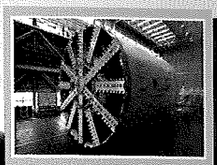
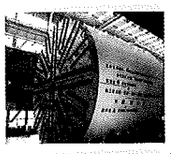
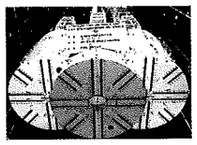
トンネルと地下　平成19年12月1日発行第38巻第12号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

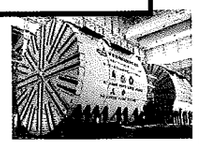
トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。


2006
〈ドバイLRT用シールド〉
ドバイの交通網の発展に貢献


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


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


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


1993
〈世界最大級の泥水式シールド〉
東京湾横断道路工事で活躍


1989
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式
完成にわく関係者たち


1939
〈日本最初の本格的シールド〉
関門トンネル工事で活躍

世界中で
1677台の
実績！

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

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

三菱重工地中建機（株）のシールド式トンネル掘削技術

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-12
4910066191276
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年12月1日発行（毎月1回1日発行）　第38巻第12号　通巻448号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 12

vol. 38
no. 12
2007

短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験
世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000mを掘削（施工編）
開業目前の地下鉄グリーンライン
小口径長距離トンネル工事用の換気ダクトの開発
新潟県中越沖地震における鉄道トンネル被害

日本トンネル技術協会誌



信頼の品質

技術提案に好適!!
デンカの特殊混和材

デンカの酸性液体急結剤
初期強度発現がバツグン

《デンカクリアショット》

酸性液体急結剤 **デンカナトミックLSA**
粉体助剤 **デンカナトミックUSS**

- 脅威の低粉じん吹付けが可能
- 確かな初期強度、長期強度発現性
- 付着性が大きく、跳ね返りが少ない
- 粉体急結剤と同様の吹付け性状
- 湧水、低温にも強い

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

《粉じん低減剤》

デンカクリアップ2

- 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
- 付着性が大きく、跳ね返りが少ない

実績の粉体急結剤

一般吹付け・高品質吹付け
デンカナトミックTYPE-5

高強度吹付け
デンカナトミックTYPE-10

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

- 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

覆工コンクリート
ひび割れ抑制・耐久性向上

コンクリート用膨張材
デンカパワーCSA

有機無機複合型被膜養生剤
デンカクラッコフ

コンクリート補強用合成繊維
STRUX 85/50

- 高品質な覆工コンクリートが得られます

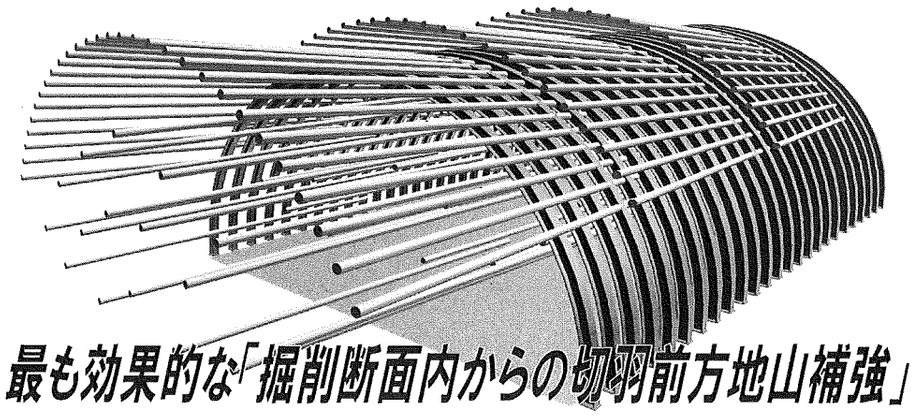
◆トンネル関連製品
- デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
- デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
- FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
- デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
- デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
- デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
- デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材

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

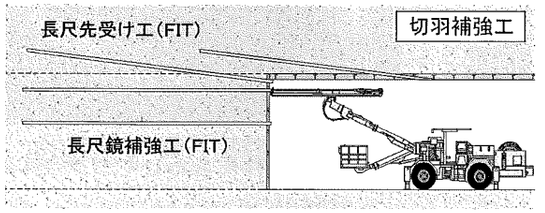
全方位 GFRP 管長尺補強システム

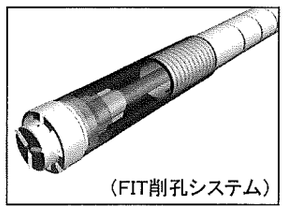
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

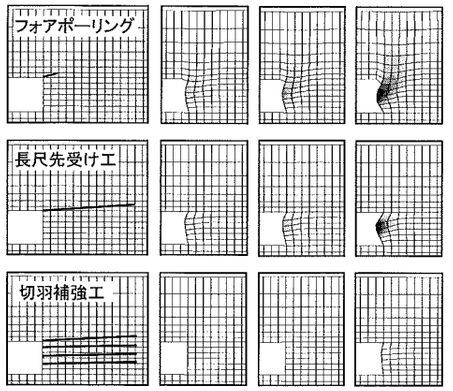
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



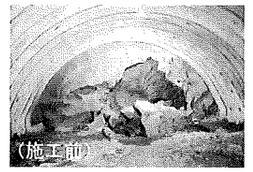
最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」




(FIT削孔システム)



(数値解析による切羽補強効果の検証例)


(施工前)


(FIT工法施工後)

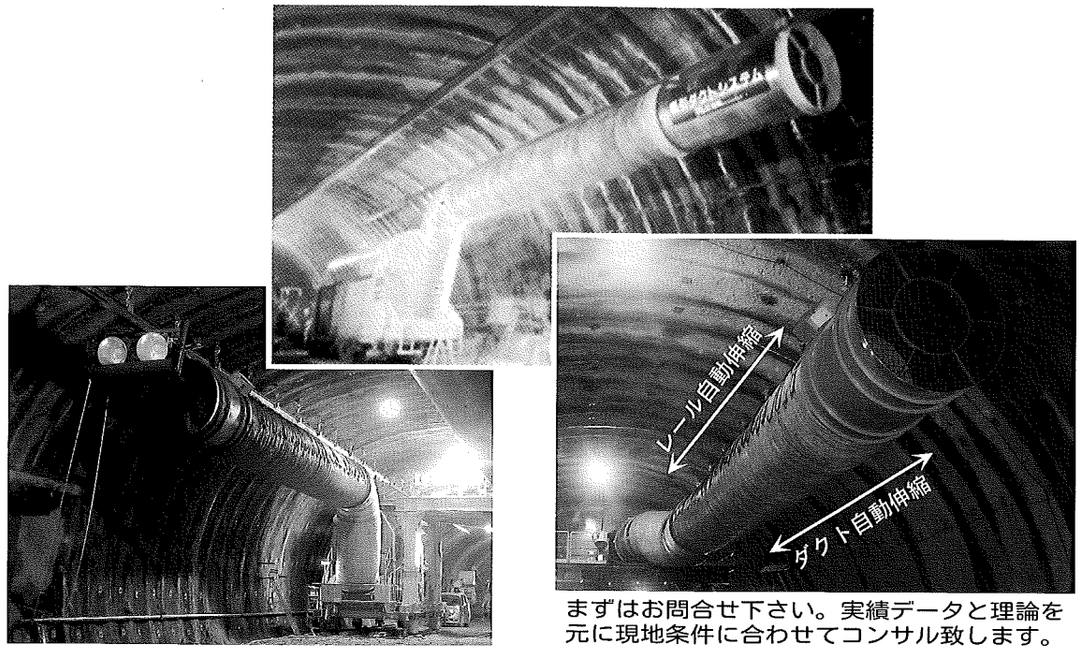

(施工前)


(FIT工法施工後)

KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部 TEL(03) 3570-5223 FAX(03) 3570-5233
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

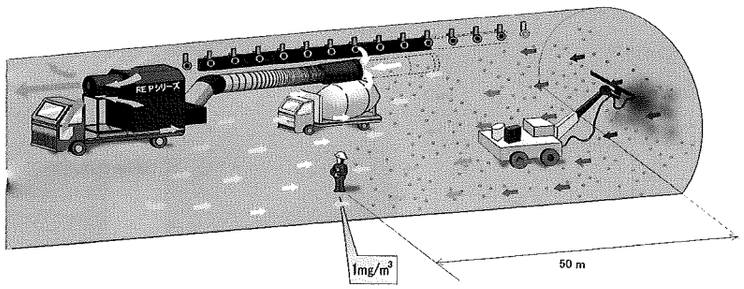
吸引ダクトシステム

業界初 吸収ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕
ガイドラインをクリア　1mg/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.
- 適応径はΦ600～Φ1500，負圧－2kPa，収縮率1/5，100m以上もレンタルで対応可．移動照明を使用することで切羽作業効率，安全性が大幅にアップ．その他の口径・延長はご相談下さい.



宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

30th Anniversary
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90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ 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!!

あ・り・え・な・い 静かなアリエルです



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

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

超低騒音：**エアロMAX 最小値78dB(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：長年にわたって経験して参りました弊社の換気のノウハウを生かし、換気計画後、5.5kW×２～200kW×２の幅広い品揃えで対応します.
換気のご相談はお気軽に本社・営業部までどうぞ。

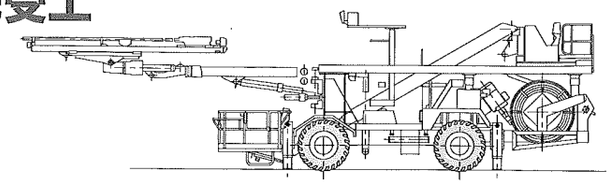
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

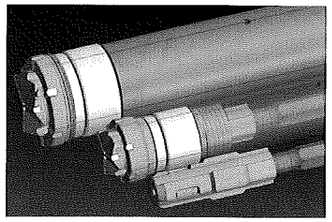
30th Anniversary
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03（3452）7400(代) FAX：03（3452）5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田90-1
ﾃｸﾉｾﾝﾀｰ TEL：0296（37）7680(代) FAX：0296（37）7681

環境対応型長尺鋼管先受工

TOHO AGF System

All Graund Fastening;
Long-Distance,.Fore-Pilling Method

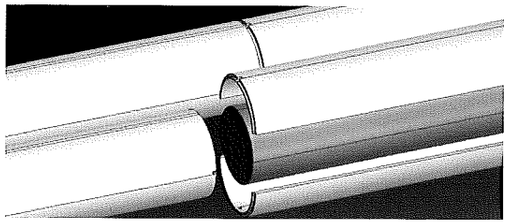


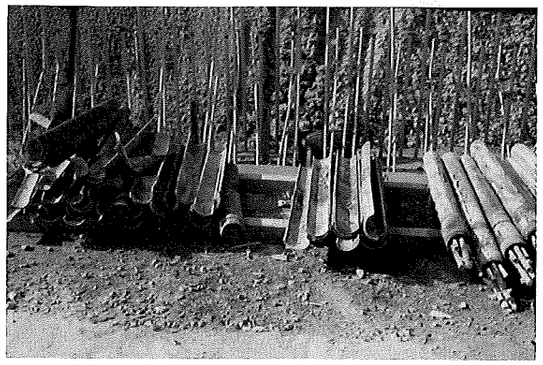


AGF-Me工法

- トンネル掘削時に露出した端末管を容易に切除可能
- 硬化注入材と鋼管を容易に分別処理して、鋼管はリサイクルへ
- 豊富なサイズ、114.3mm・101.6mm・76.3mm・60.5mm

最後端部に接続される鋼管は、縦貫通スリット管を用いることにより、掘削時に露出した鋼管を折り曲げ除去するだけで、内部の硬化した注入材と鋼管とを分離して、分別処理を簡便に行えるようにした環境対応型長尺鋼管先受工です。





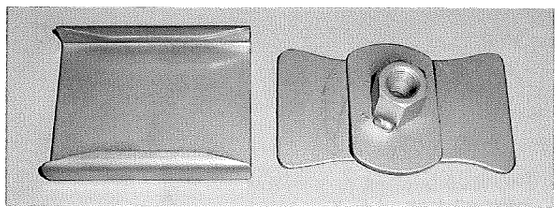
防水シート非貫通型鉄筋吊り金具

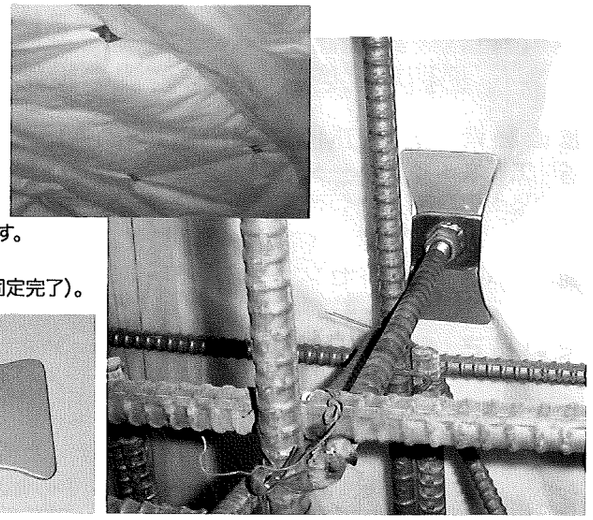
TKグリッパー

- 防水シートへの穴あけ不要
- 一人で容易に取り付けが可能
- 外れ防止機構付き、施工後の高い安全性

固定方法は3ステップ

1. 支保工へ溶接したグリップに防水シートを当てます。
2. 回転プレートを押し込みます。
3. ナットを回し、止め位置まで90度右回転します(固定完了)。





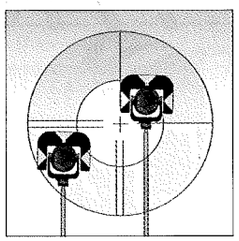
東邦金属株式会社 東京営業部
TOHO KINZOKU Co., LTD
〒105-0003
東京都港区西新橋3丁目2番1号　共同ビル(西新橋)10F
Tel:03-5401-6211　Fax:03-5401-6218
URL:http://www.tohokinzoku.co.jp

株式会社 トーキンオール
〒210-0854
神奈川県川崎市川崎区浅野町4-11
Tel:**044-333-0012**　Fax:**044-333-0321**
(お問い合わせ先)

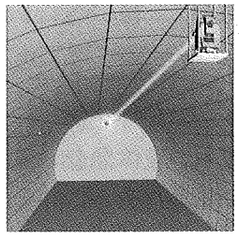




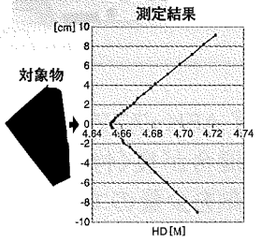
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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

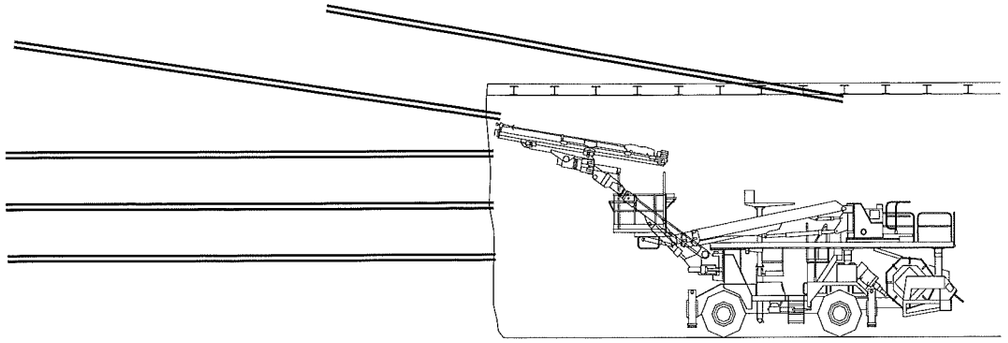
Leica Geosystems

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

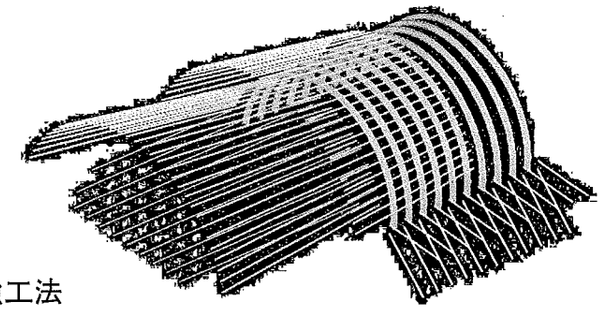
KATECS

トンネルの補助工法

注入式長尺先受工法
- AGF工法
- AGF-P工法
- AGF-S工法
- AGF-WOO工法
- AGF-E工法

小口径長尺先受工法
- SMALL-P工法
- FBE工法

全方位マルチパターン地山補強工法
- パノラマ工法



発泡型シリカレジン
- スーパーSRF

無機系注入材
- シリカセーフ

KATECS

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

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

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

東京支店
〒112-0014　東京都文京区関口１丁目15番３号
第２麻生ビル２階
TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648

関西営業部
〒550-0015　大阪市西区南堀江４丁目１番18号
十川産業西堀江ビル７階
TEL 06-6578-3235　FAX 06-6578-3237

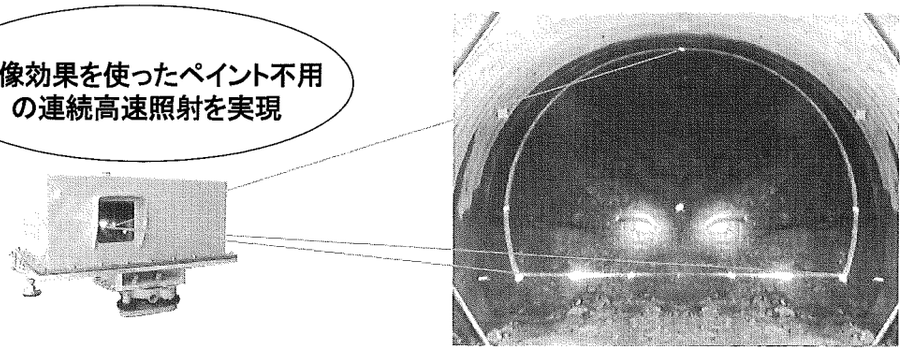
九州営業部
〒816-0932　福岡県大野城市瓦田 623-4
リバーサイド大野城A号
TEL 092-574-0856　FAX 092-574-0846

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

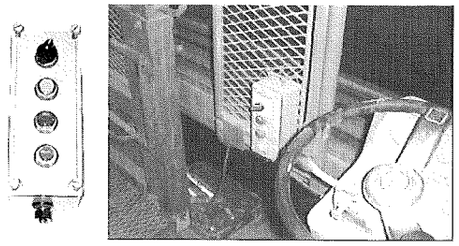
レーザーマーキングシステム

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

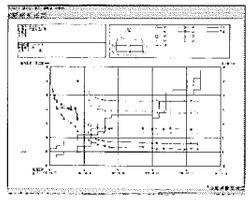


現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー

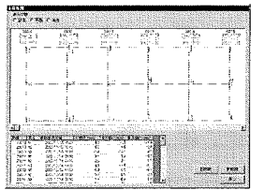


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

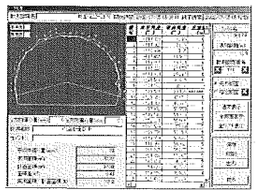
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



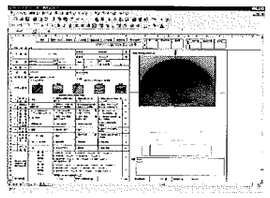
A計測データ処理



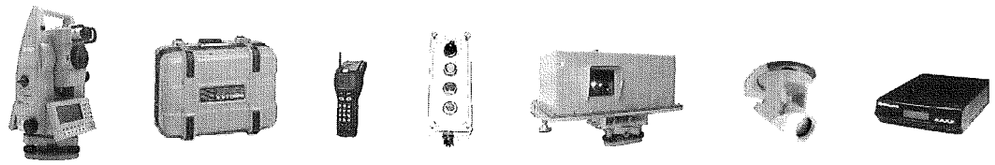
支保工立込精度、変形量



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。

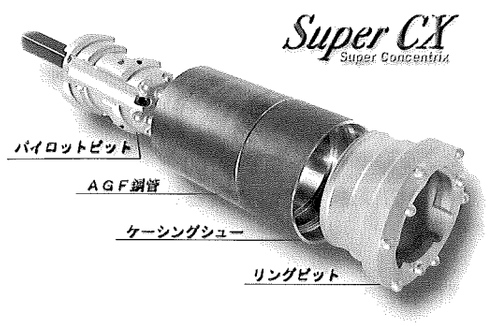
MAC マック株式会社
〒272-0832 千葉県市川市曽谷8−16−3
TEL (047) 371-3191　FAX (047) 371-3190

〔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

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。

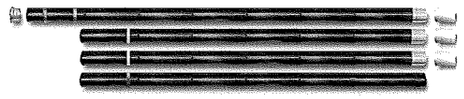


削孔用主要部材

●削孔システム



●AGF鋼管



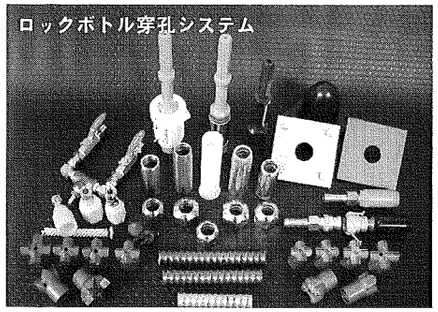
●ロッド・カップリング



▼ 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)









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

吹付けコンクリートシステム

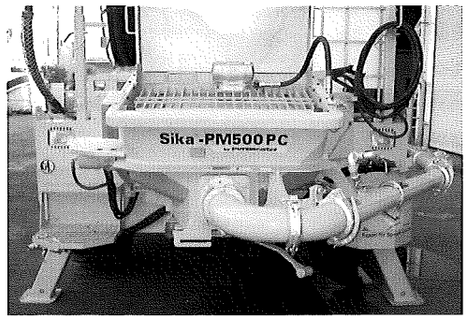
Experts on Sprayed Concrete

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.

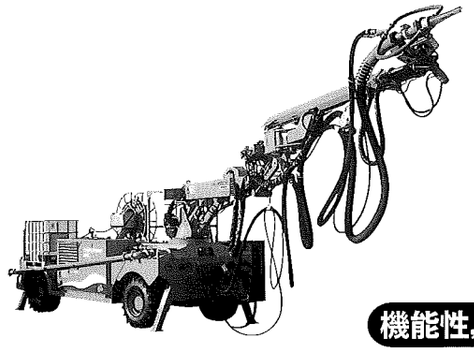


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

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

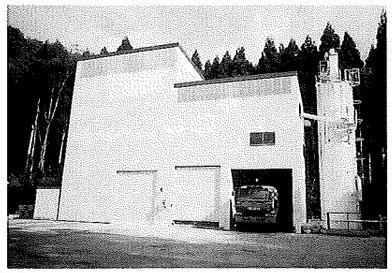
VOLVOダンプトラック
(A25C–TS，A25C–TR，A20/30C–T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

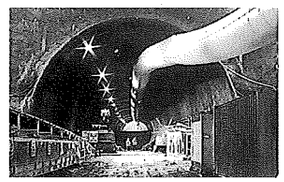
バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)

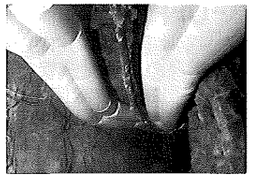


設計・製作：名岐エンジニアリング株式会社

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

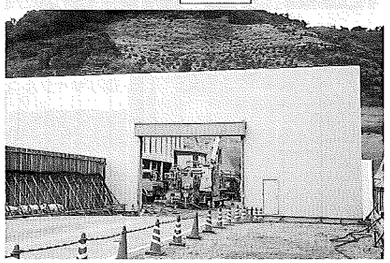
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



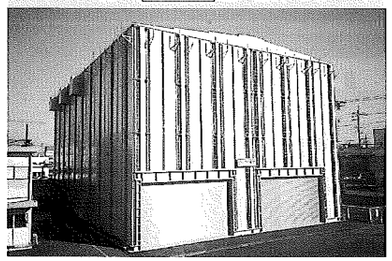
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



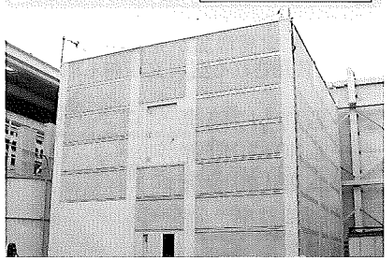
適応性の優れた防音パネル

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

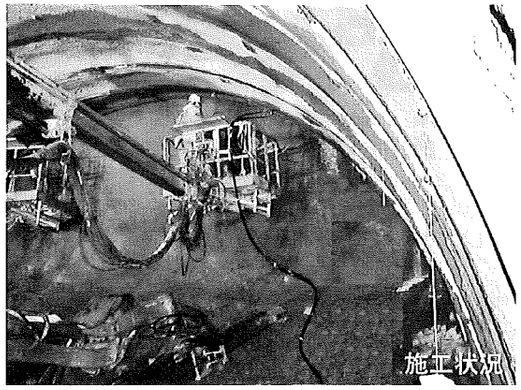
http://www.toyu.co.jp

〒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

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）

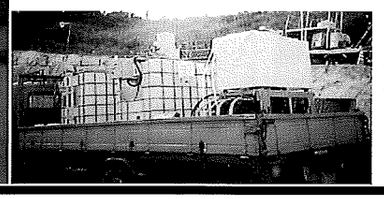


※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧下さい。

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム



◎リサイクルコンテナ（左）と現場への搬入風景



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

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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





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

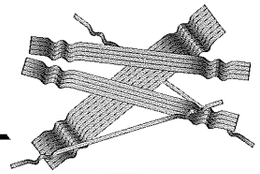
TMC 株式会社ティーエムシー ホームページ ： http://www.tmc-net.com/
お問合わせ・お見積のご相談はお近くの当社事務所まで

本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL：03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL：022-286-5111
名古屋支店	〒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
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
富山営業所	〒933-0806 富山県高岡市赤祖父707 古川ビル2F	TEL：0766-28-8355
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 アイ・ソリューションビル1F	TEL：0942-40-8151

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

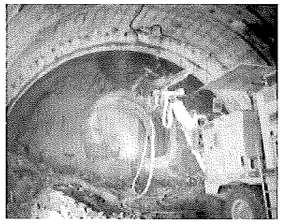




- 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
- 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

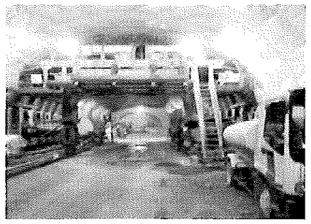
一次吹付

- 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

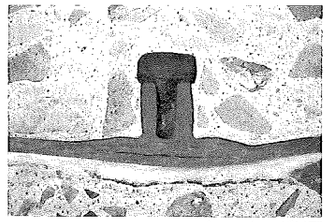
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

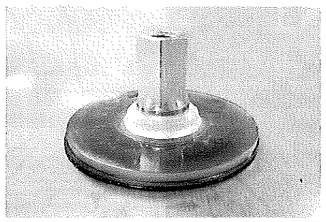
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



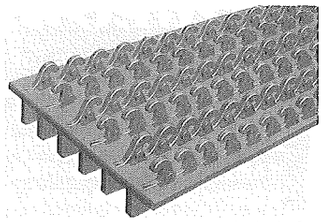
ウォーターバリア

■ 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

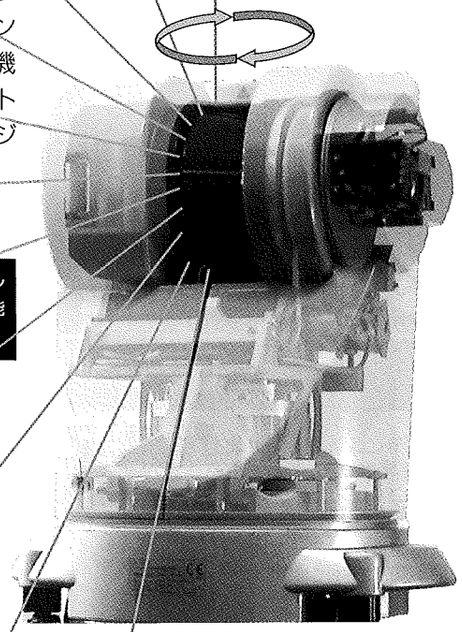
Callidus™ レーザースキャナー

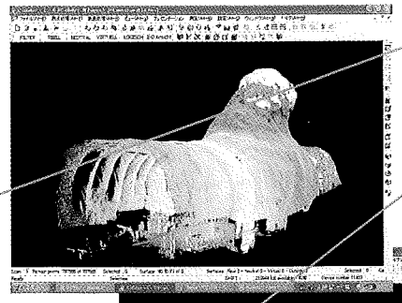
3次元トンネル断面計測機

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。

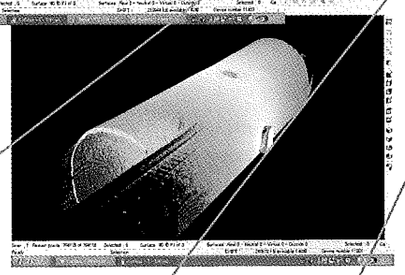
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





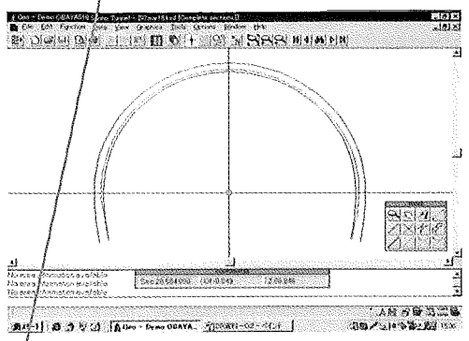
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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

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

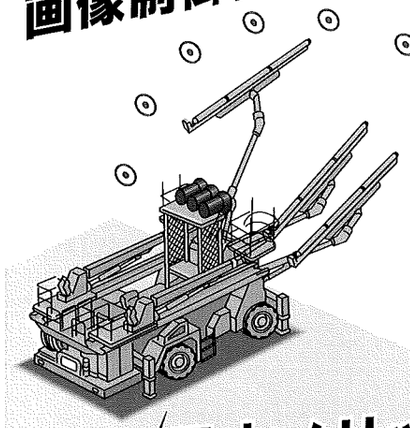
NEW

V Navigation

ジャンボＶナビゲーションシステム

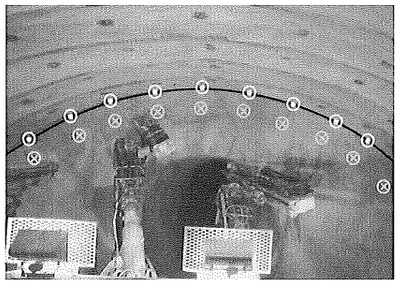
画像制御技術を建設システムソリューションへ

特許申請中



最大メリット

スーパーインポーズ方式採用！



削孔位置（◎）にガイドセルの先端を合わせ、設計さし角から求めたガイドセルの後端（⊗）を合わせます。

- **高品質・簡易機能**　従来と比べてその場でシステム化可能
- **低価格**　従来比40%コストダウン
- **マニュアル不要**　ユーザーフレンドリー

- 切羽の画像を確認しながら操作ができる
- 画像上に削孔位置を表示　目で見て分かりやすい
- オペレーターの作業性 UP　最適ポイントを運転席モニターでガイダンス
- 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可能

OPTION　削孔時の切羽画像記録機能　削孔後に確認ができる

演算ロボリューションでお客様に驚きと感動を提供致します。

enzan Kobo

株式会社　演算工房　http://www.enzan-k.com/

■京都本社　〒604-0847　京都市中京区秋野々町535番地　日土地京都ビル4F
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１7F
TEL. 03-3518-2588　FAX. 03-3518-2589

MITSUBISHI 三菱マテリアル

DIABIT

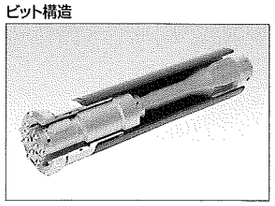
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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

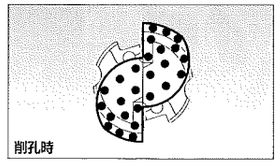
ビット構造

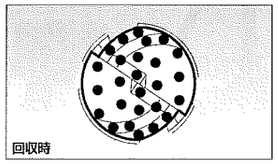


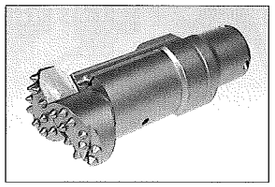
●スーパーメックスビット（SMB）打撃削孔式拡縮径タイプ

・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





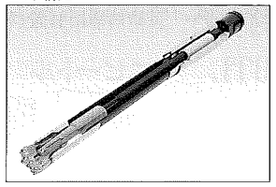


●スモールP（Small-P）システム

●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

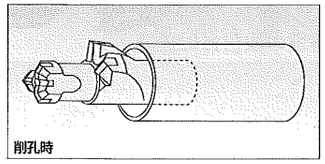
ビット構造

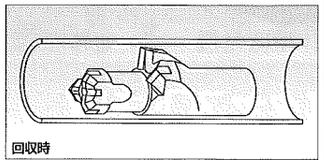


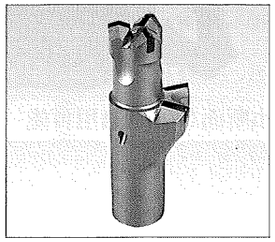
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

・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。

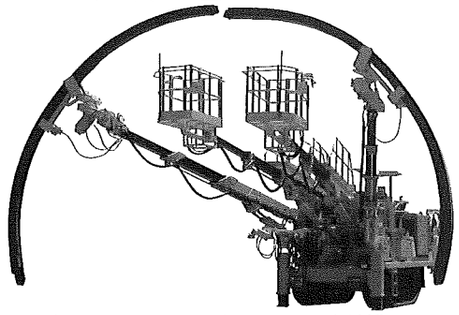
三菱マテリアル
●東京支店 ☎(03)5819-5263　●大阪支店 ☎(06)6355-1053　●九州営業所 ☎(092)573-7372　●海外グループ ☎(0584)27-5011

新社屋完成　常設展示



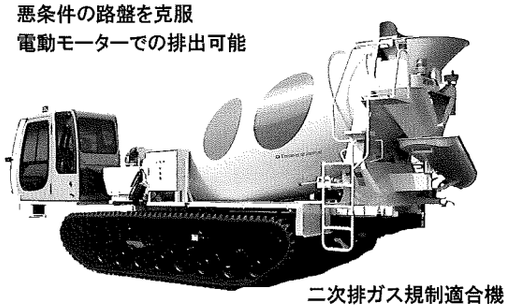
当社オリジナル機ラインナップ

SCORPION　スコーピオン
ゴムクローラー式一体型エレクター



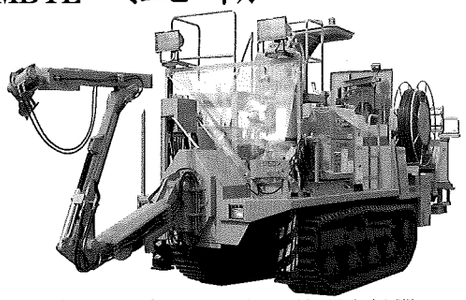
エレクター2基　バスケット2基　ロボット　吹付機
コンプレッサー　急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

ゴム・クロミキサー車
車両年次検査不要
悪条件の路盤を克服
電動モーターでの排出可能



二次排ガス規制適合機

MBTL　ミニビートル



小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機

MR-Ⅱ　ミニロボット
小断面用吹付ロボット



避難抗、連絡坑の吹付けに最適

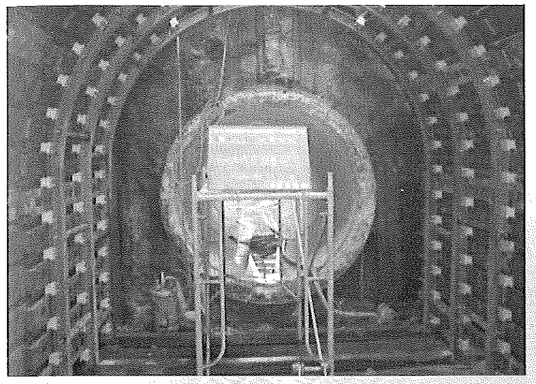
ホームページにアクセス下さい　機械図、動画あり
URL http://www.tonneru-rental.co.jp/

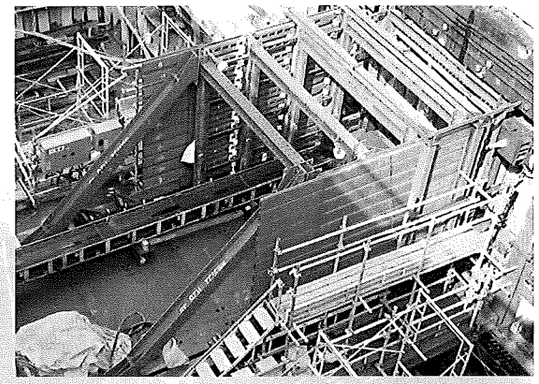
株式会社　トンネルのレンタル

〒389-0506　長野県東御市祢津字元会下1080-9
TEL 0268(62)1426　FAX 0268(62)1999
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績(工法指導致します)

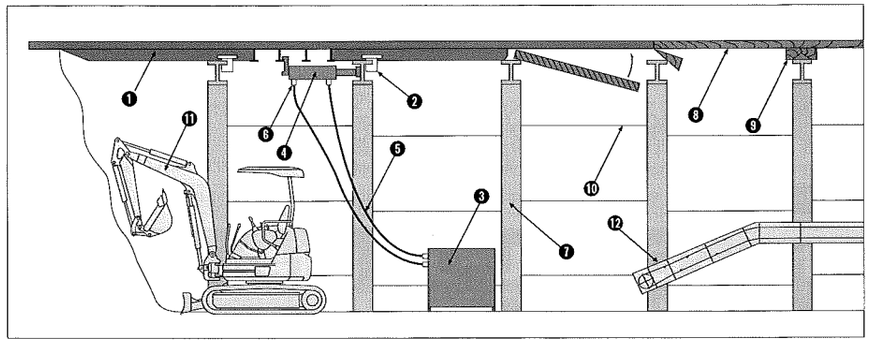
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



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木製キャンバー
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

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

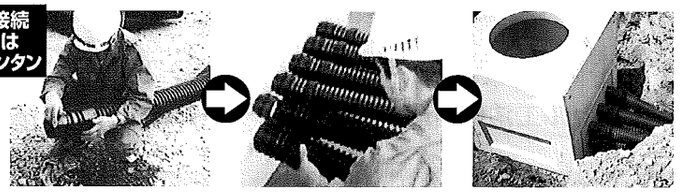


ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

ワンタッチ継手付ハンドホール



※特許・
意匠出願中



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。

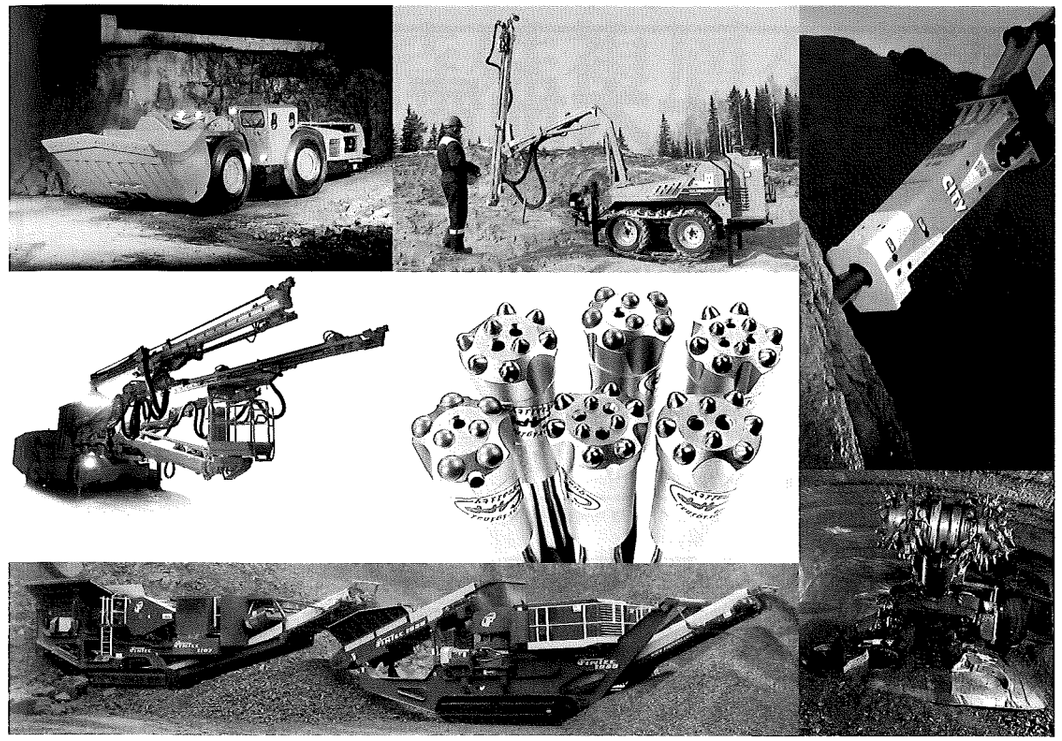
●本商品には、専用FEP管として、カナフレックスの「カナレックス」をご使用下さい。

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

SANDVIK



Productivity
in Action

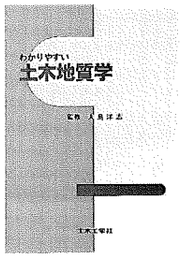
サンドビック　マイニング　アンド　コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。
私たちの製品は、鉱山機械、建築機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。
それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。
長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。
私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客様の生産性、収益性を改善する斬新なソリューションを絶えず提案し続けます。

サンドビック マイニング アンド コンストラクション ジャパン株式会社
〒222-0033　神奈川県横浜市港北区新横浜2-15-12　共立新横浜ビル6階TEL045-478-0662/FAX045-478-0661
URL　http://www.miningandconstruction.sandvik.com/jp/

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

中濃産業株式会社
代表取締役　土田義弐

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



JFE

鉄筋コンクリートセグメント

都市部においてライフラインの地下化のためシールド工法による地下開発の要望が高まっています。当社のコンクリートセグメントは販売開始以来幅広い用途への納入実績があり、高い信頼を頂いております。

- 諸条件に対応可能です
- 経済性に優れています
- 高精度・高品質を有しています

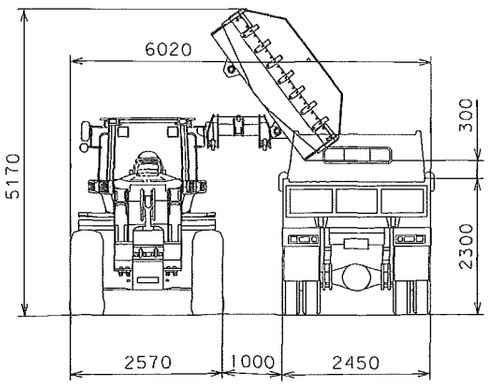
JFE 建材 株式会社 セグメント商品販売チーム
〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町1-10-15（JL日本橋ビル）
URL http://www.jfe-kenzai.co.jp/

〈東京〉TEL：03-5644-1266
FAX：03-5644-1235
〈大阪〉TEL：06-6444-7626
FAX：06-6444-7633

2.3m³の後継機種!!

