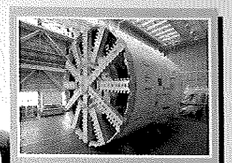
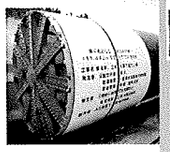
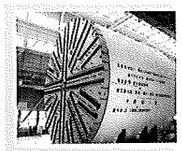
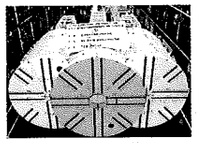
トンネルと地下　平成19年4月1日発行第38巻第4号　昭和45年11月18日第3種郵便物認可
出版元　株式会社土木工学社　東京都新宿区岩戸町16番地メイジャー神楽坂

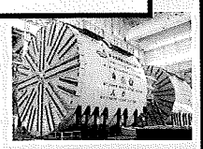
トンネル開発技術に
60余年のヒストリー。


2006
〈ドバイLRT用シールド〉
ドバイの交通網の発展に貢献


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


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


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


1993
〈世界最大級の泥水式シールド〉
東京湾横断道路工事で活躍


1989
英仏海峡トンネルT-5工区貫通式
完成にわく関係者たち


（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

世界中で
1677台の
実績！

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

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

三菱重工地中建機（株）のシールド式トンネル掘削技術

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

定価 1,575円
本体価格1,500円
雑誌06619-4
4910066190477
01500

昭和45年11月18日第3種郵便物認可　平成19年4月1日発行（毎月1回1日発行）　第38巻第4号　通巻440号　ISSN 0285-631X

トンネルと地下 4

vol. 38
no. 4
2007

軽量パネルを用いたシールドトンネルの漏水対策
衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策
甲州街道の重交通下にボックス推進工法で歩道を構築
膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案
新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果

日本トンネル技術協会誌



世界に誇る日本のNATMトンネル

信頼の品質

安全性・経済性・高品質

デンカナトミック
吹付けコンクリート用急結剤

一般吹付け・高品質吹付け

デンカナトミックTYPE-5

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

高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10

・安定した初期強度・長期強度発現性
・付着性が大きく、跳ね返りが少ない

瞬結吹付け・初期高強度吹付け

デンカナトミックTYPE-10S
デンカΣショットS

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

優れた低粉じん吹付け

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

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

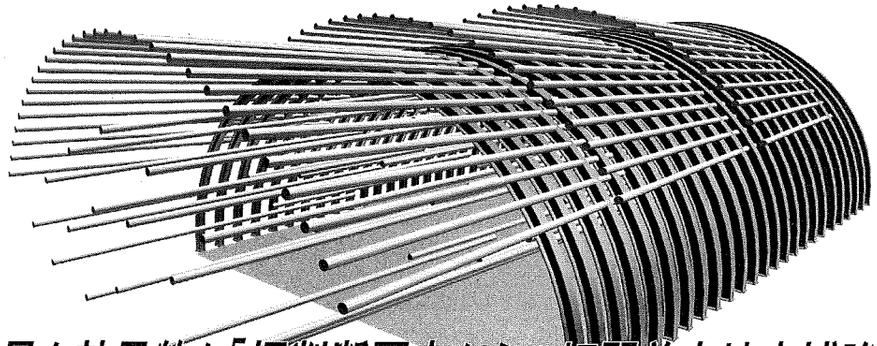
◆トンネル関連製品
・FTN-30･･･吹付けコンクリート用高性能減水剤
・デンカライフセッター･･･吹付けコンクリート用凝結調整剤
・デンカクリアップ･･･吹付けコンクリート用粉じん低減剤
・デンカPFモルタル，PFモルタルTYPE-K･･･小断面・TBM用吹付けモルタル
・デンカES／ES-L･･･無公害なセメント系土質安定用急硬材
・デンカコロイダルセメント／コロイダルスーパー･･･微粒子，超微粒子セメント
・デンカPモル･･･注入式ロックボルト定着材
・デンカCG-1000，CG-2000･･･可塑性モルタル用混和材
・デンカパワーCSAタイプS／タイプR･･･コンクリート用膨張材
・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

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

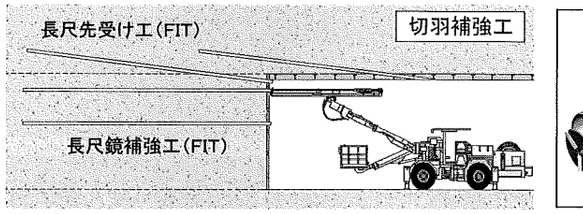
全方位 GFRP 管長尺補強システム

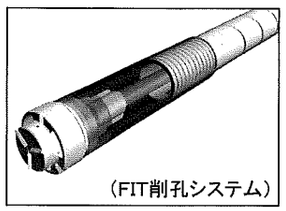
NETIS登録
(No. CB-030065)
施工実績 150 件以上

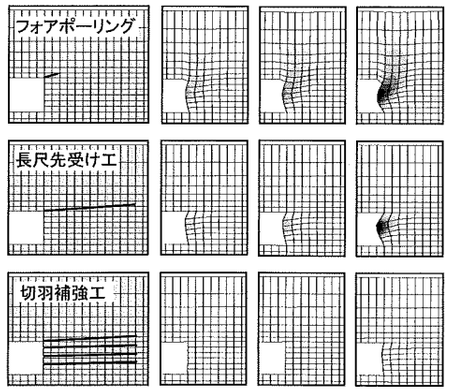
FIT 工法
FRP INJECTION TUBE



最も効果的な「掘削断面内からの切羽前方地山補強」




(FIT削孔システム)



(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/

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。

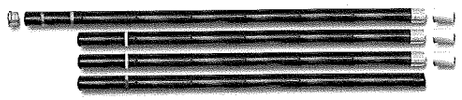


削孔用主要部材

●削孔システム



●AGF鋼管



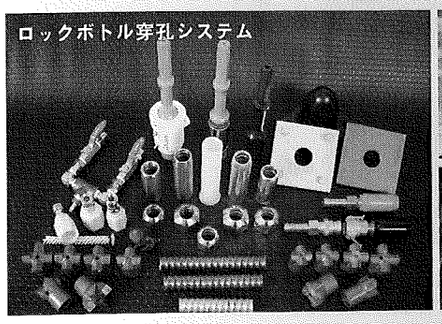
●ロッド・カップリング



▼ 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～φ65mmと広く準備されています。

品　名	外径mm	断面積mm²	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)







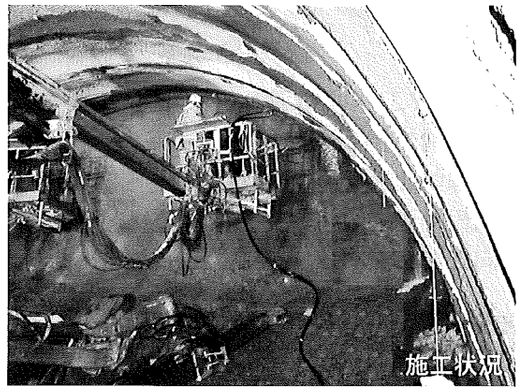


TFT Tube Forming & Technological 株式会社 **ティーエフティー**
〒220-0051 神奈川県横浜市西区中央1丁目29番16-201号
Tel 045-320-1701 Fax 045-320-1702

補助工法・注入材のことならティーエムシー

■AGF-OFP工法

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



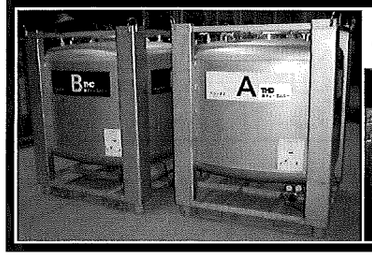
■各種注入材

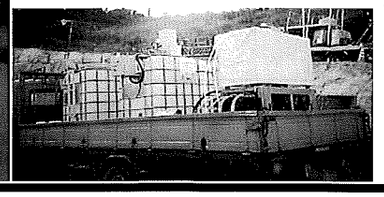
NEW－TSRF
（シリカレジン）
NEW－TBU
（ウレタン）



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

環境に配慮したリサイクルコンテナシステム





◎リサイクルコンテナ（左）と現場への搬入風景

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

トンネル補修もティーエムシーにお任せください

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

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





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

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

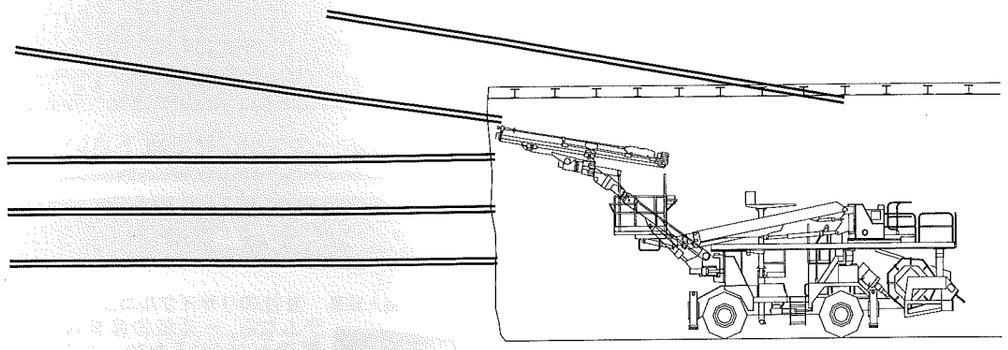
本社	〒116-0013 東京都荒川区西日暮里5-23-3 冠第二ビル5F	TEL：03-3891-8211
仙台支店	〒984-0826 宮城県仙台市若林区若林2-5-5 SKビル3F	TEL：022-286-5111
名古屋支店	〒486-0844 愛知県春日井市鳥居松町4-165 春日井中央ビル4F	TEL：0568-56-4288
大阪支店	〒578-0903 大阪府東大阪市今米1-2-1 中辻第3ビル3F	TEL：072-966-6280
九州営業所	〒839-0809 福岡県久留米市東合川3-12-40 ｱｲ･ｿﾘｭｰｼｮﾝﾋﾞﾙ1F	TEL：0942-40-8151
小牧物流センター	〒485-0825 愛知県小牧市大字下末1636-9	TEL：0568-44-7786

KATECS

全方位切羽補強工法

パノラマ工法

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



アルカリフリー型液体急結剤

AFK－777J

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

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



「ヨロケ」とは昔 鉱山で呼ばれたじん肺のことです

KATECS

発泡型シリカレジン

SR－L

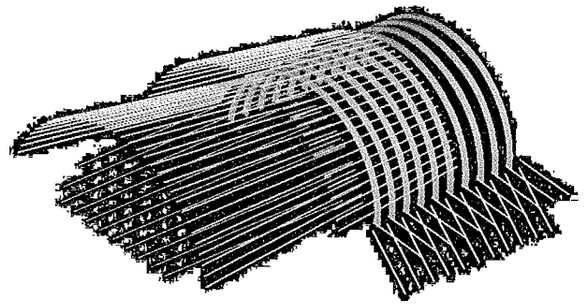
SR－Lは、シリカレジンをベースとして従来のセメント系や無機系定着材の欠点を克服し、パノラマ工法の定着材として開発された発泡タイプの定着材です。
砂層、粘土層及び亀裂の多い崩壊性岩盤や破砕帯に注入することにより、高強度の複合シリカレジンを形成し芯材を確実に地山に定着させ、さらに発泡性能によって亀裂に充填されることにより芯材周囲の地山を改良できます。

注入式長尺先受工法

AGF工法
AGF－P工法
AGF－S工法

小口径長尺先受工法

Small-P工法



鋼管膨張型ロックボルト

タイムリーアンカー

無機系注入材

シリカセーフ

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

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

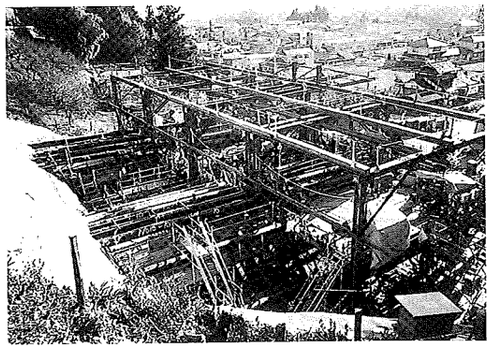
中部営業部　〒460-8331　名古屋市中区上前津1丁目3番3号　TEL 052-331-8821　FAX 052-332-0164
東京支店　〒112-0014　東京都文京区関口1丁目15番3号　TEL 03-3260-8321　FAX 03-3266-1648
関西営業所　〒550-0015　大阪市西区南堀江4丁目1番18号　TEL 06-6578-3235　FAX 06-6578-3237
広島事務所　〒735-0022　広島県安芸郡府中町大通1-2-13　TEL 082-285-6601　FAX 082-285-6651
九州営業所　〒816-0932　福岡県大野城市瓦田4-15-26　TEL 092-574-0856　FAX 092-574-0846
北海道地区　〒003-0011　札幌市白石区中央1条5丁目8番2号　㈱エイチ・アール・オー　TEL 011-821-5868　FAX 011-821-6644

THパイプルーフ工法

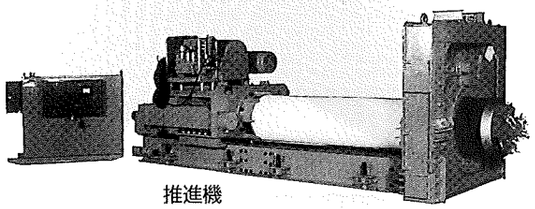
高精度、全地盤型水平鋼管圧入システム

★特　徴★

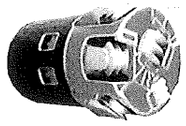
- 本体掘削時の沈下抑制補助工法です。
- 常時管芯チェックが可能で、方向修正方式を採用（精度が良いため支保作業が容易です。）
- オーガ中掘り掘削。地山との空隙に同時注入もできます。
- 推進途中でのビットの交換が可能で層変りに対応できます。
- 適応管径は、φ200～φ1200mmです。
- 最大推進長は、約70～100mです。
- 推進機は推力100t、200t、300tがあります。



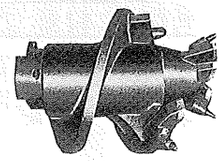
パイプルーフ打設状況（山岳トンネル）



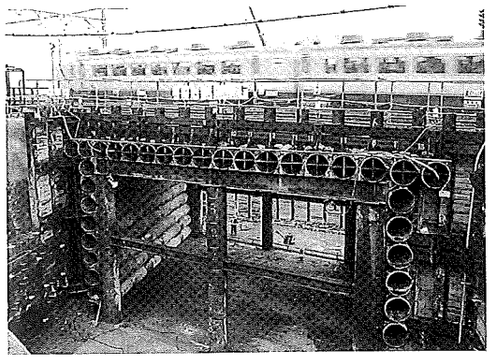
推進機



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

（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

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。

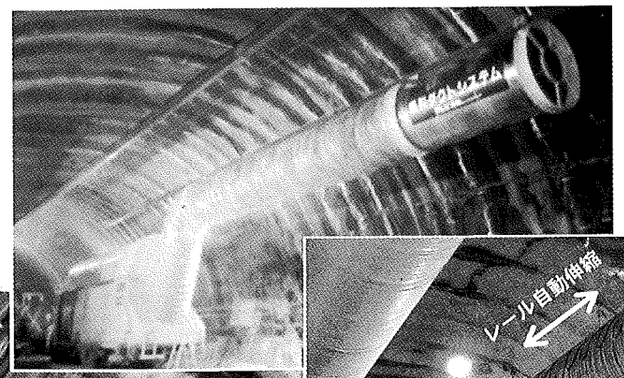
オリカは、鉱業および建設業界、ならびに当社のお客さまへのコミットメントをお約束します。

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

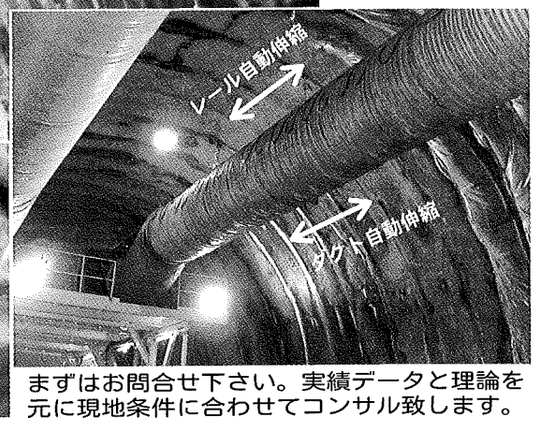
ORICA MINING SERVICES

吸引ダクトシステム

ガイドラインをクリア　0.5mg/m³達成!!

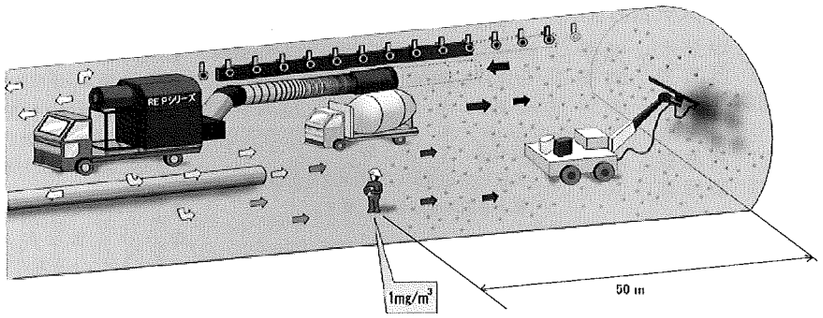






まずはお問合せ下さい。実績データと理論を元に現地条件に合わせてコンサル致します。

- 発生源粉塵対策の決定版。
- ダクトはもちろん、吊下げレールも無線リモコンで楽々前進。
- 掘削工法や作業サイクルに適応。操作にお手間をとらせません。
- 最低限の切羽送気量と後方の高い清浄空間の確保で換気コストとランニングコストの大幅なコストダウンに。
- 適応外径はΦ600～Φ1800、負圧－2kpa、収縮率1/5、100m以上もレンタルで対応可。

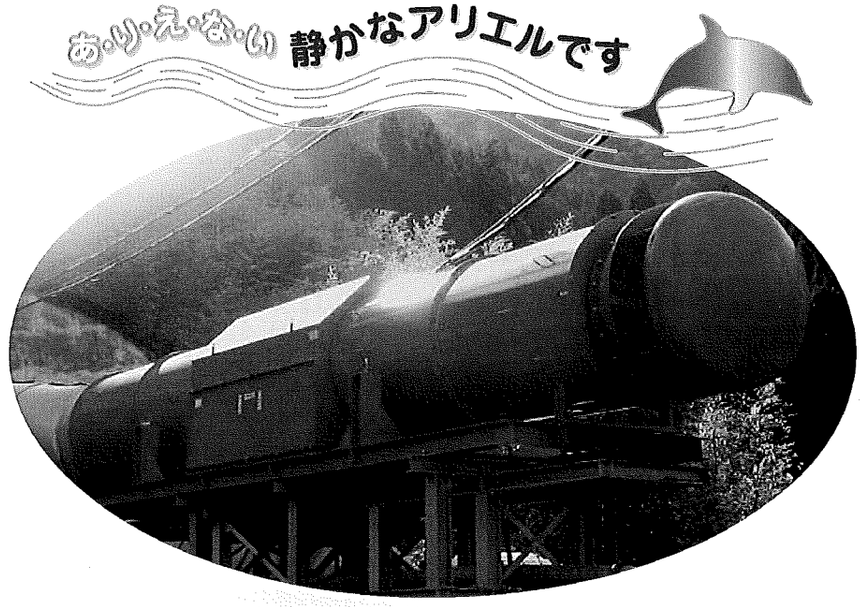


宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

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

超低騒音・二軸反転ファン エアロ★MAX アリエル

今時、静かなのは当たり前!!



ファンの性能を保持したまま、より低騒音に、よりスタイリッシュに。

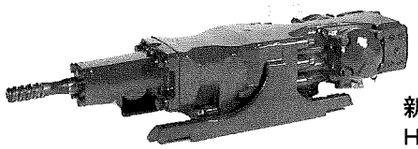
シールド、都市NATMなどの都市環境や
大断面長大トンネルの施工環境に対応する換気ファンを400台以上保有。
必要なとき、必要な容量の設備を提供します。

超低騒音：**エアロMAX 最小値75dB(A)、アリエル 当社比－5dB**
省　エ　ネ：インバータでファンの回転数を制御するため無負荷電流がなく、Y－△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。

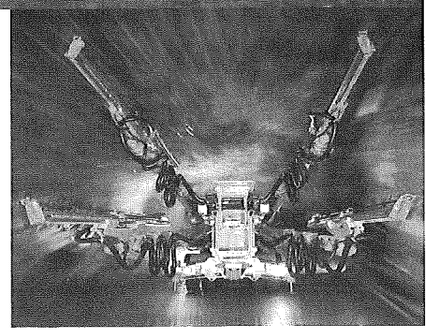
宇宙・原子力・環境など開発部門の人材を募集しています

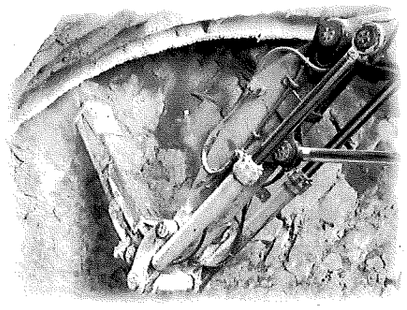
株式会社流機エンジニアリング
URL：http://www.ryuki.com　E-mail：eigyobu@ryuki.com
本　社／〒108-0073 東京都港区三田 3-4-2 プロフィットリンク聖坂
TEL：03 (3452) 7400 (代) FAX：03 (3452) 5370
つくば／〒308-0114 茨城県筑西市花田84-6
ﾘｰｽｾﾝﾀｰ TEL：0296 (37) 7680 (代) FAX：0296 (37) 7681





新型高性能ドリフター
HLX5





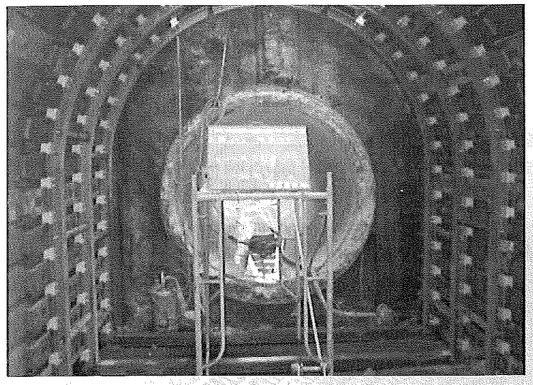
TOYO EJC Rammer®
TAMROCK TORO

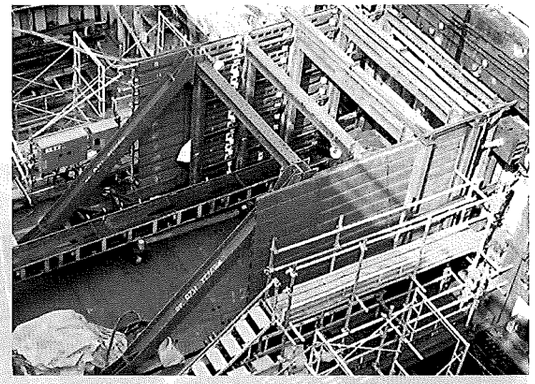
サンドビックトーヨー 株式会社
〒222-0033 横浜市港北区新横浜 2-15-12
共立新横浜ビル6F

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

アーストンネル掘削工法に最適

SS-メッセル工法





30年の実績(工法指導致します)

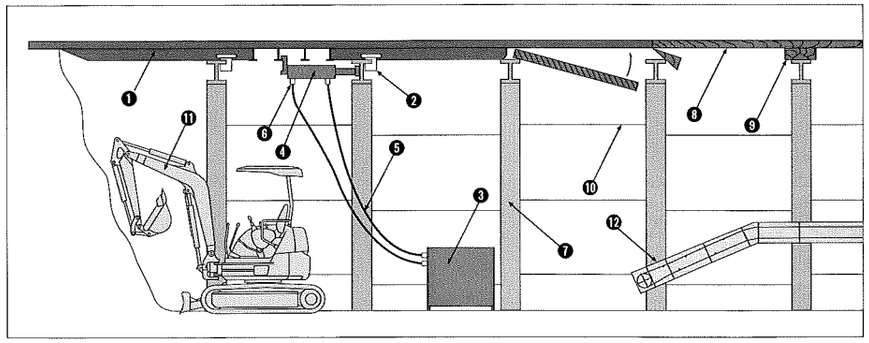
特徴

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

実績

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

SS-メッセル工法概略図



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

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

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

吹付けコンクリートシステム

Experts on Sprayed Concrete

コンクリート吹付機

Sika®-PM500 PC

by Putzmeister

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

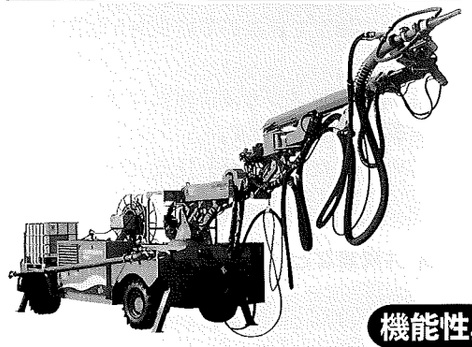


特にコンクリート吹付機の要はコンクリート圧送ポンプです.

プツマイスター圧送ポンプの特長

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

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



コンパクトで群を抜く使いやすさ！

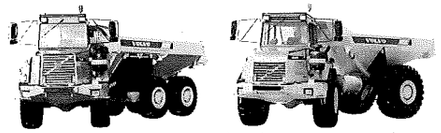
機能性，機動性の基に理想的な機械化を実現！

総販売元　東友エンジニアリング㈱　製造輸入元　プツマイスタージャパン㈱

トンネル関連製品

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

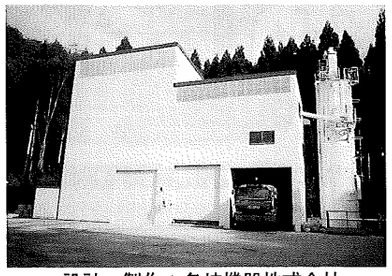
VOLVOダンプトラック
(A25C–TS，A25C–TR，A20/30C–T)



Volvo East Asia(Pte)Ltd

その他，トンネル施工機械全般

バッチャプラント
(全自動式，3槽クラム式，簡易型，特殊型)



設計・製作：名岐機器株式会社

トンネル換気システム

ABC VENTILATION SYSTEMS





●ファスナー式風管　●ツインダクト風管
●スパイラル風管　●帯電防止型風管

総代理店　東友エンジニアリング株式会社

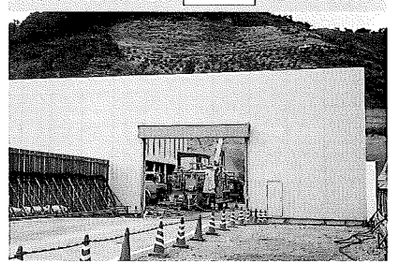
騒音防止システム

エコフラット −35db Cタイプ



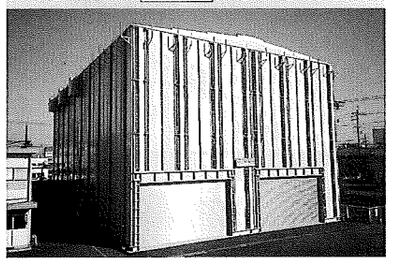
美観を重視した高性能の防音ハウス

エコパネル防音壁 −15db Aタイプ



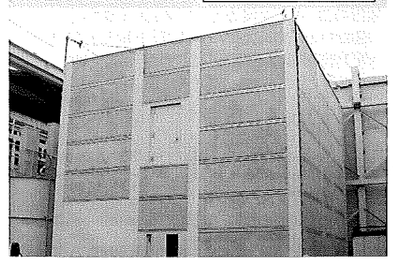
適応性の優れた防音パネル

エコユニット −30db Bタイプ



組立て容易な標準型防音ハウス

スーパーエコハウス 超低周波音−25db



超低周波音対策に適した防音ハウス

設計施工　株式会社トーユーエコサポート

建設業界に貢献するTOYU GROUP

東友エンジニアリング株式会社

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

MITSUBISHI
三菱マテリアル

DIABIT

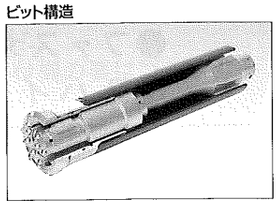
三菱マテリアルの補助工法用削孔工具システム

■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

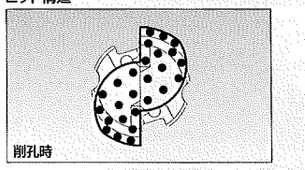
ビット構造

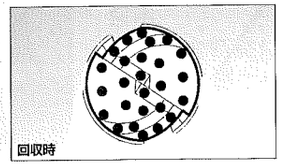


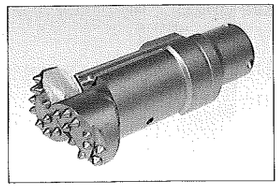
●スーパーメックスビット（SMB）打撃削孔式拡縮径タイプ

・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





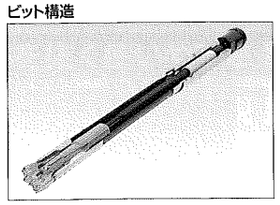


●スモールP（Small-P）システム

●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

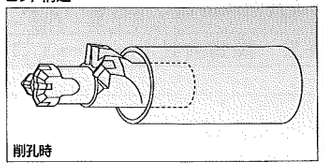
ビット構造

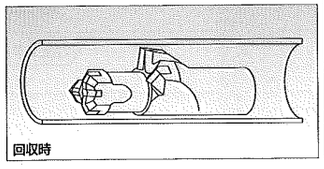


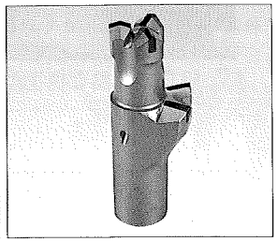
●かん太郎ビットシステム打撃削孔式鋼管内偏芯回収タイプ

・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







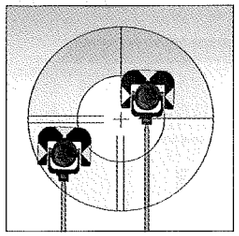
※鋼管サイズ・削孔径等の条件に合わせ、各種設計承ります。

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

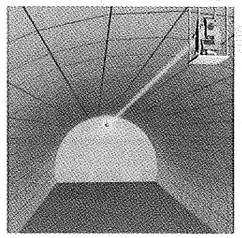




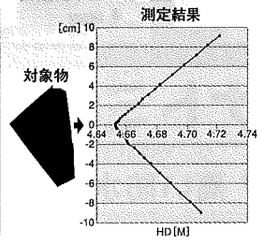
精度が向上した自動視準
プリズムの観測回数を上げると共に、CCDカメラの解像度を細かくすることで自動視準の内部処理スピードや精度が向上。



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[e]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

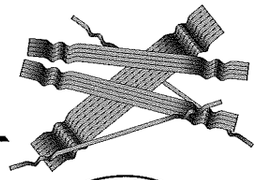
本　　社	〒113-6591	東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコート	Tel.03-5940-3020 Fax.03-5940-3056
テクニカルセンター	〒113-6591	東京都文京区本駒込2-28-8 文京グリーンコートB1F	Tel.03-5940-3035 Fax.03-5940-3059
大　阪　支　店	〒540-6131	大阪市中央区 城見2-1-61 Twin21 MID タワー31F	Tel.06-6910-3871 Fax.06-6910-5733
福岡営業所	〒812-0016	福岡市博多区博多駅南1-3-6 第三博多偕成ビル6F	Tel.092-432-8201 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

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



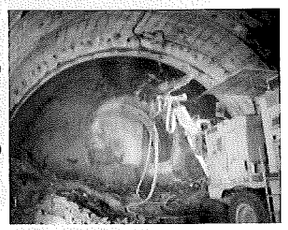


■ 断層破砕帯や膨張性地山などの地山不良部での対応が有効です。

■ 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。

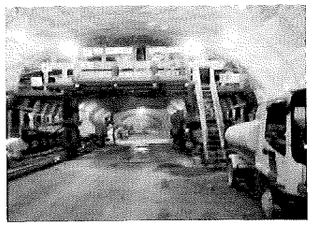
一次吹付

- 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

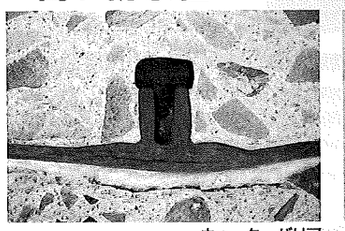
- 内空変位増大対策
- 無筋化
- 剥離・剥落防止



防水への信頼性・施行性の向上へ

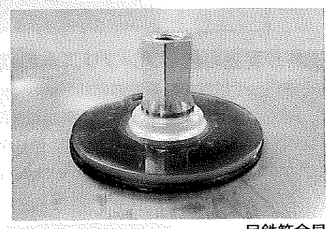
ナトミックシート トンネル用防水シート

■ 高い防水性



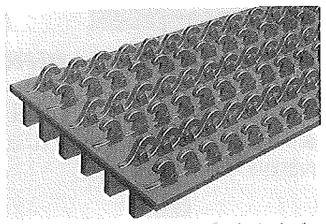
ウォーターバリア

■ 豊富な品揃え



吊鉄筋金具

■ 容易な施工性



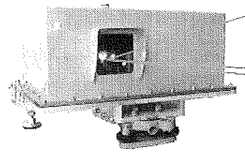
クイックバー

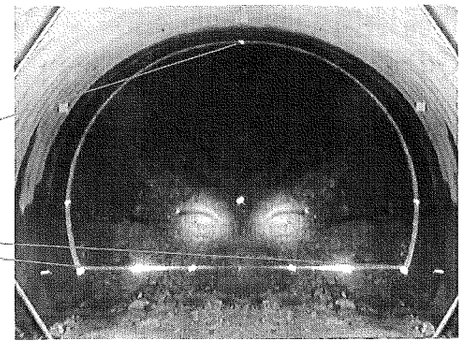
株式会社ブリヂストン
土木・建築資材販売促進第2部
東京都中央区八重洲1-6-6　〒103-0028
TEL.(03)5202-6872　FAX.(03)5202-6874

レーザーマーキングシステム

国内、海外特許取得済み

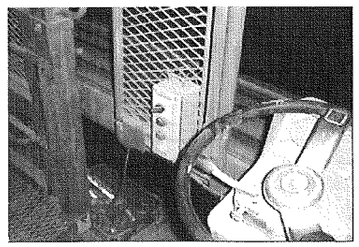
残像効果を使ったペイント不用の連続高速照射を実現





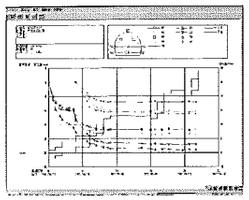
現場環境に耐え得る頑強なコントローラー



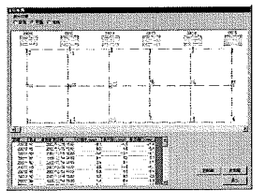


ジャンボに取付けて使用可
AC200V対応

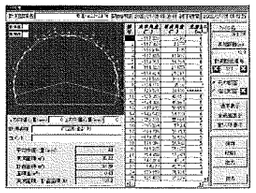
各種トンネル計測関連ソフトも標準装備。もちろんネットワークにも対応。



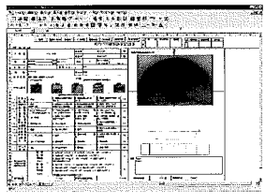
A計測データ処理



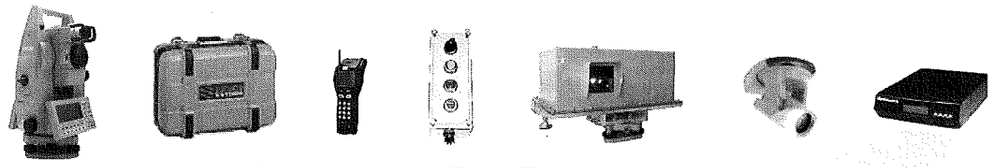
支保工立込精度、変形量



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

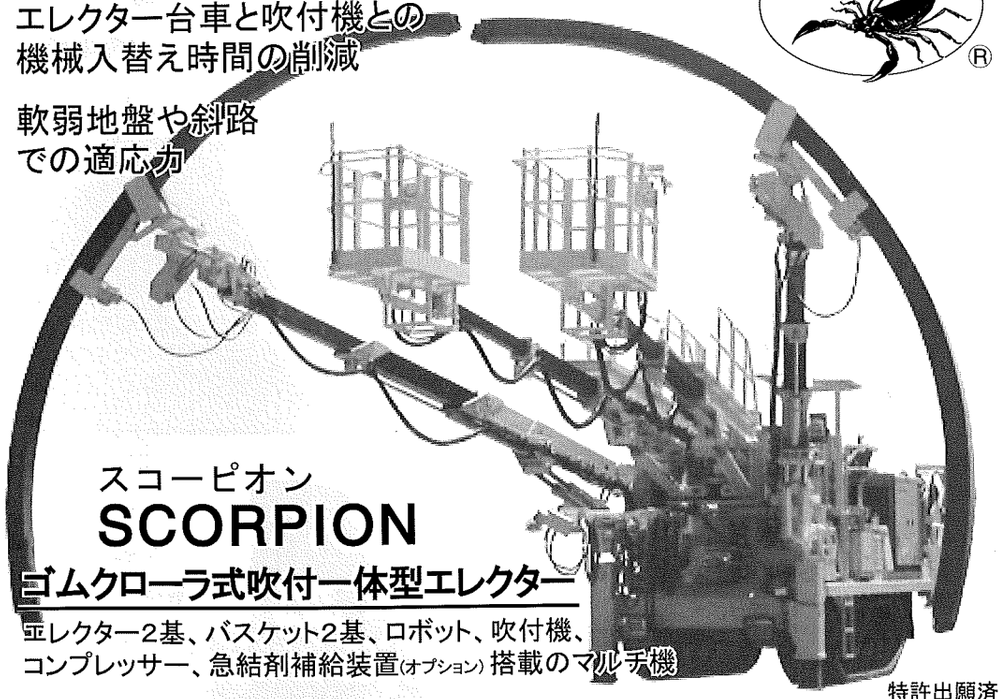
〔販売元〕
古河ロックドリル株式会社
伊藤忠建機株式会社
株式会社レント

Tonneru no Rental

エレクター台車と吹付機との
機械入替え時間の削減

軟弱地盤や斜路
での適応力

Scorpion®

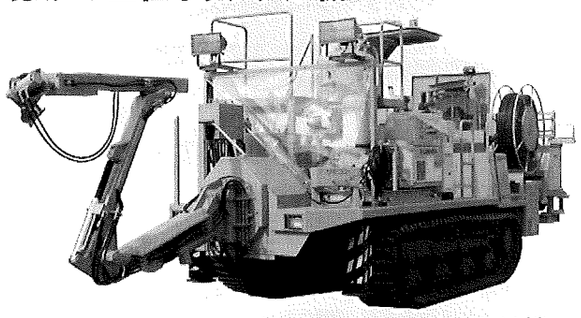


スコーピオン
SCORPION
ゴムクローラ式吹付一体型エレクター

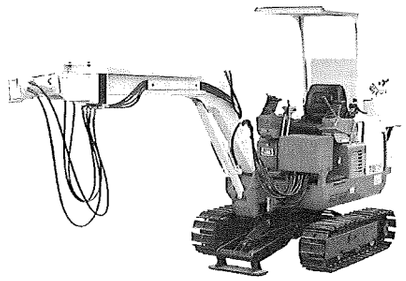
エレクター2基、バスケット2基、ロボット、吹付機、
コンプレッサー、急結剤補給装置(オプション)搭載のマルチ機

特許出願済

ほかの当社オリジナル機



MBTL：小断面(20㎡)適用可能一体型吹付機



MR：小断面用吹付ロボット
避難坑、連絡坑の吹付けに最適

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

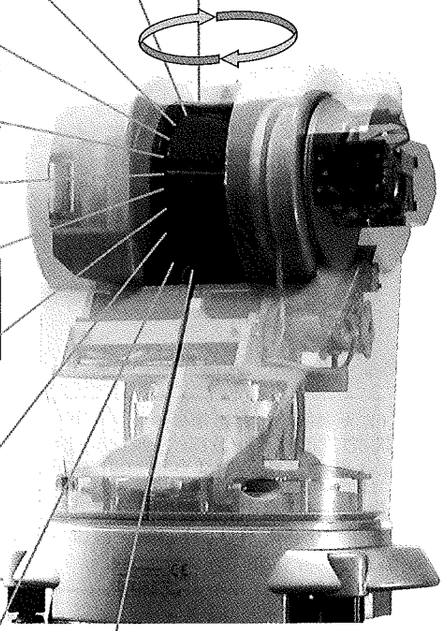
株式会社 トンネルのレンタル
〒389-0514 長野県東御市加沢字大谷地２８６－１
TEL 0268(62)1426　FAX 0268(62)1999
E-mail: tonneru-rental@luck.ocn.ne.jp

