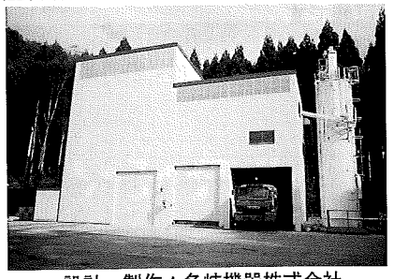
VOLVO ダンプトラック
（A25C–TS，A25C–TR，A20/30C–T）



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

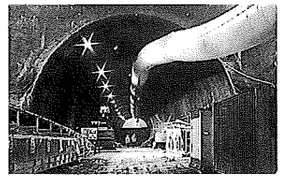
バッチャプラント
（全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型）

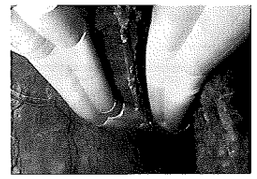


設計・製作：名岐機器株式会社

トンネル換気システム

ABC VENTILATION SYSTEMS





●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管

総代理店　東友エンジニアリング株式会社

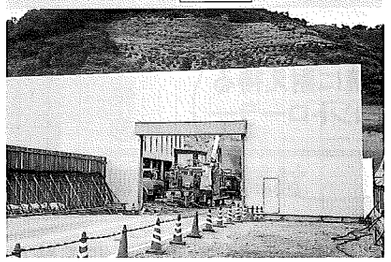
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



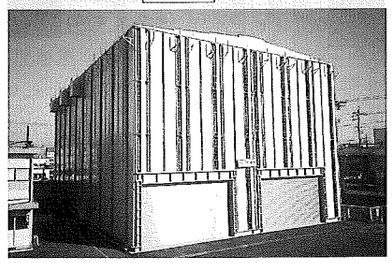
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



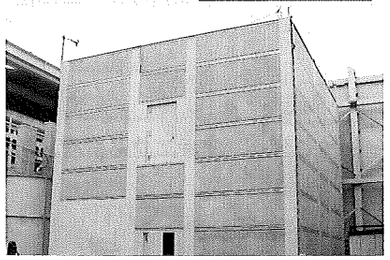
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

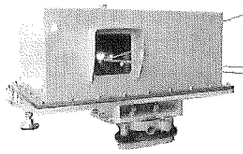
東友エンジニアリング株式会社

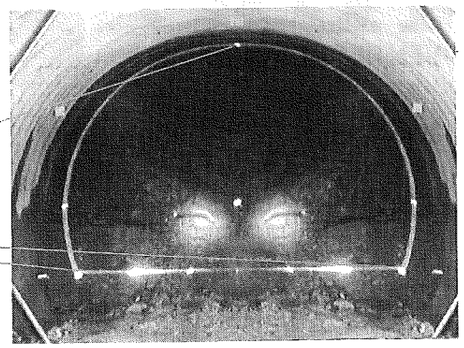
〒102–0073　東京都千代田区九段北 3–2–5　TEL：03–3234–8901　FAX：03–3234–8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03–5226–5971　FAX：03–5226–5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299–27–6211　FAX：0299–27–6233

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

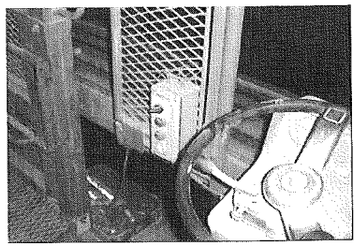
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





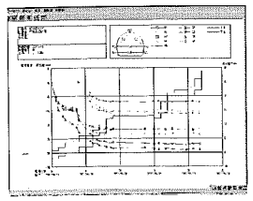
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



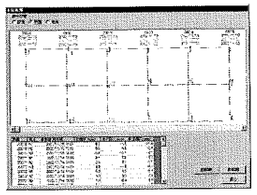


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

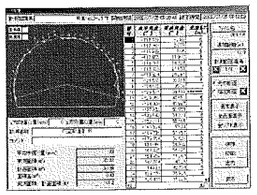
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



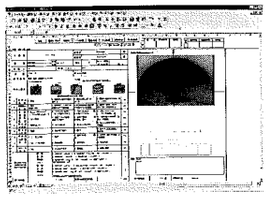
A計測データ処理



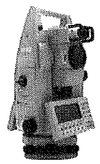
支保工立込精度、変形量



内空、巻厚検査



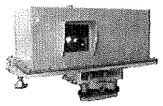
切羽観察、etc















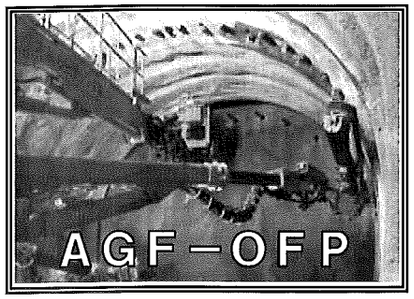
豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。

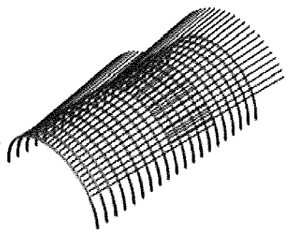
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191　FAX (047) 371-3190

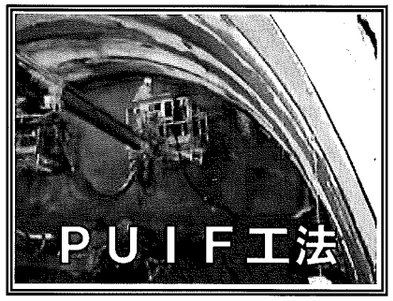
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

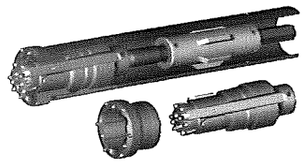
トンネル補助工法【岩盤固結材他】

トンネル補助工法における資材の製造・販売

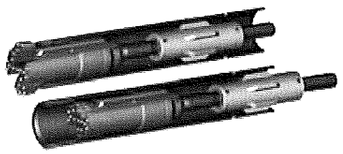




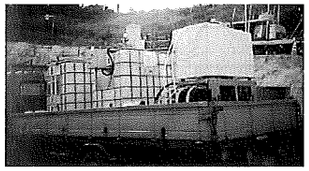








R（リサイクル）コンテナシステム



◎環境に配慮した注入システムであり１斗缶の産業廃棄物処理が無くなります。
◎R（ﾘｻｲｸﾙ）コンテナが工場と現場を往復します。



岩盤固結材

New−TSRF



New−TBU



NTRフォーム



＊ 平成18年6月から東海ゴム工業㈱より岩盤固結材に関する事業を継承し製造・販売を行っております。

TMC 株式会社ティーエムシー

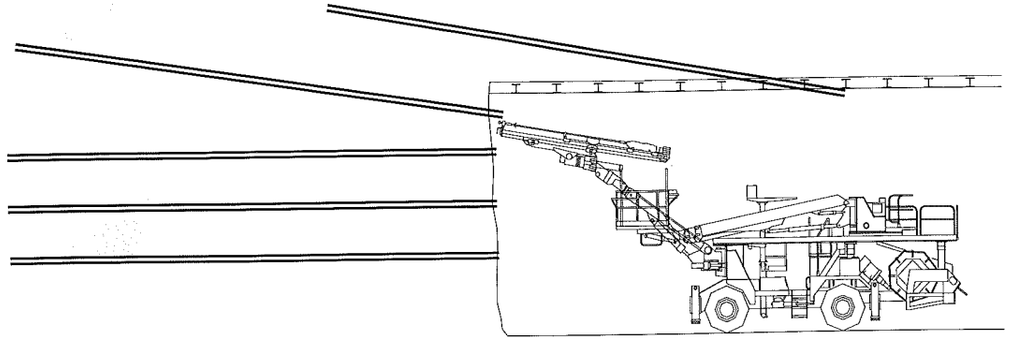
本　　社	〒116-0013	東京都荒川区西日暮里 5-23-3　冠第２ビル 5F	TEL. 03-3891-8211	FAX. 03-3803-6380
大阪支店	〒578-0903	大阪府東大阪市今米 1-2-1　中辻第３ビル 3F	TEL. 072-966-6280	FAX. 072-966-5720
仙台支店	〒984-0826	宮城県仙台市若林区若林 2-5-5　SK ビル 3F	TEL. 022-286-5111	FAX. 022-286-5113
名古屋支店	〒486-0844	愛知県春日井市鳥居松町 4-165　春日井中央ビル 4F	TEL. 0568-56-4288	FAX. 0568-56-9219
九州営業所	〒839-0809	福岡県久留米市東合川 3-12-40 ｱｲ･ﾘﾘｭｰｼｮﾝﾋﾞﾙ 1F	TEL. 0942-40-8151	FAX. 0942-40-8152
富山営業所	〒933-0806	富山県高岡市赤祖父 707　古川ビル 2F	TEL. 0766-29-0001	FAX. 0766-29-0002

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



アルカリフリー型液体急結剤

AFK－777J

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

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



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

KATECS

発泡型シリカレジン

SR－L

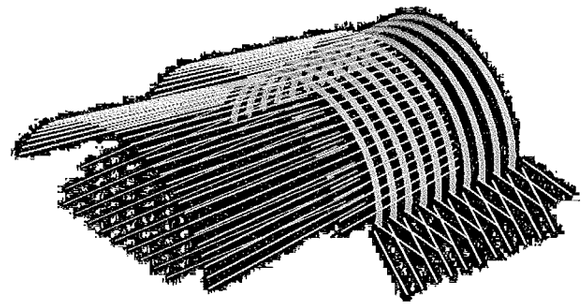
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

注入式長尺先受工法

AGF工法
AGF－P工法
AGF－S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

KATECS
株式会社 カテックス 建設資材事業部
http://www.katecs.co.jp/

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

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

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

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

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

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

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

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

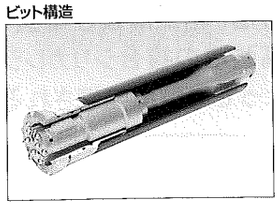
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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

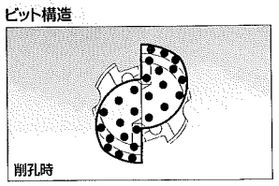
ビット構造

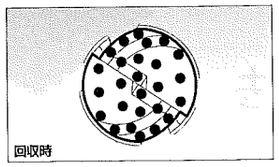


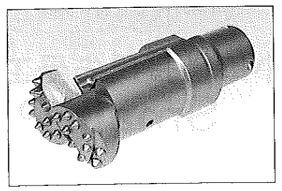
●スーパーメックスビット（SMB）打撃削孔式拡縮径タイプ

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

ビット構造





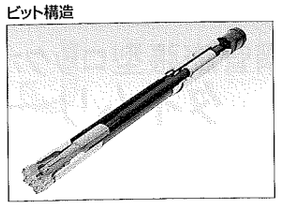


●スモールP（Small-P）システム

●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

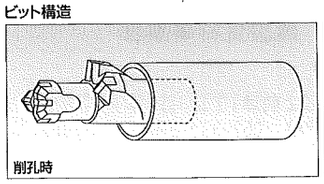
ビット構造

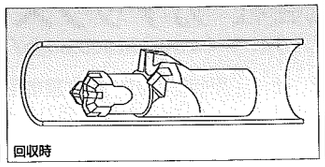


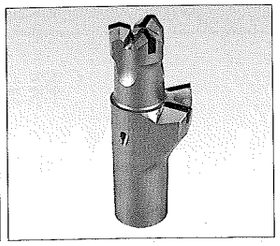
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

・軟質層等軟岩用簡易拡径
・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







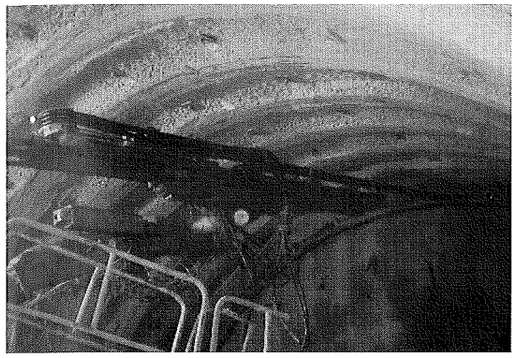
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

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

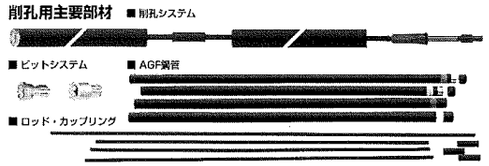
ＴＦＴのトンネル資材

▼ 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。



削孔用主要部材



フレキシブルで使いやすい引込方式

■ TDタイプ



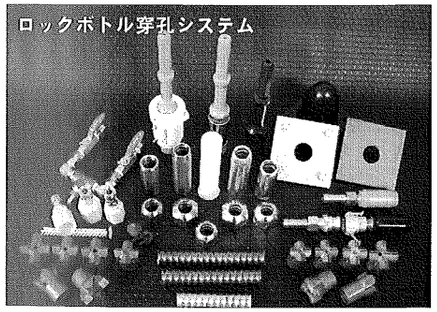
■ CX（コンセントリック）タイプ



▼ 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～φ65㎜と広く準備されています。

品　名	外径㎜	断面積㎟	引張荷重	降伏荷重	せん断荷重
TF22	31.5	375	235kN (24Tf)	196kN (20Tf)	125kN (12.7Tf)
TF26	31.5	420	274kN (28Tf)	215kN (22Tf)	176kN (18.0Tf)
TF32	34.0	500	353kN (36Tf)	274kN (28Tf)	216kN (22.0Tf)





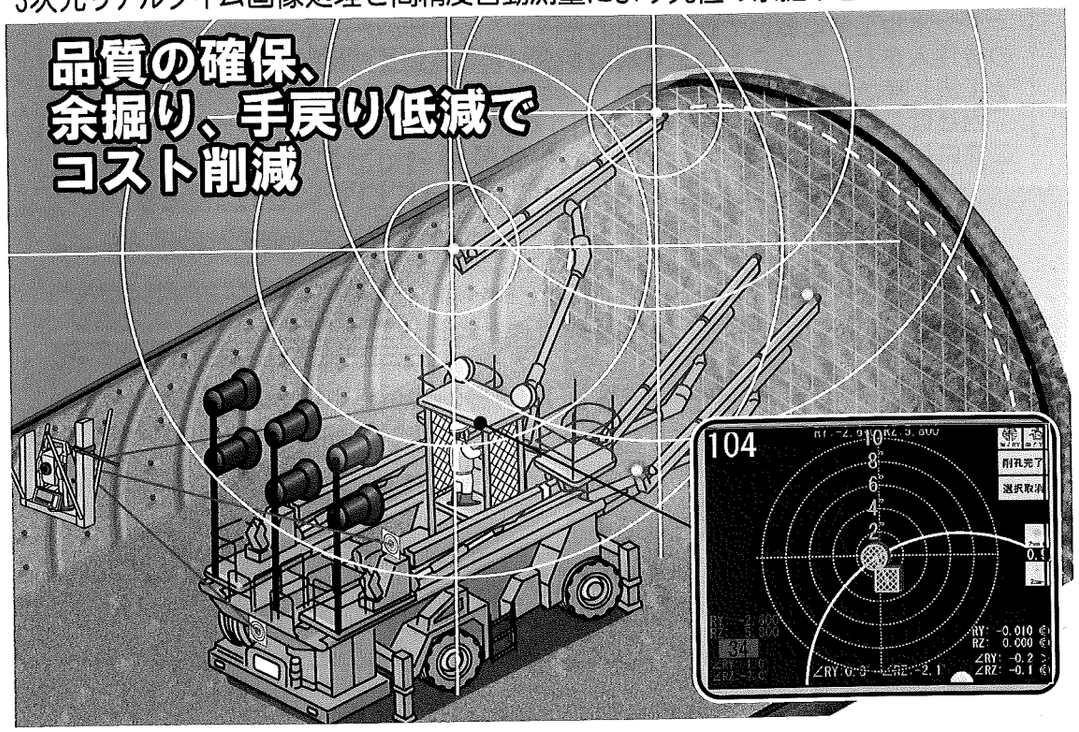




TFT
Tube Forming & Technological
株式会社 ティーエフティー
〒220-0051　神奈川県横浜市西区中央１丁目29番16-201号
Tel 045-320-1701　Fax 045-320-1702

ジャンボナビゲーションシステム

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



★最適な削孔位置、角度の割り出し

3次元リアルタイム画像処理技術によりガイドセルの位置、角度を正確に把握

★オペレーターの作業性UP

最適Pointを運転席モニターでガイダンス

★削孔情報のデータベース化

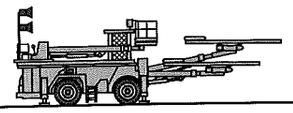
データは数値化され、データベースとして蓄積、次の削孔に活用

★リアルタイムモニタリング可能

オンライン化により事務所でも同時にデータ閲覧が可能

★従来のジャンボがグレードアップ

お手持ちのジャンボに搭載が可能



株式会社 演算工房 http://www.enzan-k.com/

enzan KOUBOU

■京都本社 〒604-0847 京都府京都市中京区秋野々町535番地 日土地京都ビル4階 TEL. 075-213-7200 FAX. 075-213-7201

■東京office 〒101-0054 東京都千代田区神田錦町三丁目15番5号 川崎パークビルⅠ7階 TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589

自削孔 NTロックボルト PAT.P

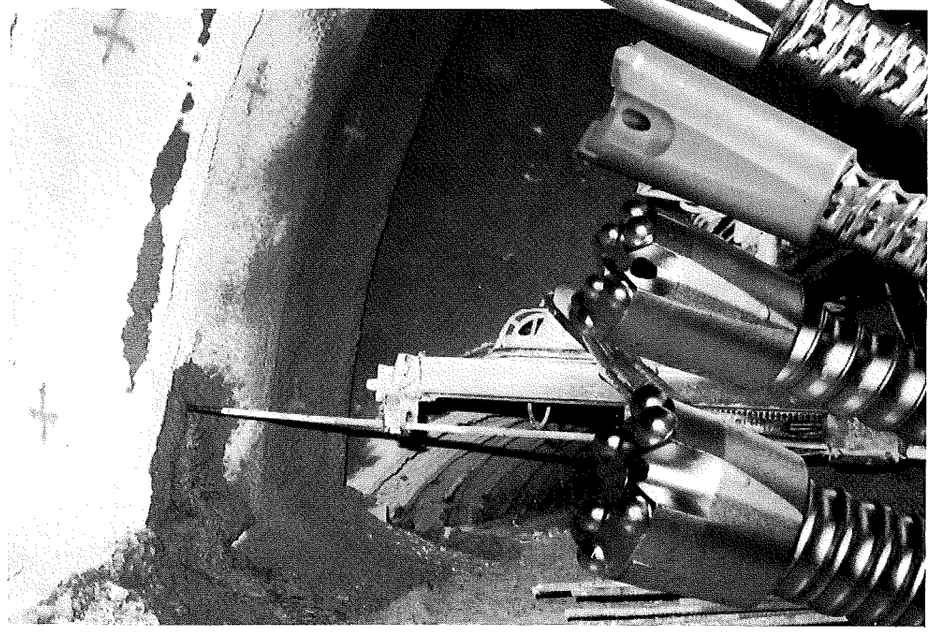
(特　徴)

自削孔：削孔時には、ビットとロッドの役割をなし、削孔後には、中空ロッド内からグラウト材を充填し、完了するもので、中空ロッド自体がロックボルトの役割をなす。

施工性：スイベルスリーブを使用し、グラウト材をフラッシングとして、削孔すれば、削孔完了が注入完了となり、施工性が大幅に上昇する。

左ネジ：削孔時のズリ排出が容易。
グラウト材との付着が良く引抜き抵抗が高い。
全長左ネジで、カップリングで接続でき、長尺ボルトの打設が可能。

多様化：適応地山、使用目的に適応した4種類のロックボルトと各種ビットがある。



ＮＴロックボルト本体仕様

種　類	ＲＢ－３０	ＲＲ－３２	ＲＡ－４０	ＦＰ－７３
材質及び形状	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、ロープネジ	特殊鋼、台形ネジ	特殊鋼、台形ネジ
寸　法	28.5D＊11d(P13.0)	31.0D＊16d(P12.7)	39.6D＊18d(P13.0)	72.0D＊54d(P8.0)
重　量	3.5kg	3.5kg	6.6kg	12.5kg
耐　力	≧19ｔｆ	≧19ｔｆ	≧35ｔｆ	≧60ｔｆ
破断荷重	≧25ｔｆ	≧25ｔｆ	≧50ｔｆ	≧80ｔｆ

製造元 **日東鐵工株式会社**

本　　社　〒142-0043 東京都品川区二葉４－１－20 ＭＣ中延ビル
ＴＥＬ　03－5702－０１６１(代表)
ＦＡＸ　03－5702－０　１　６　５

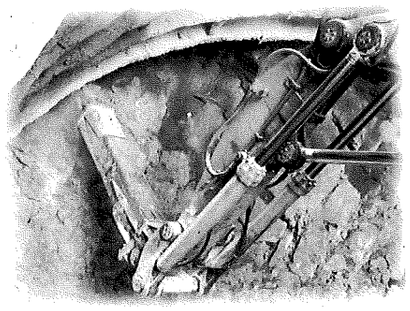
中国営業所　〒700-0824 岡山県岡山市内山下1-5-11 ＹＡＦ内山下ビル
ＴＥＬ　086－234－４　８　０　０
ＦＡＸ　086－234－４　４　０　０

相模原工場　〒229-1112 神奈川県相模原市宮下１－１－38
ＴＥＬ　042－773－４１１１(代表)
ＦＡＸ　042－774－０　９　３　９



サンドビックトーヨーは、高速さく孔と
作業環境改善の実現をお約束します

新型高性能ドリフター
HLX5



TOYO EJC Rammer®
TAMROCK TORO

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

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

拡大された能力。
継続的なお客さまへの
コミットメント。



www.oricaminingservices.com

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

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

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

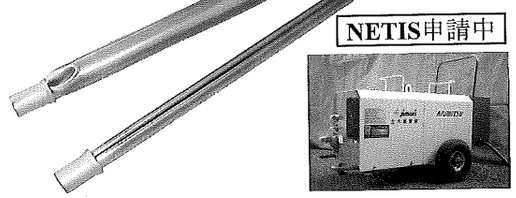
皆さまには、◇さらなる技術投資、◇供給のより高い安定性に向けて、より広範囲の製品およびサービス、ならびに拡大された製造施設／サプライポイント・ネットワークへのアクセス、◇爆薬、技術サービス、ANおよび起爆システム製品の信頼できるデリバリー――をご期待いただけます。

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

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

ORICA MINING SERVICES













fujimori

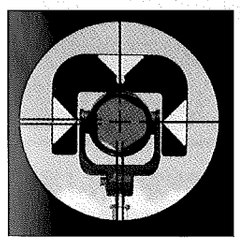
フジモリ産業株式会社

〒141-0022
東京都品川区東五反田２－１７－１
オーバルコート大崎マークウエスト９F

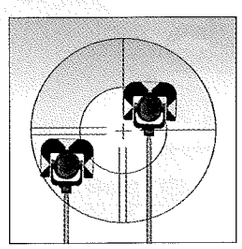
URL　http://www.fujimori.co.jp

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

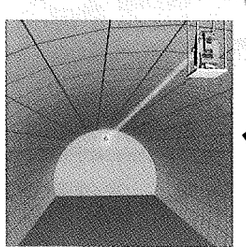




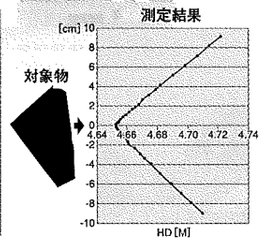
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



ノンプリズムの距離延長
新特許技術PinPointR300によりノンプリズム測距範囲500m*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 第三博多偕成ビル6F	Tel.092-432-8201	Fax.092-432-8221
札幌出張所	〒063-0829 札幌市西区発寒9条13丁目1-10 プレサント発寒ステーション3F	Tel.011-669-1101	Fax.011-669-1102

Leica Geosystems

Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

カナレックスML

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

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

2.可とう性に優れる
- 上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

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

4.摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ



ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・意匠出願中

接続はカンタン



管路に継手差口をねじこみ　継手受口に差しこむだけ　これで接続完了。

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

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

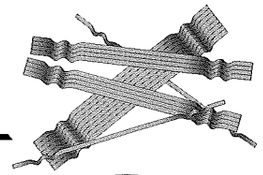
TVコマーシャル放映中　テレビ朝日系「サンデープロジェクト」（日曜　朝10:00～11:45）

カナフレックス コーポレーション株式会社　ISO 9001認証取得
株式会社 インテック
東京本社　〒106-6117　東京都港区六本木6-10-1（六本木ヒルズ森タワー17F）
TEL(03)5770-5111　FAX(03)5770-5130
大阪本社　〒530-6017　大阪市北区天満橋1-8-30（OAPタワー17F）
TEL(06)6881-0767　FAX(06)6881-0769
営業所　札幌・仙台・横浜・金沢・名古屋・神戸・広島・高松・福岡・鹿児島
直営工場　北海道・仙台・栃木・千葉・滋賀・愛東・広島・四国・九州

BRIDGESTONE　厳しい条件下の施工に迅速な対応・信頼のブランド

コンクリートをより強く、よりしなやかに。

タフグリップ コンクリート補強用鋼繊維



地山不良

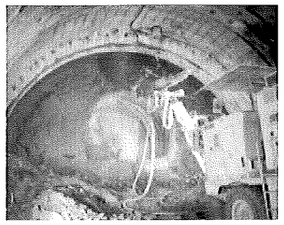
技術提案　トラブル対応

断層破砕帯
膨張性地山
変形増大

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

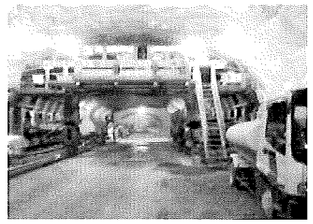
一次吹付

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



二次覆工

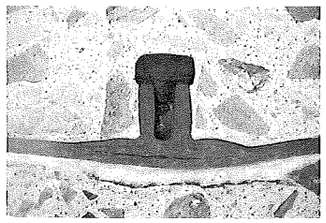
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

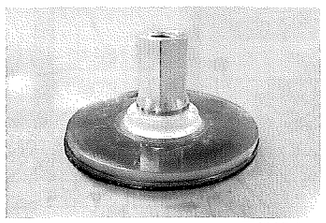
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



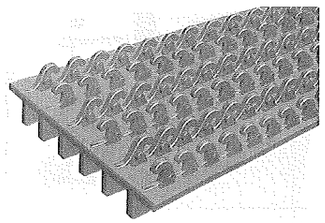
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

■ 容易な施工性

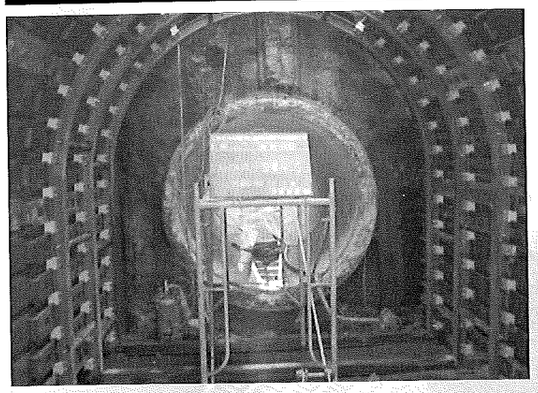


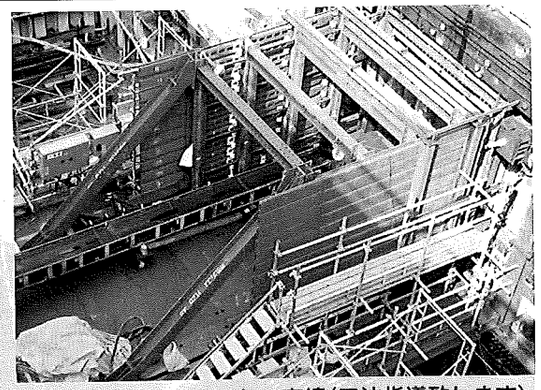
クイックバー

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

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績（工法指導致します）

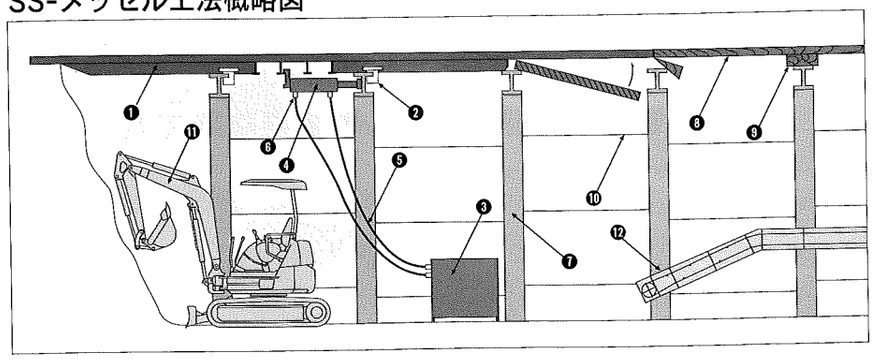
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



❶SS-メッセルプレート
❷スタビライザ
❸油圧ユニット
❹油圧ジャッキ
❺油圧ホース
❻油圧手許切換装置
❼支保工
❽木矢板
❾木製キャンパー
❿径間パイプ、タイロットボルト
⓫バックホウ
⓬ベルトコンベア

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

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

高品質・SEC・高強度対応型 吹付プラント

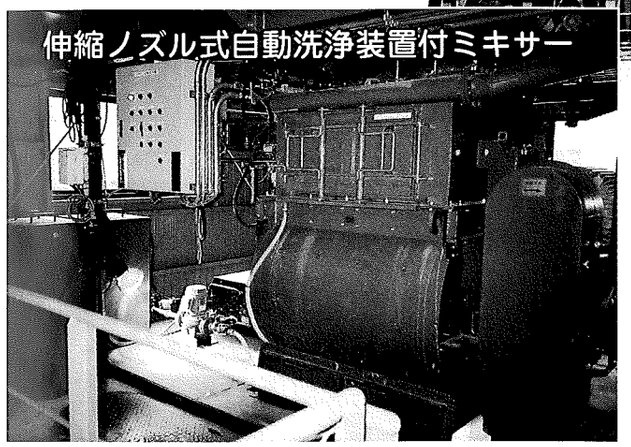
全自動式 バッチャプラント

吹付コンクリート用

自動スランプ調整装置

バッチャプラントの水分補正は名岐の自動スランプにおまかせ下さい。





MKS-500KBE-TME型

長工期トンネルに適し人件費の大幅削減！

生コン洗浄水処理装置

ミキサー洗浄水
トラミキ洗浄水
リサイクル

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

MK 名岐機器株式会社

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

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

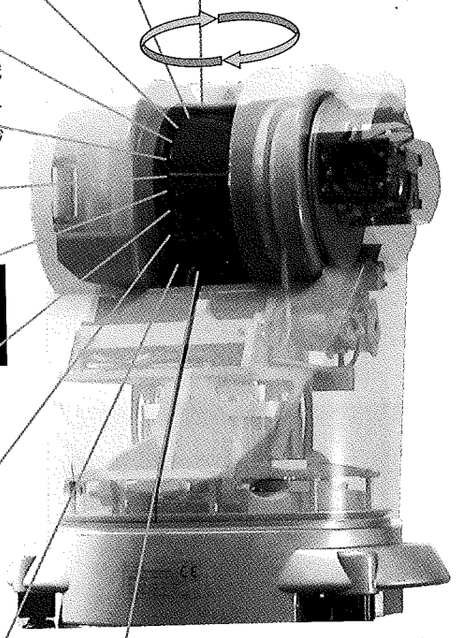
Callidus™ レーザースキャナー

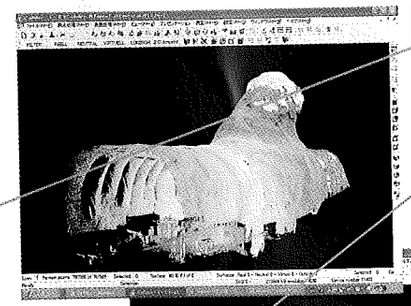
3次元トンネル断面計測機

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

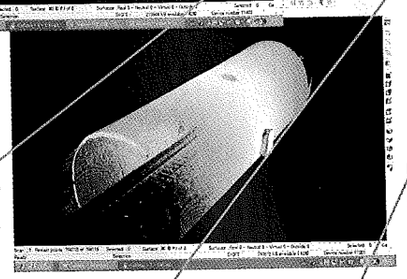
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン

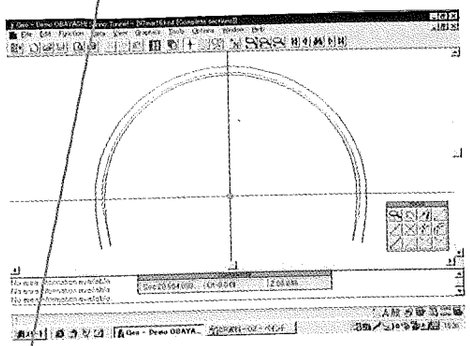




特殊なトンネル形状も対応可能です。



単独スキャンを合成し、トンネル全体を簡単に3次元表示できます。



データ解析および製図「GEOWIN」

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

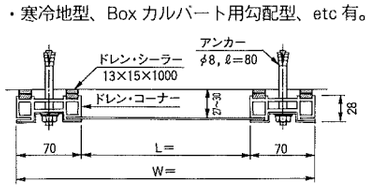
■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

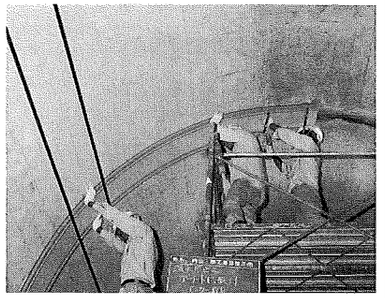
■ 製造元 トリンブルジャパン株式会社
〒135-0007 東京都江東区新大橋1−8−2
新大橋リバーサイドビル101
TEL：03-5638-5022 FAX：03-5638-5016

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

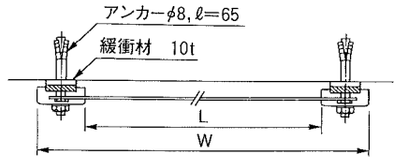
■特　徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

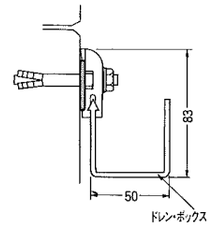
アーチ・パネル



JH水戸　大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン



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

ニホン・ドレン工業株式会社
〒910-2166　福井市小路町4 −12− 1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹

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

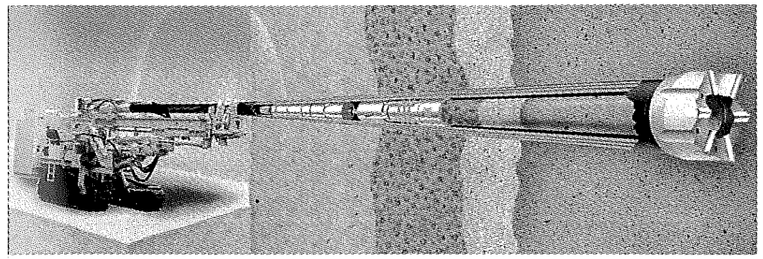
klea

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

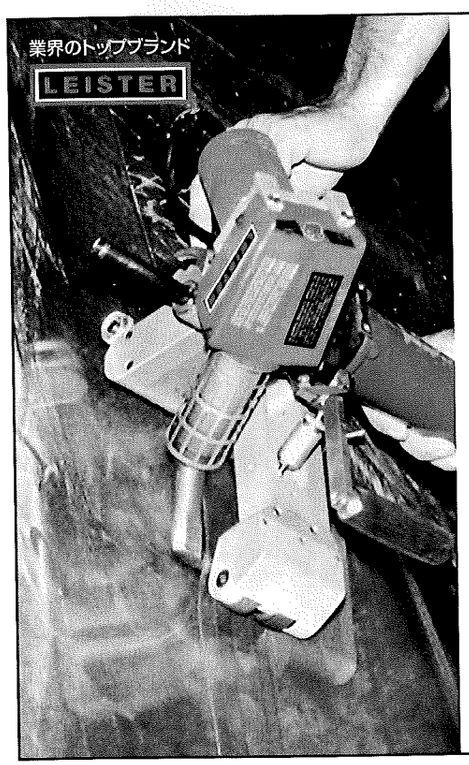
①断層破砕帯や湧水をともなう難地層のコアサンプリングをスピーディかつ確実に行え、施工時間が大幅に短縮できます。

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

KOKEN 鉱研工業株式会社

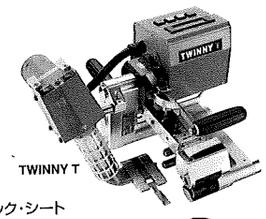
本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F
TEL (03)6907-7888(大代表) FAX (03)6907-7527

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



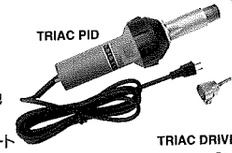
トンネル用防水・シート
(遮水プラスチック・シート)
熱風自動溶接機

特徴
- ●コンパクトで高い作業性を実現。
- ●高品質で安定した溶接仕上り。
- ●様々な土木・トンネル工事用途に適合するプロ仕様の製品を用意。



TWINNY T

使用用途
スイスのライスター社が製造する、遮水プラスチック・シート熱風自動溶接機は、シビル・エンジニアリングにおける様々な用途に使用されております。
- ●トンネル土木
- ●温水貯水池、養殖魚池
- ●アースダムのコア
- ●工業用貯水池、工業用沈殿池
- ●産業廃棄物最終処理場
- ●ゴルフ場のウォーターハザード


TRIAC PID


TRIAC DRIVE PID

ライスター社製品の総販売元
株式会社 ライスター・ジャパン
〒160-0022 東京都新宿区新宿5-8-8 カールツァイス新宿別館4F
TEL.03-5369-0352 FAX.03-5369-0353
E-mail:info@leister.co.jp URL:http://www.leister.co.jp

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

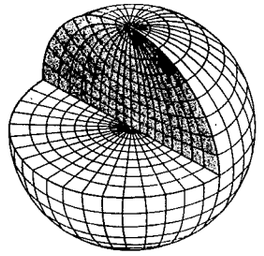
ブロック理論と岩盤工学への応用
R.E.グッドマン，G.H.シー著／吉中龍之進·大西有三訳
A5判 360頁 税込 5,097円 送料 340円

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術
ジェオフロンテ研究会 編纂
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 6116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

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



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

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

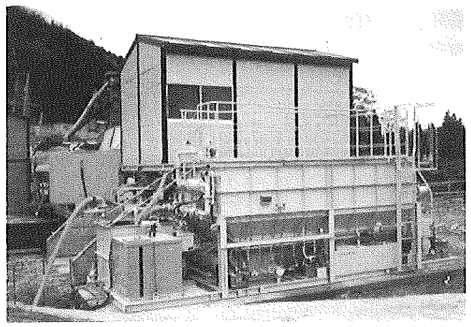
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名：古河機械販売株式会社)

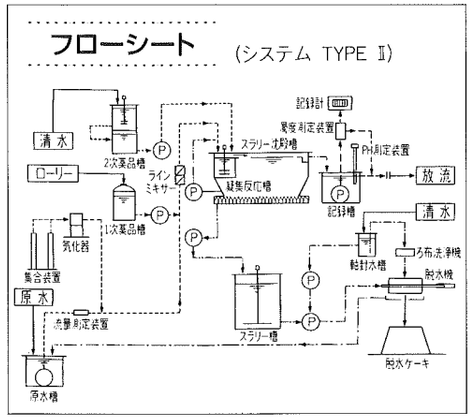
本　社　〒103-0022　東京都中央区日本橋室町２丁目３番14号　古河ビル　特機営業部　TEL：03-3231-6966

札　幌 ☎011-861-3261　東　北 ☎022-356-5771　関　東 ☎027-322-5953　名古屋 ☎0568-77-7700　静　岡 ☎054-620-1641
関　西 ☎06-6475-8221　広　島 ☎082-231-5621　四　国 ☎087-833-4833　九　州 ☎092-948-2010
整備工場　関東工場 ☎027-460-7011　名古屋工場 ☎0568-77-6363　大阪工場 ☎06-6475-8461　九州工場 ☎092-948-2010

TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力





特　長

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

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合せにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いＳＳ処理が出来る。複式沪板型の脱水機を採用していることから沪布等の消耗費が少ない。
又、加圧型脱水方式の為無薬注で脱水出来る。

3．シックナー内流速を最少にする設計であることより清澄度の高い処理水が得られ、再利用が可能である。

4．運転管理が容易である。
原水流入に合せた自動運転方式を採用している。パトライトによる異状警報装置を標準装備している。

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

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

6．豊富なオプション装置
高分子凝集剤の自動溶解装置
処理水返送装置（異状警報装置と連動）
炭酸ガス後中和処理装置
鉄分除去処理装置（エアレーション装置等）
スラリー再濃縮装置
脱水助材添加装置
自動沪布洗浄装置

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

Waste Water Treatment System

詳細資料請求、お問い合わせは

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

トンネルと地下　2月号目次　Vol.38, No.2, 2007 Feb.

