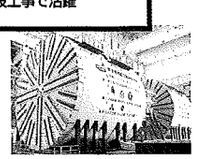
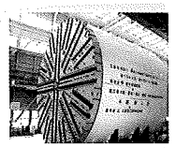
トンネルと地下　平成19年10月1日発行第38巻第10号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂




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



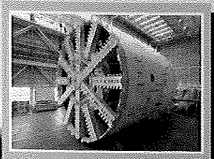
1993
《世界最大級の泥水式シールド》
東京湾横断道路工事で活躍



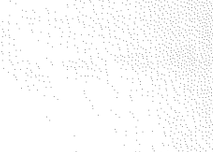
2003
《超大断面・大深度・長距離掘削用シールド》
神田川・環状七号線地下調整池の建設で活躍



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



2006
《ドバイLRT用シールド》
ドバイの交通網の発展に貢献



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



（交通新聞提供）
1939
《日本最初の本格的シールド》
関門トンネル工事で活躍

# トンネル開発技術に60余年のヒストリー。

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　雑誌06619-10
本体価格1,500円
4910066191078
01500

10　446号　トンネルと地下

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年10月1日発行（毎月1回1日発行）　第38巻第10号　通巻446号　ISSN 0285-631X

# トンネルと地下 10

vol. 38
no. 10
2007

小土かぶり未固結地山をSENSで貫通
世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000mを掘削（設計編）
都営地下鉄におけるシールド二次覆工の剝落対策
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
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
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誌



●世界最大級（φ12.84m）のTBMで地下1,000m掘削編　vol. 38 no. 10 2007

# 世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

**安全性・経済性・高品質**

## デンカナトミック

吹付けコンクリート用急結剤

一般吹付け・高品質吹付け

### デンカナトミックTYPE-5

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

高強度吹付け

### デンカナトミックTYPE-10

- 安定した初期強度・長期強度発現性
- 付着性が大きく、跳ね返りが少ない

瞬結吹付け・初期高強度吹付け

### デンカナトミックTYPE-10S
### デンカΣショットS

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

優れた低粉じん吹付け

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

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

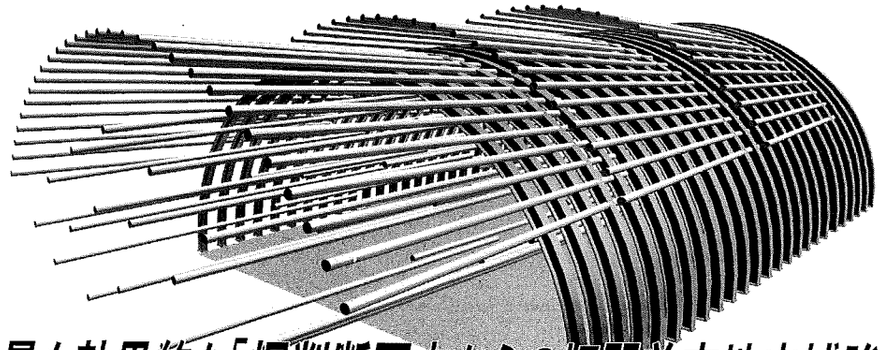
◆トンネル関連製品
- FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
- デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
- デンカクリアップ･･･吹付けコンクリート用粉じん低減剤
- デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
- デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
- デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
- デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
- デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材
- デンカパワーCSAタイプS／タイプR･･･コンク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

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

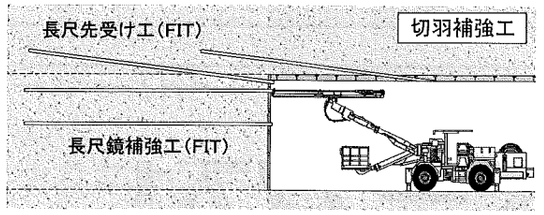
全方位 GFRP 管長尺補強システム

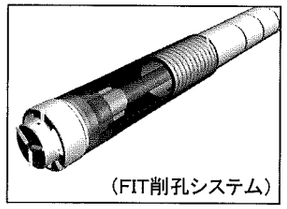
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

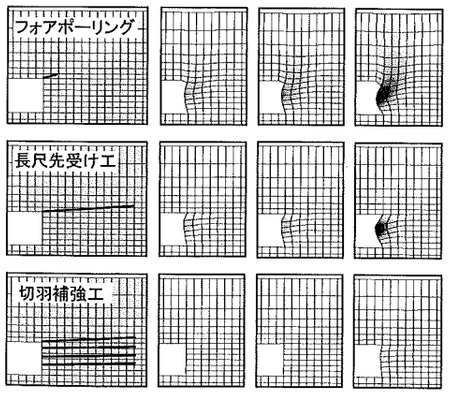
## FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



## 最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」

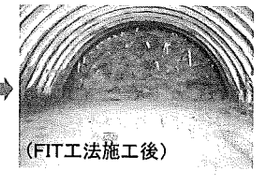




(FIT削孔システム)



(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)

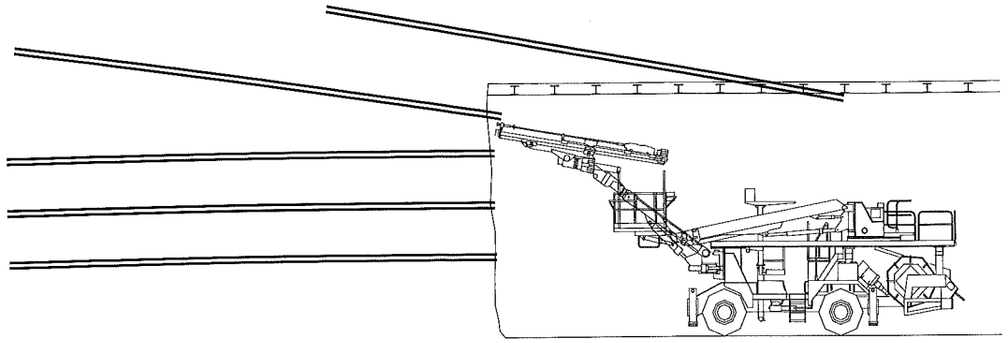
KFC 株式会社 ケー・エフ・シー
東京土木営業部 TEL(03) 3798-8511 FAX(03) 3798-8516
大阪土木営業部 TEL(06) 6363-1884 FAX(06) 6313-0755
札幌支店 TEL(011) 751-4681 FAX(011) 751-4682
ホームページ http://www.kfc-net.co.jp/

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

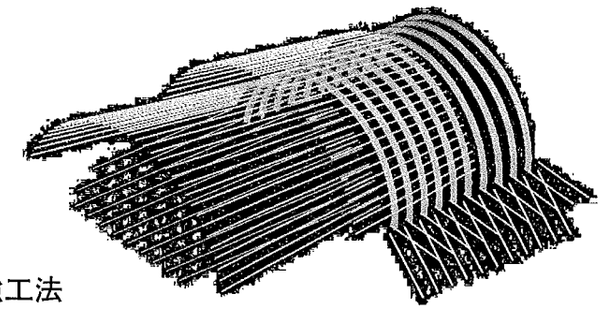
KATECS

# 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

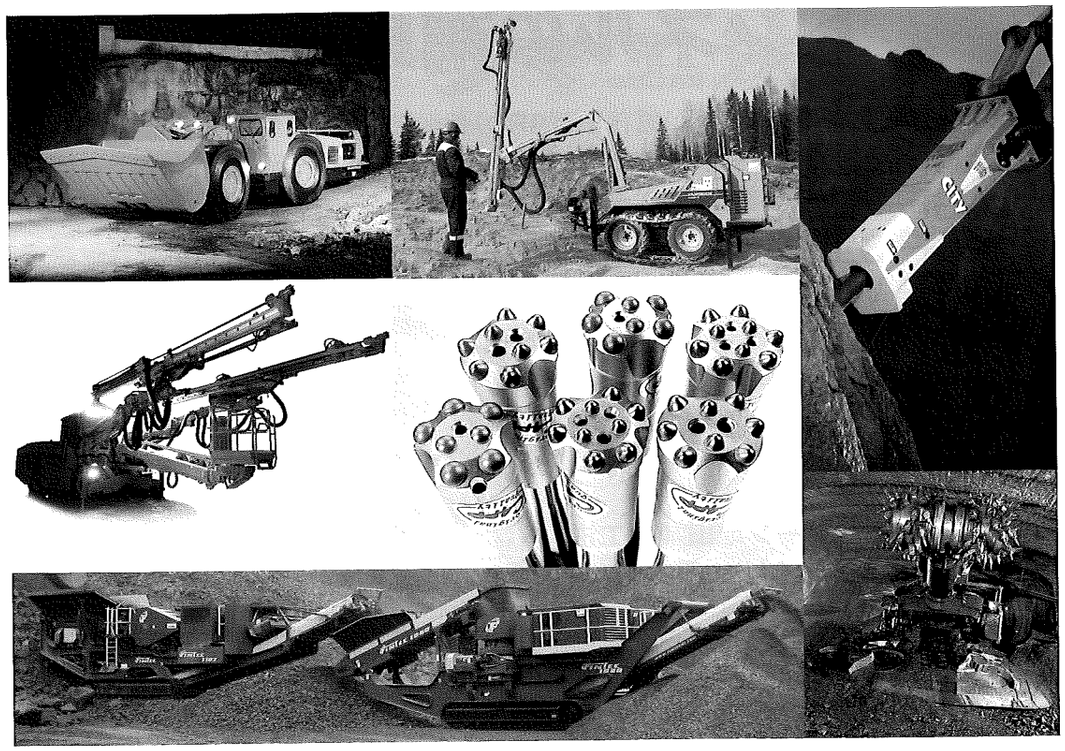
東京支店
〒112-0014　東京都文京区関口１丁目15番３号
第２麻生ビル２階
TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648

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

SANDVIK



Productivity
in Action

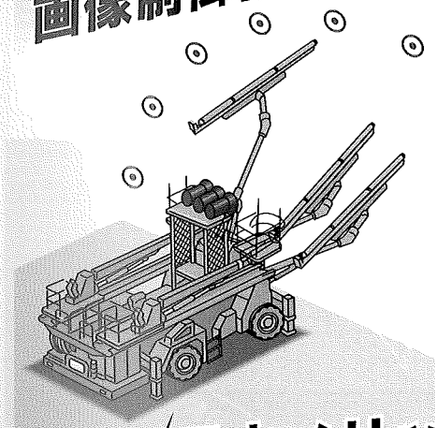
サンドビック マイニング アンド コンストラクションは、鉱山、建設業界においてトータルソリューションをご提供する世界のリーディングカンパニーです。
私たちの製品は、鉱山機械、建築機械、一般土木機械に広く対応し、製品群は、掘削機、クラッシャー、油圧ブレーカ、スクリーン、及びその消耗品類と広くカバーしております。
それらは、長い歴史で培った経験と知識が生かされた優れた設計に基づいた製品であり、また万全のアフターセールスサポートにより貴社を強力にバックアップいたします。
長い歴史を持つサンドビックは、お客様とのパートナーシップを大切にします。
私たちは、お客様とのより密なパートナーシップにより、お客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

NEW V Navigation
ジャンボVナビゲーションシステム

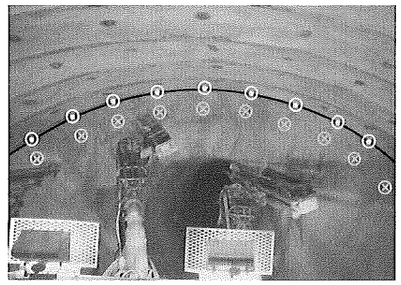
画像制御技術を建設システムソリューションへ

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

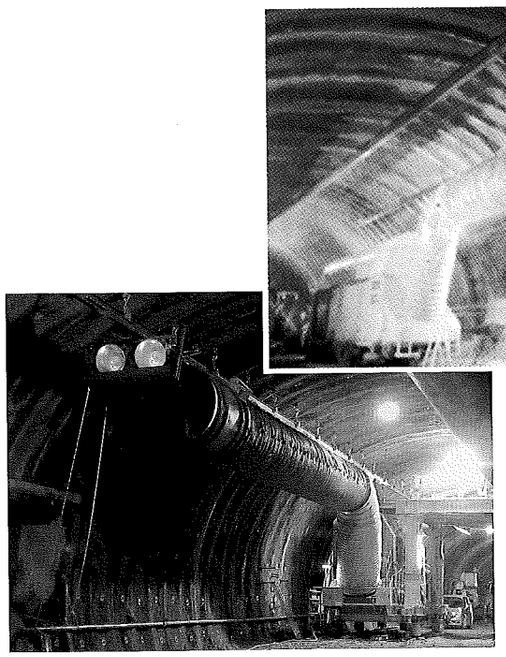
OPTION　削孔時の切羽画像記録機能
削孔後に確認ができる

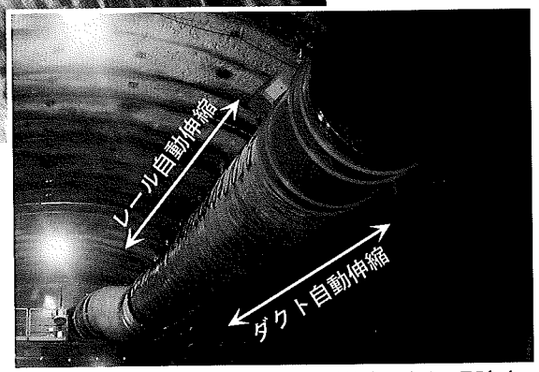
演算ロボリューションでお客様に驚きと感動を提供致します。

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Ⅰ7F
TEL. 03-3518-2588 FAX. 03-3518-2589

# 吸引ダクトシステム

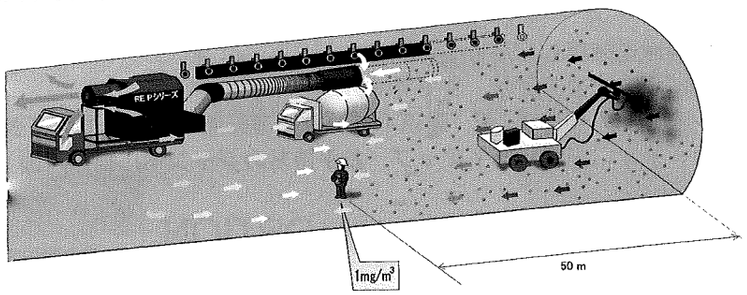
**業界初** 吸収ダクトシステム特許取得〔第3883483号〕
ガイドラインをクリア　1mg/m³達成!!






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.

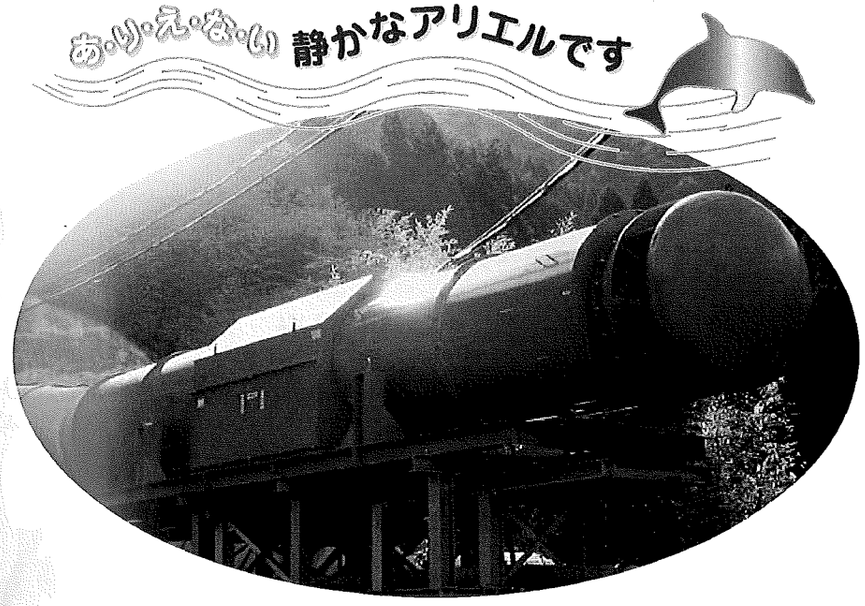



**宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています**

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!!




ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

**シールド、都市NATMなどの都市環境や**
**大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。**

**必要なとき、必要な容量の設備を提供します。**

超低騒音：エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比－5dB
省エネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、人－△直動方式や可変ピッチ方式より大幅に省エネができます。
高効率：固定翼、インバータ制御で広い性能点で効率のいい運転。
制御：ダストセンサーによる自動制御、集塵機との連動運転が可能。
（特許　第1742880　ダストセンサーによるインバータ制御）
使い易さ：軽量、**INV高調波対策も万全**、ソフトスタートでダクトを痛めずファンのメンテナンスも軽減。
**高価なフリッカ対策設備も不要。**
ｺﾝｻﾙﾃｨﾝｸﾞ：長年にわたって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

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

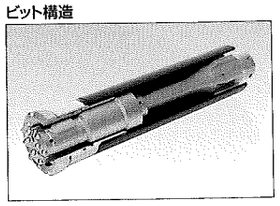
# 三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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

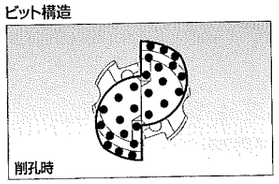
ビット構造

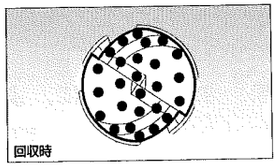


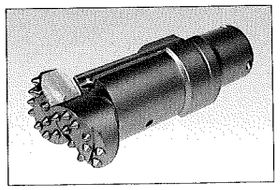
## ●スーパーメックスビット（SMB）打撃削孔式拡縮径タイプ

・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



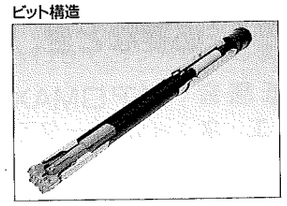



## ●スモールP（Small-P）システム

### ●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

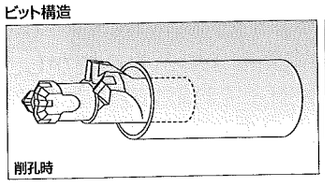
ビット構造

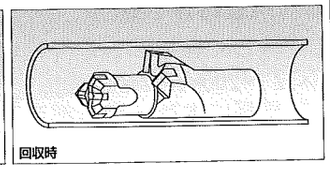


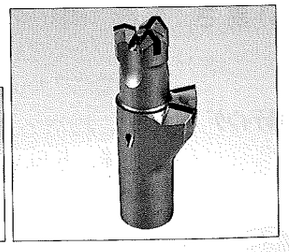
## ●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

・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。

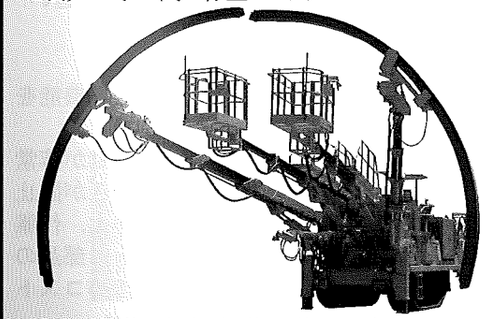
三菱マテリアル
●東京支店 ☎(03)5819-5263　●大阪支店 ☎(06)6355-1053　●九州営業所 ☎(092)573-7372　●海外グループ ☎(0584)27-5011




## 当社オリジナル機ラインナップ

### SCORPION　スコーピオン

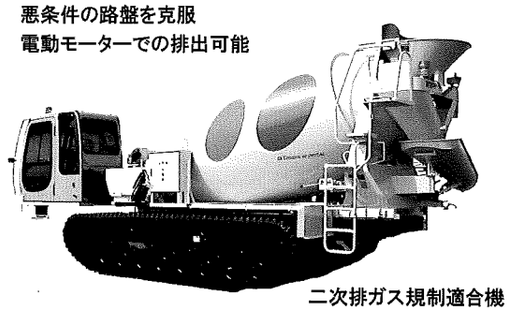
ゴムクローラー式一体型エレクター



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

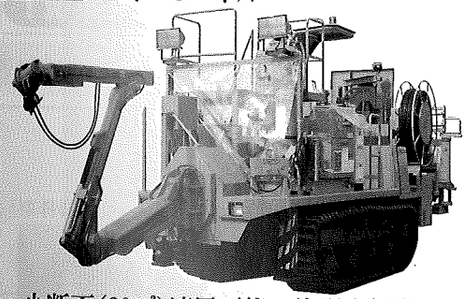
### ゴム・クロミキサー車

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

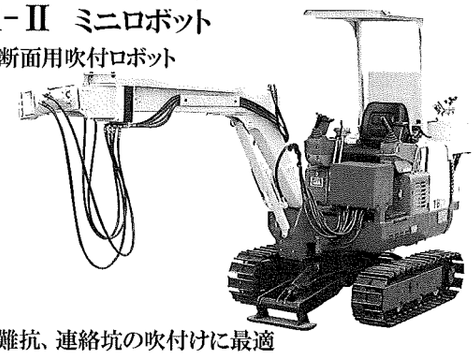
### MBTL　ミニビートル



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/

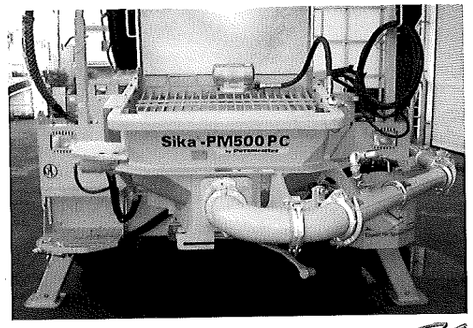
株式会社　トンネルのレンタル
〒389-0506　長野県東御市祢津字元会下1080-9
TEL 0268(62)1426　FAX 0268(62)1999
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

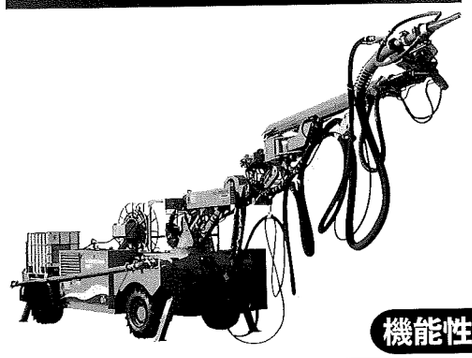
# 吹付けコンクリートシステム

Sika® PM Putzmeister
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

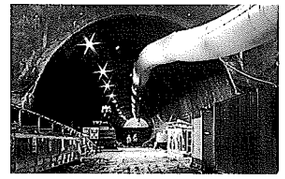
バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)



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

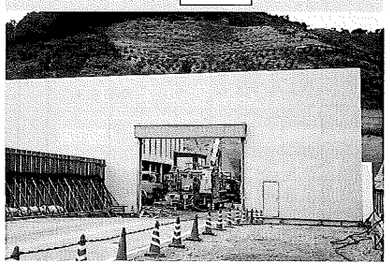
# 騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



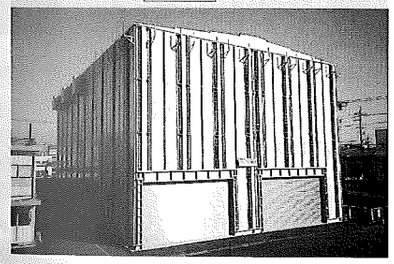
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



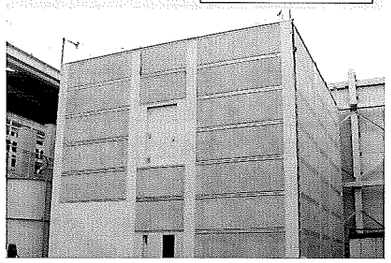
適応性の優れた防音パネル

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

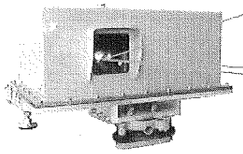
設計施工　株式会社トーユーエコサポート

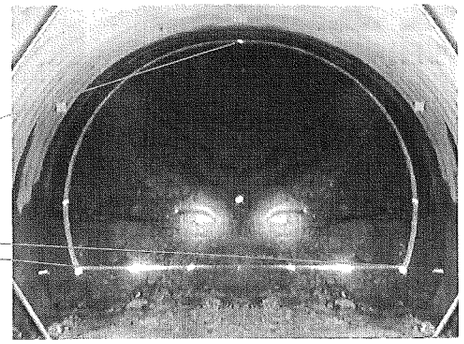

建設業界に貢献するTOYU GROUP
**東友エンジニアリング株式会社**
http://www.toyu.co.jp
〒102–0073　東京都千代田区九段北 3–2–5　TEL：03–3234–8901　FAX：03–3234–8900
株式会社トーユーエコサポート　TEL：03–5226–5971　FAX：03–5226–5974
トーユーサービス株式会社石岡工場　TEL：0299–27–6211　FAX：0299–27–6233

# レーザーマーキングシステム

*国内、海外特許取得済み*

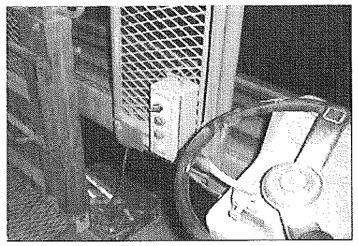
残像効果を使ったペイント不用
の連続高速照射を実現





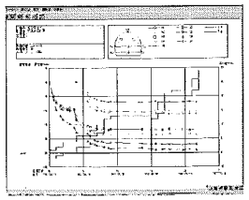
現場環境に耐え得る
頑強なコントローラー



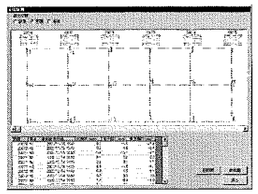


ジャンボに
取付けて使用可
AC200V対応

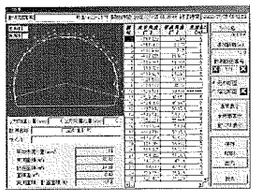
**各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。**



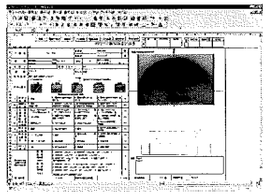
*A計測データ処理*



*支保工立込精度、変形量*



*内空、巻厚検査*



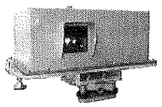
*切羽観察、etc*











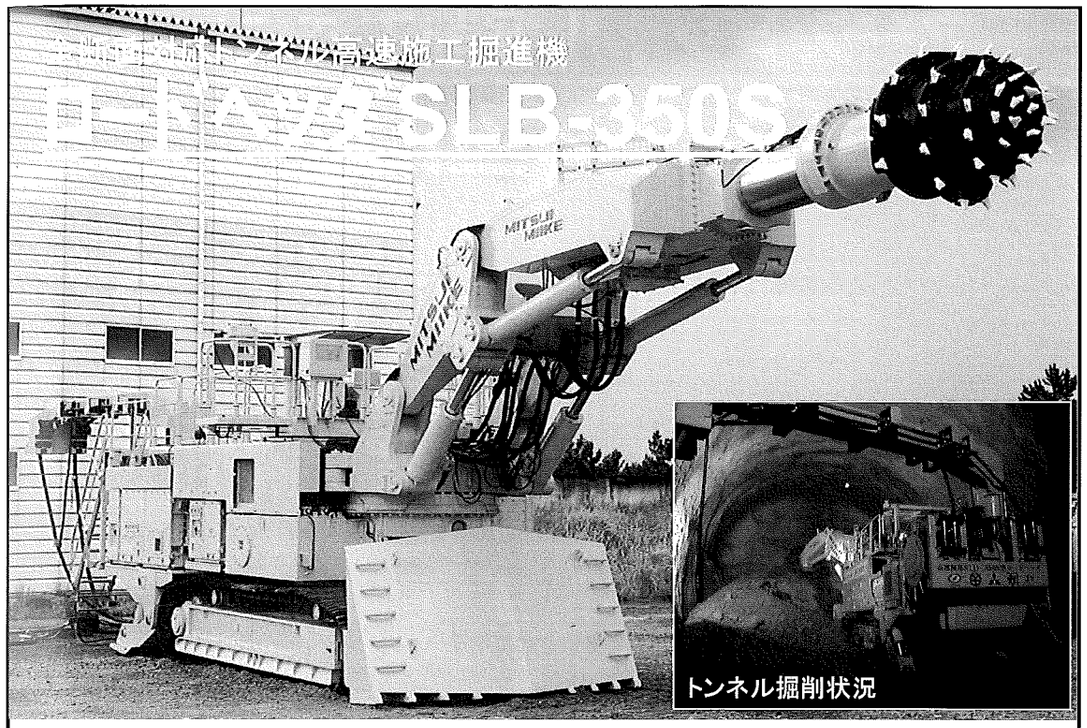




**豊富なキャリアと数多くの実績をもつ当社へ、是非お問い合わせ下さい。**


**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

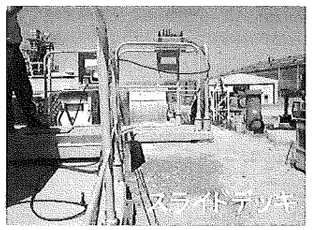
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント


# 大断面トンネルの高速施工を目指して

## 特　徴

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


スライドデッキ

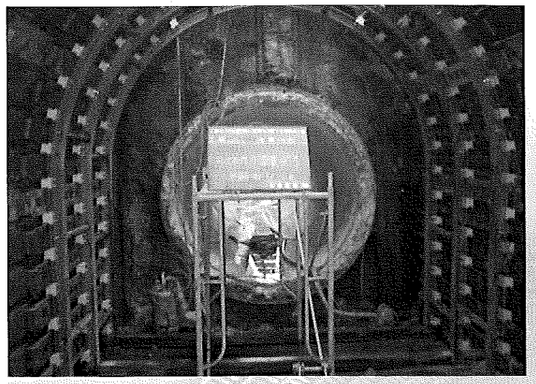
※1 ディーゼルエンジンはオプション仕様となります。
※2 掻寄・コンベヤ仕様の場合、ディーゼルエンジンは搭載されません。

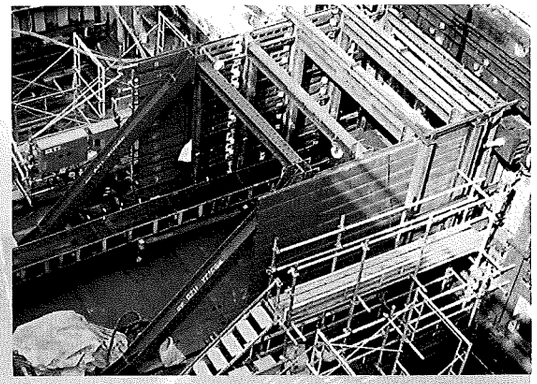

販売・レンタル及びメンテナンス ミイケ機材株式会社　本社／〒116-0013　東京都荒川区西日暮里５丁目11番７号西日暮里ワイエムビル
TEL. 03-3241-4711　FAX. 03-5615-1180
札幌営業所　TEL. 011-817-5220　／　大阪営業所　TEL. 06-6308-1090　／　福岡営業所　TEL. 0944-59-6201

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

# 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)

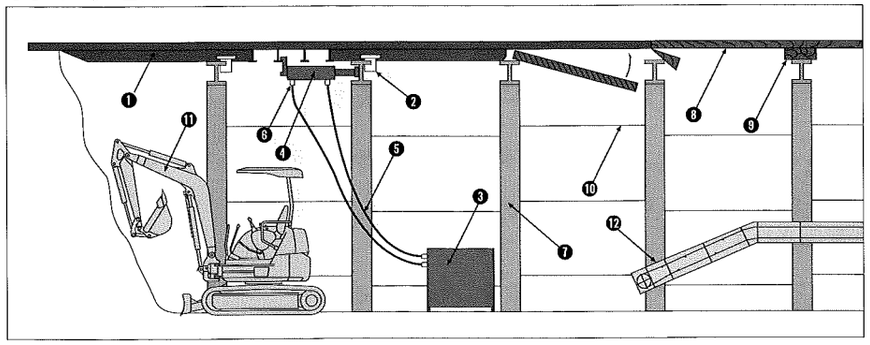
**特徴**

- 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


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


# 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

# 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



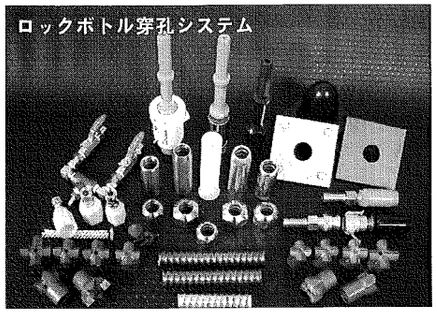
●ロッド・カップリング

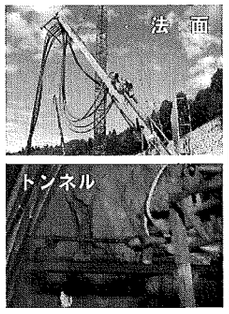


## ▼ タフボルト（自穿孔ロックボルト）

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) |





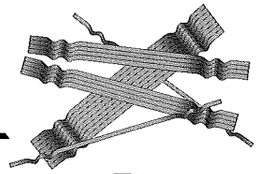



TFT Tube Forming & Technological
株式会社 ティーエフティー
〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央１丁目29番16-201号
Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702



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。

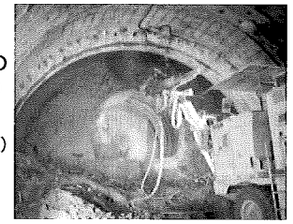


**タフグリップ** コンクリート補強用鋼繊維

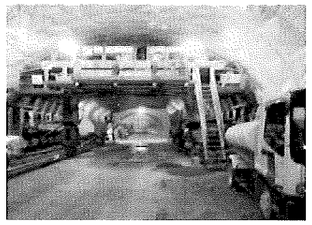



■ 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。
■ 二次覆工での無筋化により防水性能向上、工期短縮、コストダウンの可能性があります。

**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



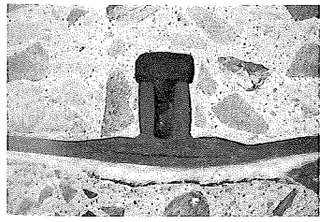
**二次覆工**
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

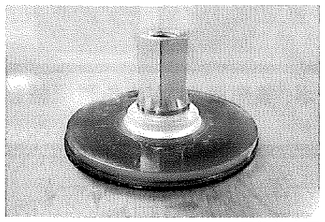
**ナトミックシート** トンネル用防水シート

■ 高い防水性



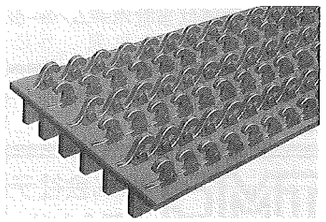
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

■ 容易な施工性



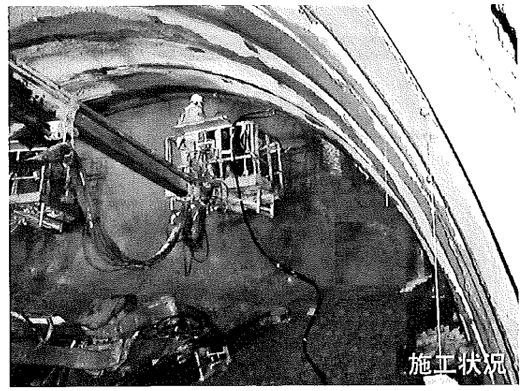
クイックバー

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

## 補助工法・注入材のことならティーエムシー

### ■AGF-OFP工法

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


施工状況

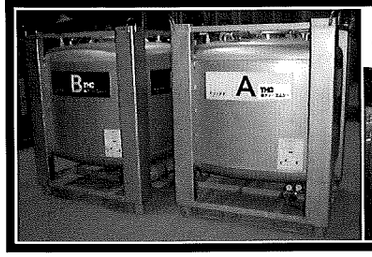
### ■各種注入材

NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）

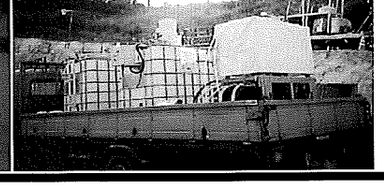



**※その他各種工法、セメント系注入材など、詳しくは当社ホームページをご覧下さい。**

## 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

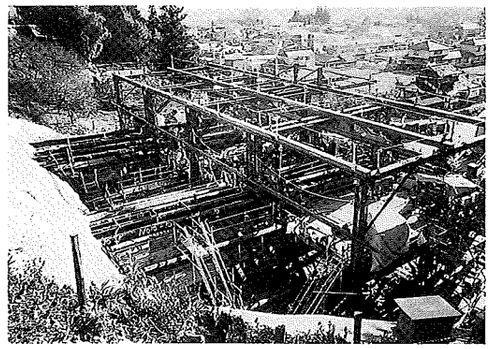
| | | | |
|---|---|---|---|
| 本社 | 〒116-0013 | 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F | TEL：03-3891-8211 |
| 仙台支店 | 〒984-0826 | 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F | TEL：022-286-5111 |
| 名古屋支店 | 〒486-0844 | 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F | TEL：0568-56-4288 |
| 大阪支店 | 〒578-0903 | 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F | TEL：072-966-6280 |
| 富山営業所 | 〒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･ｿﾘｭｰｼｮﾝﾋﾞﾙ1F | TEL：0942-40-8151 |

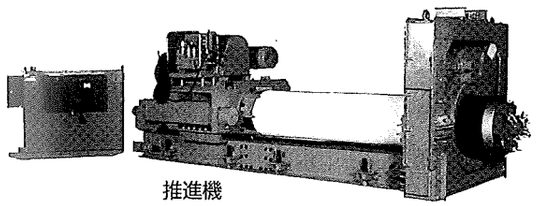

# THパイプルーフ工法

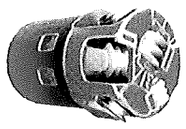
## 高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

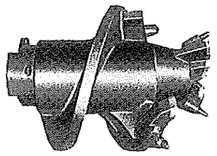
★特　徴★

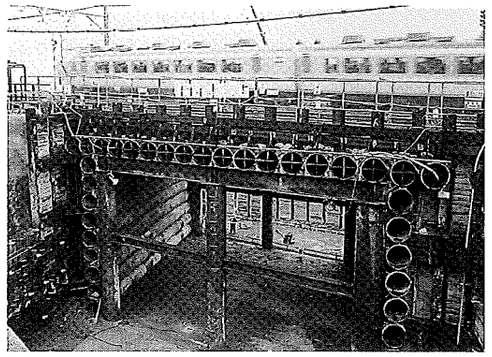
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です。
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易です。）
- オーガ中掘り掘削。地山との空隙に同時注入もできます。
- 推進途中でのビットの交換が可能で層変りに対応できます。
- 適応管径は、φ200～φ1200mmです。
- 最大推進長は、約70～100mです。
- 推進機は推力100t、200t、300tがあります。


パイプルーフ打設状況（山岳トンネル）


推進機


硬質地盤用ビット


土砂用ビット


パイプビーム工法

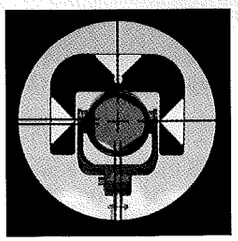
〔会　員〕

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 九州基礎㈱ | 福岡県 | TEL 0946-22-7445 | サン開発工事㈱ | 大阪府 | TEL 072-641-4951 |
| ㈱小宮山土木 | 長野県 | TEL 0267-56-1299 | 東邦地下工機㈱ | 東京都 | TEL 03-3474-3143 |
| ㈱進栄機工 | 北海道 | TEL 011-382-8048 | 日本基礎技術㈱ | 東京都 | TEL 03-3476-5701 |
| 東洋地工㈱ | 福井県 | TEL 0776-53-5335 | ㈱大阪防水建設社 | 東京都 | TEL 03-3652-5445 |
| 日特建設㈱ | 東京都 | TEL 03-3542-9299 | 多田建設㈱ | 福島県 | TEL 024-535-6161 |
| 北條基礎㈱ | 大阪府 | TEL 072-626-1002 | 九州グラウト㈱ | 福岡県 | TEL 092-583-3232 |
| ケミカルグラウト㈱ | 東京都 | TEL 03-5575-0511 | | | |
| ㈱最上機工 | 山形県 | TEL 0233-23-1555 | | | |

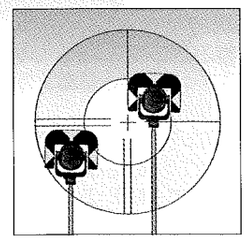
（順不同）


http://www.piperoof.jp
THパイプルーフ技術協会
〒140-0002 東京都品川区東品川4丁目4番7号 東邦地下工機(株)内
TEL 03(3474)3143　FAX 03(3474)3163
E-mail：jimukyoku@piperoof.jp

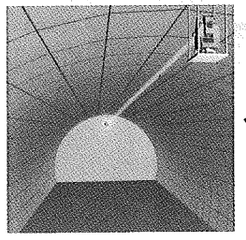


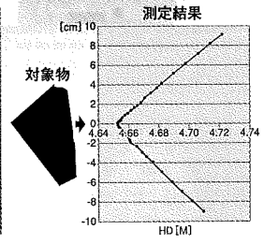
**精度が向上した自動視準**
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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



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




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

ライカ ジオシステムズ株式会社
http://www.leica-geosystems.co.jp

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

Leica Geosystems



# Kanaflex の電力・通信ケーブル保護管

## 都市部での電線集中化工事を省力化・効率化

電力・通信ケーブル用多条保護管　特許出願中

# カナレックスML

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

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

**2.可とう性に優れる**
・上下左右に曲がり、既設物や障害物の回避が容易。

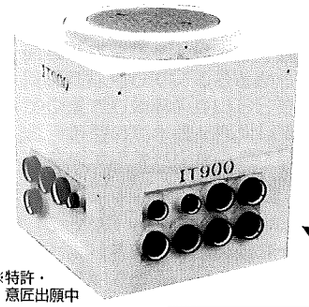
**3.優れた性能**
・軽量で、全サイズワンタッチ接続の採用により、工事の省力化が図れる。
・ワンタッチ式のロングベルマウス、ベルブロックを採用することによりハンドホール接合部の省力化が図れる。
・JIS C3653（附属書1及び3）の圧縮強度試験、難燃性試験をクリア。

**4.摩擦係数が低く整直性が良い為通線がスムーズ**

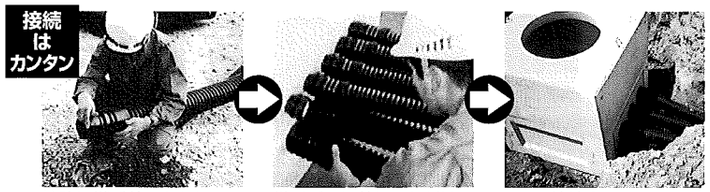


## ハンドホール工事の工期短縮・工費削減に現場の加工作業を大幅に軽減できる

# ワンタッチ継手付ハンドホール




※特許・
意匠出願中




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

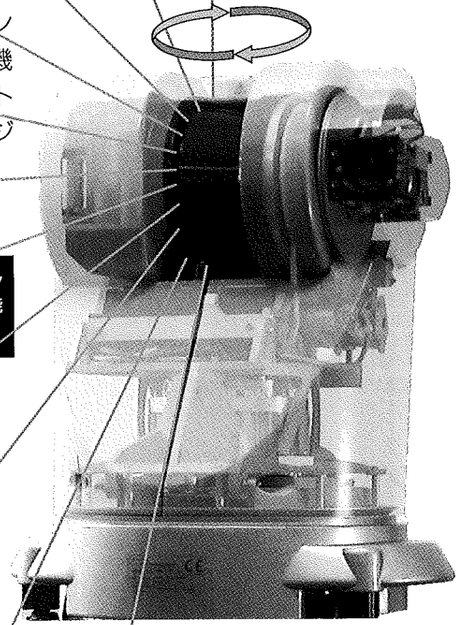
# Callidus™ レーザースキャナー

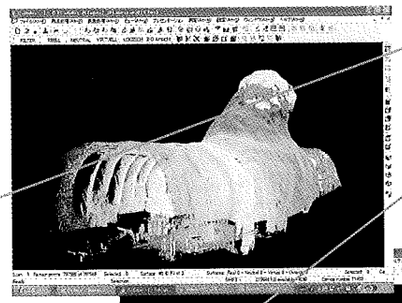
## 3次元トンネル断面計測機

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。

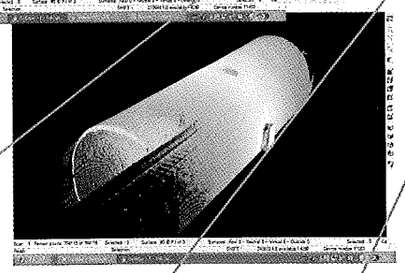
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





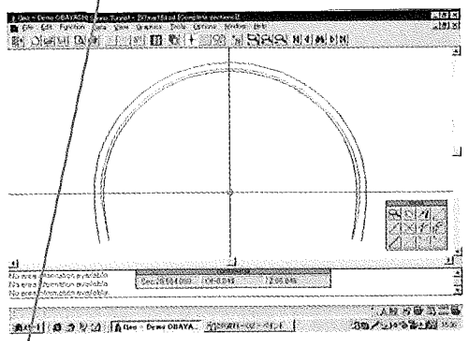
特殊なトンネル形状も対応可能です。



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。

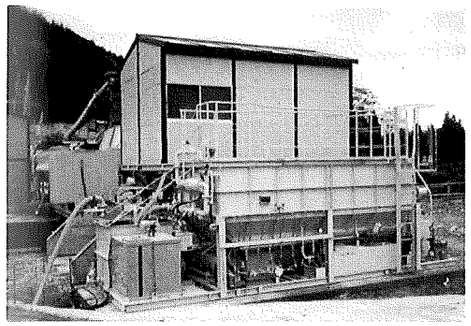


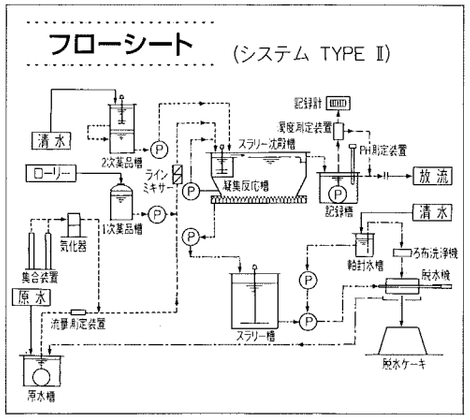

■ 販売・レンタル 株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4−2−4
TEL：06-6586-1707 FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

■ 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


# TWS型シリーズ 濁水処理装置

## コンパクトながら 大きな処理能力






### 特　長

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

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

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

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

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

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

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

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

Waste Water Treatment System

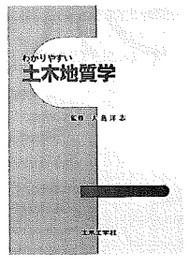
詳細資料請求、お問い合わせは


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

# 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・俣野悉寛 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）

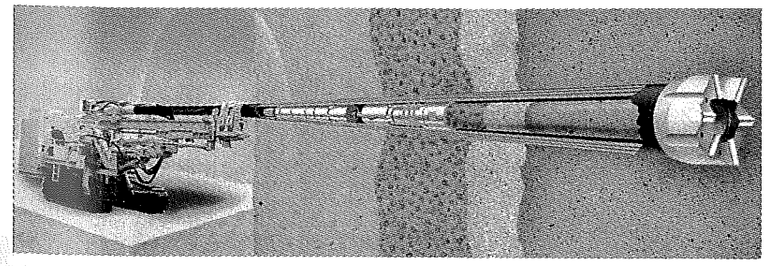
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐

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)



# 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

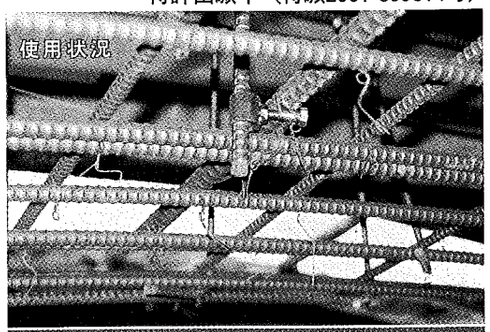
お問い合わせ先 ： 工事営業本部
TEL. (03)6907-7512　FAX. (03)6907-7522
http://www.koken-boring.co.jp