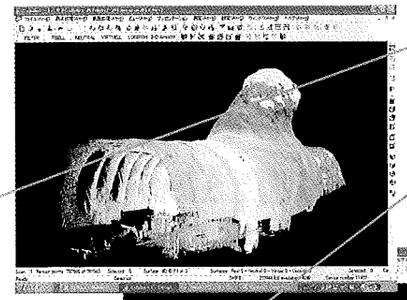
Callidus™ レーザースキャナー
3次元トンネル断面計測機

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。

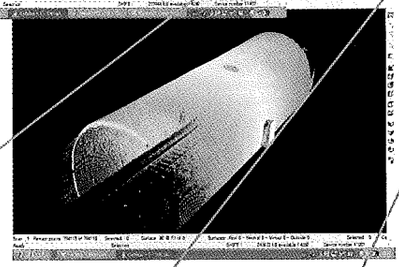
(1) 直径約8mのトンネルの場合

全周360°を10分でスキャン





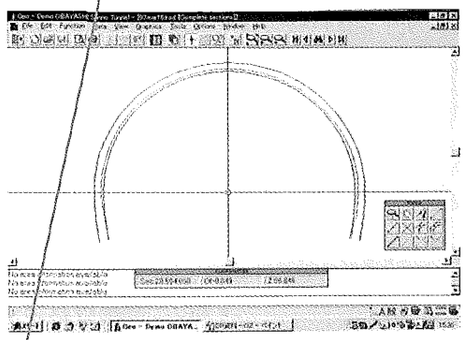
特殊なトンネル
形状も対応可能
です。



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。



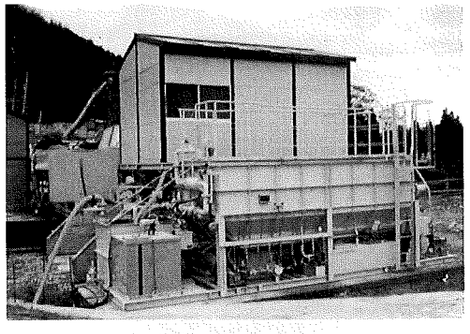
■ 販売・レンタル　株式会社ソーキ
〒550-0025 大阪市西区九条南4－2－4
TEL：06-6586-1707　FAX：06-6586-1277
URL：http://www.sooki.co.jp/

■ 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

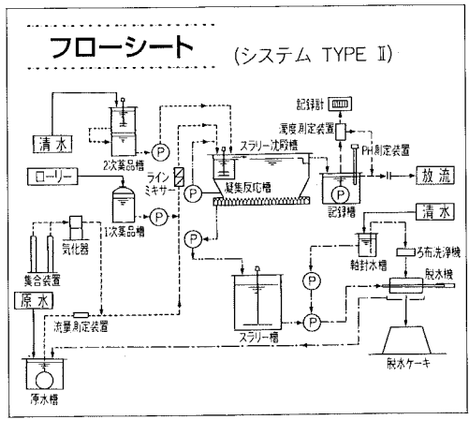
TWS型シリーズ 濁水処理装置

コンパクトながら 大きな処理能力

Waste Water Treatment System



フローシート (システム TYPE Ⅱ)



特　長

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

2．運転経費が少ない。
ラインミキサー及び余剰ガス循環システムの組み合せにより効率の良い中和が出来炭酸ガス使用量の節約になる。角型シックナー沈降面積及び容積をより大きく設計しており又傾斜板を採用していることから一次、二次薬品が少量でも効率の良いSS処理が出来る。複式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。

詳細資料請求、お問い合わせは

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

トンネル工事からパンクを追放

坑内用特殊複層タイヤ



特許第1610830号

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

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

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

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

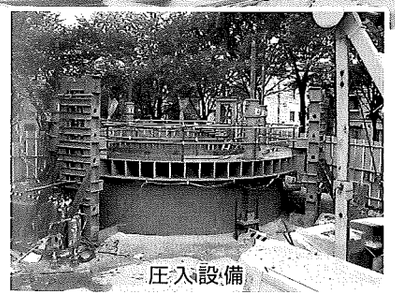
中濃産業株式会社
代表取締役 土田義弐
本　社　〒501-1534 岐阜県本巣市根尾神所 362-1
TEL(0581)38-2241㈹　FAX(0581)38-3383
営業所　〒501-1203 岐阜県本巣市文殊 64-387
TEL(0581)34-3990㈹



都市型圧入ケーソン工法

JFE アーバンリング工法®

都市域の厳しい施工環境に向けて開発した都市型ケーソン工法です。アーバンリング®（分割組立型土留壁）を用いたシステム工法で、多目的に対応できます。



圧入設備

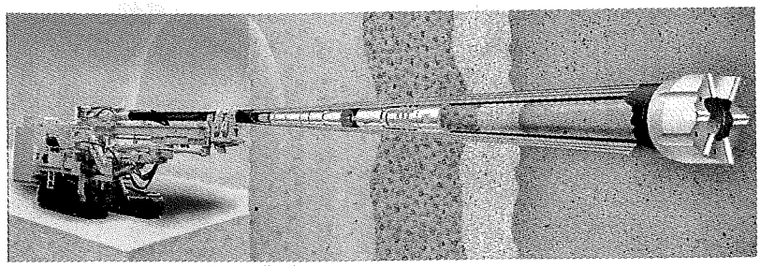
アーバンリング
立坑完了〈全景〉

- 周辺地盤への影響が少なく、安全・確実な工法です。
- 狭隘な施工ヤードに柔軟に対応できる都市型工法です。
- 路下・上空制限にも対応できます。
- ビルトリング方式による構築で、機動性に優れています。

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

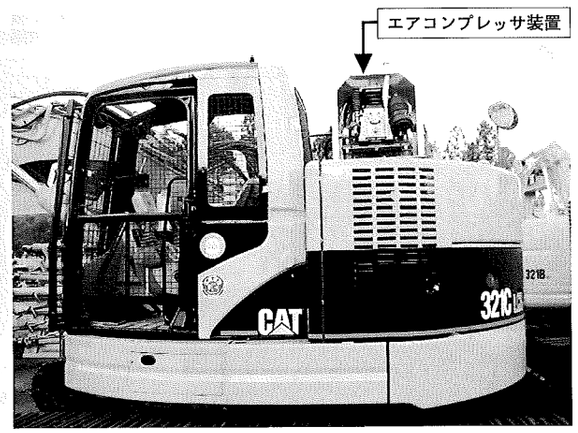
本社　〒171-8572 東京都豊島区高田2-17-22 目白中野ビル1F
TEL (03)6907-7888(大代表)　FAX (03)6907-7527

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

ブレーカ用エアコンプレッサ装置

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

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



klea

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

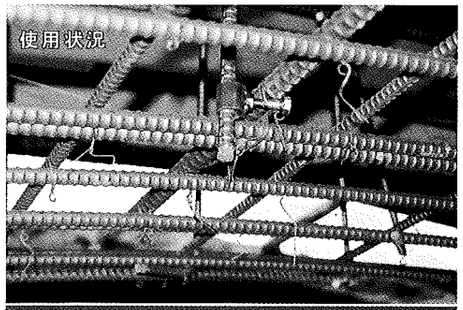
URL　http://www.klea-cat.com

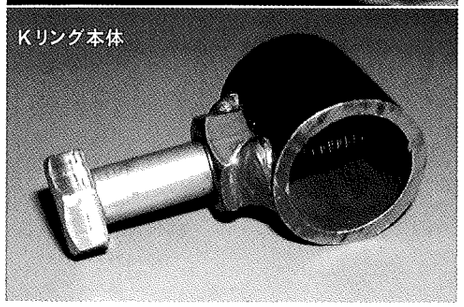
コストダウンを可能にする Kリング

特許出願中（特願2001-309314号）

トンネル工事におけるインバート、アーチ鉄筋組立金物

トンネル施工時の覆工工事における、鉄筋補強工事は、坑内上部・壁部にアンカーを打ち、そのアンカー筋に段取り筋を溶着し、それにアーチ筋を取付けていましたが、"**防水シートを焦がす**"、"**塵肺作業である**"、"**作業効率が悪い**"等問題点が指摘されていました。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。





ご納入実績

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

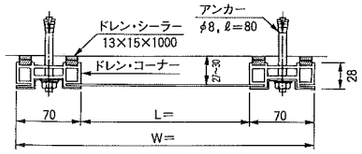
製造・販売元 **静岡スチール**

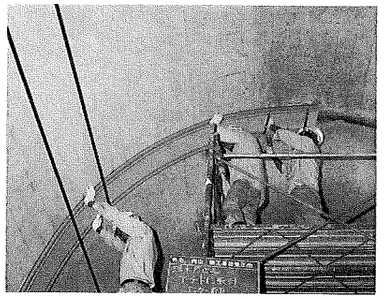
〒436-0342 静岡県掛川市上西郷765-1
Tel：0537-24-3886　Fax：0537-24-3859
E-mailktk@r5.dion.ne.jp
URL：http://www.h7.dion.ne.jp/~ktk

トンネル・カルバート・地下構造物の漏水対策に

アーチ・ドレン導水樋

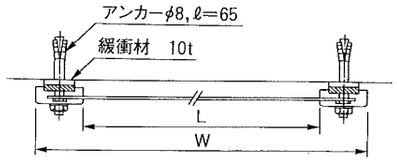
■特　徴
- 漏水幅に応導水幅の選択が可能
- 導水プレートはアクリル変性P.V.C強化樹脂で驚異的な耐衝撃性有り
- 寒冷地型、Box カルバート用勾配型、etc 有。





コンクリート剥落対策に

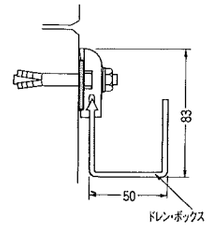
アーチ・パネル



JH水戸　大久保トンネル、etc。

水平導水樋に

サイド・ドレン



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

ニホン・ドレン工業株式会社

〒910-2166　福井市小路町4－12－1
☎0776(41)3725 FAX0776(41)3455
e-mail n-doren@sky.hokuriku.ne.jp

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



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

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

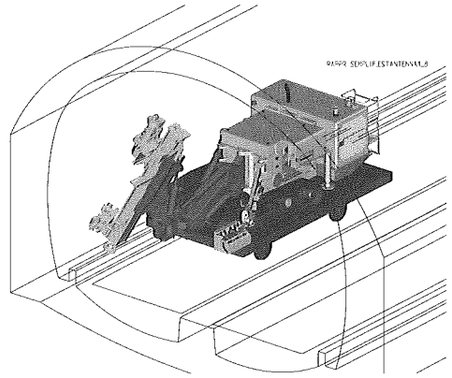
古河機械金属グループ
古河ロックドリル株式会社
(旧社名：古河機械販売株式会社)

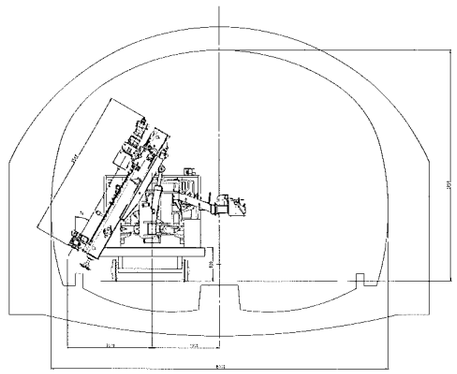
本　　社　〒103-0022　東京都中央区日本橋室町2丁目3番14号　古河ビル　特機営業部　TEL：03-3231-6966

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

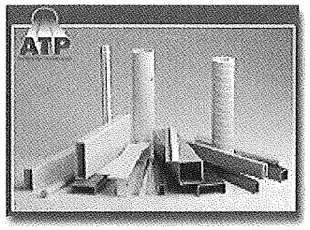
トンネルの削孔機械・輸入資材

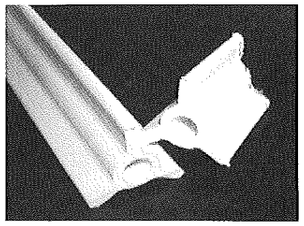
● 油圧削孔機 SM401 ショートマスト仕様
現場に応じたショートマスト長を選択可能（ロッド長1m～2m）



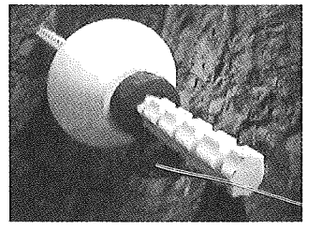


● グラスファイバーチューブ & ボルト
トンネル切羽等の補強資材、その他注入用のチューブもございます。



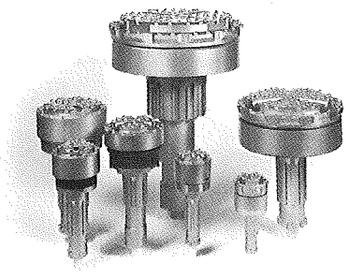


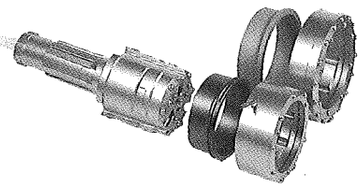
STAR 500S



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　4月号目次　Vol.38, No.4, 2007 Apr.

■巻　頭　言

請負契約とリスク分担
伊藤　住吉……5

■研　　究

膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案
―北陸新幹線　飯山トンネル東菅沼工区―
中村　敦・小野　利昭・亀谷　英樹・呉　旭……39

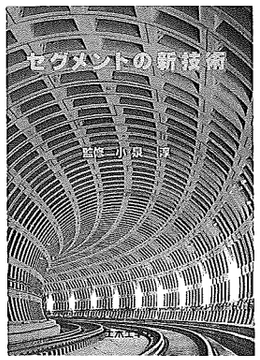
■報　　告

新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果
清水　満・齋藤　貴・鈴木　尊・朝倉　俊弘……49

■施　　工

軽量パネルを用いたシールドトンネルの漏水対策
―横須賀線東京トンネル改良工事―
狩屋　守・四宮　卓夫・水野　光晴……7

衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策
―日本海沿岸東北自動車道　二古トンネル―
大津　敏郎・広瀬　雅明・澤田　和也・徳留　修……19



セグメントの新技術

監修　小泉　淳

B５判　132頁　本体価格 2,000円　〒290円

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

甲州街道の重交通下にボックス推進工法で歩道を構築
野笹　隆幸・西村　聡・小山　浩史……29

■連 載 講 座

発破技術の現状（６）
―新しい発破技術（２）―
「発破技術の現状」連載講座小委員会……59

■現場だより

新しいまち北斗市での新幹線工事
中塚　静夫……18

「都心の最高峰，箱根山」西早稲田より
軽込　茂……28

■資　　料

トンネル千夜一夜(28)
小野田　滋……36

土木情報
編　集　部……38

トンネルジャーナル
編　集　部……48

文献紹介
編　集　部……58

工法・技術・製品ニュース
編　集　部……67

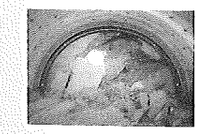
トンネルワールドニュース
JTA国際委員会……68

海外文献速報
JTA国際委員会……69

■会　　報

会　　報
日本トンネル技術協会……71

【表紙説明】　衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策
―日本海沿岸東北自動車道　二古トンネル―



二古トンネルは，日本海沿岸東北自動車の本荘～岩城間(L≒21km)に位置する延長1,417mの２車線トンネルである．地質は新第三紀中新世後期の低強度の船川層泥岩が主体であり，地質構造は南北系の北由利衝上断層や二古背斜に代表される多数の断層や褶曲構造を示している．

掘削開始後，土かぶりの増加とともに坑内変位が大きくなり，増しボルトや仮インバートなどの対策を実施したが，坑口より230m付近で400㎜を超える脚部沈下が発生したため，早期閉合を基本とした対策工により変位抑制を図った．写真は，切羽崩壊状況である．〔**写真提供**：東日本高速道路(株)〕(本文19頁参照)

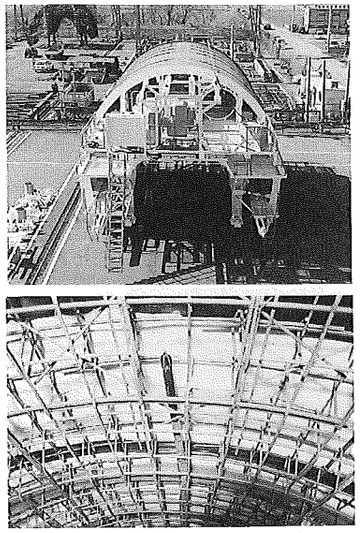
高品質なトンネル覆工に挑む

高品質なトンネル覆工を実現する
引抜バイブレータ締固システム

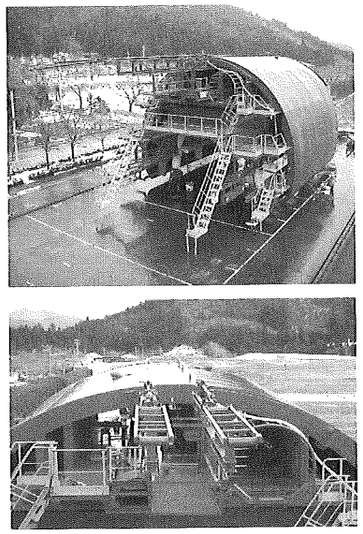
トンネルの二次覆工コンクリートには、トンネルクラウン部の締固め方法に課題があり、結果として漏水や空隙の発生など、覆工コンクリートの品質に問題が生じるケースがありました。また、覆工コンクリートの締固め作業は、狭隘部での苦渋作業という問題もあります。そこで、引抜バイブレータ締固めシステムを用いることにより、上記の課題を克服し、高品質な覆工コンクリートの構築を可能としました。

【特許出願中】

ホースバイブ巻取り式



パイプバイブ伸縮式



効果・特徴

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

GIFU KOGYO

岐阜工業株式会社

GIFU KOGYO CO.,LTD

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

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

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

会誌ＷＧの構成（五十音順・敬称略）

〔主　　査〕

大 島 洋 志　　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔幹　　事〕

伊 藤 範 行
鹿島建設株式会社土木管理本部土木工務部
グループ長

大 石 敬 司
東京地下鉄株式会社建設部工事課課長

久多羅木 吉治
東亜建設工業株式会社本社土木部門技術部長

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

千 葉　　隆
清水建設株式会社土木技術本部
地下空間統括部部長

長 島 芳 雄
株式会社竹中土木取締役技術本部長

端　　則 夫
大成建設株式会社土木本部土木技術部
トンネル技術室室長

濱　　建 介
株式会社アオバ取締役会長

松 尾 勝 弥
飛島建設株式会社土木本部トンネル統括部長

山 田 邦 博
国土交通省大臣官房技術調査課技術企画官

山 田 隆 昭
中日本高速道路株式会社中央研究所
トンネル研究主幹

山 道 哲 二
株式会社大林組東京本社土木技術本部技術
第二部部長

編集顧問の構成（五十音順・敬称略）

伊吹山 四 郎
攻玉社工科短期大学名誉学長

島 田 隆 夫
鉄建建設株式会社社友

高 橋 彦 治
伸光エンジニアリング株式会社技師長

田 島 利 男
NPO法人いきいきハイウェイ支援全国ネット
トンネル担当

西 松 裕 一
東京大学名誉教授

林　　博
西松建設株式会社専務取締役

松 本 崇 義
(元)東京都理事

丸 安 隆 和
東京理科大学教授

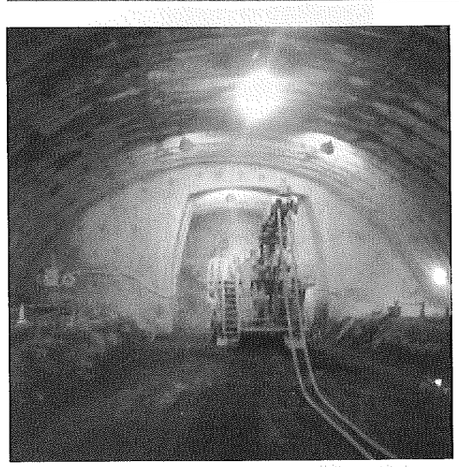
山 口 啓 二
株式会社熊谷組代表取締役副社長

吉 村　　恒
吉村とんねる・らぼ

ミニベンチ工法 両用型 ショートベンチ工法

RH-10J-SS 強力型ブームヘッダー





主な特長

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

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

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

編集委員会の構成 (五十音順・敬称略)

〔編集委員長〕

大島洋志　国際航業株式会社上席フェロー技術センター長

〔編集参与〕

今田　徹
東京都立大学名誉教授

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

高橋良文
東京都下水道サービス株式会社技術部長

橋本定雄
中黒建設株式会社顧問

濱　建介
株式会社アオバ取締役会長

〔委員〕

城戸　務
東京都水道局建設部工務課長

木谷日出男
財団法人鉄道総合技術研究所
防災技術研究部主任研究員

坂根良平
東京都下水道局建設部設計調整課長

佐藤　亘
東京電力株式会社電力流通本部・工務部
設備渉外・調整グループ課長

清水　満
東日本旅客鉄道株式会社建設工事部
構造技術センター課長

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

西村　聡
東京地下鉄株式会社建設部
新宿工事事務所所長

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

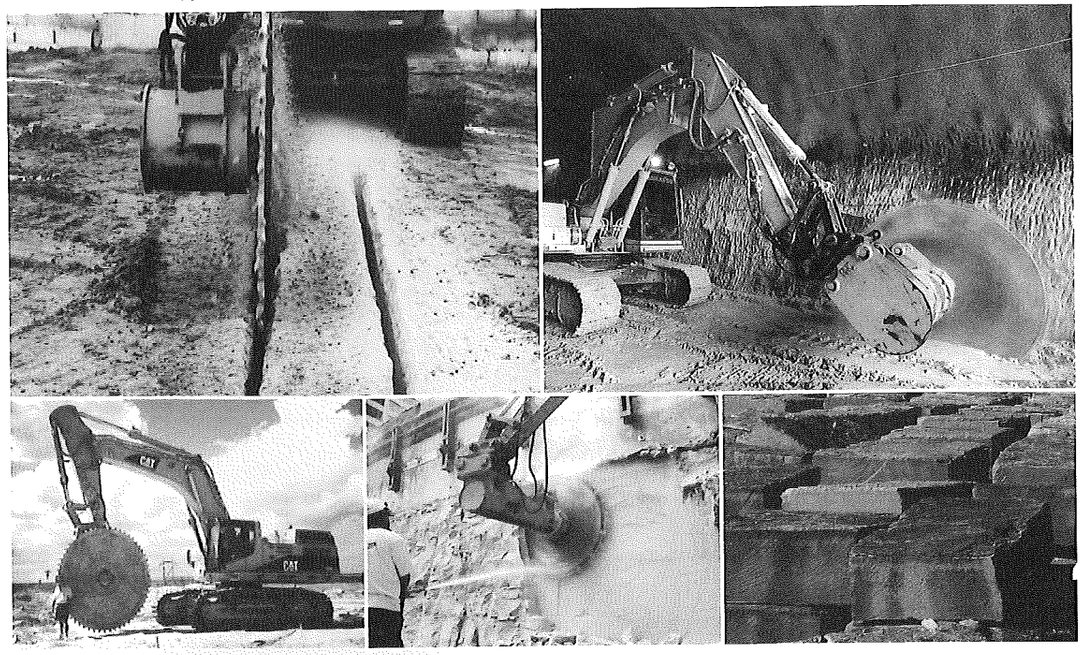
町田俊二
東京都交通局建設工務部計画改良課長

山田隆昭
中日本高速道路株式会社中央研究所
トンネル研究主幹

ROCK TOOLS, Inc.

Rock Saw

Denver, U.S.A.



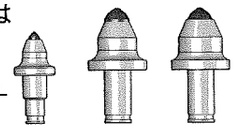
①ロックソーは巾75㎜，深さ0.35～1.52mの硬岩細溝切削用カッターです．
②油圧ショベルに取り付け，その油圧源で駆動します．カッター出力55hp，500hpの２種類があります．水平，垂直方向，油圧ショベルのアームが届く範囲の切削が出来ます．

ロックソーに関するお問い合わせは下記連絡先まで。

webサイトもご訪問下さい(www.rocktoolsinc.com)

岩盤切削用 C(シー) P(ピー) C(シー) ビット

①ビット先端の超硬チップは炭化タングステン(WC)とコバルト(Co)の焼結合金です．
②ビット損耗の主なるものに超硬チップの破損と磨耗が有ります．チップは
③WC粒子が大きいと耐破損強度は大きくなるが耐磨耗性能が低くなり，
Co含有量が少いと硬く耐磨耗性能が高くなるが耐破損強度は小さくなる，
WC粒子，Co量の組み合わせにより最良最適ビットが出来上がります．



④WC粒子には，細粒，中粒，粗粒，超粗粒があります．商業ベース的には粗粒が限度でした．
⑤CPCは商業ベースで供給出来る超粗粒WCの開発に成功しました．
⑥WCの主要産出国は中国です．China PacifiCarbideは米国に本社，中国に生産拠点を置く超硬合金メーカーです．

ビットに関するお問い合わせは下記連絡先まで。

(連絡先) オオヤマ & Co.

〒121-0813 東京都足立区竹の塚1-27-9

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

トンネルと地下　VOL. 38　No. 4　掲載概要

掲載頁 7

軽量パネルを用いたシールドトンネルの漏水対策
—横須賀線東京トンネル改良工事—

東日本旅客鉄道(株)　狩屋　　守

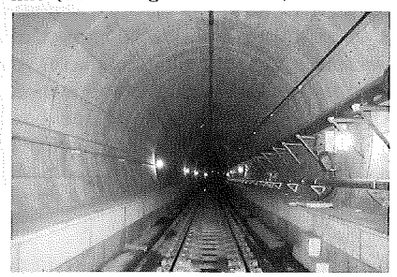
東京トンネルは横須賀線東京・品川間に位置する単線並列のシールドトンネル(総延長12.4km，うち約2.0kmは新橋駅など開削構造)である．一次覆工セグメントは，設計上載荷重の違いにより中子型，コンポジット型など５種類が使用されており，1971年の東京都の地下水汲み上げ規制に伴う地下水位の上昇により，建設途中にトンネル内への漏水が多く発生した箇所においては建設時に二次覆工が施工された．

本稿では漏水に対する抜本対策として，東京トンネルの一次セグメントのみの区間において，現在継続施工中の二次覆工工事を例にとり，これまでの二次覆工工事の変遷も交えながら，鉄道シールドトンネルの漏水対策について紹介するものである．

Resistance to Leakage in Railroad Shield Tunnel—Yokosuka Line Tokyo tunnel improvement work—

By Mamoru Kariya, East Japan Railway Company

Tokyo tunnel is a single-track parallel shield tunnel lying between Tokyo and Shinagawa on the Yokosuka line (Total length of 12.4 km, out of which 2.0 km was constructed by cut-and-cover method for Shinbashi station and others). Five types of primary linings, such as segments of box type, composite type, etc., are used because of the difference in design loads. According to the increase in groundwater level because of the groundwater pumping regulations in Tokyo since 1971, a secondary lining was installed in the tunnel where there was considerable leakage during the construction.



写真は二次覆工施工後の状況

As a drastic resistance against leakage, this report takes the secondary lining work in progress that is installed at the section of Tokyo tunnel with the primary segments as an example, and introduces the resistance of leakage of railroad shield tunnel while considering the secondary lining work done till now

掲載頁 19

衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策
—日本海沿岸東北自動車道　二古トンネル—

東日本高速道路(株)　大津　敏郎

日本海沿岸東北自動車は新潟県から山形県・秋田県を通り，東北縦貫自動車道と連結する高規格幹線道路である．二古トンネルは，秋田県の本荘～岩城間の終点部に位置する延長1,417mの２車線トンネルである．地質は低強度の泥岩が主体であり，地質構造は南北系の北由利衝上断層や二古背斜に代表される多数の断層や褶曲構造を示している．

掘削開始後，土かぶりの増加とともに坑内変位が大きくなり，増しボルトや仮インバートなどの段階的な対策を実施したが，坑口より230m付近で400㎜を超える脚部沈下が発生した．以降，既施工区間の計測結果を踏まえて，早期閉合を基本とした対策工により変位抑制を図ってきた．本稿では，当工事における変状対策経緯，変位抑制対策工の検討および効果について報告する．

Face Support in Squeezing Ground Influenced by Thrust—Nihonkai-Engan Tohoku Expressway Futago tunnel—

By Toshiro Ootsu, East Nippon Expressway Co. ltd.

Nihonkai-Engan Tohoku expressway is an expressway that cuts through Yamagata and Akita prefectures from Niigata prefecture to Tohoku Junkan expressway. Futago tunnel is a bi-lane tunnel of length approximately 1,417 m near Iwaki IC in Akita. The geology is mainly unstable mudstone, and the geological structure indicates the several faults and fold structures represented by the north-south Kita-Yuri thrust and the Futago anticline.



写真は切羽崩壊状況

After the excavation was started, convergence increased with depth, because of which phased countermeasures such as jump bolts and temporary invert were taken, but a foot settlement of more than 400 ㎜ occurred approximately 230 m from the portal. After that, we tried to prevent displacement under the principle of early closure based on measurement results. This report explains the process of examination investigation and results of countermeasures to prevent displacement.

掲載頁 29

甲州街道の重交通下にボックス推進工法で歩道を構築

国土交通省　野笹　隆幸

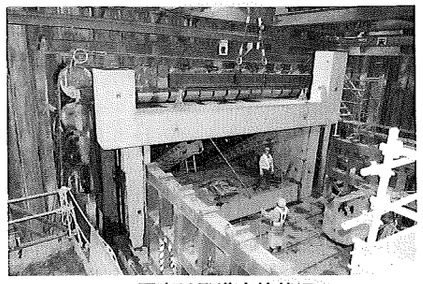
現在，国道20号において国土交通省は「新宿駅南口地区基盤整備事業」として新宿跨線橋架設工事を進めている．一方，当該事業に併せ，JR新宿駅東南口方面から東京メトロ副都心線新宿三丁目駅方面への歩行者の回遊性を確保するため，新宿地下連絡通路工事を国土交通省と東京都が共同施行し，副都心線新宿三丁目駅に接続する計画である．

本工事は，国土交通省と東京都が共同施行となる「地下歩道」と，東京都単独施工となる「新宿三丁目駅出入口」を併せて築造するものである．本稿は，そのうち，「地下歩道」工事において施工した国道20号直下での，幅8.0m×高さ4.2mのボックス推進(単独矩形断面積としては日本最大の函体推進)について紹介するものである

Construction of Pedestrian Box Tunnel by Pipe-jacking Method under Heavy Traffic of Koshu Kaido

By Takayuki Nozasa, Ministry of Land, Infrastructure and Transport

At present, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MLIT) is carrying out construction of highway bridge across railway at Shinjuku as Shinjuku South-East Project on national highway No. 20. In conjunction with this project, a project to construct a footpath connecting to Shinjuku-sanchome station on Fukutoshin line is being jointly planned by the MLIT and the Tokyo government, to preserve the flow of passengers between these stations.



写真は発進立坑状況

This work is executed concurrently with the joint project of underground footpath projected by the MLIT and Tokyo government and the entrance of Shinjuku-sanchome station projected solely by Tokyo. This report introduces the box pipe-jacking of width 8.0m and height 4.2 m that is under national highway No.20 constructed under the underground footpath project.

掲載頁 39

膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案
—北陸新幹線　飯山トンネル東菅沼工区—

鉄道・運輸機構　中村　　敦

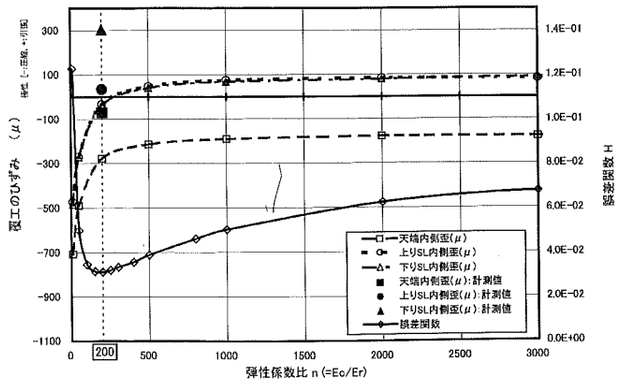
北陸新幹線飯山トンネルは全長約22kmの山岳トンネルであり，東菅沼工区はその中間に位置する延長3.8kmの工区である．当該工区の一部区間では，インバート閉合後も内空変位などがクリープ的に微増した．このため，過去の施工実績を参考にして，鋼繊維補強した二次覆工の打設によって変位を抑止することとした．これにより変位は収束したものの，二次覆工に発生した変形量や応力度の計測値は設計段階でのFEM解析結果と乖離する結果となった．そこで，計測データをもとに設計手法の問題点について再検討し設計法の修正を行った．

本稿は，膨張性地山におけるクリープ的挙動の評価方法とその妥当性について考察し，二次覆工の設計手法を提案するものである．

Evaluation of Current State and Proposal of Design Methodology for Secondary Lining in an Expansive Ground

By Atsushi Nakamura, Japan Railway Construction, Transport and Technology Agency

Hokuriku shinkansen Iiyama tunnel is a mountain tunnel of total length 22 km, and Higashisuganuma section is one of length 3.8 km lying in it. In a part of this section a fractional increase of convergense likecreep phenomena has monitored in even after closure of the invert. We prevented the convergence through secondary lining with reinforced steel fiber. Though the convergence was controlled because of this, the measured values of deformation and stress, etc., that occurred in secondary lining resulted in a discrepancy with the FEM analysis value. Hence, we reconsidered the problems of the design methodology on the basis of the measured data and revised it.



図は覆工ひずみ・誤差関数と弾性係数比との関係

This report observes the evaluation and its adequateness of creep phenomena in expansive ground, and proposes a design methodology of secondary lining.

掲載頁 49

新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果

東日本旅客鉄道(株) 清水　　満

2004年10月23日，新潟県中越地震が発生し，当社の上越新幹線，上越線などの主要鉄道幹線をはじめ，国道17号線，117号線などの主要道路にも大きな被害が生じた．

今回の地震では，耐震性が高いと思われていたトンネルに多くの被害が発生したことと，比較的大きな被害がトンネル坑口部でなくトンネル中間部に発生したことが今回のトンネル地震被害の特徴である．

本報告は，鉄道トンネルにおける全般的な被害状況と，大きな被害が発生した3トンネルを中心に実施した被害原因推定のための調査結果について述べる．

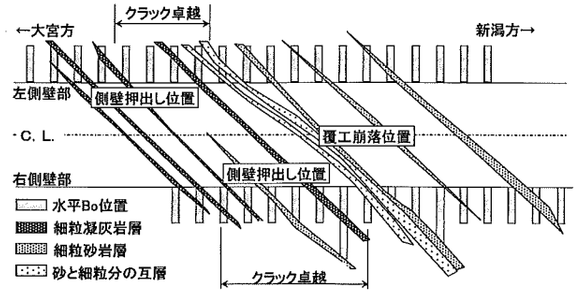
Results of Survey Regarding Damages of Railroad Tunnels Caused by The Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004

By Mitsuru Shimizu, East Japan Railway Company

Mid Niigata prefecture earthquake occurred on October 23 in 2004, because of which there was severe damages to Joetsu shinkansen, Joetsu line, etc., of JR-East, and also to trunk roads such as national highway No.17, 117, etc.

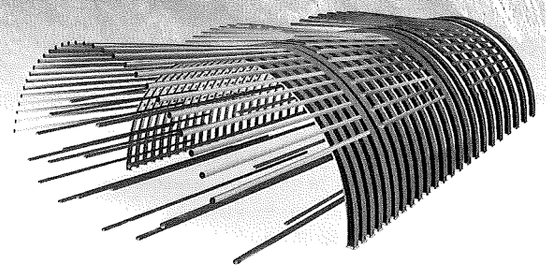
The characteristic feature of the damage of tunnels in this earthquake is that many damages occurred in tunnels, which were considered to be highly earthquake-resistance, and that comparatively higher damage occurred inside the tunnel, and not at the portal of the tunnel.

This report gives the overall condition of damages of railroad tunnels, and the result of investigation to infer the cause of damage focusing on three tunnels where the extent of damage was high.