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

■巻　頭　言

NATM雑感
山口　啓二……5

■研　　究

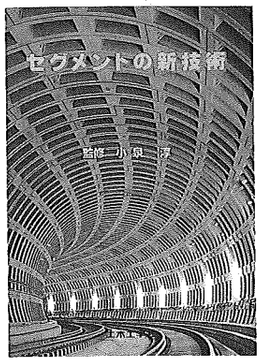
数値解析による地表面沈下の評価に関する一考察
森崎　泰隆・蒋　　宇静……43

■施　　工

地すべり地帯で小土かぶりのトンネルを掘る
―北陸新幹線　新木浦トンネル―
田中　健一・山口　豊秋・上塘祥二朗・岡本　典也……7

土かぶり1,000m，6 MPaを超える高圧湧水下で貫通
―東海北陸自動車道　飛騨トンネル先進坑―
森山　　守・寺田光太郎・松原　利之・築地　　功……17

到達立坑内に3,000 t の水を張りシールドを引き抜く
―地下鉄13号線　新宿工区―
西村　　聡・岡田　龍二・佐久間　穣・原　　忠……25



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B 5 判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設
―東京ガス　中央幹線―
木原　晃司・矢口　岳彦・木田　博光・上原　啓史……35

■連載講座

発破技術の現状（4）
―発破技術の基本（2）―
「発破技術の現状」連載講座小委員会……51

■資　　料

土木情報
編　集　部……16

トンネル千夜一夜(26)
小野田　滋……58

トンネルジャーナル
編　集　部……60

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……61

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……62

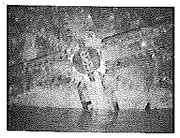
海外文献速報
JTA国際委員会……63

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……68

【表紙説明】

到達立坑内に3,000tの水を張りシールドを引き抜く
―地下鉄13号線　新宿工区―



地下鉄13号線新宿工区は，掘削外径φ6.76mの泥水式シールドで並列単線シールドトンネルを構築する．シールドは，新宿三丁目より発進して新宿七丁目の到達立坑でUターン・リフトアップして再発進し，新宿三丁目に戻る．工事では到達立坑内でのシールド引き抜き時の地下水出水，土砂引き込みの防止対策が必要不可欠であったため，種々の対策を検討した結果，立坑に水を張り，水中到達することで背面地山の地下水圧を抑え，土砂の引き込みを防止できると判断した．写真は，水中到達の状況である．

〔写真提供：東京地下鉄(株)〕(本文25頁参照)

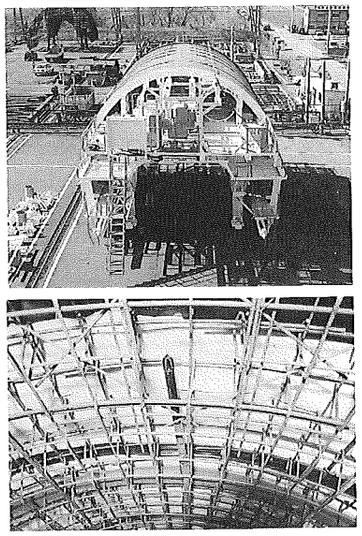
高品質なトンネル覆工に挑む

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

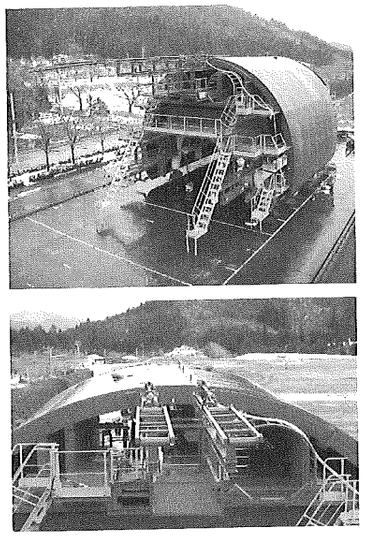
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



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。

GIFU KOGYO

岐阜工業株式会社

GIFU KOGYO CO.,LTD

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

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

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

会誌ＷＧの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大　島　洋　志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

伊　藤　範　行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

大　石　敬　司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木　吉治
東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長

鈴　木　　明
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部計画部計画課長

千　葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長　島　芳　雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長

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

濱　　建　介
株式会社アオバ取締役会長

松　尾　勝　弥
飛島建設株式会社土木本部トンネル統括部長

山　田　邦　博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

山　田　隆　昭
中日本高速道路株式会社中央研究所
トンネル研究主幹

山　道　哲　二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山　四　郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島　田　隆　夫
鉄建建設株式会社社友

高　橋　彦　治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田　島　利　男
NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット
トンネル担当

西　松　裕　一
東京大学名誉教授

林　　博
西松建設株式会社専務取締役

松　本　崇　義
(元)東京都理事

丸　安　隆　和
東京理科大学教授

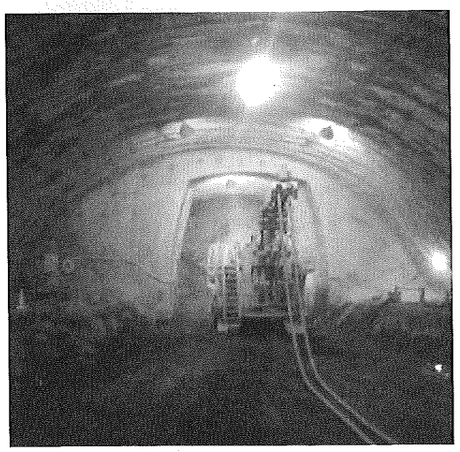
山　口　啓　二
株式会社熊谷組代表取締役副社長

吉　村　　恒
吉村とんねる・らぼ

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

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

KYB カヤバ システム マシナリー株式会社
KAYABA SYSTEM MACHINERY CO.,LTD.
http://www.kyb-ksm.co.jp
(旧社名: ㊀日本鉱機株式会社)

本社・営業 カスタマーサービス 〒105-0012 東京都港区芝大門2丁目5番5号 住友不動産芝大門ビル TEL 03-5733-9444
中部支店 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4139
西部支店 〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東2丁目6番26号 安川産業ビル TEL 092-411-4998
三重工場 〒514-0396 三重県津市雲出鋼管町62番地2 TEL 059-234-4111

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

定塚正行
日本シビックコンサルタント株式会社
参与・技師長(山岳トンネル担当)

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本定雄
中黒建設株式会社顧問

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸　務
東京都水道局建設部工務課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部主任研究員

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤　亘
東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部
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)

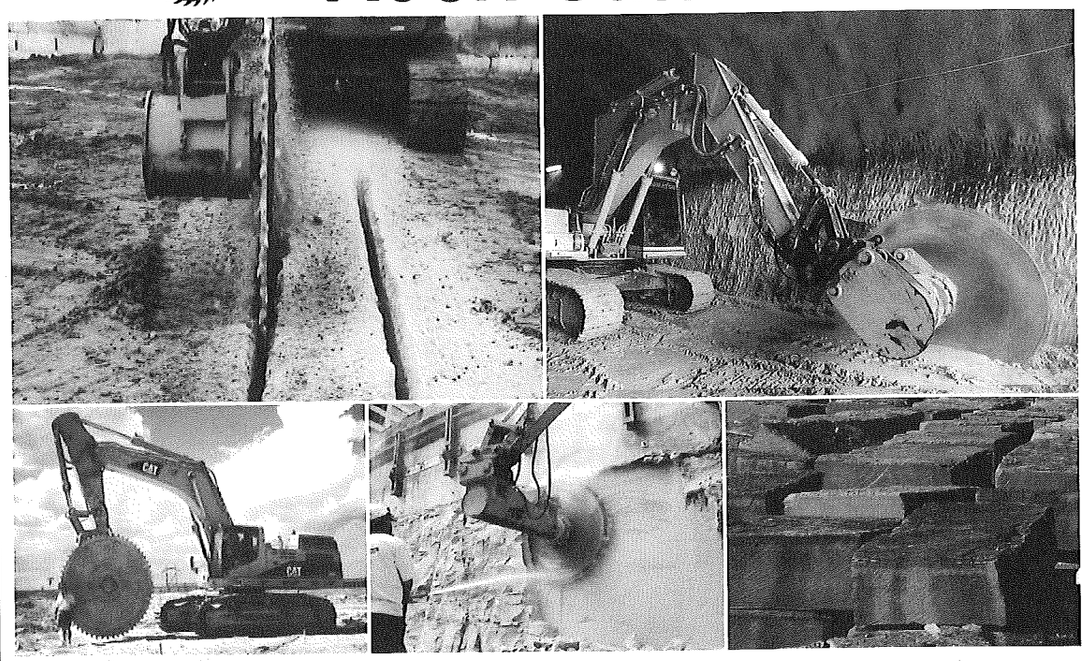
町田俊二
東京都交通局建設工務部計画改良課長

山田隆昭
中日本高速道路株式会社中央研究所
トンネル研究主幹

ROCK TOOLS, Inc.

Rock Saw

Denver, U.S.A.



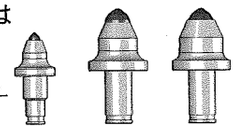
①ロックソーは巾75㎜，深さ0.35～1.52mの硬岩細溝切削用カッターです．
②油圧ショベルに取り付け，その油圧源で駆動します．カッター出力55hp，500hpの２種類があります．水平，垂直方向，油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます．

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(シー) P(ピー) C(シー) 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有ります．チップは
③WC粒子が大きいと耐破損強度は大きくなるが耐磨耗性能が低くなり，
Co含有量が少いと硬く耐磨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．



④WC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．
⑤CPC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．
⑥WCの主要産出国は中国です．China PacifiCarbideは米国に本社，中国に生産拠点を置く超硬合金メーカーです．

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

トンネルと地下　VOL. 38　No. 2　掲載概要

掲載頁 7

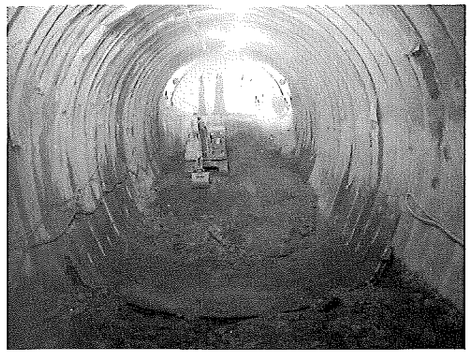
地すべり地帯で小土かぶりのトンネルを掘る
―北陸新幹線　新木浦トンネル―

鉄道・運輸機構　田中　健一

北陸新幹線長野～富山間に建設中の新木浦トンネルは，日本でも有数の地すべり地帯である新潟県糸魚川市（旧能生町）に位置し，その路線上の大部分が地すべり指定地となっている．本稿では坑口から約300m間に地すべりブロックが連続して分布する条件下でのトンネルの施工実績を記すものである．この区間において地すべりブロックやトンネルとの位置関係などに応じて地すべり対策工やトンネル補助工法を採用し，さらに経済的な設計・施工を指向するとともに，計測態勢を充実させて計測結果を施工に反映させながら，地すべりを誘発させることなくトンネルを通過させている．

Excavating Tunnel of Little Over Burden in the Landslide Area－Hokuriku Shinkansen Shin-konoura tunnel－

By Ken-ichi Tanaka, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真はインバートストラット施工状況

The Shin-konoura tunnel of the Hokuriku Shinkansen under construction between Nagano and Toyama is located in Itoigawa city which is a prominent landslide area in Japan, and most areas in the route have been designated as the landslide area. This paper writes down the construction results of the tunnel under the condition where landslide blocks are continuously distributed between about 300 m. The tunnel had be constructed without provocation of any landslide, adopting countermeasure for landslide or auxiliary method according to the block of landslide or the relationship of location with the tunnel, and with still aiming economical design and construction, and reflecting the result of measurement to the construction work by fleshing out measurement system.

掲載頁 17

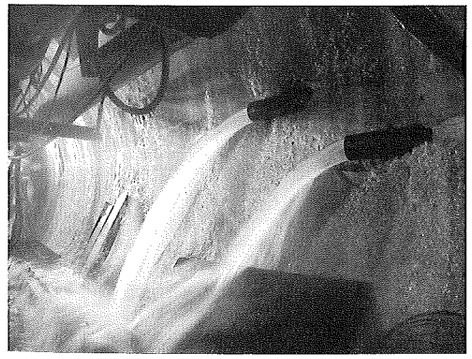
土かぶり1,000m，6 MPaを超える高圧湧水下で貫通
―東海北陸自動車道　飛騨トンネル先進坑―

中日本高速道路（株）　森山　　守

最大土かぶり1,000mに達する飛騨トンネル先進坑は，約10年に及ぶ施工中には幾多の不良地山や大量湧水帯との遭遇により，TBM停止や切り拡げをくり返しながらの掘削となった．平成17年９月には貫通まで300mあまりを残しTBM本体が拘束，損傷を受け，さらに，迂回坑が埋没するに至った．この現象に直接，間接的に影響している６MPaの高圧湧水帯に対して，迎え掘りNATM掘削による貫通を目指すため，長尺ボーリングによる水抜きと水圧管理により安全な施工方法を実施した．本稿は，大土かぶり下でのTBM拘束に至った経緯とその後の対策について報告する．

The Penetration Construction under 1,000 m of Over Burden, and Spring Water of High Pressure over 6 MPa －Tokai・Hokuriku Expressway advanced drift of Hida tunnel－

By Mamoru Moriyama, Central Nippon Expressway Co.,Ltd



写真は突発湧水時の追加ボーリング

In the advanced drift of Hida tunnel with maximal 1,000 m over burden, the encounter with many depraved grounds or great springwater area during construction work extending about 10 years had resulted in the excavation with recurrence of TBM stop or expansion of the section. In September, 2006, with leaving about 300 m up to the penetration, the TBM body had be restrained and be broken, and the situation had led the entombment of the detour tunnel. To aim the penetration by the counter excavation with NATM, we executed the safe construction work by the drainage through long boring and the control of water pressure for the high pressure springwater area of the 6 MPa militating directly and indirectly for this phenomena. This paper reports the prehistory leading to the restraint of TBM under great over burden, and the countermeasure afterwards.

掲載頁 25

到達立坑内に3,000 t の水を張りシールドを引き抜く
—地下鉄13号線　新宿工区—

東京地下鉄(株)　西村　聡

地下鉄13号線(池袋～渋谷間の延長8.9km)新宿工区シールドは，新宿三丁目地下２階を発進して新宿七丁目の地下４階に到達後，Uターン・リフトアップした後に地下３階より再発進し，新宿三丁目地下２階に戻る並列単線シールドトンネルを掘削外径φ6.76mの泥水式シールドで掘削するものである．到達立坑では，シールド土かぶり27.6m，ディープウエル稼働時の被圧水位がGL-22m，ほぼ全断面をN値50以上であるが均等係数が10未満の粒径がそろった上総層砂層の均質地盤であったため，シールド引き抜き時の地下水出水，土砂引き込みの防止対策が必要であった．検討した結果，立坑内に水を張り，水中到達することとし背面地山の地下水圧を抑え，土砂の引き込みを防止するために，さらに他の工法を補助的に用いた．

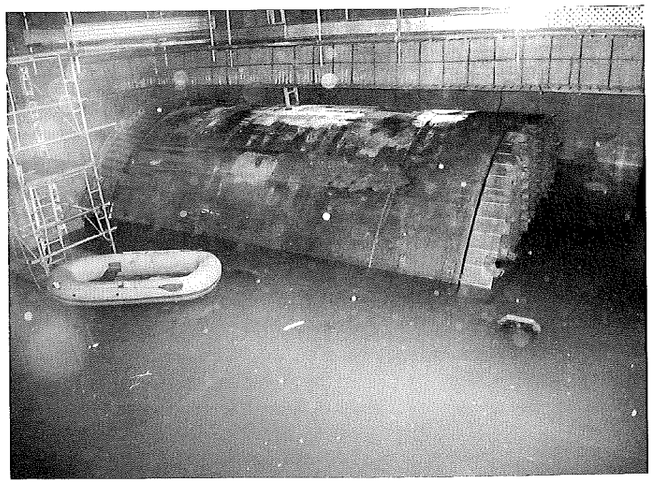
本稿では，都市部における比較的大断面なシールドでの計画的な水中到達(シールドの引き抜き)は，ほとんど例を見ない施工方法であるので，その施工について報告するものである．

Extract the Shield by Filling Water of 3,000 t in the Arrival Shaft －Tokyo Metro line No.13　Shinjuku construction area－

By Satoshi Nishimura, Tokyo Metro Co., Ltd.

The shield for Shinjuku construction area of metro line No.13(8.9km running from Ikebukuro to Sibuya) is that it excavate by mudwater-type shield of outer diameter 6.76 m of parallel single line shield tunnels where it starts from the underground 3rd floor of Shinjuku 3 Chome, and after reaching the underground 4th floor of Shinjuku 7 Chome, and after performing U-turn & liftup, restarts from the underground 3rd floor, and returns to the underground 2nd floor of Shinjuku 3 Chome. In the arrival Shaft, because over burden of shield is 27.6 m, and water level of pressure received at the time of deepwell operation is about GL－22 m, and just overall geology is uniform sand of Kazusa Strata having N-value of over 50, but homogeneous grain size of the coefficient of uniformity under 10, the countermeasure for the prevention of flooding and draught of soil at the time of shield extraction was required. After review, we decided to fill water in the shaft, to suppress the underground water pressure of back ground by reaching in water, and to prevent draught of soil, and to adopt auxiliary method.

This paper reports its construction, as the systematic reaching(extraction of shield) in water is almost unusual method at the shield of large cross-section in the urban area.



写真は排水状況

掲載頁 35

小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設
—東京ガス　中央幹線—

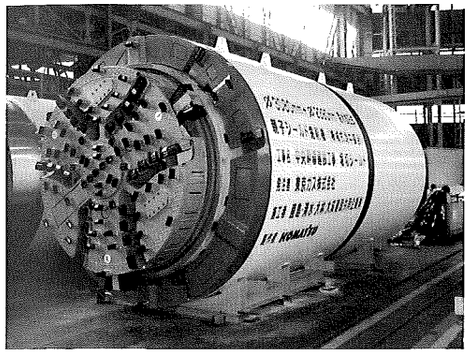
東京ガス(株)　木原　晃司

中央幹線は，東京大都市圏を囲む既存の環状幹線の中央を貫く，東京都江戸川区から埼玉県草加市に至る23kmの新設の高圧ガス幹線である．都市部密集地域での開削工事はさまざまな面で困難であるため，全線シールド工法によるトンネル内配管を計画した．都市部密集地域特有の制約から，長距離，大深度のシールドトンネルを高速施工し，かつ，中間には到達立坑を設けず地中接合するという提案を採用した．また，セグメントストックシステム，親子シールドによる複線区間，切羽部搬送装置を組み合わせ，ロジスティックスの効率化を図り高速施工を可能にした．本稿では，これらの計画の概要およびプロジェクトの設計・施工に関する課題と対策を紹介する．

Construction of Gas Pipeline of Long Distance under the Great Depth by the Parenthood Shield of Small Diameter －Tokyo GAS Chuou Kansen－

By Kouji Kihara, Tokyo GAS Co.,Ltd.

The Chuou Main Line is a newly built high-pressure gas main line of 23 km length which range from Edogawa-ward, Tokyo to Soka-city, Saitama prefecture, running through the center of the existing annular main line surrounding Tokyo Metropolitan area. Because excavation work is difficult to conduct from various points of view in the metropolitan congested area, we planned the ductwork in the tunnel by shield method for all lines. From the restriction of the metropolitan congested area, we adopted the proposition where speedy performing the construction of shield tunnel of long distance, and great depth and without of installment of the arrival shaft, connecting it in the ground.



写真は親子分離状況

In addition, combining the segment-stock-system, interval of double lines constructed by parenthood shield, the transportation equipment for the cutting face, we enabled speedy construction by making logistics efficient.

This report presents the summary of these plans, and the problems and measures as to the design/execution of the project.

掲載頁 43

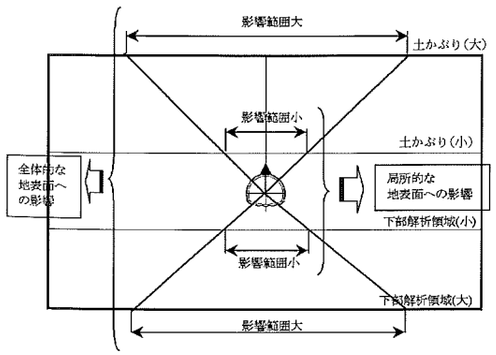
数値解析による地表面沈下の評価に関する一考察

(株)熊谷組　森﨑　泰隆

近年，山岳トンネル工法で構造物の直下，あるいは近傍を小土かぶりで掘削する事例が増えている．その場合，トンネル掘削による地表面の影響を予測する方法として数値解析手法が適用される場合が多い．本稿は，数値解析手法により地表面の沈下，沈下勾配を検討する際の留意点である解析領域の設定などを有限差分解析における線形弾性挙動モデルにより検討したものである．また，数値解析手法による地表面沈下量の評価と理論解析値との比較，数値解析による沈下勾配と統計データによる予測との比較を行い，その特徴について記述している．

One Consideration as to the Evaluation of the Settlement by the Numerical Analysis

By Yasutaka Morisaki, KUMAGAI GUMI Co.,Ltd



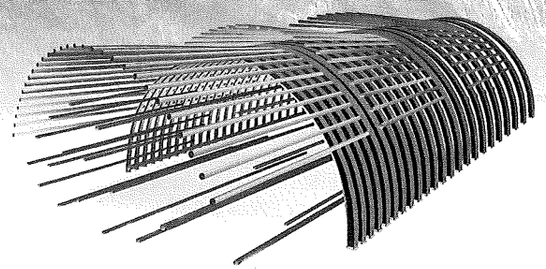
図は掘削合力と解析領域による解析値への影響

In late years, there are increasing examples where excavation by NATM in subjacency or neighborhood of structures was performed with little over burden. In these cases, there are many cases that apply a numerical analysis as a method to estimate the effect of ground surface by tunnel excavation.

This paper considers setting of domain of analysis, etc., as observation point in case of considering the evaluating the settlement and its gradient by the linear elastic behavioral model of the finite difference analysis.

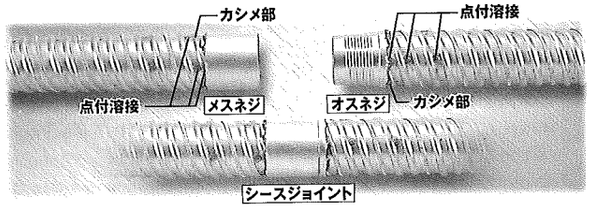
In addition, the paper describes the differences of settlement by the numerical analysis from theoretical analysis, and comparison the evaluation of gradient of settlement by the numerical analysis with the estimation by statistical data.

ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

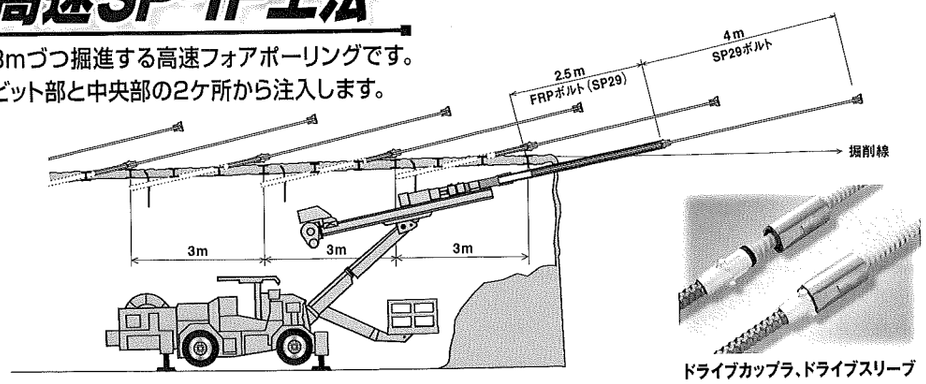
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

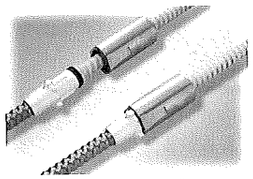




高速SP-IF工法

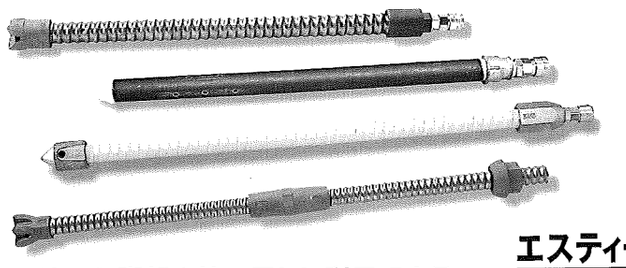
※3mづつ掘進する高速フォアポーリングです。
ビット部と中央部の2ケ所から注入します。

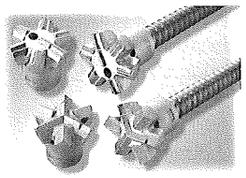




ドライブカップラ、ドライブスリーブ

自穿孔ボルト&注入管



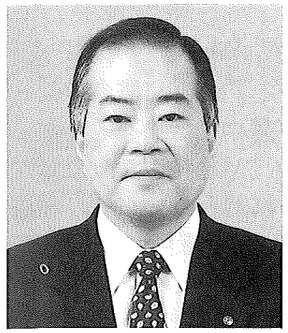


φ65mm ロストビット(SP29)

※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）



NATM雑感

(株)熊谷組代表取締役副社長
山口啓二

30年前に始まったわが国のNATMを振り返ってみたい．

鋼製支保工と木製矢板を用いた従来工法が受動的に地山を支保したのと異なり，NATMでは，その基本的な考え方である「地山自体を支保部材として活用する」ことにより，能動的に地山をコントロールできるようになった．このことを可能にしたのは，柔軟な対応が可能な支保部材である吹付けコンクリートとロックボルトによるところが大きい．これらの活用によって，なによりも自由断面で地山に応じた支保を可能にし，支保の選択のバリエイションが拡がったことがトンネル施工の安全性の向上，信頼性の高まりとなった．

先輩からよく言われたこと．「山を起こすな　そっと掘れ」．掘削面に発生する応力集中を抑え，塑性領域の進展を食い止め，トンネル荷重の増大を抑制するために，露出面をできる限り速やかに円滑に被う．「山を起こすな　そっと掘れ」．まさにNATMの真髄である．

NATM導入直後のトンネル技術者は未知のNATMに関して，施工現場で，学会で，協会活動で，あるいは個別委員会で，熱き議論を戦わせた．また，効率的で安全な工法の研究・開発にしのぎを削っていた．未知の分野を解き明かそうと活気に満ち溢れ，一番華やかな時期であったと思う．補助工法や，さらに効率のよい施工方法の開発，安定した施工を続けるための計測管理方法・解析技術の研究など，やらなければならないことは山積みであった．

それまでのトンネル施工は，いわば経験にもとづく実践的施工であったのに対し，NATMはオーストリアのラブセビッツ教授の提唱した理論的情報化施工であったことから，計測・解析が重んじられ，それにもとづき補助工法の適用や施工変更を行った．

これらは現在のNATMの施工に大いに生かされているが，改めて考えてみると，当初のNATM精神が今も引き継がれているだろうか．

本来の情報化施工から，NATMで使用する施工ツールによる従来の実践的施工に考え方が変貌していないか．現在の施工技術者がNATM本来の概念，トンネルの基本を考慮し，その知識と経験にもとづいて施工に対処しているか．本来重要とされている計測管理にもとづいた情報化施工を踏襲しているか．そういったことも含めて，技術者は

育っているか．NATM馴れして，基本的な精神を忘れていないか．

1993年にスイス・チューリッヒ工科大学のコバリー教授が論文「NATM概念の誤った考え方(Erroneous Concepts behind NATM)」を発表し，世界中で議論を呼んだ．その内容は，①NATMの概念で言われていることは，なにもNATM独特のことではなく，トンネル工学一般のことである，②NATM理論は曖昧で，漠然としており，理論的な証明ができない，という論旨である．そのことには賛否いろいろな意見があったが，トンネル工学に一石を投じた．1995年に川本眺万氏らによって和訳され，「トンネルと地下(Vol. 26, No.11)」に掲載された．その「あとがき」に川本氏は「現在適用されている種々のトンネル工法の原理・原則をもう一度見直し，さらに安全で経済的なトンネル工法の開発と適用について再考していくことも必要であると考える」と述べている．

NATMがわが国の標準工法と規定されてから，今ではだれでもトンネルを掘れるようになった．これはトンネル地山分類と直結した支保パターンの設定によるところが大きいと考える．本来，トンネルは線状構造物であり，全線にわたり十分な調査を実施することは経済性の点でも不可能であり，適切な設計を事前に行うことは困難である．そのため，トンネル施工にあたっては，先の見えない状態で，常に未知の領域を掘進していく．どういう地山状態に遭遇するかわからない中で，柔軟に対処していかなければならないのがトンネルである．あらかじめ設定された支保パターンどおりに施工が進むことは皆無である．そこで，適切で合理的な施工を行うには，的確に山を見る眼と経験とそれを裏付ける論拠が必要である．

トンネル現場の実情をみると，画一的な支保パターンの適用を行っているのが現状であり，若手技術者が切羽に張り付いて常に切羽と対峙する時間は非常に限られている．こうした状態では，的確に山を見る眼と経験は培われない．

より一層のコスト縮減および合理性の高い施工と品質確保が要求される時代に，もう一度原点に戻って，NATMとは何だったかを考えることが必要ではないか．

今の現場は山を起こしていないだろうか．起こしてしまってから，必要以上の膨大なコストを掛けて復元していないだろうか．

先に述べたコバリー教授の論文は，1962年にオーストリアで正式にNATMと命名されてから約30年を経過した時点で発表され，今，わが国にNATMが導入されてから約30年である．また，従来工法とNATMの両方を経験しているトンネル技術者が第一線を退く時期に差し掛かっている．今後のわが国のトンネルを担っていく若い技術者は，わが国のNATMの黎明期に戦わされた熱き議論の内容をどの程度知悉しているであろうか．

変化の著しいわが国の地質を克服するためには，より安全で，合理的なNATMとはどのようにあるべきか，本来，未知の地山と対峙するために，柔軟な対処が必要なトンネルとはどうあるべきか．もう一度考えても無駄にはならないと思う．

施工

地すべり地帯で小土かぶりのトンネルを掘る

—北陸新幹線　新木浦トンネル—

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局工事第四課課長　田　中　健　一
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局工事第一課担当係長　山　口　豊　秋
鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局能生鉄道建設所所員　上　塘　祥二朗
前田・佐伯・小田急・丸運特定建設工事共同企業体新木浦トンネル作業所所長　岡　本　典　也

1　はじめに

北陸新幹線新木浦(しんこのうら)トンネルは，日本でも有数の地すべり地帯である新潟県糸魚川市(旧能生町)に位置する延長2,560mのトンネルである(図-1)．トンネル計画路線はほぼ全線が地すべり防止区域に指定されており，とくにトンネル入口から300m間は，広域農道の直下を通過するh＝2～13mの小土かぶり区間となっている．当該区間においては中規模の地すべりブロックが点在し，トンネル掘削により影響を受ける地すべりブロックが3か所認められた(入口よりAブロック・Bブロック・Cブロックと呼ぶ)．A・Bブロックは土かぶり0.5D(5m)以下で地すべり面がトンネル断面内を横切り，またCブロックは土かぶり0.5～1.0Dですべり面がトンネル上方3mを横切る形となっていた．そのため，A・Bブロックについては地すべり抑止工とトンネル坑外からの補助工法を，Cブロックについては坑内からの補助工法を用いて地すべり地帯の小土かぶり区間の掘削を行った．

本稿は，この区間の地すべり抑止対策およびトンネル補助工法の検討と施工実績についての報告である．

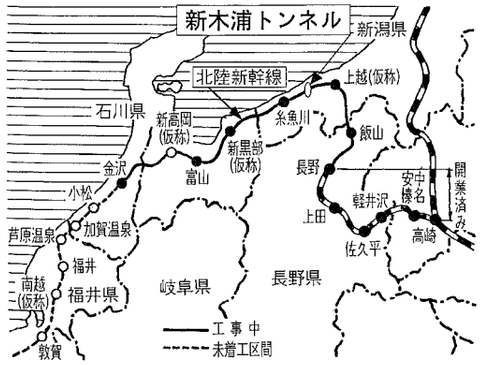


図-1　トンネル位置平面図

2　概　　要

2-1　工事概要

工事名称：北幹，新木浦T他
発 注 者：鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局
工事場所：新潟県糸魚川市大字下小見地内
工　　期：平成15年9月19日
　　～平成20年11月18日
施 工 者：前田・佐伯・小田急・丸運特定建設工事共同企業体
工事内容：トンネル延長　L＝2,560m
　　掘削断面積　A＝83m²
　　掘削方式　機械掘削方式
　　掘削工法　ベンチカット工法

2-2　地質概要

当区間の地質は，糸魚川静岡構造線以東を広く

覆っている第三紀鮮新世堆積層の川詰層泥岩である．さらにその上部に層厚８～９mで崩積土(礫混じり粘性土，礫質土)が分布している．基盤岩の川詰層泥岩はスレーキング指数が３～４となっており，泥濘化しやすいとの結果が得られた．地下水は深度３～４mに位置し，透水係数の小さい泥岩の上面を流動層としており，山腹各所で湧出し沿線の集落では生活用水として利用されている．

3　地すべりブロック

空中写真判読および現地踏査により，トンネル掘削の影響を受ける可能性がある地すべりブロックが３か所判読された(**図-2**)．

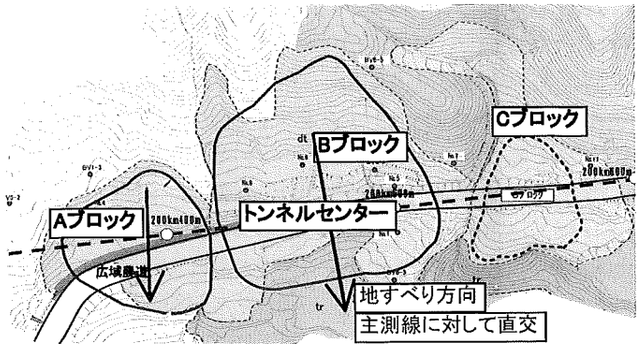


図-2　調査区間ブロック区分図

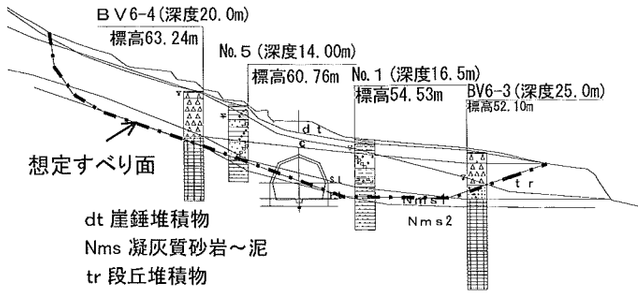


図-3　地すべりブロック解析断面図

地すべり安定解析を実施するにあたり，現地形の凹凸が複雑であることから詳細な地形測量を実施し，さらに安定解析に用いる主測線，副測線の層厚，地山物性値を把握するため，追加ボーリング調査および土質試験を実施した．これらの調査より判読された地すべりブロックの縦断図を**図-3**に，横断図を**図-4**に示す．前述したようにA・Bブロックはトンネルが地すべり面を切断する形となり，掘削により地すべりブロックが不安定となるため，地すべりブロックの滑動を誘発させる可能性がきわめて高い．そのため，掘削前に地すべり対策工を計画・実施することが不可避である．また，Cブロックについてはトンネル掘削による緩み領域が地すべり面まで波及した場合，地すべりブロックが不安定となる．そのため，トンネル坑内からの補助工法により極力緩み領域を抑えることとした．

4　A・Bブロック

4-1　地すべり解析

安定解析手法としては一般的に二次元解析での極限平衡法により安全率や必要抑止力が算定される．しかし，当区間のように地すべりブロックが連続している場合には，各ブロックの主測線で必要抑止力を算出すると，地すべりブロックが矩形となり移動層の厚さが異なる地すべりブロック縁辺部では，過大な必要抑止力を与える場合がある．そこで，今回A・Bブロックの安定解析を実施するにあたり，地すべりブロック内に複数の測線を設けて各測線ごと

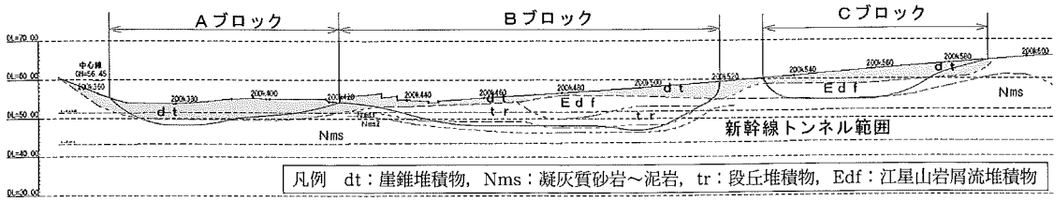


図-4　地質縦断図

に実施した二次元解析結果を重ね合わせることで地すべりブロックの形状を解析断面に反映させ(多断面二次元解析)，より経済的な設計を行うこととした(**図-5**)．

地すべり安定計算手法は『設計要領』(旧日本道路公団)により地すべり滑動方向とトンネルが直交する場合の下式を用いた．

$$F_s = \frac{\Sigma(N-U)\tan\phi + c\Sigma l}{\Sigma T} \qquad (1)$$

現況安全率については，現状では地すべり土塊の滑動は認められず，静止状態であると考え1.05とした．

すべり面の土質定数は，調査ボーリング時の平均N値の結果から以下のように設定した(**表-1**)．

計画安全率は，地すべりブロックの保全対象物を山裾にある集落，県道および新幹線構造物とし，新潟県の設定例(**表-2**)による「重要な道路(国道)，河川，人家等に重大な影響を与える箇所」を適用し「F_s=1.20」とした．