1.9m³ CAT938G





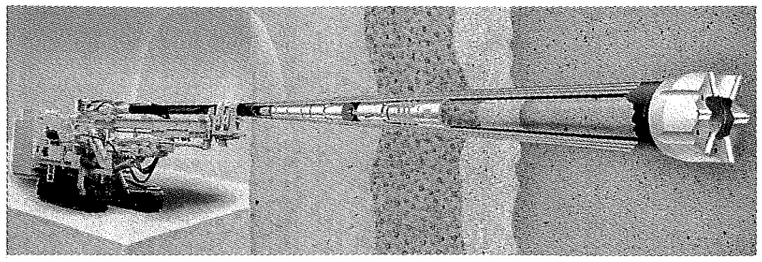
klea

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

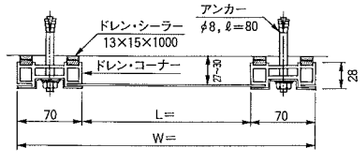
本社 〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F
TEL (03)6907-7888(大代表) FAX (03)6907-7527

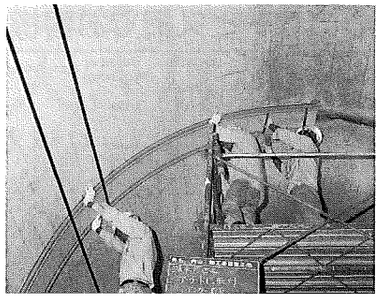
お問い合わせ先 ： 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512 FAX. (03)6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp

トンネル・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

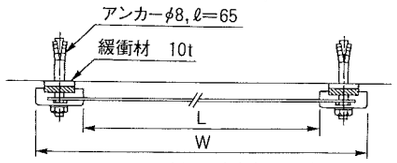
■特 徴
・漏水幅に応導水幅の選択が可能
・導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
・寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

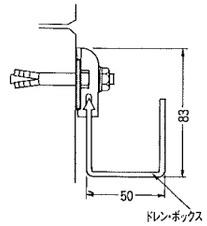
アーチ・パネル



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 : info@n-doren.co.jp

21世紀の地球環境を見つめる土木専門図書

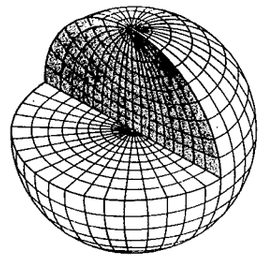
ブロック理論と岩盤工学への応用
R.E.グッドマン, G.H.シー著／吉中龍之進・大西有三訳
A5判 360頁 税込5,097円 送料340円

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

FURUKAWA
ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

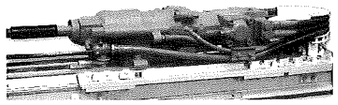
様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と
全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

JTH2200R/3200R

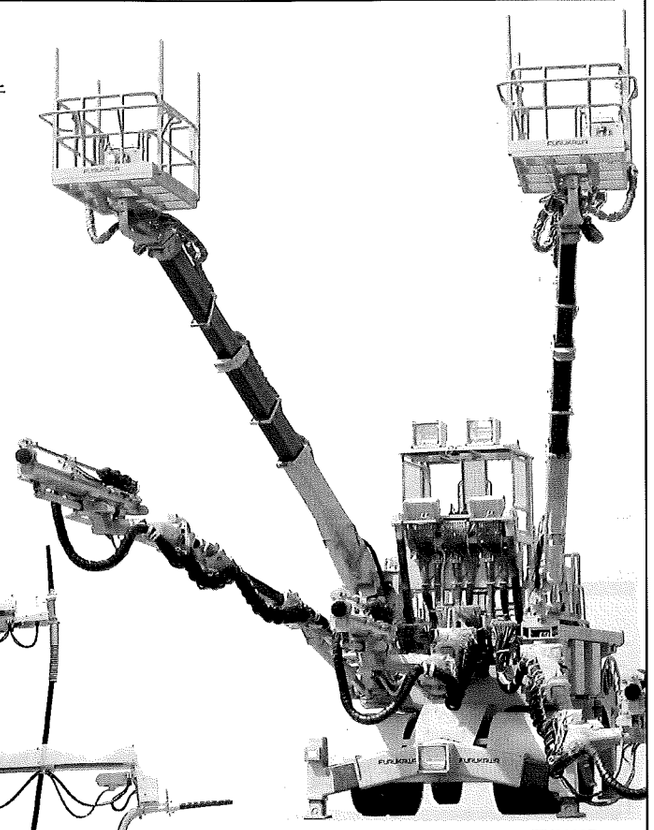
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ
工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

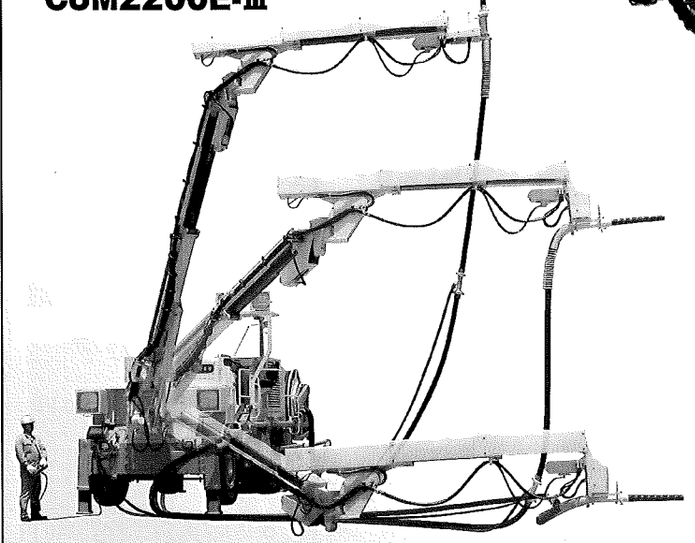
	JTH2200R 2ブーム、2ケージ	JTH3200R 3ブーム、2ケージ
質　量	35.5トン	43トン
全　長	14,270mm	14,760mm
全　幅	2,690mm	3,140mm
全　高	5,940mm	6,010mm
水平さく孔範囲		
幅	12.77m	13.22m
高　さ	8.49m	8.84m



JTH3200R

コンクリート吹付け機（コンプレッサ搭載型）

CJM2200E-Ⅲ



写真は吹付け姿勢の合成写真です。

◆CJM2200E−Ⅲ 主な仕様

質　量	22トン
全　長	15,600mm
全　幅	3,000mm
全　高	4,000mm
吹付け範囲	
高　さ　×　幅	10m×13.3m

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

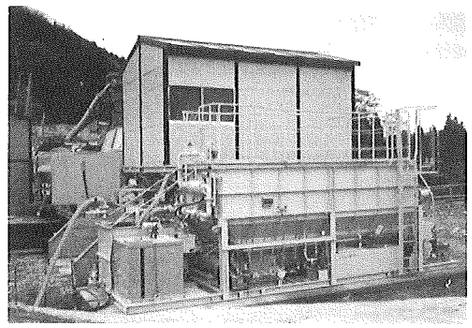
古河機械金属グループ
FRD 古河ロックドリル株式会社　http://rvs.furukawakk.co.jp/ms/

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

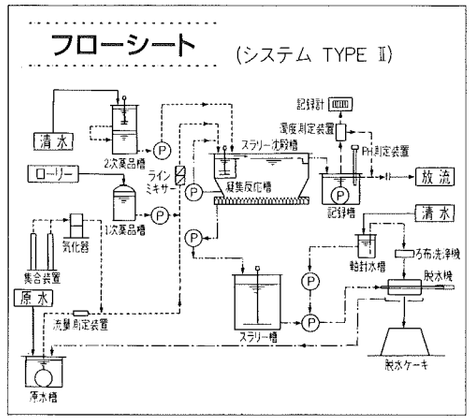
TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力

Waste Water Treatment System



フローシート　（システム TYPE Ⅱ）



特　長

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

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合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。複式汎板型の脱水機を採用していることから汎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
自動汎布洗浄装置

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

詳細資料請求、お問い合わせは

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

トンネルと地下　12月号目次　Vol.38, No.12, 2007 Dec.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

ForWardの技術・DeFenceの技術
江崎　哲郎……5

■研　　究

小口径長距離トンネル工事用の換気ダクトの開発
―漏風量と圧力損失を低減したビニル風管―
廣山　　浩・川上　　純・白井　俊輔・松本三千緒……37

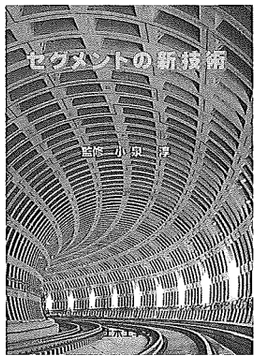
■報　　告

新潟県中越沖地震における鉄道トンネル被害
―信越本線　米山～柏崎間―
齋藤　　貴・向山　路一・田口　芳範……47

■施　　工

短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験
―北陸新幹線　第２魚津トンネル―
久湊　　豊・登坂　敏雄・石井　　卓・石田　　積……7

世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000mを掘削（施工編）
―東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑―
森山　　守・寺田光太郎・小林　伸二……15



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

Ｂ５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．

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

開業目前の地下鉄グリーンライン
―横浜市営地下鉄　中山～日吉間―
伊佐見孝夫・上杉　　知・米澤　　威……27

■連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A（６）
JTA都市トンネル小委員会……57

■現場だより

「森と水のシンフォニー」岩泉町より
齋藤　　稔……14

「花々とびわの里」南房総より
深澤　　忠……25

■資　　料

土木情報
編　集　部……26

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……68

トンネル千夜一夜（36）
小野田　滋……44

トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……69

トンネルジャーナル
編　集　部……46

「トンネルと地下」平成19年・年間総目次
編　集　部……73

■会　　報

会　報
日本トンネル技術協会……77

【表紙説明】

短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験
―北陸新幹線　第２魚津トンネル―



北陸新幹線第２魚津トンネルの下半側壁部および上半部において，新たに開発した短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験を行った．その結果，目標とした材齢３時間で圧縮強度15N/㎟以上，変形係数15kN/㎟以上を達成できることを確認した．若材齢時の早強性と延性の発揮により，山岳トンネルの支保部材に適した材料であることがわかった．今後，強大な地圧が予想されるトンネルだけではなく，小土かぶりで，地表への影響を極力抑制するトンネルにおいても，非常に有効であると考えられる．

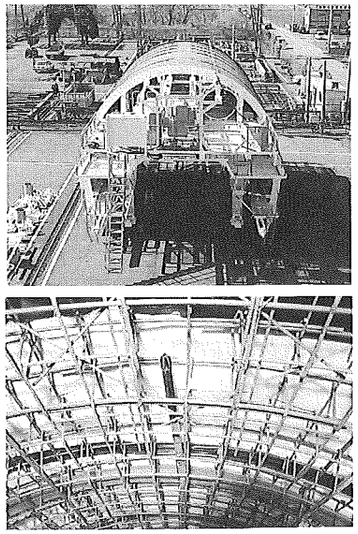
〔写真提供：鉄道・運輸機構〕（本文７頁参照）

高品質なトンネル覆工に挑む

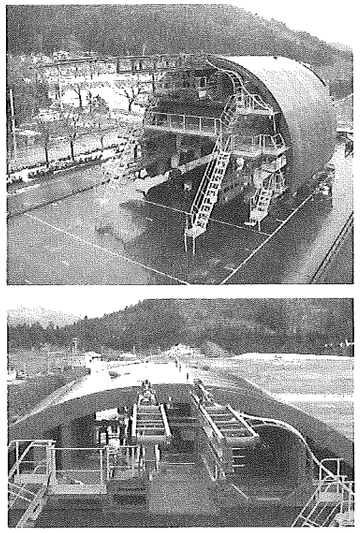
高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

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

ホースバイブ巻取り式



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〕

池 田 豊 人
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

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土木事業本部技術部長

城 間 博 通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

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
株式会社竹中土木常務取締役技術・生産本部長

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 原 利 之
飛島建設株式会社土木事業本部技術統括部
トンネル技術グループ部長

山 道 哲 二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

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

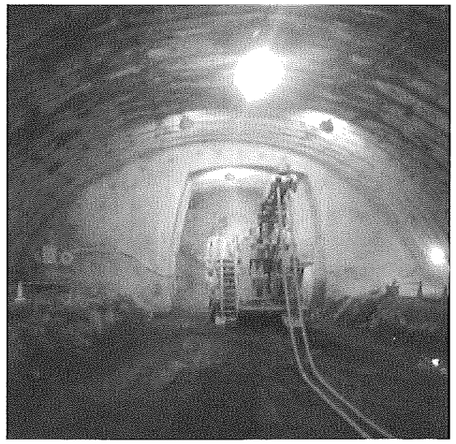
丸 安 隆 和
東京理科大学教授

山 口 啓 二
株式会社熊谷組代表取締役副社長

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
東京都下水道局技術開発担当部長

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〕

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部部長

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐山順二
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東京工事事務所
立体交差課長

城間博通
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

田村聡志
東京都水道局建設部工務課長

津金昭一
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部工務部工務第一課総括課長補佐

西村　聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

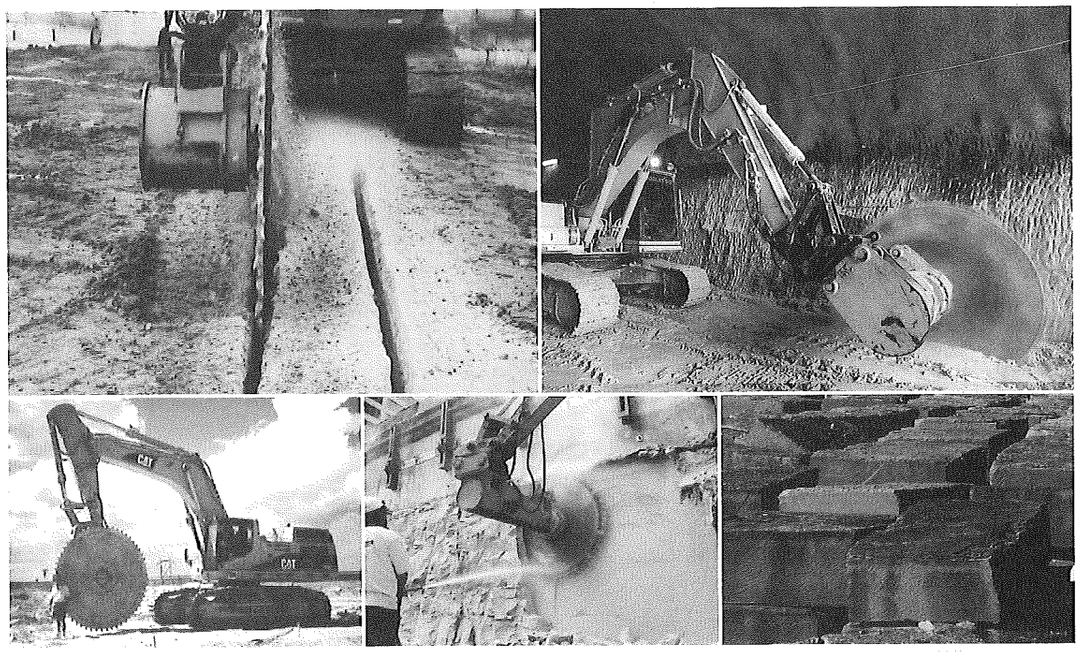
野邑敏行
東京都交通局建設工務部計画改良課長

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

ROCK TOOLS, Inc.

Rock Saw

Denver, U.S.A.



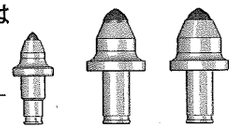
①ロックソーは巾75㎜，深さ0.35～1.52mの硬岩細溝切削用カッターです．
②油圧ショベルに取り付け，その油圧源で駆動します．カッター出力55hp，500hpの２種類があります．水平，垂直方向，油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます．

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. 12　掲載概要

掲載頁 7

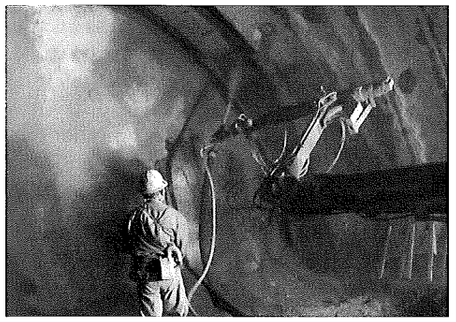
短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験
—北陸新幹線　第２魚津トンネル—

鉄道・運輸機構　久湊　豊

吹付け後の短時間で高剛性を発揮する短時間高剛性吹付けコンクリートを新たに開発した．目標とした性能は，材齢３時間で変形係数15kN/㎟(圧縮強度15N/㎟)以上である．北陸新幹線第２魚津トンネルの下半側壁部および上半部において施工試験した結果，目標性能を達成できることを確認できた．若材齢時の早強性と延性の発揮により，山岳トンネルの支保部材に適した材料であることがわかった．今後，強大な地圧が予想されるトンネルへの適用だけではなく，土かぶりの小さい条件下などで，地表への影響を極力抑制する必要のあるトンネルにおいても，短時間高剛性吹付けコンクリートは非常に有効であると考えられる．

Execution Test with Shotcrete that Rapidly Develops High Rigidity—Daini Uozu tunnel, Hokuriku Shinkansen—

By Yutaka Hisaminato, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency



写真は上半部における吹付け施工試験状況

New shotcrete was improved that could develop rapidly the high rigidity after shotcreting. The target performance was that within three hours of age, it should have a compressive module of deformation of 15 kN/mm² (strength of 15 N/mm²). As a result of experimentation at the side of bench and upper section in Daini Uozu tunnel, we have confirmed that the targets were achieved. By confirming the rapid development of strength and ductility in young age, we understood that it is appropriate for the support material. In future, this new shotcrete is expected to be very effective for tunnels not only where huge earth pressure is expected, but also the settlement on the surface needs to be kept to a minimum.

掲載頁 15

世界最大級(φ12.84m)のTBMで地下1,000mを掘削(施工編)
—東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑—

中日本高速道路(株)　森山　守

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の高速道路トンネルである．同トンネルは，本坑掘削に世界最大級(φ12.84m)の大断面TBMを適用した．

本工事は，本坑掘削に先立ち施工した先進坑TBMの施工データから，熱水変質作用および断層作用による岩盤強度の低下，粘土層の挟在による変位の増大・支保の変状・破砕層からの大量湧水などに遭遇した不良地山区間を避け，比較的切羽自立性が良化した白川側坑口から2,945m地点の濃飛流紋岩部より2004年１月掘削を開始し，2007年１月に無事貫通した．

本坑TBMに焦点を絞って設計，施工結果と本TBM施工で採用した新技術などの総まとめを前号と本号の２回に分けて報告する．本稿では，施工結果を報告する．

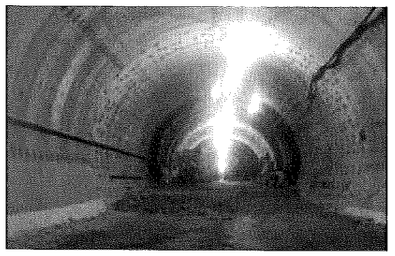
Excavation under 1,000 m Overburden using World's Largest TBM(φ12.84 m)—Hida Tunnel, Tokai Hokuriku Expressway—

By Mamoru Moriyama, Central Nexco Co., ltd.

Hida tunnel is an expressway tunnel of total length 10.7 km lying between Hida Kiyomi IC and Shirakawa-go IC, the last un-opened portion of the Tokai Hokuriku Expressway. We used a TBM, the largest in the world (φ12.84 m) for this excavation.

This work reflected the excavation results of pilot TBM that had indicated the section of unstable ground including hydrothermal alteration zone, clay filling zone or fractured zone which caused large deformation, yielding support or heavy inflows. Hence ,the main TBM started at the 2,945 m distance from Shirakawa entrance where the groud was consisted of Nori rhyolites that could shape relatively stable cutting face, and penetrated in January 2007.

We will report the design, construction result, and the new technology used in the construction for two monthes, while focusing on main TBM. This explains about the construction result.



写真はシングルシェルRCライナー

掲載頁 27

開業目前の地下鉄グリーンライン
—横浜市営地下鉄　中山～日吉間—

横浜市　伊佐見孝夫

横浜市交通局では，現在，市営地下鉄ブルーライン(40.4km)を営業している一方で，新しい路線グリーンライン(13.1km)を平成20年３月の開業目指して建設工事を進めている．

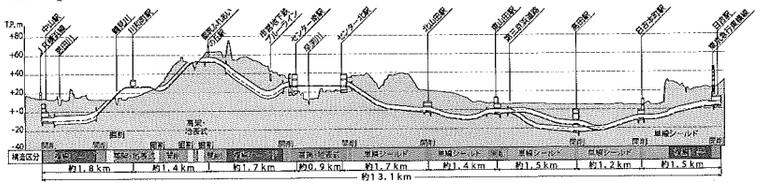
本稿では，これまでにおおむね完了している土木工事に関して，開削トンネル工事とシールドトンネル工事の施工事例として，それぞれ代表的な工区を取り上げ，主な工種についての詳細な報告をする．また，工事に伴う建設発生土の有効利用や車両基地と遊水地の立体整備，シールドのUターン施工といった工事の創意工夫，および工事と並行して進めている広報活動(見学会やイベント開催など)についても述べる．

Subway Green Line before Starting Operation—Yokohama municipal subway between Nakayama and Hiyoshi—

By Takao Isami, Yokohama City

In addition to the Blue Line (40.4 km) of Yokohama municipal subway, a new Green Line (13.1 km) is currently under construction aiming to start operation in March 2008.

This article gives a detailed report on the different work items of the almost-complete civil work, with typical examples of cut and cover tunnel and shield tunnel works. We also explain the ingenious ideas such as development of two storied facility of depot and retarding basin, minimizing disposal of muck, U-turn operation of shield, etc., and also the various promotional activities such as events that are being done in parallel.



図はグリーンライン路線縦断面図および構造形式

掲載頁 37

小口径長距離トンネル工事用の換気ダクトの開発
—漏風量と圧力損失を低減したビニル風管—

鹿島建設(株)　廣山　浩

筆者らは，このたび小口径・長距離トンネルの換気が確実に行える超低漏風ビニル風管を共同で開発した．

従来のビニル風管は，取り扱いが容易な反面，継手部からの漏風が多く，トンネルの長距離化に伴って切羽へ所要換気量を供給できない場合，能力の大きな換気ファンの選定や中継ファンの設置により対応してきた．しかし最近では，施工コストの低減などをはかるために，ますます小口径・長距離化が進められており，従来の方法では，非現実的な能力のファンや，多数の中継ファンが必要になるなどにより，漏風の少ないビニル風管が求められるようになってきた．

今回，ビニル風管の継手部に防水ファスナと特殊シールにより，漏風量を低減する風管を考案し，室内・外実験ならびに実工事への試験適用の結果，従来型に比べて圧力損失係数，漏風率ともに良好であることがわかったので報告するものである．

Development of the Ventilation Duct for Small-diameter Long Distance Tunnels—Plastic air duct that has reduced air leakage and pressure loss—

By Hiroshi Hiroyama, Kajima Corp.

The authors have jointly inproved plastic air duct that reduces air leakage to the minimum, for ventilation in small-diameter long-distance tunnels.

Even though the prevalent plastic air duct offer easy handling, there is considerable leakage of air from the joint, and if enough air volume cannot be supplied to the face in a long-distance tunnel, we had to select a high-power fan or install intermediate fans. However, these days, in order to reduce costs, small-diameter and long-distance tunnels are being promoted, and with the prevalent methods we would have had to adopt impractical high-power fans and large number of intermediate fans. Hence, the need for a plastic air duct with less air leakage was born.

We have added a water-tight fastener and a special seal behind the plastic air duct joint and considering the idea of reducing air leakage, we have reported on the results of indoor and outdoor experiments, application test to actual work, comparison of coefficient of pressure drop and rate of air leakage with the usual one and concluded that we find the new plastic air duct favorable.



写真は実工事適用実験状況

掲載頁 47

新潟県中越沖地震における鉄道トンネル被害
—信越本線　米山～柏崎間—

東日本旅客鉄道(株)　齋藤　貴

2007年７月16日10時13分ごろに発生した新潟県中越沖地震により，柏崎刈羽原子力発電所をはじめ道路，鉄道構造物などにも大きな被害が生じた．

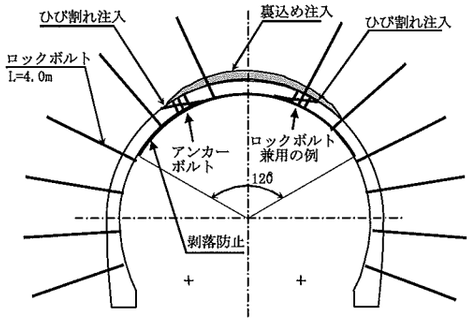
本稿では，地震発生直後より信越本線米山～柏崎間の８トンネルについて行った被害状況調査結果および損傷を受けたトンネルに関する復旧方針について報告するものである．

Damages to Railroad Tunnels in the Niigataken Chuetsu-oki Earthquake—Shinetsu line Yoneyama to Kashiwazaki—

By Takashi Saito, East Japan Railway Company

The Niigataken Chuetsu-oki earthquake, that occurred at around 10:13 on 16th July, 2007, caused huge damage to roads, railway structures, and also the Kashiwazaki Kariya nuclear power plant.

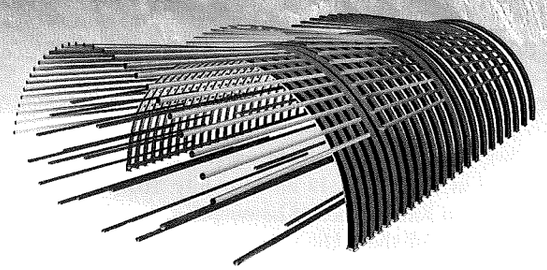
This article reports on the result of survey of the damage of the eight tunnels between Yoneyama and Kashiwazaki on the Shinetsu line, and the plans for restoration in case of tunnels that have undergone damage.



・ロックボルトは，ひび割れから1m程度の位置に打設する
・ロックボルトのトンネル延長方向のピッチは，当該箇所の支保工ピッチ以内とする
・鋼板による補強は，ひび割れまたは濁音範囲から1m程度の範囲で行う
・裏込め注入は，ひび割れの位置にかかわらず天端部に行う

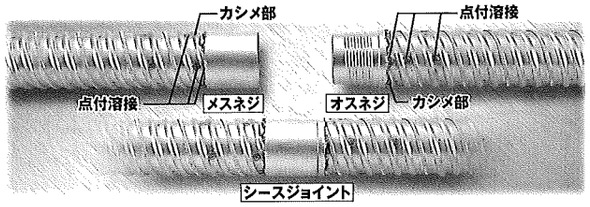
図は覆工コンクリートせん断ひび割れ箇所補修方法

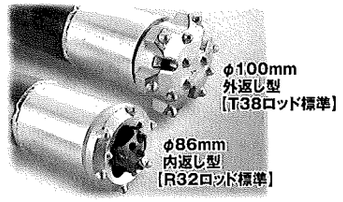
ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

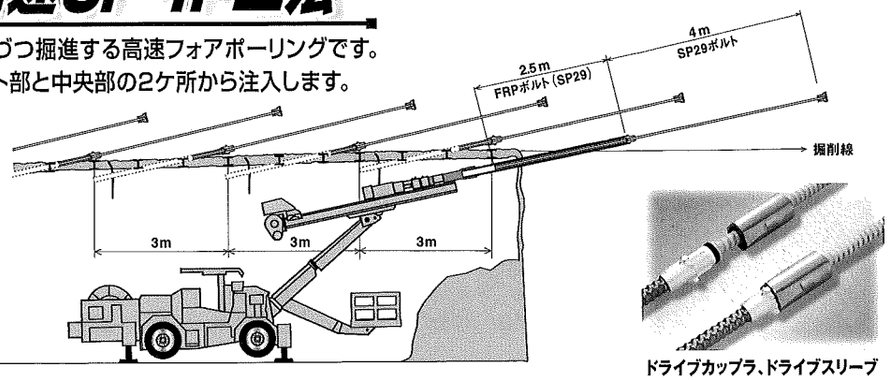
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

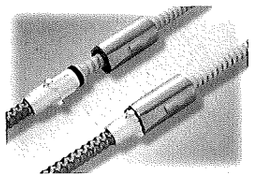




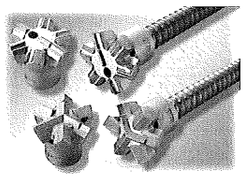
高速SP-IF工法

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



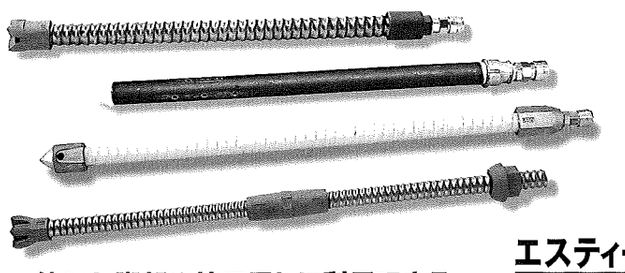


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



φ65mm ロストビット(SP29)

自穿孔ボルト&注入管



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

STE
エスティーエンジニアリング株式会社
ST ENGINEERING CORPORATION
〒581-0833 大阪府八尾市旭ヶ丘1丁目108番地2
TEL.0729-90-0250 FAX.0729-90-0251
http://www.st-eng.co.jp

巻頭言
（題字　小森　博会長）



ForWardの技術・DeFenceの技術

九州大学大学院工学研究院教授
江崎哲郎

現在の建設業界が，総じて入札談合，無駄な公共事業などの視点で捉えられているのは，誠に遺憾である．業界の大多数の方々は，社会資本の整備・運用による利便と安全・安心を提供することを責務として，失敗・撤退の許されない制約条件の下で，日夜勤しんでおられる．国民の生活や経済活動を間断なく支えているという役割が表に出てこない現状は厳しいものがある．また，発注される工事の数量も減少して，事業全体の縮小，見直しが求められている．今こそ，戦略的な打開策が必須である．

このような中で維持管理，環境・防災などの新しい分野への展開が注目されている．古いトンネルなど各種構造物の健全度の評価，補修・修復，土壌汚染の調査・浄化，環境保全や防災対策などが鋭意進められ，技術的にも実績的にも一定の成果が得られているようである．これらの新しい分野は，いずれも従来からの建設技術と密接に関連したものであるが，これまで整備されてきた社会資本自体が存在することに伴う，または，その社会資本の周辺に生じる影の部分としての各種問題の解決をめざすものと位置づけられよう．この新しい技術は，まわりの自然環境，社会環境との望ましいかかわり方を模索し，持続可能を前提にして折り合いをつけるというきわめて大切な役割を持つ．そして，この役割を期待されているのが建設技術者であるが，取り組みの現状をみると，要素的技術そのものは高いレベルにあるものの，長期的視点からの持続性の担保，開発と環境保全の相剋から調和へ，安全はともかく安心とは何か，年々高まっている社会の要求との整合など，多様かつ困難な課題を受け入れるための根本となる思想や理念がどうもみえてこない．これらの基本的な考えが明確になれば優れた要素技術も生きることになると思われる．

そこで，これまでの建設技術を改めて考えてみよう．土木技術者の誇るべき，また実績のある建設技術は，効率的に，かつ安全に目的の構造物を完成させる技術であり，対象は，あらかじめ決められた場所・位置にある．トンネルなど地下構造物の場合，対象となる地盤の中は直接に見えないが，そのサイトに集中して工事が進められる．いわばフォワードの技術であり，最終ゴールをめがけて突進し完成に至る．他方，維持管理，環境・防災技術はどうだろうか？この技術は，長い期間にわたって整備蓄積されてきた，膨大かつ広域に分布する

社会資本にもたらされる自然的社会的影響を解明したり，中に潜む欠陥や兆候を見つけて改善し，長期にわたって安全な使用を可能にして，重大な事故，過失を未然に防止あるいは最小化する技術と考えられる．守備範囲はきわめて広く，敵の攻撃は，どこからやってくるか，いつやってくるかわからない．素早く正確に察知して適切な判断をして平常を保持するというディフェンスの技術ではないだろうか．

技術とは，科学を実地に応用して自然の事物を改変・加工し，人間生活に利用する技である．地球上のある領域を対象として，知識を集積整理して法則性を明らかにするという自然科学から出発して，ある目的を達成するために最適化されて，問題解決機能を付与されたのが技術である．

この視点から見れば建設技術が，そのまま後者の技術として通用するかは，慎重に検討しておかなければならない．スポーツ競技におけるFWのエースプレイヤーが，DFとしても通用するかの問題と同じではないだろうか．建設技術の優れた理論と実績，蓄積された経験の大部分は，新しい技術にも不可欠で，例えば，具体的な補修・修復に生かすことはできるが，ここでは今一度科学の基礎に立ち返ったうえで，自然や社会と積極的に融合する新しい技術のあるべき姿を確立していくべきである．もちろん，他の科学分野や最新の情報技術を加えていくことも必要だろう．

トンネルをはじめ地下構造物は，すでに長く使用されているものが多数あり，機能の低下は避けられない．通常の寿命を過ぎても，なくてはならないものであるので，広い意味での監視・評価体制の確立がまず必要である．そこで，危険度が解明，評価され，その危険度が決められた許容レベルに管理されている状態を『安全』と定義すれば，次に，どのレベルの利便性と安全性を要求するかを国民に広く問い，その結論としての合意にもとづく許容レベルが達成されるように維持管理が進められるべきである．おそらく『安心』は，これらの技術に関する国民の理解と合意が形成される過程で実現されるであろう．そのためには，これらの議論を進める前提として，わかりやすく，透明性のある，そして信頼できる技術情報を明示することが技術者の重要な役割である．

幸いにして，地下に関する技術者・研究者は世界的に見ても卓越した人材が豊富である．不可逆性，閉塞性など地表と比べて地下は維持管理，環境・防災に関しても格段厳しい問題をかかえている．厳しい実践の場の中で高度な優れた技術が育まれる．時代を越えて人々に利便と安全・安心を提供する新しい技術を先導する頼もしいDFのプレイヤーとしても，見えない地下を凝視しながら問題解決に立ち向かう未来の技術者・研究者の姿を思い浮かべている．

施工

短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験

—北陸新幹線　第2魚津トンネル—

鉄道・運輸機構北陸新幹線第二建設局工事第五課課長補佐(（前)朝日鉄道建設所長)　久湊　豊
鉄道・運輸機構設計技術部設計技術第二課総括課長補佐　登坂敏雄
清水建設(株)技術研究所テクノセンター所長　石井　卓
電気化学工業(株)無機材料研究センターセンター長　石田　積

1 はじめに

吹付けコンクリートをトンネルの支保工として利用する場合には，その強度とともに剛性(弾性係数)が重要な性能となる．吹付けコンクリートはトンネル掘削後に地山が内空に変形したときに支保反力を地山に与えるものであるから，支保の剛性が支保反力に直結する性能となるからである．

吹付けコンクリートの剛性は，吹付けた直後ではそれほど大きくない．一方，トンネルの内空変位は掘進が進むにつれてかなり短時間で生じる．両者の関係，すなわちトンネルの掘進速度と吹付けコンクリートの硬化速度(剛性増進速度)の関係で，吹付けコンクリートが地山に与える支保反力は決まってくる．例えば，熊坂・藤野ら[1),2)]は，切羽進行に伴う地山の変形が，掘進速度と吹付けコンクリートの剛性増進速度によって変わることを三次元モデルによる逐次解析により具体的に示している．

軟質岩においてトンネルを深部に建設する場合には，押し出し性地圧が障害となってトンネルの掘進速度が著しく低下するが，そのような場合には，早期に強度，剛性を発揮する吹付けコンクリートが支保効果において優れていると考えられる．

吹付け直後における若材齢強度の向上を目標に開発された吹付けコンクリートとしては初期高強度吹付けコンクリート[3)]があるが，地圧の大きな条件において早期に地山の安定を図るためには，若材齢時により高い剛性を発揮する吹付けコンクリートが必要であると考えた．

そこで，初期高強度吹付けコンクリートの若材齢における剛性に着目して，より早く，より大きな剛性を発揮する短時間高剛性吹付けコンクリートの開発を試みた．このような性能を期待できる材料と配合の工夫については，栗田ら[4)]にてすでに報告されているが，現在工事中の新幹線トンネルにおいて，その性能と施工性を確認したので，以下に報告する．

2 短時間高剛性吹付けコンクリートの目標値

開発した吹付けコンクリートの名称は「短時間高剛性吹付けコンクリート」である．この技術は，当初，地下300m以深に立地することが法律で決められている高レベル放射性廃棄物処分施設[5)]のトンネルに活用することを第一の目的として開発された[6)]．この処分施設は坑道総延長(断面寸法は5m程度)が200kmにも及ぶ施設であり，軟質岩の300m以深に坑道を掘削する場合には，地圧対策に伴う掘進速度の低下を解決する技術が必要

である．強大な地圧が作用するトンネルを比較的速い掘進速度で掘削したい場合に効果的な支保部材として，短時間高剛性吹付けコンクリートが役立つと考えた．

短時間高剛性吹付けコンクリートの性能については，材齢３時間で剛性15～20kN/㎟以上を目標値とした．なお，コンクリートの性能としては強度の方がより一般的であるため，目安となる換算目標値として一軸圧縮強度15～20N/㎟を設定した．この目標値を設定するに際して，次のような点を考慮した．

① このような目標性能が効果的なトンネルは断面寸法が５m程度の小断面トンネルであると考えられる．そのため，小断面の坑道を，１日に５～10m程度の掘進速度で掘削する場合を想定した．

② 切羽の進行に伴って坑道の内空変位が増加し，それに伴って支保反力が増加するメカニズムを図-1に概念的に示す．この図においては，強大な地圧が作用する深部のトンネルを通常の吹付けコンクリート(ここでは，「普通吹付けコンクリート」と呼ぶこととする)で支保する場合と短時間高剛性吹付けコンクリートで支保する場合を比較して示した．

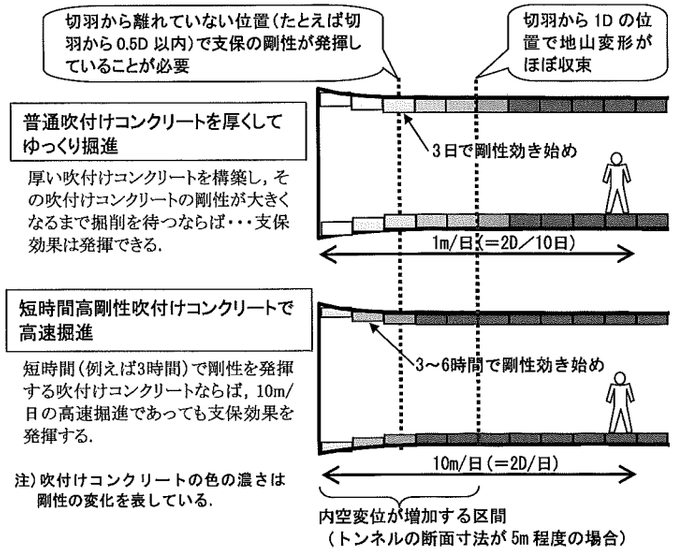


図-1　強大な地圧条件における普通吹付けと短時間高剛性吹付けの効果比較

③ 普通吹付けコンクリートの場合に，例えば材齢２～３日で一応の剛性発揮を期待できると仮定すると，最終的な剛性の不足を補うために吹付けコンクリートを厚くし，剛性増進速度に見合った掘進速度として，１日あたり１m程度に低速掘進することで支保剛性を発揮できる．掘進速度が速すぎた場合には，地山のゆるみ域が過大となり，支保の健全性が損なわれることになる．強大地圧区間で採用されるようになった最近の多重支保工法[7]は，地山の変形に追随する支保工剛性の段階的増強と早期閉合の効果が期待できる工法であるが，それとともに，掘進速度を遅くすることによる吹付けコンクリートの剛性増進の効果をも活用している工法である，と考えることもできる．

④ 同様の地圧条件において短時間高剛性吹付けコンクリートを採用した場合には，例えば材齢３～６時間で相応の剛性を期待できるものと仮定すると，普通の吹付け厚さで１日あたり５～10m程度の高速掘進を行っても支保剛性を発揮できることになる．

このような原理的な概念にもとづいて，短時間高剛性吹付けコンクリートの目標値を材齢３時間で剛性15～20kN/㎟と設定した．

ただし，以上の記述はトンネルの断面寸法が５m程度の場合について設定したものであり，断面寸法が10m級のトンネルでは上述の施工条件とは異なり，掘進速度が同等であるならば，吹付けコンクリートの剛性増進速度が遅い場合であっても，支保効果を期待できることになる．

3　工事概要

実際の施工条件において短時間高剛性吹付けコンクリートの性能と施工性を確認する目的で，現在工事中の北陸新幹線第２魚津トンネルにおいて試験施工を実施した．本トンネルは，鉄道・運輸機構が建設中である北陸新幹線の新黒部～富山間に位置する延長3,097mの新幹線複線断面トンネルである．掘削対象地質は，新第三紀の室田累層および第四紀呉羽山礫層などが主体である．トンネル位置図を図-2に，地質縦断図を図-3に，標準支保パターンを図-4に示す．

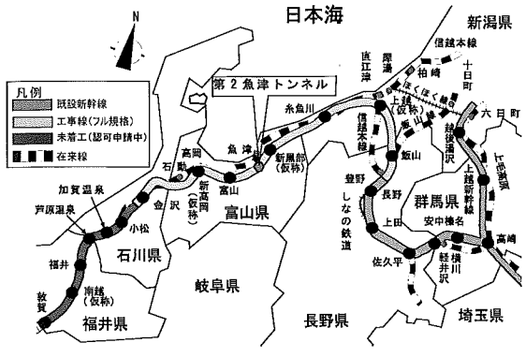


図-2　第２魚津トンネル位置図

地質年代		断面図の記号	地層名	土質・岩相
第四紀	完新世	Bn	盛土	礫、砂、粘土
		dt	崩積土、崖錐堆積物	礫、砂、粘土
		al	扇状堆積物、谷底堆積物	玉石混じり砂礫、礫、砂、粘土
	更新世	T1	下段累層	玉石混じり砂礫
		T2	上段累層	玉石混じり砂礫
		Tg	東福寺礫層	玉石混じり砂礫
		Kg	呉羽山礫層	砂
		Ks		礫、砂、粘土
第三紀	鮮新世	Ms	室田累層	砂岩
		Mc		泥岩、シルト岩
		Mtf		凝灰岩
		Malt		シルト岩、砂岩互層
		Mg		礫岩
		Mg-Ms		礫岩、砂岩互層

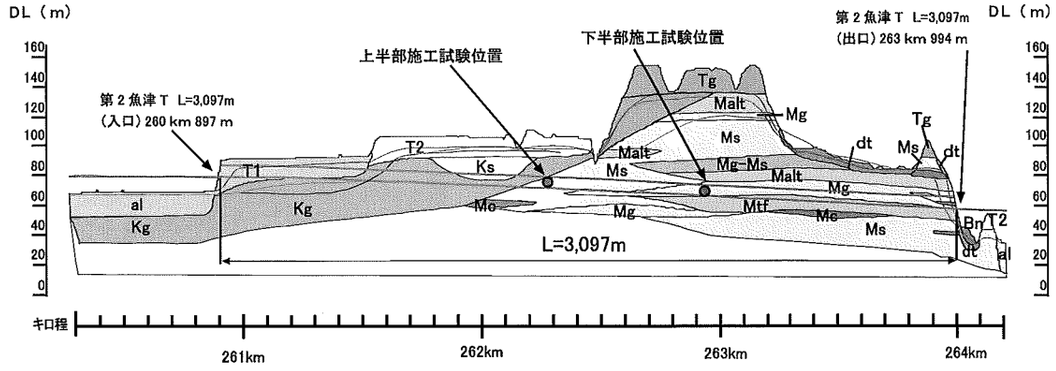


図-3　第２魚津トンネル地質縦断図および施工試験実施位置

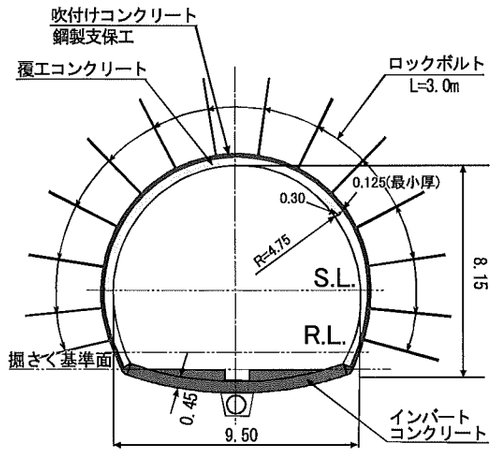


図-4　第２魚津トンネルの標準支保パターン

4　現場施工試験

4-1　施工試験実施位置と施工数量

施工試験は２回実施した．１回目は下半部において側壁吹付けコンクリートを，２回目は上半部においてアーチ吹付けコンクリートを対象に実施した．実施した位置(高崎起点の距離程)と実施数量を下記に示す．

【下半側壁部における吹付け施工試験】
実施時期：2005年７月７日
位　　置：262km844～846m
　　下半側壁部(片側) １m区間×２区間
累計吹付けコンクリート量：4.0m³

【上半部における吹付け施工試験】
実施時期：2006年８月29日
位　　置：262km302～303m
　　上半アーチ部１m区間
累計吹付けコンクリート量：6.2m³



写真-1　下半側壁部における吹付け施工試験状況

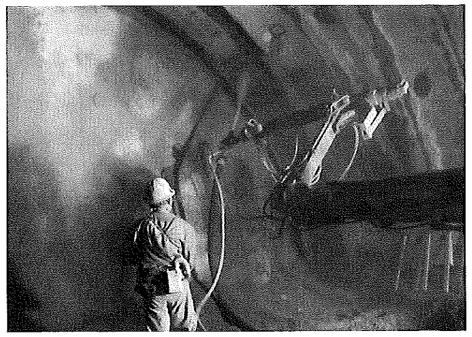


写真-2　上半部における吹付け施工試験状況

表-1　使用材料

種類(記号)	仕　様	製造元
セメント(*C*)	早強ポルトランドセメント 密度＝3.13g/cm³	太平洋セメント
細骨材(*S*)	富山県早月川産陸砂 密度＝2.62g/cm³，*FM*＝2.77	早月生コン
粗骨材(*G*)	富山県早月川水系産 砕石(13～5)，密度＝2.67g/cm³	北陸砂利鉱業
高強度用混和材(Σ)	「Σショット SH」 密度＝2.53g/cm³	電気化学工業
高性能減水剤(*SP*)	「FTN－30W」(AE 剤配合)	グレースケミカルズ
急結剤	「ナトミック Type10S」高強度吹付け用急結剤	電気化学工業

試験施工の状況を写真-1, 2に示す．

4-2　材料および配合

表-1に使用材料を，表-2に配合を示す．配合は，まず室内試験練りから概略を決め，次に模擬トンネルにおいて吹付け施工試験を実施した．この結果をもとに実際の混練プラントにて最終的に配合を決定した．

配合の特徴を下記に示す．

① 普通吹付けコンクリートの配合例では，鉄道・運輸機構(旧日本鉄道建設公団)の『NATM設計施工指針』[5]に示方配合例として，水セメント比55～60%，細骨材率60～65%，単位セメント量360kg，急結剤(*C*×5.5%)と記載されているが，短時間高剛性吹付けコンクリートの単位セメント量(粉体量)は，セメント550kgおよび短時間強度促進用混和材(石膏系，表-2においてΣの記号で示してある)100kgの合計650kgであり，非常に粉体量の多い配合となっている．

② 水粉体比は，普通吹付けコンクリートが55～60%に対して，短時間高剛性吹付けコンクリートでは28.5%であり，高強度配合にしているが，これだけでは短時間での強度と剛性の発揮は期待できない．

③ 短時間強度促進用混和材(Σ)は「粉体急結剤」(超急硬性セメント鉱物が主成分)との組み合わせで短時間の強度発現ができる材料である．成分的には普通のセメントにも入っている材料である石膏系成分が主成分である．この混和材100kgをあらかじめベースコンクリートに配合し，ノズル直前で「粉体急結剤」を添加することで短時間の瞬結性が発揮される．

④ 単位セメント量も水粉体比も，従来の配合とは大幅に異なり，このままの配合では流動性がないため，均質に混練することも容易ではなく，吹付け機械にコンクリートを投入できるような流動性にはならない．施工可能な程度の流動性をコンクリートに与えるために，高性能減水剤(SP)を配合した．

表-2　コンクリート配合

目標スランプ(cm)	目標エア量(%)	*W*/(*C*+Σ)(%)	*s*/*a*(%)	単位量(kg/m³)						急結剤(*C*×12%)
				W	*C*	Σ	*S*	*G*	*SP*(*C*×4%)	
20～25	6	28.5	60	185	550	100	943	641	22	66

※上記配合の計算に際し，空気量は0%とした．
※急結剤累計使用量から算出した急結剤使用量は360kg/4.2m³，添加率＝15.6%であった．

表-3　吹付け施工試験の使用機械

機械名	型　名	能　力	メーカー
急結剤添加機	ナトムクリート PAC-250V	タンク容量＝250ℓ 圧送能力＝1～8kg/min	電気化学工業
吹付け機	AL－285	最大吐出速度＝21m³/h	富士物産
吹付けロボット	FMS-3	エレクタ付き吹付け機	古河ドリルテック
コンプレッサ		75kW×2台　電気式	——

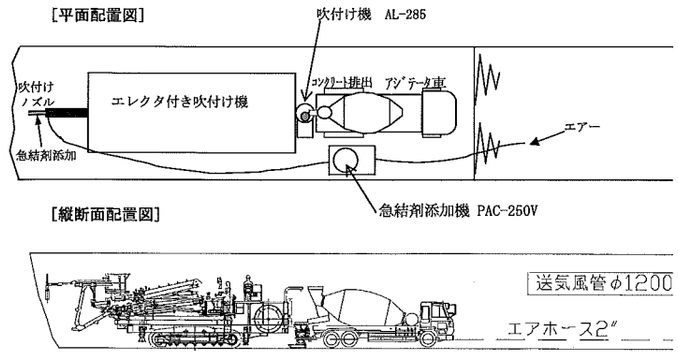


図-5　吹付け施工試験の機械配置図(上部半断面施工の場合)

4-3　施工システム

上半部における吹付け施工試験の機械とその配置図を表-3および図-5に示す．現在，第2魚津トンネルで使用している吹付け機械を一部改造して施工した．主な変更点は下記のとおりである．

① コンクリート1m³あたり大量の急結剤を供給する必要があるため，大型の急結剤添加機を別途用意した．

② 空気圧送方式吹付け機(アリバ社製AL-285)から吹付けノズルまでの配管の一部をホースから鋼管に変更して，粘性の大きいベースコンクリートの圧送性を改善した．また，ノズル閉塞を予防する目的で，上半施工時には，急結剤添加位置からノズル先端までの長さを約1.1mにした．

③ 急結剤添加機の能力に見合った吐出量速度として，吹付け機の吐出量を小さく設定(ダイヤル11m³/h)して吹付けた．

④ 現場の混練プラントでは使用材料に制約があるため，近傍の生コン工場からベースコンクリートをアジテータカーで搬入した．

表-4　吹付け後初期段階におけるプルアウト試験による引き抜き強度

施工試験位置	*n*	引き抜き強度(N/mm²)		
		10分	1時間	3時間
下半側壁吹付け施工試験	1	3.23	3.65	4.13
	2	3.36	3.35	>5.15
	3	3.88	4.13	>5.15
	平均	3.49 (14.0)	3.71 (14.8)	4.81 (19.2)
上半吹付け施工試験	1	3.62	4.69	4.56
	2	3.55	4.46	4.81
	3	3.93	3.80	5.32
	平均	3.70 (14.8)	4.32 (17.3)	4.90 (19.6)

※(　)内は引き抜き強度に係数4を乗じて換算した圧縮強度

4-4　初期強度(10分強度)

性能目標としては，材齢3時間における強度特性と弾性係数に着目しているが，参考値として10分，1時間，3時間の材齢でプルアウト試験を実施した．表-4にはプルアウト試験による引き抜き強度の結果を，また，(　)内には係数4倍を乗じて圧縮強度に換算した数値を示した．

同表に示すように，材齢10分で換算圧縮強度14N/mm²以上を呈しており，瞬結性に優れた吹付けコンクリートである．

4-5　材齢3時間～28日の強度および剛性

施工場所においてパネル型枠に吹付けして作成したブロック試験体からコア抜きした供試体(φ55×110mm)の圧縮強度試験結果を表-5に，弾性係数の結果を表-6に示す．側壁部における施工試験では平均圧縮強度が材齢3時間で19.3N/mm²，上半部における施工試験では14.7N/mm²であった．上半部の施工試験では，下半側壁部での場合に比べて圧縮強度が若干小さい値を示した．最初に実施した側壁部の施工試験においてノズルの閉塞傾向が認められたため，上半部の施工試験の際には，それを防止する目的で急結材の添加位置からノズル先端までの長さを極力短くした．このノズル長さを短くしたことにより，急結材の混合程度の均

質性が若干不足したことがその主たる原因であると考えられる．弾性係数は材齢３時間で18kN/㎟以上であった．

4-6　普通吹付けコンクリートとの比較

材齢と圧縮強度との関係を普通吹付けコンクリートと比較したグラフを図-6に示す．従来の普通吹付けコンクリートあるいは高強度吹付けコンクリートの基準強度[9]に比べて，短時間高剛性吹付けコンクリートは短時間で著しく高い圧縮強度を発現できる材料であることがわかる．

表-5　吹付けコンクリートのコア供試体の強度特性

種　類	n	コア供試体の圧縮強度(N/㎟)				
		3時間	1日	7日	28日	28日気乾
下半側壁吹付け施工試験	1	19.2	44.5	44.1	53.6	54.1
	2	17.3	45.7	38.7	50.5	56.0
	3	20.3	34.1	39.6	45.2	53.3
	4	22.6	30.3	34.3	−	54.1
	5	16.9	44.0	41.5	47.3	−
	平均	19.3	39.7	39.6	49.2	54.4
上半吹付け施工試験	1	14.7	38.3	39.7	41.3	45.9
	2	14.7	38.1	32.0×	46.1	61.8
	3	17.0	32.8	37.6	41.5	46.9
	4	12.4	47.5	46.4	53.0	43.4
	平均	14.7	39.2	41.3	45.5	49.5

注)×印の供試体はコア供試体が不均質であったためデータから除外した．

表-6　吹付けコンクリートのコア供試体の弾性係数

種　類	n	コア供試体の弾性係数(kN/㎟)				
		3時間	1日	7日	28日	28日気乾
下半側壁吹付け施工試験	1	20.1	24.1	21.3	27.5	26.0
	2	20.0	31.1	20.4	24.1	27.9
	3	16.4	20.5	24.7	23.4	26.3
	4	18.1	20.3	20.7	−	24.1
	5	16.6	23.7	23.7	23.7	−
	平均	18.2	23.9	22.2	24.7	26.1
上半吹付け施工試験	1	18.2	22.8	23.8	21.1	23.0
	2	19.8	21.3	20.9	24.2	26.4
	3	18.6	21.3	20.7	23.3	23.5
	4	18.0	24.8	26.3	26.0	31.2
	平均	18.7	22.6	22.9	23.7	26.0

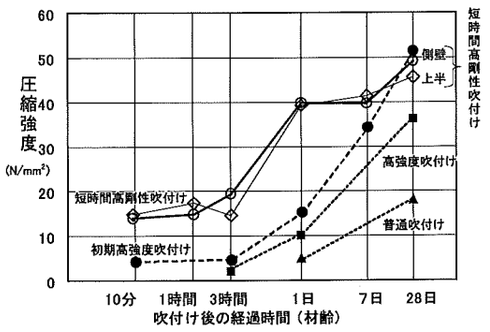


図-6　吹付けコンクリートの材齢と圧縮強度の比較

5　ひずみ制御載荷試験による応力～ひずみ特性

前述の標準的な圧縮強度試験とは別に，中谷らの方法[10]によるひずみ制御載荷試験(変形速度0.15㎜/min)を実施した．各材齢における代表的な応力～ひずみ曲線を図-7に示す．

この試験によって，ピーク強度に相当するひずみを超えた後にさらに変形を受けた供試体の応力～ひずみ特性が明らかとなり，内空変位が大きくなった場合における吹付けコンクリートの応力負担能力を調べることができる．同図から下記の特徴が読み取れる．

① 材齢１日以降の材料はピーク強度相当のひずみを超えると残留強度が急激に低下する脆性的な材料特性を示した．ただし，残留強度はひずみ0.8%においても10N/㎟以上であり，トンネルの内空変形が大きい場合であってもある程度の応力負担能力がある．

② 材齢３～６時間の材料では，ピーク強度に相当するひずみを超えた領域においても急激な応力低下が生じていない．非常に延性的な材料特性を示しており，地山変形への追随性に優れた特性を有している．

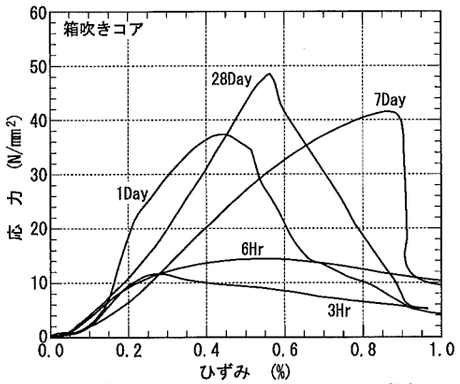


図-7　短時間高剛性吹付けコンクリートの応力～ひずみ特性

6　短時間高剛性吹付けコンクリートの施工性

6-1　ベースコンクリートの混練

短時間高剛性吹付けコンクリートは混練時に粘性の高い材料となり，従来のコンクリート混練装置の回転トルクが十分ではないため，混練装置の容量を大きくする必要がある．

6-2　吹付け機械の適用性

事前に実施した模擬トンネルにおける吹付け試験では，ポンプ併用空気圧送方式吹付け機械(シンテック社製MKW-25SMT)と空気圧送方式吹付け機械(アリバ社製AL-285)の両方で施工試験を実施した．搬送方式が異なることによる強度発現性などに，ほとんど違いは認められなかった．

6-3　はね返り率

上半施工試験で測定したはね返り率は16.9%，下半側壁部では15.5%であり，いずれの結果も普通吹付けコンクリートと同程度の結果であった．

6-4　粉じん濃度

上半施工試験において粉じん濃度を測定した結果は，基準値３mg/m³未満であり，問題のない結果であった．

7　おわりに

短時間高剛性吹付けコンクリートの材料としての性能は既に模擬トンネルにおける施工試験で確認できていたが，実際のトンネル工事における試験施工によって，施工性について確認することができた．長期材齢における圧縮強度についても，表-7に示すように，劣化の兆しは認められない．

今後，強大な地圧が予想されるトンネルへの適用だけではなく，土かぶりの小さい条件下などで，地表への影響を極力抑制する必要のあるトンネルにおいても，短時間高剛性吹付けコンクリートは山岳トンネルの支保部材として非常に有効であると考えられる．

表-7　下半側壁吹付け時のコア供試体の長期材齢における強度と弾性係数

種　類	n	91日	0.5年	1年
強度特性(N/㎟)	1	53.9	55.7	55.8
	2	62.1	59.2	60.9
	3	64.8	67.6	~~40.3~~
	4	44.1×	57.0	55.9
	平均	60.3	59.9	57.5
弾性係数(kN/㎟)	1	26.0	28.6	29.3
	2	27.5	28.7	29.4
	3	27.8	30.3	~~24.3~~
	4	26.8	29.8	29.4
	平均	27.0	29.3	29.4

参考文献

1) 熊坂博夫・ほか：掘進長と吹付けコンクリート硬化速度が支保特性曲線に及ぼす影響について，トンネル工学論文集(5)，Vol.14，pp.35-43，土木学会，2004.11.
2) 藤野晃・熊坂博夫・石井卓：吹付けコンクリートの剛性が応力解放率に及ぼす影響について，土木学会第61回年次学術講演会，土木学会，CS05-038，pp.281-282，2006.9.
3) 木内勉・ほか：新開発の吹付けコンクリートを用いた軟岩地山トンネルの高速掘進，コンクリート工学，Vol.45，No.4，pp.31-38，2007.4.
4) 栗田守朗・石田積・岩崎昌浩・藤野晃：短時間高強度吹付けコンクリートの基礎的性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.1337-1342，2006.
5) 原子力発電環境整備機構：高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性，NUMO-TR-04-01，http://www.numo.or.jp/siryou/gijyutsu/gijyutsu.html，2004.
6) 石井卓・熊坂博夫・石田積・栗田守朗・岩崎昌浩：材齢３時間で18kN/㎟の剛性を発揮する吹付けコンクリート，土木学会第61回年次学術講演会，土木学会，CS05-037，pp.279-280，2006.9.
7) 北川修三：多重支保工法は有力な膨張性地山対策，トンネルと地下，Vol.34，No.2，pp.55-65，2003.2.
8) 日本鉄道建設公団：NATM設計施工指針，1996.2.
9) 土木学会コンクリート委員会吹付けコンクリート研究小委員会編：吹付けコンクリート指針(案)[トンネル編]，土木学会，pp.13-14，2005.7.
10) 中谷篤史・高橋圭一・熊坂博夫・石田積・岩崎昌浩：小型載荷試験装置を用いた吹付けコンクリートの若材齢における応力～ひずみ特性に関する検討，トンネル工学報告集，Vol.15，pp.23-27，土木学会，2005.12.