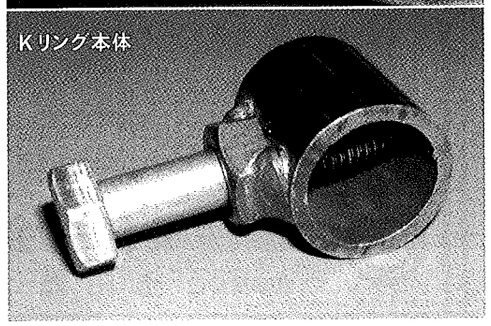
# コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中（特願2001-309314号）

### ①アーチ鉄筋組立金物

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



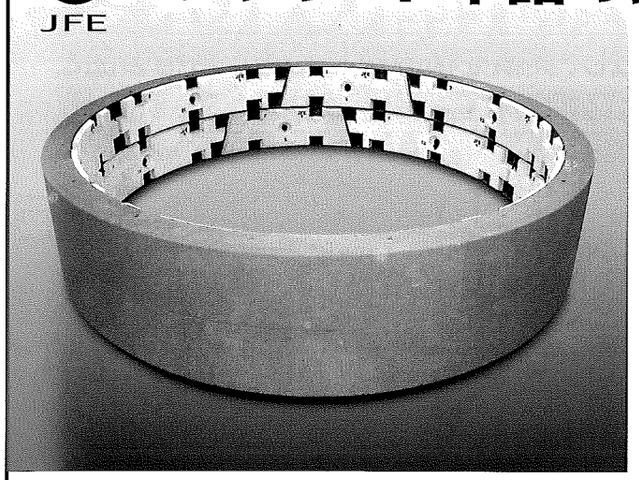

### ②鉄筋加工業務

「トンネル」「セグメント」の請負業務を開始いたしました．**“正確な加工”，“鉄筋の品質管理”，“Kリングとの同時搬入”**で皆様から幅広いご支援をいただき県内はもとより県外からも鉄筋加工のご用命を頂いております．どんな鉄筋加工のご相談にもお応えいたしますのでご一報ください．


製造・販売元 **静岡スチール**

〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1
Tel：0537-24-3886　Fax：0537-24-3859
E-mailktk@r5.dion.ne.jp
URL：http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk


# コンクリート中詰め鋼製セグメント




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

**● コンクリート中詰め鋼製セグメントとは**

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

**● 高水圧下でも高い止水性**

外面が鋼枠で覆われているため、高い止水性を有しています。

**● 諸条件に対応可能**

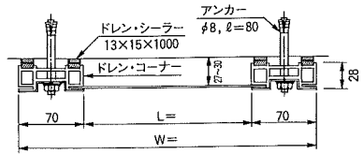
鋼製セグメントを基本としているため、重荷重部や曲線部などの諸条件に、柔軟な対応が出来ます。

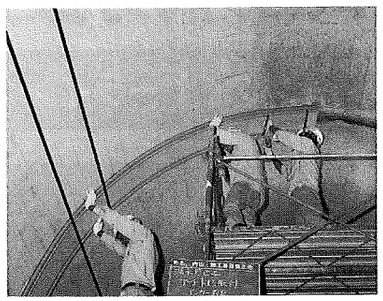

**JFE 建材 株式会社** 地下土木商品営業部
〒103-0012　東京都中央区日本橋堀留町1-10-15（JL日本橋ビル）
〈東京〉TEL：03-5644-1266　FAX：03-5644-1235
〈大阪〉TEL：06-6444-7626　FAX：06-6444-7633
URL http://www.jfe-kenzai.co.jp/


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

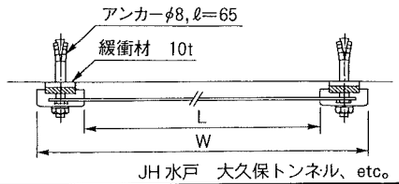
■特　徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。



コンクリート剥落対策に

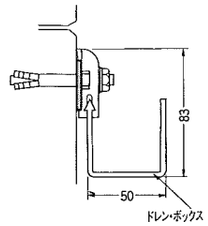
## アーチ・パネル




JH 水戸　大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

## サイド・ドレン



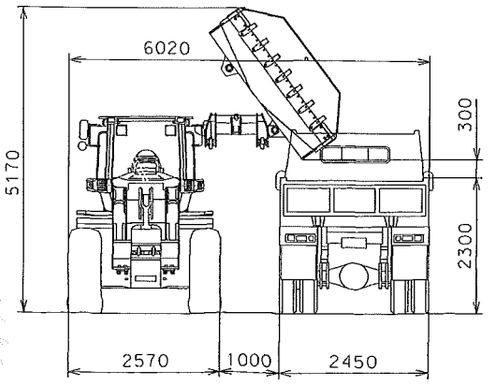

■特　徴
- スプリングライン等の水平方向からの漏水対策に最適
- ドレン・ボックスは必要に応じサイズの変更が可能


**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


## 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

# FURUKAWA
ROCK DRILL

FRD FURUKAWA

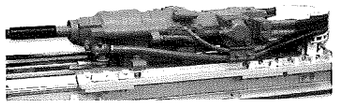
## 様々なトンネル工事に挑戦し、実績を積み重ねてきた各種製品と全国に広がる安心のサービス網でお客様をバックアップします。

ホイール式ドリルジャンボ

### JTH2200R/3200R

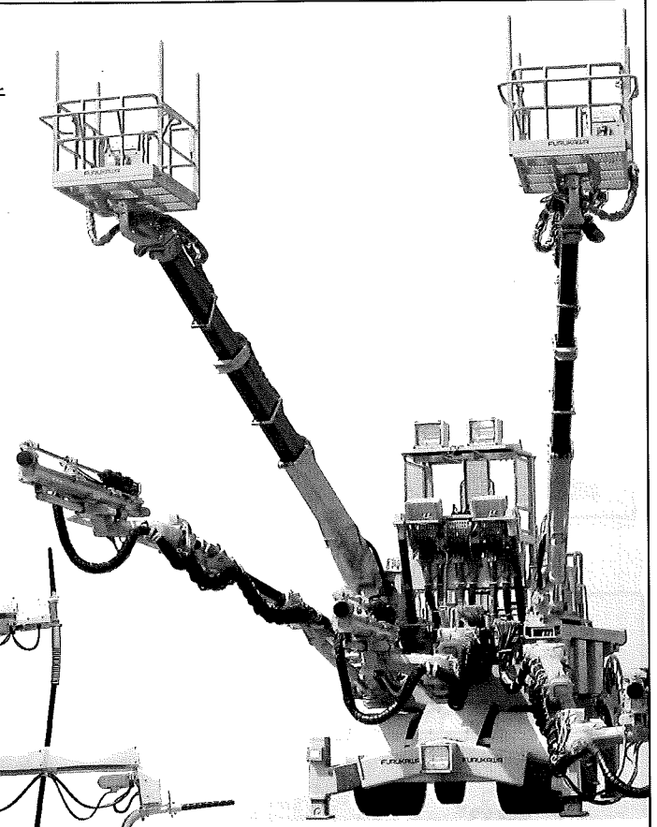
新幹線・道路・水路等の全断面および補助ベンチ工法のトンネルさく孔に威力を発揮します。

新世代型油圧ドリフタHD210搭載。



◆主な仕様

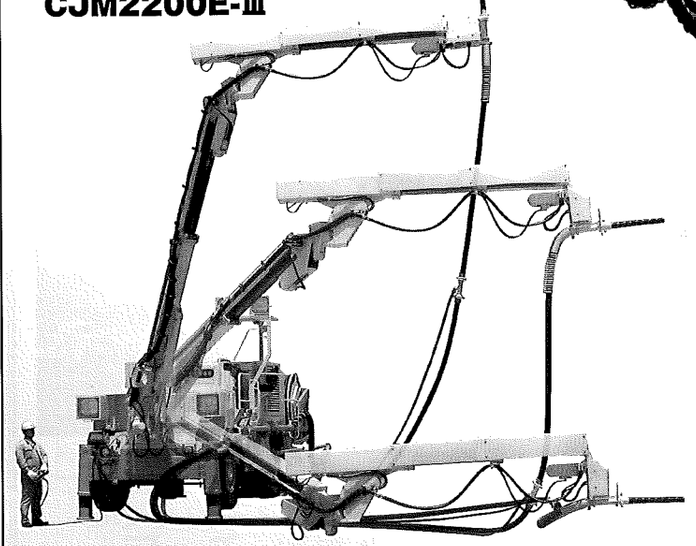
| | JTH2200R 2ブーム、2ケージ | JTH3200R 3ブーム、2ケージ |
|---|---|---|
| 質　量 | 35.5トン | 43トン |
| 全　長 | 14,270mm | 14,760mm |
| 全　幅 | 2,690mm | 3,140mm |
| 全　高 | 5,940mm | 6,010mm |
| 水平さく孔範囲 | | |
| 幅 | 12.77m | 13.22m |
| 高　さ | 8.49m | 8.84m |



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 FURUKAWA 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

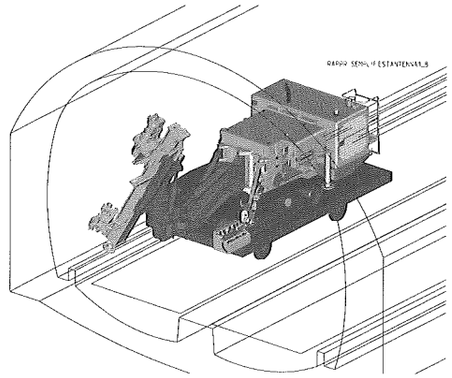
札幌支店 011-861-3261　東北支店 022-384-8991　関東支店 027-322-5953　名古屋支店 0568-77-7700

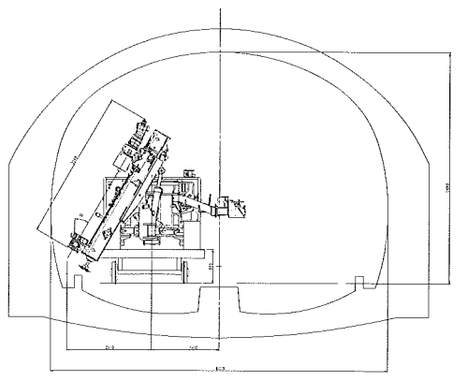
関西支店 06-6475-8221　広島営業所 082-832-3542　四国営業所 087-815-1708　九州支店 092-948-2010


# トンネルの削孔機械・輸入資材

## ● 油圧削孔機 SM401 ショートマスト仕様

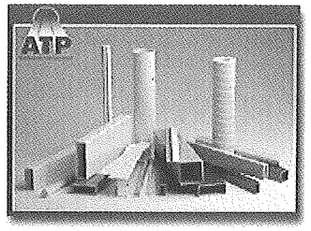
現場に応じたショートマスト長を選択可能（ロッド長1m～2m）

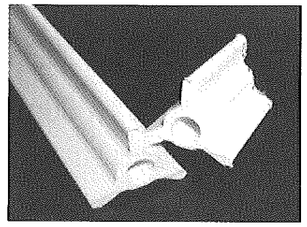




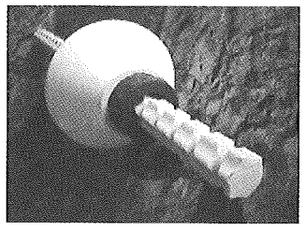
## ● グラスファイバーチューブ & ボルト

トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。



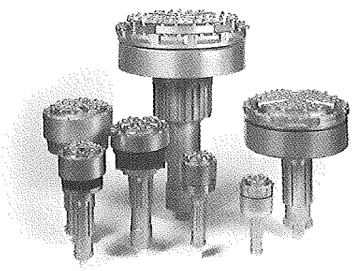
STAR 500S

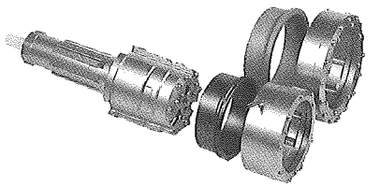


WIBOLT STAR

## ● SOROFLEX［リングビット］

小口径から大口径までケーシングを用いる二重管削孔に最高のビットシステム






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

〒103-0024 東京都中央区日本橋小舟町3-12　サンバードビル3F

TEL:03(5643)1271 FAX:03(3664)6451 http://www.soilmec-j.com/

トンネルと地下　10月号目次　Vol.38, No.10, 2007 Oct.

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

■巻　頭　言

今，土木技術に求められるもの
加納　清……5

■研　究

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……43

■報　告

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……53

■施　工

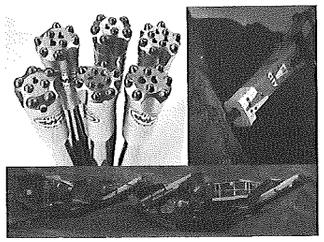
小土かぶり未固結地山をSENSで貫通
—東北新幹線　三本木原トンネル—
佐伯　則幸・石岡　英敏・中島　活哉・岩永　茂治……7

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……15

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……29

SANDVIK

Productivity
In Action



お知らせ

平素は格別のお引き立てをいただき、厚く御礼申し上げます。
さて、この度弊社は十月一日付で社名を「サンドビックトーヨー株式会社」より
「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」に変更致しました
のでご案内申し上げます。
これを機に一層の努力を積みご期待に沿えるよう努力致す所存で御座います。
今後ともなお一層のご支援ご鞭撻を賜りますよう宜しくお願い申し上げます。

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/

CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS CONTENTS

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……35

■連載講座

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……65

■現場だより

「造林と水力発電の村」宮崎県諸塚村より
高見　裕一……14

「福島～米沢，交通難所の歴史」栗子峠より
城本　政雄……28

■資　料

トンネル千夜一夜（34）
小野田　滋……26

土木情報
編　集　部……75

トンネルジャーナル
編　集　部……76

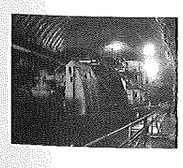
工法・技術・製品ニュース
編　集　部……77

海外文献速報
JTA国際委員会……78

■会　報

会　報
日本トンネル技術協会……81

【表紙説明】　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—



飛騨トンネルは，東海北陸自動車道の飛騨清見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．本坑掘削に世界最大級（φ12.84m）の大断面TBMを適用した．本坑掘削に先立ち施工した先進坑TBMの施工データより大量湧水などに遭遇した不良地山区間を避け，2007年1月に無事貫通した．写真は，組立基地でのTBMの組立状況である．

〔**写真提供**：中日本高速道路（株）〕（本文15頁参照）

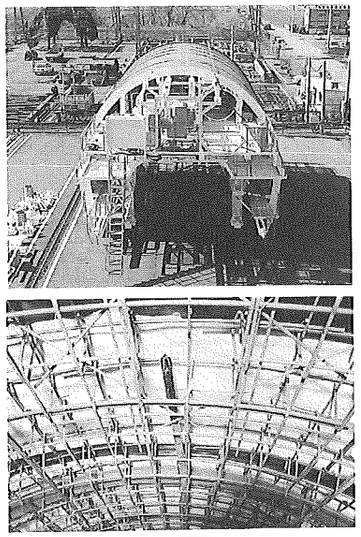
# 高品質なトンネル覆工に挑む

## 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

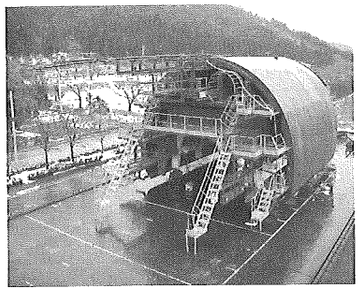
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

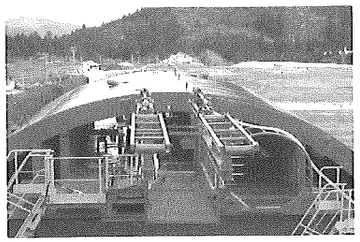
ホースバイブ巻取り式



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

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 田 隆 昭
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

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

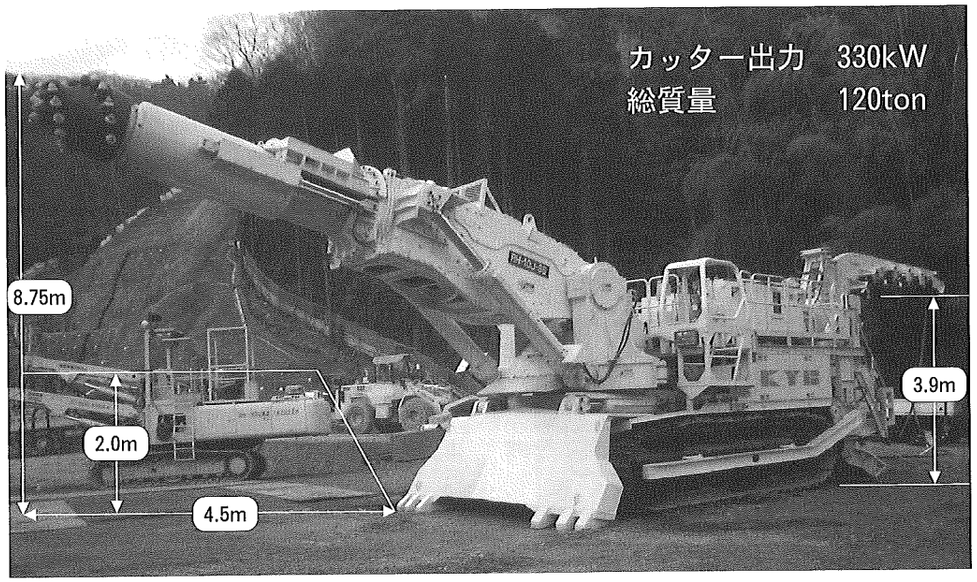
松 本 崇 義
(元)東京都理事

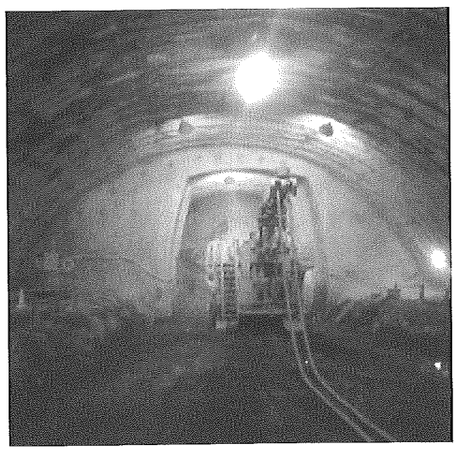
丸 安 隆 和
東京理科大学教授

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:㊐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

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

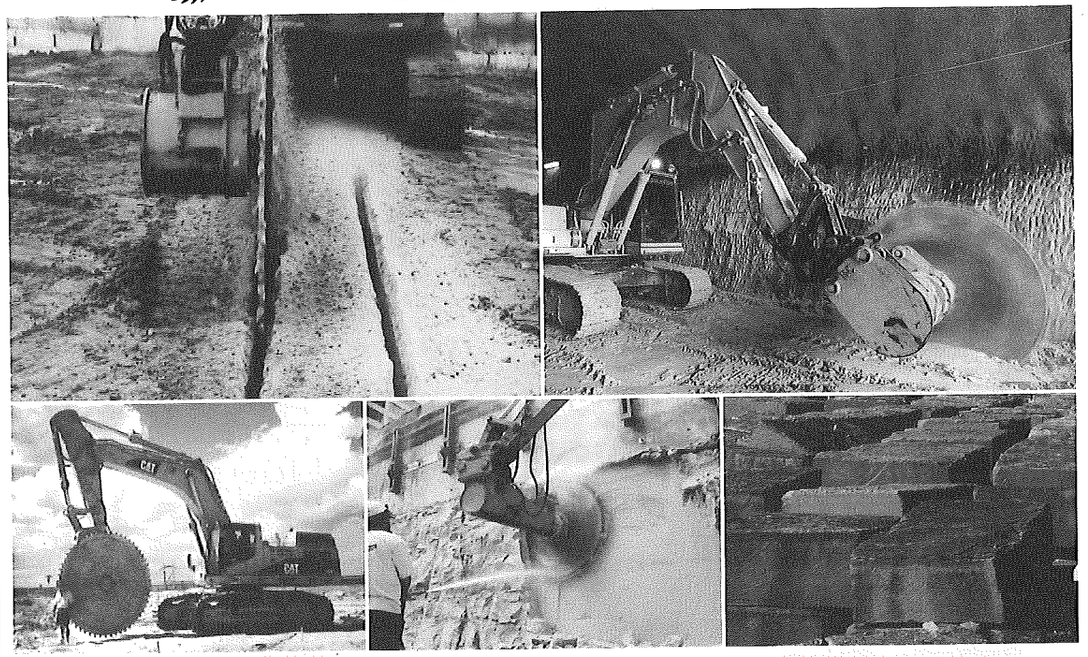
真下英人
独立行政法人土木研究所
基礎道路技術研究グループ
上席研究員(トンネル担当)

山田隆昭
株式会社高速道路総合技術研究所
道路研究部トンネル研究担当部長

ROCK TOOLS, Inc.

# Rock Saw

Denver, U.S.A.



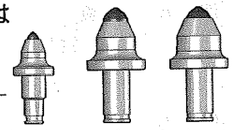
①ロックソーは巾75㎜，深さ0.35～1.52mの硬岩細溝切削用カッターです．
②油圧ショベルに取り付け，その油圧源で駆動します．カッター出力55hp，500hpの２種類があります．水平，垂直方向，油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます．

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. 10　掲載概要

掲載頁 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—

鉄道・運輸機構　佐伯　則幸

東北新幹線三本木原トンネルでは，小土かぶり含水未固結地山において，安全性・経済性・施工性を考慮し，シールドを用いた新しい施工システムを採用した．新施工システムは，「切羽保持」，「掘削」にシールド，「早期閉合」に場所打ちライニング工法を取り入れたものであり，シールドを用いた場所打ち支保システム（SENS）と名付けた．その特徴は，場所打ちライニングコンクリートをNATMにおける吹付けコンクリートと同様に一次支保材として位置づけ，地山の変位収束後に荷重を受け持たない化粧巻きとして二次覆工を構築し，トンネルを完成させる点にある．

約3,000mの施工をとおし，「切羽保持」，「掘削」，「覆工」の一連のシステムを実施工により検証し，合理的な施工システムとして確立することを目指している．本稿では，SENSの場所打ち一次覆工コンクリートの計測・施工結果と進行実積について述べる．

**Penetration through Unconsolidated Ground under Small Overburden using SENS－Sanbongihara Tunnel, Tohoku Shinkansen－**

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

We adopted a new construction method using shield, considering safety, economic viability, and execution efficiency in unconsolidated ground containing water under small overburden in Sanbongihara tunnel of Tohoku Shinkansen. In the new system, we used shield for stabilizing the face and excavation, and execute cast-in-place concrete lining for early closure of the cross-section, and named it as SENS, a cast-in-place concrete lining system using shield method. The characteristic feature is that the cast-in-place concrete lining is placed as a primary support same as shotcrete in NATM, and the tunnel is completed with a secondary lining as a cover, that will not support redistributed load after converging the displacement of the ground.



写真は妻型枠と打設孔

Through the construction of approximately 3,000m, we evaluated the entire system of stabilizing face, excavation, and lining by actual execution, and aimed to establish it as a rational method of construction. This article explains the measurement and execution result of cast-in-place concrete lining in SENS.

掲載頁 15

## 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—

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．

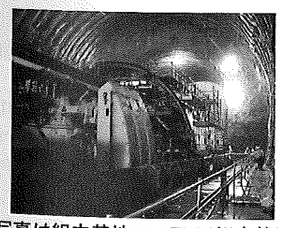
本工事は，本坑掘削に先立ち施工した先進坑TBMの施工データから，熱水変質作用および断層作用による岩盤強度の低下，粘土層の挟在による変位の増大・支保の変状・破砕層からの大量湧水などに遭遇した不良地山区間を避け，比較的切羽自立性が良化した白川側坑口から2,945m地点の濃飛流紋岩部より2004年１月掘削を開始し，2007年１月に無事貫通した．

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２回に分けて報告する．本稿では，工事概要と設計を中心に報告する．

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

**By Mamoru Moriyama, Central Nexco Co., ltd.**

Hida tunnel is an expressway tunnel of total length 10.7km 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（φ12.84m）for this excavation.


写真は組立基地でのTBM組立状況

This work reflected the excavating 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 ground was consisted of Nohi 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 overview and design.

掲載頁 29

## 都営地下鉄におけるシールド二次覆工の剝落対策

東京都交通局　野邑　敏行

都営地下鉄は，浅草線，三田線，新宿線，大江戸線の４線で営業キロが109kmの延長となり，平成18年度は１日平均215万人のお客様にご利用いただいている．このように，さまざまな用途のトンネルの中でも，鉄道トンネルはお客様の生命を直接預かるものであり，高い信頼性，安全性が常時求められている．一方，開業後30年以上経過している区間が半数近く存在しており，とくに，浅草線では47年，三田線では39年経過している区間があり，部分的ではあるが経年による構造物の亀裂や漏水，鉄筋露出などの劣化が現れてきている．また，将来ひび割れなどに伴うコンクリートの剝落も懸念されており，地下鉄の安全運行を図るためには，構築の状態を十分に把握し，状態に応じて予防保全的に補修などの措置を行うことが重要である．

本稿は，地下鉄のトンネル構築補修に関する今までの検討結果や具体的な補修方法について，シールドトンネルを中心に報告する．

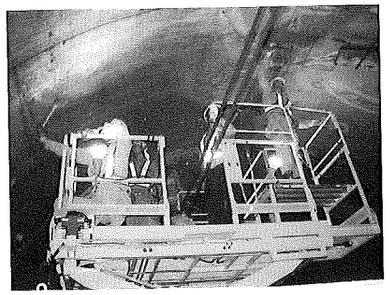
**Countermeasures against Spalling of Secondary Concrete Lining of Toei Subway Shield Tunnels**

**By Toshiyuki Nomura, Bureau of Transportation, Tokyo Metropolitan Government**

Toei Subway has four lines, Asakusa line, Mita line, Shinjuku line and Oedo line, and at present has a total length of 109 km, with total number of customers at 2.15 million par a day as of 2006. In such a scenario, even among tunnels used for different purposes, railway tunnels directly have the life of the customers, and hence a high level of reliability and safety is demanded at all times.

On the other hand, more than half of the areas are more than 30 years old. Especially, there are segments 47 and 39 years old respectively on Asakusa line and Mita line, and signs of cracks, leakages and spalling of cover concrete are visible. Spalling of concrete linning caused by cracks is also possible in the future, and it was necessary to understand the state of the structure and to take preventive and corrective measures.

This report focuses on the shield tunnel to explain the result of the investigation and specific repair activities of the subway tunnels.



写真は打音検査実施状況

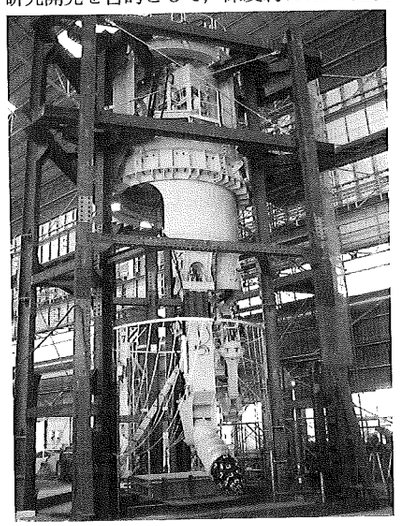
掲載頁 35

## 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—

(独)日本原子力研究開発機構　一安　謙治

北海道幌延町で現在進めている幌延深地層研究計画地下施設工事は，高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を目的として，深度約500mの立坑を３本建設する．そのうち，第Ⅰ期工事にて初めに掘削する換気立坑(仕上り内径φ4,500㎜)について，立坑掘削技術の開発を観点に，自由断面掘削機による機械掘削方式を採用した．

本稿では，過去に実績のない立坑掘削設備の選定の経緯と，積み込み機一体型掘削機の紹介を行い，現在の計画および今後の問題点を整理した．



写真は積み込み機一体型掘削機

**Drill a Vertical Shaft of 500 m using Free Section Excavator conbined with Grab Loader－Horonobe Underground Research Center: Underground Facility construction－**

**By Kenji Ichiyasu, Japan Atomic Energy Agency**

In the construction of the underground facility planned by Horonobe Underground Research Center in Hokkaido, three vertical shafts of approximately 500 m depth have been constructed for research and development on geological disposal for high-level radioactive waste. From among the three, we adopted free section excavator to the ventilation vertical shaft (inner diameter φ4,500 ㎜) for development of vertical shaft excavation technique.

This report introduces the process of selection of vertical shaft excavator, which has not been used before, and the free section excavator combined with grab loader, and has summarized the current plan and future problems.

掲載頁 43

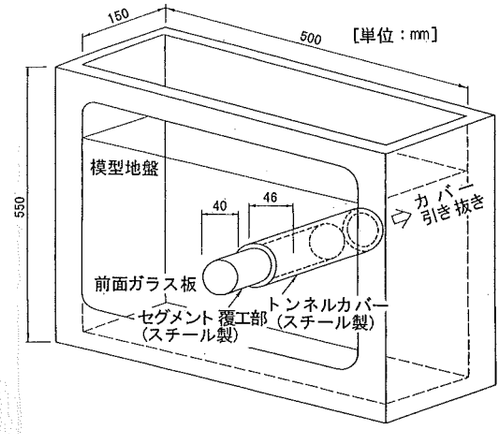
## 軟弱粘性土中のシールド工事における地盤変形メカニズム

東電タウンプランニング(株)　山崎　　剛

本稿は，軟弱粘性土中をシールドが掘進する際に発生する地盤変形のメカニズムについて究明したものである．

まず，シールド工法の現場計測で大筋のメカニズムの解明を試みた．次に，現場計測から得られる断片的なメカニズムを補完し，一貫した地盤変形メカニズムとして完成させるために，現場計測条件と相似させた遠心模型実験を実施した．最後に，本研究の要となる軟弱粘性土中でシールドトンネルの建設時において発生する，テールボイド沈下と後続沈下に対する地盤変形メカニズムを３段階のフェイズで説明できることを提案し，既往の５工事の軟弱粘性土地盤における現場計測を再分析し，提案した地盤変形メカニズムで解釈できる特徴を有していることを確認した．

**Ground Deformation Mechanism in Shield Tunnel Construction of Soft Clay Ground**




図はトンネル模型

**By Takeshi Yamazaki, Tepco Town Planning Co., Ltd.**

This thesis researches on the deformation mechanism of ground during shield tunnel construction in soft clay ground.

We first explained the broad-level mechanism through in-situ measurement of shield tunnel construction. Then in order to supplement the fragmentary mechanism that could be obtained through site mechanism, and complete it as a consistent ground deformation mechanism, we carried out a centrifuge modeling experiment similar to the conditions on the site. In the end, we proposed that it is possible to explain the ground deformation mechanism in three phases related to the deformation into tail void or after passage. We re-analyzed the site measurement of five existing constructions, and confirmed that it can be interpreted with our proposed ground deformation mechanism.

掲載頁 53

## 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

第33回国際トンネル協会(ITA)総会および世界トンネル会議(WTC)が，2007年５月５～10日，チェコ共和国の首都プラハで開催された．



写真は調査団

日本トンネル技術協会(JTA)では，この会議への参加，各国トンネルの視察，トンネル技術情報の収集と技術交流を目的に，トンネル技術について種々の立場からかかわる18名の調査団を派遣した．

本稿は，調査団が視察したトンネルについての視察報告である．

**Prague World Tunnel Congress Site Report**

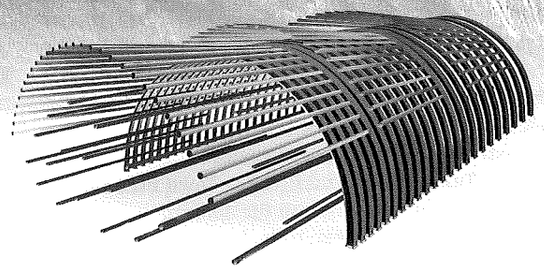
**By Japan Tunnelling Association**

The 33rd International Tunnel Association Meeting and World Tunnel Congress was held from 05 to 10 May, 2007 in the Prague, Czech.

Japan tunnelling Association sent a research group consisting of 18 members to participate in the conference, observe the tunnels of each country, and collect and share information regarding tunnelling technology.

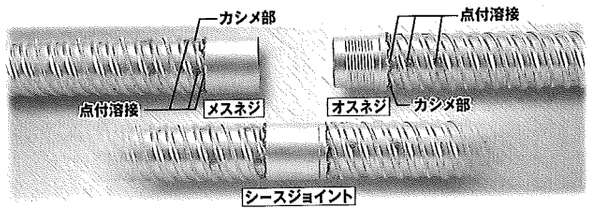
This report briefs about the tunnels observed by the research group.

# ユニークな発想と高品質・自信の価格



## FIXチューブ工法

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

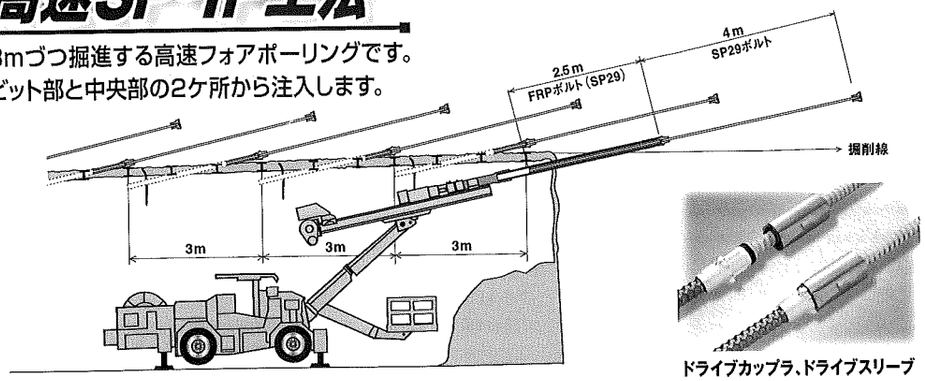






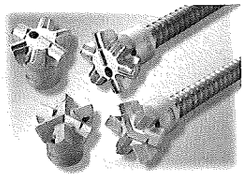
## 高速SP-IF工法

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



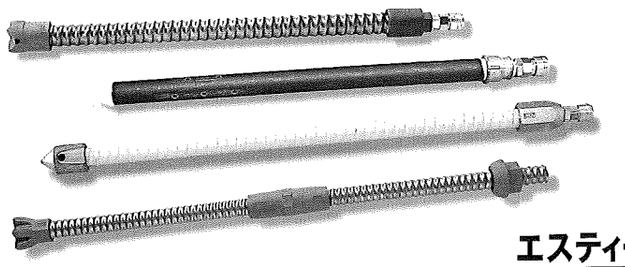



ドライブカップラ、ドライブスリーブ



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）



## 今，土木技術に求められるもの

鉄建建設(株)常任顧問(本協会理事)
加納　清

「土木」という語源は，紀元前2世紀に書かれた中国の前漢時代の古典「淮南子」の中の「聖人(技術者)が築土構木(土を築き，木を構えて室家(都市)を為し(建設))，それによって百姓(市民)が風雨，寒暑を避けた(安全・安心な暮らし)」という文章に由来しているといわれている．その「土」とは，種が芽を出して育む地面・大地を表し，「木」は，芽が大地にしっかり根を張って育んで成長する状態を表している．すなわち，「土木」は，自然界の生きるものの姿，自然を舞台に生きる人の活動を表現し，自然を護り，自然を舞台に人が活動し，生きることを支えるための基礎的な技術である．そのことから，「土木工学」が「自然，社会や人を総称した公，すなわち市民工学」といわれるゆえんである．

そして土木技術の基礎的要素は，「もの(物質)」，「エネルギー」と「情報」の三つの要素である．この三つの要素が構成されて物理的なものが造られている．とくに，20世紀後半，従来の生産システムに「情報技術」が加わり，一層生産性が向上し，新たなものづくりが行われるようになってきた．この土木技術においても設計，施工など各部門への「情報技術」の導入が行われ，飛躍的な進展を見ることとなった．例えば，トンネル掘削技術について見ても，大型大断面シールドの製作や大深度地下空間でのシールド推進の操作によって地下構造物の大型化・複合施設の建設が可能となり，また従来不可能と考えられてきた空間での施工ができるようになった．このように，「情報技術」は，省力化施工による人力の削減，施工の安全性，労働衛生面での改善，コスト削減，施工精度と施工速度の向上などが図られ，「人力」と「ダイナマイト」による掘削の時代から飛躍的にトンネル技術は進展したといえる．

もともと，世界的にトンネル掘削の歴史は古い．わが国では，人力による1796年九州耶馬渓の「青の洞門」や新潟県長岡市−魚沼市間の「中山隧道」などがある．これらの掘削は

「つる」や「ノミ」などによる人力であった．そして，ダイナマイトが開発され，わが国にもダイナマイトを使用する西洋式の技術の導入によって建設が行われるようになり，その最初が東海道本線神戸石屋川隧道であった．

従来わが国では，「トンネル」を「隧道」と呼んでいたが，1970年に開催された経済協力開発機構(OECD)トンネル会議で，「計画された位置に所定の断面寸法をもって設けられた地下構造物で，その施工方法は問わないが，仕上がり断面積が2 m²以上のものとする」と定義され，また「隧道」の「隧」という文字が常用漢字でないことや外来語の呼び方の流行からいまでは一般的には「トンネル」と呼ばれ，「隧道」という呼び方は一般的にはほとんどされなくなっている．

さて，「トンネル」がまだ「隧道」といわれていた人力掘削時代は，「青の洞門」を例に見てもわかるように，自然条件を知り，自然環境に逆らうことなく「自然との調和」を基本とした掘削が行われてきた．このように，そもそも「土木」とは，自然環境との調和を基本理念とした技術である．そして，土木技術は「情報技術」や「もの－材料技術」の革新によって，飛躍的な進展を見てきた．その結果，今や地球や宇宙空間での大型土木構造物の構築は不可能ではないと思われる．しかしながら，近年のこのような高度化した土木技術は，地球や自然にさまざまな負荷を与えてきたことを真摯に受け止めるべきかと考える．

その中で，物はすべて「表」と「裏」があり，バランスよく整って形作られている．技術によって「公－市民」に多くの「効用」をもたらすという「表」の部分だけを見るのではなく，技術そのものやその使い方によってもたらされる「裏」の部分である「負荷・副作用」に留意することが重要である．とくに，土木技術は，今後も「材料技術」や「情報技術」の進展とともに革新的な技術開発が進められ，その技術を用いた「建設」や「開発」の領域は広がると思うが，「自然」との調和を基本的理念とし，「公－市民」にどのようなサービスができるかを検証しながら技術を使うことが求められていると痛感している．今日のトンネルや地下構造物の物理的な構築技術は確立されたが，自然環境に与えるさまざまな影響を予測し，軽減保全する技術，心理的に快適に地下空間で過ごせる環境を構築する技術の開発をこれからも怠ってはならない．





施工

# 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—

鉄道・運輸機構東北新幹線建設局工事第三課長　佐伯則幸
鉄道・運輸機構東北新幹線建設局十和田鉄道建設所所長　石岡英敏
鉄道・運輸機構東北新幹線建設局十和田鉄道建設所所員　中島活哉
熊谷・東洋・大本・井上東北幹，三本木原トンネル他特定建設工事共同企業体三本木原トンネル作業所所長　岩永茂治

## 1　はじめに

東北新幹線三本木原トンネルは，現在建設中の八戸・新青森間に位置する延長4,280mの新幹線複線断面トンネルである．当初は，地下水位低下工と切羽安定対策として注入式先受け工の補助工法を併用する山岳工法(NATM)により，平成13年8月に新青森方から掘削を開始したが，想定以上に地層が複雑なため，地下水位の低下や切羽の安定を十分に確保することができず，しばしば切羽の崩落が生じ，掘削の中断を余儀なくされた．このため，施工方法の再検討を行った結果，安全性，安定性と経済性に優れる新たな工法として「シールドを用いた場所打ち支保システム(SENS)」[1]を開発・適用し，平成16年7月に当初と反対側の東京方から施工を開始，平成18年11月まで約3,000m間を無事に施工し，貫通した(図-1)．この間，平均月進109.6mで山岳工法区間の約2.5倍の掘進速度を記録した．本稿では，場所打ち一次覆工コンクリートの計測・施工結果と進行実積について述べる．

## 2　SENSの施工概要

新施工システム「SENS」では，掘削および切羽の安定はシールドで行い，トンネルの支保部材はセグメントを使用せず，シールド後部に組立て

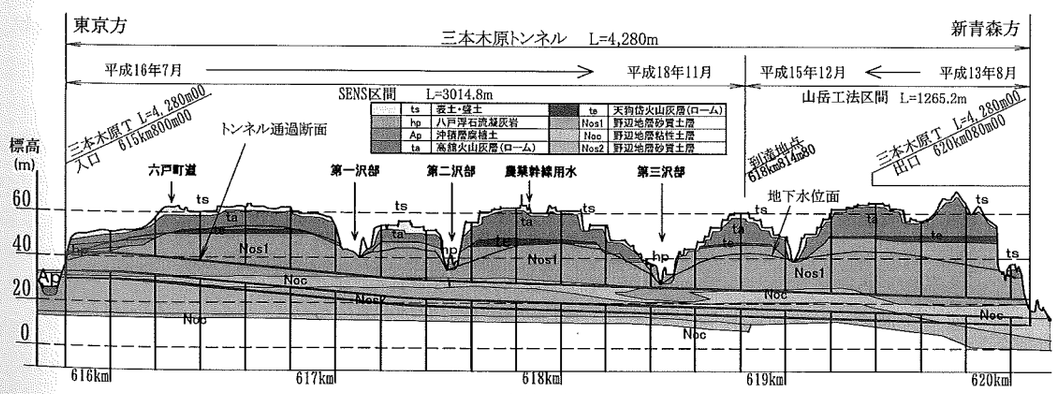



図-1　地質縦断面図

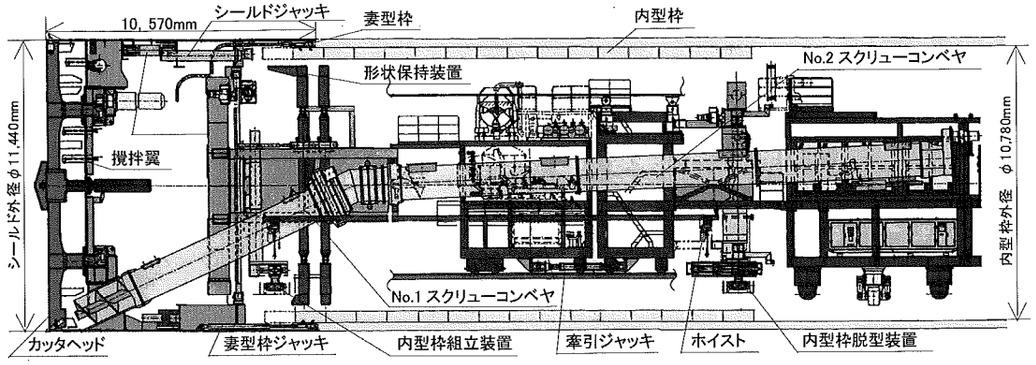



図-2　シールド一般図

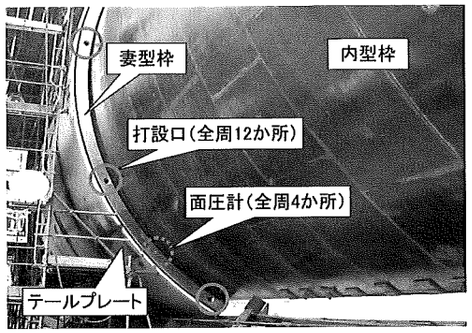



写真-1　妻型枠と打設孔

られた内型枠内にシールドの掘進と同時に連続して打設される場所打ちコンクリート(一次覆工)とした．さらに，山岳工法の基本であるトンネル周辺地山の持つ本来の支保機能を有効に活用し，一次覆工の安定を計測により確認した後，漏水処理工と力学的機能を付加させない二次覆工コンクリート(二次覆工)を施工することにより高品質のトンネルを完成させるものである．

SENSの施工では，シールド後方の内型枠と一次覆工との摩擦力を推進反力として，土圧式シールドにより切羽を保持しながら掘進する．1リングは幅1.2mであり，合計で16リング装備されている．さらに，内型枠は一次覆工が所定の強度を発現したことを確認した後，テール内の内型枠脱型装置・内型枠組立て装置によりくり返し転用した(**写真-1, 図-2**)．

## 3　覆工コンクリートの構造

SENSは，一次覆工の外径が11,440㎜，一次覆工の巻き厚は330㎜，二次覆工の巻き厚は300㎜，仕上がり内径は10,180㎜である．

SENSでは覆工コンクリートの機能に山岳工法の技術を応用し，一次覆工にはトンネル周辺地山の持つ本来の支保機能を有効に活用し，内空を保持するための一次支保材と位置づけ，流砂を伴わない程度の漏水やひび割れは許容する．また，一次覆工と二次覆工の間には防水シートや集水溝などの防水工を施工して，トンネル坑内に導水している(**図-3**)．

### 3-1　一次覆工の性状と品質管理

一次覆工は，地下水のある地盤内に高圧で打設

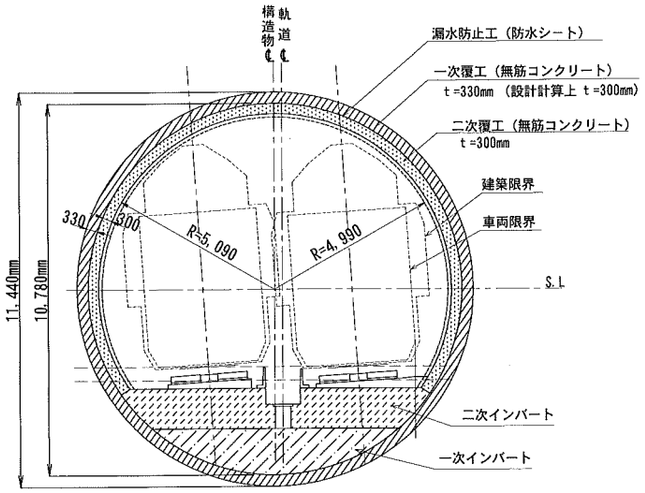



図-3　標準横断面図(曲線部：$R$=8,000)





し，地山と内型枠との間に形成された空間を確実に充填させる必要がある．このため，一次覆工には**表-1**に示すような多様な性能が要求される．本工事では，これらの性能をすべて満足するコンクリートを室内配合試験により開発・決定した基本設計配合を**表-2**に示す．

**図-4**に一次覆工の強度試験結果を示す．コンクリートは温度により性状が大きく変化するため，練り上がり温度や養生温度は20℃を下回らないように管理し，1日強度で15N/㎟以上を確保した．また，**図-5**にスランプフローと水中不分離性試験の結果を示す．1,300リング以降，水中でのセメント分の溶出度合いを示すpHが1程度大きくなっているが，増粘材を4％から3.75％に試験的に配合を変化させたためである．その他の性状は全リングをとおして管理値を満足して一次覆工コンクリート

**表-1　一次覆工コンクリート要求性能**

| | 項　目 | 要求性能 |
|---|---|---|
| ① | 高流動性 | 締固めなしで型枠内に確実にコンクリートが充填可能であり，練上がり直後でのスランプフロー値が650㎜±50㎜であること． |
| ② | フレッシュ性状の保持 | 練上がり後4時間までフレッシュ性状を保持し，4時間後のスランプフロー値が練上がり直後の80％以上であること． |
| ③ | 早強性 | シールドの推進反力を内型枠とコンクリートとの摩擦力で確保していることから，材齢1日で強度15N/㎟を発現すること． |
| ④ | 材料分離抵抗性 | 打設孔3インチ配管で30mの距離に5 m³/hの打設が可能であること． |
| ⑤ | 水中不分離性 | 地下水環境下での打設においてもセメント分の分離を抑制でき，所定の強度を発現できること． |