これらの条件により多断面二次元解析で計算したBブロックの必要抑止力の例を**表-3**に示す．

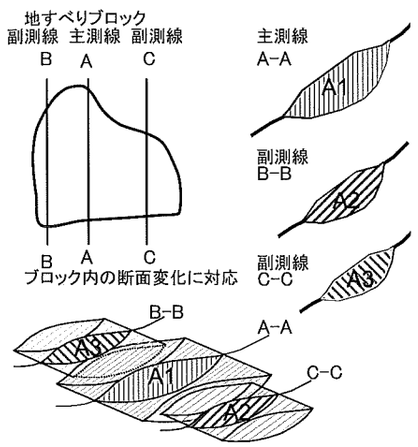


図-5　ブロック形状を反映した解析モデル図

表-1　土質定数一覧表

単位体積重量γ	19.0kN/m^3
粘　着　力c	70.0kN/m^2
内部摩擦角ϕ	30°

表-2　地すべり対策工事における計画安全率設定例

重要な道路(国道)，河川，人家等に重大な影響を与える箇所	P.F_s=1.20
主要地方道，一般県道，二級河川	P.F_s=1.15
市町村道，準用及び普通河川	P.F_s=1.12
耕地の災害復旧	P.F_s=1.10

「砂防　地すべり(計画と設計)」(新潟県砂防課)

4-2　地すべり対策工

地すべり対策工は抑制工と抑止工に大別され，抑制工としては，地下水排除工，排土工，押さえ盛土などがあり，抑止工としては杭工，シャフト工，アンカー工などがある．当区間は，①当該ブロック背面にも広範囲な地すべり区域があること，②トンネル山裾側に社寺や集落があり，地下水を生活用水として利用していること，③トンネル直上に広域農道があることなどを勘案し，対策工として抑制工と抑止工を組み合わせた次の４案を比

表-3　Bブロック安定計算結果

	抑止杭/アンカー	押さえ盛土/排土工
現況安全率F_s	1.05	1.05
トンネル掘削による低下安全率F_s	0.86	0.86
計画安全率PF_s	1.20	1.20
計画安全率に対する必要抑止力P_s	719.8kN/m	693.6kN/m

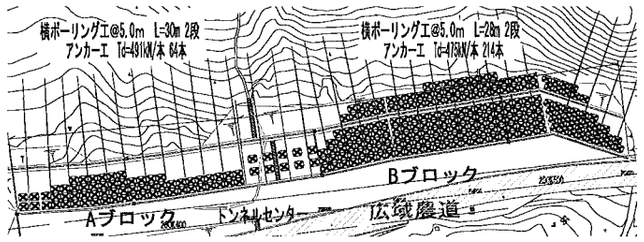


図-6　アンカー配置平面図

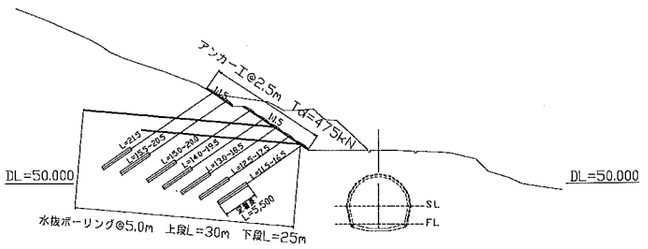
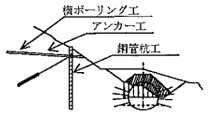
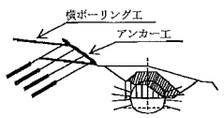
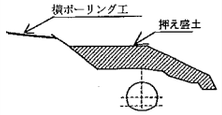
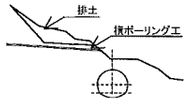


図-7　地すべり対策工標準断面図

表-4　地すべり対策工比較検討結果

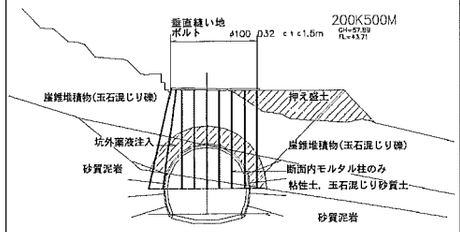
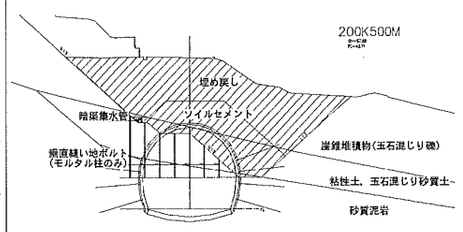
項　目	第 1 案 アンカー付き杭工 ＋横ボーリング工	第 2 案 アンカー工 ＋横ボーリング工	第 3 案 押さえ盛土工 ＋横ボーリング工	第 4 案 排土工 ＋横ボーリング工
必要抑止力	P_r=719.8kN	P_r=719.8kN	P_r=693.6kN	P_r=693.6kN 後背地すべり　P_r=3,262kN
工法概要	地すべりに対してアンカー付き杭工と横ボーリング工により対処する． 	地すべりに対してアンカー工と横ボーリング工により対処する． 	地すべりに対して押さえ盛土工と横ボーリング工により対処する． 	地すべりに対して排土工と横ボーリング工により対処する． 
必要工種	・鋼管杭 ・杭頭アンカー工 ・横ボーリング工	・アンカー工 ・受圧板工 ・横ボーリング工	・盛土工 ・迂回道路 ・用排水，擁壁ほか ・横ボーリング工	・切土工 ・法面工 ・横ボーリング工 ・後背地すべり対策工
経済性	△	◎	○	×
工期 （施工延長100mあたり）	・鋼管杭：5 m/日/台 ・アンカー工：20m/日/台 ・横ボーリング工：30m/日/台 200日	・アンカー工：20m/日/台 ・横ボーリング工：30m/日/台 100日	・盛土工：300m³/日/台 ・横ボーリング工：30m/日/台 360日	・切土工：200m³/日/台 ・後背地すべり対策工（アンカー工）：20m/日/台 430日
用地	用地取得面積は最小	アンカー施工範囲の用地取得が必要	盛土範囲の用地取得が必要	切土部のほかに後背部の用地取得も必要
広域農道	道路線形，勾配の変更はなし	道路線形，勾配の変更はなし	盛土により現道が失われるため付け替えが必要	道路線形，勾配の変更はなし
周辺環境	景観上の変更は最小	法面に受圧板が残り，景観が変化	大規模土工となり，景観の変化がもっとも大	後背地すべり対策を含め景観の変化大
その他	アンカーの維持管理が必要	アンカーの維持管理が必要	盛土基礎部の調査が必要	後背地すべり対策工が大規模になる
総合判定	周辺環境の変化を最小に留めることが可能であるが，経済性，工期では第2案と比較して劣る． ×	景観の変化に対する配慮が必要になるが，経済性，工期の面でもっとも優れており採用． ○	現広域農道の大規模な付け替えが必要になり，経済性，工期では第2案と比較して劣る． ×	想定すべりに対しては廉価な工法であるが，後背部にさらに大規模な地すべりブロックが控えており，その対策は大規模になる． ×

較検討した(**表-4**)．これらの対策工を比較検討した結果，第2案のアンカー工＋水抜きボーリングを選定し，A・Bブロックの地すべり対策を行うこととした．アンカーおよび水抜きボーリングの配置図を**図-6**に，対策断面図を**図-7**に示す．

4-3　切羽安定対策工

A・Bブロック区間では広域農道がトンネル直上(土かぶり 2～5 m)に位置していることから，トンネル構造物の安定と広域農道の安全を確保する必要があった．なお，トンネル断面内には含水しており軟弱化が予測される崖錐堆積物や風化泥岩などの未固結地山が存在している．そのため地すべり対策工とは別に切羽安定のための補助工法を選定する必要があった．一般に切羽安定は対象箇所により①天端部，②鏡面，③脚部の安定対策に分けられる．また，湧水によっても切羽が不安定となるので，湧水対策の検討も必要である．さらに直上の広域農道変状防止には地表面沈下対策を考慮する必要があった．以上のことから，坑内からの補助工法だけに頼った場合，地表面(広域

表-5　切羽安定対策工比較検討表

項　目	第1案 地山改良案 （薬液注入工＋垂直縫い地＋ウエルポイント）	第2案 開削置き換え案 （ソイルセメント人工地山＋垂直縫い地）
工法概要		
施工方法 （施工フロー）	1. 広域農道通行止め規制，押さえ盛土 2. ウエルポイントによる地下水位低下 3. 垂直縫い地ボルト孔，薬液注入孔削孔 4. 二重管ダブルパッカー注入(水ガラス系シリカゾル) 5. 垂直縫い地ボルト挿入，ミルク注入 6. トンネル掘削，インバート打設 7. 広域農道復旧	1. 広域農道通行止め規制 2. 開削(広域農道一時撤去) 3. 垂直縫い地ボルト孔削孔，ミルク注入(モルタル柱のみ) 4. ソイルセメント人工地山構築，埋め戻し 5. トンネル掘削，インバート打設 6. 広域農道復旧
経済性	×	○
工期	・垂直縫い地ボルト，薬液注入孔削孔：45m/日/台　3セット ・薬液注入工：3 m³/日/台　8セット 170日	・垂直縫い地ボルト：45m/日/台　3セット ・ソイルセメント人工地山：150m³/日 150日
周辺環境	・広域農道の改変は伴わない． ・薬液注入時の地下水の水質監視が必要になる． ・注入ゾーンが止水改良体となり，山側の地下水位が上昇する可能性がある．	・広域農道の線形，勾配は原形復旧が可能． ・地下水の管理は第1案と比べ容易となる．
トンネルの安定性	・注入効果の確認が必要(ウエルポイントの効果，地質の状況により注入効果にバラツキが発生する可能性がある)．	・ソイルセメントの品質の信頼性は高く，施工時の天端の安全性は十分に確保できる．
総合判定	周辺の地形の改変は最小に留めることが可能であるが，経済性，工期，水環境，トンネルの安定性のいずれにおいても第2案と比較して劣る． ×	経済性，工期，周辺環境，トンネルの安定確保のいずれの面においても第1案より優れる． ○

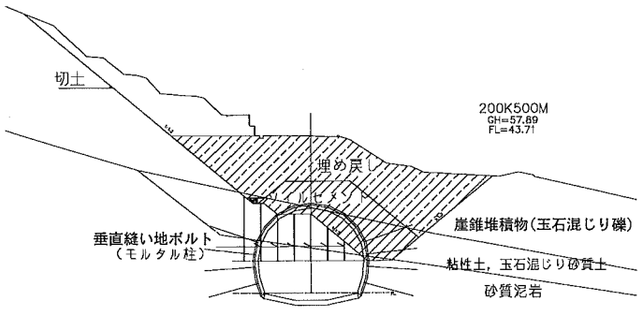


図-8　A・Bブロック対策工標準断面図

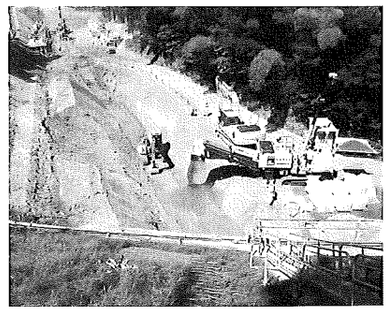


写真-1　置き換え工施工状況

農道路面)沈下の発生は避けられず，通行車両の安全確保は困難と判断した．そこで広域農道の通行止めを前提とし，地表沈下をある程度許容することで経済的な対策を選定することが有利であると考え，①地すべり抑止対策は事前に完了していること，②工事期間中，広域農道は通行止めとすることを条件として**表-5**に示す2案について比較検討した．その結果，信頼性が高く，地下水への

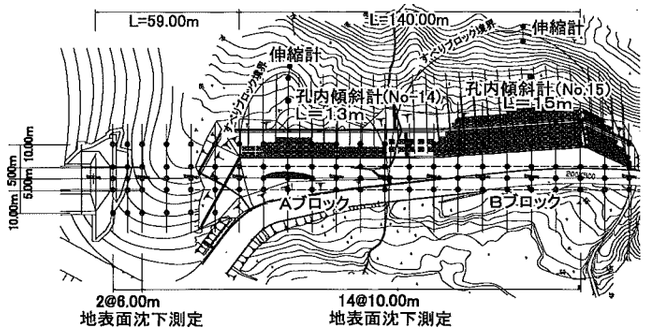


図-9　動態観測計画平面図

影響も少なく，経済性も良い第２案の開削置き換え工法を採用した(**図-8**)．脚部安定対策については，地質調査結果よりS.L以下には基盤岩である泥岩を確認していることから，対策は必要ないと判断した．置き換え工施工状況を**写真-1**に示す．

4-4　施工結果および計測結果

地すべり抑止対策区間の動態観測として，孔内傾斜計・伸縮計による地山変位の計測と地表面沈下計測を実施した(**図-9**)．

Aブロック孔内傾斜計の計測結果を**図-10**に示す．孔内傾斜計の累積変位量はAブロックで最大約15㎜，Bブロックでは約８㎜である．変位の傾向に累積性はあるものの，すべり面に沿った明瞭な変位ではなく，トンネル掘削による緩みの影響と思われる．地すべりブロック頭部の地表面にもクラックなどが確認されていないことから，地すべりを発生させることなくトンネルを通過させることができたものと考えられる．

Aブロック地表面沈下測定結果を**図-11**に示す．Aブロックの主計測断面(図-11)およびBブロックの主計測断面の地表面最大沈下量はそれぞれ，Aブロックで約50㎜，Bブロックで約25㎜となっており，変位量の大きいAブロックではソイルセメントや法面小段にクラックの発生が確認された．地表面沈下の傾向としては，上半切羽到達前１D辺りから徐々に沈下し始め，下半切羽通過後２D付近から収束する傾向を見せている．Aブロックに比べてBブロックの沈下量が少ない理由は土かぶりの違いによるものと考えている．

次に，トンネル内空変位測定の結果を**図-12**に

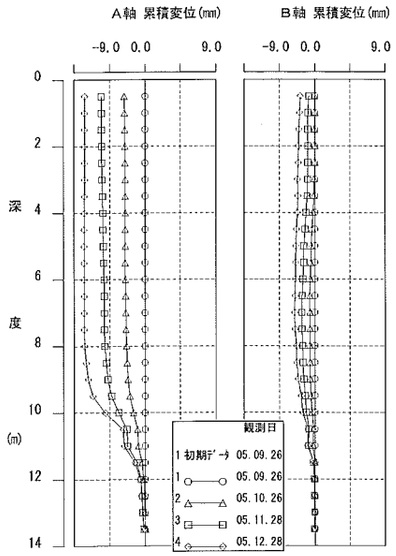


図-10　Aブロック孔内傾斜計計測結果

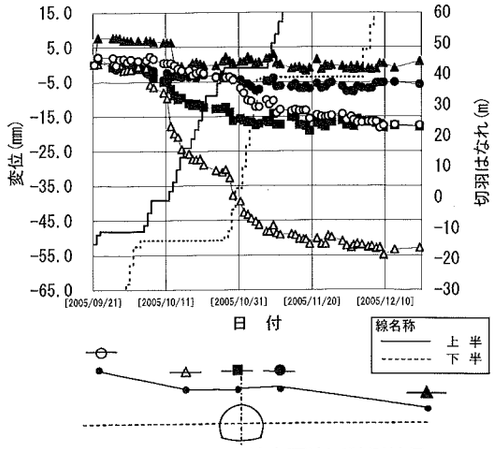


図-11　200km380m地表面沈下計測結果

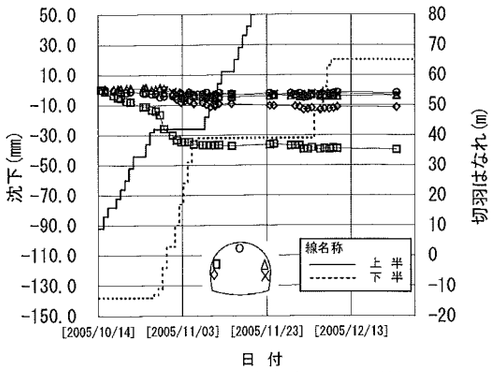


図-12　200km380m坑内沈下量計測結果

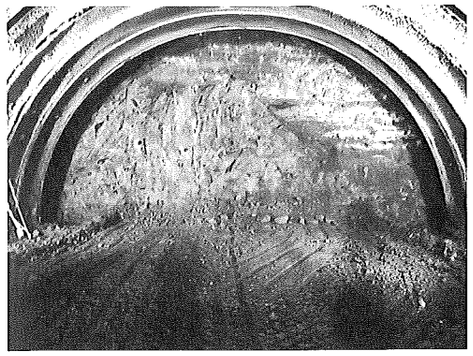


写真-2　Bブロック区間切羽状況

示す．図-12より，切羽に向かって左側の沈下量が大きく，トンネル全体が反時計回りに沈み込みながら押しつぶされるような挙動が読みとれる．当初の想定ではS.Lより下には基盤岩となる泥岩が分布しているものと考えられていたが，実際には地質分布が複雑で，S.L付近においても風化泥岩が残っている区間があり，弱部に荷重が集中したものと考えられる．この傾向は，とくに置き換え工として実施したソイルセメント盛土(q_u＝1.5 N/㎟)と上半根足部分の地山強度(q_u＝0～1.2N/㎟)の強度差が大きい部分で顕著に見られた．ソイルセメント改良区間の切羽を**写真-2**に示す．収束の傾向については，地表面沈下と同じく下半切羽通過後２D程度から収束する傾向を示している．

これは，当トンネルの地山のように，土かぶりが小さくかつ地山強度の低い，すなわち地山強度比の小さい地山では，断面の早期閉合を図ることが沈下量抑制に効果的であることを示しているものと考えられる．

5　Ｃブロック

5-1　工法検討

Cブロックはトンネル断面から上方３mに地すべり面があり，トンネル掘削による緩み領域が地すべり面まで波及した場合，地すべりブロックが不安定となる可能性が高い．そこで，切羽前方地山の緩みを抑制することに主眼を置いた補助工法を採用して掘削を進めることとした．

トンネル切羽前方地山の緩みを抑制する工法と

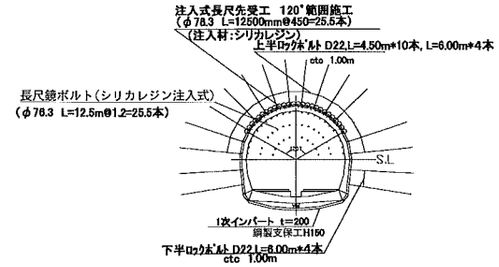


図-13　Cブロック対策工標準断面図

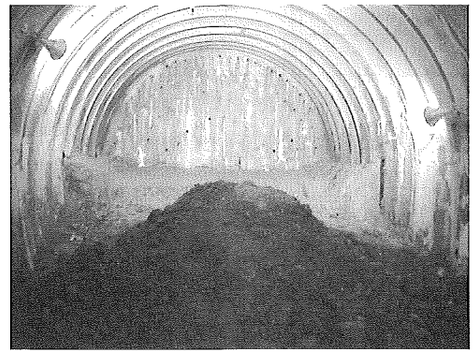


写真-3　長尺鏡ボルト完了状況

しては，長尺先受け工(AGF工法ほか)，パイプルーフ，長尺鏡止めボルトなどが一般的であるが，坑口小土かぶり区間にAGF工法を採用したところ，緩み領域が地表まで波及した実績があったため，長尺鏡止めボルトを主体とした工法を採用することとした．**図-13**にCブロック対策工の標準断面図を，長尺鏡ボルト完了状況を**写真-3**に示す．

今回の補助工法の考え方を整理すると以下のようになる．

① 長尺鏡止めボルトにより切羽前方地山を拘束し，切羽前方への緩み領域の拡大を防ぐ．

② 長尺先受け工により掘削後の緩み範囲の拡がりを抑制する．

③ 断面の早期閉合を図るため，掘削工法をショートベンチカット工法からマイクロベンチカット工法に変更する．

④ 掘削後の更なる沈下抑制対策が必要となる場合を想定し，インバートストラット工の採用を念頭に置いた計画とする．

また，補助工法は先進調査ボーリングで得られた地質情報をもとに注入式長尺先受け工の有無を

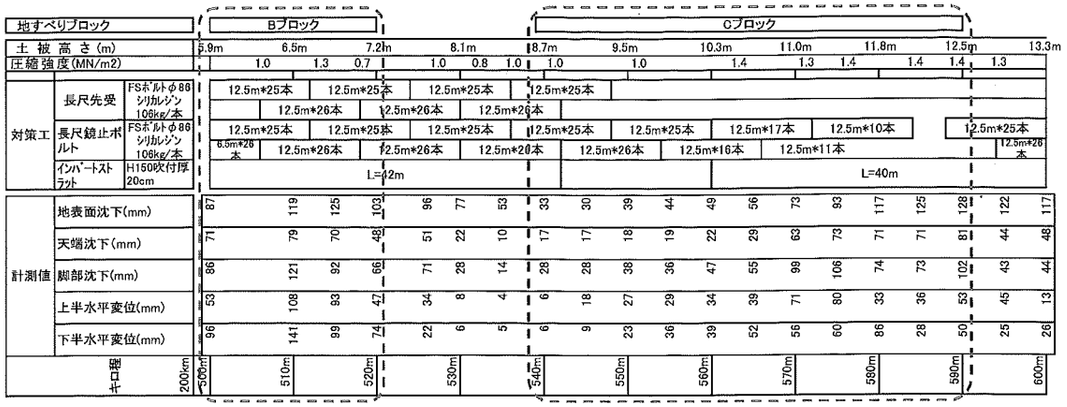


図-14　Cブロック対策工実績模式図

設定し，より経済的な施工を実施した．

5-2　施工結果

Cブロック通過時の対策工の施工実績を**図-14**に示す．

地質概要としては，Cブロック到達直前に崩積土と思われる土砂が天端付近に確認されたものの，その後の切羽面はそれまでの状況と同じく泥岩～砂質泥岩の互層となっており，所々に未固結の凝灰質の層を狭在していた．

施工状況の概略としては，Cブロックの境界付近で地表面沈下量，内空変位量がともに大きくなり，とくに地表面沈下量は累計で100㎜以上を記録した．そのため，沈下による地すべりを誘発させないためにも早期に沈下抑制を図る必要が生じ，インバートストラット工を実施した．また，Cブロック通過直前の土かぶりが1.0*D*程度になったあたりからとくに変位量が大きくなっている．これは，地山の岩質や強度自体に変化がなく土かぶりが大きくなったため地山強度比が低下したものと考えられる．

また，200km570m付近(図-14)で一時的な集中湧水と切羽の崩落が発生したが，ここではCブロック通過直前ということもあり，注入式先受け工(PUIF)で対応している．

次に，計測結果と対策工の効果について述べる．

Cブロック内200km580m付近における内空変位，ならびに地表面沈下グラフを**図-15, 16**に示す．

内空変位(図-15)の特徴として，下半水平変位

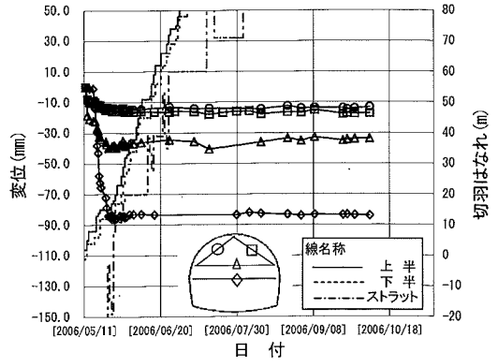


図-15　200km580m内空変位計測結果

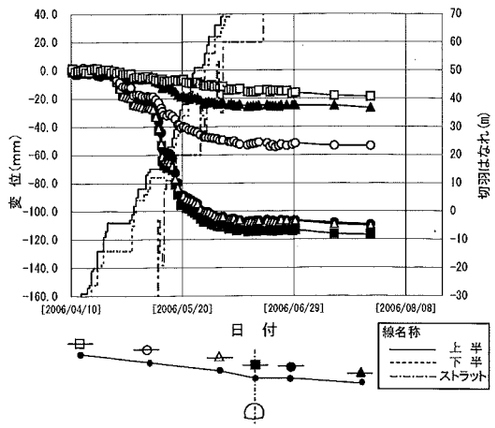


図-16　200km580m地表面沈下計測結果

が卓越していることが挙げられる．上半断面には長尺鏡止めボルトが採用されていることから，掘削後も切羽前方地山がある程度拘束されているのに対し，下半は切羽前方が拘束されていないため



写真-4　インバートストラット施工状況

に掘削後に緩み領域が拡がったためと考えられる．そこで，水平変位を抑制するためにインバートストラット工を実施し断面の早期閉合を図った．このインバートストラットの効果により，変位が急速に収束傾向に転じていることも明らかとなった．**写真-4**にインバートストラット施工状況を示す．

次に，地表面沈下計測(図-16)の結果より，先行変位は切羽到達2.0*D*辺りから徐々に発生し，1.0*D*以下になると顕著な動きを見せていることがわかる．長尺鏡止めボルトは最大で切羽から12.5m前方まで打設されており，鏡ボルトによる改良範囲以深で地山の動きが小さく，切羽前方地山の改良・拘束効果があったものと考えられる．

以上のことから対策工の効果として，

① 先行変位の発生を1.0*D*程度に抑えていることから，長尺鏡止めボルトにより切羽前方地山の拘束効果を得られたと考えられる．

② 上半断面掘削段階では変位を抑制できていることからも，鏡止めボルトの効果は認められる．

③ 下半掘削後に発生した変位抑制に対してインバートストラット工は非常に効果的であった．

6　おわりに

小土かぶりかつ地すべり地帯という極めて厳しい条件の中で，A・Bブロックの地すべり安定解析については，解析断面を複数設定し，重ね合わせることで(多断面二次元解析)，より経済的なアンカー工の配置とすることができた．

また，トンネル掘削に先立って坑外より行った置き換え工の品質は確実なものであり，トンネル掘削時の負担は軽減できたが，改良土と残置された地山との強度差が想定外の挙動を示す結果となった．この対応策としては，設計段階でできる限り均質な地山条件とすることが大事であり，そのためには，調査段階で得られた地質評価に含まれる不確定要素をいかに設計に反映させるかが重要となってくる．

また，地すべりブロック直下の施工となったCブロック区間では，切羽前方地山を極力緩めないこと，掘削後の断面早期閉合を図ることという方針にもとづき，それまでの施工実績から長尺鏡止めボルトを主体とした対策工を実施し，地すべりを誘発することなく無事突破を図ることができた．

新木浦トンネルでは今後も河川横断や出口側坑口部の地すべり対策など難しい工事が予想されており，引き続き関係各位のご指導・ご協力を賜りたくお願い申し上げる次第である．

『トンネルと地下』投稿原稿応募のご案内

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

(注：「現場だより」の投稿は受付けしておりません)

送付先　株式会社土木工学社　編集部　投稿係
〒162-0832東京都新宿区岩戸町16　メイジャー神楽坂
電話 (03) 3267-2888(代)

土木情報 No.404 今月の主な入札結果

（10月25日～12月12日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
北開・室蘭	勇払東部(二期)地区豊川用水路	東急建設	237
関東地整	湯西川ダム仮排水T	西松建設	695
〃	打越地区工事用T	熊谷組	623
近畿地整	大阪港夢洲T夢洲側アプローチ部(Y1工区)築造	大成建設	2,400
緑資源機構	18南丹園八１工区農用道１号T	奥村組	369
〃	18黒潮農用道２号T	錢高組	685
都・下水道局	西日暮里幹線立坑設置	清水建設	397
〃	北区志茂二，三丁目付近再構築	福田組	368
〃	〃 東十条五丁目，神谷二丁目付近再構築	三登建設	279
〃	台東区小島二丁目，三筋二丁目付近再構築	多田建設	304
〃	〃 清川二丁目，荒川区荒川一丁目付近管渠改良	野口工務店	114
〃	千代田区三番町，九段南二丁目付近再構築	平山建設	100
〃	港区南麻布一，二丁目付近再構築	熊谷・日本国土開発JV	770
〃	〃 高輪一丁目付近再構築	アイサワ工業	199
〃	〃 高輪三丁目付近再構築	動栄工業	178
〃	〃 芝五丁目付近管渠改良	足立建設工業	173
〃	豊島区東池袋四丁目，南池袋二丁目付近再構築	ヤマト建設協同組合	299
〃	荒川区南千住一丁目，荒川一丁目付近再構築	東洋建設	465
〃	新宿区喜久井町，弁天町付近再構築	東亜グラウト工業	149
〃	〃 愛住町，船町付近再構築	市組	101
〃	中央区八丁堀二，三丁目付近再構築	アイサワ工業	275
〃	〃 日本橋箱崎町付近再構築	八幡建設	318
〃	幹線管渠改良	竹中土木	151
都・水道局	江戸川区南小岩三丁目地先から同区東小岩四丁目地先間配水本管(700㎜)布設替	新日本工業・布施建設JV	336
山梨県	一般県道古関割子線照坂T	三枝・松井組工友・旭工業JV	625
愛知県	日光川下流流域下水道事業管きょ布設(平島工区)	西松・海部・弥富JV	1,320
〃	菅田第２雨水幹線下水道築造	奥村・大豊・村本JV	1,028
大阪府	大和川下流流域下水道今池みらいセンター管廊築造(その２)	五大コーポレーション	195
〃	猪名川流域下水道大阪国際空港内雨水貯留施設流入渠築造	太陽	236
兵庫県	(一)塩田一宮線よいたいT	熊谷・日下部JV	520
和歌山県	紀の川中流流域下水道(那賀処理区)那賀幹線管渠(シールド)	真柄・淺川JV	525
徳島県	広域道路(阿南丹生谷地区百合T)	姫野組・尾崎工業・大竹組JV	425
長崎県	主要地報道長崎南環状線道路改良(唐八景T)	フジタ・小田急・中嶋組JV	2,850
熊本県	国道389号地域連携推進改築(下田南２号T)	竹中土木・吉永産業・牛深建設JV	1,768
沖縄県	真地久茂地線識名T(仮称)新設	大成・仲本工業・内間土建JV	2,220
仙台市	仙台市高速鉄道東西線連坊工区	戸田・飛島・東洋・未来建設工業JV	6,450
〃	〃 〃 新寺工区	佐藤・三井住友・フジタ・日本国土開発JV	4,710
川崎市	宮崎地区下水枝線第26号	大栄建設	116
横浜市	南部処理区伊勢佐木地区下水道再整備(その７)	県央建設	106
〃	北部処理区梶山地区下水道整備(その７)	長野工務店	304
〃	北部第二水再生センター第７系列汚水送水配管設備	南部工業	148
厚木市	平成18年度公共下水道厚木排水区合流式下水道改善８工区	佐藤・国土開発・天幸JV	1,109
大阪市	八幡屋幹線下水管渠築造(その４)	村本建設	409
〃	豊里～淡路幹線下水管渠支障移設	森・井上JV	430
東大阪市	平成18年度公下第１工区管きょ築造	本間・村本・志眞JV	1,261
松原市	西除川右岸１号雨水幹線管渠築造	前田・東洋JV	709
向日市(京都府)	向日市公下石田川２号幹線築造	佐藤工業	1,397
和歌山市	公下湊南２号雨水幹線その１	不動テトラ・協和・柳原JV	2,193
〃	〃 西部11号汚水準幹線その２	森本組	130
〃	楠見都市下水路流入渠	森本組	123
〃	中央処理区支線その15	土谷組	130
高知市	長浜６号南浦長浜雨水幹線管渠築造	佐藤・ミタニ・関西JV	1,726

施工

土かぶり1,000m，6 MPaを超える高圧湧水下で貫通

—東海北陸自動車道　飛騨トンネル先進坑—

中日本高速道路(株)中部地区支配人付け清見工事事務所飛騨工事長　森山　守
中日本高速道路(株)中部地区支配人付け清見工事事務所長　寺田光太郎
飛島建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体所長　松原利之
飛島建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体副所長　築地　功

1 はじめに

飛騨トンネルは，東海北陸自動車道最後の未開通区間である飛騨清見IC～白川郷IC間に位置する，全長10.7kmの山岳道路トンネルである(図-1)．トンネルの特徴としては，縦断勾配が白川側(富山側)から河合側(名古屋側)に向けて２％の上り勾配となっていること，最大土かぶりが約1,000mと非常に大きいことなどが挙げられる．国内では土かぶりが1,000mを超えるトンネルの施工は谷川岳周辺の大清水トンネル，関越トンネルなどしかなく，着工前から高圧湧水，押し出し，山はねなどの現象に対応する地質調査を進めてきた(表-1)．

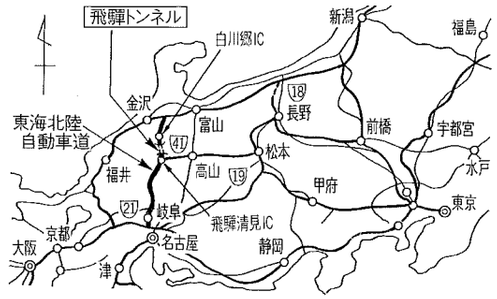


図-1　飛騨トンネル位置図

施工方法は突発的な湧水を考慮し，上り勾配である白川側からの急速施工を基本とし，道路として供用される本坑，緊急時および維持管理用に使用される先進坑(避難抗)ともTBMによる片押し施工で平成10年２月に掘削を開始した．ただし，後述する白川側における不良地山帯や大量湧水帯の出現による工期延伸のため，早期貫通を目的として河合側からの下り勾配によるNATMによる掘削も行った．

飛騨トンネルを構成する地質は，大きく４種類に分類される．白川側坑口から中生代(白亜紀)の白川花崗岩類，中生代(白亜紀)の濃飛流紋岩類，先三畳紀の飛騨片麻岩の順に分布しており，中央部には花崗斑岩の貫入が確認されている(図-2)．

表-1　土かぶりの大きい国内のトンネル

トンネル名	区分	土かぶり(m)	長さ(km)	供用開始年
大清水	鉄道	1,300	22.221	1982
新清水	鉄道	1,200	13.500	1967
関越(上)	道路	1,190	11.055	1991
飛騨	道路	1,024	10.741	工事中
大町	道路	985	5.375	1960
恵那山(上)	道路	950	8.649	1985
雁坂	道路	900	6.625	1998

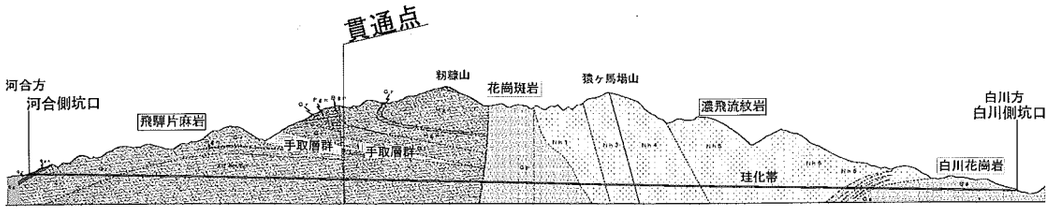


図-2　飛騨トンネル地質縦断図



写真-1　飛騨トンネル先進坑TBM

また，トンネル線形内には跡津川断層をはじめいくつかの断層帯が交差していることが予想されていた．

先進坑TBM(φ4.5m)(**写真-1**)の掘削は，白川花崗岩の区間は順調に終えたものの，濃飛流紋岩との境界付近から森茂断層と想定される著しい不良地山が現れ，熱水変質作用および断層作用により，変位の増大・支保の変状・破砕層からの大量湧水に悩まされ，掘削工法を一時NATMに切り替えて，この区間を突破した．この不良地山帯1,700mに対して約4年の月日を費やした．

その後，白川側坑口から2,700m地点(STA.80＋0)においてTBMを再発進させたが，再発進から600m掘削した地点(STA.74＋36)で粘土層を狭在した不良地山が断続的に出現し，これらを遮水層とした非常に高圧な湧水帯の存在が確認された．この高圧湧水帯のため切羽が崩落し，TBMのカッタ回転不能によりTBM停止に至った．約4か月に及ぶ水抜きによりTBMを再発進することができた．

こうして不良地山帯を克服しながらTBM掘進を継続していったが，白川側坑口からのトンネル延長が5,800m付近(STA.49＋50)から堅岩が中心の比較的安定した飛騨片麻岩が出現した．しかし，この飛騨片麻岩も熱水変質を受けた軟弱層を断続的に狭在しており，1,000m程度の土かぶりによる非常に高い地圧や水圧の影響により何度もTBMが拘束され，TBM上部を切り拡げながらの掘削となった．

とくに白川側坑口から7,300m(STA.34＋54)位置で遭遇した粘土層はその背面に6 MPaを超える高圧湧水帯の影響を受けており，最終的にはTBM本体を破壊するに至った．

今回は飛騨片麻岩でのTBM拘束に至った経緯とその後の対策について報告する(**表-2**)．

表-2　飛騨トンネル先進坑施工経緯

年　月　日	項　　目	工　法
平成8年10月17日	飛騨トンネル避難坑工事受注	
平成9年7月	作業坑・発進作業坑掘削開始	NATM
平成10年2月	TBM掘削開始	TBM
8月	TBM掘削停止	
	第1迂回坑・先進坑掘削開始	NATM
平成11年9月	第1回切り拡げ	矢　板
10月	第2回切り拡げ	矢　板
12月	第3回切り拡げ	矢　板
平成12年8月	第4回切り拡げ	矢　板
9月	第5回切り拡げ	矢　板
10月	第6回切り拡げ	NATM
10月	TBM掘削停止	
	第2迂回坑・先進坑掘削開始	NATM
平成13年5月	河合側より迎え掘り掘削開始	NATM
平成14年10月	TBM掘削再開	
平成15年4月	TBM停止	TBM
平成17年4月	第7回切り拡げ	矢　板
6月	第8回切り拡げ	矢　板
9月	第9回切り拡げ	NATM
平成18年3月	貫　通	

2　飛騨片麻岩におけるTBM拘束と脱出

白川側坑口からの延長が5,800m付近から飛騨片麻岩帯に入った．この地質は亀裂間隔も大きく岩片の一軸圧縮強度が200MPaと堅硬であった．TBMの支保パターンもアーチ部無支保のBパターンとモルタル吹付け2 cmのみのCⅠパターンを主体的に採用した．

しかし，この飛騨片麻岩にも断層運動や熱水変質の影響と想定される軟弱層が狭在していた．平成17年4月，白川側坑口から6,500m付近において厚さ1 m程度の粘土層に遭遇した．この粘土層はトンネルとかなり鋭角に交差しており，切羽左からの粘土層の出現と同時にTBM掘削時のマシンデータから得られる推定岩盤強度の急激な低下が見られた．そのため，メイングリッパによる反力不足が想定されたため支保パターンをシールド推進に対応可能なスチールライナーに変更するとともに滑材を注入しながら掘進を進めた．しかし，前胴の拘束により掘進時の推力が急上昇し，掘進不能になったため，直ちにTBM上部の切り拡げ掘削に移行した．当初は矢板工法による切り拡げ掘削を実施していたが，前胴まで掘削完了した時点で鋼アーチ支保工の変状破損が発生したため，鋼アーチ支保工と吹付けモルタルによる補強を行うことにより，TBM解放に至ることができた(**写真-2**)．

このTBM拘束を踏まえてTBM搭載の削岩機による前方探査ボーリングで，削孔エネルギーの変化や湧水状況などを把握しながら慎重に掘削を進めていった．しかし，この位置から200m程度掘進した平成17年6月，TBMは亀裂の多い破砕層に入り，突発的な湧水とともに切羽が崩落し，TBMカッタヘッドの回転が不能になった．湧水は切羽崩落当初は0.8t/min程度であったが，崩落の拡大とともに2.0t/minに増大した．ここでもTBM上部を切り拡げて，カッタヘッド周辺に堆積した岩塊を取り除くことにした．切り拡げと並行してTBM前方の水位低下を目的としてTBM後方から削岩機とロータリーパーカッションによる水抜きボーリングを計16本(総延長624m)施工して切羽前方の水位低下を図った(**写真-3**)．これらの水抜きボーリングの総排水量は最大時で11.0 t/minを超えたが，切り拡げ完了までの2週間で約1.0 t/minまで水量が低下し，TBMの脱出に成功した．