現場だより
平成19(2007)年

「森と水のシンフォニー」岩泉町より

齋藤　稔

岩手県の北東に位置するここ岩泉町は，人口１万２千人，総面積992.91km²(東西51km，南北41km)で，東京23区に横浜市を加えたほどの広さである．町としては，本州一の広さを誇り，豊かな緑を蓄えた山林は町の面積の93%を占めている．岩泉町は鍾乳洞の町として有名で，日本三大鍾乳洞の一つとして名高い「龍泉洞」をはじめ，探検洞として公開されている「氷渡洞」，日本一の長さ(約10km)を誇る「安家洞」などの鍾乳洞群がある．また，歴史を江戸時代まで遡ると，南部藩の支配のもと，金山や銅山，鉄山などが数多くあり，鉱山経営が盛んな地域でもあった．

現場が位置する岩泉町小本地区は，太平洋に臨んでおり，海沿いには見事なリアス式海岸が形成されている．海岸線はほぼ断崖絶壁が続いており，中でも小本海岸の南に突き出た赤松の茂る半島「熊の鼻」は，半島に海食洞が形成された様子が熊の鼻に似ており，三陸海岸の中でも屈指のビューポイントとされ，リアス式海岸の岸壁を挟んで青い海と松の古木が独特の美しさを醸し出している．また，小本海岸の南に続く茂師海岸は，アンモナイトなど１億年前の貝化石の産地として有名であり，昭和53年に日本で初めての草食性大型恐竜の化石が発見され，この恐竜は地名を取り「モシ竜」と名づけられている．この地域は，真夏になると30℃を超える暑い日も数日間あるが，海岸沿いでは「やませ」という天然のエアコンとも呼ばれる冷湿な風が吹き，当現場事務所でも，この夏ほとんどクーラーを使用することなく過ごすことができた．

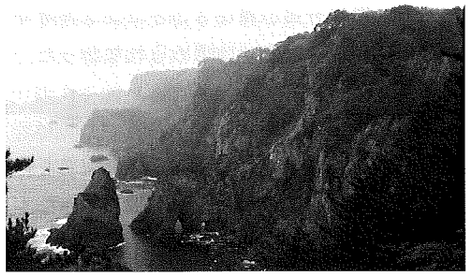
現在施工中の岩泉長内トンネルは，国道45号中野バイパスに計画された延長301mのトンネルである．中野バイパスは，宮古市と久慈市を結ぶ延長約90kmの「三陸北縦貫道路」の一部で，全長6.2kmの自動車専用道路である．急勾配，急カーブが連続する国道45号



位　置　図



龍泉洞入口


陸中海岸国立公園の海岸線

の隘路解消はもとより，宮古～久慈間の交流連携の強化が図られ，地域間交流の活性化に大きく寄与するものと期待されている．トンネル周辺は長内沢に浸食されたV字谷とその支流谷が複雑に入り組んだ急峻な地形となっており，起点側坑口付近は花崗斑岩とひん岩，トンネル一般部では花崗斑岩，終点側坑口付近では花崗斑岩と粘板岩が主体となって分布し，両坑口付近では表層を崖錐堆積物が覆っている．トンネル中央部は谷地形となっており，土かぶり2D以下の区間が存在し，終点側には坑口斜面に平行して断層破砕帯が存在することから，今後の掘削によるこれらへの影響を最小限にするよう細心の注意を払い工事を進めていく必要がある．

最後に，これから竣工まで発注者をはじめ関係各位のご指導のもと，地域住民の方々の中野バイパスに対する期待を裏切らぬよう，現場が一致団結し，一人の怪我人も出さないという強い決意のもと，無事故・無災害で工事を進めていく所存である．

((株)錢高組岩泉長内トンネル現場技術員)

施工

世界最大級(φ12.84m)のTBMで地下1,000mを掘削(施工編)

—東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑—

中日本高速道路(株)名古屋支社清見工事事務所飛騨工事長　森山　守
中日本高速道路(株)名古屋支社清見工事事務所所長　寺田光太郎
大成建設(株)・西松建設(株)・佐藤工業(株)共同企業体所長　小林伸二

7　TBM掘進経緯

本坑の地質は，先行する先進坑と作業坑の切羽観察・施工状況から，STA.395＋00付近(白川側坑口から2,945m地点)より比較的自立性のよい濃飛流紋岩となったこと，引き続き高圧多量湧水帯ではあるが上記両坑による水抜き効果が認められたことから，同地点よりTBMを発進することに決定した．TBMによる掘削は最終的に4,290mとなり，この間遭遇した地質は，出現順に濃飛流紋岩(1,800m)，花崗斑岩(1,000m)，飛騨片麻岩(1,490m)であった．以下，地質ごとに掘進経緯について述べる．

7-1　濃飛流紋岩区間

当区間の濃飛流紋岩は，白灰～暗灰色を呈す凝灰岩で，斜長石・カリ長石・石英の結晶片と，極微細な珪長質鉱物からなる基質で構成される．部分的にはデイサイト質の岩片を含むが，固結が進み岩片と基質は完全に密着し強度的にほぼ均質と考えられる．基質は初生的にはガラス質であるが珪化変質により微細な珪長質鉱物の集合体となり，非常に硬質で一軸圧縮強度は181～479MPa[1]である．構成結晶が微細でほぼ均質なため亀裂面は平滑でずりは鋭利な稜を有する特徴がある．

当区間は，亀裂の発達状況と自立性からさらに４区間に細分された．

7-1-1　①STA.395～390区間

当区間では，亀裂が３～15cm間隔で板状から網状に発達し開口性を有する状況であった．先進坑掘削においては，STA.393＋45付近から切羽湧水が増加傾向となり，STA.391＋77.6地点では大量湧水帯に遭遇し第６回目のTBM拘束が発生し，水抜き坑や長尺ボーリングなど湧水対策と切り拡げなどからTBM再掘進までに約４か月を費やしていた．その後も，大量湧水が続きTBM内からの水抜きボーリングが多用された．また，作業坑においても湧水は依然として多いため，切羽から左右に水抜きボーリング(40～80m程度)をラップさせながら掘削を行った区間である．

こうした状況から，本坑TBM掘進開始に先立ち，先進坑TBMが遭遇した不良地山の出現位置を把握するなどの地質情報を得ることを目的として，先進坑と作業坑を利用した弾性波トモグラフィを実施した．解析結果を図-16に示す．

本坑TBMは，2004年１月より掘削を開始した．最初の200m区間は試験施工の位置付けでTBMに実負荷をかけての機能確認と調整，補助工法の試験などを実施しながらの掘進とした．掘削開始直

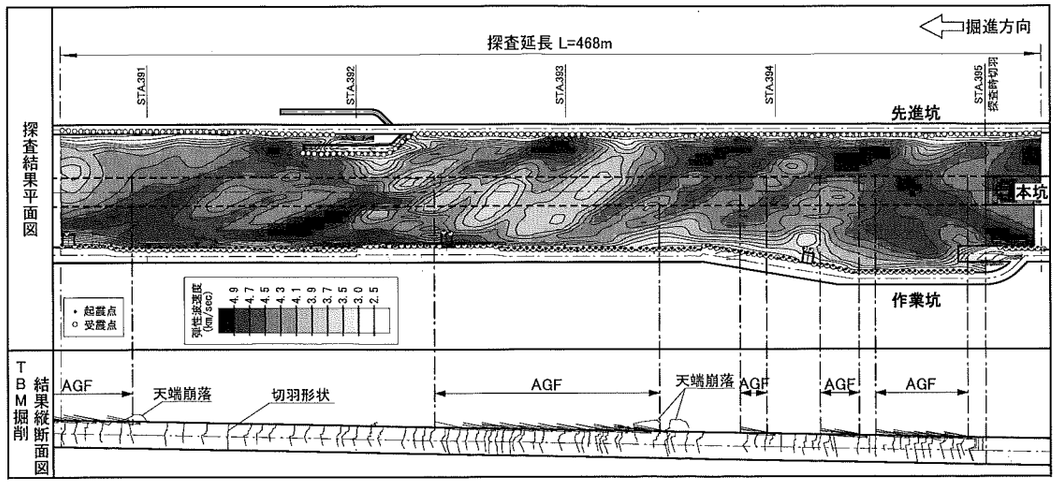


図-16　弾性波トモグラフィー結果と切羽状況

後から，湧水量は50～100ℓ/分程度に減少していたが岩盤亀裂の影響が顕著で切羽の自立性が非常に悪くカッタヘッド前面の地山が大きなブロック状に抜け落ちる現象や大規模な崩落が連続して発生した．このため切羽崩落対策として長尺鋼管先受け工(以降，「AGF」と呼ぶ)を連続打設しながらの掘進となったが，カッタヘッド前面に空洞ができ面盤外周部を除きカッタが地山に当たらない先掘れ現象が常態となった．こうしてできる空洞は，奥行きが3mから最大7mに達した(**写真-5**)がTBM掘削断面内に収まっている状態では掘進が可能であった．この先掘れ現象は，花崗斑岩と飛騨片麻岩の超硬岩部など一部区間を除きほぼTBM施工全区間にわたり発生した．

先掘れ下のTBM掘進は，カッタヘッド外周ドーム部以外ではディスクカッタの圧砕による掘削はほとんどなく，崩落岩盤を二次破砕してカッタヘッドチャンバに取り込むかたちとなるため，大きなずりによるベルトコンベヤの損傷やホッパー部の閉塞などのトラブルが多く発生した．また，崩落岩盤の二次破砕は後述のように面盤およびカッタホルダー，スクレーパーを摩耗させる要因となった．

75m掘進した付近においてTBM掘削面外に達する大規模な切羽崩壊が生じ，最初のカッタヘッド回転不能状態が発生した．対応策として，前方探査による地質確認，AGFによる地山補強と崩



写真-5　先掘り切羽状況の事例

落土固結を行った後，トンネルライナー内面にメイングリッパーを張りTBMを後退させることで掘削再開が可能となった．

その後も掘削断面外に及ぶ崩落が2回，そのうちカッタヘッド回転不能が1回発生した．これまでの施工状況から崩落箇所の発生経過をもとに切羽観察と弾性波トモグラフィ解析結果との対比分析を行った結果，弾性波トモグラフィから得られた低速度帯部分で崩落が発生しているように読み取れた．この結果にもとづくと，先進坑第6回拘束の原因となった不良地山領域は，図-16よりSTA.393＋50付近から392＋20付近と想定された．

TBM掘進は，上記想定区間に到達すると地山は不良化しAGFを連続して施工する必要のある状況となった．STA.393＋36.4では，最大の崩落

が発生し，空洞の規模は切羽前方に6.5m，断面外に8.5mとなり，崩落ずりはカッタヘッドを拘束し，さらにカッタヘッドチャンバ内にも堆積した．この復旧に40日を要した．

掘進再開後も不良地山が継続したため，AGFを連続して施工しながらの掘進となった．TBMでのAGFは，打設本数と配置が限定されることからこの区間の補助工法としては，AGFを利用しての地盤改良注入を主体とする方法に切替えた．この結果，先掘れ現象は続くものの，カッタヘッドの拘束に至るような崩落は生じなかった．

先掘れ現象中の掘削の結果，掘進距離200mを越えた時点で面盤の摩耗が激しいことが判明し，急遽，STA.392＋44.4の位置に作業坑から本坑に向けてメンテナンス坑をあらかじめ掘削しておき，面盤を坑内に露出させて面盤の補修・補強，カッタホルダーの交換・修理を行った．詳細は，9章で詳述する．

STA.392＋26付近より地山は一時的に比較的良化し掘進速度は増加したが，STA.391付近より先進坑・作業坑で遭遇した大量湧水帯を形成していたと思われる亀裂密集帯となり，湧水は減少していたものの切羽崩落が激しくなり，STA.390＋94.5では崩落によるカッタヘッド回転不能が発生し，再びAGFをSTA.391付近まで施工した．

当区間は不良地山が続き，試験施工・第1回面盤メンテナンス(25日)・崩落トラブル復旧を含めた平均月進は約50mであった．

7-1-2　②STA.390～381区間

当区間は，亀裂が5～30cm程度で密着性が増し切羽自立性はやや改善された．先進坑の掘削は，部分的な亀裂密集帯や安山岩貫入地点で湧水対策や補強工が用いられたほか，小規模な崩落は見られたが大きなトラブルはなく経過した．作業坑は，徐々に湧水量が減少する傾向となり，先進ボーリングによる排水量も減少したことから湧水区間は突破したものと判断し作業坑掘削はSTA.383＋60で取りやめ，本坑に連結することにした．本坑TBMの掘削は，切羽の肌落ちや小規模な崩落は見られるが先掘れ空洞容積は減少した半自立状態が多くなり，部分的には前方3m程度の崩落が生じるものの天端崩落には至らず先受けなどの補助工法は必要としなかった．一方，この区間では11回の山鳴りが確認され，うち4回は掘進中に鏡面が崩壊し一時的なカッタヘッド拘束に至った．岩盤の良化に伴い，ディスクカッタ・スクレーパーの交換個数，ベルコン関連損傷頻度は増加したが，掘進速度が向上し日進10mを超える回数が増加した．STA.386付近からは高速掘進が可能となり，最大日進15m，最大週進69m，最大月進254mを記録した．

面盤の摩耗は依然激しく，STA.387＋34.02(前回よりの掘進距離約510m)で第2回目のメンテナンス(24日間)を行った．当区間の平均月進はメンテナンス期間を含め169mであった(メンテナンス除いた場合約200m)．

7-1-3　③STA.381～377＋50区間

当区間は，亀裂間隔5～30cm程度，一部開口しており湧水量は50～200ℓ/分で，先進坑掘進においては補助工法なしでとくにトラブルなく推移していた．本坑TBMは，切羽での肌落ちや小規模な崩落が認められる程度で，山鳴りも1回確認されたのみであった．カッタヘッド拘束は軽微なものが1回生じた．

地山状況良化に伴い，STA.377＋80.11において吹付けコンクリートとロックボルトによる支保パターン適用の可能性を探るため試験施工として，掘削後の坑壁状況を観察できるスキンプレートを取り除き防護用に溶接金網を取り付けた移行ライナーを2リング建て込んだ．結果は，坑壁の崩壊

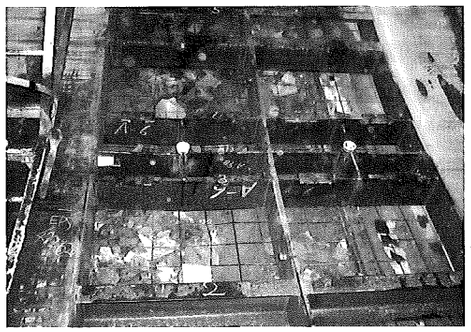


写真-6　左側壁部坑壁崩落状況

が確認され危険と判断しトンネルライナーによるDパターンを継続することにした(**写真-6**).

当区間の平均月進は，5日間のメンテナンスを含め，またベルコンの損傷が多く128mであった.

7-1-4　④STA.377＋50～377区間

当区間は，亀裂間隔10～50cm，大部分が密着し湧水量は10～80ℓ/分であり，切羽は部分的な肌落ち程度で自立し，鏡面中央部までカッタ痕が認められる状況が多く存在した．花崗斑岩との境界は貫入関係で密着し，熱変質による地山不良化は認められなかった.

7-2　花崗斑岩区間

花崗斑岩は，灰～帯褐灰色で粒径5㎜以下の斜長石・石英・黒雲母が散在する間隙を粒径1㎜以下の石英・カリ長石・斜長石・黒雲母が埋める斑状組織を呈する．一軸圧縮強度は262～308MPa[4]で，亀裂面は比較的粗く密着性はよい．亀裂の発達状況と切羽自立性から，花崗斑岩は以下の2区間に細分された.

7-2-1　⑤STA.377～376区間

当区間は，亀裂間隔10～100cm，大部分が密着し湧水量は0～80ℓ/分であり，切羽自立性は良好で，鏡面中央までカッタ痕が認められた．先進坑では山はね現象が発生した．本坑は，STA.376＋69よりCIIパターン移行ライナー，同376＋64よりBパターンの吹付けコンクリートによるNATM支保に移行した．しかし，STA.376＋51において左肩部で岩塊崩落が発生したことから，Dパターンに戻した．NATM支保区間は，本坑TBM掘進全体で当区間での18mのみとなった.

7-2-2　⑥STA.376～367区間

当区間は，亀裂間隔5～50cm，一部開口しており湧水量は50～250ℓ/分，切羽自立状況は肌落ち～小規模崩落発生程度であった．当区間でのTBMの掘進は，カッタ・スクレーパー交換やカッタホルダー・面盤の補修が増加し，初めてセンターカッタの交換も行われたが比較的安定した進行が得られ，平均月進はメンテナンスも含め159mであった．飛騨片麻岩との境界は断層関係で小規模な幅数mの破砕帯が認められたが掘削には支障なく通過した.

7-3　飛騨変成岩類(飛騨片麻岩)

飛騨片麻岩は，角閃石片麻岩・珪長質片麻岩・黒雲母片麻岩が混在し縞状構造が発達，片理面で剝離する場合があり，主に粒径1～5㎜の石英・斜長石・カリ長石・白雲母・黒雲母・角閃石から構成される．一軸圧縮強度は169～241MPa[4]であった．一般に亀裂面は粗く密着性がよい．亀裂の発達状況と切羽自立性から飛騨片麻岩は以下の4区間に細分された.

7-3-1　⑦STA.367～366＋40区間

当区間は，地質変化点であり，かつ安山岩脈が多数貫入し部分的に粘土を挟在した．花崗斑岩から引き続き亀裂間隔5～50cm，一部開口し湧水量は0～50ℓ/分で切羽自立性は肌落ちから小規模崩落程度であった．TBMは問題なく通過した.

7-3-2　⑧STA.366＋40～360＋70区間

当区間は，亀裂間隔10～100cm，大部分が密着し湧水量は0～30ℓ/分，切羽自立状況は良好で鏡面中央までカッタ痕が認められた．岩盤は超硬岩に相当する部分も多く見られ，ディスクカッタの切り込み量が低下し，1mの掘進に5～6時間を要する状況も発生し，掘進速度は低下した．カッタ交換個数の増加とカッタ交換位置がこれまでより中央寄りのカッタまで交換が必要となり，センターカッタも偏摩耗と通常摩耗により2回の交換が必要となった．また，STA.364＋23(前回よりの掘削距離2,311m)において第3回目の面盤メンテナンス(41日間)を実施した．当区間の地山等級はCII相当と評価されたが，坑壁からの岩塊崩落防止のため引き続きトンネルライナーによる施工となり，平均月進はメンテナンス期間を含め118mであった(メンテナンス除いた場合約162m).

7-3-3　⑨STA.360＋70～352＋50区間

当区間では，地山が軟質化する傾向となり，先進坑はSTA.360＋20と同358＋15付近の2か所でTBMが軟弱地山と高圧大量湧水により拘束された．また，STA.356＋40以降では亀裂密集帯・破砕帯が増加，湧水の増大により地山の崩落が見られた．本坑は，軟質化に加えSTA.355付近からは

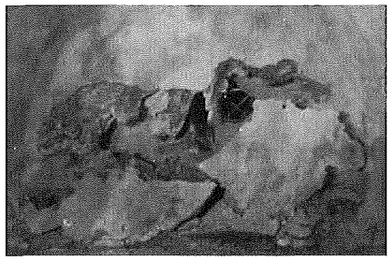


写真-7　飛騨トンネル本坑

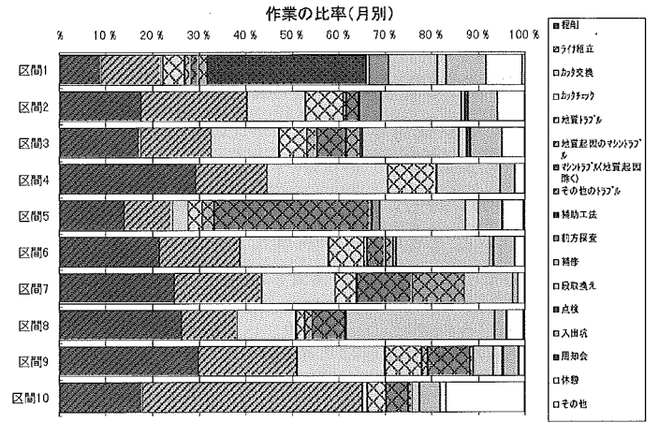


図-17　サイクルタイム

地山等級CH～B級の岩盤と破砕帯が混在する複雑な地山となり，センターカッタの偏摩耗やカッタ交換個数の増加と掘進中の切羽大塊崩落によるカッタヘッド回転不能も発生した.

本坑TBM貫通想定地点は，先進坑TBMが拘束・圧懐した位置(参考文献2)参照)に当たるため，地山確認と切羽安定化を目的に河合側迎え掘り断面から調査導坑を施工した．本坑TBMは，同調査導坑とSTA.353＋13.9で貫通し，以降は，導坑をTBMで切り拡げるかたちでの掘削となった.

STA.354＋47.9～352＋37間には，後述のシングルシェルライナー(二次覆工省略型トンネルライナー)を施工した.

7-3-4　⑩STA.352＋50～352＋14区間

当区間は，幅数cm～数十cmの粘土脈を伴う亀裂密集帯および破砕帯であり，調査導坑が存在するにもかかわらず掘進中の地山自立性は悪く切羽崩落が頻発した．本坑断面での貫通はSTA.352＋14(**写真-7**)となり，TBM掘削延長は4,286mとなった.

7-4　サイクルタイム分析

7-1～3に区分した区間(①～⑩)ごとのサイクルタイム集計結果を**図-17**に示す．延長の短い④と⑤を除き作業ごとのサイクルに占める割合を見ると，以下の傾向が見られる.

7-4-1　補助工法

①区間は亀裂が密集開口し自立性の悪い濃飛流紋岩部であり，補助工法の比率が約35%を占めた．他の区間では補助工法は施工されていない.

7-4-2　掘削とトンネルライナー建て込み

掘削比率は，①で9%，濃飛流紋岩②，③では掘削比率が17.5%，花崗斑岩⑥で21.5%，飛騨片麻岩⑦～⑩では25～30%程度であり，飛騨片麻岩での比率が大きくなっている.

ライナー建て込み比率は，12～23%で地質的な差異はない．⑩では，後述のシングルシェルライナーの建て込みを含むため28%と大き目の比率となっている.

7-4-3　カッタ交換

①では先掘れ現象のためカッタ交換は極端に少ない．②，③では12.4～14.5%，⑥では19.0%，⑦～⑩では15.9%であり，花崗斑岩での比率が大きいが大差はない.

7-4-4　トラブル

地質起因のトラブルは，3.5～10.0%であった．地質要素以外のマシントラブルは，濃飛流紋岩区間が1.7～6.0%であったのに対し飛騨片麻岩になると7.0～12.0%へと増加した．トラブル回数の中では，ベルトコンベヤ関係が76%と大半を占めている．また，面盤などの補修比率は，濃飛流紋岩から花崗斑岩では10～20%の範囲であるが，⑧では第3回のメンテナンスが行われたため33.5%となっている.

トラブル，補修ともTBM掘進区間の地質特性が大きく影響していると考えられる.

7-5　先掘れ現象の究明

本TBM掘進では，岩盤亀裂の影響によってカッタヘッド前面の岩盤がドーム状に抜け落ちる先掘

れと呼んだ現象が連続して発生し，前述のように面盤やカッタ・スクレーパーの摩耗，損傷とベルトコンベヤのトラブルを多発させTBM掘削に支障をきたした．この現象は先進坑TBM(掘削径4.5m)では顕著に表れることがなかったものである．そこで，切羽で発生している現象を解析的に把握し，施工に反映させることを目的にクラックテンソルを用いた三次元掘削解析により検討を行った．

解析に先立ち，現場で得られた亀裂データをもとに同様な傾向を示す亀裂群をグループ化しTBM掘削区間をゾーニングし各ゾーンのクラックテンソルを算出した．

また，初期地圧測定を実施し初期応力状態を求め，さらにメンテナンス坑および事前に設置した地中変位計に対しTBMが接近通過する過程での坑壁変位量と地中変位量を計測した．計測結果の数値シミュレーションにより亀裂物性値の同定を行った後，各ゾーンごとにクラックテンソルを用いた解析を実施した．各ゾーンで実際に発生した切羽崩落と解析により求めたひずみ分布の比較から，ひずみの閾値を調節して，実際の崩落形状と解析のひずみ分布が等しくなるようにひずみ値を設定した．図-18は，STA.392＋36～393＋44間のAGF打設区間での比較である．図は，クラックテンソルによって異方性を考慮した解析では，崩落形状は切羽の右側前方へ大きく先掘れされる傾向を含め先掘れ現象を説明できる結果を示している．

今回の解析結果では，切羽中央部に不安定な領域が発生したとしても，地山の状況・補助工法の適用によっては，切羽直近の天端や側壁は安定を保てることが予想された．実際の施工においても，掘削断面外への崩落がない限り先掘れ現象が発生してもTBMの掘削は可能であった．

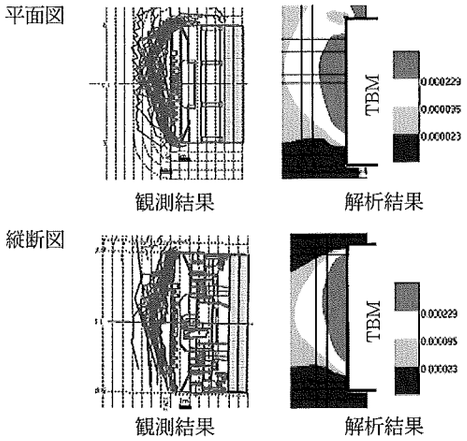


図-18　先堀り現象シミュレーション

8　前方予測・地山評価と掘進結果

8-1　弾性波トモグラフィ

図-16に示した弾性波トモグラフィ結果と各切羽評価点との関係を示したものを図-19に示す．図より，弾性波速度と各切羽評価点とは比較的よい相関が見られ，弾性波速度は地山状況をよく捉えていたといえる．実際の施工においても低速度部では切羽崩落が発生し，AGFの連続的な打設を必要とする状況となり，よい一致が見られる．

8-2　穿孔探査ボーリング(DRISS)

穿孔探査ボーリングから得られる穿孔エネルギーと切羽評価点，TBM機械データから算出する修正トルク(8-3で後述)との関係を図-20に示す．STA.395～379までの間は穿孔エネルギーと修正トルクの相関は認められない．これは，先掘れ現象によると考えられる．ただし，この間では穿孔エネルギーデータをAGFの必要性判断に利用した．穿孔エネルギーによる地山評価では，当区間での掘削経過より経験的に自立性の悪い地山を判断する閾値として200J/cm²を規準とし，同値を下回る範囲が10m単位で連続する場合にはAGFを施工するとして施工を行い，連続しない場合は

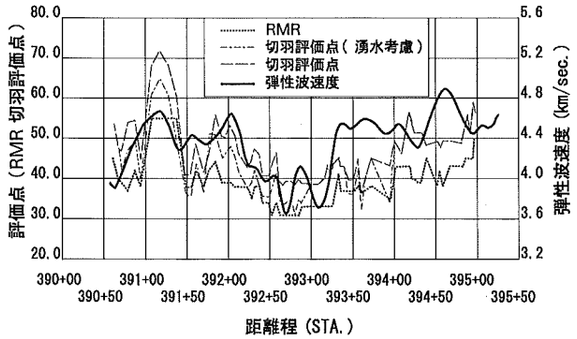


図-19　弾性波速度と切羽評価点との関係

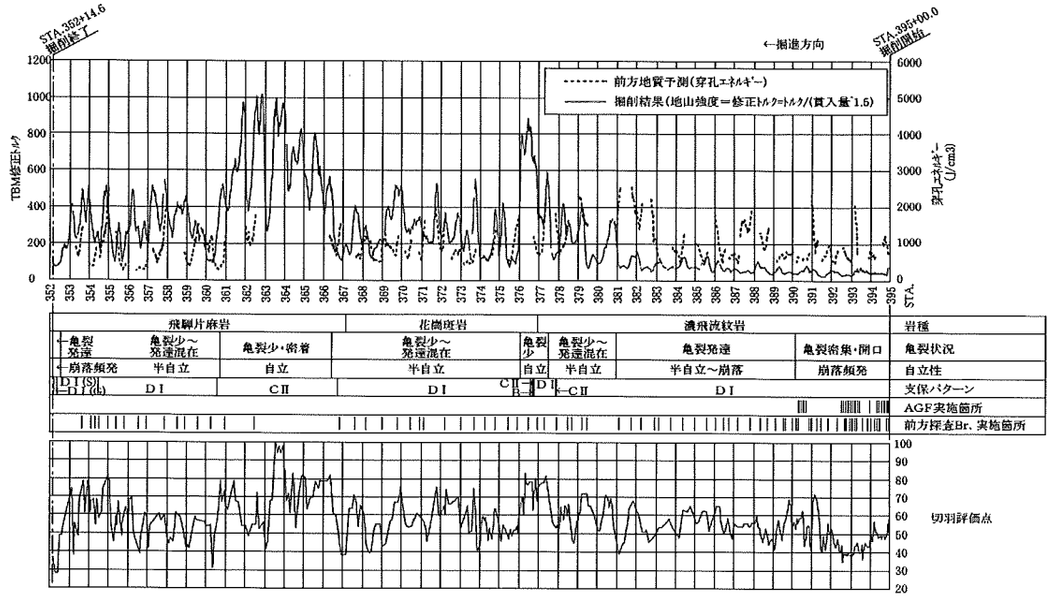


図-20　前方地質予測と掘削結果

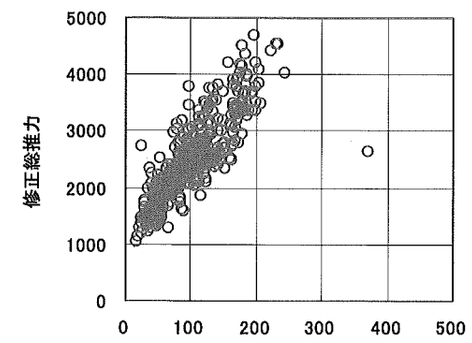


図-21　硬質で自立性の良い岩盤の例

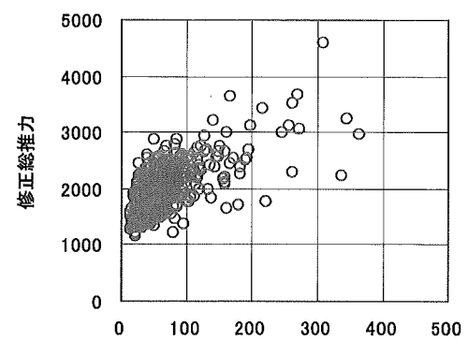


図-22　硬岩ではあるが切羽が崩落する例

補助工法なしでの掘削としよい結果が得られた．先掘れ現象が減少するSTA.379以降では，各データ間の相関性はよく，トレンドグラフ谷部の位置すなわち弱層部が大まかに一致している．

8-3　機械データによる地山と掘削状況評価

福井ら[5]が提案するTBMの掘削抵抗(推力とトルク)から求まるパラメータ，推力/純掘進速度(F/V)およびトルク/純掘進速度$^{1.5}(T/V^{1.5})$から切羽の岩盤強度を求める手法に，青木ら[6]がこの関係を利用し掘削状況評価と切羽崩壊やTBM捕捉などの発生を検知する方法を提案している．この手法による実施例を図-21, 22に示す．図-21は，硬質で自立性のよい岩盤における掘進データであり，直線上に分布している．図-22は，硬岩ではあるが切羽前方の地山が崩落し先掘れ現象が生じた地山の例でデータはばらついた分布となっている．当手法は，TBM運転管理手法として地山状況を反映する有効な手段であった．

9　カッタと面盤の摩耗

本坑TBM掘削における特徴の一つは，先掘れ現象であった．とくに，濃飛流紋岩区間の掘削開始から約600m間は亀裂が密集・開口する切羽自立性が悪く崩落が頻発する地山であったため，切

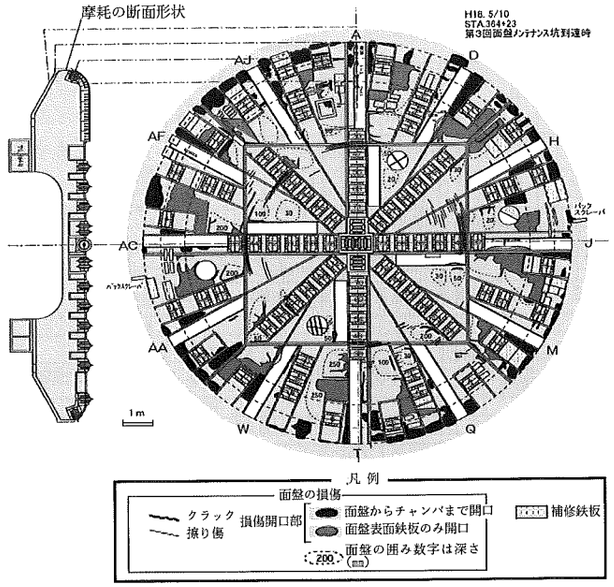


図-23　面盤摩耗状況図

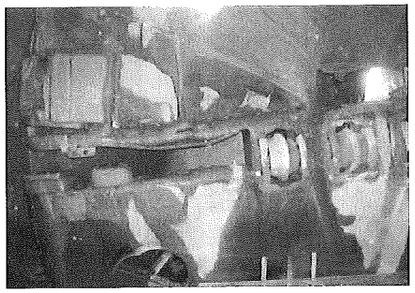


写真-8　摩耗した面盤状況

羽中央部がドーム状に先掘れする状況が連続した．この結果，カッタ消費はゲージカッタからカッタ番号20番以下(旋回半径5,414㎜より外周寄り)のみで，中央部分のカッタは全く摩耗が生じなかった．濃飛流紋岩の亀裂状況が亀裂発達～亀裂少混在へと自立性がやや良化し，さらに花崗斑岩・飛騨片麻岩の半自立～自立し先掘れ現象の形状が小さくなる傾向によりカッタは50番(旋回半径3,014㎜)から中央部まで摩耗が見られるようになった．センターカッタは，飛騨片麻岩に入って掘進距離2,917，3,258，3,651，4,003m地点で4回交換した．このうち，掘進距離3,258m地点を除き他の3回は偏摩耗が原因であった．

先掘れ下のTBM掘進は，カッタヘッド外周ドーム部以外ではディスクカッタの圧砕による掘削はほとんどなく，崩落岩盤を二次破砕してカッタヘッドチャンバに取り込むかたちとなる．TBM掘削区間の岩盤は亀裂が発達してはいるものの，岩石は非常に硬質(一軸圧縮強度は濃飛流紋岩181～479MPa，花崗斑岩262～308MPa，飛騨片麻岩169～241MPa)で，かつ，濃飛流紋岩と花崗斑岩のX線による質量濃度分析結果より両岩ともほとんどSiO_2(82～92%)から形成されていた．このため，カッタには硬質な岩石が衝撃的に作用し偏摩耗やカッタリングの破損，ハブの摩耗が多く見られ，これらを合わせてカッタ消費量が増加した．

先掘れ現象は，カッタ消費増大のみならず面盤・スクレーパー・カッタホルダーに掘削継続を困難とする摩耗・損傷を発生させた．面盤摩耗状況を**図-23**，**写真-8**に示す．面盤前面に出ての大規模な面盤補修は，先行する作業坑，先進坑より本坑に向けてメンテナンス坑をあらかじめ掘削し，掘進距離250，766，3,077m地点の3回実施した．また，カッタヘッドチャンバ内からのスクレーパー台座やカッタホルダーの補修も適宜実施した．

10　シングルシェルトンネルライナー

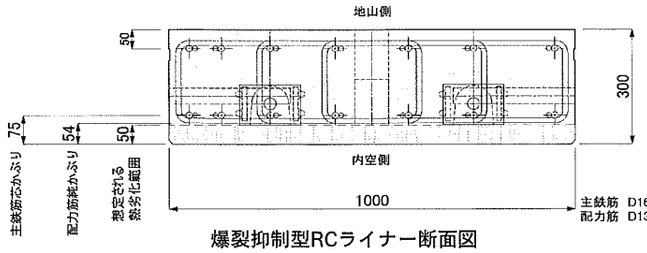
本坑TBM貫通点付近の231m区間は，TBM坑内解体後の工程短縮を目的に，一次支保のRCライナーに二次覆工の機能を持たせ二次覆工を省略するいわゆるシングルシェル構造を採用した．大断面トンネルにおけるシングルシェルは，国内の山岳トンネルでは初めての試みである．

シングルシェルRCライナーの仕様を**表-3**に，断面図を**図-24**に示す．仕様の設定にあたっては，RCライナーを永久構造物とするための耐久性を考慮した構造解析による応力度照査，二次覆工と同等の耐火性，防水性の確保を検討した．

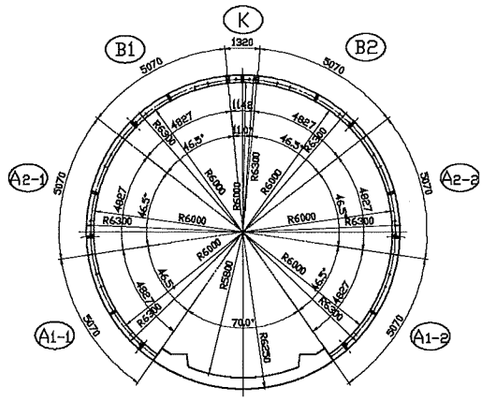
構造解析[7]では，完成時の荷重状態として自重，自重反力，TBM径13m程度の緩み土圧による鉛直荷重および水平荷重を考慮し，ライナー継手部のモデル化と側圧係数を変化させた検討を行った．

表-3　RCライナーの使用

		一次覆工	シングルシェル
コンクリート	設計基準強度	42N/㎟	45N/㎟
	厚さ	250㎜	300㎜
鉄筋	材料	SD345	SD345
	かぶり	50㎜(中心位置)	70㎜(中心位置)
	配筋	D16×7本　複鉄筋	D16×7本　複鉄筋



爆裂抑制型RCライナー断面図



注) 組立時の基準寸法は，セグメント目地手位置が，外半径6.25mとなる．

シングルライナー配置図

図-24　シングルシェルRCライナー

耐火性[8]については，有機短繊維(ポリプロピレン繊維)混入コンクリートによる爆裂抑制型RCライナーの適用を考え，トンネル内での大規模火災を想定したRABT曲線による加熱を行う耐火実験を実施し，上記繊維量1.5kg/m³混入することで爆裂を抑制できることを確認した．耐火実験を受け試験体内部の温度分布から，火災時終局耐力が常時許容応力度相当の*NM*カーブを上回るようRCライナーを設計した．また，止水材(水膨張ゴムシール材)についても継手部を模擬した試験体での耐火実験により，火災時のシール材の温度が一般的に許容温度とされる100℃以下となることも確認した．

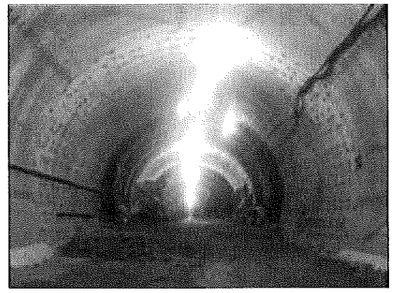


写真-9　シングルシェルRCライナー

施工を完了したシングルシェルの状況を**写真-9**に示す．

11　施工経過のまとめ

本坑TBM施工経過をまとめて以下に示す．

(1)　先進坑TBMの施工は，1,000mを超える大きな土かぶりと硬質ではあるが亀裂の発達した地山と破砕帯，高圧多量湧水の存在により難渋を極めたが，本坑TBMは，先進坑および作業坑による地質確認と水抜き効果により大きな地質的トラブルはなく約4,290mの掘削を完了できた．土かぶりの大きなトンネルでは地質想定が難しいことは前編で述べたが，先進坑はとくに2～3km先行した時点からは当初想定した役割(地質確認，水抜き対策，補助工法機能)を果たした．

(2)　高圧多量湧水区間では，複雑な地質状況と先進坑だけでは水抜き効果が十分得られないことから作業坑を水抜き坑として追加したことで，本坑TBMでは湧水によるトラブルは発生せず，本坑を挟む水抜き坑の必要性が確認された．

(3)　TBM施工区間の地質は，非常に硬質ではあるが亀裂の影響が大きく，かつ地圧の影響もあり先掘れ現象が発生した．これは，これまでの日本のTBMではあまり経験のない現象で大断面TBM特有の現象であると思われた．発生する空洞が掘削断面内にある場合は掘進可能であったが，断面外に拡がるとカッタヘッドの拘束を招いた．こうした空洞発生は，切羽前方探査結果にもとづき適宜AGFに注入効果を持たせた補助工法を施工することで掘進を可能とすることができた．

（4） 先掘れによる崩落岩塊は，ベルトコンベヤの損傷を多発させ掘進速度を低下させた．また，岩質が硬質かつほとんどの成分がSiO_2から構成されるためカッタ・スクレーパーの消耗増加と予想外の面盤摩耗・損傷を生じさせ掘削を中断してもメンテナンスを必要とした．

（5） 本坑の一次支保は，一部区間を除き現場製作のトンネルライナーとなった．当区間の地質条件と地圧状況下での大断面トンネルにおいてのNATM支保施工は亀裂の影響を受けやすいため，安全上適用が難しかった．

（6） 耐火性と止水性，耐久性を考慮したシングルシェルライナーを開発し，国内の山岳工法を使った大断面トンネルに初適用した．

（7） 掘進記録は，最大月進254m，最大日進15m，掘削開始から貫通までの平均月進120mとなった．

12 おわりに

飛騨トンネルは，国内の山岳道路トンネルとして本坑掘削に初めて掘削径12.84m（掘削開始当時世界最大）の大断面TBMを採用し，これまで経験のない数々の問題に直面しながらも種々の新技術を適用しながら克服し2007年１月13日，無事貫通を迎えることができた．掘削距離は4,290mとなった．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者の方々のご指導，ご助言の賜物であり，深く感謝する次第です．

最後に，ここで得られた成果が，今後のトンネル施工の発展に寄与できれば幸甚である．

参考文献

4) 福井勝則・大久保誠介・森山守・青木智幸・小塚孝・松原誠：飛騨トンネル本坑におけるTBMのディスクカッタの摩耗に関する研究，第36回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.129–134，2007.1.

5) 福井勝則・大久保誠介：TBMの掘削抵抗を利用した岩盤物性の把握，トンネルと地下，Vol.28，No.2，pp.35–43，1997.2.

6) 青木智幸・臼井和夫・島屋進・内田正孝・谷卓也：土木学会第52回年次学術講演会Ⅲ，pp.98–99，1997.

7) 板垣賢・森山守・小林伸次・領家邦泰・大塚勇：大断面TBMトンネルにおけるシングルシェル覆工の設計―東海北陸自動車道飛騨トンネル工事―，第62回年次学術講演会，2007.

8) 小原伸高・森山守・小林伸次・領家邦泰・堀田賢一：有機繊維混入コンクリートを用いた爆裂抑制型セグメントの適用―東海北陸自動車道飛騨トンネル工事―，第62回年次学術講演会，2007.