**表-2　一次覆工コンクリート標準配合**

| 水セメント比 $W/C$(％) | 細骨材率 $S/a$(％) | 単位量(kg/m³) | | | | 増粘剤A ($W\times$％) | 増粘剤B ($W\times$％) | 高性能AE減水剤 ($C\times$％) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $W$ | $C$ | $S$ | $G$ | | | |
| 35 | 38 | 190 | 543 | 597 | 948 | 4.0 | 4.0 | 3.2 |

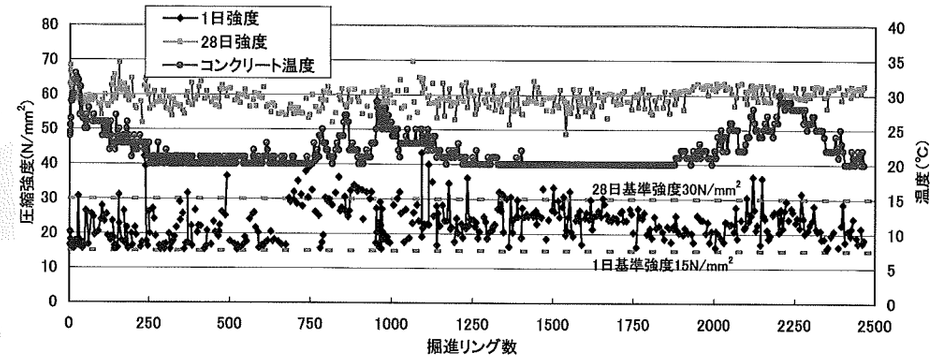



図-4　強度試験結果

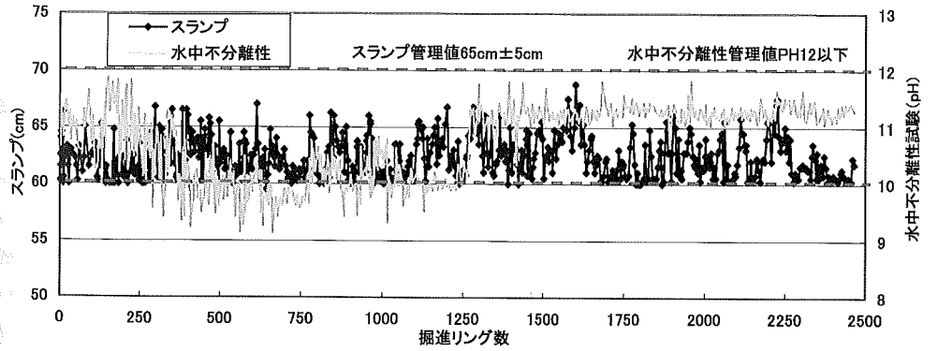



図-5　スランプフロー・水中不分離性試験結果

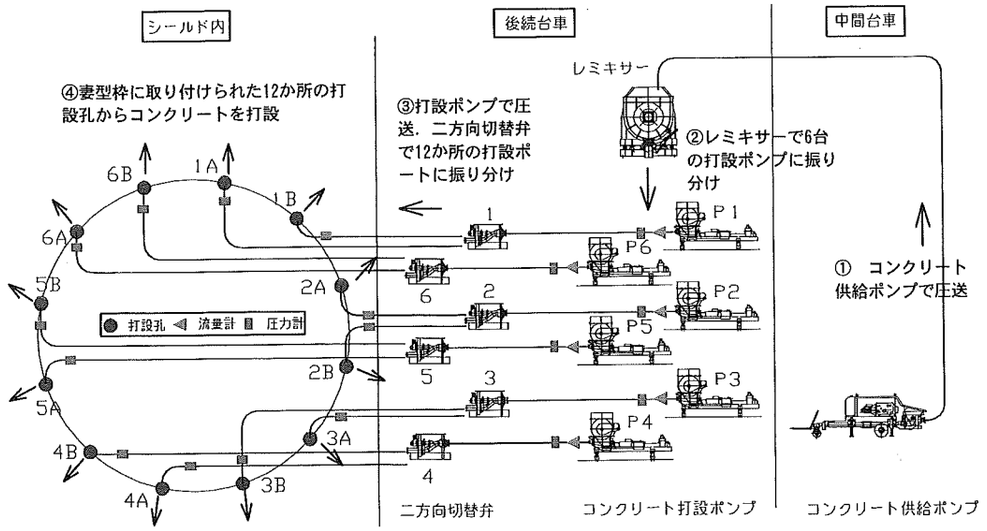



図-6 一次覆工打設系統図

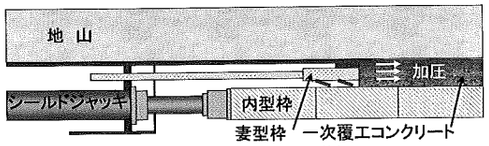



図-7 一次覆工打設部詳細図

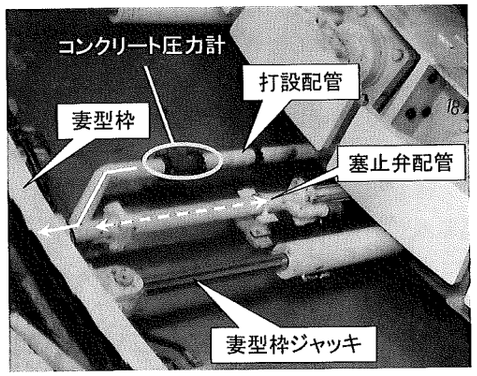



写真-2 テール内打設設備

を製造することができた．

### 3-2 一次覆工の打設設備

一次覆工コンクリートは作業基地内に設置したバッチャープラントで製造し，アジテータートラックで後続台車後方まで搬送する．そして，図-6に示すような打設経路をたどり，一次覆工が打設される．

① コンクリート供給ポンプから6インチの配管を通じて後続台車に設置したレミキサーまで圧送する．

② レミキサーからホッパーの残量に応じて6台のコンクリート打設ポンプに供給する．

③ 後続台車内の6台のコンクリート打設ポンプから3インチの配管を使用して地山と内型枠の間に掘進量と併行して空隙が生じないよう妻型枠に設置された12か所の打設孔からコンクリートを打設する．

④ コンクリートは打設ポンプの口元に圧力計と流量計，打設孔付近には圧力計を設置して打設状況を管理した[2]．

掘進停止時には，コンクリートの逆流を防ぐために塞支弁装置を装備している．また，妻型枠は微動と圧力調整のできるアキュームレーター機能を有した妻型枠ジャッキにより支持されている(図-7, 写真-2)．

### 3-3 一次覆工打設圧力と打設率，巻き厚の相関関係

打設圧力と打設率，一次覆工巻き厚の各々の相関関係を図-8に示す．

打設率と平均覆工巻き厚の間には打設率の増加とともに覆工巻き厚が大きくなる傾向にあるが，打設率が120%を超えると相関関係が見られなくなっている．これは打設率が高い場合には一次覆





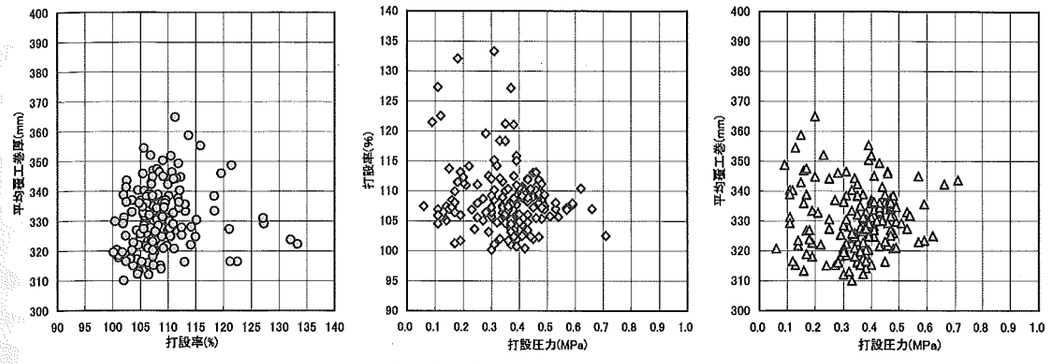



図-8 打設率・打設圧力・覆工巻き厚相関図

工が地山に押し当てられ，地盤内を逸走していることが推測される．

一方，打設圧力と打設率，覆工巻き厚の間には明確な相関関係は見られない．とくに打設圧力を大きくすることにより打設率や覆工巻き厚が比例して大きくなる傾向は見られない．このことは，「打設圧力さえ大きくすれば，良質な一次覆工を構築できる」という関係が単純に成り立たないことを示している．逆に，打設圧力の上昇による周辺地山の隆起という影響も見られ，これらの条件も考慮して最適な打設圧力管理を行う必要がある．

## 4 地表面の地盤変状計測

前述のようにSENSでは一次覆工を確実に充填させるために打設率100%以上を管理値に設定している．図-1に示したように三本木原トンネルは，河川によって開析された洪積谷が点在しており，発進部・第一沢部・第二沢部・第三沢部の4か所において土かぶりが小さくなっている．こうした極小土かぶり部は，シールド掘進などの関係から土かぶりが8mとなるようにシールド到達前にあらかじめ保護盛土を形成し掘進を行った．このほか，重要幹線道路(六戸町道)および農業用水幹線においても地盤変位計測を行った．図-9, 10に地盤の最大変位量と土かぶり・打設率との相関関係を示す．両者の関係から以下のことが明らかとなった．

① 土かぶりがトンネル径(11.44m)以下とそれ以上の場合で地盤変位量の傾向が大きく異なる．

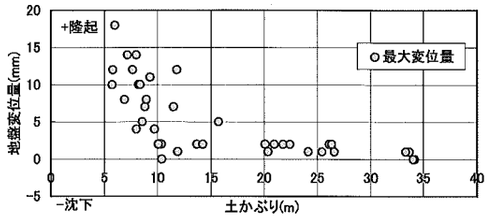



図-9 土かぶりと地盤変位量




図-10 打設率と地盤変位量

② 打設率と地盤変位量には明確な相関関係が確認できない．

以上の傾向を考慮して地盤変状を一般部(土かぶり≧トンネル径)と小土かぶり部(土かぶり＜トンネル径)に分けて分析する．

### 4-1 一般部における地盤変状

図-11に一般部(六戸町道)での地盤変位の状況を示す．

グラフで横軸は測定ポイントと切羽との距離を，縦軸は地盤変位量(＋：隆起)を示している．この地点での土かぶりは約26m，計測ポイントはトンネルセンター上にある．計測の結果，変位は3㎜程度であり切羽およびマシンテール部通過に伴う変位は見られなかった．

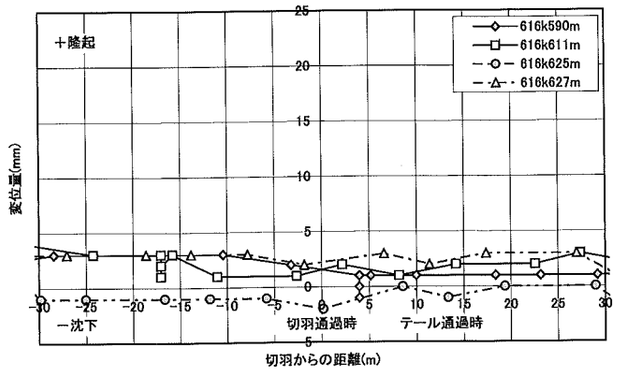



図-11 地盤変位量(一般部)

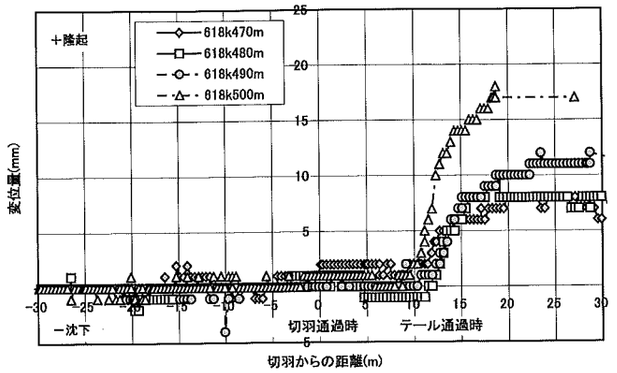



図-12 地盤変位量(小土かぶり部)

### 4-2 小土かぶり部における地盤変状

図-12に小土かぶり部でのトンネルセンター上の地盤変位の状況を示す．この地点では土かぶり約6mであったが，試験的に保護盛土を行わず，計測を頻繁に行いながら掘進した．以下に測定結果をまとめる．

① テール通過と同時に急激に地盤が隆起し，それはテール通過後約10m間継続する．

② 最終的な変位量は20㎜程度であり，一般部に比べて大きくなる．

以上の結果から，地盤隆起が観測された箇所ではコンクリート打設圧が土かぶりに比べて大きすぎることがわかり，今後はコンクリート打設圧力も考慮した良好なコンクリート打設管理が望まれる．

## 5 SENSの進行について

SENSにおける進行実積は3,000mで初めて採用

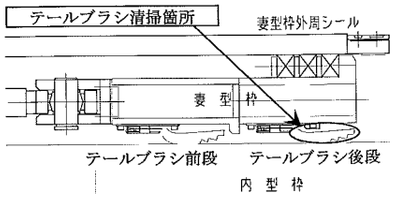



図-13 妻型枠テールブラシ背面清掃箇所

したシステムの初期段階における試行錯誤やトラブルを含む平均として109.6mであった．また，最高月進は172.8m/暦月で，同工区の山岳工法区間と比較して約2.5倍である．前述のとおり，シールドの掘進圧力の関係から場所打ちコンクリートのリング数(長さ)を16リング(@1.2m＝19.6m)としたが，コンクリートの連続打設に伴うメンテナンスを次のように定期的に行うことによりトラブルを回避しつつ進行を向上させることができた(図-13)．

① 10リングに一度，コンクリート打設設備(ポンプおよび配管)を清掃する．

② 100リングに一度，妻型枠およびテールブラシのメンテナンスを行う．

③ 1,000リングに一度，妻型枠のゴムシールのメンテナンスを行う．

## 6 おわりに

三本木原トンネルでは，新工法「SENS」を採用したことにより小土かぶりで複雑な地層のうえ，未固結な土砂地山の掘削を安定的に進めることができた．今回の施工実績を振返って，SENSにおける一次覆工コンクリートに関する設計施工管理が安定性・経済性に大きく影響することが明らかとなった．今後はこの施工実積を礎にして同種同様な条件を有する地山への適用が拡大されるよう期待したい．また，初めての採用工法へ果敢に挑戦し，実積に貢献していただきました多数の技術者と適宜的確なご指導をいただいた諸代に誌面をお借りして感謝の意を申し上げます．





## 参考文献

1) 飯田廣臣・磯谷篤実・井浦智実・川嶋潤二・小西真治：シールドを用いた場所打ち支保システムの施工，トンネル工学報告集，Vol.14，pp.195-202，2004.11.

2) 飯田廣臣・井浦智実・小山幸則・水原勝由・千代啓三：シールドを用いた場所打ち支保システムの現場計測，トンネル工学報告集，Vol.15，pp.331-338，2005.12.

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

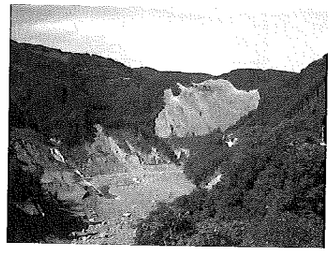
株式会社 土木工学社 〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂 電話 (03)3267-2888（代） 振替00110-8-190072

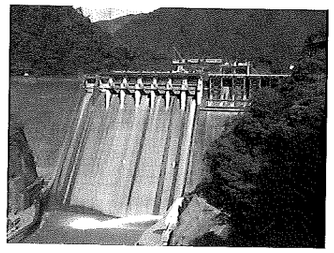
現場だより
平成19(2007)年

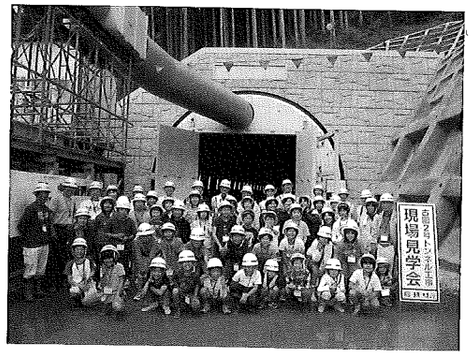
# 「造林と水力発電の村」宮崎県諸塚村より

高　見　裕　一

宮崎県東臼杵郡諸塚村は，宮崎県北部の耳川沿いにあり，平家の落人伝説で有名な椎葉村の東隣に位置する．この耳川は昔から急峻で水量の豊富な河川として知られ，大正８(1919)年から椎葉村に造林事業を始めた住友財閥が，この耳川の水利権を獲得していた．大正10(1921)年に電力事業統制のため，住友財閥を含めた４社で九州送電(現在の九州電力の前身)が設立され，耳川流域の電力開発の準備が始まった．ところが当時諸塚村から椎葉村には車の通れる道路がなかったため，住友財閥からの100万円の寄付により，隣村の西郷村から椎葉村に至る幅員４mの道路が整備された．これが地元で俗にいう「100万円道路」の謂われであり，現在の国道327号線となっている．その後，耳川流域には八つのダムと七つの発電所が建設され，九州の電力供給に大きく貢献した．

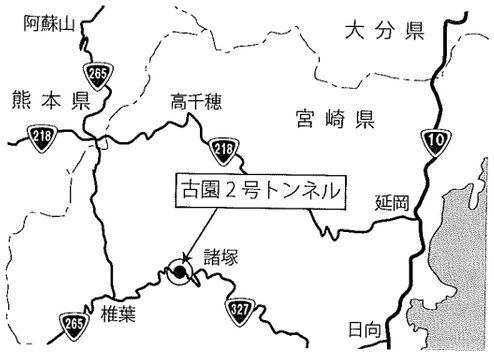

斜面崩壊


塚原ダム



現場見学会

国道327号線は平成17年９月の台風14号の際に大きな被害を受け，道路や家屋の１階部は冠水し，耳川沿いの橋梁は流され，斜面には巨大崩落箇所が今でも見られる．当トンネル工事乗り込み時の平成18年３月は，国道327号線の各所で工事のための片側通行や迂回通行となっており，この災害復旧工事は現在も続いている．



位　置　図

当古園２号トンネルは，諸塚村南部の塚原ダム上流に位置する延長972mの工事である．地質は，白亜紀後期の四万十層郡日之影層(頁岩・砂岩)を基盤とし，起点側は熔結凝灰岩と崖錐堆積物が覆っている．この頁岩・砂岩の基盤岩は比較的良好な岩盤であり，当初より全延長の約70%以上が鋼製支保工のない支保パターンで設計されている．

５月には近くの塚原ダムゲート取替工事と連携して，地元小中学生の体験学習グループ「もろっこサークル」と地元の方々を招待し，現場見学会を開催した．坑内トンネル機械のリモコン操作や防水シートへの落書きなどを行い，トンネルへの親しみを深めてもらった．

８月29日現在，950mまでトンネル掘削が進み，覆工コンクリートも約500mを打設完了している．まずは来月の貫通および年内の覆工完了に向けて，無事故・無災害での施工を目指して頑張っている．

(前田・吉原・大淀特定建設工事共同企業体所長)





施工

# 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—

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)・佐藤工業共同企業体所長　小　林　伸　二

## 1　はじめに

飛騨トンネルは，東海北陸自動車道最後の未開通区間である飛騨清見IC～白川郷IC間に位置する全長10.7kmの高速道路トンネルである(図-1)．本トンネルには，国内の山岳道路トンネルとして本坑掘削に国内で初めて掘削径12.84m(世界最大級)の大断面TBMが適用された．

本工事は，本坑TBMの施工に先立ち先進坑TBMの掘削が1998年２月に開始され，既報[1)~3)]のようにその施工は不良地山と高圧多量湧水により難渋を極めたが，2006年３月に貫通した．一方，本坑TBMは先進坑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月に掘削を開始した．本坑TBMは，4,290mを掘削して2007年１月に無事貫通した．

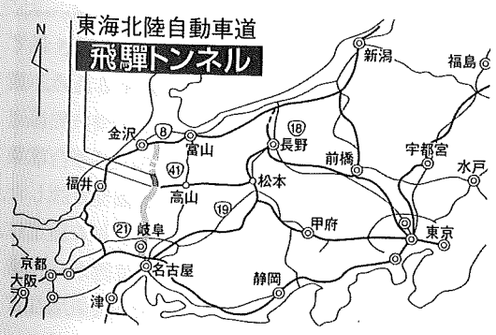


図-1　飛騨トンネル位置図

本稿は，飛騨トンネル施工のうち本坑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として前編・後編に分け報告するものである．本編では，工事概要，設計を中心に報告する．

## 2　工事概要

飛騨トンネルは，東海北陸自動車道未開通区間の白川郷IC側に位置し，延長は10.7kmで道路トンネルとして国内２番目(世界第７位)の長大トンネルであり，本坑と避難坑から構成されている(図-2)．本坑の他の特徴を以下に示す．

①　最大土かぶり厚が1,000m以上と非常に大きい．

②　縦断勾配が白川(富山)側から河合(名古屋)側に向け２%の上り勾配．

③　両坑口部とも10年再現最大積雪深が３mを超える豪雪地帯．河合側はアクセス道路が冬

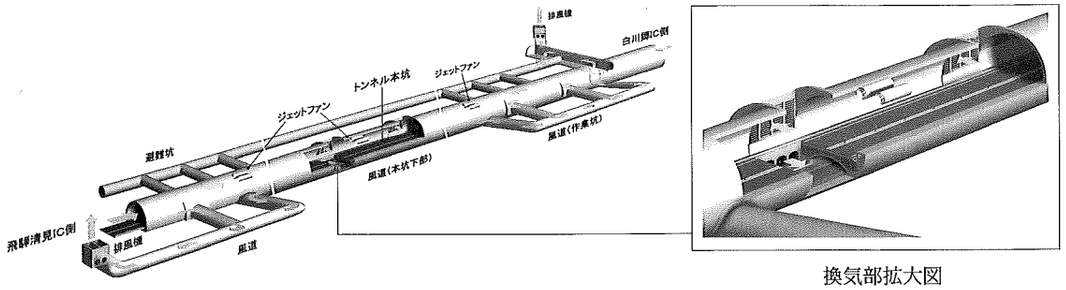



図-2　飛騨トンネルの本坑と避難坑などの位置関係

期通行止めとなるような気象・地形条件が厳しい場所に位置する．

④　地表部天生峠一帯はブナ原生林，水芭蕉群生地，高層湿原植物群落などが存在する．

⑤　本トンネルを構成する地質は大きく次の4種類に分類される(詳細と実際に遭遇した地質は4-2で後述)．分布は白川側坑口から中生代(白亜紀)の白川花崗岩類，濃飛流紋岩類，中央部に花崗斑岩が貫入，先三畳紀の飛騨変成岩類，中生代(ジュラ紀～三畳紀)の船津花崗岩類の順となっている．

こうした環境・地質・施工条件から施工法が検討され，以下の理由から本坑，避難坑ともTBM工法を適用することに決定した．

①　坑口からの施工は，冬期中止，縦断勾配2％の下り勾配となることから，白川側からの片押し施工が望ましく，急速施工を必要とした．

②　当初想定地質では約93％がB・C級の良好地山とされており，TBMによる急速施工が可能と判断された．

③　土かぶりが大きく，かつ自然保護，気象・地形条件から換気立坑の施工は非常に困難であるが，本坑円形断面の下半分を換気ダクトとして利用する換気立坑を必要としない換気システムが採用できる．

④　先進坑(供用後は避難坑となる)TBMを本坑TBMに先行して掘進することで，本坑施工に先立ち地質状況の把握を可能とし，さらに水抜き効果や不良地山に対する事前補強など補助工法機能を果たすことで本坑TBMのリスクを減少する．

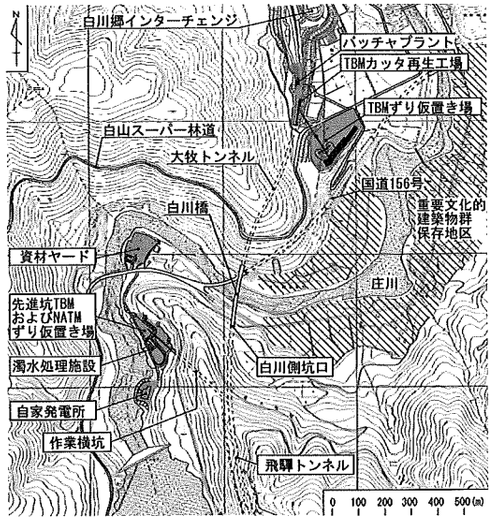



図-3　工事中の作業横坑と仮設関係位置図

上記の検討を経て，避難坑と本坑とも白川側坑口からTBMによる片押し施工となった．使用したTBMは，先進坑(避難坑)では掘削径4.5mのフルシールド型，本坑では12.84mの改良オープン型を採用した．本坑TBMは，山岳トンネル用TBMとしては世界最大掘削径のマシンであった．

白川側坑口は，「世界文化遺産」に登録されている白川郷荻町合掌集落近傍に位置するため，景観に配慮し道路の線形(位置，高さ)については道路構造物(坑口，橋梁，坑口換気所など)が合掌集落からほとんど見えない位置となるよう設計した．また，工事中の景観にも配慮しトンネルの施工は，合掌集落とは尾根を挟んで反対側の位置から作業横坑で取り付き，仮設備ヤード・ずり仮置場なども同集落から見えない位置に設置した(図-3)．





## 3　飛騨トンネル換気方式

### 3-1　換気方式検討

従来延長の長いトンネルの換気設備には，電気集じん機付き立坑送排気式従流換気方式が採用されてきた．この換気方式は，関越トンネル(対面通行時，一方通行時)，アクアライントンネルを始めとする延長の長いトンネルの換気方式として採用されている．

事実，飛騨トンネルにおいても，集塵機付き立坑送排気縦流換気方式の採用が検討されていた(平成8年2月　東海北陸自動車道天生トンネル換気基本設計)．この時点では，TBM工法の採用が決定されておらず2か所の立坑による送排気を計画していた(図-4(1))．

翌平成9年度からTBM工法の採用を本格的に検討し(図-5)，円形断面の下部を換気ダクト(以下，「下部ダクト」)として利用した電気集じん機付き送・排気縦流式換気方式が検討された(図-4(2))．

しかしながら，平成11年度に実施された「東海北陸自動車道　飛騨トンネル付帯設備に関する検討」の中で，選択排気縦流換気方式(図-4(3))が提案された．

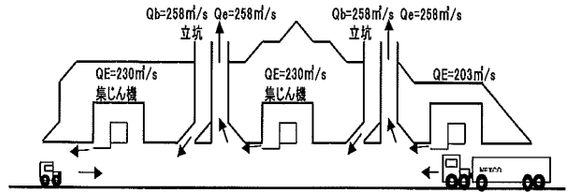
選択式排気縦流換気方式とは，基本的には集中排気方式である．通常の立坑を利用した集中排気方式は，対面通行のトンネルでは比較的多く採用されてきた換気方式である．従来の集中排気方式との相違点は，下部ダクトと車道を複数の選択可能な排気口で結び，トンネル内の状況にあわせて最適な排気口を選択し，下部ダクトを通じて，両坑口付近に設置された換気塔からトンネル外に排出するものである．

選択式排気縦流換気方式が採用された理由は，

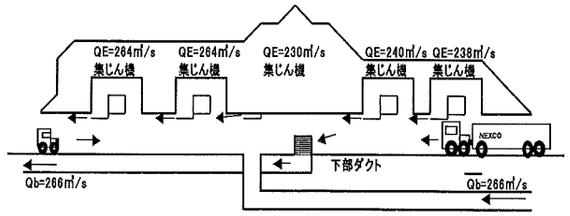
①　建設コスト，保全コストともに他の方式に比べ安価であったこと．

②　交通量比率，自然風，走行速度のアンバランスなどに対し，排気口を選定することで経済的な換気運用が期待できる．とくに白川郷，奥飛騨温泉，高山市といった観光的要素が強い飛騨地域においては，上下方向の交通アンバランスが想定されるが，電気集じん機付き送・排気縦流式に比較し，安定した運用が可能となること．

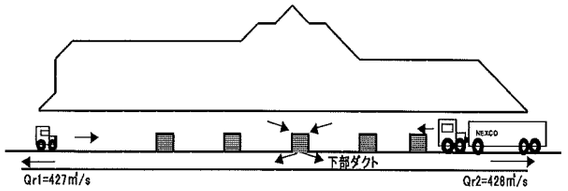
などが挙げられる．




(1)　集塵機付き立坑送排気縦流換気方式(H8.2.天生トンネル換気基本設計)




(2)　集塵機付き送・排気縦流換気方式




(3)　選択式排気縦流換気方式

図-4　飛騨トンネル換気方式の検討経緯

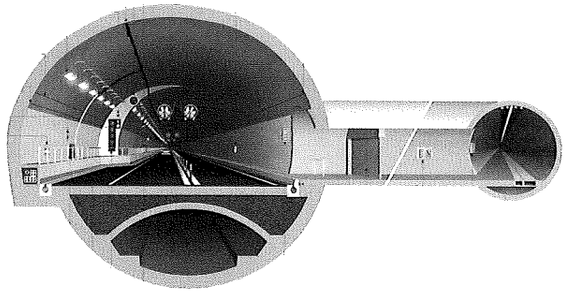


図-5　円形断面の下部換気ダクト構造

### 3-2　換気ダクトの変更

#### 3-2-1　白川側作業坑

飛騨トンネルは，当初全線をTBM工法により掘削することとされていたため，全線にわたり換気用の下部ダクトとして利用される計画であった．

しかし，白川側のTBM掘進箇所までの区間においては，水抜き，地質把握などを目的とした作業坑が本坑と平行に掘られ，この作業坑が換気ダクトとして利用するに十分な断面積を持っていた．この作業坑3.6kmを白川側の換気ダクトルートに変更した．

作業坑の換気ダクトへの変更は，作業坑に大きな構造の変更がなかったために経費の削減を実現している．

### 3-2-2　河合側NATM区間

河合側坑口から3.5kmまでは，NATMによる迎え掘りを実施した．NATM断面ではトンネル下部を換気ダクトとして利用することはできなかったため，トンネルと平行に換気ダクトを施工した．

以上により変更された飛騨トンネル換気ダクトのルートを図-6に示す．

### 3-3　換気設備概要

飛騨トンネル換気設備は，排風機，排気口ダンパ，ジェットファンと，それらをコントロールする制御機器およびトンネル内煙霧透過率測定装置などの計測機器で構成されている(図-6)．

換気運転は，3段階に分かれる．もっとも交通量の少ない段階が自然換気，そしてジェットファンの縦流換気，さらに交通量が増えた場合には，排風機を運転し，最適の排気口のダクトを開き，車道内のバランスをジェットファンから取ることでトンネル換気を行う選択排気縦流換気方式の3段階で運用を図るものである．

### 3-4　換気制御ソフト

飛騨トンネルは，非常に巨大な空間であり，一度環境が悪化すると回復するまでに長い時間がかかる．さらに，選択式の排気口を持つことは，きめこまかな制御を可能にしているが，その運用は非常に複雑なものとなっている．そこで今回は対面通行では初めてではあるが，MPVC(モデルベース予測換気制御)を導入することとした．

この制御は，トンネル内の煙霧透過率，風向・風速および交通量計測値などをもとにトンネル内の環境をリアルタイムにシミュレーションし，換気機の運転指示をすることにより，最適な制御を

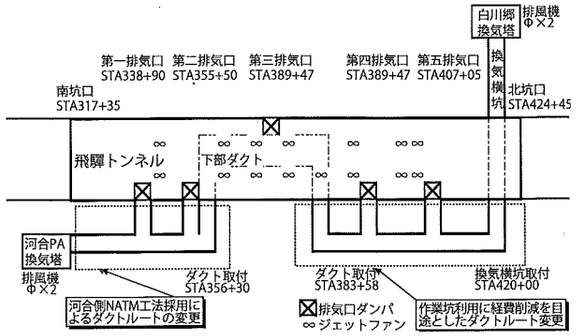



図-6　換気ダクトのルート

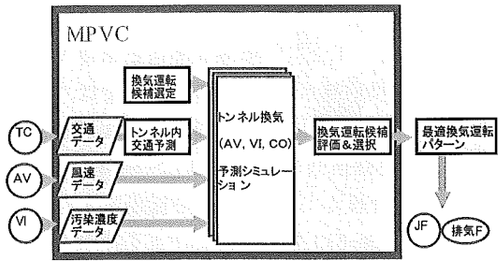



図-7　MPVC(モデルベース予測換気制御)

最少のエネルギーで達成することができる(図-7)．

## 4　施工経過概要

### 4-1　先進坑の施工

先進坑TBMは，1998年2月に掘削を開始し，白川花崗岩600m区間は順調に推移したが，白川花崗岩と濃飛流紋岩境界付近に接近すると当初想定地質とは大幅に異なる不良地山区間が約1.7km続き，TBMの拘束に伴う切り拡げや迂回坑の設置，NATMへの工法変更が必要となり，この間の突破に約4年を費やした．その後，濃飛流紋岩の堅岩部となってからも亀裂性岩盤からなる高圧大量湧水帯が続き，トンネル全体の湧水量は最大70t/minに達した．

また，断層粘土帯や亀裂密集帯が存在し種々の水抜きを主とする大規模な対策工を併用しながらの掘進を余儀なくされた．

なお，先進坑TBMの施工経過については，既報[1)~3)]に詳しいのでここでは省略する．

### 4-2　地質想定の変遷と実際に遭遇した地質

(1)　当初想定

本トンネルの土かぶりは全体の約55%の区間が





500m以上であり，最大1,041mに達する．また，地形は急峻でアクセス道路も少なく，トンネル深部の地質調査には大きな制約があった．山岳トンネルの事前調査で一般的に行われる弾性波探査は，発破の薬量や読み取り精度の面などで深部の探査には限界があり，当現場では両坑口付近の1km

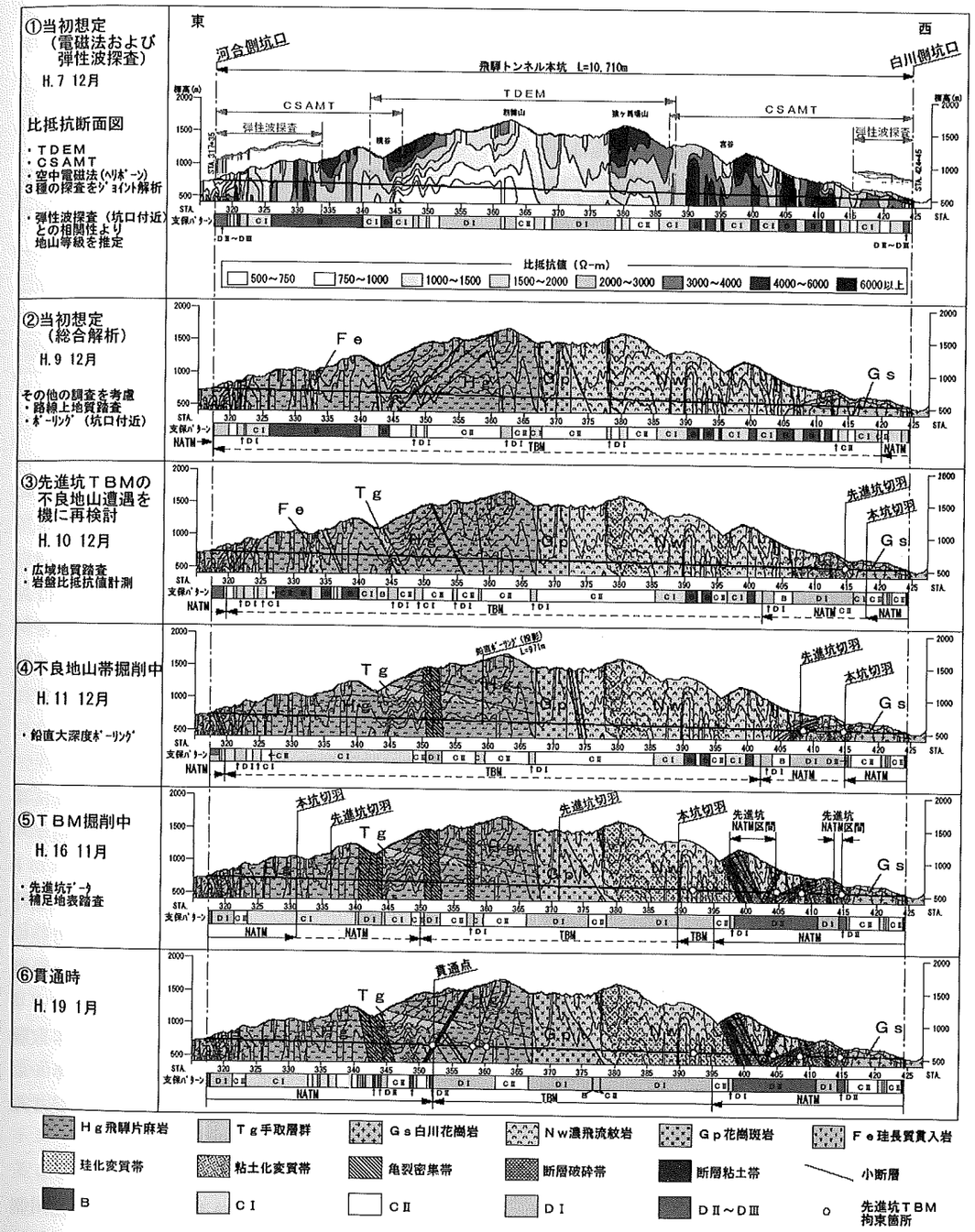



図-8　地質想定の変貌

程度に限られた．

一方，トンネル近傍には，跡津川断層や御母衣断層など大規模断層が位置し，これらからの派生断層など，断裂系の分布状態の把握が求められた．そこで比較的探査深度の大きい地上電磁法(TDEM, CSAMT)によりトンネル施工深度までの縦断的な比抵抗分布を計測し地質想定の基本情報とした．併せて空中電磁法により広域浅部の平面的な比抵抗分布(トンネル軸方向の東西11km，南北２～４km)を計測し，地質境界や断裂系の走向を検討，また空中電磁法で得られた比較的高精度の浅部比抵抗値を地上電磁法の解析に用いその精度を向上させた(ジョイント解析)．図-8①に解析結果を示す．STA.333～390の5.7km区間は地表付近に比べ深部の比抵抗が相対的に低く，とくにSTA.348～363を中心に750Ω-m以下の低比抵抗帯が認められた．施工深度の比抵抗値に対し坑口付近の弾性波探査との相関性から図-8①の地山等級区分が想定された．ただし，この中でＤＩとされた区間には片麻岩中の石墨や熱水鉱床の影響で実際には良好な岩盤が過小評価されている可能性があった．

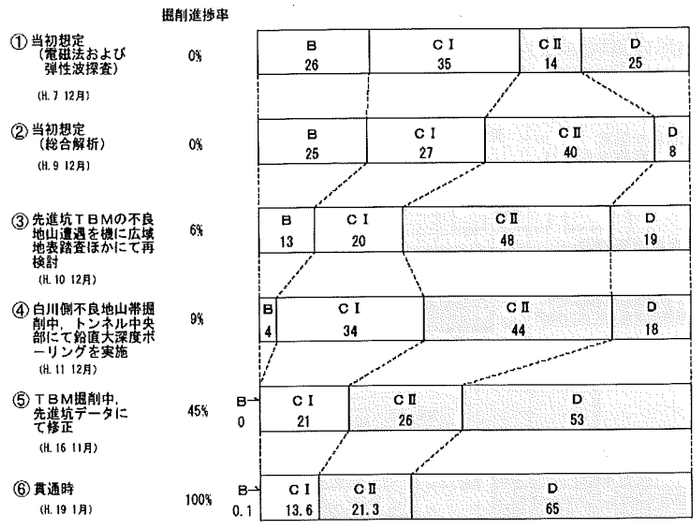



図-9　飛騨トンネル(本坑)全線における支保等級割合の変貌

（２）　当初想定(総合解析)

上記比抵抗値とトンネル直上の地表踏査や坑口周辺のボーリングデータを総合的に検討した結果，図-8②に示す地質想定となり，想定支保パターンの内訳はB＝25%，ＣⅠ＝27%，ＣⅡ＝40%，D＝8％となった(図-9②)．

（３）　再検討(TBMの不良地山遭遇後)

平成10年６月，先進坑TBMが坑口から970mの地点で予期せぬ不良地山に遭遇し切羽崩落・拘束される事態となり，本坑TBM発進位置の再検討など計画の見直しが必要になった．追加調査としてトンネルの山塊の大部分を網羅する地表踏査により広域地質構造を再検討，さらに代表的露頭の比抵抗計測を実施し，上記比抵抗値の参考データとした．

その結果，白川側の不良地山は比較的低角度に分布する熱水変質および断層破砕帯であり，STA.402付近まで断続的に分布すると推定され，本坑TBM発進位置を当初より1,800m前方のSTA.402に変更した．トンネル中央部の低比抵抗帯付近には数条の断層破砕帯が追加されたが，低比抵抗の原因の決定的な情報は得られず大きな変更には至らなかった．

（４）　鉛直大深度ボーリングによる修正

平成11年６月，雪解けを待って上記低比抵抗帯の直接的調査を目的にトンネル直上からの鉛直ボーリング(L＝971m)が実施された．

その結果，トンネル施工深度ではＣⅠ級の良好な岩盤が確認され，その周囲にはＣⅡ級の岩盤の分布が推定された．ボーリングで確認された鉛直方向の破砕帯分布と周辺地域の精査から，ボーリングでは直接手取層は確認されていないが手取層群の分布は以前の想定よりも低角で，トンネルには出現しないと推定された．また，新たにSTA.351付近に比較的大規模な断層が推定された．

（５）　先進坑データによる修正

平成16年11月，先進坑の進捗率は70%，白川側からT.D.5,300m，河合側からT.D.1,900mとなった．本坑TBMは同年１月に掘削開始したが切羽の自立性が悪くAGFなどの補助工法を余儀なくされTBMはT.D.550mに留まっていた．先進坑が本坑に対し約1,900m先行しており，本坑にとっての前方地質データが充実してきたことにより，前方地質想定を当初からの各種データも考慮し総合的に再検討した．

その結果，濃飛流紋岩および花崗斑岩はD級の岩盤が主体であり，片麻岩もＣⅡ～D級が主体であると判断された．

また，当初から懸念されていたSTA.378付近の断層破砕帯(跡津川断層の延長)は連続性が悪くトンネル深度までは達していないこと，STA.340～360付近では急傾斜の断層が断続的に分布することが想定された．

（６）　貫通時

平成19年１月，本坑は貫通を迎えた．これに先立つ平成17年９月，並進する先進坑TBMが同位置において幅２～３mの断層粘土帯に遭遇，拘束された．この粘土背面には６MPaもの被圧水が胚胎しており，機内への土砂流入，シールドの破壊に至り，その後，河合からの迎え掘りにて貫通がなされた．この粘土帯はその後の坑内からの調査で東傾斜約70度で本坑にも連続していると想定された．本坑は，この位置まで河合から迎え掘りで到達し粘土層を確認，さらに中央導坑にて延長103mの地質確認を実施した．その後本坑TBMは，調査導坑に貫通，順調に掘削し河合側切羽の手前４mまで達した時点で天端崩落，TBM拘束，残り４mを河合方からの迎え掘りで貫通となった．最終的な地質縦断面図を図-8⑥に示す．その実績支保パターンの内訳は，B＝0.1%，ＣⅠ＝13.6%，ＣⅡ＝21.3%，D＝65.0%となり(図-9⑥)，当初想定と大きな差異が生じた結果となった．これは，①当地域が，構成岩種が比較的多く，そこに断層や変質の影響を受け，地質が複雑であること，②トンネルが大土かぶりであり調査手法に制約があること，③比抵抗値から地山等級を判断する場合の閾値設定の難しさ，に起因していると考えられる．

## 4-3　本坑の施工

本坑の施工経過概要を以下に施工順序に沿って記述する．

（１）　TBM組立基地

本坑TBMは，当初坑口付近から発進される計画であった．TBMの組み立ては，仮設備ヤードが狭隘であり，かつ先進坑と作業横坑を共用するため坑外での組み立ておよび坑内への搬入は物理的に困難なことから，本坑内に組立基地を設け坑内での組み立てとした(写真-1)．

（２）　不良地山区間の本坑NATM施工

4-1で述べたように先進坑TBMは不良地山に遭遇し，施工が難渋したことから同区間へのTBM適用を断念しNATM掘削に切り替えた．不良地山区間で本坑TBMを移動させる大断面(166m²)の掘削は，難渋を極めた．

この間の施工経過については，既報[1]に詳述している．

（３）　作業坑

不良地山区間は地質状況が複雑で，本坑施工では先進坑のみによる水抜きでは効果が十分でなく，かつ地質状況の把握も難しいことから切羽の崩落が頻繁に発生した．このため，本坑を挟む形で先進坑と反対側に作業坑を追加，先行させることにした．作業坑は，本坑掘削に対する地質把握，水抜きなど補助工法機能と本坑切羽の増加による工期促進の役割を果たした[1]．作業坑併設区間は，換気容量の見直しを経て経済性も考慮し作業坑を換気坑として利用することに変更した．

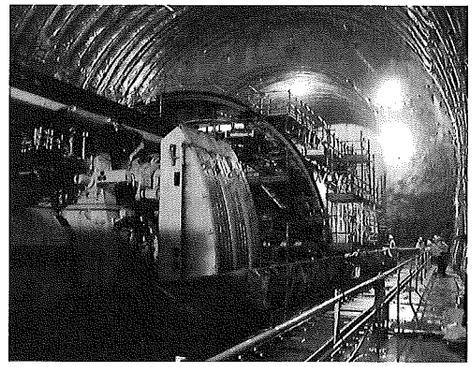


写真-1　組立基地でのTBM組立状況

（4）　TBM移動

本坑TBMは，濃飛流紋岩の切羽自立性が比較的良好となったSTA.395＋00より発進することに決定した．

このため，TBMは組立基地から同地点まで坑内を約2,250m移動した．移動は，TBMシールド内でインバートライナーを設置し，これに反力を取ってTBMのインバート部シールド推進ジャッキでTBM全体を前方に押し出すことで前進する方法とした．

（5）　TBM施工

TBMは，STA.395＋00より掘進を開始した．掘進経緯は，後編に詳述する．掘削開始地点以降の先進坑施工データでは，引き続き高圧大量湧水，断層粘土層や亀裂密集帯が存在するため，作業坑の湧水が減少したSTA.383＋58.8まで補助工法の位置づけで作業坑を先行させた．作業坑を併設しない区間からは，当初設計どおり路盤下に換気ダクトを設置する断面とした．

（6）　河合側からのNATMによる迎掘り

不良地山帯や高圧大量湧水帯の影響で工程が延伸した．清見側他工区の工事が終了し河合側からの通年施工が可能となったことから，早期貫通を目的としてNATMによる本坑迎掘りを行うことにした．迎掘り区間の換気システムも，白川側作業坑区間と同様に経済性比較から路盤下換気ダクト方式から，換気坑を併設する方式へと変更した．

（7）　本坑貫通

本坑TBMは，2007年１月，STA.352＋10地点で貫通した．TBM掘進延長は4,290mとなった．河合側よりの迎掘りは3,475mの下り勾配での施工となった．

（8）　TBMの解体と二次覆工省略型トンネルライナーの施工

貫通後のTBMは，貫通点での坑内解体となった．このため，解体区間の覆工工程を短縮する目的で二次覆工省略型トンネルライナーを採用した（後編で詳述）．

## 5　TBMの仕様

### 5-1　設　計

本坑TBMは掘削径12.84mと施工当時世界最大の山岳トンネル用TBMであり，国内では初めて道路トンネル断面掘削に適用されるものであったことから，以下に述べるような要求性能を検討のうえ，TBMの仕様を決定した．