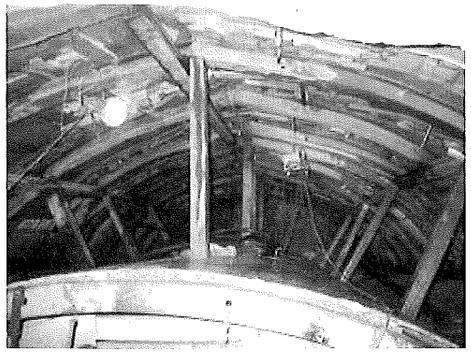


写真-2　切り拡げ後の支保変状補強

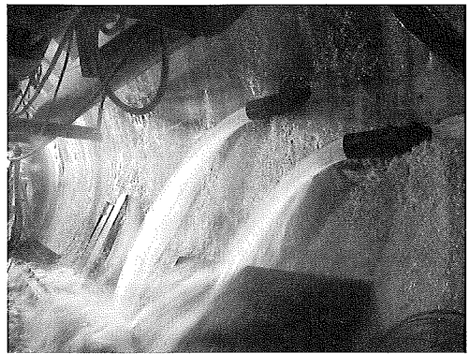


写真-3　突発湧水時の追加ボーリング

3　高圧流動化粘土層との遭遇

前記の2回のTBM拘束と切り拡げによる脱出をくり返した後，再びTBMによる掘削を継続し，平成17年9月時点で既に河合側坑口から3,100mまでNATM掘削が進んでいた迎え掘り切羽までの残延長が310m(白川側坑口から7,300m地点)を残すのみとなった．ここで，TBMは再々度の拘束を受けた．TBMを拘束した粘土層は事前の前方探査ボーリングにより厚さ2～3 mとかなり厚いが，削岩機による削孔が可能であり，湧水もほとんどないことがわかっていた．粘土層の内空側

への変位によるTBM拘束を警戒して，事前に掘削径を通常よりもさらに50㎜(半径)増大させてTBM胴体と掘削壁面とのクリアランスを拡大して掘削を進めた．掘削にあたっては，掘進，盛り替え時の反力不足の可能性があるため，シールドジャッキによる荷重を受けることが可能なスチールライナーに変更した．

切羽掘削時には湧水がほとんどなく，ある程度の自立性を有しており小規模な崩落のみでTBM前胴部は粘土層を通過できたが，後胴盛り替え時に中胴部分が締め付けられ，TBMの拘束に至った．直ちに，TBM拘束解除を目的としてTBM上部の切り拡げ掘削を開始したが，鏡面の押し出し，削岩機のロッドの押し返しなどの現象が発生したため，バルクヘッドコンクリートを構築して切り拡げを中断せざるを得なくなった．

この粘土層は浸水崩壊度がきわめて高いため，小規模な崩落をきっかけに呼び込んだ湧水が粘土層を塑性流動化したものと思われる．後の調査で判明したことだが，約20m先には6MPaを超える高圧湧水帯が存在していたため，この水圧の影響により徐々に湧水が増加し，さらに崩落を助長してTBMに作用している荷重を増大させたと考えられる．この増大した荷重により厚さ40㎜の鉄板でできている前・中胴胴体部が変形し，その隙間から土砂が流入し始めて，中胴に設置している点検窓を壊し，そこに流動化した土砂がさらに流入した．その後もTBM内への土砂流入が続き，TBM拘束から1週間後には流入土砂によりTBM内がほぼ埋没した．土砂の流入が集中的であったため，流入位置を中心としてTBM胴体に大きな変形を及ぼした．

この土砂流入，TBM本体の変形による駆動部の破壊，電装関係の損傷などは致命的であり，TBM再掘削は困難であると判断した．しかし，塑性流動化した粘土による流入現象は継続し，TBM内からトンネル坑内へ流出し始めたため，これを阻止するためTBM上部の粘土層に対してセメント系注入材による改良注入を実施することにより，塑性流動化現象を沈静化させた(**図-3**)．

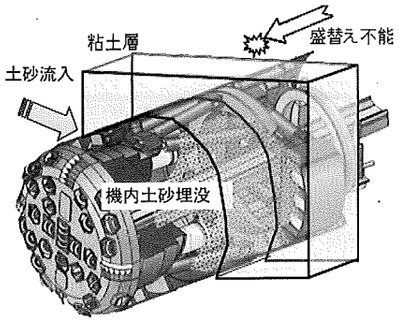


図-3　TBM拘束イメージ図

4　TBM拘束後の対策

引き続き未掘削区間の地質調査および水抜きボーリングの基地として，また，TBM解体が不可能となった場合の避難坑本線として使用する目的でTBM本体後方(後続台車途中)左側から迂回坑を掘削開始した(**図-4**)．坑口付けは後続台車の途中であるため，掘削断面が小さく作業スペースが少ないため，小型の1ブーム空圧削岩機により削孔して掘削を進めた．TBMを拘束した粘土層の想定位置付近では，この削岩機により粘土層の位置および含水状態を確認しながらの掘削を行った．13m程度掘削した時点でTBMを拘束した粘土層に遭遇した．掘削直後の地質状況は湧水もなく自立性がある程度確保できる切羽であった．しかし，徐々に鏡面の亀裂開口が進行し，そこから湧水も漸増していった．その時点で厚さ30cmの鏡吹付けを実施したが，泥土化した土砂がこの鏡吹付けを押し割って切羽が崩落し，崩落土砂により迂回坑全体が埋没する事態に至った(**写真-4**)．

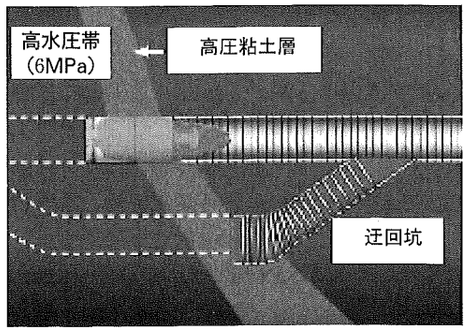


図-4　高圧粘土層位置関係図

崩落と同時に水抜きボーリングの施工ヤード確保のためにTBM後続台車を切り離し50m後退した．迂回坑よりもさらに後方の右側から地質調査および水抜きを目的として長尺ボーリングを削孔開始した．この長尺ボーリングにより切羽前方20mより奥に6MPaに及ぶ高圧湧水帯の存在がはじめて判明した(**図-5**)．この湧水帯は何層かの粘土層に細分化されており，このままでは掘削が不可能と判断し，未掘削区間周辺の水圧を低減するためには，広範囲に長尺ボーリングを追加する必要が生じたため左側から水抜きボーリング坑を掘削した．この水抜きボーリング坑は粘土層の手前で終了し，長尺水抜きボーリングの作業基地とした．同時に，下り勾配の河合側からも長尺水抜きボーリングを実施した．計6本の長尺水抜きボーリングにより高圧湧水帯の湧水圧が約1MPa以下へ減少したことが確認されたため，排水設備の増強をして，平成18年3月に河合側からのNATM掘削により無事貫通することができた．

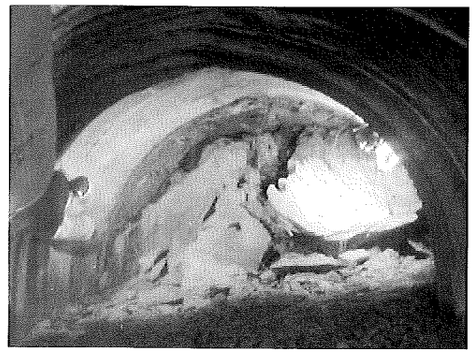


写真-4　ボーリング坑崩落

5　TBM損傷状況

流動化した粘土層の沈静化と湧水圧の低下が確認できたため，貫通に先立って慎重にTBM内の土砂撤去および解体作業に入った．TBM内は駆動機械，ベルコンの隅々まで土砂が流入しており，また作業場所は狭小であり，土砂の再流出時の退避方法などの安全を確保しながらの慎重な作業を行った．土砂撤去を進めるにしたがい，TBM前胴部と中胴部(ともにt=40㎜)が1.5m程度内部に突出変形していることが明らかになった(**写真-5**)．スラストジャッキやカッタモータなども著しい変形をしており，破断しているものもあった．そこで，解体作業を継続するにあたって，H形鋼によ

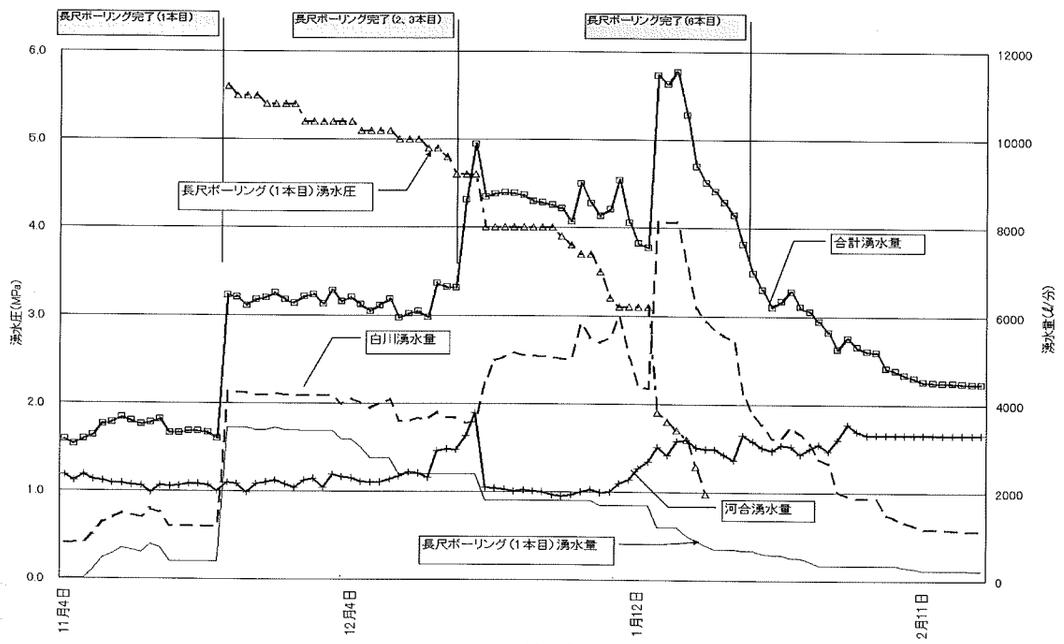


図-5　ボーリング湧水変化グラフ

る補強を行うとともに，このH形鋼に応力計を設置してゆるみの増大による荷重増加に備えた(**写真-6**)．TBMに河合側切羽が20m程度に近づいたときに補強H形鋼の応力が急増したため，H形鋼を追加補強した．その後も，河合側切羽の接近にしたがい応力が漸増していったが，貫通後はおおむね収束したことが確認できた(**図-6**)．

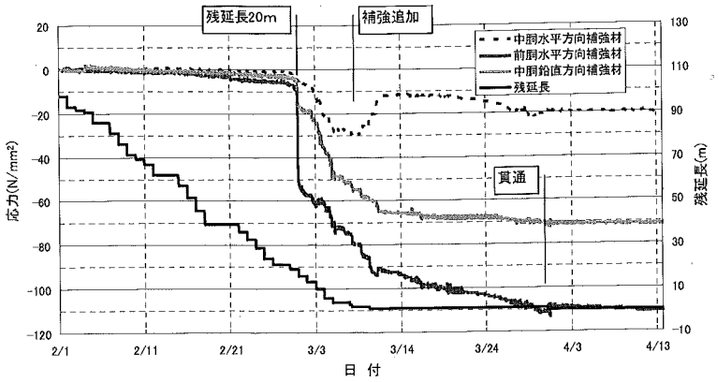


図-6　突出部補強支保工応力経時変化図

TBM外殻を補強し支保とするため，TBM変形に対して，どの程度の荷重が作用したか想定するため解析を実施した．解析は3次元モデルで胴体が降伏してスラストジャッキが破断するまでの荷重状態を算定した．変形形状から右上から卓越的な荷重が載荷されていると仮定した．

算定結果では4.7MPaの集中的な荷重がかかった場合に実際の現象と同様な挙動を示すことがわかった(**図-7**)．これだけ大きな荷重はゆるみ荷重では説明できず，前方に存在する6 MPaの高圧湧水帯に影響を直接，あるいは間接的に受け，高圧泥土化したことによると考えられる．

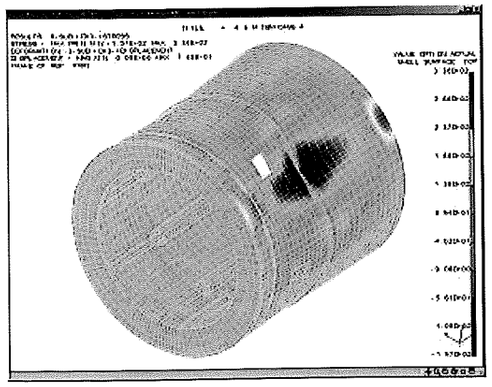


図-7　TBM変形部3次元FEM解析

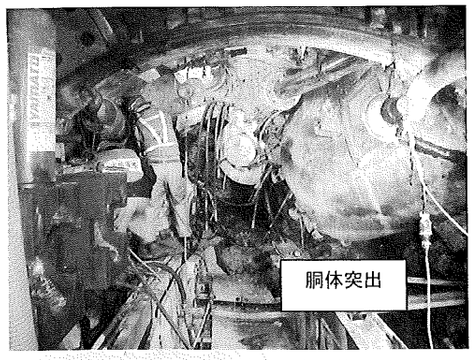


写真-5　TBM胴体部変形状況

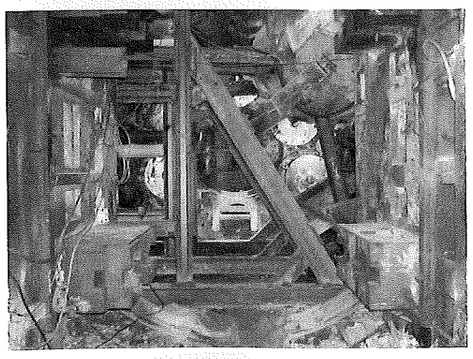


写真-6　TBM突出部補強状況

6　TBM上部のゆるみ範囲調査

迂回坑の切羽が崩落したため，当初の計画どおりTBM本体の駆動部などを除去し，トンネル支保として活用するものとした．そのためにはどの程度の補強が必要であるか，また，先進坑の貫通後に，隣接する本坑のTBM掘削による先進坑TBM付近のゆるみ領域がどの程度拡大するかが問題となった．これらの検討をするために現在のゆるみ領域を確認することとした．そのため，ゆるみ範囲のボーリングによる調査を試みたが，ロッドが抜けなくなるなどの不具合が相次ぎ，間接的な調査手法で調査することとした．

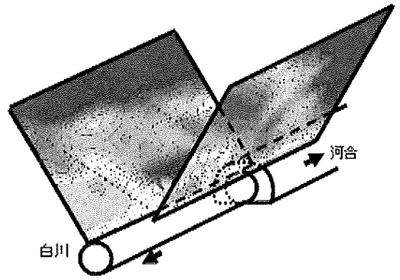


図-8　3次元トモグラフィ解析結果図

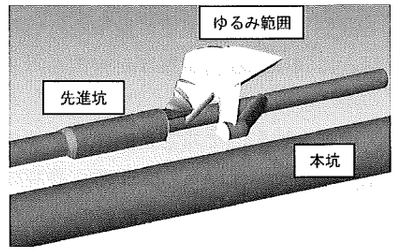


図-9　ゆるみ範囲3次元モデル図

間接的な調査方法として3次元トモグラフィによるゆるみ範囲の調査を実施した(**図-8**)．3次元トモグラフィ探査範囲内(20m)のゆるみ範囲を調査することができ，この調査からTBM上部のゆるみ範囲はトンネル直径の3倍弱である12m程度であることが判明した．また，ゆるみ層は約30°程度の傾斜で白川側へ傾いていることが確認された(**図-9**)．これから掘削していく本坑断面内にも同様の粘土層が広がっていることも想像できるが，本調査結果ではゆるんだ状態にはなっていないため，慎重な施工により本坑のTBM掘削は可能であると思われる．

先進坑においては，この結果をもとに迂回坑を掘削するリスクよりも，かなりの変形があるものの補強が可能であると判断して，TBM胴体をくり貫いて避難坑として使用する方が経済性にも優れていると判断した．ただし，ゆるみ範囲をこれ以上拡大させることは許されないため，TBM解体にあたっては5 ⅓厚肉鋼管による先受けを事前に施工するとともに，変形した突出部を20cm幅程度に分割して，鋼板を置き換えた．鋼板はTBM本体の胴体厚さ(40㎜)に相当するリブ補強した25

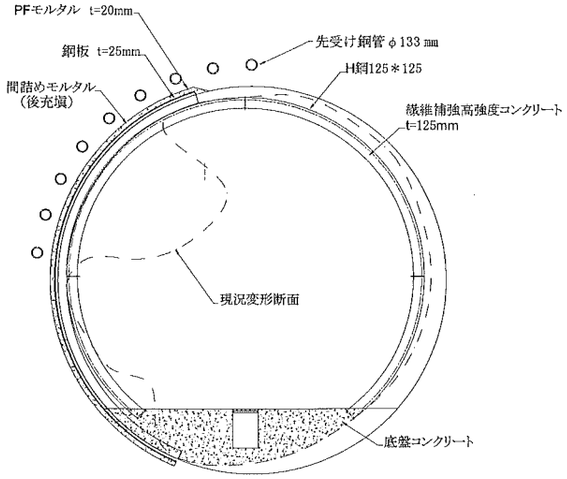


図-10　TBM補強図

㎜の鋼板を使用した．また，今後本坑が20m程度の離隔で通過するため，ゆるみ範囲調査で確認されたゆるみ荷重が新たに載荷しても安定性を確保できることを目的として，ひずみ計を取り付けたH形鋼(H-125)を1 mピッチで設置し，補強した(**図-10**)．

事前の綿密な計画と対策により，計測管理を行いながらのTBM解体および補強作業はTBMが拘束，破壊してから約1年後の平成18年9月に地山を大きくゆるませることなく，無事補修を完了することができた．

7　ま　と　め

最大土かぶり1,000mに達する飛騨トンネル先進坑は，本坑掘削前に地質状況を把握するとともに，地下水位を低下させるという重要な役割を担っていた．この先進坑掘削の約10年を振り返れば施工中には幾多の不良地山や大量湧水の遭遇により，TBM停止や切り拡げをくり返しながらの難工事であったことに尽きると言っても過言ではない．とくに平成17年9月には貫通まで300mあまりを残しTBM本体が拘束，破損に至り，迂回坑も埋没した．これはTBM拘束箇所周辺の粘土層が前方の6 MPaもの高圧湧水帯を遮断していたが，TBMの突入と小規模な崩落をきっかけに粘土層が緩みTBMに大きな圧力がかかったものと推定

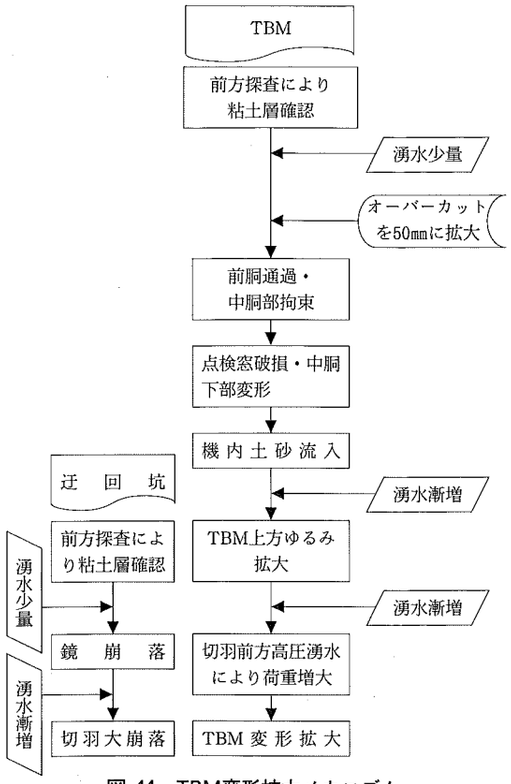


図-11 TBM変形拡大メカニズム

する．また，TBMが破損に至った経緯は粘土層の崩落と湧水量の増大が相乗的に作用していったものと考えられる(図-11)．これらを踏まえ，迎え掘りNATM掘削は長距離下り勾配掘削により貫通を目指すため，河合側からの長尺ボーリングによる水抜きと水圧管理により安全な施工方法を実施した．貫通点付近は断層と変質帯により複雑な地層構造となっていたが，長尺ボーリングの追加により帯水層，遮水層の位置を精度よく把握し，効率的なボーリングを実施した．

かつてないほどの高圧大量湧水下での対応が今後の大土かぶりトンネルにおける施工方法検討の一助となればと考える．また，ボーリング孔を利用した弾性波トモグラフィにより先進坑TBM解体作業の補強方法や本坑の掘削方法，覆工方法の検討資料として用いることができた．この方法は2本のボーリングでその挟む範囲の地質状況の3次元的表示が可能であるため，今後の応用範囲は広いと考えられる．

飛騨トンネルは，平成18年11月末現在で残り220mとなり，平成18年末には本坑も貫通する予定であるが，残り区間では，先進坑TBMが潰された区間を掘削するため，慎重に掘削を行いながら早期の開通に向けて総力を挙げた施工を行っている．

最後に，地質，地形的に非常に困難な条件の中，次々と発生するトラブルに対して最新，最高の技術で大きな事故もなく克服できたことは大いなる喜びである．これもひとえに飛騨トンネル施工技術検討会(委員長：足立紀尚・京都大学名誉教授)の委員をはじめとする関係各位の方々のご指導，ご助言のお陰であり，深く感謝する次第です．

参 考 文 献

1) 山田隆昭・川北眞嗣・勘定茂・築地功：飛騨トンネルにおける高圧大量湧水帯の施工，トンネル工学研究発表会，2003.11.
2) 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・松原利之：不良地山・高圧湧水との闘い(不良地山編)，東海北陸自動車道飛騨トンネル，トンネルと地下，Vol.35，No.8，2004.8.
3) 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・築地功：不良地山・高圧湧水との闘い(大量湧水帯編)，東海北陸自動車道飛騨トンネル，トンネルと地下，Vol.35，No.9，2004.9.
4) 森山守・勘定茂・松原利之・築地功・松元和伸：飛騨トンネル先進坑における6MPaの高圧湧水帯の対応，第18回トンネル工学研究発表会，2006.11.
5) (社)日本トンネル技術協会：トンネルの統計データ，http://wwwsoc.nii.ac.jp/jta/jta%20data/data%20index.htm

施工

到達立坑内に3,000tの水を張りシールドを引き抜く

—地下鉄13号線　新宿工区—

東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所所長 西村 聡
東京地下鉄(株)建設部新宿工事事務所技術課長 岡田龍二
東京地下鉄(株)建設部工事課副主任 佐久間穣
清水建設(株)13号線新宿工区土木作業所所長 原 忠

1 はじめに

東京地下鉄(株)は，現在地下鉄13号線(池袋～渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており，平成20年6月の開業を目指している．

本稿はこの地下鉄13号線建設工事のうち，新宿工区シールド(新宿七丁目～新宿三丁目間)において実施したシールドの水中到達および引き抜き施工について報告するものである．

2 13号線概要

地下鉄13号線は東京メトロ池袋を起点とし，豊島区道(通称：グリーン大通り)，都市計画道路環五ノ1号線の下を通過後，明治通りを南下し，新宿三丁目，明治神宮前を経由して渋谷に至る延長8.9kmの路線である．

建設中の駅は既設の新線池袋駅を除き，雑司ケ谷，西早稲田，新宿七丁目，新宿三丁目，新千駄ケ谷，明治神宮前，渋谷の7駅である．

開業時には池袋以西において東武東上線，西武池袋線と，平成24年度には渋谷駅において東急東横線と相互直通運転を行う予定であり，東京都北西部および埼玉県南西部から神奈川県横浜方面をつなぐ大動脈が完成することとなる．

地下鉄13号線建設におけるシールドトンネルは9区間計15本で，池袋～新宿三丁目の各駅間は単線シールド(駅シールドを含む)で，新宿三丁目～渋谷の各駅間は複線シールドを採用している(図-1)．

地質構成は，池袋～新宿七丁目付近は武蔵野台地の豊島台，新宿七丁目～渋谷付近は淀橋台に位置している．淀橋台では関東ローム層の下部に東京層と上総層が分布し，豊島台では関東ローム層の下部に段丘礫層を挟み，東京層と上総層群が分布している．台地を浸食した神田川や渋谷川の河谷低地には薄く谷底堆積物が分布しているが，大部分は洪積層の安定した地盤である．地下水は，関東ローム層，段丘礫層の不圧帯水層と，東京層および上総層群の数層に分かれた被圧帯水層に分布している．

3 新宿シールド工事概要

新宿工区シールドは新宿七丁目と新宿三丁目を結ぶ並列単線シールドで，路線延長は491m，2本のトンネルを併せたトンネル延長は982mである．この区間を掘削外径φ6.76mの泥水式シール

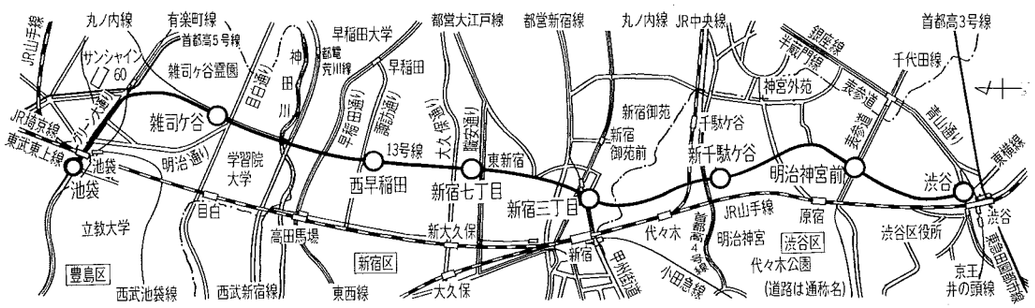


図-1　13号線概要図

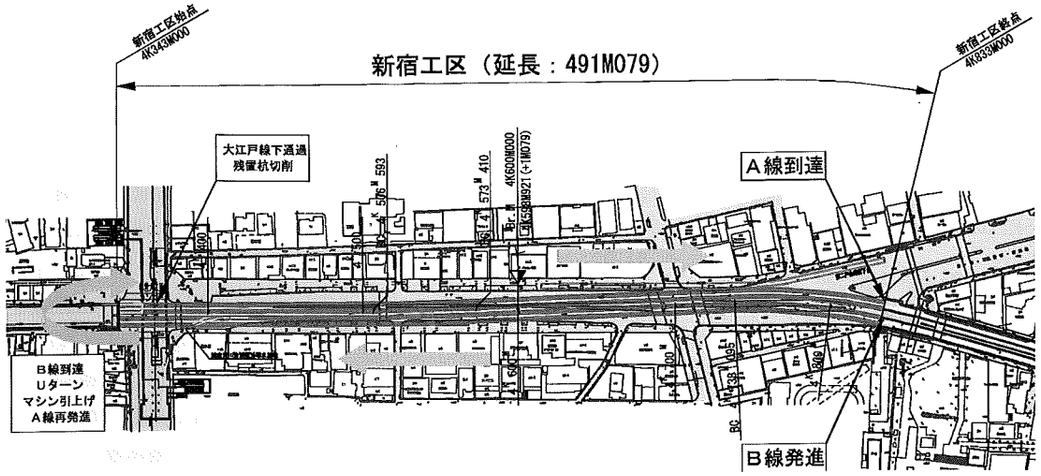
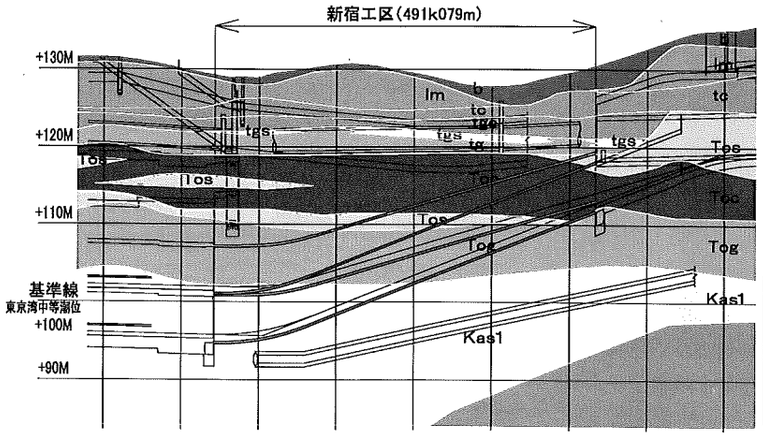


図-2　新宿工区路線平面図

ドで掘進する．

新宿七丁目において，上下線が地下4階および地下3階の2階層に分かれているため，当区間の縦断勾配は新宿七丁目から新宿三丁目に向かってそれぞれ40‰と30‰の上り勾配となっている．シールドは新宿三丁目地下2階を発進して新宿七丁目の地下4階に到達後，Uターン，リフトアップした後に地下3階より再発進し，新宿三丁目地下2階まで戻る計画である(図-2)．この区間の土かぶりは最小10.9m～最大27.6mと大きく変化し，掘削土質も，東京層粘性土，東京層砂層，東京礫層，上総層砂層と多様な地盤である(図-3)．

以上の諸条件より，新宿工区シールドの施工では，以下のような技術的課題があった．



地質層序表

地層名	地質名	地質記号
埋土	ローム・瓦礫など	b
関東ローム層	ローム	lm
	火山灰質粘性土	tc
段丘礫層	粘性土・シルト	tgc
	砂・砂質土	tgs
	礫・礫質土	tg
東京層郡	粘性土・シルト	Toc
	砂・砂質土	Tos
	礫質土	Tog
上総層郡	砂・砂質土	Kas1

図-3　新宿工区路線縦断図

① 粘性土，砂層，礫層と大きく変わる地層に対応するシールド掘進

② 狭隘な立坑でのシールドUターンと高さ6.2 mのシールドリフトアップ工事

③ 都営大江戸線近接施工(最小離隔1.1m)および大江戸線建設時の残置モルタル杭のシールド切削

④ 被圧水下全面砂層でのシールド引き抜き施工

本稿では，上記の中で④のシールド引き抜き施工を中心に報告する．

4　施　工　条　件

4-1　到達部(Uターン立坑)

到達部立坑はシールド土かぶり27.6m，ほぼ全断面上総層砂層，ディープウエル稼働時で，被圧水位はGL－22m(下床上面から12.2m)である．上総層砂層は，N値50以上で基礎地盤としては十分な地盤であるが，均等係数が10未満の粒径がそろった均質地盤であり，シールド引き抜き時の地下水出

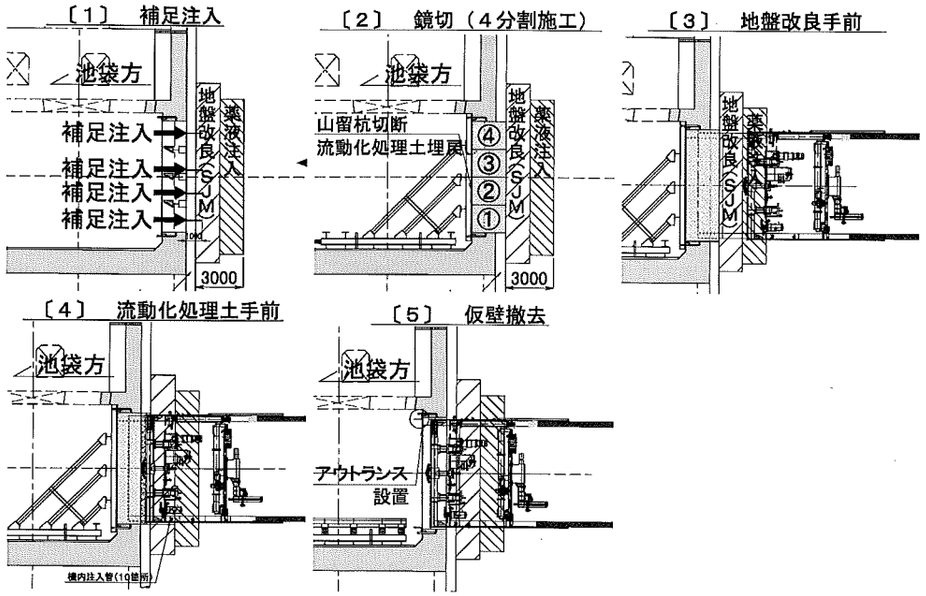


図-4　到達工ステップ図

水，土砂引き込みの防止対策が必要不可欠であった．

また，到達部上部にはNTT洞道や東電人孔などの重要埋設物を抱えており，確実な施工が要求されていた．

鏡部は，シールドを引き抜くために鉄筋コンクリート端壁（厚さ1.5m）に直径7mの円形の箱抜きを施工済みである．山留め壁は，路下BH杭（H-400およびH-300）で，鏡切りは鉄筋コンクリート壁面に鋼製隔壁を設置し，山留め壁を4分割で撤去，流動化処理土に置換した．山留め壁背面は，山留め壁切断時の地山安定，地下水出水防止のために，セメント系高圧噴射攪拌工法と薬液注入工で防護を行っている（図-4）．

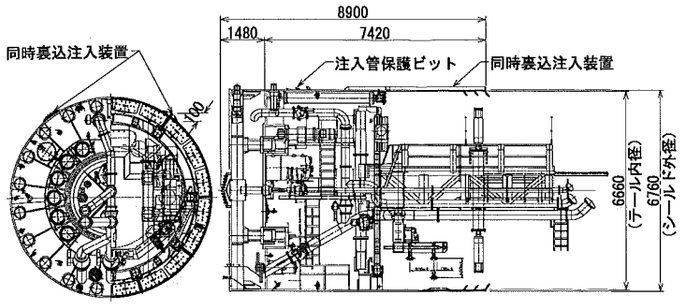


図-5　シールド外形図

4-2　シールドの仕様

シールドは，泥水式シールド，掘削外径φ6,760㎜，機長8.9m，機体重量約3,000kNである．スキンプレート外面2か所に裏込め同時注入装置を装備している（図-5）．

5　施　工　計　画

5-1　全体計画

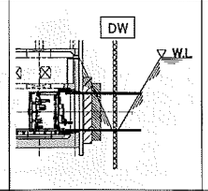
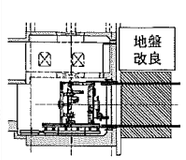
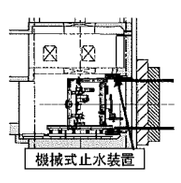
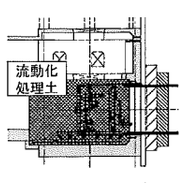
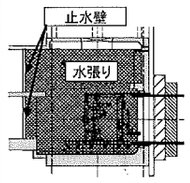
5-1-1　シールド引き抜き方法の選定

施工条件で述べたとおり，シールド引き抜き時には，シールドのスキンプレートと地山との摩擦による地下水や土砂の引き込み防止がもっとも重要な課題であり，種々の対策を検討した（表-1）．

確実性，工程，コストの観点から検討した結果，出水・砂引き込みの主となる防止対策として，立坑に水を張り，水中到達することで背面地山の地下水圧を抑え，土砂の引き込みを防止することとし，他の工法を補助的に採用することとした．

一般的には，シールド機長分の

表-1　シールド引き抜き補助工法比較

	地下水位低下工法	地盤改良工	機械式止水装置	立坑埋め戻し	水中到達
工法概要図					
工程	○ （事前に施工可能な場合）	○ （事前に施工可能な場合）	×	×	○
コスト	×	×	○	×	△
考察	・DWを設置するスペースがない． ・4本のDW稼働中で，現状以上の水位低下は見込めない． ・周辺地盤の沈下など悪影響が懸念． ・排水のコストが大きい．	・埋設物の関係で路上から確実な計画改良ができない． ・水平薬液注入では，確実な止水ゾーン形成が困難． ・高圧噴射攪拌工法では，コスト，工期が莫大．	・立坑が狭く，信頼性の高い機械式止水装置を設置するスペースがない． ・同時注入管や保護ビットなどの突起物に完全に対応するのは困難である．	・地下水出水や砂引き込みに対して安全性が高い． ・土砂埋め戻し，撤去に大きな手間が必要．	・地下水出水や砂引き込みに対して安全性が高い． ・供給水の確保，排水ルートの確保が必要． ・排水時の安全確保の補助工法が必要．
評価	×	×	×	△	○

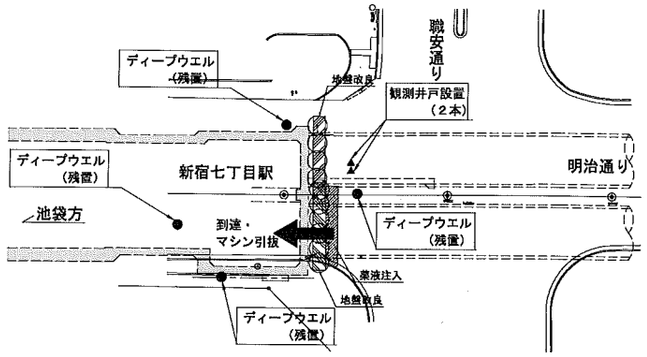


図-6　観測井戸・ディープウエル設置平面図

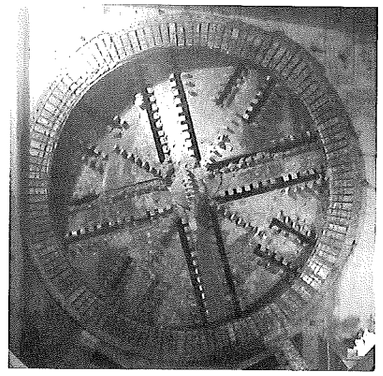


写真-1　アウトランスパッキン

地盤改良を補助工法とする場合が多いが，本工事では，埋設物などの関係で確実な地盤改良ができないこと，シールドが比較的大断面図であるため改良範囲が非常に大きくなり工程のロスが大きいことなどから不採用とした．

また，水中到達を採用できた与条件としては，供給水として既存のディープウエルを使用できたこと，泥水シールドの排泥ラインを利用して排水が可能であったこと，立坑の到達準備工と並行して遮水壁を設置することができたことが挙げられる．

5-1-2　補助工法の検討

水中到達をより確実に実施するために，補助的なものとして以下の工法も採用した（図-6）．

（1）　ディープウエル工

立坑部周辺には，開削工事のために設置された4本のディープウエルが稼働しており，現状以上の水位低下は望めないものの，継続して稼働させることで，シールド引き抜き時まで地下水位を維持した．

（2）　機械的止水装置（アウトランスパッキン）

今回の立坑条件では，バルクヘッドタイプの止水装置は，設置スペースがなく，立坑での設置作業が到達準備工と競合して工程のロスがあること，また，裏込め同時注入装置やその保護ビットがスキンプレート外側に装備されており，完全な地下水出水，土砂引き込みの防止ができない可能性が高いことから不採用としたが，シールド引き抜き後にセグメント周面からの土砂引き込みを防止することを主目的に，簡易なワイヤーでゴムパッキンを締め付ける装置（アウトランスパッキン）を補助工法として設置することとした（写真-1）．