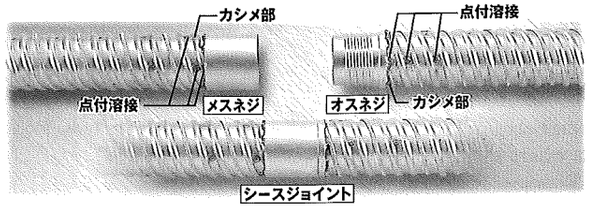
図は魚沼トンネル覆工崩落箇所地質分布平面図

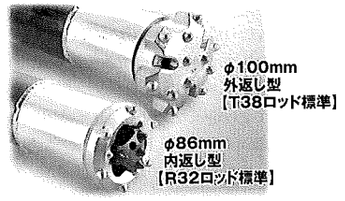
ユニークな発想と高品質・自信の価格



FIXチューブ工法

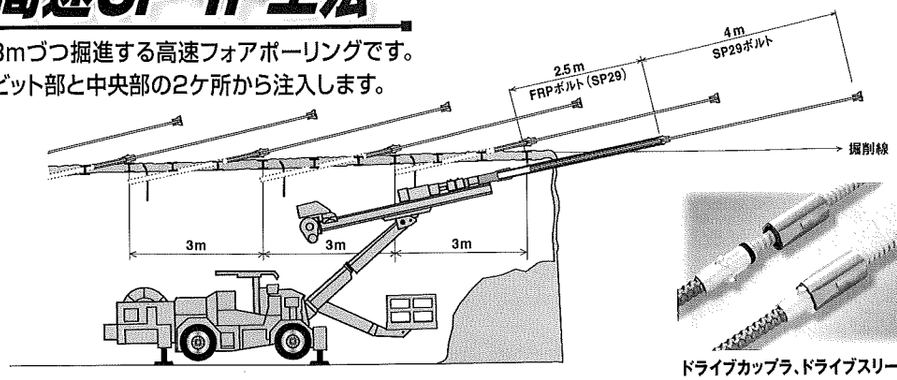
※天端にφ76.3長尺鋼管、鏡部に連続突起を有する長尺鋼製シースを引込み薄肉鋼管を挿入して注入。周辺地山にしっかりと"FIX"します。

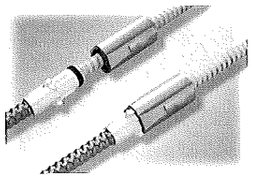




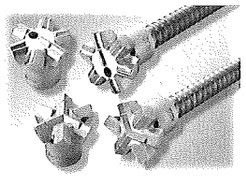
高速SP-IF工法

※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。



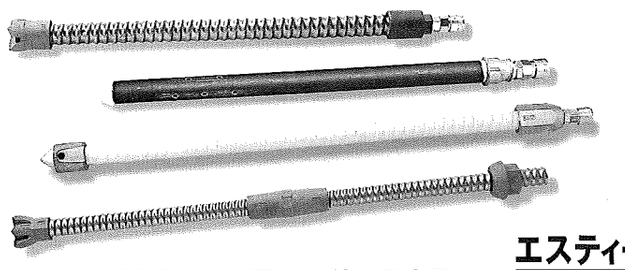


ドライブカップラ、ドライブスリーブ



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)



請負契約とリスク分担

(株)大林組専務取締役土木本部長(本協会理事)
伊藤佳吾

入社してすぐ配属になった熊野のダム現場に2年間勤務した後，昭和40年春からシールド工事に従事することとなり，以後多くのシールドの現場を経験した．最後の現場は開削による地下鉄工事であったが，その後は永らく海外・国内の管理部門にいたので，俗にいう土木屋の分類に従えば自分は何となく「シールド屋である」と自認していて，「トンネル屋」とは山岳トンネルの土木屋を指すものとして一線を画していた．そのようなことでこれまでは「トンネルと地下」を時々読む程度で本協会とはあまり縁がなかったが，2年ほど前に理事になってから，本協会の活動範囲が「トンネル」の定義どおり，シールドトンネルにも開削トンネルにも等しく及んでいることを遅ればせながら知り，以来当社のシールド屋と開削トンネル屋に，トンネルのプロを自称するなら当技術協会に加入すべしと勧誘しているところである．

山岳トンネルはもとより，最近のシールド工事に関する技術開発は目覚しいものがあり，また，施工にあたってのすばらしい工夫・改善事例も数多くあることは，今年の1月号の「トンネルと地下」の5件の施工報文の中の3件はシールド工事のものであることに現在の状況がよく表れていると思う．

さて現在，いわゆる入札制度の改革，多様な入札方式の試行が進められているが，その目的は健全な自由競争をとおして民間のもてる技術力，ノウハウをフルに発揮させる環境をつくり，これにより技術力の向上意欲が高まり，もって品質確保，コスト低減を図ることにあると思われる．

この趣旨に沿った改革は大いに望まれるところであるが，ここで気になるのは新たな入札方式においては，工事に伴うリスク分担の比重が，従来よりも甲から乙へ移行する傾向にあると思えることである．乙のリスク分担が増えるということは，これを前向きにとらえれば乙にとり今まで以上に技術力，施工管理能力を向上させるインセンティブとなることを意味している．また，単純に甲乙の請負契約という観点から見ても，もち

ろんこのこと自体は現在よりも乙にとって不利な契約となることを意味するものではなく，入札時に従来よりも多くなったリスク負担分の費用を適正に織り込めば済むことである．しかし一方で，乙のリスク分担が増えるということは，乙にとって入札前に今まで以上に施工内容・施工環境をよく調査することが必要になることを意味している．従来方式の公共工事標準約款をベースにした請負契約においても，甲乙の設計変更協議は必ずしも容易なものではないことは，トンネル工事によくあるように，実際の土質・地下水の状況が計画時のそれとかなり相違した場合などの設計変更協議で，みなさんも経験されたことがあると思う．この難しさの原点は，入札・契約の時点で甲乙がどこまで自然・環境条件を把握しているか，また把握していなければならないかについて条文上の規定はあるものの，その規定はどうしても大くくりにならざるを得ず，後日甲乙の協議の際にその規定の解釈に差が生じるということに起因している．実際，トンネル工事の入札において，乙が各々事前に全線にわたる土質・地下水の状況を詳しく調査することは，現実的ではない．このように自然・環境条件という，工事の施工には非常に重要でありながら，事前には必ずしも明確にできない条件があるという難しいポイントは，入札・契約制度を多様化させても本質的に残るものであり，自然条件の変化に伴うリスク分担比重を乙に多く移せば，その責任の所在をめぐる甲乙の協議は，従来よりも難しくなるのではないかと危惧するところである．

現在，建設業界は過当競争の真っ只中にあり，低価格入札の嵐が吹き荒れているため，リスク分担の増加が即，入札金を押し上げることにはつながっていないようであるが，いずれ落着きを取り戻したときは，リスクが発生する可能性と甲乙の協議がより難しくなるであろうことを考慮して，乙はリスクの分担費用として応分の金額を織り込むことになるであろう．

35年も前になるが，スタンフォード大学で「Construction Contract」を学んだ際，主任教授がこう言われたのを覚えている．「リスクは，現実には想定していたよりももっと大きい場合，より小さい場合，さらには全く起こらない場合もあるが，通常，リスクを負う側は概して安全側に，すなわち大きめに見るのが普通である．したがって，工事に伴う予測しがたいリスクはできるだけ甲がとるのが，甲にとって結局一番安くすむ」．日本の会計制度にもとづいた契約方式などの背景の中で，日米の差と時代の差もあると思うが，ある意味で現在われわれが直面している課題に関しての識見であり，今でもこの言葉は生きるのではないかと思う．

施工

軽量パネルを用いたシールドトンネルの漏水対策

—横須賀線東京トンネル改良工事—

東日本旅客鉄道(株)東京支社東京土木技術センター　狩屋　守
東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課　四宮卓夫
東日本旅客鉄道(株)東京支社施設部工事課　水野光晴

1 はじめに

近年，都市部においては土地の高度利用化に伴い，鉄道は地下深部に設置せざるを得ない状況にあることが多い．そのため，シールド工法に代表される高度な都市トンネル技術が確立されてきた．都市部のシールドトンネルは，トンネルそのものを作り替えることは困難である．したがって安全・安定輸送を確保するため，延命化を図り健全な状態を長く維持していかなければならない．

地下トンネルに非常に多く見られる変状として漏水が挙げられる．当社では，漏水対策として二次覆工工事を1984年から総武快速線東京・錦糸町間の総武トンネルで実施(2003年終了)し，現在，横須賀線東京・品川間の東京トンネルで実施している．本稿ではこれまでの二次覆工工事の変遷も交えながら，現在継続施工中の東京トンネルを例にとり，漏水対策工について述べる．

2 工事概要

東京トンネルは横須賀線東京・品川間に位置する単線並列のシールドトンネル(総延長12.4km，うち約2.0kmは新橋駅など開削構造)で，有楽町トンネル，汐留トンネル，浜松町トンネル，芝浦第1トンネル，芝浦第2トンネルの総称である(図-1右)．一次覆工セグメントには，設計上載荷重の違いにより中子型，コンポジット型など5種類が使用されている．建設途中よりトンネル内への漏水が多く発生した箇所(新橋・品川間約6.2km：全体の約59%)には建設時に二次覆工が施工されている．

本工事は，漏水に対する抜本対策として，一次

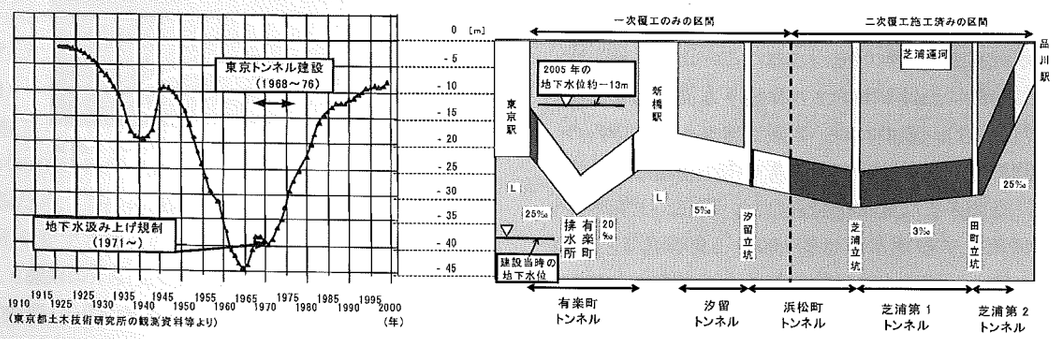


図-1　地下水位の時系列変化(左)とトンネル縦断図(右)

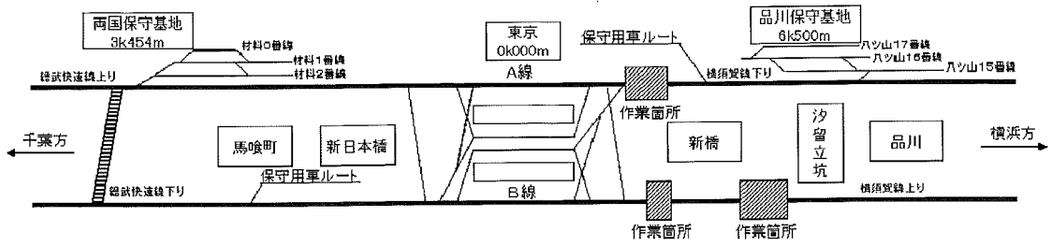


図-2　保守作業基地改良

覆工セグメントのみのシールドトンネル内側に厚さ約110㎜の二次覆工を施工する．第Ⅰ期工事として，ピンセグメントおよび中子型セグメント区間約2,750mと覆工背面の地山緩みおよび空洞に対する背面修繕工などを2003年８月より約５年の工期で施工する予定である．第Ⅱ期工事としてコンポジットセグメント区間約1,500mが計画されている．

作業は，列車が走行しない(線路閉鎖)時間帯に，軌道モーターカー，作業足場台車などにより実施している．これらの工事用車両は，山側のA線(横須賀上り線)は両国駅構内保守基地から，海側のB線(横須賀下り線)は品川駅構内保守基地から入線させ作業を行っているため移動距離が長い(**図-2**)．また，本作業は送電が止まっている間の作業であるため，実作業時間がおおむね午前１時から同３時30分までの，わずか２時間30分という厳しい条件となっている．

3　トンネルの変状

東京トンネルは深いところで地下約30mに及ぶ深度に建設されている．建設当初，地下水位はトンネルより下面にあったが，1971年に東京都の地下水汲み上げ規制が施行されたことから，地下水位は急激に上昇しトンネルは地下水面下にまで及んだ(図-1)．このため一次覆工セグメントのみの区間で地下水(湧水)のトンネル内への漏水がみられ，さまざまな変状が発生した．現在，トンネル内に流入する湧水量は約4,000～5,000m³/日である．また，湧水中には塩化物イオンが含まれており，その濃度はもっとも高い箇所では海水の20～30%程度の塩分を含んでいる．そのためトンネル

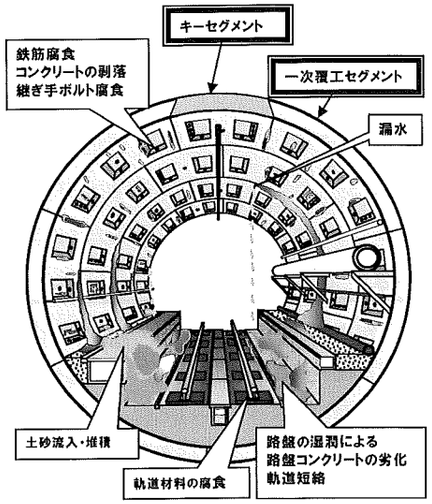


図-3　トンネル変状概要図

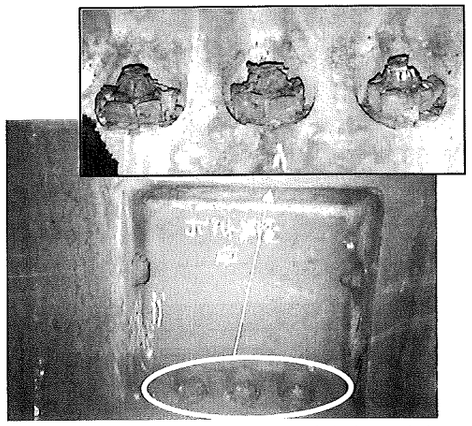


写真-1　中子型セグメント継ぎ手ボルト腐食

の鋼材の腐食などが進行している．

主な変状を**図-3**に示す．

変状については主に一次覆工セグメントの鉄筋・継ぎ手ボルト・コンポジットセグメントの腐食(**写真-1**)，さらにはレールなどの腐食により軌道・



写真-2　土砂流入・堆積状況

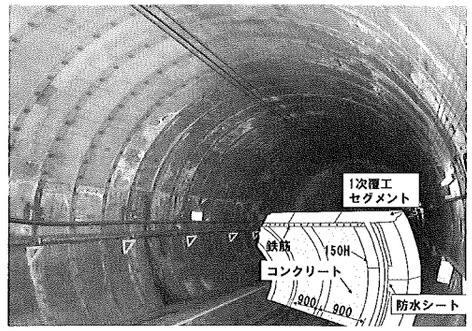


写真-3　場所打ちコンクリート工法

信号設備などにも影響を及ぼしている．また，レールなどの軌道材料の交換頻度は，一般区間の３倍以上である．現状では，湧水とともにトンネル周辺の土砂がトンネル内へ流入しており(写真-2)，トンネル内の排水溝や各排水所の沈砂槽などに堆積した土砂の定期的な浚渫を実施している．

4　建設以降のトンネル二次覆工の変遷

4-1　総武トンネルの二次覆工

前述のとおり，漏水対策によるトンネル二次覆工工事は，横須賀線東京トンネルと東京駅で接続されている総武快速線東京・錦糸町間の総武トンネル(室町T，新日本橋T，小伝馬町T，馬喰町T，柳橋Tの総称)において，開業が早く，変状が進行していたことから，1984～2003年にかけて施工したのが始まりである．

これまでの間に，さまざまな検討を実施し，現在の東京トンネルで実施している工法にたどり着いている．ここではその変遷について紹介する．1985～1986年にかけては，試験施工として場所打ちコンクリートによる二次覆工を実施した(**写真-3**)．これは，支保工部材(H形鋼)に型枠を組んで施工するものであったが，支保工表面が露出し鋼材の防錆処理が必要となることや，人力施工であるため，型枠の設置・撤去に多くの人員および時間を要するなどの課題があった．

1989年からは，施工効率向上のため，鉄筋コンクリート製プレキャスト板(以下，PCW板)を使用した機械化施工の二次覆工，通称PCW工法を

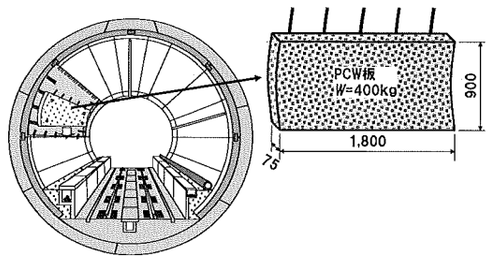


図-4　PCW工法における二次覆工

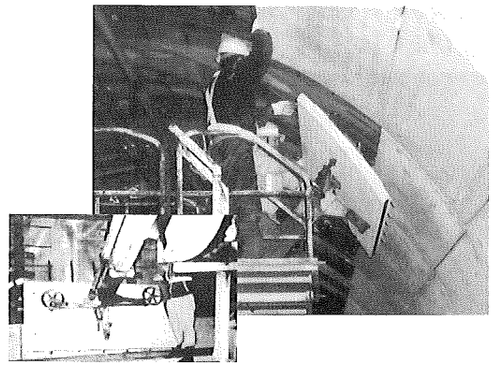


写真-4　エレクタ台車作業状況

施工した(**図-4**)．この施工方法では，支保工を組んだ後，専用の施工機械エレクタ台車(**写真-4**)を使用してPCW板を支保工に取り付け，セグメントとPCW板との間にモルタルを打設する．支保工の設置は場所打ち工法と同様だが，PCW板が埋設型枠となるため鋼材の露出もなく，また型枠の撤去を必要としない．そのため，100m/年程度の施工が限界であった場所打ち工法と比較してPCW工法では200m/年と大幅に施工効率が向上した．

4-2　東京トンネル二次覆工施工法の開発

東京トンネルにおいては，二次覆工施工計画の総延長が約4,300mあり，総武トンネルと同様のPCW工法で施工した場合，施工期間約20年の大規模工事となることが試算された．そこで，施工速度の向上とコストダウンを目的とした二次覆工施工法を開発することとなった．

総武トンネルで施工したPCW工法は，プレキャスト板の重量が１枚約400kgと非常に重く，人力では施工できないため，二次覆工の施工速度はエレクタ台車の施工能力(１日でパネル30枚程度)に制約される．また，エレクタという専用の機械を必要とすることから，施工編成数を増やすことが難しいという課題があった．そこで，二次覆工パネルの重量を軽量化して，施工の自由度，施工速度を向上させることとし，工期短縮およびコストダウンを図ることとした．

二次覆工の施工法の開発に先立ち，二次覆工に要求される機能を整理した．

① トンネル内への漏水および背面土砂の流入防止
② 一次覆工セグメント鋼材の腐食抑制
③ 一次覆工キーセグメントの落下防止
④ 所定の耐火性を有すること

以上の性能を満足させることとした．なお，二次覆工に要求される機能の考え方はPCW工法を踏襲している．

検討した結果，基本構造については，誤差や曲線部に対する施工の自由度，将来的な補強などのしやすさを考慮し，支保工鋼材に型枠兼用の軽量パネルを取り付け，裏込めモルタルを打設する構造とした．また，漏水防止については，完全に止水するのではなく，水の浸入経路を長くすることでトンネル内への流入速度を抑えることとし，二次覆工背面に防水シートを設置し，センタードレーンに導水する構造とした(**図-5**)．

軽量パネルの材質は，強度，耐久性などの面から繊維強化プラスチック(FRP)と繊維補強セメントの２種類を選定，検討した．これらの素材はPCW板で用いていた鉄筋コンクリートと比較して引張強度およびじん性が高いため，パネルを薄くすることで大幅な軽量化を図ることができる．また，トンネル内における耐火性を確保するため，FRPには熱硬化型プラスチックであるフェノール樹脂を用いた(**写真-5**)．繊維補強セメントについては，高じん性であるPVA(ポリビニルアルコール)繊維を用いた(**写真-6**)．

ここで，軽量パネルを用いた場合，裏込めモルタル打設時に側圧よりパネルの変形(たわみ)が大きくなること，パネルに発生する応力が大きくなることの２点が懸念されるため，たわみ抑制を目的とした仮設梁(角型鋼管)を併用することとした．

基本構造の検討およびパネル材質の決定に際し

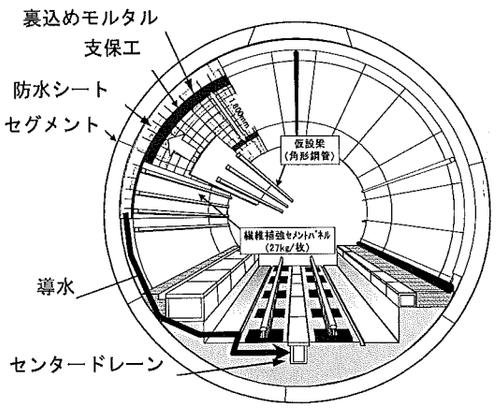


図-5　導水構造および繊維セメントパネル工法

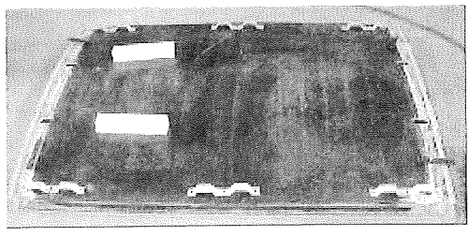


写真-5　フェノール樹脂FRPパネル

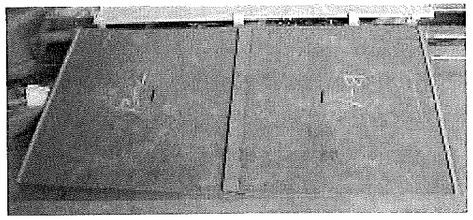


写真-6　PVA繊維補強モルタルパネル

て，性能，施工性などを確認するため，トンネル覆工の一部を模擬した，実物大の模型による施工試験を実施した(**写真-7**)．

その結果，両材料とも施工性が良好で，たわみおよび発生応力が十分小さいことが確認できたが，耐火性能のグレードおよびコストの面から優位であった繊維補強セメントパネルを採用することとした．その結果，パネルは１枚あたり約400kgから約27kgと大幅に軽量化することができた．

繊維補強セメントパネル工法を図-5に示す．支保工鋼材については，軽量パネルを採用することで支保工をPCW工法時のH-125からH-100と軽量化することができた．その結果，人力での取り付けが可能となり，施工効率が向上した．以上により，総武トンネル施工時の施工速度200m/年に対して，東京トンネルでは350m/年の施工，また，施工の自由度が向上したことにより複線同時施工が可能となり，工期を大幅に短縮できる見込みとなった．**表-1**に二次覆工の変遷を示す．

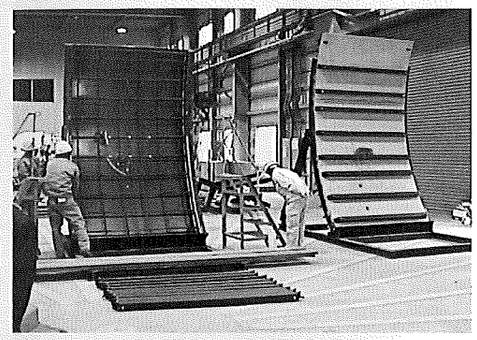
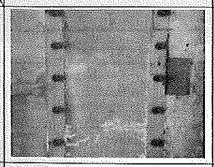
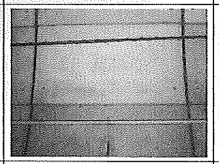
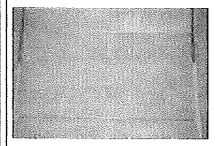


写真-7　施工試験の状況

表-1　二次覆工の変遷

	場所打ちコンクリート	PCW板 (Precast Concrete Wall)	繊維補強セメントパネル
写真			
覆工材料	鉄筋コンクリート	鉄筋コンクリート板 1,800×900×75 W=400kg/枚	繊維補強セメントパネル 1,800×900×13 W=42kg/枚
支保工	H-150×1,800 W=60kg/本，ctc900	H-125×3,000 W=72kg/本，ctc1,800	H-100×2,500 W=42kg/本，ctc1,800
覆工厚	150㎜	200㎜	113㎜
速度	100m/年	200m/年	両線施工700m/年 (単線施工350m/年)

5　繊維補強セメントパネル二次覆工の施工方法

ここで，東京トンネル改良工事で採用している繊維補強セメントパネル工法の基本施工手順を紹介する．

(１)　側道撤去工

トンネルインバートまで二次覆工を施工するため側道の撤去を行う(**写真-8, 9**)．

トンネル側道は，作業員や緊急避難用の通路の役割のほかに歩行面下部に特別高圧・通信・信号などのケーブルトラフが敷設されており，側道撤去前に仮設ブラケットを設置し，それらのケーブルを仮移設する必要がある．また，移設後も防水シートを挟み込むため，架線碍子や漏洩同軸ケーブル(LCX)ブラケットなどの盛り替えも発生する．

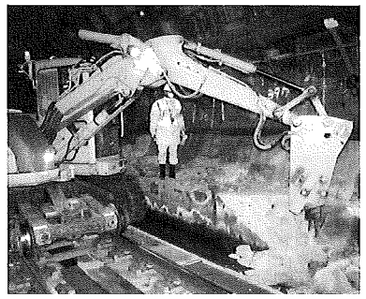


写真-8　側道撤去

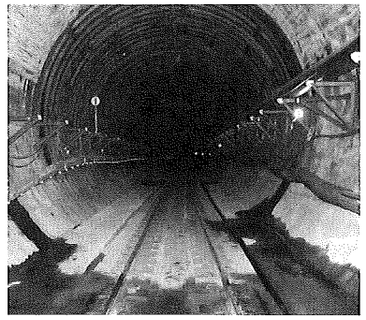


写真-9　側道撤去後

（2） 防水シート工

中子型セグメント区間については，防水シート工に先立って，発泡スチロールにてセグメントの穴埋めを行う．その後，シート取り付け装置付き台車を使用し，トンネルセグメント面に防水シートを貼りつける(**写真-10, 11**)．

支障物に関しては盛り替えもしくは一度撤去し，防水シートを挟み込むことにし，それが困難な箇所に関しては，樹脂系の塗布防水を施工する．

（3） 支保工取り付け工

防水シート取り付け前に，あらかじめ打設しておいたアンカーに支保工を取り付ける(**写真-12**)．PCW工法では，H-125の鋼材を機械施工していたが，パネルを軽量化したことにより，H-100とすることができた．その結果，人力での施工が可能となり，施工能率が大幅に向上した(**図-6**)．

（4） 鉄筋組み立て工

工場で格子状に組んでおいた鉄筋を支保工に取り付ける(**写真-13**)．PCW工法ではコンクリートパネルに鉄筋が取り付けられていたが，人力による施工速度向上を図ったためパネルと鉄筋は別々に取り付けることとした(図-6)．

（5） 側道復旧工

一段目のパネルを組んだ後，撤去した側道を復旧し，仮設ブラケットに移設していた各種ケーブル類を新設した側道下部に戻す(**写真-14**)．

（6） 繊維補強セメントパネル設置工

下段から上段へとパネルを組んでいく．PCW板を取り付ける機械(エレクタ台車)では，取り付けアームが1本であったため片側のみ1枚ずつの施工であったが，開発した軽量パネルでは人力で取り付けられるため，両側同時の設置が可能であり，施工速度は飛躍的に伸びている(**写真-15, 16**)．

（7） 裏込めモルタル打設工

パネル設置後，パネルたわみ防止のための仮設梁を設置し(**写真-17**)，各注入孔から裏込めモルタルを充填施工する．最後に天端部にできる空洞に発泡モルタルを充填する．



写真-10　シート取り付け状況

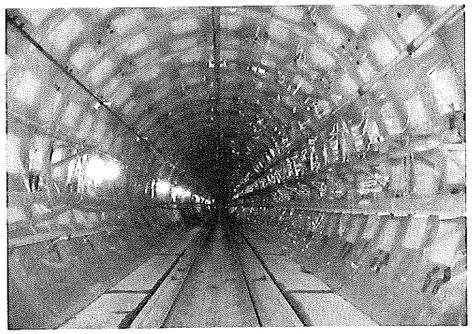


写真-11　防水シート取り付け後

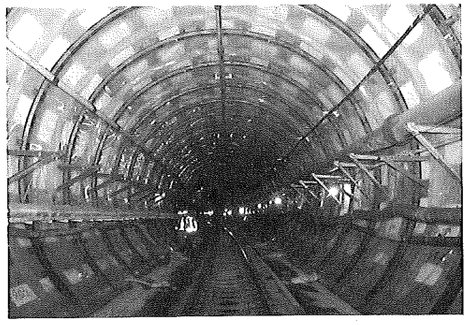


写真-12　支保工取り付け後

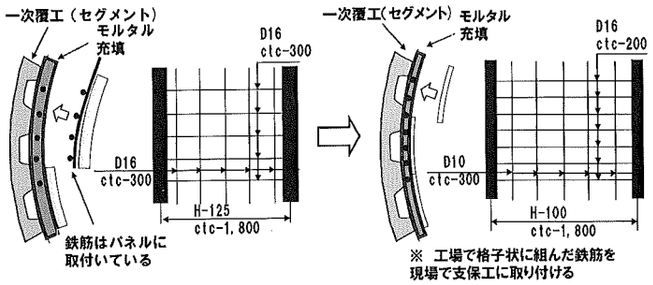


図-6　支保工および鉄筋の変遷

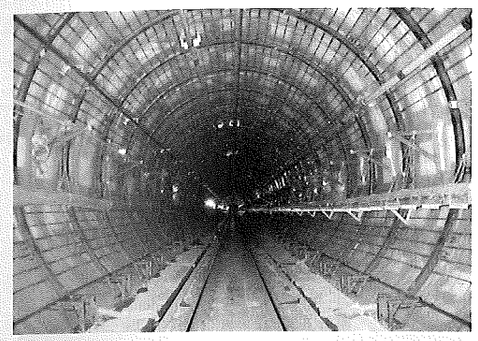


写真-13　鉄筋組み立て後

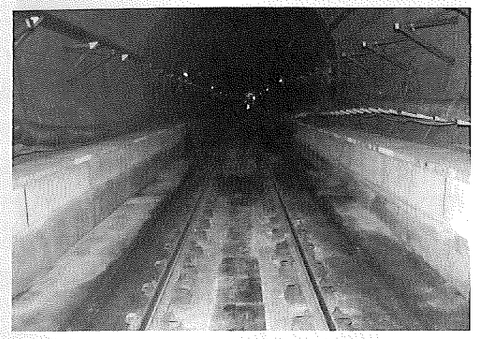


写真-14　側道復旧状況

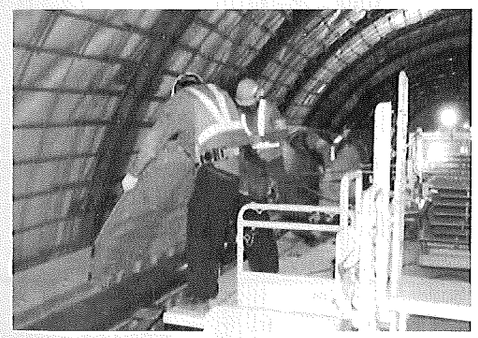


写真-15　繊維補強セメントパネル設置工



写真-16　繊維補強セメントパネル設置

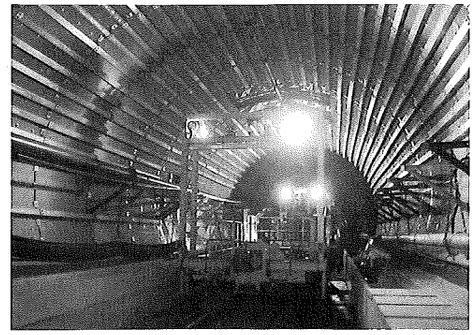


写真-17　仮設梁設置・モルタル打設状況



写真-18　二次覆工施工前

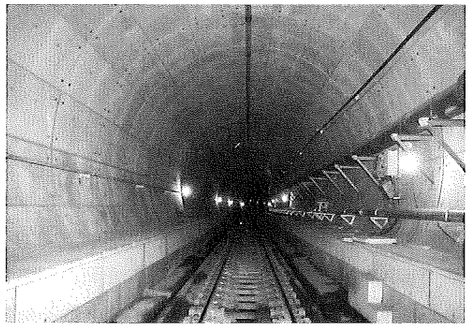


写真-19　二次覆工施工後

養生期間をおいて，仮設梁を撤去して二次覆工完了となる．

二次覆工施工前後の状況を**写真-18, 19**に示す．

6　トンネル背面修繕工

6-1　覆工背面調査

前述のとおり，漏水とともにトンネル周辺の土砂がトンネル内へ流入しており，これに伴う周辺地盤の緩みおよび地上構造物の沈下などの影響などが危惧された．そのため覆工背面の空洞・緩み，

地山の変状の調査を行った．

トンネル一次覆工背面からの漏水は，有楽町排水所付近で比較的多く発生している．トンネル内排水溝と有楽町排水所の沈砂槽での土砂浚渫量を確認したところ，トンネル背面の土砂も流入している可能性があることがわかった．そこでトンネル周辺地山の緩みをみるため有楽町排水所地上部よりボーリング調査(標準貫入試験)を行った(**写真-20**)．また，セグメント背面の空洞・緩みを調べるため，貫入試験を行うこととしたが，一般的な貫入試験装置では作業時間間合いや装置の大きさなどにより困難なため，小型・軽量化し人力運搬が可能な圧入式背面探針試験装置を開発し，調査を行った．開発した背面探針試験装置は，セグメントに孔を開け，φ16㎜の貫入ロッドを2.5ポンドハンマーにて人力で貫入するものである(**写真-21**)．

調査の結果，ボーリング調査では，トンネルから2.3m離れた箇所のGL－24～－34m付近でN値2～13程度，一方，8.5m離れた位置ではN値50以上であり，トンネル周辺地山が緩んでいることが推定された(**図-7**)．また，背面探針調査では，一次覆工のみ全区間(4,340m)にわたり計24か所，49点で行った．調査の結果，全長にわたって200～400㎜に先端抵抗力がおおむね0の区間があることが確認された(**図-8**)．その中でも有楽町排水所および第3有楽町高架橋付近では1,000～2,000㎜の緩み範囲が確認された．この覆工背面の緩みについて一次覆工セグメントに発生する応力を解析したところ，常時の安全性には問題がないことと，地震時には背面の緩みが200～400㎜程度では，トンネル自体の崩壊には至らないことを確認し，二次覆工を行うにあたり背面の修繕が困難なことから，今回，調査結果をもとに必要な区間については二次覆工施工前に地盤注入を施工することとした．

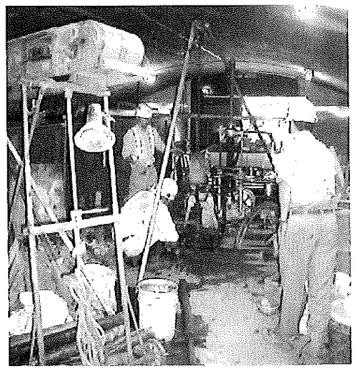


写真-20　ボーリング調査状況

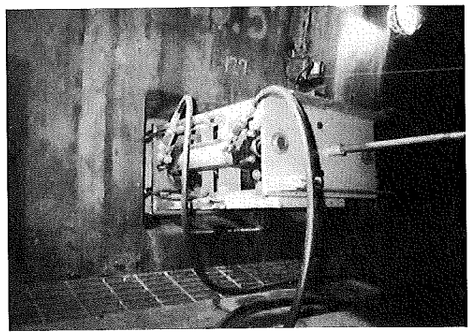


写真-21　背面探針試験装置

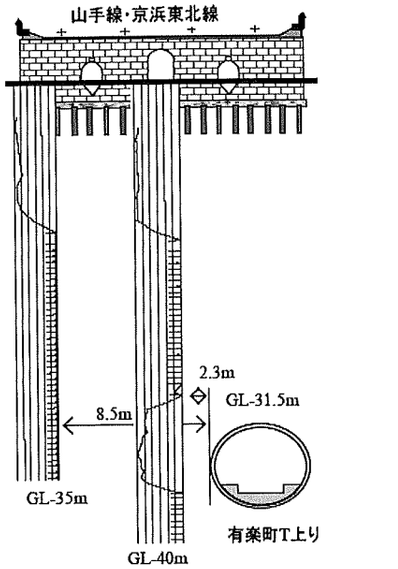


図-7　ボーリング調査結果

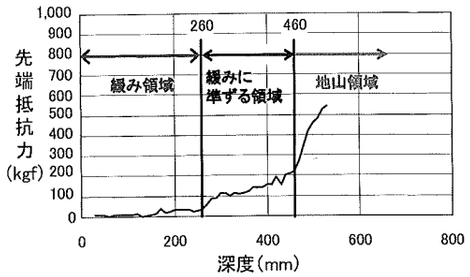


図-8　有楽町排水所付近の背面探針調査結果

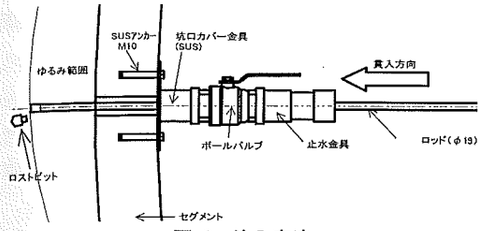


図-9　注入方法

6-2　注入材料選定

注入材料については，水ガラス，可塑性グラウト材，恒久性グラウト材などを比較検討した結果，恒久性グラウト材を選定した．この注入材はほかの注入材と比べてゲルタイムが長く，試験施工において薬液が砂層に浸透している状態が確認できた．また1ショットで施工可能であり，作業時間が制約される当該現場に適している．

6-3　注入施工方法

注入の施工手順を以下に示す(**図-9**)．

① 削孔箇所の墨だし
② セグメントに注入孔口金具を取り付ける
③ セグメントを削孔する
④ ロッドを背面地山まで挿入する(逆止弁付き)
⑤ 注入範囲深さまで達したら先端のロストビットを外し，ロッドを手前に引き注入する

7　施工実施に伴う改善点

東京トンネルの二次覆工工事施工の際には，前述のとおり総武トンネル施工時と比較し，工法を改善して計画した．ところが，施工開始後，ほかの保守作業との調整などにより予定作業日数の確保が難しいことなどの問題点が発生し，さらなる施工速度向上による工期短縮が求められた．ここでは，施工の拠点となる保守基地の改良，作業用車両および編成の改良など，さまざまな工夫・検討を重ね施工速度向上を図ったのでその事例を以下に紹介する．総武トンネル施工時と現在の東京トンネルの施工について代表的な相違点を**表-2**に示す．

表-2　施工方法の変更点

	総武トンネル (PCW工法)	東京トンネル (改良後，現在)
施工法	・支保工に，専用機械を用いてPCW板を取り付け ・裏込めモルタルを打設	・支保工に，繊維セメントパネルを取り付け ・仮設梁により補強後，裏込めモルタルを打設 ・モルタル硬化後，仮設梁を撤去
基地	両国基地使用	両国基地(0番線新設)および品川基地の使用
支保工	H-125，機械により取り付け	H-100，人力により取り付け可能
パネル	約500kg/枚，専用の施工機械により取り付け	約42kg/枚，人力により取り付け
モルタル	トックミキサー車を基地で汎用台車に乗せて現場へ移動	モルタルプラントを搭載した専用台車を使用，現場でモルタルを製作
施工実績	単線施工200m/年	両線施工700m/年 (単線施工350m/年)

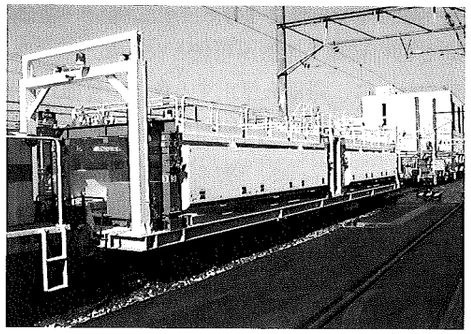


写真-22　新造した作業足場台車

7-1　施工着手前の改善点

第一点目に東京トンネルにおける二次覆工は人力施工を主体としたため，汎用の工事車両を用いることができる．そこで，MCおよび作業台車を増備することで，複数編成での同時施工を可能とした．また，二次覆工部材の組み立ての際に使用する足場台車を大型化することで，作業人員を増やし，施工速度向上を図った(**写真-22**)．

第二点目にモルタル打設作業について，総武トンネル改良工事では，専用の自走台車にトラックミキサー車・ポンプを載せ行っていた．しかし，この方法ではプラント工場出荷から現場での打設まで5時間以上かかり，流動性確保などの品質管理が非常に困難だった．また，1日の打設量もミ

キサー車の数量に制約されるため，9 m³/日程度が限界であった．そこで，施工速度と品質の向上のため，モルタルプラントを搭載した台車を導入することとした(**写真-23**)．モルタルプラント台車は材料・ミキサー・ポンプが一体となった専用台車で1日あたりの打設量も12m³と向上した．また，現場で必要数量のモルタルのみ製造できる．そのため混練後，直ちに打設できるためモルタルの廃棄もなく産業廃棄物の削減と品質の向上につながった．

第三点目に側道撤去作業によるコンクリートガラ運搬について，総武トンネルでは撤去したガラを一袋ずつ土嚢(のう)詰めにし，軌陸車に積載・搬出していた．しかし，一度に搬出できる量には限界があるうえ，投入できる軌陸車の台数にも限界があった．そこで東京トンネル改良工事では，ガラ運搬専用台車を導入(**写真-24**)．それに伴い一度に最大25 t/回の積載・運搬が可能となった．

そのほかに，送電を停止する夜間の停電作業時間の拡大，東京駅→品川駅回送の最終列車を東京駅留置することによる夜間作業時間の拡大などさまざまな作業条件改善も行った．

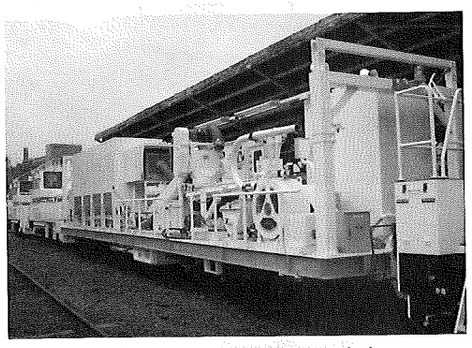


写真-23　モルタルプラント台車

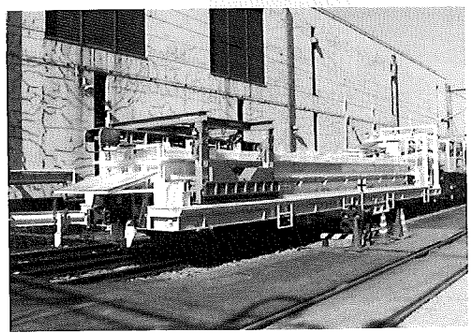


写真-24　ガラ運搬台車

7-2　施工着手後の改善点

東京トンネル改良工事から軽量の繊維補強セメントパネルを採用し施工速度向上を図ってきたところだが，軽量なパネルを採用したことにより，モルタル打設時のパネルのたわみを防ぐため仮設梁の設置が必要となった．二次覆工施工着手後の1年目において作業の検証を行った結果，繊維補強セメントパネル取り付けおよび仮設梁設置作業に時間がかかっており，これを簡略化することによりさらなる作業性の向上を図った．

まず，パネル設置・固定方法を変更した．当初繊維補強セメントパネルは仮設の座金を用いてボルト固定としていたが，トンネル内空側に仮設物が多く，落下防止の手間もかかっていた．そこで，あらかじめパネル裏面に回転板を設置し，パネル設置時にボルトを締め込むことで固定する方法に変更した(**図-10**)．

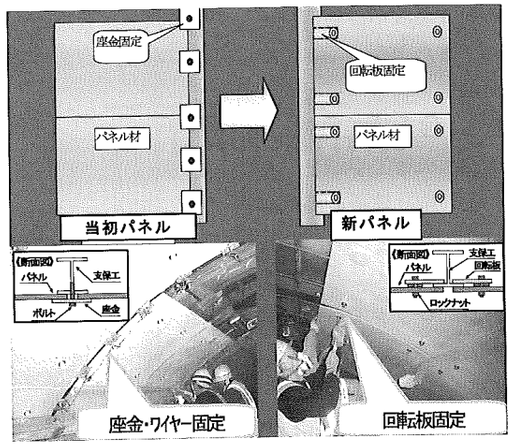


図-10　パネル固定方式の変更

次に，繊維補強セメントパネル採用による仮設梁設置について，当初では，パネル厚8.5㎜(27kg)に対して仮設梁は300㎜間隔で設置していた．仮設梁についても落下防止の措置が必要であり非常に手間がかかっていた．そこで，人力で運搬・設置できる重量に抑えつつパネルの剛性を高め，仮設梁の本数を削減することを検討した．その結果，8.5㎜のパネルに4.5㎜のパネルを張り合わせ剛性を高めることにより，仮設梁間隔を300㎜から450㎜に広げることができた．パネル重量は約27kgから約42kgと増加したが施工への影響は少なく，仮設梁設置・解体時間短縮により全体の施工速度向上が図れた(**図-11**)．

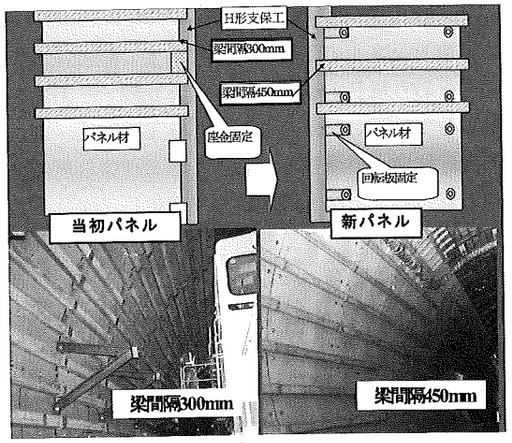


図-11　パネル改良による仮設梁の削減

以上の取り組みにより，2006年現在の年間施工量は東京トンネル改良工事計画当初350m/年に対して約700m/年の施工実績となっている．

8　おわりに

近年では，都市部シールドトンネルは，地下水位以下に構築されることを前提に設計することが一般的であり，建設当初より止水・導水を考慮した構造としている．また，防水用シール剤や裏込め注入の技術の進歩により止水性が格段に向上しているため，最近では漏水による変状はかなり少なくなってきている．

東京トンネル改良工事では引き続き，第Ⅱ期工事を計画しているコンポジットセグメント区間に適した施工法や，さらなる施工速度向上を目指した二次覆工工法の検討に取り組んでいく．

参考文献

1) 鈴木延影・渡邉誠司・長谷川真吾：覆工背面地盤に緩みのある鉄道シールドトンネルに対する裏込め注入試験について，土木学会第58回年次学術講演会，2003.9.
2) 山口高嶺・鈴木延影・藍郷一博：東京トンネルの変状と対策について，土木学会第59回年次学術講演会，2004.9.