飛騨トンネルは前述のように，白川側からの片押し施工で10km以上の掘削が予定されるため急速施工性が第一に求められた．

また，日本の地質状況は一般に複雑で変化の多いことが特徴であることから，不良地山対応性もTBM工法適用上および急速施工実現の上からも重要課題であった．

本坑TBMで最終的に採用したTBM型式は，

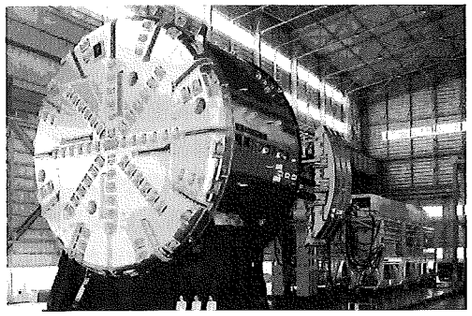


写真-2　本坑TBM全景

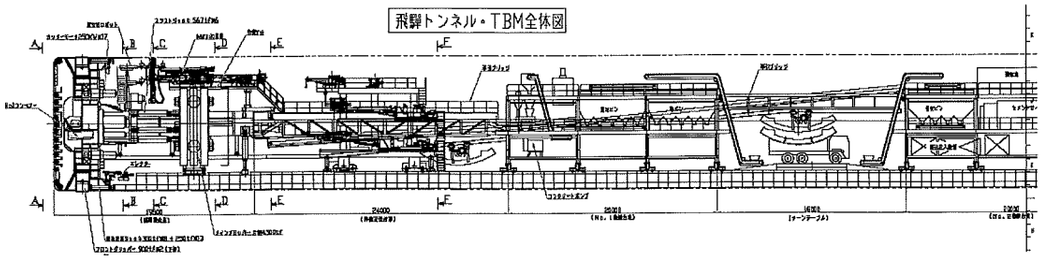



図-10　飛騨トンネルTBM全体構造図





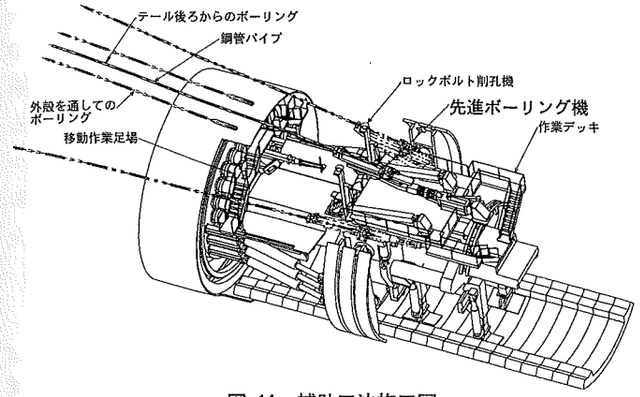



図-11　補助工法施工図

「改良オープン型」と呼ばれるものである．同型式は，従来のオープン型と単胴シールドの両機能を併せ持つマシンであり，外観上はオープン型のTBMのカッタヘッド後方に単胴シールドとシールドジャッキ，エレクタを装備した形状となっている（**写真-2**）．

このTBMは，B・C級の良好地山ではメイングリッパにより坑壁に反力をとり，メインビームを介してカッタヘッドに推力を与えるオープン型式の掘削を行い，シールド部から地山が出たところで吹付けコンクリート，ロックボルトなどのNATM支保を施工する．このため，後続設備台車には吹付け機や削岩機，吹付けプラントなどが配備されている（**図-10**）．D級地山や不良地山では，後述するRCトンネルライナーをシールド内で全周建て込み，これに反力をとってシールドジャッキにより推力を与える単胴シールドモードでの掘進が行える．

さらに，不良地山対策として，切羽前方探査のための先進ボーリングや長尺鋼管先受け，鏡ボルト，水抜きボーリング，底盤部地盤注入などの補助工法をTBMシールド内から施工できるようカッタヘッドおよびシールド部に鞘管を設置し，施工設備もTBM内に常備した（**図-11**）．

また，変形の大きな押し出し性地山での拘束を防止する対策として，オーバーカッタによる拡径，補助ジャッキ追加によるフリクションカット機能を装備した．

表-1　TBM主要諸元

| 項　目 | 仕　様 |
|---|---|
| 型　式 | 改良オープン型 |
| 掘削径 | φ12.84m |
| 全　長 | 197.15m |
| 重　量 | 28,940kN（うち本体部19,130kN） |
| 総出力 | 7,200kW |
| ディスクカッタ径×個数 | 19インチ×91個<br>（オーバーカッタ３個含む） |
| カッタヘッド旋回動力 | 4,250kW（250kW×17台） |
| カッタヘッド回転数 | 0～4.0rpm（インバータ制御） |
| カッタヘッドトルク | 低速（1.275rpm）：10,143kN・m<br>高速（4.0rpm）：31,843kN・m |
| スラストジャッキ推力 | 33,372kN |
| スラストジャッキストローク | 2,050mm |
| メイングリッパ推力 | 44,100kN×２基 |
| シールドジャッキ推力 | 55,426kN |
| 補助ジャッキ | 2,943kN×６本<br>（フリクションカット用） |
| ずり搬出 | 連続ベルトコンベヤ<br>（幅900mm，1,200ton/hr） |
| 発電機 | 1,500kW×６台<br>（うち１台は予備機） |

### 5-2　仕　様

TBMの主要諸元を**表-1**に示す．ディスクカッタは，硬岩の掘削効率向上（カッタ推力とカッタヘッド回転速度の増加）とカッタ交換回数減少を考慮してカッタ径19インチを選定した．

カッタヘッドの仕様は，不良地山対策として低速回転時に最大トルクを発揮でき，かつ回転速度を無段階に設定できるようインバータ制御とした．ずりの坑外への搬出には連続ベルトコンベヤを使用し，搬送能力を考慮してベルト幅900mmとした．また，TBMは総出力が大きいため，現地の商用電力供給量が不足するため自家発電所を設置することにした．資材搬入は，大断面の利点を生かしTBM本体内までタイヤ方式で輸送可能とした．

## 6　支保パターンおよび覆工

### 6-1　支保パターン，覆工

覆工は，当初の設計では掘進と併進して路盤下に換気ダクトを構築し，路盤完成後にアーチコンクリートを最終段階で施工する計画であった(**図-12**)．しかし，前述のように換気ダクトの見直しがなされ，当初計画の路盤下換気ダクト構造は変更され，インバートライナー上部に下段コンクリートを打設した後，換気坑併設区間は下半部を埋め戻し，換気ダクト区間は**図-13**に示すような換気ダクト形状に変更して埋め戻した後，アーチコンクリートの打設を行うことになった．

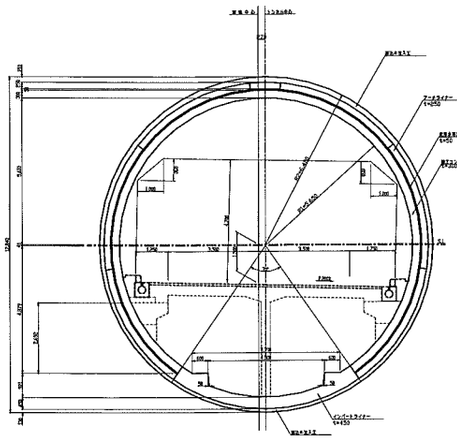


図-12　変更前のダクト構造

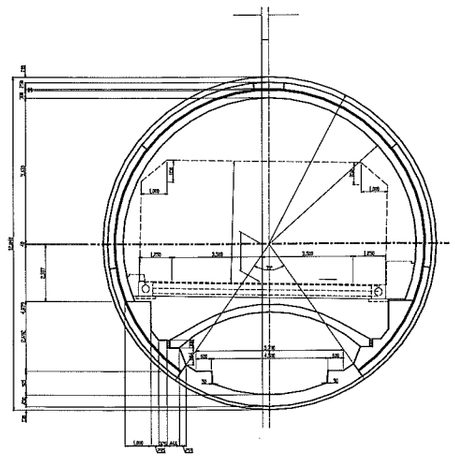


図-13　変更後のダクト構造

地山等級B～CⅡについては，吹付けコンクリートとロックボルトによるNATM支保とした．D級地山は，地山の自立性が悪くなり，とくに大断面では地山の剝離・剝落，崩落の影響が増大する懸念があるため，RCトンネルライナーをシールド内で組み立てる支保を用いることにした．なお，路盤下構造物構築のためインバートライナーは全線設置する計画とした．

### 6-2　RCトンネルライナーの設計，製作

RCトンネルライナーは，地山の剝離・剝落，崩落による土圧作用やシールドモード掘進時の推力反力に対処する機能を有するものとして設計した．ただし，シールドセグメントとは異なり，水圧は考慮していない．

RCトンネルライナーの仕様と構造を**表-2**，**図-14**に示す．継手構造は急速施工性を考慮してピース間は調芯ロッドと組立ボルト，リング間は調芯ピンを使用する構造となっている．

本RCトンネルライナーのもう一つの特徴は，経済性を考慮して現地生産を行っていることである．現地製作工場の設備配置およびトンネルライナー製作状況を**写真-3**に，RCトンネルライナーの組立状況を**写真-4**に示す．

表-2　RCトンネルライナーの仕様と構造

| | |
|---|---|
| コンクリートの設計基準強度 | 42N/mm² |
| アーチライナー厚 | 25cm |
| インバートライナー厚 | 45cm |
| ピース間継手 | 調芯ロット＋組立ボルト |
| リング間継手 | 調芯ピン |

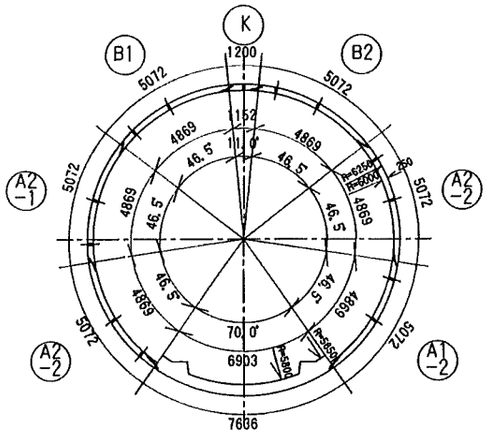



図-15　RCトンネルライナーの構造図







写真-3　現地製作工場の設備配置およびトンネルライナー製作状況

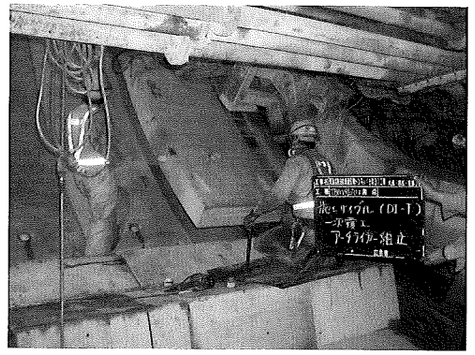


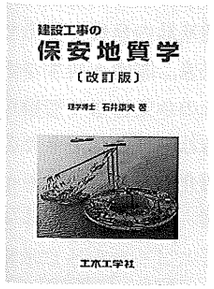
写真-4　RCトンネルライナーの組立状況

(以下，後編につづく)

## 参考文献

1) 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・松原利之：不良地山・高圧大量湧水との闘い(不良地山編)，東海北陸自動車道飛騨トンネル，トンネルと地下，Vol.35, No.8, pp.17-25, 2004.8.
2) 寺田光太郎・川北眞嗣・小林伸次・築地功：不良地山・高圧大量湧水との闘い(大量湧水編)，東海北陸自動車道飛騨トンネル，トンネルと地下，Vol.35, No.9, pp.15-25, 2004.9.
3) 森山守・寺田光太郎・松原利之・築地功：土かぶり1,000m，6MPaを越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，トンネルと地下，Vol.38, No.2, pp.17-24, 2007.2.

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
A 5 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




## ■1枚の絵葉書から

筆者の手許に，1939(昭和14)年ごろに発行された「関門海底トンネル」と題した絵葉書がある(**写真-1**)．「躍進日本の矜(ほこり)」というキャッチコピーや「下関要塞司令部許可済」の文字が時代を感じさせるが，その上には「WONDER OF THE WORLD」と書かれているので，まだ英語が許されていた時代なのだろう．発行は下関市観光出版社となっており，絵葉書にも「関門新名所」とあることから，トンネル工事の様子を伝える土産物として，一般向けに売られていたものと思われる．

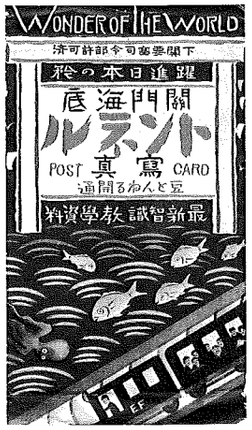



**写真-1　絵葉書「関門海底トンネル」の袋(筆者所蔵)**

関門トンネルについては，これまでにも多くの文献で紹介されているので詳細は省略するが，下関と門司を結ぶ世界最初の海底トンネルとして単線並列で計画され，まず下り線が1936(昭和11)年9月19日に着工，続いて上り線が1940(昭和15)年6月13日に着工した．

当時の日本は，大陸での戦火が拡大しつつある時代であったが，工事は圧気工法やシールド工法，潜函工法などを駆使して突貫工事で進められ，下り線が1942(昭和17)年6月11日に単線で開業，上り線も1944(昭和19)年9月9日に開業し，複線運転が開始された．

手許にある関門トンネルの絵葉書は8枚組で，「豆とんねる開通」とあるので，「豆トンネル」と呼ばれた試掘坑道が貫通した際のものであろう．内容は，「豆トンネル内部」「シールド工法掘進」など，写真とイラストを交えて関門トンネルの工事を紹介しているが，その中に「鉄道関門トンネル弟子待(でしまつ)見張所の景」と題した1枚があり，立坑の昇降機塔を中心に作業基地の全景を捉えている．この絵葉書を入手して以来，関門トンネルの立坑が，現在どうなっているのか気になっていたが，このたび機会があって訪れることができたので，その沿革と現状などを紹介してみたい．

## ■試　掘　立　坑

関門トンネルの工事誌によれば，下関方に試掘立坑と下り線立坑，上り線立坑が3本，門司方に試掘立坑と下り線立坑，上り線第一立坑，上り線第二立坑の4本が設けられたとされる．このほか，斜坑として下関方の陸上部に杉田斜坑が1か所あったほか，海底部の豆トンネルから本坑へ切り上がる斜坑がいくつかあった(**図-1, 2**)．





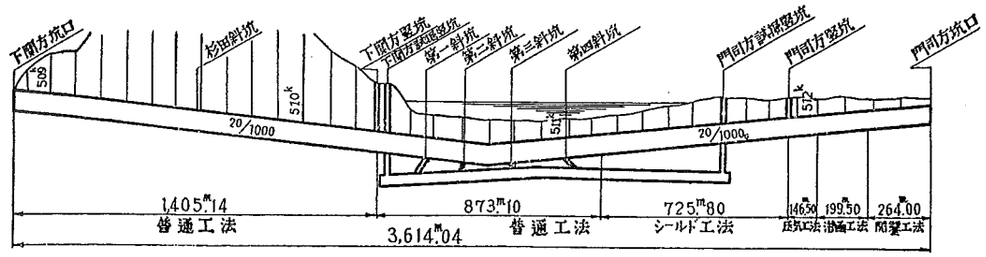



**図-1　下り線トンネルの縦断面図と立坑(『関門隧道』運輸省(1949)より)**

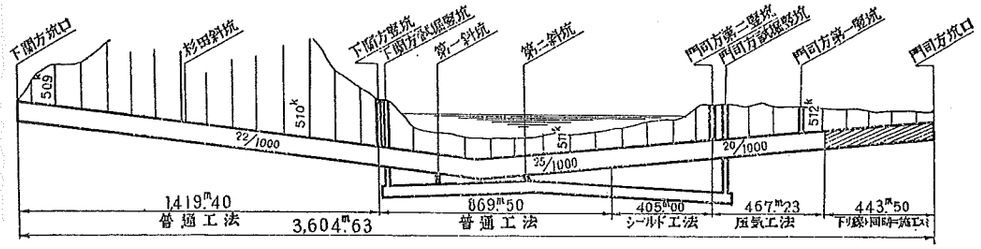



**図-2　上り線トンネルの縦断面図と立坑(『関門隧道』運輸省(1949)より)**

最初に掘削されたのは，豆トンネルのための内径4.2mの試掘立坑で，下関方の試掘立坑(深さ約55m)は1937(昭和12)年1月7日に着手し，同年11月5日に竣工した．門司方の試掘立坑(深さ約46m)は下関方よりも早く，1936(昭和11)年10月7日に着工したが，風化花崗岩の掘削に難渋し，さらに近隣火災で小森江見張所が類焼するなどの災禍に遭遇したため，倍の20か月を要して1938(昭和13)年6月5日に竣工した．

この試掘立坑から豆トンネルが拝み勾配で掘削されたが，その目的は，①本坑掘削時の排水トンネルとして利用すること，②本坑より先回りして地質を確認するとともに，場合によっては坑道からセメント注入を行うこと，③適当な場所で本坑へ向かって切り上がり，切羽の数を増やすこと，④トンネルの完成後は，電力・通信ケーブルの敷設や排水などのサービストンネルとして利用することなどであった．ちなみに，豆トンネルを先進させる海底トンネルの施工法は，のちの青函トンネルの工事にも受け継がれた．

## ■本　坑　立　坑

本坑立坑は，本坑のずり運搬を行うために設けられた立坑で，海底部の地質が予想外に悪かった際には，ただちにシールド掘削機を搬入できるよう，内径7.0mを確保した．

下り線については下関方立坑(深さ約40m)が1937(昭和12)年12月1日に着手し，翌年5月31日に竣工，門司方立坑(深さ約24m)が1938(昭和13)年1月7日に着手し，同年12月6日に竣工した．このうち，門司方立坑は軟弱な風化花崗岩であったため，潜函工法が採用された．

一方，上り線は，下関方立坑(深さ約44m)が1940(昭和15)年8月15日に着手したが，下り線の開業が優先されたため作業人員を割くことができず，下り線の4倍近い約2年弱の工期を要して，1942(昭和17)年6月30日に竣工した．

また，門司方は圧気工法を用いるための第一立坑と，シールド工法を用いるための第二立坑が掘削された．

このうち，第一立坑(深さ約16m)は同年3月15日に着手して同年7月17日に竣工，第二立坑(深さ約26m)は同年4月13日に着手し，同年7月22日に竣工した．門司方は，下り線と同様に地質が不良であったが，井筒工法または潜函工法では不経済と判断されたため，2本とも圧気工法で施工された．

現場だより
平成19(2007)年

# 「福島～米沢，交通難所の歴史」栗子峠より

城　本　政　雄

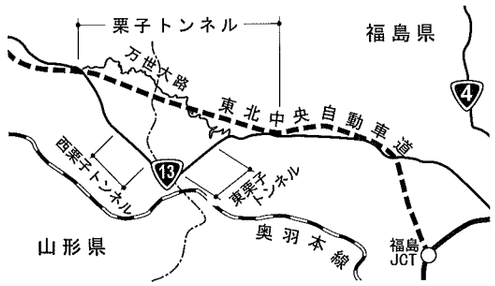
福島と米沢は奥羽山脈を挟んで東西に位置し，地形的制約が厳しく，両地を結ぶ道は，明治初頭まで15世紀に伊達氏によって開かれた米沢街道・板谷峠越えの道(現JR奥羽本線沿い)しかなかったとされている．戦国時代には米沢城の伊達正宗がこの街道を通って福島中通りに進出しているが，これとて峠を越える道は山が険しく馬は通れず，冬は豪雪のため不通となる道だった．

明治になると福島と山形，ひいては東北と東京をつなぐ「馬車が通れる規格」の新道建設要望が地元で高まりだす．1876(明治９)年，社会資本整備を県政の柱とする三島通庸が初代山形県令に就任して，新道計画は一気に加速した．この新道の一番の難所は，栗子山に計画された約870mの栗子隧道だった．当時の日本はトンネル建設の技術も経験もないに等しく，欧米の技術を導入して完成したばかりの静岡県の宇津ノ谷隧道ですら224mしかなかった．

栗子隧道の掘削工事は硬い岩盤に困難を極めたが，西口から当時世界に３台しかない蒸気式穿孔機を米国から導入し，また東口からは従来の手掘りで同時掘削を行い，着工から約３年後の1880(明治13)年10月19日に無事貫通した．

日本で初めて迎掘りを施工した，当時最長の隧道は少しもずれることなく貫通し，土木技術の高さを証明する工事にもなった．1881(明治14)年10月３日に明治天皇を迎えて開通式が行われ，天皇から「万世大路」の名を賜ったという．

当時はこれほどの規模と技術を誇った万世大路だが，




位　置　図



発進式－福島市立中野小学校のみなさん

自動車の普及によって見直しの必要に迫られ，1933～1936(昭和８～11)年にかけて改良工事が行われた．

それでも，急勾配の多さや雪による冬季間の閉鎖などで，物流の急激な進歩に対応できなくなり，1966(昭和41)年に現在の国道13号が建設された．現国道は栗子峠に延長2,000m強の東・西栗子トンネルを２本たて続けに配置しているが，冬期には厳しい自然条件のため，今でも立ち往生する車両を見かける．

1996(平成８)年12月に整備計画が決定した東北中央自動車道は，県境に現国道における２本のトンネルを１本化するような延長約９kmのトンネルを計画し，最高地点標高を200m以上下げて「信頼性の高い，雪に強い道路」として設計されている．平成の栗子トンネルは明治時代の約10倍の延長で計画され，本坑に先立つ避難坑工事は，福島側からTBMで，山形側からNATMで発注された．

当工事は福島側から県境までの約5,500mを担当する避難坑東工事である．福島市立中野小学校の児童のみなさんに「トンネルこぶしマシン」と命名していただいたTBMは，2007(平成19)年１月から掘進をはじめている．

平成の新道が完成すれば，厳冬期でも円滑な交通が確保できる．そんな設計思想を感じながら冬期も作業を続け，発注者および関係各位の指導のもと無事故・無災害での竣工を目指して全員一丸となって施工中である．

(鉄建建設・淺沼組特定建設工事共同企業体所長)





施工

# 都営地下鉄におけるシールド二次覆工の剝落対策

東京都交通局建設工務部計画改良課長　野　邑　敏　行
東京都交通局志村保線管理所改良工事担当係長　土　川　孝　雄

## 1　はじめに

東京都交通局の運営する地下鉄は，浅草線，三田線，新宿線および大江戸線の４線で営業キロ109km，平成18年度は１日平均215万人のお客様にご利用いただいている(図-1)．

さまざまな用途のトンネルの中でも，鉄道トンネルはお客様の生命を直接預かるものであり，高い信頼性，安全性が常時求められている．一方，都営地下鉄の開業後の経過年数は表-1に示すとおり，30年以上経過している区間が半数近く存在している．とくに，浅草線では47年，三田線では39年経過している区間があり，部分的ではあるが経年による構造物の亀裂や漏水，鉄筋露出などの劣化が現れてきている．とくに，ひび割れなどに伴うコンクリート剝落の懸念もあり，地下鉄の安全運行を図るためには，構築の状態を十分に把握し，状態に応じて予防保全的に補修などの措置を行うことが重要となっている．

本稿では，都営地下鉄のトンネル構築補修に関するこれまでの調査・検討結果や具体的な補修方法について，シールドの二次覆工剝落対策を中心に報告する．

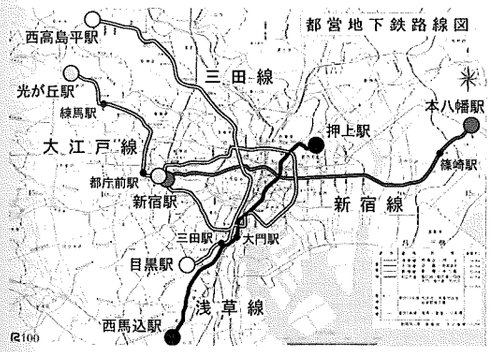



図-1　都営地下鉄路線図

表-1　開業後経過年数表

| 開業後経過年数 | 営業延長 | 摘　　要 |
|---|---|---|
| ９年以下 | 40.9km | 都庁前～練馬，目黒～三田 |
| 10～19年 | 6.6km | 篠崎～本八幡，練馬～光が丘 |
| 20～29年 | 20.7km | 新宿～篠崎(高架部含む) |
| 30～39年 | 32.0km | 西馬込～大門，<br>三田～西高島平(高架部含む) |
| 40年以上 | 8.8km | 大門～押上 |

## 2　鉄道トンネルの維持管理の考え方

平成11年の鉄道トンネルの覆工コンクリート剝落事故を契機に，「トンネル保守管理マニュアル」[1]が平成12年２月に旧運輸省により作成され鉄道事業者に通達された．本マニュアルでは，鉄道トンネルにおける今後の検査体系の基本的な流れ，全般検査における目視検査・打音検査の対象と方法，判定の考え方が示された．

一方，平成13年12月に「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」が制定され，鉄道の技術基準は性能規定化された．

その後，(財)鉄道総合技術研究所(以下，「鉄道総研」という)による「トンネル保守マニュアル(案)」[2](平成12年５月)と「都市トンネル保守マニュアル」[3](平成14年３月)が作成された．さら

に平成19年１月の国土交通省の維持管理標準の通達を受け，鉄道総研が作成した「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)」により，鉄道トンネルの維持管理の考え方が整備されてきた．

これらの省令やマニュアルにもとづき，当局においても平成12, 13年度にトンネル部の初回全般検査を実施，それ以降は通常全般検査を２年ごとに実施し，検査結果を踏まえ適宜補修などを行っている．

## 3　シールド二次覆工剝落対策の概要

### 3-1　都営地下鉄構造物の特徴

当局の地下鉄構造物の特徴としては**図-2**に示すとおり，トンネルが全体の93%と大部分を占めており，トンネルを構造別に分けると**表-2**のとおりである．シールドトンネルは，新しい大江戸線の一部区間を除き二次覆工が施されており，巻き厚は250㎜で無筋を基本としている．

### 3-2　シールド二次覆工剝落対策について

シールドトンネルのうち，浅草線，三田線および新宿線においてシールド工法の草創期に建設された比較的古いトンネルを中心に二次覆工表面の劣化が部分的に認められ，予防保全的な対策が必要と考えられた．このため，ジオレーダーによる空洞調査や覆工表面のひび割れ・漏水状態から，対策の優先度が高いと考えられる浅草線，三田線，新宿線の８シールドトンネル(**表-3**)を選定し，平成14年度，鉄道総研と共同してシールドトンネル二次覆工補修工法の検討を行った．

検討会では前述の「トンネル保守管理マニュアル」などの考え方を踏まえ，当局のトンネル実態に則した，二次覆工に関する対策の要否判定および対策工法を確立した．以下，その結果の概要を説明する．

#### 3-2-1　打音検査

検討会による現地調査の結果，いずれのトンネルにおいても外力による変状は認められず，二次覆工打設初期の乾燥収縮や材料沈下，ひび割れからの漏水などによるコンクリートの劣化であると判断した．このため，二次覆工対策としては，剝落対策が中心であり，その要否判断には打音検査を行うべきであるとの結論に至り，表-3の８シールドトンネルについて打音検査を実施した．打音検査は，剝落が列車走行に直接影響を及ぼす頂部アーチクラウン部(単線部：弧長5.0m，複線部：弧長8.0m)を対象に，二次覆工コンクリート面を，連続的に点検ハンマー(重さ：250g)で打撃し，その打音および反発によりコンクリートの浮き・剝離の有無を調べるものである(**写真-1**)．

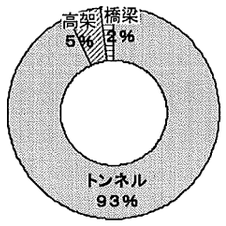



**図-2　構造物の種類**

**表-3　８シールドトンネル諸元表**

| シールド名称 | 二本榎 | 錦町 | 白山 | 西神田 | 菊川第一 | 住吉第一 | 大島第一 | 西大島 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 線名・諸元 | 浅草線 | 三田線 | | | 新宿線 | | | |
| 施工年 | 1968.12 | 1971.7 | 1971.12 | 1972.7 | 1974.9 | 1974.9 | 1976.10 | 1976.11 |
| 単線・複線 | 単線 | 複線 | 複線 | 単線 | 単線 | 単線 | 単線 | 単線 |
| セグメント外形(㎜) | 8,000 | 10,500 | 10,500 | 7,200 | 7,300 | 7,300 | 7,300 | 7,300 |
| 二次覆工厚(㎜) | 250・350 | 300・500 | 300・500 | 250 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 標準土かぶり(m) | 13 | 15 | 12 | 14 | 13 | 15 | 11 | 15 |

**表-2　トンネル構造種別一覧表**

| 路線名 | 箱形トンネル | | | 円形(シールド)トンネル | | | 総計 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 単線 | 複線 | 計 | 単線 | 複線 | 計 | |
| 浅草線 | 1,017 | 16,735 | 17,752 | 1,135 | − | 1,135 | 18,887 |
| 三田線 | 596 | 15,386 | 15,982 | 1,713 | 1,120 | 2,833 | 18,815 |
| 新宿線 | 3 | 10,055 | 10,057 | 8,777 | 2,418 | 11,195 | 21,252 |
| 大江戸線 | 40 | 8,820 | 8,860 | 28,723 | 3,756 | 32,479 | 41,339 |
| 総計 | 1,656 | 50,996 | 52,652 | 40,348 | 7,294 | 47,642 | 100,294 |

単位：営業m

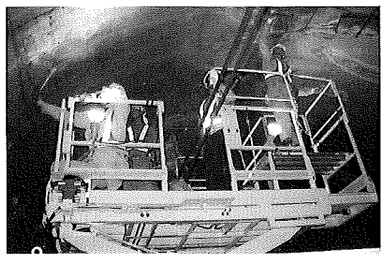


**写真-1　打音検査実施状況**





次に，「要対策」と判定した箇所ごとに，実施すべき剝落対策工を選定する(**図-3**)．具体的には，対策を必要とする範囲を定め，次に近接状況，クラックの状態，表面劣化進行状態，覆工厚さなどにより，図-3の選定フローに従い，①鋼製アーチ支保工，②吹付けモルタル工，③繊維シート接着工，④三次覆工の四つの対策工から選定する．

**表-4　剝落に対する健全度判定**

| 判定 | 打音検査結果 |
|---|---|
| 要対策 | 濁音＋閉合クラック |
| | 濁音＋覆工厚が著しく薄い部分 |
| 要注意 | 軽音*＋閉合クラック |
| | 軽音*＋覆工厚が著しく薄い部分 |
| 問題なし | 清音 |

＊軽音とは，清音と濁音の中間的なものとする．

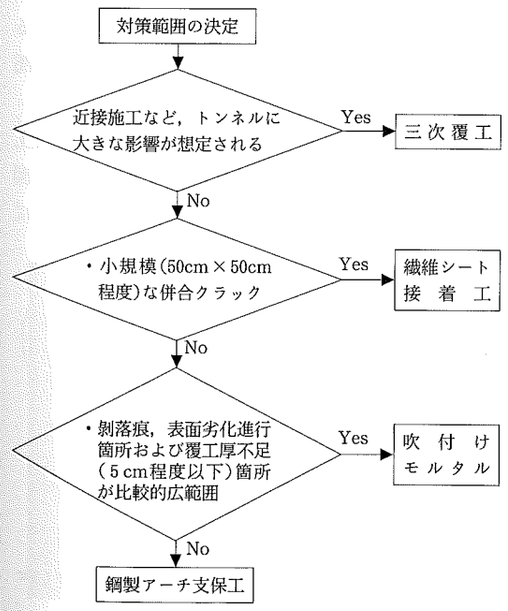



**図-3　対策工選定フロー**

なお，各対策工の概要は以下のとおりである．

(1)　鋼製アーチ支保工

鋼製支保工を二次覆工コンクリートに樹脂アンカーで固定し，支保工間に繊維ネットを取り付け，コンクリート片が落下するのを防止する工法である(**図-4**)．当局では，支保工間隔を750㎜とし，ネットの素材は防炎性の高い難燃ポリエステルを使用している．

アーチ支保工(L形鋼)の形状，設置間隔は剝落荷重に応じて決定する．

(2)　吹付けモルタル工

ポリマーセメント系補修材料を二次覆工コンクリート面に吹付ける工法である(**図-5**)．使用する吹付け材料には，はね返りが少なく，付着性に優れ，引張強度や曲げ強度が高いことなどが求められる．当局では物性値の向上および収縮ひび割れの低減を目的として，溶接金網，アラミド繊維メッシュを併用して施工した実績がある．どちらの工法とも経過は良好であるが，吹付け面の精度としては，溶接金網よりアラミド繊維メッシュ併用の方が平滑な仕上がりとなった．

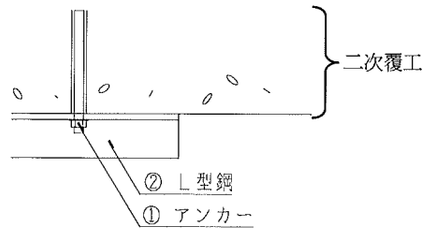



**図-4　鋼製アーチ支保工概要図**

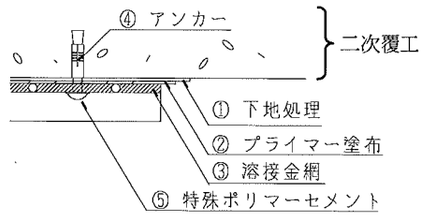



**図-5　吹付けモルタル工概要図**

吹付け材と覆工表面の付着が十分期待できる場合，剝落荷重はコンクリート表面の引張強度と吹付け材の引張剛性(*EI*)によって決定する．

(3)　繊維シート接着工

1方向または2方向に繊維を配向させてシート状に加工した連続繊維シートを，含浸接着樹脂を用いて二次覆工コンクリート面に含浸接着することにより，コンクリート表面にFRP層を形成し，二次覆工コンクリートとの一体性の保持を図る工法である(**図-6**)．当局では，繊維シートの材料に通電性のないアラミド繊維を使用した実績がある．

剝落荷重はコンクリート表面の引張強度と繊維シートの引張剛性(*EI*)によって決定する．

(4)　三次覆工

二次覆工コンクリート表面に充填材を介して鋼板を設置し，コンクリート片が落下するのを防止する工法である(**図-7**)．鋼板はセグメント化されているため，迅速な施工が可能であり，人力で運搬，組立てが可能な小セグメントも開発されている．

当局では，二次覆工コンクリートの内空側にプレキャスト製覆工板(鋼繊維補強モルタル製)をアーチ形状に構築し，裏込め材を注入した実績がある．

剝落荷重は対策工の形状に左右される．

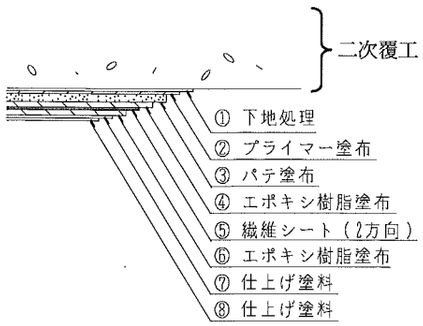



**図-6　繊維シート接着工概要図**

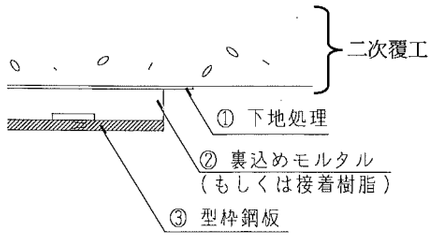



**図-7　三次覆工概要図**

## 4　鋼製アーチ支保工による施工例（白山シールド）

8シールドトンネルの打音検査の結果，対策工としては鋼製アーチ支保工，吹付けモルタル工，繊維シート接着工が提案され，平成16年度から順次対策を実施している．

対策工の中でも，鋼製アーチ支保工による対策工をもっとも多く採用したので，平成18年度に施工した三田線白山シールドの鋼製アーチ支保工について概略説明する．

### 4-1　白山シールドの概要

都営三田線白山シールドは，表-3のとおり，昭和46年竣工後，36年が経過しており，当局の地下鉄構造物としては比較的古い構造物である．白山シールドは外径10,720㎜の大断面であるが，最小土かぶりが7mと小さいうえに，地盤天端付近の大部分は，地下水を豊富に含んだ緩い砂質地盤である．

現地踏査の結果，**図-8**の変状概略図に示すとおり，亀裂がアーチクラウン部およびSL部付近に目立ち，ほとんどの亀裂部に遊離石灰と思われる白色析出物が確認された．また，目地部や亀裂部に著しい漏水が確認された．

このような状況から，放置すると将来二次覆工コンクリートの剝落の危険性があると判断し，図-3の対策工選定フローに従い鋼製アーチ支保工による対策を実施することにした．

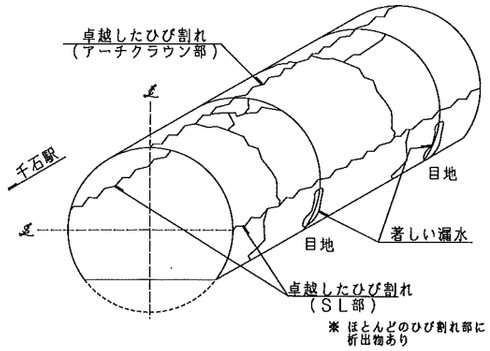



**図-8　変状概略図**





### 4-2　工事概要

工事概要を以下に示す．

工事場所：三田線白山シールド(白山駅～千石駅間)(**図-9**)

施 工 者：佐藤工業(株)

工事内容：鋼製アーチ支保工

施工延長　48.6m

施工範囲　クラウン部120°(二次覆工コンクリート片が剝落した場合，軌道上に落下する可能性がある範囲)

### 4-3　施工方法

(1)　位置出し

ずい道内には架線をはじめ，照明や信号・通信などのケーブル類が輻輳していることから，予定の箇所に設置可能であるかを現場にて確認し，事前に位置出しを行った．

(2)　支障物撤去・移設

位置出しの結果，本工事では電らん棚が支障となるため，撤去・移設を行った．

(3)　アンカー打設

アンカーの打設箇所は，鋼製支保工の両端部の2か所とし，鋼材架設前に指定の位置にケミカルアンカーを打設した(**写真-2**)．また，事前に引抜試験を実施し，二次覆工コンクリートの支持力を確認した．その結果，要求引張強度23.25kNに対して25.4kNの引張強度があったため，問題なしと判断した．

(4)　鋼材取り付け

鋼材L-13×90×90(SM490)を人力にて取り付けるため，鋼材延長9.6mを当初3分割で予定していたが，架線などの線路施設への損傷の危険性を回避するため，4分割に変更することで施工性を向上させた(**図-10，写真-3**)．なお，鋼材は溶融亜鉛メッキにて防食対策を施している．

(5)　ネット取り付け

鋼材取り付けと並行して，ネットの取り付けを行った(**写真-4**)．ネットの素材は防炎性の高い難

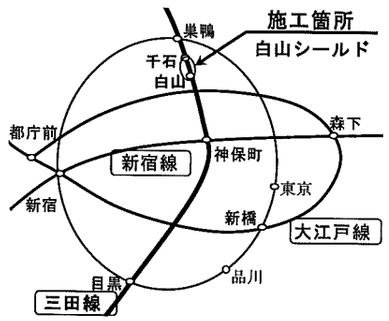



**図-9　施工位置図**

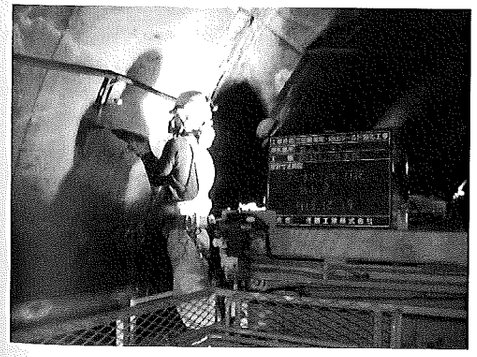


**写真-2　アンカー打設状況**

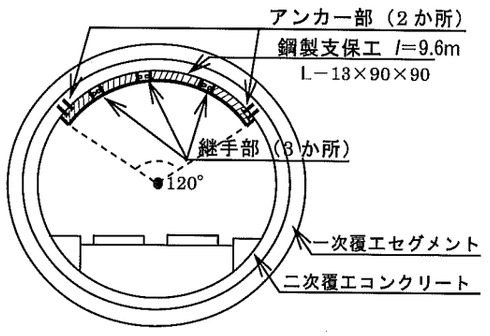



**図-10　鋼製アーチ支保工標準断面図**

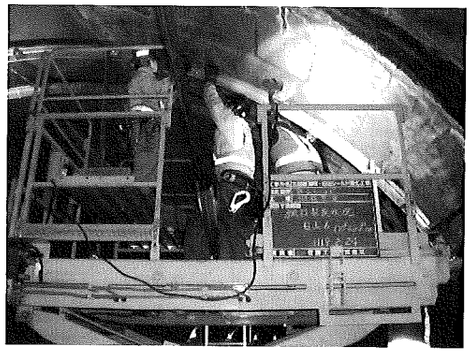


**写真-3　鋼材取り付け状況**

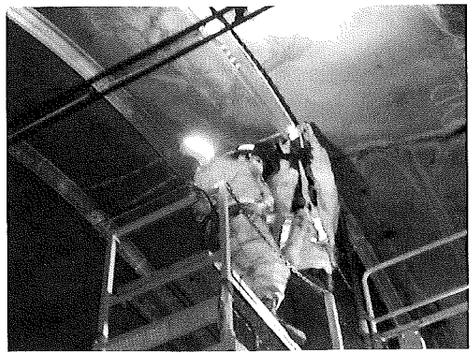


写真-4　ネット取り付け状況

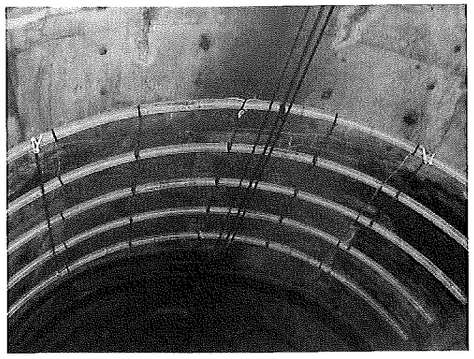


写真-5　完成状況

燃ポリエステルを使用し，網目の大きさが15㎜メッシュと小さく，小石程度の剝落片に対しても対応可能なものを選定した．固定方法は，ステンレス製の固定バンドを使用し，アングルおよび継ぎ材に固定した．

## 5　ま　と　め

今回紹介した鋼製アーチ支保工は，重機を必要とせず，既存の軌道モーターカーを使用し，高所作業も人力による施工が可能であることから施工性に優れていた．また，剝落防止用ネットによる対策であるため，施工後も二次覆工の状況を確認できることも重要な点である．

このように，鋼製アーチ支保工による対策は，施工性，施工後の管理面などでほぼ満足のいく結果が得られたと考える．

しかし，今後は他のシールド区間でも経年による劣化が顕著になってくることが予想され，劣化原因や種類を正確に見極め，的確な対策を講じていかなければならない．そのためにも，今まで施工してきた各対策工の追跡調査を定期的に実施し，今後の剝落対策に反映していくことが欠かせない．

## 参　考　文　献


1) 運輸省：トンネル保守管理マニュアル，2000.2.
2) (財)鉄道総合技術研究所：トンネル保守マニュアル(案)，2000.5.
3) (財)鉄道総合技術研究所鉄道技術推進センター：都市トンネル保守マニュアル，2002.3.
4) 小島芳之・新井泰・岡野法之：鉄道トンネルの維持管理の考え方，トンネルと地下，Vol.38，No.5，pp.45-54，2007.5.