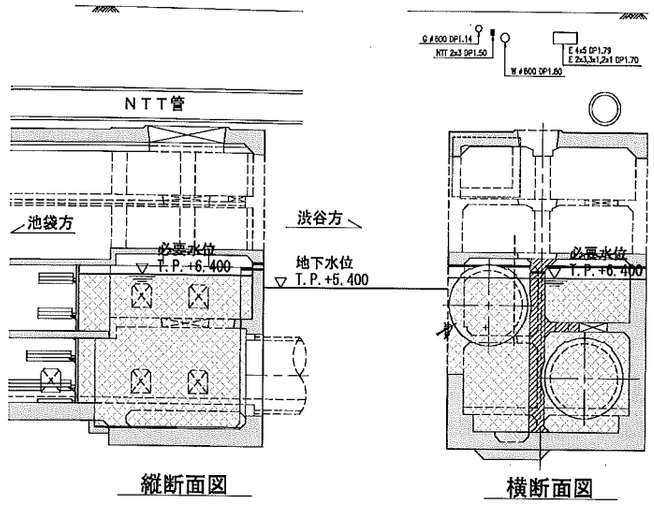


図-7　水張り計画図

5-2　貯水計画

5-2-1　必要水位と必要水量

観測井戸の地下水位データにもとづき，水張り水位を背面地下水位＋1.0mに設定した．＋1.0mにした理由は，立坑側の水位が漏水などの急激な変化に対応するためである．よって設定水位は立坑部の下床上面から13.2mとした（図-7）．

設定水位より，水張りに必要な水量は2,800m³

となり，稼働中のディープウエル4本から供給することとした．1本あたり200 ℓ/分の供給量なので，水張り所要時間は約60時間である．

5-2-2　シールド

水中到達では，シールドを水中に引き出すため，密閉性が確実なこと，水中で浮かないことが絶対条件である．今回のシールドは泥水シールドであり，テールシールもワイヤーブラシ式3段装備で過去の実積からも密閉性は問題ないと考えられた．

シールドの浮力については，以下の式により安全と判定されたが，シールド自体の算定重量に誤差があることから，水中への引き抜き時には，シールド内にセグメント2ピース(84kN)を仮置きして，補助ウエイトとした．

シールド浮力：$F=\rho \cdot V$

ただし，

$\rho=10.5\text{kN/m}^3$

$V=7.42\times(6.76/2)^2\times\pi\ \text{m}^3$

$F=2{,}796\text{kN}<W=3{,}000\text{kN}$(シールド重量)

注)シールド機長はバルクヘッドからテールまで，水の比重は安全を考慮して高めに設定した．

5-3　遮水壁計画

5-3-1　遮水壁の構造検討

立坑に水を張るためには，立坑横の軌道階である地下4階の2か所，地下3階の2か所に遮水壁を設置する必要がある．遮水壁構造ついては，コンクリート構造，鋼構造が検討されたが，種々の条件より今回は鋼構造とした(表-2)．

遮水壁の設計に関しては，以下の点に留意した．

- 壁体のたわみ制御
- 既設構築物への負担軽減
- 端部の水密性確保

図-8に遮水壁構造図を示す．

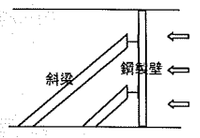
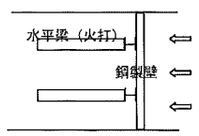
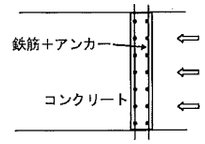
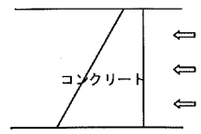
5-3-2　遮水壁の設計

狭隘な坑内では小機械を使用しての人力主体の設置作業となることから，遮水壁の設計条件として，極力小さな部材を選定し，かつ，たわみも抑える構造として，壁体主柱にH-200×200×8×12(最大取り扱い重量約280kg)の@300を採用し，これに$t=9$ ㎜の鉄板を貼り付けることとした．

構造体としては，遮水壁周面を構造物とアンカーなどで接合すれば有利であるが，遮水壁設置箇所は供用後に電車が通る軌道階であり，コンクリート面(とくに中床スラブ下面)に多数のアンカーを設置することは，将来的にコンクリート表面の剥落などを発生させる恐れもあることから，遮水壁上面部は自由端とし，腹起こし，火打ちにより壁体全体を支える構造とした(図-8)．

火打ちからの軸力を壁面に伝達する腹起こしは，鉄筋コンクリートの側壁にアンカーでとめた鉄板

表-2　遮水壁工法比較

工　法	鋼　構　造		コンクリート構造	
	斜梁方式	水平梁(火打ち)方式	RC壁	重力壁
略　図 (断面図)				
特　徴	・施工は比較的容易である． ・壁体自体に軸力が発生する． ・中床に設置する場合，中床スラブに過度の荷重を受ける．	・施工は斜梁より，手間を要する． ・壁体には曲げ応力とせん断力のみが発生するので斜梁よりも部材を小さくできる．	・施工は比較的手間を要する． ・多くのアンカーが必要となる． ・撤去に手間を要する． ・無収縮モルタルなどの注入を要する．	・施工は容易である． ・撤去は非常に手間を要する． ・無収縮モルタルなどの注入を要する
既設構造物への負担	斜梁下部と壁体上部で，ややあり	火打ちアンカー部のみで，少ない	アンカー部が集中しており，大きい	コンクリートが大量で，かなり大きい
評　価	△	○	△	×

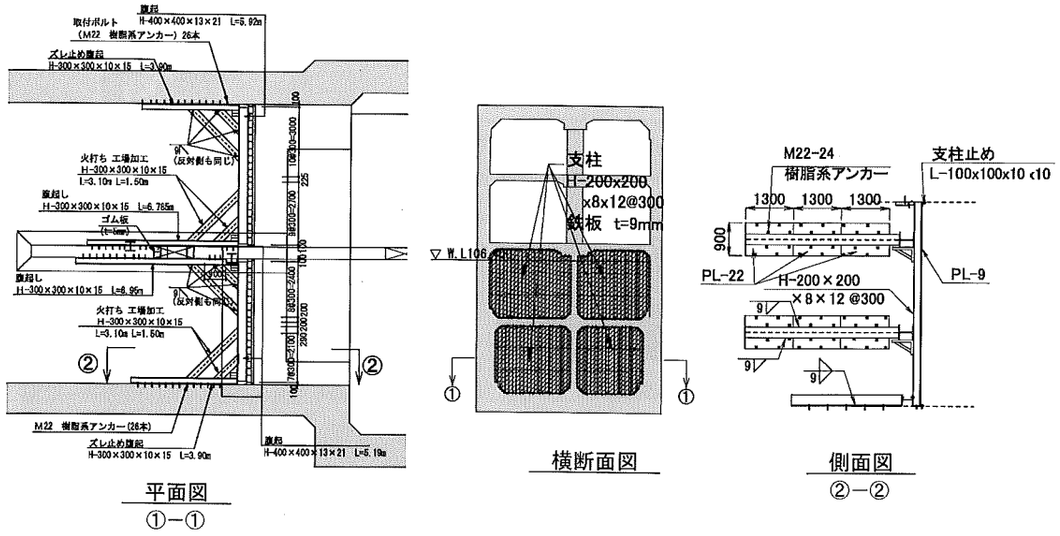


図-8　遮水壁構造図

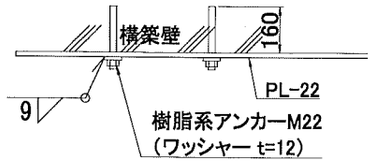


図-9　アンカー詳細図

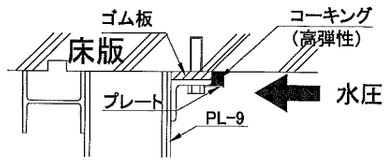


図-10　遮水壁端部詳細図

(t=22㎜)に全強で溶接して固定した．これにより，既設構造物へは，火打ち軸力の分力である側壁と垂直方向の力(圧縮力)が鉄板を介して伝達される．ここで留意したのは，中壁に鉄板を設置する場合，中壁に曲げ，せん断力が発生しないように鉄板を左右対称に設置した点である．

火打ち軸力の分力である側壁と平行の力(せん断力)は，アンカーのせん断力のみで対抗するようにした．アンカーについては付着力の信頼性が高い樹脂系アンカーを使用した．ここでの問題点は，実際の施工においては鉄板のアンカー穴の隙間や施工誤差により，載荷時には同時にすべてのアンカーにせん断力が伝播せず，結果として特定のアンカーのみに応力が集中することで，ファスナーのように，連鎖的に破断する恐れがあった．そこで，アンカー頭部に角ワッシャー(t=12㎜)を設置し，アンカーボルト，角ワッシャー，鉄板を溶接接合して，すべてのアンカーに同時にせん断力が伝播するようにした．

さらに，安全率として，総せん断力に対するアンカー必要本数の1.5倍のアンカー数とし，確実性を確保した(図-9)．

次に遮水壁に必要な機能である水密性の確保については，壁体すべての柱材と鉄板($t=9$ ㎜)の接合を溶接構造として対処した．壁体端部とコンクリート構造物との取り合い部は，壁体端部にゴム板を挟み込み，コーキングにて止水を行った．今回は，シールドトンネルの目地やRC・PC防火水槽目地，打ち継ぎ誘発目地などに使用されるエポキシ樹脂系高弾性目地材を使用した(図-10)．

5-3-3　緊急止水壁

地下鉄工事のように，他工事が地下で並行して施工されている場合，万が一，遮水壁の変形などによる大量の逸水が発生した場合，他工区への大きな損害が予測される．とくに，新宿七丁目駅の反対側を発進してシールド掘進作業をしている戸山工区のシールドを水没させる危険性があったため，新宿七丁目駅中間部に緊急止水壁を設置し，

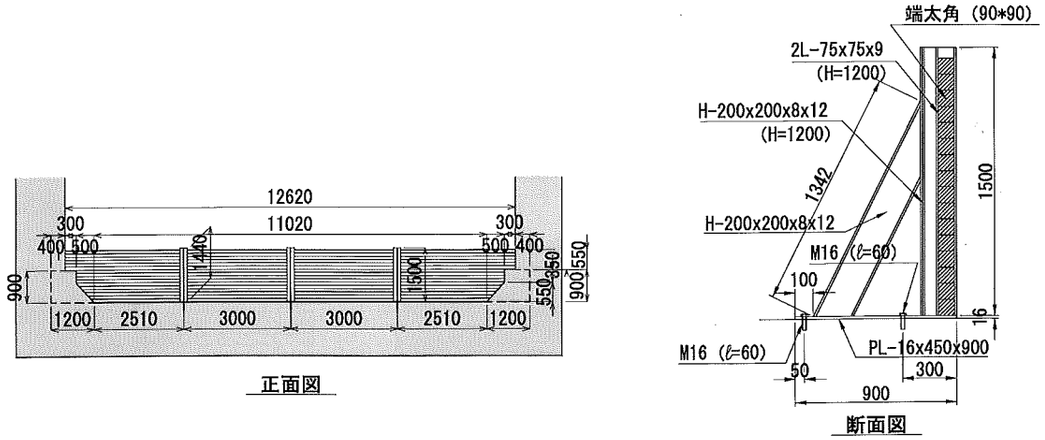


図-11　緊急止水壁構造図

緊急時の対応をすることとした．緊急止水壁は，H鋼と角材を使用した角落しタイプとし，非常時には，地下４階に2,000m³の水を溜めることができるようにした(図-11)．

6　水中到達の施工

6-1　準備工

遮水壁の設置工事は，シールド到達の準備工事と並行して行った．立坑内には引き抜き，Uターン，リフトアップに使用するシールド架台を設置しているため，ほとんどの作業は内空の確保できない立坑外の一般部からの施工となった．

先にも述べたように，これらの重複した工事を同時に，かつ，確実に行えたことが，当工区の工程上非常に大きなメリットとなった．

また，点検および緊急時の対策用として，潜水士を配置し，貯水時および引き抜き時における水中の状況を把握できるようにした．

さらに，山留め壁背面の地下水位を正確に把握し，水中到達時の水位を決定するために，観測井戸２本(上総層砂層と東京礫層)を設置した．

6-2　水張り工

水張りは，残置した４本のディープウエルで実施した．当初は約60時間(３日半)で完了する予定であったが，遮水壁からの漏水や構造物の未施工部分と山留め壁間からの逸水などにより，それらを補修しながらの施工となり，結果として，６日

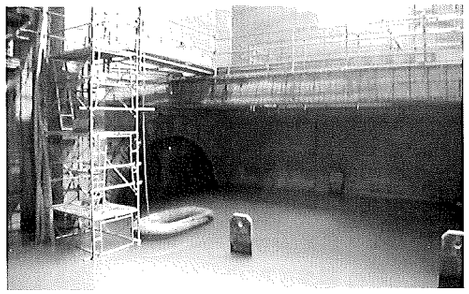


写真-2　水張り状況

間を要した(写真-2)．水張り中は，立坑内水位計測と併せて，背面地下水位の観測，遮水壁の腹起こしのたわみ計測を実施した．遮水壁のたわみは腹起こし部の最大値1.0㎜で計算値0.9㎜とほぼ同等であった．４か所の遮水壁のうち，３か所はほとんど漏水が見られなかったが，１か所については，端部が3.0㎜ほど全体に変位し，最大で100ℓ/分程度の漏水が見られた．漏水については，潜水作業によりすぐ収めることができた．変位の原因としては，すべて溶接接合の構造であったため，施工時に溶接の熱による変形が起こり，その状態で水圧がかかったことで壁体自体が変位したと推定された．

6-3　シールド引き抜き

シールドは，送排泥管を閉鎖，カッタ停止状態で同時裏込め注入を行いながら，シールドジャッキにより押し出した．速度は，20㎜/分で，潜水士により坑口やアウトランスパッキン，発進架台

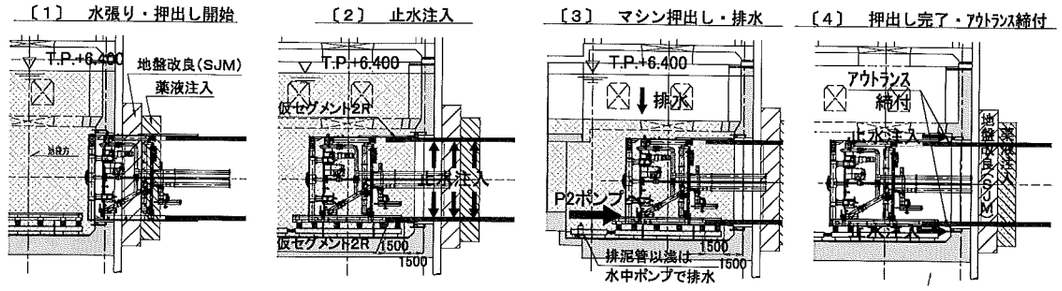


図-12　シールド引き抜きステップ図

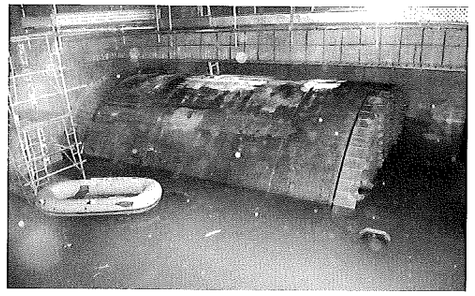


写真-3　排水状況

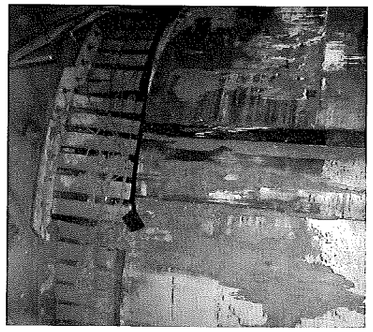


写真-4　排水後の坑口状況

への乗り上げ状況などを監視しながら，所定の位置まで押し出した(図-12)．押し出し時において，立坑内水位はシールドの体積分だけ上昇する一方で，坑外の観測井戸での山留め壁背面の地下水位には全く変化がなかったことから，地山からの地下水の引き込みなどが起こっていなかったことが実証できた．

6-4　止水注入

坑口側３リングのセグメントは，予めOリング付きのエレクタ孔が設置してあり，そこを貫通させて薬液注入工を実施し，セグメント周辺と坑口周辺の止水処理を実施した．

6-5　排　水

施工後の排水は，当該立坑付近に大きな下水函渠がないために，排水に先立ち下水道企業者と協議を行い，シールド発進基地のある新宿三丁目立坑まで流体輸送ポンプにより排水を行い，下水函渠へ放流した．排水方法は，流体設備のP2ポンプで排水可能な水位まで下げ，それ以降は排水ポンプを排泥管に直結させて排水を行った．平均で約２m³/分の排水を行い，潜水士により坑口周辺の状況を観察しながら24時間で排水を完了した(写真-3)．

排水完了後の坑口付近状況は，裏込め，薬液注入が坑口に完全に填充されており，地山からの漏水がほとんどない状況であった(写真-4)．

7　ま　と　め

当該シールド工事は，平成18年４月の水中到達完了後Uターンを行い，５月に新宿七丁目を再発進，８月には無事新宿三丁目に到達した．

都市部における比較的大断面なシールドでの計画的な水中到達(シールドの引き抜き)は，ほとんど例を見ない施工方法である．今回工事では，供給する水の確保や遮水壁を設置するスペース，排水可能な設備などの与条件により施工可能であったが，土砂の引き込みを防止する観点からは完全に安全な工法であり，コスト面においても，従来のシールド機長分の地盤改良工よりもはるかに有利な工法である．また，立坑側に水圧がかかっているため，シールドからの裏込め注入やセグメントからの止水注入も確実に施工できたことも特筆すべき点であった．

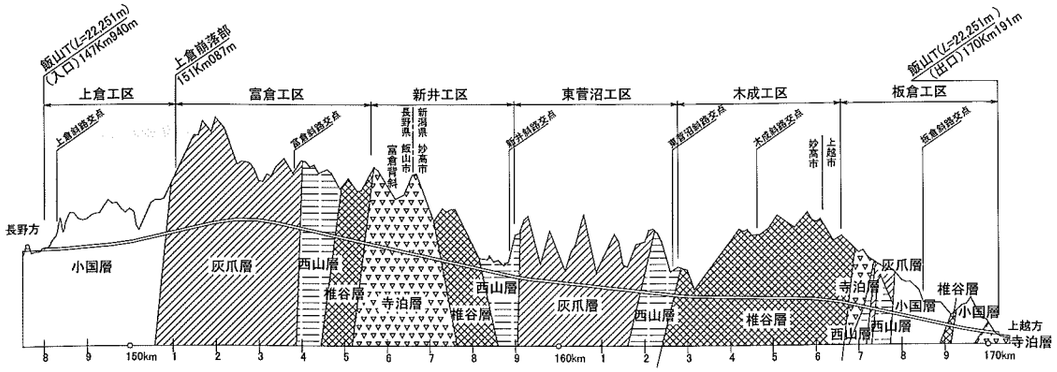
もっとも苦労した点は，完全止水構造を目指した遮水壁の設計・施工であったが，若干の漏水があったものの，細部にわたる工夫により，問題なく施工することができた．あらかじめ構造物構築時に埋め込みアンカーなどの措置ができていれば，より確実，簡易に施工可能であったと思われる．

今後，シールド工事においても，より一層のコストダウンが望まれる中で，シールドの引き抜き，Uターンは欠かせない工法であり，同種の工事での地下水出水，土砂引き込み防止対策の参考資料として有効であったと考える．

お詫び

第38巻，第１号８頁の図-2の印刷が不鮮明でした．

以下に鮮明な図を掲載し，執筆者の方ならびに読者の方に深くお詫び申し上げます．



施工

小口径親子シールドで大深度・長距離の高圧ガス管路を建設

—東京ガス　中央幹線—

東京ガス(株)東部導管ネットワークセンター課長　木　原　晃　司
東京ガス(株)東部導管ネットワークセンター副課長　矢　口　岳　彦
鹿島・清水・大林・大成建設共同企業体所所長　木　田　博　光
鹿島・清水・大林・大成建設共同企業体工事課長　上　原　啓　史

1　はじめに

時は明治５(1872)年，文明開化華やかりし時代，港町横浜に十数基のガス灯がともり日本の都市ガス事業がスタートした．13年後(1885年)には東京ガス(株)の前身である東京瓦斯会社が創立し，以降，ガス事業は発展を続け，需要家件数880万件，年間ガス販売量115億m³(45MJ換算)，導管全延長51,530km(2004年)までに成長した．

現在，東京ガスの輸送幹線は東京大都市圏を囲む環状を形成し(図-1参照)，安定したガスの供給を行っている．近年，環境問題の観点から都市ガスへ燃料を転換していただくなど，ガスの需要は年々堅調に増加している．

このため，将来を見据えた場合，首都圏の増加するガスの需要に対応して，ガスの安定供給を確保することができる，より強固な高圧ガス幹線網

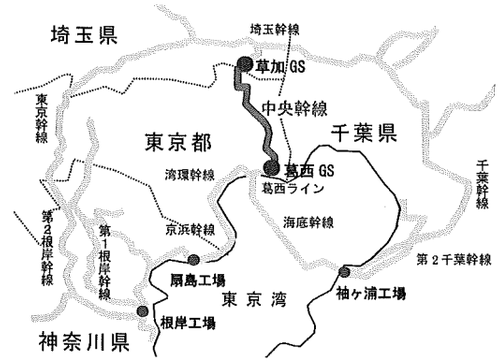


図-1　東京ガスの輸送幹線

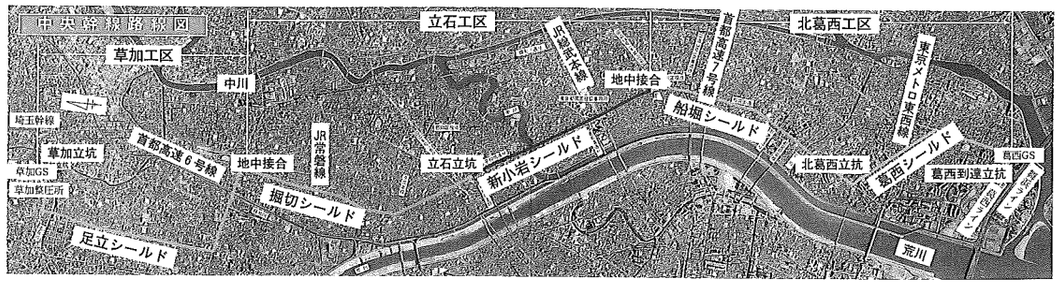


図-2　中央幹線路線図

を形成するための，新たな高圧ガス幹線の建設が必要となってきた．ここに，既存の環状幹線の中央を貫く新たな高圧ガス幹線として東京都江戸川区(葛西ガバナステーション)から埼玉県草加市(草加ガバナステーション)に至るルート(**図-2**参照)の「中央幹線(23km)」を2009年の供用開始を目標に建設するものである．

占用するルートは基本的に道路下であり，都心部の道路であることから，大部分が交通の要衝であり，各種ライフライン・インフラのほか，地下鉄・高速道路など輻輳している道路がほとんどである．このため，他占用物に影響を与えない埋設位置の確保，交通渋滞の回避などを考慮すると，開削による埋設工事は非常に困難であり，工期も長くなると予測されることから，非開削工法を採用することとした．

この工事は，首都圏を縦断する23.1kmを，小口径(内径φ2,000)では国内最長距離(6.3km)を含む5本のシールドで同時施工するもので，小口径・大深度・超長距離の世界トップ水準の工事である．

本稿では，計画概要およびプロジェクト設計・施工に関する課題とその対策を紹介する．

2　計画の概要

2-1　中央幹線建設工事概要

(1)　ガス管仕様

図-3参照

(2)　工　法

全線シールド工法によるトンネル内配管(鋼管，溶接接合)

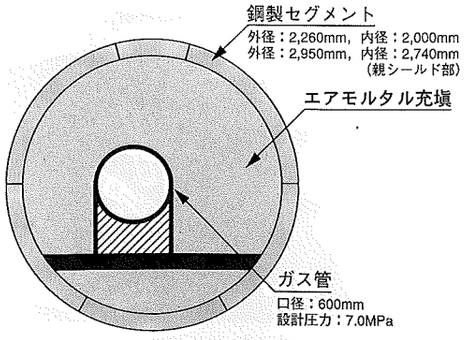


図-3　トンネル断面図

表-1　施工内容

構　造　物	諸　　元
葛西到達立坑(到達)	掘削深さ22.3m，内径3.1m
↑葛西シールド 北葛西立坑(両発進) ↓船堀シールド	3.8km (親子シールド) 掘削深さ36.8m，内径10m 4.4km (親子シールド)
新小岩地中接合	
↑新小岩シールド 立石立坑(両発進) ↓堀切シールド	3.8km (親子シールド) 掘削深さ36.7m，内径11m 4.8km (親子シールド)
加平地中接合	
↑足立シールド 草加立坑(発進)	6.3km 掘削深さ11.9m，6×42.5m

(3)　工　期

平成15年10月～平成21年9月(全体)

平成15年10月～平成19年6月(シールド)

※シールド工事期間には立坑埋め戻し期間を含まず．

(4)　施工内容

表-1参照

2-2　計画の基本戦略

本工事の調達は技術提案型指名競争入札(設計施工)で行った．入札条件としてガス管の径と圧力，始点と終点を与えたほかはすべて提案事項として総合的な評価を行った．その中で，プロジェクトの基本戦略は次の3つである．

①　プロジェクト実施の確実性．

②　工費・工期の縮減．

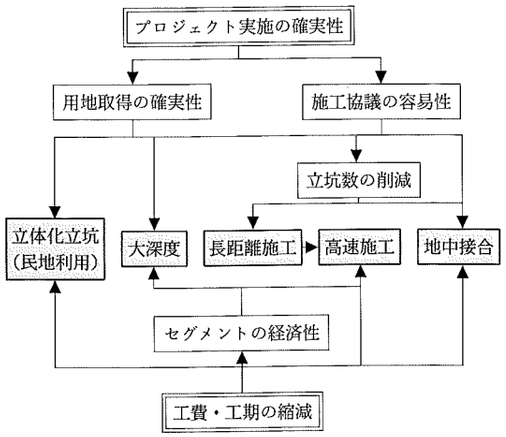


図-4　基本戦略と施策の因果関係

③　実績に裏づけられた保有技術，新技術．

これらの戦略を実現する施策として「大深度」，「長距離施工」，「高速施工」，「地中接合」，「立体化立坑」という施策を立案した提案が採択された．それぞれの施策が上の戦略とどのような因果関係で結ばれているか，その概略を**図-4**にマップの形で示す．次章ではそれぞれの具体的な施策の問題点と対策を紹介する．

3　問題点と対策

3-1　長距離施工

シールド工事施工場所は，商業地や住宅地に面する都道下が大部分であり，立坑用地の確保が困難なため，各シールドの掘進延長を長距離化した．

3-1-1　換気システム

シールドの掘進路線は水溶性メタンガスが存在する地域を通過する．可燃性ガス対策としてシールドおよび坑内に定置式ガス検知器を設置するほか，漏気および圧力損失の少ない新規開発の風管(ピタジョイント・ダクト)を採用し，全区間地上からの集中排気方式にて60m³/分の換気量を確保した．また，切羽部にはクーリング装置にて空調した空気を供給するシステムを採用し，坑内の環境改善対策を行った．

3-1-2　シールド総合掘進管理システム

20m/日以上の高速掘進で最長6.3kmに及ぶ超長距離シールドを施工可能にするための手段としてシールド総合施工管理システムKSGS(Kajima mechatro eng. Shield General control System)を導入し，掘進管理室で集中監視・制御を行う．

また，路線長23kmにまたがる3つの現場事務所，5つのシールドトンネルを効果的に管理するため，それぞれのKSGSを光通信によるWAN(広域LAN)のネットワークで連結した．さらにこれをインターネットからもアクセスできるマルチ現場管理の手法と仕組みも導入した．これによって，現場所長や専門技術者がいつでも，どこにいても，すべての現場の情報にアクセスでき，瞬時に的確な指示を出すことが可能となった．

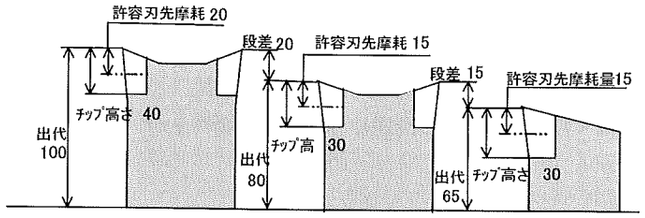


図-5　カッタビット段差配置図

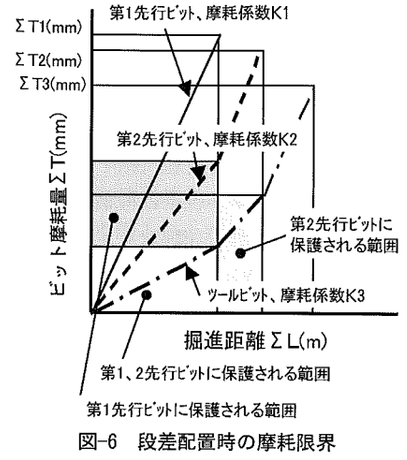


図-6　段差配置時の摩耗限界

3-1-3　カッタビット摩耗対策

長距離をカッタビット交換なしで掘削するため，同一パス上にビットを3段階段差配置した(**図-5**)．

図-6は，第1先行ビット，第2先行ビット，ツールビットの3段階段差配置時の各ビット摩耗を示すものである．第1先行ビットが摩耗限界に達するまでは第2先行ビットは第1先行ビットに保護され，第1，第2先行ビットが摩耗限界に達するまではツールビットは第1，第2先行ビットに保護される形となり，結果的にビット交換なしで10kmまで掘進可能と推定される．

3-2　立体化発進立坑

プロジェクト遂行の不確定要素を低減するため，立坑用地(民地)の利用箇所数を最小限にするとともに，近隣への影響を低減するために，北葛西立坑と立石立坑は両発進立坑とし，立坑数を削減した．

高速掘進を維持するためには立坑の処理能力がボトルネックとなるが，とくに今回の工事のよう

な，都市部密集地域での小面積立坑の場合，①立坑用地内でのストックヤード，荷さばきの問題，②狭い立坑用地での処理プラント設計と配置，③材料・残土の搬入出の問題に分けて考えることができる．

3-2-1　セグメントストックシステム

両発進立坑(立石，北葛西)では，本掘進時40リング/日のセグメントを受け入れおよび供給するための手段として，セグメント受け入れから立坑下までのセグメント供給を自動化するセグメントストックシステムを採用した．本システムはセグメントを受け入れ・保管するセグメントラック，セグメントを立坑下まで自動供給する垂直搬送機，セグメントをセグメント台車に移載するセグメントセッターで構成される(**図-7**)．

3-2-2　処理プラント

1,100m²の狭い立坑用地に2系統の泥水処理設備，土砂ピット，濁水処理設備，裏込めプラント，換気設備，中央管理室などを配置するため，3階建ての立体的な処理設備の架台(**写真-1**参照)を設置した．振動ふるいは2基，調整槽は4基，フィルタープレスは2基設置し，2シールド分(2系統の泥水)の処理をお互い補完しながらフレキシブルに対応できるように設計した．

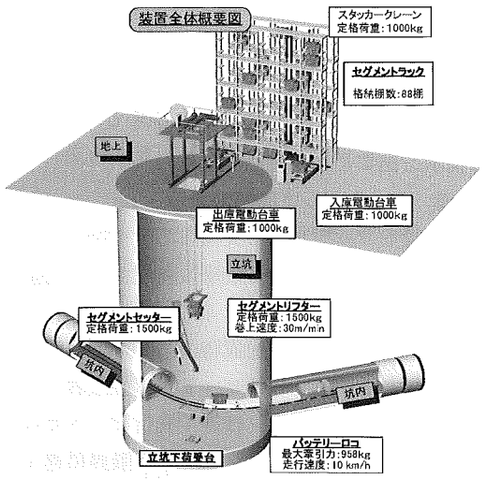


図-7　セグメントストックシステム図

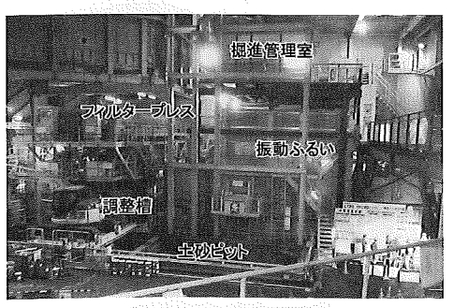


写真-1　処理プラント架台

3-2-3　搬入出管理

材料や土砂の搬入出は近隣住民への配慮から，平日の昼間のみとした．セグメントの大型トラック2台，大型ダンプ延べ40台以上，その他裏込め材料などの大型車両が毎日現場に入場する．1日8時間で単純計算すると1台あたり10分程度しか停車できない．このため，搬入出の業者と綿密なスケジュール調整を行い，ドライバーとうまく連携し，ジャスト・イン・タイムの搬入出管理を徹底させた．

3-3　大深度

既設構造物の下方を通過し，礫層を避け，また，過度のトンネル勾配を避けるために，シールド掘進深さを安定層の存在する標準土かぶり40～50m，最大土かぶり65mとした．この深度には，ほぼ全線にわたりN値が高い安定した地層が存在し，緩み土圧を用いた設計が適用できると判断される．

セグメントは土質・施工条件に応じてタイプを変え(17タイプ，31種類)，施工区間に応じ最適なセグメントを選択した．セグメントは，経済性と現場搬入・ストック・搬送の施工性からスチールセグメントとし，以下の基本的な考え方にもとづき設計した．

・本設扱いとし，腐食代を2㎜考慮した．

表-2　主なセグメント仕様

	親セグメント	子セグメント		
外径×内径(㎜)	φ2,950 ×2,741	φ2,257 ×2,050	φ2,237 ×2,030	φ2,259 ×2,000
桁高(㎜)	100	100	100	125
スキンプレート厚(㎜)	4.5	3.5	3.5	4.5
セグメント幅(㎜)	300	1,000	300	1,000
分割数	6	6	6(等分割)	7
重量(kg/R)	351	548	223	716

・土質に応じて荷重条件を全土圧と緩み土圧に区別した．

・分割数は，シールドジャッキの能力とジャッキパターンを考慮し，6分割(土かぶり55m以下)と7分割(土かぶり55m超)の二つに分けた．

親セグメント(複線軌道区間)および子セグメント(単線軌道区間)の一例を**表-2**に示す．

3-4　地中接合

立坑数を削減することと近隣の方々への影響を低減するために，新小岩と加平において機械式地中接合方法を採用した．

通常，先着(受け入れ側)シールドと後着(貫入側)シールドに分けてそれぞれに必要な機能を持たせるが，本工事のような超長距離施工では，必ずしも先着予定のシールドが先に接合地点に到達するとは限らない．このため，今回どちらのシールドが先に接合地点に到着しても受け入れ側になれる機械式地中接合方法「内部フードスライド＋貼り付け凍結」を開発した．接合方法は，2台のシールドが両側から掘進してきて所定の接合地点に到達後，両機の伸縮カッタを縮小し，受け入れ側シールドはカッタヘッドとスライドフードを引き込み，貫入側シールドは縮小したカッタヘッドとスライドフードを押し込み，2台のシールドを接合して一体化する．**図-8**に地中接合概要図を示す．

3-5　親子シールド

施工進捗向上のために，立坑から50m区間にセグメントなどを積み込んだ台車を待機させる複線

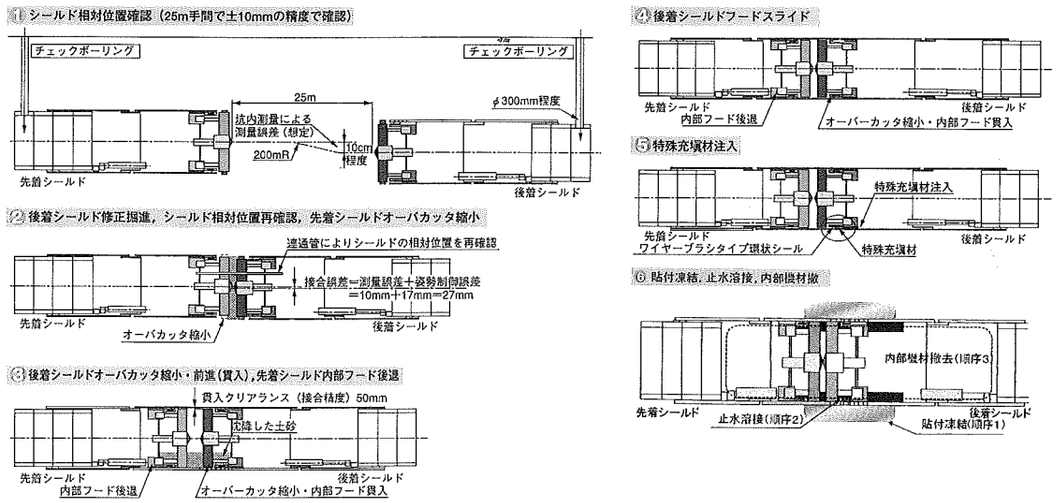


図-8　地中接合概略図

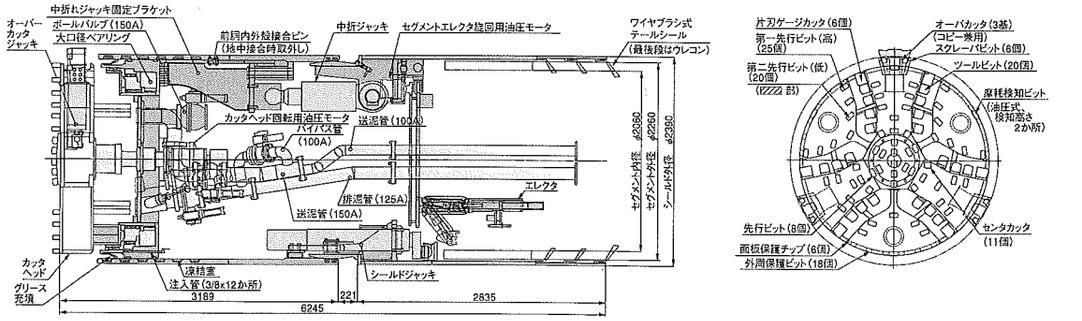


図-9　子シールド全体図

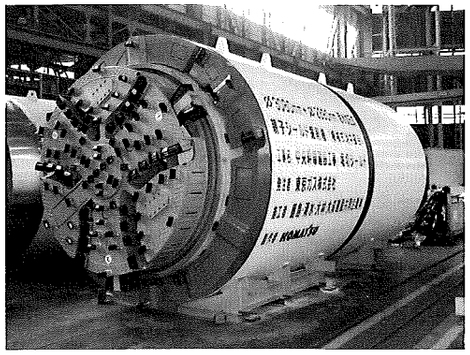


写真-2　親子分離状況

軌道のスペースを確保する親子シールドを，北葛西・立石立坑から発進する4台のシールドに採用した．

親子シールドは，発進後50mの地点で親子分離を行う．**写真-2**は工場での親子分離試験の様子である．子シールドの概要を**図-9**に示す．

3-6　小口径と高速施工

一般にシールド口径が小さいほうが高速施工できるが，実際には，施設としての機能性，維持管理のしやすさ，および工事の経済性と作業性を考慮して決められる．

従来，長距離の洞道内にガス管を敷設する場合，温度変化によるガス管軸方向伸縮吸収措置として，ループ形状の配管部を設ける必要があり，内径は大きくしなければならなかった．また，維持管理に作業員が通るため，防水排水措置・照明・換気・ガス検知器などの施設設置も内径を大きくせざるを得ない要因であった．