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．

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

新しいまち北斗市での新幹線工事

中　塚　静　夫

函館駅から海岸線沿いに車を走らせ西に向かうと，すぐに北斗市に入る．北斗市は平成18年２月に上磯町と大野町が合併して誕生した人口５万人の新しいまちである．函館湾沿いに建つ太平洋セメント(株)上磯工場はひときわ存在感がある．この工場から湾に延びるベルトコンベヤの下をくぐり，さらに西へ７kmほどのところに茂辺地川の河口がある．ここで国道228号を右折し３kmほどさかのぼったところに北海道新幹線のルートがあり，この川に面して全長8,080mの渡島当別トンネルの東坑口がある．

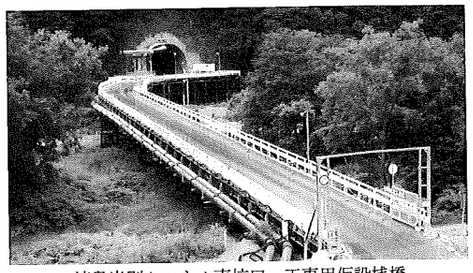
茂辺地川では鮭ふ化事業が盛んでその歴史は古く明治12年からとも言われ，11月上旬には鮭まつりが開催され多くの人々で賑わう．

この地で日本最初のものとして「男爵いも」と「トラピスト修道院」が有名である．

渡島当別トンネルの東坑口と西坑口の間の海沿いにJR渡島当別駅があり，そのすぐそばに，明治の実業家・川田龍吉男爵の農場跡地を整備してつくられた男爵資料館がある．建物は大正時代に建てられた牛舎を改築したもので，当時としては珍しかったアメリカ製農機具や生活用品などが展示されている．明治33年に輸入され川田男爵が愛用したアメリカ製のロコモビル蒸気自動車も当時の姿のままで保存されている．

川田男爵は北斗市当別に農場をつくり農業の研究を続けた．ここでアメリカなどから輸入したジャガイモの試験栽培を行ったが，これが一般に広まり「男爵いも」として知られるようになった．

男爵資料館から段丘をすこしあがったところにトラピスト修道院がある．明治29年，フランスから渡来したジェラル・プーリエら９人の修道士により日本最初の男子修道院が当時「石倉野」と言われていた当地に創設された．「厳律シトー会　灯台の聖母大修道院」が正式名称だが，トラピストという名称はかつてシトー会を改革したフランスのトラップ修道院に由来するそうだ．今でも40人ほどの修道士が農耕，牧畜酪農を行いながら厳しい戒律のもとで生活している．

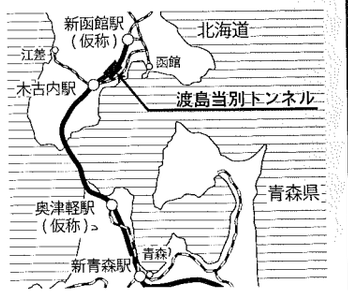

渡島当別トンネル東坑口　工事用仮設桟橋

みどりの並木と調和した赤レンガの修道院は，静寂なたたずまいをみせ，訪れる人々の心を和ませる．「人間道路会議賞」を受賞した並木道である．

この修道院には，「赤とんぼ」，「野ばら」などで有名な詩人・三木露風が日本文学の講師として大正９年から４年間滞在している．

北海道新幹線は平成17年４月に新青森・新函館間が認可となり，平成27年の開業を目指している．渡島当別トンネルは，平成17年９月６日に着工した．この年の冬，近年記憶にない大雪をついてトンネル坑口に取り付く仮設桟橋を架設し，風速20mも珍しくない吹雪の中での仮設工事も無事切り抜けた．平成18年３月27日からトンネル掘削が始まり，平成19年１月25日に掘進長が1,000mを超えた．現在，工事は最盛期を迎えようとしているが，一日も早く貫通すべく，また，茂辺地川の鮭に迷惑をかけないよう全員一丸となって工事に取り組んでいる．

(大成・地崎・岩倉・加藤道幹，渡島当別T(東)他特定建設工事共同企業体所長)



位　置　図


トラピスト修道院

施工

衝上断層の影響を受けた押し出し性地山における切羽対策

—日本海沿岸東北自動車道　二古トンネル—

東日本高速道路(株)東北支社秋田工事事務所岩城工事区工事長　大　津　敏　郎
東急建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体所長　広　瀬　雅　明
東急建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体監理技術者　澤　田　和　也
東急建設(株)技術本部土木エンジニアリング部　徳　留　　修

1　はじめに

二古トンネルは，新直轄方式として整備が進められている日本海沿岸東北自動車道岩城ICの南約600mの地点を北側坑口とし，二古川側の南側坑口までの延長1,417mの２車線トンネルである(図-1)．地質は，新第三紀中新世後期の低強度の船川層泥岩が主体であり，南北系の北由利衝上断層群に代表される多数の断層や褶曲により破砕変質を受けている．このような地質条件のもとに掘削を開始したところ，土かぶりの増加とともに坑内変位が大きくなり，坑口より230m付近で400㎜を超える脚部沈下が発生したため，以降，早期閉合を基本とした対策工により変位抑制を図ってきた．

本稿では，当工事における変状対策経緯，変位抑制対策工の検討および効果について報告する．

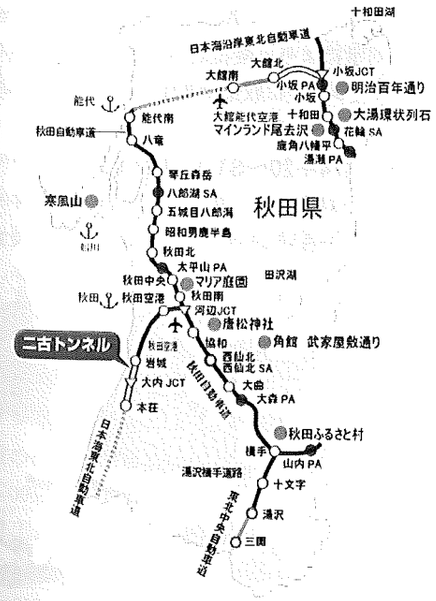


図-1　施工位置図

2　工事概要

表-1に工事概要を示す．トンネルは，平成16年

表-1　工事概要

工事名称	日本海沿岸東北自動車道二古トンネル工事
工事場所	秋田県由利本荘市岩城二古～内道川
工期	平成16年３月26日～平成19年３月10日
発注者	東日本高速道路(株)東北支社
施工者	東急建設(株)・鉄建建設(株)共同企業体
トンネル延長	1,417m
掘削工法	上半先進ショートベンチカット工法 上下半交互併進ミニベンチカット工法
掘削方式	機械掘削(ツインヘッダ)

10月から終点側坑口より掘削を行ってきたが，変位抑制対策を実施することにより，工程に遅れが生じたため，平成17年12月末からは，起点側坑口からも掘削を行い，掘削開始から20か月後の平成18年６月末に貫通した．

3　地形・地質概要

3-1　地形概要

図-2に，本トンネルの地質平面・縦断図を示す．本トンネルは日本海に沿って南北方向に伸びて分布する由利丘陵の西側部分に位置している．トンネル周辺には，南北性の方向性を有すリニアメントが発達し，トンネルの施工に大きく影響する南北系の北由利衝上断層群が存在している．また，東側の断層付近には地すべり地形が分布している．

3-2　地質概要

トンネル周辺の地質は，新第三紀中新世後期の船川層泥岩が主体であり，凝灰岩と砂岩を挟在している．また，起点側には鮮新世の天徳寺層が分布している．地質構造は日本海沿岸と併走し南北性の方向を有する構造の発達が顕著であり，とくに，南北系の北由利衝上断層群が発達する東西性の圧縮帯に位置し，断層と褶曲とが関係して地質分布や地質構造を複雑にしている．北由利衝上断層は東側隆起の地質構造が認められ，断層面は東側傾斜とされており，東側が西側に乗り上げる逆断層となっており，活断層分布図では“活動度A”の活断層とされる．

本トンネルは，北由利衝上断層群や二古背斜と斜交し，地山を構成する船川層泥岩は，これらの断層や褶曲の影響により破砕変質を受け，部分的に粘土化している．そのため，一軸圧縮強度は，0.1以下(破砕変質部)～７N/㎟以上(健全部)とばらつきが大きい．

4　変状対策経緯

図-3に，大きな押し出し傾向が見られた区間(坑口から約900m)における変状対策経緯を示す．本工事では，終点側坑口からショートベンチカット工法により掘削を開始したところ，STA.474＋80付近から急激に脚部沈下が増大した．以下では，段階的に変位抑制対策を実施した区間(STA.474＋80 ～STA.473＋04)を対象に，変状対策経緯を示す．

4-1　STA.474＋80～STA.474＋20

STA.474＋80以降，右側脚部に100㎜以上の沈下が発生した．応急対策として，増しボルトや上半仮インバート(吹付け t＝200)を施工するとともに，下半掘削時には，一次インバート(吹付け t＝200)を施工し変位抑制を図った．しかし，上半仮インバートでは下半掘削時に再度沈下が発生すること，ならびに対策工を掘削サイクルに取り込むために，STA.474＋54以降，ウイングリブ付き支保工とフットパイル(AGPφ114.3)を施工した．これらの対策により，変位速度の低減効果は見られたが，変位が完全に収束するまでには至らなかった．

4-2　STA.474＋20～STA.474＋00

これまでの対策より，変位抑制には上半仮インバートと下半一次インバートが有効であったため，

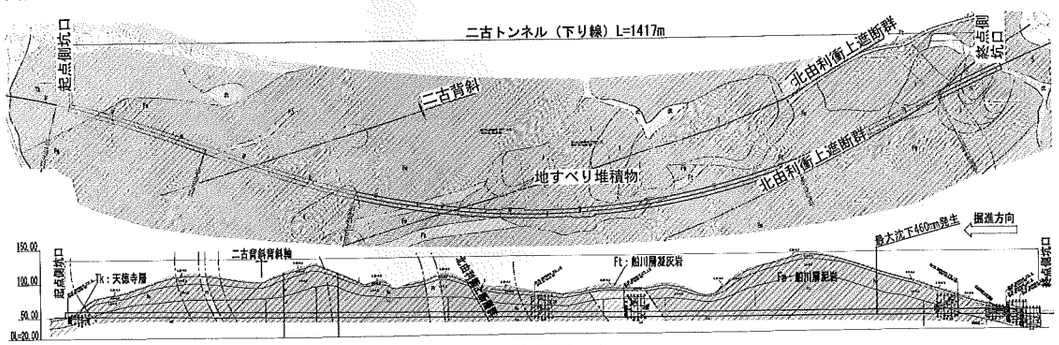


図-2　地質平面縦断図

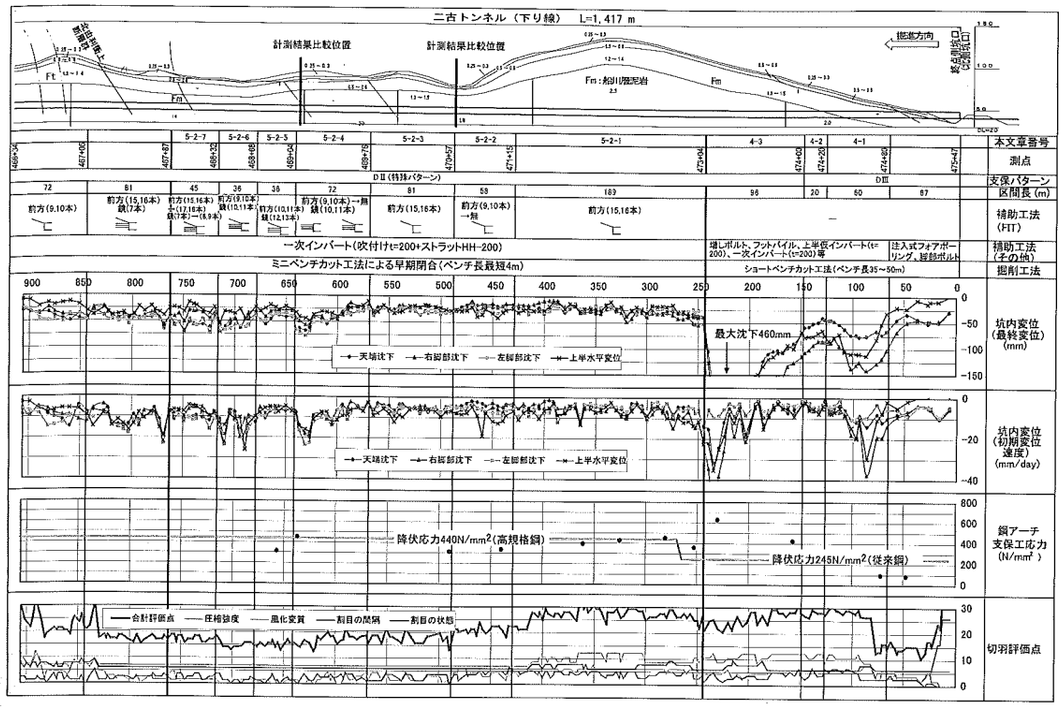


図-3　変状対策経緯と観察・計測結果

STA.474＋20以降，上半仮インバートと下半一次インバートを掘削サイクルに取り込み施工を進めたところ，STA.474＋00付近までは沈下は最大100㎜以内で収束している．**図-4**にこの区間の変状対策工を，**図-5**に坑内変位の経時変化図を示す．図-5によると，上半掘削時には，上半仮インバートにより収束傾向を示し，下半掘削時に再度沈下が増加するが，一次インバート施工により収束傾向を示している．

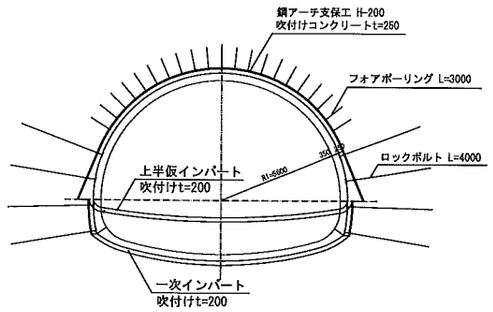


図-4　変状対策工(STA. STA.474＋14)

4-3　STA.474＋00～STA.473＋04

本トンネル施工にあたっては，可燃性ガスの発生も懸念されており，トンネル全線においてガス調査用の先行水平ボーリングを実施している．このボーリング調査結果によると，DⅢ以降地質の改善が見られないため，STA.474＋00以降，DⅡパターン(鋼アーチ支保工H-150，上半仮インバート t＝200)により施工を進めた．しかし，土かぶりが増加するに従って上半仮イン

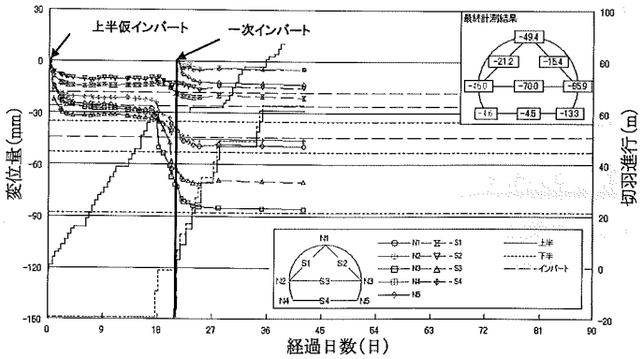


図-5　坑内変位経時変化図(STA.474＋14)

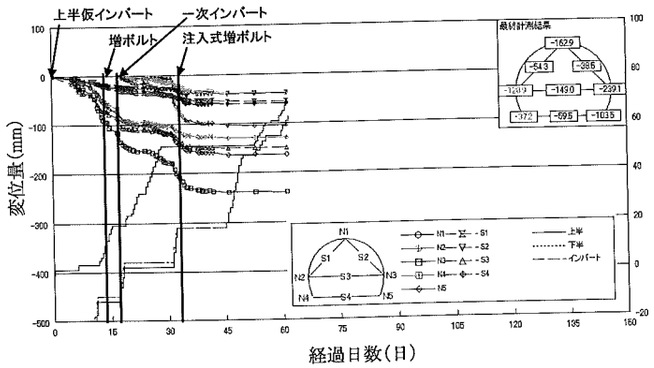


図-6　坑内変位経時変化図(STA.473+55)

バートによる変位抑制効果が低下し，STA.473+60以降，初期変位が急激に増大した(図-6)．また，計測工Bにおいて，鋼アーチ支保工応力が降伏応力以上となったため，STA.473+32以降，支保工サイズをH-150からH-200へ，吹付けコンクリート厚を200㎜から250㎜へ変更した．さらに，STA.473+37～STA.473+04においては，上半掘削から数日後に仮インバートや吹付けコンクリートにクラックが発生し，ロックボルトプレートの変形も見られたため，STA.473+04で上半切羽の進行を一時中止し，仮インバートの補修や増しボルトを打設した．

下半掘削時には，一次インバートにより一時的に変位は収束傾向を示していたが，下半切羽の進行に伴い，再度変位が増加傾向を示し，STA.473+22において右側脚部に最大約460㎜の沈下が発生した．また，鋼アーチ支保工もH-150区間において一部座屈現象が見られたため，注入式増しロックボルト(全周改良ボルト)による補強を実施するとともに，STA.473+37～STA.473+04においては，一次インバート(吹付けt=200)にストラットH-200を併用し変位抑制を図った．

5　STA.473+04以降の対策

5-1　対策工の検討

5-1-1　対策工の選定

STA.473+04までの変状傾向によると，土かぶりの増加とともにトンネル内空への押し出し傾向が大きくなっている．

今後，STA.472+20付近まで土かぶりが増加することから，これまで以上に押し出し傾向が大きくなり，上半仮インバートと下半一次インバートによる掘削パターンでは変位抑制効果が期待できないと予想されたため，対策工の再検討を行った．このような押し出し性地山における対策工としては，先進導坑により初期地圧を下げてから本坑掘削を行う「いなし工法」，ベンチ長を短くし剛な支保工で早期閉合を図る「早期閉合工法」，あるいは「多重支保工法」などが考えられる[1)~4)]．

本トンネルにおいては，最大土かぶりが85m程度であり，一般的な押し出し性地山に比べて大土かぶりではないことから，ミニベンチカット工法による早期閉合が有効と考えられた．適用にあたっては，①支保部材の耐荷力不足，②ベンチ長を短くしたことによる切羽安定性の低下，が懸念されたため，解析による対策工の効果予測を行った．

5-1-2　対策工の効果予測

(1)　検討方法

検討にあたっては，二次元弾性FEM解析を用い，既施工区間の計測結果から地山物性値と初期応力を逆解析し，次施工区間の予測解析に反映させるものとした．

(2)　解析結果

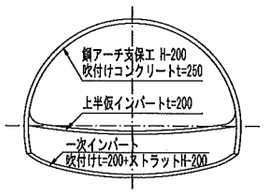
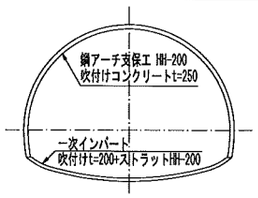
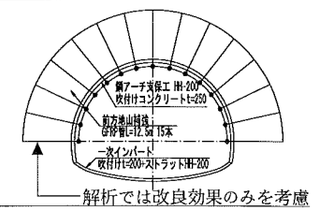
表-2に逆解析結果を示す．予測解析では，最大土かぶり85mの断面において，【CASE-1】上半仮インバートと下半一次インバートを考慮したショートベンチカット工法，【CASE-2】下半一次インバートを考慮したミニベンチカット工法，【CASE-3】CASE-2に前方地山補強(FIT)を追加した3ケースで検討を行った．ここで，FITについては，トンネル外周の地山補強を目的に，高角度で打設する方法[5)]を採用した．

表-2　逆解析結果

変形係数E (kN/m²)	ポアソン比 ν	初期せん断応力 τ_0(kN/m²)
22,000	0.45	220

注)初期鉛直応力と初期水平応力は自重解析より設定した

表-3　予測解析結果

ケース	CASE-1	CASE-2	CASE-3
概要図			
掘削工法	ショートベンチカット工法	ミニベンチカット工法	ミニベンチカット工法
応力解放率	上半掘削→上半支保工→下半掘削 40%　60%　40% →下半支保工 60%	上下半掘削→上半支保工→下半支保工 40%　20%　40%	上下半掘削→上半支保工→下半支保工 40%　20%　40%
坑内変位	天端沈下　126㎜ 脚部沈下　194㎜ 内空変位　125㎜	天端沈下　100㎜ 脚部沈下　120㎜ 内空変位　39㎜	天端沈下　85㎜ 脚部沈下　89㎜ 内空変位　15㎜
最大鋼アーチ支保工応力	498N/㎟	445N/㎟	391N/㎟
切羽安定性(みかけ弾性係数による)[6)]	みかけ弾性係数 E=2.5×10⁶kN/m² 「不安定～やや不安定」境界	みかけ弾性係数 E=2.4×10⁵kN/m² 「不安定～やや不安定」境界	みかけ弾性係数 E=6.1×10⁶kN/m² 「やや不安定」

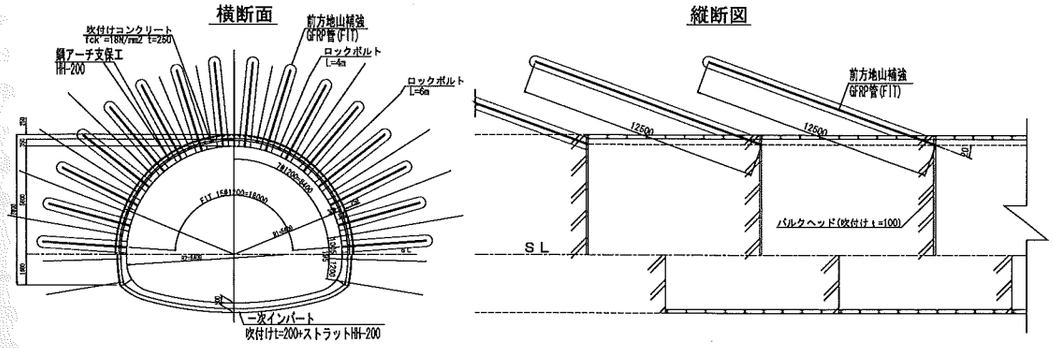


図-7　変状対策工(STA.473+04)

表-3に示す解析結果より，坑内変位を100㎜以内，支保工応力を高規格鋼の降伏応力440N/㎟以下，また，切羽の安定性を向上するためには，CASE-3の対策が必要となった．

5-1-3　対策工のまとめ

以上の検討結果より，STA.473+04以降については，図-7に示す「ミニベンチカット工法による早期閉合」，「高規格鋼HH-200」および「前方地山補強(FIT)」を用いた対策を実施することとした．

5-2　対策工の選定経緯と観察・計測結果(全般を通して図-3参照)

5-2-1　STA.473+04～STA.471+15

STA.473+04より，図-7に示す対策工を実施した結果，坑内変位はいずれも解析結果よりも小さい50㎜以内で収束傾向を示し，変位抑制効果が見られた(図-8)．しかし，鋼アーチ支保工応力は，高規格鋼の降伏応力440N/㎟程度まで発生し，地山の押し出し傾向が大きいことを示している．

5-2-2　STA.471+15～STA.470+57

前区間において，坑内変位は50㎜以内で収束し，

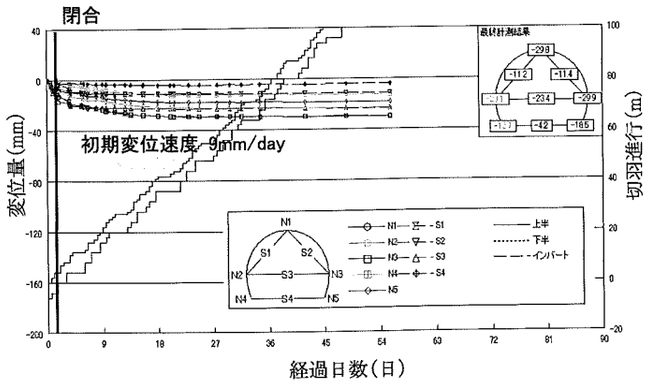


図-8　坑内変位経時変化図(STA.471＋86)



写真-1　切羽崩壊状況

鋼アーチ支保工応力も土かぶりの減少に伴い低下する傾向が見られることから，段階的に前方地山補強の打設本数の軽減を図った．その結果，坑内変位は，前区間同様，50㎜以内で収束傾向を示し，鋼アーチ支保工応力も低下傾向が見られる．しかし，岩片の破砕変質が大きくなり，切羽面からの肌落ちや抜け落ちが頻繁に見られるようになり，前方地山補強を完全に控除した区間において，50m³程度の切羽崩壊が発生した(写真-1)．切羽評価点は，これまでの区間より低下傾向にある．

5-2-3　STA.470＋57～STA.469＋76

前方地山補強を再開したところ，切羽状況に改善される傾向は見られないが，大規模な切羽崩壊は発生しなかった．

5-2-4　STA.469＋76～STA.469＋04

切羽状況が改善される傾向が見られないため，「前方地山補強(FIT)」から直接鏡面を補強する「長尺鏡ボルト(FIT)」(図-9)へ移行を図った．その結果，切羽の安定性は向上したものの，坑内変位は増加傾向を示した．初期変位速度は，これまでの区間では，10㎜/day前後を推移していたが，前方地山補強を完全に控除した区間では，脚部沈下で最大20㎜/dayを超える部分が見られる．最終変位では，天端沈下・脚部沈下が50㎜を超え，左脚部沈下は最大77㎜程度となった．また，鋼アーチ支保工応力は，高規格鋼の降伏応力440N/㎟を上回る結果となり，ロックボルトプレートの変形も見られた．これは前方地山補強を軽減したことによる影響と推察される．

5-2-5　STA.469＋04～STA.468＋68

非常駐車帯(断面拡幅)区間であり，前区間における観察・計測結果を踏まえて，前方地山補強を再開した．その結果，切羽状況は改善される傾向

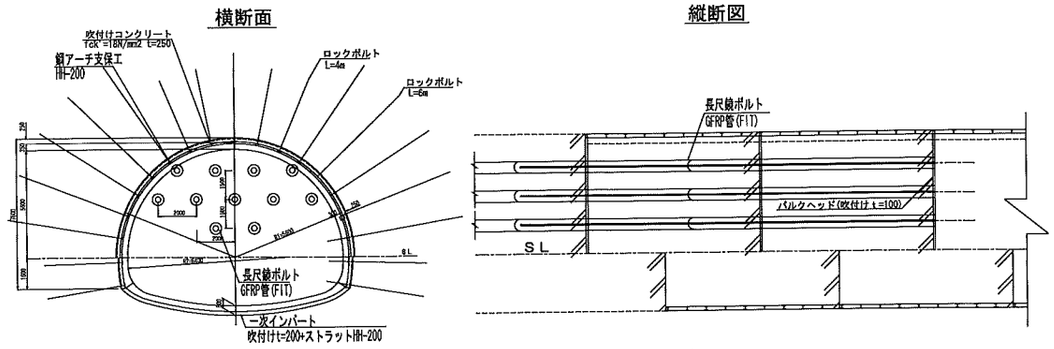


図-9　変状対策工(長尺鏡ボルト区間)

は見られないが，初期変位速度は，10㎜/day前後に減少する傾向を示し，最終変位もほとんどが50㎜以内で収束している．

また，鋼アーチ支保工応力も，減少傾向を示し，最大300N/㎟程度で収束している．これは前方地山補強による坑内変位，支保工応力抑制効果によるものと推察される．

5-2-6　STA.468＋68～STA.468＋32

非常駐車帯から一般部への移行区間であり，前方地山補強と長尺鏡ボルトの低減を行ったところ，初期変位速度は，最大35㎜/dayまで発生した．しかし，一次インバート施工後の変位の収束傾向が大きく，坑内変位は，70㎜以内で収束傾向を示している．

5-2-7　STA.468＋32～STA.467＋87

再度，非常駐車帯に入る区間であり，初期変位速度を低下させるために，前方地山補強を増加し，その反面，長尺鏡ボルトの低減を行ったところ，初期変位速度は，断面拡幅区間であるが，前区間よりも小さく，最大30㎜/day以内となっている．最終変位は，最大70㎜から50㎜程度へ減少する傾向を示している．

6　対策工の効果

上記のように，本工事においては，FITの打設方法を，地山状況に応じて，前方外周を補強するタイプ(前方地山補強)(図-7)と直接鏡面を補強するタイプ(長尺鏡ボルト)(図-9)の2種類を採用した．長尺鏡ボルトについては，これまでにも鏡面安定対策として採用実績が多く，本工事においても鏡面対策として効果が見られた．一方，前方地山補強タイプについては，採用実績がほとんど見られないが，本工事での適用結果から，以下のような効果が見られた．

① 坑内変位抑制
② 支保工応力抑制
③ 大規模な切羽崩壊防止

以下では，前方地山補強を施工した区間(前方地山補強区間)と施工していない区間(長尺鏡ボルト区間)の計測結果の比較を通して，坑内変位と支保工応力抑制について前方地山補強の効果を検証する．

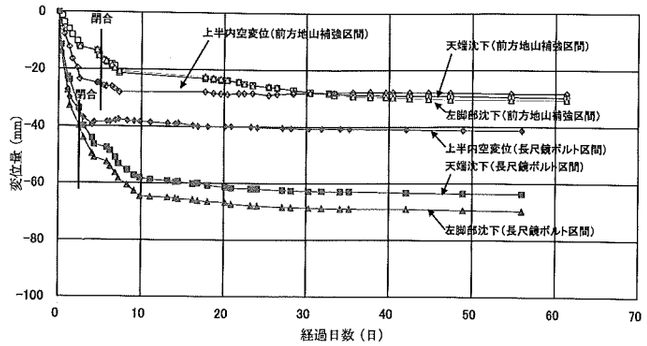


図-10　坑内変位経時変化の比較

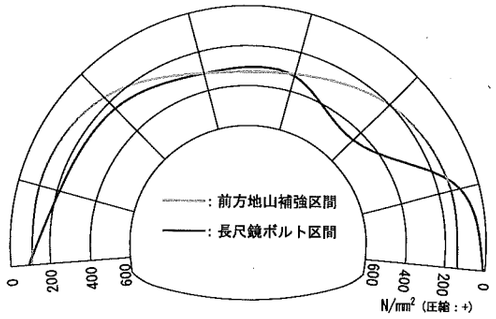


図-11　支保工応力(内側)分布の比較

6-1　坑内変位抑制

図-10に，前方地山補強区間(STA.470＋57)と長尺鏡ボルト区間(STA.469＋10)における坑内変位経時変化の比較を示す．

前方地山補強区間は，長尺鏡ボルト区間に比べて，初期変位速度が小さく，一次インバート設置(閉合)後の変位収束も早いことが確認できる．とくに，天端沈下・脚部沈下において，その傾向が大きく見られる．

6-2　支保工応力抑制

図-11に示す支保工応力の分布図によると，長尺鏡ボルト区間では，偏圧の影響により右肩部の支保工応力が450N/㎟程度(高規格鋼の降伏応力440N/㎟以上)まで発生しているのに対し，前方地山補強区間では，応力発生が均等化される傾向があり，最大応力は310N/㎟程度である．

7 施 工 管 理

前方地山補強の効果は，上記のように，坑内変位抑制，支保工応力抑制および大規模な切羽崩壊防止である．このうち，切羽崩壊防止には，鏡面を直接補強する長尺鏡ボルトが有効であるため，切羽崩壊が問題となる場合は，長尺鏡ボルトによる対策を基本とした．そのため，前方地山補強の必要性は，坑内変位と支保工応力の計測結果をもとに判断することにした．管理値は，坑内変位(天端沈下・脚部沈下)70㎜(変形余裕量100㎜の70%)，支保工応力440N/㎟(高規格鋼の降伏応力)と設定し，既施工区間における計測結果を踏まえて，初期変位速度(下半掘削時までの平均日変位速度)で選定管理を行った(図-12)．なお，初期変位速度の管理値は，進捗状況に応じて随時見直しを行い，工事に反映させた．

一方，長尺鏡ボルトの必要性は，切羽観察により判断するものとし，既施工区間の切羽状況と切羽評価点との関係を踏まえて，切羽評価点19点を管理値とし，選定管理を行った(図-13)．

8 おわりに

本工事においては，断層や褶曲を伴う押し出し性地山における変状対策として，「ミニベンチカット工法による早期閉合」を基本とした対策工を採用するとともに，支保工の高耐力化を図るために「高規格鋼HH-200」および切羽前方地山を補強するためにFIT工法を採用した．

FITの打設方法としては，地山状況に応じて，FIT管をトンネル周面から切羽前方に高角度(約20°)で打設し前方外周地山を補強するタイプ(前方地山補強)と，FIT管を鏡面に対して垂直方向に打設し直接鏡面を補強するタイプ(長尺鏡ボルト)を採用した．長尺鏡ボルトは，鏡面の安定を図るための直接的な対策であり，鏡面の安定性向上効果は明確である．一方，前方地山補強は，前方外周地山に打設するため，長尺鏡ボルトに比べて直接的な効果は不明確であるが，施工中の観察・計測結果をもとに効果を検証した結果，坑内変位抑制，支保応力抑制および大規模な切羽崩壊防止が見られた．

最後に，本工事における対策工の検討に際し，二古トンネル対策工検討委員会(委員長：西村和夫・首都大学東京教授)をはじめとする関係各位から多くの貴重なご意見やご支援をいただいた．ここに記して感謝の意を表したい．

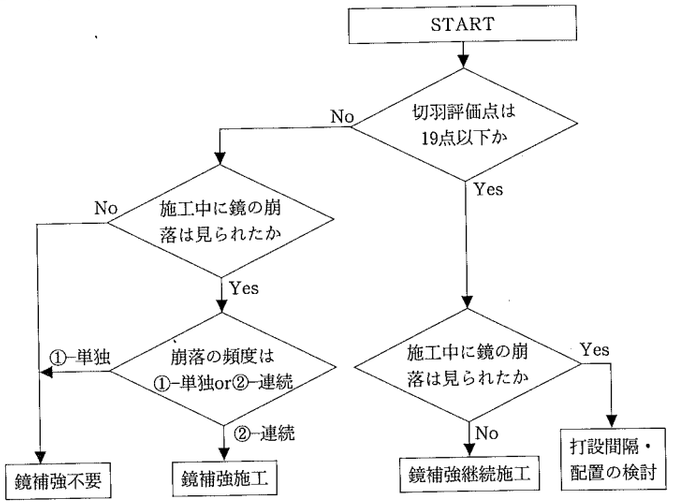


図-13　長尺鏡ボルトの選定管理フロー

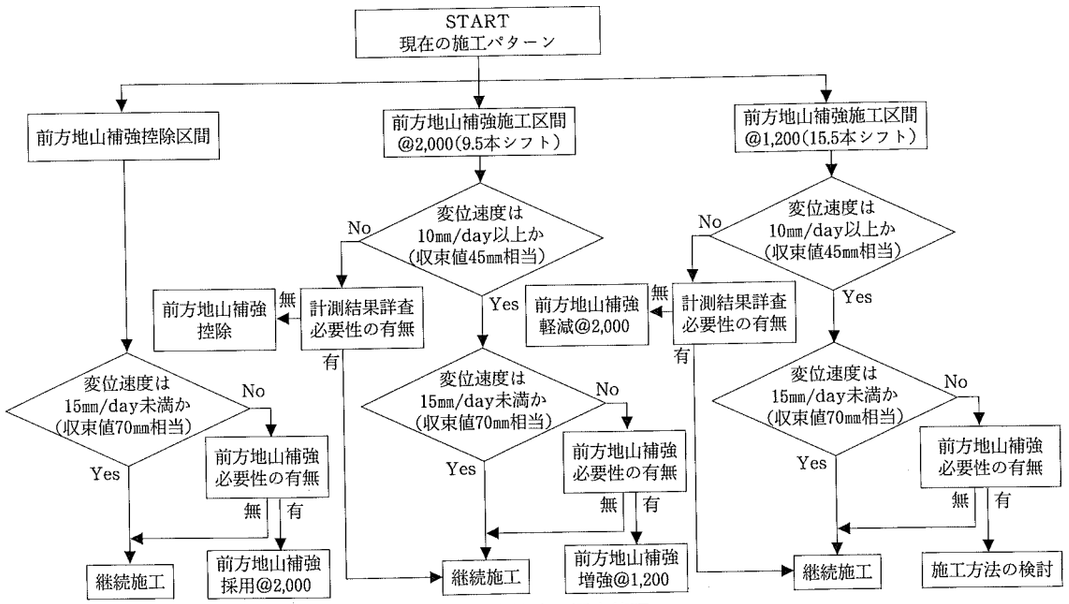


図-12　前方地山補強の選定管理フロー

参 考 文 献

1) 高橋浩・進士正人・中川浩二：押し出し性地山を克服するための戦略メニューの提案，トンネルと地下，Vol.36，No.5，pp.25-33，2005.5.
2) 天野角雄・下田哲史・青嶋寿夫・高橋浩：押出し性泥岩を頂設導坑で貫く，トンネルと地下，Vol.30，No.11，pp.17-23，1999.11.
3) 三谷浩二・山戸隆秀・足立宏美・井上博之：加久藤トンネル(Ⅱ期線)における変位抑制工の設計と施工，トンネル工学研究論文・報告集，Vol.12，pp.383-388，2002.11.
4) 北川修三：多重支保工法は有力な膨張性地山対策，トンネルと地下，Vol.34，No.2，pp.55-65，2003.2.
5) 牛田猛・戸田一生・村松富士登・尾花敬治：注入式中空長尺GFRP管による大土被りトンネルの変位抑制，第54回施工体験発表会(山岳)，pp.65-72，2003.11.
6) 桜井春輔 編著：都市トンネルの実際，鹿島出版会，1998.3.