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

現場だより
平成19(2007)年

「花々とびわの里」南房総より

深澤　忠

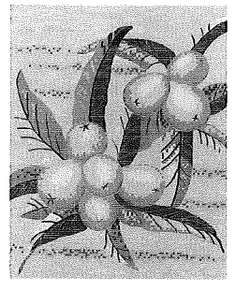
当作業所は，房総半島の南端に位置し，西側には東京湾，東側および南側には太平洋と三方を海に囲まれ，その海岸線は南房総国定公園に指定されている．

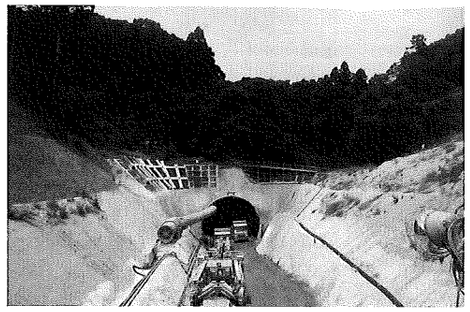
温暖な気候と首都圏に近接するという立地条件に恵まれ，酪農，花卉，野菜，米，果樹を基本に，多彩で商品性の高い品目が広く生産され，首都圏における生鮮食糧生産基地として高い位置づけを持っている．

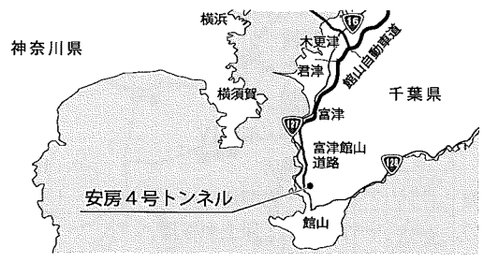
南房総といえば，歴史面では読書家ならずともすぐに思い出される「南総里見八犬伝」．江戸時代に滝沢馬琴によって書かれた伝奇小説だが，学生時代に楽しく読まれたご記憶のある方も多いかと思う．この作品は馬琴48歳から75歳にいたる28年間にわたって刊行された大作だった．また近くには，一刀流の小野次郎右衛門忠明の出生地があり，現在でも隣接市の館山市では剣道が盛んに行われている．

“温暖”のイメージがあるとおりに，年明け早々には沖合を流れる黒潮暖流の恩恵を受け，春の花々が咲き乱れ，事務所の周りでも菜の花畑の菜花が満開になる．まるでメルヘンの国へワープしたようだ．この菜花の収穫が終わると，地元富浦地区は「びわ」の出番となる．ハウスものから始まり路地ものまで盛んに収穫が行われる．当地のびわは，約240年前から栽培され品種改良・技術の向上を重ね，大粒・ジューシーで香り高く，毎年皇室に献上されている．

広域営農団地農道整備事業は，「東京湾アクアライン」，「館山自動車道」および「国道127号（富津館山道路）」などの道路網が整備されるのに併せ，この地域を東西方向に横断する基幹農道を整備することで生産から流通，加工までを一体化し，近代化施設の整備，農業の活性化などを図る目的で計画された．このうち，南房総市富浦町から同市三芳村までのL=6.3kmが現在整備中となっている．


びわをかたどった坑門レリーフ


終点側坑口全景



位　置　図

安房４号トンネルの最大土かぶりは38mであり，脆い泥岩を主体としている．出口側では，「館山自動車道」の高架橋下を通過する．両坑口付近には，特産品のびわ畑が近接し，周辺環境に配慮した施工が必要となる．

平成19年７月に坑口付けを行い，長尺鋼管または長尺鏡ボルトなどの補助工法を駆使しながら掘進して，トンネル延長214mのうち，約100mを掘進してきた．

今後，発注者・関係各位のご指導のもと，企業体ならびに協力会社が一丸となって無事故・無災害での貫通・竣工および高品質の作品を目指して，努力していきたい．

（竹中土木・古谷共同企業体４号トンネル作業所現場代理人）

土木情報 No.414 今月の主な入札結果

（10月10日～11月９日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位百万円
関東農政局	両総農業水利事業南部幹線用水路その38	東洋建設	394.4
〃	〃 〃 その39	青木あすなろ建設	560
〃	〃 〃 その40	佐藤工業	540
東北地整	長谷山地区函渠工	若生工業	114
関東地整	日本橋室町共同溝	清水建設	441
中部地整	H19年度23号名豊道路東部整備	中村建設	258
〃	〃 〃 西部整備	冨士工	272
九州地整	東九州道(清武～北郷間)芳ノ元T新設	五洋建設	4,037
中日本高速道路	中部横断自動車道湯沢第一T	奥村組土木興業・木原建設JV	4,597.09
〃	第二東名高速道路鳳来	日特建設	4,891.87
阪神高速道路	神戸山手線連結路(北行)開削T	清水建設	2,299.68
北海道	国道40号幌延町北斗T	田中組・堀口組JV	1,010
〃	道道江差木古内線上ノ国町改良(早瀬T)	松本組・山田組・森川組JV	1,350
都・下水道局	中央区日本橋本町一，三丁目付近再構築	白石	649
〃	江東区南砂二丁目付近再構築その２	保土ケ谷工業	450
〃	北区東十条四丁目，中十条四丁目付近再構築	三登建設	311.9
都・財務局	下水道管布設(19豊-6)	小田島建設	183.7
福井県	地方道路交付金(道路改良)松ヶ鼻T(仮称)	坂川建設・田中建設JV	692
山梨県	国道411号上萩原第１T(仮称)建設	昭和建設・植野興業JV	365.4
長野県	19年度地方道路交付金・飯田富山佐久間線	守谷商会	605
岐阜県	公共道路改築事業金山下呂T(金山その１工区)	岐建・金子・中島特定JV	1,953
〃	〃 〃 (〃 その２工区)	市川・青協・日東・日産特定JV	2,950.5
〃	県営かんがい排水事業桑原地区西幹線用水路第19-33期	日東工業	135.66
滋賀県	第４号琵琶湖流域下水道東北部彦根第２幹線安食西工区管渠	三東・西村JV	700
兵庫県	主地浜坂井土線(仮称)栃谷T	株本建設工業	650
和歌山県	切目川河川総合開発国道425号付替(外)合併(仮称)切目川１号T	東・共栄JV	570
鳥取県	奥日野２期広域農道三国山T(補助)	森本組・高野組JV	930
大分県	一般重岡２期重岡T	佐伯建設	234.01
宮崎県	H19年度連携国道第9-1-3-1号国道448号名谷T	松本・志多・日新JV	1,560
水戸市	千波・元吉田町都市下水路新設	坂田建設・横田建設JV	136
〃	国補公下渡里第１雨水幹線	三ツ和総合建設業協組・秋山工務店JV	267
越谷市	新川都市下水路築造	丸新建設	121.7
千葉市	下水道排水施設(大森雨水19-1工区)	森本組	123.26
〃	〃 (誉田雨水５号幹線１工区)	馬淵建設	124.4
〃	〃 (幕張第7・19-1工区)	国土総合・市原JV	197.3
〃	〃 (古市場雨水19-1工区)	伊藤工務店	160
横浜市	神奈川処理区帷子川右岸雨水幹線下水道整備	森本組・馬淵建設JV	1,348.25
〃	南部処理区黄金第二幹線下水道整備(その２)	竹中土木・保土ケ谷JV	424
川崎市	川崎港海底T本体改良その２	ショーボンド建設	364
静岡市	H19年度葵国道債第４号(国)362号(大原工区)道路改良((仮称)大原第１T)	竹中・石福・静岡西部JV	1,086

施工

開業目前の地下鉄グリーンライン

—横浜市営地下鉄　中山～日吉間—

横浜市交通局高速鉄道建設部工事事務所長　伊佐見　孝　夫
横浜市交通局高速鉄道建設部工事事務所技術第二係長　上　杉　　知
横浜市交通局高速鉄道建設部工事事務所技術第一係　米　澤　　威

１　はじめに

横浜市営地下鉄は，現在，あざみ野～湘南台間40.4kmを営業しており，途中，横浜市の都心地域である新横浜駅，横浜駅，関内駅を経由し，市民の足として皆様にご利用いただいている．横浜市北部地域では，中山～日吉間13.1kmの新しい地下鉄路線を，平成20年３月末開業を目指して建設中であり，途中，センター南・センター北駅で営業線(ブルーライン)と連絡する．この路線の開業により，交通不便地域の解消，人口や商業施設などの誘致による地域の発展が期待されているとともに，横浜駅から放射状に延びる既存鉄道を結ぶ横浜環状鉄道(元町・中華街～上大岡～二俣川～センター南・北～日吉～鶴見)の一翼を担う路線と位置づけられ，横浜市内の鉄道ネットワークを形成し，横浜市の均衡ある発展に寄与することとなる(図-1)．

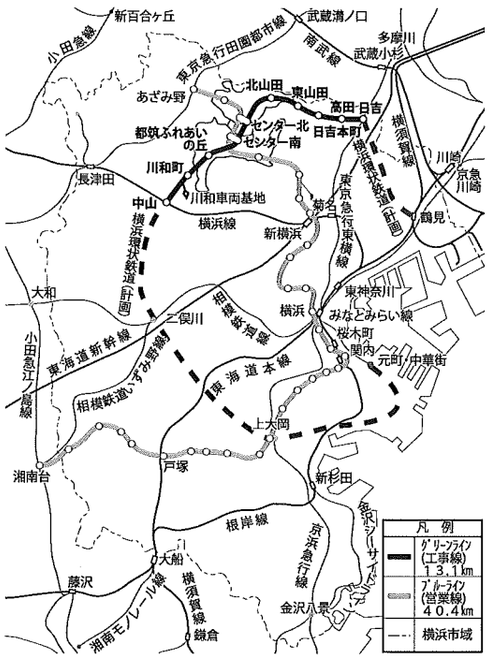


図-1　市営地下鉄路線図

中山～日吉間の開業に伴い，市営地下鉄の営業路線が２本になることから，お客様にわかりやすい路線案内を提供し，より親しまれる地下鉄を目指すために，平成18年６月に，それぞれの路線に名前をつけた．路線の名前のコンセプトを「わかりやすく　覚えやすく　親しみやすい　すてきな名前」と設定し，名前の一般公募，路線愛称検討部会の審議を経て，あざみ野～湘南台間を「ブルーライン」，中山～日吉間を「グリーンライン」と決定した．

グリーンラインの建設工事は，平成13年１月に工事着手して鋭意進めてきたところであるが，駅やトンネルのコンクリート構造物などを築造する土木工事はおおむね完了し，開業設備工事(軌道，電気，建築，機械設備工事)が中心となっている．

今後は，平成20年１月からの全線での入線試験実施に向け，各工事関係者が一致団結協力して，最後の頑張りに全力をあげて取り組んでいきたい．

本稿は，これまで施工してきたグリーンライン建設工事のうち，代表的な土木工事の施工事例を報告するとともに，交通局として建設工事全体で力を入れてきた500億円にのぼるコスト縮減などの創意工夫や工事中の広報活動に関しても報告するものである．

2　グリーンラインの概要

2-1　路　線

当路線は，横浜市の北部地域にあたる緑区，都筑区，港北区の３区にまたがり，中山駅でJR横浜線，センター南・センター北駅でブルーライン，日吉駅で東急東横線にそれぞれ連絡する．都筑ふれあいの丘～北山田駅間の４駅は，港北ニュータウンに位置し，グリーンライン開業により，ブルーラインの各駅とあわせて全６駅で港北ニュータウン地域をカバーする(図-2, 3)．

路線の概要は表-1のとおりである．

2-2　駅

駅は全部で10駅あり，駅利用者の利便性と建設

表-1　路線概要

区　間	横浜市緑区中山町～同市港北区日吉四丁目
延　長	約13.1km (地下区間約10.7km・地上区間約2.4km)
所要時間	中山～日吉間で約21分を予定
軌　間	1,435㎜
集電方式	直流1,500V，架空線集電方式
車　両	リニアモーター推進方式 1両の長さ15.5m，幅2.5m，4両編成(開業時)
駅	10駅(地下７駅・地上３駅)
車両基地	川和車両基地(約６ha)
変電所	３か所

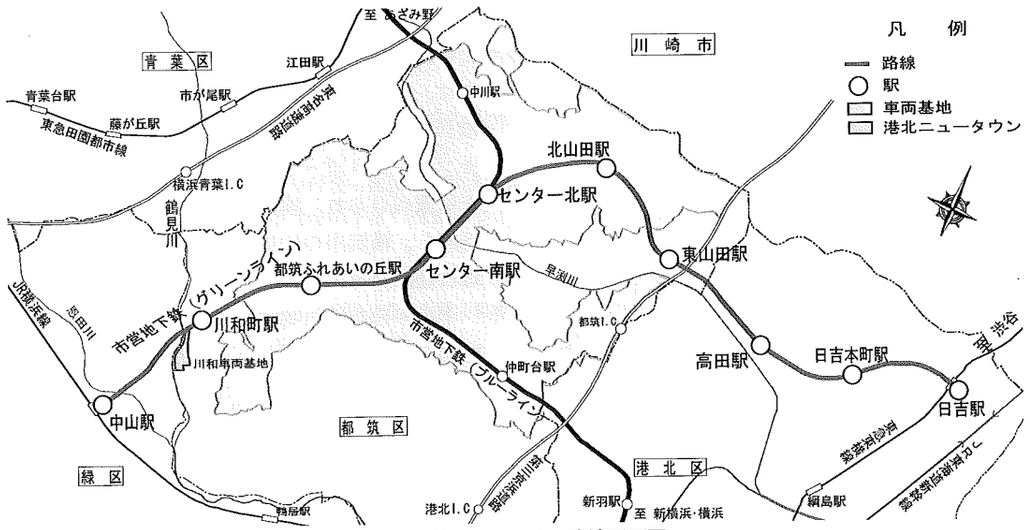


図-2　グリーンライン路線平面図

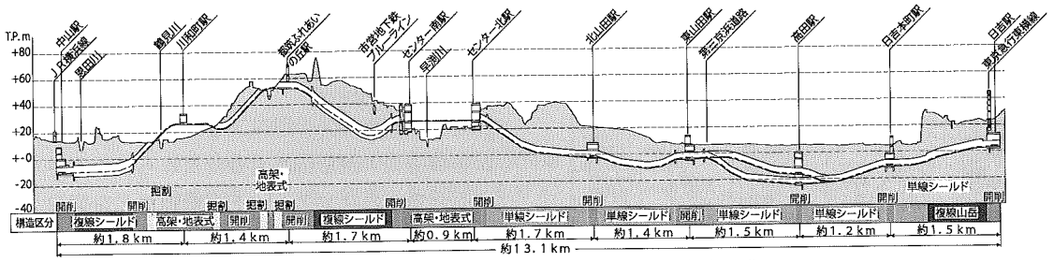


図-3　グリーンライン路線縦断面図および構造形式

費の縮減を考えて，極力，浅い駅の実現を目指している．高架駅は川和町・センター南・センター北駅の３駅，ホームは地下だが改札口は地上にある比較的浅い地下駅は都筑ふれあいの丘・東山田・日吉本町駅の３駅，一般的な地下駅は中山・北山田・高田・日吉駅の４駅となっている．

駅の設計にあたっては，「やさしい駅施設」を共通のテーマとして，人や街に開かれた“ひろば”となる全駅に，“やさしさ”を提供するような以下の施設を設置するなど，さまざまな工夫をする計画である．

- 休憩や待ち合わせ場所となるお客様休憩スペース
- 車いすでも利用しやすい幅の広い改札や券売機
- ストレッチャーの入る大型エレベーター
- エスカレーターや多機能トイレ
- お客様の転落を防ぐ可動式ホーム柵
- 音声案内と音響案内の提供
- わかりやすい路線図や運賃表
- 外国人利用者にも便利な４か国語によるサイン表記
- 各駅を識別しやすくするための駅番号の表示

このほか，各駅には利用者に親しみを持っていただくために『ステーションカラー』を設定し，ホーム対向壁や券売機まわりなどの主要な場所をステーションカラーで色づけし，駅の色による識別と個性化を促進する設計である．

2-3　車　両

グリーンラインの車両は，ブルーラインより一回り小さい新形車両で，リニアモーター推進方式の採用により，従来の地下鉄の最大勾配3.5%を上回る最大勾配5.8%を取り入れている．

外観の特徴としては，横浜市営交通の伝統を受け継ぐ「く」の字形前面デザインとなっており，正面下部にボリュームを持たせた，かわいらしいスタイルとなっている．また，テールランプを斜めのエッジラインで段付きとし，先進性のあるフォルムとなっている(写真-1)．

車内については，連結部扉を全面ガラスに，座



写真-1　グリーンライン新形10000形車両



写真-2　10000形の車内

席袖を透明な仕切りにし，圧迫感のない空間を実現している(写真-2)．すべての車両には車いすスペースを完備するとともに，車両床とホームの段差を約15㎜としているため，車いすでもそのまま乗り降りができるようになっている．また，お客様への情報提供として，車内に液晶型情報表示器を設置している．

車両の運行は，ATO(自動列車運転装置)によりワンマン運転とし，バックアップは，最新のデジタルATC(自動列車制御装置)の採用により，スムーズな停止と効率的な運行が期待されている．

3　工事概要

平成９年５月の免許取得後，平成13年１月より土木工事に着手し，これまでに６年余りが経過している．都筑ふれあいの丘駅付近～北山田駅付近の港北ニュータウン内は，あらかじめ用意されていた鉄道事業用地内での工事であり，川和町駅付近や日吉本町駅付近では都市計画道路との一体整備，北山田駅から日吉本町駅付近までは幹線道路下での工事である．

構造形式としては，地下駅は開削トンネル，地

下駅間はシールドトンネルで，一部の区間では，地質条件や経済性などを考慮して山岳トンネルを採用している(日吉本町～日吉駅間)．地上駅付近は高架構造となっており，全体の18%にあたる2.4kmの区間で採用している．

土木工事は，平成14年度(平成15年３月末)までに主要全24工区の土木工事について発注を完了し，平成19年10月末現在で19工区が完成している状況である．現在は，コンクリート構造物の仮設開口閉鎖工事や道路の本復旧工事など付帯工事を行っているところである．

本章では，開削トンネル工事とシールドトンネル工事の各代表工区の施工事例を報告する．

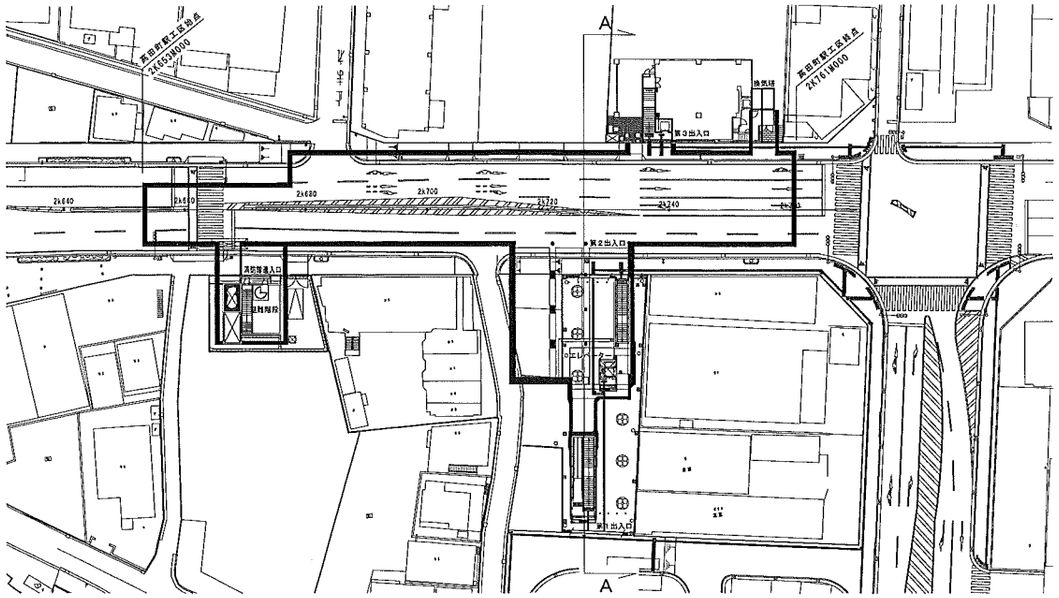


図-4　高田町駅工区平面図

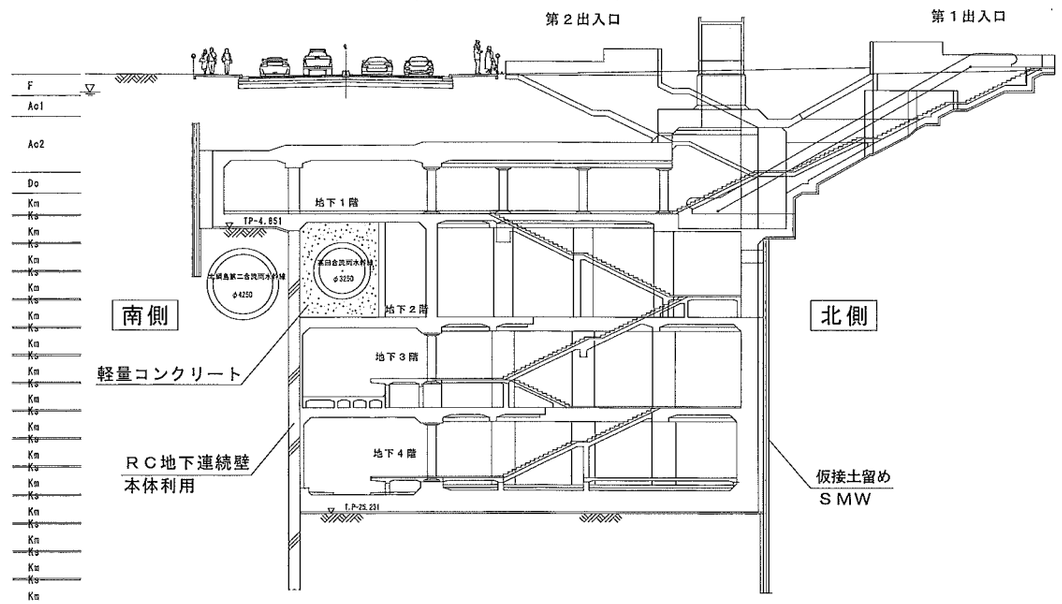


図-5　高田町駅工区横断面図(A-A断面)

3-1　開削トンネル工事(高田町駅工区)

高田町駅工区は，日吉駅から２駅目の高田駅(仮称は高田町駅)を，幹線道路下に開削工法で築造する工事である．幹線道路下12～18mのところにはφ3,250㎜とφ4,250㎜の雨水幹線があるため，地下１階が改札口，地下２階に雨水幹線を内包し，地下３階と４階が上下２層式のホームとなる４層２径間(出入口部は４層３径間)の駅構造となっている．駅の北側には第１・第２出入口，南側には第３出入口がそれぞれあり，消防隊進入口や避難階段も設けられている(図-4, 5)．

地質は，地表から約７mまでは沖積層の粘土層・シルト層の軟弱な地盤，約９m以深は上総層の泥岩(Km層)と細砂(Ks層)の互層で硬い地盤となっている．

3-1-1　工事概要

工事件名：高速鉄道４号線高田町駅工区土木工事
工事場所：横浜市港北区高田町1012番地～802番４先
工　　期：平成13年12月21日～平成19年６月20日
工区延長：108m(ホーム延長94m)
工事内容：RC地下連続壁工　約 3,700m²
仮設土留め工(SMW)　約 9,000m²
路面覆工　約 2,500m²
掘削工　約58,700m³
躯体コンクリート　約15,000m³

3-1-2　施工概要

(１)　RC地下連続壁工

地下にある２本の雨水幹線の離隔が約2.6mしかないため，仮設土留めをしてから側壁コンクリートを築造する幅がとれない．そのため，RC地下連続壁(t＝800㎜)を地上から施工して掘削時は土留めとし，最終的には本体利用して側壁としている．

・先行エレメント幅　６m(一般部)
・後行エレメント幅　2.8m
・掘削深度　約36～38m

施工は幹線道路上での道路規制しながらの夜間作業であった．

掘削は水平多軸式掘削機を使用し，運転席に設置されたモニターで掘削精度を確認しながら所定の深度まで掘削を行った．ここで，精度管理基準は掘削深度に対して1/600以下とし，掘削完了時にも２方向超音波測定器により出来形を測定し，精度管理を行った．後行エレメントの掘削は，コンクリートカッティング方式である．

鉄筋かごの建て込みは，精度を向上させるため，ガイドウォール上に位置を確実にマーキングし，鉛直性を目視で確認しながら静かに吊り下げる．なお，先行エレメントでは，鉄筋かご建て込み完了後，後行エレメントとの継ぎ位置にコンクリートカッティングプレートを建て込む．

コンクリート強度は40N/㎟で，打設に使用するトレミー管は流動性を考慮して内径200㎜のものとし，先行エレメントでは２本以上，後行エレメントでは１本使用した．打設管理としては，①トレミー管の根入れ長さ管理(２m以上)，②コンクリート打設天端管理(生コン車１セット打設完了ごとに天端の平坦性を確認)，③コンクリート打ち上がり天端管理(規定の位置までコンクリートが充填されていることを確認)の三つを行った．

また，地下３階と４階の側壁には，掘削後に後打ちコンクリート(t＝300㎜，鉄筋接続は機械式継手)を施し，最終的に壁厚1,100㎜の側壁としている．なお，この部分の側壁には防水シートを貼り付けられないため，後打ちコンクリート施工前に，あらかじめ浸透性の防水材を塗布している．

(２)　雨水幹線(φ3,250㎜)吊り防護工

地下２階に内包する雨水幹線の吊り防護は，図-6のとおり，専用吊り桁からワイヤーロープおよびロッド(900㎜ピッチ)を使用して吊る方法としている．

その手順は以下である．

①　雨水幹線直上の４段目切梁設置後，吊り桁(横桁・縦桁)を設置する．
②　雨水幹線の振れ止め(L-100)を側壁と中間杭との間に設置しながら，幹線北側の掘削を雨水幹線下の５段目切梁芯より1.5m下がり

(幹線下2.8m)まで行う.

③　幹線北側からバックホウにより，幹線直下1.5mを2リング分(1.8m)掘削し，ロッドおよびワイヤーロープを2リング設置し，ロッドをセンターホールジャッキで緊張する.

④　③の作業をくり返しながら，6リング分完了後，バックホウを幹線下に入れて，リング取り付けを追うように縦方向に掘削を進める.

⑤　掘削完了した部分から，順次，受替え横桁を設置，幹線周りに防護コンクリートを打設して完了となる.

吊り防護にワイヤーロープを使用することにより，管の重量を利用して締め付けが可能となり，雨水幹線のセグメントのズレをなくし，安全に吊り防護を行うことができた.

吊り防護の計測は，24時間リアルタイムで異常の有無が確認できるように自動計測により行った．鉛直および水平変位の管理値は，1次管理値を10㎜，2次管理値を15㎜とし，計測結果は，1次管理値以下であった.

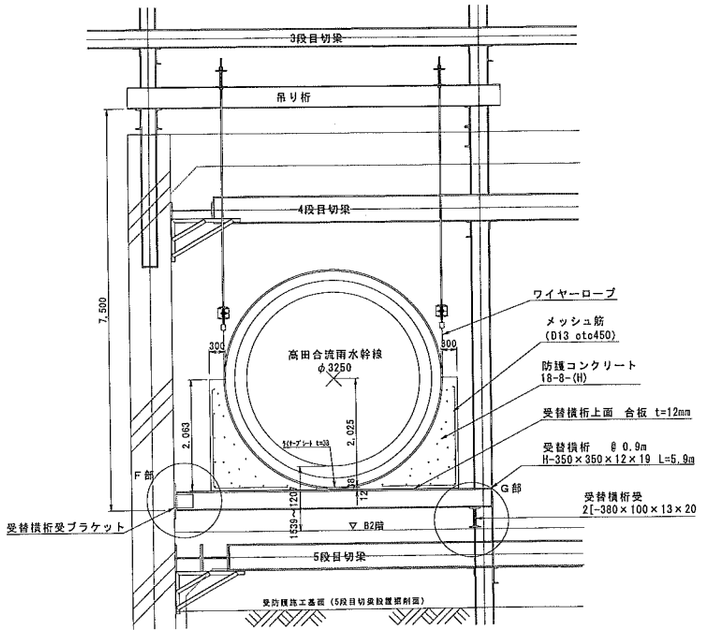


図-6　雨水幹線吊り防護工

3-2　シールドトンネル工事（恩田川工区）

恩田川工区は，中山駅立坑から発進して鶴見川手前の青砥町に到達する延長835mの泥土圧式シールド工法によるトンネル築造工事であり，交通局で初めての複線シールドトンネルの採用となり，これまでで最大のセグメント外径9,260㎜のトンネルである．途中，恩田川や道路の幹線下水の下を通るほか，大半を低層住宅地の下を掘り進む工事であり，最大土かぶりは約28m，最小土かぶりは約11mとなっている(図-7).

地質時代		地層名／主な土質		記号
	現世	盛土・埋土		F
新生代第四期	完新世	沖積層	泥炭質土層（腐植土）	Ap
			有機質土 有機質粘土	Ac1
			粘性土層 シルト粘土	Ac2
			砂質土層	As
			基底砂礫層	Ag
	後期更新世	新期	ローム	Lm1
		古期ローム層	凝灰質粘土	Lm2
		相模層	細砂	Ds
	前期更新世	上総層部	泥岩	Km
			細砂	Ks

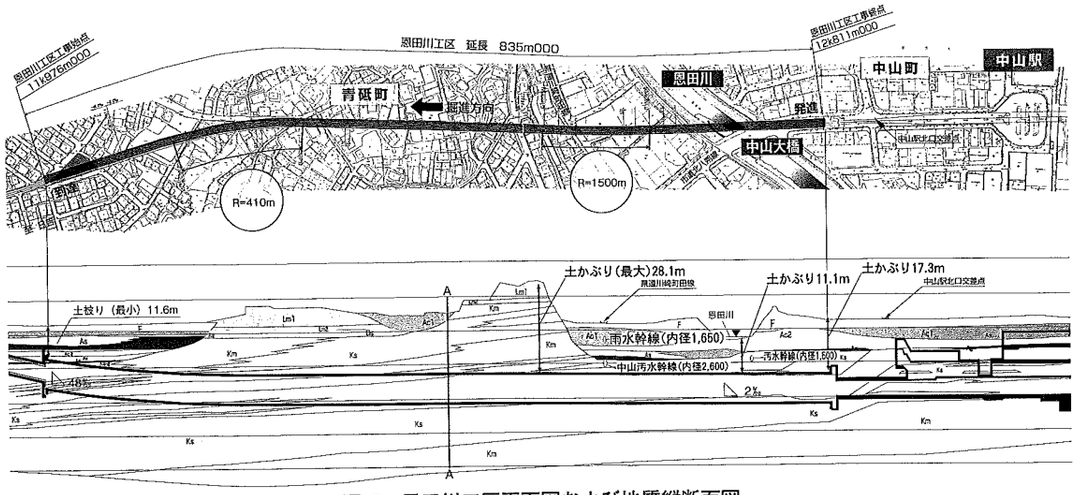


図-7　恩田川工区平面図および地質縦断面図

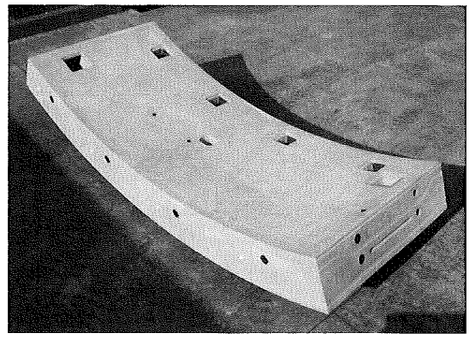


写真-3　CPIセグメント

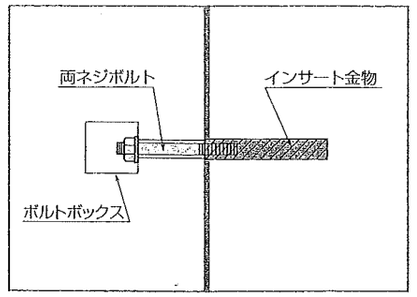


図-8　CPIセグメントの継手構造

3-2-1　工事概要

工事件名：高速鉄道4号線恩田川工区土木工事
工事場所：横浜市緑区青砥町821番52先～
　　中山町317番14地先
工　　期：平成15年3月26日～
　　平成19年3月25日
工区延長：835m
工事内容：シールド掘進長　835m
　　一　次　覆　工　835m
　　シールド外径　φ9,440㎜
　　シールド重量　約900t

3-2-2　施工概要

(1)　一次覆工(セグメント)

当工区のセグメントは，セグメント間，リング間ともに片側インサートボルト締結のセグメント「CPIセグメント」を採用している(写真-3, 図-8).CPIセグメントの特徴は以下であり，2次覆工省略型としても十分適した性能を有すると考える.

- ボルト締結構造であるが，片側インサート方式であるため，従来のボルト式セグメントより継手金物が少ないので，防食上有利である.
- 継手金物の防食は，防錆処理を施すことにより対応可能である.
- ボルト締結構造で継手剛性が高く，セグメントリングの変形量が小さいため，真円度の確保が容易である.
- 調芯機能(調芯棒・調芯ピン)を有するため，セグメントの組立精度や真円度の確保に有効である.

【セグメントの規格】

- セグメント外径　φ9,260㎜
- セグメント桁高　400㎜
- セグメント幅　1,500㎜
- セグメント重量　平均約6t(K型以外)
- 1リング分割数　8分割

なお，1日あたりの日進量は，初期掘進と到達掘進も含めて平均約6m/日，最大で約12m/日であり，トンネルの出来ばえは良好であった.

(2)　掘削土搬送

土砂貯留設備などの工事ヤードとして計画していた発進立坑付近の土地が一時使用できなくなったため，発進立坑から直線にして約220m離れた幹線道路沿いの土地を工事ヤードとして使用することとなった(図-9).

ここで問題となったのが，トンネル掘削に伴って発生した土砂をいかにしてこの工事ヤードまで運搬するかであった.

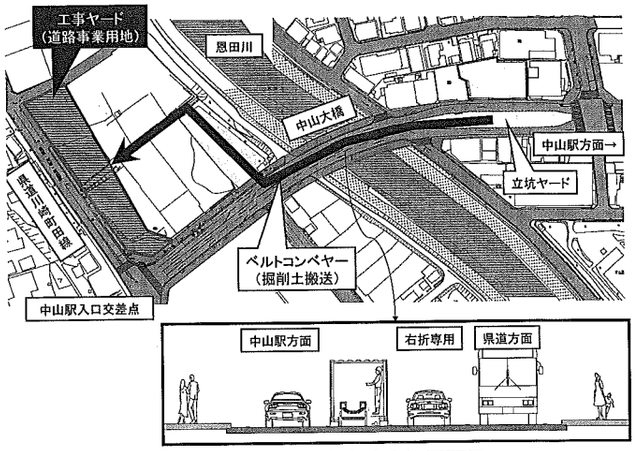


図-9　恩田川工区掘削土搬送平面図

検討の結果，道路の中央を縦断占用するという大胆な発想で，ベルトコンベヤにより発進立坑から工事ヤードまで運搬する方法を採用した．この実現のために，道路管理者や交通管理者など各関係機関との粘り強い調整を行い，了解していただいたうえで実施した．

ベルトコンベヤには，図-9のとおり，騒音を考慮して囲いを設けたり，トラブル時の対応として点検通路や監視カメラを設けたり工夫を行っている．

なお，トンネル内の土砂運搬に関しても，上総層に砂分が多く，圧送管内で材料分離した砂分が管内に堆積して，管閉塞することが考えられるため，ポンプ圧送でなくベルトコンベヤによる搬出を，また立坑内のトンネルから地上への搬出(揚土)には，オーガスクリューを用いた垂直スクリューコンベヤを採用している．

4　工事の創意工夫

4-1　建設発生土の計画的な有効利用

地下鉄工事のように大規模な建設工事では大量の土砂が発生するが，最近は処分地としての埋立て場所が不足している傾向にあり，重要な都市問題の一つとなっている．

グリーンライン建設にあたっては，その抑制策として，建設発生土を埋戻しに使用するなどの有効利用を図るため，以下の取り組みを行っている．

4-1-1　仮置場の設置

掘削して出た発生土を自工区あるいは他工区の埋戻しに使用する場合，タイミングが合えば直接搬入できるが，ほとんどの場合，タイミングが合わないのが現状である．その問題を解決するために，グリーンラインの路線近傍に仮置場を3か所設け，掘削と埋戻しの“時間的ズレ”を解消し，建設発生土の有効利用を図っている．

4-1-2　建設発生土の鉄道輸送

グリーンライン建設工事で発生する土砂を，(独)都市再生機構が施行している埼玉県の越谷レイクタウンの造成現場へ運搬し，有効利用を図った．総量は約13万m^3で，その運搬方法は，費用面と環境への配慮から，ダンプトラック運搬ではなく日本貨物鉄道(株)との契約により鉄道輸送(梶ケ谷～越谷駅)で行っている．

4-1-3　建設発生土の需給調整

掘削により発生する土砂の供給量と埋戻しや盛土などにより必要となる土砂の需要量を把握するために，各工区の土砂量を月単位で総合的に一元的に管理し，資源として作業として無駄のない有効利用を図っている．

これらの取り組みにより，合計約38万m^3の有効利用を図ることができ，約500 t のCO_2削減と約20億円のコスト縮減も同時に達成することができた．

4-2　車両基地と遊水地の立体整備

都筑区川和町に建設している川和車両基地は，全体の広さが約6 haあり，当初の計画では原地盤に3 mの盛土を施して，その上に地下鉄の車両基地を設ける予定であった．平成13年9月に，神奈川県の遊水地と当車両基地を一体化し，立体整備を行うことで神奈川県と横浜市で合意し，車両基地の一部を盛土から人工地盤にすることとなった(図-10)．この立体整備により，土地の有効利用を図って社会的な無駄を省くとともに，神奈川県との費用負担により，建設費を縮減することができた．

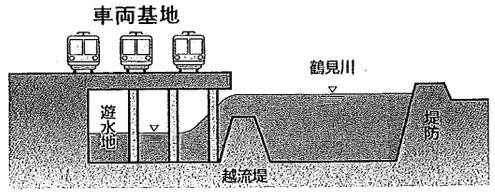


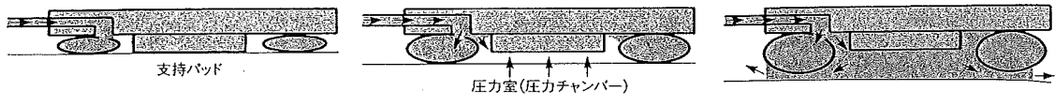
図-10　車両基地と遊水地の立体整備説明図

4-3　シールドのUターン施工

シールドトンネル区間で製作する機械は高価なものであるため，コスト縮減の一方策として，単線並列5区間のうち，センター北駅付近～北山田駅間(南山田工区)，北山田～東山田駅間(城山工区)の2区間のシールドトンネルで，シールド(重量　南山田：約230 t，城山：約210 t)のUターン施工を行った．ここで，東山田～高田駅間と高田～日吉本町駅間は，高田駅が到達立坑であり，3-1のとおり，高田駅のホームが上下2層構造であるため，また日吉本町駅～日吉駅間は，シールドトンネルから山岳トンネルへの切り替えを立坑なしで行うため，Uターン施工は行っていない．

Uターン方法としては，エアキャスターで浮上させる方法を採用した(図-11)．シールドが立坑に到達後，シールドを一部解体し，立坑中心まで引き抜き，ビットの点検・交換を行い，シールドを回転させ，再発進の位置に据える．シールドの回転，横引きの移動は，エアキャスターで浮上させたシールドを，立坑内に配置されたワイヤーと滑車をウインチにより引いて行った．回転架台は到達架台，再発進架台と兼用とし，キャスターの使用台数は南山田：8台，城山：6台であった．下床版コンクリート表面には，エアキャスターのチューブとコンクリートの摩擦による破損をなくすためにPEシートを敷いた．

到達から再発進までに要した日数は約2か月，エアキャスターでシールドをUターンさせるのに要したのは1日，掘削往復延長は，南山田：約2.8km，城山：約2.3kmであった．



作動前，エアキャスターは接地パッドにて支えられている．この接地パッドにてキャスターバックの押しつぶし損傷を防ぐ．

圧力をもった空気あるいは水を送り込むと，キャスターバックが膨張し，接地パッドが浮き上がる．

圧力室内の圧力が荷重を持ち上げられる状態になると，空気または水は床とキャスターバックの間から均等に逃げて行く．この時，床面とキャスターバックの間にできる流体膜の厚みは0.08～0.13㎜ほどである．

STEP1　　STEP2　　STEP3

図-11　エアキャスター説明図

5　工事期間中の広報活動

地下鉄工事は，都市部での大規模工事であるため，沿線の地元住民をはじめとする方々にご理解とご協力を得ながら進めていくことが不可欠である．そのため，開業を目指して建設工事を進める一方で，見学会・イベントの開催やPR看板の設置など，グリーンラインの広報活動を積極的に行って，正確な情報提供に努めてきた．

5-1　広報活動実施状況

5-1-1　見学会

工事の進捗にあわせて，工事中や工事完了後の現場を地元の住民の方々に見ていただく見学会を工区単位で開催している．見学会当日は，地下鉄グリーンラインや建設工事に関する各種資料の配布やパネル展を行って，正確な情報提供と工事に対するイメージアップを図っている．また，交通局イメージキャラクター「はまりん」のグッズ販売や大道芸を一緒に行ったりして，参加者が楽しく満足していただけるように配慮している．多いときでは，一回の見学会で，2,000人以上の方々にお越しいただいている(写真-4)．

また，町内会や学校，行政機関など各種団体からの見学会の要請に対しては，積極的に受け入れている．その際には，見学者が何に興味があるか事前に検討し，見学ルートやパワーポイントによる説明内容を工夫したり，専門用語をわかりやす

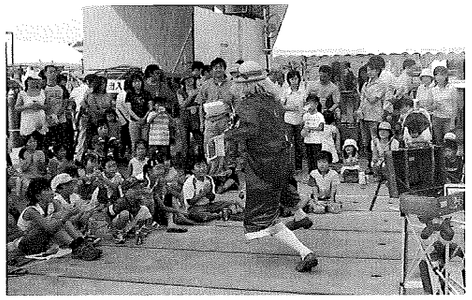


写真-4　見学会の状況

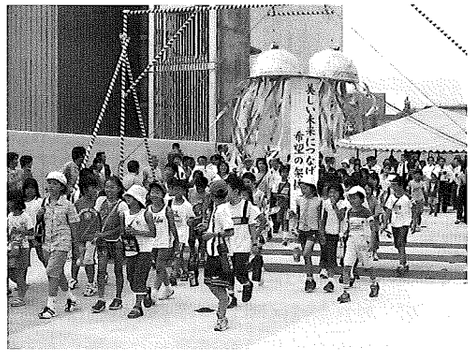


写真-5　イベントの状況

く説明したりして，見学者の理解がより一層深まるよう心掛けている．

平成19年10月末現在の総見学者数は約46,000人で，開業までに5万人の方々に見学していただくことを目標としている．

5-1-2　工事説明会

工事着手前に行う工事説明会のほかに，工事内容に変更があった場合や地元町内会などからの要請があった場合にも，説明会を開催し，工事に対する理解を得たうえで工事を進めるようにしている．

5-1-3　イベント

工事着手時の起工式やシールドの到達式のほかに，工事期間中の住民の方々の工事へのご理解・ご協力に対する感謝の意を込めて，高架橋完成時の『渡り初め』やトンネル完成時の『トンネルウォーク』などの記念イベントを開催している．おかげさまで，これらの記念イベントには多くの方々にご興味を持ってご参加いただき，盛大に執り行うことができた(**写真-5**)．

また，区民まつりなどの地元主催イベントにも積極的に参加し，パネル展やグッズ販売などで広報活動を展開している．

5-1-4　PR看板

センター南・センター北駅や中山駅など主要駅には，PR看板を設置して，通勤通学途中などにもグリーンラインに関する情報に気軽に触れられるようにしている．その内容は，路線図や駅概要のほか，工事の進捗状況や写真，トピックスをあわせて掲載し，住民の方々に興味ある内容となるように心掛けている．

5-2　実施効果

広報活動の実施効果としては，以下のとおりである．

① 工事に対するご理解・ご協力を得る．
② 開業への期待を高める．
③ 住民の方々と職員・施工業者の交流が深まる．
④ 親切・丁寧な対応によりイメージアップが図れる．
⑤ 個々の対応により職員のプレゼン能力が向上する．
⑥ コスト縮減・環境対策などの取り組みをアピールできる．

これら広報活動が，工事あるいは交通局全体に対する更なる信頼獲得につながり，皆様に市営交通(地下鉄，バス)のサポーターとなっていただけることを期待している．

6　おわりに

グリーンライン建設工事は，これまで，地元関係者や地権者，各関係機関のご理解とご協力に支えられて，いろいろな困難を乗り越えながら工事を進めてきたところである．平成20年3月末にグリーンラインを無事に開通させることが，皆様への最大の恩返しと考えており，残りの数箇月の間，交通局職員と施工業者が一丸となって，全力で取り組んでいく決意である．

研　究

小口径長距離トンネル工事用の換気ダクトの開発

—漏風量と圧力損失を低減したビニル風管—

鹿島建設(株)技術研究所先端・メカトロニクスグループ上席研究員　廣　山　　浩
大成建設(株)技術センター土木技術研究所部長　川　上　　純
鹿島建設(株)機械部技術3グループ次長　白　井　俊　輔
大成建設(株)機械部機械技術室次長　松　本　三千緒

1　はじめに

大都市部では，上下水道・電力・鉄道・道路などのインフラを整備するのに，錯綜する地上部を避け，また交通渋滞緩和，環境保全などを考慮し，従来からシールド工法によるトンネルの構築が行われてきた．

各トンネルの幹線網が整備され，支線の整備を行うことからトンネル断面の小口径化，施工技術の進歩と経済的な観点から長距離化が進んでいる．

小口径長距離トンネルの換気設備計画を既存の風管を用い，『ずい道等建設工事における換気技術指針』[1](以下，「換気指針」と呼ぶ)に則して行うと，一般にトンネル工事用として使用されている従来の風管では，圧力損失や漏風量が大きくなり，現実的でない大型換気ファンが必要となる．また，通常恒久的な設備に採用される圧力損失や漏風量が小さな鋼製風管および継手を用いると，とくに長距離の場合，コストが高いうえ，鋼製であるために取り扱いや保管などに問題がある．

そこで，安価で取り扱いの容易なビニル風管に着目して，圧力損失と漏風を抑えた新型風管を開発し，実工事に一部適用してその性能を評価し，実用性を確認した．

2　従来型風管の課題

既存のビニル風管は，定尺物10mの風管をファスナでつなぐ方式である．ファスナ部には**写真-1**および**図-1**に示す『スカート』と呼ばれる筒状の布を継手部の内側に取り付け，風管内を空気が流

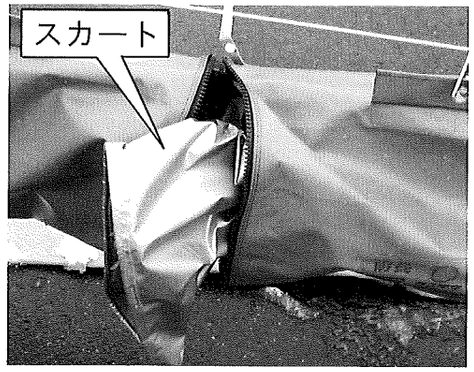


写真-1　従来型風管の継手部

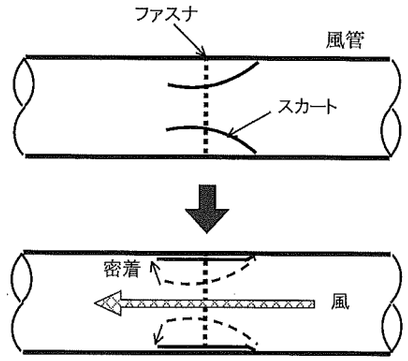


図-1　従来型風管継手部の構造

れることでスカートが風管内面に密着して漏風が低減する．

しかし，この方法では完全に漏風を防止することはできず，また曲線部で風管内の風が一様でなくなったり，長年の使用で布が劣化してスカートが風管に密着せずに，漏風が増大する場合がある．

また，長距離シールドにおいては，風管の定尺物を50mとして継手部を減らすことにより漏風を低減させる，いわゆる『長尺風管』が用いられる場合がある．

しかし，スカート部からの漏風についての問題点は解決されたわけではなく，また『カプセル』と称する治具に長尺風管をセットする手間やストックする場所の確保が必要などの問題点がある．

さらに，トンネルにおける換気計算の基準となる，換気指針にもとづいて換気計画を検討する場合，従来のビニル風管では換気可能距離に制限がある．

例えば，トンネル内径２mで可燃性ガスの危険度ランクⅠ(ガス爆発の恐れがある場合)では，坑内風速を0.3m/sec以上，すなわち換気量を57m³/min以上にする必要がある．

この換気量を確保するためには，従来のビニル風管(定尺物10m)では，距離550mで漏風量が103m³/minとなり，ファン風量が160m³/min必要となり，既存の換気ファンの容量を超える．