本工事においては，メンテナンスフリーとするためにガス管配管終了後にトンネル内をエアモルタル充填することとし，ガス管の温度変化による影響を考慮しなくてよく，また，防水・排水装置，照明・換気施設を省略することにより内径の小規模化を図ることができた．一方，施工面では，シールド内に敷設するガス管(口径600㎜)の溶接接合を行うため，その作業スペースとしてガス管外周におよそ600㎜の空間が必要であった．

これらをすべて考慮し，最終的にシールド掘進技術・工期などを総合的に検討した結果，内径

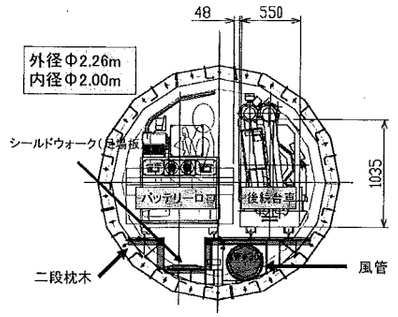


図-10　坑内状況図

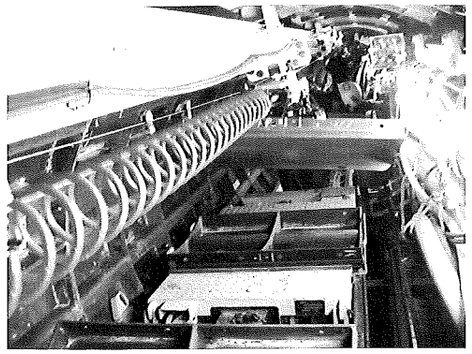


写真-3　切羽部搬送装置

2,000㎜と決定した．施工にあたっては，この狭い坑内空間での作業性を向上させるため，**図-10**に示すような2段枕木を採用し，身長170cmの人でも立って坑内を歩ける工夫をし，さらに邪魔になる風管は枕木の下部に収納した．

また，狭い切羽付近でのセグメントの搬送を円滑に行うため，**写真-3**に示すような切羽部搬送装置を導入した．立坑でのセグメントストックシステム，親子シールドによる複線区間を活用した軌道設備，そして，この切羽部搬送装置を組み合わせることにより総合的なロジスティックスの効率化を図った．

4　施　工　実　績

4-1　進捗実績

例として本工事の代表的な工区(両発進，親子シールド，住宅密集地での施工などの諸条件から)である立石工区の堀切シールドと新小岩シールドの月進量の実績を**図-11**に示す．

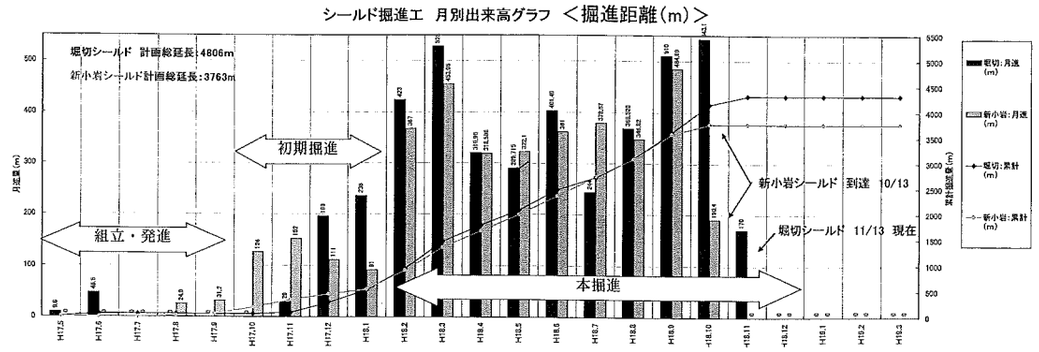


図-11　進捗実績

狭い立坑内で2台同時に組み立て・発進はできない．1台あたりの組み立て発進に要した期間は，ステージ設置や部分的な同時進行期間も含めて，約3か月であった．また，初期掘進(190m)は約4か月で完了した．

平成17年2月から，昼夜2交代制による本掘進を行い，軌道設置などの段取り替え期間を除けば，設備のトラブルなどによる損失時間を含めて，1シールドあたり平均月進400m程度を確保した．両発進立坑であるから，立坑あたりの出来高は月進800mとなる．礫による閉塞や硬い粘性土層による推力抵抗の上昇などのため，進捗が延びない期間もあったが，順調なときの1日あたりの平均掘進延長は約24～26m/日・シールド，最高で30m/日・シールドであった．

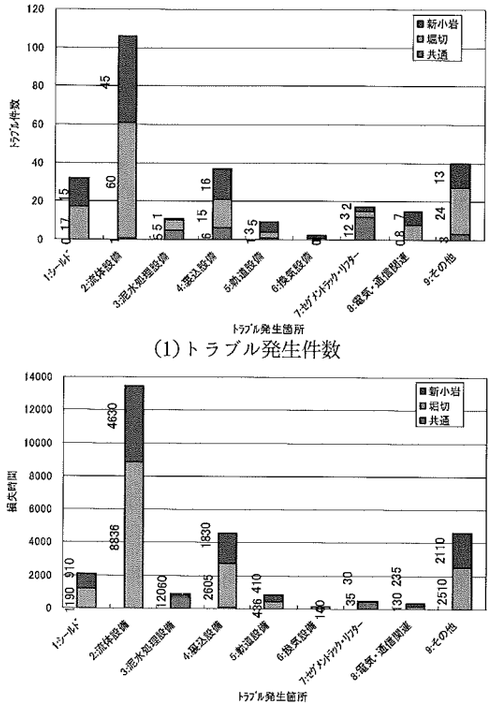
4-2　ジャッキスピードとカッタトルク

粘土層掘削時の平均的なジャッキスピードは60㎜/分，総推力4,000kN，カッタトルク200kN・m程度で，また，砂層掘削時の平均的なジャッキスピードは80㎜/分，総推力3,500kN，カッタトルク150kN・m程度であった．

4-3　稼働率

平均稼働率は94%であった．予想稼働率は90%であったので，予想を上回る稼働率といえる．**図-12**にトラブル発生箇所ごとの件数と損失時間を示す．

全体トラブルのうち，流体輸送設備のトラブルが卓越し，次いで裏込め関係のトラブルが多い結果となった．発生原因としては長距離掘進による



(1)トラブル発生件数

(2)トラブルによる損失時間

図-12　トラブル件数と損失時間

疲労・摩耗など，耐久性によるものが多かった．長距離掘進というと，シールドのカッタビットの耐久性などがよく問題にされるが，通常の配管設備や振動ふるいの網など，坑内施設の耐久性にも大きく影響されることがわかった．

今後，この種の問題に対して，すべての設備の能力と耐久性をバランスさせ全体最適化をはかる，生産工学的な手法(TOCなど)が応用できる可能

性が考えられる．例えば，今回損失時間が卓越した流体設備に対して能力，耐久性を向上させ，限られた予算内でアウトプットを最大にするバランスの良い設備投資計画ができる．

また，長距離高速掘進を維持するうえでメンテナンス計画が重要な課題であった．今回は，3現場(草加立坑，立石立坑，北葛西立坑)，5本の各シールドによる予備品の融通や，月1度の一斉点検日による消耗部品の計画交換などにより，機械設備トラブルロスを最小限に留めて高い稼働率を維持することができた．

4-4　事故・トラブル防止対策

工事関係者はインターネットでKSGSの時系列データをチェックし，また，刻々と変わるリアルタイムの情報を携帯電話のi-modeから見て，掘進状態を診断することができた．

また，通信手段として，ADSLによるLAN型PHS坑内電話システムを導入し，トンネル坑内から内線，外線とも通話が可能であった．さらに，工事関係者全員がこのPHSを常時携帯することにより，入坑・所在管理システムとして活用した．

KSGSはインターネットを通じて情報を発信するだけでなく，トラブル時には遠隔操作でソフトの修正などができ，また，各種制御システムもインターネットで専門業者が監視，遠隔操作できたため，ダウンタイムの短縮に大きく貢献した(図-13にKSGSの遠隔操作画面，Webサイト，i-modeサイトの例を示す)．

これらにより，トラブル発生場所で，直接専門業者や外出中の所長と連絡が取れ，また，相手はインターネットや携帯電話で得られる情報をもとにトラブルの診断をし，即座に的確な指示を出すことができ，事故の防止とトラブルの早期解決に非常に有効であった．このADSLを利用したシステムは光ケーブルのネットワークと比べて設備投資が安価で，維持管理が容易であった．また，ADSLで心配された音声の遅延や，回線の不具合もほとんどなかった．今後，トンネル施工の長距離化が進む中でこれらのIT技術は不可欠となるであろう．

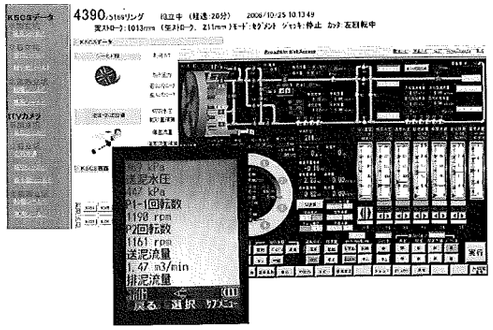


図-13　KSGS画面例

5　おわりに

本シールドトンネル施工は都市部密集地域ゆえの諸問題を，長距離・大深度・立体化立坑という施策と最新の技術で克服した．本論で示した対策・手法により，着工から3年経過し，シールド掘進工程は残すところ3か月となり(平成18年12月末現在)安全・品質・工期ともに計画どおり遂行できる見通しである．

本工事での技術・実績が今後の工事に展開され，シールド工事の更なる発展に貢献できれば幸いである．また貴重なご意見，ご指導を賜った関係各位に感謝の意を表す．

参考文献

1) 米沢実・隈部毅彦・齊藤祐輔・黒崎秀：長距離シールドにおける高速施工(富津工区)，トンネルと地下，Vol.37，No.7，pp.34-39，2006.7.
2) 金森研二・日比谷穣・秋山秀夫・竹林基：長距離シールドにおける高速施工(扇島工区)，トンネルと地下，Vol.37，No.7，pp.40-46，2006.7.

研　究

数値解析による地表面沈下の評価に関する一考察

(株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部副長　森　﨑　泰　隆
長崎大学工学部社会開発工学科助教授　蒋　　宇　静

1　はじめに

近年，山岳トンネル工法で構造物の直下あるいは近傍を小土かぶりで掘削する事例が増加している．その場合，トンネル掘削による不等沈下などの被害を受けることが懸念されるため，トンネルの掘削による地表面への影響を予測することが必要となる．地表面沈下の原因には，主にトンネル掘削によって応力が解放された地山の変形により発生するものと地下水の低下により圧密されて発生するものがある．本稿は，前者の場合を対象とし，地表面沈下を予測する方法の一つである数値解析手法に着目し，解析領域の設定が地表面沈下量，沈下勾配の算定結果に及ぼす影響について検討する．さらに実現場における計測結果例を参考に考察を行う．

表-1　トンネル掘削に伴う地山変位の予測方法の分類[1]に加筆

予測手法の分類		例	備考
類似事例による予測			類似の地山条件，土かぶり，形状，工法の事例
統計データによる予測		Peckの式，横山らの式	沈下影響範囲，沈下分布，沈下勾配の予測
模型実験および統計データによる予測		島田の方法，桜井の方法	
解析手法による予測	数値解析	足立らの方法，線形弾性解析，非線形弾性解析，弾塑性解析	複雑な地層やトンネル形状，施工順序が考慮可能
	弾性理論解析	Limanovの式など	均一地層のみ，円形断面のみ

2　地表面沈下予測に関する既往研究の調査・分析

2-1　地表面沈下予測方法

トンネル掘削により応力が解放されたことに起因する地表面の沈下量を予測する主な方法を表-1[1]に示す．

これまで，統計データや模型実験の結果や理論解析，数値解析などを用いて地表面沈下を推定する数々の研究が行われてきた．このうち，数値解析手法は，地山，トンネル支保，近接構造物などの詳細なモデル化やトンネルの施工手順を考慮できること，さらにモデル化した対象物の全体および詳細部分の挙動を予測できる特徴があり，多く用いられている．数値解析手法により予測を行う場合，地山の挙動モデルや，支保工，補助工法のモデル化，解析領域の設定などについて検討する必要がある．

2-2　統計データにもとづく予測方法

統計データにもとづく地表面沈下の予測について代表的な方法を以下に記述する．

島田[2]は，模型実験と多くの現場における計測データを分析し，地表面沈下を予測する(1)，(2)式を導いた．

$$S_{oj}=a\cdot T\cdot\exp(-\beta\cdot Z) \quad (1)$$

$$S_{ij}=a\cdot T\cdot\exp(-(\alpha\cdot X+\beta\cdot Z)) \quad (2)$$

ここに，

S_{oj}：トンネル直上での沈下量

S_{ij}：任意点での沈下量

a，α，β：実験，現場計測から設定される定数

T：トンネル降下量

また，式中のパラメータであるX，Zは下式で定義される．

$$X=\left(\frac{x}{z}\right)^2;\quad Z=\frac{z}{r};\quad z=H+r$$

x：トンネル中心からの距離

r：掘削半径

ただし，Hは土かぶりである．

また，桜井[3]は，砂質土および粘性土地盤を対象に施工実績から土かぶりと地表面沈下量，トンネル直径に対する土かぶり比と地表面沈下量との関係を示している．Peck[4]はトンネルの横断方向における地表面沈下の分布はガウスの正規分布曲線に近似できるとして(3)，(4)式を提案している．

$$U=U_{max}\cdot\exp\left(-\frac{x^2}{2\cdot i^2}\right) \qquad (3)$$

$$\theta_{max}=0.61\cdot\left(\frac{U_{max}}{i}\right) \qquad (4)$$

ここに，

U　：トンネル横断方向の地表面沈下量

U_{max}：トンネル中心での地表面沈下量

x　：トンネル中心からの離れ

i　：トンネル中心より変曲点までの距離

θ_{max}：変曲点位置での最大沈下勾配

さらに，横山ら[5]は，砂質地盤における計測結果から地表面沈下の広がりiを表す(5)式を提案している．

$$\frac{2\cdot i}{D}=0.09\frac{H}{D}+0.87 \qquad (5)$$

ただし，Dはトンネル掘削直径である．

2-3　理論解析による方法

理論式による沈下量の予測としてLimanovの方法[6]がある．Limanovの方法による計算式を(6)式に示す．この方法は，数値解析よりも簡便に沈下量が推定できる点で有用である．この式による変位解は，式の性質上，初期地盤内応力を静水圧状態と仮定しているため，側圧係数が1以外の場合の考慮はできないことや土かぶりの小さいトンネルで誤差が大きくなるなどの問題点も指摘されている[7),8)]．

$$U_{max}=(1-\nu^2)\frac{P}{E}\cdot\frac{D^2\cdot z}{z^2-\left(\frac{D}{2}\right)^2} \qquad (6)$$

ここに，

E　：地山の変形係数

ν　：ポアソン比

P　：トンネル掘削による解放応力

2-4　数値解析による方法

数値解析による方法としては，有限要素法，有限差分法，個別要素法などが用いられる．また，地山挙動モデル化として主に線形弾性と，非線形弾性，弾塑性のモデルがあるが，現場の地山状況に応じて適切に選定することが必要である．足立ら[9),10)]は，砂質地山に対して模型実験の結果にもとづき，有限要素法モデルにジョイント要素を用いることにより地表面の沈下形状が説明可能であることを示している．

2-5　数値解析による沈下予測の留意点

数値解析を用いて地表面の沈下を予測する場合，既往の研究[11),12)]で明らかなように，解析領域の取り方が沈下の解析値に影響することに留意する必要がある．これは，トンネル掘削による相当外力が，トンネル下部で地山を上昇させる方向の荷重となることに起因している．これにより，トンネル下部の解析領域が大きい場合は，小さい場合に比して，トンネル下部の上方への変位量が大きい結果となり，その結果，沈下量を過小評価する可能性がある．

この問題に対し，久武ら[11)]は，2次元有限要素法と3次元境界要素法によるトンネル掘削解析を行い，3次元境界要素法による解析結果により得られる地表面沈下量に一致するように2次元有限要素法の解析領域を逆解析により算定する手法を提案している．

また，田村ら[12)]は，均質な弾性地盤と仮定した場合の2次元有限要素法による地盤の変位は領域の大きさとともにlogのオーダで増加することを示し，深さ方向に線形的に増加する弾性係数を仮定しても収束する確証がないことを示した．さらに，解析領域の適正な設定方法は，弾性係数の深さ方向の分布との関係により判断することが重要であることを述べている．

本稿は，解析領域の設定が地表面沈下の解析値に与える影響を詳細に検討するために，土かぶりと地山の弾性係数をパラメータとして行った有限差分法による線形弾性解析の結果について記述する．これにより，解析領域の設定が，地表面の変形解析値へ与える影響について把握し，解析領域を設定する際の留意点について検討する．

3　地表面沈下評価における解析領域の影響

一般的な解析領域については，旧日本道路公団[13)]では下部解析領域を3～4D，側部解析領域を4～5Dとしており，鉄道・運輸機構[14)]では，下部解析領域を2～3D，側部解析領域を4～5Dとしている．しかし，土かぶりが小さく，トンネルの上方への変位が問題となる場合は，下部領域を1D程度としているケース[15)]や，トンネル下部地山の変形係数を3～4倍として計算する場合もある[16)]．しかし，ルールとして決まっているものはないように思われる．

本稿では，解析領域の大きさが地表面沈下の解析結果に及ぼす影響を検討するため数値解析を行った．検討は，一般的に地表面の沈下が問題となると考えられる土かぶり5D以下について行うこととし，側部解析領域については，基準類[13),14)]に記述されている5D以上を解析領域とした場合における影響の有無を検討するため，5～7Dの場合について検討を行った．さらに，下部解析領域については，0.5～5Dと変化させて検討を行った．

3-1　解析モデル

解析モデルの例を**図-1**に，また，解析ケースを**表-2**に示す．

3-2　解析結果と考察

3-2-1　側部解析領域の設定による影響

図-2に側部解析領域を5Dから7Dに変化させた場合における地表面沈下の解析結果の一例を示す．

ここで，解析値はトンネル側方に十分離れた5Dの位置で現実には地表面沈下が0であることを考慮して修正した．図のように，側部解析領域の違いで解析値に大きな差は認められない．これは，他のケースにおいても同様であった．つまり，側部解析領域が5D以上であれば解析値に大きな影響を与えないと言える．

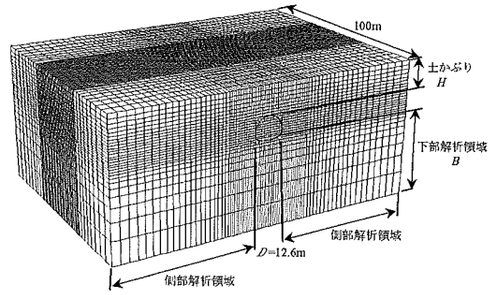
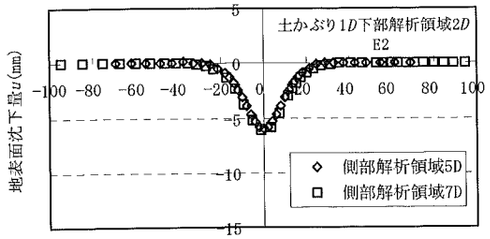


図-1　解析モデル図例(土かぶり1D，下部解析領域3D，側部解析領域5D)

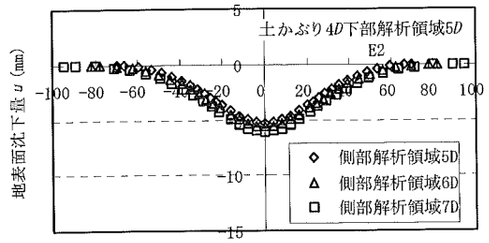
表-2　解析領域に関する解析ケース

下部領域(B)	土かぶり0.5D			土かぶり1D			土かぶり2D			土かぶり3D			土かぶり4D			土かぶり5D		
	$E1$	$E2$	$E3$	$E1$	$E2$	$E3$	$E1$	$E2$	$E3$	$E1$	$E2$	$E3$	$E1$	$E2$	$E3$	$E1$	$E2$	$E3$
0.5D	－	○	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－	－
1D	○	○	○	○	○	○	－	○	－	－	○	－	－	－	－	－	－	－
2D	○	○△	○	○	○△	○	○	○	○	－	○	－	－	－	－	－	－	－
3D	○	○	○	○	○	○	○	○△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4D	－	○	－	－	○	－	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
5D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○△	○	○	○□△	○	○	○□△	○

○：側部解析領域5D　□：側部解析領域6D　△：側部解析領域7D　$E1$：変形係数125MPa　$E2$：変形係数250MPa　$E3$：変形係数500MPa　D：トンネル径(=12.6m)　ポアソン比ν=0.38(側圧係数λ=0.61)

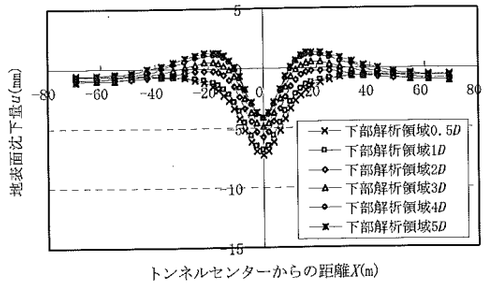


(a) 土かぶり 1 D，下部 2 D

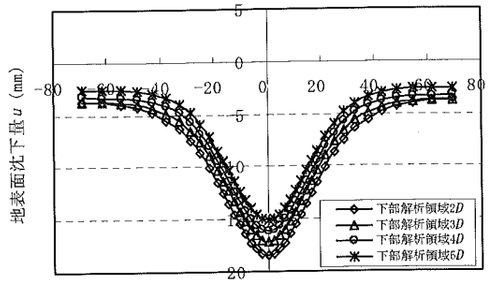


(b) 土かぶり 4 D，下部 5 D

図-2 側部解析領域の解析値への影響



(a) H=0.5D，E 2



(b) H=2D，E 1

図-3 地表面沈下分布図

3-2-2 下部解析領域の設定による影響

前述のとおり下部解析領域の設定により解析値に影響を与える．下部解析領域を小さくすると地表面沈下を過小評価する可能性は低減するが，境界がトンネルと近くなりトンネル構造体の応力値に影響を及ぼすことが懸念される．文献[17]には，下部解析領域として 1 D以上を確保すれば，トンネル周辺の応力状態に大きく影響を及ぼさないと記述している例もある．そこで，本検討においては，下部解析領域を0.5Dから 5 Dの間で変化させた解析を行った．

図-3に代表的な地表面沈下の分布図を示す．どのケースの場合も，下部解析領域の増加により，地表面沈下の解析値が減少している．土かぶりが0.5D(図-3(a))では，下部解析領域の増加に伴い，地表面が局部的に隆起する現象が見られるが，土かぶりが 2 D(図-3(b))では，下部解析領域が 3 D以上になると，領域の増加に伴い地表面全体が平行に上昇している．

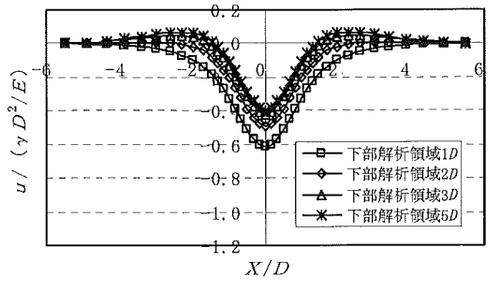
また，どのケースもトンネルから側方に 5 D離れた位置での沈下の絶対値は 0 となっていない．

そこで，トンネルから側方に十分離れた 5 Dの位置で，現実には地表面沈下が 0 であることを考慮し，さらに沈下量を無次元化した例を図-4に示す．

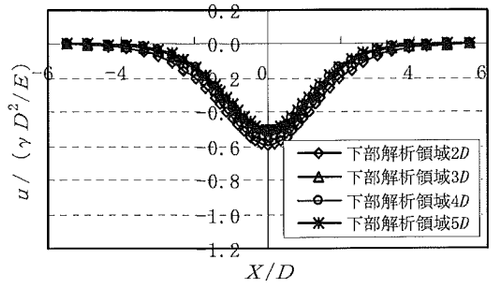
ここで，横軸はトンネルセンターからの距離(X)をトンネル径(D)で除した値，縦軸は無次元化した沈下量 $u/(\gamma D^2/E)$を示している(u：沈下量，γ：単位体積重量)．土かぶりが小さいほど地表面沈下量が，下部解析領域の影響を大きく受けている．土かぶり 1 D(図-4(a))では，下部解析領域の増加により地表面の形状が局部的に隆起した形となっている．これは，土かぶり0.5Dの場合も同様であった．土かぶり 2 Dでは，下部解析領域が 3 D以上であれば解析領域の影響が小さくなることがわかる．

図-5に下部解析領域(B)と最大地表面沈下量(U_{max})の無次元量の関係を示す．図中の横軸は下部解析領域(B)をトンネル径(D)で除した値を示す．

この結果より，いずれの土かぶりの場合も下部解析領域が 3 D以上であれば，地表面沈下の解析値が収束に近くなっている．



(a) H=1D



(b) H=2D

図-4 地表面沈下分布図

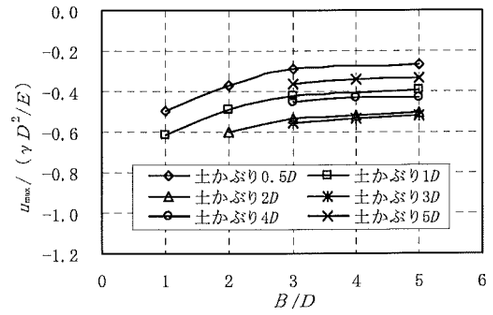
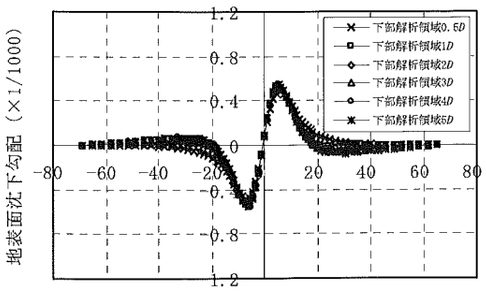


図-5 下部解析領域と最大地表面沈下量の関係

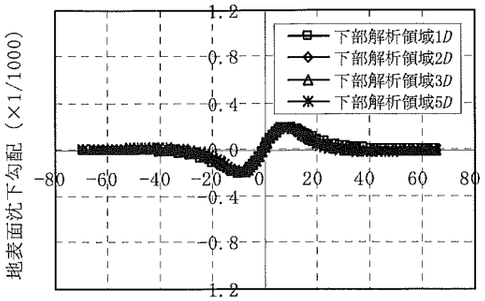
3-2-3 下部解析領域が地表面沈下勾配へ与える影響

図-6に代表的な地表面沈下勾配の分布図を示す．この結果から，地表面沈下勾配の最大値とその発生位置は，ほとんど下部解析領域の影響を受けないことがわかる．図-7に土かぶりと沈下勾配の関係を示す．土かぶりの増加に伴い，沈下勾配が減少している．その傾向は，土かぶりが 1 D以下において顕著である．

また，Peckの式((4)式)による地表面沈下勾配と解析値を比較すると，どの土かぶりにおいてもおおむね一致した傾向を示している(図-7)．



(a) H=0.5D，E 2



(b) H=1D，E 3

図-6 地表面沈下勾配の分布

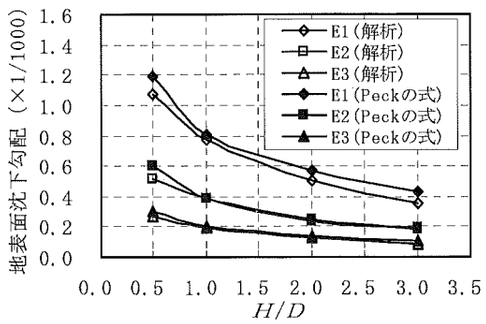


図-7 土かぶりと地表面沈下勾配の関係

3-3 下部解析領域の設定による影響の考察

3-3-1 トンネル掘削による鉛直方向応力の変化

これまでの解析で土かぶりの違いにより下部解析領域による影響が違うことを示した．以下，この要因について考察する．トンネル掘削時の応力解放力は，図-8に示すようにトンネル壁面上の位置によって変化する．これらの合力は，水平方向は 0 であり，鉛直方向は上向きに$A\gamma$(A：断面積)である[11]．

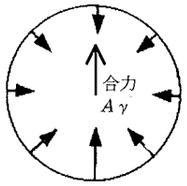


図-8　掘削解放力イメージ図

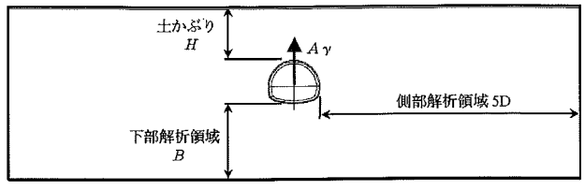


図-9　解析モデル図(荷重載荷による影響解析)

ここでは，鉛直方向の合力$A\gamma$が下部解析領域の違いにより地表面にどのように影響を及ぼすかについて検討を行った．

3-3-2　鉛直上向き方向の合力の作用

合力$A\gamma$が下部解析領域の違いにより，地表面沈下解析値へどのように影響を及ぼすのかを検討するため，**図-9**に示す解析領域のモデルを用いて簡便な数値解析を行った．ここで，鉛直上向きの力は本来，分布荷重として作用するが，今回の検討では簡易的に集中荷重($A\gamma$)をトンネルセンターのSL部に鉛直上向きに載荷し，土かぶりと下部解析領域の変化による地表面沈下への影響について検討した．

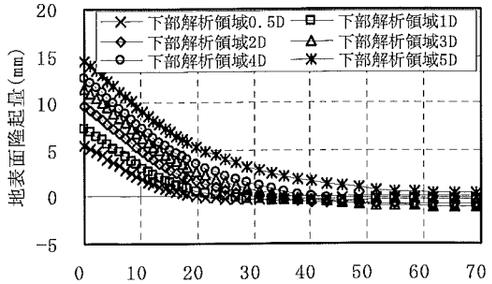
解析領域の設定を図-9に，また，解析ケースを**表-3**に示す．

図-10に土かぶり0.5D，3Dにおける荷重載荷時の地表面の形状を示す．下部解析領域の増加により，地表面への影響が増加している．また，土かぶりが0.5Dでは，どの下部解析領域でもトンネル近辺が局部的な変形であるのに対し，土かぶり3Dでは，下部解析領域が3D以上であれば，地表面全体が平行に変形している．また，地表面の形状については下部解析領域も関係しており，例えば土かぶり3Dでは，下部解析領域2Dまでは局部的な変形となるが，それ以上では，地表面全体が変形している．この結果と図-3の結果は傾向が一致している．つまり，土かぶりが0.5Dの場合は下部解析領域の増加に伴い，局部的変形が発生しており，土かぶりが2Dの場合は，下部解析領域が3D以上で，地表面全体に平行に変形している．これらの結果から，掘削解放力の合力が，数値解析における地表面の形状に大きく影響していると言える．掘削の合力が地表面へ与える影響についてまとめると**図-11**のとおりである．

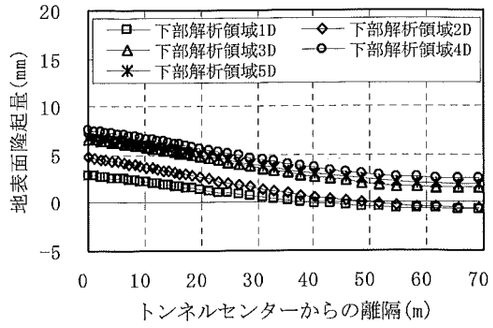
表-3　解析ケース(荷重載荷の影響解析)

下部解析領域(B)	土かぶり(H)			
	0.5D	1D	2D	3D
0.5D	○	−	−	−
1D	○	○	○	○
2D	○	○	○	○
3D	○	○	○	○
4D	○	○	○	○
5D	○	○	○	○

E=250MPa　　D=12.6m



(a)　H=0.5D



(b)　H=3D

図-10　荷重載荷時の地表面形状

3-4　数値解析の適用性

3-4-1　土かぶりと地表面沈下

土かぶりと地表面沈下の解析値については既往の研究[例えば18)]で種々の検討が行われている．一般

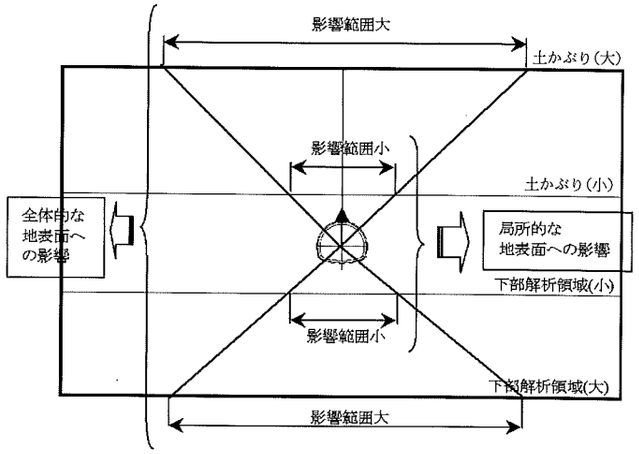


図-11　掘削合力と解析領域による解析値への影響

に土かぶりが小さくなると地表面沈下が増加する．これは，土かぶりが大きい場合，アーチアクションが作用していることに起因していると考えられる．徐々に土かぶりを小さくすると，アーチアクションが作用しなくなり，地表面沈下は増加する．そして，さらに土かぶりが小さくなると今度は，トンネル上部からの荷重が低減されるため地表面沈下は小さくなるだろう．上記に示した解析方法による結果(図-5)を見ると，これまでの検討結果より，土かぶり2D以上で下部解析領域を3Dとし，土かぶり1D以下では下部解析領域を1Dとした場合，地表面沈下の解析値は，土かぶりが5Dから1Dの間は，地表面沈下が増加し，0.5Dでは，再度減少しており類似の傾向となっている．

3-4-2　計測結果例(Tトンネル)との比較

上記の傾向を現場(Tトンネル)の計測結果により示す(**図-12**)．Tトンネルは，一軸圧縮強度が約2N/mm²程度と低強度であるが均質な泥岩地山で，土かぶりは徐々に増加し，坑口部より地山の強度は，ほぼ一定の条件の現場である．地表面沈下を抑制するため，早期閉合による施工を行ったため，地表面沈下の絶対値は小さいが，土かぶり比が1に近づくにつれ地表面沈下は増加し，さらに土かぶりが大きくなると地表面沈下が減少する傾向が見られる．土かぶり比が2付近では地表面沈下が0であり，アーチアクションが作用してい

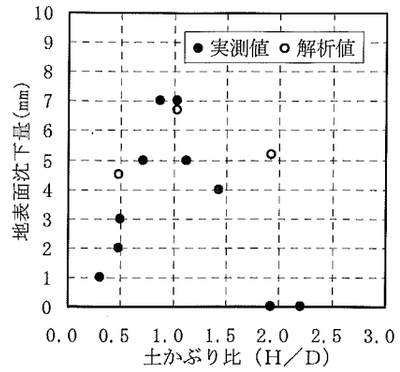


図-12　土かぶりと地表面沈下(Tトンネル)

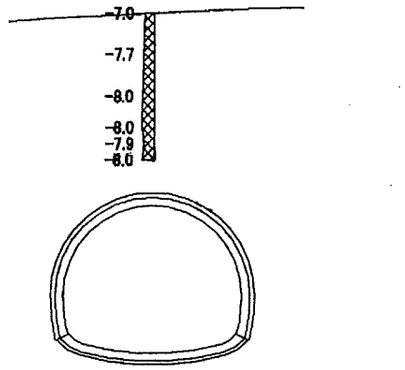


図-13　地中沈下実測値(土かぶり1D)(Tトンネル)

ると推測される．また，土かぶり比が1付近における地中沈下の計測結果を**図-13**に示す．図のようにトンネル上部の地山は鉛直方向にほとんどひずみを持たず剛体的に沈下しており，土かぶり比が1の場合，アーチアクションが作用していないと推測される．土かぶり比が1以下においても，アーチアクションは作用していないと推測され，その結果として土かぶりの減少(上載荷重の減少)により，地表面沈下も減少していると考えられる．

3-4-3　実測値と解析値の比較

解析値と実測値を比較する．ここで，解析値は，これまでの検討結果にもとづき，側部解析領域を5D，下部解析領域は土かぶりが1D以下の場合で1D，土かぶり2Dの場合で3Dとした．図-12より解析により土かぶりと地表面沈下の傾向は捉えていると言えるが，誤差も見られる．さらに精度を向上させるには，土かぶりが比較的大きな場合は，アーチアクションの作用をいかに考慮する

かが重要となり，反対に小土かぶりの場合は，既往の研究[9),10)]のように地山のせん断を考慮した現象をモデル化することが重要となると考えられる．

3-5 検討結果

これまで，解析領域が地表面沈下の解析値に与える影響について数値解析的に検討を行った．その結果をまとめると下記のとおりとなる．

① 側部解析領域が5D以上であれば，地表面の解析値にほとんど差は見られない．

② 下部解析領域の増加に伴い，地表面沈下解析値が小さくなる．とくに下部解析領域が3D以下の範囲でその傾向が顕著となる．

③ トンネル側部5D離れた位置において地表面沈下がないことを考慮した場合，土かぶりが2D以上の場合は，下部解析領域を3D以上とれば地表面沈下の解析値が解析領域の影響を受けない．

④ 土かぶりが1D以下の場合は，下部解析領域を1D程度とすれば，下部解析領域の影響を低減させることができる．

⑤ 地表面沈下勾配の最大値およびその発生位置は解析領域に影響されない．

⑥ 数値解析における地表面沈下勾配の値は，Peckの式と比較した結果，ほぼ一致している．

⑦ 現場計測結果例と数値解析を比較した結果，解析により現場の実測値の傾向を捉えることはできているが，さらに精度を向上させるためには，土かぶりが大きい場合のアーチアクションの効果や土かぶりが小さい場合の地山のモデル化を検討する必要があると考えられる．

4 おわりに

本稿は，筆者が，地表面沈下予測の実務を行う中で，疑問に感じていることに対し，基礎的な検討を行ったものであり，種々の仮定の中での検討であることは言うまでもない．今後は，参考文献にある論文等を参考にするとともに，さらにいくつかの現場計測結果を分析し，地表面沈下の予測精度の向上について検討していきたいと考えている．

参考文献

1) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 都市部山岳工法トンネル，2002.
2) 島田隆夫：土被りの浅い鉄道山岳トンネルにおける地表沈下の形状および発生機構に関する研究，鉄道技術研究報告，No.1162，1981.
3) 桜井春輔・足立紀尚：都市トンネルにおけるNATM，鹿島出版会，1988.
4) Peck, R.B.：Deep Excavation and tunneling in soft ground，7th Int. Cof. Soil Mech. and Found. Eng., State of the Arts volume, pp.225–290, 1969.
5) 横山章・堀内義朗・木村宏：トンネル掘削による小土かぶり未固結砂質地山の挙動を特徴づける指標に関する研究，土木学会論文報告集，第388号/Ⅲ-8，pp.161–170，1987.
6) K.チェッキー：トンネル工学，鹿島出版会，1971.
7) 木山英郎・藤村尚：地下浅所のトンネル掘削に伴う地表沈下の弾性解析，土質工学会論文報告集，Vol.22，No.3，pp.161–169，1982.
8) 福島啓一：トンネルの力学，土木工学社，1994.
9) 足立紀尚・田村武・八嶋厚・上野洋：砂質地山トンネルの挙動と解析に関する研究，土木学会論文集，第358号/Ⅲ-3，pp.129–136，1985.
10) 足立紀尚・田村武・八嶋厚・上野洋：被りの浅い砂質地山トンネル掘削に伴う地表面沈下，土木学会論文集，第370号/Ⅲ-5，pp.85–174，1986.
11) 久武勝保・山崎康裕：トンネル沈下のFEM結果に及ぼす解析領域の影響，トンネルと地下，Vol.32，No.11，pp.45–50，2001.11.
12) 田村武・足立紀尚：トンネル掘削解析における領域設定について，土木学会論文集，No.701/Ⅲ-58，pp.231–242，2002.
13) 日本道路公団：数値解析マニュアル(都市部トンネル解析留意事項編)，日本道路公団試験研究所技術資料，第359号，2002.
14) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，1996.
15) 若狭紘也・上村正人・青木宏一・進士正人・中川浩二：めがねトンネル施工における地表面への影響評価，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.13，pp.281–286，2003.
16) (社)日本鉄道技術協会：深い掘削土留工設計法，1993.
17) 土木学会：山岳トンネルにおける模型実験と数値解析の実務，トンネルライブラリー16，2006.
18) 猪熊明・角湯克典・波田光敬・藤本明生：地表面変位の予測に用いるFEMの改善(試案)，トンネルと地下，Vol.25, No.12，pp.39–43，1994.12.