【好評発売中】

わかりやすい土木地質学

大島洋志 監修　B5判　209頁　本体価格 2,500円　〒340円



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

〔主要目次〕

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

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

「都心の最高峰，箱根山」西早稲田より

軽込　茂

私たちが担当する東京メトロ副都心線西早稲田工区は，東京の中央部をぐるりと一周する山手線の西側中央部に位置する新宿区にある．

現場は，新宿区の中央を縦断する都道305号線(通称・明治通り)にある．近くの東京都立戸山公園は，この明治通りを挟んで東側の箱根山地区と西側の大久保地区に分かれた約18万m²もある大きな公園である．この辺りは昔，尾張徳川家の下屋敷，通称・戸山荘とよばれたところで，ここに徳川光友が寛文年間(1661～1673)に広大な池泉回遊式庭園をつくった．庭園内には，玉円峰という築山や，東海道五十三次を模した街並みや宿場を配した．その中に小田原宿もあり，この築山を小田原宿の箱根山にちなんで本物同様，箱根山とよんだ．

この箱根山は標高が44.6mあり，都心23区内では一番高い山となっている．ちなみに，天然の山で23区の最高峰は港区にある愛宕山で標高25.7m，本家・神奈川県箱根町の箱根山(神山)は1,438m，東京都の最高峰は奥多摩の雲取山で2,017mである．

この下屋敷と庭園は廃藩置県に伴い明治新政府にわたされ，都心に近く広大なことから，明治６年から太平洋戦争が終結するまで，軍の諸学校や演習施設に利用された．東側の箱根山地区には，陸軍戸山学校などがあり，戦後は公園や有名な戸山ハイツとして住宅地になった．

また，明治通りから山手線までの西側地区には，軍用地として，昭和初期につくられた長さ約300mで鉄筋コンクリートのトンネルの射撃場が７棟あり，その巨大な土管のような異様な姿は気味悪がられたという．これらは，戦後に占領軍に接収使用され，その後この地区は，早稲田大学理工学部，新宿スポーツセンター，戸山公園などとなっている．これら軍関係の学校などが多かったことから，現在の「新宿区には学校が多い」という特色につながったとも言われている．



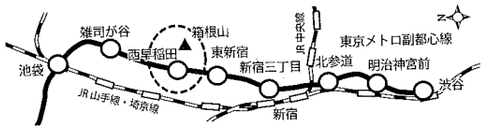
箱根山の碑

さて，東京メトロ副都心線は，埼玉県の和光市から東京都豊島区の池袋を経て渋谷区の渋谷に至る路線で，現在，和光市～池袋間は有楽町線として営業している．今回の工事では，池袋からほぼ明治通りの路下を新宿三丁目を経て渋谷まで，8.9kmの区間を延伸する．この路線は，池袋以西では有楽町線，東武東上線および西武池袋線と，渋谷駅では東急東横線と相互直通運転を行う予定で，埼玉県南西部方面から都心を経由し横浜方面に至る広域的な鉄道になる．

西早稲田工区は，明治通りの地下に西早稲田駅をシールド工法により構築する．駅全体のうち両端に立坑をつくり，その間をシールドトンネルでホームをつくる形になっている．シールドは発進立坑から掘進し，到達立坑で押し出し・Uターンをさせ，並列で発進立坑に戻る．掘進距離が片道約168mと短いため，常に段取り替えや鏡開きを余儀なくされた忙しい工事である．トンネルは電車とホームの断面を確保するため，外径φ8,150㎜の泥土圧式シールドを使用し，また，２本のトンネル内のホームをつなぐために，２か所の連絡通路を，縫い地工法で施工した．

平成20年６月開業が決定しているなか，昨年11月末にはトンネルが全線貫通し，現在は出入り口や駅部の仕上げの土木工事のほか，軌道工事が始まっており，今後は電気工事，建築工事と，開業をめざして明治通りの地下で大奮闘中である．

(佐藤・日本国土・大本建設工事共同企業体所長)



位　置　図

施工

甲州街道の重交通下にボックス推進工法で歩道を構築

国土交通省関東地方整備局東京国道事務所新宿建設監督官詰所監督官　野笹隆幸
東京地下鉄(株)新宿工事事務所所長　西村聡
大林・日本国土建設工事共同企業体新宿三丁目工事事務所所長　小山浩史

1　はじめに

現在，国道20号(甲州街道)において国土交通省は「新宿駅南口地区基盤整備事業」として新宿跨線橋架替工事を進めている．一方，当該整備事業にあわせ，JR新宿駅東南口方面から東京メトロ副都心線(以下，副都心線という)新宿三丁目駅方面への歩行者の回遊性を確保するため，新宿地下連絡通路工事を国土交通省と東京都が共同施行し，副都心線新宿三丁目駅に接続する計画である．

本工事は，国土交通省と東京都が共同施行となる「地下歩道」と，東京都単独施工となる「新宿三丁目駅出入口」をあわせて築造するものである．

本稿はそのうち，「地下歩道」工事において施工した国道20号線直下での，幅8.0m×高さ4.2mのボックス推進(単独矩形断面積としては日本最大の函体推進)について紹介するものである．

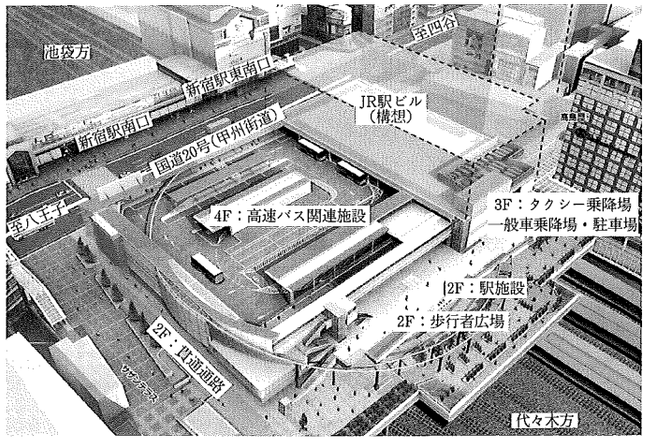


図-1　新宿駅南口整備イメージ図

2　事業概要

2-1　新宿駅南口地区基盤整備事業

現在新宿駅は，１日の乗降客数が静岡県全体の人口に匹敵する約320万人で，池袋，渋谷，東京，梅田など他の駅を上回り，全国１位となっている．また，駅周辺地域の小売業商店数は現在も増加傾向にあり，今や国内だけでなく世界の新宿として注目されている．

一方，都市機能の発展に伴い，交通渋滞，通勤混雑，交通事故，乗り換え機能のとぼしさ，跨線橋の老朽化などの問題も顕在化している．

これらの都市問題を解決するために，

① 新宿跨線橋の架け替え
　道路幅を30mから50mへ広げ，歩道の幅員も広くし，ゆとりある空間として歩きやすくする．

② 交通結節点やゆとり空間の創出
　JR新宿駅の線路上空に人工地盤を創出し，

高速バス関連施設，タクシーや一般車の乗降場などを整備する．

③　新宿駅周辺の回遊性の確保

JR新宿駅から副都心線新宿三丁目駅に接続する地下歩道と出入口を作り，歩行者空間のネットワーク形成を図る．

の三つのプロジェクトを柱にした複合インフラの整備が新宿駅南口地区基盤整備事業である(**図-1**参照)．

2-2　副都心線の概要

副都心線は，東京メトロ有楽町線新線池袋駅を起点とし，都道435号(通称：グリーン大通り)，都市計画道路環五ノ１号線の下を通過後，明治通りを南下し，新宿三丁目，明治神宮前を経由して渋谷に至る延長8.9kmの路線である(**図-2**)．

完成後は基点の新線池袋において東京メトロ有楽町線を経て東武東上線，西武有楽町線・池袋線と，終点の渋谷駅において東急東横線と相互直通運転を行う予定であり，東京都北西部および埼玉県南西部から神奈川県横浜方面をつなぐ大動脈が完成することになる．

駅は既設の新線池袋を除き，雑司が谷，西早稲田，東新宿，新宿三丁目，北参道，明治神宮前，渋谷の７駅で，平成20年６月開業予定である．

2-3　新宿三丁目駅と地下歩道

新宿三丁目駅と地下歩道工事の全体平面・縦断図を**図-3**に示す．新宿三丁目駅は明治通り直下を延長787mにわたって開削工法で建設するもので

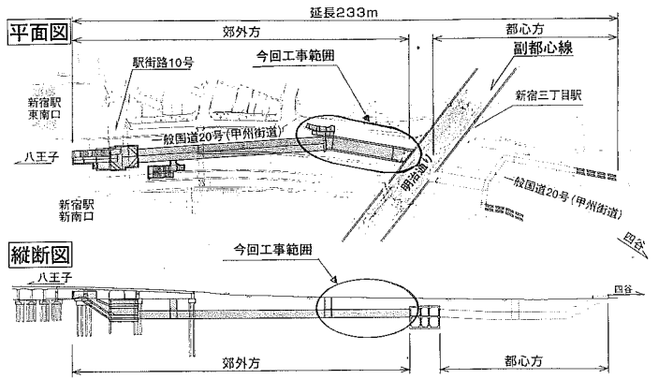


図-3　新宿三丁目駅・地下歩道全体平面・縦断図



図-2　副都心線概要図

ある．当駅は大きな交差点を三つ抱えており，靖国通り，新宿通り，国道20号(甲州街道)と交差し，平均掘削深が18mと比較的浅く，構造はほぼ全線で２層２径間となっている．

今回の工事は，新宿三丁目駅の乗降場の中央部に位置する国道20号(甲州街道)直下のコンコース階(B１F)に接続する地下歩道および出入口築造工事である．

3　地下歩道工事

3-1　地下歩道構造

地下歩道構造を**図-4, 5**に示す．

同図に示すように，地下歩道形状は内空高さ2.7m×内空幅6.5m，延長46.6m(うち函体推進は39.75m)，スラブ厚さは側壁・上下スラブとも0.75mである．土かぶりは約6.0mである．また，函体は上下２分割とし，PC鋼棒によるポストテンション方式の工場製品とした．

3-2　地質概要

新宿三丁目周辺の地質構成は図-5に示すとおり，関東ローム層，東京層群(tc，Toc，Tos)で構成されている．今回掘削する断面は，N値＝９前後のtc層となる．

地下水は関東ローム層の不圧帯水層と，東京層の砂層および礫層，上総層群の砂層の高い被圧帯水層に分布している．

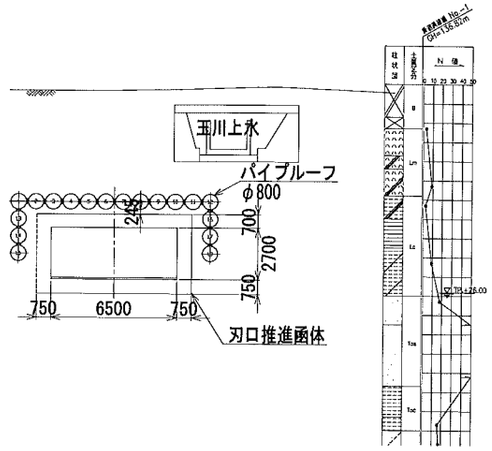


図-5　地下歩道構造断面図

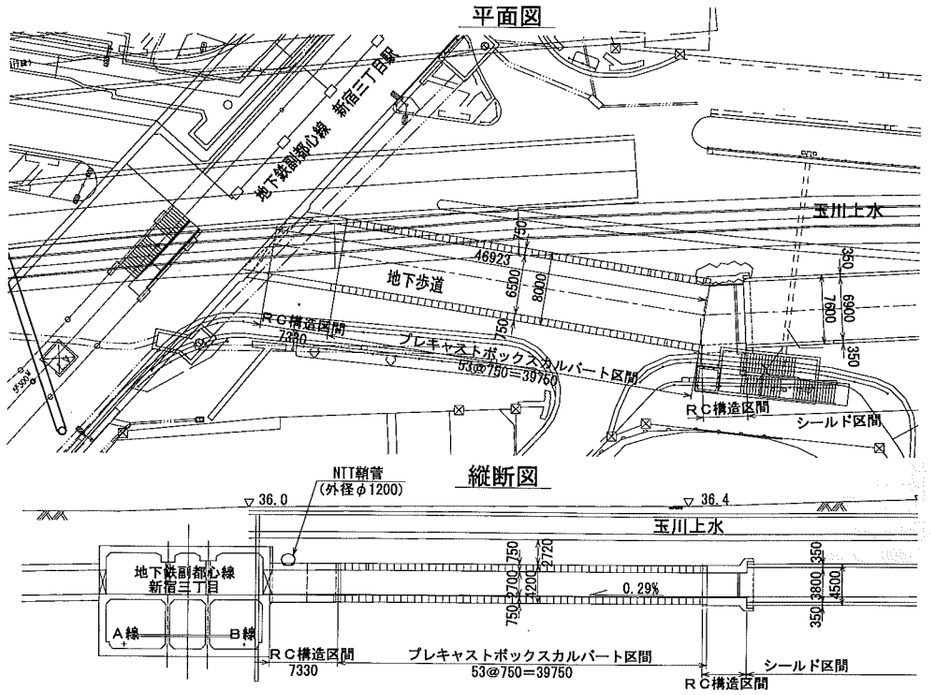


図-4　地下歩道計画平面・縦断図

4　設計・施工上の検討課題と対策

工事を始めるにあたり，抽出した設計・施工上の検討課題と対策を以下に示す．

（1）　玉川上水路・路面変状の防止

函体推進により，函体天端から2.5m直上にある玉川上水路および路面への影響を防止することが，本工事の重要課題の一つである．そのためにパイプルーフによる防護とともに，施工中は沈下測量による計測管理を実施することとした．

（2）　パイプルーフ内障害物処理

図-6に示すように，パイプルーフ施工位置には，玉川上水路の松杭基礎が支障する可能性があった．この松杭は副都心線工事において，玉川上水路下部掘削時に確認したものである．対策として，オーガなどの機械施工では撤去不可能であることから，パイプルーフ掘削を手掘り掘削で施工することとした．

（3）　函体の立坑内への取り込み

当初計画では，函体の１ユニットの重量は，21 t(ユニット幅1.0m)であった．この場合，作業半径から決まる必要クレーンは，カウンターウエイトをフル装備した100 tクレーンが必要であり，このクレーンは立坑脇に常設作業帯を確保して，昼夜仮置きできると想定していた．しかし，関係部署との協議の結果，常設作業帯の確保ができなくなり，100 tクレーンは日々回送移動が必要となった．この場合，カウンターウエイトをフル装備することができないため，可能吊り能力は最大17 tとなり，現計画では函体の吊り込みが不可能となる．そのため対策として，函体の１ユニット幅を，現状1.0mを0.75mに変更し，函体の１ユニットの重量を，15 tに軽減することとした．

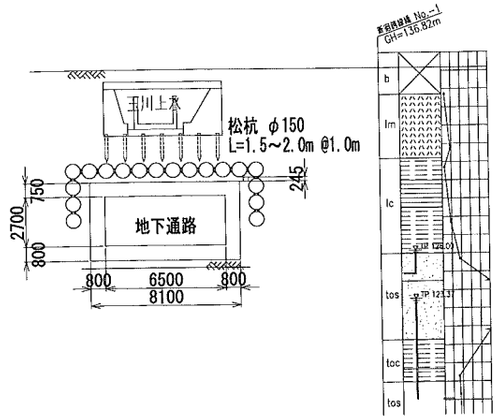


図-6　玉川上水路松杭想定図

（4）　函体推進抵抗の増大と反力確保

矩形函体としては日本最大であり，地山のアーチ作用が期待しにくいことから，函体推進力が想定以上になる可能性があった．そのため，函体上面と地山の間に薄鋼板を巻き出しながら掘進を進めることにより，縁切り効果により摩擦を低減する「デスリップカーテン工法」[1]を採用した．この工法は，刃口上部にカーテン(薄鋼板 $t=0.8$mm)をドラムに巻き込んでおき，掘進に伴って函体と地山の間に薄鋼板が巻き出されて残置していくものである．

従来の経験式から算定した計画最大推進力は18,400kNに対し，推進ジャッキは2,000kN×10台，支圧壁の耐力は31,000kNである．また，中押しジャッキについては，上記条件から想定して，必要ないと判断できた．

（5）　施工サイクル

掘削残土の場外搬出と，函体の立坑内への取り込み作業は，夜間国道の道路規制をしての作業帯設置可能時間である22：00～６：00の８時間のみである．このため，昼間１函体分(750mm)の掘削・推進を完了させ，掘削残土は，立坑内の土砂ピットにストックすることとした．

上記の施工サイクルから，１昼夜で１函体(750mm)の掘進・組み立てが完了する計画とした．

5　施　工　方　法

5-1　施工順序

発進立坑部の施工順序図を**図-7**に示す．

（1）　発進立坑

発進立坑は，鋼矢板Ⅳ型をオーガ削孔併用の圧入工法とし，函体推進反力として背面地山との密着性を確保するために，オーガ削孔後の隙間はCBにて充填した．

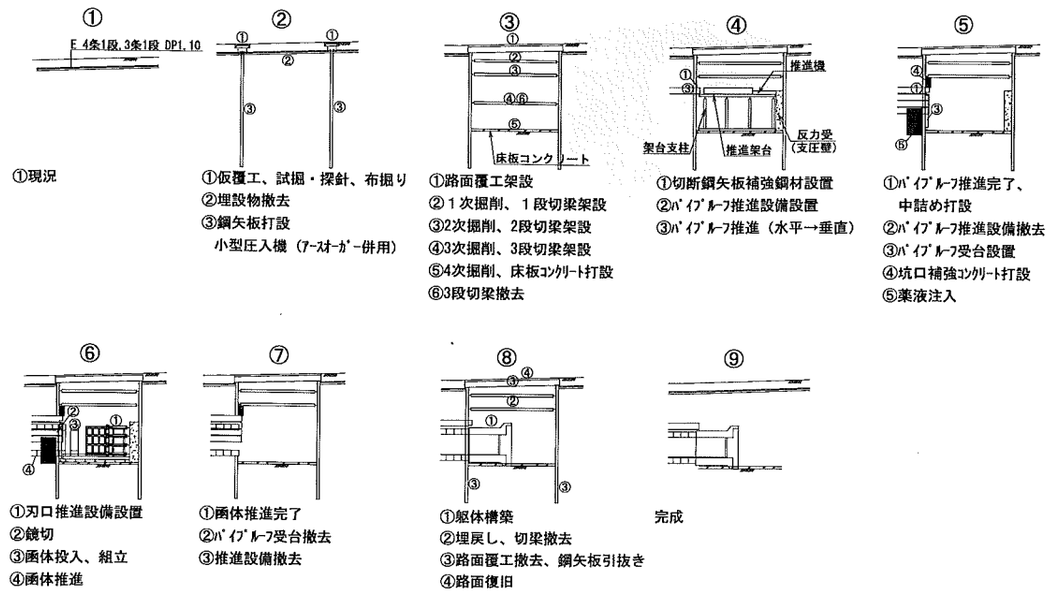


図-7　施工順序図(発進立坑)

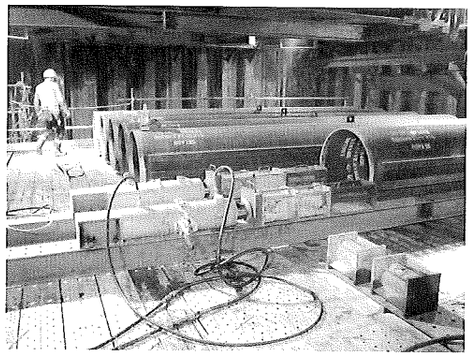


写真-1　パイプルーフ施工状況

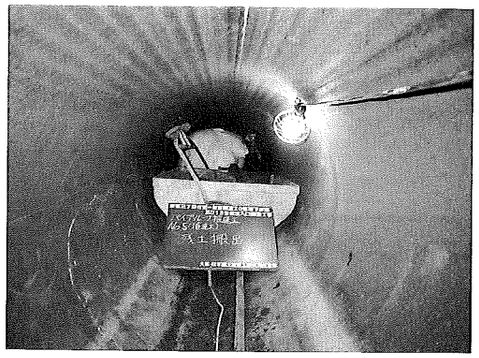


写真-2　パイプルーフ内

（2）　パイプルーフ工

パイプルーフの配置は，図-5に示すように，直径は800mm，平均延長44.8m/本×18本(水平12本＋鉛直３本×２列)である．パイプルーフ工は前述したように，玉川上水路の松杭基礎が支障する可能性があることから手掘り掘削とした．中央部のNo.7を基準管とし，基準管施工後は，左右２本の同時施工とした．**写真-1**にパイプルーフ施工状況を，**写真-2**にパイプルーフ内の施工状況を示す．

（3）　地盤改良工

鏡切りと発進防護のために，立坑内からの水平注入(改良範囲は鋼矢板から奥行き2.0m)を実施

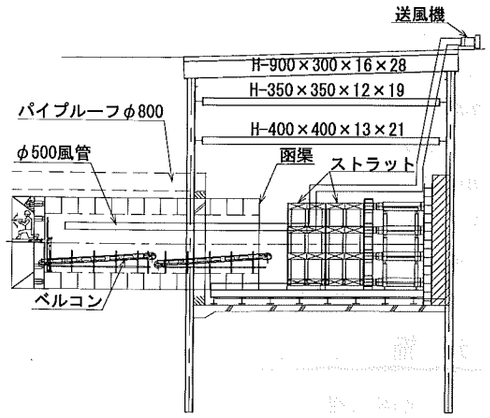


図-8　管内設備配置図

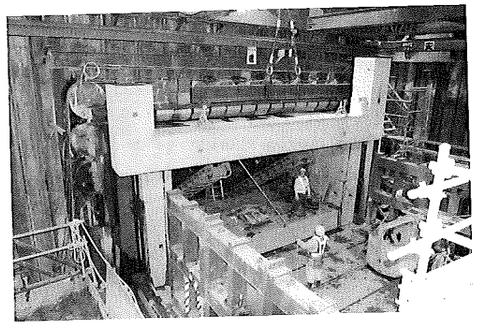


写真-3　発進立坑状況

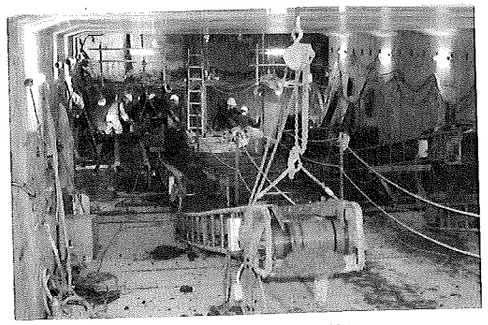


写真-4　函体推進施工状況

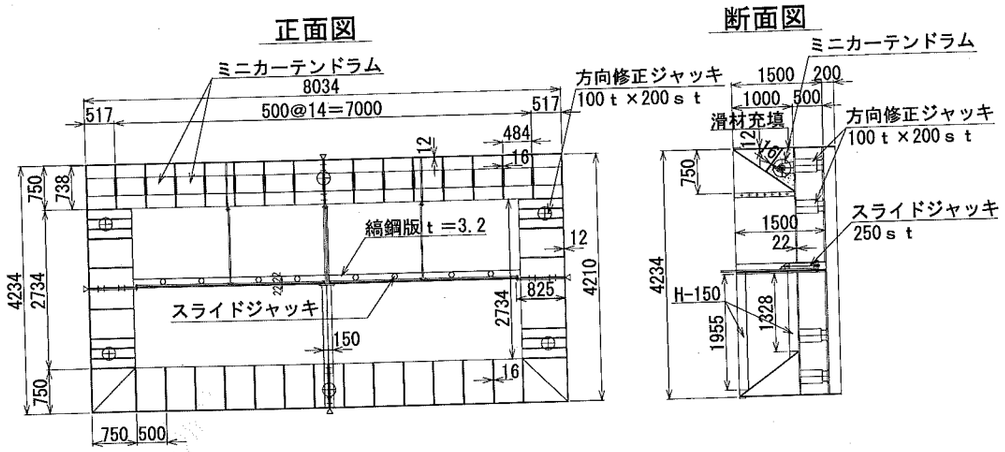


図-9　刃口詳細図

した．また，到達部は，地下鉄と45°の斜めに到達することから，函体が到達できない部分に対して側面補強として高圧噴射攪伴工法による地盤改良を行った．

（4）　函体推進工

図-8に推進設備計画図を，**写真-3**に発進立坑内状況を示す．また，**図-9**に刃口断面・平面図を，**写真-4**に刃口状況を示す．

推進掘削は人力掘削とし，1函体長さ750㎜を3回に分け，250㎜掘削して250㎜推進するサイクルを3回くり返した．掘削土はベルトコンベヤにより後方に運搬し，立坑内の門形クレーンにて残土ピットへストックした．

6　施　工　結　果

6-1　全体工程

立坑掘削から函体推進完了までの工程表を**表-1**に示す．

6-2　パイプルーフおよび函体出来形結果

（1）　パイプルーフ

延長48.4m/本に対し，施工誤差は50～70㎜程度であった．また，当初懸念された玉川上水路の松杭基礎は支障することなく到達することができた．

（2）　函体推進

53函体（延長39.75m）推進後の平面線形誤差は10㎜，上下方向のピッチングは30㎜，左右のローリングは5㎜程度であり，許容誤差範囲にすべて収まった．また，掘進完了時における函体のクラックも，全く生じることなく推進工事を完了することができた．

7　各種計測結果

7-1　函体推進力

各函体推進時の計画推進力と実推進力の結果を

表-1　函体推進工工程表

工種＼年月	平成18年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平成19年 1月	2月
立坑　鋼矢板打設・路面覆工	―	―	―											
立坑　掘削・土留め支保工				―	―									
パイプルーフ工						―	―	―						
地盤改良工									―					
函体推進工										―	―	―	―	
到達部掘削工													―	―

図-10に示す．実推進力は，計画推進力の約2/3～3/4であった．実推進力が小さめであった理由としては，

① パイプルーフにより路面荷重・土かぶり荷重が支えられることにより，函体自体に作用する鉛直荷重が少なかったこと

② デスリップカーテンにより，函体上部の摩擦力が低減されたこと

が考えられる．

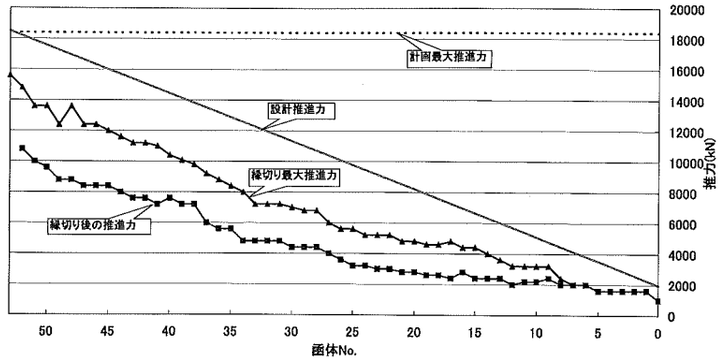


図-10　函体推進時の推力変化

7-2　路面・玉川上水路の変状計測結果

路面沈下および玉川上水路は路上に設置した沈下棒と鋲をレベル測量により計測した．パイプルーフ施工時に最大10㎜の沈下，函体推進時には5㎜の沈下量となり，玉川上水路への影響はない結果となった．これは，パイプルーフによる縁切り防護効果が大きかったといえる．

7-3　立坑内切梁軸力

函体推進反力を鋼矢板背面地山に期待していることから，函体推進時に鋼矢板が背面側に変位する可能性があった．その挙動を確認するために3段切梁の軸力を計測した．切梁軸力の低減を見越して，掘削時に通常よりも大きめの500kN/本のプレロード荷重を導入した．床付け掘削・基礎敷きコンクリート打設後，4段切梁撤去時に650kN/本に増加し，その後の函体推進時には多少の低減が見られたが，450kN/本程度に収まった．

8　ま　と　め

施工前は，前記した項目以外にも，掘削断面下部に露出する砂層からの湧水や，切羽地山の安定性，パイプルーフと函体との間（25cm）の地山崩落など懸案事項が多かったが，施工中は切羽からの湧水もなく，地山の安定性もよく，とくに大きなトラブルなく完了することができた．これは，事前の危険予知もさることながら，刃口推進工法に適した地盤条件であったことが大きな要因であったといえる．本報告が今後の類似工事の参考となれば幸いである．

参　考　文　献

1）中野正明：矩形管渠に用いる推進技術，デスリップカーテン工法の解説，月刊推進技術，Vol.14，No.9，2000.9.



■京包線と京張鉄路

万里の長城と言えば，中国を訪問した方なら一度は見物したことのある観光名所であろう．数ある長城の中でも，八達嶺にある万里の長城は，雄大な景観や，北京からのアクセスの良さなどから，もっとも人気のあるスポットとなっている．北京から八達嶺長城へは，八達嶺高速公路を使うルートが一般的で，市内からバスやタクシーを利用して約１時間～１時間半ほどでたどり着くが，これとほぼ平行して北京と包頭(パオトウ)を結ぶ京包線の鉄道線路が走っている(**図-1**)．しかし，始発の北京北駅から八達嶺駅まで２時間あまりかかるうえ，１日わずか数本の列車しかないため，臨時列車の運転される連休期間を除いて，観光目的で利用する人はほとんどいない．

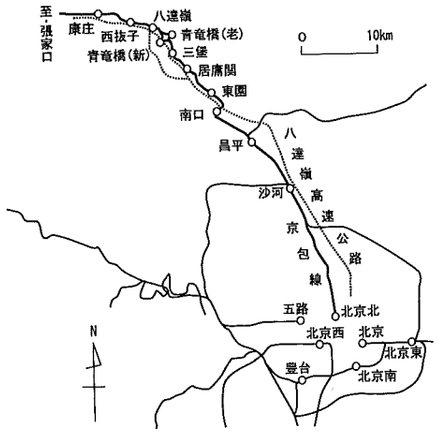


図-1　京包線(京張鉄路)の位置

この京包線は，北京と張家口を結ぶ京張鉄路をその前身としているが，京張鉄路は中国の国民にとって，また中国の鉄道史にとって，特別な意味を持つ存在である．中国の鉄道の歴史は，1876(明治９)年に開業した上海の呉淞(ウースン)鉄路によることができるが，これはイギリスの商社が清国政府の意向を無視して勝手に敷設したもので，開業１年半後に撤去され，機関車は揚子江に沈められてしまった．その後，清国政府の弱体ぶりに乗じてイギリス，フランス，ロシア(のち日本がこれに加わる)などの列強各国がそれぞれの権益を確保する目的で鉄道を敷設したため，中国が自らの手で鉄道を経営することができなかった．こうした半植民地状態の中で，自力で完成した最初の鉄道が，この京張鉄路だったのである．

ここでは，京張鉄路に建設されたトンネルを訪ね，その歴史的変遷やその後の日本との関わりなどについて紹介してみたい．

■中国鉄道の父・詹天佑と京張鉄路

本題に入る前に，京張鉄路建設の功労者で，中国鉄道の父と仰がれる詹天佑(ジャンティエンユウ)(Zhan Tianyou)を紹介しておこう(**写真-1**)．詹天佑は，1861(文

久元)年３月17日，広東省南海県で生まれ，1872（明治５）年，12歳のときに官費による幼童留学者としてアメリカへ留学し，1878(明治11)年にエール大学土木工学科に進学して鉄道工学などを学んだ．そして，1882(明治15)年に同校を卒業して帰国したが，当時は中国の鉄道もわずかしかなく，活躍の場もないまま教員などで一時を糊塗していた．



写真-1　詹天佑
(1861～1919)

1888(明治21)年，詹天佑は，日本の鉄道建設に携わった経験もあるイギリス人，クロード・ウィリアム・キンダー(Kinder, Claude William)が総工程師(技師長)を務める中国鉄路公司を紹介され，その幇工程師(技手)として天津～山海関間の関内外鉄路の建設に加わった．ここには当時，中国最長の■河橋梁(橋長671m)があり，詹天佑は中国の伝統的な潜水夫「水鬼(シュイグィ)」を使ったケーソン工法で基礎を築いてこれを完成させた．こうした実績がしだいに清国政府に認められ，京張鉄路の建設が詹天佑に任されることとなった．

京張鉄路は，1905(明治38)年10月に起工し，1909(明治42)年９月に全線の営業を開始した．その後，辛亥革命によって国名が中華民国に変わってからも，交通部技監，川漢粤鉄路督弁，東支鉄道国際委員会中国代表などを歴任したが，1919(大正８)年４月24日にこの世を去った．

詹天佑の名声は日本にも聞こえ，1944(昭和19)年に編纂された『日本鉄道請負業史・明治篇』(鉄道建設業協会・1967)では，「詹天佑は日本の井上勝とも云うべき当時支那随一の鉄路の名技師であった.」と紹介し，エピソードを交えながらその人物を賞賛した．

■京張鉄路のトンネル

京張鉄路のトンネル工事にあたっては，1906(明治39)年４月，日本の軽便鉄道王と言われた雨宮敬次郎が北京を訪れ，袁世凱(ユアンシカイ)に対して技術者の派遣と掘削機械の導入を進言したほか，キンダーは詹天佑に対して，中国人のみの手では不可能なので外国人を雇うべきだと説得したとされる．しかし，詹天佑の決意は固く，総工程師として工事現場を指揮し，これを完成させた．

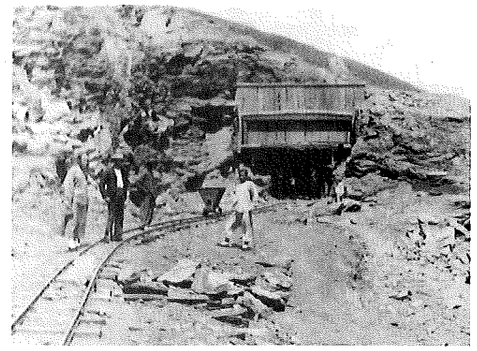


写真-2　掘削中の居庸関トンネル

トンネルは，南口から居庸関を経て岔道城(八達嶺)に至る延長16.5kmの第二工区に４本が建設され，東園～居庸関間に居庸関トンネル(延長366.98m)，三堡～青竜橋間に五桂頭トンネル(延長45.72m)，青竜橋～八達嶺間に石佛寺トンネル(延長141.12m)と最長の八達嶺トンネル(延長1,091.18m)が設けられた．断面はすべて単線断面で，地質は石灰岩が主体であった．この付近は，かつて万里の長城が築かれたほどの要害の地で，岩盤が露出する急峻な地形が連なり，これを克服するために，途中の青竜橋駅にスイッチバックを設けたほか，33パーミルの最急勾配と183m（600フィート)の最小曲線半径が採用された．

４本のトンネルのうち，居庸関長城の直下を貫く居庸関トンネルは地質が悪く，湧水に悩まされたとされる(**写真-2**)．また，サミットにある最長の八達嶺トンネルは，直径3.05m，深さ33mの立坑が掘削されたほか，入口付近にも小規模な立坑が掘られ，工期の短縮が図られた．居庸関トンネルは1908(明治41)年４月に完成，同年５月には八達嶺トンネルも完成し，南口～岔道城間が開業した．そして，翌年７月に張家口までの全線が完成し，同年９月24日から営業を開始，同年10月２日には南口駅で内外から約１万人を集めて盛大な開業式典が挙行された．

土木情報 No.406 今月の主な入札結果

（2月10日～3月9日）

事業主体	工事名	請負会社	請負額 単位 百万円
沖縄総合事務局	那覇港(那覇ふ頭地区)道路(空港線)空港側陸上T掘削	清水建設	178
水資源機構	豊川用水二期東部幹線併設水路鳥原工区	ハザマ	423
緑資源機構	18安房農用道３号T	西松建設	1,310
北陸農政局	九頭竜川下流農業水利事業十郷１号用水路県道横断部	奥村組	500
〃	〃 〃 国道８号線横断部	奥村組	858
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
中国四国農政局	吉野川下流域農地防災事業南部幹線水路(旧吉野川１号サイホン)	清水建設	587
〃	〃 (旧吉野川２号サイホン)	奥村組	267.5
都市再生機構	八潮南部中央地区大原伊勢野線ほか排水ほか	飛島建設	233
〃	越谷レイクタウン地区中央線ほか排水その他	鉄建	190
北海道開発局	北海道横断自動車道釧路市阿寒Tその２	清水・竹中土木・岩倉JV	923
〃	〃 白糠町大曲Tその２	宮坂建設工業・中山組JV	1,190
〃	旭川門別自動車道上川町中越Tその２	大林・磐田・橋本川島JV	3,410
〃	一般国道274号日高町新清見T	岩田建設・北興工業・菱中建設JV	1,837
東北地整	東北中央自動車道新高平T	青木あすなろ建設	998
関東地整	八ッ場ダム工事用T	戸田建設	1,570
〃	八王子南バイパス浅川T(その12)	清水建設・前田建設工業JV	2,365
〃	さがみ縦貫愛川T(その１－２)	西松建設・五洋建設JV	5,470
〃	上尾道路上尾地区横断地下道その２	ケイワールド日清	189
〃	中部横断自動車道臼田T	大林組	1,972
〃	保土ケ谷・瀬谷共同溝	不動テトラ	278
中国地整	安芸津バイパス実近T	竹中土木	1,020
東日本高速道路	東北自動車道大玉地区函渠	鉄建	408
首都高速道路	首都高速道路中央環状線品川線シールドT(北行)	鹿島・熊谷・五洋JV	43,700
西日本高速道路	山陰自動車道出雲IC	東急建設	1,710
山梨県	八ヶ岳地区須玉T第２工区建設(一部債務)	早野組・国際建設・大新工業JV	511.8
都・交通局	三田線御成門・内幸町間環状第２号線ほか交差部	錢高・大日本・アイサワJV	1,550
都・水道局	大井給水所(仮称)から品川区八潮三丁目地先間送・配水管(1,000㎜・800㎜)新設	大成建設・東亜建設工業JV	610
神奈川県	栄処理区下倉田第二幹線下水道整備(その２)	鹿島建設・りんかい日産建設JV	185
京都府	国道163号道路特殊改良１種(湾漂山T)	公成・イチグミ・杉山JV	845
余市町	公下補助黒皮地区雨水函布設	岩田建設・松岡建設JV	113
昭島市	昭島都市計画公下東部１号幹線築造(第３工区)	大日本・飯田JV	294.2
川崎市	平瀬川20号その１雨水幹線	重田・浅川JV	161.576
名古屋市	山崎川左岸雨水幹線下水道築造	奥村・森本・大旺JV	1,520
神戸市	須磨浦汚水幹線(その２)二次覆工ほか	鹿島・戸田・佐藤・錢高JV	2,380
広島市	江波地区下水道築造18の１号	錢高組・松本建設JV	2,440
〃	〃 18の２号	日本国土開発	207
福岡市	比恵13号幹線外築造	清水・大豊・丸磯・西光・澄男JV	2,138
■設計・調査等			
近畿地整	揖保川浜田排水樋管詳細	エース	17.5
首都高速道路	横浜環状北線シールドT実施設計・分合流拡幅部等概略	パシフィックコンサルタンツ	23
埼玉県	大門上池調節池連絡函渠詳細	近代設計	8.15
〃	大門上池・新和西上池調節池連通管基本	三井共同建設コンサルタント	7.5
都・下水道局	幹線内水位情報を用いた幹線の分析	建設技術研究所	7
〃	品川区二葉二丁目，南品川二丁目付近管渠改良工事実施	ユーエヌコンサルタント	11.2
〃	板橋区加賀一丁目，北区十条台二丁目付近再構築実施	中央開発	10.1
〃	北多摩二号水再生センター放流渠整備実施	中日本建設コンサルタント	8.5
〃	芝浦及び森ヶ崎処理区における整備計画に係る資料作成その２調査	日建技術コンサルタント	3.6
〃	妙正寺川流域及び江古田川流域外１流域簡易合流改善施設設置実施	日本工営	27
〃	豊島区南池袋二丁目，東池袋五丁目付近再構築実施	アイテックコンサルタント	12.7
〃	豊島区南池袋四丁目，雑司が谷一丁目付近再構築実施	英設計事務所	10.8

研　究

膨張性地山での二次覆工の現状評価と設計手法の提案

—北陸新幹線　飯山トンネル東菅沼工区—

鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局工事第一課課長補佐　中村　敦
西松建設(株)北陸支店飯山トンネル出張所所長　小野利昭
西松建設(株)土木設計部設計課主任　亀谷英樹
応用地質(株)東京本社技術センターグループリーダー　呉　旭

1 はじめに

飯山トンネルは，図-1に示すとおり，現在工事中の北陸新幹線(長野・金沢間)のうち長野・新潟県境に位置する全延長22km225mの山岳トンネルである．全体を六つの工区で分割施工しているが，このうち，東菅沼工区は，当該トンネルのほぼ中間に位置する延長3.8kmのトンネル工区である(図-2参照)．

当該トンネルは，難工事として有名な鍋立山トンネルに近接しており，地質も新第三紀泥岩層などから構成され類似していた．このことから，当該工事においても，計画当初から膨張圧の発生が懸念されていた．

当該工区が工事を開始した平成12年７月ごろは，

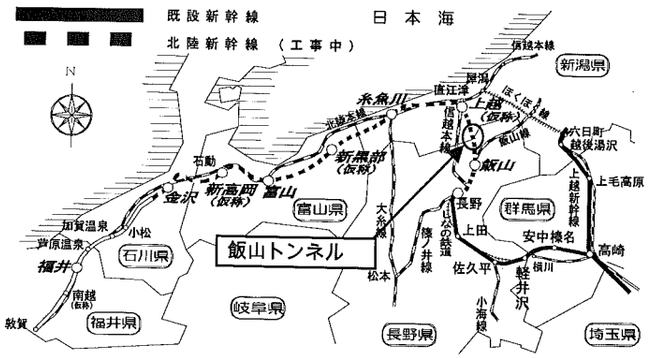


図-1　トンネル位置図

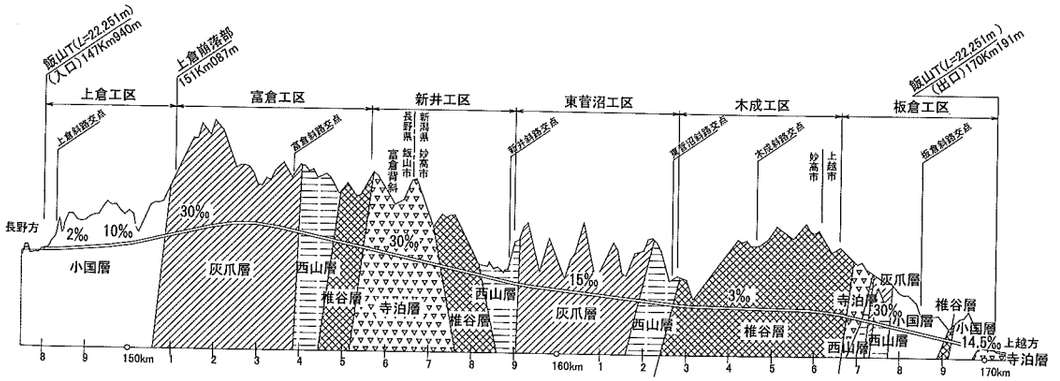


図-2　飯山トンネルの全体縦断

先行発注されていた他工区では既にトンネル掘削が行われていたが，一次支保の変状や盤ぶくれが問題となり，早期閉合や多重支保システムなど多様な対策工の適用が試みられていた．