また，長尺風管(定尺物50m)では，圧力損失と漏風によるファン圧力増加のため，距離1,400mで一般に使用されるビニル風管の耐圧20kPaを超える．

なお，上記の試算には，圧力損失係数は$\lambda=0.04$，漏風係数は$\alpha=20$を使用した．

以上の試算のように，おおむね1,500mを超える長距離トンネルで従来型風管を使用する場合，主に漏風量の制約から中継ファンの設置が必要である．

したがって，小口径トンネルで中継ファンの設置ができない場合には，ビニル風管は使用できない．

そこで，従来型風管の問題点である継手部の漏風量を極力低減させることにより，最大送風距離を伸ばすことを目標として新型ビニル風管の開発を行った．

3 新型風管継手の構造

新型風管継手の構造を図-2に示す．接続部にはウエットスーツなどに使用されエレメント(歯)の嵌合部の気密性を高めた防水ファスナを使用した(写真-2)．

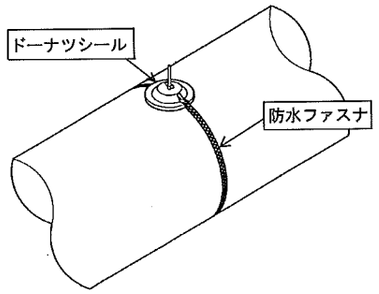


図-2　新型風管継手の構造

写真-2　防水ファスナ

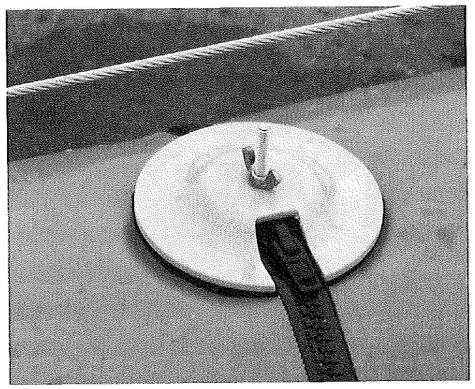


写真-3　ドーナツシール

また，ファスナの始端―終端部の隙間部分は，上下２枚の円盤型部材にドーナツ状のパッキンを取り付けた『ドーナツシール』で挟み込むことにより，気密性を確保した(写真-3)．

この方式により，従来型風管にあるスカートを省略することができる．また，曲線部における風管の変形や経時劣化による漏風量増大がしにくい構造となっている．

4 新型風管の継手部の漏風

4-1　新型風管の漏風実験

新型風管の継手部からの漏風量を測定するために，以下の３種類の実験を行った．

① 継手部１か所の室内実験(風管：φ0.3m×2m)

② 継手部６か所の屋外実験(風管：φ0.3m×52m)

③ 継手部５か所の屋外実験(風管：φ0.6m×40m)

図-3は，①の室内実験装置を示したもので，直径0.3mで片端を密閉した長さ１mの風管２本を新型風管継手で繋いだものに，コンプレッサで加圧するものである．

実験は，コンプレッサで風管内の内圧を上げた後，コンプレッサを止め，風管内の内圧減少の経時変化を測定して，内圧と漏風量の関係を求めた．

②および③の屋外実験は，継手が複数箇所ある場合の実験である．実験は，基本的には室内実験と同じ方式で行い，全体の漏風量から継手部１か所あたりの平均的な漏風量を求めた．

なお，風管内の初期内圧は，実験①は25kPa，実験②は20kPa，実験③は10kPaとした．写真-4に屋外実験の様子を示す．

風管の容積をV_0，大気圧をP_aとし，単位時間あたりの風管内の内圧の減少量をΔhとすると，単位時間あたりの漏風量qは，式(1)から求めることができる．

$$q=\frac{V_0}{P_a}\Delta h \qquad (1)$$

図-4は，屋内実験における風管内圧の測定結果の一例である．この測定値から，式(1)を用いて各内圧時の漏風量を求めると，図-5となる．

図-6は，①～③の実験から求めた継手部１か所あたりの漏風量を示したものである．屋外実験では，太陽光の影響による温度変化のため，データにバラツキがみられたが，３種類の実験の漏風量はほぼ同程度となっていた．

また，風管径0.3mと0.6mの風管の漏風量が同程度であり，風管径に依存していない．これは，実験状況の観察によると，ファスナ部からの漏風

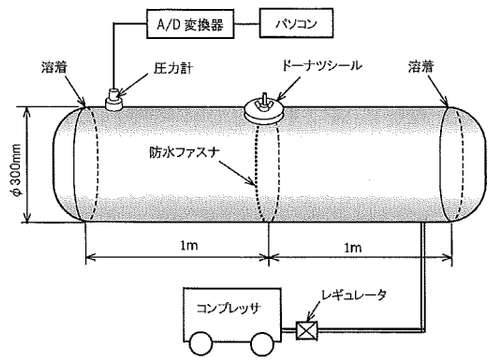


図-3　室内漏風実験の概要



写真-4　φ0.6m風管の屋外実験状況

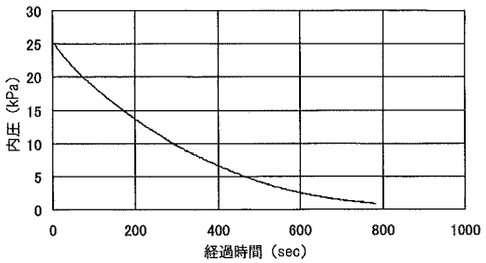


図-4　室内漏風実験での風管内圧の経時変化

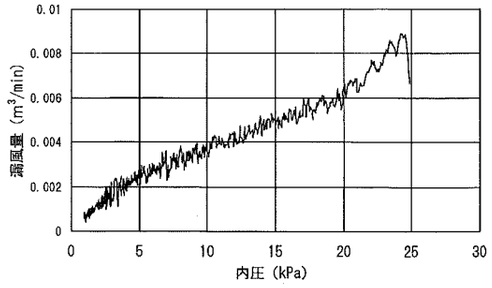


図-5　室内漏風実験での内圧と漏風量との関係

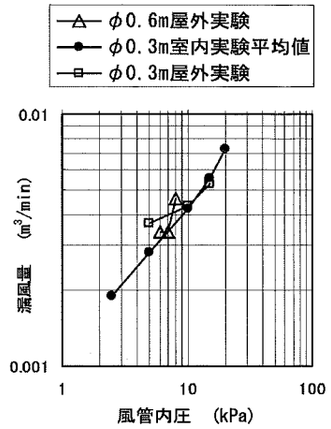


図-6　風管内圧と漏風量の関係

はほとんどなく，大部分はドーナツシール部からの漏風と考えられる．

図-5から，平均的な漏風量を求めると式(2)となる．

$$q=0.0011h^{0.63} \qquad (2)$$

ここで，qは継手部1か所あたりの漏風量(m³/min)で，hは風管の内圧(ゲージ圧，kPa)である．

4-2　換気指針との比較

換気指針では，継手部1mあたりの漏風量q_0は式(3)で計算している．

$$q_0=\alpha\cdot h\cdot 10^{-2} \qquad (3)$$

ここで，hは内圧で，αは漏風係数である．ファスナ式樹脂加工布風管の場合，安全率を3倍とって，$\alpha=20$としている．

実験で求めた式(2)と換気指針の式(3)について，各内圧時の漏風量を計算したものを**表-1**に示す．

なお，実験式(2)で安全率を3とした場合の値も示した．表-1からわかるように，新型風管継手部の漏風量は，換気指針の約1/100となっている．

表-1　換気指針($\alpha=20$)と実験式との比較

内圧(kPa)	漏風量(m³/min)		
	換気指針	実験式(2)	実験式(2)(安全率3)
1	0.19	0.0011	0.0033
2.5	0.47	0.002	0.0059
5	0.94	0.003	0.0091
7.5	1.41	0.0039	0.0117
10	1.88	0.0047	0.0141
15	2.83	0.0061	0.0182
20	3.77	0.0073	0.0218

直径0.3mの風管の継手部の長さは約1mであるので，新型風管継手の換算漏風係数αを，換気指針の式(3)から求めると，安全率を3とした場合，内圧10kPaでは$\alpha=0.14$となる．

新型風管継手部における漏風の大部分はドーナツシールからである．したがって，漏風量は風管の径によらず一定であると考えられるので，風管の直径が0.3mより大きい場合には，αは0.14よりも小さい値となる．

5　風管の実大実験

5-1　実験方法

新型風管(定尺物10m)を11本接続した110mのダクトにおいて，ブロアで連続的に送気する実大実験を行い漏風量と圧力損失の測定を行った．従来型風管についても，同様に測定を行った．

図-7に実大実験における圧力の測定位置を，**写真-5**に実験状況を示す．測定点は，動圧が安定している送風機から50mの位置P_1と100mの位置のP_2とした．

平均風速は，P_1，P_2各点で水平方向4か所，鉛直方向4か所での動圧を測定して風速を求め，それから平均風速を求めた．圧力損失については，P_1とP_2間の静圧の差圧を直接測定して求めた．また，動圧および静圧の測定は，ピトー管と差圧計により行った．

5-2　漏風の測定結果

漏風は，P_1とP_2の風速から風量を計算し，2点間の風量の差から算出した．

従来型風管の漏風量の測定結果を**図-8**に示す．また，図には換気指針の計算式で$\alpha=20$とした値と新型風管の実験値も同時に示した．漏風量は内圧とともに増加するが，換気指針の計算値の約半分であった．

また，新型風管の場合，P_1とP_2の静圧差が，微差圧計の測定限度以下であり，漏風が極めて少なかった．

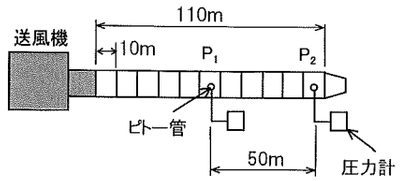


図-7　実大実験における圧力の測定位置

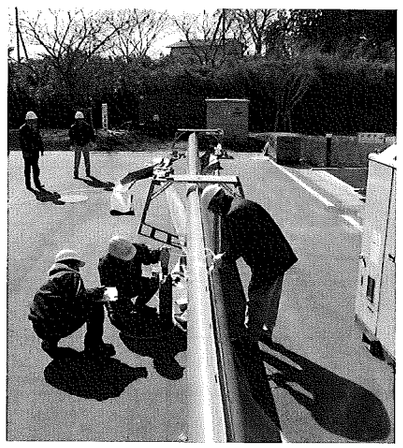


写真-5　φ0.3m風管の屋外実験状況

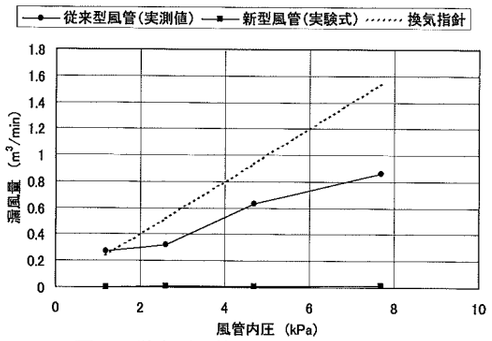


図-8　従来型風管の漏風量の測定結果

5-3　圧力損失係数の測定結果

表-2および**図-9**に圧力損失係数の測定結果を示す．従来型風管および新型風管とも，風速が速くなるほど圧力損失係数は小さくなる傾向を示している．新型風管の圧力損失係数は0.014～0.016と，従来型風管の圧力損失係数0.019～0.021よりも小さくなっていた．

実験で使用した従来型風管および新型風管ともに風管の生地は同じなので，圧力損失の差は継手部で生じていると考えられる．

従来型風管では風管内部にスカートがあるため，新型風管よりも圧力損失が大きくなったものと解釈できる．

小口径風管では，風速は15m/sec程度が多いが，

表-2　圧力損失係数測定

種類	風速(m/s)	圧力損失係数 λ
新型風管	9.48	0.0159
	13.91	0.0149
	18.35	0.0145
	23.03	0.0131
従来風管	9.56	0.0205
	14.20	0.0205
	18.56	0.0200
	23.14	0.0186

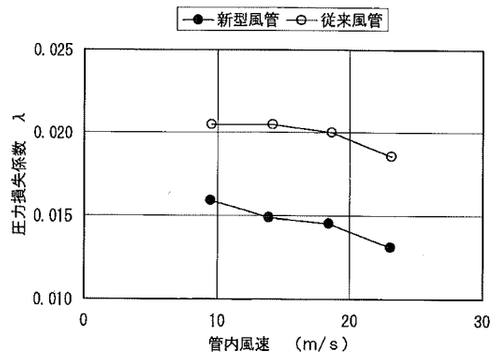


図-9　圧力損失係数の測定結果

この時のレイノルズ数Reは，風速15m/sec，風管径D_d=0.3m，動粘性係数ν=1.51×10^{-5}m^2/secとすると，

$$Re=V\times D_d/\nu=3\times10^5$$

となる．このReの値を式(4)ムーディの提案式に代入して圧力損失λを計算すると，λ=0.014となる．

$$\lambda=0.0055\times\left\{1+\left(20{,}000\times\frac{\varepsilon}{D_d}+\frac{10^6}{Re}\right)^{1/3}\right\} \quad (4)$$

$$=0.014$$

ここで，εは絶対粗度(m)，D_dは風管の直径(m)である．

実測値のλ=0.014～0.016は，式(4)のムーディの提案式による計算値とほぼ同程度の値となっている．

6 実工事適用実験

実験から新型風管が良好な耐漏風性能を有することが確認できたため，実工事への適用実験を行った．

都内の4m級シールドトンネル工事において風管径0.6m，長さ10mの風管11本(計測区間100m)を2区間に設置し，各計測区間について漏風性能，設置作業性などを検証した(**写真-6**)．また，比較のため，同時に従来型風管の100m区間についても測定した．

漏風量の測定は，ピトー管により100m間の風速の差から求めたが，風管内の静圧が0.5～2kPaと低いため漏風が少なく計測限界値以下であった．

圧力損失係数の測定は，風速および100m間の差圧を測定して求めた．また，風管の先端を解放させた場合と絞って風速を低減した場合について測定した．

新型風管の圧力損失係数は，**表-3**および**図-10**に示すように0.0133～0.0142と従来型風管の値よりもやや小さくなっており，室内実験とほぼ同様の値となった．

換気指針において，ファスナ式樹脂加工布風管(ビニル風管)では，膨らみが一定でない箇所が生じることを考慮して，ムーディの提案式の約3倍の値を圧力損失係数(λ=0.04)としている．しかし，新型風管は，風管内部にスカートがないことと耐圧性を高めるために今回の実験で採用した風管の生地は繊維を網目状にして，従来型風管に比べて膨らみを抑える構造になっており，圧力損失をより低減できるものである．実工事実験で計測した圧力損失係数もλ=0.014程度であった．



写真-6　実工事適用実験状況

表-3　実工事適用試験での圧力損失係数

測定箇所	条　件	平均風速 (m/s)	100m間の差圧 (Pa)	圧力損失係数λ
新型風管区間 1	先端開放	15.68	325	0.0133
	先端絞り	8.41	100	0.0142
新型風管区間 2	先端開放	16.17	350	0.0136
	先端絞り	11.22	170	0.0136
従来風管	先端開放	16.34	380	0.0144
	先端絞り	11.01	170	0.0141

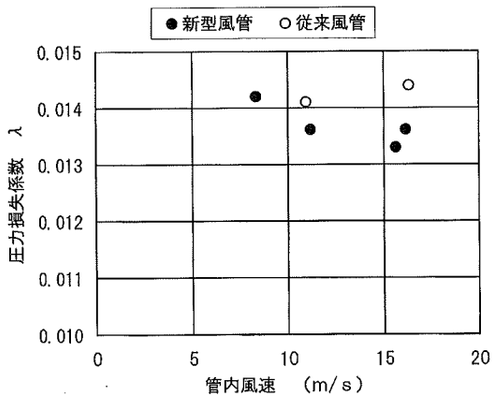


図-10　風速と圧力損失係数の関係(実工事適用実験，φ0.6m風管)

したがって，新型風管では，実用上の圧力損失係数としてλ=0.02程度を考えればよいと考えられる．

なお，新型風管の設置作業性について実際に作業を行った作業員に聞き取り調査した結果，「従来型風管に比べてドーナツシールを設置する工数は若干増えるものの作業自体大差ない」との意見であった．

7 ま　と　め

新型風管に関する一連の実験を通じて以下のことが確認できた．

① 実験から新型風管の漏風量の計算式として，以下の式が得られた．

$q_0=\alpha\cdot h\cdot10^{-2}$

新型風管は従来型風管に比べ，漏風量が1/100と，良好な性能を有することがわかった．

② 圧力損失係数は，従来型風管よりも小さく，直径0.3mの風管では0.015程度であり，実用上はλ=0.02として良いと考えられる．

③ 実工事適用実験から，風管設置作業性などは従来型風管と同程度であり，問題ないことがわかった．

新型風管は内空断面が小さく，かつ長距離トンネルの工事において中継ファンの設置に困難を来す場合での適用がとくに有効であると考える．

特殊な継手を使っているため，従来型風管に対しコストは多少増す．しかし，従来型風管で中継ファンを設置していた事例においても，ファンを省略でき，あるいはファンの容量を低減できるため，トータルの設備費を抑制することが期待できる．また，漏風量が大幅に減少するので，ファンの使用電力量が大幅に低減され省エネに寄与できるものと考える．

今後は，積極的に工事への適用を図り，性能を確認するとともに，継手部構造の見直しなどによりコストダウンを図り，より広く受け入れられるようにして行きたい．

本風管の開発では，(株)アクティオの小林正治氏および(株)谷沢製作所の堀内正好氏に多大なるご協力をいただき，ここに感謝の意を表します．

また，開発当初より貴重なご意見をいただいた横田依早彌氏に感謝の意を表します．

参　考　文　献

1) 建設業労働災害防止協会：改訂ずい道等建設工事における換気技術指針，2002.3.12.

『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)



関門トンネルの立坑を探る(3)

■関門トンネルと小森江出張所

関門トンネルの工事のうち，門司方の坑外設備は，大瀬戸を挟んで弟子待の対岸に位置する小森江に小森江出張所が設置された．小森江の作業基地は，弟子待に比べて平坦な地形に立地したため，敷地にもゆとりがあり，ほとんどの坑外設備は鹿児島本線の東側と国道３号の間に設けられた．残念ながら，前回紹介した関門トンネルの絵葉書は，下関方の写真が中心で，門司方の坑外設備の写真はないが，当時の平面図によれば，出張所事務室，砂利置場，動力所，セメント倉庫，修理工場，鍛冶工場，製罐工場，保健所，コンクリート試験室などが存在した(**図-1**)．

このうち動力所は，シールド工事に用いる低圧圧縮空気と，削岩機，注入機，圧気工法(潜函工法を含む)などに用いる高圧圧縮空気を発生させるための設備で，このほか水圧設備，調圧室などを合わせて１か所に集中させた鉄骨造の建物であった．その面積は，約1,080m²に及び，上屋のある坑外設備としてはもっとも大きかった．

小森江出張所長には，丹那トンネルの工事でも活躍した有馬宏が着任し，のちに高坂紫朗がこれを継いだ．

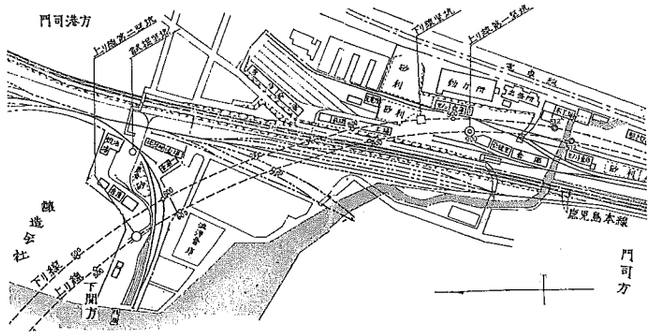


図-1 小森江の設備平面図(『関門隧道』運輸省(1949)より)

■小森江方試掘立坑を訪ねる

門司方の試掘立坑は，鹿児島本線の西側に現存し，小森江駅で下車して国道199号線を渡った道路脇に建っている．海岸沿いにあるニッカウヰスキー門司工場(旧・協和発酵門司工場で，のちにアサヒビールグループとなってアサヒ協和酒類製造と称した時代もあったため，今も「Asahi」の看板が残る)をめざして行けば，徒歩数分でたどり着く．もっとも立坑自体は看板も何もないので，予備知識がなければうっかり見過ごしてしまいそうになるが，注意して見ると，建物の傍らに沈殿池があり，北側に隣接して昇降機の櫓があるので，トンネル工事を経験した方なら，すぐにそれとわかるはずだ(**写真-1**)．

この立坑は，試掘坑のために設置されたもので，本坑の中心線からやや北に外れた位置にあり，内径4.2m，深さ46mという規模である．現在も昇降機を利用できる唯一の立坑として用いられており(弟子待方の試掘立坑は階段のみ)，試掘坑を利用したトンネルの排水設備も併設され，関門トンネルの機能を維持するための重要な施設として今も現役である．



写真-1 小森江方の試掘立坑

■駅前駐車場に残る本坑立坑の跡

鹿児島本線・小森江駅の東側にある駐車場には，コンクリートでできた蓋のような奇妙な構造物が２か所に残っているが，このうち北側の構造物が下り線本坑の立坑，南側の構造物が上り線本坑の第一立坑の跡である．

下り線本坑の立坑は，シールド工法区間の発進用として設けられたもので，シールド掘削機の搬入，組立はもとより，隔壁を構築するための大型材料の仮置スペースを確保するため，内空９m×10mの矩形断面を用い，深さは24mとした．現地の構造物が蒲鉾形であるのもそのためで，飛行機の格納庫のような特異な姿が特徴となっている(**写真-2**)．

立坑の構造は鉄筋コンクリートで，潜函工法により施工された．関門トンネル以前にシールド工法を適用した羽越線・折渡トンネル(1919(大正８)年)，東海道本線・丹那トンネル(1926(大正15)年)は，いずれも本坑からシールド掘削機を搬入しているので，関門トンネル下り線の立坑は，わが国最初のシールドトンネル用の立坑ということになる．掘削機は，1938(昭和13)年11月より立坑内で組み立てられ，翌年６月に掘削作業を開始したが，落盤や湧水，漏気などに難渋し，セメント注入やクレイブランケットによる海底部の被覆などの対策工によってこれを克服した．シールドは下関方へ725.8mの区間を掘削して1941(昭和16)年４月にその役割を終えた．

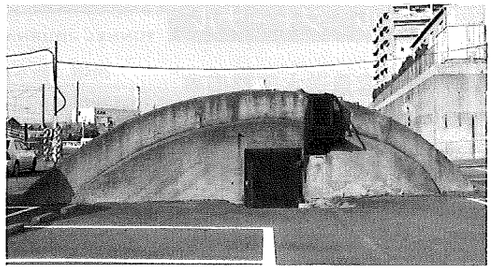


写真-2 駅前駐車場に残る下り線本坑の立坑跡(シールド工法の立坑としてはわが国最初)

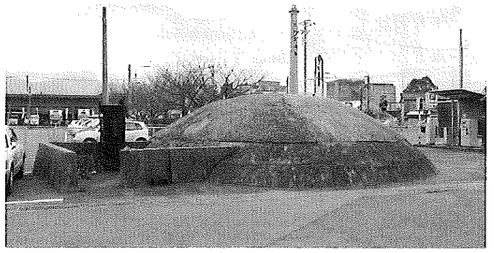


写真-3 駅前駐車場に残る上り線本坑の第一立坑

一方，上り線本坑の第一立坑は，圧気工法区間の始点として設けられ，内径7.0m，深さ16.3mという規模であった．円形の立坑であったため，こちらはお椀を逆さにしたような円形のコンクリートで覆われている(**写真-3**)．なお，上り線には，試掘立坑の近傍に第二立坑も設けられ，シールド掘削機の搬入，組立用に用いられたが，現在では撤去されて跡形もない．

小森江駅の駐車場にある下り線本坑の立坑からは，地底を通過する列車の走行音が列車風とともに轟き，この施設がまぎれもなく関門トンネルの一部であることを実感できる．

≪訂 正≫

前号で弟子待出張所長を「吉田朝次郎」，「高坂紫朗」と記したが，「高坂」は小森江出張所長で，弟子待出張所長は「加納倹二」，「萩野璋太郎」，「坂本貞雄」が歴任した．

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

神戸市大容量送水管整備事業シールドトンネルが貫通

神戸市が建設を進めている大容量送水管整備事業のうち，布引工区，石屋川工区のシールドが貫通した．

布引工区は，平成15年８月から進められ布引立坑から発進したシールドが，王子立坑に到達．その後，平成16年６月に着手した石屋川工区のシールドが石屋川立坑から住吉川立坑に到達した．

この事業は，第Ⅰ期計画として芦屋市境から奥平野浄水場までの延長12.8kmに，直径2.4mの送水管を整備するもの．このうち芦屋市境から住吉川立坑については2002年度に完成．残る区間を，石屋川工区，王子工区，布引工区，奥平野工区として平成24年度の完成を予定している．

東九州道の津久見～佐伯間の４トンネルが貫通

西日本高速道路大分工事事務所の整備する東九州自動車道・床木トンネル(上り408m，下り452m)が貫通し，津久見～佐伯間(約13km)にある４トンネルがすべて貫通した．

津久見～佐伯間の４トンネルは総延長約4.8km．全体の約38%を占める．津久見トンネル(1,085m)，西ノ内トンネル(734m)，尺間トンネル(2,593m)はすでに貫通しており，床木トンネルだけが残っていた．同区間はトンネルのほか，橋梁が17か所4.1kmと構造物が全体の７割程度を占め，東九州自動車道のなかでも構造物の多い区間．

大政山トンネル貫通

東日本高速道路宇都宮工事事務所と水戸工事事務所が整備中の北関東自動車道大政山トンネルの貫通式が行われた．

茨城，栃木両県を結ぶ同トンネルは茨城県桜川市，筑西市を経て栃木県二宮町に至る延長約1.6km．

北関東自動車道はひたちなか市と群馬県高崎市を結ぶ総延長約150kmの高速道で，同トンネルのある真岡IC～桜川筑西IC間は，2009年11月に開通の予定．

中之島線トンネル全線貫通来年開業

京阪電鉄の天満橋駅(大阪市中央区)と大阪国際会議場(同市北区)を新たに地下で結ぶ中之島線工事のうち，最後の区間となっていた，なにわ橋～大江橋のシールドが貫通，大江橋立坑に到達したことにより，全線がつながり，除幕式が行われた．

平成20年度の開業に向け，今後，設備工事などが急がれる．

中之島線は大阪国際会議場前から京阪天満橋駅までの約2.9kmの区間で，中野島駅・渡辺橋駅・大江橋駅・なにわ橋駅の４駅を設置．

工事は７工区に分け，シールド工法は，駅間の４工区で，中之島～渡辺橋，渡辺橋～大江橋，大江橋～なにわ橋，なにわ橋～天満橋で採用．開削工法が，駅部および切替え部で実施された．

東海北陸自動車道の全通が遅れる見通し

NEXCO中日本が建設を進めてきた東海北陸自動車道の飛騨清見IC～白川郷IC間について，これまで予定していた2007年度内の開通を，2008年７月ごろへと遅らせる見通しとなった．

今年１月の飛騨トンネル貫通以降も，想定し得ない新たな事象が発生するなどしたため．

開通が遅れる理由としては，①本坑貫通後，貫通点付近での崩落や，すでに掘削を終えた坑内の壁面が膨らむなどの変状が発生し，その対策に時間を要した，②換気坑と本坑の接続する位置が地山の悪い部分だったため接続位置を変更し，換気坑を当初よりも約80m余分に掘削する必要が生じたうえ，地山が堅固で湧水もあったため，施工に時間を要した，③TBMで掘削した区間での非常駐車帯の切り拡げ工事において，トンネル内の換気の条件が悪く，施工機械を工期短縮を可能とする十分な配置ができなかった，などを挙げた．

平成19年12月22日(土)16時中央環状線開通

首都高速道路が整備を進めてきた，首都高速中央環状線のうち，新宿線と池袋線を結ぶ延長6.7km区間(トンネル名称：山手トンネル)が，平成19年12月22日(土)16時に開通する．

この開通により，中央道と大宮方面・東北道・常磐道が中央環状線で接続される．

開通により，①都心環状線を通らない放射道路の利用が可能，②首都高速の推定渋滞が約２割削減，③時間短縮などによる年間約930億円の経済効果，④走行速度，時間の改善により排出ガスが削減，また低濃度脱硝設備の換気所への導入により環境負荷が軽減，などの整備効果が期待される．

「環境・社会報告書2007」発行

横浜ゴムは，横浜ゴムグループの活動を，環境，社会，経済的側面から総括的に紹介した2007年度版の環境・社会報告書を発行した．

本年度は，「地球温暖化防止に向けた取り組みの紹介」などに重点を置き，トラック・バス用タイヤ，多孔質弾性舗装材などの環境貢献商品の開発などを紹介している．

報　告

新潟県中越沖地震における鉄道トンネル被害

—信越本線　米山～柏崎間—

東日本旅客鉄道(株)建設工事部構造技術センター主席　齋藤　貴
東日本旅客鉄道(株)設備部次長　向山路一
東日本旅客鉄道(株)上信越工事事務所中越沖地震震災復旧事務所所長　田口芳範

1 はじめに

2007年７月16日10時13分ごろ，新潟県上中越沖を震源とするM6.8の地震が発生した．気象庁は，この地震を「平成19年(2007年)新潟県中越沖地震」(英語名：The Niigataken Chuetsu-oki Earthquake in 2007)と命名した(図-1)．この地震により，住宅全壊993棟，住宅半壊3,286棟などの被害(８月27日16時00分現在：総務省消防庁調べ)に加え，柏崎刈羽原子力発電所をはじめ，道路や鉄道構造物などにも大きな被害を生じた．

本稿では，今回の地震発生を受け，信越本線米山・柏崎間の８トンネルについて行った被害状況調査および被災したトンネルに関する復旧方針について報告するものである(表-1)．

2 被害状況

調査を行った８トンネルのうち，今回の地震により比較的顕著な被害を受けたトンネルは，本震震央(北緯37度33.4分，東経138度36.5分)から約30km圏内の第一米山トンネル，第二米山トンネル，第三笠島トンネル(上下)の３トンネルであった．

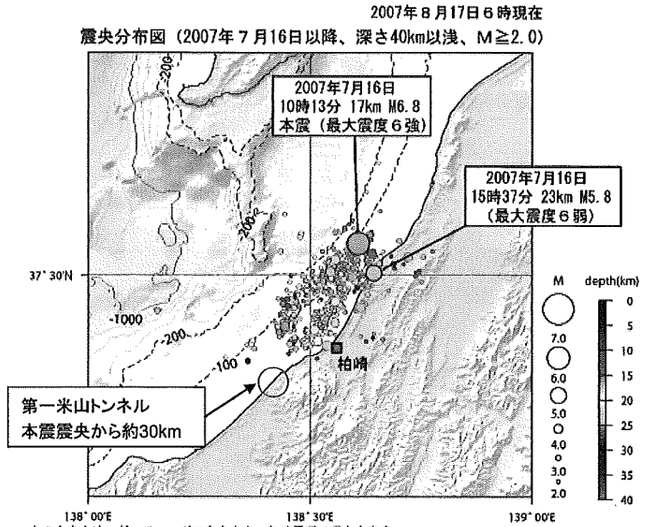


図-1　新潟県中越沖地震震央分布図(出展：気象庁ホームページに加筆)

表-1　被害状況調査トンネル一覧

No.	トンネル名称	駅間		線別	延長
1	第一米山トンネル	米山	笠島	上下	1,263m
2	第二米山トンネル	米山	笠島	上下	1,397m
3	第一笠島トンネル	笠島	青海川	上下	382m
4	第二笠島トンネル	笠島	青海川	上下	232m
5	第三笠島トンネル	笠島	青海川	上	375m
				下	375m
6	青海川トンネル	青海川	鯨波	上下	610m
7	鯨波トンネル	青海川	鯨波	上下	140m
8	大久保トンネル	鯨波	柏崎	上下	180m

主な損傷状況は，トンネル軸方向に連続的な圧ざ，覆工コンクリートせん断ひび割れに伴う一部覆工コンクリートの剝落，側壁コンクリートの損傷，坑門コンクリート既変状箇所の目開きなどであった(表-2)．

なお，3トンネルに共通の軽微な損傷として，アーチと側壁せめ部の後埋めモルタルや覆工打継ぎ目の剝落が見受けられた．また，地震発生前には確認されなかったせめ部，覆工打継ぎ目からの新たな漏水も一部で発生していた．

以下に，比較的顕著な損傷を受けた3トンネルについて，各トンネルごとの損傷状況を述べる．なお，各トンネルの諸元などは財産図にもとづく情報として示す．

2-1　第一米山トンネル

第一米山トンネルは，米山駅～笠島駅間において，代表地質が軟質砂岩，土かぶり約66m，導坑先進上部半断面工法で施工され，1968年にしゅん功した延長1,263mの在来線複線断面トンネルである．第一米山トンネル付近の航空写真を図-2に，第一米山トンネル縦断図を図-3に示す．

表-2　トンネル損傷状況

No.	トンネル名称		キ ロ 程		主 な 損 傷 状 況
1	第一米山トンネル		24k569m	24k686m	天端部の圧ざ，アーチ肩部せん断ひび割れ，側壁コンクリート損傷など
			25k316m	25k327m	アーチ肩部圧ざなど
2	第二米山トンネル		26k183m	26k193m	アーチ両肩部軸方向ひび割れ
			27k163m	27k178m	側壁コンクリート上部剝落など
5	第三笠島トンネル		28k930m付近		坑門コンクリート既補修箇所目開きなど
		上	28k930m	28k938m	食い違い，目開き
			28k938m	28k949m	側壁折れ込み
		下	29k060m付近		天端山側に一部浮きおよびひび割れ

2-1-1　24K569m～24K686m

この区間については，天端部に連続的に圧ざが発生し覆工コンクリートの一部(落下片：幅約30～60cm×厚さ約20cm程度)が剝落した．また，24K600m付近では，とくに損傷が激しく，天端部の圧ざ，アーチ肩部での覆工コンクリートのせん断ひび割れに伴う損傷，側壁部の損傷などが発生した(写真-1～3)．

損傷を生じた区間のトンネル上部においては大規模な斜面崩壊が発生した．斜面の露頭部から地層構造を確認すると，海側への流れ盤構造となっていた(写真-4)．

【当該区間トンネル諸元】

掘 削 工 法：導坑先進上部半断面
覆工巻き厚：60cm(無筋)
インバート：なし
支　保　工：175H ctc1.2m
地　　質：直江津方より玉石混じり泥岩，砂利混じり砂岩の境界部を含む
土 か ぶ り：約31m

2-1-2　25K316m～25K327m

この区間については，軟質砂岩と破砕状安山岩の地質境界付近であり既変状(アーチ部に複雑なひび割れ)が生じているとともに，漏水箇所でもある．

損傷状況は，下り線側天端部で圧ざが発生し，覆工コンクリートの一部が剝落した(写真-5)．

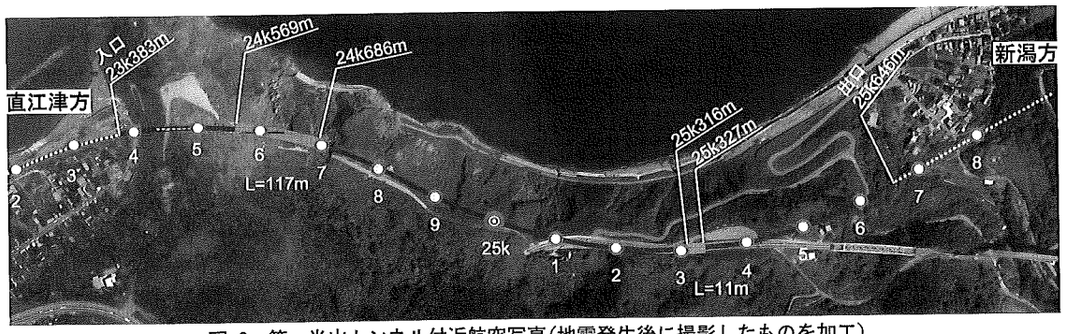


図-2　第一米山トンネル付近航空写真(地震発生後に撮影したものを加工)

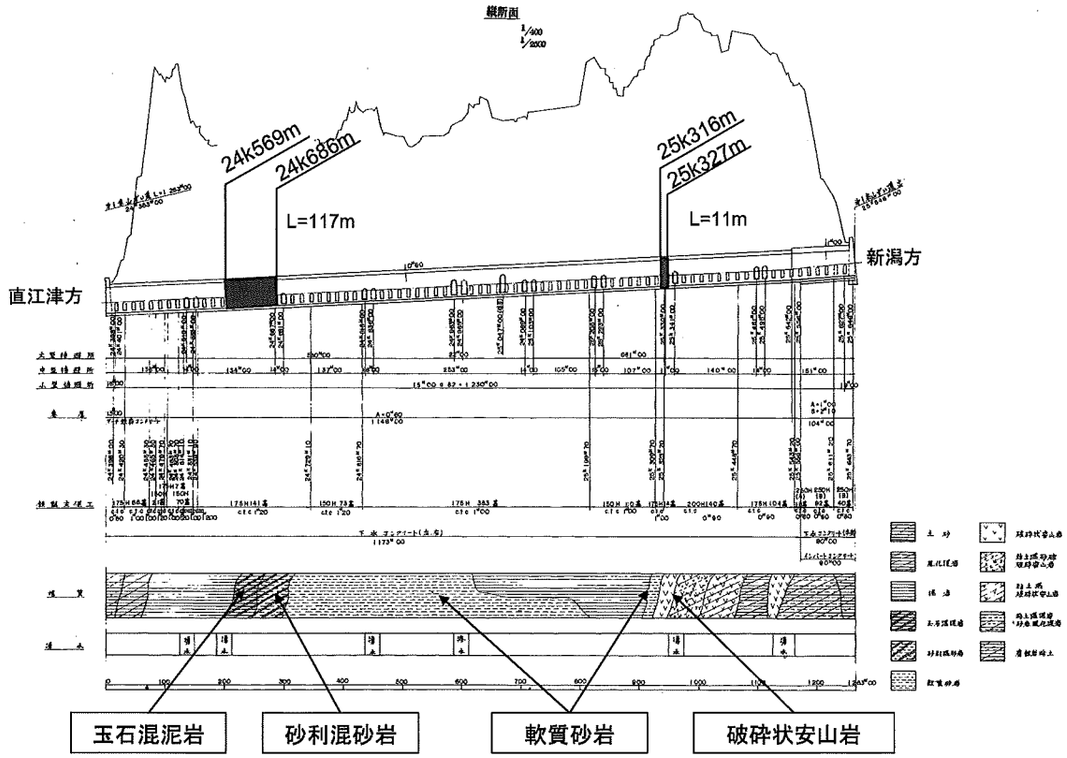


図-3　第一米山トンネル縦断図

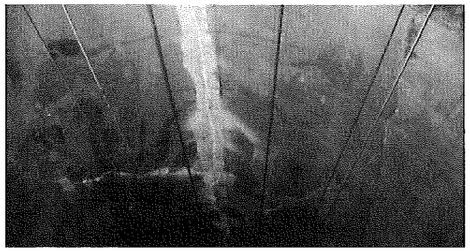


写真-1　第一米山トンネル(天端)(覆工コンクリートの圧ざおよびせん断ひび割れ状況)



写真-2　第一米山トンネル(剝落した覆工コンクリート片)

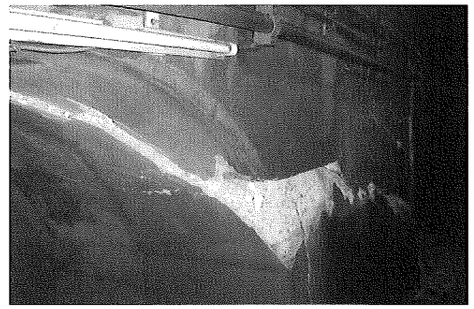


写真-3　第一米山トンネル(側壁コンクリート損傷状況)

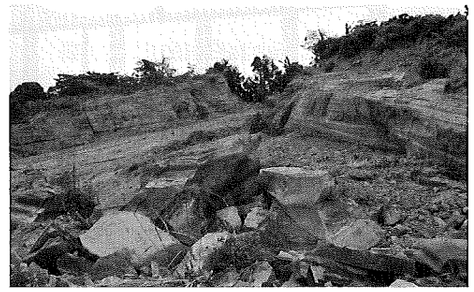


写真-4　第一米山トンネル(トンネル上部斜面崩壊状況)

【当該区間トンネル諸元】

掘削工法：導坑先進上部半断面
覆工巻き厚：60cm(無筋)
インバート：なし
支　保　工：直江津方より175H ctc1.2m,

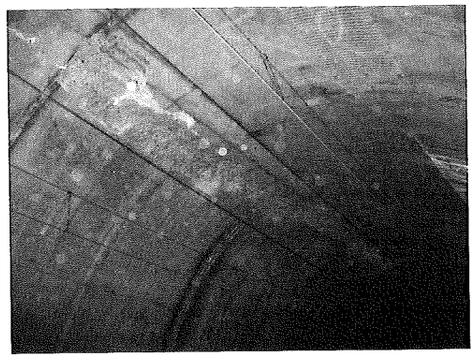


写真-5　第一米山トンネル(下り線)(圧ざ状況)

200H ctc0.90m
地　　質：直江津方より軟質砂岩，破砕状安山岩の境界部を含む
土かぶり：約58m

2-2　第二米山トンネル

第二米山トンネルは，米山駅～笠島駅間において，代表地質が泥岩，土かぶり約60m，導坑先進上部半断面工法で施工され，1967年にしゅん功した延長1,397mの在来線複線断面トンネルである．第二米山トンネル付近の航空写真を図-4，第二米山トンネル縦断図を図-5に示す．

2-2-1　26K183m～26K193m

この区間については，砂混じり泥岩と礫岩の地質境界付近であり，両アーチ肩部に軸方向ひび割れが発生し，施工基面上からの目視では，約５㎜

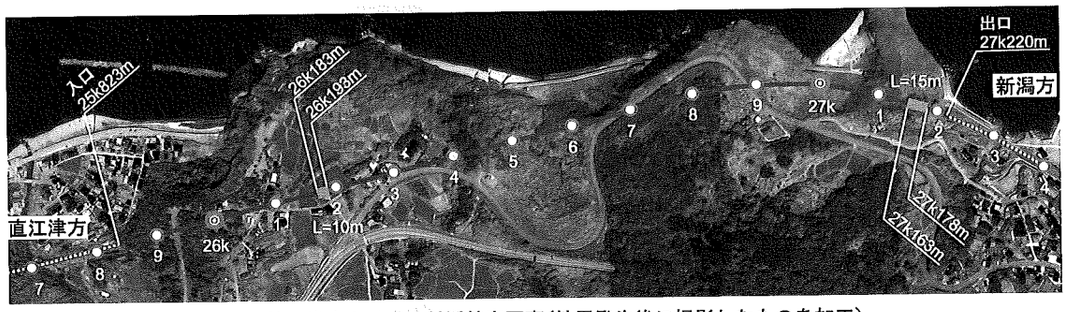


図-4　第二米山トンネル付近航空写真(地震発生後に撮影したものを加工)

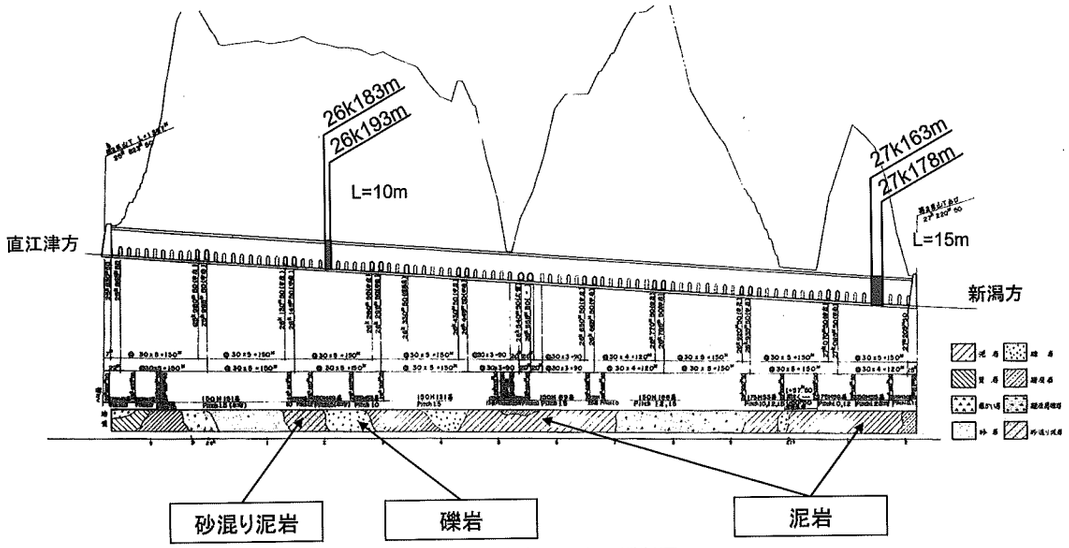


図-5　第二米山トンネル縦断図

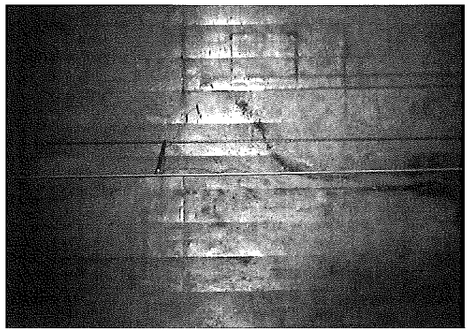


写真-6　第二米山トンネル(下り線)
(アーチ肩部軸方向ひび割れ)

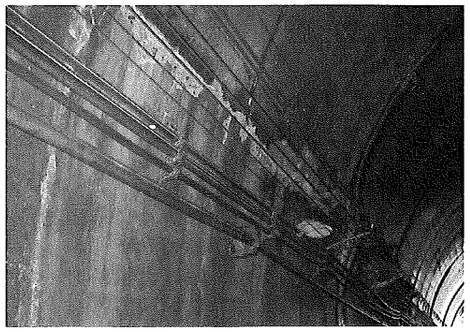


写真-8　第二米山トンネル(下り線側)
(せめ部剝落状況)

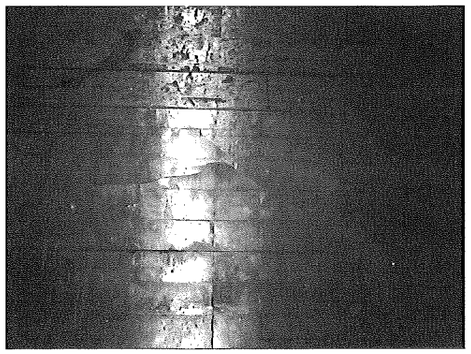


写真-7　第二米山トンネル(上り線)
(アーチ肩部軸方向ひび割れ)

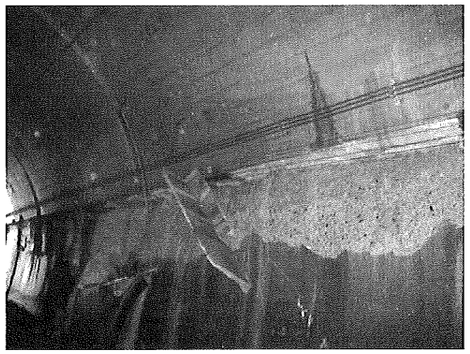


写真-9　第二米山トンネル(上り線側)
(側壁コンクリート上部剝落状況)

程度の開口が生じた(写真-6, 7)．

【当該区間トンネル諸元】

掘削工法：導坑先進上部半断面
覆工巻き厚：60cm(無筋)
インバート：なし
支　保　工：150H ctc1.5m
地　　質：直江津方より砂混じり泥岩と礫岩の境界付近
土かぶり：約55m

2-2-2　27K163m～27K178m

この区間については，両側壁上部のコンクリートが損傷し，せめ部とともに剝落した．とくに上り線側の損傷が大きかった(写真-8, 9)．ただし，アーチ部の覆工コンクリートは健全であった．

導坑先進上部半断面工法による施工であったため，逆巻き(アーチ部の覆工コンクリートを打設し，側壁部の足付けコンクリートを施工し，足付けコンクリート間の側壁コンクリートを施工する方法)で覆工コンクリート打設が行われている．足付けコンクリート間の側壁コンクリートの打設は，打込み口を設置(打込み後に撤去し，後埋めモルタルを充填)し打設するため，アーチ部下端は斜めになっている．このため，今回のような損傷を生じたものと推定される．

【当該区間トンネル諸元】

掘削工法：導坑先進上部半断面
覆工巻き厚：60cm(無筋)
インバート：なし
支　保　工：150H ctc1.2m
地　　質：泥岩
土かぶり：約30m

2-3　第三笠島トンネル

第三笠島トンネルは，笠島駅～青海川駅間における上下別線の在来線単線断面トンネルである．下り線は，第七米山トンネルとして1897年にしゅん功したが，その後の線増工事による上り線建設

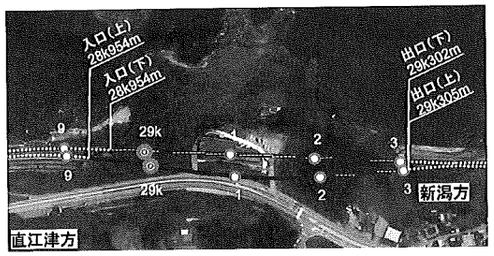


図-6 第三笠島トンネル付近航空写真
(地震発生後に撮影したものを加工)