## 『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)






施工

# 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—


(独)日本原子力研究開発機構建設部核燃料サイクル工学研究所技術主幹　一安謙治
(独)日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター施設建設課((現)電源開発(株))　尾留川剛
(独)日本原子力研究開発機構幌延深地層研究センター施設建設課　小島亘
大成・大林・三井住友特定建設工事共同企業体幌延地下施設工事作業所工事課長　北川義人


## 1　はじめに

(独)日本原子力研究開発機構は，北海道幌延町(図-1)において，原子力発電所から発生する高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を目的とした「幌延深地層研究計画」の一環として，地下研究施設の建設を行っている．

調査研究の開始から終了まで約20年間に及ぶ幌延深地層研究計画は，「地上からの調査研究段階(第1段階)」，「坑道掘削時の調査研究段階(第2段階)」，「地下施設での調査研究段階(第3段階)」の3段階からなり，現在は第2段階にあたる(表-1)．

本研究施設は，地層処分技術の信頼性の確認や，安全評価手法確立に向けて研究開発を進めていく重要な施設であるとともに，国民の研究開発に対する理解を得ていく場としての意義を有している．地下研究施設は，深度約500mの立坑3本と，立坑間を結ぶ連絡坑道および周回試験坑道(水平坑道)

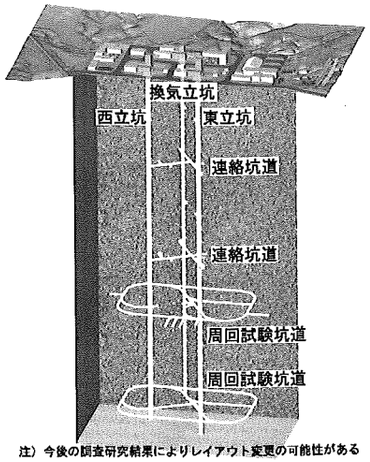



図-1　位置図

表-1　調査研究全体スケジュール[1)]

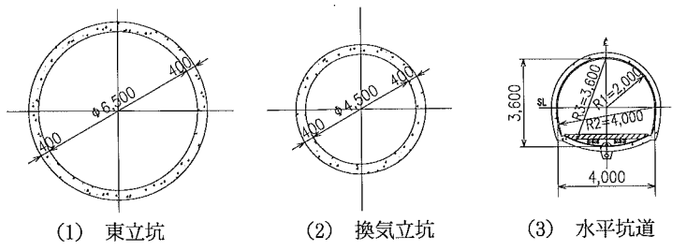
| | 通算年数 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 年度(平成) | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 |
| | | | ▼幌延センター開設 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | ▼研究所設置地区の選定 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 研究段階 | 地上からの調査研究段階　(第1段階) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階　(第2段階) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 地下施設での調査研究段階(第3段階) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

本表は，今後の調査研究等の結果次第で見直すことがある．




注）今後の調査研究結果によりレイアウト変更の可能性がある

図-2　地下研究施設イメージ図




(1)　東立坑　　(2)　換気立坑　　(3)　水平坑道

図-3　標準断面図

で構成される(図-2)．それら３本の立坑のうち初めに掘削を開始している換気立坑においては，自由断面掘削機を用いた機械掘削方式を採用している．

本稿では，機械掘削方式の目的と，掘削機械設備さらにはその課題について紹介する．

## 2　工事概要

現在，施工を行っている第Ⅰ期工事の標準断面を図-3に，工事概要を表-2に示す．

東立坑は発破掘削方式，換気立坑は過去に実績のない機械設備による機械掘削方式を採用している．これは，立坑掘削技術の開発および同一の地質条件における掘削方式の違いによる周辺岩盤に与える影響を調査することを目的としている．工事で得られた知見は，後に施工される西立坑の設計，さらには将来計画される処分場建設の設計に反映される予定である．

本工事は以下の条件で実施することとした．

- 掘削１mあるいは２mごとに，壁面の地質観察ならびに原位置試験(シュミットロックハンマー試験，簡易弾性波試験ほか)を実施する．
- 可燃性ガス(主にメタンガス)発生環境下であることから，切羽で使用する電気機器はすべて防爆構造とする．
- 岩盤ならびに地下水中にホウ素およびアンモニア性窒素の濃度が高く賦存するため，処理設備を設置のうえ排水処理したのち放流する．

表-2　工事概要

| | |
|---|---|
| 工事件名 | 幌延深地層研究計画地下施設工事(第Ⅰ期) |
| 工事場所 | 北海道幌延町北進 |
| 工期 | 平成17年10月３日～平成21年３月16日 |
| 掘削工法 | 立坑部：ショートステップ工法およびNATM<br>水平坑道部：NATM |
| 掘削方式 | 換気立坑：機械掘削方式(自由断面掘削機)<br>東立坑：発破掘削方式<br>水平坑道：機械掘削方式 |
| 掘削断面積 | 換気立坑：約22m²(仕上がり内径φ4,500㎜)<br>東立坑：約42m²(仕上がり内径φ6,500㎜)<br>水平坑道：約15～50m² |
| 主要工事数量 | 換気立坑：400m(500mのうち)<br>東立坑：280m(530mのうち)<br>水平坑道：227m<br>掘削土運搬・盛土工事：約40,900m³ |

平成17年10月に本工事を開始し，平成18年12月に換気立坑下部工(G.L－51mまで)掘削を，平成19年１月に東立坑下部工(G.L－41mまで)掘削を完了した．

また，平成19年３月より両立坑の櫓(やぐら)設備などの組み立てを開始し，同年６月から本稿で紹介する掘削機械設備を使用した換気立坑の掘削を開始している．

## 3　地形および地質概要

幌延町は，北緯45°の宗谷丘陵南西縁に位置し，西側にはサロベツ原野が広がるなだらかな山々に囲まれた丘陵地帯である．

地下研究施設周辺の地質は，新第三紀の堆積岩で，上部が珪藻質泥岩(声問層)，下部が珪質泥岩(稚内層)である．幌延の泥岩は，自然含水比が小さく，また強度が低い，いわゆる軟岩に属する．





また，透水性は低く，膨張性の粘土鉱物の含有率が低いため膨潤性に乏しく，中～高程度の耐久性があるという特徴を有している．さらに，メタンガスを主成分とする可燃性ガスを賦存し，地下水は高い塩分濃度を有していることが挙げられる．

近傍での既存の試錐調査結果より得られた岩盤の物理性状を表-3に示す．

表-3　岩盤の物理性状

| 項目 | 声問層 | 稚内層 |
|---|---|---|
| 単位体積重量 | 14～16kN/m³ | 16～18kN/m³ |
| 空隙率 | 60～65% | 40～50% |
| 一軸圧縮強度(ボーリングコア) | 5 MPa程度 | 5～25MPa |
| 透水係数(原位置試験) | $10^{-9}$～$10^{-8}$m/s<br>($10^{-7}$～$10^{-6}$cm/s) | $10^{-11}$～$10^{-6}$m/s<br>($10^{-9}$～$10^{-4}$cm/s) |
| 耐スレーキング指数 | 90%以上 | 95%以上 |
| 膨潤ひずみ指数(円周拘束) | 0.04%以下 | 0.03%以下 |

## 4　換気立坑掘削設備計画

ショートステップ工法では，切羽(坑底)において，掘削，ずり出し，支保工(鋼製支保工・ロックボルト・吹付けコンクリート)，覆工作業をくり返し行うが，このうち，ずりの積み込み作業はスカフォードの下に，積み込み機械としてシャフトマッカ(バックホウタイプ)を装備して行うことが一般的である．

ずり出し作業は，立坑掘削作業の中でもっとも多くの時間を要する作業[2]であることから，掘削設備の検討を進めるうえで，積み込み機械との組み合わせや配置，機種・能力の選定は重要である．

### 4-1　掘削設備の検討

トンネル掘削機械のうち汎用性のあるものを対象とし，掘削機械としてブレーカおよび自由断面掘削機，積み込み機械としてシャフトマッカおよ

表-4　立坑掘削設備の比較検討

| | A案(小型ブレーカ＋小型バックホウ) | B案(自由断面掘削機＋小型バックホウ) | C案(自由断面掘削機＋シャフトマッカ) |
|---|---|---|---|
| 設備概要 | 小型ブレーカを坑底に降ろし掘削する．ずりの積み込みは，ブレーカをバケットに交換して行う．１m掘削完了後，小型ブレーカを搬出する(坑底に２台設置することはスペース上困難)． | スカフォード下部に自由断面掘削機を連結し，掘削を行う．20～50cm程度掘削ごとに小型バックホウを坑底に降ろし，ずりの積み込みを行う．積み込み完了後，小型バックホウを搬出し，掘削を再開する． | スカフォード下部に自由断面掘削機とシャフトマッカ一体型の機械を連結し，掘削と積み込み作業を交互に行う．掘削機械と積み込み機械の反力は，コンクリート壁面より専用グリッパで把持する． |
| 掘削機械 | 小型ブレーカ(80kg程度) | 自由断面掘削機(49kW) | 自由断面掘削機(49kW) |
| 積み込み機械 | 小型バックホウ(0.066m³) | 小型バックホウ(0.066m³) | シャフトマッカ(0.15m³) |
| 施工性 | ・スカフォードの開口部を通過する小型のベースマシンでは，80kg程度のブレーカしか装着できず，掘削能力が低い．<br>・ブレーカとバケットのアタッチメントの交換に時間を要する． | ・30MPa以下の軟岩であれば，施工実績から掘削効率は高い．<br>・小型バックホウの上げ下ろしに時間を要する．<br>・小型バックホウの作業地盤を整形する必要がある． | ・30MPa以下の軟岩であれば，施工実績から掘削効率は高い．<br>・掘削と積み込みの機械入れ替えが不要であり，時間のロスが少ない．<br>・施工範囲の制約が大きい．<br>・機械修理時は，すべての切羽作業を中止しなければならない． |
| サイクルタイム | 114 | 110 | 100 |
| 安全性 | ・坑底にバックホウのオペレータがいる状態で，ずりキブル(函)の上げ下げを行わなければならない． | ・バックホウの上げ下ろし時に，毎回人が坑底に降りなければならない．<br>・坑底にバックホウのオペレータが居る状態で，ずりキブル(函)の上げ下げを行わなければならない． | ・掘削・ずり出し中，坑底に人が立ち入らなくとも良い． |
| 経済性 | スカフォード，巻き上げ機設備の軽装備化が図れ，安価である． | A案に比べスカフォードなど設備重量が大きく，巻き上げ機の出力，ワイヤー径が大きくなるため，初期設備投資費用が大きい． | 積み込み機一体型掘削機が高価であり，B案同様スカフォードなど設備重量が大きくなることから，初期設備投資費用がもっとも大きい． |
| 仮設備 | ・自由断面掘削機がないため，スカフォード巻き上げ機の出力，ワイヤー径が小さくできる．<br>・小型ブレーカをスカフォード上に仮置きするスペースと，上げ下ろし用のウインチなどが必要となる． | ・小型バックホウをスカフォード上に仮置きするスペースと，上げ下ろし用のウインチなどが必要となる．<br>・A案に比べ，スカフォード巻き上げ機の出力およびワイヤー径が大きくなる． | ・スカフォード巻き上げ機の出力およびワイヤー径が３案の中でもっとも大きくなる． |
| 評価 | × | △ | ○ |

※サイクルタイムは，C案を100とした場合の掘削・ずり積み込み時間の比較値である．

びバックホウを選定し，それぞれの組み合せを比較検討した．

なお，ブレーカ掘削とシャフトマッカ積み込みの組み合わせは，それぞれの利点が生かされないことから，検討の対象から除外した．

選定した機種は以下のとおりである．

- 自由断面掘削機は，30MPa以下の軟岩であることから，49kWの切削機を選定した．
- 小型バックホウは，スカフォードの開口部を通過する大きさで，0.066m³級を選定した．
- 0.066m³級バックホウに装着可能なブレーカは80kg程度である．

**表-4**に比較検討の結果を示す．表-4より，掘削・ずり出し作業時に作業員が切羽に立ち入ることなく作業が可能で，サイクルタイムの優れているC案(自由断面掘削機＋シャフトマッカ)を採用した．

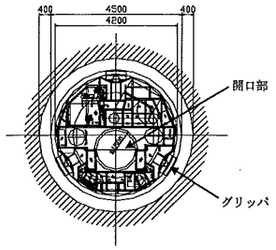
## 4-2　掘削設備の仕様

今回新たに開発した掘削機械と積み込み機械を一体化させた「積み込み機一体型掘削機」を**写真-1**および**図-4**に，その仕様を**表-5**に示す．

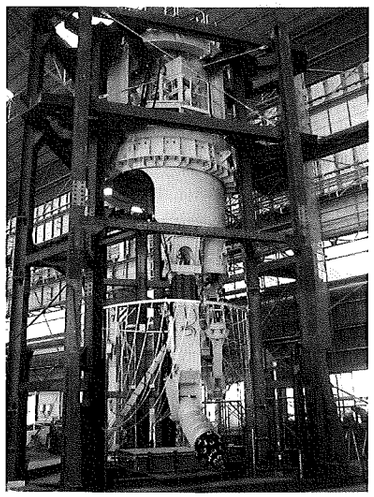
掘削機と積み込み機の油圧モーターは兼用とし，カッタ回転のみ電動モーターによる構造とした．掘削機と積み込み機は，同一のリングフレームに配置され，その下部の旋回フレームが回転することで，一体となって同時に旋回する構造である．

**表-5　積み込み機一体型掘削機の主要仕様**

| | | |
|---|---|---|
| 寸　法 | 外　径 | φ4,200㎜ |
| | 全　長 | 11,413㎜ |
| 電動機 | 型　式 | 三相誘導電動機 |
| | 防爆種別 | d2G4(耐圧防爆構造) |
| | 出　力 | 49kW(400V) |
| カッタ部 | 回転数 | 36rpm |
| | カッタヘッド外径 | φ830㎜×L600㎜ |
| | 押し付け力 | 40kN |
| | テレスコストローク | 700㎜ |
| 油圧機器 | メイン<br>パワーユニット | 55kW(400V)<br>100ℓ/min×23MPa |
| | グリッパ加圧用<br>パワーユニット | 2.2kW(400V)<br>20ℓ/min×3 MPa |
| | 積み込み機パイロット用パワーユニット | 2.2kW(400V)<br>5 ℓ/min×23MPa |
| グリッパ | グリッパ装置 | 396kN×3本×上下2段 |
| | 面　圧 | 0.51MPa |
| 積み込み機 | バケット容量 | 0.15m³ |
| | 最大掘削深さ | 7,650㎜ |
| | 旋回方式 | 2軸旋回式 |
| 機体重量 | | 約40tf(うち積み込み機5 tf) |



A—A 断面図


写真-1　積み込み機一体型掘削機

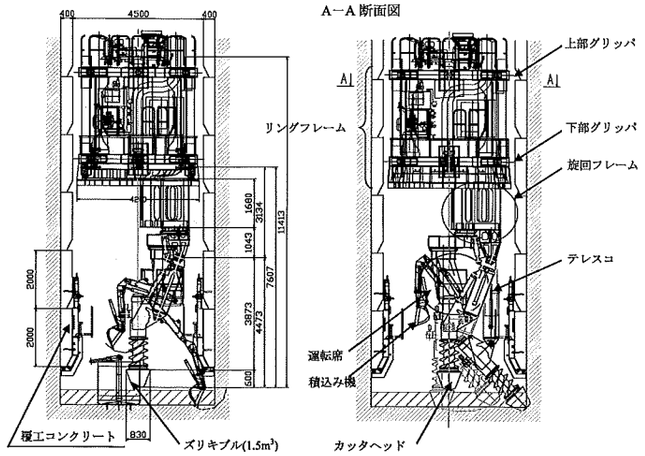


図-4　積み込み機一体型掘削機





掘削中・積み込み中の機械の反力および把持は，リングフレームに取り付けたグリッパにより行う．機械本体はスカフォード下部ワイヤーでスカフォードと連結されており，上下方向の移動はスカフォード巻き上げ機により行う．

### 4-2-1　機械の操作

積み込み機一体型掘削機の操作は，スカフォード下に設置された専用の運転席で行い，機械本体の旋回操作と，掘削機，積み込み機の単独操作を行うことができる．掘削機の動作は，本体の旋回に加え，アームジャッキの伸縮，ブームジャッキの伸縮，テレスコジャッキの伸縮による(**図-5**)．

なお，積み込み機一体型掘削機は，標準断面(掘削径φ5,300～5,600㎜)だけでなく，拡幅断面(掘削径φ7,800㎜，連絡坑道や周回試験坑道との連接部)の掘削も可能となるよう設計した．

### 4-2-2　グリッパの設計

(1)　グリッパジャッキ

積み込み機一体型掘削機の反力を取るグリッパは，上下2段に各3本計6本からなる．グリッパジャッキに必要な推力は，グリッパに作用する掘削時反力と，積み込み機一体型掘削機の自重保持のためのジャッキ推力の和により算定され，以下のように表される．

$$F_g = R + F_w \qquad (1)$$

ここに，

$F_g$：グリッパジャッキ推力(kN)

$R$　：掘削時グリッパ反力(kN)

$F_w$：自重保持のためのグリッパ推力(kN)

1)　掘削時グリッパ反力

掘削時のグリッパ反力は，**図-6**に示す片持ち梁のモデルとした(計算は省略)．

ここで，掘削時には上下2段および各3本均等に反力が作用することはないことから，上下どちらかがグリッパ1本で反力を受けもつ条件として，以下のように決定した．

$$\left.\begin{aligned} F_r &: \text{掘削機先端反力}=40\,(\text{kN}) \\ R_1 &: \text{下部グリッパ反力}=157.5\,(\text{kN}) \\ R_2 &: \text{上部グリッパ反力}=117.5\,(\text{kN}) \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

2)　自重保持のためのグリッパ推力

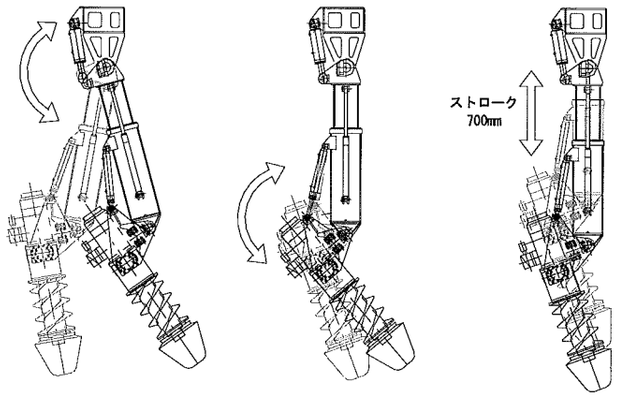
自重保持のためのグリッパ推力は，以下の式で表される．

$$F_w = \frac{W \times Sf \times 9.8}{\mu \times n} \qquad (3)$$

ここに，

$W$：本体重量＝40(tf)

$Sf$：必要保持力係数＝1.5



アームジャッキ伸縮　　ブームジャッキ伸縮　　テレスコジャッキ伸縮
図-5　各ジャッキによる動作

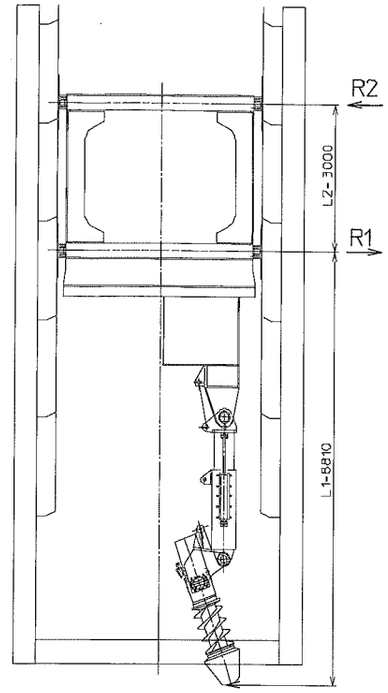


図-6　グリッパ反力図

$\mu$：グリッパ面の摩擦係数＝0.45
（乾燥時0.9の1/2とする）
$n$：グリッパ個数＝6
$\therefore F_w$＝217.5(kN)　　(4)

以上より，1本あたり必要なジャッキ推力は，式(1)に，式(2)の最大値および式(4)を代入し，

$F_g=R_1+F_w$＝157.5＋217.5＝375(kN)　(5)

が得られる．よって，1本あたりのグリッパ推力は396(kN)とした．

（2）　強度計算

グリッパジャッキ推力と，本体の自重，さらには旋回時に作用する反力に対して，有限要素法を用いてグリッパ部材の強度計算を実施した．

解析時のモデルを図-7に，解析結果を図-8に示す．

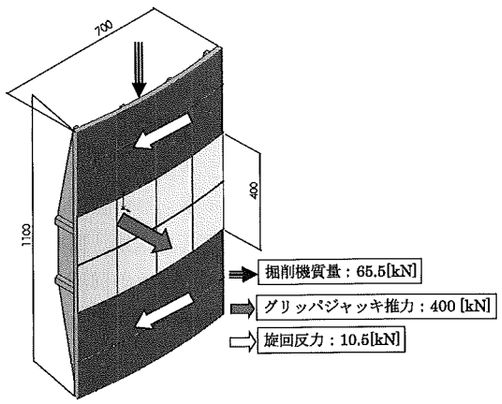



図-7　グリッパ解析モデル

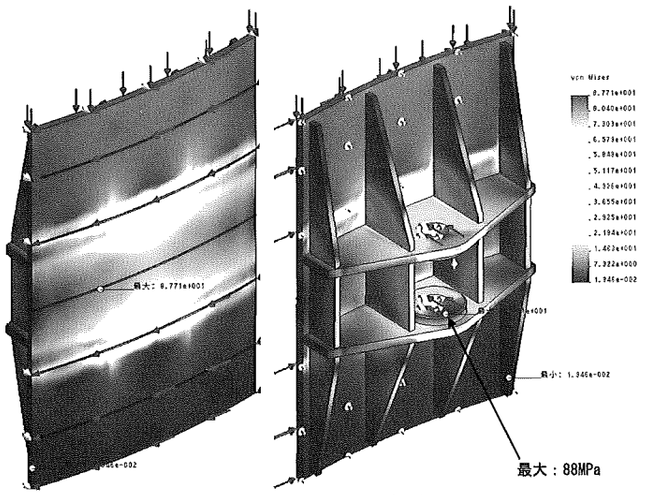



図-8　グリッパ解析結果

す．なお，使用材料SM490(引張強度490MPa)，安全率5を考慮した結果，許容応力範囲内であることを確認した．

（3）　コンクリート強度

グリッパ面が接する覆工コンクリートは，打設7日後にグリッパの把持位置となる．覆工コンクリートには，早強セメントを使用しており，材齢7日において設計基準強度(24N/㎟または40N/㎟)の発現が十分期待できるため，グリッパの面圧(0.51MPa)が，覆工コンクリートに与える影響はないことが確認された．

しかしながら，打継ぎ部のハンチでは角部が欠け，坑底に破片が落下する恐れもあることから，ハンチ幅(40cm)以上の大きさの面板を設置することとした．

### 4-2-3　安全装置

掘削と積み込み作業が同一機械で実施できること，$\phi$4,500㎜の狭隘な作業空間であることから，各種安全装置およびインターロックを設置し，誤操作，誤動作による事故や機械の故障を未然に防ぐ措置を講じた．以下に例を示す．

- 掘削機と積み込み機の同時操作不可機能
- グリッパ保持モードでなければ，掘削，積み込み，旋回動作不可設定
- グリッパ保持圧の減圧時の自動加圧機能
- カッタ負荷140%にて旋回停止機能，カッタ負荷180%にてメインユニット停止，カッタ運転停止機能
- 非常停止釦によるメインユニット停止，カッタ運転停止機能

## 4-3　サイクルタイムの算定

深度200mにおける掘削およびずり出し時間について，岩盤強度5MPa，20MPaの場合の試算を行った(表-6)．

なお，掘削能力は，下向きによる掘削効率の低下および掘削土の泥濘化による切削能力の低下を考慮し，下向き掘削の補正として，水平のトンネルでの実績値の80%値を採用している(表-7)．また，1回あたりの掘削深さを25cmとし，1.0m掘削を完了するまでに，掘削機と積み込み機の操作を4回切り替えることとしている．

全体のサイクルタイムとしては，掘削・ずり搬出以外の支保工，覆工作業，設備の段取り替えを考慮して，平均月進18mを目標としている．

## 4-4　岩盤強度の推定

岩盤強度の深度方向の変化を把握することを目的として，本掘削機械に積算電力計を設置する．掘削時に消費される積算電力量を測定することで，ポイントとしての岩石の強度ではなく，ある広がりを持った岩盤としての強度を把握することが可能となると考えられる．

単位体積の掘削に要するエネルギーを掘削体積比エネルギーとして，式(6)により算出する．

$$E=\frac{W}{L\times A} \qquad (6)$$

ここに，

$E$：掘削体積比エネルギー(kWh/m³)
$L$：1掘進長(ここでは1.0)(m)
$A$：掘削断面積(m²)
$W$：消費電力量(kWh)

今後は，式(6)により算出された掘削体積比エネルギーを深度ごとにプロットし，面的な岩盤強度の深度変化を連続的に評価する計画としている．

プロットの作成例を図-9[3]に示す．

また，掘削1mあるいは2mごとに実施する原位置試験結果との相関性などを検討，評価することが可能となる．

掘削体積比エネルギーを用いた岩盤物性との相関については，兵庫県神戸市の高取山(北行)トンネルで実施した水平トンネルでの事例があり，領家ら[3]によって，良好な相関が示されている．本立坑の岩盤は，高取山(北行)トンネルのような硬岩ではなく，5～25MPa程度の軟岩であるため，





表-6　サイクルタイムの試算

| | 項目 | 記号 | 単位 | 岩盤強度5MPaの場合 | 岩盤強度20MPaの場合 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 計算条件 | 掘削断面積 | A | m² | 27.0 | 27.0 | 余掘り含む |
| | 1掘削長 | B | m | 1.0 | 1.0 | |
| | 岩石変化率 | L | − | 1.4 | 1.4 | |
| | 掘削ずり量 | V | m³ | 37.8 | 37.8 | A×B×L |
| | 掘削能力 | P | m³/h | 4.5 | 2.8 | メーカー設定値の80% |
| | ずりキブル容量 | Vk | m³ | 1.5 | 1.5 | |
| | ずりキブル搬出回数 | K | 回 | 26 | 26 | |
| | ずりキブル搬出時間 | Tk | min/回 | 12 | 12 | 地上での転倒時間含む |
| | ずりキブル積込み能力 | Q | m³/h | 14.4 | 14.4 | バケット0.15m³ |
| サイクルタイム | 掘削準備時間 | Td1 | min | 12 | 12 | 3min/回×4回 |
| | 掘削時間 | Td2 | min | 360 | 579 | A×B/P×60 |
| | 積込み準備時間 | Tm1 | min | 12 | 12 | 3min/回×4回 |
| | ずり積込み時間 | Tm2 | min | 158 | 158 | V/Q×60 |
| | ずり搬出時間 | Tm3 | min | 312 | 312 | K×Tk |
| | 損失時間 | Tl | min | 20 | 20 | 測量，運転手交代など |
| | 計 | | min | 874 | 1,093 | |

※深度200mを想定した試算

表-7　掘削能力

| 岩盤強度(MPa) | 掘削能力(m³/h) |
|---|---|
| 5 | 5.6 |
| 10 | 4.8 |
| 15 | 4.0 |
| 20 | 3.5 |
| 25 | 3.1 |

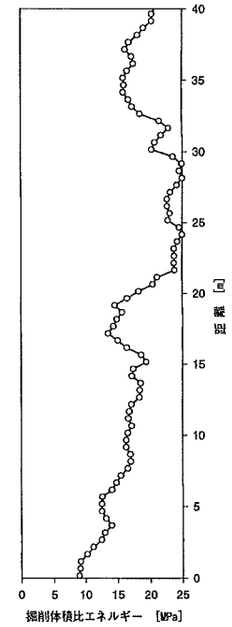



図-9　掘削体積比エネルギーのプロット例[3]

表-8　現時点での懸案事項と対応策

| | 懸案事項 | 対応策 |
|---|---|---|
| 1 | 水平トンネルのように，自由断面掘削機による掘削で，ずりが下に落ちないため掘削効率が想定以上に低い． | ・掘削順序の工夫 |
| 2 | 底版に溜まった湧水で掘削面が泥濘化し，カッタが切削の役目を果たさない． | ・ビットの形状や種類の選定<br>・ビット部の清掃 |
| 3 | 機械の故障やビット交換・清掃が頻繁に発生し，作業中断時間が想定以上に多くなる． | ・予備品の常備<br>・定期メンテナンスの実施 |

今後掘削体積比エネルギーと岩盤物性がどのような相関を示すかは，非常に興味深い．

## 5　現時点での懸案事項と対応策

換気立坑での掘削方式は，過去に実績のない機械設備であることから，懸念される問題点がいくつか考えられる．本稿では，現状懸念されている問題点の抽出に留め，現状考えられる対応策を付記する(表-8)．

## 6　ま　と　め

積み込み機一体型掘削機による掘削開始後は，設計どおりに機械設備が稼働し，掘削能力が発揮されるか評価していくことが，安全かつ合理的に立坑を掘削するうえで重要な役割を担うことは言うまでもない．評価の実施に加え，各種懸案事項を解決しながら掘削を進め，本機械設備の有効性の検証を行い，後に実施する西立坑の設計への反映や今後の立坑掘削技術の発展に寄与する技術を確立していく予定である．

なお，本工事は社会的に注目されている工事であることからも，ここで得られた知見を広く社会に公開していく予定であり，工事の進捗を見たうえで，改めて施工実績を報告させて戴きたいと考えている．

最後に，本年6月からの積み込み機一体型掘削機による掘削開始を迎え，これまで多くの方々のご努力，ご尽力に感謝し，安全に工事を進めるべく関係者一同努力する所存である．

## 参　考　文　献


1) 核燃料サイクル開発機構：幌延深地層研究計画　坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第2段階)計画，JNC TN 5400 2005-02，2005.6.
2) (社)土木学会：トンネル・ライブラリー第7号，山岳トンネルの立坑と斜坑，pp.136-138，1994.8.
3) 領家邦泰・青木智幸・田村壽夫・福井勝則・大久保誠介・松本一騎・宮本義広：土木学会論文集，No. 603，Ⅲ-44，pp.89-100，1998.9.



E. フック・E. T. ブラウン共著

岩盤地下空洞の設計と施工

理学博士 小野寺透・工学博士 吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳

B5判・442頁・上製本　本体価格 9,800 円（〒450 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






研　究

# 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


東電タウンプランニング(株)代表取締役　山　崎　　剛

東京工業大学教授　日下部　　治


## 1　は　じ　め　に

軟弱粘性土中をシールドで建設する場合においては，建設中に発生する地盤変位が相対的に大きいため，近接構造物への影響評価においては，建設中の地盤変形メカニズムの解明がきわめて重要となる．

本稿では，現場計測と遠心模型実験を複合的に組み合わせて評価検討し，変位が大きいとされるテールボイド発生以後の地盤変形メカニズムについて報告する．

## 2　現場計測から得られた地盤変形挙動

軟弱粘性土中を掘進する土圧式シールドを対象に詳細な地盤変位測定を実施し，地盤変形挙動を把握した．

### 2-1　工事概要

現場計測の対象としたシールド工事は，電力地中洞道として掘削外径($D$=3.63m)の泥土圧型シールド(テールボイド厚65㎜)で施工したものである．掘削地盤は，主に有楽町下部層の沖積粘性土($Y_1$層：$N$値＝0～2，$w_n$=66%，$w_L$=65%，$I_p$=30，$q_u$=98kPa)である．

### 2-2　計測計画

計測は，軟弱粘性土中に包み込まれる状態でトンネル断面が位置する場合に沈下量が大きくなるという既往の知見[1]から，シールドトンネルが軟弱である$Y_1$層に包み込まれた位置について3断面(A, B, C)行うこととした．計測断面における土かぶり($H$)は約15mであることから土かぶりと掘削径の比は$H/D$=4.1となる．

計測器配置は，図-1に示すとおりである．図-1には，その地点での土質試験結果も併せて示してある．現場計測にあたり工夫した箇所は，地盤変位とセグメントの相対的な変形挙動を計測するために，層別沈下計と地表面沈下計による地盤の絶対変位測定に併せて，トンネル坑内でセグメントの絶対変位を計測したことである．

計測断面3断面(A, B, C)のそれぞれにおける特徴を次に示す．掘進条件および裏込め注入条件は，表-1に示すとおりである．

① 計測断面をシールドが通過しているときの平均的な切羽圧は，A, B, C断面の順で大きくなっており，それぞれ223, 229, 239kPaであった．

② 計測断面A, Cにおいては，テールボイドが発生するときに同時裏込め注入を実施している．A断面の平均掘進速度は28㎜/minであり，C断面の40㎜/minに比べ遅いものの，掘進速度に比例するテールボイド発生速度に対応して裏込め注入速度を調節しているため，裏込め注入率はおおむね180%で同様な値となっている．

③ 計測断面Bについては図-2に示すように，裏込め注入未実施区間としてセグメント2リ

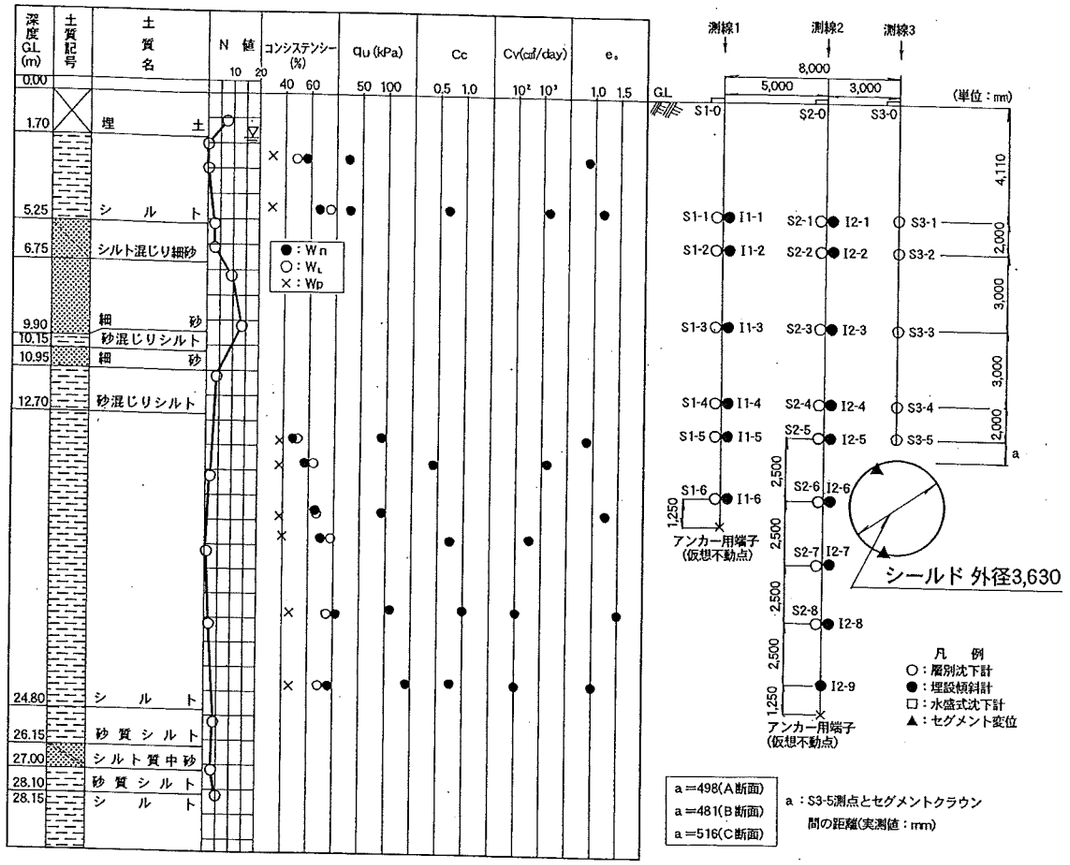



図-1　計測器配置図(断面A, B, Cとも)

表-1　掘進条件および裏込め注入条件

| 計測断面 | A | B | C |
|---|---|---|---|
| 平均切羽圧(kPa) | 223 | 229 | 239 |
| 平均掘進速度(mm/min) | 28 | 21 | 40 |
| テールボイド平均発生速度 ($q$)($\ell$/min) | 20 | 15 | 29 |
| 裏込め注入平均速度 ($v$)($\ell$/min) | 37 | 0 | 53 |
| 平均裏込め注入率 ($v/q$)(%) | 182 | 0 | 183 |

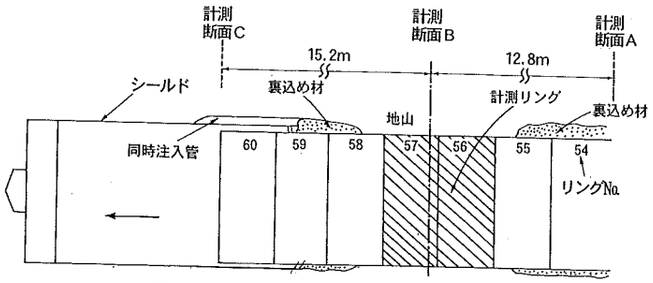



図-2　裏込め未実施区間の施工方法

ング分(1リング1.2m)を設けた.

### 2-3　計測結果の例

計測結果としては，計測断面(A, B, C)ごとに，トンネル直上の鉛直変位，トンネル側方の鉛直変位と水平変位の経時変化図があるものの，誌面の関係から詳細については参考文献1), 2)に譲るとして，トンネル周辺地盤の総括的な変位挙動については，表-2に示すとおりである．表-2には現場計測結果をもとに模式化した，トンネル中心線上の鉛直変位と，トンネル側方部の鉛直および水平変位の特徴を記述している．

## 3　遠心模型実験と現場計測の対比

軟弱粘性土地盤において既往の知見として認知





表-2　トンネル中心線上と側方部における地盤変位の特徴

| | トンネル中心線上(測線3) | トンネル側方部(測線2) | |
|---|---|---|---|
| | 鉛直変位 | 鉛直変位 | 水平変位 |
| 変式―時間関係の模式図 | テール通過 $u_3$ 0 $u_{s\infty}$ $u_{30}$ $u_{31}$ $u_{32}$ $t_1$ t　テール $u_{30}$ $u_{31}$ $u_{32}$ $u_{s\infty}$ | テール通過 $u_2$ 0 $u_{23}$ $u_{24}$ $t_1$ $u_{20}$ $u_{21}$ $u_{22}$ t　テール $u_{20}$ $u_{21}$ $u_{22}$ $u_{23}$ $u_{24}$ | テール通過 $v_2$ トンネル $t_1$ 0 地山 $v_{20}$ $v_{21}$ $v_{22}$ $v_{24}$ $v_{23}$ t　テール $v_{20}$ $v_{21}$ $v_{22}$ $v_{23}$ $v_{24}$ |
| テールボイド沈下区間における変位挙動 | ①テールボイド発生から時刻 $t_1$ まで，速く沈下する．<br>②沈下量はトンネル近傍ほど大きくトンネル中心からの距離に両対数で反比例する．<br>③沈下量および沈下速度は裏込め注入の有無により影響を受けるものの，沈下挙動は同様である． | ①トンネル直上で見られた速い沈下は顕著に現れていない． | ①掘進や裏込め注入の影響により，変位のくり返し変動など複雑な挙動を示す．裏込め注入の影響のない所では，テールボイド発生から時刻 $t_1$ 間に変位速度の速い区間が見られる．<br>②裏込め注入の影響のない所で変位は，トンネル周辺部においてはトンネルの真横が最大となり上下に減衰する傾向にある． |
| 後続沈下区間における変位挙動 | ①$t_1$ 以後，長期にわたりゆっくりと沈下する．このときのセグメントの後続沈下量は周辺地盤に比べて1桁小さい．<br>②測定点間の変位差が少ない状態で，沈下する．<br>③沈下速度は，裏込め注入の有無による影響は大きく受けず，同様な沈下挙動である． | ①トンネル真横から下方部分は，長期にわたって顕著な鉛直変位は示さない反面，上方部分は長期にわたりゆっくりと沈下する．<br>②沈下しない部分とする部分の境界にあたる，トンネル肩部が圧縮変形し，境界より上方部は各計測点がおおむね一体になって変位差がない状態で沈下する．<br>③上記挙動は裏込め注入の有無にかかわらず同様な挙動である． | ①トンネル真横から下方部分は，長期にわたって顕著な変位は示さない反面，上方部分は長期にわたりゆっくりとトンネル側に変位する．<br>②変位は地表面に近いほど大きい．<br>③長期にわたり，トンネル側に変位する側方地盤変形挙動は，裏込め注入の有無にかかわらず同様な挙動である． |

され，また今回の現場計測においても同様な挙動となった地盤変形挙動について，メカニズムを究明する目的で，現場を近似した遠心模型実験を実施し，現場計測との対比を行った．

### 3-1　遠心模型実験計画

#### 3-1-1　トンネル模型

トンネル模型は，図-3に示すように，セグメント覆工を模擬した直径φ40mmの中実円柱体と，その外側にシールドテール部分のスキンプレートとテールクリアランスを模擬した外形46mm，肉厚3mmの円筒で構成する構造とした．テールボイドの発生方法は，遠心実験中に円筒をトンネル軸方向に引き抜くことで再現させた．

また，セグメントのリング剛性は考慮せず中実の鋼製円柱体にしたことに加え，セグメントリングの移動についても考慮せず中実の円柱体を模型土層の背面板に固定させる構造とした．

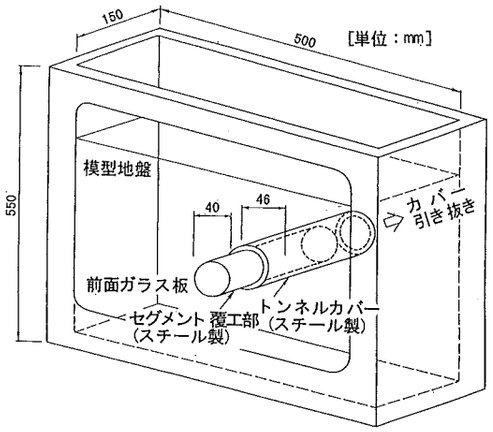



図-3　トンネル模型

#### 3-1-2　地盤材料

原位置からのブロックサンプリングが時期的および物理的に困難であったことから，今回の模型実験に用いた地盤材料は，初期応力の再現が可能

な比重と，強度・変形特性に関係する塑性指数について，実際の地盤と整合性が図れるカオリンを選択した．各種カオリンの中から，比重2.58，塑性指数($I_P$)が約30のカオリンASP-170を選定した．

### 3-1-3　実験領域

① 土かぶりは，現場計測断面Bの縮尺とした．

② 側壁部は，トンネル下端から斜め45°の範囲で上方部に影響が進展するものと仮定し，地表面における影響範囲を包含できる領域とした．

③ 下方部は，領域の大きさをパラメータとした線形弾性FEM解析によりリバウンド量の誤差が5％以内となる，2$D$の領域($D$：トンネル直径)とした．

実験土槽の内寸は，上記の実験領域を確保するために，幅500㎜×高さ550㎜×奥行き150㎜とした．

### 3-1-4　端面フリクションカット

ガラス面と接している地盤がガラスとの摩擦による影響を受けることなく，テールボイド発生による純粋な挙動を示すように，ガラス面と地盤のフリクションカットを工夫した．一面せん断試験を実施し，摩擦抵抗の少ない「ダウグリス」を選定し，メンブレンは介在させないこととした．

### 3-1-5　遠心力載荷装置

実験に用いた遠心模型実験装置は，鹿島建設(株)技術研究所に設置されている装置で，最大加速度200G，半径3 m，最大搭載質量550kgの能力を有するものを利用した．

### 3-1-6　実験手順

実験手順は，正規圧密の実験ケースについては1 G場において2・$w_L$($w_L$：液性限界)の含水比を持つスラリーを土槽に入れ，ベロフラムシリンダにより段階的に荷重を上げて予備圧密を行い，その後87Gの遠心場で圧密し，正規圧密状態にした．過圧密の実験ケースについては，基本的には正規圧密の実験ケースと同じであるが，予備圧密の段階でトンネル中心において目標のOCRになるように圧密している．

その後1 G場において，トンネル模型については土槽の背面から先行ドリル($\phi$30㎜)で削孔後，トンネル模型と同じ外径に拡径しトンネル模型をセットした．間隙水圧については，$\phi$9.5㎜のドリルで削孔し，間隙水圧計を設置後，隙間にスラリー状にしたカオリンを注入した．次に，標点および地表面沈下計をセットし，再び87G場で再圧密を行った．圧密度$U$>90％の状態に達することを目安として間隙水圧計により圧密度を確認後，トンネルカバーの引き抜き実験を開始した．

トンネルカバーの引き抜き速度は，実現場におけるテールボイド発生速度と同程度の25㎜/minとし，土槽奥行き150㎜を引き抜く所要時間は6分となった．その後60分間は地盤挙動の経時変化を追跡した．計測終了後，1 G場において地盤の観測，模型地盤からのサンプル採取を行った．

### 3-1-7　計測内容

計測項目は，標点の変化を読み取る地盤変位計測，間隙水圧計による地中内の間隙水圧計測，およびセグメントを模擬した中実体に配置した覆工作用圧測定を模擬した土圧計測とした．

## 3-2　遠心模型実験と現場計測の対比

遠心模型実験ケースごとの実験結果は，誌面の関係から詳細については参考文献3)に譲るとして，遠心模型実験結果と現場計測結果の対比について記述する．

### 3-2-1　地盤変位の対比

遠心模型実験と現場計測の地盤変位の比較結果を**図-4**に示す．図中の計測点No.は，図-1に示した位置に対応する．図-4から次に示す事項が判明した．

① トンネル直上に位置する測点S3-5の鉛直変位は，テールボイド発生直後については変位速度が速い状態で沈下し，その後，遅い変位速度で沈下が継続する．この傾向は模型実験，現場計測ともに同様である．

② 測点S3-4とS3-5間の鉛直ひずみは，変位速度が速いテールボイド発生直後については引張ひずみが増加する．この傾向は模型実験，現場計測ともに同様である．その後，継続する変位速度の遅い区間については引張ひずみが，時間とともに模型実験では減少し，現場計測では変化せずおおむね一定となるものの，長期的に引張ひずみが減少している．これらのことから模型実験は現場計測結果を模擬しているものと判断した．

③ 鉛直ひずみの傾向が変化する点は，図-4の矢印位置に示すように，模型実験，現場計測ともに，明瞭な形で存在している．すなわち，矢印より前半はテールボイド沈下，後半は後続沈下として解釈でき，模型実験はこれらの傾向を模擬している．

④ トンネル側壁部に位置する測点S2-4～7の鉛直変位は，模型実験については測点S2-7がほとんど変化せず，その上位にある測点S2-4～6がおおむね一体となって沈下しており，現場計測については測点S2-6, 7がほとんど変化せず，その上位にある測点S2-4, 5が同様な傾向で沈下している．模型実験と現場計測は，沈下する部分の深さについては差異があるものの，沈下傾向については同様である．

⑤ トンネル側壁部に位置する測点I2-4～7の水平変位は，テールボイド発生直後については変位速度が速い状態でトンネル側に変位し，その後，遅い変位速度で漸増する．加えて変位の最大値もトンネル真横に位置する測点I2-6で発生し，上下方向に変位分布は減少する傾向となる．これらの傾向は模型実験，現場計測ともに同様である．

### 3-2-2　鉛直ひずみ分布の対比

鉛直ひずみ分布は，テールボイドと後続沈下の両沈下区間に分けて，それぞれについて遠心模型実験と現場計測を比較し**図-5**に示す．これから次の事項が理解される．

テールボイド沈下区間については，トンネル中心線上の直上部でトンネル近傍ほど大きい引張ひずみが発生し，トンネル側壁部で圧縮ひずみが発生しており，模型実験，現場計測ともに類似したひずみ分布となっている．

後続沈下区間については，トンネル中心線上の





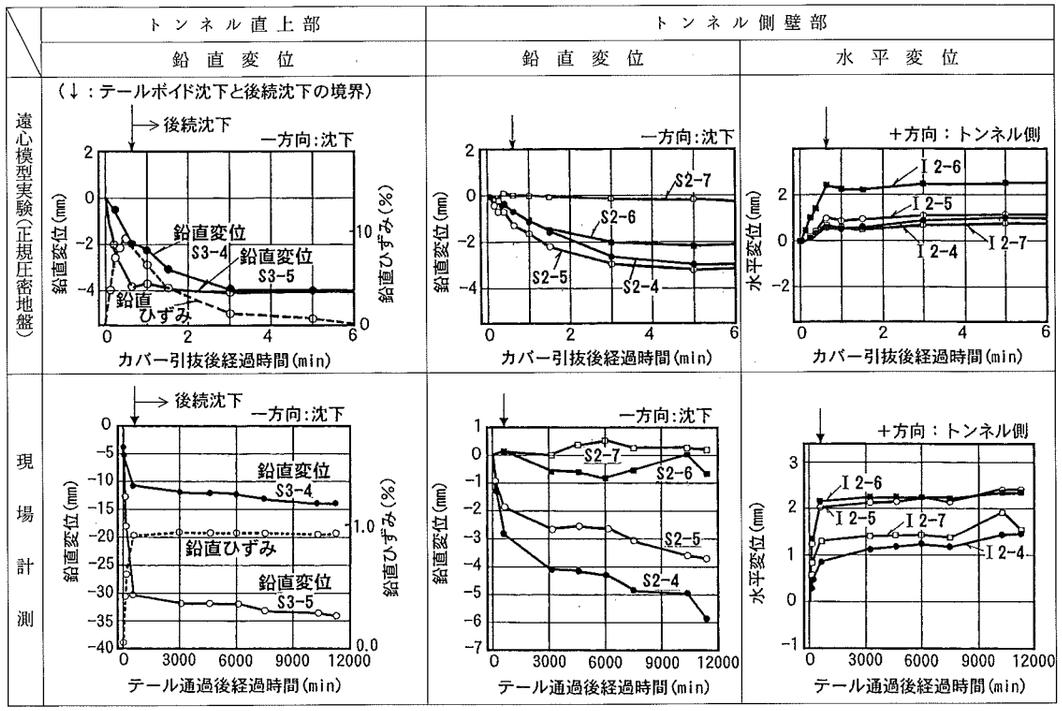



図-4　トンネル近傍変位の比較図

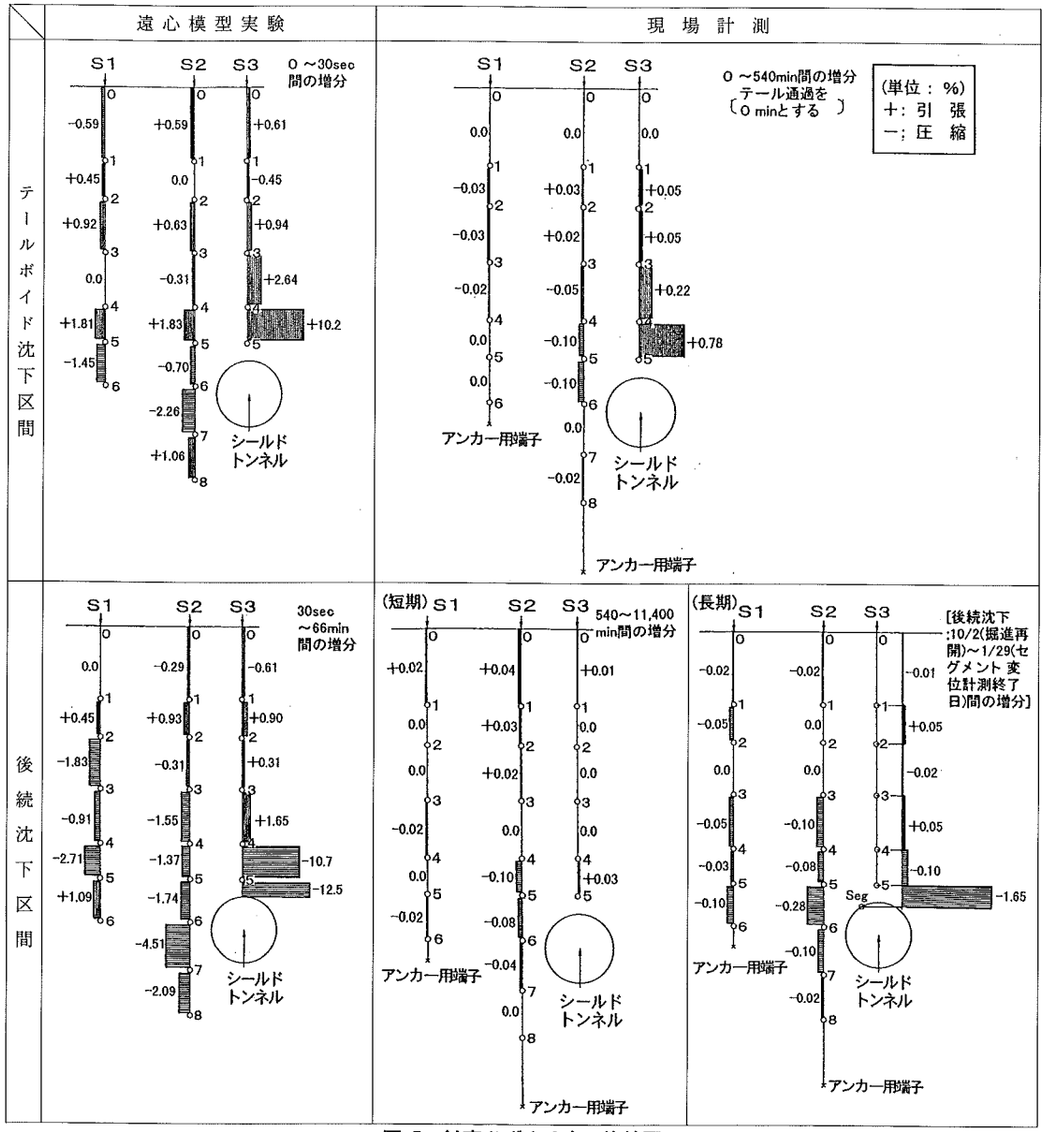



図-5　鉛直ひずみ分布の比較図

直上部にあるS3-0～4区間でほとんどひずみ増分がなく，トンネル側壁部で圧縮ひずみが増加する傾向となり，模型実験，現場計測ともに類似したひずみ分布となっている．

## 4　地盤変形メカニズム

遠心模型実験結果の詳細分析から得られた知見をもとに構築した，軟弱粘性土地盤におけるテールボイド発生以後の地盤変形メカニズムを**表-3**に示す．

地盤変形は大別して，次に示す三つのフェイズで進展するものとした．

### 4-1　フェイズ1

テールボイド沈下区間に相当する．

周辺地盤は，テールボイド発生に伴う応力解放により，テールボイドを埋めるようにおおむねトンネル中心に向って変位し，クラウン部の鉛直変位，側壁部の水平変位およびインバート部の鉛直