連載講座

発破技術の現状(4)

—発破技術の基本(2)—

「発破技術の現状」連載講座小委員会

4 発破技術の基本

4-1 心抜き発破

4-1-1 心抜きの種類と特徴

心抜きはトンネル発破でもっとも重要である．それは，心抜きで得られた進行以上に払いで進行がでることはなく，発破の成否にもっとも大きく関係してくるからである．

心抜き発破には，大きく分けて図-11のように，アングルカットと平行心抜き(パラレルカット)の2種類があり，それぞれさらに細かくわかれている．ここでは，日本のトンネルで一般的に行われているアングルカット心抜き(主にVカット)と小断面で長孔発破を行う際によく行われる平行心抜き(バーンカットおよびシリンダーカット)について，特徴や設計方法について概要を述べる．

4-1-2 アングルカット

くさびカットまたは通称抱き心抜きとも呼ばれる．主に，Vカット，ピラミッドカットがあるが，ここでは日本のトンネルでもっとも多く行われているVカットについて記す．

(1) Vカットの特徴

日本では経験者が多く，したがって熟練者も多い．穿孔精度については，後述するパラレルカットほどは要求されない．

穿孔は切羽に向かって角度を付けて行うため，トンネル断面によりその角度に制限を受ける．

そのため，小断面では角度を付けた穿孔自体が困難なため，小断面には適さない．

長孔発破を行う場合には，心抜きを二重(ダブルVカット)，三重(トリプルVカット)にして行う必要がある．

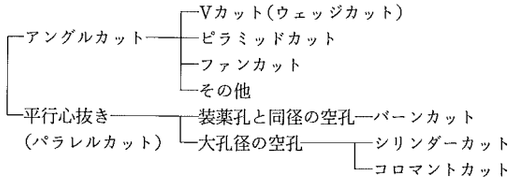


図-11 さまざまな心抜き方法

(2) Vカット心抜きの設計方法

Vカット心抜きでは，穿孔角度，孔長，孔尻の間隔が重要である．

一般的なVカット心抜きでは，穿孔角度は約60°程度とし，孔長は進行長の約1.15倍，孔尻の間隔は20～30cm程度，装薬量は払い孔装薬量の約10～20%増(または増ダイ1～2本増)程度とすることが好ましい(図-12)．

(3) 長孔でのVカット設計方法(ダブルVカット)

Vカット心抜きは穿孔角度により成否が決定される．成功条件は，穿孔尻から直角に引いた線が

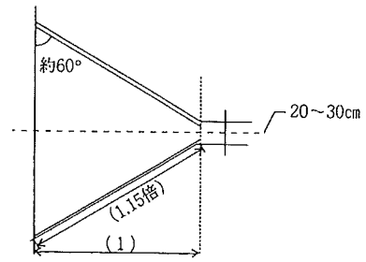


図-12 Vカット心抜き

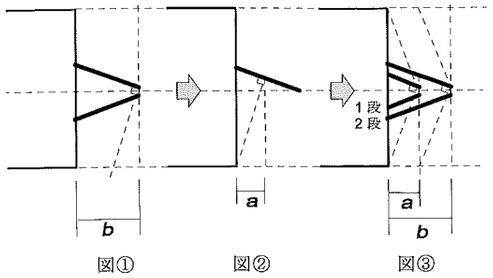


図-13　ダブルVカット設計方法

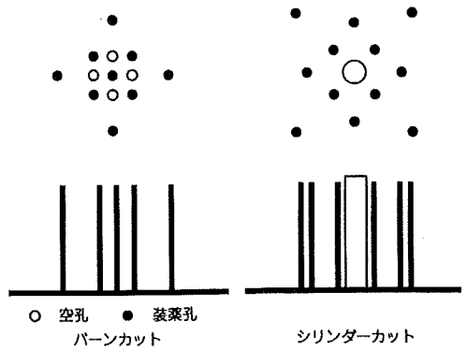


図-14　平行心抜き(パラレルカット)

トンネル側壁よりも内側に入らなければならない.

そのため，図-13のような断面で進行長 b を得ようと図①のような心抜きの穿孔を行っても，一般的には，図②のように進行長は a の長さしか得られない.

進行長 b を得るためには，図③のように，心抜きをダブルVカットとして，1段で進行長 a を得た後，2段で進行長 b を得るような穿孔と装薬配置を行う必要がある(2段の心抜きは1段で形成された自由面があるため，進行長 b が得られる).

4-1-3　平行心抜き(パラレルカット)

高性能の油圧削岩機の採用やNATMの普及により，一発破の進行長を大きくとる要求から採用されるようになった.

(1)　平行心抜きについて

主にバーンカットとシリンダーカットがある(図-14).

日本ではシリンダーカットも含めてバーンカットと呼ばれることが多い.

1)　バーンカット

平行心抜きの中ではシリンダーカットとともにもっとも広く用いられている．平行に穿孔された数本の孔のうち，1ないし数孔を空孔(火薬を装填しない孔，通称バーンホール)とし，その周辺の発破孔から空孔に向けて爆破し，次第に内部を大きくして心抜きを形成するものである.

2)　シリンダーカット

バーンカットと同じ方法で心抜きを行うが，バーンホールが大口径であるところに特徴がある.

(2)　平行心抜きの特徴

- トンネル断面の大きさによって，一発破進行長の制限を受けることがほとんどない(小断面での長孔発破に非常に適している).
- 穿孔同士が交差するとそれ以上の進行が得られない．また，孔間隔が広がり過ぎると起砕しない．そのため，精度の良い平行穿孔技術が要求される.
- ずりの飛散距離が比較的小さく，切羽付近に集中するのでずり処理は容易である.
- アングルカットに比べて，総穿孔数，総穿孔長ともに増加する.
- 最小抵抗線(自由面までの最短距離)に対して，込め物長が長くなると奥鳴り現象(鏡面が起砕されずに切羽内部のみ粉砕された状態であり，全体として起砕不良になる)となる.

よって，込め物長は最小抵抗線に対して，1～1.5倍程度となるように装薬長を保つ必要がある．そのため，装薬孔口元近くまでの装薬長が必要なため，爆薬消費量は多くなりがちである.

(3)　平行心抜きの設計

平行心抜きでは，決められた孔間隔の厳守がもっとも重要であるが，そのほかに，

- 親ダイは孔尻に設置する
- 装薬は孔口元まで行う(奥鳴り現象防止)
- 雷管の秒時差を考慮する(時間間隔が短すぎると破砕されたずりの飛び出しを妨げるために焼結現象―セメンテーションを起こしやすくなる．現状は50～250msを採用している.)

が必要になる.

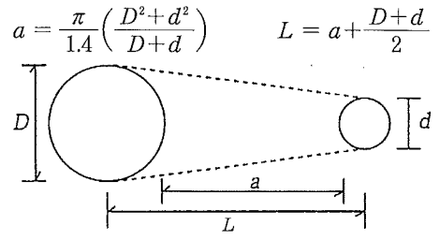


図-15　空孔と装薬孔の孔間隔限界式

また，バーンホール(空孔)をほかの装薬長よりも10～20cm長くすることがより良い結果を得ている．また，バーンホール径(D)と装薬径(d)の孔間隔(L)についての限界式としては図-15が得られている[1].

平行穿孔精度のバラツキを考慮すると，実際の孔間隔は0.8L程度を採用することが望ましい.

4-2　爆薬の装薬方法

装薬孔には親ダイ，増ダイ，込め物(アンコ)を装填する.

その装薬方法には主に正起爆と逆起爆の2種類があり，日本では主に逆起爆が行われている(図-16).

正起爆が行われない理由は，主にカットオフ(前段の起爆により親ダイが飛ばされ増ダイが残る)現象を避けるためである(図-17参照).

また，爆薬は木製の込め棒を用いて装填する．爆薬は装薬孔にできるだけ密装填すると破壊威力が向上するため，爆薬を手込めにて1本づつ突きながら装填する．しかし，手込めでは爆薬はつぶれても約5％程度ともいわれており，例えば30㎜の爆薬を手込めでつぶしても31～32㎜の爆薬径にしかなっていないのが実状である．また，複数本をまとめて装填した場合にはほとんどつぶれていない.

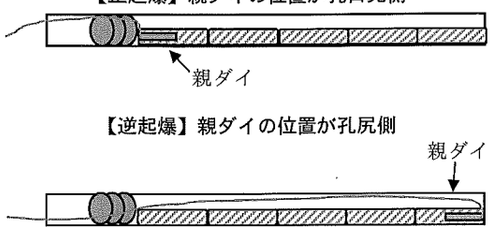


図-16　正起爆と逆起爆

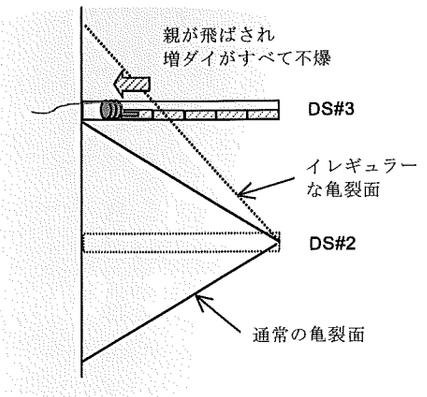


図-17　カットオフ現象

4-3　スムースブラスティング工法(SB工法)

NATMが一般化されるに伴いスムースブラスティング工法(以下，SB工法)の要望が高まってきた.

SB工法は1960年代にすでにランゲフォースなどによって提案されている．以下にSB工法の目的や技術上の要点を述べる.

4-3-1　SB工法の目的

SB工法は発破による地山の損傷をできるだけ抑制し，掘削面をより平滑に仕上げることを目的としたものである．結果的には余掘りを減少し，かつ浮き石の減少により保安上にも有効な発破であるといわれている.

写真-5は，長孔発破でのSB工法実施例である．ノミ跡が非常によく残っており，ノミ跡間も平滑な面が形成されているのがわかる.

4-3-2　SB工法の技術

SB工法を精度良く完遂させるには，

① 穿孔技術のレベルアップ
② 発破パターン(主に抵抗線と孔間隔)
③ 適正な爆薬種，薬量，装薬方法の選定
④ 岩質と発破条件の関係
⑤ 雷管の秒時精度

などを含めて深く検討することが必要である.

それらについて，以下にポイントを述べる.

(1)　穿　孔

SB工法においてもっとも重要なのが平行穿孔

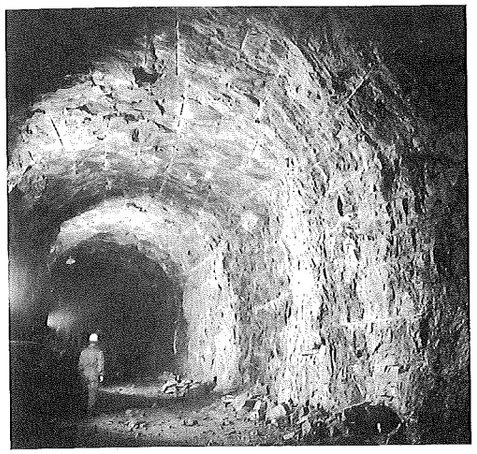


写真-5　SB工法のノミ跡例[2)]

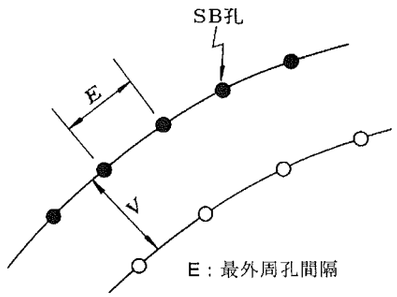


図-18　孔間隔Eと抵抗線Vの関係

である．

理想的な平行穿孔とは掘削予定ライン上の孔尻位置が等間隔にあることを意味する．つまり天盤周辺の穿孔は角度と間隔が一定となるように穿孔されていることが望ましい．

平行穿孔となっていれば，あとは，使用する火薬類や発破パターンを工夫し，爆薬の威力を最外周の孔と孔を結ぶ方向に制御し，周辺岩盤にはできるだけ亀裂を入れないようにすることがポイントである．それらの方法について，次の(2)～(4)に記す．

(2)　穿孔間隔と抵抗線の関係

SB工法における重要事項の一つとして，孔間隔と抵抗線のとり方がある．

図-18に示すように，最外周孔(SB孔)の孔間隔Eよりも抵抗線Vを長く取ることが重要であり，孔間隔Eと抵抗線Vとの関係は，経験的に，

$$E/V \leqq 0.8$$

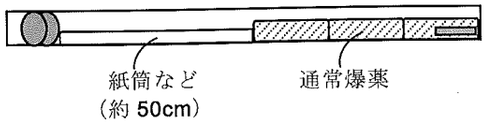


図-19　体積デカップリング法(従来爆薬使用)

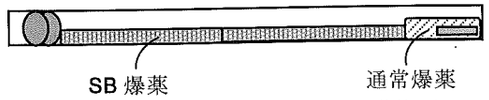


図-20　面積デカップリング法(SB爆薬使用)

とすることが好ましい．一般的には，$E/V=0.6$～0.75の範囲を取ることが多い．

(3)　SB工法に適した爆薬と装填方法

SB工法を行う場合，必要以上に岩盤を痛めないよう，孔に装薬する爆薬の威力をコントロールする必要がある．

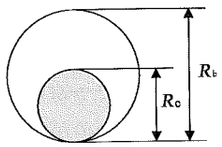
その方法には，「体積デカップリング法(**図-19**)」と「面積デカップリング法(**図-20**)」がよく採用されている．

前者は，従来の爆薬と紙筒などの見かけの空隙を作るためのスペーサを使用して，体積あたりの爆薬量をコントロールする方法であり，後者は，後述するSB爆薬の細径，長薬包を利用して，体積あたりだけでなく面積あたりの爆薬量をコントロールする方法である．

1)　デカップリング係数

デカップリング係数とは穿孔径と爆薬径の比(DI)をいい，DIを大きくとることによって爆薬が岩盤に与える威力を弱めることができる．

$$DI = \frac{R_b}{R_c}$$



ここで，DI：デカップリング係数，R_b：孔径，R_c：爆薬径である．

従来より，SB工法においては，$DI \fallingdotseq 2$程度が一般的に採用されている．

2)　SB用爆薬

含水爆薬が開発される以前は，低比重のダイナマイトなどを用いた分散装薬による体積デカップリングによるSB発破がほとんどであったが，含水爆薬の出現により，上記$DI \fallingdotseq 2$に近い細薬径

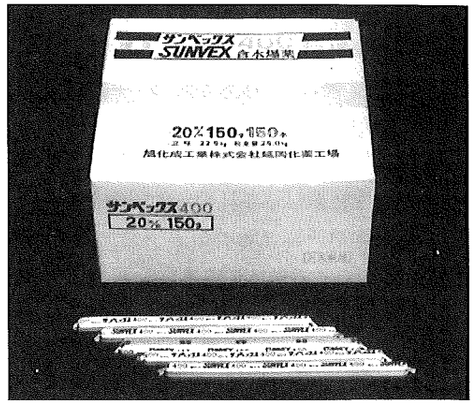


写真-6　SB用爆薬の例(20㎜Φ×150g)

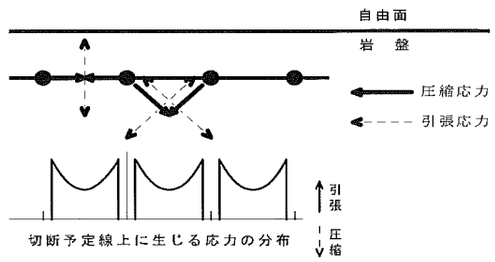


図-21　SB工法の破壊原理説明図

のSB用爆薬を用いた面積デカップリングによるSB発破も行われるようになった．SB爆薬の例を**写真-6**に示す．

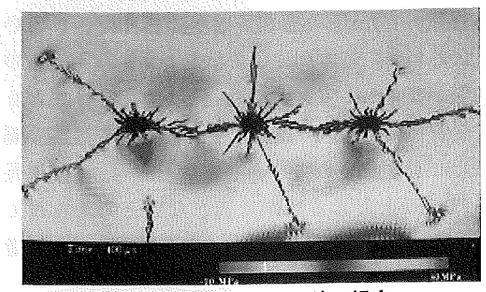
(4)　雷管の起爆秒時がSBに与える影響

SBの効果を向上させるためには，最外周に使用する雷管はより精度良く同時に起爆する方が好ましい．

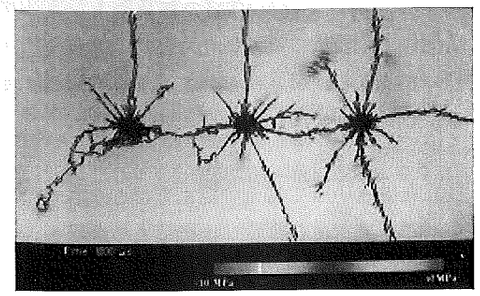
図-21は，この現象を模式図で説明したものである．両装薬間の起爆時間のバラツキが十分小さい場合には両装薬孔間を結ぶ破断予定面上で双方の孔からの圧縮応力波およびそれと直交する方向に発生する引張応力波が重畳し，より孔間を結ぶ方向に亀裂が進展しやすくなる．

また，この破断予定面より外れた部分では一方の装薬孔から発生した圧縮応力波と他方からの圧縮応力波と直交する方向に発生する引張応力波が干渉し，亀裂が発生しにくくなる．

このように，起爆時間のバラツキが十分小さい場合には，応力波の重畳，干渉による亀裂の方向制御が行われることにより，潜在亀裂が存在する



①　IC雷管によるSB工法の場合



②　従来SB工法の場合

写真-7　起爆秒時精度の影響シミュレーション

岩盤でもSBの効果が向上する．

通常の電気雷管では，起爆精度は設定秒時の±5％程度といわれており，一般的に最外周で使用するDS電気雷管7段，8段あたりでは，約75～90 msの起爆時間のバラツキが生じている．それに対し電子雷管(以下，IC雷管)の場合，起爆精度が非常によくすべてのSB孔が0.2ms以内で起爆する．

写真-7はシミュレーションにより，①IC雷管によるSB工法と，②従来のDS電気雷管を用いたSB工法の亀裂発生の違いを求めたものである[3)]．各図は，下が自由面方向で，上が地山方向である．したがって，上方向への亀裂進展が抑制されているものが好ましい．

図の中で灰色の濃い部分が装薬孔同士の応力波が干渉して亀裂進展を抑制させている部分である．①ではその減少が見られ，亀裂も抑制されているが，②ではその減少が見られない．すなわち，②では，応力波同士の干渉による亀裂進展抑制効果が期待できる斉発精度(同時起爆精度)を持たないことがわかる．

4-4　長孔発破

均質で安定した岩盤の多い欧米諸国では，早く

から4.0～5.0m超の長孔発破が盛んに行われていた．しかし，日本においてはトンネル計画箇所の地質が複雑かつ安定性が低いことが多く，また，労働安全衛生規則で鋼製アーチ支保工の設置間隔が1.5mに規定されていることなどから，1掘進長を2.0m以上とする掘削は適さないと考えられていたため，欧米諸国に比べて長孔発破の導入は進んでいなかった．

しかし，現在ではNATMの普及やトンネルの大断面化，削岩機の高性能化に伴い，急速施工の要望が強くなり，日本においても長孔発破はさまざまなトンネルで検討および実施工が行われている．

長孔発破といってもその捉え方はさまざまであるが，ここでは，1発破2.0mを超える発破を長孔発破と位置づけし，その実施例を紹介するとともに，長孔発破のメリット・デメリットについて簡単に述べることとする．

4-4-1　長孔発破のメリット，デメリット

長孔発破により1掘進長を伸ばすことにより，掘進サイクル総数を減らすことが可能となり，とくに経済面で大きな効果が期待できる．しかしその反面，地質や施工法・使用機械によっては逆効果となる場合もあるため，十分な事前検討が必要である．

（1）　長孔発破のメリット（期待される効果）

① 作業間のロスタイムを吸収でき全体の工程を短縮させる効果が見込める．

② 穿孔・装薬の回数が減少し，危険度の高い切羽作業時間が短縮される．

③ 1サイクルの時間が長くなるため，機械の点検整備や作業員体制に余裕が生まれる．

（2）　長孔発破のデメリット

① 地質・設備機械・施工方法によっては，逆効果となり1日の進行が逆に落ちる場合がある．

② 単位作業あたりの時間が長くなるため，作業環境を再考慮する必要がある．

③ 最外周の穿孔は角度を付けて挿す形になるため，穿孔長が長くなるとその分余掘りが多くなる傾向にある．

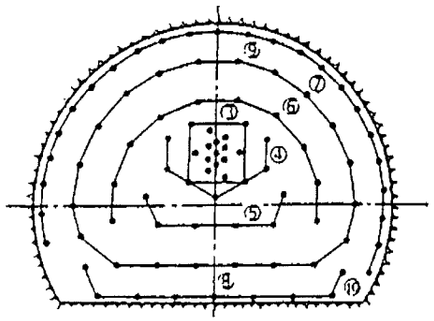
④ 発破は一般的には適切な装薬長（＝適切な未装薬長）が必要であるため，1 m³あたりの火薬使用量が多くなる傾向にある．

4-4-2　長孔発破実施例

以下に日本における長孔発破の実施例を示す．

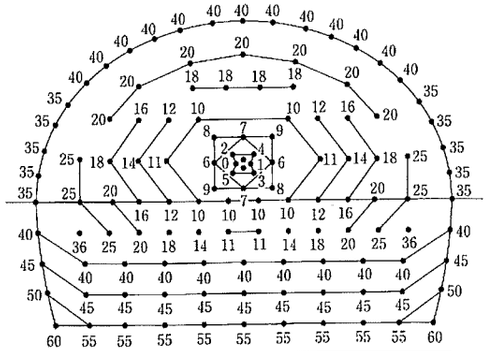
（1）　今市発電所トンネル[4]

図-22に発破パターンと諸元を示す．



掘進長	3.9m
岩質	輝石安山岩
断面積	44m²
使用火薬類	爆薬：含水爆薬，2号榎ダイナマイト 雷管：MS，DS電気雷管
心抜き	パラレルカット（平行心抜き）
穿孔数	装薬孔：91 空孔：2～3
爆薬使用量	1.56kg/m³

図-22　今市発電所トンネルの発破パターンと諸元



掘進長	平均3.8～4.3m（穿孔長：4.0～4.5m）
地形，地質	主に石英安山岩，地山等級はⅢ～Ⅳに相当
使用火薬類	爆薬：ANFO（親ダイは含水爆薬） 雷管：導火管付き雷管
心抜き	パラレルカット（平行心抜き）
穿孔数	装薬孔：約120孔
爆薬使用量	平均1.95kg/m³

図-23　五里ケ峰トンネルの発破パターンと諸元

（2）　五里ケ峰トンネル（北陸新幹線）[5]

図-23に発破パターンと諸元を示す．

⑤ おわりに

本章では，火薬の消費許可取得方法から始まり，火薬類の管理の要点，さらに穿孔方法や心抜き発破，SBなど，既に実用化され長い年月が経過している発破技術の基本的なところを主に取り上げた．

その目的は，「トンネル技術者たるもの，発破技術ぐらいは習得すべき」も既に過去の言葉になり始めているからである．

トンネル工事は今後ますます，工法の多様化・人員の効率化が進んでくると思われ，それに伴い，とくに火薬類の取り扱いや発破方法などの専門技術については，専門化や専業の方々のみの技術に陥る恐れがある．

「トンネルを確実に早くきれいに掘削するには欠かせない発破の技術」について，少しでも参考になり，今後のトンネル技術者に火薬類や発破技術について興味を持っていただければ，われわれも執筆冥利に尽きるというものです．

参考文献

1）山下・西田ほか：バーンカット心抜きにおける孔間隔に関する一考察．

2）スティグ オロフソン 著，最新発破技術ハンドブック編集委員会 訳：最新発破技術ハンドブック，山海堂，p.119，1992.

3）金子・山本ほか：スムースブラスティングにおける起爆秒時精度の影響，火薬学会誌，Vol.58，No.3，1997.

4）ジェオフロンテ研究会：現場技術者のための制御発破工法の実際，p.99，1996.

5）（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.399-404，2001.

【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　〒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



■田谷の洞窟の構造

田谷の洞窟の内部構造については，昭和40年代末に早稲田大学理工学部建築学科の石山修武(現・同校教授，建築家)らによる現地調査が行われ，その成果は雑誌「建築」の1974(昭和49)年3月号(No.162)に掲載された．また，これと前後してサンフラワークラブと称する旅行クラブによる実測調査も行われ，田谷の洞窟の正確な構造がはじめて明らかにされた．

これらの調査結果によれば，洞窟は3層構造となっており，入口は2階部分に相当している(**図-1**)．洞窟の骨格となる行者道は，入口から北西方向に直線的に伸び，回廊や連絡坑によって接続されている．そのもっとも奥の部分に安置される厄除大師から先は崩壊しているが，かつては田谷の御霊社へ達する裏参道だったと言われ，朝比奈三郎義秀はここから落ち延びたとする説もある．

行者道は，ドーム状の空間を連絡しており，それぞれのドームの壁面には，十二神将，西国三十三観音霊場，胎蔵界種子曼荼羅などのテーマにそった彫刻がなされている．これらのドーム状の空間のうち最大のものは一願弘法大師の間で，高さ約5.5m，直径約3.5mに達している．

さらに，洞窟内のあちこちには，連絡坑や掘りかけの通路，枝道などが存在し，複雑な迷路のような構造となっている．

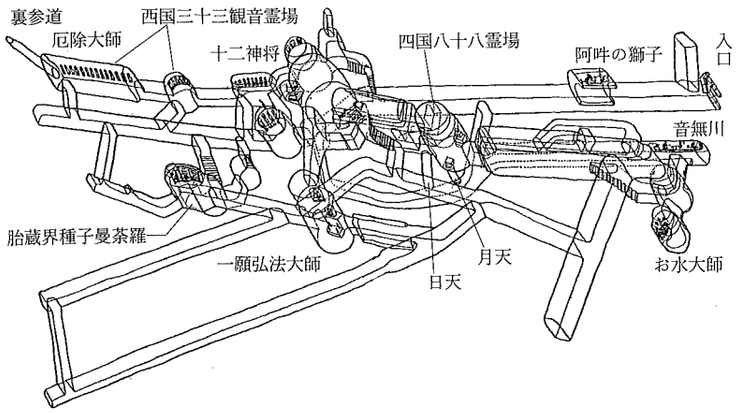


図-1　田谷の洞窟の立体図(早稲田大学理工学部調査に加筆)

■田谷の洞窟に見る地下空間技術

田谷の洞窟は，宗教空間としての存在意義もさることがら，中世から近世にかけての地下空間技術が集積した場所でもある．

田谷の洞窟が掘削された地層は，第四紀更新世に堆積した相模層群最下部の長沼層で，固結度の低いシルト層からなっている．掘削面が自立しやすい地山であるため，洞窟内は素掘りのままで，所々に崩壊した跡が見られるものの，地震にも耐えて健全である．比較的掘りやすい地質であったため，無普請の手掘り掘削でもなんとかこれだけの規模の地下空間が実現できたのだろうが，これは機械掘削があたりまえとなった今だから言えることで，人力のみの施工は相当な困難が伴ったはずである．とくに，ドーム状の地下空洞を下から切り上げながら掘削する作業(いわゆる「冠掘り」)は，かなりの危険を伴ったと考えられ，壁面に残るおびただしい数のノミ跡に当時の苦労が偲ばれる．



写真-1　洞窟の入口と池の上下関係

洞窟内の通路やドームの天井部分の形状は，場所によって一定しないが，アーチまたは三角屋根(将棋の駒の形)に近い形状で仕上げられており，この形が安定性に優れていることを，経験的に理解していたものと考えられる．なお，側壁は，ほぼ垂直に仕上げられている．

洞窟の素掘り面には湿り気があり，何箇所かで湧水も見られるが，湧水量はわずかで，通路の両側にある側溝(これは後年整備されたものと考えられる)によって導かれている．また，最下層(1階に相当)のお水大師と呼ばれる地下空洞には，ある程度の水量を持つ湧き水があり，音無川と呼ばれる洞内の川から水穴を通して外の池へと導かれている(**写真-1**)．音無川は，その名のとおりほとんど水の流れがない静謐な川であるが，大雨などで大量の湧水が発生した場合は，ここが排水溝兼調整池としての役割を果たしているものと思われる．

なお，「日天」，「月天」と呼ばれる太陽と月を象徴した天井の空隙は，洞内の通気口を兼ねたものと言われているが，当時使われていた魚油や植物油による明かりや，細い竹を束ねた灯竹(ともしだけ)などの灯具から発生する煙が洞内に充満しないよう工夫されたのであろう．ちなみに，この頃の鉱山では，すでに風回唐箕(かざまわしとうみ)と呼ばれる人力による回転式の送風器が導入されていたようであるが，はたして田谷の洞窟ではどうだったのだろうか．

■田谷の洞窟の測量技術

図でもわかるように，田谷の洞窟内の通路やドーム状の空洞は，それぞれが微妙な距離を保ちながら掘削されており，場所によっては通路や空洞が立体的に交差する部分や，通路と通路を短絡する連絡坑もある．もし，当時の人々がやみくもに掘っていれば，ほかの通路やドームを貫いて彫刻を破壊してしまったり，場合によっては陥没などを引き起こす可能性もあるので，相互の空洞の位置関係を何らかの方法で確かめながら掘っていたものと考えられる．

また，通路が枝道に分かれ，再び元の通路と合流している場所や，ある程度の離隔距離を持つ通路同士がほぼ平行している場所もあるので，当時としてはかなり精密な測量技術を用いて掘り進めていたことが推察される．江戸時代の鉱山などでは，「振矩術(ふりがねじゅつ)」と呼ばれる分度器や定規などを使った測量により，方位，高さ，距離を確認しながら掘っていたとされるので(「振矩術」を操る人物を「振矩師」と呼ぶ)，こうした測量技術がどこからかもたらされていたのかもしれない．

＊　　＊　　＊

田谷の洞窟を調べれば，まだ多くの謎が潜んでいると思われるが，いずれにしても当時の日本の地下空間技術がある程度の水準にあったことを示す貴重な文化財のひとつであり，地下空間の原点とも言うべき神秘的な姿に接することができる数少ない遺産でもある．

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL·TUNNEL JOURNAL·TUNNEL JORNAL·TUNNEL JOURNAL· TUNNEL

鹿児島東西道路・建部～甲南IC間をトンネルで計画

九州地方整備局鹿児島国道事務所は，鹿児島市田上～同市上荒田に計画している鹿児島東西道路の鹿児島市街地にあたる建部IC～甲南IC区間を地下トンネルで整備する計画としている．

同区間は，JR鹿児島線や国道24号の高架橋などがあり，難工事が想定されている．トンネル延長は最短でも1.2km程度としており，施工検討業務を委託し，開削工法やシールド工法などを視野に有効な工法を検討し，07年度に予備設計に着手したい考え．

九州横断自動車道延岡線設計協議と用地買収進む

九州地方整備局熊本河川国道事務所は，九州横断自動車道延岡線の設計協議と用地買収を進めている．

同路線は，熊本県嘉島町の嘉島JCT～同県山都町の矢部ICまでの延長約23km．

同区間では，17の橋梁と，高木トンネル(約520m)，鶴山谷トンネル(約280m)，大平トンネル(約440m)，河内トンネル(約140m)，田代第1トンネル(約510m)，田代第2トンネル(約560m)の6本のトンネルが計画されている．

田代第1，2トンネル以外は詳細設計を完了している．

海底トンネル計画を検証

東京都建設局は，93年に都市計画決定した環状第3号線・中央区勝どき6丁目～港区芝公園4丁目区間(延長約2.4km)について現行計画の検証作業を実施する．

同区間のうち中央区豊海町～港区芝公園2丁目は約2kmの海底トンネルとした計画となっている．地下埋設物や近接する古川の基礎などの現況調査を行い，従来計画の妥当性を検証する．

検討業務は「環状第3号線道路予備設計」として日本工営に委託した．

湯浦・女島・津奈木トンネルが詳細設計に着手

九州地方整備局は南九州西回り自動車道の芦北出水道路で計画中の湯浦，女島，津奈木トンネルの整備に向け詳細設計に着手した．

トンネル延長はそれぞれ約1,159m，1,090m，1,880mで，幅員は8.5m．工法はNATMを予定している．

芦北出水道路は熊本県芦北町花岡から鹿児島県出水市下知識までの延長約29km，暫定2車線(完成4車線)の高規格道路で，工区の用地買収を進めており，順調なら07年度以降，トンネル掘削に入る．

西脇北バイパスが起工

近畿地整が事業を進めている一般国道175号「西脇北バイパス」(5.2km)が起工した

西脇北BPは，中国縦断自動車道と北近畿豊岡自動車道を結ぶ地域高規格道路である，東播丹波連絡道路(延長約30km)の一部を形成する．同バイパスは連絡道路の南側に位置し，津万井トンネル(約870m)などが整備される．

飛騨トンネル貫通

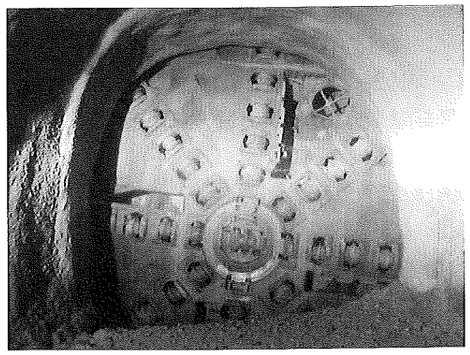
NEXCO中日本が建設を進めている東海北陸自動車道飛騨トンネル(約10.7km)が平成19年1月13日に貫通した．

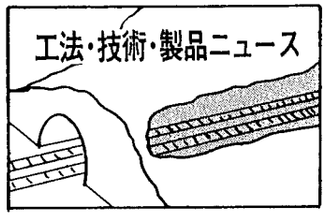
同自動車道は，名神高速道路の一宮JCTを起点として，中部地方を南北に貫き，富山県の小矢部砺波JCTで北陸自動車道と接続する，総延長185kmの高速道路である．

飛騨トンネル本坑の掘削は，平成10年8月，白川側からのTBMによる長距離片押し施工で計画したが，坑口から約1kmの地点を境に地質の状態が悪いことが判明したため，NATMに切り替え，水抜き坑や水抜きボーリングなどを併用しながら掘進したが，この区間を突破するのに5年費やした．その後，平成16年1月から直径12.84mの大口径TBMにより掘削を開始し，最大月進252mを記録した．

また，工期の遅れを取り戻すため飛騨市河合町(名古屋)側からもNATMにより3.45kmを掘削した．この貫通により，平成19年度末の東海北陸自動車道の全線供用に向けて大きな弾みとなる．

写真は貫通直後のTBM．





「PPファイバーショット工法」をシールド二次覆工に初適用

西松建設は，ポリプロピレン短繊維を混入した繊維補強コンクリートを吹付ける「繊維補強吹付けコンクリート工法(PPファイバーショット工法)」を共同溝シールドトンネルのスチールセグメント使用区間の二次覆工に適用し，良好な施工性と品質が得られた．適用工事は，国土交通省東北地方整備局発注の仙台東部共同溝工事．

一般に，シールドトンネル鋼製セグメント使用区間の二次覆工は場所打ちコンクリートで施工されるが，本工事ではこれに替わる工法として，充填性などの施工性，品質および経済性に優れた同工法を提案し，採用された．今後は，仕上げの機械化など施工性の向上を目指し改善を行い，既設トンネルの補強工法，下水道工事の二次覆工やNATMの一次覆工などへの適用も視野に技術提案を図る．

「繊維補強覆工コンクリート」をトンネル工事に初適用

戸田建設は，NEXCO東日本発注の北関東自動車道岩瀬トンネル東工事において「繊維補強覆工コンクリート」を適用し，良好な品質と施工性が得られることを確認した．

「繊維補強覆工コンクリート」は，ポリプロピレン短繊維(繊維名：シムロック(特許出願済))を混入することで，曲げ靱性を高めて剥落防止性能を向上させ，耐荷力および耐久性の強化・保持，また，ひび割れ発生抑制を目的として開発した技術．トンネル覆工コンクリートにとどまらず，コンクリート片剥落防止対策の一つとして各種土木構造物や建築構造物への適用も視野に営業展開を図る．

トンネルの維持管理を効率化

NTTインフラネットと大成基礎設計は，「全周画像を用いたトンネル検査システム」を共同開発し，同システムを用いた検査業務を開始した．

システムは，トンネルなど空間構造物の360°全方位を特殊な撮影機器で写し，画像処理により劣化状況を診断するもの．撮影したトンネル全体の展開写真から，ソフトを介してひび割れを半自動で認識し，コンクリートのひび割れ幅・長さ・パターンを取得できるほか，漏水・ジャンカなどの欠陥部の位置・面積などの情報を得る．これらの情報をデータベース化することで，経年変化に伴う変状を的確に把握することができ，効率的な維持管理が可能としている．

覆工コンクリートの自走噴霧養生

東亜建設工業は，東亜機械工業，信幸建設と共同で，油圧ショベルのブーム先端にアタッチメント式に着脱可能な噴霧養生装置を開発，これらの機械・装置を組み合わせて自走式噴霧養生装置「レインボー」としてトンネル工事に適用した．

近年，坑内環境への配慮からトンネル貫通前にも外気を流入させるため，坑内のコンクリート養生に効果的な湿潤状態の維持が難しくなっていた．この装置で覆工コンクリート表面を噴霧養生することで，均一な湿潤状態に保つことができ，コンクリート表面のひび割れの発生を低減させることが可能としている．

また，輻輳する他作業車両の運行を妨げることなく作業が可能となっている．

地球統計学でTBMのリスク管理

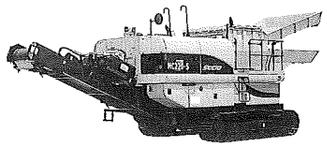
鹿島は，青木謙治・京都大学教授と共同で，TBM工法における切羽前方の地質状態や地山に応じた支保パターンをリアルタイムに評価・選定するシステム「TBM統合地質評価システム」を開発し，トンネル工事避難坑の施工で適用した．

同システムは既存に得られたさまざまなデータを多変量解析や地球統計学を用いて一括処理し，より高精度に地質状態や支保パターンを予測するシステム．削孔検層で得られた切羽前方30～40mの地質データやTBM掘削時に得られる大量のデータを即座に分類・解析し，切羽前方の地山における脆弱部出現の確率や地質に応じた支保パターンなどを分析する．従来地山が出現した後に，坑壁観察をしてから決定していた支保パターンを前もって選定・準備し，地山が現れたと同時に適切な支保を建て込むことが可能となる．適用工事では分析結果と実際の地質状態の確認を行い，システムの精度の高さが実証されたとしている．

自走式2軸シュレッダ

新キャタピラー三菱は，環境リサイクル機械の「SOCIO」シリーズに，20tクラスの自走式2軸シュレッダ MC220-Sを加え，発売した．

同機は独自の2軸解砕方式を採用し，軟質系から硬質系まで，幅広い対象物を効率的に破砕．また，破砕モードを3種類用意．独立油圧駆動するカッタ軸2本の正転・逆転を組み合わせ，対象物により破砕を制御できる．破砕刃は再生可能で，メンテナンス費も大幅に抑えている．



トンネルワールドニュース

（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

ロビンズ社はJaiprakashグループと世界最長のTBMの契約を行った.