に伴い1967年に改築工事(甲型煉瓦造から単線1号型コンクリート造に改築)がしゅん功し，第三笠島トンネル(下)と名称変更した延長約347mのトンネルである．上り線については，代表地質が集塊岩，土かぶり約40m，導坑先進上部半断面および全断面工法，一部開削工法により施工され，1966年にしゅん功した延長約375mのトンネルである．第三笠島トンネル付近の航空写真を図-6に示す．

2-3-1 上り線28K930m(坑門コンクリート)

第三笠島トンネルは，線増工事に伴い海側のトンネル(下り線)と国道8号線の間に建設されたトンネルである．直江津方坑口の坑門コンクリート(擁壁コンクリート)は，地震発生前から既変状(ひび割れ)が発生していたためアングル補強を行っていた箇所であった．

今回の地震により，補強材(アングル)の変形，ボルトの破断が生じ，更なるひび割れの開口を生じた(写真-10, 11)．

地震発生後に坑門コンクリートのひび割れ状況および財産図に図示されていた古レールを確認するため，坑門コンクリート上部背面を深礎により掘削した．

2m程度掘削を行い，ひび割れ開口箇所からの目視により古レールを確認することができたが，すでに腐食し付着が切れている状況であった．

【坑門諸元】

- 上部は古レール入り，下部は無筋コンクリート

2-3-2 上り線28K930m～938m

この区間については，坑口部の1スパン分が海側に170㎜ずれ(食い違い)，トンネル軸方向には，2スパン目との開口幅が70㎜(海側側壁部での測定結果)であったため，建築限界を支障しているおそれがあった(写真-12, 13)．



写真-10 第三笠島トンネル(上り線)
(坑門コンクリート目開き状況)

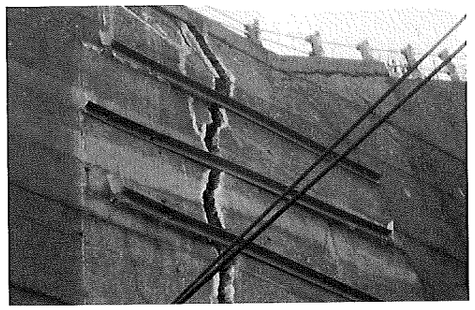


写真-11 第三笠島トンネル(上り線)
(補強材変形状況)

施工当時の話では，開削での施工でありトンネルと斜面間に盛土を行っているとのことであった．もともと斜面地形であり，第三笠島トンネル(上り線)と国道8号線の間の斜面も崩壊している(写真-14)．地震によりトンネル側部の盛土部が押されることにより，当該区間に食い違いを生じたものと推定される．

【当該区間トンネル諸元】

施 工 方 法：開削トンネル(側壁直)
覆工巻き厚：45cm(アーチ部RC，φ22ダブル)
インバート：なし
地　　質：安山岩および集塊岩

2-3-3 上り線28K938m～949m

この区間については，海側側壁下部にひび割れ

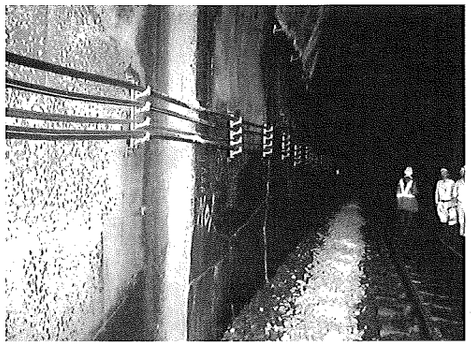


写真-12 第三笠島トンネル(上り線)
(海側　食い違い状況)

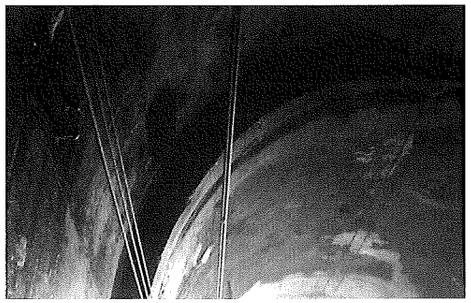


写真-13 第三笠島トンネル(上り線)
(山側　食い違い状況)



写真-14 第三笠島トンネル(上り線)
(坑口上部斜面崩壊状況(伐採後))

が発生し，目視では側壁が内空側に折れ込んでいるような状況であった(写真-15)．

被害を生じた原因として，山側斜面の側方土圧に対し，側壁と擁壁コンクリート間の埋戻しが十分でなかったこと，一体打ちとしなかったこと，あるいは抱きコンクリート化しなかったことにより，アーチ部が海側に変形した際に，偏圧に耐えられず側壁部が折れ込み，ひび割れを生じたものと推定される．



写真-15 第三笠島トンネル(上り線)
(ひび割れおよび側壁折れ込み状況)



写真-16 第三笠島トンネル(上り線)
(抱きコンクリートおよび擁壁コンクリートずれ状況)

【当該区間トンネル諸元】

施 工 方 法：開削トンネル
覆工巻き厚：45cm(アーチ部：RC，φ22ダブル，側壁部：無筋)
インバート：なし
地　　質：安山岩および集塊岩

2-3-4 上り線抱きコンクリートおよび擁壁コンクリート

上り線海側に設置された抱きコンクリートの上段および中段付近の打継ぎ目において，抱きコンクリートの一部がブロック状にずれ，上部の擁壁コンクリートにひび割れを生じた(写真-16)．

開口部界面の状況から既変状として目開きが生じていたものが，今回の地震により，さらに大きく開口したものと推定される．なお財産図には，鋼材として古レールが図示されていたが，開口部からの目視では確認できなかった．

【抱きコンクリート諸元】

- 古レール入り(上部：10kgレール，下部：30 kgレール)，ctc1.0m
- 基礎杭：古レール($L \fallingdotseq 7$ m ctc1.0m)

2-4　その他のトンネルについて

第一米山トンネル，第二米山トンネル，第三笠島トンネル以外の５トンネルについても損傷状況の調査を行った．調査の結果，目視で確認できる顕著な損傷はなかった．

3 各種調査

トンネルの復旧は，地震発生時に第一米山トンネルに取り残された貨物列車の引出し作業(７月24日)を待ち，電気関係(架線，ケーブル類など)の支障移転などを経て，実質的な復旧工事着手は８月１日となった．貨物列車の引出し作業直後から，被害原因および詳細な損傷状況の把握などを目的に**表-3**に示す事前調査および検査を実施した．一例として，覆工巻き厚および背面空洞調査方法および結果について以下に紹介する．

在来工法によるトンネル施工であるため，被害原因に関係する天端の巻き厚不足，背面空洞の存在が懸念された．復旧作業に入る段取りの間に，事前調査として被害の大きかった第一米山トンネルおよび第二米山トンネルについて，覆工巻き厚および背面空洞調査をトンネル全線にわたり実施した．調査は，地中レーダー(電磁波反射法)により，アーチ部５測点/断面を基本とし，側壁損傷箇所では側壁部にさらに２測点追加し７測点/断面として連続的に行った．

調査の結果，第一米山トンネルの被害の大きかった区間では，設計巻き厚60cmに対し天端部で平均約40cm弱程度であり，覆工背面には約20～30cm程度の空洞がトンネル軸方向に連続的に存在していた．なおアーチ肩部から側壁に関しては，巻き厚は十分あり，背面空洞もアーチ肩部の一部に存在する程度であった．

表-3　事前調査および検査内容

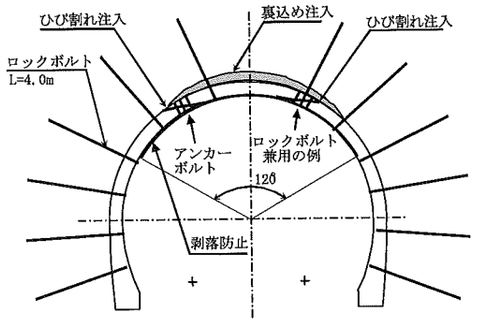
分　類	内　　容
調　査	中心線・縦断測量
	トンネル断面測定
	覆工表面撮影
	覆工巻き厚調査
	覆工背面空洞調査
	ひび割れ調査
検　査	打音検査(浮き落とし含む)

4 復旧方針

トンネル復旧に際しては，損傷状況に応じた復旧方法をパターン別に示し(**図-7～9**)，現地では損傷状況に応じて復旧パターンを組み合わせ，範囲，順序などを適宜変更し早期復旧を目指した．

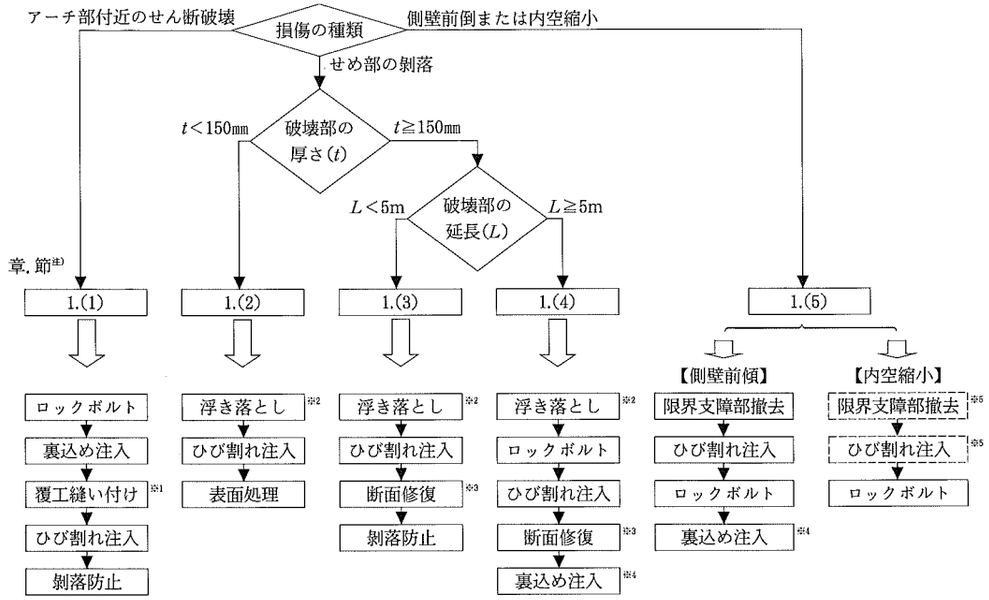
一例として，覆工コンクリートせん断ひび割れ箇所での復旧方法を紹介すると，断面あたり12本程度のロックボルトを既設支保工間隔以内で側壁を含めトンネル全周に打設する．その後，覆工背面の空洞に対し，空洞充填とひび割れ注入箇所のシールを目的に裏込め注入を行う．また，せん断ひび割れ箇所の縫い付けのためアンカーボルトを施工し(ロックボルトとの兼用も可)，ひび割れ注入(必要により断面修復を実施)を行う．最後に剥落の可能性のある範囲(アーチ部120°)について，必要な範囲に剥落防止工を施工するものである(**図-10**)．

なお，実施工におけるロックボルトの施工においては，作業の安全性を確保するため天端部からアーチ肩部にかけて先行ボルトとして断面あたり



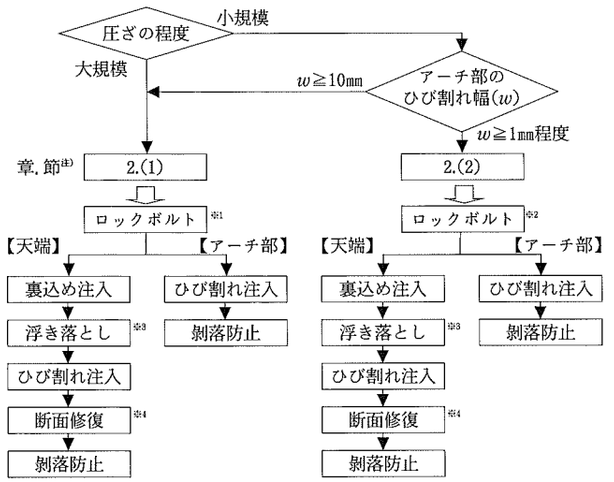
・ロックボルトは，ひび割れから1m程度の位置に打設する
・ロックボルトのトンネル延長方向のピッチは，当該箇所の支保工ピッチ以内とする
・鋼板による補強は，ひび割れまたは濁音範囲から1m程度の範囲で行う
・裏込め注入は，ひび割れの位置にかかわらず天端部に行う

図-10　覆工コンクリートせん断ひび割れ箇所補修方法



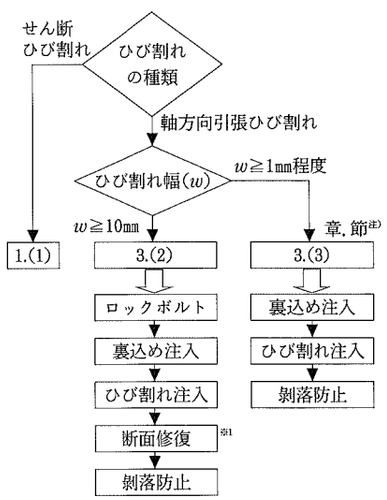
※1：覆工縫い付けは，ロックボルトを兼用してもよい　　※2：※3を参照し，断面整形を行う
※3：断面修復は，欠損深さが150mm以上の場合に行い，土木構造物等補修補強マニュアルによること
　　欠損深さが150mmに満たない場合は，剥落防止を行うための下地処理を行うこと
※4：背面空洞を確認し実施する　　※5：□は，必要により実施
注)：山岳トンネル地震被害マニュアル(JR東日本)

図-7　覆工コンクリートせん断ひび割れ箇所およびせめ部剥落箇所などの補修方法フロー



※1：全周打設(施工手順により天端部などを先行し，側壁部などは後施工でも可)
※2：損傷状況に応じた位置に施工
※3：※4を参照し，断面整形を行う．
※4：断面修復は，欠損深さが150mm以上の場合に行い，土木構造物等補修補強マニュアルによること
　　欠損深さが150mmに満たない場合は，剥落防止を行うための下地処理を行うこと
注)：山岳トンネル地震被害マニュアル(JR東日本)

図-8　覆工コンクリート圧ざ箇所の補修方法フロー



※1：断面修復は，欠損深さが150mm以上の場合に行い，土木構造物等補修補強マニュアルによること
　　欠損深さが150mmに満たない場合は，剥落防止を行うための下地処理を行うこと
注)：山岳トンネル地震被害マニュアル(JR東日本)

図-9　ひび割れ箇所の補修方法フロー

4本程度のボルト打設を行い，残りのボルトについては裏込め注入前に，既変状，損傷状況に応じて本数を増やして打設を行っている．

5 おわりに

今回の地震によるトンネル被害箇所は，地質の変化点(層境，脆弱部)，既変状箇所，坑口部などで発生している．損傷形態も覆工コンクリートの圧ざ，アーチ肩部のせん断ひび割れ，アーチと側壁せめ部の後埋めモルタルの剝落などであり，主にトンネル天端背面空洞の存在に起因するものや逆巻き工法での覆工コンクリート打設など施工方法に起因するもの，あるいは坑口部での偏圧地形に起因するものであった．いずれにせよ在来工法で施工されたトンネルにおいて，地震時の被害として一般的に生じる可能性があり，原因が想定しうる範囲の被害であったものと考える．

本稿脱稿時点(8月末)では，青海川駅付近の大規模斜面崩壊などの明かり工事を含め，早期開通を目指し，昼夜を厭わぬ体制で復旧作業を行っている状況である．なお，復旧時の詳細な内容については，別途報告する予定である．

最後に，地震発生直後に被害状況調査および復旧方針に関して貴重なご意見，ご指導いただいた朝倉俊弘・京都大学大学院教授，小島芳之・鉄道総合技術研究所トンネル研究室室長，野城一栄・同　副主任研究員の皆様方には，この場をお借りしてお礼申し上げます．

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

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

連載講座

シールド工事の施工に関するQ&A(6)

JTA都市トンネル小委員会

Q 18. シールド計画断面に基礎杭の存在がわかっています．杭の種類はわかりませんが，事前撤去方法について教えてください．

A. 都市機能が高度化・複雑化することに伴い，都市地下空間の利用がますます輻輳化・深層化していくことは，シールド計画時および施工時の制約になっています．とくに，現在切羽密閉型シールドは高い安全性が確保され，都市トンネルの標準工法として位置づけられている一方，これと引き換えに掘進中の障害物の処理は困難となっています．計画段階で支障物の存在が判明した場合には，まずシールド線形の変更の検討を行います．そして線形の変更が困難な場合は，事前撤去が原則となります．

ここでは支障杭についての調査と事前撤去の方法について紹介します．

(1)　支障杭の調査

支障杭の調査項目としては，その構造的機能・種類・位置・深度などが必要であり，これらの情報について既存の資料がある場合には，その資料を調査したうえで現地調査を行うことになります．とくにシールド工事では，支障杭の位置や杭長調査は重要な項目であり，調査精度などを考慮して調査計画を行う必要があります．また，支障杭のアンダーピニングなどによる受替えの検討も必要になります．

以下に杭調査手法として，①ボアホールレーダ，②磁気探査，③インティグリティ試験について説明します．

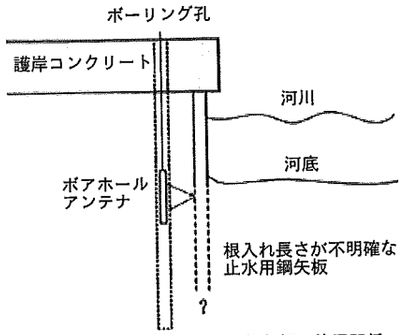
1)　ボアホールレーダ

ボアホールレーダは，ボーリング孔内に電磁波を送受信できるアンテナを挿入し，観測孔周辺の状況を探査する装置です．原理は，送信された電磁波が電気的特性の異なる物質の境界で反射する性質を利用したもので，その反射波の影像を解析

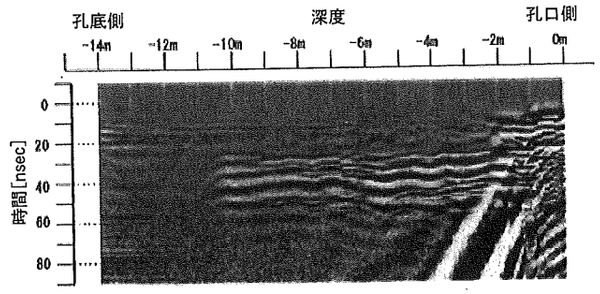
表-1　形状調査手法の適用性[1)]

適用条件＼調査		ボアホールレーダ	磁気探査	インティグリティ試験
調査項目	杭種	△	△	−
	杭長	○	○	○
	杭配列	○	○	−
	杭径	−	−	−
最大対象深度		20m程度注)1	100m程度	60m程度
非破壊検査が可能		○	○	○
ボーリングの必要性		有	有	無
フーチングの影響		無	無	有
作業工程(1日あたり)		20m，3孔(観測孔設置除く)	20m，3孔(観測孔設置除く)	30点(杭頭露出時)
試験の容易さ		△	△	○
評価の容易さ		△	△	○
特記事項		観測孔は基礎に接近していること．	鉄類にのみ反応．観測孔は基礎に近いほど精度が上がる．	フーチングがある場合，試掘やボーリングで杭頭打撃する必要あり．木杭の根入れは条件により適用可能．

○：適用可，△：条件によって適用可，−：実績少ない
注)1：ケーブル長に依存するため設備により100m以上の測定も可能



測定用ボーリング孔と鋼矢板の位置関係



鋼矢板根入れ深度調査のボアホールレーダ測定結果

図-1　ボアホールレーダ概念図[2]

することによって杭の調査を行うものです．この調査法は，電磁波の反射を利用しているため，金属体以外の杭も探査できます．

測定精度は±0.5m程度で，地中での電磁波の減衰が大きいため，杭から0.5～1.5m以内に観測孔が必要となります．また，調査項目により観測孔の方向が異なり，垂直観測孔で杭の根入れ深さの調査を，斜め観測孔で杭の本数・配置の調査を行います．

2)　磁気探査

磁気探査は，金属体が持つ残留磁気を測定することにより杭の位置・深度などを特定する方法です．

杭のような細長い鋼材では，その両端付近に磁極が生じ磁場が形成されています．杭端付近では磁束が集中する(磁気量が大きい)ので，観測孔に挿入した磁気センサーで連続的に磁気量を測定することで杭端位置の推定が可能となります．したがって，鉄筋や鋼材を含む杭に対しては適用可能で，測定精度は±0.5m程度となります．精度を確保するには，鋼管杭では杭体から1.5m以内，コンクリート杭では1.0m以内に観測孔が必要となります．

ボアホールレーダ同様，調査項目により観測孔の方向が異なり，垂直観測孔で杭の根入れ深さの調査を，斜め観測孔で杭の本数・配置の調査を行います．

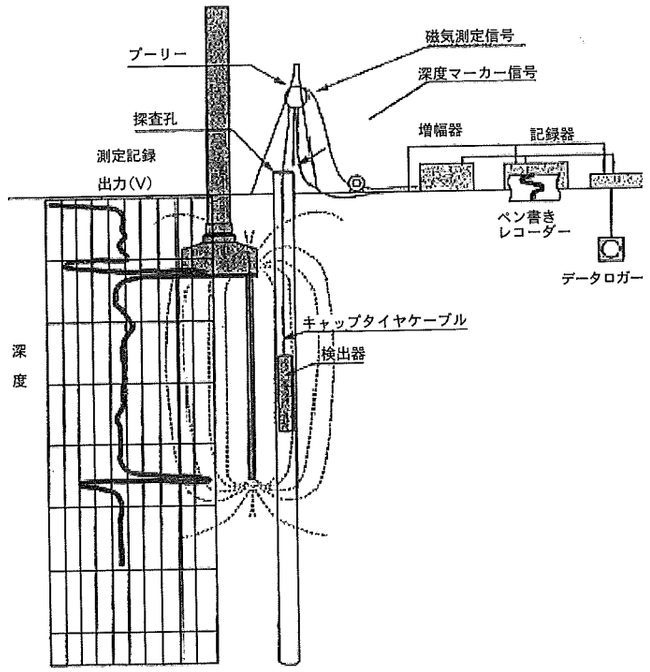


図-2　磁気探査概念図[1]

3)　インティグリティ試験

インティグリティ試験は，ハンドハンマや加振機により外力を加え低レベルのひずみを発生させ，そのときの杭の応答を加速度計などで計測して杭の調査を行うものです．

打撃により発生した入力波は，瞬時に杭全体に広がり，平面波として杭先端に向かって伝播します．この入力波は，杭の材質が均一な場合，一定の速度で振幅を弱めながら進んでいきますが，杭の断面変化などがある場合には反射波が生じます．反射波は，不連続面で生じるもので，この反射波を計測し杭の波動伝播速度から杭長を推定するものです．

インティグリティ試験では，杭頭部を直接打撃し杭先端からの反射波形を測定するため，観測孔を必要としません．また，測定精度は，杭体の弾性波速度から求めるので，その推定速度精度に依存し杭長の±5～10%程度になります．

(2)　支障杭の撤去

支障杭の撤去方法としては，地上から撤去する方法と横坑から撤去する方法があります．

1)　地上から撤去する方法

①　直接引き抜き

杭頭が露出するまで掘削し，杭頭をつかみバイブロや油圧ジャッキにより引き抜き撤去します．土との摩擦で抜けないときは，ケーシング削孔やオーガまたはジェット噴射などで，杭周辺地山をゆるめ摩擦を低減して撤去します．

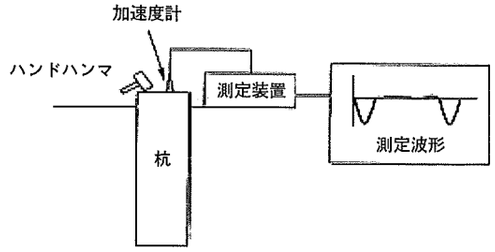


図-3　インティグリティ試験概念図[1]

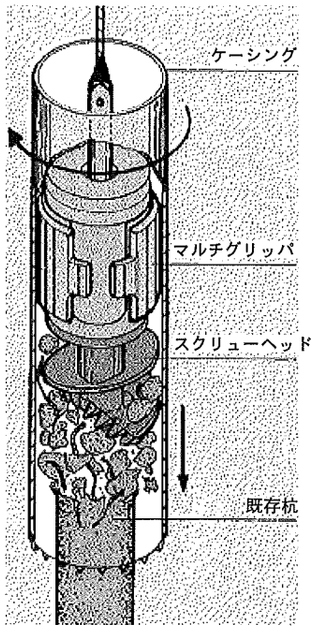


図-5　ケーシング併用直接解体概念図[4]

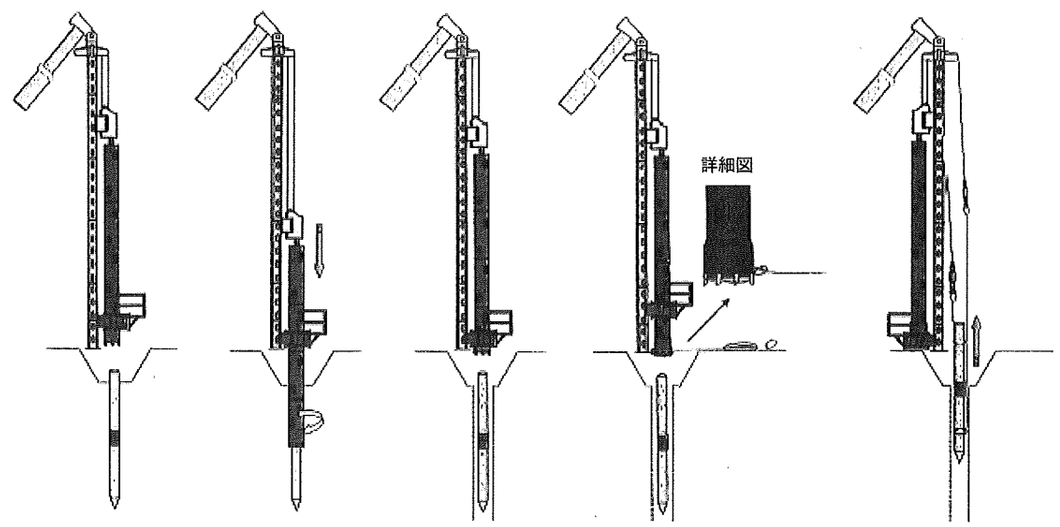


図-4　杭引抜き撤去概念図[3]

この方法はすべての杭種に適応が可能ですが，杭引き上げ時の杭重量と摩擦力に対し，十分な引き上げ能力のある重機か油圧ジャッキが必要となります．

② 地上からの解体撤去

地上から支障杭を解体する方法には，杭の周囲を所定位置まで掘削しながら杭を解体撤去していく方法と，機械で地上から直接解体撤去する方法，または地中の支障する部分を高圧水などにより切断撤去する方法があります．

地上から掘削解体撤去するには，鋼矢板や深礎などの山留めが必要で，状況によっては地盤改良などの補助工法も必要となります．この方法は掘削しながら杭を解体するので，狭い作業場所しか確保できない場合には有効な方法ですが，人力による作業が多くなるため作業期間が長くかかります．杭の解体には，ブレーカによる人力壊し，静的破砕材や油圧破砕，コアボーリング・ワイヤーソーによる切断などがありますが，破砕効率・作業環境などを考慮しての検討が必要になります．

地上から直接解体する例としては，ケーシングを回転圧入できる油圧ジャッキで支障杭をかぶせ掘りし，その中にビットの付いた破砕機を挿入して，破砕圧入する方法があります．破砕されたコンクリート塊などはグラブハンマにより搬出します．

この方法は，コンクリート杭の鉄筋を切断できるばかりでなく，鋼管杭やH形鋼杭を撤去した実績もあります．

地中の支障する部分を切断する方法としては，カッタによる切断や超高圧のウォータージェットによる切断などがあります．鋼管杭やPC杭などは中心部より，H形鋼などでは杭の近傍にボーリング孔を設置し，その中にウォータージェットのノズルなどを所定の位置まで挿入して切断撤去します．

2) 横坑から撤去する方法

杭の撤去が地上の状況で直接上からできない場合には，施工可能な場所に立坑を設置し，そこから支障杭位置まで横坑を施工し杭撤去を行う方法があります．横坑の施工は，補助工法として水平薬液注入などで地盤補強を行ったあと，掘削山留めを行います．この場合の掘削工法および補助工法は，施工性・安全性を十分検討し，これらの工法選定を行わなければなりません．

杭の撤去については，横坑内の狭隘部での人力作業となるため，地上からの撤去に比べ作業期間が長くかかります．また，杭撤去跡ばかりでなく横坑についても確実な埋戻し方法の検討が必要です．

以上，支障杭の調査・撤去の方法について紹介しましたが，いずれの場合も，撤去完了後の不完全な埋戻しによる地盤沈下やシールド掘進に支障することがないように，砂や流動化処理土などで確実に埋戻し処理を行うことが重要となります．

（文責：村山研一/前田建設工業(株)）

参 考 文 献

1) 建設省土木研究所：橋梁基礎構造の形状および損傷調査マニュアル(案)，1999.12.
2) 山下善弘・利岡徹馬：都市域における既存地下構造物調査へのボアホールレーダの適用性について，第38回地盤工学研究発表会，pp.59-60，2003.7.
3) 新潟商事(株)：既存杭引抜工法資料.
4) (株)横山基礎工事：スーパートップ工法マルチグリッパ技術資料.

Q 19. 障害物をシールドで切削撤去する工法があると聞きましたが，どのようなものなのですか.

A. 近年のシールド工事は，密閉型シールドの採用が主流となり，切羽を直接目視することができないため，地中障害物に対しては設計・施工時の事前調査が重要となっています．

事前調査によりシールド路線上に地中障害物が存在する場合には，

① まず線形変更の検討を行う．

② 線形変更が不可能な場合にはシールド通過に支障がないように，事前に障害物を撤去しておく．

などのことが基本です．しかしながら，

① 既設構造物の残置仮設構造物の存在が懸念される．

② 地上から地中障害物が撤去できない．

という条件などの場合には，

① 補助工法を用いてシールド内から撤去する．

② カッタビットにより直接切削する．

③ あらかじめ探査や切削撤去できる装備をシールドに設けて撤去する．

などの方法があります．

ここでは，**表-1**に示すシールドにより直接障害物を切削撤去する工法について紹介します．

表-1　地中障害物に対応が可能な工法

分類	工法名	方式	障害物への対応			
			木杭	コンクリート部材	ドレーン材[注)1]	鋼材
ジェット切削	DO-Jet工法	—	○	○	○	○
	ジェットモール工法	—	○[注)2]	○	○	—
機械切削	支障物撤去シールド工法	ブレードカッタ方式	—	—	○	—
		鼓型カッタ方式	○	○	—	○
		前面スライド方式	○	○	—	○
	障害物対応型シールド工法	ロータリースポーク型	○	—	—	—
		ドリルヘッド型	—	○	—	—

注)1　バックドレーン材やペーパードレーン材など　　○は適用可，—は適用外
注)2　補助工法として地盤改良が必要

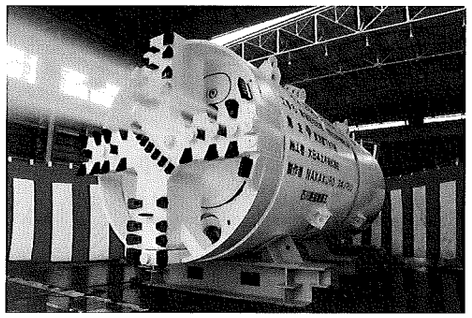


写真-1　DO-Jet工法用シールド[2)]

（1） ジェット切削による障害物切削撤去工法

1) DO-Jet工法[1)]

この工法は，超高圧ジェットシステムを用いてシールドから地中障害物の探査，地盤改良，切断・除去を可能にした工法で，三つのシステム(前方探査システム，超高圧地盤改良システム，切断・除去システム)をシールドに装備します．

障害物に遭遇したら，まず，前方探査システムにより障害物の位置と材質，形状，範囲などを判定し，切断施工図を作成します．

障害物切断前には，周辺地盤の安定や既設構造物防護のため，超高圧地盤改良システムを用いてシールド内からセメントミルクと珪酸ナトリウム溶液の混合材を超高圧ジェットにより噴射して周辺の地盤を改良します．

地盤改良後，切断・除去システムを用いて障害物の切断・除去を行います．

障害物の切断は，研磨材を加えたアブレシブスラリーと珪酸ナトリウム溶液の混合材を超高圧(245MPa)で噴射し，H形鋼，鋼矢板などの障害物や巨礫を切断します．細断された障害物などはシールド内に回収します．

この工法は，H形鋼[3)]，鋼矢板，RC杭および木杭を切削した実績があり，2007年2月現在，既設下水道幹線下を超高圧地盤改良し，連続した基礎杭(木杭)を切削する工事を施工中です．

2) ジェットモール工法[4)]

この工法は，面板前面に装備したノズルより超高圧ジェット水(245MPa)を噴射し，地中障害物(流木・PC杭・岩盤・巨礫・転石など)を一次破砕(大割り)し，大割りした障害物を面板に装備したローラービット，カッタビットなどにより二次破砕(中割り)しチャンバ内に取り込みます．

その後，コーンクラッシャで三次破砕(細割り)する場合があります(泥水シールドの場合)．



写真-2　ジェットモール工法用シールド[4]

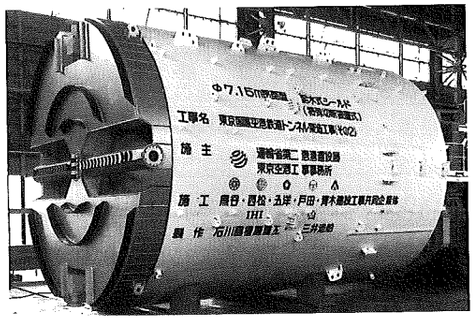


写真-3　ブレードカッタ方式シールド[5]

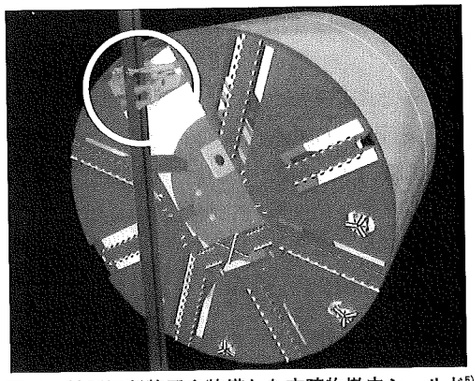


図-1　鼓型切断装置を装備した支障物撤去シールド[5]

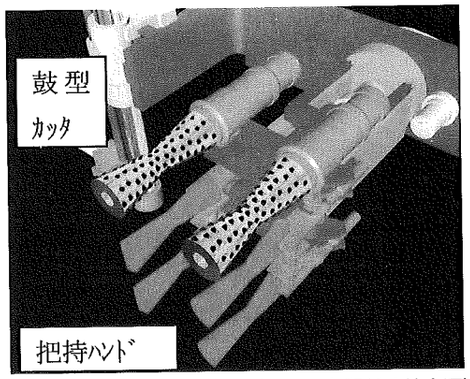


図-2　鼓型カッタ切断装置[5]（図-1の丸印部分拡大図）

この工法は，既設護岸とその基礎杭である木杭を切削した実績と，巨礫（φ800㎜，圧縮強度400 MN/m²）を切削した実績があります．

（2）　機械切削による障害物切削撤去工法

1）　支障物撤去シールド工法[5]

この工法には，ブレードカッタ方式，鼓型カッタ方式および前面スライド方式があります．

①　ブレードカッタ方式

この方式は，地盤改良のパックドレーン材やペーパードレーン材を切断・撤去，回収しながら掘進できるシールド工法です．シールドにはドレーン材を切断するためにブレードカッタ装置を上下2基装備し，またドレーン材がからみつかないように，一文字切削ビットと円弧連続刃形状の先行ビットを配置します．

この方式は，東京国際空港鉄道トンネル築造工事（φ7.15m）で採用されました（**写真-3**）．以下に示す方式については，切削実験により実施工への適用性を検証したものです．

②　鼓型カッタ方式

鼓型カッタ装置は，支障物切断用の鼓型形状のカッタ1対（2基）と切断時および回収時に支障物を把持するための把持ハンド2対（4基）からなる切断・把持装置を面板部に装備した構造を有しています．支障物の切断は，この超硬チップを埋め込んだ鼓型カッタを高速回転することによって行います．また，隔壁後部には支障物回収装置を装備し，切断後の回収ができるシステムとなっています．

③　前面スライド方式

この方式は，シールドのカッタフェイスに前後スライド式の切削装置（切削装置には，機械加工用の超硬チップを埋め込んだビットを複数装備）を装備した構造を有しています．スライド式切削装置として中心部の楕円形状のものと，中外部の扇形状のもの2種類を配置しています．

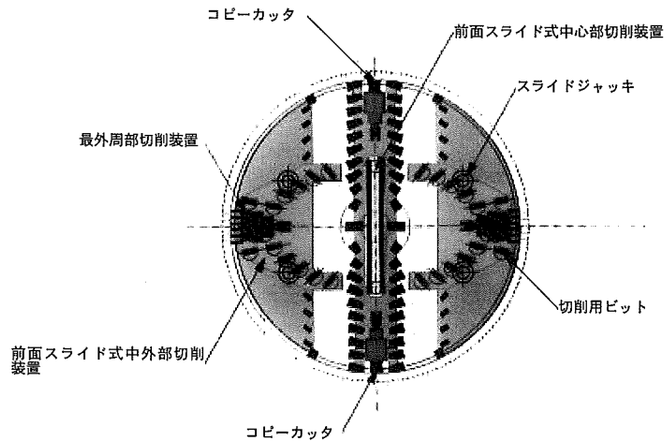


図-3　前面スライド方式シールド[5]

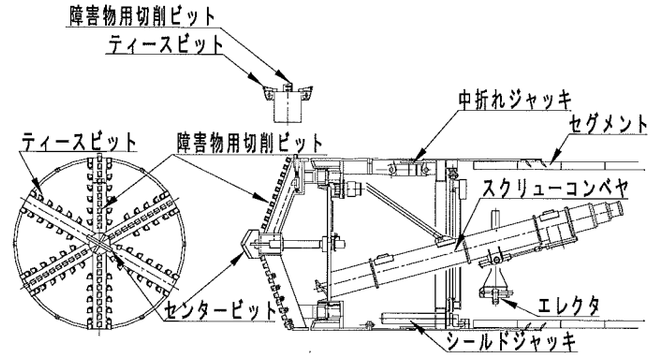


図-4　ドリルヘッド型シールド[6]

2）　障害物対応型シールド工法[6]

この工法は，地中障害物（木杭，RC構造物）をシールドのビットで直接切削し，掘削土砂とともにシールド内に取り込むものです．

要素実験の結果，木杭にはロータリースポーク型シールドが，RC構造物にはドリルヘッド型シールドが有効であることがわかりました．

この工法は，RC構造の発進坑口をシールドで直接切削する場合にも適用できます．

（3）　工法適用の留意点

以上紹介した各工法は，シールド製作時にあらかじめ切削撤去装置を装備する必要があります．

このため，事前装備なしに不幸にして障害物に遭遇した場合には，他の対策を考える必要があります．

また，木杭，RC杭やPC杭などのコンクリート構造物および鋼管などは特殊ビットを装着することにより切削した実績があります．

以上のことから，これらの工法を適用する場合には，切削する対象物を十分に調査し，経済性，工期，切削撤去の施工性，安全性などを検討のうえ，工法の選定をすることが重要です．

（文責：高松伸行/東急建設(株)）

参　考　文　献

1）DO-Jet工法研究会：障害物遭遇時の施工フロー，http://www.do-jet-kouhou.com/
2）DO-Jet工法研究会：DO-Jet工法パンフレット
3）宇田川孝之・吉川静雄・船越　誠・田村　憲：アブレシブジェット水流で地中障害物を切断除去し推進，トンネルと地下，Vol.37，No.10，pp.29-35，2006.10.
4）ジェットモール工法研究会：ジェットモール工法，http://www.sjm-kouhou.com/
5）(株)熊谷組：支障物撤去シールド工法，http://www.kumagaigumi.co.jp/p_gi001/gi_db006.html
6）(株)奥村組：支障物対応型シールド工法，http://www.okumuragumi.co.jp/technology/engineering/pdf/29.pdf

Q 20．シールドUターンなどシールドを引き出す計画が増えています．この場合の坑口設備や補助工法について教えてください．

A．近年，シールド本体を引き出す事例が増加していますが，これはシールド工事の長距離化やコストダウンの観点から鉄道や道路などの併設トンネルを1台のシールドで施工することが一般化されてきたことによります．

こうしたことによりシールド工事の中で到達・引き出しと再発進の機会が増加していますが，到達時のシールド本体引き出しは立坑への地下水および土砂の流入や，それに伴う周辺地盤沈下・陥没などをまねくリスクが大きいため，施工する際

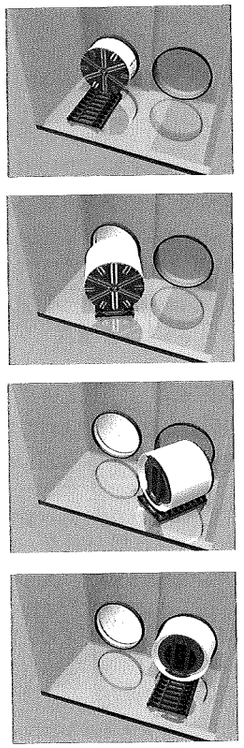


図-1　引き出しUターン概念図[1]

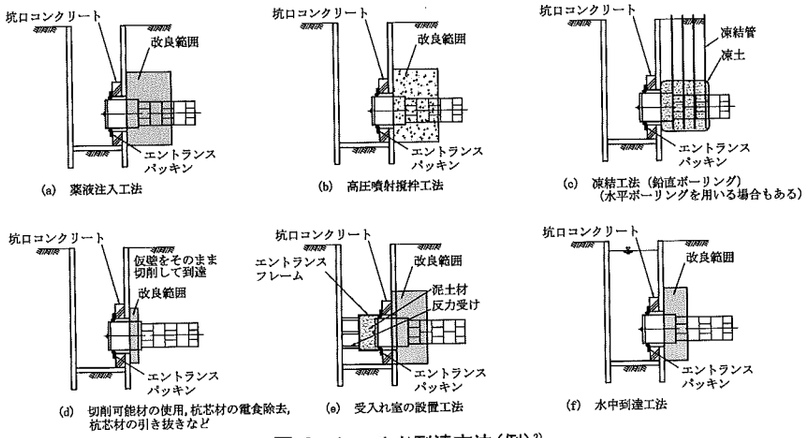


図-2　シールド到達方法(例)[2]

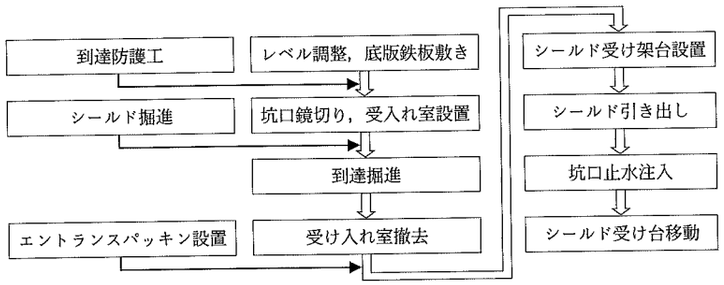


図-3　施工ステップ例

にはもっとも注意を払うべき工程のひとつと言えます．

以下にシールド引き出し方法，坑口設備，補助工法，シールド受け台移動の概要(図-1参照)と引き出し事例について記述します．

(1)　シールド引き出し方法

一般的なシールド到達・引き出し方法には図-2に示すような，薬液注入工法，高圧噴射撹拌工法や凍結工法などの地盤改良や地下水位低下工など補助工法による方法や，補助工法併用の受け入れ室(筒状隔壁など)設置や水中到達などの方法があります．最近では仮壁直接切削での到達・引き出し事例もあります．

一般的なシールド引き出しの施工ステップを図-3に示しますが，工事により，必要な工程がこのステップ図に加わることになります．

(2)　坑口設備

到達坑口設備は，その設置時期がシールド到達前と後とで異なり，受け入れ室設置による到達方法ではシールド到達前に設置するのが一般的です．

また，立坑坑口とシールド本体間の止水のためエントランスパッキンを設置する場合が多いようですが到達出口に使用するパッキンは発進時のパッキンに比べ止水性能が大きく落ちることは否めません．それは発進では地山土水圧により，パッキンがシールドやセグメントを締め付けようとするのに対し，到達では土水圧によりパッキンがシールドやセグメントから離れようとすることによります．

そのため到達のエントランスパッキンでは鋼製フラップをワイヤーで絞るなどの措置を施す場合や，水や空気で膨張するチューブ式エントランスパッキンを採用する場合があります．

また，シールドに装備した同時裏込め注入管やその保護ビットなどの突起によりパッキンが破損しやすいことや追随しにくいなどの問題点もあります．高水圧地盤や透水性・流動性の高い地盤でパッキンのみに頼ると危険な場合がありますのでパッキンの種類(図-4参照)や設置方法，地盤改良あるいは到達方法も含め，安全な方法を検討し選定する必要があります．

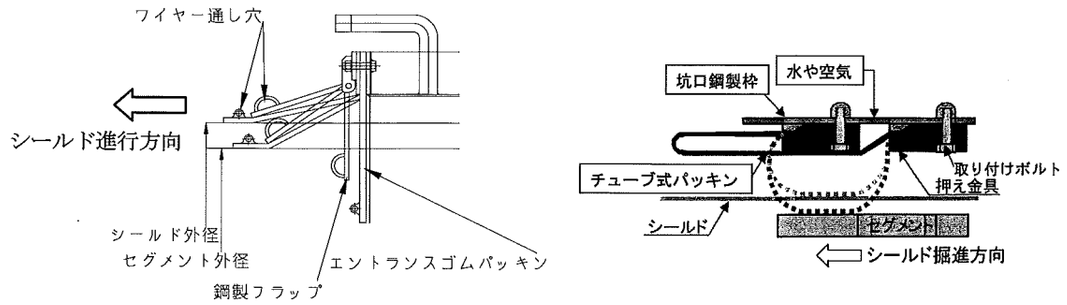


図-4　フラップ式(左)とチューブ式パッキン(右)

(3)　補助工法の目的

到達・引き出しにおける補助工法は立坑内への土砂流入や地盤の陥没など重大な不具合発生を防止するためのもっとも重要な対策ですので十分な事前検討と施工管理を要するものです．なお，補助工法は下記の目的で行います．

①　到達坑口仮壁取り壊し時の地盤強化
②　シールド引き出し時の背面地盤止水や水みち遮断

目的①のための補助工法としては薬液注入工法，高圧噴射撹拌工法，凍結工法などが一般的です．

また目的②では，薬液注入工法，地下水位低下工法，凍結工法などが一般的です．

流動性の高い細砂層や高水圧地盤など地下水の流入が問題となる場合は止水目的の地盤改良領域と裏込め注入領域を十分に重ね合わせることでシールドに沿った水みちを遮断するよう計画することが一般的に行われています(図-5参照)．しかし，地盤条件や埋設物位置など条件によっては確実な止水効果を得られないこともありますので，その場合は他の補助工法の併用も検討する必要があります．

なお仮壁切削による到達であっても，周辺地盤への影響防止などのための地盤改良が必要な場合があり，また流動性の高い細砂層や高水圧地盤などではシールド引き出し時に仮壁切削径とシールド外径のわずかな間隙から地下水と土砂流入を引き起こす可能性がありますので十分な検討が必要です(図-6参照)．

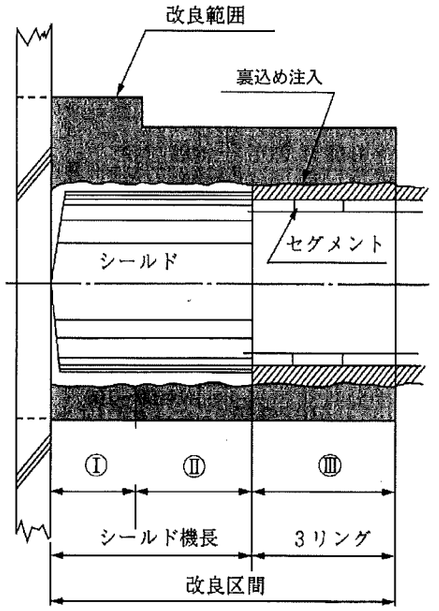


図-5　到達防護工計画例[3]

(4)　シールド受け台移動

シールド引き出し後は，シールド受け台を立坑内で移動・回転させる作業となります．受け台の移動は立坑内の同一平面で移動する場合や，ジャッキで上下に昇降する場合もあります．