変位の順でかつ，それぞれの部分おいてはトンネル近傍ほど速い変位速度を示す．変位の分布形状からおおむね二次元弾性論による無限地盤中円孔周りの地盤変形挙動を示す．

周辺地盤がテールボイドを変位する間，地盤内主応力方向は，初期状態において鉛直と水平方向にあったものが，応力解放による変位増加に伴い回転し，トンネル接線方向と半径方向になる．このとき，トンネルクラウン部における鉛直方向の圧縮応力の流れは，側壁部において円孔周りに集

**表-3　地盤変形メカニズム**

| 沈下区分 | | 地盤変形メカニズム | 概要図 | 遠心模型実験データによる地盤変形メカニズムの裏付け | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 地盤内変位 | 地盤内歪み | 地盤内間隙水圧 | 覆工作用圧 |
| テールボイド沈下区間 | (フェイズ1) | 周辺地盤は，テールボイド発生に伴う応力解放により，概ねトンネル中心に向かって変位し，テールボイドを埋める様に変形する．その挙動は，概ね二次元弾性論による無限地盤中円孔周りの地盤変形挙動を示す．<br>間隙水圧は，全応力の応力解放で，周辺地盤が概ね非排水に近い状態で膨張することから，低下する傾向にある． | 変位 $u_1>u_2>u_3$<br>$u_3$<br>テールボイド $u_2$<br>$u_1$<br>セグメント<br>間隙水圧低下<br>掘削面 | 周辺地盤は，クラウン部の鉛直変位，側壁部の水平変位およびインバート部の鉛直変位の順でかつ，それぞれの部分においてはトンネル近傍ほど早い変位速度を示す． | 主歪みは，初期状態において鉛直と水平方向にあったものが，応力解放による変位増加に伴い回転しながらトンネル周りに再配分され，接線と半径方向になる． | 過剰間隙水圧は，周辺地盤が急速すなわち非排水に近い状態で膨張する傾向にあることから，負圧が発生する． | 地盤変形が要因となって作用する覆工作用圧は，応力解放後の地盤が土圧計に接触するまでは発生しないことが予想される． |
| 後続沈下区間 | (フェイズ2) | 周辺地盤は，覆工（セグメント）に接触し，半径方向変位が拘束された後，覆工周りに集中した応力による弾塑性変形と，トンネル軸方向に継続し伝わるテールボイド解放による付加荷重により変形が進行する。<br>その結果，側壁部においては，間隙水圧の急速な上昇による有効応力の減少，およびトンネル軸方向に伝わる付加荷重による全応力の増加により，すり鉢状にすべり面が発生する．<br>すべり面より上位に位置する地盤部分は，一塊のブロックの様に，すべり面に沿って下側へ移動しようとするが，覆工に拘束されて，クラウン部の背面地盤については局所的に鉛直圧縮歪みが卓越し，側壁部については覆工に沿った円周方向変位が発生する．<br>すべり面より下位にあるインバート部の地盤は，すべり面より上位の土塊荷重により，下側に押されることから，テールボイド沈下区間で見られたトンネル中心に向かう変位から反転して，トンネルから離れる下向きの増分変位が発生する． | 変位 $u_1 \fallingdotseq 0$ ($u_1$:掘削面変位)<br>変位 $u_2 \fallingdotseq u_3$<br>すべり面<br>$u_3$<br>圧縮歪<br>$u_2$<br>圧縮歪<br>セグメント<br>圧縮歪<br>周辺地盤の間隙水圧上昇<br>正の過剰間隙水圧発生 | 周辺地盤は，すべり面の発生で全体的にトンネル下側に向かって変位する．覆工との境界面においては，トンネル半径方向変位が拘束され，円周方向変位が覆工に沿った形で下側に発生する．<br>特に，トンネル直上部鉛直変位については，覆工背面で変位が拘束されるものの，それより上位の部分は，すべり面の上位にあるブロックの一部にあることから，同じ変位速度で沈下する．トンネルインバート部の鉛直変位については，すべり面の上位にある地盤の滑動力の反力を受け，下向きに変位する． | 圧縮主歪みは，クラウン部の覆工背面においてトンネル半径方向に，すべり面上においてすべり面垂直方向に，インバート部の覆工背面においてトンネル円周方向に，それぞれ卓越して発生している． | 間隙水圧は，周辺地盤が覆工に接触した時点で極小値を示した後，覆工による半径方向変位の拘束とトンネル軸方向に継続する付加荷重の影響をうけて，トンネル周辺で全体的に上昇する．水圧の上昇は，トンネル軸方向に関する応力解放の影響が無くなるまで継続し，最終的に最大値を示す．<br>間隙水圧の最大値は，正規圧密粘土については正の過剰間隙水圧となる．特にクラウン部においては，圧縮歪みの卓越部分に対応した形で上昇する。 | 覆工作用圧は，周辺地盤が覆工に接触した後，トンネル軸方向に継続して発生する付加荷重の影響を受け上昇する．<br>覆工作用圧の上昇は，間隙水圧と同様，トンネル軸方向に関する応力解放の影響が無くなるまで継続し，最終的に最大値を示す． |
| | (フェイズ3) | 正規圧密粘土において，フェイズ2の段階でトンネル周辺地盤に発生した過剰間隙水圧が消散する過程で，地盤全体が圧密沈下すると共に，すり鉢状に発生しているすべり面に沿ったせん断変形も併せて進行する．<br>特筆すべき点は，間隙水圧の低下に伴い覆工圧も低下し，覆工圧と釣合う地盤中の全応力も低下していることである． | ：間隙水圧の上昇部分<br>すべり面<br>セグメント<br>周辺の間隙水圧消散 | フェイズ2の地盤内変位が，遅い変位速度で継続する． | フェイズ2の地盤内歪みが，遅い歪み速度で継続する． | 間隙水圧は，正規圧密粘土については，地盤の透水係数に従う速度で，静水圧状態へ向い，正の過剰間隙水圧が消散する． | 覆工作用圧は，正規圧密粘土については，過剰間隙水圧の消散に伴い，クラウン部を除いて減少する．反面クラウン部については増加する． |

中し，掘削面近傍ほど集中度が大きくなる．

地盤中の過剰間隙水圧[4]は，応力解放に伴いトンネル周辺地盤が非排水に近い状態で膨張するため負圧が発生する．発生する負圧は過圧密比の大きい粘性土ほど大きい．また，フェイズ1における過剰間隙水圧の変化速度は，後述するフェイズ3の付加荷重がなく地盤の透水係数に支配されると想定される変化速度に比べ大きいことから，主にテールボイド発生による全応力の変化速度に支配されているものと考えられる．

覆工作用圧[4]は，応力解放後の地盤が土圧計に接触するまでは発生しない．ただし，実施工においては，テールからの競り力[5]および裏込め注入圧[6]の伝播により，覆工作用圧が発生することが報告されている．

### 4-2　フェイズ2

後続沈下区間でなおかつ，トンネル軸方向に発生する応力解放の影響を受ける区間に相当する．

周辺地盤は，横断面内で地盤が覆工に接触し半径方向変位が拘束された後，トンネル周りに集中した応力に応答するかたちで弾塑性変形が進行する．さらにこの変形に加えて，トンネル軸方向に継続して発生するテールボイドの解放力が後方の計測断面に伝わることにより，付加荷重が作用して変形が進行する．

その結果，側壁部においては，間隙水圧の急速な上昇による有効応力の減少，およびトンネル軸方向に伝わる付加荷重による全応力の増加により，すり鉢状にすべり面すなわちせん断破壊面が発生する．すり鉢状のすべり面に沿った変形は，トンネル軸方向に関して応力解放による付加荷重の影響を受けるまでの間進行するものと考える．

すり鉢状のすべり面より上位に位置する地盤部分は，あたかも一塊のブロックのように，すべり面に沿って下側へ移動しようとする．しかしながら移動は，剛性の高い覆工に拘束されて，クラウン部の覆工と地盤の境界付近における地盤に，局所的に大きい鉛直圧縮ひずみと，覆工の円周方向に沿った地盤変位が発生する．

一方，すべり面より下位にあるインバート部の地盤は，すべり面より上位の土塊荷重により，下側に押されることにより，テールボイド沈下区間で見られたトンネル中心に向かう変位から反転して，トンネルから離れる下向きの増分変位が発生する．

なお，すべり面付近ではすべり面直角方向に圧縮ひずみが発生する．現場における層別沈下計は，すべり面直角方向に発生している圧縮ひずみの鉛直成分を検出しているものと思われる．

地盤中の過剰間隙水圧[4]は，地盤が覆工に接触した時点で極小値を示した後，覆工による半径方向変位の拘束とトンネル軸方向に継続付加される荷重の影響を受けて，トンネル周辺で全体的に上昇する．水圧の上昇は，トンネル軸方向に関する応力解放の影響がなくなるまで継続し，最終的に最大値を示す．

過剰間隙水圧の最大値は，過圧密比と発生応力の大小関係にもよるが，クラウン部を除き，正規圧密粘土については正の過剰間隙水圧を発生し，過圧密粘土(OCRが5程度まで)については発生しない傾向にある．一方クラウン部においては，上述したように，すべり面の発生により移動する土塊を覆工が拘束する．このことが覆工背面地盤における局所的に大きい鉛直圧縮ひずみの発生を招き，間隙水圧は正規圧密粘土および過圧密粘土ともに，正の過剰間隙水圧を発生する．

また，フェイズ2における過剰間隙水圧の変化速度は，後述するフェイズ3の付加荷重がなく地盤の透水係数に支配されると思われる変化速度に比べ大きいことから，フェイズ1同様トンネル軸方向に伝わり付加される全応力の変化速度に支配されているものと考えられる．

覆工作用圧[4]は，周辺地盤が覆工に接触した後，トンネル軸方向に継続して発生する応力解放による付加荷重の影響を受け増加する．覆工作用圧の増加は，間隙水圧と同様，トンネル軸方向に関する応力解放の影響がなくなるまで継続し，最終的に最大値を示す．

フェイズ2の影響区間長は，軟弱粘性土における既往の現場計測実績[7]によれば，おおむねトンネル下端位置の土かぶり深さであることが想定される．





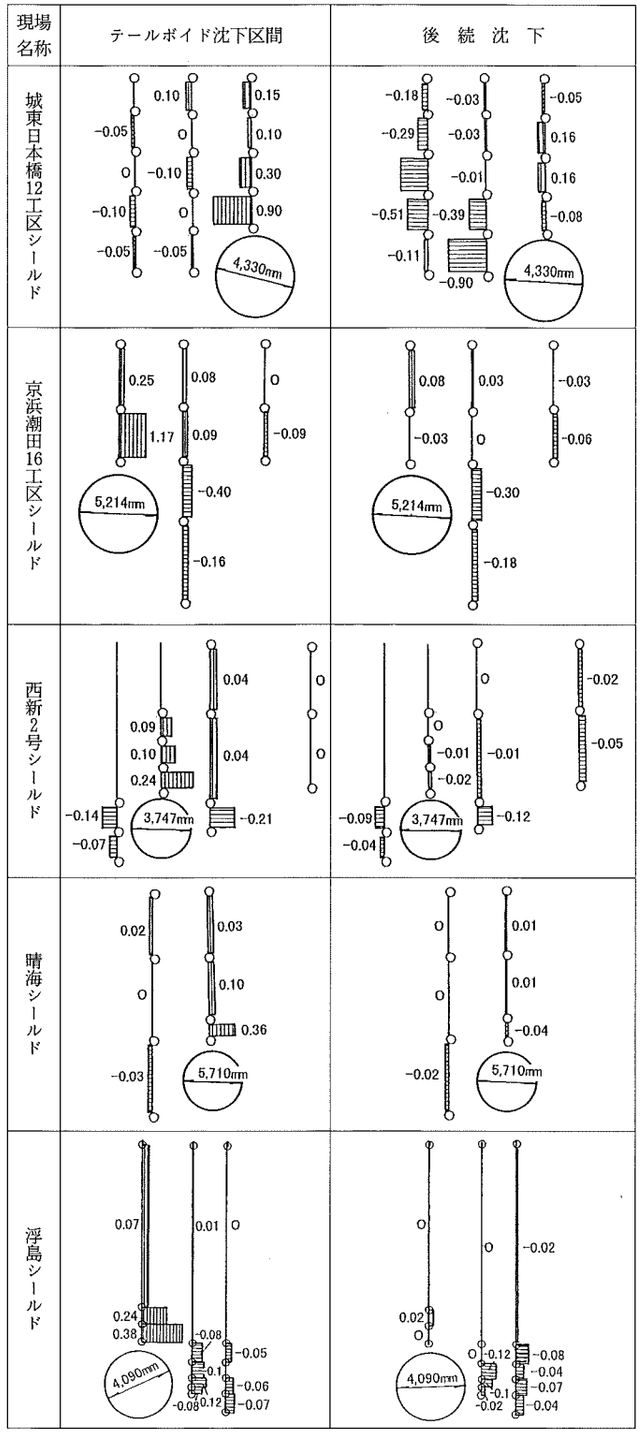
### 4-3　フェイズ3

後続沈下区間でなおかつ，トンネル軸方向に発生する応力解放の影響を受けない区間に相当する．

周辺地盤には，フェイズ2の段階でトンネル軸方向に伝達する付加荷重により累積された過剰間隙水圧が発生している．具体的には，正規圧密粘土においてはトンネル周り全体にわたり正の過剰間隙水圧が発生しており，過圧密粘土においてはクラウン部のみ正の過剰間隙水圧が発生し，クラウン部以外は発生していない状態になっている．この状況でトンネル軸方向に伝わっていた付加荷重が寸断された以後の挙動がフェイズ3となる．フェイズ3の主な挙動は，過剰間隙水圧の消散過程であり，最終的に安定した静水圧状態になるまでの間で発生する地盤変形および覆工作用圧の変化となる．

正規圧密粘土においては，トンネル周辺に発生した過剰間隙水圧が消散する過程で，周辺地盤全体が圧密沈下するとともに，すり鉢状に発生しているすべり面に沿ったせん断変形も併せて進行する．この段階における特筆すべき点は，間隙水圧の低下に伴い覆工作用圧も低下することである．このことから覆工の背面にあり，覆工作用圧とつり合う地盤中の全応力も低下していることが理解され，既往の現場計測に見られる後続沈下区間での地盤中の間隙水圧とともに全応力も低下する現象[1),8)]が再現されているものと考察する．

過圧密粘土においては，トンネルクラウン部のみ発生している過剰間隙水圧が消散するものの，変形係数および




［単位%］　＋：引張歪　－：圧縮歪　○：測点

図-6　既往現場計測における鉛直ひずみ分布

せん断強度が正規圧密粘土に比べて大きいため，地盤変形への影響は小さく，フェイズ3の段階における顕著な地盤変位や変形は見られない．

## 5 おわりに

軟弱粘性土地盤中でシールド建設時に発生する地盤変形のメカニズムについて，「現場計測」および「遠心模型実験」を駆使して究明した内容を報告した．

さらに，既往5か所の現場計測結果を分析[9]したところ**図-6**に示すように，鉛直ひずみ分布図の形状に類似性が確認され，提案した地盤変形メカニズムで説明可能なことを確認している．

軟弱粘性土地盤中でシールド建設時に発生する地盤変形のメカニズムは，従来から課題として取り上げられていたものの，本報告のようにシリーズとして系統的に取り組んだものはなかったように思われる．今後は，地盤変形の抑制などメカニズムを理解した効果的な対策工に活用[4]していきたい．

最後に本研究は，東京電力(株)が各所の現場で行ってきた変位計測などの成果を糧に，新たな現場計測，遠心模型実験を行い，発展的に地盤変形メカニズムの究明を行ったものである．また，遠心模型実験にご協力いただいた東電設計，鹿島建設技術研究所の関係者の方々に深く感謝の意を表します．

## 参考文献

1) 大塚正博・山崎剛・日下部治：軟弱粘性土中シールド施工時における裏込め注入有無によるトンネル直上地盤変位の差異，土木学会論文集，No.624/Ⅲ-47，pp.51-64，1999.
2) 山崎剛・大塚正博・日下部治：軟弱粘性土でのシールドテールボイド発生による周辺地盤の変形挙動，土木学会論文集，No.631/Ⅲ-48，pp.311-328，1999.
3) 山崎剛・大塚正博・日下部治・栗原美津雄・五十嵐寛昌：遠心模型実験と現場計測の対比によるシールドテールボイド発生以後の軟弱粘性土地盤変形メカニズム，土木学会論文集，No.680/Ⅲ-55，pp.29-48，2001.
4) 山崎剛：軟弱粘性土中シールドトンネル建設時における地盤変形メカニズムの研究，東京工業大学学位論文，2006.
5) 山崎剛・ 佐藤健人・中村益美・ 杉山仁實：連載講座「シールド掘進に伴う地盤変状入門(13)」，トンネルと地下，No.34，Vol.11， pp.69-74，2003.11.
6) 橋本正・ 長屋淳一：実測値からみた土圧挙動，現場技術者のための土質工学講習会③，土圧の見方と設計への応用，土質工学会関西支部，pp.23-38，1995.
7) 石嶋たかし・島村誠・岡留孝一：軟弱粘性土地盤におけるシールド工事の施工，電力土木，No.245，pp.59-66，1993.
8) 平田武弘：土圧式シールド掘削に伴う軟弱粘性土地盤の挙動と施工管理， 土木学会論文集， No.355/VI-2，pp. 114-123，1985.
9) 山崎剛・大塚正博・日下部治：軟弱粘性土中シールド建設時における地盤変形現場計測データの再評価，土木学会論文集，No.680/Ⅲ-55，pp.301-305，2001.

**研究論文募集のお知らせ**

弊誌「トンネルと地下」では，研究論文（実験，技術開発など）を募集いたします．大学や技術研究所などからの貴重な研究成果を多数お待ちしておりますので奮ってご応募下さい．とくに若手トンネル技術者の技術向上を主眼としておりますので，平易・簡潔にまとめていただくようご配慮のほどお願い致します．なお，応募方法の詳細につきましては34頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

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





報　告

# 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

## 1 はじめに

第33回国際トンネル協会(ITA)総会および世界トンネル会議(WTC)が，2007年5月5～10日，チェコ共和国の首都プラハで開催された．会議のテーマはUnderground Space - the 4th Dimension of Metropolises である．

日本トンネル技術協会(JTA)では，この会議への参加，各国トンネルの視察，トンネル技術情報の収集と技術交流を目的に，トンネル技術について種々の立場からかかわる18名の調査団(**写真-1**)を5月3～13日にわたって派遣した．調査団の主な視察箇所は以下のとおりである．

① チェコ(プラハ)；ITA総会，WTC，プラハ環状トンネル工事(道路)視察
② オーストリア(ウィーン)；ラインツァートンネル工事(鉄道)視察
③ ドイツ(ライプチヒ)；シティトンネル工事(地下鉄)，A71シュミュッケトンネル工事(道路)視察

表-1　日程表

| 月日(曜) | 都市，滞在地名 | 現地時刻 | 交通機関 | 内　容 |
|---|---|---|---|---|
| 5/ 3 (木) | 東京(成田)発 | 12：25 | LH-715 | |
| | ミュンヘン経由 | 17：45 | | |
| | | 19：10 | LH-3560 | |
| | ウィーン着 | 20：15 | 専用バス | (ウィーン泊) |
| 5/ 4 (金) | ウィーン発 | 終日 | 専用バス | Lainzer Tunnel視察 (ウィーン泊) |
| 5/ 5 (土) | ウィーン滞在 | 終日 | | 現場資料整理　(ウィーン泊) |
| 5/ 6 (日) | ウィーン発 | 終日 | 専用バス | 国際会議出席準備 |
| | プラハ着 | | | ウェルカムレセプション出席 (プラハ泊) |
| 5/ 7 (月) | プラハ滞在 | 終日 | | 国際会議出席　(プラハ泊) |
| 5/ 8 (火) | プラハ滞在 | 終日 | | 国際会議出席　(プラハ泊) |
| 5/ 9 (水) | プラハ滞在 | 終日 | | 国際会議出席　(プラハ泊) |
| 5/10 (木) | プラハ発 | 終日 | 専用バス | Slivenec Tunnel視察 |
| | ライプチヒ着 | | | (ライプチヒ泊) |
| 5/11 (金) | ライプチヒ滞在 | 終日 | 専用バス | City-Tunnelプロジェクト視察 Schmucke Tunnel視察 (ライプチヒ泊) |
| 5/12 (土) | ライプチヒ発 | 13：25 | LH-1121 | |
| | ミュンヘン経由 | 14：25 | | |
| | | 15：40 | LH-714 | (機内泊) |
| 5/13 (日) | 東京(成田)着 | 10:15 | | 通関後，解散 |

上記の視察報告にあたり，会議開催地であるチェコ共和国とプラハについて紹介する．

### 1-1 チェコ共和国

チェコはヨーロッパ大陸のほぼ中央に位置し，緯度的には北海道よりさらに北となる．面積は約



写真-1　調査団

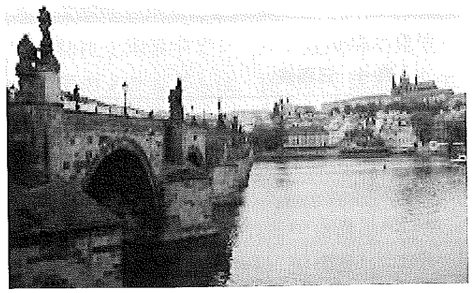


写真-2　カレル橋とプラハ城

7.9万km²(北海道と同規模)，人口約1,025万人(2005年)である．

歴史的にはとくに第一次世界大戦以降波乱の連続であったが，1989年の民主革命(ビロード革命)により第二次世界大戦後から続いていた共産主義体制が終結．1993年にはスロバキアと平和裡に分離・独立した．EUには2004年に正式加盟し，ユーロ導入に向けて国内の諸制度改革を行いその条件整備を進めている．

### 1-2　世界遺産の街プラハ

プラハはチェコ共和国の首都であり，かつ同国最大の都市(人口約120万人)である．市の中心部をヴァルダヴァ川が流れ，それに架かる有名なカレル橋(**写真-2**)や古い街並みと建物が数多く残り，街全体が世界遺産に指定されている．

歴史は古く，9世紀後半にヴァルダヴァ川河畔にプラハ城が建てられて街の骨格が形成された．14世紀に当地のボヘミア王カレル1世が神聖ローマ帝国の皇帝となってプラハがその首都となると，



写真-3　斜坑シールド内のエスカレータ

都市の整備が大いに進み，ローマ，コンスタンチノプールと並んでヨーロッパ最大の都市にまでに急速に発展し「黄金のプラハ」と形容されるほどであった．ハプスブルグ王家の支配下における16世紀後半，プラハには芸術家たちが集いヨーロッパ文化の中心都市として繁栄した．

このような時代の建造物や建物などは，今回の視察時においても市街のいたる所で目にすることができて，重厚な都市景観の背後にある歴史を実感した次第である．

### 1-3　プラハのトンネル－地下鉄を利用して

プラハ市内の移動はもっぱら地下鉄を利用した．宿泊ホテル，WTC会場，著名な建造物などはいずれも地下鉄駅から程近いところにあり大変便利であった．プラハ滞在中の地下鉄利用をとおして，トンネル技術のほんの一端であるが，以下に紹介する．

プラハの地下鉄は3路線，延長約60kmを営業している．1974年に最初の路線が開通したので，まだ30年余しか経っておらず地下鉄建設の歴史は浅い．駅間を結ぶトンネルには基本的にシールド工法を採用，駅でもその半数近くはいわゆるシールド駅であり，並列した2本ないし3本のシールドトンネルを相互に接続して，接続部分をホームとする施工方法がとられている．深い駅での出入口や乗り換え駅での連絡通路にはエスカレータの勾配に対応した斜坑シールド(**写真-3**)が数多く採用されている．エスカレータは延長が長いこともあり，日本よりかなり速い速度で運転されていた．

これらのシールド工法は，当地の固い地盤の掘





削に適していたことと，共産主義時代に当時のソ連から車両なども含め各種の技術が導入されたことにより，地下鉄トンネルに多用されたものと思われる．

(文責：入江健二・東京地下鉄(株))

## 2　LAINZER TUNNEL

### 2-1　はじめに

ITA世界トンネル会議開催前の5月4日(金)，調査団としては最初の調査トンネルとして，ウィーンの森トンネル(正式名称：Lainzer tunnel)の現地へ調査に向かった．現場はウィーン市内北西部から南西部に広がるウィーンの森に近い市内西部にある．入江団長以下調査団18名でバスにて市の中心部より30～40分で現場に到着した(**写真-4**)．

### 2-2　プロジェクト概要

ヨーロッパでは鉄道インフラ整備への投資が非常に盛んである．EU加盟国においては協力して鉄道輸送網整備に力をいれている．日本では道路輸送している建設資材や車もヨーロッパでは鉄道輸送が標準である．Lainzerトンネルもその例外ではなく，フランスはパリから，ドイツ・ウィーンを経て，スロバキアの首都ブラティスラバまでの全長約1,000km以上にわたる区間を結ぶ鉄道輸送網整備計画の一部である(**写真-5**)．




写真-4　現場入り口




写真-5　プロジェクト全体説明パネル

### 2-3　視察現場の特徴

Lainzerトンネルは全長3,050mの複線トンネルであり，二つの立坑から4工区に分け施工している．今回視察した施工箇所(**図-1**)は，そのうちでももっとも延長が長い1,050.6mの工区(LT31)であり，全体工事のクリティカルパスとなる箇所であった．

以下に工事概要を示す．

発　注　者：オーストリア国鉄(OBB)
工　　期：2006年7月～2010年10月(51か月)
掘削土量：42.5万m³
工事金額：1億3,200万ユーロ(約215億円)
掘削断面積：標準断面125m²(**図-2**)
区　　分：高性能貨物鉄道専用トンネル
土かぶり：6～25m
地　　質：砂，シルト，粘土
掘削月進：31m

その他の特徴としては，世界的にも有名なウィーンの森の直下をトンネルが通過することや，既存の鉄道の直下に縦断的に平行してトンネルを建設すること，また立坑築造など営業線に近接した施工箇所を含んでいることなどが挙げられる．

### 2-4　技術的な課題

技術的な課題は2点あり，一つはウィーンの森の動植物へ影響を与えてはいけないこと．もう一つは，地表面・上部交通への影響を最小限に留め

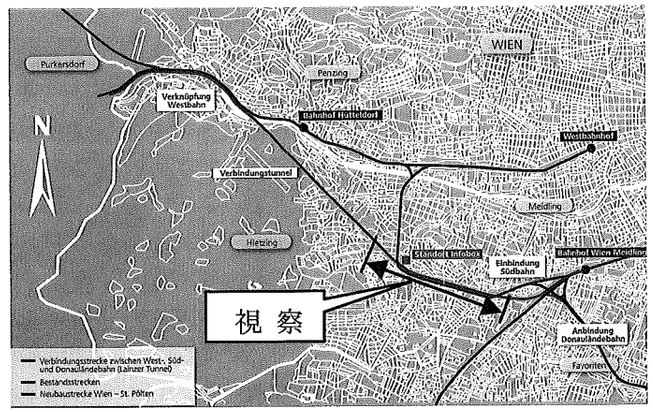



図-1　Lainzerトンネル路線図

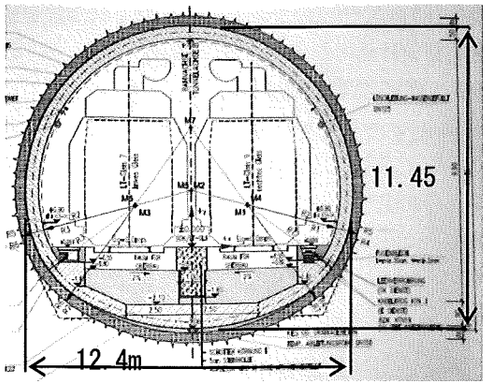



図-2　標準断面図

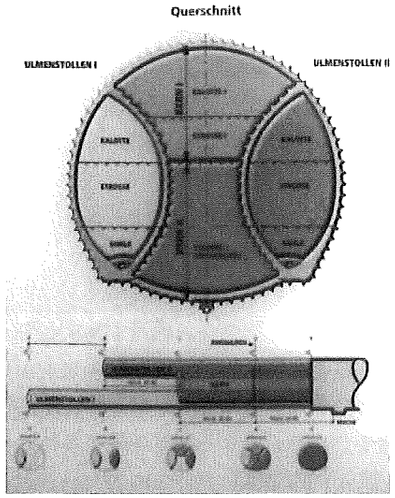



図-3　掘削手順

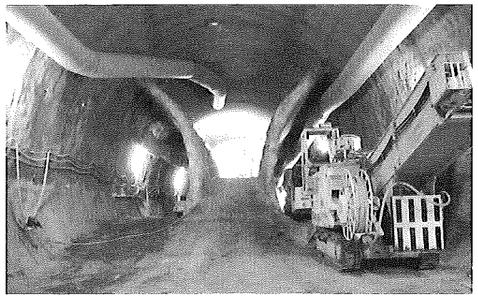


写真-6　トンネル内部

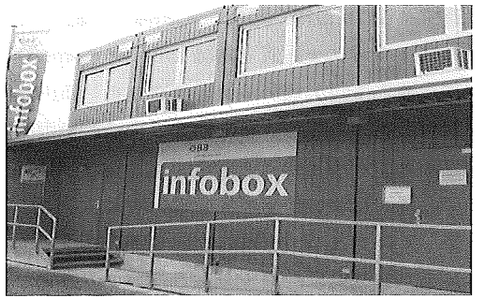



写真-7　info box

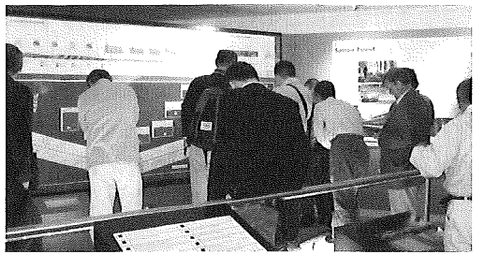


写真-8　info boxの内部

ることであった．このため，掘削方法は図-3に示すように4分割で行うサイロット工法を採用し，切羽間隔は20m以上とり施工していた．地表面の監視・計測についても力を入れている．トータルステーションを用い，計測は24時間自動計測(15分間隔)で行われており，設定基準を超えると担当者に連絡が入るようなシステムを採用している．ちなみに地表沈下量は累積で20㎜程度とのことであった．また，トンネル断面は地下水位以下であったが，地表面より約40m(＝トンネル断面下端－5m)の鉛直ボーリングを水平30m間隔で行い，地下水位を低下させ作業は進められていた．このため，トンネル内は非常にドライな環境であった．現在までの地下水の低下による森への影響はとくにないようであった(写真-6)．

また，覆工コンクリートはトンネル内の火災発生時，コンクリートの爆裂の低減を目的に，オーストリアの規格にもとづきPVCファイバーコンクリート(添加量2.0%)を採用する予定のようであった．

### 2-5　info box(インフォ・ボックス)

Lainzer トンネルは当初は「ウィーンの森トンネル」と名づけられていたが，森の環境変化を心配する市民らの反対を受け，名称を変更した経緯がある．市民の理解を得るためか，「info box」と呼ばれる工事に関する情報展示館が現場作業所の近くに設置されており，工事関係者にかかわらず，一般市民でも日中は自由に出入りし，ここで





工事の情報を得ることができる(写真-7, 8)．事業全体の概要を示すパネルや，構造物が地下水の流れを遮断しない設備の説明パネル，模型など，数多く展示されていた．また，パネルの一部にモニター画面を埋め込み，動画による解説が付属するものなどもあり工夫が見られた．

(文責：前田智宏・鉄建建設(株))

## 3　SLIVENEC TUNNEL

ITA世界トンネル会議開催最終日の5月10日(木)，コングレス主催の現場視察として，6か所の視察候補の中からプラハ環状道路(Prague City Ring Road)のトンネル(正式名称：Slivenec Tunnel)へ調査に向かった．現場はプラハ市南西部郊外にある．各国のWTC参加のメンバー約60人が，2台の専用バスに乗り込み国際会議場前より30～40分で現場に到着した．

### 3-1　プロジェクト概要

チェコの高速道路建設は，ヨーロッパの他国と比べて，まだまだこれからという状況(図-4)で，首都プラハからの放射道路とプラハ郊外を環状に結ぶ道路が急ピッチで建設されている．

今回現場視察に訪れたSlivenecトンネルは，プラハ環状道路計画(全長約20km)の一部(No.514工区)である(図-5)．

### 3-2　No.514 (Lahovice-Slivenec)区間

発 注 者：チェコ共和国(EUの支援事業)
工　　期：2006年10月～2009年
工事区間：6.0km (トンネル1,650m×2本)
工事金額：50億3,000万コルナ(約300億円)

### 3-3　Slivenec Tunnelの概要

Slivenecトンネルは全長1,650mのトンネルであり，住民や周辺環境に配慮し，Slivenec側からLahoviceに向けて，最大傾斜4%の下り勾配をNATMで掘削施工を行っている(図-6)．

Slivenceトンネルは，オルビス紀とシルル紀の硬い輝緑岩の岩盤を掘削する，3車線の内回りトンネル(掘削幅15.9m，掘削高さ10.1m)と2車線の外回りトンネル(掘削幅12.9m，掘削高さ8.5m)の併設トンネルであり，それぞれの加背割りについては，内回りトンネルは地質調査および排水を目的としたパイロットトンネル(頂設先進導坑)，上半，下半，インバートの4分割，外回りトンネルは上半，下半，インバートの3分割である．掘削断面積はそれぞれ内回りトンネルで最大約125m²で，外回りトンネルで最大約95m²である(図-7)．

また，3車線の内回りトンネルの標準パターンで吹付けコンクリート厚は350㎜，覆工厚は400㎜である．鋼アーチ支保工に関しては，日本で多く使われているH形鋼を用いたNATMの施工とは異なり，ラティスガーダ支保工が用いられており，吹付けコンクリートは金網を2段に設置し二次吹付けまで行っている．これは，吹付けコンクリートを支保工背面にまわりやすくし，吹付けコンクリートと一体になってシェル構造を形成すること

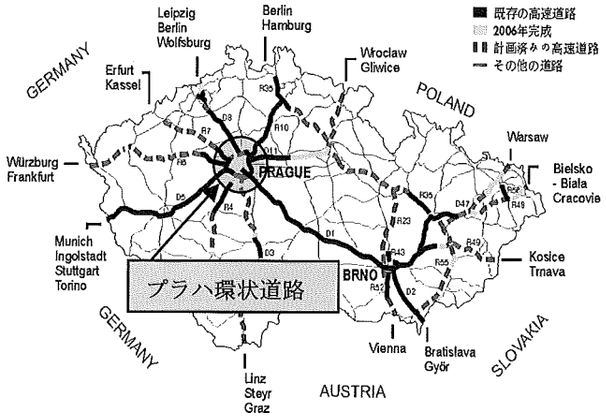



図-4　チェコにおける高速道路計画

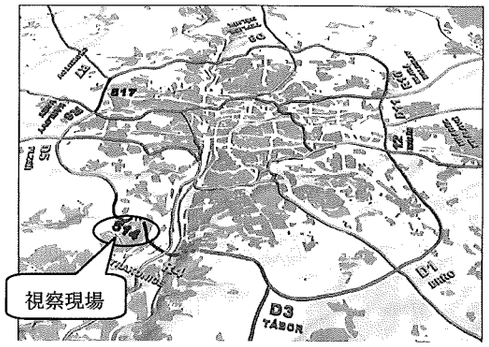



図-5　プラハ環状道路計画

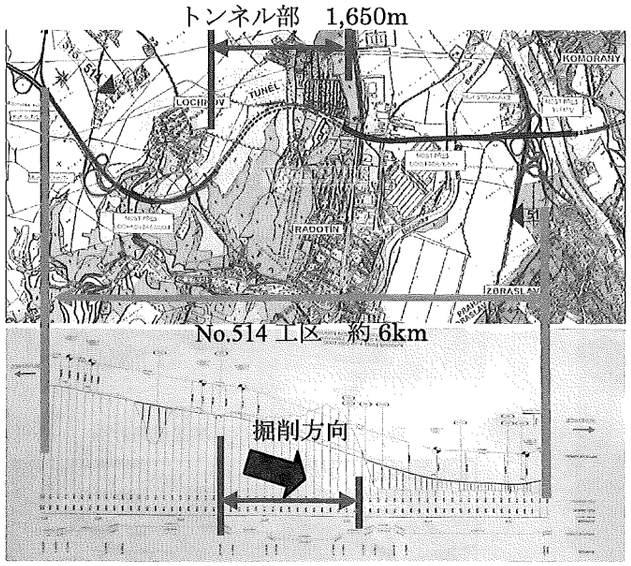



図-7　トンネル断面図

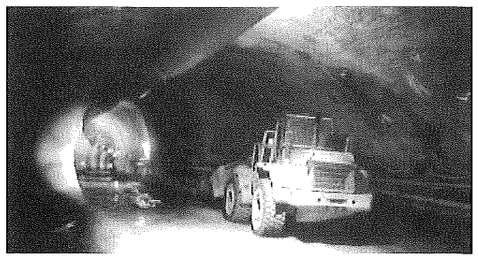


写真-9　トンネル内部

に着目したものと考えられ，フレキシブルな構造による地山への密着性の向上，軽量化による施工性の向上をはかるものであると考えられる．ラティスガーダ支保工を用いた施工は，今回の調査団で視察したオーストリア・チェコ・ドイツの山岳トンネルの現場すべてで導入されている(**写真-9～12**)．

2007年5月10日時点での工事進捗状況は，上半で月進100m，昨年11月の工事開始から400m(延長1,650m)掘削が進んでいる．

住民対策については，トンネル施工での排水によりトンネル上部に点在する民家の生活井戸が枯渇しているため，水道を新たに敷設することにより生活用水に対して補償を行っている．

トンネル工事始点部分は，大規模な切り拡げ工事が完了しており(**写真-13**)，地形上，雨水はすべてトンネル側へ流れ込むため，大規模な排水設備が設置してある(**写真-14**)．

### 3-4　その他

ヨーロッパにおけるトンネル工事では，坑夫の守護聖者として聖バルバラを祀る風習があり，坑



写真-10　トンネル切羽部



写真-11　支保工材



写真-12　吹付け状況

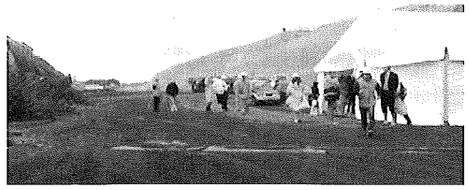


写真-13　トンネル坑口からSlivenec側を望む





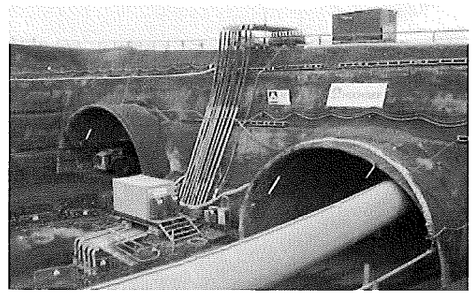


写真-14　トンネル坑口と排水設備



写真-15　聖バルバラ像

口に像があった．日本と同じく山の神は女神であった(**写真-15**)．

チェコではインフラ整備が急がれており，この現場もクリスマス以外は休みなしで，2交代の連続作業を行っている．

(文責：植木和幸・(株)精研)

## 4　CITY-TUNNEL

5月10日の夜，われわれは，プラハからチェコとドイツの国境まで約100km，国境からさらにドイツ国内を西に向かって150kmをバスで移動し，ドイツの東側に位置する都市ライプチヒに到着した．ライプチヒは旧東ドイツ内にあり人口が約50万人，ドイツで8番目に大きな都市である．昔から重要な商業地として繁栄したとともに，バッハやメンデルスゾーンが音楽活動を行った町である．また，世界最古の民間オーケストラ“ケヴァントハウス”もあり，「音楽の町」とも呼ばれている．また，東西ドイツ統一の引き金になった1989年のニコライ教会での月曜デモは，ここ，ライプチヒで起きた出来事である．

5月11日，われわれはライプチヒの中心街で行

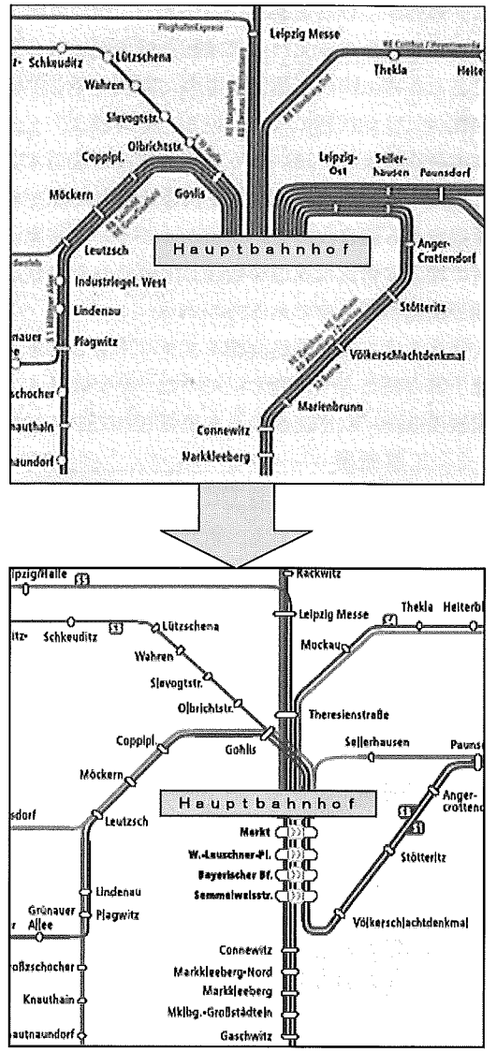



図-8　プロジェクト概要図

われているCity-Tunnelプロジェクトの現場を視察した．はじめにインフォメーションボックスに案内され，プロジェクトの概要説明を受けた．このインフォメーションボックスには，シールドの模型や電車の運転席から見える完成後の坑内や駅のシミュレーション映像が映し出されるモニターがあるなど，プレゼンテーション施設が充実していた．

### 4-1　プロジェクトの目的

現在のライプチヒの鉄道網は，**図-8**に示すよう

に，郊外からの鉄道がHauptbahnhof駅にすべて集まる形態となっている．本駅は行き止まりの駅であるため，市内を通過するのに時間を要し，利便性が欠けた状態になっている．

本プロジェクトは，こういった状況を改善するために，Hauptbahnhof駅を行き止まりの駅から通過できる駅に改良し，本駅からライプチヒ中心街の地下に新たな鉄道を敷設して郊外からの鉄道網と接続するものである．

発注者はドイツ国鉄，ライプチヒ市などであり，総予算が約５億7,100万ユーロで，資金はドイツ国鉄のほか，欧州連合からも出資されている．

### 4-2　工事概要

工事は2003年７月に着工しており，2010年に運用を開始する予定である．新たに敷設する鉄道の総距離はトンネル部と高架部をあわせて5.3km，構築する駅が５か所，駅を含むトンネル部の距離は4.0kmである．そのうち，シールド区間はBayerischer Bahnhof駅からHauptbahnhof駅に至る1.45kmで，単線トンネルを２本掘削する．

### 4-3　シールド区間の概要

シールドトンネルは，**図-9**に示すようにセグメント外径φ8.7m，セグメント幅1.8m，セグメント厚40cm，セグメント分割数８の単線トンネルである．列車の大きさが日本より大きいため(**写真-16**)，日本の地下鉄の単線トンネルと比べて大きなトンネル断面となっている．

本シールド工事は，Bayerischer Bahnhof駅から発進させHauptbahnhof駅に到達後，回収して，Bayerischer Bahnhof駅から再発進させる計画である．

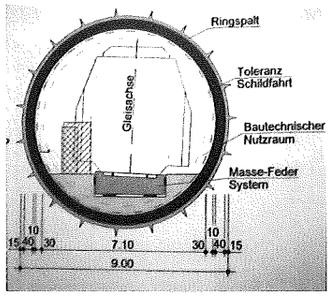



**図-9　トンネル断面図**



**写真-17　シールド**

掘進土質は砂礫層と砂混じり粘性土層で，トンネル下端から地下水位の最大高さは18m程度である．また，掘進土層にはφ１mを超える転石や圧縮強度が250N/㎟程度の砂岩の出現も想定されている．これらの土質条件を考慮して，シールドは**写真-17**に示すように，泥水式でカッタフェースにローラーカッタを装備し，φ800㎜以下の礫をチャンバ内に取り込むスリットを設けている．

土かぶりは13～17m程度と１$D$($D$：シールド外径)以上を確保しているが，中心街の建物の基礎に近接する箇所についてはセメント系の地盤改良を地上から施工している．地盤改良厚や改良範囲は土かぶりや近接状況に応じて変更している．駅部については，シールドを先行して通過させ，その後，開削工事により構築する．

現在，シールドはBayerischer Bahnhof駅から発進して約400mの掘削を完了している．

### 4-4　開削区間の概要

開削工事は主に駅部で行われている．本報告では，今回視察を行ったHauptbahnhof駅とMarkt駅の施工概要について報告する．

Hauptbahnhof駅では，既設の６つのホームと駅を廃止・取り壊して，その地下に新しいホームと駅を通過するための路線を構築している．現場は，供用中のコンコースが隣接し，駅の屋根を残置しているため(**写真-18**参照)，屋根の基礎の変状をレーザー計により観測しながら慎重な施工が行われていた．