Jaiprakashグループ(建設業を中心とする事業グループ)は2006年5月26日に南央インドでのAMRプロジェクトの契約をロビンズ社と結んだ.

現在のところ，このトンネルは中間に作業坑のない単独トンネルとしては世界最長になる．この契約は延長43.5kmを掘削するために，ロビンズ社が直径10mの硬岩用ダブルシールドTBM 2機，コンベヤ，予備部品，カッタ，および専門技術者を提供することとなっている．このトンネルは現在ある大型ダムからインド南央部の数千エーカーに水を供給するプロジェクトで，これにより生活水準の向上とより良い就業の機会が得られ，不毛の地から豊かになる．

この契約は，5年間でアメリカロビンズ社から2機のTBM，コンベヤ，機材，部品，カッタの供給を行い，インドロビンズ社からはインド製のTBM後続設備，その他の部品，資材の供給，運転要員の提供を行う．

(T&TC　'06.7, 8　担当：木原浩貴・東京都交通局)

アルジェリアの導水トンネルの素晴らしき進捗

イタリアRavenna市のCooperativa Muratori & Cementisti社(以下，CMC社)はアルジェリア北部における導水路プロジェクトのうちの，Tizi Ouzou州からAlgiers州へ向かう11kmのトンネル群における事業のすばらしい進捗を報告している．CMC社は，元請けであるSNC-Lavalin社と契約しているトンネル工事の専門工事会社である．

2機の新しいLovat社製RMP146SEタイプの岩盤用TBM(22000シリーズ)のうちの1機は，Tizi Ouzou トンネルの2,800mの掘削に向けて2月19日にCMC社の手で発進され，8月6日掘削を完了させた．このTBMは，24週間足らずで2,800mの掘削を完了させたことになる．CMC社は2,600mのNaciriaトンネルを掘削するため，このTBMを近いうちに再発進させるだろう．

CMC社はまた2機目の同型のTBMを使って，3月18日Draa-Ben-Khedda トンネルの掘削も開始した．この2機目のTBMは5月17日，1.2kmのトンネル掘削を終えて貫通させた．このトンネルの一次覆工には拡張ライナーを用いている(拡張ライナーは2機のTBMで一次覆工としていずれも用いられているもので，それぞれのリングは3つのセグメントと1つのインバートベースで構成される．それぞれのリングがテール部を出るにつれて，リングは油圧によってTBMの外周方向へ拡張させられる．結果として生じるエクスパンションジョイント(目地)は，人為的に挿入されたスペーサブロックにより開いた状態で保持されている．リングを拡張することは，裏込め注入材や関連資材といった材料の面での重要なコスト縮減を実現する．

2機目のTBMは，その後再度組み立てられたうえで6月18日にTheniaトンネルにて再発進しており，記事を執筆中の現在，3.4kmのうちの1,000m以上を掘削し終えたところであり，CMC社は，平均日進約24mの掘進速度を達成している．

トンネルは地下水面の上を通過し，その地質は，最大土かぶり95mの地点でRQDは総じて75～90%，一軸圧縮強度は70MPaを超える堅硬で，締まった，または非常に締まった黒灰色の泥灰岩である．

これらのトンネルは，二次覆工を施工することにより1本のコンクリートパイプとなるであろう．

(T&TC　'06.6　担当：谷川隆之・佐藤工業(株))

海外文献速報

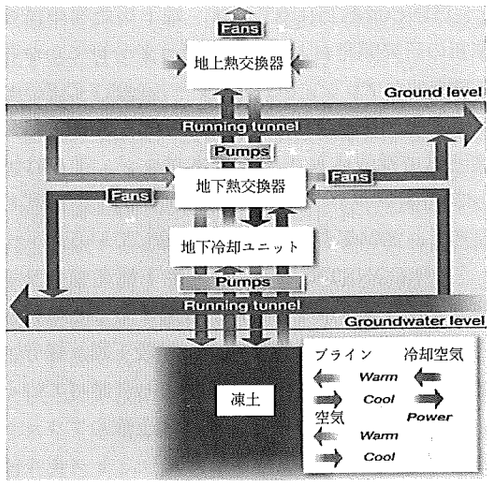
（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

鉄道トンネルのクーリング/Cool it！

By Tris Thomas, Dave Hindle: Tunnels & Tunnelling International, December, 2005, pp.29–31

ラッシュアワーにロンドン地下鉄を利用する人々は，尋常ではない暑さを感じている．その平均温度は路線部で28.9℃，駅舎構内で26.9℃といった現状である．その原因としてダイヤ増強や新型車両による使用電力量の増加，地球温暖化の影響などが挙げられている．また，維持管理に携わる職員においては劣悪な環境での業務を強いられている．電力ケーブルや列車から発せられる熱気によって，構内環境は飽和状態に達しており，現状の施設では簡単に冷却できるものではない．

そこで，ロンドン交通局は，関係有識者を招集し，地下構内の平均気温を下げるためのプロジェクトを企画した．2006年の春までに現在の平均気温を2～3℃下げるような方法を検討することを決定した．具体的には地下鉄路線が位置するロンドン粘土層の下部に存在する石灰岩層を凍結させることで地下水を冷却するとともに，熱交換器を利用しながら，冷却空気を換気ファンで送風するシステムなどを検討中である．



(文責：山口　英・五洋建設(株))

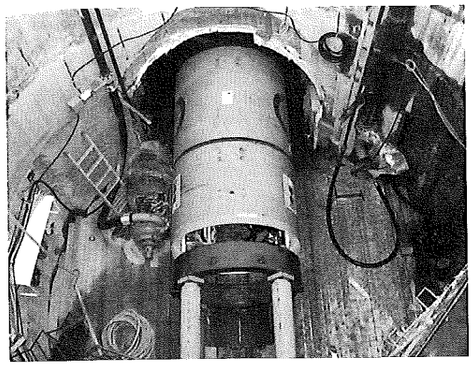
ロシアの下水道計画におけるドイツの専門技術/German expertise in Russian master plan

By Ian Clark：Tunnelling & Trenchless Construction, December, 2005, pp.15–17

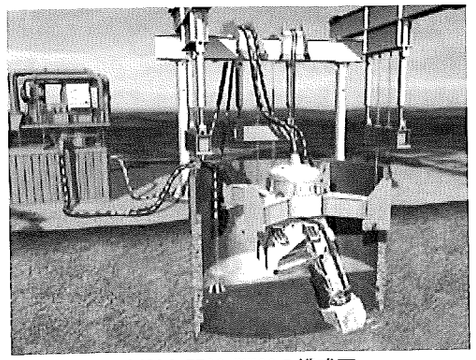
ロシア・サンクトペテルスブルグでは，現有の下水管網の老朽化と下水量の増加に伴い，リニューアル計画が進んでいる．このリニューアル計画では，老朽管の代わりに代替管を敷設し，敷設後は老朽管への下水の流入を遮断し，老朽管を修繕後，新旧両方の下水管を使用するという計画である．

複雑な水理・地質構造となっているサンクトペテルスブルグに新たな下水管を敷設するには，信頼性が高く効率的な機械を選択する必要があることから，ドイツのHerrenknecht社の製作する泥水式掘進機による推進工法を採用することになった．今回は，掘進機として直接圧気下における作業をする必要のないAVN1600DとAVN2000Dを導入している．

AVN2000Dはフルシールドタイプの掘進機であり，外径2.54m，カッタヘッドを含む全長は13.48m，重量は38tである．カッタヘッドの回転数は0～9 rpmであり，最大トルクは780kNmである．方向制御ジャッキは4本であり，1,000m以上の掘削が可能とされ，発進立坑の最小径は9mである．システムとしては，①スポークタイプの面盤を含むカッタヘッドおよび回転装置，②油圧ユニット，③圧気室，④元押しジャッキで構成されている．また，シールドのスキンプレートと坑壁間の摩擦を低減するために，Herrenknecht社はこの空隙に自動的にベントナイト滑材を注入するシステムを開発している．



掘進開始状況



VSM-5500/7700の模式図
（参考，Herrenknecht社のHPより）

泥水式推進工法において冬季の厳寒時の施工対策を事前に調査しておくことは，プロジェクトの成否にかかわる問題であった．例えば，918mの管敷設の施工は1～2月という厳冬期に施工され，しばしば－22℃以下となることがあった．この対策として，通常は屋外に設置される泥水処理設備，送泥ポンプ，また送・排泥管についても，すべて断熱パネルで覆うことにした．これより，このような厳冬期の施工でも施工性の低下は見られなかった．

施工実績としては，掘削対象地山は層状でやや塑性的な挙動を示す微粒なロームや，やや硬質で細粒なローム質砂層であり，地下水位も高いという条件下で，866mの推進管を1.5か月で施工しており，平均日進は25～30mに相当し，サンクトペテルスブルグにおける新記録となっている．

本プロジェクトでは，推進工法のための立坑を新たに55本以上構築する必要がある．従来の立坑掘削機は，比較的安定した地盤が対象のため，サンクトペテルスブルグのような複雑な地盤で使用するには，準備工や地盤改良が必要となり多大な費用，労力を伴う．このため，このような地盤でも掘削可能な立坑掘削機の製作をHerrenknecht社に依頼し，最近開発されたVSM-5500/7700を導入した．VSM-5500/7700は，内径5,500～7,700㎜の立坑を構築する専用機であり，最大掘削外径は8,800㎜となる．この立坑掘削機は，軟弱な土質，砂層，礫層から中硬岩まで対応可能であり，サンクトペテルスブルグのような不安定な帯水層にも適応可能なもので，深さ85mまで掘削可能である．

本システムはさまざまな特長を有しており，例えば工期短縮を見ても，従来工法では18か月必要なのに対しわずか3か月までに短縮しており，経費削減にも大きく貢献している．

本プロジェクトでは，2005年中にすべての立坑を構築する予定となっている．

（文責：野間達也・(株)フジタ）

ヨーロッパの新しい独創力－TUNCONSTRUCT/TUNCONSTRUCT - A new European initiative

By Gernot Beer：Tunnels & Tunnelling International, February, 2006, pp.21–23

「TUNCONSTRUCT」は，地下構造物の技術革新の研究開発および導入を行う多分野にかかわる統合的なプロジェクトで，オーストリアのグラーツ工業大学を幹事とし，ヨーロッパ11か国の41企業団体で構成されている．本プロジェクトは，3,430万米ドルの予算（4年間）のうち54%をECが負担し，2004年春から活動を開始している．

「TUNCONSTRUCT」は，地下構造物のライフサイクルコストを急進的に改善することを目標としており，設計，建設技術，建設工程，保守・補修の4点を主要プロジェクトとして挙げている．

各々のプロジェクトは，地下建設統合プラットフォーム(UCIP)に統合されており，トンネルに関するすべてのデータにアクセスできる地下建設情報システム(UCIS)がその基盤となっている．

以下に各プロジェクトの概要を述べる．

設　計

地下構造物の設計は，現時点では主として法規制，経験，さらに数値シミュレーションにもとづいてなされている．「TUNCONSTRUCT」では，先進的な数値シミュレーション，学術的知識にもとづくシステム，リスク解析を総合してトンネル設計を支援する設計サポートシステムの開発を目指している．

提案されている仮想的な地下構造のコンセプトによって，異なる地質条件，掘削方法についての仮想的な試験が可能になる．

建設技術

プロジェクトは主として下記の技術革新を目標としている．

- TBMの大口径化（φ15.2m以上）および複雑な地盤への対応技術
- 全自動化（ロードヘッダ，吹付け機）
- 最新のコンピュータシミュレーションを駆使したカッタの設計
- 新しい建設資材，材料の開発，とくにライニングセグメントの長寿命化

建設工程

プロジェクトの目的は，切羽の地質状態を含むすべての関連データを連続的に収集，記録しながら掘削を行い，モニターしながら掘削工程を最適化することである．

保守および補修

プロジェクトの目的は，新技術による統合検査保守ロボットシステム(IRIS)を開発して，交通への影響を最小限に抑えながら，保守の時間と経費を節減することである．また，安全と快適に対する要求の高まりに応じて，トンネルの状況を完全に把握する方法を確立して，早期にトンネルの保守計画をたて，長期間の交通遮断を避ける．

以上の新技術を実地に適用し，成果を広く開示することも重要で，それを容易にするために発注者も含むメンバー構成になっている．また，ここで得られた技術を直ちに学生や専門家の教育に取り入れることも，プロジェクトの視野に入っている．

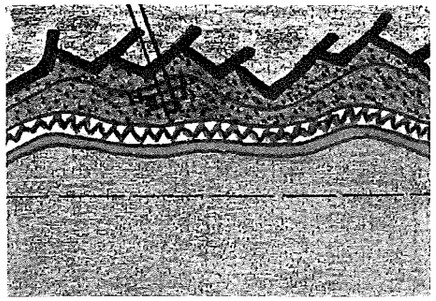
（文責：畑生浩司・鉄建建設(株)）

砕石の背面埋戻しを用いた止水システムに関する知見/Findings with Sealing Systems backfilled with Gravel

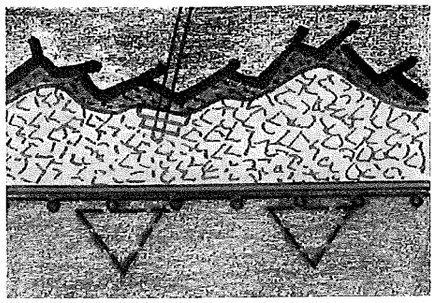
By P. Zwicky, U. Blatter, U. Pfammatter, F. Bertholet：Tunnel 2/2006, March, 2006, pp.20–27

トンネルの排水構造には，100年以上の耐久性が求められる．トンネル支保に作用する水圧は150barに及ぶこともある．トンネルのシール構造は，水圧だけでなく，風化などによる岩石物性の変化や氷圧，膨潤圧の作用によっても破壊されることがある．また，鋼製支保の腐食やアルカリ骨材反応などのコンクリート劣化も重要な要因として考慮する必要がある．スケールの生成は排水対策の有効性を低下させる．スケールはゆっくりと生成することもあれば，数年が経過した後に影響が現れる場合もある．吹付けコンクリートやセメントグラウト中に含まれる石灰分がスケール生成の原因となることが多い．U.C.M. Heidelbergによる研究結果によれば，スケール生成の問題が顕在化したのは，吹付けコンクリートが普及した1980年からである．トンネルの構造は，排水型構造または止水型構造に分けられる．排水型構造は，トンネル周囲から流れ込む湧水を底部の配管に集めて排水するものであり，湧水量が排水容量を超えなければ水圧はトンネル支保に作用しない．止水型構造では，支保構造は全水圧に耐えうるように設計され，排水は行わない．19世紀の中ごろの排水型トンネルでも，大きな排水容量を持つものは，現在も健全であり，150年以上の耐久性を持つと考えられる．一方，止水型トンネルはリスクが大きい．多少なりとも止水に不具合が生じる可能性が高く，そのような箇所から損傷が広がりやすい．

砕石の背面埋戻しを用いた止水システム（**図-1**）



a)通常方式
岩盤/吹付けコン/排水マット/止水シート



b)砕石埋戻し方式
岩盤/吹付けコン/砕石/止水シート

図-1　止水シート背面の構造

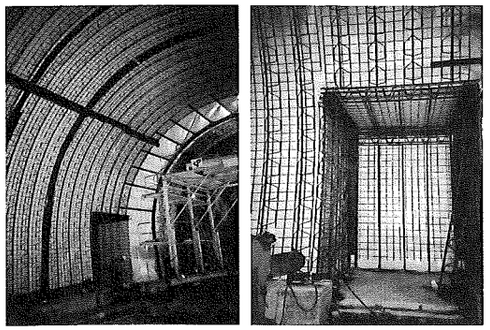


写真-1　支保の設置状況

では，支保構造と岩盤との間に排水容量の大きな砕石層を形成する．排水能力が高く，スケール生成による目詰まりも生じにくいため，長期のメンテナンスが容易である．また，過掘削部分は砕石で埋め戻せばよく経済的である．砕石層は通常よりも十数倍大きな排水容量を有している．施工では，格子状のガーターと金網で構成される支保構造(**写真-1**)により砕石層を支え，その後にコンクリートライニングを施工する．

適用事例として，例えば，Starleraトンネル(**図-2**，標高1,600m)では，冬季の氷圧による落盤の危険を防止するため，当システムに断熱材を加えた構造を採用した．2001年に80m区間を施工し，その結果から効果が証明された．Giswilトンネル(**図-3**)では，南坑口付近の土かぶりが小さく高透水性を有する約200m区間において，当システムを採用した．Alp TransitのLötschbergトンネルとGotthardトンネルでは，定められた止水システムの試験基準をクリアした．砕石詰めの

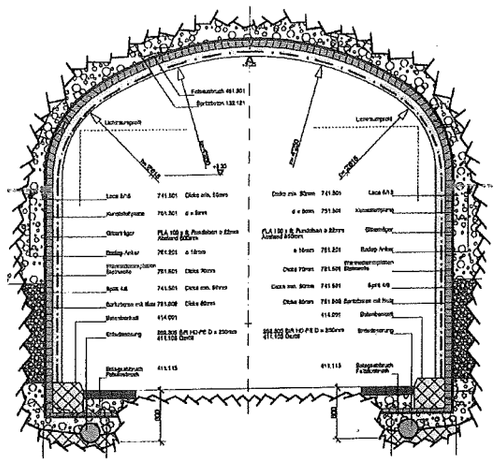


図-2　Starlera トンネル

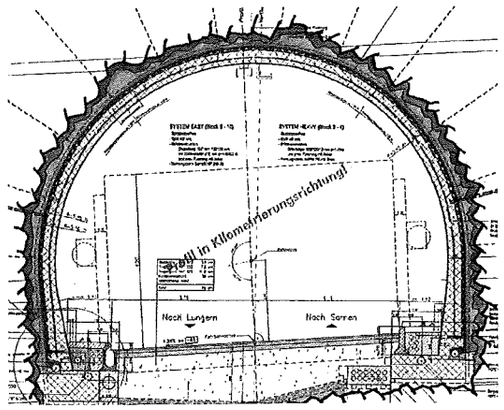


図-3　Giswil トンネル

緻密性を確保するため，支保構造を振動させる手法を用いた(**写真-2**)．

なお，このシステムはValplast AG(スイス)に

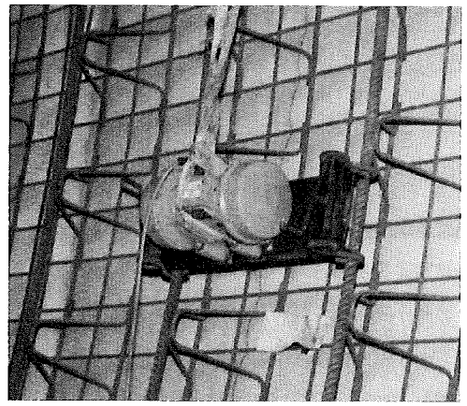


写真-2　支保構造振動機

より開発され，同社がヨーロッパ内で特許を取得している(参考HP：http://www.martiag.ch/en/123/start.asp)．

(文責：山本　肇・大成建設(株))

主要プロジェクトの施工の安全性―地下開発プロジェクトにおける契約管理とリスク管理の結合/Safety in the construction of major projects — Combining Contractual and Risk Management Frameworks in Underground Projects

By Arnold E. DIX：Australasian Tunnelling Society，March，2006，No.1，pp.39-47

施工中のトンネルの崩壊は大きな損害をもたらす．崩壊の原因はほとんどの場合説明可能である．多くは掘削の危険性に対する認識不足に関連している．地質評価の失敗，選択した施工方法の裏に潜む危険性の過小評価，崩壊の明白な予兆の見過ごしなど，依然として崩壊の起きる危険性はきわめて高い．世界的な再保険会社が，大きな地下開発プロジェクトに対して保証額を下げる，保険料を上げる，あるいは支援を拒否せざるを得ないような状況になっている．

十分な保険がなければ多くのプロジェクトは推進できない(海外でのトンネル工事では工事保険を付保することが契約上求められ，保険会社は再保険に頼る場合が多い)．ロンドンの保険市場では主要な再保険会社が中心となり，英国トンネル協会が協力して，トンネル工事のリスク管理規定を作成し，これを採用するトンネル工事に対してのみ，工事保険を提供する方針が決定した．国際トンネル協会などもこれを支援している．

このリスク管理規定は，トンネル工事に関するリスクの最小化と管理，リスクの認識とその責任の明確化を目的としており，工事段階だけではなく，計画，設計，入札の各段階に適用され，発注者，設計者，施工者のそれぞれに適用される．

このリスク管理規定が実際の地下建設工事のリスク低減に有効かどうかはまだ判定できないが，最近の崩壊事故の分析結果から，これが正しい方向への第一歩であることは間違いないように思われる．

(文責：梨本　裕・前田建設工業(株))

研究論文募集のお知らせ

弊誌「トンネルと地下」では，研究論文（実験，技術開発など）を募集いたします．大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい．とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので，平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します．なお，応募方法の詳細につきましては15頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

問い合わせ先　株式会社 土木工学社 編集部
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16 メイジャー神楽坂　電話（03）3267-2888（代）

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	11月25日現在	12月25日現在
正会員	2,290名	2,258名
団体会員	405名	414名
個人会員	1,885名	1,844名
名誉会員	1名	1名
計	2,291名	2,259名

2. 委員会の開催状況(12月1日～31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会：12/19(今田徹委員長ほか16名)作業方針を検討

共通技術小委員会ずり出し方式調査WG合同打合せ会：12/15(小暮誠主査ほか8名)調査表を検討

都市トンネル小委員会Q＆A施工WG：12/21(中島泰彦主査ほか23名)原稿を検討

山岳工法小委員会支保WG：12/26(服部修一主査ほか13名)事例調査方針を検討

◎耐震設計検討特別委員会幹事会：12/7(蒋宇静幹事長ほか17名)載荷実験立会い他

◎北海道新幹線トンネル施工技術委員会：12/11(三上隆委員長ほか24名)設計施工法を検討

◎効率的掘削工法特別委員会：12/20(西村和夫委員長ほか23名)原稿を検討

計　7回開催　131名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会：12/11(大塚正博委員長ほか6名)広報内容を検討

ホームページWG：12/1(伊藤文雄主査ほか7名)方針を検討

会誌WG：12/5(大島洋志主査ほか13名)1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

ニュースWG：12/18(平澤泰作主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会

第8回モグラ研究会：12/8(三上哲司委員ほか12名)技術の伝承を検討

事業委員会打合せ会：12/19(桑原彌介委員長ほか6名)ITA技術調査対策

計　6回開催　58名出席

合計　13回開催　189名出席

3. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第1回 国際フォーラム 「道路・鉄道トンネルの安全」	2007. 4. 23～25	リスボン (ポルトガル)	Tunnel Management International (トンネルマネジメントインターナショナル社) http://www.tmi-intelligence.com
第33回ITA総会およびコングレス 「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5～10	プラハ (チェコ共和国)	Czech Tunnelling Committee (チェコトンネル協会) International Tunnelling Association (国際トンネル協会) http://www.wtc2007.org
第34回ITA総会およびコングレス 「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 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

4. 平成18年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
大阪市地下鉄現場研修会	2006. 4. 17	16	大阪府
横浜市地下鉄現場研修会(駒林工区)	2006. 5. 30	28	神奈川県
東京地下鉄13号線現場研修会(新宿工区)	2006. 6. 2	24	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2006. 6. 20	25	東京都
名古屋地区高速道路現場研修会	2006. 8. 25	13	愛知県
北関東自動車道蓬田トンネル現場研修会	2006. 9. 8	25	茨城県
東京地下鉄13号線現場研修会(南池袋工区)	2006. 9. 15	18	東京都
横浜市地下鉄現場研修会(日吉駅工区)	2006. 10. 3	32	神奈川県
京都高速道路伏見工区トンネル現場研修会	2006. 10. 20	25	京都府
LPG国家備蓄基地現場研修会(倉敷，波方)	2006. 10. 30, 31	17	岡山県，愛媛県
上野地区地下構造物建設現場研修会	2006. 12. 12	20	東京都
中之島新線トンネル現場研修会	2007. 1. 26	20	大阪府
(発表会)			
第58回(山岳)「最近注目されるトンネル工事」	2006. 11. 29	104	東京都
第59回(都市)「密集した市街地におけるトンネル工事」	2006. 11. 30	90	〃
(講演，講習会)			
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2006. 9. 28, 29	23	青森県
第8回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2006. 11. 1, 2	32	東京都
2007トンネル技術の特別講演と技術研究発表会	**2007. 2. 23**	**300**	**下記参照**

詳細は，協会ホームページ(http://wwwsoc.nii.ac.jp/jta)を参照ください．

2007トンネル技術の特別講演と技術研究発表会プログラム

主催　北海道土木技術会トンネル研究委員会
　　社団法人日本トンネル技術協会
後援　財団法人北海道道路管理技術センター

日　　時：平成19年2月23日(金)　10：00～17：00
場　　所：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)
　　(札幌市北区北8条西5丁目　TEL：011-758-5426)
参 加 費：研究発表会　6,000円(論文集を含む)　　懇親会　4,000円
申し込み方法：FAXにて出欠をお知らせ下さい(メールでも結構です)．
申し込み先：トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局
　　((株)ダイヤコンサルタント内　杉浦・水島　TEL：011-729-2701 FAX：011-729-2689
　　E-mail：T.Sugiura@diaconsult.co.jp)
締め切り：平成19年2月16日(金)
定　　員：300名
そ の 他：・参加費は事前に銀行振込でお願い致します(振込料はご負担願います)．また，当日会場にて現金でも結構ですが，その旨を申し込み書に記載していただきますようお願い申し上げます．
・論文集は当日，所属，氏名を確認のうえ，会場でお渡しいたします．
・発表会場に駐車場がありません．JR，地下鉄，バス等の公共交通機関をご利用下さい．

※なお，本研究発表会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか，土木学会トンネル工学委員会後援事業であります．

プログラム：

10：00～10：15　開会挨拶　北海道土木技術会トンネル研究委員会委員長　三上　隆

10：15～11：30　研究発表(第1部)

10：15～10：40　「北海道新幹線のトンネル群の設計・施工計画」
－北海道新幹線，木古内・新函館間－
鉄道・運輸機構鉄道建設本部北海道新幹線建設局
○浅見　均・佐藤　宏・齊木　功

10：40～11：05　「脆弱な蛇紋岩区間におけるトンネルの変状とその対策について」
～北海道横断自動車道東占冠トンネル工事における実施例～
東日本高速道路(株)北海道支社帯広工事事務所　安藤　武義・小澤　隆二
大成建設(株)・(株)奥村組特定建設工事共同企業体　○内田　渉

11：05～11：30　「トンネル掘削ずりの汚染評価と対策技術」
(独)土木研究所寒地土木研究所　○田本　修一・伊東　佳彦・日下部祐基
北海道大学大学院工学研究科　五十嵐敏文・渡辺　歩
北海道開発局旭川開発建設部　青木　卓也

11：30～12：00　ビデオ上映「新生！　国道230号」～有珠山の噴火を乗り越えて～

12：00～13：00　休　憩(昼食)

13：00～14：45　特別講演「トンネルの維持管理とリニューアル技術の現状と課題」(仮題)
(独)土木研究所道路技術研究グループトンネルチーム上席研究員　真下　英人

14：45～15：00　休　憩

15：00～16：40　研究発表(第2部)

15：00～15：25　「泊発電所3号機建設工事における放水路トンネルの施工実績」
～海底下における複合地盤のシールド施工実績～
北海道電力(株)泊原子力発電所建設所　古田　卓也
鹿島建設(株)泊発電所JV工事事務所　○小野田一也

15：25～15：50　「ウォータータイトトンネルを確立する注入施工について」
－中央仮排水管の閉塞注入－
佐藤工業(株)　中谷　幸一・関本　昇・○京免　継彦

15：50～16：15　「コンクリートテスターによるトンネルの剝離・強度の推定」
日東建設(株)　○久保　元樹・金田　重夫
北海道旅客鉄道(株)札幌構造物検査センター　大高　道夫・小島　俊一
TECS技術協会　極檀　邦夫

16：15～16：40　「トンネル断熱材設計における坑口・坑内気温の推定について」
－トンネル・マネジメント・システム(TMS)分科会報告－
(株)地崎工業　○須藤　敦史・河村　巧
北海道大学大学院　三上　隆
(株)エーティック　角谷　俊次
(株)構研エンジニアリング　五十嵐隆浩

16：40～17：00　閉会挨拶　北海道土木技術会トンネル研究委員会副委員長　桜田　昌之

17：30～18：30　懇親会　センチュリーロイヤルホテル

2007トンネル技術研究発表会 参加申し込み書(FAX)

〒001-0010
札幌市北区北10条西2丁目13番地2
(株)ダイヤコンサルタント内
北海道土木技術会トンネル研究委員会
講習講演小委員会事務局
水島　秀明　行
FAX：011-729-2689(TEL：011-729-2701)

発信元：
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿
＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿　様
TEL：＿＿＿＿＿＿＿＿
FAX：＿＿＿＿＿＿＿＿

・と　き：平成19年2月23日(金) 10：00～17：00
・ところ：北海道大学学術交流会館(大学正門内左側)
(懇親会：17：30～18：30 センチュリーロイヤルホテル)

所属・氏名・出欠・連絡先をご記入申し上げます(締め切り平成19年2月16日)．

所属（団体・会社・官庁）	氏　名 （フルネームで明記願います）	出　欠	
		発表会	懇親会
	(代表者)		

○：参加　×：不参加

・会費(銀行振込でお願いします．振込料はご負担下さい)ただし，弁当代は当日集金します．
※必要に応じ，請求書・領収書等を送付いたします(ご一報ください)．

〈発表会〉￥6,000×＿＿＿名＝＿＿＿＿＿円
〈懇親会〉￥4,000×＿＿＿名＝＿＿＿＿＿円
合　計＝＿＿＿＿＿円(ご記入お願いします)

振り込み先：北洋銀行　北七条支店(312)　普通3518303
トンネル研究委員会講習講演小委員会事務局 杉浦高広

※申し込みは，E-mail(H.Mizushima@diaconsult.co.jp)でも受け付けます．
申し込みの際は，参加者の所属・氏名，発表会・懇親会の出欠，参加費，代表者名・連絡先を明記ください．

3月号予告[3月1日発売予定]

●九州新幹線　三池トンネル南工区
●北陸新幹線　第2魚津トンネル
●第二東名高速道路　引佐第二トンネル
●東京地下鉄13号線　神宮前工区
●東京地下鉄13号線　南池袋A線・B線工区
【連載講座】
●発破技術の現状(5)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆本号に掲載された東海北陸自動車道の飛騨トンネルの本坑が1月13日に貫通しました．平成10年8月の掘削開始から約8年半の歳月を経た貫通です．詳細は本号「トンネル ジャーナル」(60頁)に掲載されていますのでそちらをご覧ください．

◆飛騨トンネルについては2004年8月号と9月号におもに先進坑の不良地山と大量湧水の施工について掲載しています．8月号のグラビア頁には不良地山と大量湧水に関するたくさんの写真が掲載されております．当時この写真をレイアウトしていて「トンネルの中に川がある」と思ったことを今でも覚えています．湧水の放流状況の写真は放流している水の量と勢いに驚かされました．その後出版された西山芳一氏の写真集「トンネル」(発行：施工技術総合研究所)にも飛騨トンネル先進坑の坑内の写真が掲載されているのですが，そちらはきれいにライトアップされた“静かな小川”といった感じで撮影されています．グラビアの写真は荒々しく見えたのですが，やはりプロが撮ると同じ場所でもずいぶん雰囲気が違うなと関心したものでした．

◆これまでの関係者の方の工事や工期などのご苦労を伺っております．開通の見込みがつき，工事にめどがつきましたらまだ報告されていない本坑の施工報告のご投稿お待ちいたしております．

(I.Y)

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

トンネルと地下
第38巻 第2号〔通巻438号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年1月20日　印刷
平成19年2月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　小森　博
〒104-0041　東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jta
発行所　株式会社土木工学社
〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888
FAX：03-3267-2807
http://www.tunnel.ne.jp
発行人　山本 育徳
編集人　山本 勝誉
印　刷　新協印刷株式会社

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．

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

購読料
1冊　1,575円(送料108円)
　　(本体価格　1,500円)
1年　15,000円(前納)
振替　00110-8-190072

本誌広告のお申し込み方法

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

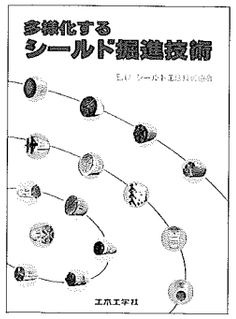
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

好評発売中

多様化するシールド掘進技術

監修　シールド工法技術協会

B5判　141頁　　本体価格2,500円



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

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

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

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

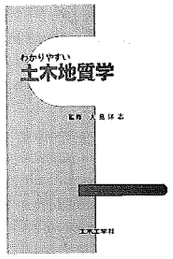
本書は東京都立大学名誉教授の山本稔先生よりご推薦いただいております

申し込み先
㈱土木工学社　〒162-0832　東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
TEL：03-3267-2888　　FAX：03-3267-2807

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕

わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修

Ｂ５判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり

1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学

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

第Ⅱ編　トンネル工事と地質条件

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

第Ⅲ編　地質調査法

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方

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

〔その他の既刊図書〕

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

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

地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳

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

岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判　444頁　税込10,290円　送料450円

ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判　360頁　税込5,097円　送料340円

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

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

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

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

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

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

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 Rohrvorieb」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実に詳細に解説している点に驚いた．したがって推進工法に従事し，一層活躍しようとする人たちに本書を推薦したいと思う．

中本　至・石橋信利・金成英夫

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

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

《書 籍 申 込 書》

推進工法の理論と実際　　冊 申し込みます

住所（〒　　－　　）

事業所名

TEL

部課名　　申込者　　㊞

TAIKU

CL301E型
カッタローダ



強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

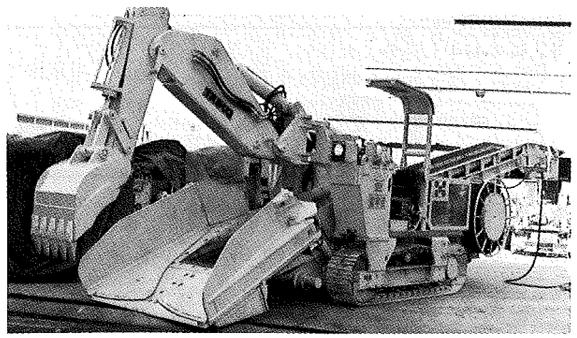
特長

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

トンネル掘進機の本命・カッタローダ

山岳土木の豊富な実績を基に，なお開発に挑戦します。

RL型タフローダ



RL10

油圧式ズリ積機

アタッチメントとして
カッタヘッド
油圧ブレーカ搭載可能

型式	RL16	RL10	RL5-1
適用ズリ取断面	10～32㎥	7～30㎥	4～14㎥
油圧パワーパック	53kW	45kW	31kW
ベルトコンベア能力	150㎥/H	150㎥/H	70㎥/H
質　　量	16.5トン	12.6トン	9.2トン

製造・販売・レンタル　株式会社 タイクウ

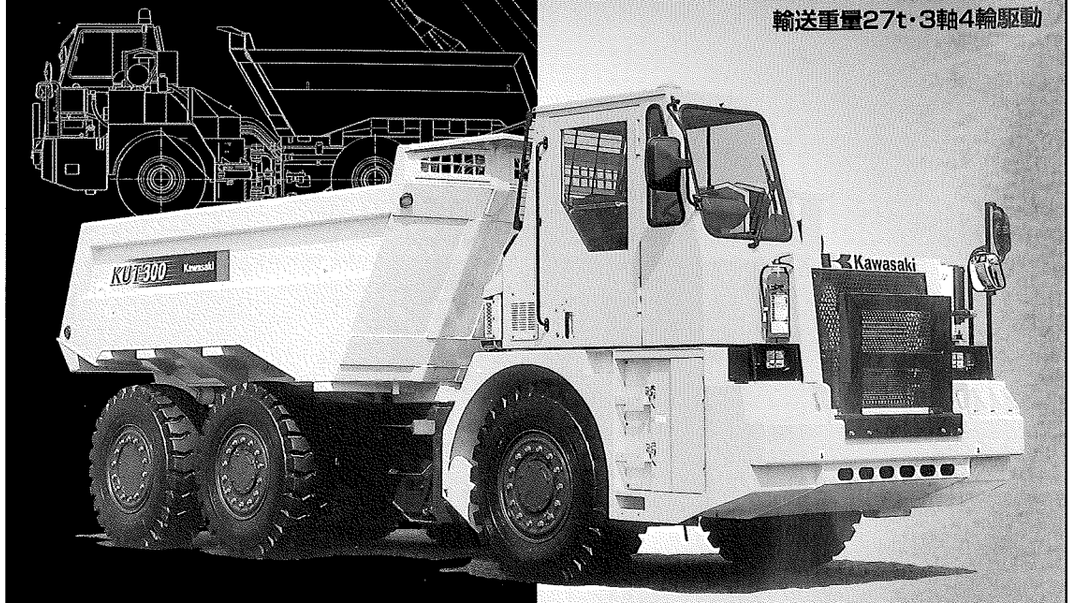
本社　〒144-0047 東京都大田区萩中三丁目6番5号　☎(03)3741-3131(代表)　FAX(03)3741-6457

Kawasaki

KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動

コンパクトで大出力 坑内ダンプの革命児!!



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

大出力
- ■クラス最大級のエンジン出力
  - 212Kw/2,300min⁻¹

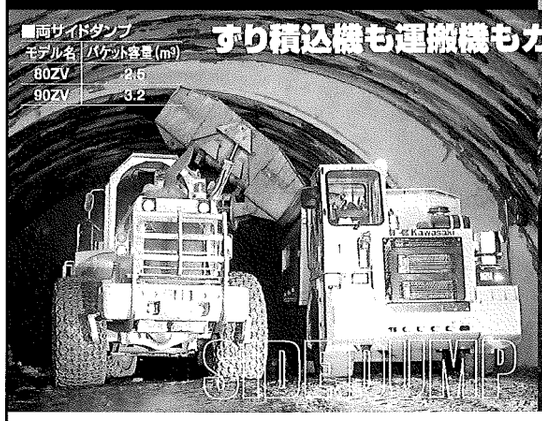
クリーン
- ■万全の環境対応
  - 第2次排ガス基準クリア
  - セラミック製黒煙浄化装置

安全
- ■安全性
  - 4段階調整式リターダ
  - 後方カメラ&モニター

ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.5
90ZV	3.2



■ロードホールダンプ

モデル名	バケット容量(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/