同一平面でシールド受け台を移動させる場合，シールド受け台と作業床の間の摩擦抵抗を減少させ，ジャッキなどにより所定の位置まで移動させる方法が多く採用されています．

作業床を平滑にするため鉄板などを敷き，シー

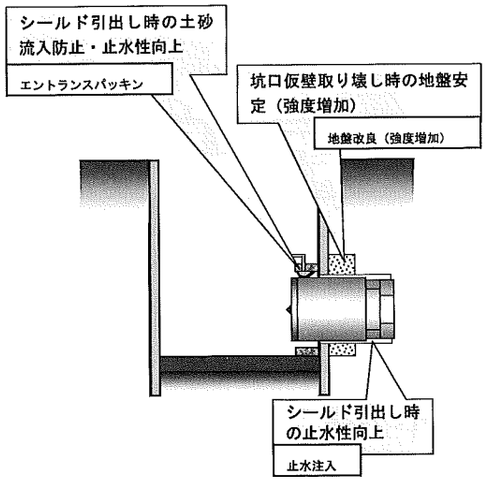


図-6　到達・引き出し時の検討項目と対策

ルド受け台との摩擦を減少させるため下記のような材料や装置を使用します．

①　グリス
②　表面研磨塗装被覆のすべり支承
③　鋼球あるいはコロ（ボールスライダーなど）
④　エア浮上（エアキャスターなど）

なお，小口径で軽量なシールドの場合，クレーンで吊り上げて移動することもあるようです．

（5）　施工上の注意点

到達およびシールド引き出しについては下記に示すようなことには十分な検討を行うことが必要です．

①　適切な到達防護工の選定と範囲の設定
②　坑口設備の選定と設置時期
③　シールド受け台設置と移動方法
④　シールド引き出し時の補足注入
⑤　引き出し時の止水確認とエントランスパッキンの防護（**写真-1**はビットによりエントランスパッキンのゴムを破損した状況）
⑥　緊急事態に備えて注入工の現場待機や連絡体制
⑦　シールド移動・回転時の立坑内空余裕

（6）　施工事例

立坑Uターン施工において水中到達による引き出しを行った事例を下記に紹介します（**写真-2～6**参照）．

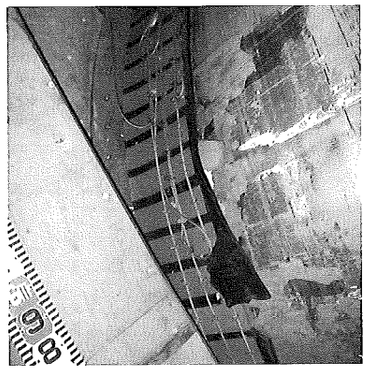


写真-1　エントランスパッキン破損状況

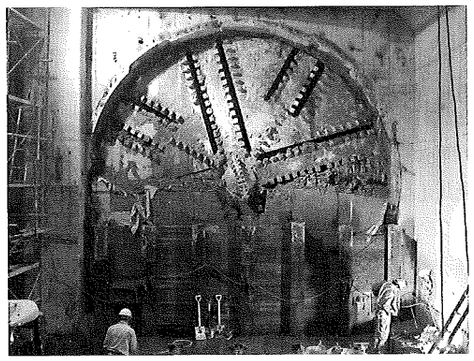


写真-2　到達後受け入れ室撤去

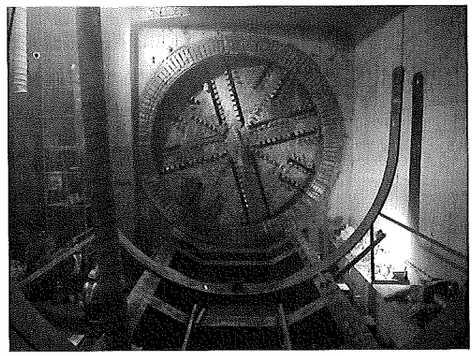


写真-3　エントランスパッキン設置

工事概要

・外径：6,760㎜泥水式シールド
・到達部土かぶり：28m
・土質：洪積砂質土（流動性が大・均質な砂）
・立坑：到達部直上に多数の地下構造物あり

この現場でシールド到達・引き出し方法選定に際し，検討した項目を**表-1**に示します．

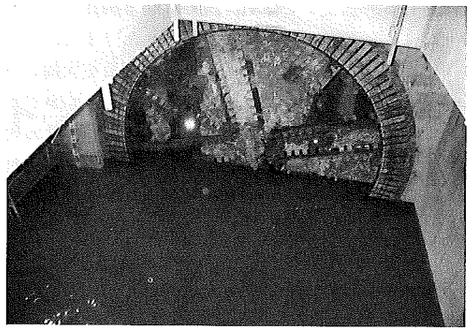


写真-4　到達立坑水張り

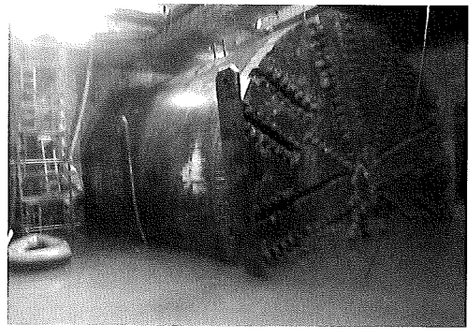


写真-5　水中到達（引き出し）後，排水

この現場では，地盤の崩壊性が高いことや，地下埋設物が多いため，薬液注入工法による地盤改良のみでは万全ではないと判断し，地盤改良工と地下水位低下工を併用した水中到達を採用しました．この事例のように，地盤条件や立地条件をもとに，各現場に適した安全な到達・引き出し方法を事前に十分検討することが大事です．

（文責：久原高志/清水建設（株））

参　考　文　献

1）荒神敏郎・江水淳・後藤真吾・柴田佳彦：2,000tfの大断面シールドを立坑内でUターン，首都高速中央環状新宿線　東中野～中野坂上間，トンネルと地下，Vol.37，No.5，pp.17-24，2006.5.
2）土木学会：2006年制定・トンネル標準示方書，シールド工法・同解説，2006.7.
3）日本ジェットグラウト協会：JET GROUT 技術資料．

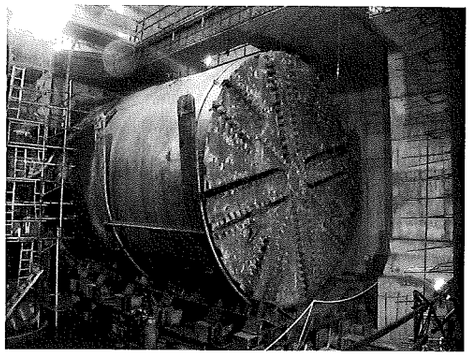
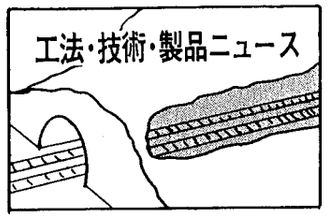


写真-6　排水後，引き出し

表-1　到達・引き出し方法の比較検討項目

到達方法	検討事項
地下水位低下工	・ディープウエル設置箇所・本数と効果 ・地盤沈下，井戸など周辺への影響 ・排水処理方法とコスト
地盤改良工	・埋設物，近接構造物状況 ・地上施工ヤード ・水平注入の確実性 ・工法選定とコスト
受け入れ室（筒状隔壁）機械的止水装置	・立坑内空余裕 ・同時裏込め注入管や保護ビット突起に対する止水性
立坑埋戻し（流動化処理土）	・埋戻し・撤去手間が大きいことによる工期とコスト ・安全性の高さ
水中到達	・供給水の確保 ・排水ルートの確保 ・排水時の安全性 ・安全性の高さ

続　きみの庭にも温泉が出る
その後の温泉開発と建設の考え方
石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判 217 頁　本体定価 1,200 円（〒 210 円）
株式会社 土木工学社　〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03) 3267-2888（代）　振替 00110-8-190072



『E³システム』建設技術審査証明を取得

飛島建設は，E³(イーキューブ)システム建設技術証明における最終審査委員会の審査を受け，認証を取得した．

同工法は，流動性を呈する建設汚泥や浚渫土などに，その流動の程度(フロー値など)に応じた固化材および高分子凝集剤を添加，これを特殊連続ミキサーに投入して30～50秒程度攪拌し，固化した処理土を粒状に生成する工法．処理土は土質材料として再資源化し，路盤材，埋め戻し材および堤体材料などとして再生利用が可能となる．

新世代高速ヘッド搭載の大判プリンタ

セイコーエプソンは，大判インクジェットプリンタ「MAXART」シリーズの新商品を発売した．

今回投入したのは，エプソンMAXARTシリーズのフラグシップモデルであるPX-20000のほか，PX-9550S，PX-7550S，PX-9500N，PX-7500N，PX-9550，PX-7550の7機種．

PX-9550S/PX-7550Sはハイスピードモデルで，それぞれB0＋/A1＋に対応している．従来比1.2～1.5倍となるPOPプリントモードを搭載，ネットワークI/F標準装備など，機能性を向上させ，CAD出力など高い生産性が必要とされる現場での要求に対応する．

PX-9500N/PX-7500Nも，それぞれB0＋/A1＋に対応したモデルでネットワークI/Fを標準装備する．PX-9550/PX-7550はB0＋/A1＋に対応したRIP専用モデル．

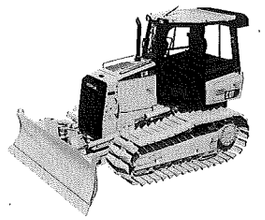


小型ブルドーザ3機種を新発売

新キャタピラー三菱は，小型ブルドーザ3機種を発売した．

新発売したのは，CAT D3K，D4K，D5Kで，それぞれ，CAT D3G，D4G，D5G(2003年9月発売)のフルモデルチェンジ機．

今回のモデルチェンジでは，排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減する新世代環境対応型エンジンACERTを搭載し，オフロード法に適応済み(D3K，D5K)．また，新デザインの大型キャブと先進の電子・油圧制御システムの採用により快適なオペレータ環境を実現．さらに，生産性の面でも新デザインの大型ブレードを採用し，作業効率を大幅に向上させた．



センターマウントキャブを採用したダンプトラック

新キャタピラー三菱は，重土木や砕石・鉱山現場に用いるCAT 770ダンプトラック(最大積載量36.4t)を発売した．

2002年6月発売の769Dをモデルチェンジし，センターマウントキャブを採用．良好な前方視界と，オペレータ環境を実現した．また，排出ガスに含まれる有害物質を大幅に低減する新世代環境対応型エンジンACERTR搭載によるハイレベルの環境性能も実現し，さらに，耐摩耗性と耐衝撃性を備えた新型ベッセルを採用するとともに，従来後付けされることの多かった衝撃吸収材を標準装備．長期の積載能力維持と大幅なコスト削減を実現させた．



建設工事で発生する振動・騒音・粉塵を定量評価手法を開発

奥村組は，建設工事で発生する「騒音」，「振動」，「粉塵」について，環境影響評価の観点から，その3項目を総合的に定量評価できる解析システムを構築した．

本システムは，評価対象とする建設現場周辺の複雑な条件を反映したデータからCADソフトを利用して作成した地形データをもとに，各種解析を行うもので，①騒音，振動，粉塵の3項目の解析を共通のデータで効率的に行える，②地形や構造物など現地固有の条件が評価でき，現地の実情に適合したきめ細かな対策が実施できる，③騒音，振動，粉塵という建設現場の環境課題すべてについて定量的な評価をもとにした対策を実施できる，④工事の影響や対策についてビジュアルに表現でき，地元関係者に対して効果が説明しやすくなる，⑤解析の実施機会が飛躍的に増大することで，現場測定との照合による精度向上が見込まれ，周辺環境に最適な対策が選定できる，といった特長がある．

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

エチオピアの4トンネルで高速掘進と低速掘進

エチオピアの水力発電トンネルで運転中の3機のTBMのうち，SELI社は二つのプロジェクトに関してさまざまな経験をしている．

- Belesの玄武岩掘削の優れた進捗
- Gilgel Gibe Ⅱの予想もつかない軟弱地山の長い区間と最高3.5MPaの地下水圧

Beles Ⅱ多目的用水計画のトンネル工事請負業者は，初めてのEPB-DSU型TBM(ダブルシールドユニバーサル型土圧シールド)を2機稼働させる．

SELI社は，標準DSU機能に押し出し性地山の掘削能力を兼ね備えた面盤加工を施した最先端性能を有するEPB-DSU機であるとしている．

5,770万USドル(2005年価格)で契約され，SELI社はプロジェクトに向けたDSUの設計と供給に加えて，軌条整備やその他掘削に必要な設備の支援などを行っている．

国境を越えるなどの輸送問題を克服した後，17インチのカッタ52個を装備した直径8.1mのEPB-DSU機は，昨年10月に延長12kmの導水路トンネルの掘削を開始した．そのカッタヘッドの最大推力は11,440kNになる．

SELI社は，2kmに及ぶと予想される軟弱な湖沼堆積物を掘削するために選定された新型TBMの費用が標準タイプに比べて約15%以上の増額となるとT&TIに語った．

もう一方のBelesの延長7kmの放水路トンネルは，5月に同種のカッタツールとスペックを装備した直径8.03mの標準タイプDSU TBMで掘削が開始された．

Gilgel Gibe ⅡにおけるTBMの運転は，相当な玄武岩区間といくつかの断層が予想されるため，2機の標準DSUが供給された．

しかしながら，Gilgel Gibe Ⅱの圧力導水路トンネルの呑み口側からの掘削では，満足のいく玄武岩とは反対の地質状況であることが判明した．

そして，不運にもSELI社はEPB-DSU設備でそのような難しい地山に直面した経験はなく，T&TIが知る限りで最悪なトンネル掘削条件であった．

吐け口側からの掘削機械として，SEL社はRobbins社の硬岩掘削マシンをオーバーホールし，直径4.9mから6.98mへ改造した．カッタヘッド動力は20%増強の1,890kWとした．

新しいカッタヘッドが製作され，カッタヘッドサポートが追加装備されるとともに，テレスコシールド，テールシールドが新調された．

そのような準備をしたにもかかわらず，全く異なる地質状況の判明はショックであった．2005年末は，せいぜい数百mしか運転できなかった．

切羽安定対策のケミカルグラウトを注入するために，3本の迂回坑が必要とされた．

TBMでの切り拡げが必要な押し出し性地山の状況下にもかかわらず，状況がそれほど悪くないときは，10～20m/日の進捗となった．進捗はどんどん悪くなり，岩区分はⅣ～Ⅴとなった．

高圧水と極度の軟岩地山である泥土が4.2km続き，泥土中の調査孔から3.5MPaの泥水が噴出した．

それ以来，進捗はほとんどみられていない．

SELI社は，コンサルタントと協同して地質状況に応じたTBMの改造計画を行っているところである．

おそらく，イタリアのVal Viola計画のように変更されるであろう．

押し出し性地山の対策としては，シールド後方部でのオーバーカット掘削径を大きくすることにより克服されてきたが，また，推力を増強するためにシールド前胴と後胴を連結するステップバッ

クジョイント(中間シールド)が除去される.

吐け口側からのSELI社の掘削による進捗状況は，良好である.

玄武岩の掘削は2006年7月に開始され，SELI社の設計である直径6.98mのTBMが最高日進記録46mおよび月進900mで，延長8.2km以上を掘削している.

延長26kmの導水路トンネルのうち，約13.5kmの未掘削区間については，SELI社は現在，全延長の約半分がとても脆弱な地山であることを予想しており，TBMが双方向から到達するまで推し進める計画である.

SELI社と両プロジェクトの契約会社であるSalini Costruttori社は，来年，無事4機のTBMが到達することを望んでいる.

発注者はエチオピア電力会社である.

(T&TI　'07.4　担当：下田哲史・(株)高速道路総合技術研究所)

2台のTBMが，マレーシアのSMARTトンネルの掘進を完了

マレーシアの洪水調整と道路として使用する目的で建設されている“Tuah”(φ13.3mで泥水式のHerrenknecht社製TBMの愛称)が，トンネルの北端となるKampung Berembang で掘削を終えた.

これは，プロジェクトの最終段階の完成となり，同種のトンネルで世界最大となる仕上がり内径11.8mのトンネルが6月に開通する.

6億3,500万USドルを掛けて建設されたトンネルは，クアラルンプール市の交通渋滞の緩和に加えて，首都で合流する2本の河川に起因する深刻な洪水被害をも緩和する目的で建設され，Stormwater Management and Road Tunnel (SMART)と呼ばれている.

プロジェクトの中で，掘進は2004年8月から開始された．北に向けて掘削するTBM“Tuah”に加えて，それにそっくりのTBM“Gemilang”が南方向に向けて総延長3.968kmの区間を掘削した.

“SMART”は延長9.5kmとなる計画であり，

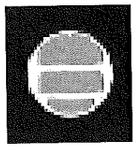
・MODEⅠ：雨が降らないまたは極少雨の場合(トンネル内への洪水の転流はなし).



・MODEⅡ：穏やかな出水の時であり，上方の2層は交通開放されたまま，洪水は最下層に転流される(年間8～10回を想定).



・MODEⅢ：トンネルは完全に通行止めにされ，300万m^3を超える激しい洪水を引き込むためだけにトンネルは使われる.



その中央部付近の3km区間では2層構造の高速自動車道の機能を併せ持つ．それらは，三つのモードを持つこととなる.

Mott MacDonald社はフィジビリティスタディを実施するとともに，SSPコンサルタント社と共同で建設に関する構想をもとに詳細設計を提供した.

(T&TC　'07.4　担当：谷川隆之・佐藤工業(株))

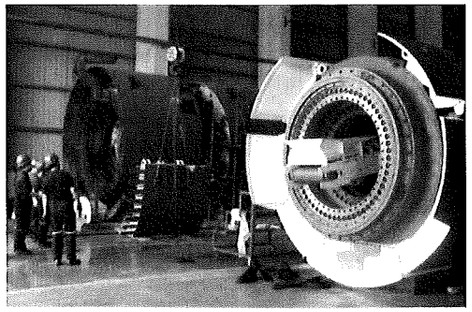
ロビンス社が香港で準備するショートモード

ロビンス社は香港の急峻なヒルサイドの法面安定化事業で2本の短距離曲線トンネル工事に掘削外径φ3.5mのTBMを用意した.

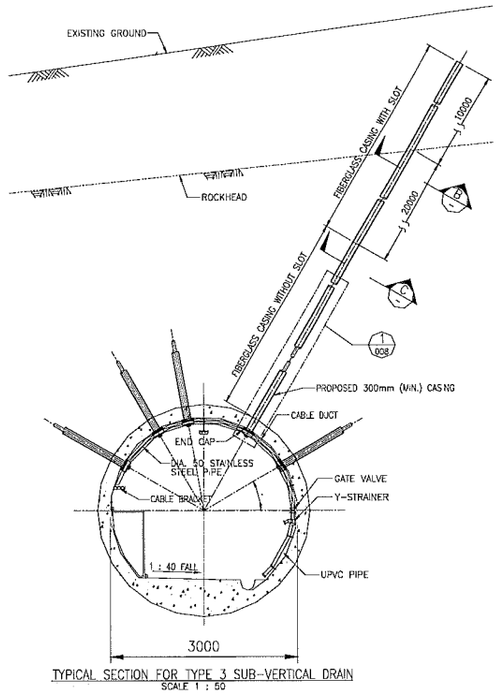
工事場所は香港島の北，Wan Chai地区でトンネル坑口は高級マンションから50mも離れていない間口25～27mしかない場所であり，工事代案(TBM工法)の背景にはシールド工法のような無発破による工法の規制があった．この事例は都市環境において無発破によるトンネル掘削の画期的な工法であるとロビンス社の副社長，Joe Roby氏は語る．このPo Shan Road Projectでロビンス社は，TBM後方で機関車に牽かれトンネルを往復する鋼車に掘削土をボトムコンベヤ(1次)から排出するずり出し用(2次)コンベヤ方式を考案した．その他TBM後方設備の考案としてはマシン後部に搭載される油圧ユニットと坑口に定置して使用する変圧器とその動力盤を延長ケーブルで

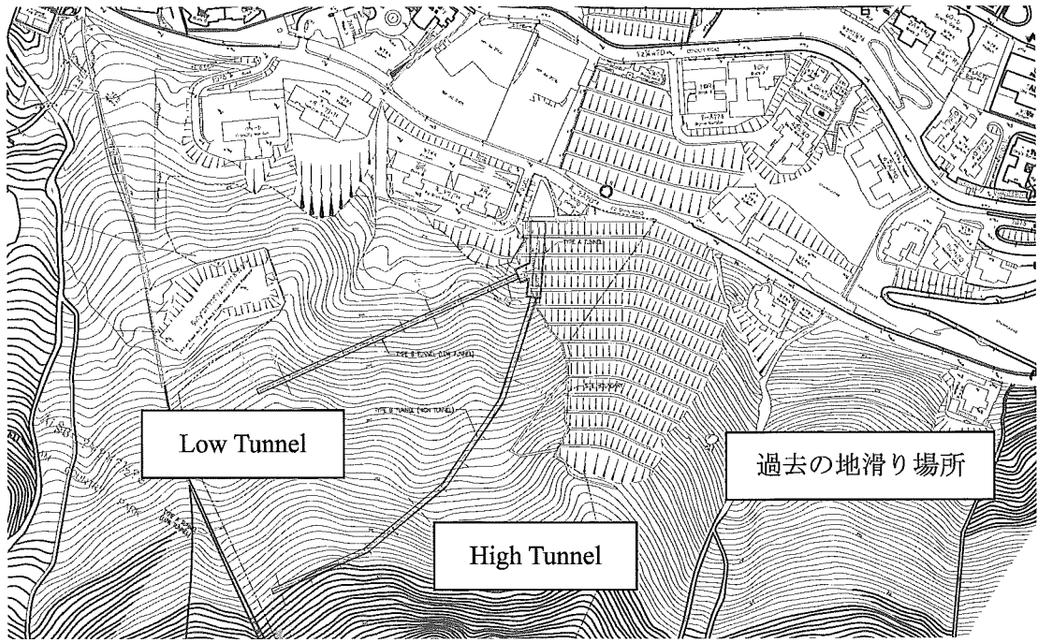
接続する方式である.

8月，このメーンビーム式TBMは244mのHigh Tunnel(大土かぶりトンネル)と165mのLow Tunnel(小土かぶりトンネル)の2方向に掘進されるトンネルの延長50mのTBM発進坑で発進準備する．このマシンは岩盤等級Ⅰの一軸圧縮強度200～300MPaの花崗岩と凝灰岩層を掘進する．マシンのカッタは17インチの外取り付け方式で溶









接式によらない新しいタイプとした．また，円錐状のカッタヘッドと板厚250㎜のフロントプレート(バーチカルシュー)で構成されている．

さらに，カッタヘッドには複数のバケットが装備されカッタハウジング(ルーフサポート)は可動式になっており，TBMの直径を縮径できるように改造されている．それは半径225mの曲線のHigh Tunnelを掘削後にマシンを後退させて発進坑に戻し再度Low Tunnelに向け発進するためである．二次覆工はロックボルト，金網，鋼製支保工，吹付け後，200㎜のコンクリート巻きを行う．

ロビンス社はこの方式の後続設備のポテンシャルを見出し，他の工事への適応を探している．また同社はTBM本体を縮径してそれぞれ後退できるシステムも他工事への適応が期待されると確信している．さらにはこのPo Shan Road Projectで採用する無溶接方式のカッタヘッドは中国でも簡単に製作できると語った．

このPo Shan Road Projectの請負者はChina State/China Railway JVで，この２本の排水トンネル(main tunnel)が掘削された後，一連の上向きドレン孔が削孔され，大雨洪水ネットワークの降雨情報に連動して地下浸透水の排水量を調整できるスロット(ストレーナ)パイプが設置される．

香港政庁は洪水期の地下浸透水調整施設による地すべり対策事業に力を入れている．

(T&TI　'07.6　担当：篠原慶二・前田建設工業(株))

P.A.ドミニコ，F.W.シュワルツ著

地下水の科学　各B5判 全３巻

地下水の科学研究会　　大西　有三　監訳

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

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

＜第Ⅰ巻　主要目次＞

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

＜第Ⅱ巻　主要目次＞

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

＜第Ⅲ巻　主要目次＞

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

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

「トンネルと地下」2007年１～12月号総目次

〈平成19年・年間総目次〉

巻 月号 頁

巻頭言

新年を迎えて……小森　博　38　1　5
NATM雑感……山口　啓二　38　2　5
トンネルの効用と技術の方向…青野　捷人　38　3　5
請負契約とリスク分担……伊藤　住吉　38　4　5
トンネル・地下構造物と品質管理……林　康雄　38　5　5
諸先輩の偉業を顧みて……岡村　康秀　38　6　5
地下鋼材の利用技術開発と設計法について思う……川端　規之　38　7　5
土木技術者への期待……神原　裕一　38　8　5
欧州トンネル現場を視察して…入江　健二　38　9　5
今，土木技術に求められるもの……加納　清　38　10　5
東京の防災と下水道……中村　益美　38　11　5
ForWardの技術・DeFenceの技術……江崎　哲郎　38　12　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……森﨑泰隆・蒋宇静　38　2　43
膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案〈北陸新幹線　飯山トンネル東菅沼工区〉……中村敦・小野利昭・亀谷英樹・呉旭　38　4　39
鉄道トンネルの維持管理の考え方……小島芳之・新井泰・岡野法之　38　5　45
シールドトンネルへの限界状態設計法の適用……吉本正浩・阿南健一・大塚正博　38　6　51
耐火型合成セグメントの火災時構造安定性に関する研究　足立幸郎・藤井康男・青山哲也・川村彰誉　38　8　41
全断面早期閉合による施工法の考え方とその実例……御手洗良夫・森﨑泰隆・今田徹　38　9　51
軟弱粘性土中のシールド工事における地盤変形メカニズム……山崎剛・日下部治　38　10　43
低濃度グラウトに関する基礎的研究……横澤圭一郎・竹本憲充・矢萩良二・宮永佳晴　38　11　47
小口径長距離トンネル工事用の換気ダクトの開発〈漏風量と圧力損失を低減したビニル風管〉……廣山浩・川上純・白井俊輔・松本三千緒　38　12　37

報　告

新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果……清水満・齋藤貴・鈴木尊・朝倉俊弘　38　4　49
「ITA総会および世界トンネル会議(プラハ)」報告……日本トンネル技術協会　38　9　63
プラハ世界トンネル会議技術調査現場視察報告……日本トンネル技術協会　38　10　53
新潟県中越沖地震における鉄道トンネルの被害〈信越本線　米山～柏崎間〉……齋藤貴・向山路一・田口芳範　38　12　47

解　説

下水道シールド工法の改善と標準化の経緯……坂根良平・高久節夫・桐谷祥治・守屋洋一　38　8　51

施　工

【鉄道トンネル】

偏在する高圧帯水層中を切羽前方湧水圧調査による管理で掘削〈北陸新幹線　飯山トンネル富倉工区〉……依田淳一・高原英彰・高橋秀典・川越健　38　1　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〉……田中健一・山口豊秋・上塘祥二朗・岡本典也　38　2　7
プレキャストコンクリートで瞬き区間を解消〈九州新幹線　三池トンネル南工区〉……小林寛明・長谷川正明・鴨川悦夫・横内静二　38　3　7
未固結沢部を小土かぶりで掘る〈北陸新幹線　第２魚津トンネル〉……久湊豊・森近裕一郎・山本一郎・藤野晃　38　3　15
軽量パネルを用いたシールドトンネルの漏水対策〈横須賀線東京トンネル改良工事〉……狩屋守・四宮卓夫・水野光晴　38　4　7
高速道路との交差部における対策工の選定と計測管理〈北陸新幹線　高丘トンネル南工区〉……依田淳一・都築保勇・藤本浩志・山木昇　38　6　7
新しい鋼管ロックボルト工法で泥岩地山の変形に挑む〈北陸新幹線　峰山トンネル東工区〉……中村信・小野謹一郎・後藤靖彦・蛭子清二　38　7　7
新吹付けシステムで低粉じん化を実現〈東北新幹線　八

甲田トンネル折紙工区〉……
木村裕俊・綿貫詠一・橘高豊明・安井啓祐　38　8　7
供用中の新幹線トンネルで発生した路盤隆起の原因とその対策……渡邊康夫・藍郷一博・鈴木尊　38　9　7
小土かぶり未固結地山をSENSで貫通〈東北新幹線　三本木原トンネル〉……
佐伯則幸・石岡英敏・中島活哉・岩永茂治　38　10　7
河川下に小土かぶりのトンネルを掘る〈北陸新幹線　高峰トンネル東工区〉……
……中村信・袋井昇・小林幸多・澤正武　38　11　7
短時間高剛性吹付けコンクリートの施工試験〈北陸新幹線　第2魚津トンネル〉……
……久湊豊・登坂敏雄・石井卓・石田積　38　12　7

【道路トンネル】

中折れ式大断面シールドの急曲線到達とUターン再発進〈首都高速中央環状新宿線　本町シールド〉……
原田哲伸・寺島善宏・篠原浩史・北浦健　38　1　17
TBM先進導坑および新割岩工法で新幹線直上部を掘る〈国道2号三原バイパス　第5トンネル〉……
黒川英知・梅田一成・島津嘉裕・木村幸雄　38　1　33
土かぶり1,000m，6MPa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　38　2　17
付加体脆弱地質を切羽補強工で克服〈第二東名高速道路　引佐第二トンネル〉……
臼田芳彦・田中一・神澤幸治・平野宏幸　38　3　23
衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策〈日本海沿岸東北自動車道　二古トンネル〉……
大津敏郎・広瀬雅明・澤田和也・徳留修　38　4　19
線路下の玉石層に機械掘削でJES函体を構築〈東海道線　関ケ原・柏原間アンダーパス〉……
……松野尊司・酒井克衡　38　5　7
未固結地山における超近接双設トンネルの施工〈国道455号　北山トンネル〉……
佐藤守・高瀬文明・小松敏彦・櫻井孝臣　38　5　13
軟質砂岩層中に潜在する柱状低固結堆積物を探りつつ突破〈氷見高岡道路　氷見第1トンネル〉……
…宮下孝・宮川実・後藤靖彦・蛭子清二　38　5　27
鉄道レンガ高架橋直下に大規模開削で道路函体を構築〈東海道線新橋・浜松町間環状2号線交差部工事〉…
三浦慎也・渡邊誠司・永田敏秋・田代浩之　38　6　17
民家直下で超近接トンネルを全断面早期閉合により施工〈豊見城東道路　豊見城トンネル〉……
照屋正史・高良哲治・駒谷恒雄・森﨑泰隆　38　7　17
発破技術のIT化と新支保による大断面施工の効率化〈第二名神高速道路　甲南トンネル下り線〉……
奥隅豊栄・大矢隆二・木村厚之・楠本太　38　8　17
大断面シールドで都市部の長距離掘進に挑む〈首都高速中央環状新宿線　代々木シールド〉……
波津久毅彦・則竹啓・森口敏美・長谷川勝哉　38　9　17
世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000mを掘削（設計編）〈東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑〉……
……森山守・寺田光太郎・小林伸二　38　10　15
山岳トンネルにおける高水圧ウォータタイトの施工〈圏央道　八王子城跡トンネル〉……
足立賢一・千場洋・吉富幸雄・野中良裕　38　11　17
世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000mを掘削（施工編）〈東海北陸自動車道　飛騨トンネル本坑〉……
……森山守・寺田光太郎・小林伸二　38　12　15

【地下鉄トンネル】

地下埋設物が輻輳する交差点内を開放型矩形シールドで施工〈大阪市営地下鉄第8号線　緑橋駅連絡通路〉…
馬場畑美敏・中谷孝司・山下清広・平岡康之　38　1　39
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〉……
……西村聡・岡田龍二・佐久間穣・原忠　38　2　25
大断面複合円形シールドで環境負荷低減を実現〈東京メトロ副都心線　神宮前工区〉……
高橋聡・川島雅一・諸橋敏夫・吉田健太郎　38　3　37
親子シールドで駅部と駅間トンネルを築く〈東京メトロ副都心線　南池袋A線・B線工区〉……
辻雅行・鈴木章悦・足立邦靖・白川元彦　38　3　45
地下40mの単線シールド間に曲線パイプルーフでポンプ室を構築〈東京メトロ副都心線　高田A線工区〉……
……辻雅行・村松泰・梶山雅生・岩崎肇　38　5　35
パイプルーフで交差点直下13万kNの土荷重を支える〈東京メトロ副都心線　東新宿駅〉……
……辻雅行・岡功・森信雄・角野叔昭　38　7　25
半蔵門線渋谷駅をアンダーピニングして新駅を構築〈東京メトロ副都心線〉……
……高橋聡・小川和久・林宏延　38　8　31
2方向からの駅部急曲線進入・Uターンで4本のシールドを併設〈大阪市地下鉄今里筋線　清水駅～新森古市駅間〉……
太田拡・伊藤博幸・村上考司・北岡隆司　38　9　29
都営地下鉄におけるシールド二次覆工の剝落対策……
……野邑敏行・土川孝雄　38　10　29
住宅地に近接した最大幅80mの開削トンネル〈名古屋市

営地下鉄桜通線　徳重第1工区〉……
……鬼頭延雄・井上洋・戸谷和彦　38　11　25
開業目前の地下鉄グリーンライン〈横浜市営地下鉄　中山～日吉間〉……
……伊佐見孝夫・上杉知・米澤威　38　12　27

【サービストンネル】

複雑な多層地盤を急勾配で貫くシールド〈東京都下水道業平橋ポンプ所放流渠〉……
小松原修義・平野保次・紺谷郁夫・柴崎貞典　38　1　47
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　38　2　35
甲州街道の重交通下にボックス推進工法で歩道を構築…
……野笹隆幸・西村聡・小山浩史　38　4　29
ベトナムで初のTBM高速施工〈ダイニン水力発電所〉
田中正・橋口徹雄・末吉功一・郷農一之　38　6　29
地下水の早期回復を目指した掘削工法と覆工構造〈新宇治川放水路トンネル〉……
…高井孝明・中谷幸一・藤崎仁・岸田朗　38　6　39
国内初のハーモニカ工法による重要構造物近接箇所での地下連絡通路〈東京ミッドタウンプロジェクト〉……
森本眞禎・小友剛・三木洋人・小柳善郎　38　7　35
自動化オープンケーソン工法で大深度の土丹層を掘削〈東京都水道局　東南幹線豊洲立坑〉……
…松田信夫・野﨑耕志・岸裕一・石川大　38　7　45
SPR工法でロサンゼルスの大口径馬蹄形下水道管を更生……
Tommy Sung・Anthony Howard・菅原宏・大平晃聡　38　9　45
深度500mの立坑を積み込み機一体型自由断面掘削機で掘る〈幌延深地層研究計画地下施設〉……
一安謙治・尾留川剛・小島亘・北川義人　38　10　35
大深度・高水圧下における機械式地中接合〈東京ガス中央幹線〉……
木原晃司・矢口岳彦・木田博光・上原啓史　38　11　35

連載講座

発破技術の現状(3)〈発破技術の基本(1)〉……
…「発破技術の現状」連載講座小委員会　38　1　55
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　38　2　51
発破技術の現状(5)〈新しい発破技術(1)〉……
…「発破技術の現状」連載講座小委員会　38　3　53
発破技術の現状(6)〈新しい発破技術(2)〉……
…「発破技術の現状」連載講座小委員会　38　4　59
発破技術の現状(7)〈発破と環境問題(1)〉……
…「発破技術の現状」連載講座小委員会　38　5　55
発破技術の現状(最終回)〈発破と環境問題(2)〉……
…「発破技術の現状」連載講座小委員会　38　6　59
シールド工事の施工に関するQ&A (1)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　7　55
シールド工事の施工に関するQ&A (2)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　8　59
シールド工事の施工に関するQ&A (3)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　9　73
シールド工事の施工に関するQ&A (4)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　10　65
シールド工事の施工に関するQ&A (5)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　11　59
シールド工事の施工に関するQ&A (6)……
……JTA都市トンネル小委員会　38　12　55

現場だより

「日本の原風景」庄内より……徳永正夫　38　1　16
「ヒメボタルの棲む豊かな自然」浜松市引佐町より……
……六百田圭二　38　1　32
「海上国道58号線」奄美大島瀬戸内町より……
……阿部弘美　38　3　33
「民話のふるさと」遠野にて……吉井　司　38　3　36
新しいまち北斗市での新幹線工事……
……中塚静夫　38　4　18
「都心の最高峰，箱根山」西早稲田より……
……軽込　茂　38　4　28
「必勝祈願と温泉の里」球磨村一勝地より……
……田中義晴　38　5　26
「鳥海山のふもと」由利本庄より……
……黒川　進　38　5　44
「北緯43°のキラリひかるまち」岩内町より……
……海老子川啓　38　6　25
「菊とブドウといで湯の里」南陽市から……
……今村新吾　38　7　16
「古代ロマン溢れる神話の舞台」出雲から……
……高村忠勝　38　7　34
「歴史の要衝地」佐敷より……平岡　元　38　8　16
「歴史の町」海南市下津町より…加藤和夫　38　9　41
「大自然のかおるまち」釧路市阿寒町より……
……宇治川徳夫　38　9　44
「造林と水力発電の村」宮崎県諸塚村より……
……高見裕一　38　10　14
「福島～米沢，交通難所の歴史」栗子峠より……

……城本政雄 38 10 28
「美食の町」穂別より ……大村修一 38 11 16
「森と水のシンフォニー」岩泉町より ……
……齋藤 稔 38 12 14
「花々とびわの里」南房総より …深澤 忠 38 12 25

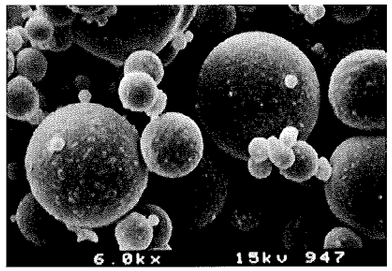
トンネル千夜一夜

鎌倉時代から続く地下空間・田谷の洞窟(1) ……
……小野田滋 38 1 28
鎌倉時代から続く地下空間・田谷の洞窟(2) ……
……小野田滋 38 2 58
天城山トンネルと悲運の技師・橋爪誠義……
……小野田滋 38 3 34
京張鉄路と八達嶺のトンネル(1) ……
……小野田滋 38 4 36
京張鉄路と八達嶺のトンネル(2) ……
……小野田滋 38 5 24
京張鉄路と八達嶺のトンネル(3) ……
……小野田滋 38 6 26
新星越トンネルと映画『花咲く我が家』……
……小野田滋 38 7 32
北陸トンネルと敦賀トンネル温泉……
……小野田滋 38 8 28
天津小湊のトンネル水族館……小野田滋 38 9 42
関門トンネルの立坑を探る(1) ……
……小野田滋 38 10 26
関門トンネルの立坑を探る(2) ……
……小野田滋 38 11 44
関門トンネルの立坑を探る(3) ……
……小野田滋 38 12 44

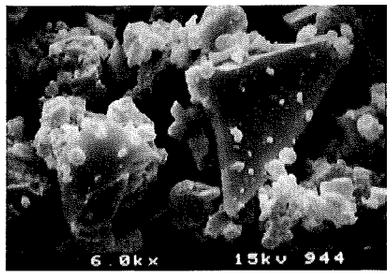
お詫び

第38巻，第11号，51p. **写真-1**で誤りがありましたので是正いたします．

(誤)



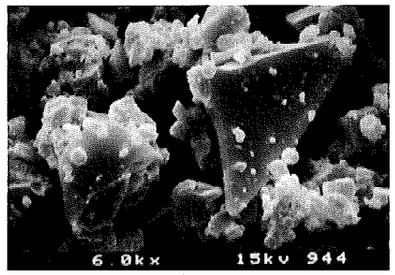
(1) S60



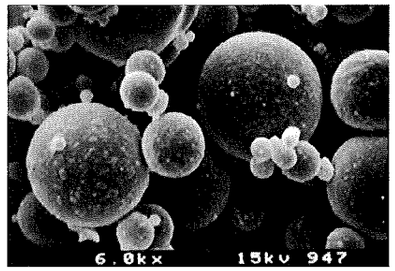
(2) FA

写真-1 電子顕微鏡写真(新日鐵高炉セメント(株)提供)

(正)



(1) S60



(2) FA

写真-1 電子顕微鏡写真(新日鐵高炉セメント(株)提供)

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	10月25日現在
正会員	2,132名
団体会員	399名
個人会員	1,733名
名誉会員	1名
計	2,133名

2. 委員会の開催状況(10月 1 日～31日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：10/31(中島泰彦主査ほか14名)原稿を検討

共通技術小委員会ずり出し方式調査WG：10/2(小暮誠主査ほか 8 名)調査報告書を検討

保守管理小委員会：10/24(林康雄委員長ほか12名)事例を検討

小土被りトンネル研究特別委員会：10/15, 16(田村武委員長ほか40名)計測データなどを検討

小田急立体交差特別委員会：10/30(小山幸則委員長ほか29名)計測計画を検討

計 5 回開催 108名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会

広報小委員会

会誌WG：10/4(大島洋志主査ほか 9 名)11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：10/25(小島宗隆主査ほか 9 名)海外ニュースを翻訳

海外文献WG：10/30(大久保誠介主査ほか12名)海外文献を査読

対外広報WG：10/30(小島宗隆主査ほか 6 名)取りまとめ方針を検討

計 4 回開催 40名出席

合計 9 回開催 148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 and Underground Space 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19年度催物開催現況

催物名	開催日	人数	場所
(見学会)			
プラハ国際トンネル会議技術調査	2007. 5. 3〜13	18	オーストリア,チェコ,ドイツ
首都圏トンネル現場研修会	2007. 5.30	14	東京都
首都高速新宿線現場研修会	2007. 6.14	19	東京都
上野地区地下構造物建設現場研修会	2007. 6.28	17	東京都
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 7. 4	15	神奈川県
西大阪延伸線建設工事現場研修会	2007. 7.27	16	大阪府
横浜市下水道トンネル現場研修会	2007. 8.23	17	神奈川県
第二東名　島田第一トンネル現場研修会	2007.10.30	13	静岡県
北陸新幹線　第2魚津，新木浦トンネル現場研修会	2007.11. 8, 9	37	富山県，新潟県
藤沢市下水道トンネル現場研修会	2007.11.16	30	神奈川県
第二京阪　小路トンネル現場研修会	2007.11.30	20	大阪府
JES工法現場研修会	**2007.12.11**	**30**	**東京都**
(発表会)			
第60回(山岳) 「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」	2007. 9.26	136	東京都
第61回(都市) 「地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事」 「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」	2007. 9.27	114	東京都
(講演，講習会)			
第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)	2007.10.25, 26	16	東京都
第9回トンネル技術ステップアップ研修会(シールド部門)	2007.11. 1, 2	24	東京都

施工体験発表会の発表者表彰について

事業委員会

今回から導入することになりました表彰制度にもとづき，当委員会において審査いたしました結果，下記のとおりそれぞれ3編が入賞となりました．

最優秀賞を受賞した2編の論文をここに掲載し，ご紹介いたします．

第60回(山岳)施工体験発表会
—厳しい条件を克服した山岳トンネル工事—
開 催 日：平成19年9月26日(水)
審査結果：

最優秀賞

四国カルスト直下の地芳トンネルにおける高圧大量湧水帯の施工　鹿島建設(株)

優 秀 賞

市街地における浅層大断面4連めがねトンネル　大成建設(株)
長崎自動車道と小土被りで交差するトンネルの施工　(株)間組

第61回(都市)施工体験発表会
—地下重要埋設物をはじめとする各種制約下での都市トンネル工事—
—若手に伝えたい都市トンネル施工技術—
開 催 日：平成19年9月27日(木)
審査結果：

最優秀賞

上総群層内の固結シルト層における大断面シールドの鏡切り工・発進防護工の施工　清水建設(株)

優 秀 賞

急曲線S字カーブと狭隘な立坑用地における連続ベルコンの適用　飛島建設(株)
地下鉄換気塔におけるセグメント圧入工法　東京地下鉄(株)

第60回(山岳)施工体験発表会最優秀賞

四国カルスト直下の地芳トンネルにおける高圧大量湧水帯の施工

鹿島・日本国土特定建設工事共同企業体所長　松　川　久　俊
鹿島・日本国土特定建設工事共同企業体工事課長　藤　井　広　志
鹿島建設(株)土木設計本部　トンネルグループグループ長　萩　原　智　寿

1. はじめに

一般国道440号は，愛媛県柳谷村の国道33号と高知県檮原町の国道197号を結ぶ幹線道路である．そのうち，県境の地芳峠は四国山地を横断する急峻かつ複雑な地形を形成しており，冬季には積雪・凍結による交通障害を発生するなど交通機能ならびに安全確保の面で多くの課題を抱えている(図-1)．

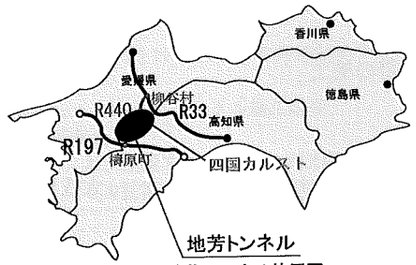


図-1　地芳トンネル位置図

これらを解消するため，地芳トンネルは国土交通省による権限代行の事業として進められており，全長2,990mのうち当JVは愛媛県側1,401mを施工するものである．

2. 地形・地質概要

地芳トンネル直上の地芳峠は，東西約25kmに及ぶ四国カルスト台地のほぼ中央に位置しており，トンネルの最大土被りは約400mとなっている．カルスト台地はカレンフェルトが露頭し，各所にドリーネが点在し，そこから雨水が浸透している．地質は秩父帯に属したジュラ紀の付加体で原設計においては粘板岩および砂岩の硬岩主体の地山と想定されていたが，坑口部から700m区間は粘板岩，緑色岩の混在岩，700～1,220mでは高圧・多量の地下水を有する石灰岩が主体で，ブロック化しており，その境界には非常に脆弱な粘板岩や緑色岩の混在岩が存在する．また，1,220m以奥では粘板岩主体の部分と細片状緑色岩および石灰岩の混在岩が存在しており，高知県側工区において変状対策に苦慮した実績がある(図-2)．

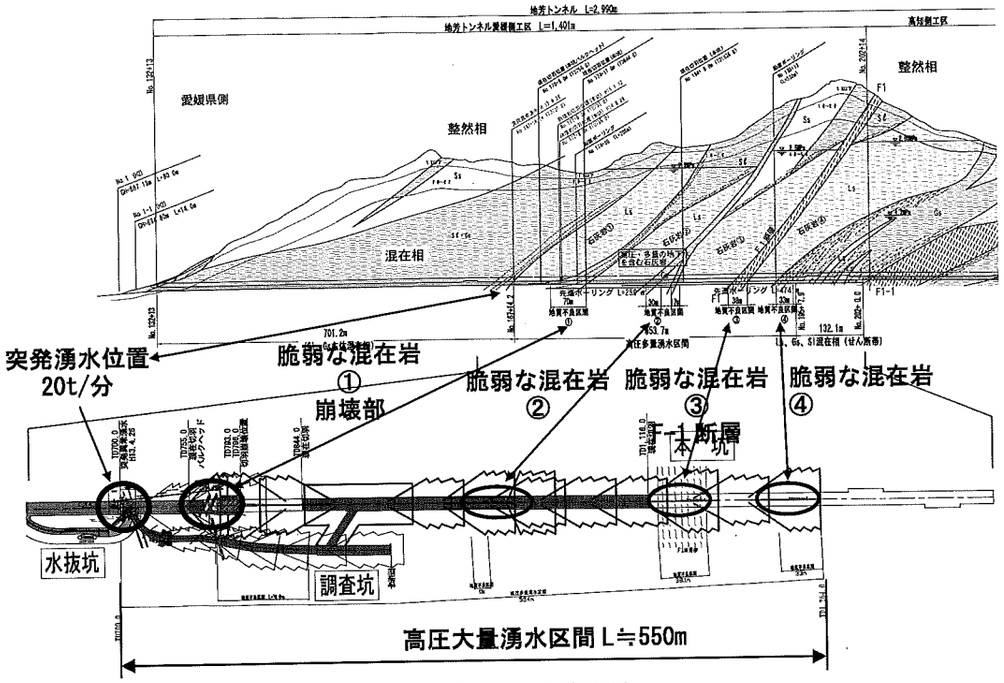
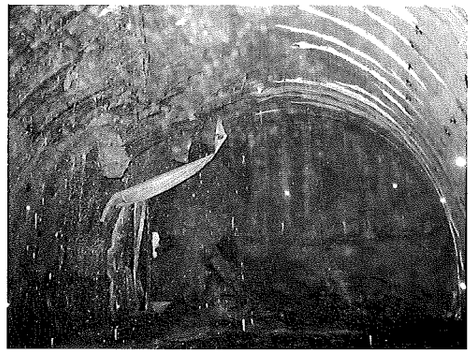


図-2　地質縦断図および平面図

3. 工事経緯

2001年4月26日，坑口から約700m(TD697m)位置において20t/minの突発大量湧水が発生し，計測の結果，水圧は常時2.0MPaを観測し，本坑掘削が困難となった．このため水抜き坑による対策を実施し本坑掘削を開始したが，再度切羽での湧水量が増加したため，止水注入工法の採用に至った．その後2002年5月29日，本坑第2回止水注入区間終点部(TD796m)まで掘削したところ6t/minの湧水とともに上半支保工の崩壊が生じた(写真-1)．このため，支保工崩壊部を埋め戻し再注入を実施し，本坑支保パターンを設計した後，掘削を再開した(図-3)．

しかし，2003年1月12日，TD793m付近まで再掘削を


写真-1　第1回変状状況(支保工崩壊)