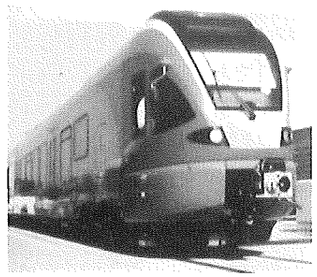


**写真-16　トンネルの利用列車**

Markt駅では，掘削深さ15～25m，





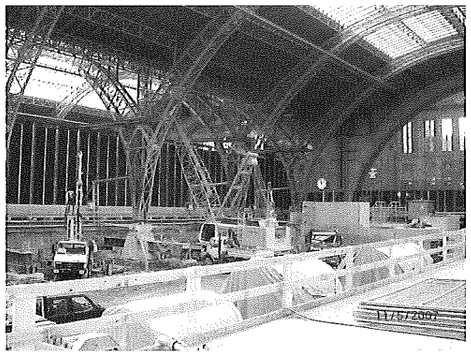


**写真-18　Hauptbahnhof駅の工事状況**

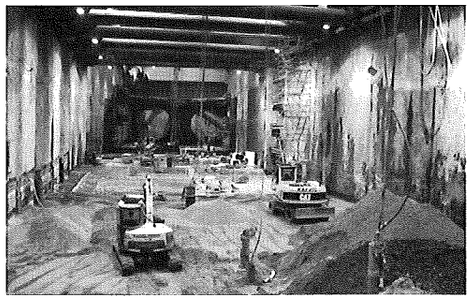


**写真-19　Markt駅の工事状況**

幅20mの開削工事が行われており(**写真-19**参照)，長さ140mのプラットフォームを構築している．現場近傍はビルが林立しているため，地盤や地下水の変位に留意して施工を行っていた．

### 4-5　視察を終えて

今回の視察では，シールド坑内に入れずシールド掘進やセグメント組立などの施工状況を視察できなかったことが残念であったが，供用中の駅部における大規模な改築工事の状況をみることができ有意義な視察であった．

(文責：松原健太・(株)大林組)

## 5　SCHMUCKE TUNNEL

### 5-1　はじめに

帰国前日の５月11日(金)に東部ドイツ第二の都市であるライプチヒより，最後の視察場所となるSchmucke Tunnelへと向かった．強い風が吹き荒れ，勢いよく回転する風力発電機が立ち並ぶのどかな田園風景の中を，バスで90分ほど強風に揺られて，Oberheldrungenの旧小学校舎を利用した現場事務所へ到着した．そこで工事概要の説明を受けた後，現場の視察へと向かった．

### 5-2　工事概要

本工事は，有名なアウトバーンの道路整備事業(約７km)のほぼ中心地に位置(**図-10**)しており，丘陵地帯(最大土かぶり：約70m)を貫く２車線道路トンネル($L$＝1,725m)を２本新設する工事である．２本のトンネルは約22mの中心間距離で配置されており，トンネル断面は力学的にもっとも安定したほぼ円形状が採用されている(**写真-20**，**図-11**)．進捗としては，１本は上半掘削を完了

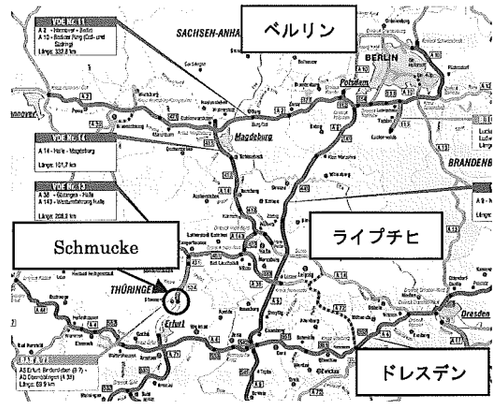



**図-10　トンネル位置図**

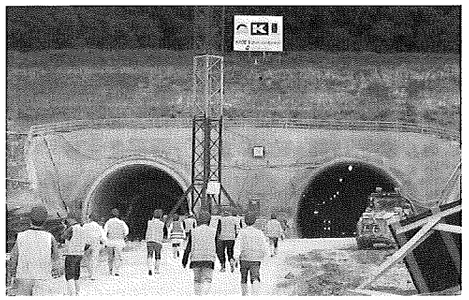


**写真-20　トンネル坑口全景**

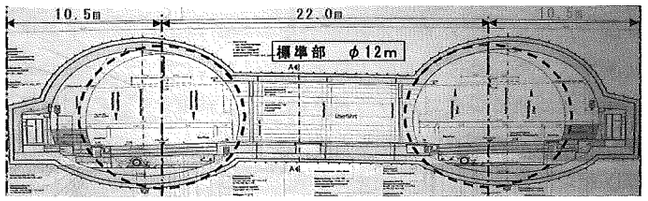



**図-11　駐車帯断面図**

(2006年11月)し，換気設備も撤去された中で下半の掘削作業が行われていた．もう1本は掘削が完了し，覆工が進められている状況であった．以下に工事の概要を示す．

トンネル名：Schmucke Tunnel
路線名称：アウトバーンA71延伸工事
工　　期：2005年～2008年末完成予定
工事金額：2,700万ユーロ
　　(約44億円　1ユーロ＝163円)
断面諸元：
　標準部：約100m²　掘削径φ12m
　駐車帯部：5か所　約140m²
　連絡坑部：5か所　掘削径φ6.8m
掘削工法：3分割NATM
掘削方式：発破工法
ずり搬出：タイヤ方式(35tダンプ)
覆　　工：RC構造(覆工厚$t$＝400～600㎜)
　　ウォータータイト構造
最大土かぶり：70m
地　　質：砂岩，石灰岩，土砂部

### 5-3　トンネル掘削

トンネル掘削は，上半，下半，インバートに3分割して各々を貫通させてから次の部分の施工を行う分割施工が採用されており，日本で多く用いられているような併進方式ではない．施工順序としては，上半を長孔発破(発破長＝4m)により両坑口より中心部に向かって掘削し，上半掘削完了後に下半掘削を同様に行い，次にインバートを中央付近から坑口に向かって2方向に仕上げている．支保構造は，ラティスガーダ支保工，メッシュ鉄筋，吹付けコンクリート，セメントミルク注入式ロックボルト($L$＝4～8m)により構成されている．支保の施工方法は，掘削後に1層目の吹付けを行い，ロックボルト打設，メッシュ鉄筋の設置を行った後に，仕上げの2層目の吹付けを行っている．よって，支保が完成した部分では平滑な吹付け面が見えるのみであり，日本のようにロックボルトの頭部は表れない．2層仕上げとなるために，支保が完成するのに2サイクル要していると思われる．

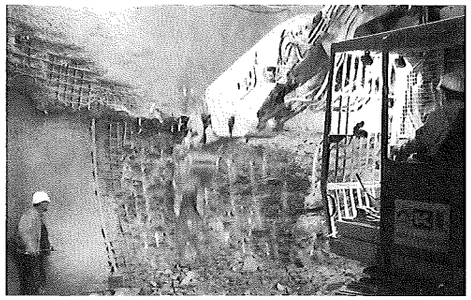


写真-21　下半掘削

トンネルの中間部分は谷状になっており，軟弱な地質であるため掘削時の切羽安定性を高めるためにディープウエル(最大深度90m，トンネル底盤部より根入れ8m)を20m間隔で設置し，工事中は地下水を積極的に排水している．工事終了後にはディープウエルは閉塞され，地下水を復元させる予定である．他の視察現場もそうであったが，欧州では積極的に地下水位を下げて切羽の安定性を高めて補助工法が不要な状態を作り，効率的に掘削を進めるのが主流のように感じられた．変位については3～10cm発生しているが吹付けの表面にクラックなどの異常は認められず，坑内からの特別な補助工法も採用されていない．なお，中間部の2か所の駐車帯部については連絡坑も含めて掘削が完了しているとのことであったが，時間の都合により確認できなかったのが残念である．視察時は下半の掘削作業中で，コンパクトにまとめられた2本の爪を有するショートブームの機械により壁面のコソク，ずり搬出作業が効率的に行われていた(**写真-21**)．

### 5-4　覆　工

ドイツでは覆工はすべてRC構造が基本であり，この現場も同様であった．鉄筋径は16㎜程度しかなく細く感じられたが，これは地震がない欧州の地理的条件，円形断面の採用によるためであろう．トンネル全線がウォータータイト構造となっているため，防水シート($t$＝3㎜)を全周にわたり設置した後に，インバート，アーチ部(1スパン長12m，1スパン/日)の覆工コンクリートの施工が順次行われている(**写真-22**)．覆工には1スパンごとに止水用の注入管(**写真-23**)が全周にわたり埋め込まれており，漏水が発生した際には，注入管からミルクを注入して止水を行い，ウォータータイト構造を維持できるシステムが採用されている．補修については，5年間の瑕疵担保期間中は施工業者側が行い，それ以降は漏水の原因により，発注者あるいは施工者にて補修される．

また，インバート下部には，掘削・防水シート作業などの施工効率，品質確保の対策として工事中の仮設排水管が配置されている．インバート断面の両側には通信用と思われる多孔型の管路が設置されており，アウトバーンを利用した効率的な情報通信インフラ整備が行われているようだ．視察時には坑口部は全断面の覆工が完了し，台車による表面補修が行われていた．

### 5-5　その他

工事は12時間労働の昼夜2交替制で，クリスマス，イースターなどの休暇もなく，ほぼ休みなく工事が進められており，作業員の勤務体系は4パーティーにより8日間勤務後に6日間休暇を標準としている．現場を休みなく稼働させるのは他の現場も同様であったことから，欧州では一般的であると思われる．それは，休日にマーケットなどが閉まっており，一斉に休暇を取る必要性がない文化的特徴があるのかもしれない．われわれの視察中にも重機が止まらないことから，各々が厳しい工程，契約条件下で工事が進められているように思われた．

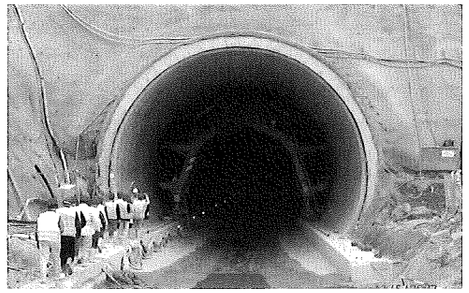


写真-22　全断面覆工完了

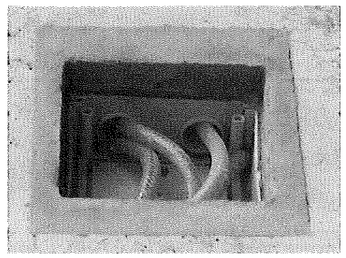


写真-23　止水用注入管

現場内では日本で見かける安全看板，安全通路などの安全対策がほとんどなく，防じんマスク，反射チョッキといった安全装備も着用していないため，日本の現場風景とはかなり異なる印象であった．廃棄物の分別はしっかりと行われており，環境保護を重視する欧州の姿勢が感じられた．

現場視察は，われわれの視察を楽しみにしていたとの言葉を受け，友好的な雰囲気の中で行われた．欧州の合理的な設計，シンプルかつ効率的なトンネル施工技術に触れることができ，とても有意義な視察であった．

(文責：足達康軌・大成建設(株))

## 6　おわりに

プラハで開催されたITA世界トンネル会議への参加と中央ヨーロッパ3都市でのトンネル現場の視察により，世界のトンネル建設事情の一部を調査させていただいた．それぞれについての詳細は前項および先月号に報告されているので，ここでは全般的な感想を述べることで“おわりに”に代えさせていただく．

今回が第33回目となる世界トンネル会議では，各国から多くの技術者が集い，120を超える口頭発表と70近いポスター発表を題材としてコミュニケーションを交わしていた．海外の技術者はこのような国際的な議論の場を，自国や自社あるいは自己のアピールの場として活用することに徹底している．見習わなくてはいけない一側面である．

訪問した3か国では，2004年のEU拡大時に加盟したチェコ(単一通貨ユーロは未導入)を含め，EU政策および好調なヨーロッパ経済の拡大にもとづいてインフラ整備が進められている．インフラ整備が一段落したといわれているわが国の事情に比べて大変うらやましい限りである．

このような情勢を受けて，訪問した3都市では旺盛なトンネル建設が進められているが，環境問

題や市民理解活動などではわが国と同様な課題を抱え対応していることが感じられた反面，安全面の考え方や労働環境，一部の技術的な見解についてはわが国との風土や歴史の違いを感じずにはいられない．これらの違いを検討してみることにより，技術のさらなる発展が図られるのではないだろうか．

今回訪問した3都市は，ハプスブルグ家の遺功輝くウィーン，旧市街全体が世界文化遺産として登録されているプラハ，そして商業都市として栄えるライプチヒである．それぞれが都市として長い歴史と重厚な文化を持ち独特の雰囲気を醸し出す中，音楽の街として共通する．ベートーベンやモーツァルトをはじめとするウィーン古典派の活躍，スメタナ，ドボルザークのプラハ，そして教会音楽を確立したバッハと管弦楽団を創立したメンデルスゾーンのライプチヒ．週末にはモールで弦楽四重奏が演奏(**写真-24**)されたり，ゴシック建築の教会やホールでも多くのクラシック音楽の演奏会が開かれている．このような17～18世紀の息吹が感じられる一方で，次世代に向けて積極的にインフラ整備が行われている．「サステナビリティ」を実現している街と言ってよいのではないだろうか．

街づくりに興味のある私にとって，路面電車についても報告しておきたい．石畳の坂をゆっくりと登るプラハのトラム，中央駅前に各方面行きの路面電車が並ぶライプチヒなど，今回訪問した3都市すべてで路面電車は市民の足として活躍していた．とくにウィーンは世界一の路線網を持ち，いち早く低床車両を導入している(当地ではULF




写真-24　モールでの弦楽四重奏



写真-25　ウィーンの路面電車

と言っているよう．**写真-25**はポルシェによるデザイン，シーメンス社製のULF)．また，一部を地下に引き込むことで地下鉄との相互利用の利便性を向上させている．

以上のようにトンネル技術は，安全で安心，環境に優れた国土や都市を形成していくうえで，欠かせない技術であることを再認識した．やはり“百聞は一見にしかず”である．このような有意義な視察を企画していただいた日本トンネル技術協会をはじめ，関係された皆様に心から感謝申し上げます．

(文責：竹内友章・東京電力(株))

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





連載講座

# 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

**Q 11. 発進・到達工法で仮壁撤去工法と仮壁切削工法の得失について教えてください．**

A.

(1)　仮壁撤去工法と仮壁切削工法について

シールドの発進・到達工法は，事前に仮壁を撤去しておく方法(以下，「仮壁撤去工法」)と，シールドで直接仮壁を切削する方法(以下，「仮壁切削工法」)に分けられます．仮壁撤去工法は，鏡撤去時の地山崩壊の防止，およびシールドの残置・シールド引き出し時の地盤変状の防止を目的に，補助工法(薬液注入工法，高圧噴射攪拌工法，凍結工法，地下水位低下工法など)の採用を前提として施工します．

一方，仮壁切削工法は発進部や到達部の土留め壁をシールドで直接切削する工法，および土留め壁の芯材を引き抜いて直接地山を掘削する方法で，NOMST，SEW工法，EW工法，芯材引き抜き工法などが挙げられます．各工法の特徴を**表-1**に示します．

(2)　施工実績

シールド発進時の仮壁撤去工法と仮壁切削工法について，シールド外径，地下水圧に着目した結果を**図-1, 2**に示します[3]．仮壁切削工法は，シールド外径6m未満の中小口径では2割弱の採用ですが，それに対して大口径では半数程度の工事で採用されています．大口径の場合には，鏡切り時に地山を開放する期間が比較的長いため，地山崩壊の危険性，地上および地下埋設物への影響を考慮して仮壁切削工法の採用が多いと考えられます．

また，地下水圧に対しては，高水圧になるほど仮壁切削工法が多く採用されており，200kPa以上の地下水圧では仮壁切削工法が約4割の比率となっています．また，対象土質が玉石・砂礫地盤で，かつ礫径が大きい場合では高圧噴射攪拌工法

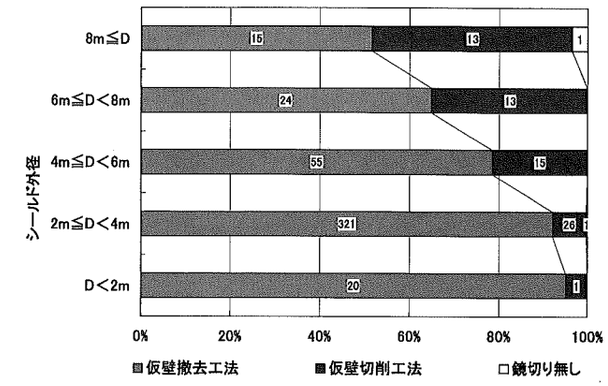



図-1　シールド外径別の実績

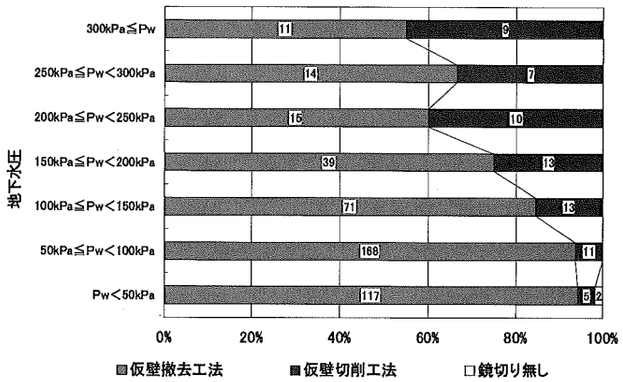
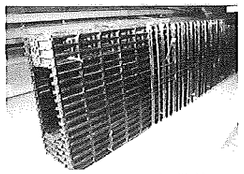
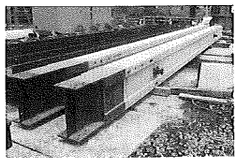
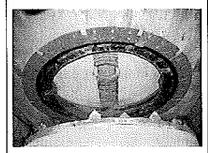
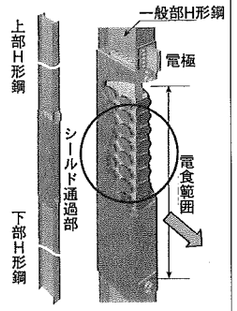
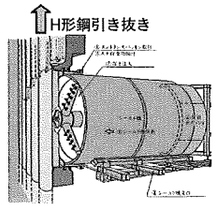



図-2　地下水圧別の実績

表-1　仮壁切削工法の特徴

| 工法名 / 項目 | NOMST[1] | SEW工法 | EW工法[2] | 芯材引き抜き工法 |
|---|---|---|---|---|
| | 仮壁を直接切削する方法 | | 仮壁を溶解，または引き抜く方法 | |
| 工法概要 | NOMSTはシールドのカッタビットで切削可能な高強度炭素繊維樹脂と石灰石コンクリートやモルタルのRC構造部材を直接切削する．  NOMST-GRM打設前  NOMST-GRM打設後 | 硬質発泡ウレタン樹脂をガラス長繊維で強化したFFU部材を直接切削する．  | 電食技術の利用により土留め壁の芯材を撤去する．   | シールド発進時に土留め壁のH形鋼を引き抜く工法である．   |
| 適用可能な立坑形式 | ・柱列式地下連続壁(SMWなど)<br>・RC連続壁<br>・ケーソン | ・同左 | ・柱列式地下連続壁(SMWなど)<br>・ケーソン<br>・鋼矢板，ライナープレート | ・柱列式地下連続壁(SMWなど) |
| 工法の特長 | ・地山を開放する作業がないため，安全性の向上が図れる．<br>・地盤改良は原則不要である． | ・同左 | ・地山を開放する作業がないため，安全性の向上が図れる．<br>・地盤改良などの補助工法が不要である．<br>・芯材に通常のH形鋼を使用可能である． | ・同左 |
| 立坑築造時の施工性 | ・立坑施工時は通常施工で対応可能<br>・立坑施工やNOMST切削時の地山の緩み，大割れ防止のための地盤改良の必要性を検討する必要がある． | ・同左<br>・同左<br>・FFU部材の剛性が芯材に比較して小さいために，掘削に伴う土留め壁の変形に注意する必要がある． | ・杭芯材建て込み時に，電食杭芯材とオーガとの干渉を防止するため，削孔と建て込みの施工順序の検討が必要である． | ・立坑施工時にソイルセメントとH形鋼との付着防止を行う．<br>・杭を抜いた部分は，土留め壁の剛性がないため，構造物を先行して打設するなどの対処が必要である． |
| シールド発進・到達時の施工性 | ・NOMST材料により，シールドについてはNOMST壁切削用ビットの形状，材質，配置を検討する必要がある．<br>・推進速度は1～3㎜/分程度で制御する．<br>・推進機構としては，低速推進装置を検討する場合がある． | ・SMWなどでは通常の先行ビットで対応可能であるが，ケーソン・RC連続壁の場合は先行ビットの追加の検討が必要である．<br>・推進速度は3㎜/分程度で制御する． | ・電食期間が比較的長く，電食期間中はエントランス内に泥水などを充填して，切羽を保持する必要がある．<br>・電食後は杭の剛性が小さくカッタビットの負荷が少ない．<br>・推進速度は5～10㎜/分程度で制御する． | ・杭の引き抜きの施工前に，シールドのチャンバ内に泥水などを充填して，切羽を保持する必要がある． |
| 実績(H18.3.末) | 196件 | 89件 | 11件 | 5件 |





による改良では礫の背面部に未改良部分が残るなど，地盤条件によっても発進・到達時の危険性をなくすため，仮壁切削工法が選択肢となります．

到達についても発進と同様の傾向であり，シールド外径，地下水圧，土質などを考慮して両工法を選択しています．

(3)　仮壁切削工法の留意点について

1)　カッタビット

仮壁切削工法はシールドのカッタビットで直接切削する方法，芯材を電食による溶解・劣化させる方法または引き抜く方法に分類でき，前者は地盤条件に対する検討を実施するとともに，仮壁切削に対するビットの形状，材質，配置などの検討が必要となります．

図-3に示すように切削概念には，大きく2通りあり，削り取るタイプ(山形・平形ビット)とはつり取るタイプ(強化先行ビット)に分けられます．




図-3　カッタビットの切削概念

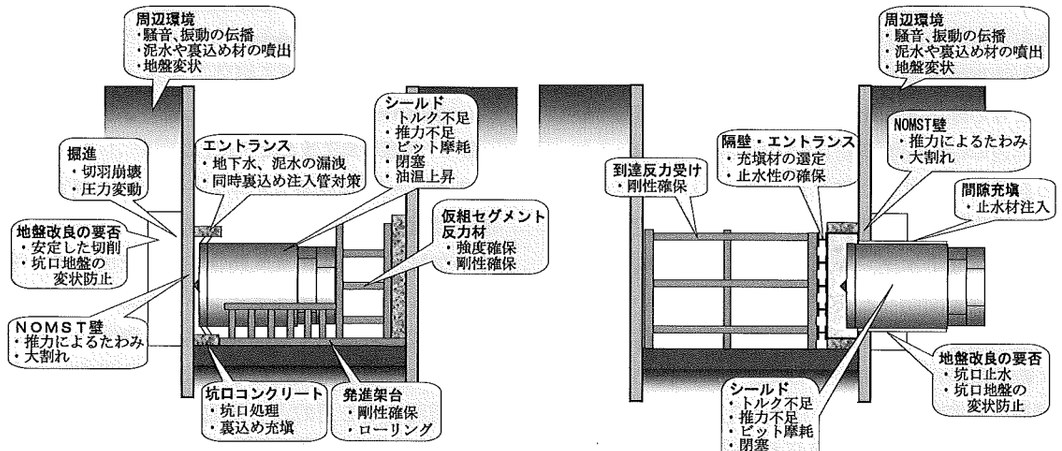
前者は，ノミで削り取るイメージで溝を掘る形式で実績も多くあります．後者は，タガネで削り取るタイプで，とくに摩耗が懸念されるシールド外周部に配置されています．

上記のビット種別および配置は，切削性能に直接関係するので十分な検討が必要です．すなわち，ビットの幅，間隔，メインビットからの先行量は実績をもとに決定しますが，削り残し部のコンクリートが適切に取り崩しできないとメインビットに接触し，切削抵抗が増え推進速度の低下となる場合があります．また，ビット間隔を大きく取った場合には削り残し部の剝離性が低下し，騒音・振動の発生原因となるため，詳細に検討する必要があります．

一方，到達時に採用する場合には，ビットの摩耗による切削性能の低下が懸念されます．対策として，摩耗に強い形状，段差ビットの採用，パス数の増加，予備ビットの採用などが挙げられます．さらに，土質や掘進距離を勘案して検討しなければなりません．

2)　補助工法

仮壁切削工法では，一般には補助工法は必要としないことが原則です．その前提として，発進・到達における重要な項目は確実な坑口の止水です．そのため，坑口構造としては，地下水圧によって




(1)　発　進　　(2)　到　達

図-4　仮壁切削工法における地盤改良の必要性の検討(NOMSTの例)

高水圧に耐えるエントランスパッキンによる確実な止水を確保する必要があります．**図-4**に仮壁切削工法における地盤改良の検討項目の例を示します．

とくに地盤変状に対する地盤改良の要否の検討項目として，地山貫入時の切羽圧力変動，立坑施工時の地盤の緩み，立坑掘削に伴う仮壁部などの変形による隙間，仮壁部の大割れの防止などが列挙でき，これらの対策として地盤改良の要否を検討する必要があります．

（文責：早川淳一/佐藤工業(株)）

## 参　考　文　献


1）NOMST研究会：NOMST発進・到達工の手引き，2006.6.

2）(財)下水道新技術推進機構：電食技術による直接発進到達工法　技術マニュアル，2002.6.

3）JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.36, No.2, pp.55-61, 2005.2.


**Q 12. 発進，到達時における地盤改良工法の種類と得失を教えてください．**

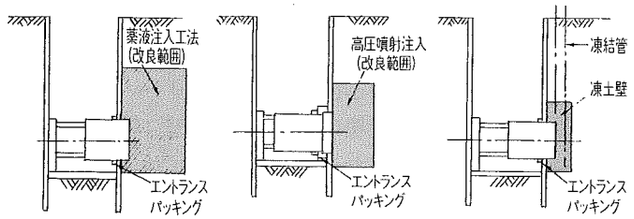
A.

（1）　シールドの発進，到達時の地盤改良

シールドの発進および到達時における地盤改良の目的は，①仮壁撤去時の地山の安定確保および地下水の流入防止，②シールド周辺部よりの地下水および土砂の流入防止，③立坑周辺の地表面沈下防止および地下埋設物への影響防止，などが挙げられます．

発進および到達における地盤改良の選定は，地盤条件，地下水圧，シールド径，土留め壁の形式，開放の放置期間などを考慮して安全で，かつ経済的な工法を選定する必要があります．

密閉型シールドの発進および到達のための地盤改良として用いられている主な工法は，**図-1**に示すように「薬液注入工法」，「高圧噴射撹拌工法」および「凍結工法」などがあり，多くがこれらの単独または組み合わせにより採用されています．




(a)薬液注入工法　(b)高圧噴射撹拌工法　(c)凍結工法

**図-1　発進・到達時の地盤改良工法[1]（代表例）**

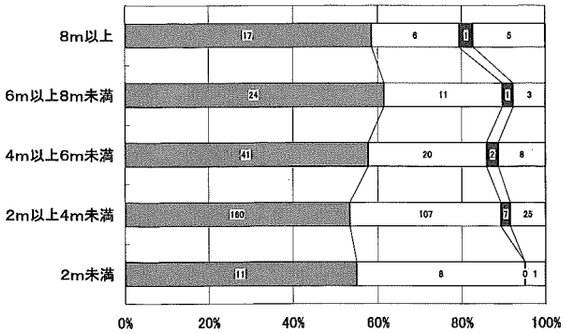



**図-2　地盤改良工法とシールド外径の関係[2]**

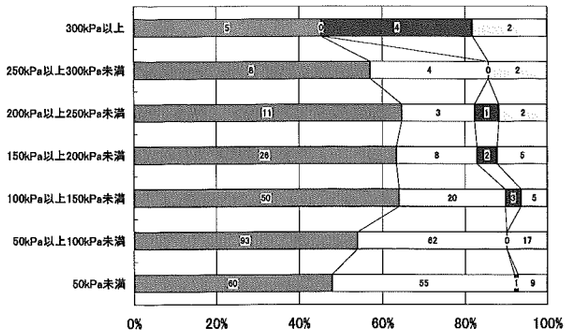



**図-3　地盤改良工法と地下水圧の関係[2]**

また，一部開放型シールドを適用する場合や，硬質地盤を対象とする場合の発進・到達防護工については，地下水の流入防止を目的としてディープウエル工法やウエルポイント工法などの地下水位低下工法を適用する場合があります．

とくに，最近の傾向としては**図-2, 3**に示すように，切羽安定を目的とした地盤改良の種類を比較した結果，シールドの大断面化や大深度化に伴い，従来の薬液注入工法に代わって長期間安定し十分な耐力が得られる工法として，高圧噴射撹拌工法





(噴射撹拌杭)が増加している傾向にあります．また，300kPa以上の高水圧条件下では凍結工法の比率も増加する傾向が見受けられます．さらに，同一の調査によると切羽を開放することなくシールドを直接発進・到達させることができ，安全性に優れた「仮壁切削工法」なども普及しています．

ここでは，主に地盤改良工法および地下水位低下工法の概要および得失を以下に示します．

（2）　地盤改良工法の種類と得失

1）　薬液注入工法

当工法は，注入材料を地盤の間隙に圧入して固結させることにより，地盤の止水性を高め地盤強度の増加を図る工法です．このため，シールドの発進および到達については，トンネル周辺地山の透水性を改良し，トンネル坑口部から地下水や土砂が坑口に流入するのを防止する目的で使用されます．当工法は，他の工法に比べて経済的な工法ですが，粘性土および硬質地盤では地盤間隙への注入が難しく，地盤の隆起などが生じて注入による影響がでる場合があります．

また，砂質土系地盤でも改良強度には限界があり，高圧噴射撹拌工法や凍結工法のように仮設構造物として評価できるような改良効果は期待できません．このため，一般には緩い砂層に適用される場合が多く，改良効果は主に粘着力の増強になります．砂質土の改良粘着力としては50～100 kN/m²程度が期待できるもので，透水係数は$10^{-4}$～$10^{-5}$cm/sec程度に改良されます．

2）　高圧噴射撹拌工法

当工法は，ジェットグラウトやスーパージェットなどに代表される工法で，超高圧噴流により地盤を切削し，地盤硬化材を充填して切削部分の土砂と硬化材を混合または置換して高強度の改良体を形成する工法です．シールドの発進および到達では，仮壁の外側に改良ゾーンを形成し，仮壁撤去時の土圧および水圧を抑えることを目的とします．

当工法は，地山の土粒子と硬化材の混合物による置換の形態をとるため，改良体の設計強度は地盤および硬化材の種類によって異なりますが，均質で高強度な改良体が得られます．このため，一般仮設構造物と考えて改良厚を設定します．

当工法の適用地盤は，各工法によって異なりますが，粘性土や砂礫，硬質地盤などの幅広い地盤での改良が可能で，改良体の標準型タイプでの設計基準強度は，粘性土で1 MN/m²，砂質土で3 MN/m²程度が期待でき，透水係数は$10^{-6}$～$10^{-7}$ cm/sec程度になります．留意点としては，施工深度が40m程度を超える場合には，造成径が変化して十分な改良杭の造成ができない場合があるので，実績などを勘案して別途検討が必要になります．

3）　凍結工法

凍結工法は，軟弱な地盤や地下水のある地盤を一時的に凍結固化させ，凍土による遮水性と高い強度を有する遮水壁または耐力壁を構築します．

当工法をシールドの発進および到達に適用する場合，とくに施工深度が大きく水圧が高い場合に効果的で，他の改良工法と比べて，①改良にむらがなく力学的性質が優れている，②地中温度測定による改良範囲・改良体強度の把握・管理が確実にできる，③他構造物との密着性に優れ公害性がない，などの利点があります．その反面，改良(凍土造成)期間が長く施工期間中の設備スペースが必要で，他工法と比べて改良単価が高くなるなどの課題があります．

さらに，当工法はほとんどの地盤に適用できますが，粘性土地盤においては凍結・融解に伴う凍結膨張・解凍収縮が生じる場合があります．また，ブライン方式の場合は地下水流が2 m/day[2]を超える地盤では正常な凍土造成が阻害されることもあるため，それらの地盤については別途検討が必要になります．

凍結した地盤の改良範囲などの検討では，高圧噴射撹拌工法と同様に仮設構造物的な設計を行います．このとき，適用する設計基準強度としてはおおむね粘性土で3 MN/m²，砂質土では4.5MN/m²(−10℃)程度期待でき，高水圧条件下においても非常に小さな透水係数が得られます．ただし，留意点としては，塩分を含んだ砂質土などでは改

良強度が低下することが挙げられます．

4)　地盤と地盤改良工法の適用性

**図-4～5**に実績調査にもとづいた，シールド発進・到達時における地盤と切羽安定を目的とした地盤改良との関係を示します．

発進部においては，砂質土および粘性土などの緩い地盤では，高圧噴射攪拌(噴射攪拌杭)工法が70～90%と多く採用されています．

また，到達部においては発進部と同一傾向にあるものの，高圧噴射攪拌工法の比率が低下して薬液注入工法が増加する傾向にあります．

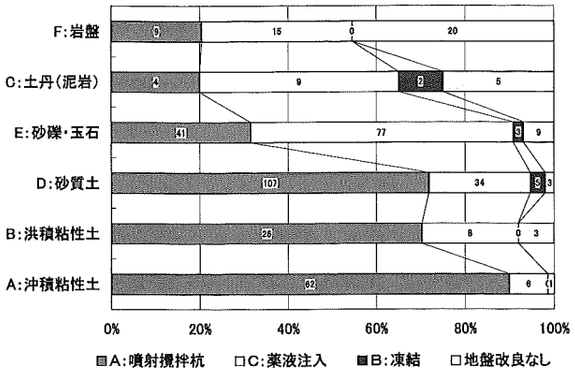



**図-4　発進部の地盤と地盤改良の種類**[3]

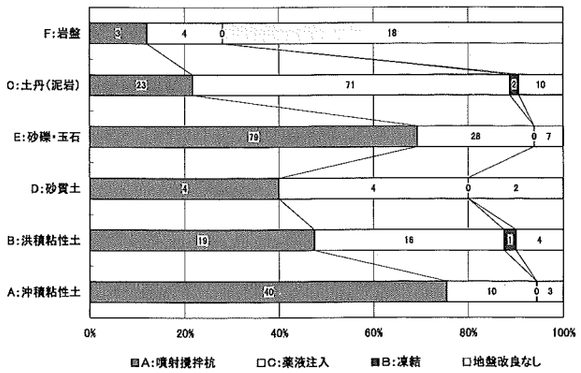



**図-5　到達部の地盤と地盤改良の種類**[4]

これは，発進部では縦断(進行)方向の土・水圧に対抗するせん断強度($\tau = C = q_u/2$)が必要であることが挙げられます．また，到達部では薬液注入工法の場合，鏡切りを施工する前に容易に追加注入を行えることに起因するものと考えられます．

以上のことから，主な地盤改良工法における改良体の設計に用いる強度を**表-1**に示します．

(3)　地下水位低下工法の得失

地盤改良工法とは異なりますが，その他の切羽安定を目的とした補助工法として薬液注入との併用で地下水位低下工法が用いられた例があります．

当工法は，一般に発進・到達における単独の防護工としてではなく，硬質地盤などで開放型シールドなどを選定したときに，地山の(間隙)水圧を低減して切羽安定のための補助工法の一環として，発進・到達を含めたかたちで適用される場合があります．

地下水位低下工法としては，シールド下端が地表よりおおむね6～7mと浅い場合はウエルポイント工法が採用され，それ以深の場合はディープウエル工法が採用されます．また，地上からの施工が不可能な場合は，トンネル坑内から水平ボーリングなどによって地下水位低下を図る例もあります．

当工法は，シールドの大気圧条件下での施工を容易としますが，脱水による圧密沈下や井戸の水位低下などの周辺環境に影響を及ぼす場合もあるので，事前の検討および施工中の十分な計測・監視が必要になります．

(4)　地盤改良とエントランスパッキン

エントランスパッキンは，地盤改良を実施した場合でも，発進坑口とセグメントの間より地下水，泥水，泥土などの立坑内への流入防止と，裏込め注入材の流入防止を目的として用いられます．

一般に，地盤改良をシールド機長以上実施すれば，エントランスパッキンには水圧が作用しない構造となりますが，エントランスパッキンの設置により地盤改良の不良や掘進時のボイドからの地下水圧による出水にも対応が可能となります．

**表-1　設計基準強度のまとめ**

| | 改良体の設計に用いる強度(設計基準強度) | | |
|---|---|---|---|
| | 薬液注入工法 | ジェットグラウト工法 | 凍結工法 |
| 砂質土の改良 | 50～100kN/m² | 1～3 MN/m² | 4～7 MN/m² |
| 粘性土の改良 | — | 1 MN/m² | 2～4 MN/m² |
| 備考(協会などの使用例；呼称) | 改良粘着力 | 一軸圧縮強度 | 一軸圧縮強度(−10℃) |





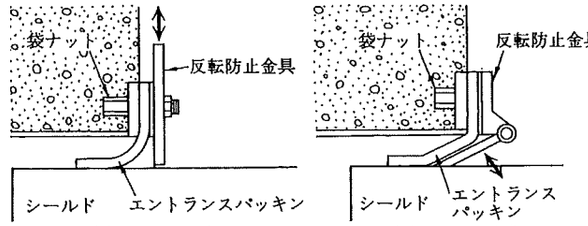



**図-6　エントランスパッキン**[5]

とくに，発進・到達時は掘進に時間を要することから，エントランスパッキンの重要性が高まり，2段パッキンのように高水圧に耐える構造の検討が必要になります．

**図-6**にスライド式およびフラップ式のエントランスパッキンの適用例を示します．

(文責：齋藤優/(株)錢高組)

## 参考文献

1) シールドトンネルの新技術研究会：シールドトンネルの新技術，土木工学社，pp.127-131，1995.1.
2) (社)日本建設機械化協会：地盤凍結工法―計画・設計から施工まで―，p.11，39，1982.2.
3) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達工実態調査報告(2)，トンネルと地下，Vol.36，No.2，pp.55-56，2005.2.
4) JTA都市トンネル小委員会：シールド発進・到達工実態調査報告(3)，トンネルと地下，Vol.36，No.3，p.62，2005.3.
5) (社)地盤工学会：シールド工法の調査・設計から施工まで，pp.186-189，1997.2.

**Q 13. セグメントの防水工の種類とその特性について教えてください**

A. シールドトンネル内への漏水は，排水に伴うランニングコストの問題，鋼材の腐食やコンクリートの中性化などトンネルの耐久性に影響を与える問題に加えて，地下水位低下による地盤沈下や地下水流の阻害など周辺環境に影響を与える恐れもあるため，トンネルの防水工は重要な課題です．

シールドトンネルの防水工は，背面側から順に，①裏込め注入材による防水，②セグメントに施す防水，③二次覆工，または一次覆工と二次覆工との間に施す防水(防水シートなど)に分けて考えることができます．

ここでは，セグメントに施す防水について，シール工を中心に紹介します．

(1)　セグメントの防水工の種類と特性

セグメントは，**図-1**に示すように，継手面，裏込め注入孔，ボルト孔などに防水工が必要となります．

1)　シール工

シール工は，セグメントの継手面に設けたシール溝の中にシール材を接着剤で貼り付けて継手間に挟み込むことで，材料のもつ弾性反発力や膨張圧により止水します．セグメントは，坑内を運搬して組み立てるため細かく分割されており，多くの継手面を有します．この継手面には，組立時の誤差や施工時や完成後の荷重による変形，地震や不同沈下の影響などにより，目開きや段差を生じるため，漏水がもっとも問題になる箇所であり，シール工は，セグメントの防水工の中ではもっとも重要となります．

2)　コーキング工

コーキング工は，セグメントの継手面内側にあらかじめコーキング溝を設けておき，組立後にコーキング材を充填します．コーキング材料は，エポキシ系とシリコン系が一般に用いられています．エポキシ系は湿潤状態でも接着性がよく経済的で

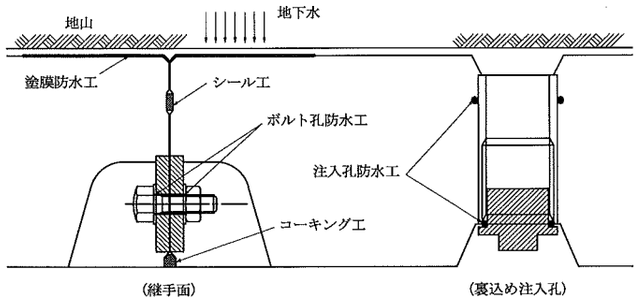



**図-1　セグメント防水工の概要図**

あり使用例が多く，シリコン系は変形への追随性に優れるなどの特徴があります．

コーキング工は，二次覆工省略型の場合，内面の平滑性を得る目的や防食対策としても施工されます．

3)　ボルト孔の防水工

ボルト継手を採用する場合，ボルトワッシャとボルト孔の間にリング状のパッキン材を設けてボルト孔からの漏水を止水します．ボルト孔はシール工よりも内側にあるため，シールが効かなかった場合やクラックなどセグメントに損傷があった場合に機能します．

4)　注入孔の防水工

コンクリートセグメントの場合，裏込め注入孔の外周側に沿った漏水を防ぐため，注入孔の外周にパッキン材を取り付けます．また，裏込め注入孔の内側からの防水には，注入プラグのねじ込み部にパッキン材を取り付けます．しかし，それでも注入孔は漏水を起こしやすいため，同時裏込め注入を採用する場合などでは，セグメント吊り手兼用の注入孔は非貫通とすることも行われています．

5)　塗膜防水工

コンクリートセグメントの場合，注入孔やセグメント継手金具の周囲は，コンクリート厚さが薄くなり，防水上の弱点となりやすいため，高水圧が作用するような場合，セグメントの背面側にエポキシ樹脂などの塗膜防水処置を施すことがあります．

（2）　シール材

1)　シール材の種類・形状・配置

シール材は，シールド工法の発展とともに，ブチルゴム，加硫ゴム，ウレタン系のものなど，さまざまな材質のものが使用されてきましたが，最近は，水と反応して膨張する水膨張シール材が，止水性能に優れるため，ほとんどのシールド工事で採用されています．

水膨張系シール材には，クロロプレンゴムや天然ゴムなどの基材に吸水性樹脂や吸水性ウレタンを添加した均質材料のものと非膨張の材料と組み合わせた複合型のものがあります．いずれも，その膨張圧によって止水を行うことが特徴ですが，適度な硬さとすることで，弾性反発力にも十分期待できます．このため，組立初期の水圧や目開きに対しては弾性反発力で対応し，長期的には弾性反発力が応力緩和で弱まった場合，膨張圧にも期待するなど，施工条件に応じたシール材の設計が可能です．

シール材の断面形状は，長方形，台形，突起付きのほか，ゴムガスケットなど内部に中空部を設けたものがあります．台形は，同じ断面積の場合長方形よりも厚さを大きくできるため，初期の弾性反発力を大きくできる利点がありますが，反面，上辺の幅が小さくなるため，継手の目違いに対する余裕は小さくなります．

シール材の配置は，シール溝を設けたうえで，継手面の両面に貼るのが主流となっています．シール材は，シール溝に封入されることで，自封作用による接面圧力の増加が期待できます．なお，この場合，シール材の断面積は，シール溝の容積に対し100%以内としておく必要があります．一方，鋼製セグメントでは，シール溝を設けずに継手面の片面に貼るのが一般的ですが，最近は，確実な止水性を得るため，圧延過程で平鋼にシール溝を設けるケースも多くなっています．

また，止水性を高める必要がある場合は，シール材を内外2段配置とすることもあります．

2)　シール材の設計方法

①　作用水圧に対する設計

シール材設計の考え方は，基本的に密封理論（パッキン理論）によります．これは，**図-2**に示すようにセグメント継手面に発生する接面応力が，作用水圧以上であれば漏水は生じないとの考えです．

シール材の設計は，施工時と供用時に分けて，それぞれ目開き量・目違い量，経時的な応力緩和や水膨張圧，自封作用など接面応力に影響を与える要因を考慮して照査します．

以下に算定式の例[3]を示します．

（施工時）$P_{W1} \leqq \sigma_1 = \sigma_0 \times \gamma_S \times \rho_1 \times \mu_1$





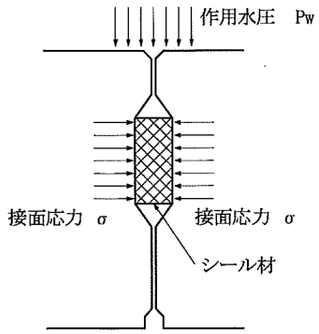



**図-2　シール材による止水原理**

（供用時）$P_{W2} \leqq \sigma_2 = \sigma_0 \times \gamma_S \times \rho_2 \times \mu_2$

ここで，

$P_{W1}$：施工時の設計水圧

$P_{W2}$：供用時の設計水圧

$\sigma_1$：施工時のシール材接面応力

$\sigma_2$：供用時のシール材接面応力

$\sigma_0$：設定目開き量，設定目違い量を考慮したシール材の初期接面応力

$\gamma_S$：シール材の硬さ，形状，寸法のバラツキを考慮した材料係数

$\rho_1$：施工時の応力緩和を考慮した接面応力の有効係数

$\rho_2$：供用時の応力緩和と水膨張を考慮した接面応力の有効係数

$\mu_1$：自封作用による接面応力の増加係数（施工時）

$\mu_2$：自封作用による接面応力の増加係数（供用時）

②　セグメント組立に対する設計

セグメント組立に対するシール材の設計は，ボルトなどの継手の締結力によって，シール材がシール溝内に封入できることを条件とします．シール材の初期弾性反発力が大き過ぎると，精度のよい組立ができずに，大きな目開きや目違いを生じ，それらが漏水につながることがあるためです．

3)　施工時の留意点

①　シール材の貼り付け

シール材の貼り付けは，シール溝の所定の位置に精度よく，接着剤により貼り付けます．貼り付け時にシール材を引っ張り過ぎると断面積が小さくなるため，適度な張力で貼り付けます．また，コーナー部は，断面積が縮小し，防水上の弱点になりやすいため，別途コーナーシールで補強したり，あらかじめコーナー形状に加工されたシール材を用いることもあります．

②　セグメント運搬組立

継手面からの漏水は，シール材の性能不足よりも，シール材の損傷，セグメントの組立精度不良や破損により多く発生しています．セグメント運搬時や，坑内での組立時は，シール材を損傷しないように注意するとともに，仮に損傷した場合は，貼り替えてから組み立てることが重要です．Kセグメントが軸方向挿入型の場合や，リング継手としてワンタッチジョイントを採用している場合は，継手面をこすりながら組み立てるため，シール材には専用の潤滑剤を塗布し，組立時のシール材の損傷を防止する必要があります．

また，シール材を外周に1段貼り付けた場合，セグメント組立時に外周の目開きが大きくなり，組立精度が悪くなったり，コンクリート製の場合，内面側があたって角欠けが増えたりする恐れがあります．このような場合，セグメント継手面がバランスよくあたるように，継手面の内側に緩衝材を貼ることがあります．

4)　内水圧が作用するセグメントの剥離現象[4]

内水圧の作用する二次覆工省略型セグメントでは，洪水時などの内水圧作用時に継手が目開きし，シール材が水と接して膨張後，トンネル内の水が排水され継手が閉じる際にシールの反力によりセグメント内面に剥離が生じた事例があります．このような条件でのシール材の設計にあたっては，留意する必要があります．

（3）　ラッピング工法[5]

ラッピング工法は，1リングごとに，シールド掘進と併行して防水シートを巻き立て，円周および軸方向のシートの溶着を行い，その後，防水シー

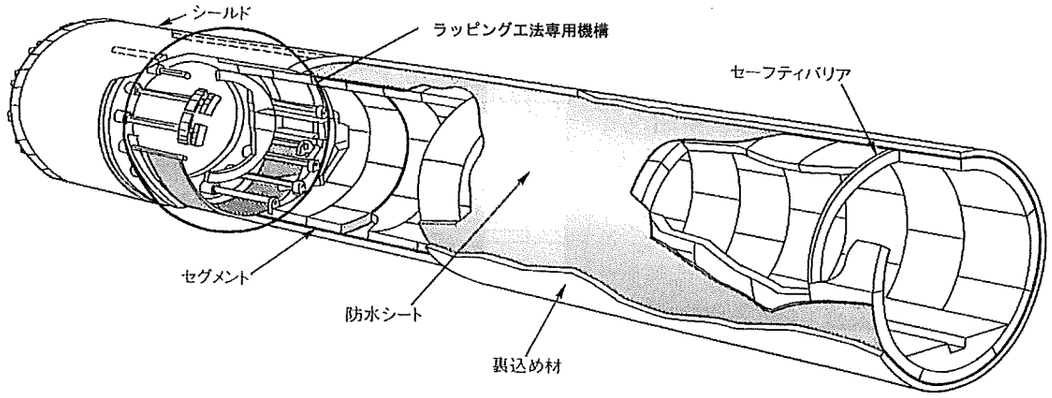



図-3　ラッピング工法の概要図

トの内側にセグメントを組み立てます．これを1サイクルとしてくり返し行い，セグメント外周全体が，防水シートで覆われたシールドトンネルを構築します．

さらに，一定間隔でセグメントリング間にセーフティーバリアを取り付け，止水区間を区画化することで，万一の漏水時にも漏水範囲を限定し，漏水箇所の発見と補修を容易とします．ラッピング工法の概要図を図-3に示します．

本工法は，きわめて高い水圧が作用する場合や，海底部や湾岸部など「塩害」によるセグメントの劣化を抑止する必要がある場合などに有効な技術です．

（4）　漏水時の止水方法

漏水が発生した場合は，裏込め注入の再注入や地下水圧が低い場合，急結セメントによる止水が一般的に行われています．また，地下水圧が高い場合，漏水部にドリルで削孔し，特殊ノズルを装着したグリスガンなどを用いて，水反応型ウレタン樹脂を注入する止水方法があります．

（5）　おわりに

高水圧下でのトンネルの漏水は，いったん発生すると，その完全な止水は容易ではなく，止水工には多大な費用がかかることがあります．このため，防水工の検討にあたっては，シール材の材質や形状の目的にあった選定を中心として，安易に経済性を追求することなく，慎重に行うことが肝要です．

（文責：金子正士/三井住友建設(株)）

## 参　考　文　献

1）(社)日本下水道協会：シールド工事用標準セグメント，pp.357-397，2001.7.
2）野本寿・新藤敏郎：シールドトンネルの覆工技術(12)，防水，トンネルと地下，Vol.24，No.8，pp.65-72，1993.8.
3）(社)日本トンネル技術協会(東京電力(株)委託)：セグメントシール材による止水設計の手引き，pp.14-32，1997.1.
4）高柳淳二・山藤稔・佐々木一英・佐藤元治：内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察，外郭放水路　第一工区・第二工区，トンネルと地下，Vol.37，No.3，pp.53-59，2006.3.
5）山本秀生・中嶋悦三・石関潤一・芳賀由紀夫：ラッピングシールド工法を重要構造物直下に採用，名四共同溝　大高シールド，トンネルと地下，Vol.33，No.1，pp.37-44，2002.1.