当該工区においては，トンネル掘削時の変位は他工区に比較すると小さかったが，変位の収束性が悪い区間が一部存在した．この区間では，インバート閉合後約6か月経過しても，内空変位が約2㎜/月，盤ぶくれが約4㎜/月のほぼ一定速度でクリープ的に進行していた．

膨張性地山における過去の施工実績では，このような微増変位を抑止するために，多様な設計・施工法が提案されていた．なかでも，鋼繊維で二次覆工を補強する事例が比較的多く，東北新幹線や九州新幹線の現場でも適用されていた．しかしながら，これらの施工実績では一定の対策効果を上げていたものの，設計で予測した二次覆工の変形性状や応力状態が実測データと合致しない場合なども数多く報告されていた[1]．

当該工事では，過去の設計事例を参考にして，これらの問題点を踏まえて十分安全側に配慮した設計を行った．しかしながら，当該工事においても実測データが設計値と乖離する結果となった．そこで，計測データをもとに設計手法の問題点について再検討し，設計法の修正を試みた．

本稿は，膨張性地山におけるクリープ的挙動の評価方法とその妥当性について考察し，二次覆工の設計手法を提案するものである．

2 工事概要

2-1 トンネル概要

工事名：北幹，飯山T(東菅沼)他1,2工事
発注者：鉄道・運輸機構北陸新幹線建設局
施工者：西松・東亜・植木・中元特定建設工事共同企業体
施工場所：新潟県妙高市東菅沼地内
工期：平成12年3月14日～
　　平成18年6月25日
諸元：トンネル延長　L=3,800m
　　掘削断面積　A=83m²
　　掘削工法　ベンチカット工法
　　掘削方式　機械掘削方式
　　運搬方式　タイヤ方式

2-2 地形・地質概要

飯山トンネル付近の地形は，長野県側の飯山盆地と新潟県側の高田平野の間に位置する東頸城丘陵南端部の標高300～800mの山地である[2]．このうち，東菅沼工区は飯山トンネルのほぼ中間部に位置しており，標高は約250～450mで土かぶりは40～220mである．当該工区では，上越側(北側)の工区境界付近に斜路(作業横坑)で接続した後，長野側(南側)へ本坑掘削を開始した(図-3参照)．

斜路交点部(162k660m付近)の地質は新生代第三紀椎谷層のスランプ帯であり，その南側162k000～660mには西山層泥岩の小断層帯が分布している．これらの区間は，砂岩の薄層を狭在した塊状泥岩が主体であった．この泥岩は軟質でありハンマーの軽打で容易に割れ，砂岩は固結度が低く強度も小さかった(q_u＝1 N/㎟以下)．

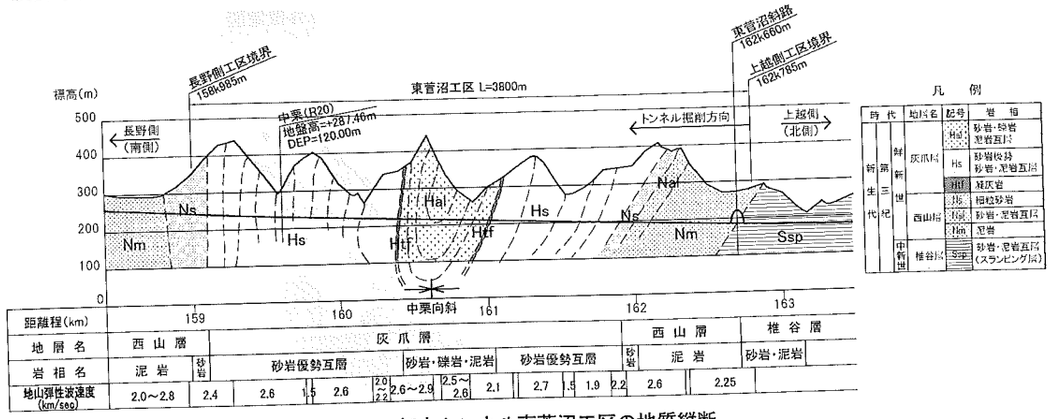


図-3　飯山トンネル東菅沼工区の地質縦断

上記区間よりも南側は，中栗向斜軸の影響領域が約3 kmにわたって広がっており，地質は灰爪層砂岩優勢岩によって構成されている．

本稿で報告するトンネルの変状は，西山層泥岩区間と椎谷層砂岩泥岩互層区間において発生した．

3 トンネル変状状況と対策

3-1 トンネル掘削時の変状状況

当該工区では，平成12年12月に斜路(作業横坑)および本坑との交点部付近の掘削を完了し，長野方面へ本坑掘削を開始した．しかしながら，162k500m付近(図-3参照)より，トンネル掘削時の内空変位が最大約200㎜と大きくなり，吹付けコンクリートの圧壊，鋼製支保工の座屈，盤ぶくれによるインバートコンクリートのひび割れなどの変状が発生した．当該区間の地山は，固結度が低く一軸圧縮強度も小さかったものの，切羽は湧水も少なく比較的安定していた．このため，一次支保のランクアップやインバートストラットなどの対策は行ったが，補助工法はとくに適用しなかった．

しかしながら，インバート打設後約6か月経過しても，変位は収束傾向を示さず，内空変位が約2㎜/月のほぼ一定速度で進行した．長尺ロックボルトの増し打ちなどの対策を試みたが，顕著な抑止効果は得られなかった．

この変状は，当該区間の一軸圧縮強度が最小q_u＝1 N/㎟程度と極端に小さかったことと，土かぶりが約70mから200mまで急増する区間であったことに起因していると考えられた．すなわち，地山強度比の低下(最小G_n＝0.5程度)による塑性領域の拡大が主な原因であると考えた．これは，地質が砂岩優勢の灰爪層(162k000m以降)へ変化すると，土かぶり200m以上でも変状が発生しなくなったことからも推察できる．

3-2 二次覆工の設計と計測計画

3-2-1 設計方針と概要

一般に，二次覆工は変位速度が十分小さくなったことを確認した後で施工されるものである．よって，前述のクリープ的変形が収束するのを待って二次覆工を打設する方法も考えられたが，当該工区の場合では，収束までの期間が長くなることが予測され，トンネル供用までの工事工程に余裕がないことが想定された．また，変位を許容することはゆるみを助長し更なる荷重の増大を招くことが懸念された．そこで，九州新幹線や東北新幹線で施工実績のあるSFRC覆工によって変形を抑止する方針とした．

二次覆工の補強構造は，逆定式化法によるFEM逆解析によって検討した．膨張性地山に限ったことではないが，山岳トンネルの構造設計においては，トンネルに作用する荷重をいかにして正確に評価するかがポイントとなる．

本検討では，まず，トンネル掘削時の一次支保のA計測結果(内空変位，天端沈下)から，双曲線関数を用いた最小二乗法によって漸近値を求め，計算日以降の将来発生する予測変位(以下，残留変位と呼ぶ)を求めた(図-4参照)．次に，FEM逆解析(解析コード：DBAP[3])において地山と二次覆工をモデル化し，上記の残留変位を入力値として覆工コンクリートの応力度を計算した．この手法では，一次支保のA計測から予測した残留変位が二次覆工打設後にも，同じ変形モードで同量発生すると仮定しているため，前述した過去の施工実績における不確定要素を考慮しても十分安全側の評価が行えると考えた．

3-2-2 FEM逆解析と二次覆工の補強構造

トンネル掘削時のA計測結果から推定した残留変位およびFEM逆解析により得られた地山の等

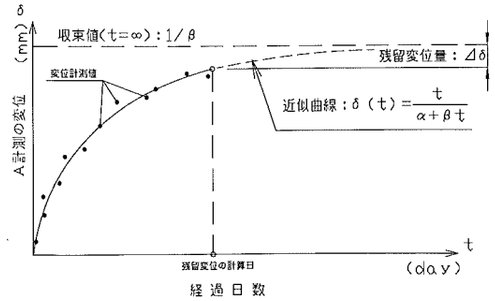


図-4　双曲線モデルによる残留変位の計算(概念図)

表-1　一次支保のA計測による残留変位と物性値

残留内空変位 $H1$(mm)	残留天端沈下 $F1$(mm)	覆工弾性係数 E_c(kN/m²)	地山弾性係数 E_R(kN/m²)	土かぶり H(m)
−7.5	1.0	2.20×10^7	1.70×10^5	69

※F1は沈下を正，H1は収縮を負とする

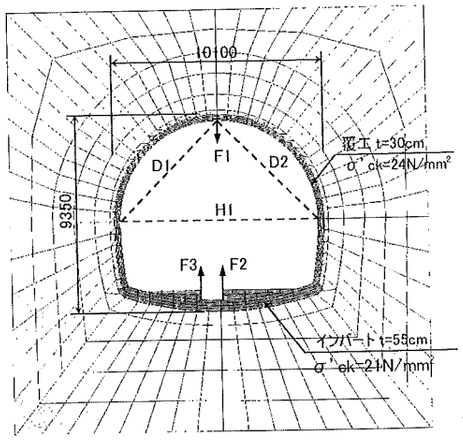


図-5　トンネル周辺の解析モデル

価弾性係数を表-1に示す．二次覆工コンクリート（t＝30cm）は図-5のように平面要素でモデル化し，前述の残留変位を入力値として，地山および二次覆工の弾性係数に合致するまでくり返し計算を実施した．このとき，解析変数となるのは解放荷重すなわち地山の初期応力である．

FEM逆解析の結果から，二次覆工の側壁内側にわずかではあるが引張応力度が発生することがわかった．このため，引張応力度の大きさに応じて覆工コンクリートに鋼繊維を0.5～0.75vol%混入することとした．

3-2-3　二次覆工打設後の計測工の概要

前述のように，安全側を考慮して二次覆工の仕様を設計した．しかしながら，数値解析には仮定条件や不確定要素が含まれるため，計測工によって設計手法の妥当性および部材の健全度を評価，検証することとした．

二次覆工打設後のトンネル内の変位計測としては，覆工表面に計測点を盛り替えてA計測工を継続した．ただし，残留変位の変位速度は非常に緩慢であることを考慮して，より微小な変位を計測するために，傾斜センサを二次覆工表面に設置し

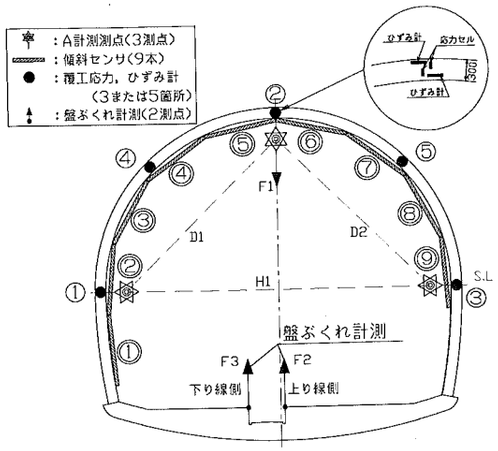


図-6　二次覆工の計測断面

た．これにより，二次覆工の変形モードを連続的に高精度で計測することが可能となった．

また，覆工コンクリートの内部には，油圧式応力度計と電気式ひずみ計を内空側と地山側に設置した．計測機器の配置図を図-6に示す．計測断面は，残留変位の大きかった西山層162k319mと椎谷層162k722mの2断面とした．

3-3　二次覆工の計測結果のまとめ

3-3-1　A計測結果の比較と考察

トンネル掘削時からの天端沈下と内空変位の経時変化図を図-7,8に示す．

これらの図において，◆はトンネル掘削時における一次支保のA計測結果を示しており，この計測値から前述した残留変位(同図中の実線)を求めた．その後，設計期間(この間の計測値は同図中の◇)を経て二次覆工を打設した．二次覆工の打設後は変位計測点を覆工表面に盛り替えて計測を継続した(同図中の■)．

図-7から，内空変位の変位速度は覆工打設後に若干大きくなる結果となった．一方，図-8から，一次支保の段階では，天端は沈下傾向を示していたが，覆工打設後には逆に若干隆起する結果となった．

また，覆工打設から約700日経過した段階において，内空変位の増分が予測した残留変位とおおむね等しい値(8 mm)となり依然として微増傾向を示していた．すなわち，二次覆工の変形モード，

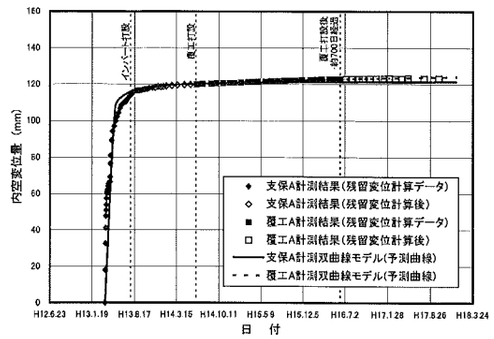


図-7　内空変位の経時変化(162k518m)

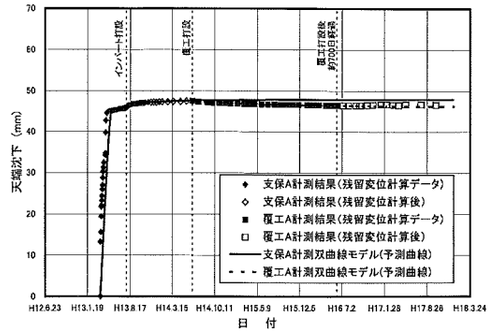


図-8　天端沈下の経時変化(162k518m)

変位速度および残留変位が解析と異なる結果を示した．計測誤差や部材損傷などによる剛性低下などが懸念されたが，以下の理由から計測データはおおむね妥当であると判断した．

① 二次覆工とインバートとの接合部のずれの有無や部材損傷などの目視調査を行ったが，変状や損傷は確認できなかった．

② 傾斜センサからも，A計測と同様の変形モードと変位量が確認されていた．

③ 二次覆工の側壁部にトンネル縦断方向へひび割れが発生していた．これは計測結果から推定される変形モードに一致する傾向を示していた．

3-3-2　B計測結果の比較と考察

二次覆工打設から約700日経過後のコンクリート応力度とひずみの計測結果(162k319m)を図-9に示す．

これらの計測結果は，前述した変形モードと定性的な傾向は合致していたが，各計測点での応力度とひずみから求まる覆工コンクリートの弾性係

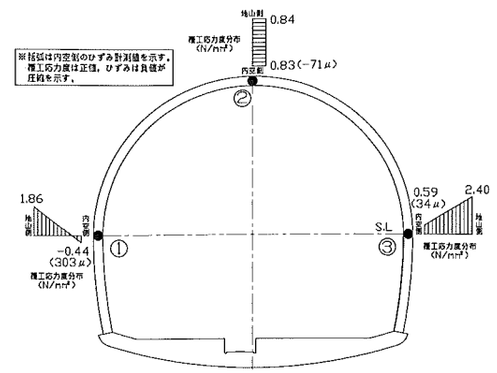


図-9　二次覆工応力度とひずみの計測結果(162k319m)

数は，FEM逆解析で用いた設計値よりもかなり小さい値であった．162k722mでの計測結果も合わせると，その平均値はおおむねE_c＝1.0×10^7kN/m²程度となった(ただし，特異データを除く)．これは，FEM逆解析で用いた値の約1/2である．

3-4　FEM逆解析と計測結果との相違に関する考察

FEM逆解析結果と計測結果の主な相違点とその考察を以下に記述する．

(1)　二次覆工の応力度とひずみとの関係

二次覆工の応力度とひずみの計測結果から，覆工コンクリートの弾性係数が通常の硬化後の値よりもかなり低いことがわかった．これは，トンネルの変位速度が数mm/月程度の緩慢なものであったため，コンクリートや地山のクリープ的特性が現れたためと考えられる．

(2)　変形モードと変形量の差異

一次支保から推定した残留変位および変形モードが，計測結果と異なった理由として以下の事柄が考えられる．

① 二次覆工と地山の見掛けの弾性係数が小さくなったこととその比率が変化したことによって，トンネルの変形モードが変化したことが考えられる．

② 残留変位が予測よりも大きくなった原因としては，残留変位の進行過程でゆるみ域が拡大したことや，地山やコンクリートのクリープ的な変形特性が非線形性を有していたことなどが考えられる．

4 物性値の再評価による現状評価

4-1 FEM逆解析による物性値の再評価手法

前述のように，実挙動を正確に推定するためには，時間依存性を考慮した覆工コンクリートおよび地山の弾性係数を適切に評価することが重要である．しかしながら，クリープを考慮した弾性係数を正確に評価するためには，長期に及ぶ試験が必要であることや現場環境条件の再現性など現実的には課題が多い状況にあった．

そこで，二次覆工打設後のA計測データ(図-7, 8の■)を用いたFEM逆解析によって地山と二次覆工の弾性係数を求めることとした．

162k319mの計測結果をもとにしたFEM逆解析の流れを以下に示す．

4-1-1 弾性係数比 n の同定(手順①)

櫻井らの提案する逆解析コード(DBAP[3])の入出力パラメータの関係を**図-10**に示す．ここで，入力側のパラメータである計測変位，単位体積重量，ポアソン比を既知とすると，『作用荷重(解放荷重)相当土かぶり h 』と『二次覆工と地山との弾性係数比 n 』の二つが未知パラメータとなる．一方，出力側では，計測結果より，二次覆工の計測点での応力度とひずみが既知であり，その他は未知量である．

ここで，弾性係数比とひずみとの関係は作用荷重に対して独立な関係にあるため，計測ひずみと解析ひずみが合致する弾性係数比をくり返し計算により求めることができる．

一方，櫻井らの最小二乗法を用いた逆定式化法では，誤差関数(図-10参照)が最小となるとき，解析条件のもとでもっとも精度よく現象を再現していると評価できる．

そこで，これらの結果を総合的に評価して弾性係数比を決定することとした．

弾性係数比とひずみおよび誤差関数との関係を**図-11**に示す．同図より，弾性係数比が $n=500$ を超えると各測点のひずみはおおむね一定値を示す．ここで，下り線壁部(内側)での計測結果は，引張ひずみが大きく，n を変化させても解析値に一致することはなかった．しかしながら，他の二つは弾性係数比が $n=200$ 以上であれば両者は比較的近い値となった．一方，誤差関数は $n=200$ で最小値を示した．

以上から，弾性係数比は $n=200$ とすることが妥当であると総合的に判断した．

4-1-2 等価弾性係数の同定(手順②)

前述の手順①において，弾性係数比 n を決定することによって，ひずみ分布を再現することができた．

これによって，入力側の未知パラメータは『作用荷重(解放荷重)相当土かぶり h 』のみとなるため，この変数に関して二次覆工の応力度(解析値)を計測値に合致するまでくり返し計算を行った．ここで，両者が一致するときに得られる等価弾性係数は，二次覆工打設後のクリープ的変形特性の再現性がもっとも高い値であると考えられる．

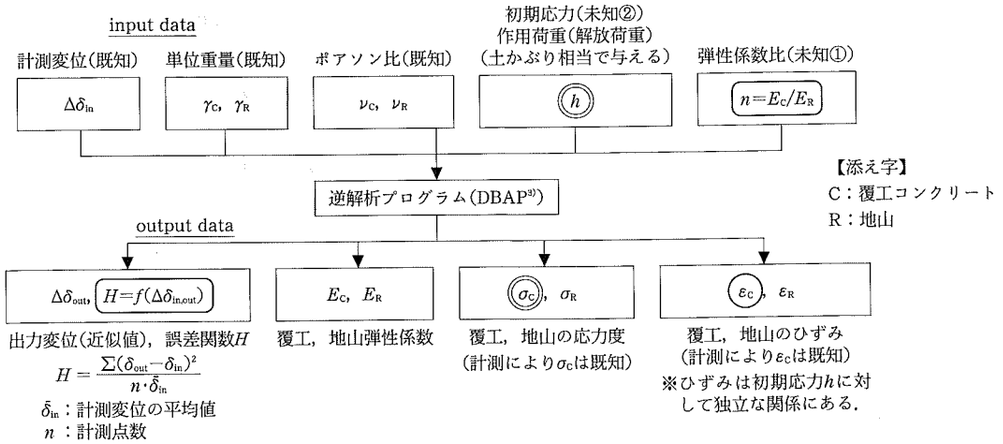


図-10 逆定式化法における入出力変数

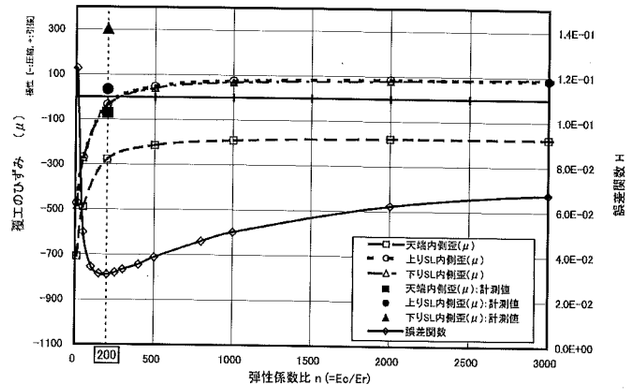


図-11 覆工ひずみ・誤差関数と弾性係数比との関係(162k319m)

表-2 FEM逆解析によって求めた弾性係数

	覆工弾性係数 E_C(kN/m²)	地山弾性係数 E_R(kN/m²)	弾性係数比 $n(=E_C/E_R)$
覆工打設前の解析	2.50×10^7	1.70×10^6	129
打設後の解析(162k319m)	5.10×10^6(3.9)	2.55×10^4(5.7)	200
打設後の解析(162k722m)	7.15×10^6(2.5)	7.15×10^4(1.4)	100

※1 二次覆工を SFRC($f_{ck}=24N/mm^2$)としたため弾性係数は$E_C=2.5\times10^7$kN/m²とした．
※2 括弧内数値は覆工打設前解析の弾性係数に対するクリープ係数αを示す．

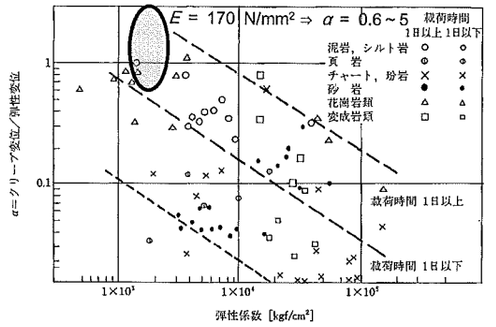


図-12 地山の弾性係数とクリープ係数αとの関係[5]に一部加筆(原位置クリープ試験による)

上記と同様に162k722mの計測結果についてもFEM逆解析を実施した．

4-2 現状再評価に関するFEM逆解析結果

二次覆工と地山の弾性係数は，覆工打設前に行ったFEM逆解析での一般的な設計値に対してかなり小さい値となった(**表-2**参照)．ここで，参考文献4),5)より，クリープ係数αを考慮した弾性係数を$E_c/(1+\alpha)$とすると，本解析結果のクリープ係数は表-2の括弧内数値となる．

参考文献4)によると，コンクリートのクリープ係数は品質，環境温度，湿度および部材寸法などにより，一般的に$\alpha=2\sim4$の値をとるとされている．また，参考文献5)に記載される地山の弾性係数とクリープ係数との関係を**図-12**に示す．同図は，当該現場のような載荷時間約700日に対応するデータではないと考えられるが，載荷時間1日以上とするとおおむね$\alpha=0.6\sim5$の範囲にあると言える．FEM逆解析で得られる弾性係数は，数値解析の誤差やモデル化の不確実性および計測誤差なども含むため，純粋なクリープ特性を表すものではない．しかしながら，解析から得たクリープ係数は上記の一般値におおむね近い値となった．

162k319mの二次覆工の変形性状の解析値と計測値との比較を**表-3**および**図-13**に，同じく応力

表-3 162k319mの入力出力変位(覆工打設後からの増分)

	内空変位 $H1$(mm)	天端沈下 $F1$(mm)	下り側斜測線 $D1$(mm)	上り側斜測線 $D2$(mm)	上り側盤ぶくれ $F2$(mm)	下り側盤ぶくれ $F3$(mm)
入力値	−7.7	−1.5	−3.6	−2.2	−8.0	−5.0
出力値	−8.3	0.0	−2.5	−1.3	−6.5	−6.3

※$F1,2,3$は沈下を正，$D1,2$, $H1$は収縮を負とする

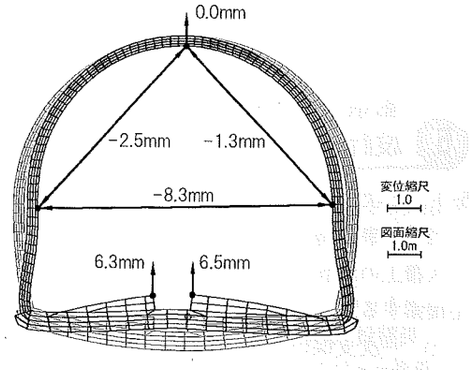


図-13 逆解析による変形性状(覆工要素のみ抽出)(162k319m：覆工打設後の増分変位)

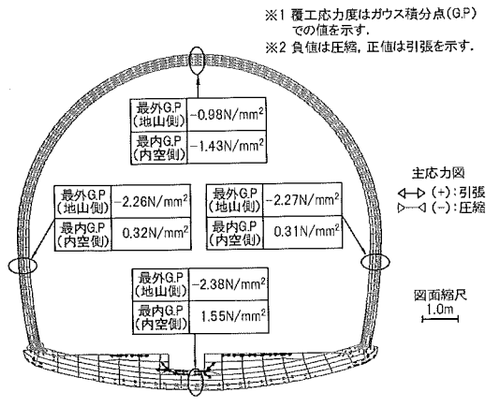


図-14　逆解析による覆工主応力分布(覆工要素のみ抽出)(162k319m：覆工打設後の増分応力度)

度分布について図-9と図-14に示す．各測点の計測変位と解析値はおおむね一致していることがわかる．また，応力度分布図からは，二次覆工の側壁内側とインバート中央通路側部に引張応力の集中域が確認できる．これらの箇所には実際にもひび割れが発生しており，インバート中央通路付近では，インバート打設後から引張応力(解析値)が引張強度[6]($f_{tk}=0.23f_{ck}^{2/3}=0.23\times(24)^{2/3}=1.9\mathrm{N/mm^2}$)を超過していた．以上から，解析は実際の挙動をよく再現していると評価できる．

また，両断面の鉛直方向の解放荷重はともに約$p_v=66\mathrm{kN/m^2}$であり，地山単位体積重量を$\gamma=22\mathrm{kN/m^3}$とすると土かぶり3m程度の荷重に相当している．

なお，二次覆工のA計測変位は，本解析の実施後まもなく収束傾向を示したので，補強工などの施工は行わず監視を継続することとした．

5 膨張性地山における二次覆工の設計手法の提案

5-1　二次覆工の設計手法の提案

当該工事の施工実績から，膨張性地山における二次覆工の設計手法として以下の手順による方法を提案する．

① 一次支保のA計測結果から残留変位を計算する．

② 一次支保の残留変位を入力値としたFEM逆解析を実施して，残留変位相当の解放荷重を計算する．

③ 二次覆工の構造は，上記②の残留変位相当の解放荷重を用いたFEM順解析によって設計する．すなわち，変位制御方式ではなく，荷重制御方式で順解析することにより，地山や覆工コンクリートの弾性係数に則した変形モードを表現することができる．なお，このときの覆工コンクリートおよび地山の弾性係数は，クリープ的な特性を考慮した値を採用する．

5-2　既設の二次覆工を補強する場合の設計手法の提案

既設の二次覆工に変状が発生する場合において，二次覆工の将来予測や補強工の設計手法として，以下の手順による方法を提案する．

① 既設の二次覆工でA計測工を行って，データを蓄積したのち残留変位を計算する．

② 上記①の残留変位を入力値としたFEM逆解析によって，将来的に二次覆工に発生する応力やひずみの増加量を評価する．このときの覆工コンクリートおよび地山の弾性係数は，クリープ的な特性を考慮した値を採用する．

③ 上記②において対策工が必要と評価される場合には，ロックボルトや繊維シートなどの対策工をモデル化したFEM順解析によって構造検討を実施する．この際の初期応力は上記②において計算した解放荷重(初期応力)を用いる．

6 まとめ

当該工事の変状区間の設計・施工において得られた情報と知見を以下にまとめる．

① 当該工事では，クリープ的な残留変位を二次覆工で抑止するために，FEM解析によってその補強構造を設計した．二次覆工の打設により残留変位は収束したものの，二次覆工に発生した変形量や応力度などの計測結果はFEM解析での予測と異なる結果となった．

② 上記①の原因を明らかにするために，二次覆工の計測結果をもとにしてFEM逆解析を行った．その結果，地山や覆工コンクリートの弾性係数は当初の設計値よりもかなり小さく，これらの弾性係数の差異が主な原因であると考えられた．

③ 弾性係数の低下要因としては，残留変位の変位速度が緩慢であったことから材料のクリープ特性による影響が考えられた．逆解析により得られた地山と覆工コンクリートのクリープ係数は，既往の一般的なクリープ係数におおむね近い値となった．

以上を踏まえて，本稿で得られた結論と今後の課題を以下にまとめる．

① 膨張性地山において残留変位を抑止する場合の二次覆工の設計方法を提案した．

② 残留変位の抑止を目的とする場合の二次覆工の設計では，クリープなどの時間依存特性を適切に考慮する必要がある．しかし，クリープ特性や弾性係数の評価方法に関しては，データの蓄積やさらなる研究が必要である．

③ 既設トンネルの変状評価や対策工の設計においては，変状中の現場計測結果をもとにした逆解析により，クリープ特性を考慮した弾性係数や作用荷重の評価が可能である．この値を用いて，FEM順解析により将来予測や対策工の構造設計を行うことができる．

最後に，当該工事の設計・施工に際し，関係各位からさまざまな貴重なご意見・ご支援をいただいた．ここに記して感謝の意を表する次第である．

参考文献

1) 例えば，奥村皓一・和地強・怡土一美：SFRC覆工で収束しない変位に対抗，東北新幹線　岩手トンネル女鹿工区，トンネルと地下，Vol.29，No.5，pp.7-18，1998.5.
2) 光木香・小幡芳文：北陸新幹線飯山トンネル地質調査最終報告，トンネルと地下，Vol.31，No.7，pp.53-61，2000.7.
3) 櫻井春輔・武内邦文：トンネル掘削時における変位計測結果の逆解析法，土木学会論文報告集，No.337，pp.137-145，1983.9.
4) A.Ghali・R.Favre著，川上洵・樫福浄ほか訳：コンクリート構造物の応力と変形，クリープ・乾燥収縮・ひび割れ，技報堂出版(株)，p.3，1995.1.
5) 日本材料学会：岩の力学—基礎から応用まで，丸善(株)，pp.513-515，1993.12.
6) 土木学会：2002年制定コンクリート標準示方書［構造性能照査編］，丸善(株)，p.21，2002.3.

『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)

トンネル ジャーナル

TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL・TUNNEL JOURNAL

原宿交差点の立体化工事に着手

関東地方整備局横浜国道事務所は原宿交差点立体化工事に着手した．2009年度の開通を目指す．

原宿交差点は神奈川県内の交差点で渋滞ワースト１（渋滞損失約100億円/年）となっており，「渋滞見える化プラン」の要対策箇所に選定されていた．開通後は渋滞損失額の削減とともに交差点の通過時間が最大約30分短縮されることが期待される．また，引き続き歩道空間などの整備も行う予定．

工事は交差点改良区間828m，うち立体化区間420mで，開削・非開削を併用し並行して施工を行うことにより工期の短縮が可能となった．交差点部は非開削工法による施工で，大断面分割シールド工法（ハーモニカ工法）が適用される．トンネル接続部は開削による．設計・施工一括発注方式で発注され，大成建設が落札していた．

外環道の大深度地下利用に関する事業間調整手続きが終了

国土交通省は，東京外かく環状道路の大深度部分について，鉄道，電気，ガス，通信など事業者を対象に事業の共同化や事業区域の調整などの事業間調整を行うため，2007年１月26日～２月26日に事業概要書を縦覧してきたが，事業の共同化や事業区域の調整などの申し出はなく，「事前の事業間調整」の手続きを終了した．これにより同事業の手続きは計画調整段階を終了し，使用認可申請段階に進む．

外環は，東京都練馬区の関越自動車道と世田谷区の東名高速道路を結ぶ延長約16km，地下40m以下に計画される自動車専用道路．現在，都市計画変更手続きを行っており，４月中にも都市計画（変更）決定がなされる見通し．

鋼製地下タンクのFRPライニング施工指針

消防庁は，鋼製地下タンク内面の腐食・防食措置として実用化されているFRPライニングについて，施工指針を示した．

指針に従って計測した板厚が3.2㎜以上かつ設置時の75%以上の厚さを満たすタンクのみをFRPライニングの施工対象としたほか，施工厚さを２㎜以上確保することなどを規定している．

平成17年中に発生した危険物施設における漏えい事故は，統計を取り始めて以来過去最悪となっており，地下タンクにおいては，腐食貫通孔から危険物が周辺土壌や河川などに流出するなどの被害が拡大することが懸念されていた．

四国横断道阿南～小松島間で中心杭打ち式

四国横断自動車道阿南～小松島間の中心杭打ち式が，徳島県阿南市で行われた．

阿南～小松島間は，延長10km，暫定２車線で，新直轄方式で施工される．区間には，羽ノ浦トンネル（753m），立江トンネル（930m），田野トンネル（630m），恩山寺第１トンネル（385m），新居見トンネル（1,375m）のほか，新那賀川橋などの構造物が計画されている．

上郷公田線桂台地区の基本計画案が策定

横浜市は，横浜環状南線に接続する都計道上郷公田線の桂台地区区間（1.2km）の基本計画案を策定した．

桂台地区区間は，地下に横浜環状南線が平行して計画され，事業用地幅が32mある．

基本計画に至るまでに，1.2km区間を，すべて平面構造で通す案，縦断勾配が大きくなるのを避け丘陵部を掘割構造で通す案，掘割構造の一部をトンネル構造とした案などが検討されたが，縦断勾配を小さくすることで走行性・環境性に配慮するとともに地域分断への影響も低減させたトンネル案を基本計画案とした．

本線の大半は平面構造となり，トンネルへの擦り付け区間は掘割構造となる．道路断面は，２車線の本線を道路中央部に配置し，本線の両側には周辺街区からのアクセス路となる副道を設置することで，通過交通を分断する．また，歩行者空間の整備や環境植樹帯も断面内に確保され，トンネル上部についても広場，公園として利用するなど，周辺環境への影響に配慮した計画となっている．

西大阪延伸線でシールドが発進

西大阪高速鉄道が2009年春の開業を目指し，阪神西九条駅と近鉄難波駅間で建設工事を進めている西大阪延伸線で，岩崎橋駅立坑から同工事初となるシールドが発進した．

シールドが発進したのは，現在工事が進められている４工区あるなかの第２工区．岩崎橋立坑を発進し九条駅に到達後，Uターンをし，発進立坑に戻る．シールドは外径6,950㎜，機長7,595㎜の泥土圧式シールドで，内径6,300㎜のトンネルを構築する．施工延長は上り線305.83m，下り線297.205mで，日進約８mを計画している．

西大阪延伸線は，阪神西九条～近鉄難波の延長約3.4kmの路線で，間に九条駅，岩崎橋駅，汐見橋駅（すべて仮称）を設置する．完成後は阪神三宮駅～近鉄奈良駅間が相互直通運転される計画となっている．

報　告

新潟県中越地震による鉄道トンネル被害調査結果

東日本旅客鉄道（株）建設工事部兼設備部構造技術センター地下・トンネル構造グループ課長　清水　満
東日本旅客鉄道（株）建設工事部構造技術センター地下・トンネル構造グループ主席　齋藤　貴
東日本旅客鉄道（株）建設工事部構造技術センター地下・トンネル構造グループ課員　鈴木　尊
京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻教授　朝倉俊弘

1 はじめに

2004年10月23日17時56分ごろに発生したM6.8の新潟県中越地震は，鉄道構造物や道路構造物に甚大な被害をもたらした．鉄道では，上越新幹線をはじめ上越線，信越本線，飯山線において，列車運行が不可能となるほどの被害が発生し，高架橋，橋梁，盛土のほかに，従来，地震には強い構造物と言われていたトンネルにもさまざまな被害が発生した．

被災したトンネル数は21に及んだが，2004年12月27日までに在来線トンネル（上越線小千谷・越後滝谷間の榎峠トンネルは2005年３月25日）が運転再開し，上越新幹線は12月28日に運転再開を果たした．

本件に関しては，前回（2005年５月号：Vol.36, No.5）では，鉄道トンネル全体についての被害と復旧方法について報告したが，本稿では，とくに被害の大きかった上越新幹線魚沼トンネル，妙見トンネルおよび上越線の和南津（わなづ）トンネルの被害状況と復旧方法について述べるとともに，今回の地震被害の特徴，そして詳細調査などから想定した被害原因について報告する．

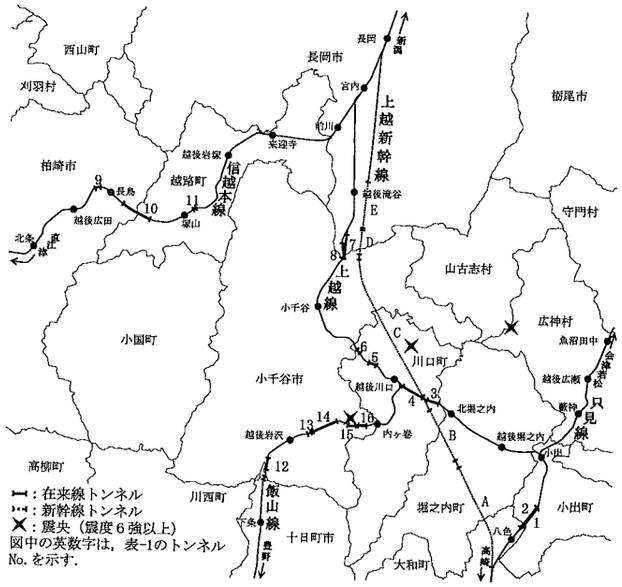


図-1　新潟県中越地震による被害トンネル位置図

2 鉄道トンネルの被害状況

2-1 被害概況

被害は，覆工コンクリートの剥離・剥落といった小規模なものから，軌道隆起や覆工コンクリートの崩落といった大規模なものまで，多岐にわたっていた．図-1に被害を受けたトンネルの位置図を示す．表-1は，これら被害を受けたトンネルの基本データと被害の概要を示したものである．