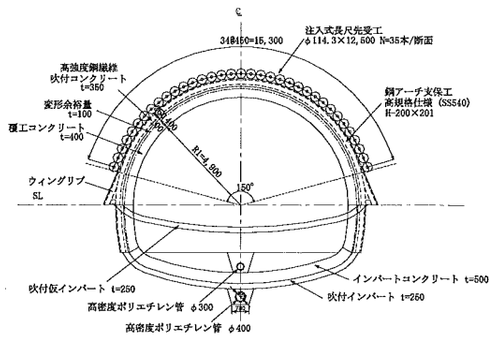


図-3　崩壊部対策支保パターン


写真-2　第2回変状状況(盤ぶくれによるボイリング状破壊)

実施したところで，今度は盤ぶくれに起因すると想定されるボイリング状の破壊が生じ本坑下半部の地山が10t/minの湧水とともに流出し，脚部沈下が460㎜に達して再び本坑支保が崩壊した(写真-2)．

このような状況下において，現状の切羽からの本坑掘削は無理であると判断し，調査坑を迂回坑として延伸し，本坑坑奥の堅固な岩盤部(止水注入効果が高い石灰岩部)まで取り付け，そこを基地として坑奥方向及び坑口方向に掘進を進めていく迂回坑案が採用された．

4. 調査坑の設計

4.1 支保パターンの設計

調査坑を迂回坑として，この地山変状区間を突破することとなったため，以下の設計方針にもとづき支保工設計を実施した．

① 全土かぶり圧が作用した場合においても耐え得る支保工とする．
② 高圧湧水が直接作用した場合でも十分抵抗し得る支保工とする．
③ 止水注入効果を確保するため地山変位を抑制する必要がある．このため，切羽位置において円形形状の高剛性支保工を早期閉合することとする．

以上の観点から，

・局所的な水圧載荷時における支保工設計を骨組解析により検討する(図-4)．
・全土かぶり載荷時における支保工設計を2次元弾性FEM解析により検討することとした．

両検討に使用する地山物性値については，本坑崩壊区間のトンネル内空変位量から逆解析により算定することとした．その結果を表-1に示す．

なお，調査坑の大きさは，本坑坑奥部掘削時の重機の出入りを考慮して$R=2{,}600$にて設計を実施した．これらの結果，調査坑については図-5に示す支保パターンを採用することとした．

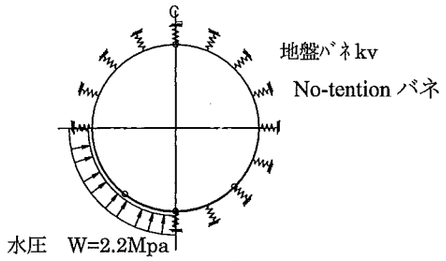


図-4 水圧載荷骨組解析モデル

表-1 地山変状区間逆解析結果

地盤変形係数E(kN/m²)	側圧係数K_0
9.50×10⁵	1.30

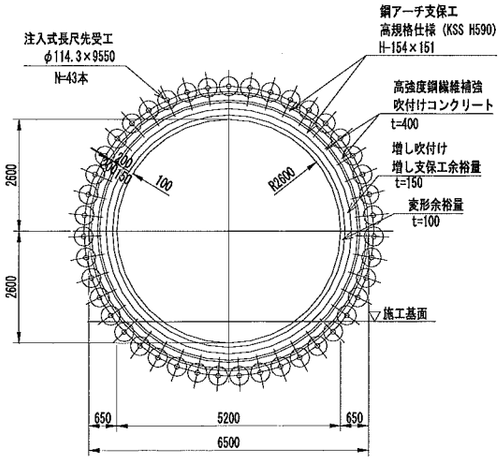


図-5 調査坑円形支保パターン図

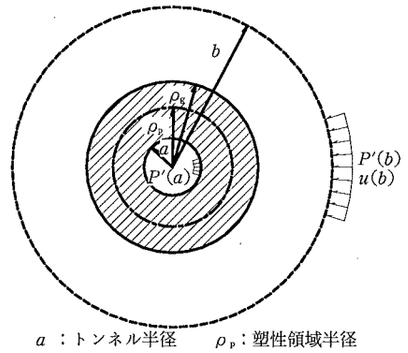
4.2 必要注入域の設計

4.2.1 解析モデル

地芳トンネルにおける地下水の特異性は，湧水圧が2.0MPaと異常に高く，しかも多量であり山岳トンネルでありながら海底トンネルと同様に考える必要があった．

そこで，注入範囲の検討は，青函トンネル施工時の検討結果を報告した「青函トンネル土圧研究調査報告書」[1),2)]に従って実施した．

解析モデルは図-6に示すように，半径aのトンネルを内周面，仮想外周面の半径をbとする厚肉円筒である．トンネルの周囲には半径ρ_gの注入領域がある．この厚肉円筒の外周に間隙水圧$u(b)$と有効土かぶり圧$P'(b)$が，内周面に支保工反力を想定した$P'(a)$が作用する．これらの作用によりトンネル周辺には塑性領域ρ_pが発生するため，内側から塑性領域，注入域，自然地山の3層の間隙水圧，応力，変位の分布を求める．また，注入による透水性の改良効果，塑性領域における透水性の変化を考慮し，注入による地山の力学的性質への



a ：トンネル半径　　ρ_p：塑性領域半径
ρ_g：注入領域半径　　b ：仮想外周半径
$P'(a)$：支保工反力
$P'(b)$：仮想外周に作用する有効応力
$u(b)$：仮想外周に作用する間隙水圧

図-6 解析モデル

影響は考えていない．

4.2.2 解析結果1

注入域の検討において，本報告書ではシールド工法など特殊な工法を用いず掘削する場合には，支保工反力$P'(a)$は期待できないと仮定している．すなわち$P'(a)$＝0 N/mm²で，安定な状態で掘削するためにいくらの注入域が必要であるかを解析している．

結果は，DⅠ級(C＝0.4～0.5N/mm²)の地山では，半径の3倍(3R)程度の注入域を設ければ安定な状態で掘削できるが，DⅡ級(C＝0.2N/mm²)の地山では，半径の5倍(5R)以上の注入域を設けても，安定した状態での掘削が出来ない結果となった(表-2, 3)．

なお，表中の解が求まっている箇所(網掛部)が安定な状態で掘削できる注入範囲を示す．

4.2.3 DⅡ級地山に対する注入域の検討

5R以上の注入域を設けても安定した掘削ができない結果となったことに対して，トンネル掘削前に(トンネル掘削に先行して)何らかの方法で，支保工反力を与えることができれば，著しく注入域が低減できることに着目し，とくに粘着力の低いDⅡ級地山に対してAGF工法を併用した注入域の検討を実施した．

解析モデルは図-7に示すように，トンネル掘削前にトンネル外周にAGF鋼管で支持された厚さtの改良体を構築する．改良体に発生する最大支保圧力(トンネル内面に作用する支保工反力$P'(a)$)は外圧を受ける厚肉円管の理論で計算することができ次式で示される．

$$P'(a)_{max}=\frac{1}{2}\cdot\sigma\left\{1-\frac{(r_i-t)^2}{r_i^2}\right\} \qquad (1)$$

ここに，σ_cは改良体の一軸圧縮強度である．

AGF鋼管の打設ピッチは45cmで計画するため，改良体の形状は，直径45cmの円形とする．これから周長あ

たりの換算厚さを算出すると，t＝35cmとなり，これを改良体の厚さとして用いる．

4.2.4 改良体の一軸圧縮強度(σ_c)

AGF工法の注入材はシリカレジンで計画しており，その一軸圧縮強度は表-4のとおりである．

4.2.5 AGF工法による支保工反力$P'(a)$の算定

一軸圧縮強度は安全側となる3.0N/mm²を使用．

$$P'(a)_{max}=\frac{1}{2}\cdot 3\left\{1-\frac{(3650-350)^2}{3650^2}\right\} \qquad (2)$$

$$=0.27\text{N/mm}^2$$

4.2.6 解析結果2

DⅡ級(C＝0.2N/mm²)の地山では，AGF工法(注入材：シリカレジン)などで，掘削前に支保工反力$P'(a)$＝0.2 N/mm²以上与えれば，半径の4倍(4R)程度の注入域を設けることで安定な状態での掘削が出来る結果となった(表-3，図-8)．

4.3 止水注入材の選定

注入材料については，本坑での2度にわたる止水注入区間での異常出水以降，水ガラス系懸濁型注入材(ジオ

表-2 DⅠ級地山解析結果

		物性値3(DⅠ相当)
物性値	c (N/mm²)	0.4
	φ (deg)	35
	E (kN/m²)	5.0×10⁵
	ν	0.35
	γt (kN/m³)	22

注入範囲		1.65	3.3 (2R)	4.95	6.6 (3R)	8.25	9.9 (4R)	11.55	13.2 (5R)
塑性領域 (m)	P'(a)=0 N/mm²	—	—	—	2.55	2.37	2.29	2.24	2.20
	P'(a)=0.1	—	—	2.21	1.98	1.89	1.85	1.82	1.80
	P'(a)=0.2	—	—	1.70	1.60	1.56	1.52	1.50	1.49
	P'(a)=0.3	—	1.60	1.37	1.31	1.28	1.27	1.25	1.25
変位量 (cm)	P'(a)=0	—	—	—	9.3	8.9	8.8	8.7	8.6
	P'(a)=0.1	—	—	8.1	7.7	7.6	7.5	7.5	7.5
	P'(a)=0.2	—	—	6.8	6.7	6.7	6.7	6.6	6.6
	P'(a)=0.3	—	6.3	6.1	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
湧水量 (t/min/m)	P'(a)=0	—	—	—	0.012	0.009	0.008	0.007	0.006
	P'(a)=0.1	—	—	0.014	0.010	0.008	0.007	0.006	0.006
	P'(a)=0.2	—	—	0.013	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006
	P'(a)=0.3	—	0.019	0.012	0.009	0.008	0.007	0.006	0.006

表-3 DⅡ級地山解析結果

		物性値2(DⅡ相当)
物性値	c (N/mm²)	0.2
	φ (deg)	30
	E (kN/m²)	1.5×10⁵
	ν	0.35
	γt (kN/m³)	21

注入範囲		1.65	3.3 (2R)	4.95	6.6 (3R)	8.25	9.9 (4R)	11.55	13.2 (5R)
塑性領域 (m)	P'(a)=0 N/mm²	—	—	—	—	—	—	—	—
	P'(a)=0.1	—	—	—	—	—	—	—	6.96
	P'(a)=0.2	—	—	—	—	—	5.23	4.47	4.21
	P'(a)=0.3	—	—	—	—	3.86	3.48	3.32	3.23
変位量 (cm)	P'(a)=0	—	—	—	—	—	—	—	—
	P'(a)=0.1	—	—	—	—	—	—	—	78.1
	P'(a)=0.2	—	—	—	—	—	53.4	46.7	44.5
	P'(a)=0.3	—	—	—	—	38.4	35.8	34.8	34.3
湧水量 (t/min/m)	P'(a)=0	—	—	—	—	—	—	—	—
	P'(a)=0.1	—	—	—	—	—	—	—	0.011
	P'(a)=0.2	—	—	—	—	—	0.012	0.009	0.008
	P'(a)=0.3	—	—	—	—	0.012	0.009	0.008	0.007

キープ#600，高炉セメントB配合)からセメント系注入材(デンカES，ES-L＋微粒子セメント配合)に変更した．本来セメント系の注入材は高強度・高耐久性を有するが，ゲルタイムの調整が難しいという欠点があった．しかし，今回採用した注入材は添加剤の量により数分～数時間の調節が可能であり，地山内の注入材先端部での逸走防止あるいは長時間の注入にも対応できるものである．表-5にセメント系注入材の配合例を示す．

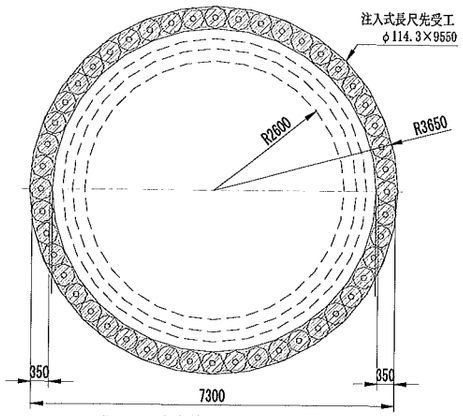


図-7 改良体(AGF)構築モデル

表-4 注入材一軸圧縮強度一覧表

注入材	3倍発泡(N/mm²)	4倍発泡(N/mm²)
シリカレジン	4±0.5	3±0.5

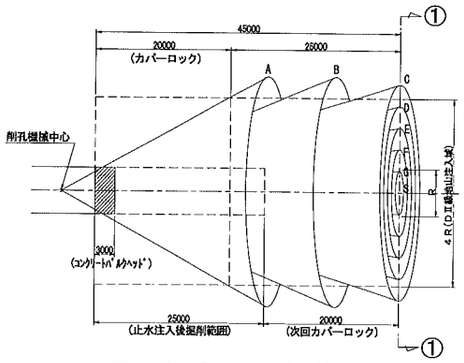


図-8 DⅡ級地山止水注入域図

表-5 セメント系注入材配合表

1,000 ℓ あたり配合(kg)			
A液500 ℓ		B液500 ℓ	
硬化材 (デンカES-L)	100	微粒子セメント (デンカコロイダルセメント)	400
凝結調整剤 (デンカセッター)	0.7	混和剤 (デンカFT-80)	4.0
水	466	水	364

5. 調査坑施工実績

この区間の地質は上下に石灰岩がありその間に緑色岩，粘板岩が挟まっており石灰岩の細かいブロックも伴っていた(**写真-3**)．緑色岩の一部は粘土化して非常に脆弱であったが，前述のような対策を実施し，1基ごと確実に閉合しながら施工した結果，支保工変形も小さく，また切羽からの湧水も微小で無事施工を完了することができた．**表-6**に解析におけるトンネル変形量の予測値と，実計測値の比較を示す．

また，地山物性値について調査坑の設計と同様の方法にて，計測結果から再度逆解析を実施し推定した．その結果を**表-8**に示す．

一方，掘削時の地質状況から本坑崩壊時のメカニズムが，トンネル掘削後高圧湧水により脆弱な緑色岩が変形→盤ぶくれ→ボイリング状の破壊の経緯で生じたことが推測出来た(**図-9**)．

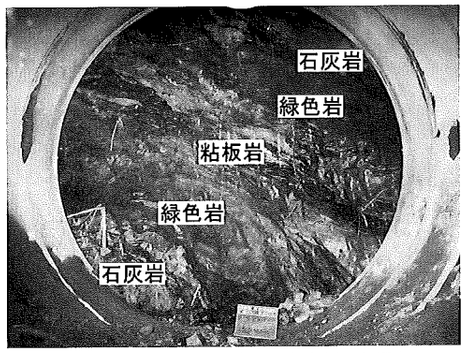


写真-3　石灰岩に粘土化した緑色岩等が混在

表-6　調査坑トンネル内空変位実績

項　　目	設計値	計測値
最大天端沈下量	3.9㎜	3.1㎜
最大内空変位量	20.8㎜	4.8㎜

表-7　調査坑逆解析結果

地盤変形係数E(kN/m²)	側圧係数K_0
7.84×10^6	1.35

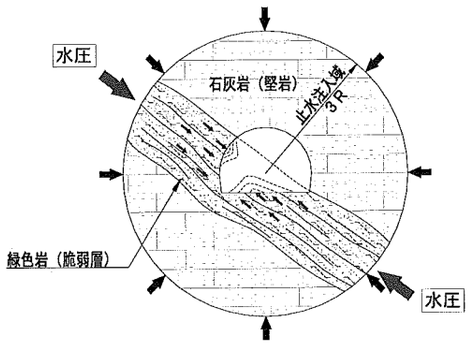


図-9　本坑切羽崩壊時模式図

6. 本坑の設計

再度坑奥の地質状況把握及び地下水状況確認のため，調査坑より高知県側工区境TD1378.5mまで$L=474$mの先進ボーリングを実施した(**写真-4**)．この結果，石灰岩体にはこれまで以上の水圧2.65MPaを有する大量高圧湧水区間の存在や断層破砕帯を含む脆弱な混在岩の存在が3か所確認された．

このため，調査坑の施工実績を踏まえて以下の設計方針にもとづいた本坑支保工の設計を実施した．

① 調査坑での施工実績を踏まえて，切羽位置における支保工の早期閉合が非常に重要である．
② 調査坑と同様に，全土かぶり圧および局所水圧載荷においても十分な支保耐力を有する仕様とする．
③ 止水注入効果を確保するため地山の緩みを抑制する必要がある．このため，切羽位置において円形形状の高剛性支保工を早期閉合することとする．
④ 本坑において円形断面を全断面掘削した場合には，切羽高さが12mを超えるため，切羽安定の確保が必要となる．
⑤ 止水注入の効果，地山状況の把握および各種計測データを確認して設計の妥当性の検証を行うために，導坑を先進して掘削することとする．

これらの設計方針にもとづき，側壁導坑先進全断面掘削案と中央導坑先進全断面掘削案を検討した結果，早期断面閉合にもっとも有利な中央導坑先進全断面掘削案を採用した．

本坑坑奥側の石灰岩中の脆弱な混在岩においては，「5. 調査坑施工実績」にて求まった地山物性値による設計を基本とするが，トンネル計測結果において解析以上の変位量が観測された場合については，鋼製支保工による補強などが可能な対応を行うこととした．また切羽補強については，先進導坑において施工する360°注入式長尺先受け工により，本坑全断面掘削においても切羽安定が損なわれることがないように考慮した．

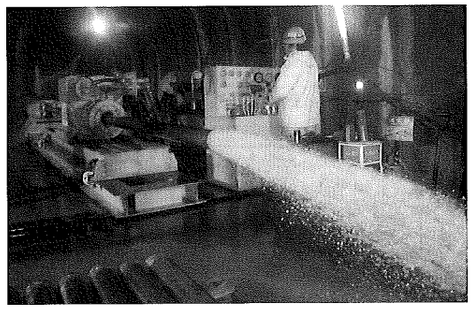


写真-4　先進ボーリング施工状況

検討結果について，**図-10**に支保パターンを示す．なお，先進導坑については，調査坑と同一支保パターンによる掘削を採用することとした．

現在本坑坑奥側の最初の脆弱な混在岩区間を中央導坑先進分割式全断面掘削にて施工を完了した．加背割りおよび手順を**図-11**に示す．掘削高さが全体で約12mにもなることから，加背については下半を2分割にして施工を行い，確実に1基ごとに閉合しながらの施工とした．また，中央導坑からの注入式長尺先受け工(全周，速硬・膨張型モルタル使用)の打設により本坑切り拡げ時の切羽の安定を図れた．中央導坑の支保工撤去には油圧圧砕機を採用し，ブレーカとの併用で安全に撤去することができた．

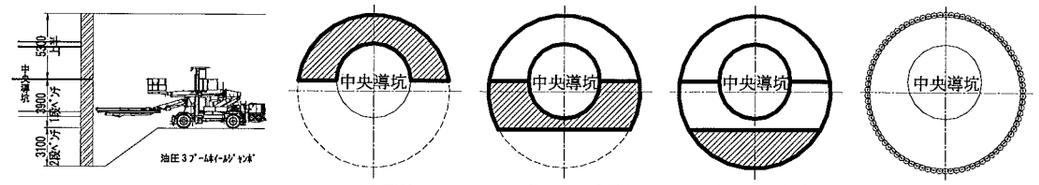


図-11　分割式全断面掘削方式手順図

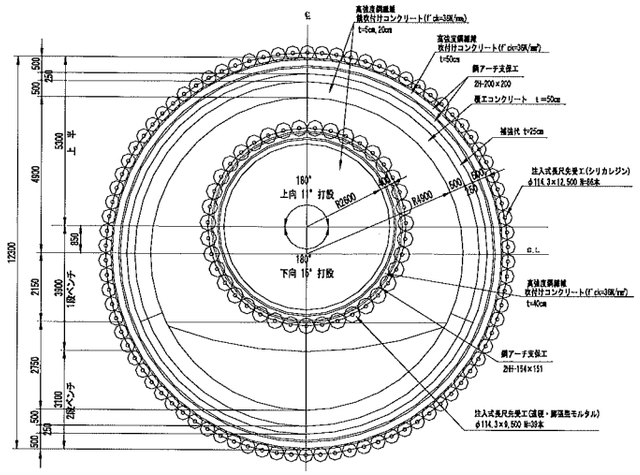


図-10　中央導坑タイプ支保パターン

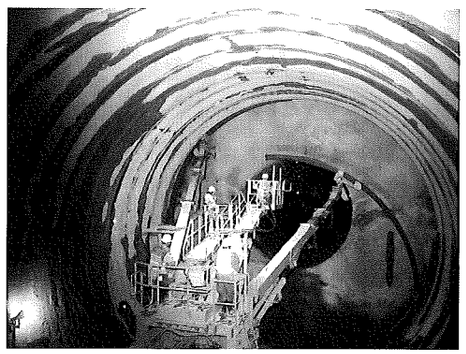


写真-5　本坑EⅡ'1施工状況

本トンネルの技術的検討は，企業者，専門技術者(学識経験者)，請負者で編成されている「地芳トンネル技術検討連絡会」により諮り進められている．本坑の2回の崩壊以降，そこで検討，採用された主な設計，施工方法について以下にまとめる．

① 支保工の設計：全土かぶり圧および高圧湧水に抵抗し得る高剛性円形支保工の採用．
② 掘削工法：分割式全断面掘削工法の採用による超早期切羽閉合の実施．
③ 切羽安定対策：導坑先進工法の採用．
④ 止水注入工：耐久性の高いセメント系注入材の採用．注入領域は「青函トンネル土圧研究調査報告書」[1),2)]に従って設計．

以上のような対策により，その後の施工はほぼ計画どおりに進捗しており，最初の脆弱な混在岩区間も無事突破することができた．現在は，F-1断層部の施工に着手しており，その後の地質脆弱部や本坑崩壊部については，更なる検討が必要になってくると思われる．

参考文献

1) (社)土木学会：青函トンネル土圧研究調査報告書，昭和52年3月．
2) 足立紀尚・田村武：高圧湧水下のトンネル工における水抜孔の効果と注入域の適性規模，土木学会論文報告集第280号，1978.12.

第61回(都市)施工体験発表会最優秀賞

上総群層の固結シルト層における大断面シールドの鏡切り工・発進防護工の施工

首都高速道路(株)東京建設局大橋建設グループメンバー 小 島 直 之
首都高速道路(株)東京建設局大橋建設グループ上級メンバー 長 田 光 正
清水建設(株)首都高大橋シールド作業所工事長 谷 口 禎 弘

1. はじめに

首都高速中央環状新宿線は，現在早期開業に向けて急ピッチで建設が進められている．

当工区はトンネル工区のうち，もっとも渋谷寄りに位置し，環状6号線(山手通り)および国道246号線の交差部を挟んで，泥水式シールド工法によりセグメント外径12.65m，延長約430mの上下併設トンネルを築造する工事である．

トンネル部の地質は上総群層の固結シルト層(以下，Kc層という)という安定した地盤であり，この地盤特性を利用して鏡切りおよび発進防護を行った．

鏡部の土留め撤去にはコアボーリングとワイヤーソーを併用して大型ブロックを切り出し，露出した鏡面に吹付けモルタル，フェイスボルトなどの簡易な防護工を施したものである．

本稿では，発進防護工の計画概要および鏡切り工と発進防護工の施工について報告する．

2. 工事概要

工 事 名：首都高速中央環状新宿線 SJ11工区(1・2)
　　SJ13工区トンネル工事
企 業 者：首都高速道路(株)
施工場所：東京都目黒区青葉台四丁目～大橋一丁目
工事内容：
　セグメント外径　12.65m(シールド外径12.94m)
　トンネル延長　431.7m(上下併設，施工延長は863.4m，最小離隔1.5m，上側トンネル先行施工)
　最大土かぶり　43.8m
　シールド形式　泥水式
　シールドのジャッキダウン・Uターン
　最小曲線半径　123.5m

3. 土質条件

当工区ではトンネルはほぼ全線にわたりKc層に位置する．トンネル部分のKc層は局所的に細粒砂の薄層(層厚は数cm～20cm程度でシーム状)を挟み，その分布状況は連続性に乏しいものと推測されている．介在砂層内の地下水は被圧されており，発進立坑付近の被圧地下水位はT.P.＋17.0m程度であるが，地下水の供給量は少ないと考えられる．Kc層の上位には東京礫層が層厚1.50～3.25mで分布し，地下水が豊富である．発進立坑付近の地下水位は，T.P.＋16.5m程度であり被圧されている．

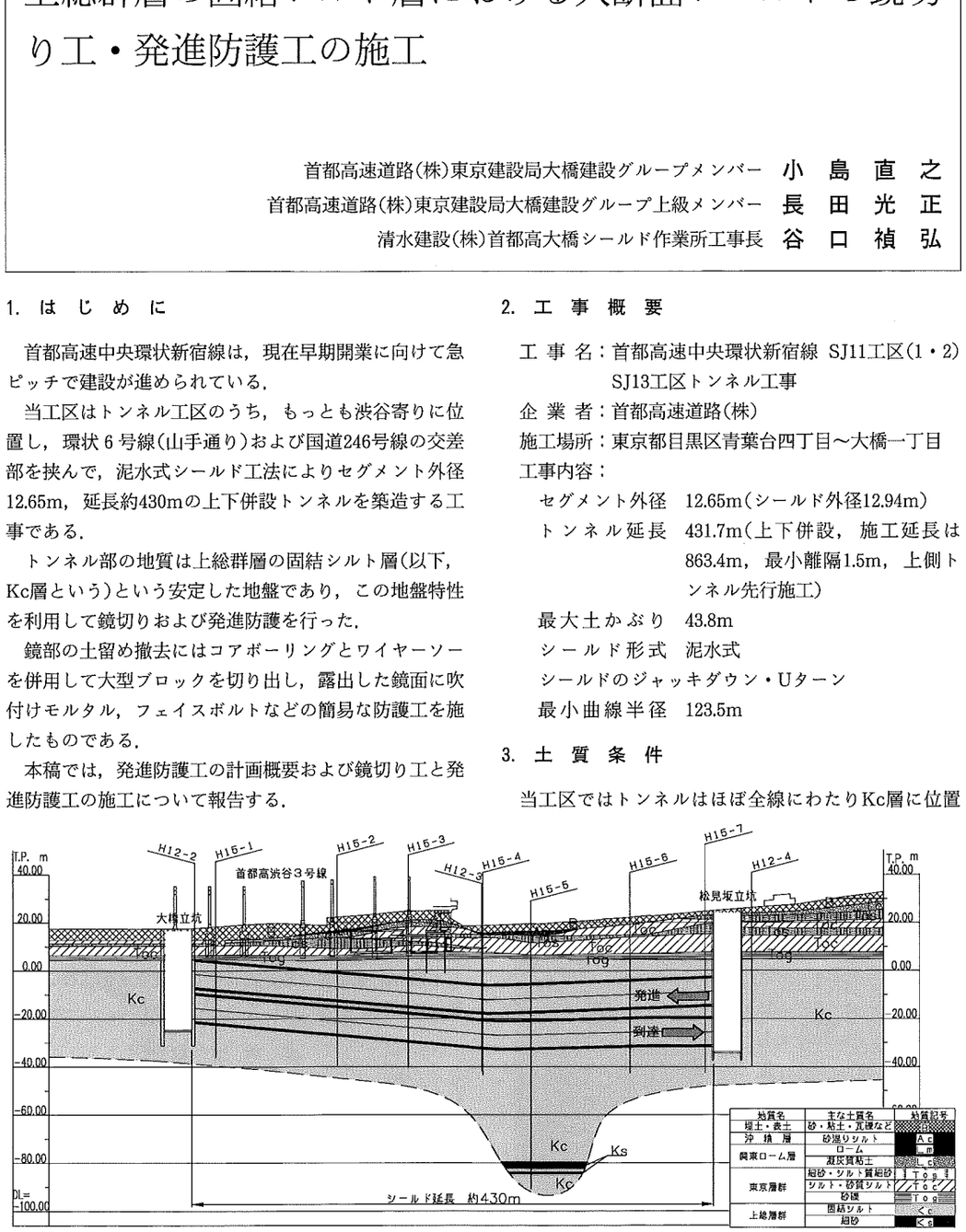


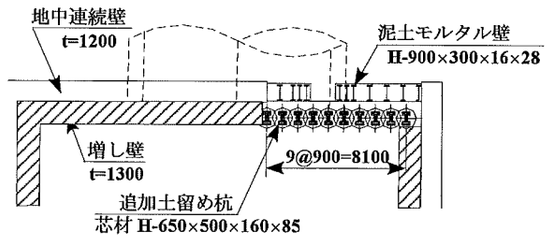
図-1 トンネル縦断方向地質想定断面図

表-1 松見坂立坑の概要

試料の状態	上限降伏値/軸差強度($\sigma_u/(\sigma_1-\sigma_2)$%)
湿潤状態	70.8
乾燥状態	80.0
全体平均	75.4

表-2 採用した発進防護工

供試体方向	平均一軸圧縮強度(kN/m²)
鉛　直	2043(100%)
水　平	944(46.2%)



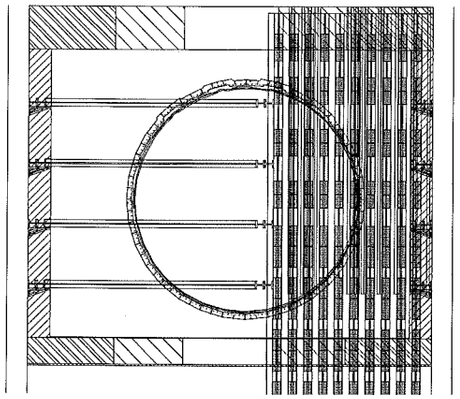


図-2 松見坂立坑の概要

去し，鉄筋コンクリートの増し壁(壁厚1.30m)を打設してある．このため作業空間としては，増し壁の内寸法20.70×20.64mである．腹起は増し壁内に存在している．

また，発進立坑には上側シールド発進に必要な深さでかまち梁を設置してある．シールドが到達および再発進立坑である大橋立坑でUターンの準備をしている間に，下段を掘削し構築を行う予定である．

シールドの寸法は外径12.94m，機長11.12mで，シールド発進のための開口は直径13.24mとした．松見坂立坑の概要を図-2に示す．

5. 発進防護工の検討

シールド工事において発進時の鏡部は無支保の状態となるため，安全上からシールドの組み立てが終わった発進直前に鏡部の土留め壁を撤去するのが一般的である．しかしながら，当工区では発進立坑の内空寸法が小さく，シールドの組み立てが終わった後では，機械を用いての土留め壁の撤去が困難であるため，土留め壁を撤去した後，シールドを組み立てることにした．

また，シールド発進部には鏡部の安定を図るために凍結工法，高圧噴射撹拌工法により改良することが一般的に行われているが，鏡部に出現するKc層には，これらの地盤改良工法の適用は困難である．そこでKc層の自立性に期待し，地盤改良工法なしでシールドの組み立て開始から発進までの約7か月間，鏡部の安定が保てるかの検討を行った．

検討に用いたのは①切羽すべり面土塊釣り合い計算(村山の式)，②切羽の剝離・剝落現象についての文献調査，③FEM解析，④地山強度比からの評価である．

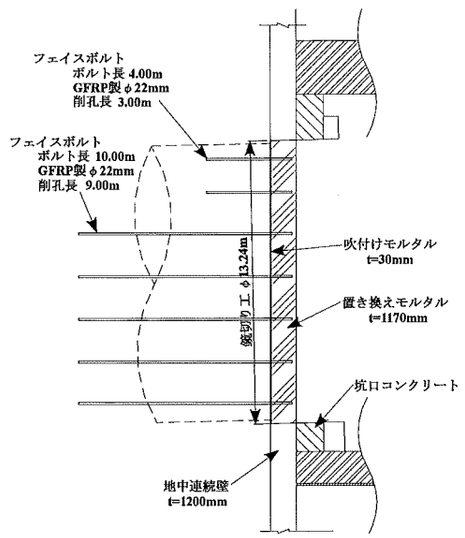


図-3 採用した発進防護工

検討の結果，土留め壁撤去時および約7か月間の放置期間において，無対策の状態では必ずしも鏡部の安全性が確保されているとは言えないことがわかった．そこで次の考え方を基本に防護工を設定した．

- 立坑土留め壁コンクリート撤去部分の地山表面には速やかにモルタル吹付けを行い，地山の乾燥領域の拡大を抑止する．
- 一度に立坑土留め壁コンクリートの撤去する範囲を小規模に分割し，地山の応力解放領域が広範囲にならないようにする．
- 立坑土留め壁コンクリートを撤去した部分は速やかにモルタルなど仮壁を打設し，仮壁により地山に拘束圧の低下を極力小さくする．
- 地山にフェイスボルトを打設することにより地山の応力解放の抑止を図る．

採用した鏡部防護工を図-3に示す．フェイスボルトの打設ピッチは1本/2m²とし，ボルト長は，FEM解析結果による破壊安全率が1.0を下回る領域が村山の式におけるすべり破壊線に沿っていることから，すべり破壊線を越して定着させることにより決定した．また，シールドによる切削可能な材料としてガラス繊維補強ボルト(φ22㎜)としている．

6. 鏡 切 り 工

鏡切りに先立ち，Kc層の上部に分布する被圧帯水層である東京礫層に対し，立坑を取り囲むように薬液注入を実施した．この理由は，立坑掘削に伴い土留め壁は変形するが，Kc層は自立性が高いため土留め壁背面には部分的に空隙が発生する可能性があり，東京礫層の豊富な地下水が土留め壁背面に沿って流下し，鏡切り時に出水するおそれがあると判断されたためである．また，この空隙が存在することが予想されたので空隙充填注入を行った．

鏡切りにより地中応力が解放されるので，一度に開口する面積が大きいと鏡が不安定になることが考えられた．このため直径13.24mの坑口を下方から7段(地中連続壁部を18ブロック，泥土モルタル壁部を7ブロック)に分けて土留め壁を撤去し，各段を撤去する毎に排水処理，吹付けモルタル，フェイスボルト，および置き換えモルタルを施工した．鏡切りの施工フローを図-4に，7段の分割状態を図-5に示す．

鏡部の上部には，発進立坑の支保工である厚さ2.50mのかまち梁があり，この下で鏡切りのすべての作業を行う必要があった．また，揚重機や資材の出し入れはかまち梁の開口を通過させて行った．

土留め壁の撤去方法は次のとおりである．連壁部では，

- 鉄筋コンクリートが2.5mの厚さ(地中連続壁＋増し壁)のため，撤去工法は周辺住民に与える影響を考慮して，コアボーリング(φ150㎜)とワイヤーソーを併用する
- 切断した大型ブロックの下部にチルタンクと牽引用のチルホールを設置して，ブロックを天井クレーンが使用可能な位置まで引き出す

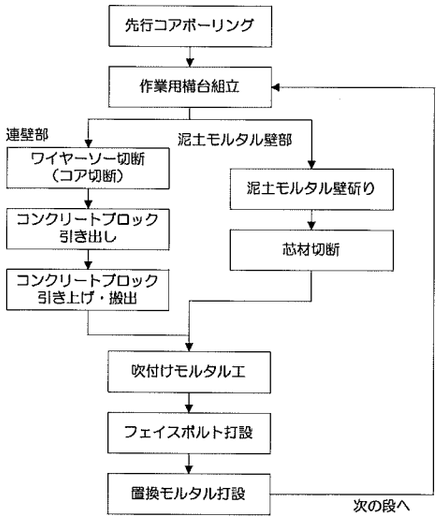


図-4 鏡切りの施工フロー

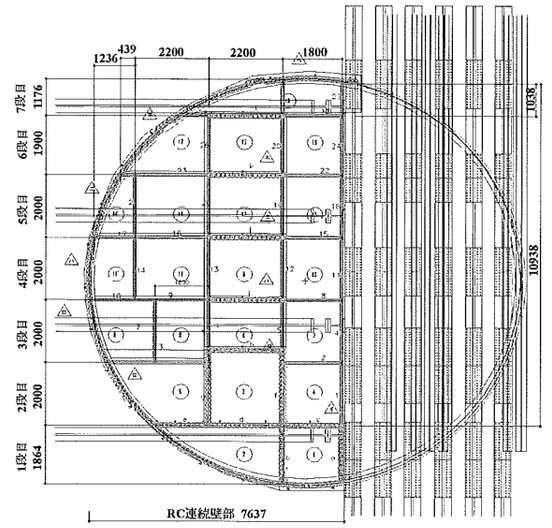
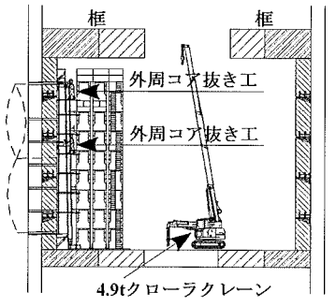
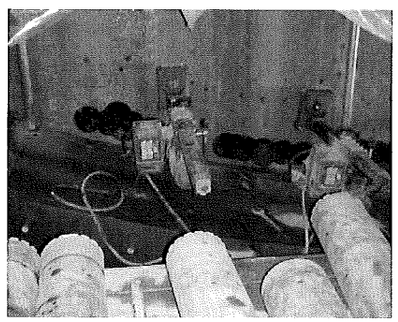


図-5 鏡部の分割状態(7段)

① 先行コア抜き

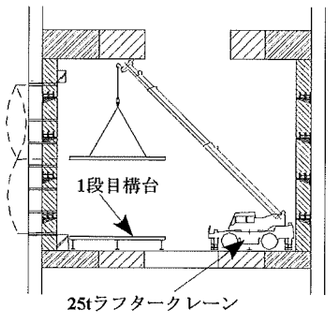
鏡部外周を事前にφ150㎜のコアで連続削孔する．下段から撤去するため一部は残している．

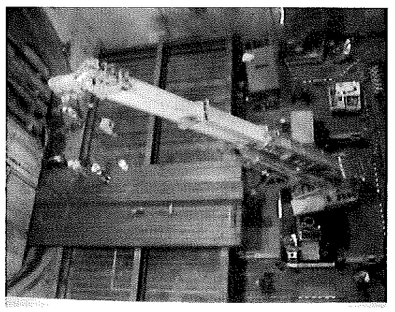




② 作業用構台設置

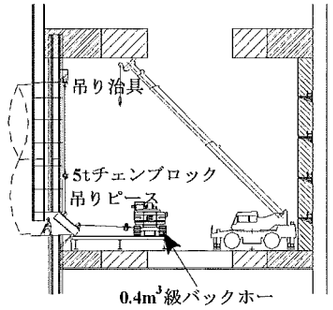
撤去するブロックの高さに構台を組み立てる．構台設置のための25t吊りラフタークレーンは30t吊り天井クレーンにより吊り降ろした．

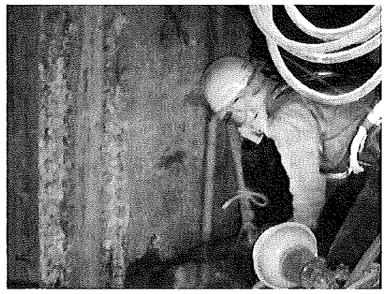




③ 1段目泥土モルタル壁芯材撤去

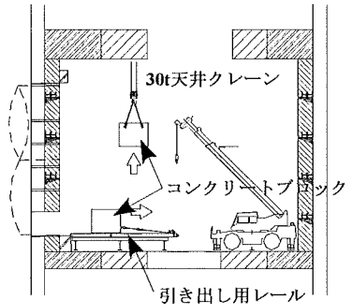
泥土モルタル壁は泥土モルタル部を人力により斫り，芯材をガスで切断する．

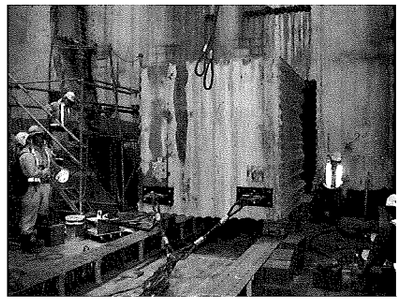




④ 1段目ワイヤーソー・コア抜き，ブロック引き出し・引き上げ

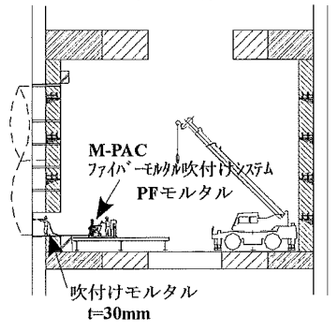
連壁部は縁切りの後，ブロックの下部に設置したチルタンクや牽引用のチルホールを使用して天井クレーンにより揚重可能な位置まで引き出す．

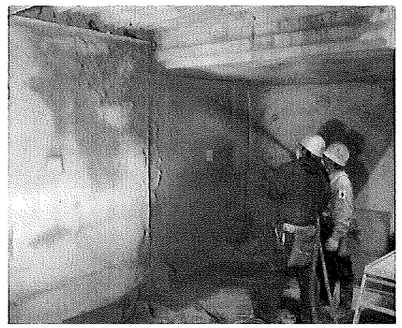




⑤ 吹付けモルタル打設

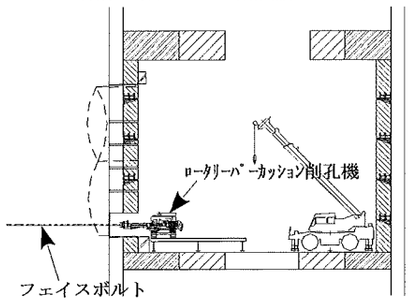
繊維入りのモルタル(PFモルタル)を吹き付ける．

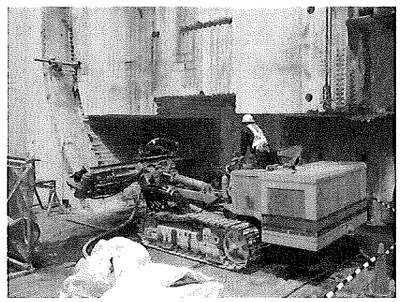




⑥ フェイスボルト打設

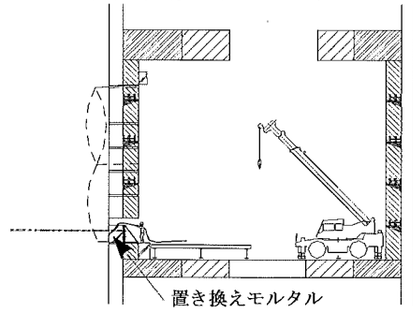
シールドによる切削が可能なガラス繊維補強ボルト(1～5段目は10m，6および7段目は4mの長さ)を打設する．





⑦ 型枠・支保工設置，水抜き管設置，置き換えモルタル打設

地山の拘束圧の低下を極力少なくするために，シールドで切削が可能な貧配合モルタルを(厚さ約1.2m)打設する．



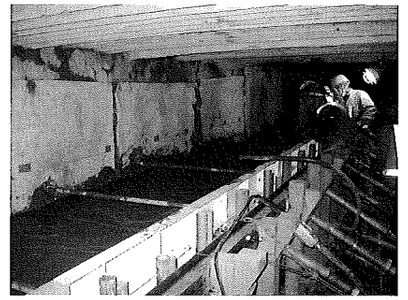


図-6 施工ステップ

表-3 鏡切り工の工程

	平成18年 9月	10月	11月	12月	平成19年 1月	2月
空隙充填注入	▬					
先行コアボーリング	▬▬▬	▬▬▬				
先行泥土壁斫り	▬▬	▬▬				
1段目ブロック撤去		▬▬	▬▬			
2段目ブロック撤去			▬▬	▬▬		
3段目ブロック撤去				▬▬	▬▬	
4段目ブロック撤去				▬▬	▬▬	
5段目ブロック撤去				▬▬	▬▬	
6段目ブロック撤去					▬▬	▬▬
7段目ブロック撤去					▬▬	▬▬
構台解体，清掃					▬▬	▬▬

・ブロックを30t吊り天井クレーンで地表まで揚げ，地表でワイヤーソーにより小割りしてダンプトラックで搬出する

泥土モルタル壁＋追加土留め杭部では，芯材の周囲に付着した泥土をブレーカーにより除去した後，芯材をガス切断した．

各施工ステップの概要を図-6に示す．

以上の施工ステップを7段までくり返し，鏡切りを完了させた．

鏡部の土留め壁背面の空隙充填注入から7段目ブロック撤去，構台解体，清掃まで，一連の鏡切り工に要した期間は約5か月であり，工程表を表-3に示す．

第7ブロック撤去工を完了した後，置き換えモルタル面に壁面変位計を取り付け，鏡面のはらみ出し状況を計測した．

鏡切り工に引き続いて3月初旬からシールドの組み立てを行い，シールドの初期発進は8月末となった．第7ブロックの撤去工を完了後，約7か月間鏡面を放置していたが，鏡面の変位が大きくなることはなく，鏡面中央部付近での最大はらみ出し量は3.2～4.5㎜程度であり，無事にシールドを発進することができた．

7. おわりに

Kc層における大断面シールドの発進防護工について種々の面から検討を加えた結果，Kc層の地盤特性を利用した鏡切りと簡易な発進防護工を施工し，約7か月間鏡面を放置したのち，無事にシールドを発進することができた．また，到達部でも同様な工法で鏡切り，防護工を行いシールドを到達させた．なお当工区では，同様な工法で再度発進と到達を行う予定である．これらの方法が今後の防護工の検討に参考になれば幸いである．

1月号予告[1月1日発売予定]

〔特集：海外トンネル工事〕
●ボスポラス海峡横断トンネル(トルコ)
●スロベキア高速道路トンネル(スロベキア)
●マドリッド環状道路トンネル(スペイン)
●アルジェリア東西高速道路トンネル(アルジェリア)
●台北地下鉄新荘線(台湾)
●パース市地下鉄(オーストラリア)
●ナムツン2水力発電所導水路トンネル(ラオス)
【連載講座】
●シールド工事の施工に関するQ&A(7)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆2007年も残すところあと1か月です．今年もいろいろなことがありました．大きな地震が日本海側で2件発生し，甚大な被害をもたらしました．参議院選挙では自民党が惨敗し，参議院の第一党が民主党になりました．福田内閣が発足し，テロ特措法の期限切れに伴う自民・民主の大連立が浮上し，民主党・小沢代表の辞意表明，撤回．厚生労働省がらみのC型肝炎問題・年金問題，防衛省がらみの問題と解決しなければならない問題が山積しています．
◆とうとうレギュラーガソリンが1ℓあたり150円前後まで上昇しました．車用品の量販店では，燃費をよくするグッズがかなり売れているようです．東京モーターショウでは各社がエコを意識した車を次々と出展していました．あと何年かすると，かつての石炭で走っていた列車のように，ガソリンで走っていた車が懐かしいと思われるときが来るのかもしれません．
◆海外に目を向けると，大リーグのワールドシリーズでは初の日本人が所属する球団同士の戦いとなり，ご存知のとおり岡島・松坂選手のボストンレッドソックスがみごとワールドチャンピオンに輝きました．両投手とも見事な活躍で日本人として大変誇らしい気持ちになりました．
◆さて，次号の「トンネルと地下」では，海外のトンネル工事にスポットを当て，海外で活躍している日本企業の施工報告を特集いたします．

(K.Y)

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

トンネルと地下
第38巻 第12号〔通巻448号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年11月20日　印刷
平成19年12月1日　発行

社団法人日本トンネル技術協会
会長　小森　博
〒104-0041　東京都中央区新富2丁目14番7号(新光第一ビル)
TEL：03-3553-6174
FAX：03-3553-6145
http://www.japan-tunnel.org
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

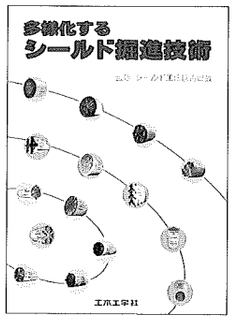
本誌掲載記事を無断で複写(コピー)および転載することは，著作権上での例外を除き，禁じられております．本誌から複写または転載を希望される方は，小社(03-3267-2888)までご連絡ください．

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

TAIKU

CL301E型
カッタローダ



強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

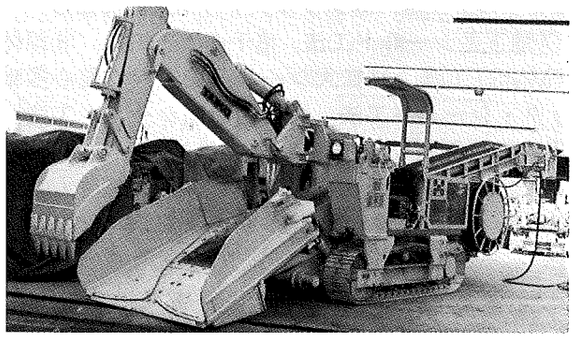
特長

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

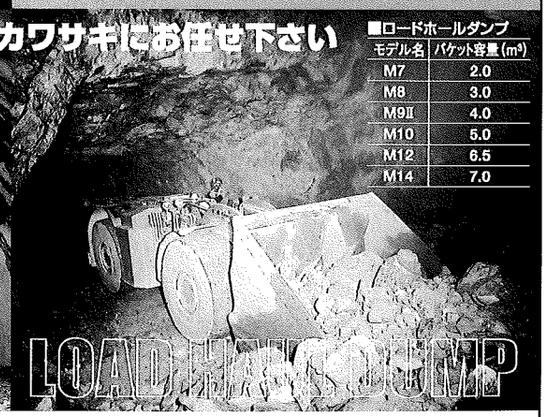
■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.6
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/