# 土木情報 No.412 今月の主な入札結果

（8月10日～9月9日）

| 事業主体 | 工事名 | 請負会社 | 請負額 単位百万円 |
|---|---|---|---|
| 東北農政局 | 隈戸川(一期)農業水利事業幹線用水路踏瀬工区(その2) | 西松建設 | 402.8 |
| 関東農政局 | 霞ケ浦用水(二期)農業水利事業笠間幹線その13 | 飛島建設 | 289 |
| 〃 | 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 |
| 九州農政局 | 筑後川下流農業水利事業佐賀西部導水路(東山田工区その1) | 青木あすなろ建設 | 208 |
| 〃 | 〃　〃　〃　(〃　その3) | 岩田地崎建設 | 460 |
| 〃 | 筑後川下流白石平野(二期)農業水利事業山脚導水路(小通東工区) | 青木あすなろ建設 | 192.5 |
| 〃 | 〃　〃　〃　(小通西工区) | 梅林建設 | 223 |
| 北陸地整 | 湯川導水施設 | 会津土建・滝谷建設工業JV | 135 |
| 中国地整 | 尾道松江自動車道高瀬山T | フジタ | 1,287 |
| 〃 | 可部BP大林T | 東亜建設工業 | 681 |
| 九州地整 | 新若戸沈埋T部(7号函)製作 | 五洋建設・不動テトラ・寄神建設JV | 2,040 |
| 〃 | 佐賀497号浜玉T新設 | 日本国土開発 | 990 |
| 西日本高速道路 | 舞鶴若狭自動車道小浜 | 銭高組 | 4,840 |
| 都・下水道局 | 八広幹線 | 竹中土木・坂田建設JV | 1,880 |
| 〃 | 西日暮里幹線 | 竹中土木・森本組JV | 3,595 |
| 〃 | 豊島区高田三丁目，文京区目白台一丁目付近再構築二次覆工 | 西松建設・大本組・株木建設JV | 314 |
| 〃 | 練馬区中村一丁目，豊玉中一丁目付近枝線 | 佐田建設 | 1,378 |
| 新潟県 | 国管渠等7-1-2-1号新井郷川2号幹線(4工区)管渠築造 | 小柳建設 | 188.67 |
| 〃 | 〃　7-1-2-2号　〃　(5-1工区)管渠築造 | 岩村組 | 128.3 |
| 〃 | 〃　7-1-2-3号　〃　(5-2工区)管渠築造 | 佐藤企業 | 185.9 |
| 岐阜県 | 金山下呂T(金山その1) | 岐建・金子・中島JV | 1,860 |
| 〃 | 〃　(〃その2) | 市川・青協・日東・日産JV | 2,810 |
| 愛知県 | 日光川3号放水路(函体工その6) | 大興・イチテック・吉田JV | 1,380 |
| 〃 | 青木川放水路(高屋第13工区) | 渡邊・林本・昭和JV | 970 |
| 大阪府 | 寝屋川流域下水道大東門真増補幹線(第3工区)下水管渠築造 | ベクテル・岸本建設JV | 2,120 |
| 〃 | 〃　飛行場北増補幹線(第2-1工区)下水管渠築造 | ショベル・丸五基礎JV | 838 |
| 〃 | 主地茨木亀岡線付替府道(2号T) | 森組・ハンシンJV | 1,164 |
| 高知県 | 地域高規格(北川奈半利)道路改築(車瀬T) | 新進・福留・杉本JV | 815 |
| 〃 | 県道柏島二ツ石線地方道路交付金(一切T) | ミタニ・月灘JV | 493 |
| 宮崎県 | 国道448号道路災害復旧(仮称)小崎T(2期) | 龍南・西條・岡崎JV | 884.57 |
| 仙台市 | 日の出町公園調整池建設1 | 鉄建・高工JV | 1,257 |
| 川口市 | 伝右川右岸第八排水区雨水函渠 | 中原建設 | 141 |
| 東松山市 | 19管渠(高坂第一地区)3工区築造 | 伊田テクノス・大野工務所JV | 175 |
| 草加市 | 長栄町第7公園下雨水貯留槽築造(19-5) | 保永建設・大翔建設JV | 717.1 |
| 船橋市 | 谷津管渠布設(その39) | 白石 | 123.12 |
| 〃 | 前原幹線管渠築造 | コムシス・京成JV | 649 |
| 市原市 | 南総2号幹線管渠築造 | 五洋建設 | 161.18 |
| 横浜市 | 道志川系口径1100㎜導水管及び都岡幹線口径38インチ送水管移設 | 長野・新栄JV | 359.3 |
| 〃 | 鶴ケ峰幹線口径1000㎜送水管新設(その1) | 森本組・馬淵建設JV | 1,044 |
| 〃 | 釜利谷線口径800㎜配水管新設(その2) | テクノジャパン | 112.8 |
| 大東市 | 東部排水区(第36工区) | 奥村組土木興業 | 304.5 |
| たつの市 | 半田神部中央雨水幹線築造 | 日特建設 | 1,802.1 |

## トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

### 音戸トンネルが貫通

広島県が整備を進める呉市にある警固屋音戸バイパスの音戸トンネル(仮称)の貫通式が行われた．完成は来春の予定．トンネルは延長489m，幅員10.5mの２車線．幅員2.5mの歩道が併設される．

### 浄瑠璃トンネルが貫通

北海道開発局が施工する国道277号雲石道路の浄瑠璃トンネルが貫通した．トンネルは延長785m，道路幅員7.5m，内空断面56m²．

NATMによる片押しで施工を進め，約８か月をかけて貫通した．

### 第２東名島田第１トンネル下り線貫通

第２東名(新東名)の島田，藤枝市間を結ぶ島田第１トンネル下り線(約2.6km)の貫通式が行われた．

同トンネルは平成15年３月に掘削を開始．TBMによる先進導坑拡幅掘削を採用した．

### 東北新幹線の全19トンネルが貫通

おいらせ町にある東北新幹線八戸－新青森間の錦ケ丘トンネル(全長1,370m)の貫通式が行われた．これで同区間の19のトンネルすべてが貫通した．東北新幹線は2010年度末に全線開通予定で，東京－新青森間を約三時間で結ぶ予定．

### 九州最長の共同溝が貫通

九州地整が施工する福岡外環状共同溝における最後の施工区間において，シールドが最終到達立坑へ無事進入，貫通した．これにより，これまで九州管内で整備された共同溝の中で一番長い延長16.2kmの「福岡外環状共同溝」が，１本のトンネルとしてつながった．

同共同溝は，福岡市博多区西月隈～西区拾六町に至る延長16.2km．平成10年度に一部区間より工事着手している．今後，今年度内の本体工事完成を目指し，貫通した坑内の整備などを促進する予定．

### 夢洲トンネル沈埋函部が貫通

近畿地整大阪港湾・空港整備事務所が進める，大阪港の咲洲と夢洲の2.1km間を結ぶ大阪港夢洲トンネル(仮称)事業において，大阪港主航路の真下を通る夢洲トンネルの沈埋函部(約800m)で最後の沈埋函が沈設され，貫通を迎えた．

同トンネル事業は，夢洲と咲洲のコンテナターミナルを一体的に運用するため，両地区を結ぶ臨港道路と臨港鉄道・北港テクノポート線を海底トンネルとして計画したもの．このたび最終となる８番目の沈埋函を設置し，貫通の運びとなった．

### 徳山ダム導水路計画が合意

「徳山ダムに係る導水路検討会」は，導水路の計画について，上流部で揖斐川から長良川をへて木曽川に導水するルートと，上流部で長良川にいったん導水した流量を，長良川を流下させ下流部で取水，木曽川に導水する二つのルートを併設することで合意した．

同検討会は，これまで７回開催され，揖斐川上流に建設中の徳山ダムにより，渇水対策として貯留した水を，木曽川，長良川に補給するとともに，愛知県，名古屋市が新規開発した都市用水を利用するために必要となる揖斐川からの導水路計画についてについて検討してきた．

木曽川水系連絡導水路計画の目的は，①木曽川水系の異常渇水時において，徳山ダムに確保された渇水対策容量のうち，4,000万m³の水を木曽川と長良川に導水することにより，木曽川下流地点で約40m³/sを確保し，河川環境の改善を行うこと，②徳山ダムで開発した愛知県および名古屋市の都市用水を最大４m³/s導水することにより，木曽川で取水できるようにする，など．

導水ルートは，地形・地質条件，経済性，河川流況および利水区域などから，揖斐川西平ダム付近から木曽川坂祝地区に導水することを基本とし，長良川中流部への維持流量の供給および事業費の軽減を図るため木曽川への導水の一部を長良川を経由するものとした．工期は平成27年度までを予定し，諸元延長約44km，トンネル径は内径４m前後を想定．最大導水量は，上流部，揖斐川―長良川で20m³/s，長良川―木曽川間が15m³/s，下流部の長良川―木曽川間で５m³/sを想定している．

### 大日影トンネルが遊歩道に

甲州市が2005年度から整備を進めてきた「大日影トンネル遊歩道」が完成し，一般開放が始まった．

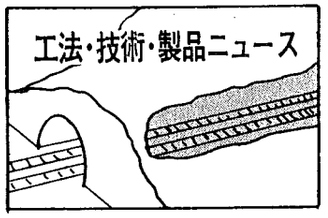
同遊歩道は，1902年に完成し，中央本線開通後1997年まで使われていた「大日影隧道」をJR東日本から無償で譲渡を受け，当時の線路や水路をそのままに遊歩道として整備したもの．全長1,367.8m，幅約3.5m，高さ4.90m．通行時間は，午前９時～午後３時で，通行料は無料．

### 地下鉄東西線新寺工区が本格着工

地下鉄東西線整備事業で，「新寺工区」(仙台駅東-新寺駅間，0.66km)の本格着工に伴う安全祈願祭が新寺駅建設地で行われた．東西線に設けられる13駅のうち，駅舎の本格工事が始まるのは同駅が初めて．








### CALS/EC完全対応データベースシステム

川田テクノシステムは，CALS/EC完全対応データベースシステム「CALS台帳」を発売した．

同製品は，地図から情報の検索を行うためのインタフェイスを搭載した，多岐にわたる情報の管理・活用・共有が行える，操作の簡易な低コストのデータベースシステム．

膨大なCDなどの記録メディアに保存された電子納品データの代表的な情報のみをパソコンに保存し，詳しい情報を欲しいときは登録から記録メディアの位置を得て，情報を取得する．地図データは「電子国土サイト」を利用することにより，最新の地理情報を取得し，いつでもリアルタイムの更新が行える．

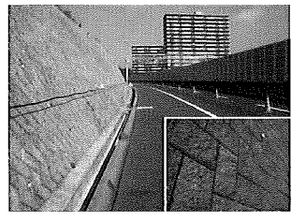
### ブロック積み擁壁への吹付け型吸音工法の施工法確立

飛島建設は，2001年２月に開発した「吹付け型吸音工法」について，凸凹法面(ブロック積擁壁)での吸音性能を確保した施工法を確立した．同工法は「切土法面(ブロック積擁壁)における反射音の低減技術」の技術公募に採用されている．

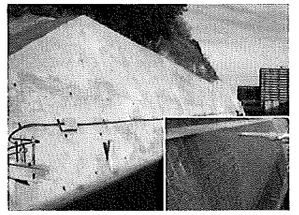
同工法は，パネルタイプでは対応が難しい湾曲した擁壁やトンネル壁などで吸音処理実績を重ねてきたが，このたび，ブロック積み擁壁のような凸凹法面での吸音性能を確保した施工法を確立した．

施工は，廃ガラスを原料とする超軽量な人工骨材を用いて多孔質化・軽量化させたセメントモルタル(吹付け型吸音材)を現地で吹付け，耐候性や不燃性を備えた吸音材を施工する．他の工法に比べ，専用プラントの設置に要するスペースや，アンカーボルトおよびメッシュ筋設置のための準備が必要となるが，費用はパネル系吸音材と比べて大差ないとしている．

一般的な吸音材の多くは，そのままでは屋外で使用可能な耐久性が得られず，保護パネルにより処理面が覆われるため，維持管理上問題があり，また，成型パネル品は下地形状に曲面や凹凸などがある場合は直接施工が不可能などの課題があった．



施工前　ブロック積み擁壁



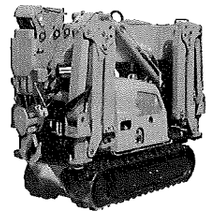
施工後　吹付け面状況

### シリーズ最小のかにクレーンを新発売

前田製作所は，かにクレーンシリーズに新たに「MC174CW」をラインアップした．

同機は，シリーズ最小の機体寸法とし，全長1.87m，全幅0.59m，全高1.3m(格納時・写真)とし，2tトラックに横積み可能となり，運搬の効率化を実現した．さらに，吊り能力は1.72t×1.0mを確保している．

乗用しないタイプでは始めて，油圧走行の２速切替え，アウトリガ張出し/格納を一括で操作できるシステムを装備，電気部ハーネスの集約するなど，操作性，整備性を向上させている．



### 新設コンクリート構造物品質保証システムを開発

奥村組は，新設コンクリート構造物の品質保証システムを開発し，実施工において有効に機能する体制を構築した．これにより各示方書や仕様書で求められる品質保証に加え，独自の品質保証システムにより信頼性の高いコンクリート構造物の構築を図るとしている．

同システムでは「施工前，施工段階，施工後」の段階ごとに品質チェック過程を設ける．施工前の照査により構造物仕様の耐久性能照査を，施工段階においては「運行管理システム」「品質管理システム」を用い照査を行う．施工後には，赤外線画像と実体画像の重ね合わせによる欠陥探査，マイクロフォン計測による打音データを用いた欠陥探査，超音波トモグラフィーを用いた欠陥探査，および広帯域超音波を用いた詳細な欠陥位置の探査を行う「非破壊検査システム」や「鉄筋検査システム」などを逐次行う．

各段階で収集したデータはサーバに集約し，発注者，技術者と共有．全データを保存するとともに，定型の帳票に加工して出力できる．これら活用により構造物の品質を損なう欠陥がないことを保証するものとし，万一不具合があった場合にも，原因を追究することで次の打設にフィードバックし，欠陥の連鎖を抑止するものとしている．

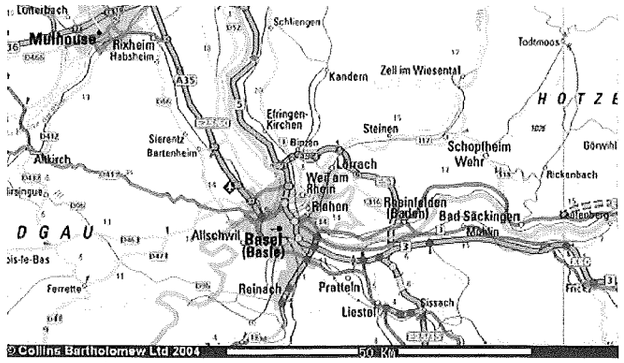
# 海外文献速報

## （社）日本トンネル技術協会 国際委員会

### 精巧なシュプールが南へ/Size, sophistication spur rail drive south

Tunnelling & Trenchless Construction, June, 2006, pp.23–24

ドイツにおける最長機械化施工によるトンネル建設の紹介である．トンネルは，Freiburgとスイス国境のBaselを結ぶものであり，掘削機械はHerrenknecht社のTBMで高速自動コンベヤシステムによる土砂搬出装置を備えている．国営ドイツ鉄道(株)は，包括的な高速レールネットワークを造るために膨大な金額を費やしている．ほぼ完成しつつあるが長大トンネル建設が現在も行われている．現在，Karlsruhe と Basel 間の Markgräfler Land 地域の複線区間では，Bad BellingenからEinmeldingenの間でライン川沿いの谷腹に多くの狭いカーブが存在している．この区間を長距離トラックのために2本の直線トンネルにより最適化するものである．Katzenberg Tunnelでは2本のトンネルが計画され，延長9,385mのうち，8,984mが地下である．ライン川沿いのこの線は，中央ヨーロッパのネットワーク上，もっとも多くの往来があるルートのうちの一つであり，国際貨物輸送における鉄道輸送でのスイスの主導権がより大きく重要となる．




2003年に，Ed Zublin(スイス)が率いるWayss & Freytag(ドイツ)，Jaeger Bau(オーストリア)，Marti AG(スイス)の4社連合のKatzenberg Tunnel Consortiumが落札した．ドイツのコンサルティング会社は，Lahmeyer Internationalが最初のプロジェクト開発の大部分とKatzenberg Tunnelを含むSchliengenとEimeldingenの間の町の調査業務を請け負った．そして，NATMとTBMの技術や環境に対する比較検討結果からTBM方式を選定した．

地質は，主に粘土岩，粘土と泥灰岩，泥灰岩を含む石灰岩と砂岩の複合層である．600kPa(6 kgf/cm²)の水圧が確認されており，トンネルは最大土かぶり厚110mである．

トンネルは径9.4m(完成断面径)の2本であり，500m間隔にて安全/避難目的の通路が設けられている．横坑は長大である．それは，2本のトンネルが振動によるトンネル崩落が起こるのを避けるため，600～800mの間隔にて掘削されるように設計されているためである．

TBMは，Herrenknecht社の二つのEPBシールドが使われ，外径は11.12mである．Herrenknecht 社がSchwanauで使ったもので最大径のものである．TBMは，Marti Technics社製のコンベヤシステムによりずりを搬出する．このシステムは，四つのパートを含む設計がなされている．

- 9 kmまで拡張可能な幅800㎜の二つのベルトコンベヤシステム(各々1,065kWの駆動力を持つ)
- 30,000m³容量の中間貯蔵施設
- 600kWのベルトコンベヤ(1,300t/hと幅1,000㎜)
- TBMから最終処分位置での完全自動化．

このトンネルでは，最新の安全器材を特徴とする特別な消火コンテナをトンネル建設ために製作している．これは後のプロジェクトにおいても利用するものである．これは，ツイストロックシステムを備えているすべてのトラックやコンテナで運搬でき，緊急時には，トラクターによりトンネル内に牽引される．このコンテナには，クルーのための七つの区画が用意され，そのうち二つには酸素補給装置が備わっている．

鉄道トンネルの効果は，2012年の開通によりKarlsruheとBaselの旅行時間が，現在の100分から70分まで短縮されるとしている．

(文責：伴　享・佐藤工業(株))





### ゴットハルトベーストンネルとセネリベーストンネルの現況総括/Stage reached by Work at the Gotthard and Ceneri Base Tunnels

By P. Zbindenほか：TUNNEL, June, 2006, pp.14–47

ゴットハルトベーストンネルはスイスで建設中の全長57.1kmの双設トンネルであり，2015年に開通予定である．完成後は青函トンネルを抜いて世界最長の鉄道トンネルとなる．2006年4月時点で，立坑を含んだ掘削総延長153.5kmのうち，92.3km(60.1%)の掘削を完了した．本稿では，ゴットハルトベーストンネルの各工区(Amsteg区間，Sedrun区間，Faid区間，Bodio区間)とセネリベーストンネルに分けて，進捗状況を詳述している．

Amsteg区間では，50mの熱水変質した断層区間をTBM掘進し，掘削を90%完了した(2006年の4月時点)．Sedrun区間の膨圧区間では鋼製可縮支保で対応し，1.2kmのほぼ半分の掘削を完了した．Faid区間でも西側トンネルで膨潤が生じたが，2005年の12月に掘削完了した．2006年3月にマグニチュード2.4の山はねによる震動が生じ，ライニング表面の亀裂や剝落を生じた．現在，測




図-1　ゴットハルトベーストンネル(http://wikipedia.org/wiki/Gotthard Base Tunnel)

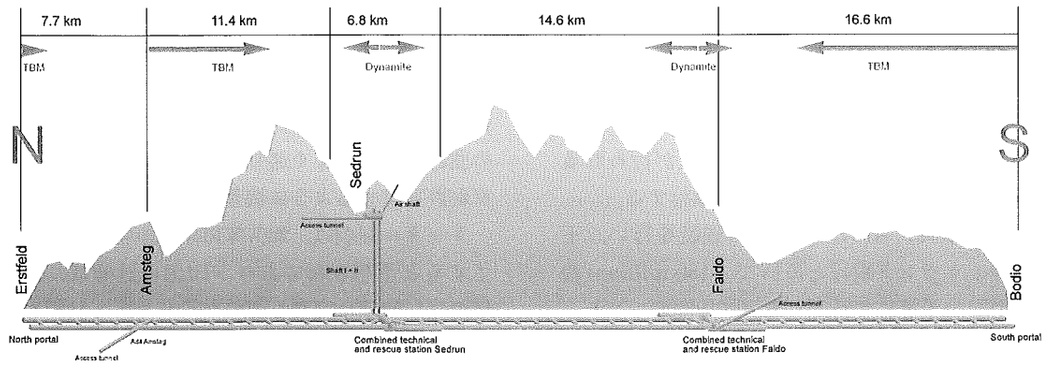



図-2　トンネル縦断図(http://en.wikipedia.org/wiki/Gotthard Base Tunnel)

定機器を設置して観測中であるが，その後も振動が1月に1回程度生じている．Boid区間ではTBM掘削が成功し，38m/日の掘進速度を記録した．90%の掘削を完了しており，Faid区間への到達まで残り2kmである(2006年夏到達予定)．

セネリベーストンネル(15.4km，Camorino～Vezia)は2006年6月より掘削開始，2018/19年に開通予定である．

本稿では，30ページ以上の誌面を割いて現況を詳しく総括している．ご興味のある方は参照されたい．

(文責：山本　肇・大成建設(株))

## DLRを拡張　ウールウィッチ　アーセナルへの延伸/Expanding the DLR：the Woolwich Arsenal Extension

Tunnelling & Trenchless Construction, September, 2006, pp.12–14

テムズ川の下に建設される2本のトンネルによりWoolwich Arsenalに延伸されるDocklands Light Railway(ドッグランド・ライト・レイルウェイ(DLR))[1]工事の紹介である．これは，1987年に£77 million(約174億円　1ポンド＝226円)でDLRプロジェクトが11両編成と15の駅で開始され，現在94の車両と38の駅で年間5,000万人を輸送している．この鉄道は，イギリスで最初の無人運転システムであり20年前の開通より安全性に信頼がおかれている．

イギリスで2012年にオリンピックが開催されるため，この線のほかにオリンピックメインスタジアムがあるStratfordへの建設が行われている．鉄道建設はNorth Kentから直接オリンピックメインスタジアムのあるStratfordへのルートのみならず，テムズ川の北より射撃競技が行われるWoolwich Arsenalへのルートを供給する．

延伸工事は，AMECが設計・建設を行い，王立スコットランド銀行とのJVで£180 million(約407億円)の予算にて行われる．30年間のコンセッション(営業権)での企業への総融資額は，王立スコットランド銀行とヨーロッパ投資銀行で建設コストを含め£210 million(約475億円)となる．建設は，AMECのJVであり，建設後のメンテナンスは引き続きAMEC JVが担当し，工種，設備などでWeston Williamson(建築)，Lovat(TBM)など九つの企業が参加する．

トンネルは川底より35m下に位置し，地盤は，最初が非常に堅固なチョーク，その後沖積層と仮設サイトから段丘礫層，終点がWoolwich Arsenalの川べりにサネット砂層がある．

TBMはカナダのLovat製土圧系シールドであり，6.1m径でオープンノーズと五つの注入用の装置を備える．セグメントは，CV Buchanにより製作され，発進位置の近くに特別なプラントが建設されている．セグメントリングは，幅1.5mの八つの台形ピースである．

TBMの掘進目標はチョーク層で1サイクル1.5m長を15分で掘進し，セグメントの建て込みを35分にて行う．このプロジェクトでは，19,400個のセグメントに相当する2,425のセグメントリングが必要となる．セグメントリング1.5mあたり，セグメントと地山の間に3.6m³のグラウトを行う．掘削ずりは，コンチネンタルコンベアにて供給されるコンベヤシステムにて搬出される．トンネルの総掘削土砂量は，約105,040m³である．

掘削は，最初が5.5%の下り勾配，テムズ川の下は水平，最後のセクションは5%の上り勾配である．運転は2組で12時間シフト，週5日間の作業である．週末は装置のメンテナンスのために使われ，トータルな無駄時間はない．

セグメントの品質と公差を維持することは重要であり，プラントで製作したすべてのセグメントが検査者により検査され，20個の内の一つは工場長による2次検査が行われる．これは，トンネルの曲線区間をうまく通り抜けるために，ライニングが許容できるように調整されるためである．

トンネル掘削は，2007年の早期か中くらいに終了すると予想されており，DLRの延伸は，2009年の早い時期に完成し運転が行われると計画されている．

(文責：伴　享・佐藤工業(株))







# 社団法人 日本トンネル技術協会 会報

## 1. 会員の現状

| | 8月25日現在 |
|---|---|
| 正会員 | 2,150名 |
| 団体会員 | 407名 |
| 個人会員 | 1,743名 |
| 名誉会員 | 1名 |
| 計 | 2,151名 |

## 2. 委員会の開催状況(8月1日～31日)

**①調査研究関係委員会**

◎技術委員会

共通技術小委員会

ずり出し方式調査WG：8/28(小暮誠主査ほか9名)解析結果を検討

都市トンネル小委員会Q&A施工WG：8/30(中島泰彦主査ほか18名)原稿を検討

耐震設計検討特別委員会：8/9(今田徹委員長ほか17名)作業方針を検討

計　3回開催　47名出席

**②運営広報関係委員会**

◎総務委員会

広報小委員会：8/30(大塚正博委員長ほか6名)今後の方針を検討

会誌WG：8/8(大島洋志主査ほか14名)9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

文献紹介WG：8/21(大久保誠介主査ほか15名)海外文献を査読

ニュースWG：8/28(小島宗隆主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会：8/29(桑原彌介委員長ほか15名)催物事業を検討

計　5回開催　63名出席

合計　8回開催　110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)<br>International Tunnelling and Underground Space Association(国際トンネル協会)<br>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 | 25 | 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 |
| **(発表会)** | | | |
| 第60回(山岳)<br>「厳しい条件を克服した山岳トンネル工事」 | 2007. 9.26 | 200 | 東京都 |
| 第61回(都市)<br>「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」<br>「若手に伝えたい都市トンネル施工技術」 | 2007. 9.27 | 200 | 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 | 30 | **82頁参照** |
| **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 | 30 | **84頁参照** |

# 第10回トンネル技術ステップアップ研修会

# 「山岳部門」開催のご案内

各社におかれましても，社員に対して独自の技術研修を実施しておられるかと思いますが，トンネル技術者の技術力向上を目的とし，併せて若い技術者同士の交流の機会を提供する場として第10回トンネル技術ステップアップ研修会「山岳部門」を下記のとおり開催することといたしました．研修はトンネル経験５〜10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象とし，本研修会のために書き下ろされた教材にもとづき，執筆者が直接講義するものであります．また現場研修会も併せて開催いたしますので奮ってご参加下さいますようご案内申しあげます．

なお，本研修会は(社)土木学会のCPDプログラムに認定されているほか，土木学会トンネル工学委員会後援事業でもありますことを申し添えます．

**建設現場概況**

| | |
|---|---|
| 発注者 | 国土交通省 |
| 見学箇所 | 圏央道城山八王子トンネル(その１)工事 |
| 施工者 | 熊谷組・前田建設工業JV |
| 概要 | 延　長：上り線 $L$＝1,198m，下り線 $L$＝1,126m，作業坑 $L$＝114m<br>断　面：標準70m²，最大166m²<br>施工法：NATM発破，機械掘削<br>圏央道で最長となる全長約3,600mの城山八王子トンネルの北工区で，現場周辺は自然環境豊かな地域で，貴重種も生息，振動・騒音・濁水対策が必要(仮設ヤード全体を覆う防音ハウス設置)．河川直下横断もある． |





— 記 —

**開　催　日**：平成19年10月25日(木)，26日(金)

**研修内容**：

第１日目(10/25)

13：30　中央線「八王子」駅改札前集合，バスにて移動
14：00　工事事務所着，工事概況説明，着替え(各自持参)
14：40　建設所出発
15：00　城山八王子トンネル現場見学，ヘルメット・長靴貸与
16：00　質疑応答，ヘルメット・長靴返却
16：30　現場事務所出発
17：30　宿舎着，懇親・宿泊(八王子市内ホテル)

第２日目(10/26)

8：30　開会の挨拶　日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉　桑原　彌介
8：40　総　説　京都大学大学院工学研究科資源工学専攻教授　朝倉　俊弘
9：00　設　計　首都大学東京都市環境学部都市基盤環境コース教授　西村　和夫
9：50　調　査　(財)鉄道総合技術研究所防災技術研究部部長　木谷日出男
10：40　覆工・インバート
　飛島建設(株)土木本部環境・リニューアルグループトンネルリニューアル担当課長　川端　康夫
11：30　膨圧・崩落対策　(株)熊谷組土木事業本部トンネル技術部課長　中北　昭浩
12：20　昼　食
13：00　補助工法　前田建設工業(株)土木本部土木技術部トンネルグループ副部長　櫻井　孝臣
13：50　TBM　大成建設(株)土木本部土木技術部部長　領家　邦泰
14：40　新技術の動向　(株)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　山田　隆昭
15：10　質疑応答
15：50　修了証書授与　同所解散

**定　　員**：30名

**参　加　費**：会員58,000円，一般65,000円(バス，宿泊・懇親，食事，教材代含)

**申し込み方法**：この案内文書添付の申し込み用紙に記載のうえ，FAXをもってお申し込み下さい(複数の場合は申し込み書を複写願います)．電話での申し込みは受付けませんのでご了承願います．

〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル
社団法人日本トンネル技術協会　ステップアップ研修会係
TEL：03-3553-6174　FAX：03-3553-6145

**支払方法**：上記申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者名記入のうえ，下記にお振り込み願います．現金書留でも結構です．

郵便振替口座　00160-7-196331　日本トンネル技術協会

**そ　の　他**：①参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理出席は差し支えありません．
②10/25の現場見学では，ヘルメット，長靴は貸与していただきますが，作業着は各自持参してください．
③参加者の変更通知は，開催日１週間前までに願います(修了証書発行)．

＊テキストを事前に配布いたしますので，住所等は必ず記載願います．

下記申し込みにかかわる個人情報につきましては，他に利用するものではありません．

| 第10回トンネル技術ステップアップ研修会(山岳部門)参加申し込み書<br>下記のとおり申し込みます | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 氏名(ふりがな) | | 年齢 | 歳 | 足のサイズ | cm |
| 最終学歴 | 年　　卒 | | | 専　攻 | |
| 会社名 | | | | 所属役職 | |
| 会社住所 | 〒　— | | | 電話番号 | —　— |
| 現場経験 | 現場箇所と担当部署を記載(ない場合は,「なし」と書いてください.) | | | | |
| 研修会でお聴きになりたいことや議論する課題がございましたら書いてください. | | | | | |

# 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」開催のご案内

本研修会は，シールド工法の計画から設計，施工，維持管理までを網羅した実践的な内容を主体とし，テキストも他に例を見ない実務的なものとしています．また演習についても，具体的にプロジェクト計画に即した検討を行う中身の濃いものとしています．研修はトンネル経験5年から10年程度の新進気鋭の中堅技術者を主な対象としており，同研修会は(社)土木学会のCPDプログラムにも認定されていますとともに，土木学会トンネル工学委員会後援事業でもあります．

本講習会の特徴は，

・経験豊富な講師陣との本音の討論会　　・演習を通じての実践的事例研究

であり，

企業者の技術者には，「建設から維持管理にわたる技術全般」

コンサルタントの技術者には，「現場施工に関する知見」

施工会社の技術者には，「施工技術の習熟と計画や設計に関する知見」

メーカーの技術者には，「設計と施工に対する理解」

などに役立つプログラムとなっていますので，奮ってご参加くださいますようご案内申しあげます．

— 記 —

**開　催　日**：平成19年11月1日(木)，2日(金)

**会　　場**：銀座キャピタルホテル新館2階「ローズ」(案内図参照)
中央区築地3-1-5　TEL：03-3543-8211　地下鉄日比谷線「築地」駅徒歩1分





**研修内容**：

第1日目(11/1)

8：30　受付開始

司　会　(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部長〈事業委員会委員〉　木戸　義和

9：00　開会の挨拶　日本交通技術(株)代表取締役社長〈事業委員会委員長〉　桑原　彌介

9：10～9：20　主旨説明　(財)地域地盤環境研究所東京事務所長　小山　幸則

9：20～10：10　調査・計画　東京地下鉄(株)建設部調査課課長補佐　荻野　竹敏

**計画から維持管理までの調査のポイントと結果の判断方法**

**—建設副産物の取扱い—**

10：10～10：20　休　憩

**工法選定・シールドマシン計画のポイントとトラブル事例**

10：20～12：00　施　工(1)　佐藤工業(株)土木事業本部技術部技術第二課課長　守山　亨

12：00～12：45　昼　食

**施工計画・施工管理のポイントとトラブル事例**

12：45～16：45　施　工(2)　(株)間組土木事業本部技術部都市土木グループ担当部長　名倉　浩

(株)熊谷組土木事業本部シールド技術部副部長　河越　勝

16：45～17：15　演習事前説明

**「トラブルの原因と対策」について徹底討論**

17：30～20：00　討論会(夕食含む)

第2日目(11/2)

**覆工設計のポイントとトンネル変状の実例・原因・対策**

**—トンネル変状の実例と維持管理ポイント—**

9：00～11：30　設計・維持管理

パシフィックコンサルタンツ(株)交通技術本部鉄道部地下構造設計グループ課長補佐　清水　幸範

日本シビックコンサルタント(株)事業統括本部構造技術ソリューション部長　斎藤　正幸

11：30～12：15　昼　食

**シールドの設計・施工計画の演習**

12：15～14：45　演　習(グループ検討)

14：45～16：30　演　習(グループ発表)

17：00　修了証書授与，同所解散

**定　　員**：30名

**参　加　費**：会員45,000円，一般60,000円(昼食2回，夕食，教材代含)

**申し込み方法**：この案内文書添付の申し込み用紙に記載のうえ，郵送またはFAXをもってお申し込み下さい．電話での申し込みは受付けませんので，ご了承願います．

〒104-0041　東京都中央区新富2-14-7　新光第一ビル

社団法人日本トンネル技術協会　ステップアップ研修会係

TEL：03-3553-6174　　FAX：03-3553-6145

**支払い方法**：上記お申し込みののち，郵便振替用紙通信欄に行事名と参加者名記入のうえ，下記にお振り込み願います．現金書留でも結構です．

郵便振替口座　00160-7-196331　日本トンネル技術協会

**そ　の　他**：①参加費の払い戻しはいたしかねますが，代理出席は差し支えありません．

②参加者の変更通知は，開催日1週間前までに願います(修了証書発行)．

＊テキストを事前に配布いたしますので，住所等は必ず記載願います．

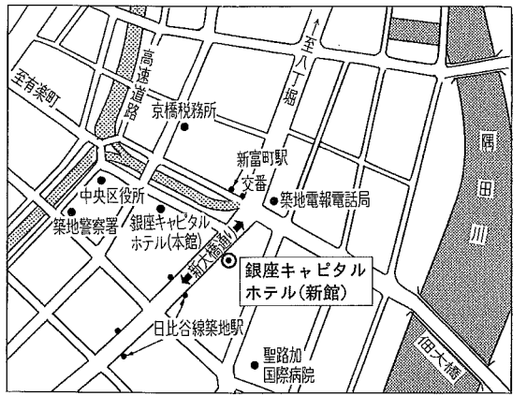
下記申込みにかかわる個人情報につきましては，他に利用するものではありません．

## 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)参加申し込み書

下記のとおり申し込みます.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 氏名(ふりがな) | | 年齢 | 歳 |
| 最終学歴 | 年 卒 | 専攻 | |
| 会社名 | | 所属役職 | |
| 会社住所 | 〒 － | 電話番号 | － － |
| 現場経験 | 現場箇所と担当部署を記載(ない場合は,「なし」と書いてください.) | | |
| 研修会でお聴きになりたいことや議論する課題がございましたら書いてください. | | | |

〔案 内 図〕




銀座キャピタルホテル新館
地下鉄有楽町線新富町駅下車 3,4番出口 徒歩1分
地下鉄日比谷線築地駅下車 3,4番出口 徒歩1分





# ホームページをリニュアルしました

## 社団法人日本トンネル技術協会

ホームページのリニューアル版を8月に公開いたしました.今後,会員の要望や協会内の委員会のご協力を得ながら内容の充実化を図っていきます.皆様のご協力お願いいたします.

**http://www.japan-tunnel.org**




ホームページおよび協会事業活動に関するご意見はこちらへ

E-mail webmaster@japan-tunnel.org

## 11月号予告[11月1日発売予定]

●低濃度マルチパスグラウト工法に関する研究
●北陸新幹線　高峰トンネル
●圏央道　八王子城跡トンネル
●名古屋市営地下鉄　6号線
●東京ガス　中央導管幹線
【連載講座】
●シールド工事の施工に関するQ&A(5)

＊内容等は変更になる場合がございます

### 編集後記

◆最近，鉄道模型がブームのようです．NHK教育でも鉄道模型の講座が放送されています．団塊の世代の老後の楽しみとして，子供が出たあとの空き部屋を利用した趣味なのでしょうか．わたしは世代的には団塊Jrに近いのですが，なんとなくブームに感染し，鉄道模型講座なんかを見ながら，自分の鉄道模型レイアウトを妄想したりしています．
◆いちばんのお気に入りの構想は，山岳鉄道を想定した，谷川下流付近の駅を出た路線が，山裾を巻きながら，尾根をトンネルでくぐり，谷を何度か橋梁で跨ぎつつ，山頂の駅にいたる往復路線の計画です．
◆レイアウトする構造物としては，山裾を巻く箇所の擁壁やスノーシェッドは定山渓国道のものにこのみとなじみがあるので，これを模そうとかんがえています．橋梁は名橋を配し，下流付近の集落には豊海橋/フィーレンデール，中腹でMIHO musiumの張弦梁＋斜張橋で大きくスパンしてトンネルに入り，終点駅にはマイヤールの3ヒンジアーチで到達する，というのが実現性はともかく，第1案です．かなりミーハーです．
◆さてトンネルですが，列車の動きの面白さを考えると2，3本は必要かと考えています．模型上は坑門のみでの表現になるのですが，シェル構造ふうの軽めの造型がみあたらないのがなやみです．なにかおすすめの坑口形状がございましたら教えてください．
◆とはいえ，実現可能になるのは子供が大きくなり部屋が空く15，6年後．そのころにまた，ブームが来れば実現するかもしれません．

(K.K.)

★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10号〔通巻446号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年9月20日　印刷
平成19年10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．

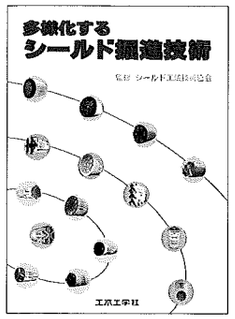


好評発売中

# 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

【好評発売中】

# 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　送料 290円**

いわゆるバブルがはじけたここ数年，コスト縮減はすべてに優先する至上命題となっており，シールド工事もその例外ではない．シールド工事の直接費に占めるセグメント費の割合は約4割程度と言われているが，シールド工事費の縮減のためにはセグメントの製造コストの縮減は避けて通ることのできない課題の一つとなってきている．

このような状況を受けてここ10年ほどの間に，急激にいろいろなセグメントが提案され実用化された．

これらのセグメントのうちにはよく似たものも多く，名称もバラエティに富み，その特徴や適用範囲などが明確でないため混乱が起きている例もある．

このため「トンネルと地下」の編集委員会では過去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，「セグメントの新技術」の連載講座を設けてこれらのセグメントを順次紹介した．セグメントの名称，特徴，開発目的，適用範囲などは同じフォーマットで掲載され，また，最終回では，そこで紹介されたセグメントを整理分類し，新しいセグメントの開発の動向や今後の展望を総括した．

本書はこの連載講座をもとに新たに「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．

〈セグメントの新技術〉

1．薄型化・高強度セグメント
2．サンドイッチ型合成セグメント
3．矩形トンネル用合成セグメント
4．NM セグメント
5．二次覆工省略型ダクタイルセグメント
6．リングシールド工法用セグメント
7．コンクリート中詰め鋼製セグメント
8．DNA シールド
9．ガイドロックセグメント
10．ウイングセグメント
11．ハニカムセグメント
12．CONEX-SYSTEM
13．スパイラルセグメント
14．コッター・クイックジョイントセグメント
15．ワンパスセグメント
16．AS セグメント
17．マルチブレード式継手セグメント
18．シンプロセグメント
19．WB セグメント
20．リングロックセグメント
21．KL セグメント
22．コーンコネクターセグメント
23．FRP-Key 継手
24．ほぞ付きセグメント
25．HOT セグメント
26．インサート継手(その1：アーチ形)
27．インサート継手(その2：NF 型)
28．CPI セグメント
29．PPC セグメント
30．FBR セグメント
31．NRT セグメント
32．タイドアーチセグメント
33．遠心力締固め RC セグメント
34．高流動コンクリートセグメント

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

セグメントの新技術＿＿＿＿＿冊　申込みます．

所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

【好評発売中】

# シールドトンネルの新技術

シールドトンネルの新技術研究会編　代表　鈴木　　章

**B5判　約280頁　本体価格4,660円　送料 340円**

〔推薦の言葉〕　東京都技監兼下水道局長・工学博士　村田 恒雄

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

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

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

主　要　目　次

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

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

き---り---と---り---線

《ご　注　文　票》

シールドトンネルの新技術＿＿＿＿＿冊　申込みます．

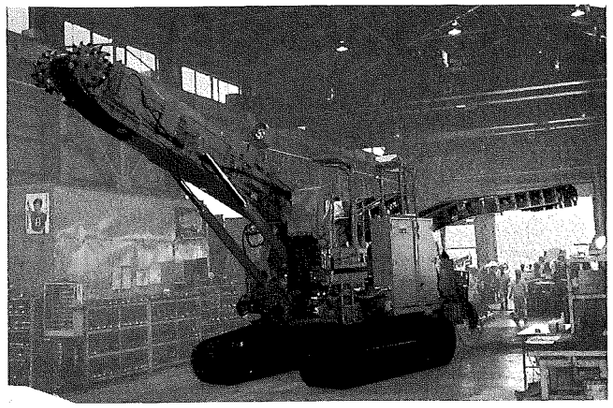
所在地　〒(　　)

事業所名　　☎

部課名　　申込者名　　㊞

TAIKU

# CL301E型
## カッタローダ



## 強力な掘削

最大掘削高さ6.6m

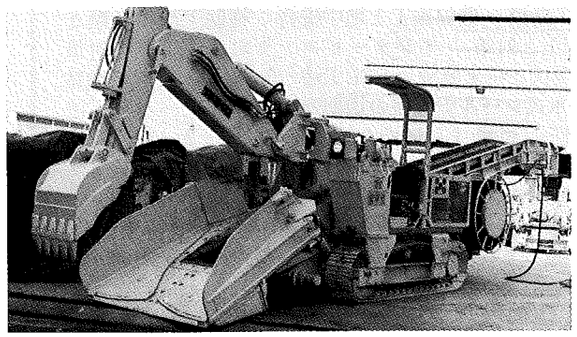
**特長**

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

コンパクトで大出力
坑内ダンプの革命児!!

# KUT300

輸送重量27t・3軸4輪駆動



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

大出力
■クラス最大級のエンジン出力
• 212Kw/2,300min⁻¹

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

安全
■安全性
• 4段階調整式リタータ
• 後方カメラ&モニター

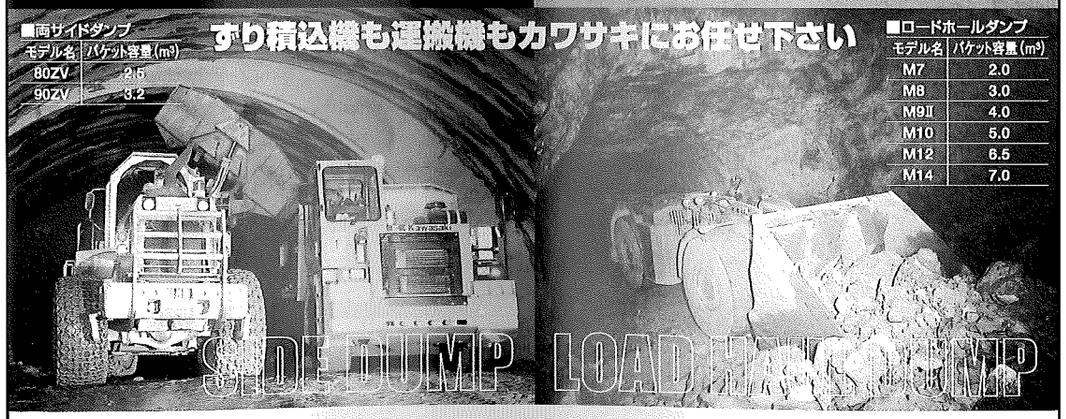
ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

■両サイドダンプ

| モデル名 | バケット容量(m³) |
|---|---|
| 80ZV | 2.5 |
| 90ZV | 3.2 |

■ロードホールダンプ

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



SIDE DUMP　LOAD HAUL DUMP

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/