表-1　被害トンネルの基本データと被害状況

No.	被害程度	トンネル名	線名	駅間 自	駅間 至	単複別	長さ(m)	覆工 (t=cm)	地質	被害状況
A	C	浦佐	上越新幹線	浦佐	長岡	複線	6,087	C (70～90)	砂礫，凝灰角礫岩，礫岩	中央通路側壁ひび割れ
B	B	堀之内	上越新幹線	浦佐	長岡	複線	3,300	C (70～90)	礫岩，砂岩	打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ，側壁食い違い
C	A	魚沼	上越新幹線	浦佐	長岡	複線	8,624	C (50～90)	シルト岩，泥岩，砂岩	アーチ部の崩落，打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ，軌道隆起
D	A	妙見	上越新幹線	浦佐	長岡	複線	1,459	C (70～90)	シルト岩	アーチクラウン部の圧ざ，打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ，軌道隆起
E	B	滝谷	上越新幹線	浦佐	長岡	複線	2,673	C (70～90)	シルト岩，砂岩，砂礫	アーチクラウン部の圧ざ，打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ
1	B	福山	上越線	八色	小出	単線	1,350	CB (39～91)	軟岩	ひび割れ，剝落
2	B	新福山	上越線	八色	小出	単線	1,463	C (45，60)	軟岩	アーチクラウン部の圧ざおよびせん断ずれ，ひび割れ
3	A	和南津	上越線	北堀之内	越後川口	複線	725	C (50，60)	砂岩	アーチクラウン部の圧ざ，アーチ部の崩落，打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ，トンネル坑口部のずれ
4	B	中山	上越線	北堀之内	越後川口	複線	1,205	C (50)	頁岩，砂岩	打ち継ぎ目部の剝落，アーチ肩部のひび割れ
5	B	牛ケ島	上越線	越後川口	小千谷	複線	432	C (50)	砂岩，頁岩	打ち継ぎ目部の剝落，トンネル坑口部のずれおよび面壁の亀裂
6	A	天王	上越線	越後川口	小千谷	単線	285	C (45，60)	砂岩，頁岩	トンネル上部斜面崩壊に伴う側壁の亀裂，打ち継ぎ目部の剝落，ひび割れ，トンネル坑口部面壁のひび割れ
7	A	新榎峠	上越線	小千谷	越後滝谷	単線	1,372	C (30～50)	頁岩，砂岩	アーチクラウン部の圧ざ，ひび割れ，側壁部の押し出し
8	B	榎峠	上越線	小千谷	越後滝谷	単線	641	CB (23～56)	頁岩，砂岩	斜面崩壊に伴うトンネル坑口部の損傷，ひび割れ，剝落
9	C	鼻田	信越本線	越後広田	長鳥	複線	330	C (60)	頁岩，砂岩	剝離
10	B	塚山	信越本線	長鳥	塚山	複線	1,766	C (50，60)	頁岩，砂岩	アーチクラウン部の圧ざ，打ち継ぎ目部の剝離，ひび割れ
11	B	東山	信越本線	塚山	越後岩塚	複線	166	C (60)	泥岩，細砂	打ち継ぎ目部の剝離，ひび割れ
12	C	岩山	飯山線	下条	越後岩沢	単線	652	CB (39～56)	砂岩	剝落
13	B	岩沢	飯山線	越後岩沢	内ケ巻	単線	203	CB (39～47)	シルト岩	アーチ肩部の軽微な圧ざ，補修用吹付けコンクリートの剝落
14	B	妙高山	飯山線	越後岩沢	内ケ巻	単線	1,465	CB (23～91)	水成岩	アーチクラウン部の軽微な圧ざ，剝落
15	B	高場山	飯山線	越後岩沢	内ケ巻	単線	500	C (45～60)	軟岩	アーチクラウン部の圧ざ，ひび割れ，打ち継ぎ目部の剝離，トンネル坑口部のずれ
16	B	内ケ巻	飯山線	越後岩沢	内ケ巻	単線	425	CB (47～87)	泥岩	アーチ肩部の軽微な圧ざ，ひび割れ

・被害程度　A：大規模な補強，補修を必要とした被害　B：補修を必要とした被害　C：補強，補修を必要としなかった軽微な被害
・覆　　工　C：コンクリート，CB：コンクリートブロック

復旧に大規模な補強を要した被害程度Aのトンネルに注目すると，新幹線では魚沼と妙見の2トンネルであり，在来線は和南津，天王，新榎峠の3トンネルである．このうち天王と新榎峠の2トンネルの被害箇所はトンネル坑口部および土かぶりの小さな箇所であり，斜面崩壊などの影響により地震被害が発生しやすい箇所であることから，震央に近いため大きな被害が発生したと想定できる．

しかし，魚沼，妙見，和南津の3トンネルでは，トンネルの中間部で大きな被害が部分的に発生しており，単に震央に近かったことだけが大きな被害の原因とは考えにくい．そこで，魚沼，妙見，和南津の3トンネルについては，被災直後から復旧後も継続して各種調査を実施し，被害原因の推定のため資料収集を行ってきた．

表-2　被害原因推定のための調査一覧表

調査項目	調査目的	魚沼T 被害有	魚沼T 被害無	妙見T 被害有	妙見T 被害無	和南津T 被害有	和南津T 被害無	中山T 被害無
電磁波測定	覆工厚，背面空洞	○	○	○	○	○	○	○
インバートコアボーリング	インバート内部ひび割れ	○	—	○	—	—	—	—
トンネル断面測定	トンネル断面変形	○	○	○	○	○	○	○
側壁からの地質ボーリング	地質などの確認	○	○	○	○	○	○	○
垂直地質ボーリング	地滑り面の確認	—	—	○	—	—	—	—

魚沼トンネルほかの調査内容は表-2に示すとおりであり，被害状態，被害位置と周辺地質，トンネル構造の把握を目的に行った．

なお，中山トンネル(上越線)についても調査を行っているが，これは和南津トンネルと同一構造で，しかも震央に近かったにもかかわらず被害の小さかったトンネルであったことから調査を行ったものである．

2-2　魚沼トンネルおよび妙見トンネルの概要と被害状況

2-2-1　魚沼トンネルおよび妙見トンネルの概要

上越新幹線魚沼トンネルと妙見トンネルが位置している地質は，新第三紀中新世および鮮新世の層の堆積岩が中心である．このうち魚沼トンネルの被害箇所は鮮新世西山層のシルト岩層と中新世椎谷層の泥岩・砂岩互層部であり，妙見トンネルの被害箇所は鮮新世灰爪層のシルト岩層である．

この区間のトンネルは1972～1979年ごろに矢板工法で施工されており，掘削工法は地山条件に応じて底設導坑先進工法，側壁導坑先進工法により建設されている．

覆工巻き厚は，岩種別に50cm，70cmを標準としているが，地山条件によっては90cm以上の区間もある．また，この区間のトンネルはすべてインバートコンクリートが施工されており，その厚さは覆工と同様に地山条件に応じて30～50cmとなっている．

路盤はスラブ軌道構造のため，全区間25cm厚さの路盤鉄筋コンクリートがインバートコンクリート上に施工されている．

2-2-2　魚沼トンネルの被害

魚沼トンネルでは，トンネル中間部の3か所で大きな被害が発生したが，このうち195k080m付近の被害がもっとも大きく，覆工コンクリートアーチ部の崩落(延長約5m)，覆工コンクリートのひび割れ，側壁の押し出し，路盤コンクリートの隆起(約250mm)，インバートコンクリートのひび割れなどの被害が発生した(図-2，3)．

路盤コンクリートの隆起に伴う軌道隆起は，この区間ばかりでなく，195k500m(約100m)，198k700m(約50m)の区間でも発生していた．

195k080m付近の覆工アーチ部コンクリート崩落は，下り線側のアーチ部を中心に発生しており，この区間の一部は鋼製支保工や木矢板が露出した

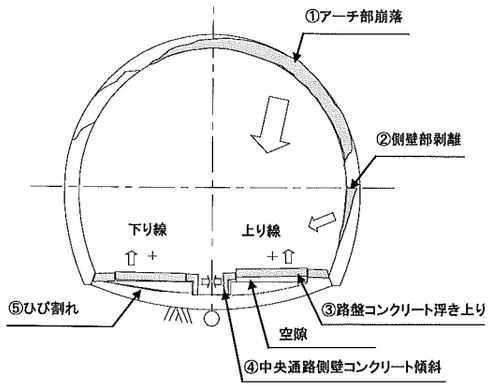


図-2　魚沼トンネル被害状況(195k080m付近)

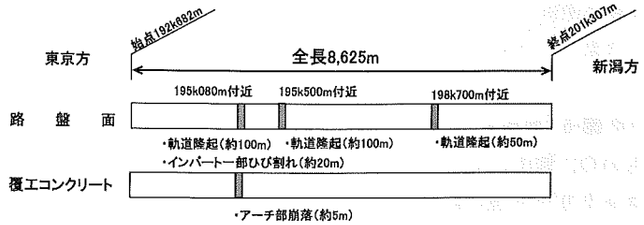


図-3　魚沼トンネル全体被害状況



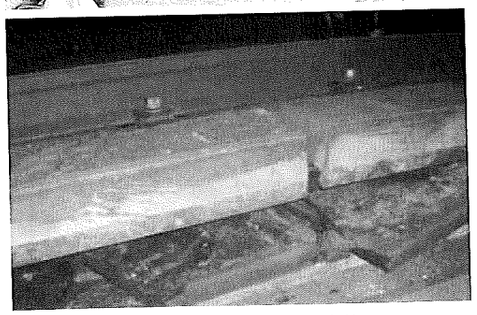


写真-1　魚沼トンネル被害状況



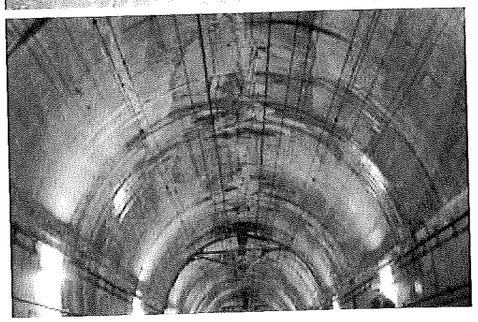


写真-2　妙見トンネル被害状況

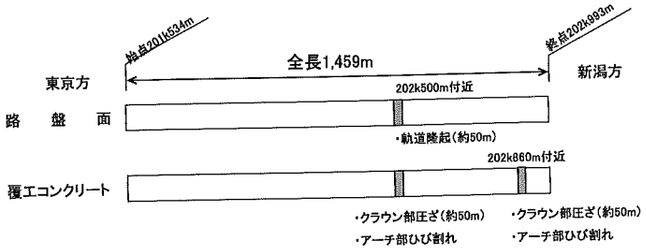


図-4　妙見トンネルの全体被害状況

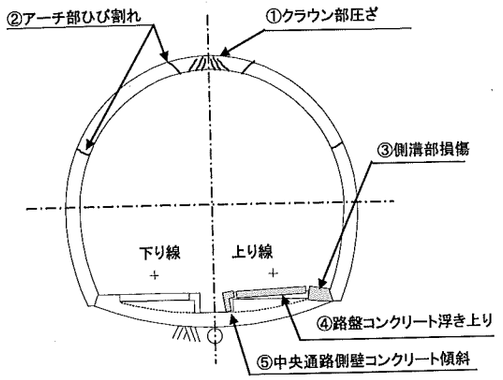


図-5　妙見トンネル被害状況(202k500m付近)

ものの，地山の崩落は生じなかった．なお，崩落コンクリート塊の最大長は１辺２m近くのものもあった(写真-1)．

2-2-3　妙見トンネルの被害

妙見トンネルでは，202k500m付近において，クラウン部に大規模な圧ざ(約50m)とこれに伴う覆工コンクリートの剝落が発生し，この圧ざ区間にはアーチ部にトンネル軸方向および斜め方向の多数のひび割れが発生した．また，この区間の一部下り線側路盤コンクリートが隆起し，インバートコンクリートの一部損傷が生じた(図-4, 5，写真-2)．また，202k860m付近においても同様にクラウン部に大規模な圧ざ(約50m)とアーチ部にひび割れが生じたが，202k500mのような路盤隆起は発生していない．

2-3　上越線和南津トンネルの概要と被害状況

2-3-1　和南津トンネルの概要

上越線和南津トンネルは，北堀之内・越後川口間に位置するトンネルで，1964～1966年にかけて上越線の複線化に伴い建設された延長725mの複線断面トンネルである(図-6)．地質は砂岩が主体であるが，終点側坑口付近は粘土質の地山となっている(図-7)．施工は，在来工法であり，底設導

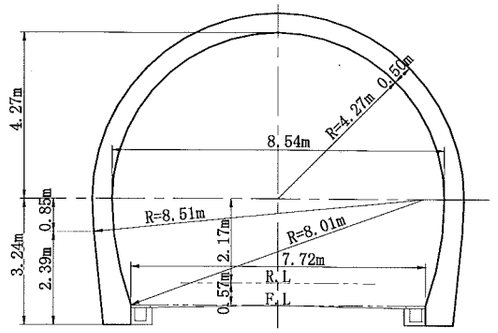


図-6　和南津トンネル断面図

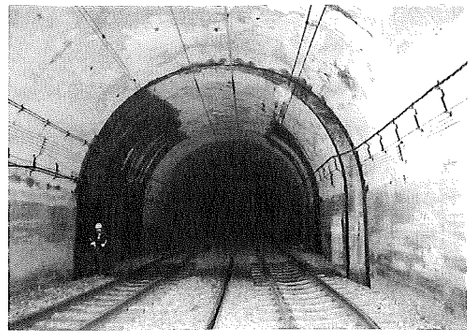


写真-5　坑口部雪覆いのずれ

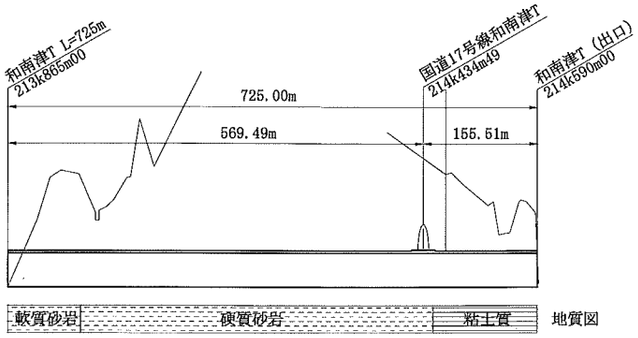


図-7　和南津トンネル縦断図

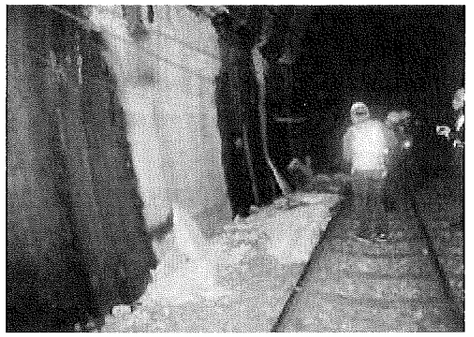


写真-3　アーチ・側壁打ち継ぎ目部の剝落

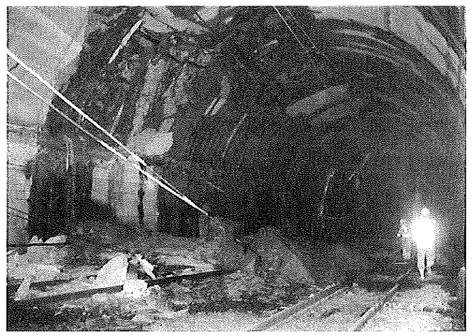


写真-4　アーチ部の崩落

坑先進上部半断面工法により掘削されており，支保工は150H，175H，覆工はコンクリート造で巻き厚は50cmを標準としている．なお，このトンネルは，今回の地震により被害を受けた国道17号線和南津トンネルと坑口より約570mの位置で交差している．

2-3-2　和南津トンネルの被害

和南津トンネルでは，ほぼ全線にわたりひび割れの発生，ひび割れからの漏水，アーチ・側壁打ち継ぎ目部の剝離・剝落が生じた．被害のうち最大のものは，坑口から500m付近で発生し，約40m区間にわたりアーチ部の覆工コンクリートが断続的に崩落しており一部背面地山が露出している箇所があった．また，この区間を中心に延長50mにわたりクラウン部に圧ざが生じていた(写真-3, 4)．また，トンネル入口のコンクリート製の雪覆いが線路方向および線路直角方向に約40cmずれるなどの被害も発生した(写真-5)．

3　トンネルの復旧方法

3-1　調　査

復旧に際しては，軌道中心線測量，縦断測量および断面測定などの詳細調査を実施した．また，路盤コンクリートの浮き上がり箇所では，インバート自体の健全性あるいはその下の地山との密着状況などの確認を目的に，20mピッチでボーリング調査を行った．その結果，地山とインバートが密着している状況が確認され，インバート自体の変

状は深刻ではないことが判明した．

3-2　復旧方針および復旧方法

地震発生直後より復旧に向けた調査を開始し，余震により調査が難航したものの早期に被害状況に応じた復旧・補強方法の方針を策定し，この方針を現場に周知させた．このため，現場においては被害パターンに応じた復旧計画を現場担当者が即座に判断でき，担当者の裁量で詳細な施工方法を決定することができることとなった．なお，魚沼トンネル，妙見トンネル，和南津トンネルといった大きな被害箇所については，個別に復旧方法を検討した．

3-2-1　魚沼トンネルの復旧方法

魚沼トンネルの復旧工事は，覆工部の復旧工事と路盤部の復旧工事に大きく分けられた．

覆工コンクリートの復旧は，不安定なコンクリートをはつり落とした後，ロックボルトを打設し（L＝3.0m，D29，自穿孔ボルト），高強度吹付けコンクリートとひび割れ注入による現状復旧を行った．

その後，厚さ6㎜のセメントボードを覆工全周にわたり配置し，ボードと既設覆工の隙間に無収縮モルタルを打設，最終的に厚さ50㎜の内面補強板として強化工事を行った．

路盤部の復旧では，軌道スラブ撤去後インバートコンクリートのひび割れ部へモルタルおよびセメントミルク注入を行った．次に，測量結果を踏まえ必要な箇所は路盤鉄筋コンクリートの取り壊しおよびインバートコンクリートの切削を行った．さらにインバートコンクリートの一体化とインバートコンクリートと地山の一体化を目的に，路盤部の鉛直方向ロックボルトを施工した．その後，路盤鉄筋コンクリートを打設したが，隆起量に応じて厚さを調整することで，限界支障に対応した（図-8）．

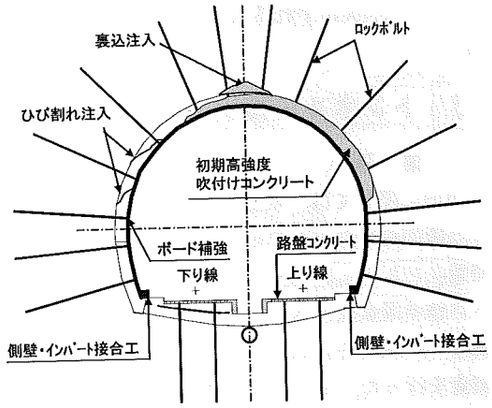


図-8　魚沼トンネルの復旧イメージ（195k080m付近）

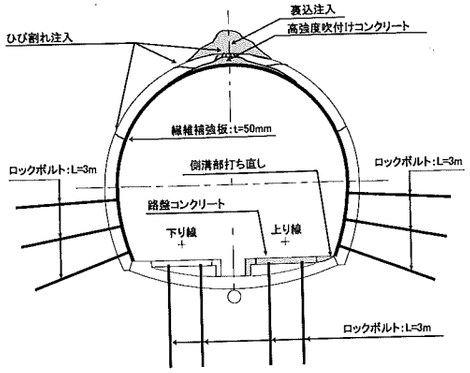


図-9　妙見トンネルの復旧イメージ（202k500m付近）

なお，覆工コンクリート部の作業終了後，インバートと覆工コンクリートの結合度を高めるために，インバート・側壁接合工を実施した．

3-2-2　妙見トンネルの復旧方法

202k500mの大規模な圧ざ発生区間では，路盤部の損傷が小さいことからトンネル覆工の復旧工事を先行することとした．

覆工コンクリートの復旧は，圧ざ箇所のひび割れ注入，吹付けコンクリート，アーチ部のひび割れ注入により原形復旧を行い，さらに覆工内面全周を繊維補強板（50㎜厚）で覆い，側壁部にロックボルト（L＝3.0m，D29，自穿孔ボルト，ctc1.0m）を施工した．また，復旧工事の最終段階でトンネルクラウン部の裏込め注入を実施した．

路盤コンクリート隆起箇所は，覆工部の主体工事終了後に路盤部のはつり，インバートコンクリートのひび割れ注入，路盤部ロックボルト打設，路盤コンクリートの打ち替えを行った（図-9）．

3-2-3　和南津トンネルの復旧方法

覆工コンクリートの崩落箇所付近は，被害が大きかった上半断面の覆工コンクリートを延長48mにわたり撤去し，新たに覆工コンクリートを打ち替えることとした．この方法は，まず既設のコンクリートを撤去し，既設支保工の内側に新たな支保工を建て込み，吹付けコンクリート，ロックボルト，防水シートを順次施工した後に，スライドセントルを用いて覆工コンクリートを打設した（図-10）．

起点坑口部の雪覆いの復旧は，S.L.近傍をワイヤーソーで切断し，2,000kN油圧ジャッキで雪覆いの上半部のみを被災前の位置に移動させ，左右の側壁部のはつりおよび打ち足しを行い復旧した（写真-6）．

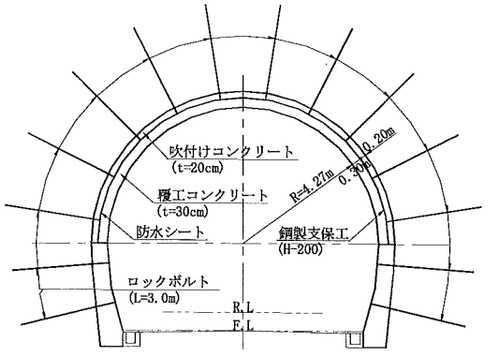


図-10　アーチ部崩落箇所の復旧概要

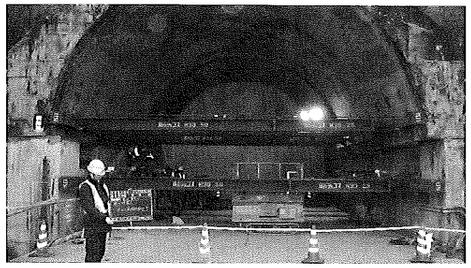


写真-6　アーチ移動完了状況

4　調査結果から見たトンネル被害の特徴

過去の地震におけるトンネル被害[1),2)]は，大きな被害のほとんどが坑口付近に集中しており，今回の地震でも堀ノ内トンネル，牛ヶ島トンネル，天王トンネル，新榎峠トンネル，榎峠トンネル，高場山トンネルの6トンネルは坑口付近の被害であった．しかしながら，今回の地震において復旧に2か月程度要する大きな被害を受けたトンネルは，上越新幹線の魚沼トンネル，妙見トンネルおよび上越線の和南津トンネルであり，大きな被害箇所はトンネルの中間部の土かぶりのある区間で発生していた．地震時にトンネル中間部で大きな被害が発生した場合，断層の存在の影響が考えられるが，今回のボーリング調査結果を見るといずれのトンネルにおいてもトンネル周辺地盤の不連続性は認められなかったことから，断層の直接的影響はなかったと考えられる．

また，今回被害を受けたトンネルには，覆工材料がコンクリート造のトンネルだけでなく，コンクリートブロック造のものも含まれていた．これらブロック造のものは，従来地震には弱いとされていたが[1)]，今回の被害からは，そのような状況は見受けられなかった．とくに顕著なのは，上越線の福山トンネルである．このトンネルは，大正12年に建設された単線のコンクリートブロック造であり，現在上り線用となっている．今回の被害は一部でコンクリートブロックの剝離・剝落およ

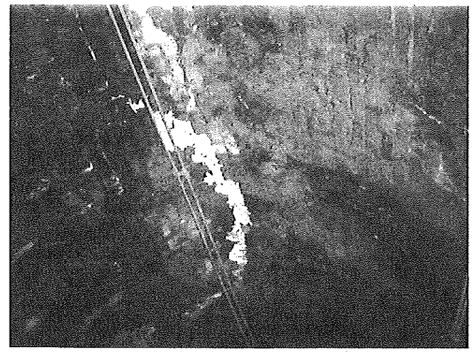


写真-7　福山トンネル被害状況

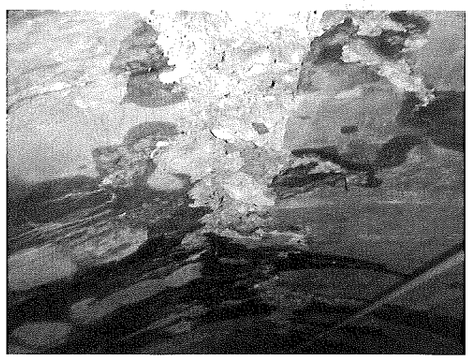


写真-8　新福山トンネル被害状況

びひび割れが発生した程度であった(**写真-7**)．これに対し，昭和38年に福山トンネルに隣接して建設された新福山トンネルはコンクリート造であり，今回の地震によりアーチクラウン部に50mにわたり圧ざが発生し，幅10㎜を超えるひび割れも多数発生していた(**写真-8**)．なお，同様の事象は，上越線の榎峠トンネルと新榎峠トンネルでも見られた．これらのブロック造のトンネルは，その変形性能の高さから地震時の地山変形に追従し，大きな被害に至らなかったものと考えられる．

5 調査結果にもとづく被害原因の推定

今回のトンネル被害では，ひとつのトンネル内でも被害の有無があったり，隣接するトンネルでも被害の大小があったりと，発生状況がさまざまであった．そこで，復旧時に実施した詳細調査結果の分析および追加調査を実施し被害原因の推定を試みた．実施した追加調査は，覆工厚および覆工背面空洞調査，インバートコアボーリング，トンネル坑内からの地質ボーリングなどである．

5-1　推定震源断層位置との距離

今回の地震で甚大な被害を受けた位置は，いずれも震央に非常に近接しており，水平距離が約5km以内であった(**図-11**)．また，地震規模もM6.8と大きかった．つまり，今回トンネルが大きな被害を受けた条件として，①震央から近い，②地震規模が大きい，の二つがまず挙げられる．

5-2　地質調査結果

魚沼トンネルでは，覆工崩落箇所に隣接した被害の小さな区間の地質はクラックの少ない泥岩および砂質泥岩であるのに対し，覆工崩落箇所付近の地質はクラックの多い細粒凝灰岩層を挟む互層構造であった(**図-12, 13**)．また，図に示すように，覆工崩落箇所と側壁押し出し箇所の被災形状と地層の走向，傾斜が一致していることも確認された．

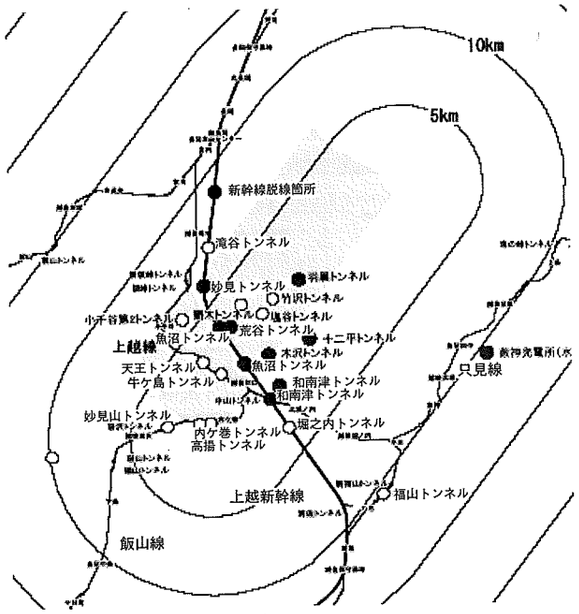


図-11　推定震源断層と被害位置図[3]

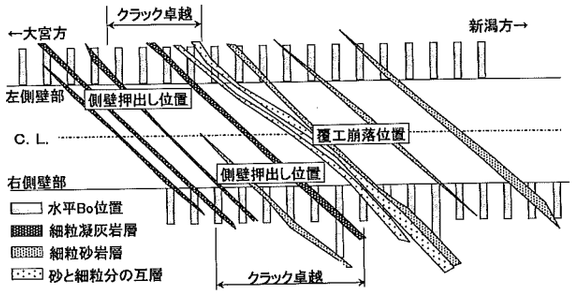


図-12　魚沼トンネル覆工崩落箇所地質分布平面図

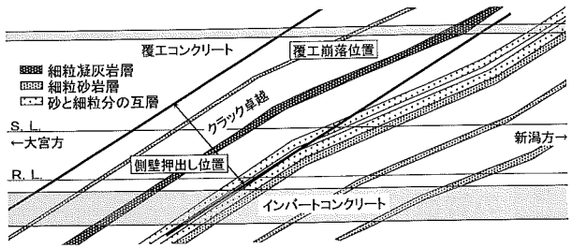


図-13　魚沼トンネル覆工崩落箇所地質分布縦断図

妙見トンネルでは，被災箇所直上の地上部において大規模な地滑りを確認しており，周囲に比べて地山が悪いことが確認された．

和南津トンネルはとくに固結度の低い低強度の地山が確認され，いずれも非常に弱い地質であったことが確認された．一方，和南津トンネルに隣接し被害の軽微であった同一構造の中山トンネルでは，トンネル周辺の地質はクラックも少なく，圧縮強度も和南津トンネルに比べ桁違いに大きなものであったことが確認された．

5-3　覆工構造調査

覆工背面空洞調査では，被害箇所の覆工クラウン部背面に空洞が存在していたことが確認できた．トンネル背面に空洞が存在すると，地山が大きく変形した際に覆工コンクリートに局部的な変形が生じ，破壊することが想定される．被害の軽微な区間にも背面空洞は存在したが，地質が良好であれば，地山の変形も小さく，覆工に生じる変形も少なかったものと想定される．

なお，覆工コンクリートについては，いずれのトンネルにおいても設計厚さを大きく下回る箇所はなく，覆工自体は健全であった．

以上のように，今回の地震によりトンネルが大きな被害を受けた原因としては，被害箇所が震央に近く地震規模が大きかったことに加え，調査により明らかになった，「地質上の問題」と「トンネル構造上の問題」が加わったためと考えられる．

6 ま と め

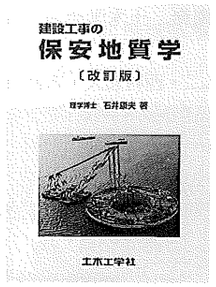
今回の地震では，従来地震に強いとされていたトンネル構造物が甚大な被害を受けた．これにより，高架橋や橋梁のようにトンネルに関しても地震に対する対策を検討する必要があると考えている．具体的な検討方法としては，今回被害調査を行った結果を十分吟味し，活断層からの距離，地質条件，覆工構造条件を考慮して適切な対策を実施して行く予定である．

なお，今回の上越新幹線の魚沼，妙見の両トンネルは，その先の滝谷トンネルとともにトンネル間に雪覆いが設置されているため，それら3トンネルが延長13kmもの1本のトンネルのような構造となっていた．したがって，復旧工事の資機材の搬入には困難を極めることとなった．このような中，被災から約2か月という短い期間で鉄道不通区間の運転再開を果たすことができたのは，工事関係者の真摯な努力によるものと考えている．

参 考 文 献

1) 清水満・栗栖基彰・加藤正二：新潟県中越地震における鉄道トンネルの被害，トンネルと地下，Vol.36, No.5, 2005.5.
2) 吉川恵也：鉄道トンネルの震災事例調査，鉄道技術研究報告，No.1123, 1979.
3) 土木学会トンネル工学委員会：新潟県中越地震特別小委員会報告書，2005.

【図書のご案内】



ユニークな手法を駆使!! 建設災害を考慮してまとめた地質学書の決定版!!

建設工事の
保安地質学
〔改訂版〕

理学博士　石井康夫 著

A5判　上製本　475頁　価格6,300円　〒340円

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

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

文献紹介

調　査・計　画

須藤佳一：試掘等のロスをなくする「非開削埋設物探査」，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

設　計・理　論

中村剛・川島一彦・渡邊学歩・山下幹夫・江嵜順一・鈴木猛康・古賀政二郎：開削式RC共同溝側壁の耐震補強法に関する実験的検討，土木学会論文集A，Vol.62，No.3，2006.10.

田嶋仁志・岸田政彦・神田亨・森田武：火災高温時におけるシールドトンネルRC覆工断面の変形挙動解析，土木学会論文集E，Vol.62，No.3，2006.10.

白井俊輔・佐々木哲也・藤谷俊実・渡部昭一・江島賢一・中村征史・山本善久・清水伸昭：太径曲線パイプルーフ工法の開発，下向きパイプルーフの実大施工試験，建設機械，Vol.42，No.11，2006.11.

清水満・鈴木尊・長尾達児・古山章一：「COMPASS（コンパス）工法」の開発，土木施工，Vol.47，No.11，2006.11.

西村和夫：トンネル技術の発展と現状，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

真下英人：トンネル技術の変化・変遷（山岳工法），土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

小西真治：トンネル技術の変化・変遷（シールド工法），土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

中村兵次：トンネル技術の変化・変遷（開削工法），土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

清水則一：トンネル工学における解析技術の変化・変遷，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

蒋宇静・山内淑人・佐々木郁夫：トンネル施工におけるモニタリング技術の変遷と展望，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

久武勝保：トンネル模型実験の成果と将来，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

小島芳之：トンネル維持管理技術の発展，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

太田裕之：トンネルの補修・補強対策の変化・変遷，土と基礎，Vol.54，No.11，2006.11.

施　　工

進士正人・榎田敦之・関茂和・中川浩二：切羽観察記録結果を用いた切羽補助工法の選定システム，土木学会論文集F，Vol.62，No.3，2006.10.

宮崎恭一：「リバースエースシステム」の非開削取付管再生技術，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

保立尚人：ミクロ工法による推進の位置制御技術，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

塚越吉昭・久慈匡：ソイルセメント連続柱列壁工法における品質改良と建設汚泥の縮減を目指して，ECW工法とパルフォース，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

山村康夫：紫外線硬化型FRPシートによるシールドトンネルの合理的な内面被覆工法，タフシート工法，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

市川康之：既設サイホン直下を縦断掘進するシールド工事の新技術，Do-jet工法搭載型シールドマシンの採用事例，農村振興，No.682，2006.10.

勝又哲也・上地勇・船山正行：シールド位置姿勢計測システムのバージョンアップと実用化，セグメント組立パターン計画システムを組み込んだシールド自動方向制御，建設機械，Vol.42，No.11，2006.11.

清水満：立体交差における施工技術，土木施工，Vol.47，No.11，2006.11.

富樫佐一郎：推進力低減技術を用いた長距離推進工事，月刊下水道，Vol.29，No.13，2006.10.

澤井正明・日吉洋一郎：直下地下切換工法（STRUM）による線路切換え，土木施工，Vol.47，No.11，2006.11.

三木慶造・横溝文行・上田潤：アンダーパスの急速施工方法「URUP工法」，土木施工，Vol.47，No.11，2006.11.

維　持・管　理

伊藤正憲・青木茂・平田隆祥・早川健司・阿部宏・鳥取誠一：液体急結剤を使用した高品質ポリマーセメント系断面修復吹付け工法の開発，土木学会論文集F，Vol.62，No.3，2006.10.

佐野信夫・伊藤哲男・馬場弘二・西村和夫・吉武勇・中川浩二：連続印刷画像を用いたトンネル覆工コンクリートのひび割れ評価におよぼす技術者資格の影響，土木学会論文集F，Vol.62，No.3，2006.10.

坂本昭夫・杉浦乾郎・山田紀利・岩城圭介：地下空洞限定充てん工法の開発と施工，土木学会論文集F，Vol.62，No.3，2006.10.

鹿糠幸治：コウモリと共生する水路トンネルの改修工法，農業土木学会誌，Vol.74，No.10，2006.10.

青木弘：製管工法による既設水路トンネルの改修，農業土木学会誌，Vol.74，No.10，2006.10.

平木場昌貴：老朽化した水路トンネルの改修，農業土木学会誌，Vol.74，No.10，2006.10.

連載講座

発破技術の現状（6）

—新しい発破技術（2）—

「発破技術の現状」連載講座小委員会

③　爆薬の機械装填

日本のトンネル掘削発破では，紙巻き包装された含水爆薬を込め棒で手装填する装薬方法が主流である（**写真-10**）．その理由の一つとして，機械装填用の爆薬やその装填機に関する明確な技術基準がなかったことがあげられる．しかし，平成16年の火薬類取締法の改正により，移動式製造設備で火薬類を製造しながら装薬（以下，サイトミキシング）ができるようになり，爆薬の機械装填について準拠できる基準の一つが示された．

一方，トンネル掘削の方はますます安全化・効率化のニーズが高まっており，装薬作業中の崩落事故防止や掘削効率向上について，爆薬の機械装填がそれに寄与することが期待され始めた．これに，法改正がなされたことも後押しし，各火薬メーカーが本格的に機械装填の開発・市場展開を行い始めている．

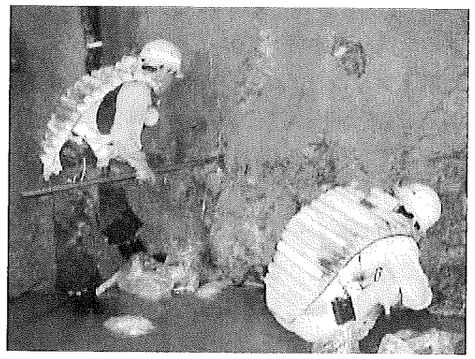


写真-10　紙巻き含水爆薬装填状況

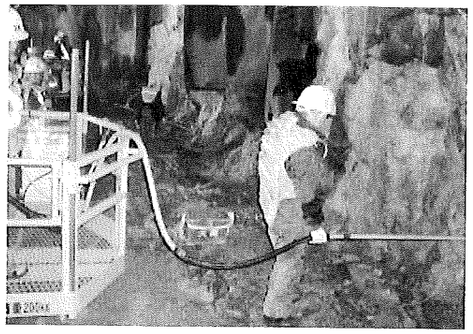


写真-11　含水爆薬機械装填状況

ここでは，ANFO爆薬（硝安油剤爆薬．以下ANFO）や紙巻き含水爆薬装填システムのように数年前から既に実用化されている機械装填システムを含め，近年火薬メーカーにより開発が進み市場展開を行っているバルク状や粒状の含水爆薬機械装填システムを紹介する（**写真-11**）．さらに，海外の一部の地域では最近主流になりつつあるサイトミキシング型の含水爆薬機械装填システムについても，その概要と日本に導入するうえでの課題について紹介する．

3-1　世界と日本での機械装填

現在，世界で行われている機械装填技術は大きく次の二つに分類される．

①　プレミキシング（工場製造）型

爆薬は工場で製造し，従来どおり火薬類として現場へ運搬・貯蔵後，装填機を用いて装填する．

②　サイトミキシング（現場製造）型

爆薬を移動式の製造設備を用いて，原材料

や危険物の状態から現場で爆薬を製造する．製造設備は装填機でもあるため，製造しながら装薬孔へそのまま装填する．

後述するが，現在の日本の火薬類取締法下では，含水爆薬のサイトミキシングは，資格者の問題や技術面において，実施すること自体が困難である．そのため，日本の火薬メーカーはプレミキシング型のANFOや含水爆薬の機械装填システムを開発している．以下に，それらについて紹介する．

3-2　日本の機械装填システム

3-2-1　ANFO機械装填システム

（1）　はじめに

現在，国内でもっとも消費量の多い爆薬はANFOである．その最大の特徴は安価な点である．しかし，従来ANFOには次のような欠点があり，ほとんどトンネル現場では使用されなかった．

① 耐水性がないため，水孔で使用するにはそれなりの防水処理が必要である．

② 含水爆薬に比べ後ガスが多いため，トンネルでは十分な換気を要する．

③ 強アルカリである吹付けモルタルを含んだ水と反応してアンモニアガスを発生する．

近年，トンネル用にアルカリとの反応性を抑えたトンネル用ANFOが開発され，数年前より，日本でも安全性向上や発破効率化を目的にして，ANFOの機械装填が行われるようになった．

（2）　システム概要

使用する火薬類や装填機の特徴について，以下に示す．

① 爆　薬：トンネル用ANFO(写真-12)

② 雷　管：導火管付き雷管(ANFO装填時に静電気が発生するため電気雷管は使用不可)

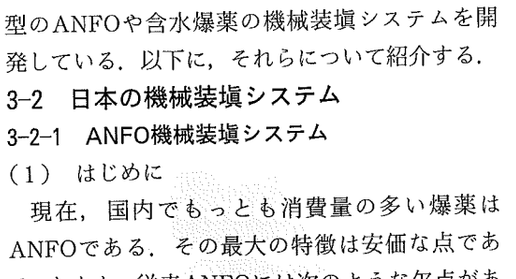


写真-12　トンネル用ANFO重袋の外観と製品


写真-13　ANFO装填機

③ 装填機：圧縮空気による装填．近年ではタイマーや秤による定量装薬が可能な装填機がある(写真-13)．

（3）　主な特徴

- 高価な導火管付き雷管を使用する必要があるが，ANFOは安価であるので，1発破進行長によるが，コストダウンとなる可能性がある．
- 装薬孔に密装填されるため起砕効果が高い．
- 装薬時のアンモニアガス発生は軽減されたが，後ガスは多い．
- 耐水性がないため，装填機のエアブローでも水を飛ばせない湧水孔などには，紙巻き含水爆薬を併用する必要がある．

（4）　主な実績

10年ほど前に日本に導入され，既に多くの実績が報告されている．

3-2-2　含水爆薬機械装填システム概要

近年では，含水爆薬の機械装填システムの開発，試験施工が行われてきており，既にいくつかの施工実績を有するものもある．

これまでに開発された含水爆薬機械装填システムは，掘削の効率化と切羽作業の安全性向上が求められる今日において，以下の共通する特徴を有している．

（1）　安全性・作業性の向上

① 親ダイを2.0～3.0mの装填パイプ先端に挿入し，切羽から1.0～2.0m程度離れての遠隔

装填が可能である．

② 紙巻き含水爆薬使用時の手込め装薬作業に比べて作業性は各段に向上し，楽である．また，1孔あたりの装薬スピードも速いため，切羽張り付き時間も短縮される．

③ 耐水性を有するため，水孔でも使用が可能である．

④ 後ガス性能は紙巻き含水爆薬と同等である．

（2）　密装填による起砕効果向上

紙巻き含水爆薬では，約φ45㎜の装薬孔に対し約φ30㎜の爆薬を装填している．そのため爆薬と装薬孔の間に空隙が生じ，それにより，爆薬の威力を100%岩盤に伝えることができていなかった．

ここで紹介する機械装填システムでは，爆薬を装薬孔に密装填することが可能であり，また，爆薬を密装填すると1mあたりに装薬可能な爆薬量が増加するため，紙巻きよりも1孔に多くの爆薬を装填することができる．その密装填効果と1mあたりの爆薬量増により，起砕効果向上と岩種によっては穿孔数の削減が期待できる．

（3）　サイクルタイムの短縮可能性

1孔あたりの装薬が速く，とくに1孔の薬量が多い場合はその差が顕著にでやすい．そのため，装薬時間の短縮が期待できる．また穿孔数が減ると，穿孔時間も短縮される．

一方，わが国で開発された数タイプの含水爆薬機械装填システムは，装填方法や使用する爆薬の性状は異なり，それぞれに特徴を有しているので，各社の含水爆薬機械装填システムの概要と特徴，施工実績について，以下に簡単に紹介する．

3-2-3　紙巻き含水爆薬装填システム[1),2)]

（1）　システム概要

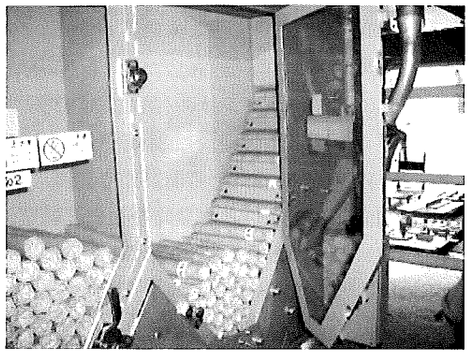
従来の紙巻き含水爆薬と粘土込め物(以下,アンコ)を装填機の圧縮空気を用いて装薬孔に密装填するシステムである．

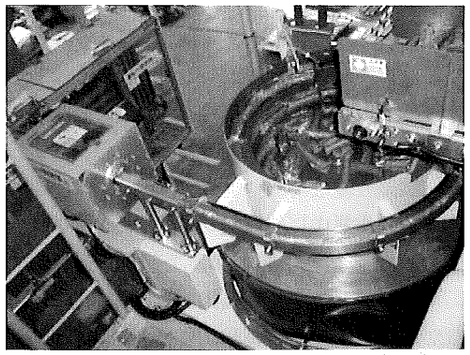
① 爆薬とアンコ

トンネルで一般に使用されている紙巻き含水爆薬はφ30㎜であるが，それを装填ホースに通すとホース径が大きくなり装薬孔へ装填しづらい．そのため，φ25㎜の爆薬を使用し



写真-14　紙巻き含水爆薬装填システム


写真-15　爆薬ホッパー(最大容量約40kg)


写真-16　アンコ送出成形装置

ている．また，アンコも従来のものをそのまま使用すると変形しやすくホースを通りづらいため，専用のものを使用している．

② 装填機

装填機は台車へ搭載する．切羽ではジャンボ後方に設置して，約30mのホースを介して装薬孔へ爆薬とアンコを装填する．

（2）　主な特徴

① 装薬に用いる圧縮空気に水を噴霧させているため，静電気がほとんど発生せず，電気雷管が使用できる．

② 100g単位の正確な装填が可能である．

③ 機械故障時にも手込め装薬が可能なため，施工サイクルに及ぼす影響は小さい．

④ 装填機は4t車に搭載するので，装填機と台車・コンプレッサのリース費用がかかる．

⑤ 爆薬やアンコの補充が必要であるので，ロックボルト打設時のモルタル台車と同様，装填機本体に作業員1名を常駐した方が，作業効率が向上する．

（3）　主な実績

現 場 名：新主寝坂トンネル(第1，2)工事

現場概要：トンネル延長　1,984.0m

掘削断面積　75.6～100.4m²

採用目的：切羽張り付き作業時間短縮，装薬作業環境改善，発破効率の向上

採用期間：ほぼ全線(約24か月)

採用結果：

1) 装薬時の安全性・作業性改善

切羽面から約1.5m以上離れて装薬が可能になった．また，踏まえ装薬などの苦渋作業から解放されたこともあり，作業員の積極的な活用意欲が向上し，安全意識高揚につながった．

2) 装薬・爆破時間

穿孔作業中に装填機を準備するため，準備時間は変わらない．1孔あたりの装薬時間は手装薬よりも早いが，トータルの装薬時間は紙巻きの手込めとほぼ同等であった．

3) 穿孔数と装薬量

穿孔数・装薬量ともに通常の手込め装薬の場合とほぼ同等であった．穿孔数が削減されなかった理由は，1孔あたりの装薬量を従来と同等にしていたためであり，1孔あたりの装薬量を増加させれば，穿孔数を削減できる可能性があったと推定される．

3-2-4　バルク状含水爆薬装填システム[3)]

（1）　システム概要

バルク状の含水爆薬を装填機で装薬孔に注入するシステムであり，ロックボルトのモルタル注入に似た装填方法である(バルク【Bulk】状とは，直訳すると「かさばった，あるまとまったもの」という意味があるが，流動性のあるクリーム状の爆薬をイメージして使用している)．

バルク状の含水爆薬では，装薬終了後の装填機や装填ホース内の残火薬，爆薬包装袋に付着する残火薬などの処理が重要な技術課題であったが，ここに紹介するシステムでは，この課題を解決している．

このシステム構成と特徴は，以下に示す．

① 爆　薬(**写真-17**)

水洗が可能なスラリータイプの含水爆薬．

② 装填機(**写真-18**)

小型の装填機をマンゲージに搭載し，洗浄が必要なホース長を最小にしている．

③ 爆薬ホッパー(**写真-19**)

取り外し式のホッパーを採用し，ホッパーの毎回の洗浄作業を不要とした．

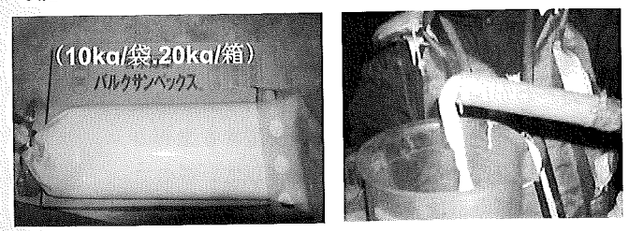


写真-17　バルク状含水爆薬の外観・性状

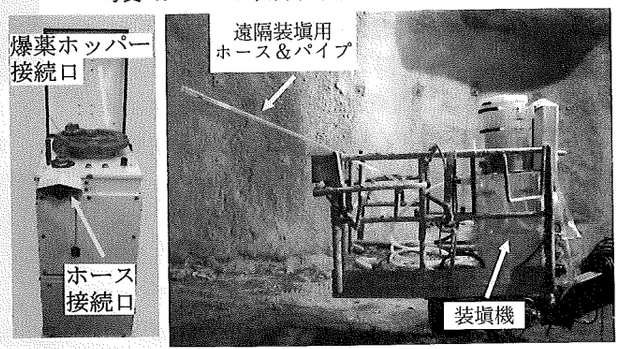


写真-18　小型装填機とマンゲージへの搭載例

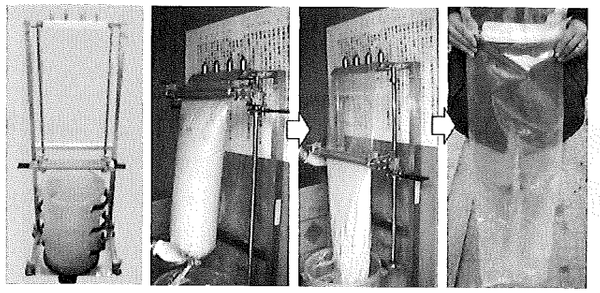


写真-19　移し替え装置・爆薬ホッパーと移し替え状況

④ 移し替え装置(写真-19)

爆薬を袋から爆薬ホッパーに移し替えるときに，本装置を使用すると，袋内の残火薬はほぼゼロとなり，袋はそのまま廃棄処分できるようにした．

装填機とホース内の残薬洗浄は，ロックボルト工のモルタル洗浄方法と同様であり，水で押し出す方式である．

具体的には，洗浄前に装薬孔を2～3孔残した状態で爆薬ホッパーを取り外し，洗浄用の水配管に切り替える．この水により装填機とホース内の約2kgの残薬を押し出し，洗浄しながら最終装薬孔に残火薬を装填する．

（2）　主な特徴

① 装薬時は常にホース内に爆薬が存在するので，装薬待ち時間はほとんどなく1孔あたりの装薬スピードが速い．

② 装薬時に静電気が発生しないため，電気雷管が使用できる．

③ 耐水性があるので水孔で使用可能である．

④ 爆薬の移し替え作業を取扱所か切羽で行う必要がある．

⑤ 装填機はジャンボに搭載するが，コンプレッサおよびその台車が必要である．それらのリース費用がかかる．

（3）　主な実績[4)]

現 場 名：第二名神高速道路甲南トンネル下り線工事

現場概要：トンネル延長　2,315m

掘削断面積　180m²

TBM導坑あり

表-3　装薬・爆破時間

地山等級	CI	CII	DI
装薬・爆破時間実績	42分	27分	18分
標準に対する比率	84%	60%	51%

表-4　穿孔数と装薬量

地山等級	CI	CII	DI
穿孔数実績(孔/m²)	1.14	0.81	0.59
標準に対する比率	67%	51%	54%
装薬量実績(kg/m³)	0.86	0.67	0.51
標準に対する比率	96%	96%	102%

採用目的：切羽張り付き作業時間短縮，装薬作業環境改善，発破効率の向上

採用期間：ほぼ全線(約1,334切羽)

採用結果：

1) 装薬の安全性・作業性改善

切羽作業従事者へのアンケート結果から，「装薬作業が楽になり，さらに安全になった」，「掘進長1.5m以上の発破の場合にはさらにその効果が高い」などが明らかになった．また「次のトンネルでも本システムを使用しても良い」の回答は有効回答数の89%を占め，機械装填の有効性と適用性が確認された．

2) 装薬・爆破時間

装填機4台による1発破あたりの装薬・爆破時間の実績を標準時間(装薬・爆破・換気時間)－5分と比較したものを**表-3**に示す．これから，標準の約51～84%に短縮されたことがわかる．

3) 穿孔数と装薬量の比較

1発破あたりの穿孔数と装薬量の実績を**表-4**に示す．穿孔数については，曲面切羽を採用したことにもよるが，すべての地山等級で標準を下回る穿孔数になった．装薬量については，すべての地山等級で標準とほぼ同等であった．

3-2-5　粒状含水爆薬装填システム[5)]

（1）　システム概要

含水爆薬を粒状に成型し，装填機の圧縮空気を用いて，装薬孔に密装填するシステムである．威

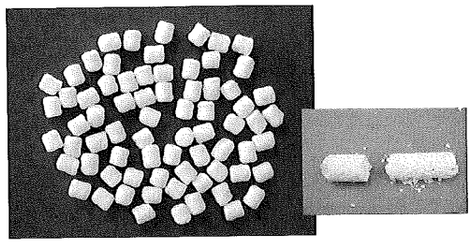


写真-20　粒状含水爆薬の概観と装填後状況



写真-21　装填機

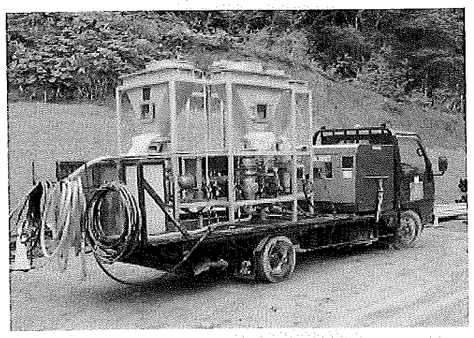


写真-22　装填機の搭載状況

力・耐水性・後ガスに優れた含水爆薬の利点(爆発性能，安全性)とANFO爆薬での機械装填の利点(作業性，取扱性)を持ち合わせた爆薬である．粒状含水爆薬の形状は，直径約φ4㎜，長さ約4㎜の円柱状である(**写真-20**)．粒状含水爆薬は30mのホースを通して，装薬孔に圧縮空気で密装填する(**写真-21**)．装填機はコンプレッサとともにトラックの荷台に搭載する(**写真-22**)．

(2)　主な特徴

①　耐水性があるので，水孔で使用可能である．

②　爆薬が粒状化されているため，ANFOの機械装填のように装填機への付着はなく，システムはシンプルである．

③　導火管付き雷管を使用する．

④　エアー装填であるため，確実な密装填が可能である(上向き孔への適用も可能)．

⑤　紙巻き含水爆薬と比較すると，装填機およびトラックなどのリース費用がかかる．

(3)　主な実績

現 場 名：(国)178号(余部道路)道路改築事業
　　船越トンネル(余部工区)建設工事

現場概要：トンネル延長　2,983.5m
　　(うち2,139m当工事施工)
　　掘削断面積　81m²
　　地　　質　安山岩

採用目的：装薬時間の短縮，切羽での安全性向上，作業者の負担軽減

採用期間：平成18年1月～(現在使用中)

実施パターン

DⅢ	40m,	DⅠ-b	20m,
CⅡ-b	300m,	CⅡ-a	170m,
CⅠ	90m		

採用結果：

1)　装薬の安全性

切羽での密着作業がなく，導火管付き雷管の使用によって漏洩電流の心配もなく，安全に関する精神的な負担が減少した．

2)　装薬時間

装填ホースが3本あるため，紙巻き含水爆薬と比較した場合，装薬時間はかなり短縮される．とくに穿孔長が長い場合にはその効果は大きくなる．

3)　穿孔数と装薬量

ずり出しにベルトコンベヤを採用していたこともあり，破砕粒度を小さくする必要があったため，紙巻き含水爆薬の削孔数から大幅な削減はできなかった．装薬量に関しても紙巻き含水爆薬よりも若干多めとなった．しかしながら，破砕粒度に制限がなければ，10%程度の穿孔数の削減は可能であり，装薬量も削減できるものと考えられる．

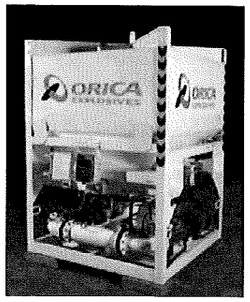


写真-23　専用製造設備
(＝装填機)

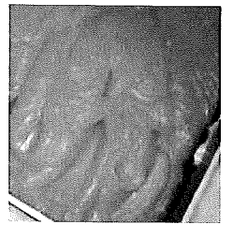


写真-24　EP(エマルションフェーズ)

3-3　サイトミキシング含水爆薬機械装填システム

3-3-1　はじめに

従来の火薬類は，製造工場で「火薬類」として製造され，運搬，貯蔵を経て，現場で消費される．

このシステムでは，製造工場で「爆薬中間体(以下，EP：エマルションフェーズ)」の製造を行い，その状態で運搬・現場で貯蔵し，専用の製造設備(＝装填機)でEPと鋭感剤水溶液を混ぜ合わせることにより，装填直後に鋭感化(親ダイで爆発可能な状態)してバルクエマルション爆薬とする「現場製造(＝現場混合＝サイトミキシング)」システムである．

この方法は，1990年ごろから実用化され，世界のトンネル，地下鉱山掘削に急速に普及中であり，日本やその他一部の国を除いてEPは，非火薬(＝危険物)で運搬・貯蔵できるので，管理コストの削減と保安の向上に寄与している．

3-3-2　システム概要[6)]

切羽において爆薬を製造しながら消費(＝装填)する今までにない新しいシステムである．

具体的には，**図-11**に示すように，トラックに搭載した専用の製造設備(＝装填機)内に，EPと鋭感剤水溶液，ホース内洗浄用の水を備え，鋭感剤水溶液を潤滑剤としてEPをポンプによりホース内に送出し，ホース先端のスタティックミキサーにより，EPと鋭感剤水溶液を混合するシステムである．混合されて初めてEPは鋭感化を開始し，数分後に装薬孔内で発泡してエマルション爆薬となる．

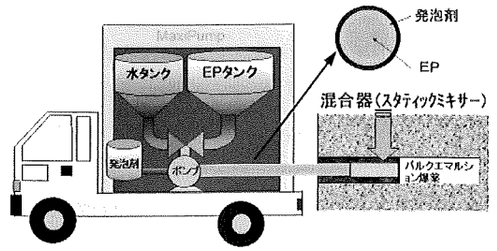


図-11　システムの概要(鋭感化のメカニズム)

3-3-3　日本の火薬類取締法

2004年3月末の省令改正により，ANFOと含水爆薬のサイトミキシングは，規制が緩和され実施可能になった．しかし，実施するための主な法令上の制限に次の3点があげられる．

①　従来の火薬類取締法の適用を受ける．

②　一部の海外で危険物扱いとなっているEPは，暫定的に火薬類の扱いを受ける．

③　火薬類の製造となるため，製造保安責任者(正・代理)を現場敷地内に常駐させる必要がある．正・代理ともに必要な免状の種類は，1日の製造数量が1t/日以上は甲種，1t/日以下は乙種以上である．

3-3-4　サイトミキシング実用化の課題

ANFOのサイトミキシングは，日本でも規模が大きく火薬使用量の多い石灰石鉱山で取り入れ始めている．トンネルにおいては，耐水性や後ガスの問題から含水爆薬のサイトミキシングが望まれている．

しかしながら，火薬類取締法を遵守し，含水爆薬のサイトミキシングを実用化するためには，以下の問題点がある．

(1)　資格者の問題

現状では火薬メーカーや大手石灰石鉱山の一部の人間しか保有しない製造保安責任者の資格を取得する必要がある．

(2)　技術的な問題

現在，サイトミキシングの方法として，

①　原材料から現場で爆薬を製造する

②　EPから現場で爆薬を製造する

の2方法がある．簡便さ，小設備で済むことなどから，諸外国では②の方法が一般的である．

しかし，現在日本では，EPが運搬・貯蔵・消費のすべての段階で火薬類扱いの解釈となっているため，以下の点を解決する必要がある．

1) EPの火薬類としての運搬・現場貯蔵方法と装填機への移し替え方法．

2) 装填終了後の装填機内残EPの処理方法．(EPが危険物扱いの場合には，装填終了後にEPを洗浄する必要はないが，EPが火薬類扱いのため装填終了後は装填機やホース内の残EPはすべて洗浄する必要がある)

したがって，日本において含水爆薬のサイトミキシングを実用化するためには，さらなる技術革新や規制緩和が望まれる．

④ おわりに

この章では，トンネル現場で使われ始めた新しい発破技術について，穿孔，装薬の機械化，自動化技術に着目して，実施事例を参照しながら紹介した．

穿孔技術では，IT化が進み，全自動コンピュータジャンボや三次元自動測量システムなどを用いた穿孔管理が行われるようになった．

装薬技術では，作業効率向上，安全作業環境の創造などの要求とともに，数タイプの爆薬機械装填システムが具現化されてきている．

これらの高度化された発破技術は，さらなる改良を加え普及し，法整備とともに総合化され，発破作業の自動化技術として確立するものと推察される．

参考文献

1) (株)熊谷組：爆薬遠隔装填システムカタログ．
2) 旭化成ケミカルズ(株)：サンベックス®SSシステムカタログ．
3) 旭化成ケミカルズ(株)：バルクサンベックス®システムカタログ，技術資料．
4) 奥隅豊栄・大矢隆二・楠本太：バルク含水爆薬機械装填の適用性に関する考察，土木学会第61回年次学術講演会，第VI部門，2006.9.
5) 日本化薬(株)：ランデックス®カタログ，技術資料．
6) Orica Limited：サイトミキシングバルクエマルションシステム技術資料．

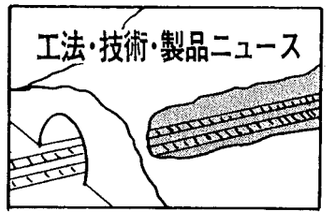
E. フック・E. T. ブラウン共著

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



AutoCAD® 2008 発表

AUTODESKは汎用CADソフトウエアの最新版AutoCAD® 2008を発表した．

新製品では，図面内の注釈の縮尺の設定や図面全体のレイアウト配置の設定が容易になったほか，文書の段組み編集が可能となり，また，表作成の機能が一般的な表計算ソフトと関連づけやすくなるなど，図面作成の簡潔化が実現された．

同時に発表された二次元作図用CADソフトAutoCAD® LT 2008も同様の機能を強化．二次元の設計プロセスの生産性を高めた．

小口径地中推進管「Sジャイロ」実現場に初適用

鉄道総合技術研究所，ジェイアール総研情報システム，コマツ地下建機は，振子車両の技術開発で培った光ファイバージャイロと傾斜センサーの技術を応用した地中推進管用位置計測装置「Sジャイロ」を実現場に初適用した．

同装置は，光センサージャイロと傾斜センサーによる計測データと，それらをつなぐリンクの長さから推進管の先端位置を正確に計測するもので，φ250～700㎜の小口径間の推進に適用でき，曲線部，掘削中の測定も可能．従来は電磁波方式で計測していたが，障害物や深度が大きくなると，曲線部の計測に影響があった．

今後は，製品化を急ぐとともに，水平ボーリング，曲線パイプルーフへの適用に向けて開発を進める．

低コストの路面診断システムを開発

東京大学橋梁研究室，首都高速道路，首都高速道路技術センター，ニチレキの4者は共同で，低コストで路面の変状をモニタリング可能な「道路高速診断システム」を開発した．市販の加速度計とGPSにより，道路走行時の揺れと走行した位置を特定し，路面性状のデータを蓄積できる．

従来，目視点検に用いてきた巡回車に低コストで装備でき，路面変状の管理が経時的なデータを用いて可能となり，目視点検を補完し，効果的，経済的な維持管理が期待できる．

電子納品実践マニュアルの無償公開

建設技術研究所，日本工営，パシフィックコンサルタンツの3社で構成する，国土総合研究機構は，平成18年9月改訂のガイドラインなどに対応した土木設計業務などの電子納品実践マニュアル第5.0版を作成し，ホームページ上で，無償公開をはじめた．

同マニュアルは，平成16年度の国土交通省関連要領類の改訂を反映した第4版に，その後の「デジタル写真管理情報基準(案)」，「電子納品運用ガイドライン(案)【業務編】」，「電子納品運用ガイドライン(案)【地質・土質調査編】」，「電子納品運用ガイドライン(案)【測量編】」の改訂を取り込んだ内容としている．マニュアルの構成は，技術者の負担軽減を図るため，できるだけ業務手順に沿った内容としている．

天端覆工背面の完全充填技術で打設量と時間を削減

前田建設工業は，NATMトンネルの天端部の覆工構築技術を開発した．

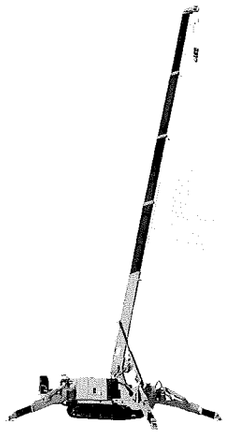
同技術は，施工実績の豊富な「高品質トンネル覆工天端部締固めシステム」に，水平圧入打設工法とコンクリート充填圧管理システムを組み合わせ，天端部覆工コンクリートの品質を向上させる．

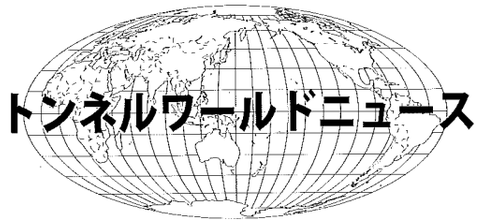
同技術を初適用した現場では，良好な仕上がりを確認するとともに，コンクリートの打設量および打設時間の削減効果のあることを確認した．また，コンクリート養生には移動式の湿潤養生システムを採用し，効果を確認した．

かにクレーンをモデルチェンジ

前田製作所は，かにクレーンシリーズの最新鋭機MC305C-2の発売を開始した．同機は，MC305Cのモデルチェンジで，クラス最大吊り能力2.98t×2.5mを達成，安全装置などを標準装備し，作業効率性と安全性を向上させた．

かにクレーンシリーズは，走行体がゴムクローラで，この特性を生かして，未舗装通路，作業現場，軟弱地も走行が可能．また，アウトリガーをクレーン設置場所の広さに応じて，段差のある場所，凹凸のある場所，障害物を避けて，張出し角度，張出し長さを選択して設置することができる．





（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

グリーンランドで世界一深い海底トンネルの計画

デンマークのCowi社は，グリーンランドのNuukフィヨルドを横断する世界でもっとも深い海面下300mの海底トンネル計画を進めていることを発表した．

Cowi社は，最近，物理探査によりフィヨルド下の岩盤調査を実施した．Cowi社の上級プロジェクト・マネージャーであるMads Moller氏は，岩盤は片麻岩から構成されているが，現地調査では基盤の境界を図示するまでには至っていないことより，岩質の詳細までは解明されていないと述べている．

計画されているトンネルは，首都Nuukと新空港が計画されているAkia地方につながる道路トンネルを構築するためにフィヨルドの下を掘削するものである．Cowi社は，現地コンサルタントのAsiaq社とともに現地調査を実施し，予備調査報告書をNuuk地方自治体に提出した．Cowi社によると，岩盤はフィヨルドの中央で非常に深いところに位置していることを懸念していたが，最近の調査結果によるとこのような状態になっていないと推測している．延長15kmのトンネルは，海面下300mに設置されることになり，その深さはエッフェル塔の高さに等しい．

Cowi社のトンネル専門家の一人であるPoul Marinus Nielsenは，本事業計画を「世界でもっとも深いが，現在の技術の粋を超えてはいない」と述べている．現在，もっとも深い海底トンネルは，海面下287mで来年に完成予定となっているノルウェーのEiksundトンネルである．

トンネルは，グリーンランドへのTBMの輸送費用と輸送上の問題のために，大半は発破工法により掘削する計画となっている．現段階における事業予算の見積もり額は，1億4,600万US$となっているが，±4,300万US$の変動が予想されている．今後，追加調査的な作業を進めるか否かの決定については，「政治判断」として伝えられている．

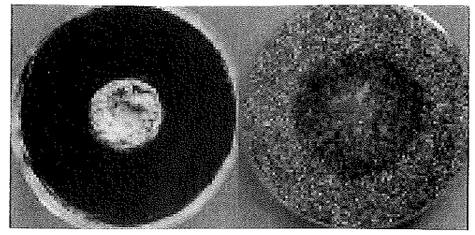
この記事が発表されるときには，Cowi社の報告書が本事業の実施について検討しているNuuk地方政府に提出されている．

（T＆TI　'06.9　担当：平澤泰作・鉄道・運輸機構）

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47頁に掲載の『投稿原稿応募のご案内』を参照のうえ，ご応募下さい．

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



（社）日本トンネル技術協会
国際委員会

ルツェルンのA 2/6 道路のSchlund Tunnel で採用されているベントナイトの防水シートによる開削トンネルの革新的止水方法/Innovative Sealing of Cut-and-Cover Tunnels with Bentonite Sheet Membrane taking the Example of the Schlund Tunnel on the A 2/6 in Lucerne

By M. Gysel, R. Nüesch, B. Flühler, P. Schurtenberger, R. Casiraghi: Tunnel 3/2006, May, 2006, pp.14–33

1. 防水システムの概要

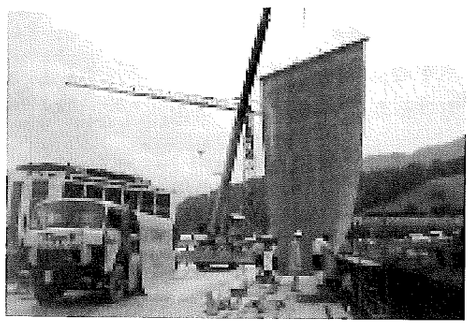
構造物の漏水を防止するために止水シールを施すことは複雑で高価なため，発展していない．新しく開発されたポリエチレンとベントナイトの複合体の防水システムは，ポリエチレンにクラックや2.5cm以上の直径の穴が発生しても，ベントナイトの高い膨潤性により漏水を止めることができる．このシステムは，A 2/6道路のスイス，ルツェルンのSchlund道路トンネルにおいて採用されている．

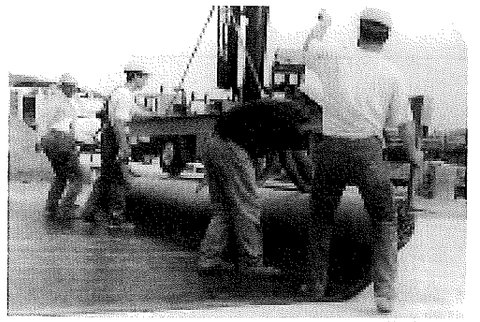
2. Schlundトンネルの概要と防水システム

Schlundトンネルは1996～2004年にかけて建設された．このトンネルは長さ960m，幅33.7m，高さ7.7mの開削（工法）トンネルであり，トンネル中央部で地下水位面は地表面から1.0m下に位置する．トンネルは横二連のカルバートであり，基礎部は海洋性堆積物と沖積層で構成されている．地下水はトンネル下の礫層の中を海に向かってゆっくりと流れている．カルバートを構築して埋め戻した後，地下水位は元どおりに復元している．ヨーロッパやアメリカそして日本では，多くの開削トンネルや地中構造物で（織布と不織布で包んだ）ベントナイトシートを防水に使用している．A 2/6道路トンネルにおいては，オスロでベントナイト

2.7cmの穴を自己修復した状況（左はポリエチレンサイド，右はベントナイトサイド）


底版下への複合防水シートの敷設状況


側壁部の複合防水シートのクレーン設置状況


上床版への複合防水シートクレーン敷設状況

シートが採用されているが，スイスの一部であるSchlundトンネルではポリエチレンとベントナイトの複合体の防水システムを採り入れている．

3. 防水システムの詳細

このシステムは0.5㎜の厚さの高密度ポリエチレンと3㎜厚さのベントナイトを一体化したシートを敷設するもので，シート1㎡あたりのベントナイトの重量は4.9kgである．ベントナイトは90%以上が高品質のモンモリロナイトであり，外部表面積は1gあたり16㎡で，膨潤過程で全表面積は1gあたり800㎡に達する．高密度ポリエチレンは引張伸び率が700%，穴あけ強度(puncture strength)は43kgあり，瀝青材料(bitumen)より耐用年数が長い．地盤と構造物の間にサンドウイッチする形で，ポリエチレンシート面を地下水側(地盤側)に向け，ベントナイトをコンクリート側に向けて設置する．気乾状態の3㎜厚さのベントナイト層は膨潤すると2cmの厚さになる．2cmを水が通るのには120日かかる．ベントナイト層におけるある点からの水の浸出拡大時間は，その距離が長くなるほど増大する．例えば，1m広がるのには300年かかる．これは，ポリエチレンの欠陥部から水が浸入する状況と同じである．ポリエチレンに2.7cmの穴が開いても，水による膨潤の結果，数時間で自己修復する．

4. 防水施工方法

底版部は複合シートを敷設した後，保護モルタルを3～4cmの厚さに施工してコンクリート構造物を構築する．複合シートは幅1.22mのロールから引き出す状態で人力敷設する．側壁部と上床版の上は幅5.33mのロールにしてクレーンで吊って敷設する．上床版に敷設した後，10cmの厚さの砂を敷いて保護する．

5. 工　費

この複合防水材料の価格は高分子瀝青防水材料の価格よりも少し安価である．それよりも，施工スピードが速いために，施工費が安価になることがポイントである．

(文責：山田和男・(株)竹中土木)

わかりやすい **トンネルの力学**

B5判　286頁　本体価格 5,825円　〒340円

福島啓一 著

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

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

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

社団法人 日本トンネル技術協会 会報

1. 会員の現状

	2月25日現在
正会員	2,254名
団体会員	425名
個人会員	1,829名
名誉会員	1名
計	2,255名

2. 第184回理事会

日　時：平成19年2月23日(金)12：00～13：00

場　所：(社)日本トンネル技術協会会議室

出席者：理事28名，監事3名

議　題：

①28名の入会と69名の退会を承認

②第33回通常総会の議案および進行計画を承認

③第33回通常総会議案要綱を承認

④当面の主要行事日程を承認

3. 委員会の開催状況(2月1日～28日)

①調査研究関係委員会

◎技術委員会

都市トンネル小委員会

Q&A施工WG：2/2(中島泰彦幹事長ほか13名)原稿を検討

同　同：2/21(中島泰彦幹事長ほか20名)原稿を検討

東北新幹線トンネル施工技術委員会機械化WG：2/7(田村武幹事長ほか16名)SENSを検討

飯山トンネル他特別委員会：2/7(足立紀尚委員長ほか42名)設計施工法を検討

北陸新幹線低土被りトンネル研究特別委員会：2/22,23(田村武委員長ほか42名)現地視察ほか

計　5回開催　138名出席

②運営広報関係委員会

◎総務委員会：2/5(日月俊昭委員長ほか12名)理事会議題案を検討

広報小委員会

会誌WG：2/8(大島洋志主査ほか14名)3月号の会誌と3か月計画を検討

◎国際委員会

海外文献小委員会

ニュースWG：2/20(平澤泰作主査ほか8名)海外ニュースを翻訳

◎事業委員会：2/6(桑原彌介委員長ほか15名)催物事業計画を検討

計　4回開催　53名出席

合計　9回開催　191名出席

4. 国際会議の開催予定

会議名	開催日	場所	主催者等
第1回 国際フォーラム「道路・鉄道トンネルの安全」	2007. 4. 23～25	リスボン(ポルトガル)	Tunnel Management International(トンネルマネジメントインターナショナル社) http://www.tmi-intelligence.com
第33回ITA総会およびコングレス「地下空間：巨大都市の4次元利用」	2007. 5. 5～10	**プラハ(チェコ共和国)**	Czech Tunnelling Committee(チェコトンネル協会) International Tunnelling Association(国際トンネル協会) http://www.wtc2007.org
第34回ITA総会およびコングレス「より良い環境と安全のための地下空間を目指して」	2008. 9. 22～27	**ニューデリー(インド)**	CBIP(灌漑・水力中央委員会) International Tunnelling Association(国際トンネル協会) http://www.cbip.org

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

5月号予告[5月1日発売予定]

●鉄道トンネルの維持管理基準
●東海道線　関が原・柏原間藤下Bv
●一般国道445号　(仮称)北山トンネル
●曲がり鋼管を利用した非開削工法で地下ポンプ室を築造
●新宇治川放水路トンネル
【連載講座】
●発破技術の現状(7)

＊内容等は変更になる場合がございます

編集後記

◆先日，といっても1月末のことですが，土木学会が開催するイブニングシアターに参加しました．目当ては，映画「掘るまいか」の上映です．ここで紹介するまでもない有名な作品ですが，恥ずかしながらこれまで観たことがなかったのです．
◆60世帯程度の小村が，1km弱ものトンネルをつるはしだけで掘りぬく，という肉体的にも金銭的にも大きな困難に立ち向かい，成し遂げた熱情に圧倒された，というのもありましたが，映画のなかでたびたび挿入されたかつてトンネルを掘った村の方へのインタビューが印象的でした．トンネルを掘っていたときのことを語る村の人たちは，おしなべて楽しそうに見え，「つるはしで暗いなか穴を掘ってると，楽しいんだよ」という言葉に，妙に感じ入りました．
◆映画のなかでの，トンネルを掘る再現シーンでは，その様子は決して楽しげに見えませんでした．岩にかこまれたわずかな光だけの狭い空間で，はるか先の貫通点に向かって，ひたすらつるはしをふるう．このことがどれほど楽しいものか，を想像することは，トンネルの掘削現場の経験すらない私などにとっては，難しいことです．
◆この楽しさのもとを少しでも理解するため，現場の雰囲気を味わうのが良いだろうと，トンネル映画の名作「黒部の太陽」を観ればいいのでは，と思いあたりましたが，どうやら，スクリーン以外での上映が不可となっているようで，現在ビデオレンタルなどを利用して観ることができない状況です．
◆つきましては，なんとかして，「黒部の太陽」の太陽を観たいと思っています．読者のみなさまで，この上映会の情報などがございましたら，ぜひご連絡いただきたくお願いいたします．

(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4号〔通巻440号〕
ISSN 0285-631X
Tonneru to chika
平成19年3月20日　印刷
平成19年4月1日　発行

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

本誌の購読について

■購読をご希望の方は，書店または土木工学社へ直接お申し込みください．
■お申し込みの際は，誌名，購読期間，住所，所属，氏名などを明記のうえ，FAX(03-3267-2807)にてお申し込みください．後日，小社より振込用紙をお送りいたします．

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

本誌広告のお申し込み方法

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

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

土木工学社の地質学書

〔好評発売中〕
わかりやすい土木地質学



大島洋志 監修
B5判　209頁　税込2,625円　〒340円

主要目次

序　編　トンネルと地質の関わり
1．地質学とは，応用地質学とは　2．トンネルと地質

第Ⅰ編　トンネル工事に必要となる基礎的地質学
1.地球の構造　2.地層や岩石の分類　3.地質作用　4.地質構造　5.地形と地質との関わり　6.日本の地質　7.地下水

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

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

第Ⅳ編　工事を対象とした地質調査の進め方
1.調査の基本　2.地山条件の調査の流れ　3.トンネル工事のための地山評価法　4.調査の成果

〔その他の既刊図書〕
建設工事の保安地質学〔改訂版〕　石井康夫 著　A5判　475頁　税込6,300円　送料340円
建設工事の地質診断と処方　石井康夫・矢嶋壯吉 共著　A5判　324頁　税込4,515円　送料340円
地下水の科学　P.A.ドミニコ・F.W.シュワルツ　共著　大西有三　監訳
第Ⅰ巻　地下水の物理と科学　B5判　235頁　税込4,281円　送料340円
第Ⅱ巻　地下水環境学　B5判　252頁　税込4,485円　送料340円
第Ⅲ巻　地下水と地質　B5判　197頁　税込3,873円　送料340円
岩盤地下空洞の設計と施工　E.フック・E.T.ブラウン 共著　小野寺進・吉中龍之進・斉藤正忠・北川隆 共訳
B5判　444頁　税込10,290円　送料450円
ブロック理論と岩盤工学への応用　R.E.グッドマン・G.H.シー 共著　吉中龍之進・大西有三 共訳
A5判　360頁　税込5,097円　送料340円
岩盤の計測と解析　鈴木光 著　A5判　244頁　税込4,410円　送料340円
地質工学概論　菊地宏吉 著　B5判　276頁　税込4,994円　送料340円
続 きみの庭にも温泉が出る　石井康夫・俣野恭寛 共著　新書判　217頁　税込1,260円　送料210円
きみも金鉱を発見できる　石井康夫 著　新書版　200頁　税込1,029円　送料210円

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

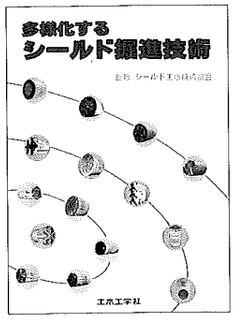
株式会社 土木工学社
〒162-0832 東京都新宿区岩戸町16メイジャー神楽坂
電話　(03)3267-2888(代)　振替00110-8-190072

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】

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

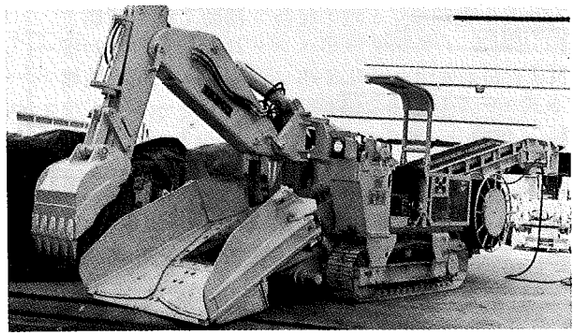
特長

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段階調整式リターダ
• 後方カメラ&モニター

ずり積込機も運搬機もカワサキにお任せ下さい

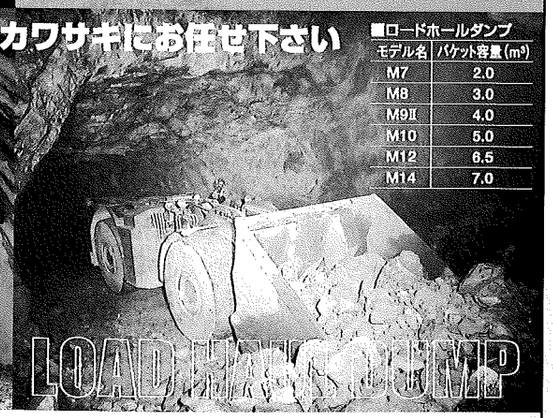
■両サイドダンプ

モデル名	バケット容量(m³)
80ZV	2.5
90ZV	3.2



■ロードホールダンプ

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



ONE FOCUS
Complete Solutions
Kawasakiは一人ひとりのお客様を大切にします

川崎重工業株式会社
建設機械ビジネスセンター
東京本社　〒105-6116 東京都港区浜松町2-4-1（世界貿易センタービル）
☎(03)3435-6959　HPアドレス http://www.khi.co.jp/kenki/